

PART

II

# 기계환기치료의 기초 지식

도서  
출판

대한의학

Publishing · Editing & Medical Books Import · Sales

---

1. 호흡생리와 호흡부전의 병태생리

---

2. 인공호흡기와 작동방식

# 1 호흡생리와 호흡부전의 병태생리

## A 호흡의 해부 및 생리

호흡이란 폐에서 혈액 속으로 산소를 집어 넣어 산소를 필요로 하는 신체의 각 부분에 옮기고, 그곳에서 생성된 이산화탄소를 폐로 운반하여 호기 중으로 배출하는 것이다. 호흡부전이란 어떤 형태든지 폐에서의 가스교환이 장애를 받은 상태를 말한다.

### 1 기도 해부

기억해야 할 POINTS

**P** 입과 코부터 종말 세기관지까지는 흡입 공기를 가스교환이 이루어지는 폐포까지 이송하는 conducting zone이며, 종말 세기관지 이후에는 확산에 의해 가스교환을 맡기는 transitional and respiratory zone이 된다.

기도는 구강, 비인두에서 시작되어 후두를 거쳐 기관, 기관지가 된다. 나아가 기관지는 각 폐엽으로 들어가 평균 15~16회로 세분되어 종말 모세기관지가 되며, 최종적으로는 20~23회까지 세분되어 호흡 세기관지, 폐포관, 폐포를 이룬다(그림 1). 폐포의 직경은 약 0.3 mm이고 갯수는 2, 3세까지 증가하여 최종적으로 3~4억 개에 이른다. 총 표면적은 사촌기까지 증가하여 50~100 m<sup>2</sup>에 이른다. 폐포주머니는 계면활성제(surfactant), 폐포상피, 기저막을 사이에 두고 혈관내피세포와 접하고 있다. 흡입된 공기는 종말 세기관지까지는 기류에 따라 이동하지만, 그 후에는 세분화되어 총 단면적이 증가하기 때문에 기류 속도가 급격하게 감소하면서 확산이 환기의 주요 기전이 된다.

### 2 폐용적 분획

기억해야 할 POINTS

**P** 폐용적은 호흡생리나 병태생리를 이해하는 데 있어 기본적인 지표다.

일회호흡량(tidal volume, VT)은 안정 시 자연스럽게 호흡할 때 한 번 호흡 시 환기량이다. 심호흡 시의 환기량은 폐활량(vital capacity, VC)이다. 안정호기상 상태에서 최대로 내뿜을 수 있는 환기량을 호기에비량, 안정흡기상 상태에서 최대로 들이마실 수 있는 환기량을 흡기에비량이라고 한다. 안정호기상 상태에서 폐에 남아 있는 공기량(잔기량 + 호기에비량)을 기능잔기용량(functional residual capacity, FRC)이라고 하며, 몸에 있어 귀중한 산소 reservoir를 이루고 있다(그림 2). 그러나 잔기량(residual volume, RV), FRC는 일반적인 폐활량기(spirometer)로는 측정할 수 없기 때문에 체적변동기록법(body plethysmography)이나 헬륨을 사용한 특수한 방법(helium dilution technique)으로 측정한다.

호기 도중 말초기도가 폐쇄되기 시작할 때의 폐용적을 폐쇄용적량(closing capacity, CC)이라고 한다. CC가 FRC보다 크면 안정호기상에서도 말초기도가 닫힘으로써 저산소혈증이 되기 쉽다. 소아의 경우 FRC가 적기 때문에 FRC < CC이지만, 7세 이후부터는 FRC > CC가 된다. 그러나 연령증가와

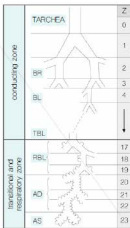


그림 1 Weibel에 의한 사람 기도의 해석

Z: 기도분지 수, BR: 기관지, BL: 세기관지, TBL: 종말 세기관지, RBL: 호흡 세기관지, AD: 폐포관, AS: 폐포주머니

(원문 1, p. 11에서 인용하여 변경)

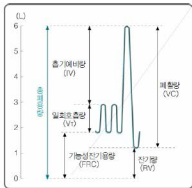


그림 2 폐용적 분획

안정호흡 시의 환기량이 일회호흡량(VT), 최대환기 자세에서 노력성 호기를 시행한 깊이 폐용량(VC), 안정호흡 자세 시 폐에 남아 있는 공기량을 기능성잔기용량(FRC), 안정호흡 자세 후타는 잔기량(RV)이라고 부른다. FRC 및 RV는 폐기능측정 기로는 측정할 수 없다.

함께 CC가 증가하게 되는데, 좌위에서  $FRC < CC$ 가 되는 시점은 약 65세, 양위위에서는 약 45세 정도라고 한다. CC는 마취나 기계환기에서는 변하지 않는다고 알려져 있지만 비만, 임신, 진정 및 마취 등에서는 FRC가 감소되고  $CC/FRC$ 가 커지기 때문에 저산소혈증이 되기 쉽다.

1초출(1초간 내실 수 있는 비율)이 말초기도의 폐쇄를 반영한다고 하지만  $\dot{V}_{50}$ ,  $\dot{V}_{25}$ 폭이 더 민감하게 말초기도의 폐쇄를 나타낸다. 예측폐활량에 대한 실측폐활량의 비율(%VC)과 1초출(%FEV<sub>1.0</sub>)의 결과를 통해, 폐기종, 기관지천식 등의 폐쇄성 장애인지, 폐섬유증, 흉곽변형 등에 의한 제한성 장애 혹은 혼합성 장애인지를 분류할 수 있다(그림 3).

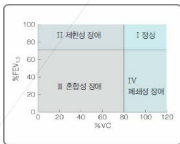


그림 3 환기기능진단도

폐활량(%VC)과 1초출(%FEV<sub>1.0</sub>)의 관계를 나타낸 것으로 폐활량측정법의 결과로 폐변형을 분류한다.

### 3 사망환기와 폐포환기량

기억해야 할 POINTS

**P** 정확하지 않은 기계환기회로의 연장은 사망을 증가시킨다.

구강, 비인두에서 종말 세기관지까지는 그저 단순한 공기의 통과일 뿐으로 가스교환의 역할은 하지 않기 때문에 이 부분을 사망(dead space,  $V_D$ )이라고 한다. 사망은 해부학적 사망, 생리학적 사망으로 두 종류가 있다. 해부학적 사망은 구강에서 종말 세기관지까지의 용적으로 2-3 mL/kg, 성인에서 약 150-180 mL가 된다. 기계환기 중에는 흡기회로와 호기회로가 합류하는 Y피스에서 환자 측, 즉 인공 비(鼻), 연장회로, 기관류브 부분까지 사망이 된다. 생리학적 사망은 원래 해부학적 사망에서 가스교환에 참가해야 하는 폐포가 폐기종이나 폐색전 등으로 인해 가스교환에 참가할 수 없게 된 부분까지 더한 값이다. 생리학적 사망은 다음 식으로 산출된다.

$$\frac{V_D}{V_T} = \frac{P_{aCO_2} - P_{eCO_2}}{P_{aCO_2}}$$

여기서  $P_{aCO_2}$ 는 호기이산화탄소분압을 나타낸다.

분당환기량(minute volume, MV)은 단순히 일회호흡량에 호흡수를 곱한 것이다. 이에 대해 폐포환기량은 실제로 가스교환에 참가하고 있는 환기량으로 일회호흡량에서 사망을 뺀 값에 호흡수를 곱한 것이다. 예를 들어 인공호흡기의 호기 분당교환량 5,000 mL에서의 폐포환기량은 호흡수가 10회와 20회 일 경우에 각각

10회의 경우 (5,000/10 - 150) mL × 10회 = 3,500 mL

20회의 경우 (5,000/20 - 150) mL × 20회 = 2,000 mL

로 크게 달라진다(단,  $V_D$ 를 150 mL로 한다). 호흡회로의 무리한 연장 등으로  $V_D$ 가 일회호흡량을 상회하거나, 일회호흡량을 과소설정할 때 호기의 재호흡이 일어나 효과적인 폐포환기량을 얻을 수 없다(고빈도 기계환기는 예외).

### 4 확산

기억해야 할 POINTS

**P** 확산 장애로 저산소혈증이 된 경우에는 흡입산소농도를 증가시키면 된다.

폐포에서는 폐포 벽을 매개로 폐포내가스와 혈액 간에 가스교환이 이루어지지만, 이 가스교환은 능동적으로 이루어지는 것이 아니라 수동적인 확산에 의존한다. 확산효율은 폐포 벽의 면적과 산소나 이산화탄소의 분압차와 비례하며, 폐포 벽의 두께에 반비례한다(그림 4).

폐포를 둘러싼 모세혈관은 짧기 때문에 적혈구의 통과시간은 약 0.75초에 지나지 않지만, 정상에서 산소는 약 0.25초 안에 폐포내가스와 평형에 도달한다. 그러나 폐포 막의 비후, 간질에 물이 차거나 폐포 산소분압( $P_{aO_2}$ )의 저하, 혼합정맥혈 산소포화도의 저하 등이 있으면 평형이 될 때까지의 시간이 연장된다. 이와 같은 경우에는 흡입산소농도를 올려 폐포내가스와 혈액 간의 산소분압차를 크게 함으로써 확산효율을 높일 수 있다. 이산화탄소는 확산계수가 크기 때문에 확산장애에 의해 폐포내가스와 평정맥혈 간에 차이가 발생하는 일은 거의 없다(그림 5).<sup>2</sup>

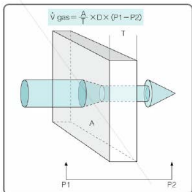


그림 4 확산

확산되는 가스량은 확산면적(A), 확산계수(D) 및 분압차(P1-P2)에 비례하며, 폐포 벽의 두께(T)에 반비례한다.

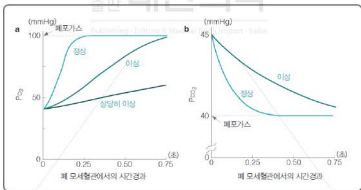


그림 5 폐에서의 산소와 이산화탄소의 확산

- a: 정상 폐에서는 산소도 폐 모세혈관 통과시간의 약 1/3 시간 안에 평형상태에 이른다.  
 b: 이산화탄소는 산소의 20배나 확산능력이 높기 때문에 확산장애의 영향은 받기 어렵다.

ⓐ는 문헌 2, p.36, b는 문헌 2, p.30에서 인용하여 변경

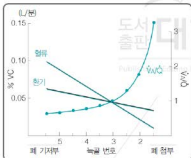
## 5 폐 순환

기억해야 할 POINTS

P 폐 순환은 중력의 영향을 받는다.

가스코한의 또 하나의 역할을 담당하는 것은 혈액이다. 폐순환은 체순환과 동일한 박출량을 가지고 있음에도 혈관저항이 낮기 때문에 폐동맥압은 낮게 유지된다. 모세혈관은 폐포 벽을 땅 모양으로 둘러싸고 있다. 폐순환은 체순환과 비교하여 저압계이기 때문에 중력의 영향을 받기 쉬워 기립상태에서는 폐의 기저부에서 폐첨부를 향해 혈류가 직선적으로 감소한다(그림 6).<sup>3)</sup>

태아는 폐동맥의 저항이 높아 폐혈류는 거의 없지만, 출생 후에는 폐호흡에 의해 급속하게 폐혈관저항이 감소하여 폐에 체순환과 같은 양의 혈액이 흐르게 된다. 그러나 선천성 횡격막 헤르니아나 태변흡인중후군 등에서는 폐혈관저항이 높은 채로 유지되며, 폐동맥에서 동맥관 또는 심방의 난원공을 통하여 좌우선트를 일으키는 신생아 지속성 폐동맥고혈압증(persistent pulmonary hypertension of newborns, PPHN)이 발생하는 경우가 있다(신생아의 기계환기치료 「태변흡인중후군」, 「선천성 횡격막 헤르니아」 참조). 성인에서도 병적상태에서는 폐기종이나 무기폐에 의해 폐의 혈관저항이 변화하여 혈류가 변화한다. 또한 폐포내공기의 산소분압이 떨어지면 그 부분의 폐동맥 저항이 상승하여 국소 폐혈류가 저하되는 저산소성 폐혈관 수축(hypoxic pulmonary vasoconstriction, HPV)이 나타난다.



의학서적의 선두주자

도서출판 대한의학

Public Medical Book Import - Sales

그림 6 폐혈류, 환기의 불균형분포와 환기관류비

폐혈류 및 환기량은 폐의 기저부에서 많고 폐첨부도 같수록 차츰 감소하지만 혈류의 변화가 크다. 그 결과, 환기관류비(PVR)는 폐 기저부에서 작고 폐첨부도 같수록 커진다는 사실을 알 수 있다.

(문헌 3, p.30에서 인용하여 변경)

## 6 환기

기억해야 할 POINTS

P 생리적인 환기는 호흡근의 수축에 의해 흉강압이 음압이 되어 외부공기기를 폐포로 들어오게 하는 펌프 작용이다.

### a 호흡근

호흡근에서 가장 중요한 것은 횡격막으로 경추의 제3-5분절에서의 횡격신경에 의해 지배된다. 비익근, 외늑간근과 사각근, 흉쇄유돌근 등의 호흡보조근도 흡기에 참가하고 있지만 환기량의 75%가 횡격막에 의해 이루어진다. 호기는 안정 시에는 폐 및 흉곽의 탄성으로 수동적으로 이루어진다. 기침을 할 때는 복직근, 외복사근, 복횡근 등이 강하게 수축한다.

Smiths Medical JAPAN 주식회사

## 이송용 인공호흡기 Pneupac 200DMRI



### 특징

#### 1 3테슬라까지의 MRI 환경에 대응

- MRI 대응으로 지속밀도 3테슬라 환경 하에서의 시험에 적합하다.

#### 2 반송성으로 뛰어난 소형, 경량 타입

- 크기 H92×W220×D162 mm 중량 약 3 kg

#### 3 전원 및 충전이 불필요한 산소 구동방식

- 만에 하나 배터리에 이상이 저하되었을 때도 전지식 알람을 제외한 모든 기능이 작동한다.

#### 4 알람기능에 의한 안전성 확보

- 고회로내압, 양압지속, 저회로내압(회로 분리), 배터리 고전압저하 등의 알람기능을 장비하고 있다.

#### 5 튼튼한 내구성

- 조절부들은 두꺼운 강화 발포플라스틱 케이스로 보호되어 있으며, 계기류, 전자부품은 쇼크흡수재를 넣어 조절되어 있으므로 이송용 인공호흡기 전용 EN 규격 EN 794-3에 적합하다. 내구성, 충격이나 진동, 욱실 등 가혹한 조건 하에서도 안정된 기능을 발휘한다. 또한 항공기 내에서의 사용에도 실적이 있다. 항공기에서의 사용에는 항공회사 별도 주의사항이 규정되어 있는데, 그 상세는 각 항공회사에 문의하기 바란다.

#### 6 알기 쉬운 조작성으로 의료현장에 대응

- 환기 parameter로서 일회호흡량, 호흡수 및 릴리프 압(고압 알람)만을 설정

#### 7 Airmix select

- Airmix select 스위치에 의해 흡입산소농도를 100% (NO AIR MIXED) 또는 45% (AIR MIXED)로 전환시킬 수 있다. 산소통 사용 시 airmix를 선택한 경우, 100% (NO AIR MIXED)를 선택한 경우에 비해 사용시간이 큰 폭으로 길어진다.

주: Pneupac의 airmix 기능은 대기개방 시를 기준으로 산소농도가 고정되고 있다. 이 기능을 선택한 경우의 산소농도를 45%로 하여 그 전형적인 값을 표기하고 있지만, 실제 산소농도는 인공호흡기의 일회호흡량 설정이나 환자의 폐유순도, 기도저항에 의한 기도압 상승에 따라 그 값이 45%보다 높아지는 경우가 있다.

#### 8 자발호흡용 demand 기능

- 메인 스위치에 의해 「CMV/demand」 또는 「demand」 모드를 선택한다. 어떤 모드를 선택하거나 자발호흡용 demand 기능을 갖추고 있다.
- 「CMV/demand」모드에서 자발호흡이 감지되어 demand 유량이 흐르면 그 자발호흡으로의 demand 송기 불륨에 따라 CMV 호기시간이 연장된다. 자발호흡 시의 호기시간을 확보하여 CMV와의 파이밍을 방지한다.

### 사용방법(그림 1)

#### 1 준비

- ① 가스공급원에 구동가스 호스를 연결한다.
- ② 구동 가스압저하 indicator(10)의 표시부가 적색에서 흰색으로 변했는지 확인한다.

#### 2 사용방법

- ③ 메인 스위치(9)를 CMV/demand로 한다.
- ④ 알람 indicator가 순서대로 점등하고 정상적으로 기능하고 있다는 것을 확인한다.
- ⑤ 환자의 상태에 따라 환기 parameter인 호흡수(1), 일회호흡량(2), 고압 릴리프압(16)을 설정한다.
- ⑥ Airmix 기능을 선택하는 경우에는 airmix select 스위치(3)를 조작한다. 필요에 따라 고압릴리프압 조절(16)을 조절한다. 회로내압이 그 수준에 도달했을 때 가스압 작업의 고압회로내압 알람(17)에서 소리가 울리는지, 또한 전자음의 가장 알람까지 작동하여 이 알람의 indicator(15)가 붉게 점멸하는지 확인한다.

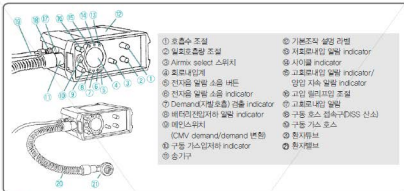


그림 1 각부의 명칭

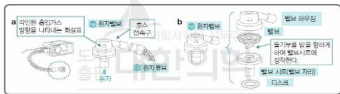


그림 2 조립 순서

- ① 기도가 올바르게 확보되어 있는지 확인한 후에 환자에게 장착한다.
- ② 또한 환자의 흉부가 부풀어 오르면서 회로내압이 상승할 때마다 사이클 indicator(14)가 녹색으로 점등하는지 확인한다.

#### 조립순서(그림 2)

- ① 환자튜브(20)와 환자밸브(21)를 연결하는 경우, 환자밸브(21)에 각인되어 있는 화살표 방향을 확인한다. 화살표가 나타내는 방향이 환자 측이다.
- ② 환자밸브(21)의 튜브 접속구에 환자튜브(20)를 장착한 후 환자튜브(20)의 다른 쪽 가장자리를 인공호흡기에 연결한다.

#### 주의사항

환자밸브는 non-rebreathing 밸브로 check valve의 기능을 가지고 있다. 올바른 방향으로 환자튜브를 연결하지 않은 경우, 송기가스가 대기로 방출되어 환자의 환기가 진행되지 못하게 된다. 환자회로를 조립할 때는 그 방향성을 확인한 후 환자에게 사용하기 전에 사용방법의 (10) 이후에 따라 환기상태를 확인한다. 또한 이 사용 전 확인은 환자밸브의 세척 및 멸균을 시행하고 재조립이 실시된 경우 적당하지 않던지를 판정하는 것에도 도움이 된다.