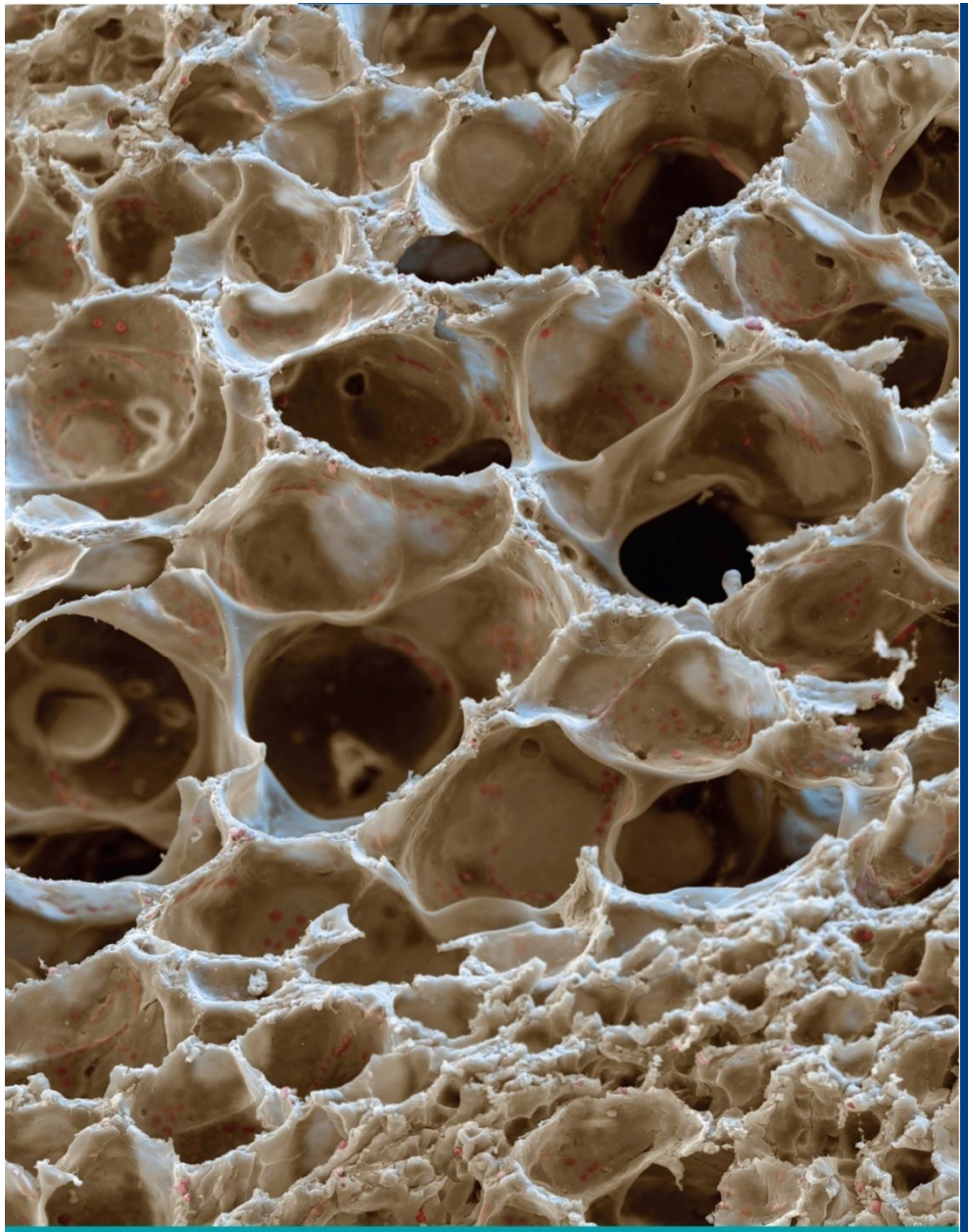


폐포의 주사전자현미경 사진

16

호흡계: 폐환기

Copyright © 2012 Biosciencepublishing, Inc

Chapter Outline

I. Overview of Respiratory Function(호흡기능의 개요)
II. Anatomy of the Respiratory System(호흡계의 해부구조)
III. Forces for Pulmonary Ventilation(폐환기의 힘)
IV. Factors Affecting Pulmonary Ventilation(폐환기에 영향을 주는 인자)
V. Clinical Significance of Respiratory Volumes and Air Flows(호흡용적과 공기 흐름의 임상적 중요성)

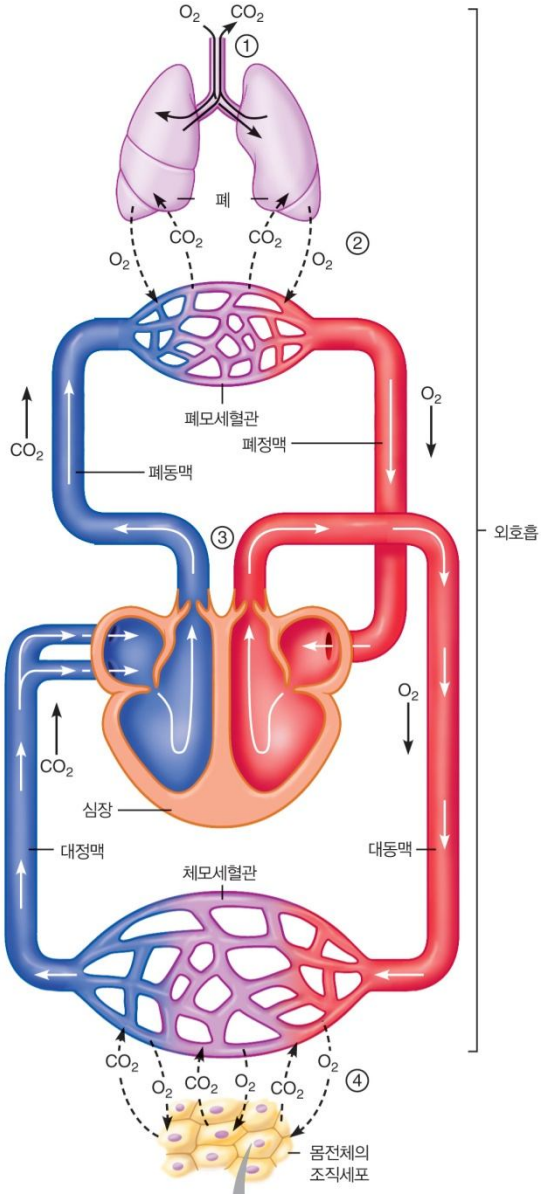
I. Overview of Respiration(호흡기능의 개요)

- 내호흡
  - 산화적 인산화
- 외호흡
  - 대기와 체조직 사이의 산소와 이산화탄소 교환

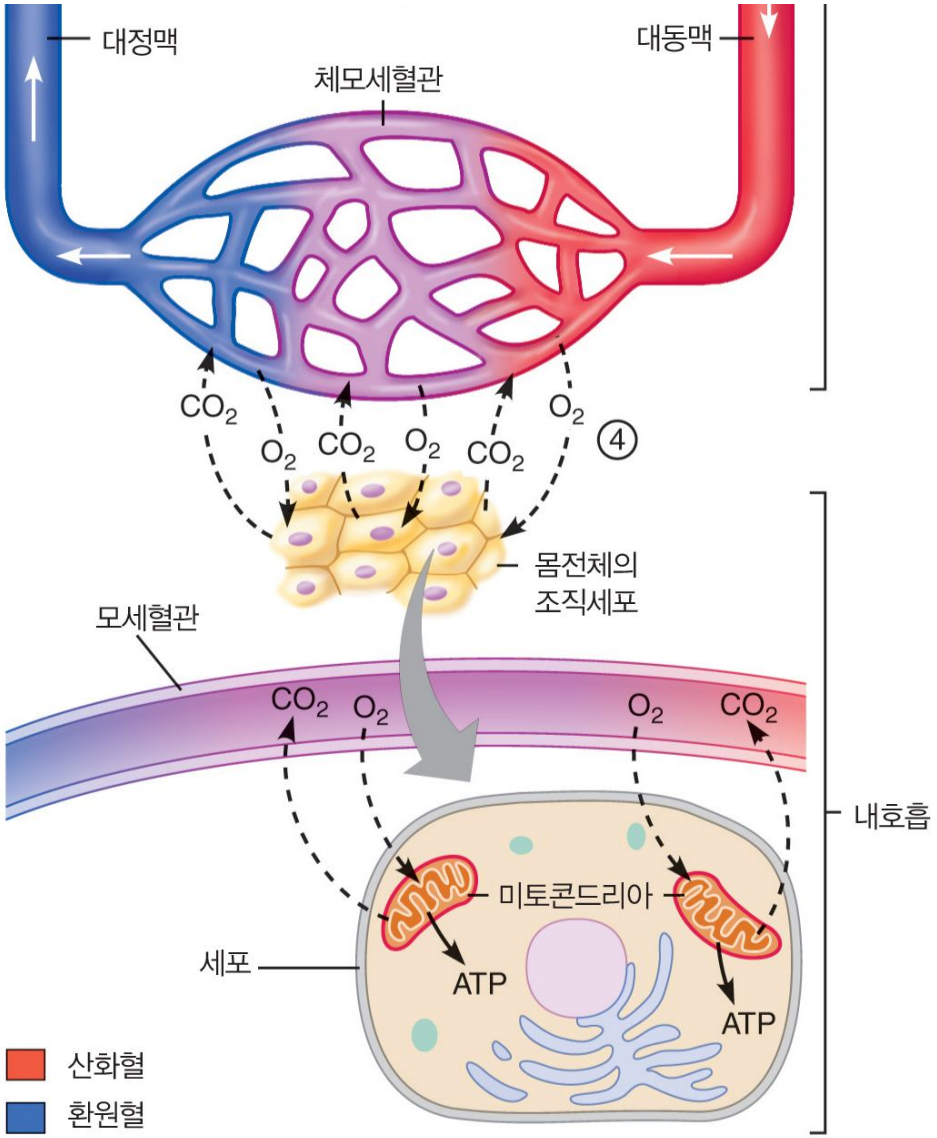
External Respiration(외호흡)

- 폐환기
- 폐와 혈액 사이의 교환
- 혈중 수송
- 혈액과 체조직사이의 교환

External Respiration(외호흡)



Internal Respiration(내호흡)



II. Anatomy of the Respiratory System(호흡계의 해부구조)

- 상기도
- 기도
- 흉강의 구조

Upper Airways(상기도)

- 머리와 목 부위를 지나는 공기통로
  - 비강
  - 구강
  - 인두

Respiratory Tract(기도)

인두에서 폐까지의 공기통로

- 인두
- 전도구역
- 호흡구역

Anatomy of the Respiratory Tract(호흡기도의 해부구조)

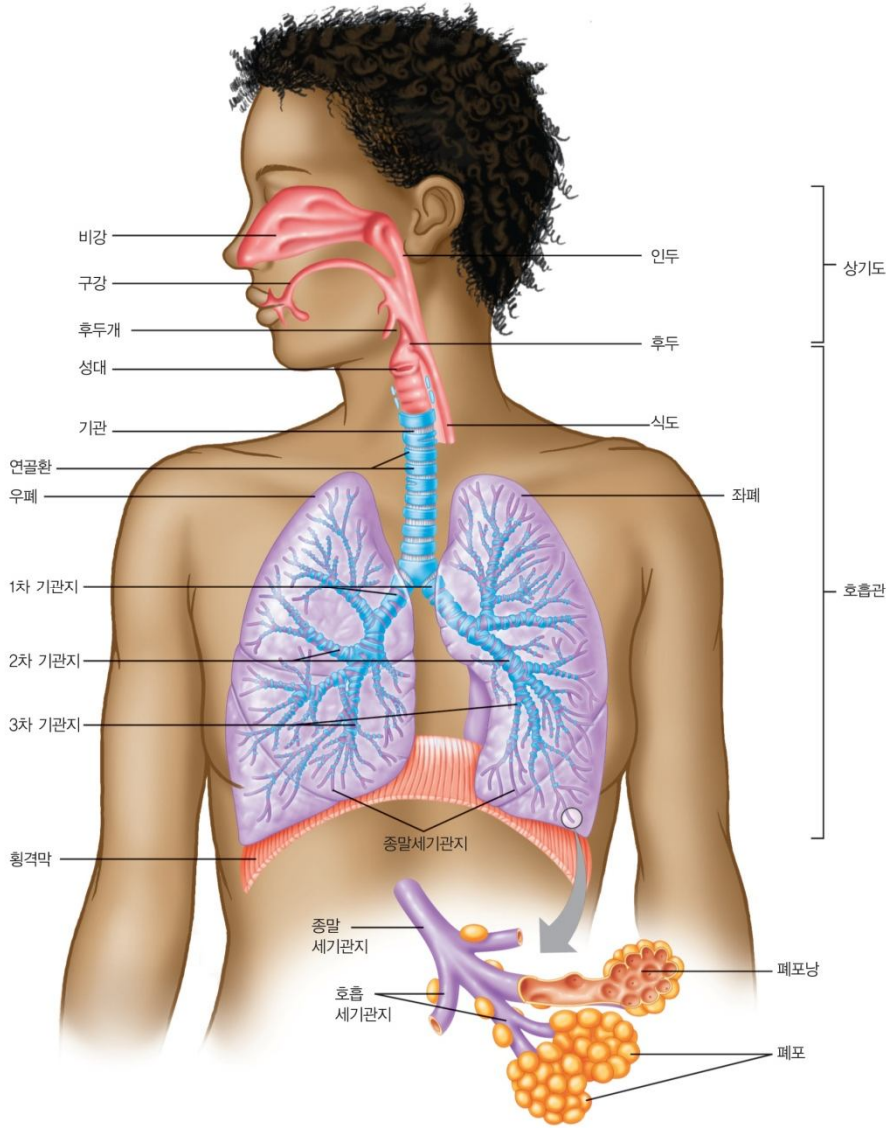


그림 16.2 상기도와 기도의 해부구조.

Structures of the Conducting Zone(전도구역의 구조)

- 기관
- 기관지
- 2차 기관지
  - 우측- 3(우폐 3엽)
  - 좌측- 2(좌폐 2엽)

Structures of the Conducting Zone(전도구역의 구조)

- 3차 기관지
  - 20-23개의 가지로 갈라짐
- 세기관지
  - 직경이 1mm 이하
- 종말세기관지

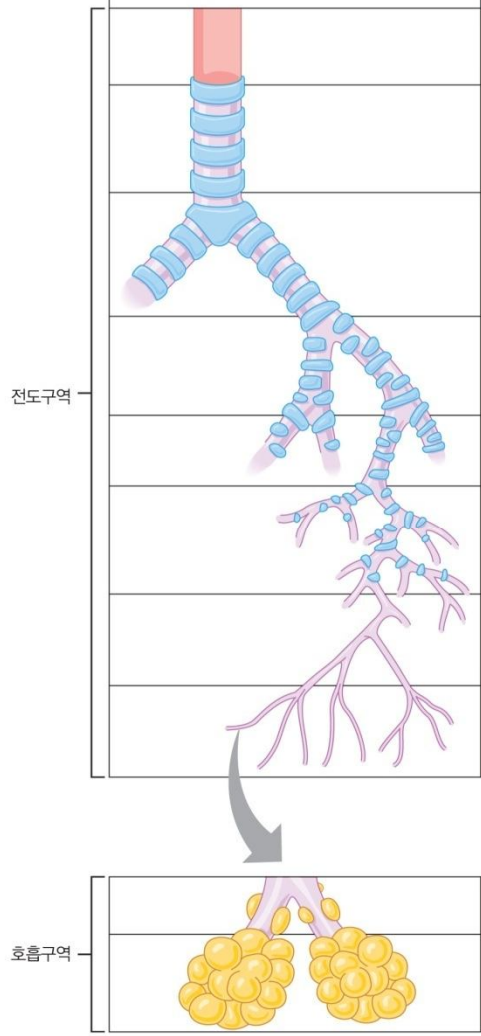
Functions of the Conducting Zone(전도구역의 기능)

- 공기통로
  - 150mL 용량= 무효공간
- 공기의 온도를 체온까지 증가시킴
- 습기 유지

Epithelium of the Conducting Zone(전도구역의 상피)

- 점액분비세포
  - 점액 분비
- 섬모세포
  - 섬모가 입자를 입쪽으로 이동
- 점액 에스컬레이터

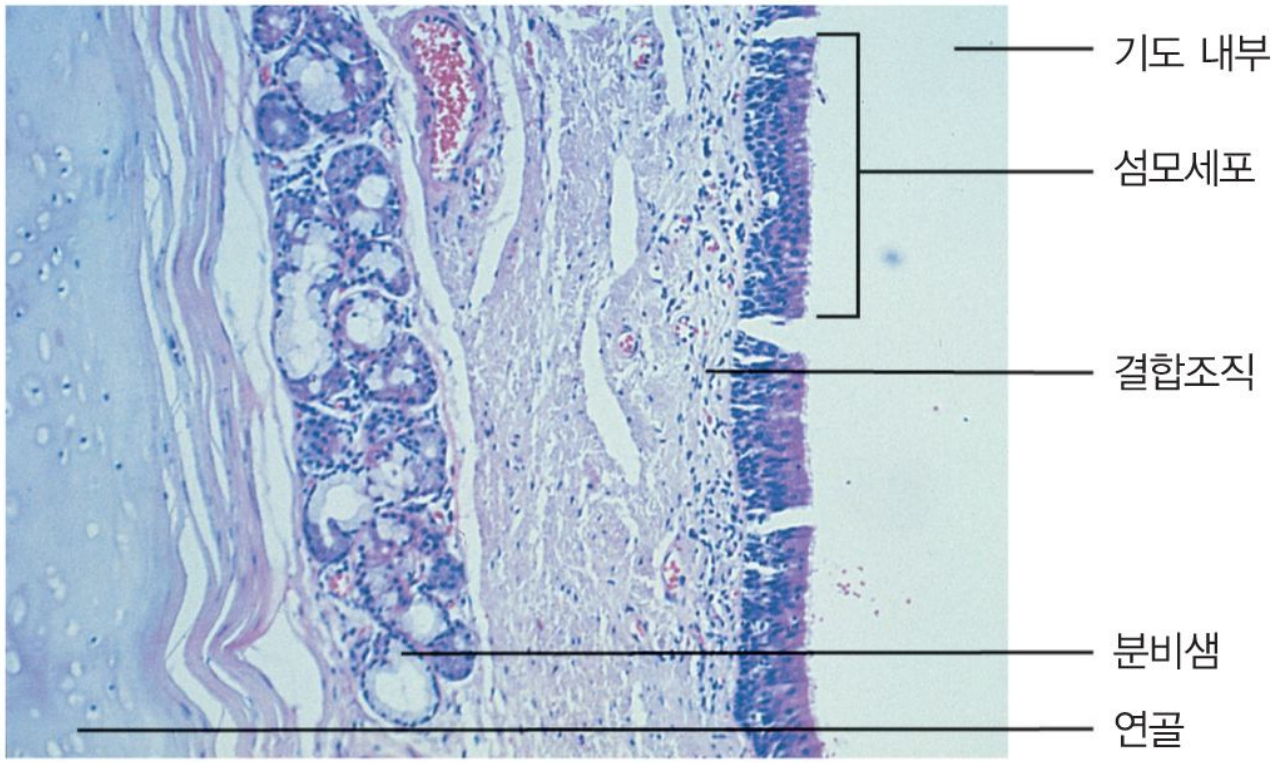
Features of the Respiratory Tract(호흡 기도의 특징)



	구조	내부직경 (mm)	섬모	배상세포	연골	평활근
전도구역	후두	35~45	+++	+++	+++	0
	기도	20~25	+++	+++	+++ (C형)	+
	1차 기관지	12~16	+++	++	+++ (고리)	++
	2차 기관지	10~12	+++	++	+++ (판)	++
	3차 기관지	8~10	+++	++	++ (판)	++
	소기관지	1~8	+++	+	+ (판)	++
	세기관지	0.5~1	++	+	0	+++
	종말 세기관지	<0.5	++	0	0	+++
호흡구역	호흡 세기관지	<0.5	+	0	0	+
	폐포낭	0.3	0	0	0	0

그림 16.3 기도의 전도구역과 호흡구역의 해부학적 특징.
0 없음, + 적음, + + 있음, + + + 많음.

Epithelium of Trachea(기관의 상피)



(a)

Structures of the Respiratory Zone(호흡구역의 구조)

- 호흡세기관지
- 폐포관
- 폐포
- 폐포낭

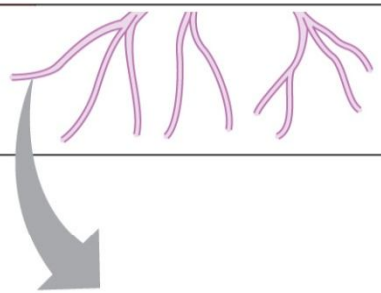
Function of the Respiratory Zone(호흡구역의 기능)

- 공기와 혈액 사이의 기체교환
- 기작: 확산

Epithelium of the Respiratory Zone(호흡구역의 상피)

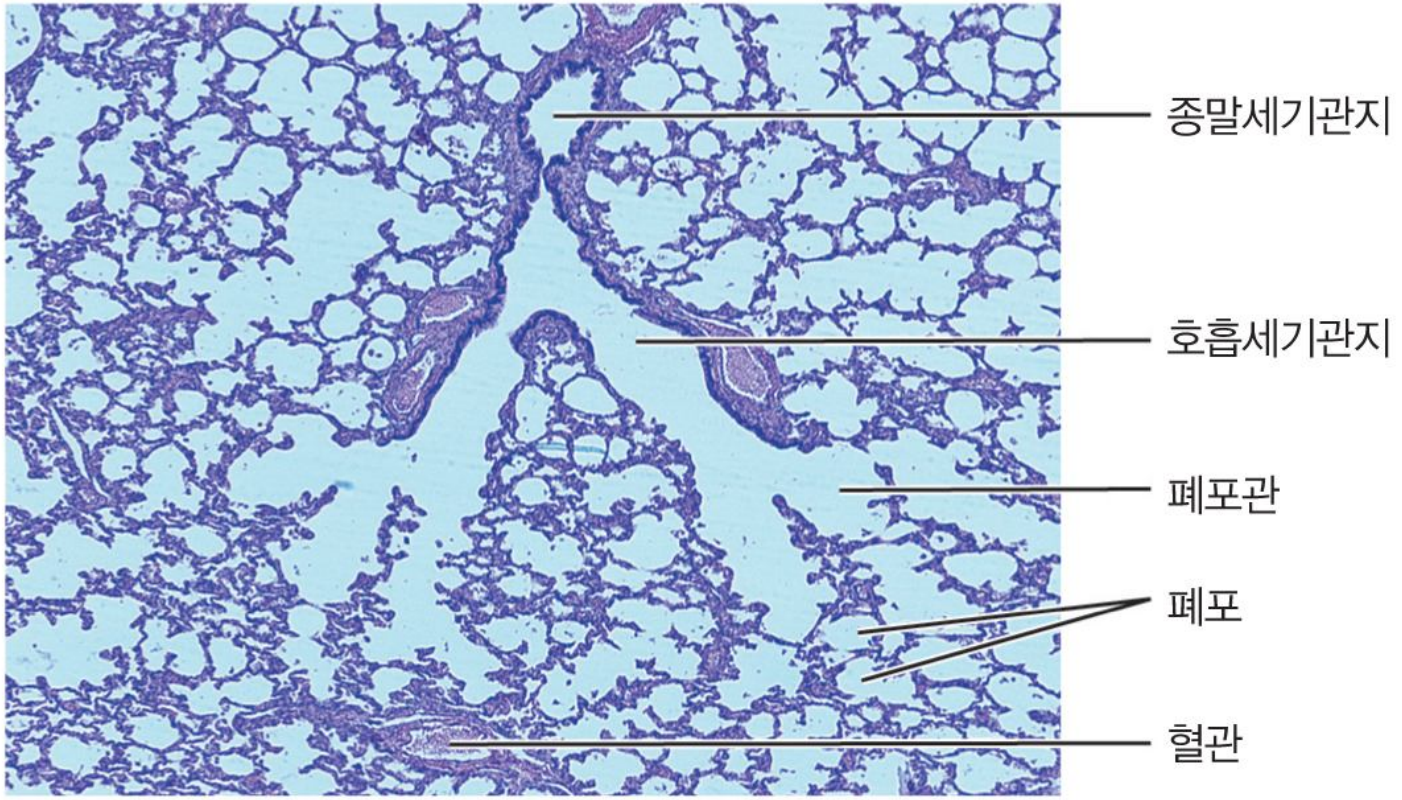
- 호흡막
  - 폐포의 상피세포층
  - 모세혈관의 내피세포층

Respiratory Zone(호흡구역)



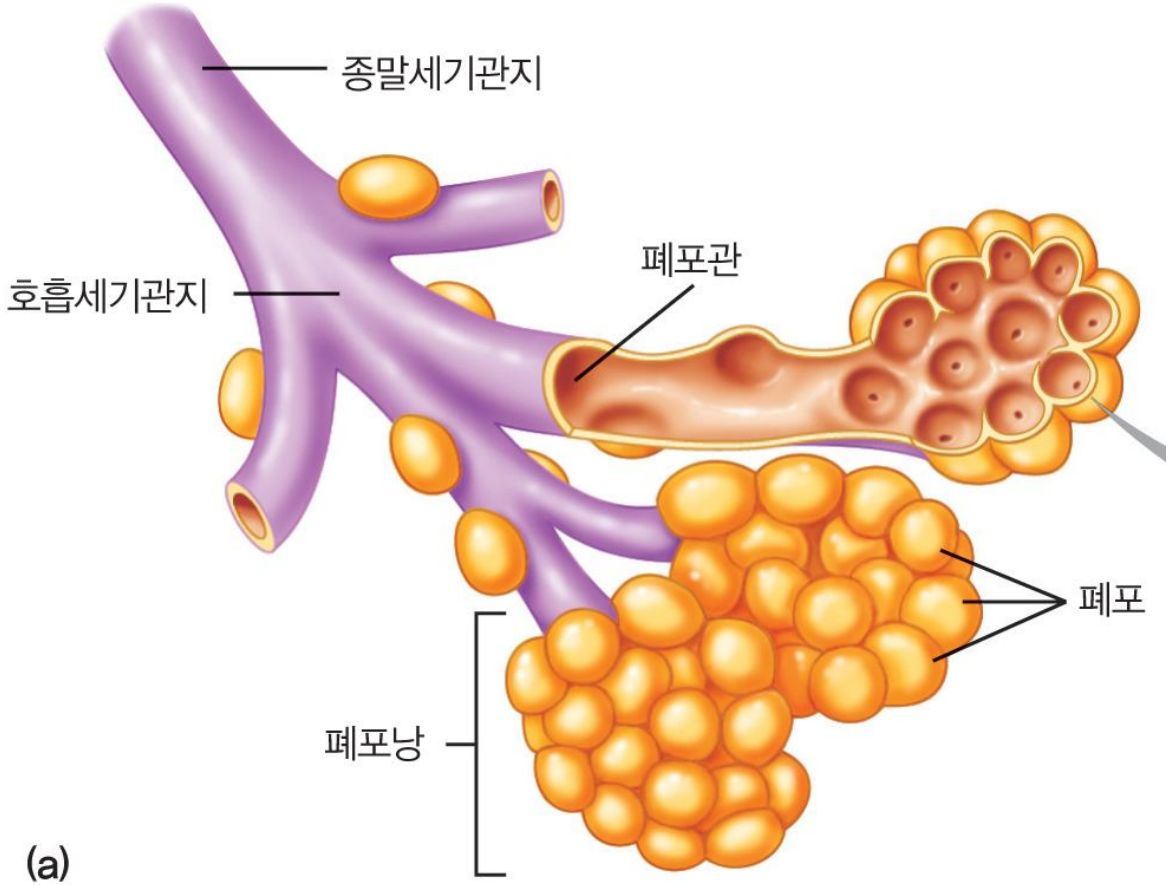
		구조	내부직경 (mm)	섬모	배상세포	연골	평활근
전도구역		종말 세기관지	<0.5	++	0	0	+++
호흡구역		호흡 세기관지	<0.5	+	0	0	+
		폐포낭	0.3	0	0	0	0

Respiratory Bronchioles and Alveoli(호흡세기관지와 폐포)

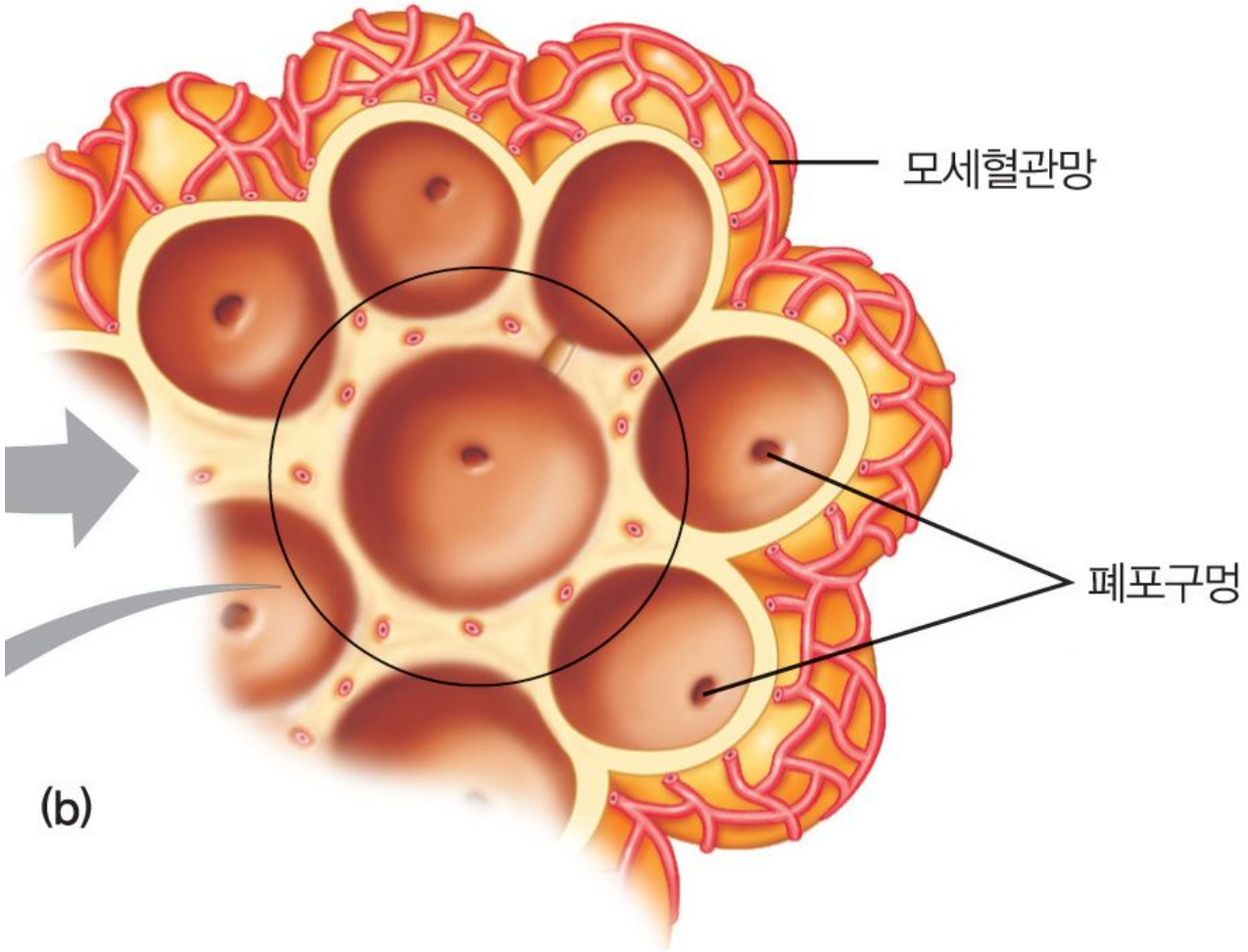


(b)

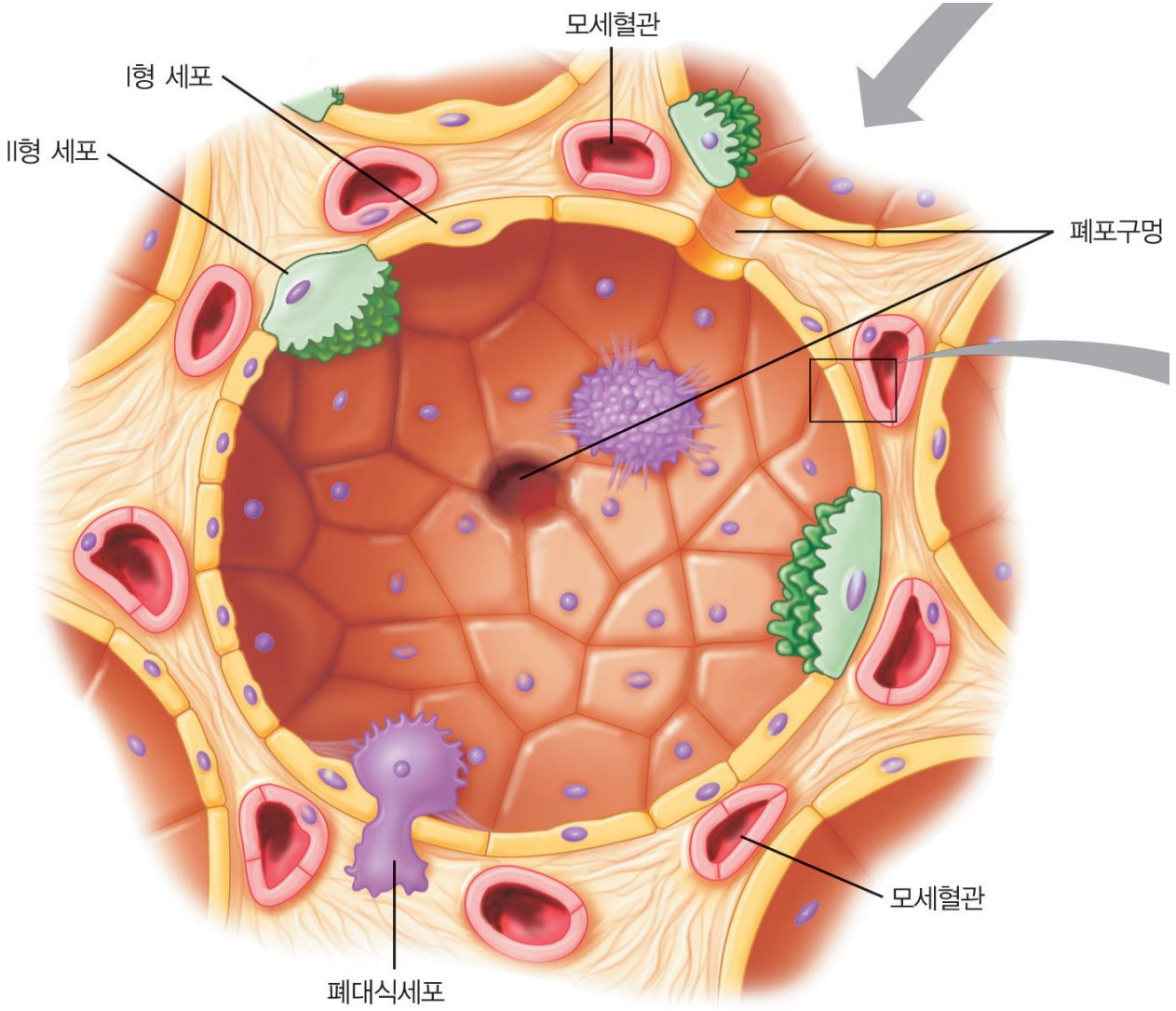
Anatomy of the Respiratory Zone(호흡구역의 해부구조)



Anatomy of the Respiratory Zone(호흡구역의 해부구조)

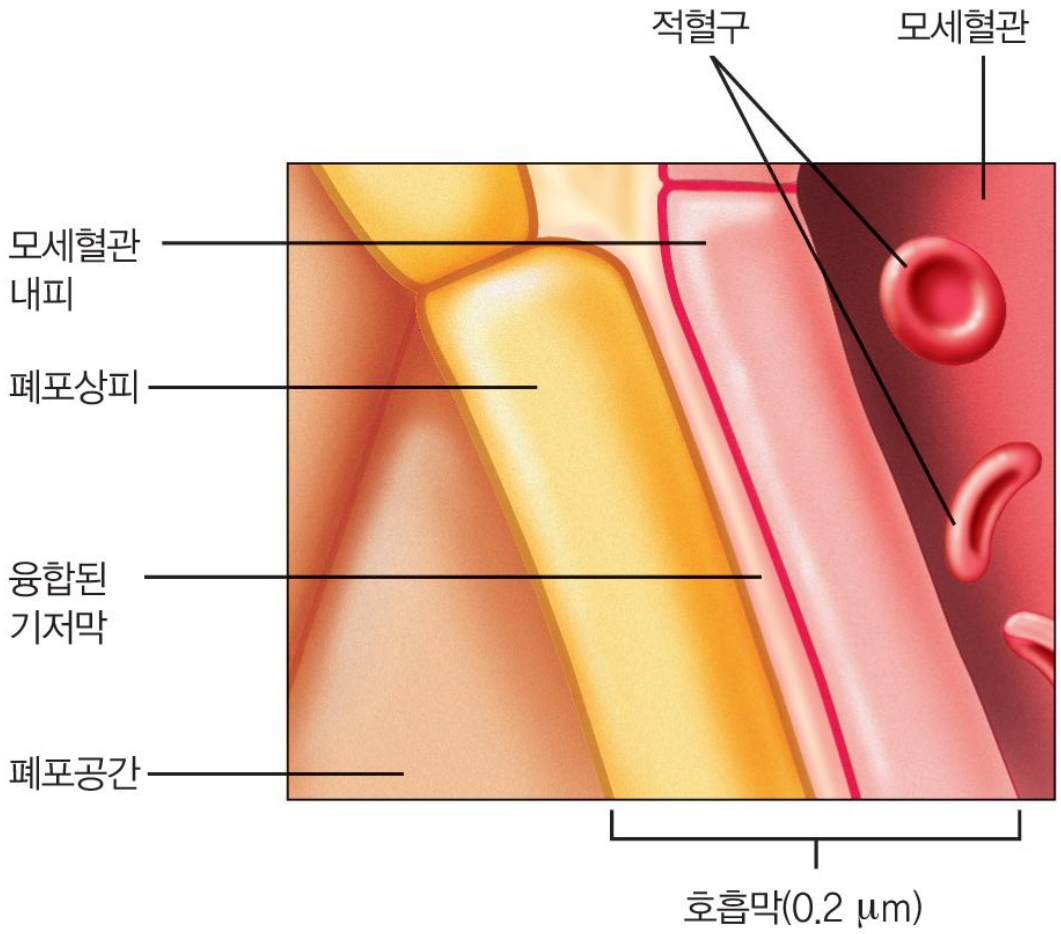


Anatomy of the Respiratory Zone(호흡구역의 해부구조)



(c)

Anatomy of the Respiratory Zone (호흡구역의 해부구조)



(d)

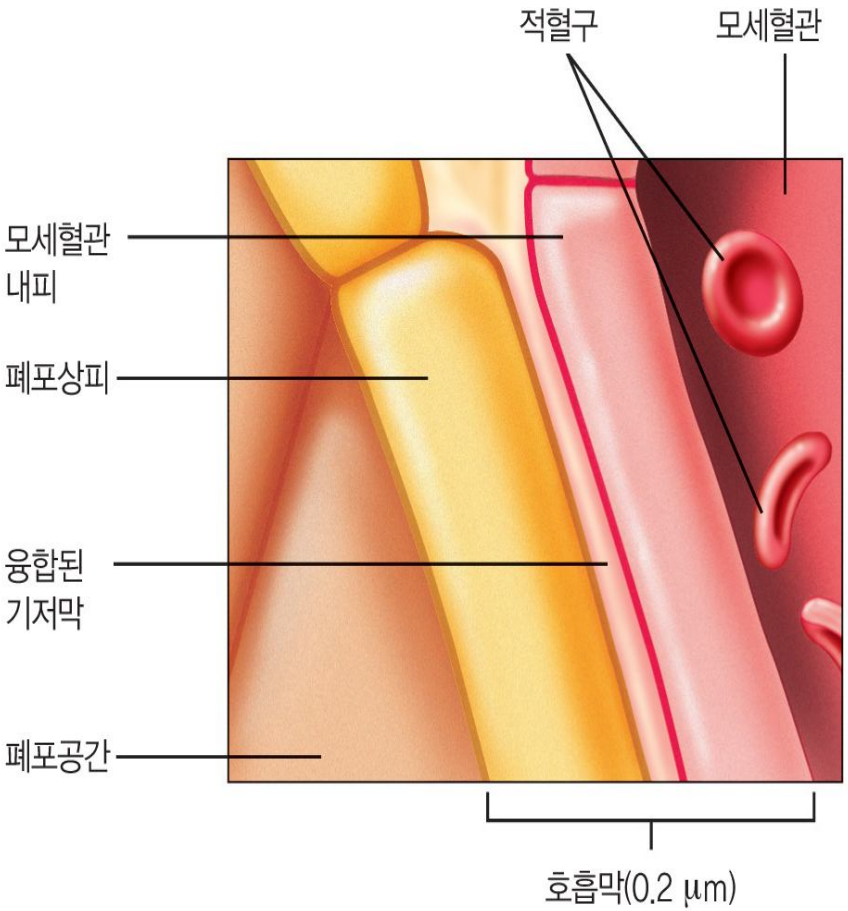
Alveoli(폐포)

- 폐포= 기체 교환 장소
- 폐에 3억개의 폐포(테니스 코트 크기)
- 풍부한 혈액 공급- 모세혈관이 폐포를 둘러쌈
- 폐포구멍

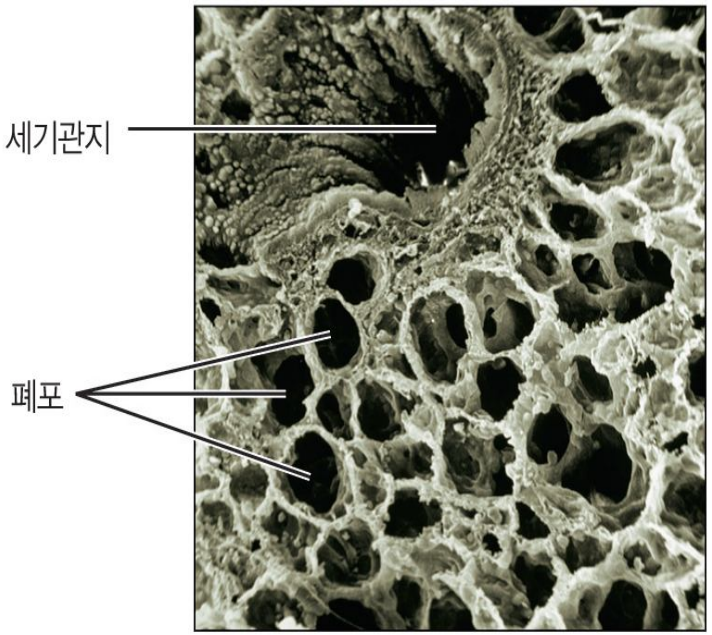
Alveoli(폐포)

- I형 폐포세포-폐포벽을 형성
  - 단일 상피세포층
- II형 폐포세포-폐포표면활성제 분비
- 폐포 대식세포

Anatomy of the Respiratory Zone (호흡구역의 해부구조)



(d)



(e)

Respiratory Membrane(호흡막)

- 확산 장벽
  - I형 세포 + 바닥막
  - 모세혈관 내피세포 + 바닥막
- 0.2 마이크론 두께

Blood Supply to the Lungs(폐의 혈액공급)

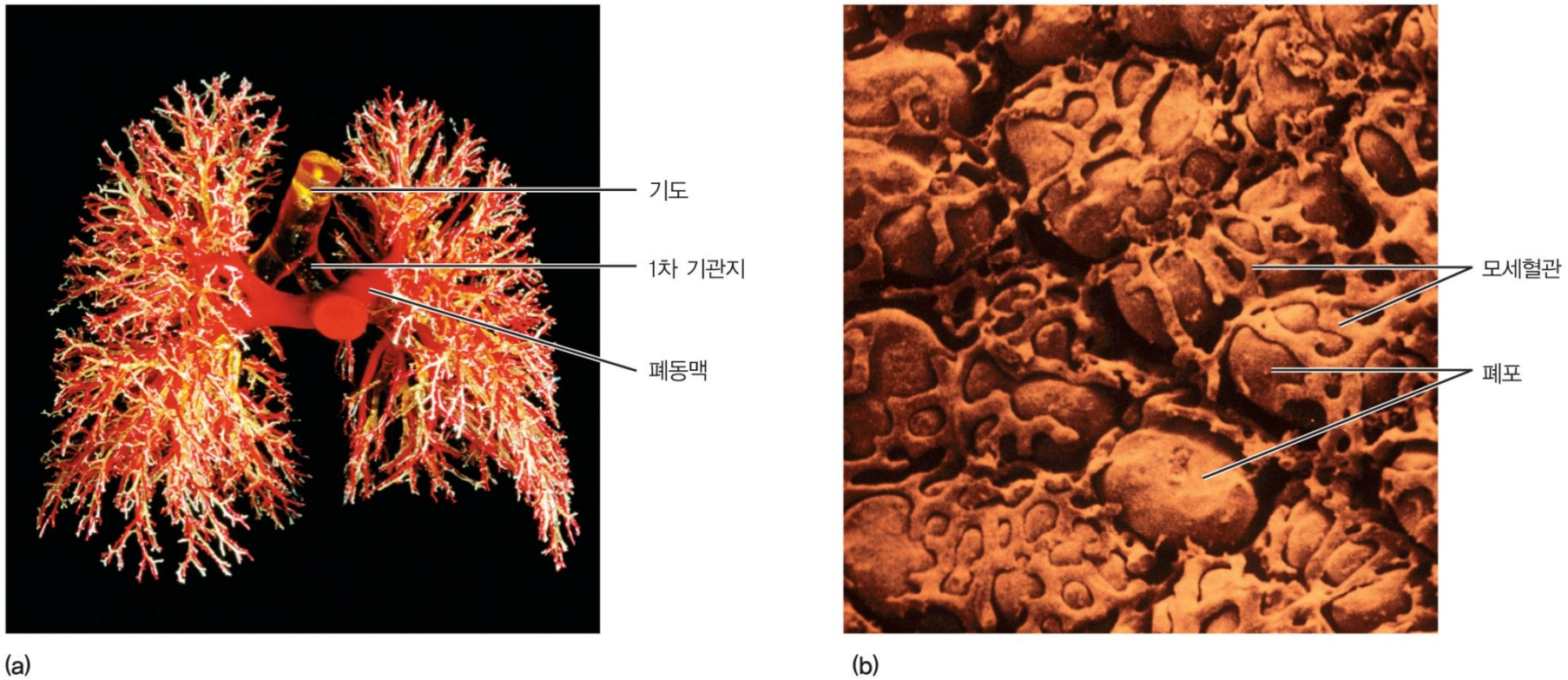


그림 16.6 폐의 혈관. **(a)** 폐동맥과 기관지에 수지를 입힌 모양 – 혈액은 붉게, 기도는 희게 보임. **(b)** 폐포 주변 모세혈관의 주사전자현미경 사진.

Structures of the Thoracic Cavity(흉강의 구조)

- 흉벽- 폐를 보호
  - 흉곽
  - 흉골(가슴뼈)
  - 흉추
  - 근육- 내늑간근과 외늑간근, 횡격막

Structures of the Thoracic Cavity(흉강의 구조)

- 늑막-폐와 흉벽을 둘러싸는 막
  - 폐를 둘러싼 늑막낭
  - 늑막액으로 채워진 늑막강
    - 양 = 15mL

Chest Wall and Pleural Sac(흉벽과 늑막강)

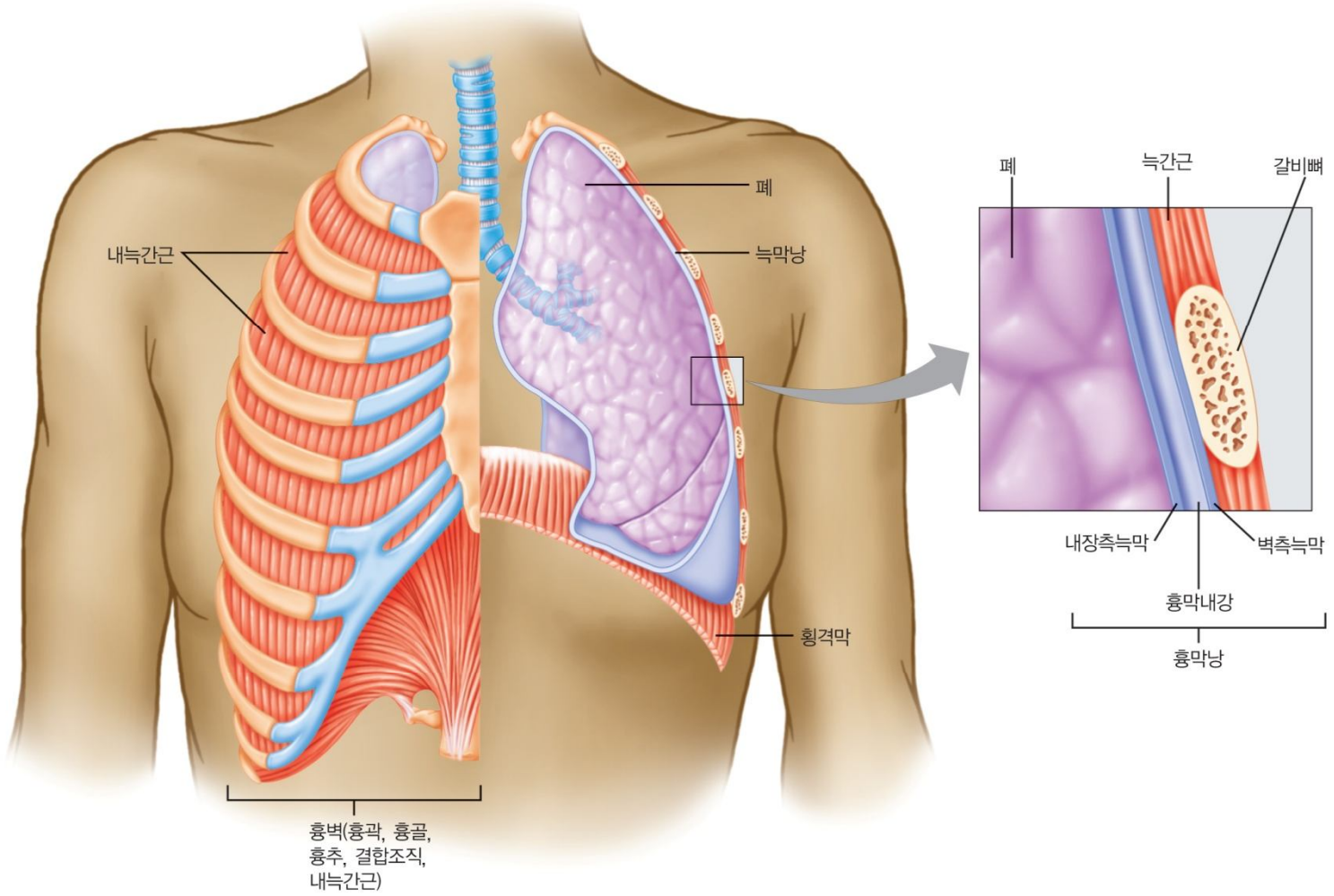


그림 16.7 흉벽과 흉막낭. 흉벽은 늑골, 흉골, 흉추, 결합조직, 내늑간근 등으로 구성된다. 폐와 붙어 있는 흉막낭의 측면을 내장측흉막이라고 한다. 체벽쪽으로 붙어 있는 흉막낭의 측면을 벽측흉막이라 한다. 액체로 채워진 흉막내강은 그림보다 훨씬 더 얇으며, 총 부피가 약 15 mL 정도 된다.

Role of Pressure in Pulmonary Ventilation(폐환기에서의 압력의 역할)

- 공기가 덩어리 흐름에 의해 폐 안팎으로 이동
- 압력기울기가 흐름을 추진
  - 공기가 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동
  - 흡기- 폐 안의 압력이 대기보다 작음
  - 호기- 폐 안의 압력이 대기보다 큼

III. Forces for Pulmonary Ventilation(폐환기의 힘)

- Pulmonary pressures(폐내압)
- Mechanics of breathing(호흡역학)

Pulmonary Pressures(폐내압)

- 대기압 = P_{atm}
- 폐포내압 = P_{alv}
  - 폐포 내부의 공기압력
- 늑막내압= P_{ip}
  - 늑막낭 내의 압력
- 경폐압= 폐포내압 - 늑막내압
  - 폐벽을 향해 팽창하는 힘의 정도

Atmospheric Pressure(대기압)

- 해수면에서 760 mm Hg
- 고도가 증가함에 따라 대기압은 감소
- 수면아래에서 증가
- 다른 폐내압은 대기압에 관련해서 정해진다(대기압 = 0 mm Hg라고 지정)

Intra-alveolar Pressure(폐포내압)

- 폐포 내부의 압력
- 대기압에 관련해서 정해짐
- 호흡상태에 따라 다름
  - 흡기시= 음압(대기압보다 작음)
  - 호기시=양압(대기보다 큼)
- 폐포내압과 대기압사이의 차이가 환기를 유도

Intrapleural Pressure(늑막내압)

- 늑막낭 내의 압력
  - 정상상태에서는 항상 음압
  - 항상 폐포내압보다 작음
- 호흡상태에 따라 다름
  - 안정시 **-4 mm Hg**

Intrapleural Pressure(늑막내압)

- 폐와 흉벽의 탄력성으로 인해 음압
  - 폐가 안쪽으로 되돌아가려 함
  - 흉벽은 바깥쪽으로 되돌아가려 함
  - 서로 반대로 늑막강을 당김
  - 늑막액의 표면장력이 벽과 폐를 붙잡음

Transpulmonary Pressure(경폐압)

- 경폐압= 폐포내압-늑막내압
- 폐벽을 향해 팽창시키는 압력
- 경폐압의 증가
  - 폐가 팽창하려는 압력의 증가
  - 폐(폐포)가 팽창하면 부피 증가

Pulmonary Pressures(폐 내 압)

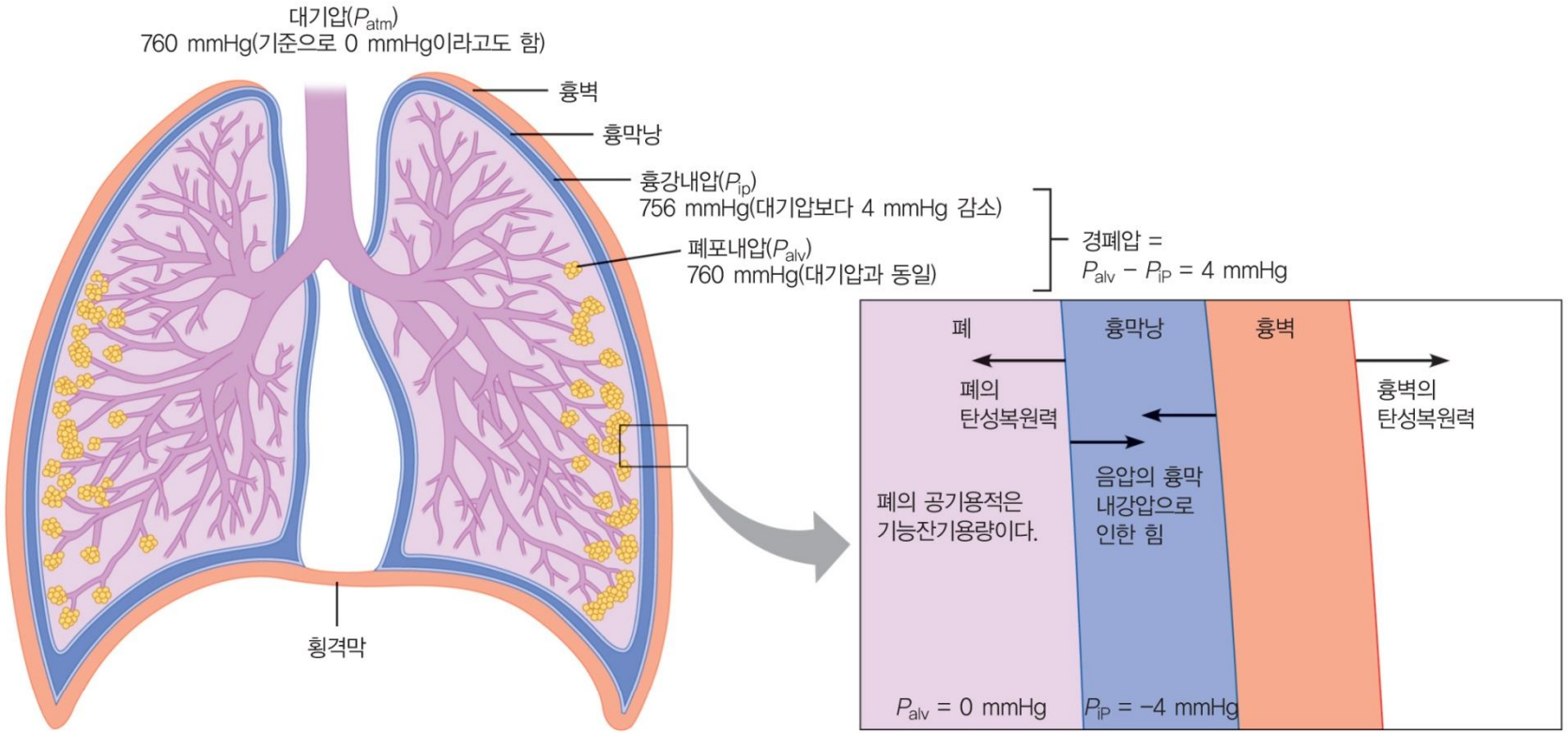


그림 16.8 안정상태의 흉막압. **(a)** 안정상태의 폐 압력. 폐포내압은 폐포 속의 압력, 흉강내압은 흉막낭 내의 압력이다. 경폐압은 폐포내압과 흉막내강압의 차이다. 모든 압력은 절대압력으로 그리고 대기압에 대한 상대적인 압력으로 표시하였다. **(b)** 폐가 기능잔기용량을 가지고 있을 때(숨쉬는 사이)의 압력과 탄성력. 기능잔기용량에서, 폐포내압(P_{alv}) = 대기압 = 0 mmHg. 폐는 부풀어 있고 탄성복원력은 폐를 안쪽으로 오그라들려고 하는 경향을 갖는다. 흉벽은 압축되어 있어 탄성복원력으로 밖으로 팽창하려고 한다. 이런 두 가지 상반되는 힘이 흉막의 양쪽 면에 작용하여 흉막내강압을 음압으로 만든다(P_{ip}). 폐와 흉벽탄성복원력이 균형을 이루어 전체적인 체계가 안정적이며, 폐나 흉벽의 크기의 변화는 일어나지 않는다.

Pneumothorax(기흉)

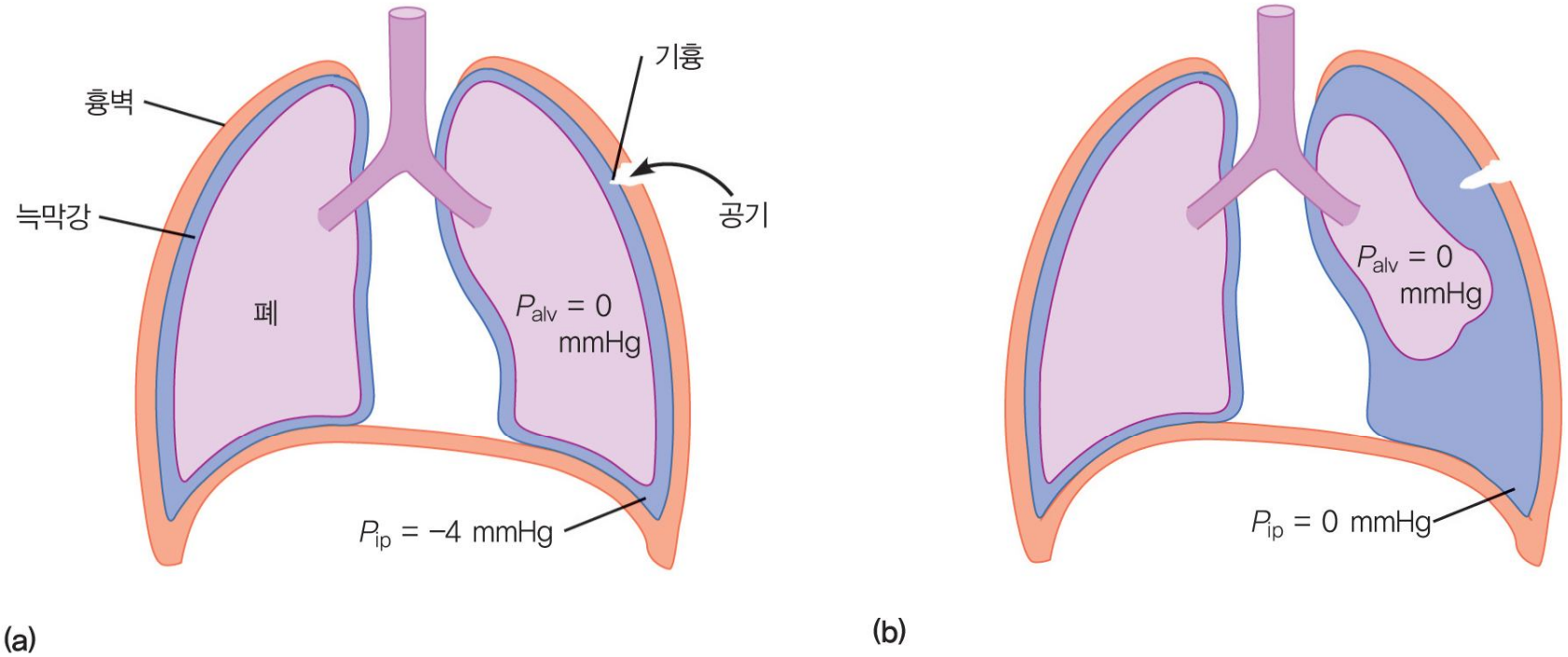


그림 16.9 **기흉.** **(a)** 안정상태의 정상 흉강내압은 −4 mmHg이다. 흉벽의 구멍을 통해 공기가 흉막내강으로 들어가면 기흉이 생긴다. **(b)** 기흉이 생기면 흉강내압은 대기압과 같아진다. 폐를 밖으로 밀어내는 음압의 흉강내압이 없어 폐는 탄성복원력으로 인해 오그라든다.

Mechanics of Breathing(호흡역학)

- 폐 안팎으로의 공기의 이동은 압력기울기 때문이다
- 호흡역학은 압력기울기를 형성하는 기작을 설명한다

Forces for Air Flow(공기흐름의 힘)

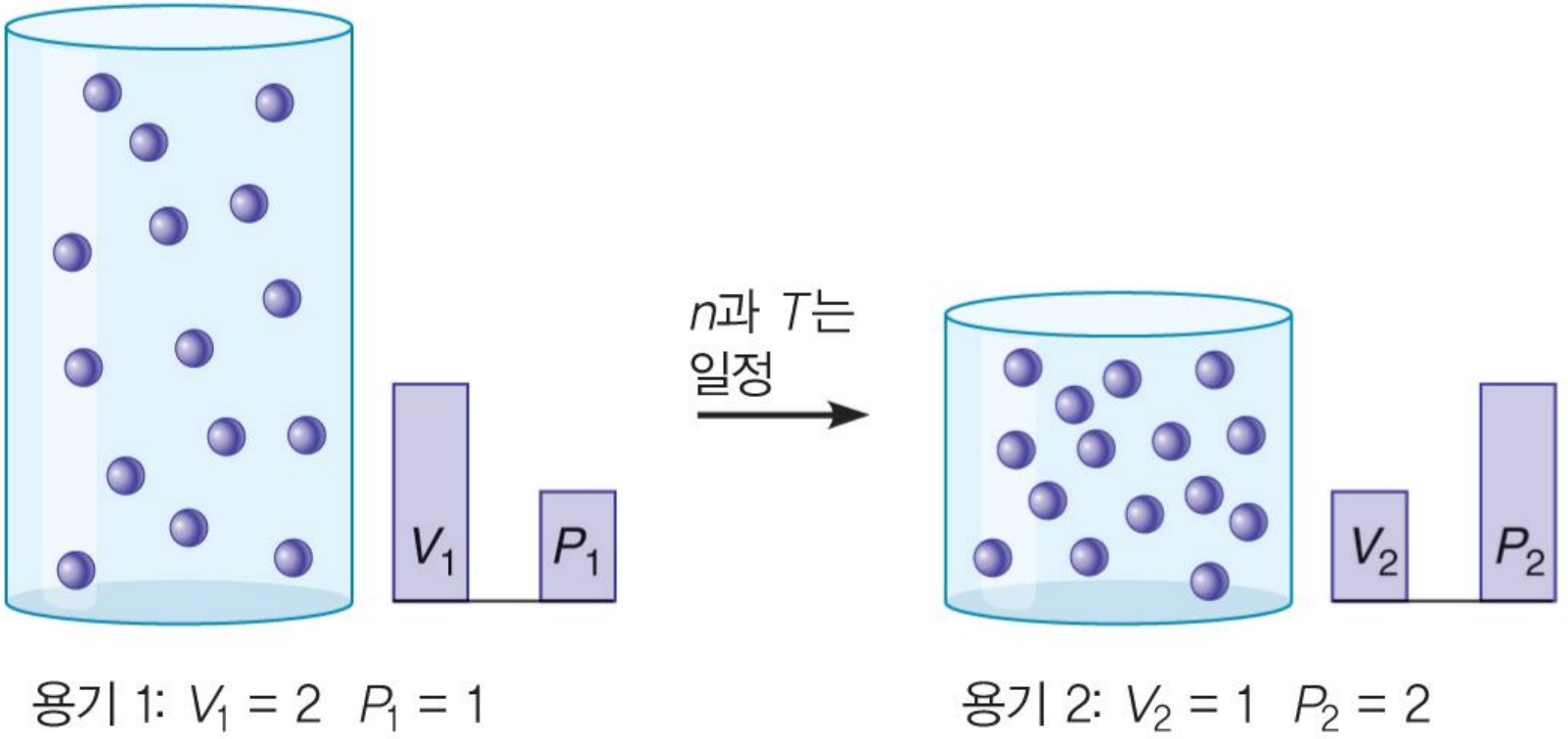
$$\text{Flow} = \frac{P_{atm} - P_{alv}}{R}$$

- 흐름을 위한 힘=압력기울기
- 대기압은 일정(호흡주기동안)
- 따라서 폐포의 압력변화는 기울기를 형성하고 변화시킨다

Forces for Air Flow(공기흐름을 위한 힘)

- 보일의 법칙: 압력은 부피에 반비례한다
- 따라서 부피를 변화시켜 폐포 압력을 변화시킬 수 있다
- R=공기흐름에 대한 저항
- 저항은 기도의 반지름, 점액과 연관

Boyle's Law(보일의 법칙)



Determinants of Intra-Alveolar Pressure(폐포내압의 결정인자)

- 폐포내압을 결정하는 요인
  - 폐포내의 공기의 양
  - 폐포 용량
- 폐가 팽창- 폐포 용량이 증가
  - 폐포내압이 감소
  - 압력기울기로 공기가 폐로 들어옴
- 폐가 원상태로 수축할 때- 폐포 용량이 감소
  - 폐포내압 증가
  - 압력기울기에 의해 공기가 폐 밖으로 나감

Pulmonary Pressures / Volumes(폐내압과/용적)

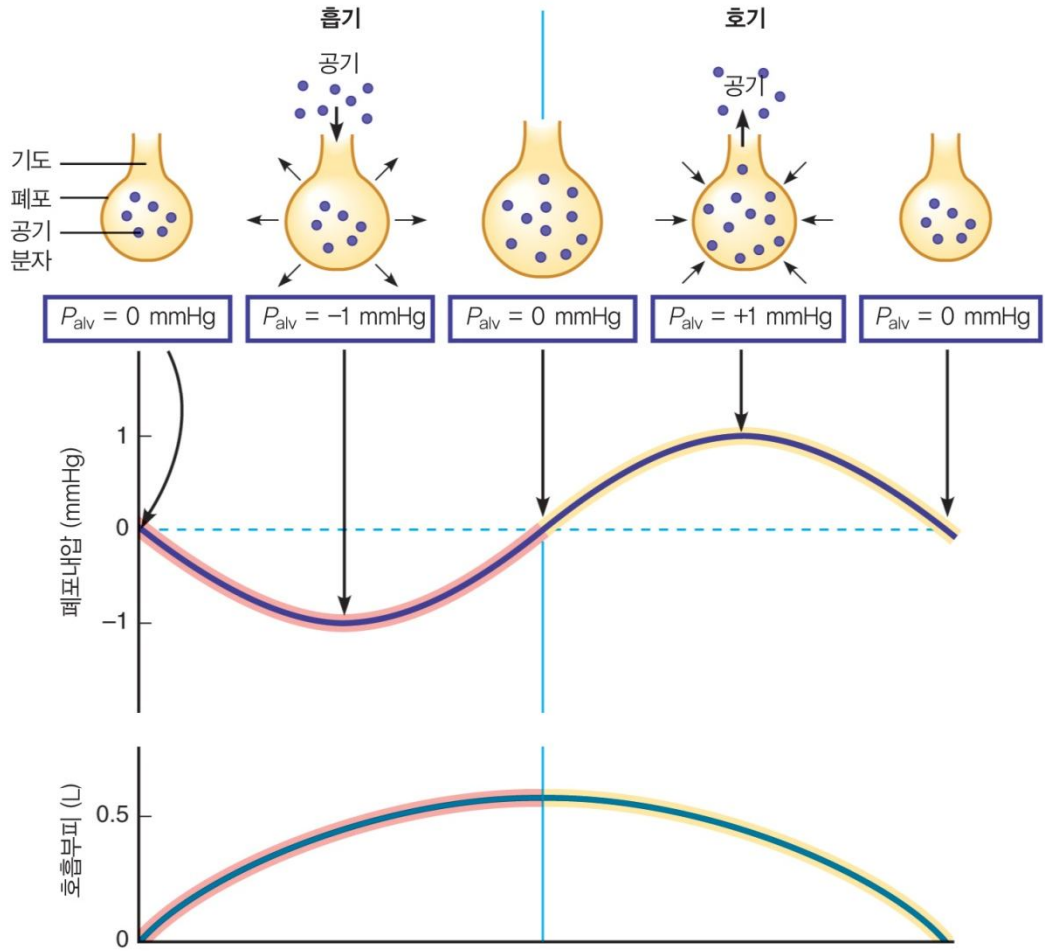


그림 16.10 흡기와 호기 중 폐포압과 호흡 용적의 변화. 흡기 전의 폐포내압은 0 mmHg이다. 흡기 동안 폐가 팽창하면 폐포내압이 감소한다. 공기가 흘러들어 가면서 폐 속 기체량이 증가하고 이에 폐포내압이 증가한다. 흡기가 끝날 때에 폐포내압은 대기압과 같아진다. 호기 동안 폐는 안쪽으로 오그라들어 폐포내압이 증가한다. 공기가 폐 밖으로 나가면 압력차가 줄어들고, 호기가 끝날 때에는 폐포내압이 대기압과 같아져서 공기의 흐름은 0이 된다.

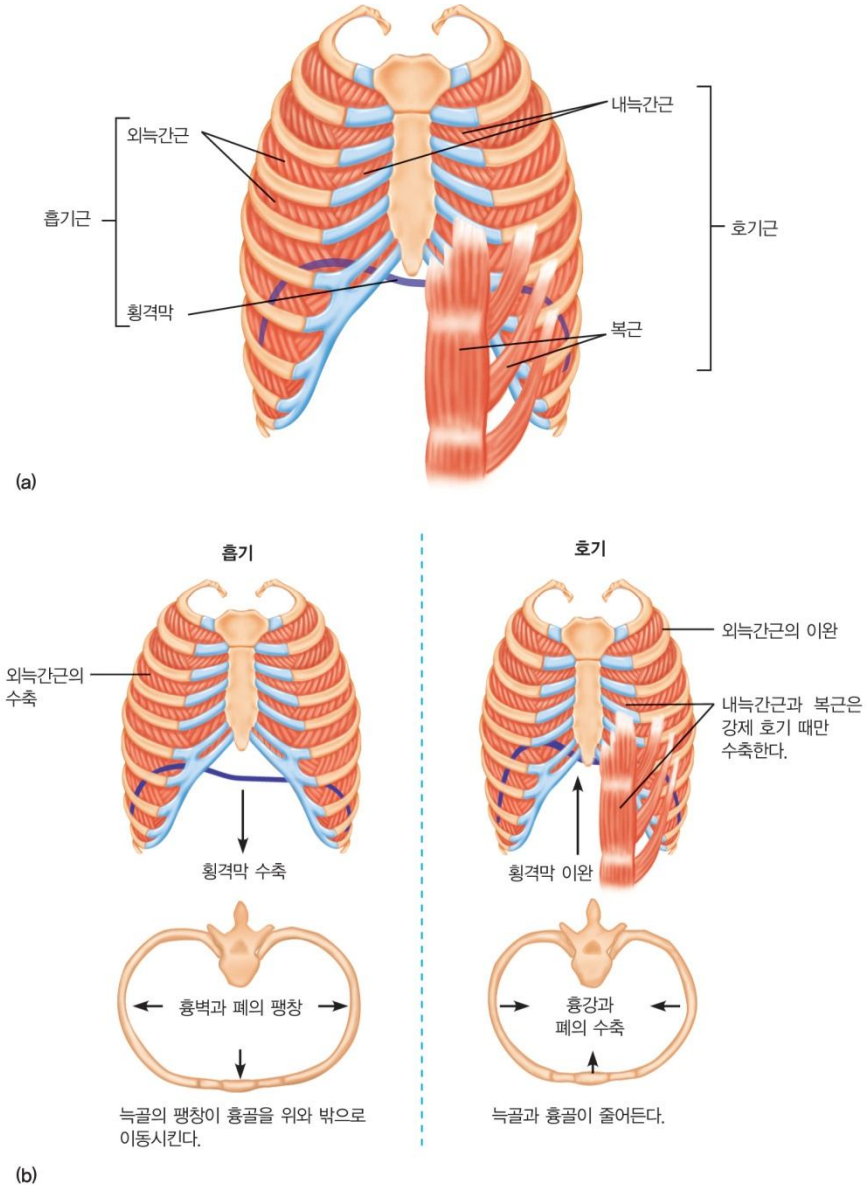
Muscles of Respiration(호흡 근육)

- 흡기근은 흉강의 용적을 증가시킴
  - 횡격막
  - 외늑간근
- 호기근은 흉강의 용적을 감소시킴
  - 내극간근
  - 복근

Muscles of Respiration(호흡근)

- 호기는 일반적으로 수동적임(근육이 필요하지 않음)

Muscles of Breathing(호흡근)



Neural Aspects of Inspiration(흡기의 신경양상)

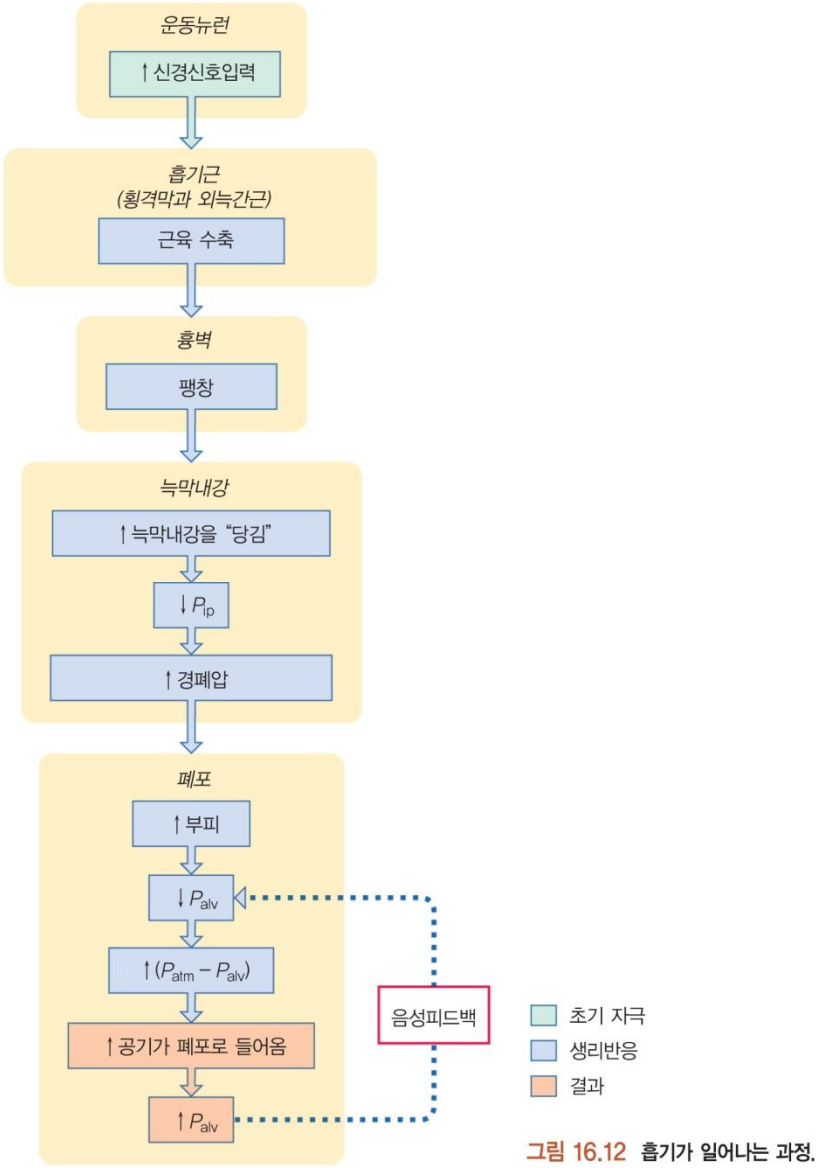
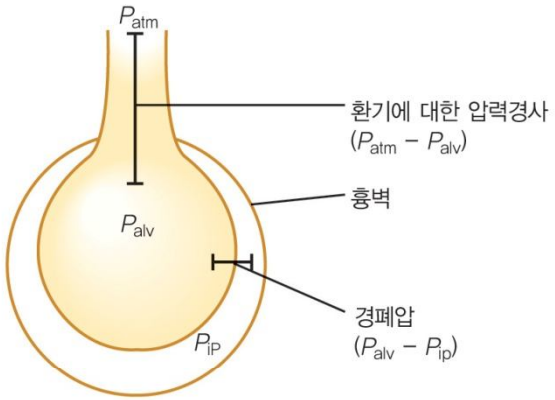
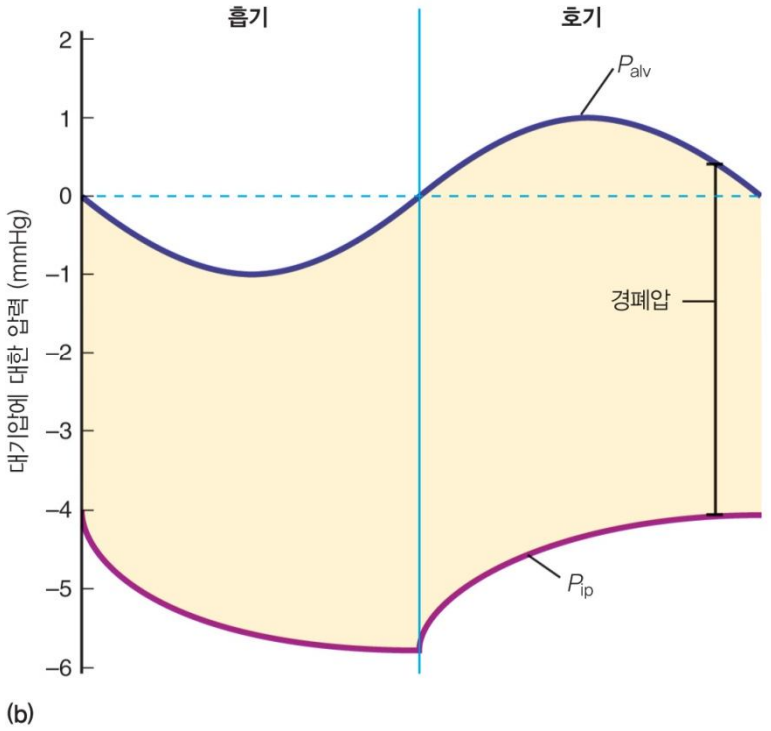


그림 16.12 흡기가 일어나는 과정.

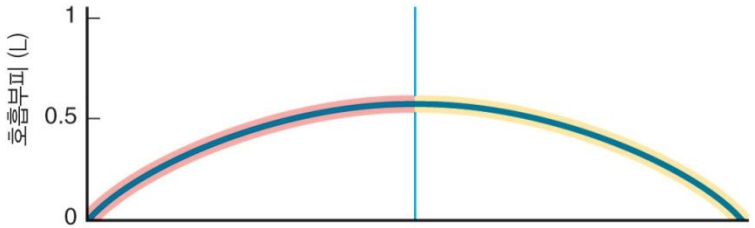
Volume and Pressure Changes(부피와 압력 변화)



(a)



(b)



(c)

그림 16.13 흡기 및 호기 동안 일어나는 부피와 압력의 변화. **(a)** 대기압과 폐포내압 사이의 차이(환기를 일으키는 압력차)가 공기가 폐를 드나들도록 하는 힘을 제공하며, 경폐압은 폐를 팽창하게 하는 힘을 제공한다. **(b)** 호흡 중에 나타나는 폐포내압과 흉막강내압의 변화는 흡기 동안과 호기의 시작에서 경폐압을 증가시키고, 호기가 지속됨에 따라 감소한다. **(c)** 호흡량의 변화는 P_{ip}가 보일의 법칙을 따르지만(흉막내강은 닫힌 공간), P_{alv}는 보일의 법칙을 따르지 않는다(폐포는 분자가 드나드는 개방된 구조다)는 것을 보여준다.

Expiration(호기)

- 호기는 정상적으로 수동 과정
  - 흡기근이 수축을 멈추면 폐와 흉벽이 원 상태로 돌아가 흉강의 부피가 감소한다
- 능동적인 호기에는 호기근이 필요
  - 호기근이 수축하면 흉강의 부피가 빠르게 급감한다

IV. Factors Affecting Pulmonary Ventilation(폐환기에 영향을 미치는 요인)

- Lung compliance(폐 신전성)
- Airway resistance(기도저항)

Lung Compliance(폐 신전성)

폐가 쉽게 늘어날 수 있는 정도

$$\text{폐 신전성} = \frac{\Delta V}{\Delta(P_{alv} - P_{ip})}$$

- 폐 신전성이 크면
  - 흡기가 용이
  - 일정량의 공기가 들어오는 데 필요한 경폐압의 변화가 더 적어짐

Factors Affecting Lung Compliance(폐 신전성에 영향을 미치는 요인)

- 탄성력
  - 탄성력이 클수록 → 신전성이 작음
- 폐의 표면장력
  - 표면장력이 클수록 → 신전성이 작음

Surface Tension in Lungs(폐의 표면장력)

- 얇은 액체층이 폐포내면을 둘러쌈
- 표면장력은 물과 분자사이의 인력에 기인
- 표면장력= 폐포가 허탈해지거나 팽창에 저항하는 힘

To Overcome Surface Tension(표면장력의 극복)

- II형 폐포세포로부터 폐포표면활성제 분비
  - 폐포표면활성제=표면장력을 감소시키는 세제
- 폐포표면활성제는 폐의 신전성을 증가시킴
  - 흡기가 유리해짐

Airway Resistance(기도저항)

- 기도의 직경이 작아지면 그 수가 증가하여 총저항이 낮게 유지된다
- 따라서 공기흐름에 필요한 압력기울기가 낮다
  - ~1 mm Hg
- 저항이 증가하면 호흡이 어려워짐
  - 공기흐름에 필요한 압력기울기 > 1mm Hg

Effects of Airway Resistance Increase(기도저항이 증가할 때의 효과)

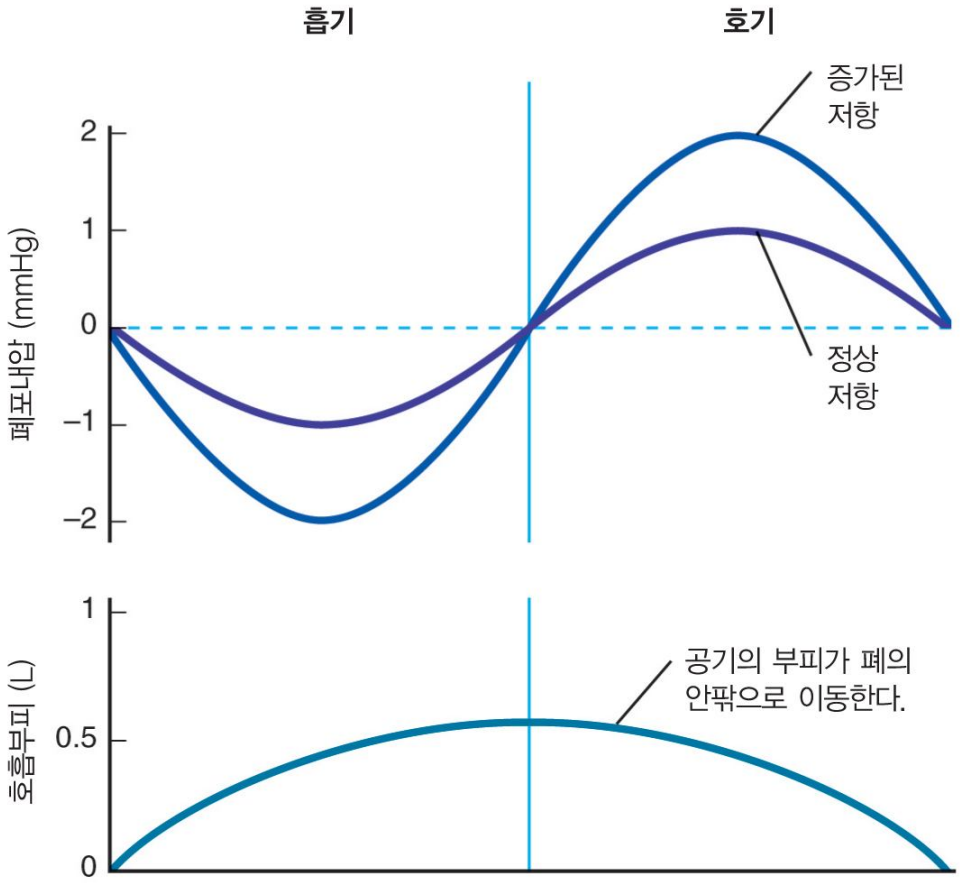


그림 16.14 일정한 부피의 공기가 이동하는 데 필요한 압력 변화에 대한 기도저항이 증가할 때의 효과. 기도저항이 정상보다 증가하면 공기의 일정 부피(이 경우 0.5 mL)가 일정시간 동안 폐로 들어오고 나가는데 더 큰 폐포내압이 필요하다.

Factors Affecting Airway Resistance (기도저항이 증가할 때의 효과)

- 수동적 힘
  - 호흡주기동안 경폐압의 변화
    - 흡기: 경폐압이 증가하여 기도 확장
  - 견인력
    - 흡기: 조직이 기도에서 먼 쪽으로 움직이면, 기도가 끌어당겨져 열림
- 평활근의 수축작용
- 점액 분비

Role of Bronchiolar Smooth Muscle in Airway Resistance(기도저항에서 세기관지 평활근의 역할)

- 기관지수축: 평활근이 수축하면 반지름이 감소
- 기관지 이완: 평활근이 이완하면 반지름 증가
- 세기관지 평활근의 수축상태는 외인성, 내인성 조절을 받음

Extrinsic Control of Bronchiole Radius(세기관지 반경의 외인성 조절)

- 자율신경계
  - 교감신경
    - 평활근의 이완
    - 기관지 이완
  - 부교감신경
    - 평활근의 수축
    - 기관지 수축

Extrinsic Control of Bronchiole Radius(세기관지 반경의 외인성조절)

- 호르몬 조절
  - 에피네프린
    - 평활근의 이완
    - 기관지 이완

Intrinsic Control of Bronchiole Radius(세기관지의 내적조절)

- 히스타민-기관지 수축
  - 천식과 알레르기 반응 중 분비
  - 점액 분비도 증가시킴
- 이산화탄소-기관지 이완

Pathological States That Increase Airway Resistance(기도저항을 증가시키는 병적 상태)

- 천식
  - 세기관지 평활근의 경련성 수축에 의함
- 만성 폐쇄성 폐질환
  - COPD

V. Clinical Significance of Respiratory Volumes and Air Flows(호흡용적과 공기 흐름의 임상적 중요성)

- 폐용적과 폐용량
- 폐기능검사
- 폐포 환기량

Spirometry(폐활량 측정법)

폐용적과 폐용량을 측정하는 방법

Spirometry(폐활량계)

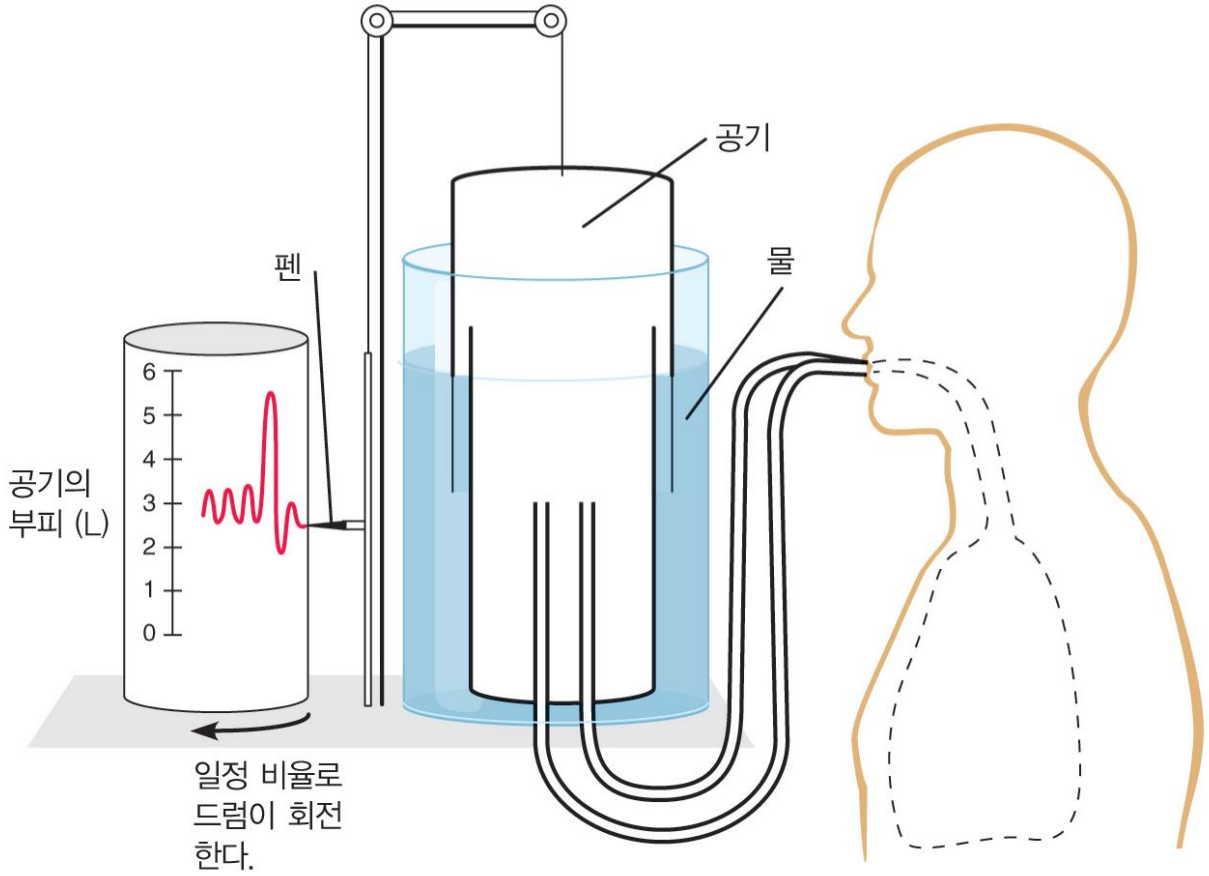
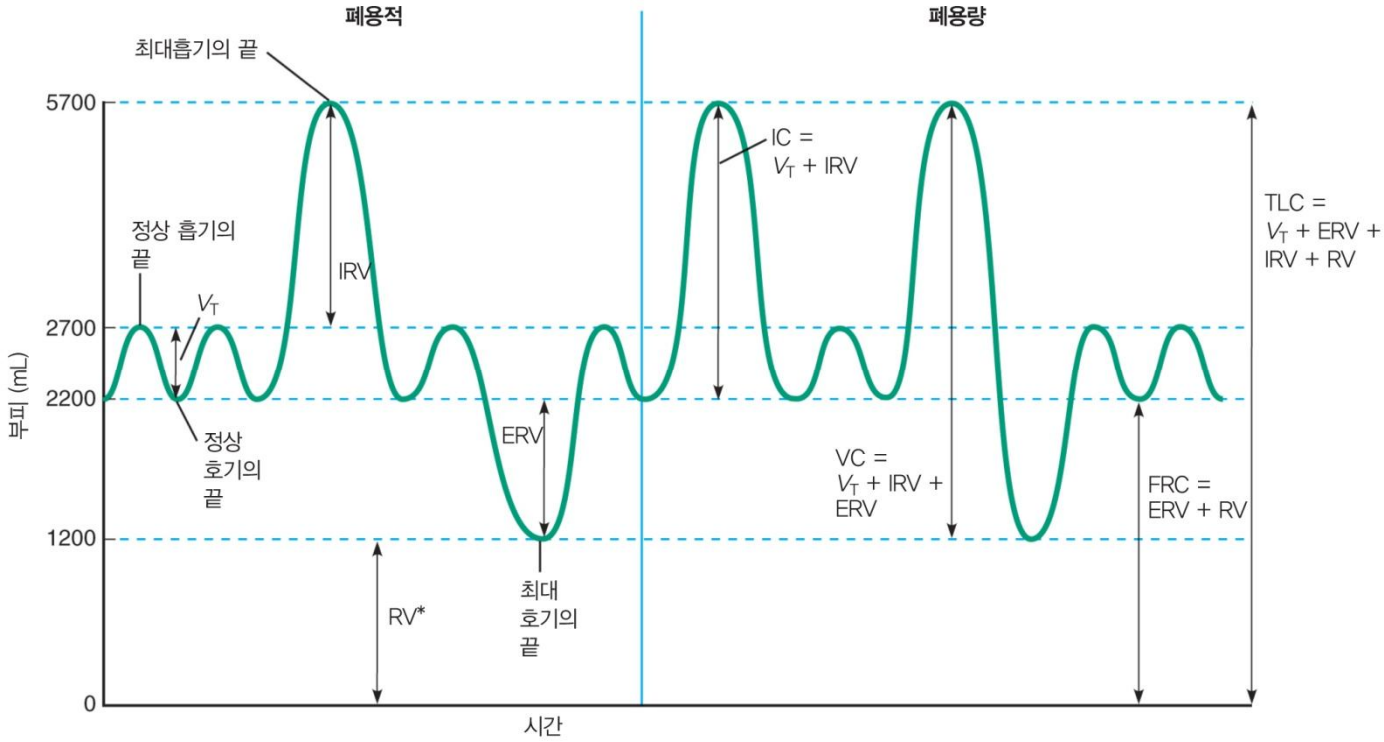


그림 16.15 **폐활량계.** 피검자가 숨을 들이마시고 내보내면 도르래에 연결된 펜이 거꾸로 들어 있는 통 속 공기량의 변화를 기록하게 된다.

Spirometry Measurements(폐활량계의 측정)



건강한 70 kg 남자의 정상 폐용적과 폐용량

폐용적

V_T = 일회호흡량 = 500 mL
IRV = 예비흡기량 = 3,000 mL
ERV = 예비호기량 = 1,000 mL
RV = 잔기량* = 1,200 mL

폐용량

IC = 흡기용적 = V_T + IRV = 3,500 mL
VC = 폐활량 = V_T + IRV + ERV = 4,500 mL
FRC = 기능잔기용량 = ERV + RV = 2,200 mL
TLC = 총폐용량 = V_T + ERV + IRV + RV = 5,700 mL

* 폐활량계로는 측정할 수 없다.

그림 16.16 폐활량계를 이용하여 측정한 폐용적과 폐용량. 여기에 나타난 곡선은 폐활량계(그림 16.15)에 의해 그려진 것이며 체중 70 kg인 남자의 평균수치를 대변한다.

Obstructive Pulmonary Diseases(폐쇄성 폐질환)

- 기도저항의 증가와 연관
- 잔기용적의 증가(호기가 어려워짐)
- 기능적 잔기량 증가
- 폐활량 감소
- 주 폐쇄성 폐질환
  - COPD(만성 폐쇄성 폐질환)
  - 천식

Restrictive Pulmonary Diseases(제한적 폐질환)

- 폐가 팽창하기 어려워짐
- 총폐용량 감소
- 폐활량 감소

Pulmonary Function Tests:
Forced Vital Capacity (FVC)(폐기능검사: 강제폐활량)

최대한 흡기를 한 후 가능한 한 신속하게 숨을 내쉬게 함

- 강제폐활량이 낮으면 제한적 폐질환을 암시

Pulmonary Function Tests:
Forced Expiratory Volume (FEV)(폐기능 검사: 강제호기용적)

일정시간 내에 내쉴 수 있는 강제폐활량의 퍼센트

- FEV_1 (강제호기용적)= 1초 내에 내쉴 수 있는 강제폐활량의 퍼센트
- 정상 FEV_1 = 80%
  - 강제폐활량= 4000ml 이면 1초내에 3200mL를 내쉬어야 함
  - FEV_1 < 80% : 폐쇄성 폐질환을 암시

Minute Ventilation(분당 환기량)

매분 호흡계를 출입하는 공기의 총량

- 분당 환기량 = $V_T \times RR$= 일호흡용적 x 호흡률
- 정상 호흡률 = 12 회 호흡/분
- 정상 일호흡용적 = 500mL
- 정상 분당 환기량 =
  500 mL × 12 회 호흡/분 = 6000 mL/min

Anatomical Dead Space(해부학적 무효공간)

- 전도구역에 있는 공기는 기체교환에 참여하지 않는다
- 따라서, 전도구역=해부학적 무효공간
- 무효공간: 대략 150mL

Dead Space and Ventilation (무효공간과 환기)

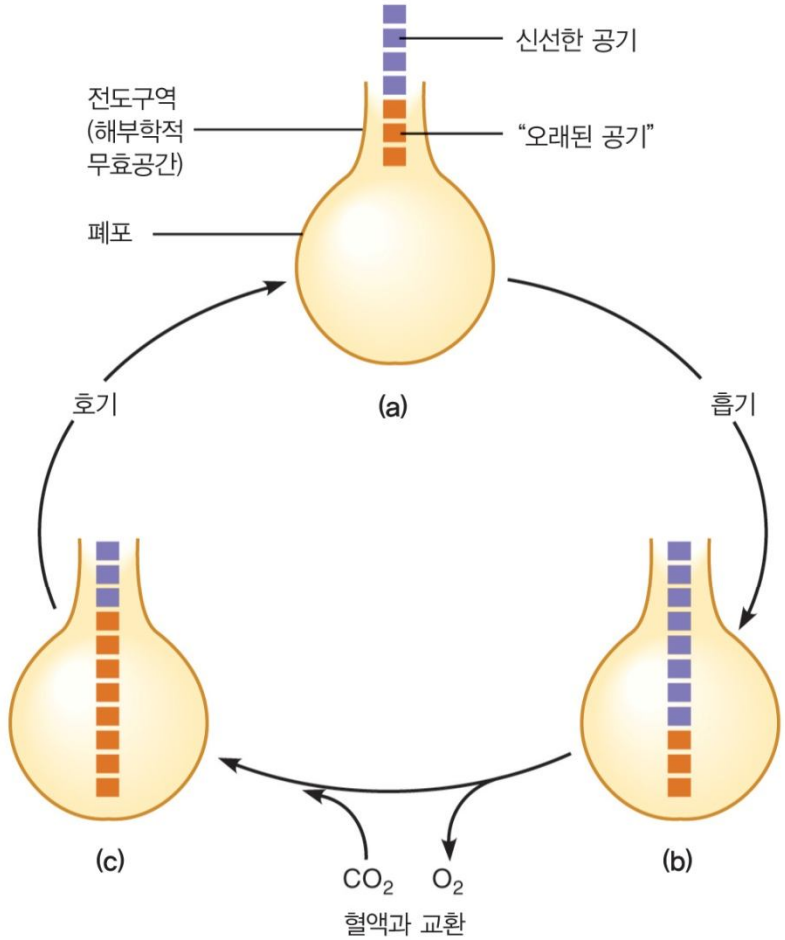


그림 16.17 폐포환기에서의 해부학적 무효공간의 효과. (a) 호기가 끝날 때, 전도구역과 호흡구역에 있는 모든 공기는 묵은 공기이다. (b) 흡기가 일어날 때, 전도구역(해부학적 무효공간)에 있는 묵은 공기는 외부에서 들어오는 공기에 밀려 호흡구역으로 들어온다. (c) 호기 중에는 전도구역에 있는 외부 공기가 먼저 나가고 묵은 공기가 따라 나간다.

Alveolar Ventilation(폐포 환기량)

- 분당 기체교환 장소에 도달하는 공기의 양
- 폐포 환기량 = (V_T x RR) – (DSV x RR)=(일호흡용적 x 호흡률) - (묵은공기량 x 호흡률)
- 정상 = 4200 mL/분
  - (500 mL/회 x 12 회/분) – (150 mL/회 X 12 회/분)

Respiratory Rate and Ventilation(호흡률과 환기)

표 16.1 분당 폐포환기량에 대한 호흡률과 일회호흡량의 효과

일회호흡량(mL)	호흡률(호흡/분)	분당환기량(mL/분)	분당 폐포환기량(mL/분)*
300	20	6,000	3,000
500	12	6,000	4,200
1,000	6	6,000	5,100
500	24	12,000	8,400
1,000	12	12,000	10,200

*무효공간은 150 mL로 가정한다.