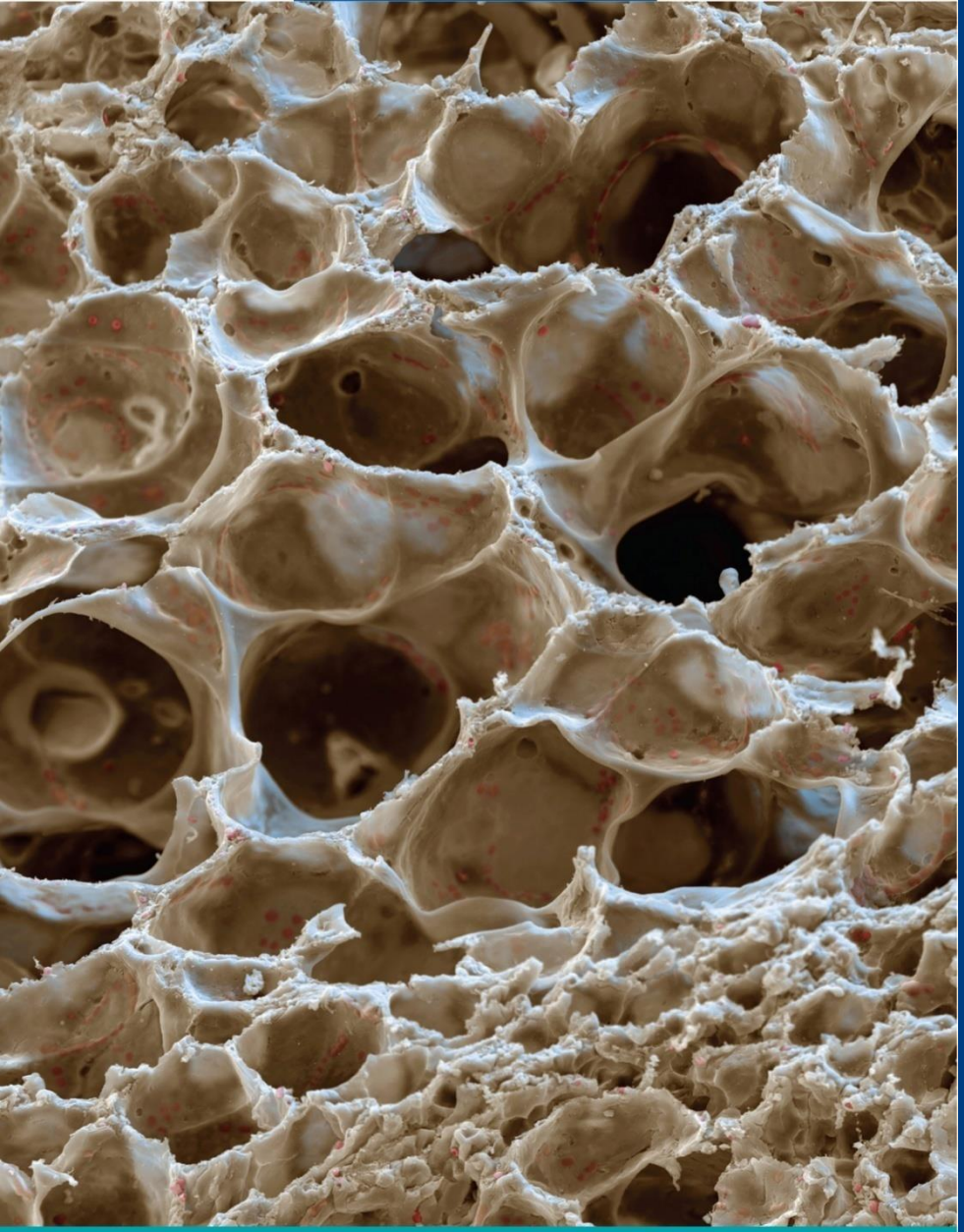


폐포의 주사전자현미경 사진

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)

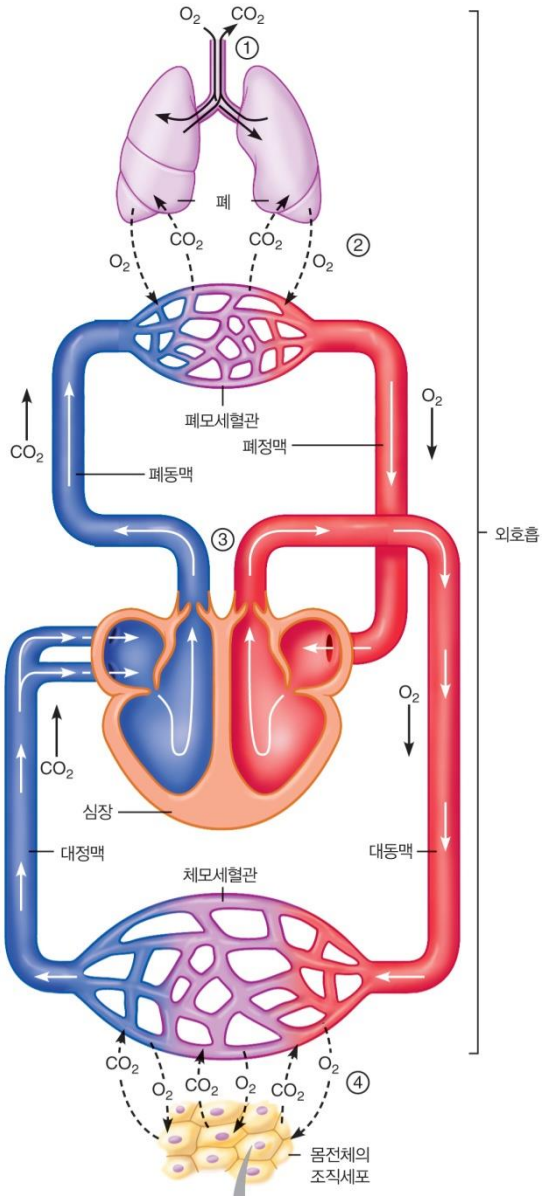
I. Overview of Respiration(호흡기능의 개요)

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

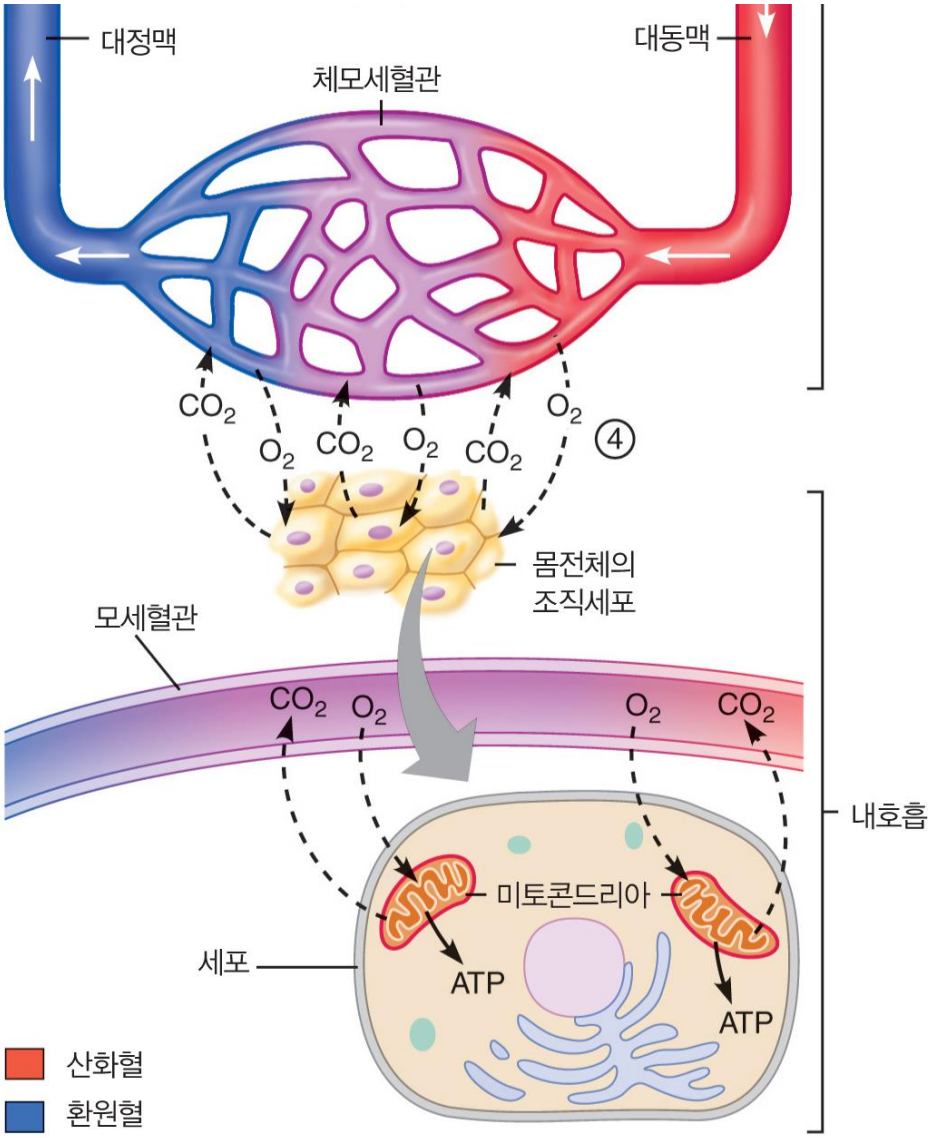
External Respiration(외호흡)

- 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)

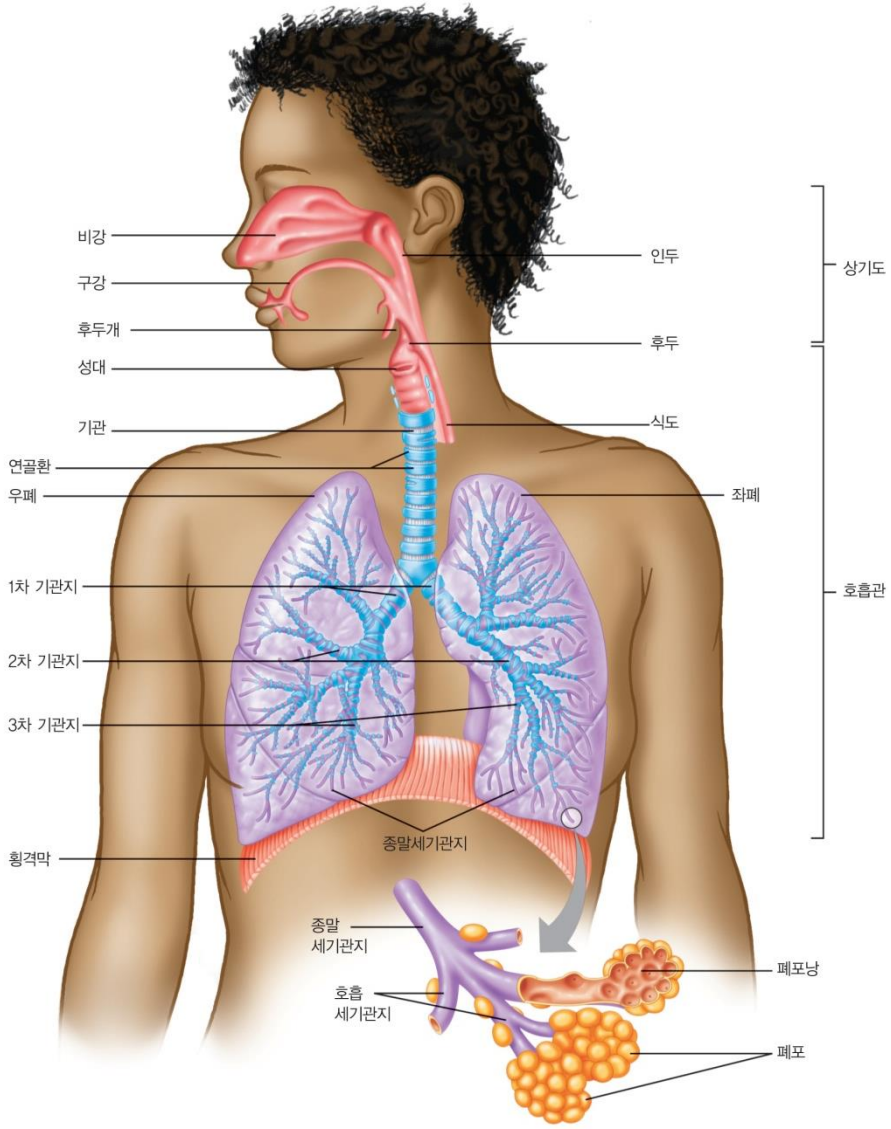


그림 16.2 상기도와 기도의 해부구조.

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

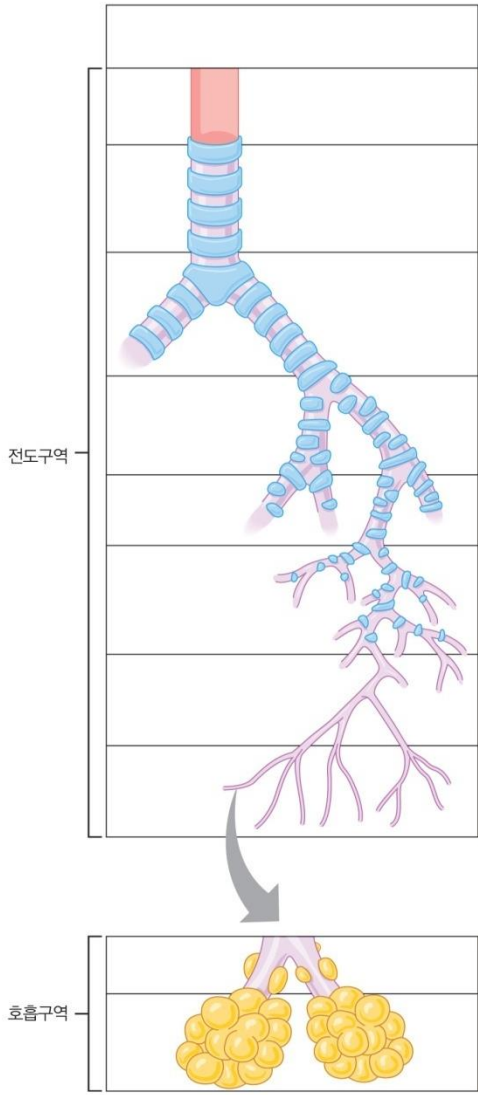
Functions of the Conducting Zone(전도구역의 기능)

- 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 (Sputum)

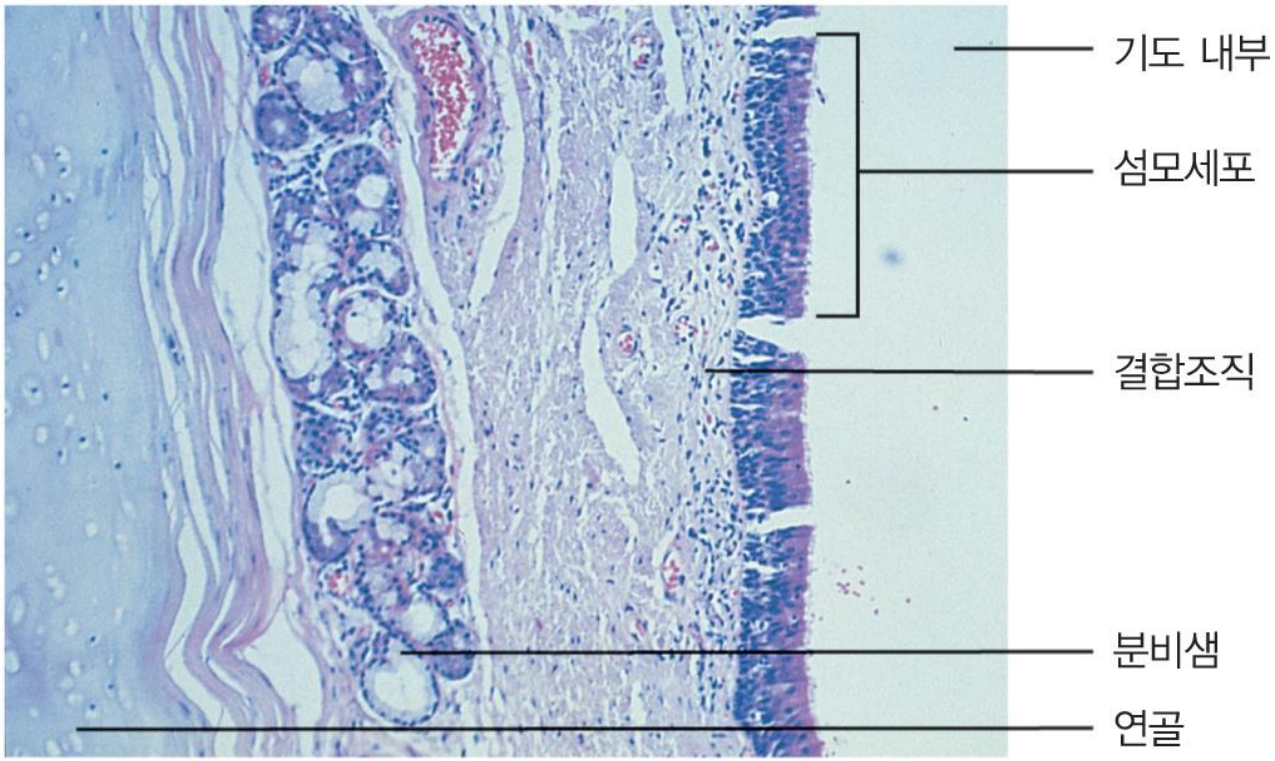
Features of the Respiratory Tract(호흡 기도의 특징)



	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

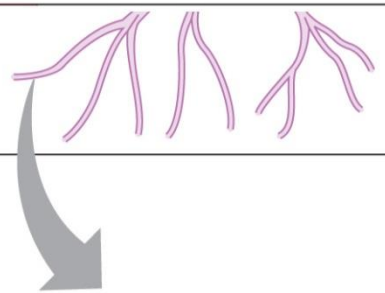
Function of the Respiratory Zone(호흡구역의 기능)

- 공기와 혈액 사이의 기체교환
- 기작: 확산

Epithelium of the Respiratory Zone(호흡구역의 상피)

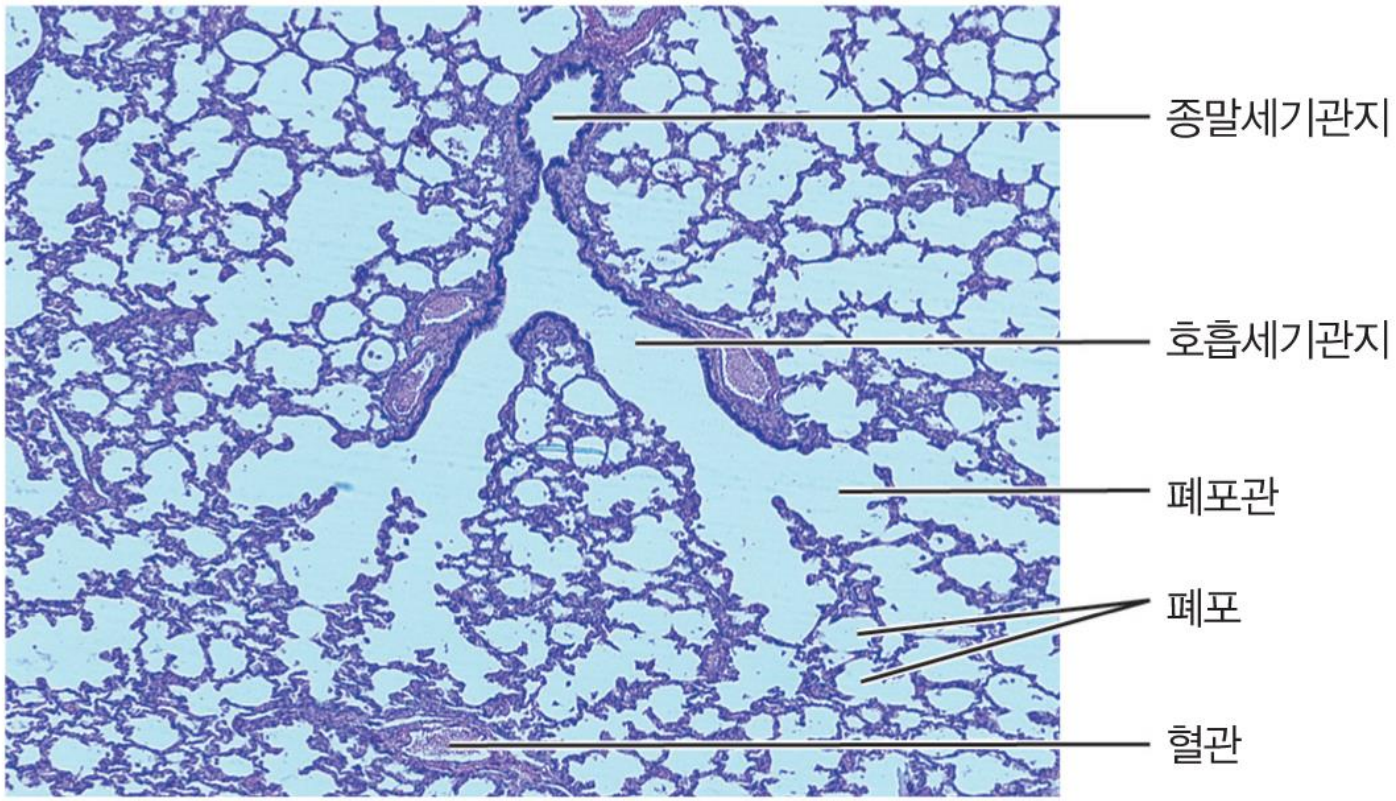
- 호흡막
  - 폐포의 상피세포층
  - 모세혈관의 내피세포층

Respiratory Zone(호흡구역)



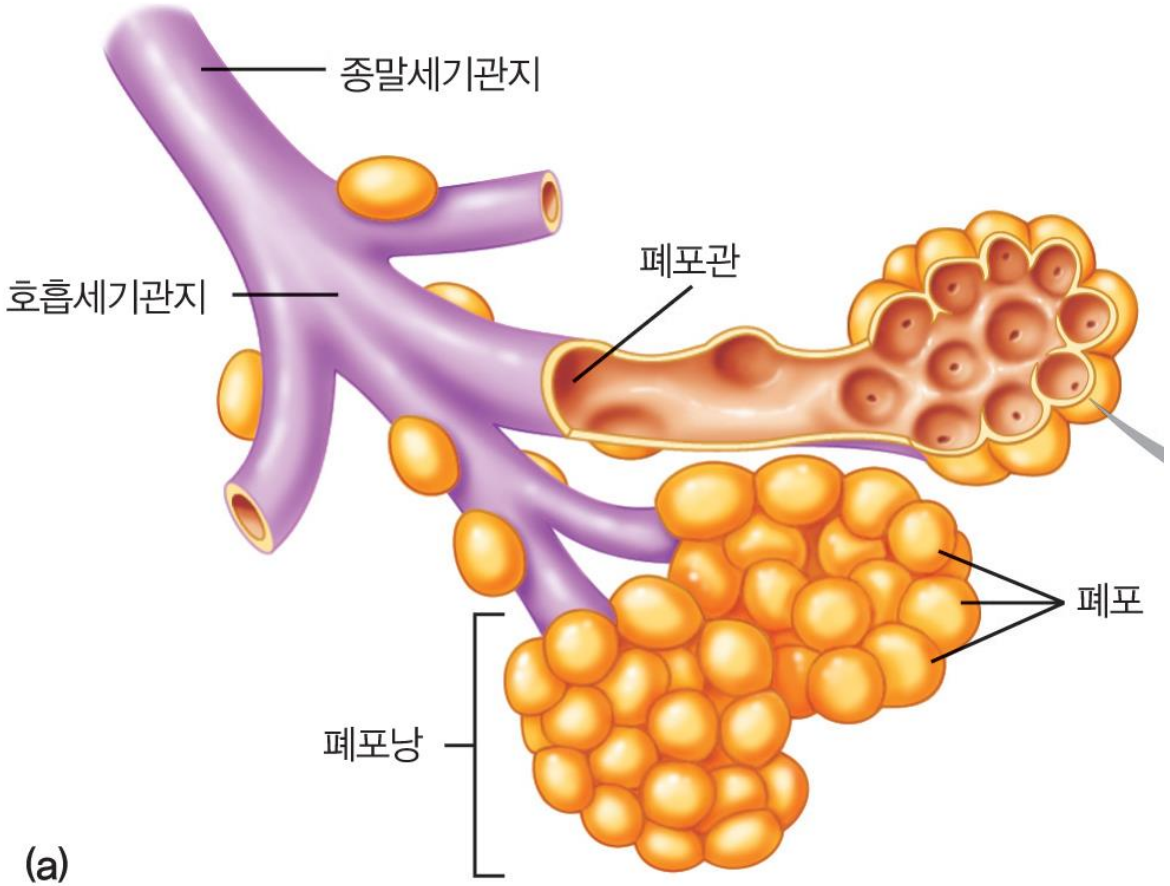
		구조	내부직경 (mm)	섬모	배상세포	연골	평활근
전도구역		종말 세기관지	<0.5	++	0	0	+++
호흡구역		호흡 세기관지	<0.5	+	0	0	+
		폐포낭	0.3	0	0	0	0

Respiratory Bronchioles and Alveoli(호흡세기관지와 폐포)

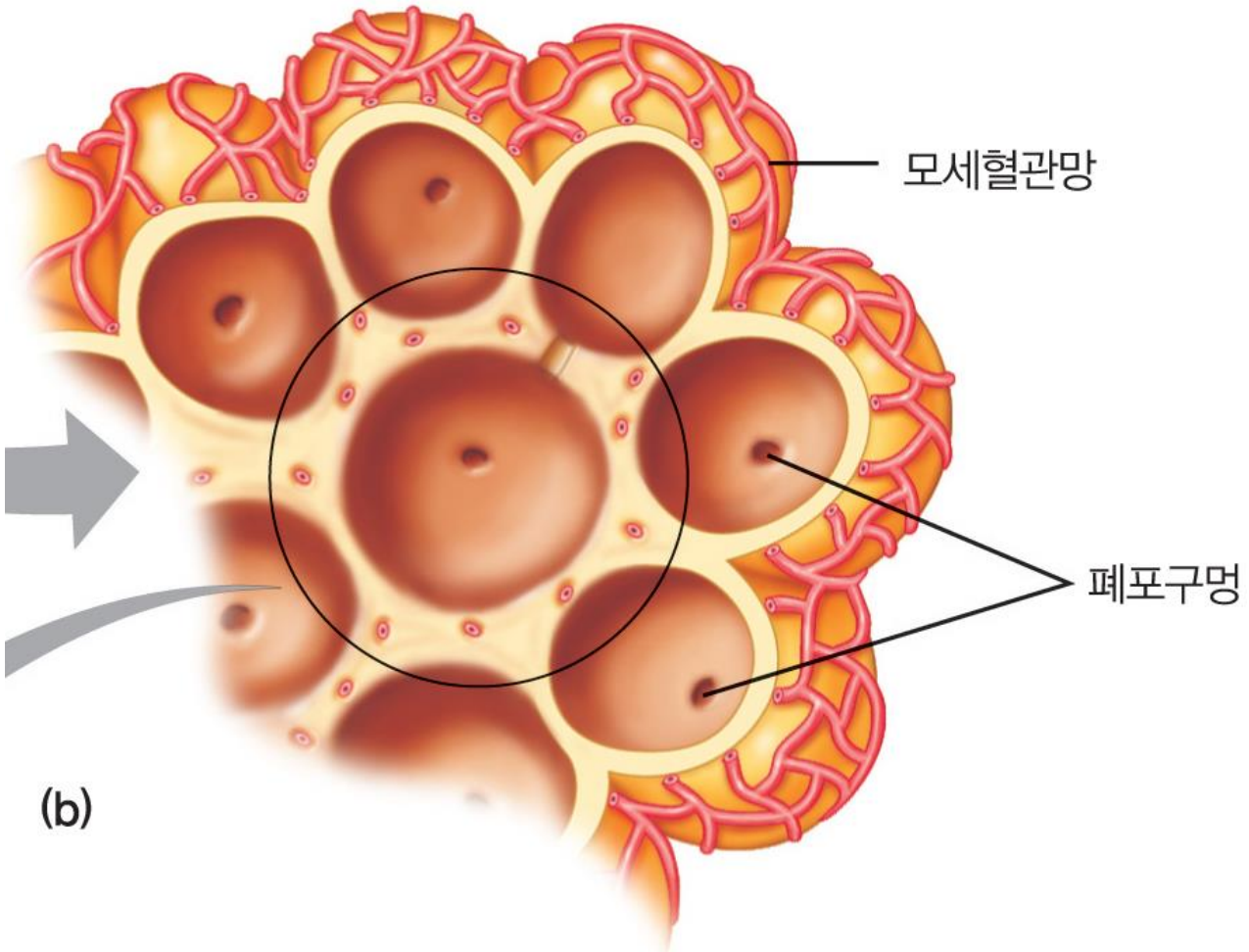


(b)

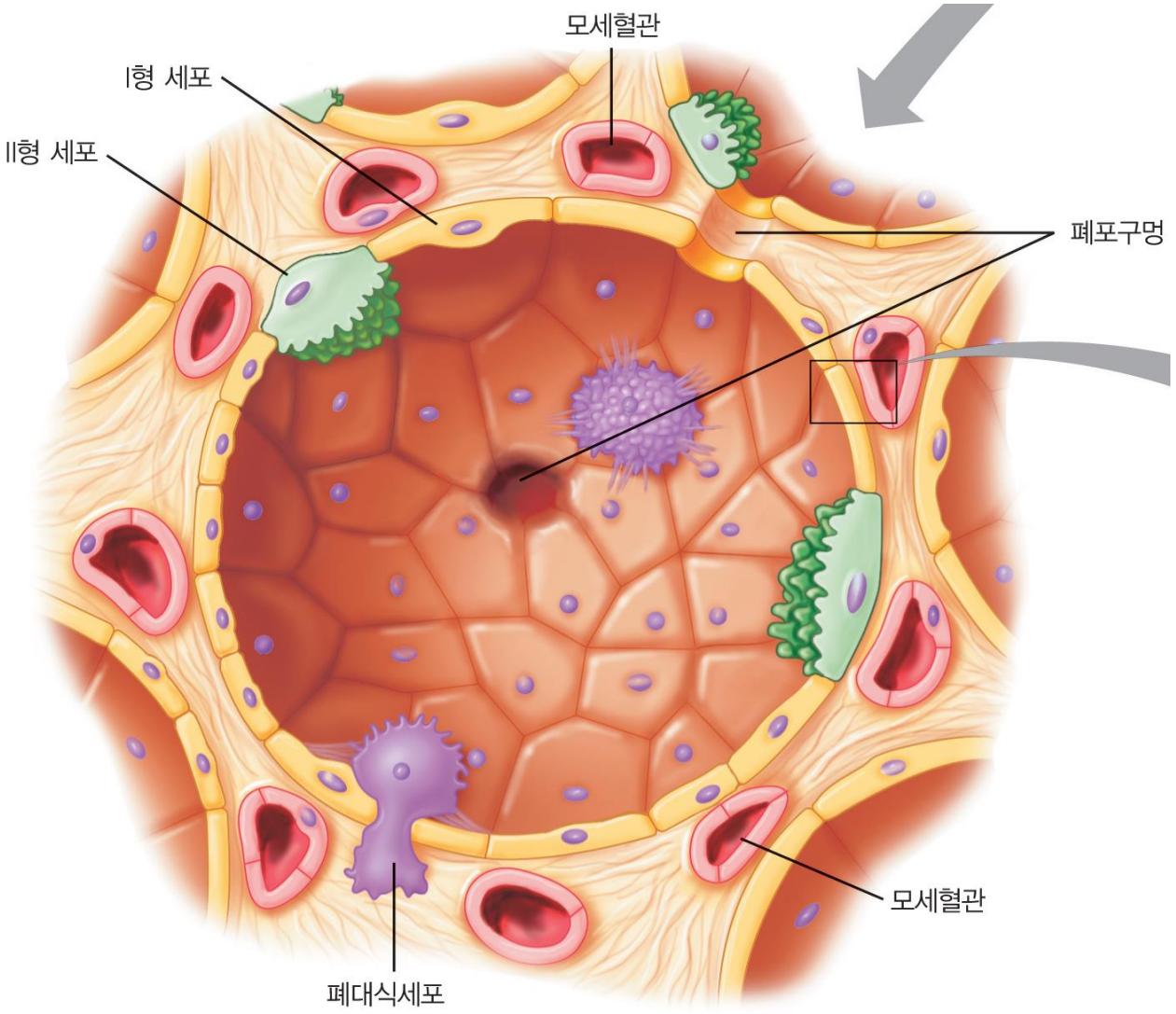
Anatomy of the Respiratory Zone(호흡구역의 해부구조)



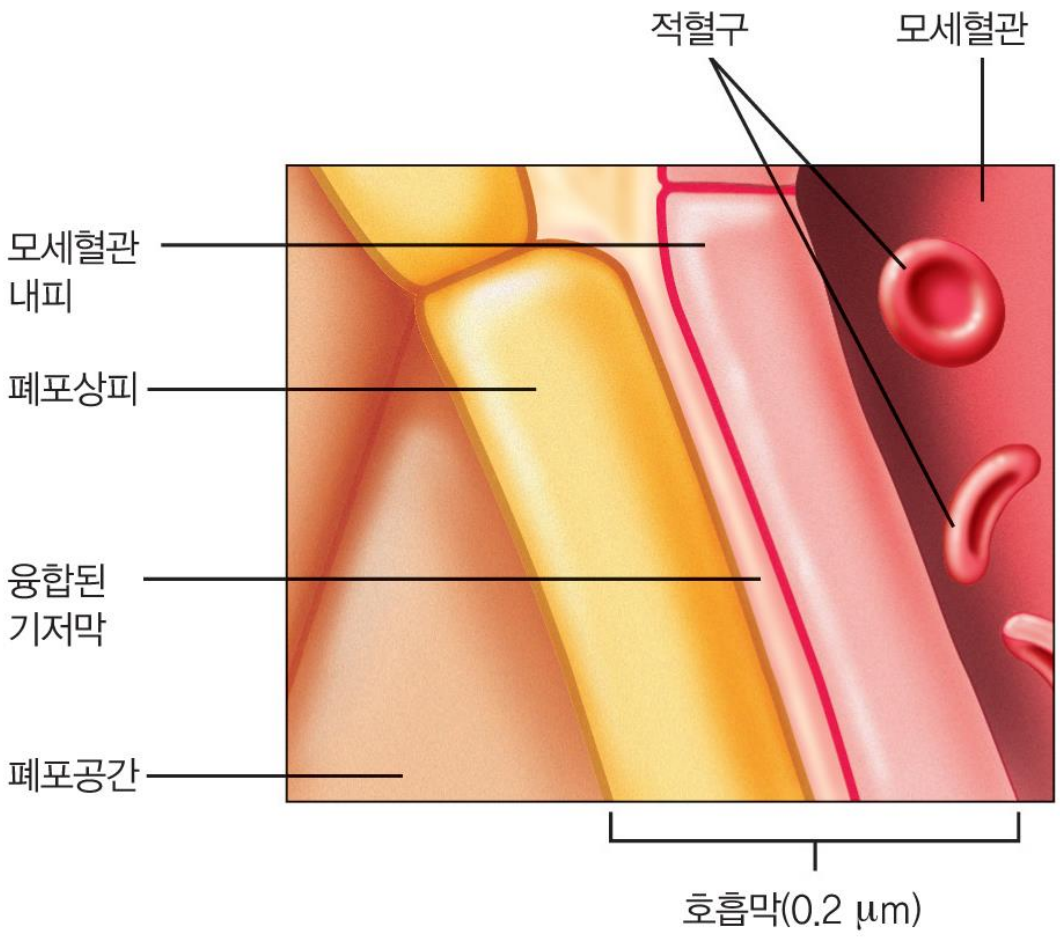
Anatomy of the Respiratory Zone(호흡구역의 해부구조)



Anatomy of the Respiratory Zone(호흡구역의 해부구조)



Anatomy of the Respiratory Zone (호흡구역의 해부구조)



(d)

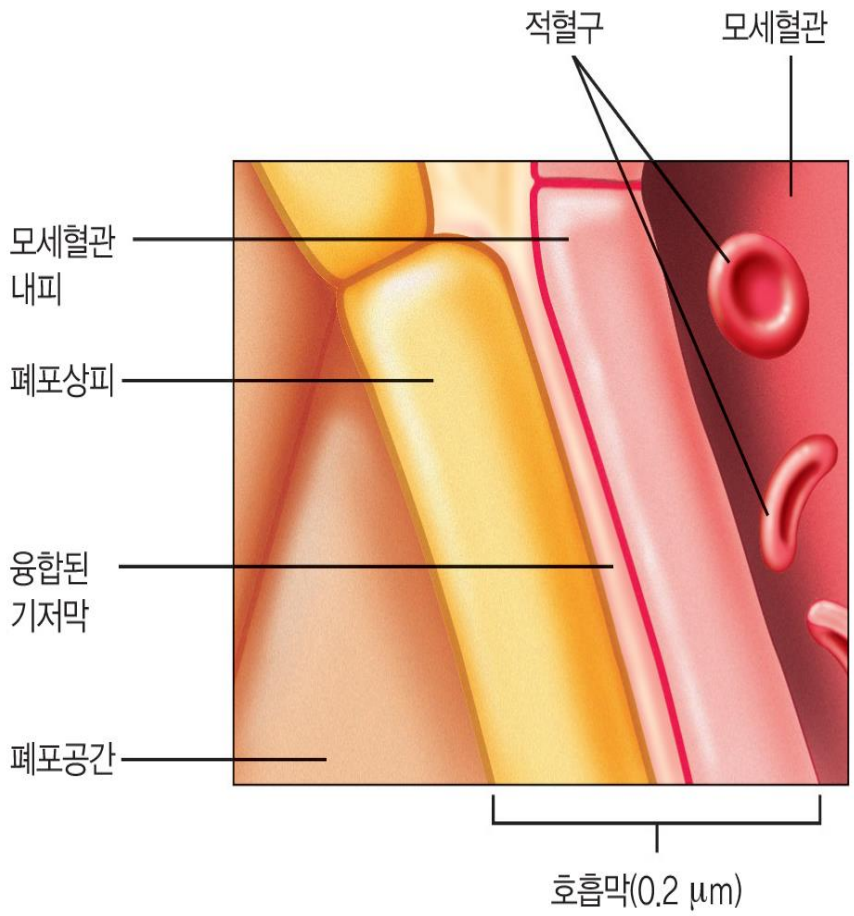
Alveoli(폐포)

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

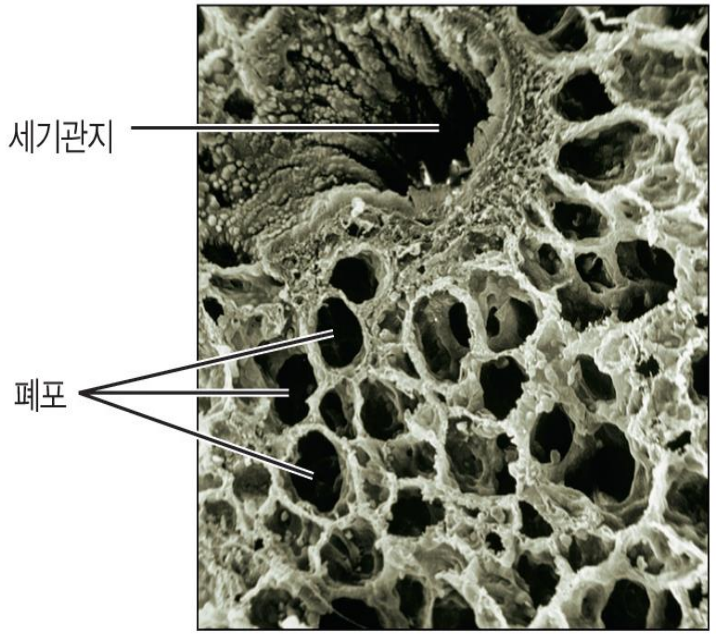
Alveoli(폐포)

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

Anatomy of the Respiratory Zone (호흡구역의 해부구조)



(d)

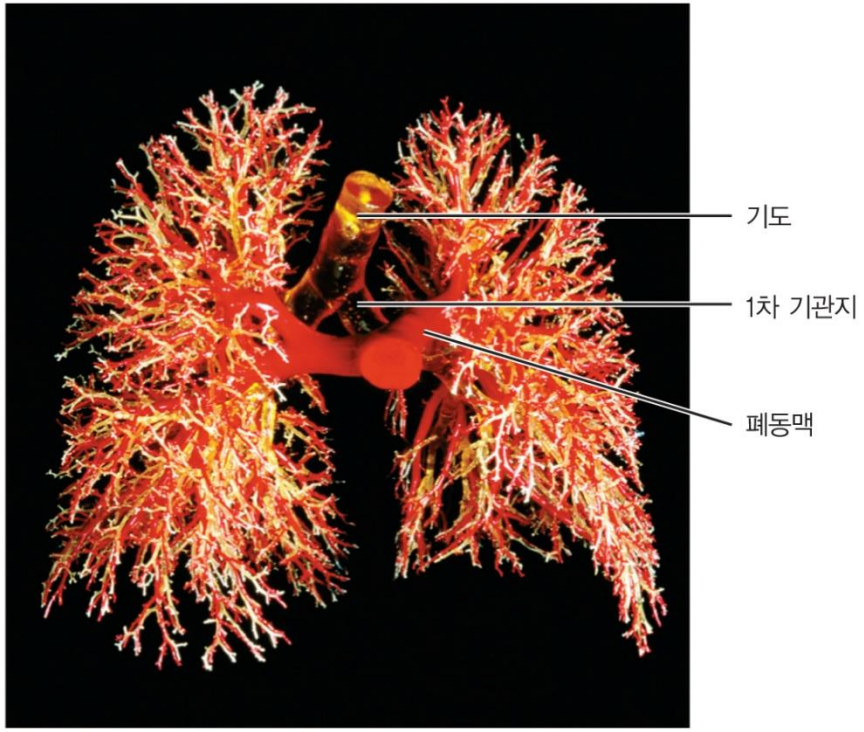


(e)

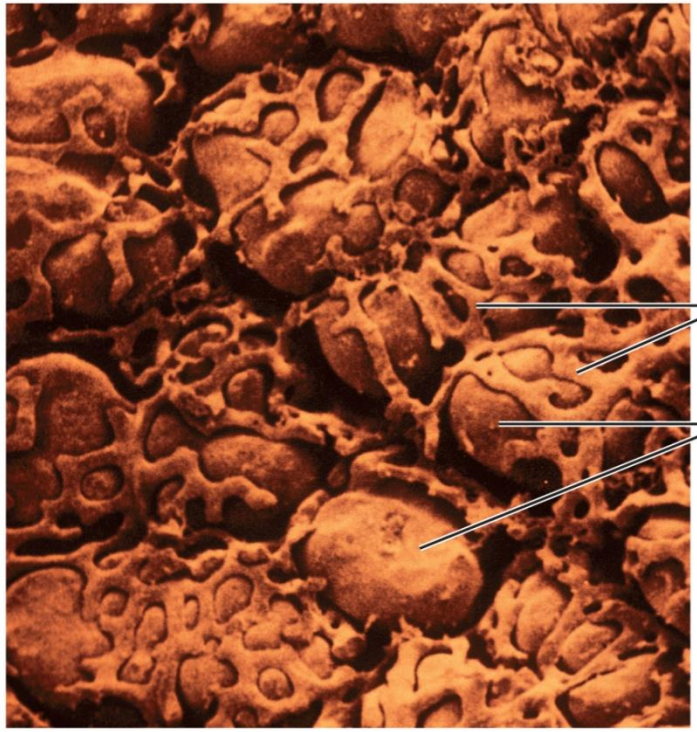
Respiratory Membrane(호흡막)

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

Blood Supply to the Lungs(폐의 혈액공급)



(a)



(b)

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)

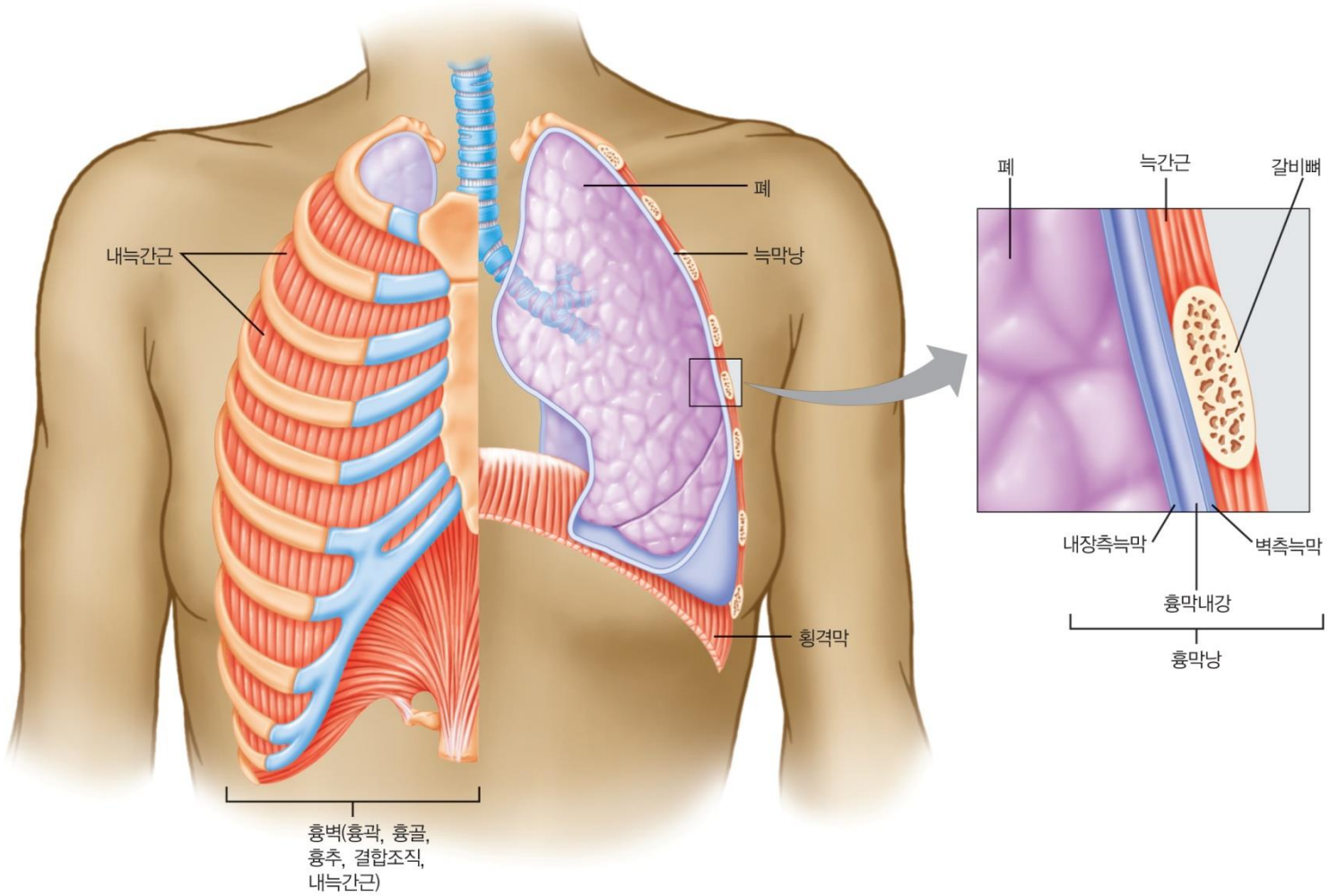


그림 16.7 흉벽과 흉막낭. 흉벽은 늑골, 흉골, 흉추, 결합조직, 내늑간근 등으로 구성된다. 폐와 붙어 있는 흉막낭의 측면을 내장측흉막이라고 한다. 체벽쪽으로 붙어 있는 흉막낭의 측면을 벽측흉막이라 한다. 액체로 채워진 흉막내강은 그림보다 훨씬 더 얇으며, 총 부피가 약 15 mL 정도 된다.

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

Pulmonary Pressures(폐내압)

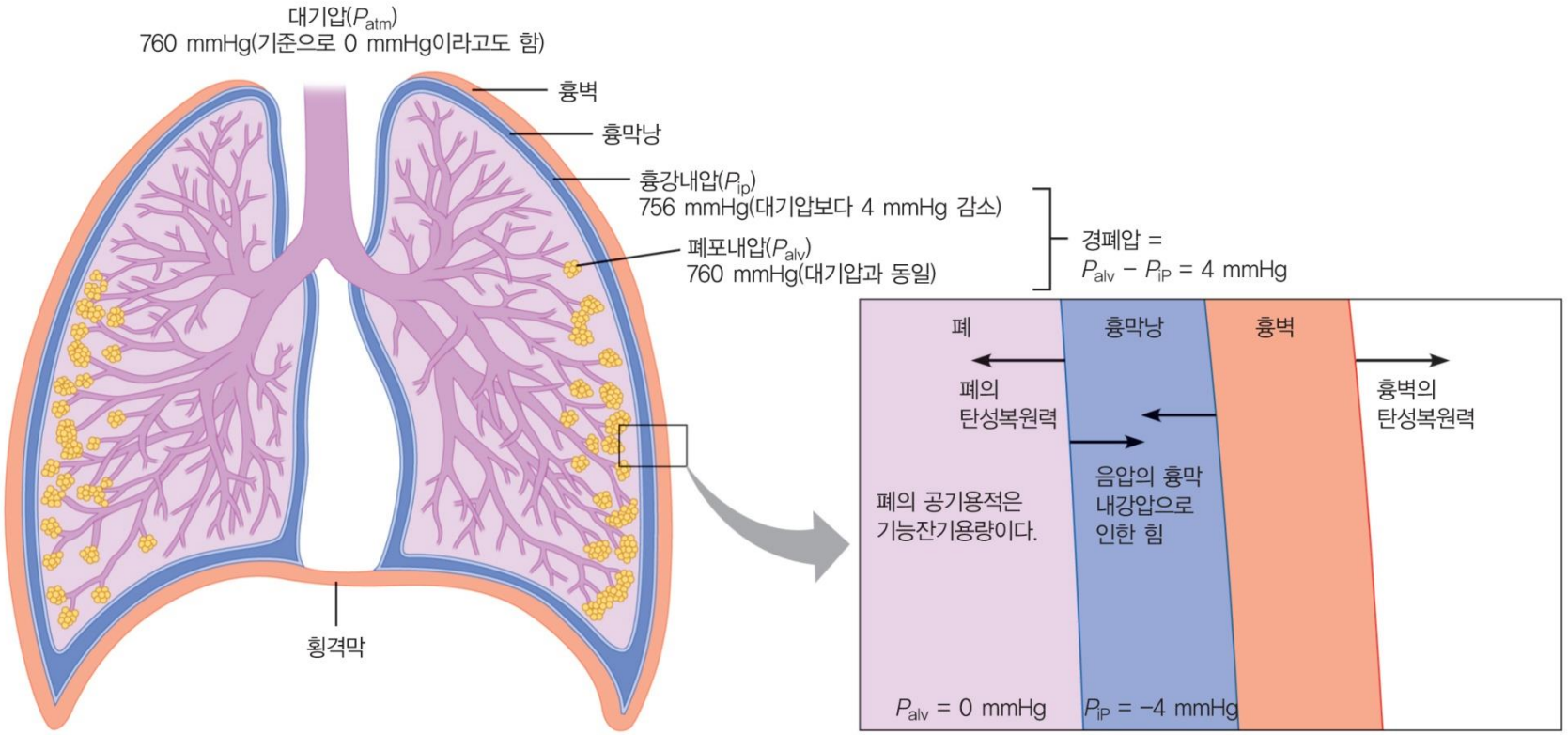


그림 16.8 안정상태의 흉막압. (a) 안정상태의 폐 압력. 폐포내압은 폐포 속의 압력, 흉강내압은 흉막낭 내의 압력이다. 경폐압은 폐포내압과 흉막내강압의 차이다. 모든 압력은 절대압력으로 그리고 대기압에 대한 상대적인 압력으로 표시하였다. **(b)** 폐가 기능잔기용량을 가지고 있을 때(숨쉬는 사이)의 압력과 탄성력. 기능잔기용량에서, 폐포내압(P_{alv}) = 대기압 = 0 mmHg. 폐는 부풀어 있고 탄성복원력은 폐를 안쪽으로 오그라들려고 하는 경향을 갖는다. 흉벽은 압축되어 있어 탄성복원력으로 밖으로 팽창하려고 한다. 이런 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)

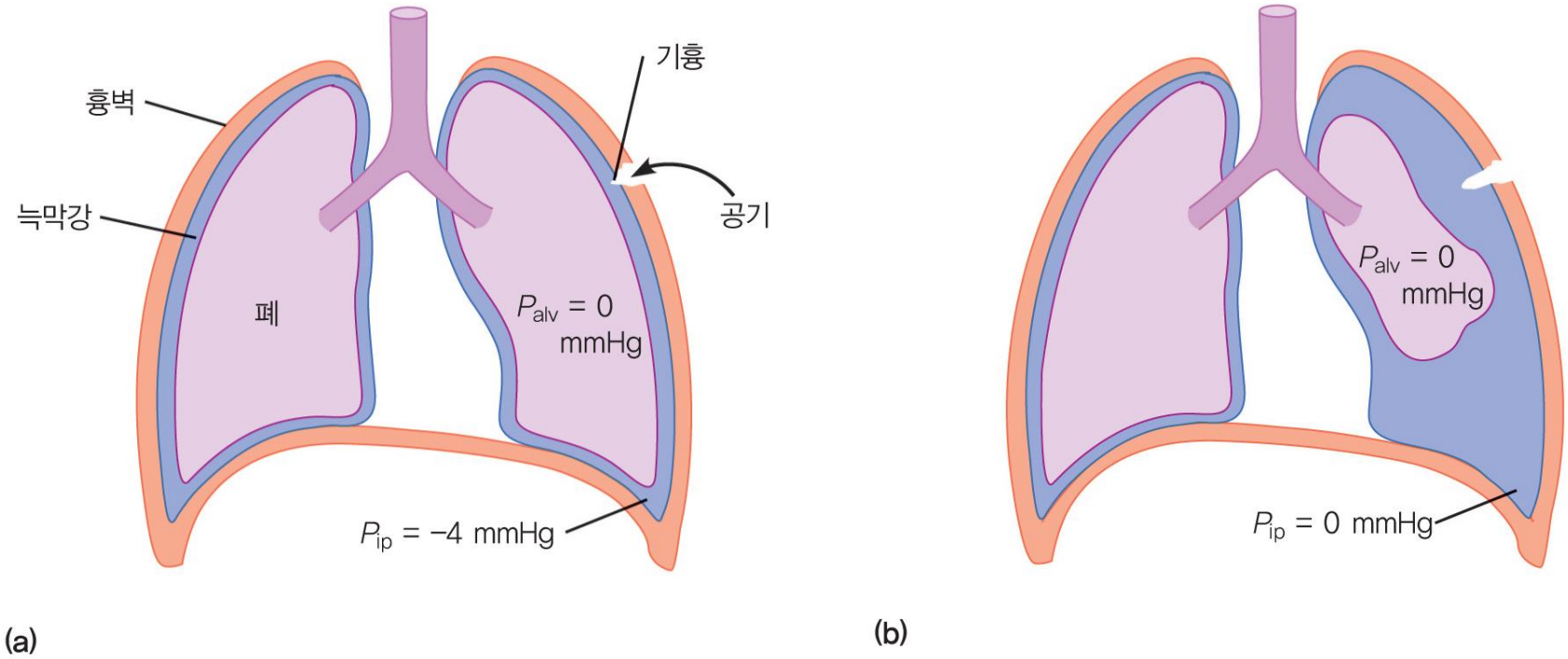
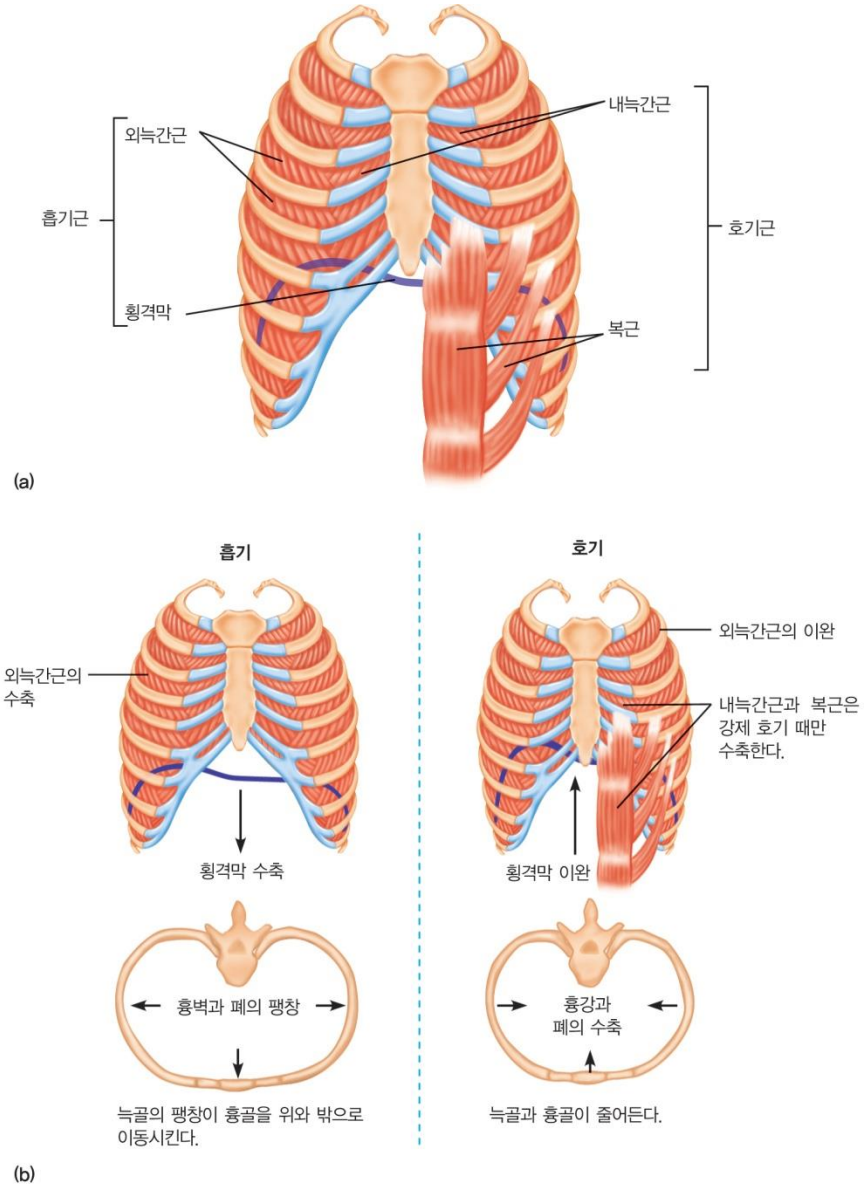


그림 16.9 **기흉.** **(a)** 안정상태의 정상 흉강내압은 −4 mmHg이다. 흉벽의 구멍을 통해 공기가 흉막내강으로 들어가면 기흉이 생긴다. **(b)** 기흉이 생기면 흉강내압은 대기압과 같아진다. 폐를 밖으로 밀어내는 음압의 흉강내압이 없어 폐는 탄성복원력으로 인해 오그라든다.

Muscles of Respiration(호흡 근육)

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

Muscles of Breathing(호흡근)



Neural Aspects of Inspiration(흡기의 신경양상)

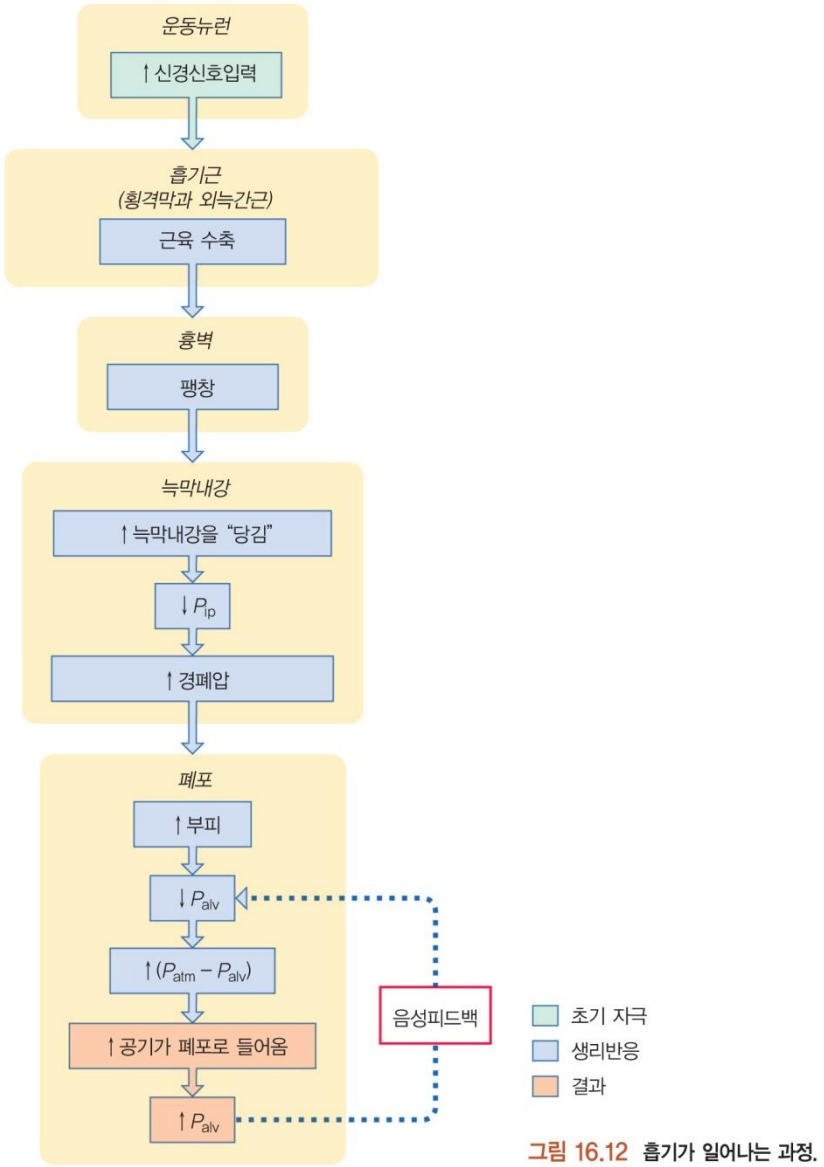


그림 16.12 흡기가 일어나는 과정.

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)

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

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

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)

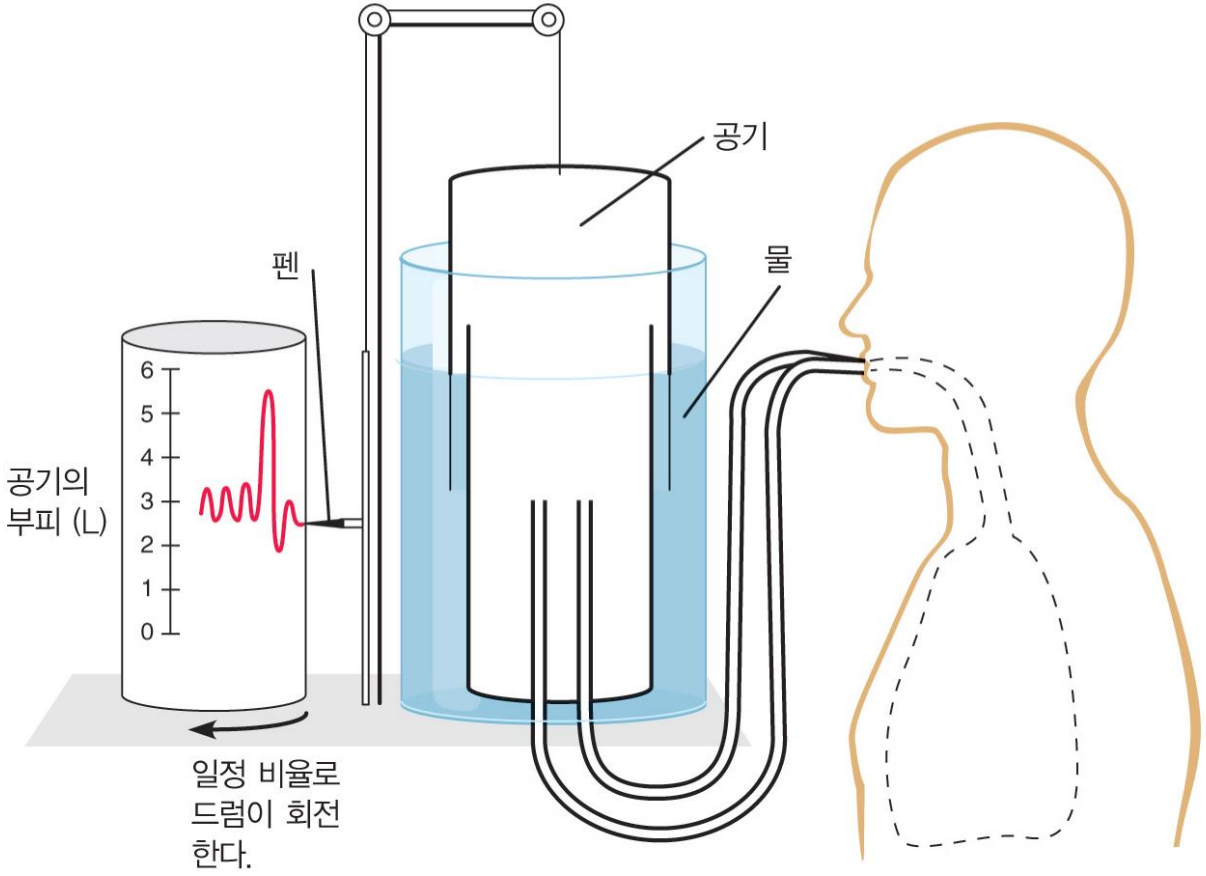
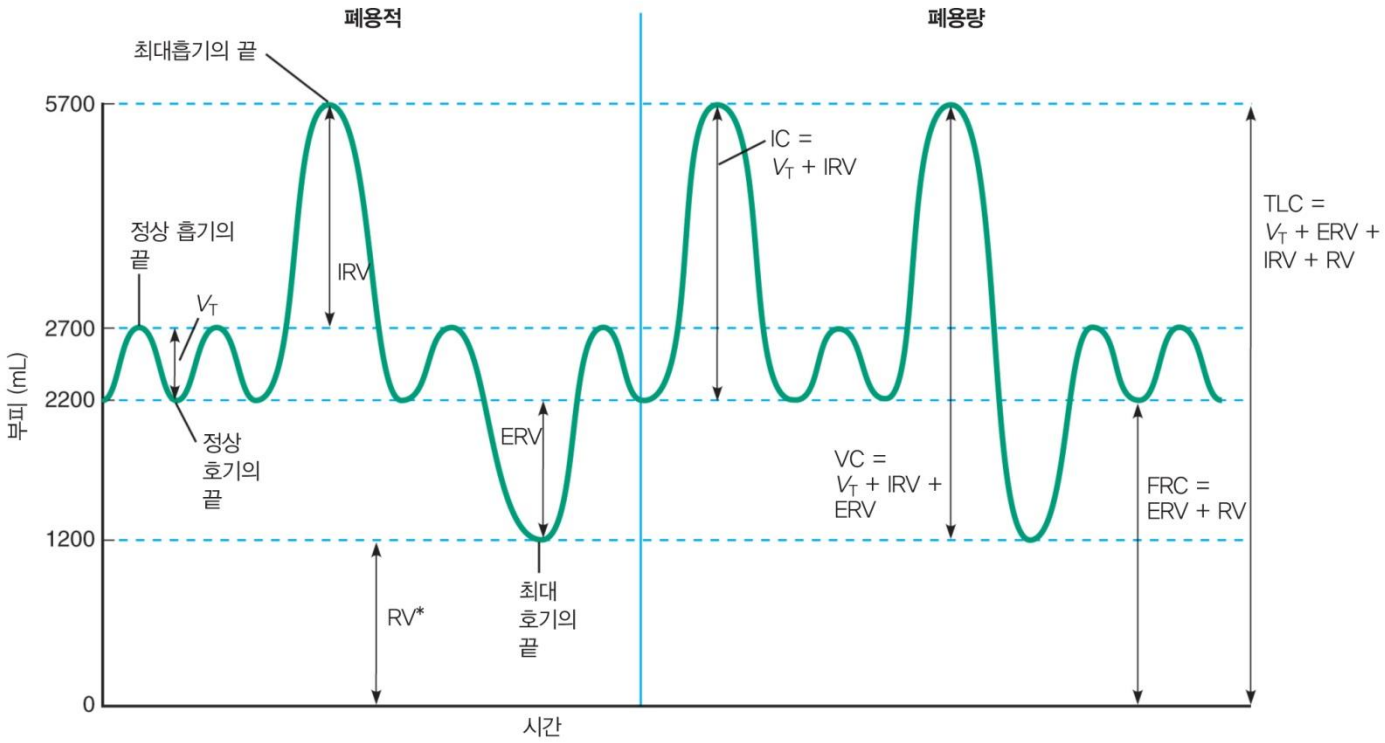


그림 16.15 **폐활량계.** 피검자가 숨을 들이마시고 내보내면 도르래에 연결된 펜이 거꾸로 들어 있는 통 속 공기량의 변화를 기록하게 된다.

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)

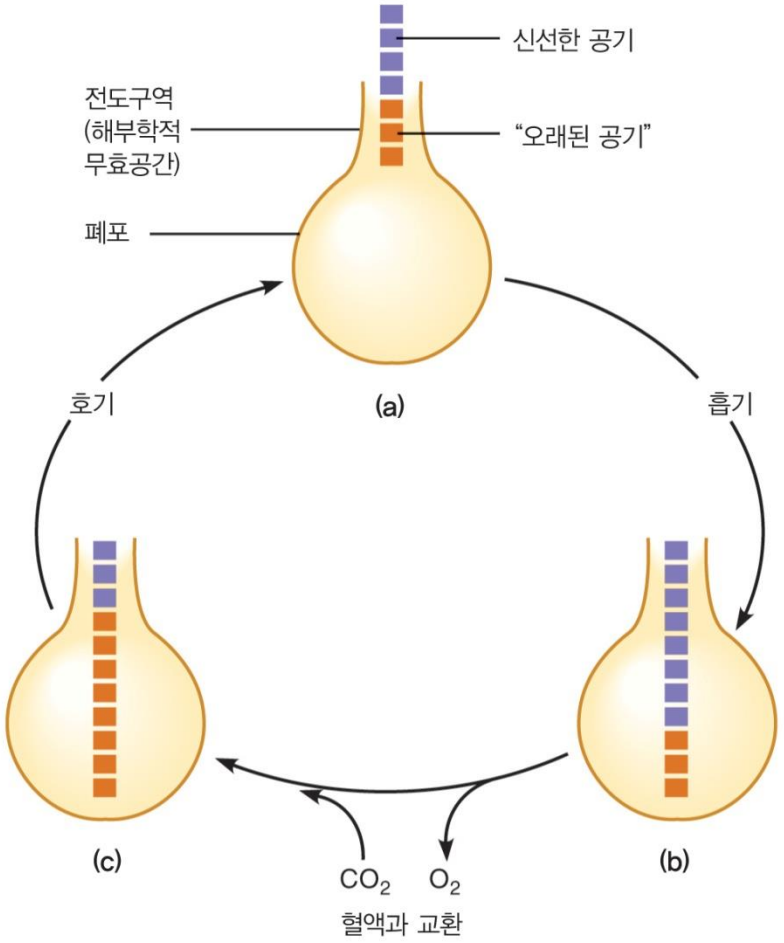


그림 16.17 폐포환기에서의 해부학적 무효공간의 효과. (a) 호기가 끝날 때, 전도구역과 호흡구역에 있는 모든 공기는 묵은 공기이다. (b) 흡기가 일어날 때, 전도구역(해부학적 무효공간)에 있는 묵은 공기는 외부에서 들어오는 공기에 밀려 호흡구역으로 들어온다. (c) 호기 중에는 전도구역에 있는 외부 공기가 먼저 나가고 묵은 공기가 따라 나간다.

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.