

인공호흡기의 점검 (Safety Care of Ventilators)

서울대학교병원 마취통증의학과

안 원 식

의료인이 환자 진료를 위해 배우고 익히는 지식에는 의학 자체도 있지만, 약제 관련된 것도 매우 많다. 그런데 의료인이 환자 진료를 위해 사용하는 지식, 약제 이외에 소위 의료기기로 표현되는 많은 장비가 있다. 하지만 의료기기는 의료인이 알기에는 매우 어려운 마법 상자라 취급하고 의공학 과나 의료기기 회사에서 관리해 주어야 하는 것으로 생각하면서 기본적인 지식 학습을 소홀히 하는 것이 사실이다. 하지만 환자에게 직접 연결되거나 환자의 상태 평가에 사용되는 의료기기의 원리를 이해하고 적절한 상태를 유지하는 것은 의료의 질 향상에 크게 이바지할 것으로 생각된다. 이에 이번 강좌에서는 환자에게 인공호흡을 시킬 때 사용하는 인공호흡기(automatic ventilator)와 수동환기기(manual resuscitator)의 구조와 작동 원리의 기본을 알아보도록 하겠다.

인공호흡기(Ventilator) 구조

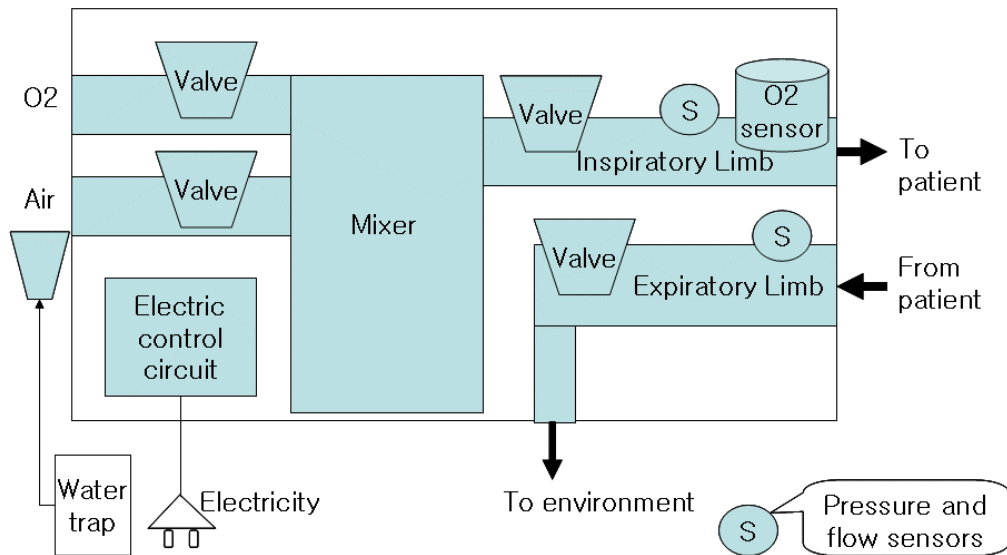


Fig 1. MV 2000 인공호흡기의 구조도.

인공호흡기는 고압의 산소와 공기를 받아들여서 감압 후 적절한 비율로 혼합하여 환자에게 투여하는 것이 기본적인 사항이다. 이 때 공기 중에 포함될 수 있는 수분을 제거하기 위해 water trap을 장착하고 각종 측정장치를 설치하며, 세부적인 조절과 화면 표시를 위해 전자 장치를 더한 것이 개략적인 구조이다(Fig. 1).

구체적인 부분을 살펴보면, 중앙배관이나 탱크, compressor에 의해 공급 받는 산소와 공기는 대략 50 psi (3.5 kg/cm²)의 압력을 유지한다. 이것을 적절한 압력 조절 밸브를 통과 시킨 후 혼합기에서 의료인이 설정한 산소 농도에 맞게 비율을 정해 섞은 후 30 psi 정도의 압력을 유지한다. 이 후 유량(flow)과 압력을 설정값과 같이 유지되도록 조절하면서 환자에게 투여한다. PEEP은 배기관에 있는 밸브를 조절하면서 압력을 유지하여 발생시킨다(Fig. 2). 이렇듯 회로 내에는 고압의 가스가 흐르고 있으므로 인공호흡기 점검에서 오류가 발생하는 경우에 무리하게 환자에게 적용시키거나 자기 점검을 생략하고 환자에게 적용시킬 때는 고압에 의한 폐손상이 발생할 수 있다.

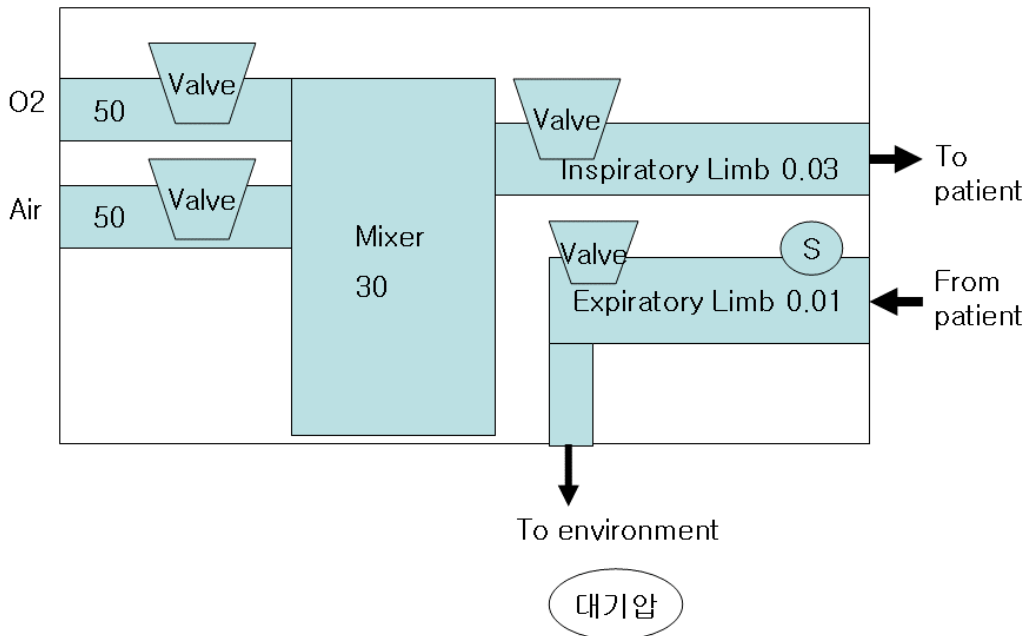


Fig. 2. 인공호흡기 회로내 압력(단위: psi).

의료용 공기와 물

인공호흡기에 공급되는 산소는 고압 산소 탱크에 저장되어 있다가 중앙배관을 통해 들어오기 때문에 수증기가 포함되어 있지 않다. 그렇지만 의료용 공기는 별도의 탱크가 있는 것이 아니고 compressor라는 장비에 의해 공기를 압축하고 radiator로 저온화 시켜 만든다(Fig. 3). 이 과정에서 최대한 수증기를 제거하게 되지만 인공호흡기에 도달하면 압력이 낮아지면서 일시적으로 공기내에 포함된 수증기가 물로 응결될 조건이 형성되지만 단열 팽창에 따른 온도 상승으로 응결되지 않고 기체 상태로 존재하게 된다. 하지만 겨울철 등 특수한 상황에서는 수증기가 물로 응결될 수 있다. 수증기 함량은 oil 처리가 가능한 중앙 배관 compressor에서는 비교적 적으나 인공호흡기에 붙어

있는 이동형 compressor는 수증기를 상대적으로 많이 포함하고 있기에 물이 발생할 확률이 더 높다. 이러한 원인으로 대부분의 인공호흡기는 공기 투입구에 water trap을 가지고 있다(Fig. 4). 물이 흡기 회로에 들어가면 인공호흡기 오작동을 유발할 수 있으므로 water trap에 물이 있는지 여부를 수시로 확인하고 발견되면 적절한 조치를 취해야 한다.

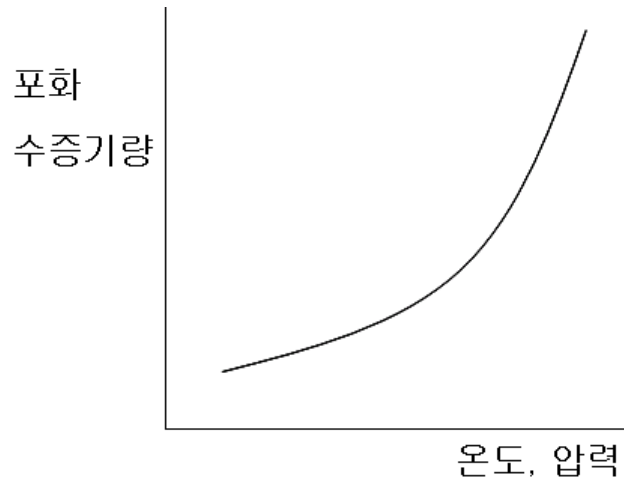


Fig. 3. 온도와 압력 변화에 따른 포화수증기 변화.



Fig. 4. Water trap이 연결된 공기 연결부.

Oxygen Sensor

인공호흡기에서 유일한 화학적 측정은 산소의 측정이다. 최근에 사용되는 Oxygen sensor는 주어진 산소에 의해 납을 산화시켜 특정회로의 저항 값을 변환되는 것을 이용한다. 건진지를 오래 사용하면 더 이상 전류를 발생시킬 수 없듯이 oxygen sensor를 오래 사용하면 반응하는 납이 줄어들어 수명을 다하게 된다. 통상적으로 5천-1만시간 측정이 가능 하기에 대개 1년-2년간 사용하게 된다. 그러므로 적절한 점검 주기를 설정하여 calibration을 시켜야 사용 후반부에 정확한 산소 수치를 표시해 주며, 교환할 시간이 되면 적절히 교환해야 하는 소모품임을 알고 있어야 한다(Fig. 5).

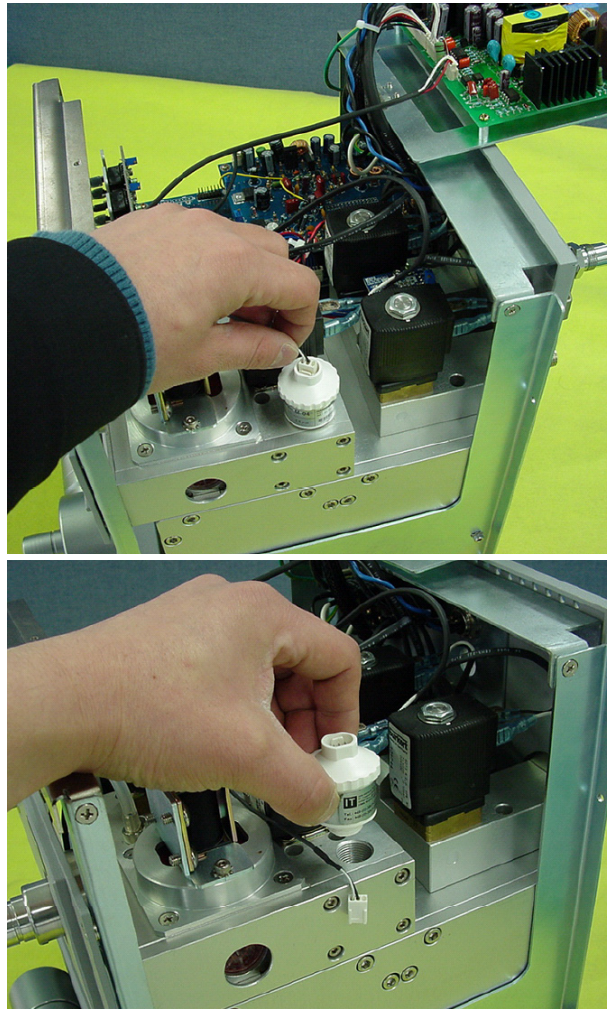


Fig. 5. Oxygen sensor의 교환.

압력 측정

임상가들이 사용하는 여러 호흡 변수 중 인공호흡기에서 직접 측정하는 것은 압력과 유량이다. 압력은 신축력이 있는 저항 회로소자를 포함한 전자 부품으로 측정하는 것이 일반적이다. 이러한 소자는 압력에 따라 길이가 달라지고, 길이가 달라지면 저항이 달라져서 전자회로에서 압력 측정이 가능하게 된다. 이 때 압력은 대기압과 비교한 상대적인 압력을 측정하는 것이 대부분으로 압력 변화에 민감한 소자일수록 온도에도 민감하여 인공호흡기를 작동하기 시작했을 때 측정된 압력과 1시간 후에 측정된 압력이 다르게 나올 수 있다(Fig. 6).

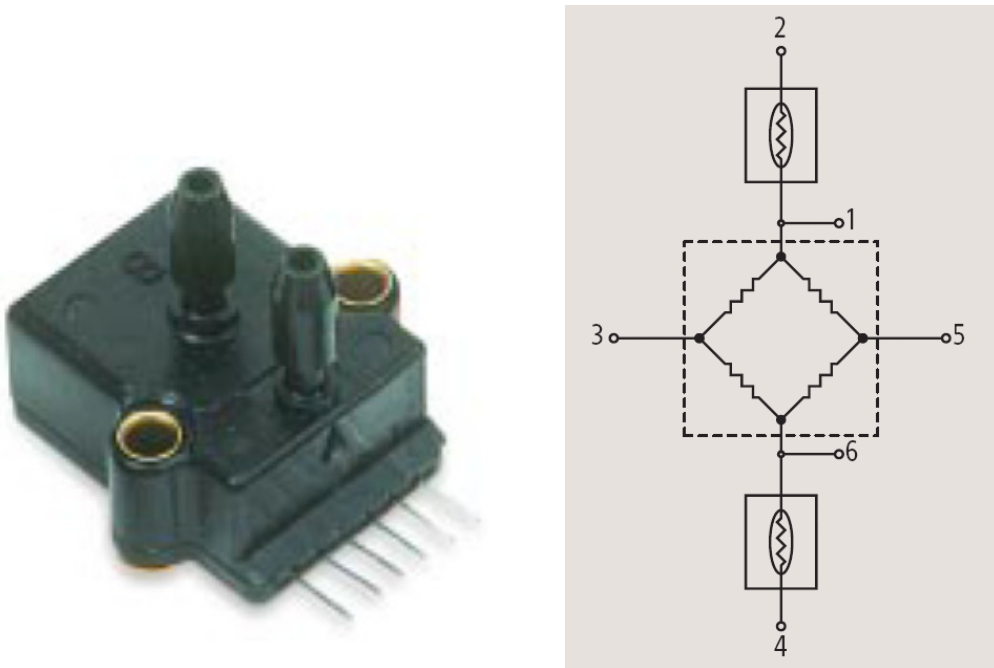


Fig. 6. 압력 센서와 회로도.

유량 측정

유량의 측정은 다양한 방법이 이용되고 있다. 과거에는 기계식으로 회전하는 스크루나 원판이 주류를 이루었으나 최근에는 전자 제품이 이를 대체하고 있다. 그래서 고속의 기류에 의한 압력 변화를 이용한 센서, 얇은 판막을 진후로 한 압력의 차이를 저항값의 변화로 측정하는 센서, 유량이 흐름에 따라 백금의 미세한 온도 저하를 측정하는 백금 센서 등이 사용되고 있다(Fig. 7).

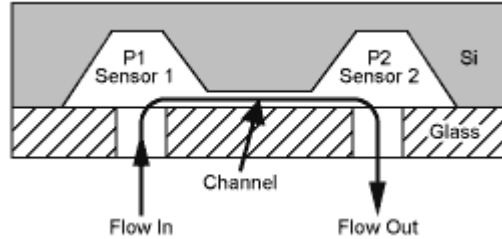


Fig. 7. Flow sensor.

측정장비 위치와 오차

측정장비의 정확성과 오차를 이해하려면 센서의 위치가 어디인가를 고려하여야 한다. 일반적으로 임상가들이 사용하기 불편해하여 최근에는 장착된 기종이 줄어든 기관내 튜브 근처의 센서는 인공 호흡기 내의 센서보다 정확도가 높다(Fig. 8). 하지만 기관내 튜브 근처의 센서는 손상될 위험성도 더 높으므로 장비의 유지나 오작동에 대한 관심을 더 많이 기울이는 것이 좋다.

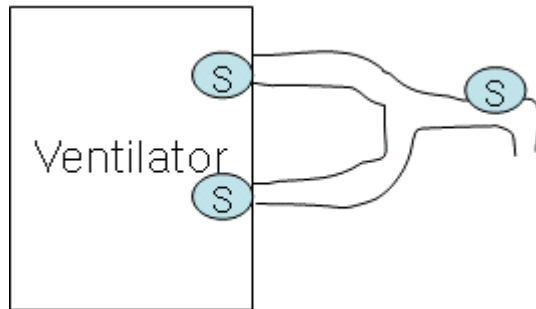


Fig. 8. 두 가지 센서 위치.

전자회로 관리

압력과 유량 이외의 모든 호흡 매개 변수, 즉 일회 호흡량, 폐 유순도, 분당 호흡수 등은 모두 전자회로의 계산에 의해 구해진다. 또한, 각 장치의 미세한 조절도 전자 회로와 탑재된 소프트웨어의 조절에 의해 구해진다. 그러므로 일반적인 전자 장치의 사용 원칙인 먼지나 충격으로부터 보호와 안정된 전압 유지, 적절한 접지 전원 사용은 필수적이다. 특히, 접지 전원의 사용은 전기 장치를 많이 사용하는 중환자실에서 의료인의 감전 예방을 위해 꼭 지켜야 하는 사용 수칙이다.

인공호흡기 정기점검법

상기와 같은 특성을 가지는 인공호흡기의 성능 유지를 위한 점검 방법은 크게 두 가지가 있다.

하나는 정기적인 시간을 정해 놓고 부품 등을 교체하는 time based maintenance (TBM) 방식이고, 다른 하나는 condition based maintenance (CBM) 방식이다. TBM은 이상이 생기기 전에 부품을 교체하므로 성능 유지가 우수하지만 유지 비용이 많이 들고, CBM 방식은 저렴하지만 수리 기간 동안에 사용 제한이 있으며, 사용 중 고장 발생의 위험성이 있다. 최근에는 두 가지 방식을 적절히 혼합하여 각 병원 의공학과와 과내 점검 지침을 제작하는 추세이고, 2007년 의료기관 평가에는 인공호흡기 점검을 1회 이상 수행하는 항목이 추가 되었다. 이에 가스 압력, 설정 압력 조절, 유량, PEEP, 호흡 간격 등 일반적인 점검항목은 6-12개월마다 점검하고, oxygen sensor와 기타 전자 장치는 전체 키트를 이상이 있을 때 한꺼번에 교환하는 방식으로 점검 지침을 마련하고 있다.

수동 인공환기기(Manual Resuscitator)

수동 인공환기기(manual resuscitator)는 인공호흡기가 고장나거나 이동시 사용하는 간단하지만 중요한 인공호흡 보조 장치이다(Fig. 9). 수동 인공환기기도 평상시 정기적인 점검을 하여 중요한 순간에 적절한 기능을 발휘할 수 있도록 유지되어야 한다. 수동 인공환기기의 점검 사항으로는 기낭 앞 뒤쪽에 각각 존재하는 일방 동행판이 정상적으로 작동하는지 점검을 꼭 포함하여야 한다(Fig. 10).

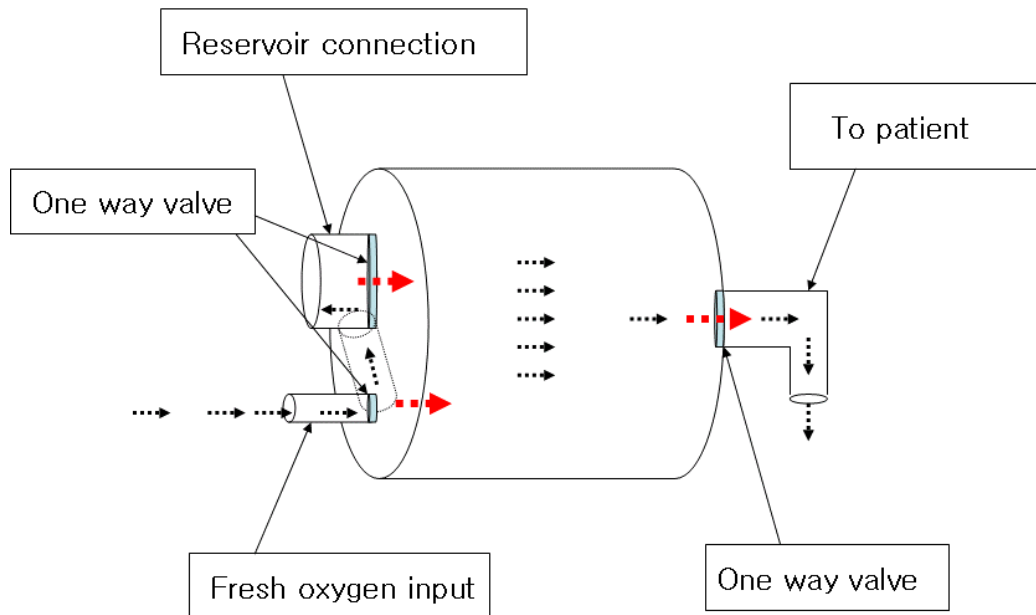


Fig. 9. 수동 인공환기기(manual resuscitator)의 모식도.

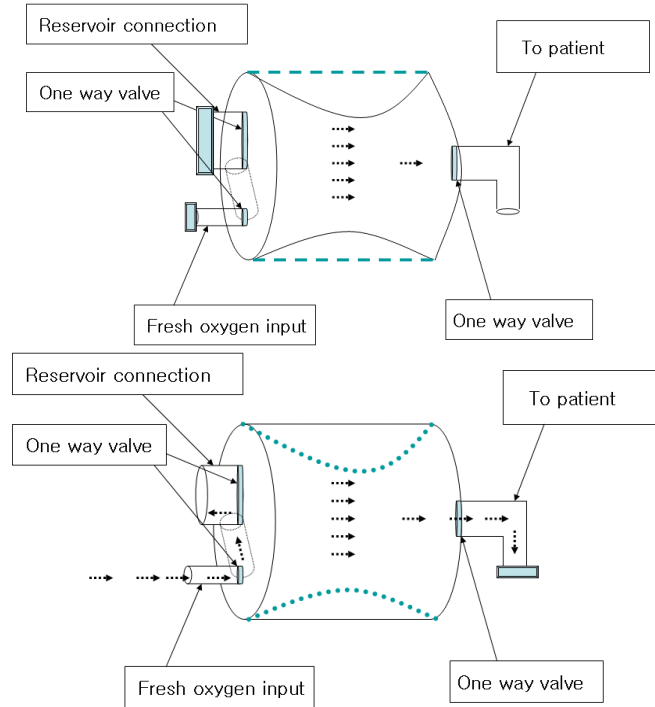


Fig. 10. 수동 인공환기기 앞 뒤에 있는 일방 통행판의 기능 점검 모식도. 흡기와 호기시에 일방통행판 작동이 정상적인지 여부를 점검하여야 한다.

최근 수술실에서 table death 선언한 환자가 있었다. 환자는 17세의 여성이었고, status epilepticus로 인공호흡기 치료를 받으며 중환자실에서 있다가 panperitonitis가 있어 응급 수술이 결정되었다. 수술을 위해 수동 인공환기기(manual resuscitator)를 사용하며 수술실로 이동하는 중 맥박산소포화도가 떨어지고, 수술장 입구에서는 심박수도 감소하여 수술실에 도착한 후 심장 압박하면서 마취기를 연결하였다. 잠시 맥박 산소포화도가 증가하였으나 최종적으로 사망하였다.

상기의 증례에서 아쉬웠던 점은 수동 인공환기기에 산소는 연결되어 있었으나 reservoir bag이 연결되어 있지 않았다. 폐 기능이 일정 수준 이상인 환자는 저농도의 산소로도 큰 문제가 없지만 고농도의 산소가 필수적인 환자의 경우 수동 인공환기기를 사용하여 적절한 산소 분압이 제공되지 않았을 경우 나쁜 예후를 발생시킬 수 있다. 이러한 결과를 예방하기 위해서는 수동 인공환기기의 구조와 고농도 흡기 산소 유지를 위한 적절한 사용법 이해가 필수적이므로 요약해 보면 다음과 같다.

수동 인공환기기는 흡기 중에 앞 쪽에 있는 일방통행판이 열려 환자에게 가스를 공급해 주는데 이 때 뒤에 있는 일방통행판은 막히게 된다. 호기 중에는 앞 쪽 일방 통행판이 막히고 뒤에 있는 일방통행판이 열려서 산소가 연결된 경우 고농도의 산소와 저장낭(reservoir)에 있는 가스가 함께 들어와 고농도의 산소를 유지하게 된다. 그런데 만약 고유량의 산소를 연결하였다고 하여도 저장낭을 연결하지 않았을 경우 어느 정도의 흡기 산소 농도가 나오는지 계산해 보자. 계산의 편의를 위해 분당 15회로 호흡을 시키고, I : E는 1 : 2로 호흡하고, 100%의 산소는 분당 6리터(0.1 L/sec)로 공급한

다고 가정하고, 일회환기량은 1 L라고 하자. 수동 인공환기기 안에 들어가는 신선 가스의 산소 농도를 계산하기 위해서는 호기 시간 동안에 들어가는 산소의 비율을 알면 된다. 왜냐하면 흡기 중에는 뒤 쪽 일방 통행판이 막혀서 가스가 들어오지 않기 때문이다. 분당 15회의 호흡이므로 일회 호흡 시간은 4초이고 I : E가 1 : 2이므로 호기 시간은 약 2.7초가 된다. 이 때 100% 산소는 초당 0.1 리터가 공급되므로 총 0.27 리터가 기낭으로 들어간다. 일회환기량 1 리터에서 부족되는 0.73 리터는 저장낭이 있을 경우에는 저장낭에 모인 가스가 들어와 고농도의 산소를 유지하지만 없을 경우에는 대기가 들어오게 되므로 21%의 산소 가스가 들어와 실제 산소는 0.15 리터만 존재하게 된다. 그러므로 1 L에 존재하는 산소는 0.42 (= 0.27 + 0.15) 리터가 되어 42%의 산소 농도를 유지한다. 하지만 호흡 횟수를 30회 정도로 증가 시키면 20%대의 흡기 산소 농도를 보일 수도 있다. 그러므로, 고농도의 산소 농도가 필요한 환자에서는 수동 인공환기기에 저장낭을 꼭 부착하고 저장낭이 collapse되지 않도록 적절한 신선 산소 유량을 유지하고 환기 횟수를 천천히(10-15회/분)하여 사용하여야 한다.

맺음말

인공호흡기를 임상가들이 직접 점검하지는 않지만 전반적인 작동 원리를 이해하고 있으면 환자에게 해가 될 수 있는 상황을 예방하는데 도움이 되므로 작동 원리의 기본적인 지식은 학습하는 것이 도움이 될 것이다. 특히, 고압의 가스가 환자에게 공급될 수 있는 상황, 공기 배관에서 나올 수 있는 물 등을 이해하는 것이 필요하겠다. 또한, 수동 인공환기기의 구조와 작동 원리를 이해하여 저장낭을 적절히 사용하는 것이 필요하겠다.

REFERENCES

1. MV 2000 사용자 매뉴얼, 서비스 매뉴얼. 2007, 맥아이씨에스, 춘천, 대한민국.
2. AN884 application note. 2007, Maxim Integrated Products, Sunnyvale, CA, USA.
3. SCX01DN. 2007, Invensys sensor system, Milpitas, CA, USA.
4. Ambu Mark IV product catalog. 2006, Ambu, Ballerup, Denmark.
5. Davidov B, Deas A, Zagreblenny O: Oxygen cells for dive applications: sourcing, performance, safety and reliability. Results of a 6 year study. 2007. Deep Life Ltd. Glenrothes, Scotland.
6. Lauer J: Sensors for gas phase oxygen analysis. 2007. Teledyne analytical instruments. Industry, CA, USA