

일측폐 마취(One Lung Anesthesia)

이화여자대학교 의과대학 마취과학교실

한 종 인

서 론

일측폐 마취는 흉곽내 수술, 식도 수술, 혈관수술과 일측폐 환기를 필요로 하는 위급한 상황의 환자에서 요구되는 방법으로 광학섬유를 이용한 기관지내시경(Fiberoptic bronchoscope, FOB)의 발달에 힘입어 임상적으로 사용이 용이하여졌다. 또한 비디오투를 연결한 내시경적 수술(video assisted endoscopic surgery, VATS)이 발달하고 최소로 침습적인 수술 방법(minimally invasive surgical approach)에 대한 열광적 관심이 증가하면서 VATS가 진단과 치료 방법을 위한 외과적 기술로 자리잡게 되었다. 이러한 술기의 대부분은 완전히 수축된 폐를 요구하게 되므로 일측폐 환기의 절대적 적응증이 되고 있다. 일측폐 환기(one lung ventilation, OLV)와 같은 의미로 사용되고 있는 일측폐 마취(one lung anesthesia, OLA)의 일차적 목적은, 첫째 일측 폐를 선택적으로 환기되지 못하게 하거나(전폐 허탈), 일측 폐의 한 부분을 선택적으로 환기되지 못하게(선택적 폐엽 허탈) 함으로써 외과의에게 수술을 위한 시야를 확보하게 해주고, 둘째 흉곽수술 시 체위 및 수술적 방법과 연관된 좌우측 폐의 환기/관류 불균형을 최소화함으로써 조직의 산소화를 좋게 해주며, 셋째 일측 폐를 반대측으로부터 분리함으로써 환측 폐로부터의 출혈이나 농양의 유출을 예방하는데 있다.¹⁾ 따라서 일측폐 마취를 성공적으로 시행하기 위해서는, 첫째 일측폐 환기에 따른 의존부위와 비의존부위 폐의 환기 및 혈류 변화와 그에 영향을 미치는 요소들과 마취제에 의한 영향 등을 이해해야 하며, 둘째로 OLV이 요구되는 적응증 및 적절한 폐 분리방법의 지침과 예상 가능한 실패의 원인을 알고 있어야 하고, 셋째로 최근에 사용되는 이중관 기관지튜브(Double lumen tube, DLT)와 기관지차단기(Bronchial blocker, BB)의 형태적 특징을 이전의 튜브들과 비교하여 이해하고 FOB를 비롯한 기구들의 사용법에 익숙해져야 하며 넷째로 OLV에

동반되는 문제점인 저산소혈증의 예방 및 치료법을 숙지하여야만 성공적인 일측폐마취를 시행할 수 있다.

일측폐 마취 동안의 환기

마취된 상태로 측와위에서 흉강은 닫힌 채 자발호흡시

마취 유도와 더불어 전체적인 폐의 기능적 잔기용량(functional residual capacity, 이하 FRC)은 감소하나 측와위로 체위를 변화시킴에 따라 비의존폐가 유순도가 높은 부위가 되고 의존폐는 유순도가 낮은 부위가 되어 비의존폐의 FRC는 증가하게 되고 의존폐의 FRC는 감소하게 된다. 따라서 마취된 상태로 측와위에서 비의존폐는 일회 호흡량의 55%를 받게 되나 관류의 변화는 적은 상태이므로 유의한 환기/관류 불균형을 나타낸다.²⁾

마취된 상태로 측와위에서 흉강은 닫힌 채 조절호흡시

근육이완과 조절호흡이 시작되면서 일회 호흡량은 의존폐로부터 재분포를 하게 된다. 자발적인 횡격막 수축이 소실되면서 복부 구획으로부터 의존폐의 횡격막으로의 장력이 증가하여 환기에 장애를 가져온다. 종격동 구조물은 아래 방향으로 힘을 가하고 부적절한 체위는 폐의 움직임을 제한하게 된다. 이 모든 결과로 일회 호흡량이 의존폐로 분포되는 비율이 감소하게 되어 환기/관류 불균형이 더욱 심해진다.

마취된 상태로 측와위에서 열린 흉강으로 조절호흡시

비의존폐의 흉강이 열림으로 인해 비의존폐로의 환기가 재분포하게 된다. 비의존폐의 흉강이 열림으로 인해 흉막내 음압에 의해서 종격동이 더 이상 지지되지 않기 때문에 의존폐는 종격동의 무게를 감당하게 되어 의존폐의 FRC가 폐 유순도의 감소를 동반하면서 감소한다. 그러나 관류는 개흉에 의해 크게 영향받지 않으므로 환기/관류 불균형이 더욱 증가한다.

책임저자 : 한종인, 서울시 양천구 목동 911-1
이화여자대학부속 목동병원 마취통증의학과
우편번호: 158-050
Tel: 2650-5285, 5559, Fax: 02-2655-2924
E-mail: hanji@ewha.ac.kr

일측폐 마취 동안의 혈류의 분포

일측폐 환기는 양폐 환기 시에는 볼 수 없었던 환기 안

되는 비의존 폐를 통한 우-좌 경계 선트를 유발한다. 이로 인해 흡입 산소농도와 혈액학적, 대사적 조건이 같은 상황에서 양폐 환기시보다 일측폐 환기시에 폐포-동맥혈간 산소분압의 차가 더 커지고 동맥내 산소 분압이 감소하게 된다.³⁾ 그러나 수동적인 기계적 기전과 능동적인 혈관 수축 기전으로 비의존적 비환기 폐로의 혈류가 최소화되고 동맥혈 산소분압의 감소도 어느 정도 예방되어진다.

비의존적 비환기 폐로의 혈류

수동적 기계적 기전은 중력과 수술적 간섭으로 구성된다. 중력은 측와위 체위에서 폐혈류가 수직의 기울기를 갖도록 함으로써 비의존폐로의 혈류를 의존폐보다 적게 만든다. 또한 직접적으로 폐혈관을 압박하는 것과 같은 심각한 수술적 압박과 수술 시 폐혈관을 꼬이게 하거나 비틀리게 하는 잡아당김은 비의존폐의 혈류를 수동적으로 더더욱 감소시킨다.

비의존폐로의 혈류를 유의하게 감소시키는 또 다른 기전은 능동적인 혈관수축 기전이다. 폐허탈에 대한 폐혈관구조의 정상적 반응은 폐혈관 저항(pulmonary vascular resistance, 이하 PVR)의 증가로, 허탈 부위의 폐혈관저항의 증가는 거의 대부분 저산소성 폐혈관 수축(hypoxic pulmonary vasoconstriction, 이하 HPV)에 기인한다. 허탈 부위 폐의 선택적 PVR의 증가는 허탈 부위로부터 나머지 환기가 되는 폐로 혈류가 우회하게 만들고 이로 인해 저산소 상태의 폐부위에서 일어나는 선트 혈류의 양을 최소화시킨다. 만일 HPV가 없다면 비의존폐는 심박출량의 40-50%를 받게 되지만 HPV에 의해 20-25%의 심박출량을 받게 된다.⁴⁾ 따라서 HPV는 저산소성 폐에서 나타나는 선트 혈류를 감소시켜 줌으로써 동맥혈 산소분압을 보호하는 자동조절 기전인 것이다.

비의존폐의 질환이 심할 경우 수술 전에 비의존폐로의 혈류가 이미 매우 감소하여 있으므로 이러한 질환 폐의 허탈은 선트의 증가를 초래하지 않는다. 비의존폐의 HPV에 영향을 미치는 다른 요소로 대부분의 전신적 혈관이완제, 혈관수축제, 폐혈관압, 혼합정맥혈 산소분압 및 저탄산혈증과 마취제가 있다. 대부분의 혈관이완제는 국소의 HPV를 억제하는데 nitroglycerine과 nitroprusside,⁵⁾ dobutamine,⁶⁾ 몇몇 calcium channel 차단제와⁷⁾β-2 agonist는^{8,9)} HPV를 억제하지만 aminophylline과 hydralazine은 HPV를 감소시키지 않는다.^{10,11)} Dopamine과 epinephrine 같은 혈관수축제는 산소농도가 정상인 폐혈관을 수축시키는 경향이 있어 정상 산소농도 폐의 혈류를 감소시키고 허탈부위의 혈류를 증가시켜 결국 정상 산소농도 폐의 흡입산소농도를 낮추는 것과 같은 결과를 보이게 된다. HPV 반응성은 폐혈관압이 정상일 때 최대이고 폐혈관압이 높거나 낮을 때는 감소한다. 또한

혼합정맥혈 산소분압이 정상일 때 HPV 반응이 최대가 되고 혼합정맥혈 산소분압이 높거나 낮을 때에는 감소한다. 저탄산혈증은 국소의 HPV를 직접적으로 억제하게 하고 과탄산혈증은 증강시킨다.

의존적 환기 폐로의 혈류

의존폐의 저산소성 구획은 여러 이유에 의해 수술 중에 발생한다. 첫째, 측와위에서 환기되는 의존 폐는 전신마취의 유도 와 주위 구조물로부터의 압박(하지측으로부터 횡격막에 가해지는 압력과 받침대등으로 적절하게 보호되지 못한 의존부위와 액와부에 가해지는 압력 등)의 혼합된 효과로 폐용량이 감소된다.¹²⁾ 둘째로 고농도의 흡입산소농도에 노출되었을 때 의존 폐의 낮은 환기/관류 비율을 갖는 부위에 흡수성 폐허탈이 생길 수 있다.¹³⁾ 셋째로 분비물의 배출이 어려운 의존 폐에서 환기가 잘 안되고 허탈이 되는 영역이 발생될 수 있다. 마지막으로 측와위 자세로 시간이 연장되면 의존 폐로 수액이 유출되어 폐용량을 감소시키고 기도폐쇄를 증가시킬 수 있다.¹⁴⁾

폐분리(lung separation) 방법

이중관 기관내튜브(DLT)

50여년 전에 Carlens가 처음으로 폐분리 방법을 도입한 이래 기관분기부 고리가 달려있는 두 개의 관으로 구성된 DLT가 사용되다가 Robertshaw가 변형된 DLT를 소개하였다.¹⁵⁾ 오늘날 사용되는 DLT는 일회용의 polyvinylchloride 제제로 고흥적 저압 컵를 갖고 있으며 매우 효과적으로 폐분리를 수행하지만 외경이 커서 구강과 후두를 통과하기에 어려운 점이 있다.¹⁶⁾ 현재 사용되는 PVC Robertshaw DLT는 35-41 Fr (Mallinckrodt, Rusch, Sheridan)로 형태가 잡혀 있으며 보통 파란색으로 색이 있는 기관지 컵프로 인해 FOB

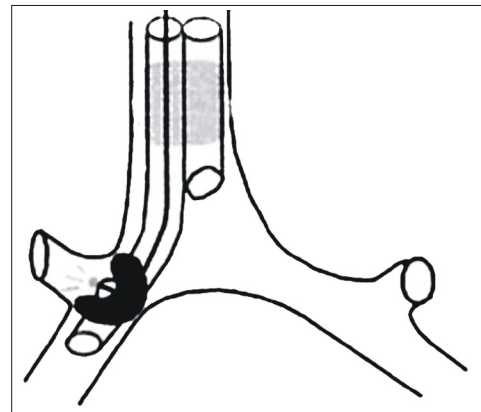


Fig. 1. Fiberoptic bronchoscopy: right sided DLT.

을 통한 위치 확인이 용이하다. 보통 좌측 기관지내 커프가 있는 DLT가 사용되나 우측 기관지내 커프가 있는 DLT도 사용 가능한데 이 경우 기관지 커프가 도우넛 모양으로 되어있으며 우상엽 환기가 가능하도록 우상엽 입구 부위에 가늘고 긴 구멍이 있다(Fig. 1). 우측 기관지내 커프가 있는 DLT는 좌측기관지에 종양이나 협착과 같은 해부학적 이상이 있는 경우나 좌측기관지 파열등이 있을 때 적용이 되나 기관지 커프를 적용하기위해서 최소한 우측 주기관지의 길이가 10 mm 이상이 되는 것을 확인한 뒤 사용해야한다.⁴⁾ Campos 등은 좌측 DLT와 우측 DLT를 비교한 연구에서 우상엽 허탈의 빈도와 튜브 거치에 소요된 시간이 양군에서 차이가 없으며¹⁷⁾ 흉곽수술에 있어 우측 DLT의 일상적 사용이 가능하다고 하였으나¹⁸⁾ Cohen 등은¹⁹⁾ 우측 DLT를 일상적으로 사용하는 것은 위험하다고 하여 논란의 여지를 보여주었다. 또한 2004년 미국내 Bronchocath 판매실적의 95%는 좌측 DLT로 우측 DLT의 사용은 적은 실정이다. 대부분의 성인여자에서 35-37 Fr, 성인남자에서는 39-41 Fr를 사용하며 현재 폐분리방법으로서 가장 많이 사용되고 있다. 최근에는 26 Fr (Rusch, Kemen, Germany)까지도 사용하여 8세 이상의 소아에서도 OLV를 하고 있으며²⁰⁾ Pawar와 Marraro가 고안하여 임상보고한 Marraro double lumen tube가 2.7-12 kg까지의 3세 이하 영유아에서 사용된 바 있다.²¹⁾

DLT 거치방법: 직접 후두경하에서 기관내삽관 후 기관지 커프가 성대를 통과하면 좌측(우측 DLT는 우측으로)으로 90도 회전시킨후 튜브를 저항이 느껴질 때까지 밀어 넣는다. 먼저 기관 커프에 공기를 주입하고 양측 폐음이 같은지 확인한 후 기관지 커프의 과도한 압력에 의한 점막 손상을 막기 위하여 공기를 소량씩 기관지내 커프에 주입하는데 보통 2 ml 이상이 요구되지는 않는다. Resting bronchial cuff volume은 기관지에 공기를 0.5 mm씩 증량시키는데 0.5 mm 주입했을 때 커프압이 10 torr 이상 증가할 때의 가장 적은 커프 용량을 말하는 것으로 37 Fr.에서는 3.7 ml, 41 Fr.에서는 2.0 ml이며 그 이상 기관지커프를 팽창시키면 커프압이 위험스러운 정도로 높아지므로 피해야만 한다.²²⁾ 다시 한번 양측 폐음을 확인하여 기관지내 커프가 빠져나와있지 않은지 확인한다. 튜브와 마취기 사이의 연결부에서 기관내공을 먼저 겹자로 잡은 뒤 폐의 움직임을 관찰하고 청진한다. 기관내공을 통한 환기를 하도록 기관지내공을 겹자로 잡은 뒤 호흡음을 확인하는데 우상엽 및 좌상엽이 환기가 되는지 세심하게 청진하면서 FOB을 이용하여 직접 보는 것이 중요하다. 만일 양측 폐 환기시 최고 기도압이 20 cmH₂O이었다면 같은 일회 호흡량에서 일측 폐 환기시 40 cmH₂O를 넘어서는 안된다.

좌측 DLT의 적정 위치를 확인하는 가장 간단한 방법은 기관내공을 통한 기관지경의 사용이다. Ovassapian은²³⁾ 좀더

믿을만하여 첫 번째 시도에서 실패할 가능성이 적은 방법을 추천하였는데 직접 후두경하에서 기관내삽관을 시도하여 기관지커프가 성대를 지나면 바로 90도 좌측으로 회전시킨다. 기관지커프에 공기를 주입 후 양측 폐를 통한 환기를 시작하고 FOB를 기관지내 내공으로 집어넣어 기관분기부와 좌우측 기관지가 보일 때까지 전진시킨다. 기관의 뒤쪽은 막형 구조이고 우상엽으로의 기관지가 함께 보이는 특징적인 세갈래 구조가 기관분기부의 믿을만한 해부학적 표식이 된다. FOB를 좌측 주기관지로 전진시켜 좌상엽과 좌하엽 기관지가 보이는 위치에 고정시키고 기관 커프의 공기를 빼 후 DLT를 FOB를 따라 미끄러뜨려 FOB의 말단에서 DLT의 기관지내공이 보일 때 멈춘다. FOB를 다시 기관내공으로 삽입하여 기관분기부 및 기관분기부 직하에서 기관지 커프의 존재를 확인하는데 일회용의 PVC DLT의 기관지내 커프는 색이 있어 쉽게 보인다. 우측 DLT를 사용 시는 기관내공을 통하여 기관분기부를 확인하고 우상엽으로의 환기구멍을 통해 우상엽 기관지 입구를 확인해야 하는데 내시경 사용에 숙련되어야 할 수 있다. 임상적으로 이용되는 기관지경은 외경이 5.6, 4.9, 3.9 mm (Olympus Co.)인데 3.9 mm기관지경은 37 Fr나 그 이상의 튜브에는 들어가나 35 Fr 튜브에는 끼이는 경향이 있다.

DLT 거치 시의 문제점: DLT의 위치가 적절한지를 확인하는데는 FOB의 사용이 임상에 있어 가장 중요한데 삽관 후 시진과 청진만으로 확인한 경우 DLT의 위치이상이 1/3 이상에서 나타났으며²⁴⁾ 이상적인 위치에서 0.5 cm 이상 위치가 벗어난 경우가 39.5%이고 14%에서는 좌상엽과 좌하엽의 분기부가 안보인다든지, 우상엽 입구가 명확치 않은 경우, 혹은 기관지내 커프의 1/2 이상이 기관내로 전위된 경우 등 심각한 상태를 보였다.²⁵⁾ 최근의 연구에 의하면 시진과 청진으로 DLT가 적절한 위치에 있는 것으로 보여지는 경우에도 20-48%에서 FOB 상으로 위치이상이 발견되었으며 심지어 반대편 기관지로 삽관된 경우도 7-30%로 높게 보고되고 있다.²⁵⁻²⁷⁾

좌측 DLT로 삽관후 양와위에서 측와위로 체위를 변경하는 경우 튜브는 바깥쪽으로 약 1 cm정도 움직이는 경향이 있다.²⁸⁾ 이러한 움직임은 체위 변경전 기관지내 커프를 팽창시킨다고해서 막을 수 없는데 기관분기부가 편위되고 DLT가 측와위에 따라 상방으로 움직이기 때문이므로 측와위로 돌리기전 좌측 주기관지 안 쪽으로 1 cm 정도 넣어주는 것이 도움이 된다. Inoue 등은²⁹⁾ DLT의 위치이상을 환자의 체위변동 후 32%, OLV 시에는 25%로 보고하면서 체위변동 시 위치이상을 보인 경우의 59%에서 OLV시 위치이상을 나타내므로 체위변동 시 튜브의 위치가 적절치 않은 경우는 OLV시에도 저산소혈증의 가능성이 높음을 시사하였다.

튜브의 거치가 성공적이었는데도 불구하고 DLT의 사용은

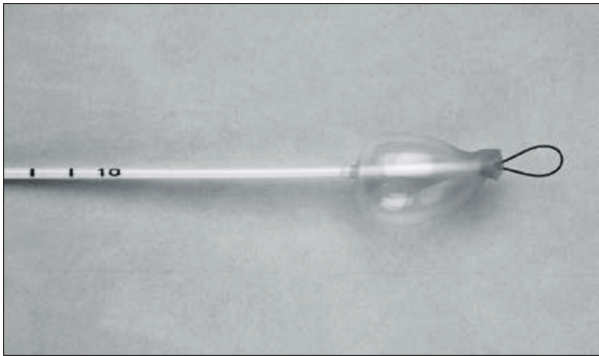


Fig. 2. Arndt wire guided endobronchial blocker.

Table 1. Approximate Comparative External Diameter of Single-Lumen Endotracheal Tubes, Univents, and Double-Lumen Endotracheal Tubes

Single-lumen endotracheal tubes (ID mm)	Univent (ID mm)	DLT (Fr)
12.5	9.0	41
12.0	8.5	39
11.0	8.0	37
9.5	7.5	35
9.0	7.0	33
8.5	6.5	-
8.0	6.0	28
6.5	-	26

ID: internal diameter, DLT: double lumen tube.

마취 중 약 10%에서는 산소포화도가 88% 이하로 감소하고 우상엽의 폐쇄, 기관분기부 폐쇄 및 폐분리 실패가 각각 약 4%씩 발생하였는데 마취의 경험이나 FOB의 사용 유무에 무관하였고 atropine의 사용으로 기관분비물을 감소시켜준 경우 산소포화도의 감소가 적었다.³⁰⁾

기관지 차단기

1981년 Ginsberg가 단일공 기관내 튜브 속으로 Fogarty를 삽입함으로써 기관지 폐쇄 방법(Fogarty occlusion catheter)을 이용한 새로운 OLV 방법을 소개하였다.³¹⁾ Fogarty embolectomy catheter는 일측폐환기를 위해 단일 기관공튜브에 사용할 수 있는 가장 흔한 방법으로써 3-6 ml의 폐쇄풍선이 끝에 달려있다. FOB를 사용하여 기관분기부를 확인하고 거치하는데, 원하는 기관지로 거치시키는데 어려움이 있고 차단기 이하 부위의 흡인이 효과적으로 이루어지지 않으며 수술적 조작 중에 차단기가 기관으로 미끄러져나와 생명을 위태롭게할 기도폐쇄를 유발할 수 있다.

1999년 이런 점을 보완하여 생산된 철사결개로 유도된

Table 2. Arndt Endobronchial Blockers

Size (F)	Smallest SLT ID for coaxial use (mm)	Length (cm)	Cuff shape	Average cuff inflation volume (ml)
9	7.5	78 & 65	Elliptical	6-12
			Spherical	4-8
7	6.0	65	Spherical	2-6
5	4.5	65 & 50	Spherical	0.5-2.0

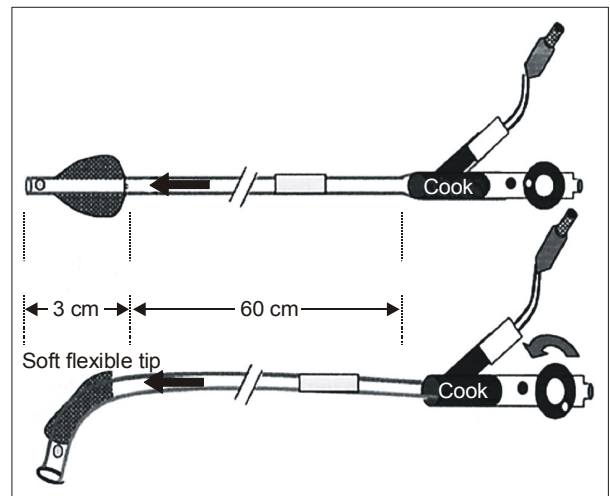


Fig. 3. The Cohen flexitip endobronchial blocker.

기관지 차단기(snare or wire guided bronchial blocker, Arndt, Cook Inc., Bloomington IN)(Fig. 2)는 FOB에 기관지 차단기를 철사결개를 이용하여 부착시킨 뒤 FOB를 원하는 기관지로 삽입한 뒤 철사결개를 느슨하게 만들고 FOB를 제거함으로써 거치가 비교적 용이하고 철심을 제거하면 1.8 mm의 내공이 생겨 흡인과 산소투여가 가능하다. 그러나 가격이 비싸고 철심을 제거하면 차단기를 재거치시킬 수 없으며 외경이 커서 적어도 8.0 mm 이상의 단일기관공튜브에서 사용할 수 있기 때문에 여성이나 특히 체구가 작은 성인에서는 사용에 문제가 있다.³²⁾ 그러나 내경 8.0 mm의 일반튜브는 내경 6.0 mm의 Univent 튜브와 28 Fr의 DLT와 외경의 크기가 유사해서(Table 1) DLT나 Univent 튜브에 비해서는 기관점막 손상과 기도저항, 기도분비물 제거 등의 측면에서 유리한 조건을 갖추었다고 볼 수 있다. 또한 2001년 이후로 5 Fr 소아용 차단기가 개발되어 2.0 mm FOB의 사용과 함께 ID 4.5 mm 튜브에까지 사용이 가능하여졌다(Table 2).³³⁾ 그러나 Univent 튜브와 마찬가지로 폐허탈이 만족스럽지 않을 수 있고 수술적 조작이나 체위변동 등에 의해 WEB가 빠져나와 문제를 일으킬 수 있다.

기관지 차단기의 가장 큰 장점은 일반 튜브에 사용할 수 있어 마취 전 예상치 않았던 경우 튜브의 교환 없이도 OLV를 가능하게 한다는 점인데 Ozaki 등은³⁴⁾ Proseal™ LMA 안으로 기관지 차단기(Coopdech Bronchial Blocker, Daiken Medical Co Ltd, Osaka, Japan)를 삽입하여 효과적으로 OLV를 시행, 보고하였다.

가장 최근에(2003년) 개발된 Cohen Flexitip Endobronchial Blocker (Cook Inc., Bloomington Indiana)(Fig. 3)가 임상사용에 대한 FDA의 공인을 받았다. 4.0 mm의 FOB와 함께 표준 기관지 튜브에 사용하도록 고안되었는데 가장 특징적인 점은 말단이 90도 이상으로 구부러질 수 있을 정도로 유연성이 있어서 차단을 원하는 기관지로 쉽게 거치될 수 있다는 점이다. 차단기의 proximal 부위에 위치해있는 고리를 돌림으로써 말단부를 구부릴 수 있고 차단기의 커프는 기관지를 적절하게 봉합할 수 있도록 고용량 저압 풍선이며 차단기의 내공(1.6 mm)을 통하여 폐의 가스배출과 제한적이거나 분비물의 흡인이 가능하며 저산소증의 경우에 허탈된 폐에 산소를 투여할 수가 있다.

Univent 튜브

Univent 튜브(Univent, Fuji Systems Corp., Tokyo, Japan)는 기관지 차단기의 역할을 하는 말단부에 풍선을 가진 매우 얇은 튜브(내경 2 mm)가 단일공 기관지 튜브에 내장되어 기관지 튜브를 따라 진행할 수 있도록 1982년 Inoue 등이 고안한 튜브이다.³⁵⁾ 거치방법은 기관내삽관 전에 차단기의 커프에 바람을 빼고 완전히 튜브를 뒤로 당긴 후 기관내 삽관을 일상적인 방법으로 시행하고 튜브를 차단할 방향으로 돌린 뒤 FOB를 이용하여 직접 확인하면서 원하는 주기관지로 차단기를 진행시킨다. 폐분리를 완전하게 하려면 기관지를 보면서 봉합 정도의(6-7 ml) 공기를 커프에 넣는다. DLT 대신에 사용하면서 술 후에 환기관리가 필요한 경우 수술 종료 시 튜브를 교환할 필요가 없으며 차단기 내공을 통하여 흡인이 가능하고 저산소증의 경우에 산소화를 향상시키기 위한 CPAP의 적용이 가능한 장점이 있으나 튜브의 전체적인 직경이 비교적 크고 차단기가 수술적 조작 중 위치이상을 일으킬 수 있으며 DLT에 비하여 분비물의 제거가 어려우며 비의존폐의 완전한 가스방출을 얻는데 걸리는 시간이 길다는 단점이 있다.³⁵⁾ 새로운 Torque Control Blocker (TCB) Univent가 최근에 제조되었는데 좀더 유연성이 있는 몸체와 좀더 부드러운 실리콘 재질의 차단기가 원하는 기관지로 들어가기 용이하도록 되어있으나 말단부의 절단이 보고된 바 있다.³⁶⁾ 각각의 기구들은 상황에 따라 장단점이 있으므로 적절한 튜브의 선택이 중요하다. 가장 작은 Univent® (Fuji, Tokyo, Japan) 튜브는 내경이 3.5 mm로 6세 이상의 소아에서 사용가능하다.³⁷⁾

일측폐 환기 관리의 임상적 접근법

환자를 수술을 위해 측위로 자세를 바꾼 뒤에는 DLT의 위치를 재확인해야만 한다. 자세 변화 동안에 튜브의 위치 이상이 발생하는 것이 드물지않다. 가능한 양측폐 환기를 유지하는 것이 좋으며 OLV이 요구되는 경우는 저산소혈증을 예방하기 위하여 흡입산소분율을 1.0으로 하는 것이 안전하다. HPV이 손상받지 않은 경우라면 FiO₂ 1.0에서 OLV시 PaO₂는 150-210 mmHg를 유지해야만 한다. 호기말 이산화탄소 농도가 35±3 mmHg를 유지하기 위한 환기 횟수에서 일회호흡량은 10-12 ml/kg가 되게 환기시켜야한다. 적은 일회호흡량은 환기폐를 허탈시키고 셉트의 양을 증가시키며 큰 일회호흡량은 비의존폐로 혈류를 전환시킨다. 그러나 Szegedi 등에³⁸⁾ 의하면 6 ml/kg 정도의 적은 일회호흡량 또는 15 ml/kg 정도의 큰 일회호흡량은 만성폐쇄성 폐질환 환자에서 좋은 효과를 보일 수 있다. 그러나 이러한 환자에서는 유의한 자동 PEEP이 생기거나 역동적 폐과팽창이 생길 위험이 있으므로²⁸⁾ 적은 일회호흡량과 그에 동반된 낮은 plateau pressure는 폐절제술동안 급성 폐손상을 예방할 수 있다.³⁹⁾ 또한 급성 폐손상 환자를 대상으로 The Acute Respiratory Distress Syndrome Network에 의해 여러 연구기관이 공동으로 연구 보고한 결과에서 낮은 일회 환기량(5-6 ml/kg)이 기계환기로부터의 이탈을 쉽게 하고 생존율을 높임 보여줌으로써 OLV시 낮은 일회환기량을 추천하는 근거를 제공했다.⁴⁰⁾ 또한 OLV 동안에 압조절 환기는 심각한 폐질환을 갖은 환자에서 용량조절 환기보다 우세하여 최대 기도압, 안정기 기도압 및 셉트율이 용량조절 환기시 더 증가하고 동맥혈 산소분압은 압조절 환기시 더 높으므로 술전 폐기능이 나쁜 환자에서는 압조절 환기가 추천된다.⁴¹⁾ 압조절환기와 더불어 의존폐에 적은(4 cmH₂O) PEEP을 사용하면 기도압은 전체적으로 낮게 유지하면서 산소화는 향상시킬 수 있다는 연구도 있다.⁴²⁾ OLV를 시작하고 나서 PaO₂는 45분까지 지속적으로 감소하므로 지속적인 맥박산소계측기의 감시가 필요하다. 저산소증이 발생하면 FOB를 이용하여 DLT의 위치를 재확인해야 한다.

비디오와 연결한 흉강경검사 시에는 집도의에게 적정의 시야를 제공하기위해서 완전히 허탈된 폐가 요구되는데 OLV를 시행하더라도 폐가 완전히 허탈되는데 30분 이상이 걸릴 수 있으므로 기관내삽관 직후부터 OLV를 시행해야 한다. 이전의 저자의 연구에서⁴³⁾ 일측폐환기 시작 후 완전한 폐허탈이 이루어지는 시간을 DLT군에서는 18.4 ± 6.8분, Univent 튜브군에서는 22.3 ± 9.0분, WEB군에서는 23.7 ± 9.0분으로 통계적으로 차이는 없었으나 DLT군에서는 대부분이 자발적으로(14명/15명) 폐허탈이 유발되었으나 Univent군과 WEB군

에서는 흡인의 도움으로 폐허탈이 이루어진 경우가 각 군 15명중 7명과 14명으로 유의있는 차이를 보였다. Baraka 등의⁴⁴⁾ 보고에 따르면 흉강을 개방하기 전 비환기측 폐에 흡인을 시도하는 것은 흉곽내 과도한 음압을 유발하여 혈류를 환기 폐측에서 비환기 폐측으로 우회시킬 수 있고 이로 인해 심한 저산소혈증이 발생할 수 있다고 하였다. 흉강경 검사시 시야를 좋게 하기 위하여 이산화탄소를 주입할 때는 2 L/min 이하의 흐름으로 10 cmH₂O 이하의 압력이 되도록 해야 하는데 이보다 높은 압력은 종격동의 편위를 유발해 심혈관계를 불안하게 할 수 있다.

대부분의 흉곽수술은 전신마취와 함께 조절 호흡을 시행하는 것이 안전하다. 여러 다양한 마취 방법이 시도될 수 있으나 휘발성 할로젠화 마취제가 가장 선호된다. 그 이유는 첫째 마취 심도에 따라 기관지이완 효과를 나타내므로 기도 과민성의 측면에서 이로인한 점이 있다. 둘째 휘발성 흡입마취제의 사용으로 고농도의 산소투여가 가능하다. 셋째로 휘발성 흡입마취제는 쉽게 제거되므로 술 후 발관한 환자에서 저환기의 위험이 적다. 넷째로 보통 사용하는 임상용량에서(1 MAC) 심혈관계의 안정성을 제공한다. 다섯째 OLV 동안 정맥내 마취제에 비해 동맥혈 산소농도가 감소하지 않는다. 하지만 전신마취시 비환기폐의 HPV이 마취제에 의해 억제된다는 단점이 있다.

일측폐 환기동안의 수액요법은 폐손상과 연관되므로 중요하다. 수액의 양과 종류에 관해서는 아직 논쟁중이다. 교질용액의 투여는 혈관의 용적으로의 이동을 느리게하고 정질액보다 적은 양을 이동시키며 조직으로의 미세관류를 향상시켜 조직 산소 장력을 증가시킨다는 보고도 있으나^{45,46)} 폐혈중 환자에서는 교질용액을 사용했을 때 치사율이 증가하며⁴⁷⁾ 화상환자에서는 폐의 수분저류를 조장한다.⁴⁸⁾ 그러나 많은 연구에서^{39,49,50)} 수술전후로 2L 이상의 수액을 투여하는 것은 전폐절제술후 폐부종이나 급성 폐손상과 연관이 된다고 하였으며 대단위 분석에서는⁵¹⁾ 술 후 폐부종과 치명율에 있어 두 수액 간에 차이가 없다고 하였다.

일측폐 환기시 생길 수 있는 문제

저산소혈증

발생과 예측: OLV 시작 후 동맥혈 산소 분압은 급격히 감소하다가 15-20분 후에 서서히 감소한다. OLV시 저산소증이 예상되는 요인으로는 술전 호기 첫 1초에 측정되는 강제 호기량(FEV1), 폐 이외의 수술을 위한 흉곽절개술, 수술할 흉곽에의 관류량, 술전 낮은 동맥내 산소분압, 심박출량과 폐동맥압, 혈색소, 노인, 수술할 부위(좌, 우), 수술 체위(양와위, 측와위) 등이 있다. Katz에⁵²⁾ 의하면 술전 FEV1

이 낮은 경우에 저산소혈증의 발생 가능성이 낮은데 그 이유는 (1) 비의존폐가 OLV 시작 후 천천히 허탈되면서 산소화의 시간을 유지하고 (2) 폐병변에 이차적으로 혹은 만성적인 HPV로 인하여 비의존폐에 이미 혈류가 감소해있으며 (3) 수축된 비의존폐의 폐혈관이 꼬이면서 관류를 방해하고 (4) 의존폐에 내인성의 PEEP이 발생하여 FRC를 증대시키고 폐허탈을 방지하기 때문으로 설명할 수 있다. 또한 수술부위로의 관류가 많을수록 수술중 동맥혈 산소분압이 감소하는데 수술부위로의 혈류가 45% 이상인 경우에 저산소혈증의 빈도가 증가한다.⁵³⁾

Slinger 등은⁵⁴⁾ OLV 동안 산소포화도의 감소를 예견할 수 있는 중요한 요인으로 (1) 수술 부위 (2) TLV 동안의 PaO₂ 와 (3) 예상되는 술후 FEV1의 분율을 보고하면서 우측 폐가 좌측보다 혈류를 약 10% 정도 더 받기 때문에 우측폐 수술시 저산소혈증의 가능성이 더 높다고 하였으며 마취유도 후 TLV 동안의 PaO₂는 전신마취와 양압 환기, 측와위 상태에서의 환자의 호흡기계 비축분을 반영한다고 하였다.

OLV 동안 수용가능한 동맥혈 산소포화도를 결정할만한 연구는 아직 없지만 많은 연구에서^{54,55)} OLV 동안 산소포화도가 88-90% 정도로 감소한다고 보고하여 이 수치를 치료를 위한 기준으로 사용하고 있다.

산소화를 향상시키는 방법: 가장 효과적인 방법으로 알려진 것은 비의존폐에 10 cmH₂O의 지속적 기도양압(CPAP₁₀)을 적용하는 것이다. CPAP₁₀의 효과는 양압효과에 의해 혈류가 의존폐로 우회되는 이차적 효과에 의한 것이라기보다는 폐포가 산소로 팽창되어 가스 교환이 이루어지기 때문으로 생각된다. 많은 연구에서 CPAP₁₀의 적용으로 PaO₂의 극적인 상승을 보고하였다. 환기폐에 PEEP을 단독으로 혹은 비환기폐에의 CPAP₁₀과 같이 사용할 수 있다. PEEP₁₀을 단독으로 환기폐에 적용하면 PaO₂가 변화가 없거나 심지어 감소하는데 환기폐 내의 허탈 폐포를 팽창하는 효과가 지속적인 양압으로 인한 비환기 폐로의 혈류 증가로 상쇄되기 때문이다. 정리하면 OLV 동안에 저산소혈증을 관리하는 가장 유용한 방법은 비의존폐에 CPAP₁₀을 적용하면서 의존폐에 PEEP을 고려해보는 것이다.

이러한 모든 노력에도 불구하고 PaO₂가 향상되지 않는다면 집도의의 동의하에 간헐적으로 비의존폐를 환기시킨다. 또한 만일 전폐적출술이 계획된 경우라면 폐동맥을 결찰하는 것이 적출할 폐를 통한 선트를 제거해줄 것이다.

일산화질소(Nitric oxide, NO)는 혈관의 내피세포에서 분비되는 중요한 혈관이완 요인으로 NO 합성제를 요구하는 대사경로를 통해 L-arginine으로부터 생성되어 주변 혈관 평활근으로 확산되어 혈관이완을 일으킨다. NO는 guanylate cyclase에 있는 heme과 세포내에서 결합하여 guanylate cyclase를 활성화시켜 guanosine 3, 5-cyclic monophosphate (cGMP)

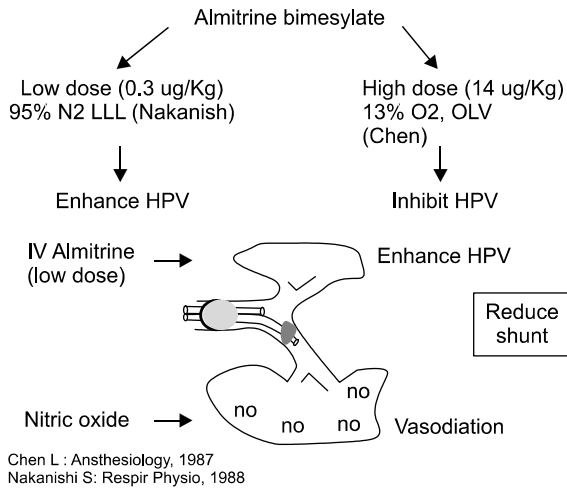


Fig. 4. Intravenous Almitrine bimesylate with inhaled NO.

를 합성하므로써 평활근을 이완시킨다. nitroprusside와 nitroglycerin 같은 임상적으로 사용되는 nitrovasodilator은 세포내에서 NO를 배출하므로써 그 효과를 나타낸다. 이 외에도 NO는 혈소판 응집, 신경전달과 항종양과 항세균성 효과를 나타낸다. NO흡입(5-80 ppm)은 폐혈관저항을 감소시킨다. NO가 전신적 효과는 없이 폐순환에 선택적으로 작용하는 것은 흡입된 NO는 혈관 안에 있는 헤모글로빈에 의해 신속하게 불활성화되기 때문이다. NO의 반감기는 110-130 ms로 혈관내로 확산된 NO는 전신적 혈관이완을 나타내기 전에 불활성화된다. 따라서 NO는 환기되는 폐포에 연결해있는 모세혈관에만 선택적으로 미세혈관이완을 일으키고 그로인해 V/Q matching이 향상된다. Nitroprusside와 nitroglycerin의 효과는 정맥내로 투여했을 때 비선택적으로 환기가 잘 안되는 폐포의 모세혈관도 이완을 유발하여 산소화를 악화시킬 수 있다. Frostell은⁵⁶⁾ 자원자들 군에서 저산소증시 흡입 NO의 효과를 연구하였는데 흡입된 NO는 전신혈관 이완을 일으키지 않으면서 HPV만 선택적으로 전환시켰다. 흡입 NO는 큰 좌-우 선트와 폐성 고혈압을 동반한 선천성 심장질환에서 임상적으로 주로 사용된다. OLV 동안의 NO의 사용은 의존폐의 혈관 이완으로 혈류를 증가시켜 선트를 감소시키므로써 비의존폐의 HPV의 효과를 보강한다. 그러나 최근에 Wilson 등은⁵⁷⁾ 6명의 환자에게 40 ppm의 NO를 적용하여 산소화에 있어 향상이 없음을 보고하였는데 폐혈관저항이 정상인 이러한 환자들에서는 선트에 변화가 없었기 때문이다. OLV시 NO의 적용은 저산소증과 폐혈관압이 증가된 경우에만 효과가 있다.

흡입 prostacyclin이 NO를 대체할 수 있다는 연구가 보고되었는데⁵⁸⁾ Hache 등은⁵⁹⁾ 흡입 prostacyclin이 폐동맥압을 감소시켜 흉곽절제술 환자에서 흡입산소농도에 대한 동맥혈

산소농도의 비를 향상시킴을 보고하면서 가격이 싸고 사용이 쉽기 때문에 앞으로 흉부수술에 이용되어질 가능성이 높음을 시사하였다.

Moutafis 등은⁶⁰⁾ 흉강경하 폐절제술을 받는 환자 20명을 대상으로 Almitrine과 NO를 병용하여 OLV시 PaO₂의 감소를 예방하였다(Fig. 4). Almitrine bimesylate는 말초의 화학적수용체 자극제로 낮은 용량에서 HPV를 증가시킨다. 따라서 NO 흡입과 정맥내 Almitrine의 혼용은 가스교환에 있어 부가적인 효과가 있어 비의존폐의 HPV를 극대화시키면서 의존폐의 혈관은 이완시켜 경폐 선트를 실질적으로 배제하게 만든다. 따라서 OLV 시에 산소화를 유지할 수 없을 정도로 호흡능력이 극도로 감소된 환자에서 고려해볼 수 있다. 또한 VAT 수술시에 비의존폐에 CPAP을 적용하면 집도의가 수술 시야를 확보할 수 없는 경우처럼 CPAP 사용이 어려운 경우에 유용할 것이다. almitrine이 곤란한 부작용을 나타내고 FDA에서 아직 승인이 나지 않았으므로 phenylephrine의 사용이 같은 목적에서 고려될 수 있다.^{61,62)}

OLV 동안 의존폐의 무기폐화는 동맥혈 산소화에 장애를 가져오고 사강을 증가시키므로 예방하는 것이 중요하다. Tusman 등의⁶³⁾ 연구에 의하면 OLV 동안에 의존폐에 40 cmH₂O의 최대 흡기압과 20 cmH₂O의 PEEP이 걸린 일회 호흡을 3분간 10번 적용하면(폐포 동원 작전, alveolar recruitment strategy) 술중 동맥혈 산소분압이 증가하였는데 이는 사강 환기의 감소로 환기 효율과 가스교환이 증가하기 때문이다.

과탄산혈증

허용범위내의 과탄산혈증이 주장되어왔는데 Sticher 등은⁶⁴⁾ 동맥혈 이산화탄소분압이 60-70 mmHg까지는 치료가 필요없다고 하면서 과탄산혈증군에서 심박출계수와 폐혈관저항이 증가하나 산소화에는 변화가 없음을 보고하였다.

역동적 폐과팽창

전형적인 환기방법은 역동적 폐과팽창 혹은 자동-PEEP을 유발한다. OLV을 받는 대부분의 환자들에서 자동 PEEP이 발생하는데 일회 환기량을 높이면 더 심해지고 흡기-호기 결정이 잘못되어 있거나 기관내 튜브의 직경이 작거나 고저항 튜브인 경우, 과도한 PEEP의 적용과 경보체제 없이 용량조절식 환기기계를 사용하는 경우에 잘 생긴다. 이로 인해 정맥혈 환류가 감소하고 좌측과 우측 심실부전과 심박출량의 감소가 생길 수 있다.⁶⁵⁾ 일반적인 마취기계와 대부분의 중환자실 환기 감시기구는 축적된 폐용적을 쉽게 감지하지 못하기 때문에 역동적 폐과팽창은 심정지의 원인이 될 수도 있다. 이상적으로는 호기흐름 측정기가 역동적

폐과팽창을 감시할 수 있으므로 임상적으로 의심이 될 때에는 환기기계로부터 환자를 즉각 분리시켜 호기 배출이 완전히 가능하도록 해야 한다.

압손상

압손상은 증가된 폐포의 과팽창이 지속될 때 발생하는데 압손상의 위험은 기관내튜브로 인한 호기저항이 증가할 경우, 기침으로 인한 저항이나 환기기에 대한 강력한 저항이 증가한 경우와 외부에서 주어지는 PEEP이 부적절할 경우에 증가한다. 이로 인해 폐의 과팽창뿐만 아니라 비의존 부위로의 종격동 전위와 증가된 팽창압이 발생된다. 압손상을 막기 위해서는 근이완제의 사용, 환기기로부터 간헐적으로 분리하기, 흡기 시간에 비해 상대적으로 긴 호기시간, 팽창압의 제한이 필요하다.

OLV 관리 동안에 명심해야할 점은 첫째 우측 DLT 사용시는 FOB로 우상엽에 환기가 적절히 되는지 확인하여야 하며 둘째 우측 흉강절개술을 하면서 좌측 DLT 사용시는 튜브의 끝이 좌상엽 입구를 막지 않는지 확인해서 저산소혈증을 예방해야만 한다. 마지막으로 최대기도압, spirometer로 측정된 일회호흡량과 capnogram 모양을 지속적으로 관찰하여 DLT 위치이상으로 인한 부적절한 가스교환을 발견해야만 한다. 최대기도압의 갑작스러운 증가는 외과적 조작에 의한 튜브의 위치변동을 나타낼 수 있다.

결 론

전체적인 흉곽의 수술이 증가되고 있으며 특히 흉곽의 내시경적 수술등 일측폐 환기가 절대적으로 요구되는 경우가 많아짐에 따라 이러한 환자를 최적으로 처치하기 위해서 측와위 자세, 일측폐 환기와 결과에 영향을 미치는 수술 중 변수들을 포함한 흉곽수술에 필요한 수기들의 병태생리를 이해하는 것이 마취과의사에게 필수불가결하다. 또한 일측폐 환기를 성공적으로 수행하는데 필요한 기구들의 정확한 사용법을 익히고 문제점을 파악하여 해결해 갈 능력을 키워야한다.

참 고 문 헌

1. Benumof JL: One-lung ventilation and hypoxic pulmonary vasoconstriction: implications for anesthetic management. *Anesth Analg* 1985; 64: 821-33.
2. Larsson A, Malmkivist G, Werner O: Variations in lung volume and compliance during pulmonary surgery. *Br J Anaesth* 1987; 59: 585-91.
3. Tarhan S, Lundborg RO: Carlens endobronchial catheter versus

- regular endotracheal tube during thoracic anesthesia: a comparison of blood gas tensions and pulmonary shunting. *Can Anaesth Soc J* 1971; 18: 594-9.
4. Benumof JL: Anesthesia for thoracic surgery, 2nd ed. Philadelphia, WB Saunders 1995, pp 330-89.
5. Benumof JL: Hypoxic pulmonary vasoconstriction and sodium nitroprusside infusion. *Anesthesiology* 1979; 50: 481-3.
6. McFarlane PA, Mortimer AJ, Ryder WA, Madgwick RJ, Gardaz JP, Sykes MK: Effects of dopamine and dobutamine on the distribution of pulmonary blood flow during lobar ventilation hypoxia and lobar collapse. *Br J Anaesth* 1982; 54: 784
7. Redding GJ, Tuck R, Escourrou P: Nifedipine attenuates hypoxic pulmonary vasoconstriction in awake piglets. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129: 785-9.
8. Conover WB, Benumof JL, Key TC: Ritodrine inhibition of hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Am J Ob Gyn* 1983; 146: 652-6.
9. Marin JLB, Orchard C, Chakrabarti MK, Sykes MK: Depression of hypoxic pulmonary vasoconstriction in the dog by dopamine and isoprenaline. *Br J Anaesth* 1979; 51: 303-12.
10. Benumof JL, Trousdale FR: Aminophylline does not inhibit canine hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126: 1017-9.
11. Bishop MJ, Kennard S, Artman LD, Cheney FW: Hydralazine does not inhibit canine hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Am Rev Respir Dis* 1983; 128: 998-1001.
12. Froese AB, Bryan AC: Effects of anesthesia and paralysis on diaphragmatic mechanics in man. *Anesthesiology* 1974; 41: 242-55.
13. Dantzker DR, Wagner PD, West JB: Instability of lung units with low V/Q ratios during O₂ breathing. *J Appl Physiol* 1975; 38: 886-95.
14. Ray JF III, Yost L, Moallem S, Sandos GM, Villamena P, Paredes RM, et al: Immobility, hypoxemia and pulmonary arteriovenous shunting. *Arch Surg* 1974; 109: 537-41.
15. Robertshaw FL: Low-resistance double-lumen endobronchial tubes. *Br J Anaesth* 1962; 34: 576-9.
16. Kaplan JA, Slinger PD: Thoracic anesthesia. 3rd ed. Pennsylvania, Churchill Livingstone. 2003, pp 159-73.
17. Campos JH, Massa FC, Kernstine KH: The incidence of right upper-lobe collapse when comparing a right-sided double-lumen tube versus a modified left double-lumen tube for left-sided thoracic surgery. *Anesth Analg* 2000; 90: 535-40.
18. Campos JH, Gomez MN: Pro:right-sided double-lumen endotracheal tubes should be routinely used in thoracic surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16: 246-8.
19. Cohen E: Con: right-sided double-lumen endotracheal tubes should not be routinely used in thoracic surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16: 249-52.
20. Hammer GB, Fitzmaurice BG, Brodsky JB: Methods for single-lung ventilation in pediatric patients. *Anesth Analg* 1999; 89: 1426-9.
21. Pawar DK, Marraro GA: One lung ventilation in infants and

- children: experience with Marraro double lumen tube. *Paediatr Anaesth* 2005; 15: 204-8.
22. Hannallah MS, Benumof JL, Bachenheimer LC, Mundt DJ: The resting volume and compliance characteristics of the bronchial cuff of left polyvinylchloride double-lumen endobronchial tubes. *Anesth Analg* 1993; 77: 1222-6.
 23. Ovassapian A: *Fiberoptic endoscopy and the difficult airway*. 2nd ed. Philadelphia, Lippincott-Raven. 1996, pp 117-56.
 24. Pennefather SH, Russel GN: Placement of double lumen tubes-time to shed light on an old problem. *Br J Anaesth* 2000; 84: 308-10.
 25. Klein U, Karzai W, Bloos F, Wohlfarth M, Gottschall R, Fritz H, et al: Role of fiberoptic bronchoscopy in conjunction with the use of double-lumen tubes for thoracic anesthesia: a prospective study. *Anesthesiology* 1998; 88: 346-50.
 26. Brodsky JB, Lemmens HJ: Left double-lumen tubes: clinical experience with 1,170 patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2003; 17: 289-98.
 27. Brodsky JB, Macario A, Cannon WB, Mark JB: "Blind" placement of plastic left double-lumen tubes. *Anaesth Intensive Care* 1995; 23: 583-6.
 28. Ducros L, Moutafis M, Castelain MH, Liu N, Fischler M: Pulmonary air trapping during two-lung and one-lung ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1999; 13: 35-9.
 29. Inoue S, Nishimine N, Kitaguchi K, Furuya H, Taniguchi S: Double lumen tube location predicts tube malposition and hypoxemia during one lung ventilation. *Br J Anaesth* 2004; 92: 195-201.
 30. Seymour AH, Prasad B, McKenzie RJ: Audit of double-lumen endobronchial intubation. *Br J Anaesth* 2004; 93: 525-7.
 31. Ginsberg RJ: New technique for one-lung anesthesia using an endobronchial blocker. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1981; 82: 542-6.
 32. Arndt GA, Kranner PW, Rusy DA, Love R: Single-lung ventilation in a critically ill patient using fiberoptically directed wire-guided endobronchial blocker. *Anesthesiology* 1999; 90: 1484-6.
 33. Wald SH, Mahajan A, Kaplan MB, Atkinson JB: Experience with the Arndt paediatric bronchial blocker. *Br J Anaesth* 2005; 94: 92-4.
 34. Ozaki M, Murashima K, Fukutome T: One-lung ventilation using the ProSeal™ laryngeal mask airway. *Anaesthesia* 2004; 59: 726.
 35. Inoue H, Shohtsu A, Ogawa J, Kawada S, Koide S: New Device for one-lung anesthesia: endotracheal tube with movable blocker. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1982; 82: 940-1.
 36. Campos JH, Kernstine KH: A structural complication in the torquecontrol blocker Univent: fracture of the blocker cap connector. *Anesth Analg* 2003; 96: 630-1.
 37. Hammer GB, Brodsky JB, Redpath JH, Cannon WB: The Univent tube for single lung ventilation in children. *Paediatr Anaesth* 1998; 8: 55-7.
 38. Szegedi LL, Barvais L, Sokolow Y, Yemault JC, d'Hollander AA: Intrinsic positive end-expiratory pressure during one-lung ventilation of patients with pulmonary hyperinflation. Influence of low respiratory rate with unchanged minute volume. *Br J Anaesth* 2002; 88: 56-60.
 39. Licker M, de Perrot M, Spiliopoulos A, Robert J, Diaper J, Chevalley C, et al: Risk factors for acute lung injury after thoracic surgery for lung cancer. *Anesth Analg* 2003; 97: 1558-65.
 40. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network: Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Eng J Med* 2000; 342: 1301-8.
 41. Turul M, Camci E, Karadeniz H, Sentrk M, Pembeci K, Akpir K: Comparison of volume controlled with pressure controlled ventilation during one-lung anaesthesia. *Br J Anaesth* 1997; 79: 306-10.
 42. Sentrk NM, Dilek A, Camci E, Sentrk E, Orhan M, Tugrul M, et al: Effects of positive end-expiratory pressure on ventilatory and oxygenation parameters during pressure-controlled one-lung ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2005; 19: 71-5.
 43. Han JI, Kim DY, Lee GY, Kim CH: Comparison of the effects among three methods of bronchial blockade in one lung ventilation. *Korean J Anesthesiol* 2003; 44: 210-6.
 44. Baraka A, Nawfal M, Kawkabani N: Severe hypoxemia after suction of the nonventilated lung via the bronchial blocker lumen of the Univent tube. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1996; 10: 694-5.
 45. Vaupshas HJ, Levy M: Distribution of saline following acute volume loading: postural effects. *Clin Invest Med* 1990; 13: 165-77.
 46. Lang K, Boldt J, Suttner S, Haisch G: Colloid versus crystalloids and tissue oxygen tension in patients undergoing major abdominal surgery. *Anesth Analg* 2001; 93: 405-9.
 47. Boldt J: The good, the bad, and the ugly: should we completely banish human albumin from our intensive care units? *Anesth Analg* 2000; 91: 887-95.
 48. Goodwin CW, Dorethy J, Lam V, Pruitt BA: Randomized trial of efficacy of crystalloid and colloid resuscitation on hemodynamic response and lung water following thermal injury. *Ann Surg* 1983; 197: 520-31.
 49. Zeldin RA, Normandin D, Landtwing D, Peters RM: Postpneumonectomy pulmonary edema. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1984; 87: 359.
 50. Verheijen-Breemharr L, Bogaard JM, van den Berg B: Noncardiogenic pulmonary edema complicating lung resection. *Ann Thorac Surg* 1988; 43: 323-6.
 51. Choi PT-L, Yip G, Quinonez LG, Cook DJ: Crystalloids vs. colloids in fluid resuscitation: a systematic review. *Crit Care Med* 1999; 27: 200-10.
 52. Katz JA, Laverne RG, Fairley HB, Thomas AN: Pulmonary oxygen exchange during endobronchial anesthesia: effect of tidal volume and PEEP. *Anesthesiology* 1982; 56: 164-72.
 53. Dunn PF: Physiology of the lateral decubitus position and one-

- lung ventilation. *Int Anesthesiol Clin* 2000; 38: 25-53.
54. Slinger P, Suissa S, Triolet W: Predicting arterial oxygenation during one-lung anaesthesia. *Can J Anaesth* 1992; 39: 1030-5.
55. Severinghaus JW, Naifeh KH: Accuracy of response of six pulse oximeters to profound hypoxemia. *Anesthesiology* 1987; 67: 551-8.
56. Frostell CG: Reassessment of inhaled nitric oxide in acute lung injury. *Acta Pharmacol Sin* 2003; 24: 1314-5.
57. Wilson WC, Kapelanski DP, Benumof JL, Newhart 2nd JW, Johnson FW, Channick RN: Inhaled nitric oxide (40 ppm) during one-lung ventilation, in the lateral decubitus position, dose not decrease pulmonary vascular resistance or improve oxygenation in normal patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1997; 11: 172-6.
58. Lowson SM: Inhaled alternatives to nitric oxide. *Anesthesiology* 2002; 96: 1504-13.
59. Hache M, Denault AN, Belisle S, Couture P, Babin D, Tetrault F, et al: Inhaled prostacyclin (PGI₂) is an effective addition to the treatment of pulmonary hypertension and hypoxia in the operating room and intensive care unit. *Can J Anaesth* 2001; 48: 924-9.
60. Moutafis M, Liu N, Dalibon N, Kuhlman G, Ducros L, Castelain MH, et al: The effects of inhaled nitric oxide and its combination with intravenous almitrine on PaO₂ during one-lung ventilation in patients undergoing thoroscopic procedures. *Anesth Analg* 1997; 85: 1130-5.
61. B'chir A, Mebazaa A, Losser MR, Romieu M, Payen D: Intravenous almitrine bimesylate reversely induces lactic acidosis and hepatic dysfunction in patients with acute lung injury. *Anesthesiology* 1998; 89: 823-30.
62. Bouche P, Lacomblez L, Leger JM, Chaunu MP, Ratinahirana H, Brunet P, et al: Peripheral neuropathies during treatment with almitrine: report of 46 cases. *J Neurol* 1989; 236: 29-33.
63. Tusman G, Bohm SH, Sipmann FS, Maisch S: Lung recruitment improve the efficiency of ventilation and gas exchange during one-lung ventilation anesthesia. *Anesth Analg* 2004; 98: 1604-9.
64. Sticher J, Muller M, Scholz S, Schindler E, Hempelmann G: Controlled hypercapnea during one-lung ventilation in patients undergoing pulmonary resection. *Acta Anaesthesiol Scand* 2001; 45: 842-7.
65. Myles PS, Ryder IG, Weeks AM, Williams T, Esmore DS: Diagnosis and management of dynamic hyperinflation during lung transplantation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1997; 11: 100-4.