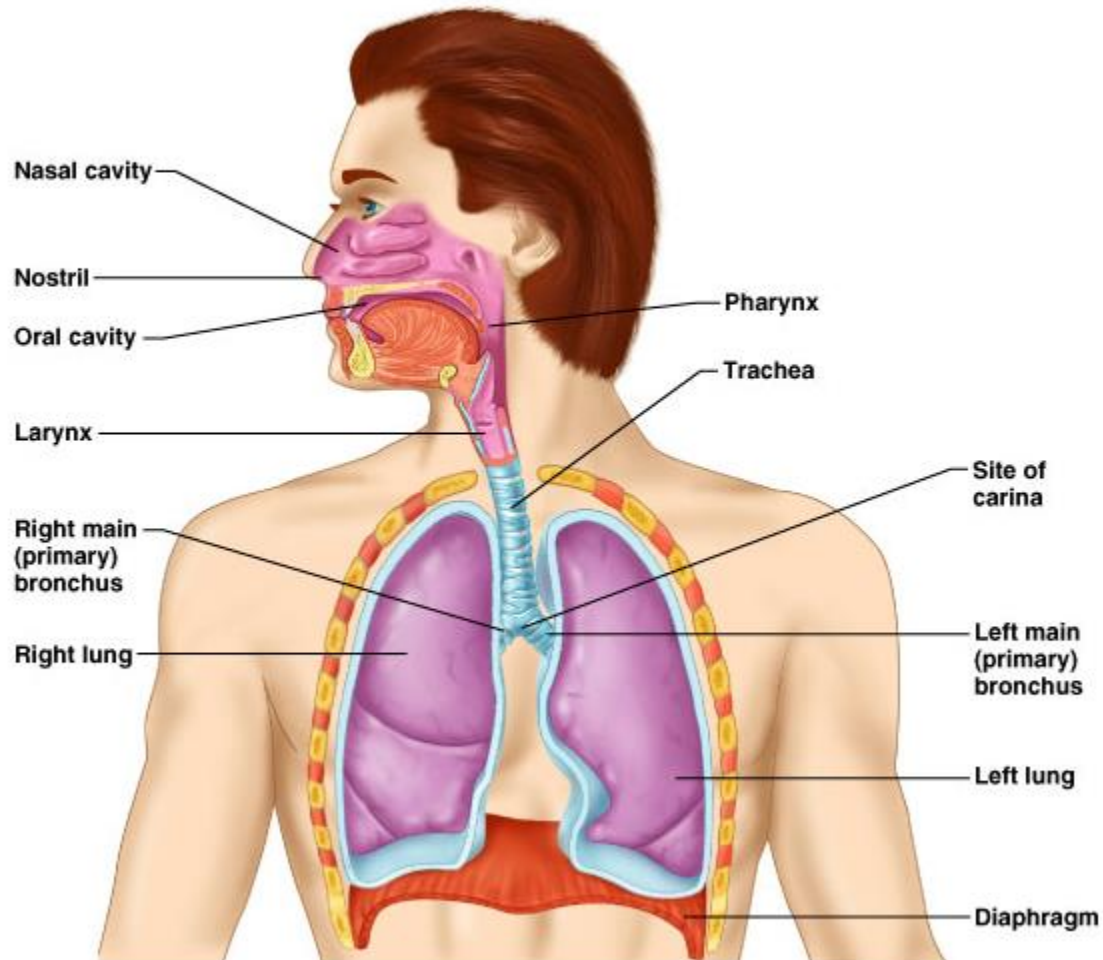


SISTEM PERNAFASAN



DOA BELAJAR

رَضِيتُ بِاللَّهِ رَبًّا وَبِالْإِسْلَامِ دِينًا وَبِمُحَمَّدٍ نَبِيًّا وَرَسُولًا
رَبِّي زِدْنِي عِلْمًا وَارْزُقْنِي فَهْمًا

“Kami ridho Allah SWT sebagai Tuhanku, Islam sebagai agamaku, dan Nabi Muhammad sebagai Nabi dan Rasul, Ya Allah, tambahkanlah kepadaku ilmu dan berikanlah aku kefahaman”

BAB I

RESPIRATORY SYSTEM

Lutfi Nurdian A

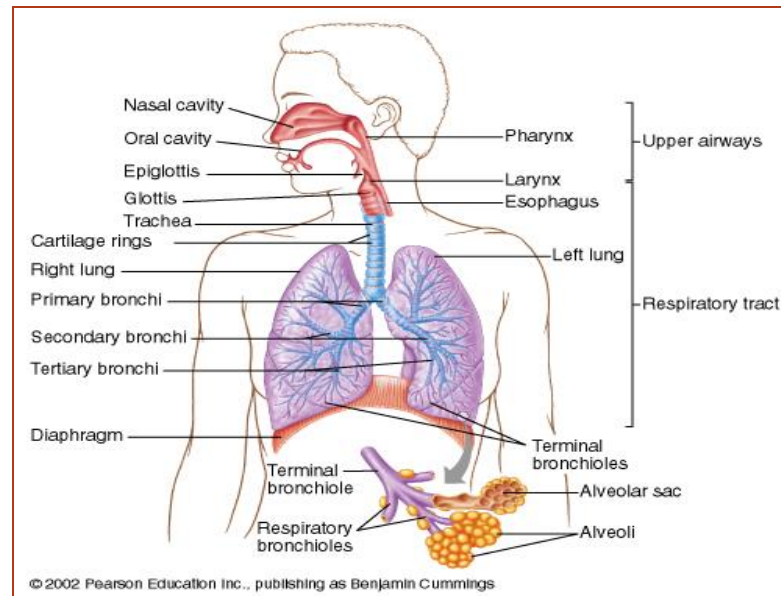
Tujuan Pembelajaran

- Setelah mengikuti perkuliahan ini mahasiswa mampu memahami tentang fisiologi sistem respirasi

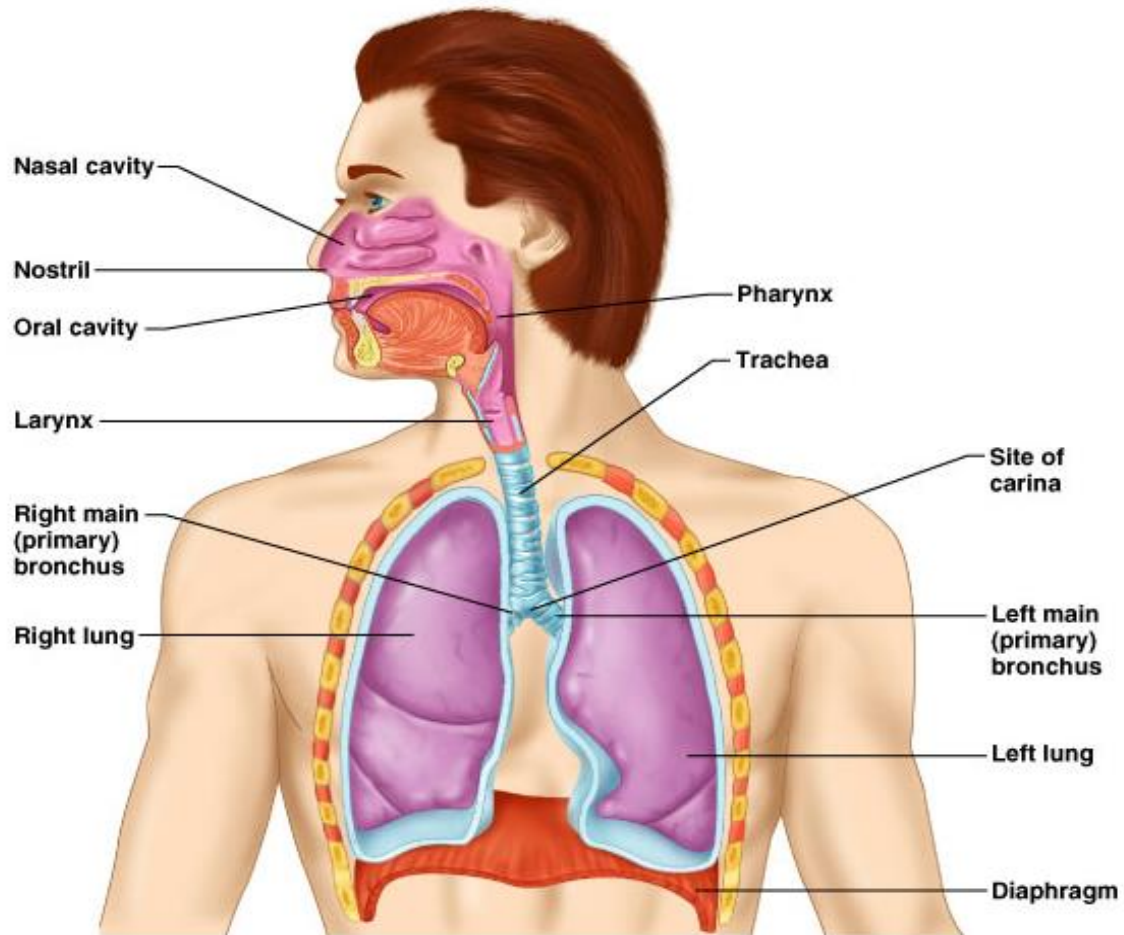
SALURAN NAFAS ADALAH JALAN UNTUK OKSIGEN DAN KARBONDIOKSIDA

Sel tubuh kita membutuhkan **OKSIGEN** untuk respirasi aerobik dan membuang **KARBONDIOKSIDA**.

SISTEM RESPIRASI melakukan itu semua....



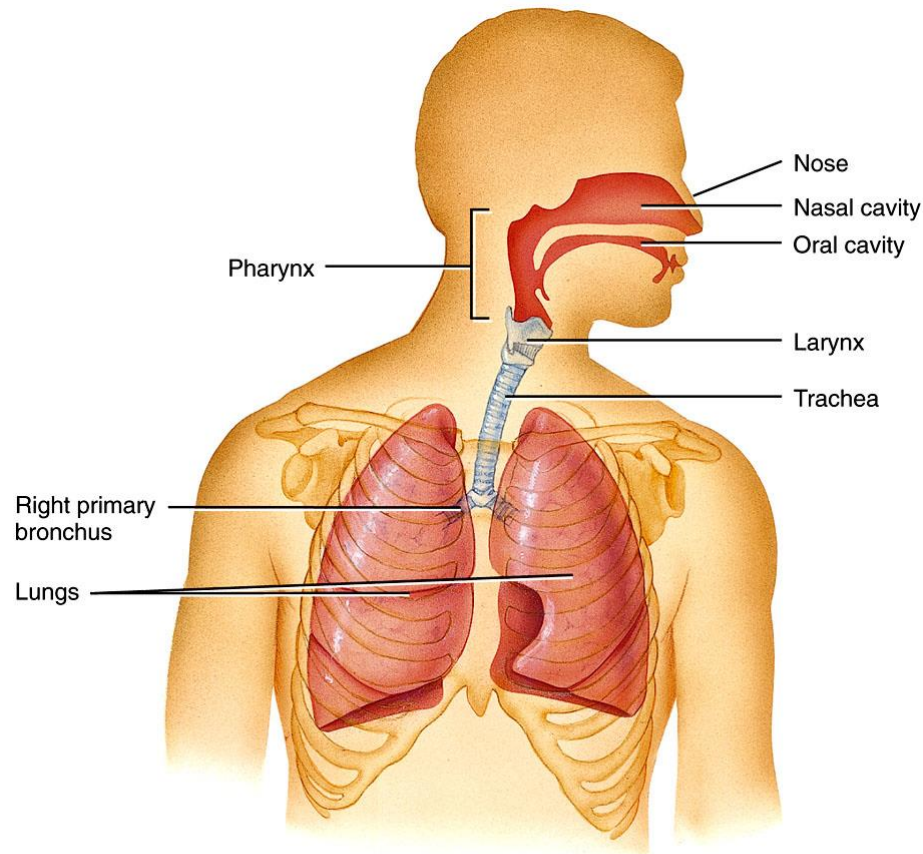
STRUKTUR SISTEM PERNAFASAN



Respiratory System Anatomy

- Structurally
 - Upper respiratory system
 - Nose, pharynx and associated structures
 - Lower respiratory system
 - Larynx, trachea, bronchi and lungs
- Functionally
 - Conducting zone – conducts air to lungs
 - Nose, pharynx, larynx, trachea, bronchi, bronchioles and terminal bronchioles
 - Respiratory zone – main site of gas exchange
 - Respiratory bronchioles, alveolar ducts, alveolar sacs, and alveoli

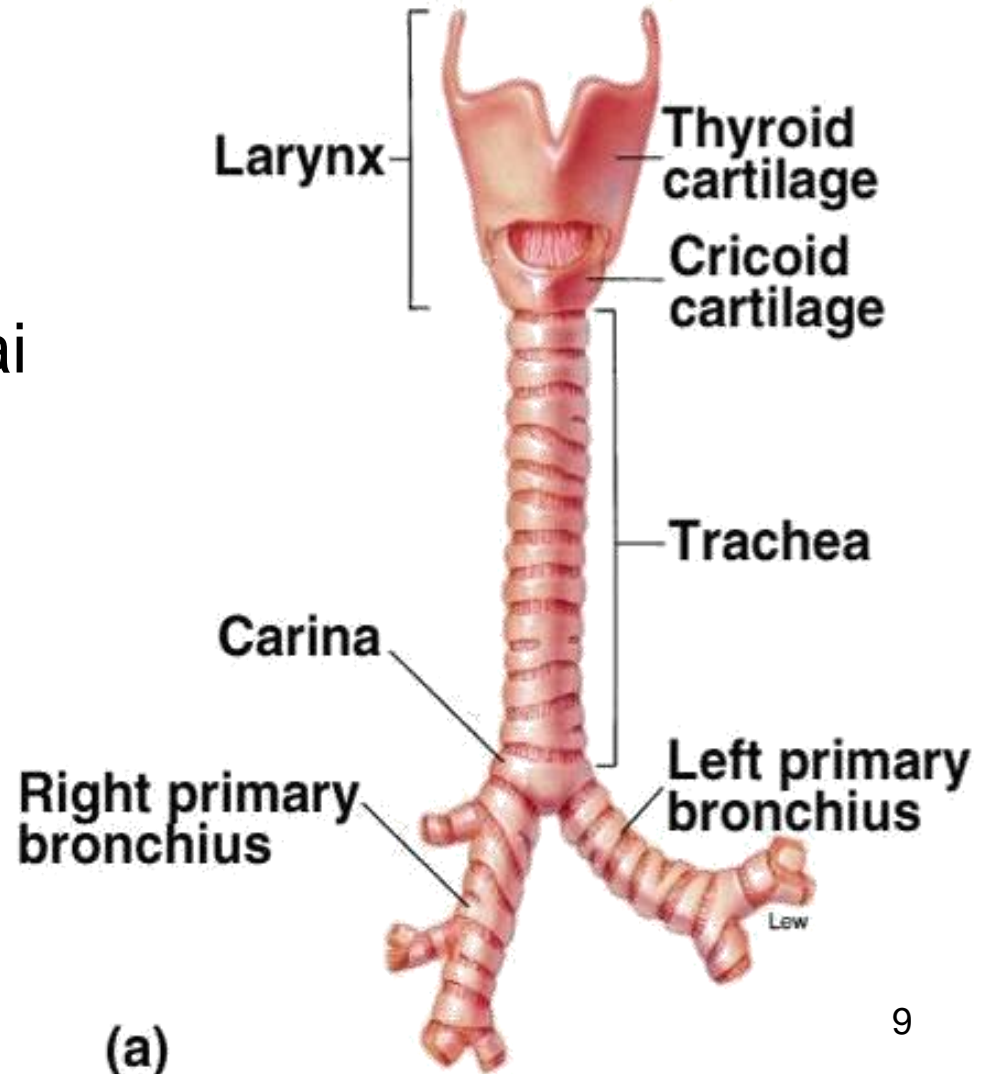
Structures of the Respiratory System



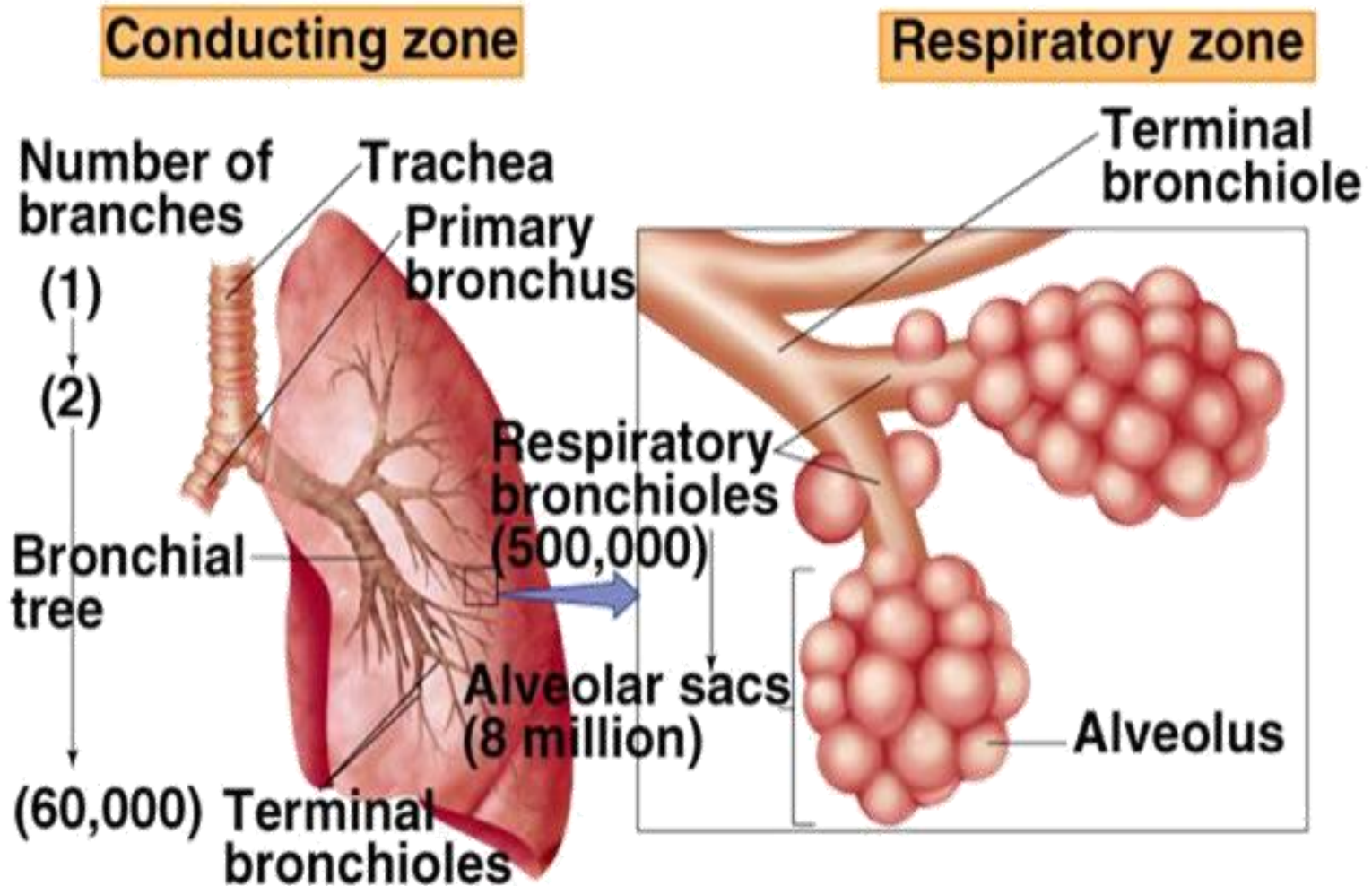
(a) Anterior view showing organs of respiration

Struktur Sistem Pernafasan

- **Zona Konduksi :**
- Semua struktur yang digunakan untuk lewat udara sebelum mencapai zona respirasi
- Memfiltrasi, melembabkan dan menghangatkan udara
- Mulut, hidung, faring, glottis, laring, trachea, bronkus



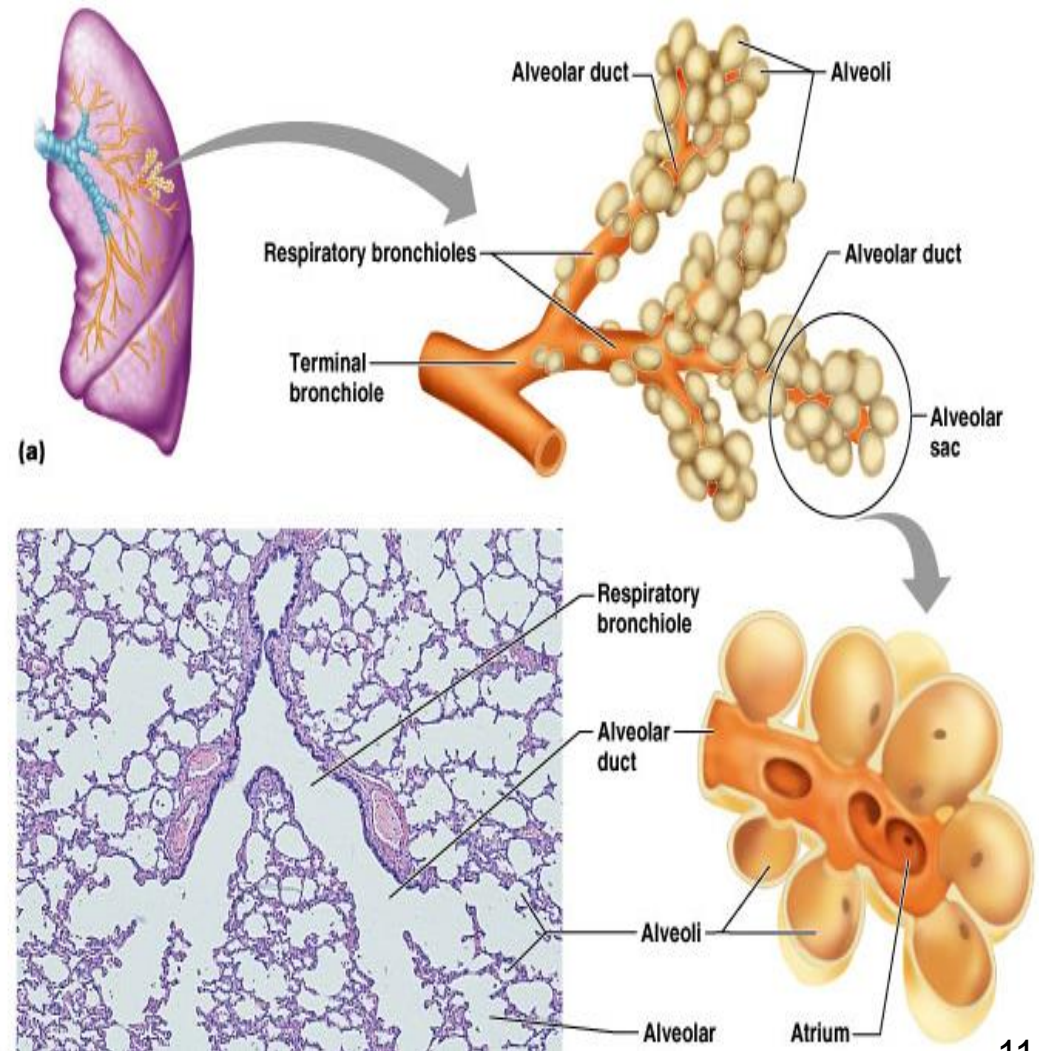
Struktur Sistem Pernafasan



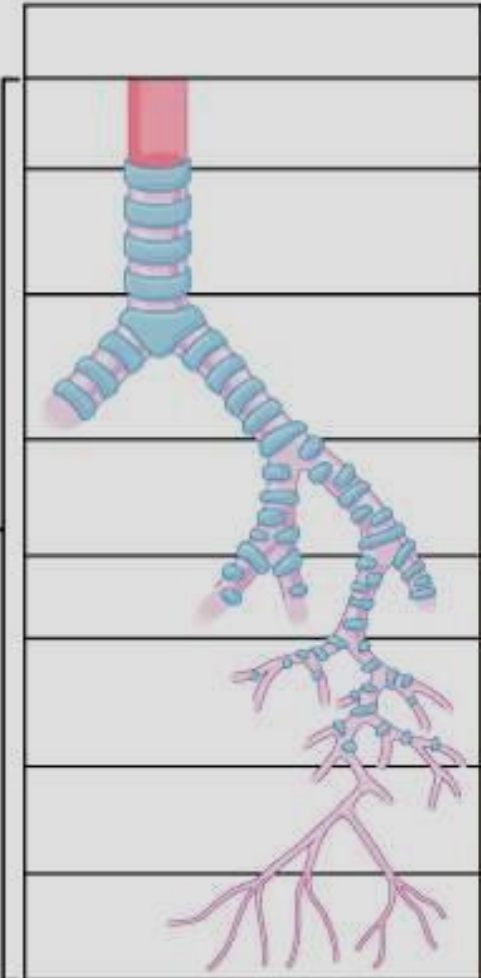
Struktur Sistem Pernafasan

Zona Respirasi

- Daerah yang digunakan untuk pertukaran gas
- Terdiri dari :
 - Bronkiolus respiratori
 - Alveolar ducts
 - Alveolar sacs
 - Alveolus

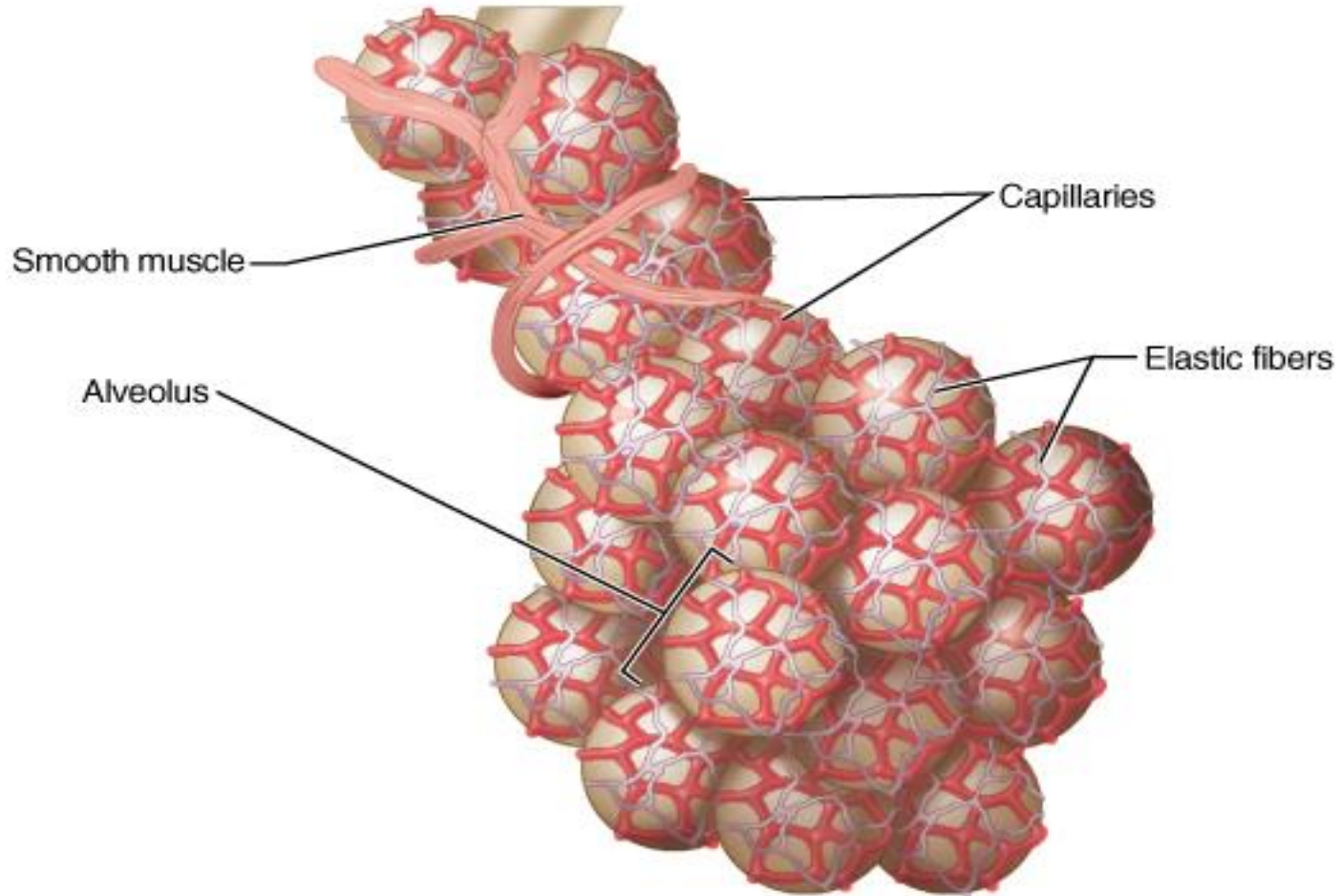


Branching of Airways



	Structure	Inner diameter (mm)	Cilia	Goblet cells	Cartilage	Smooth muscle
Conducting zone	Larynx	35–45	+++	+++	+++	0
	Trachea	20–25	+++	+++	+++ (C-shaped)	+
	Primary bronchi	12–16	+++	++	+++ (rings)	++
	Secondary bronchi	10–12	+++	++	+++ (plates)	++
	Tertiary bronchi	8–10	+++	++	++ (plates)	++
	Smaller bronchi	1–8	+++	+	+ (plates)	++
	Bronchioles	0.5–1	++	+	0	+++
	Terminole bronchioles	< 0.5	++	0	0	+++

RESPIRATORY ZONE

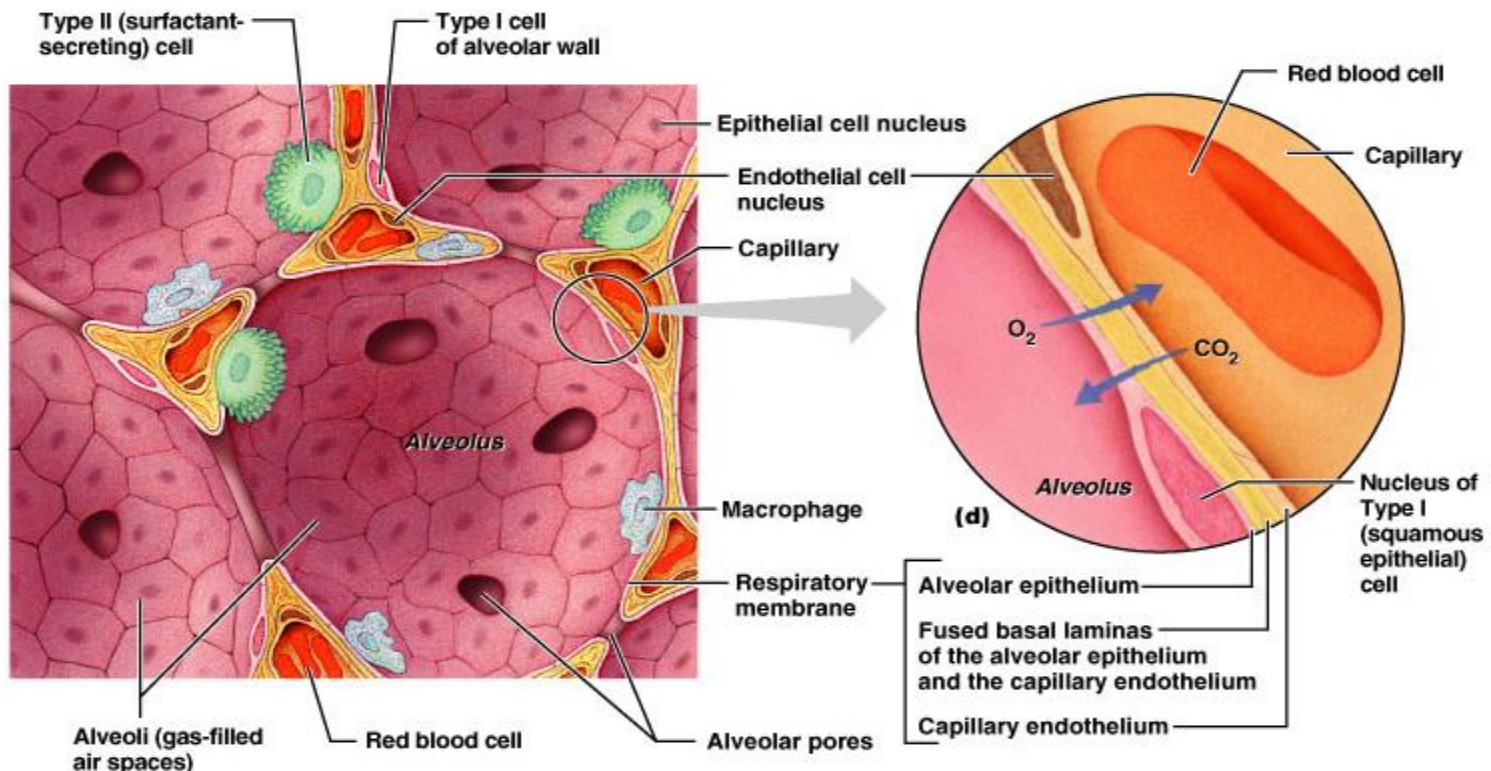


(b)

Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

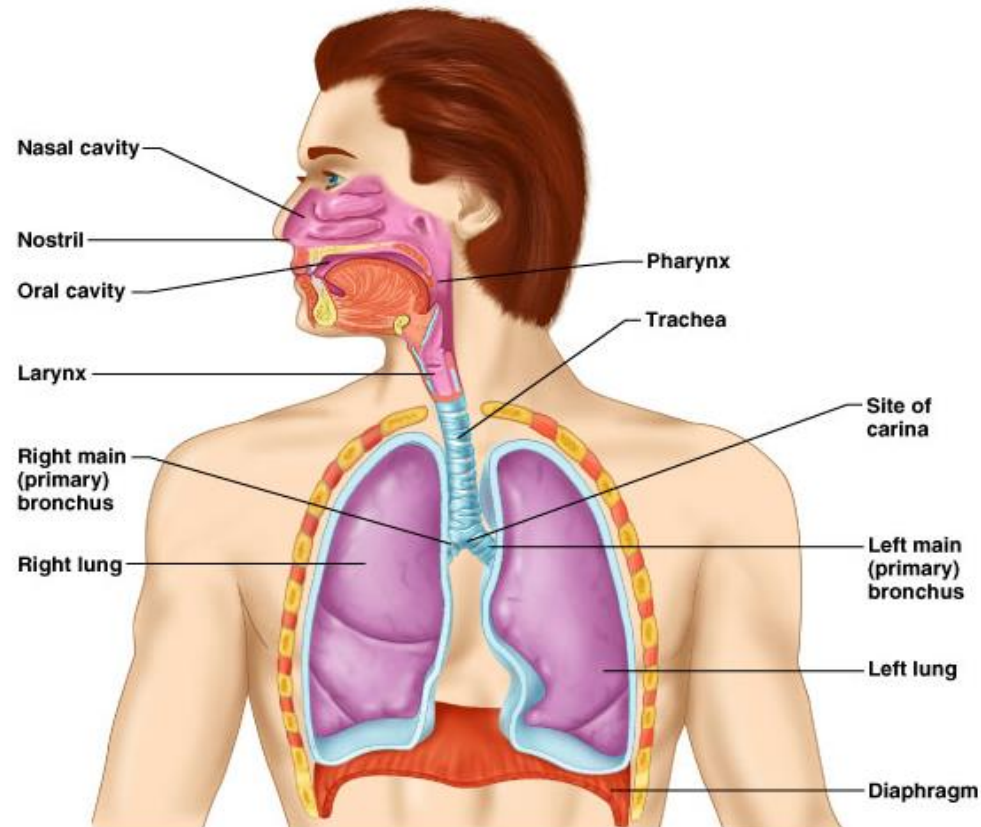
Detail mikroskopis Alveoli

- Alveoli dikelilingi oleh serabut elastis yang sangat baik
- Alveoli terinterkoneksi melalui alveolar pores
- Terdapat sel tipe 1 dan tipe 2 serta membran penyatu

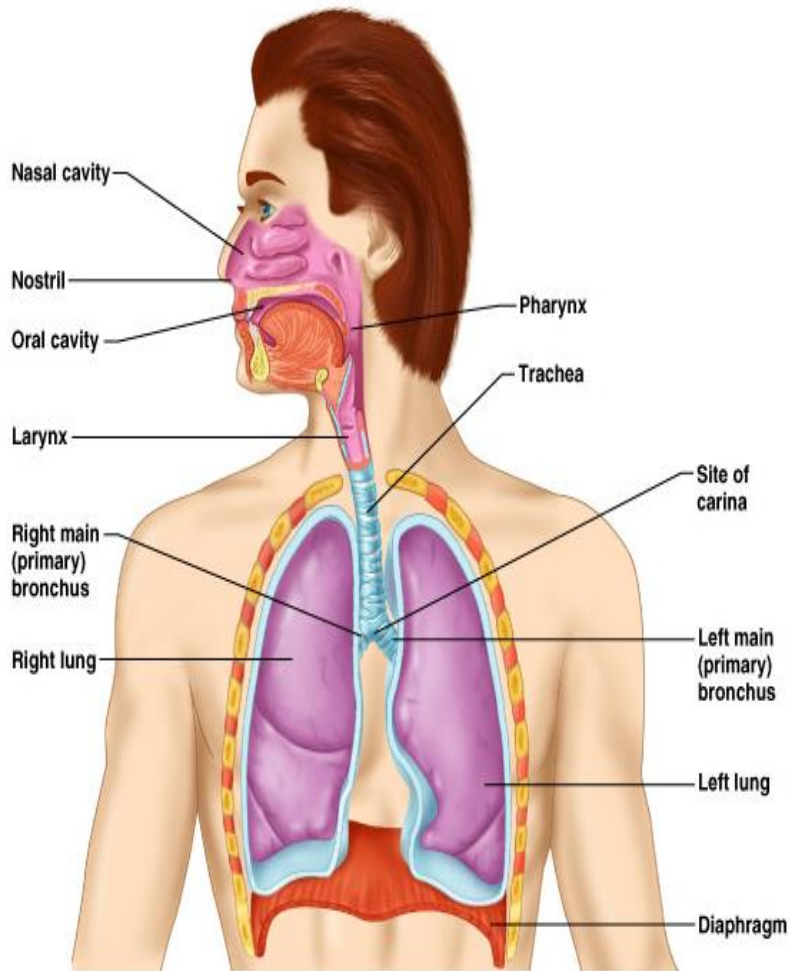


Aliran Udara Ketika Bernafas

- Ketika seseorang bernafas :
 - Udara masuk melalui hidung → Dari rongga hidung → faring → laring (terdapat epiglotis) → trakhea (trakhea memiliki 2 cabang) → bronkus (terdapat mukus dan cilia)



Paru-paru adalah Organ yang Elastis dan Menyediakan Area Permukaan yang Luas untuk Pertukaran Gas.....



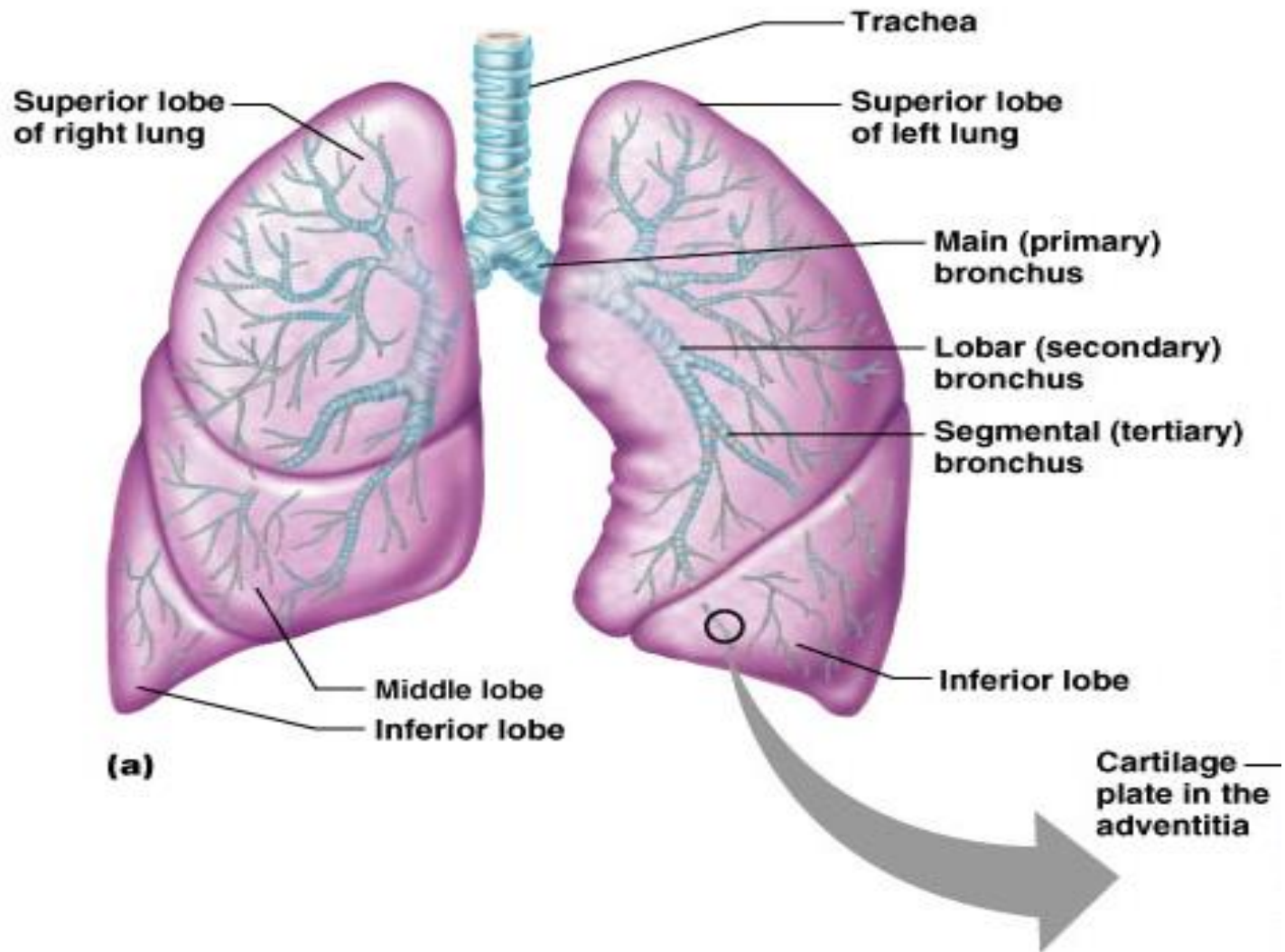
Paru kanan : **3 lobus** ; Paru kiri **2 lobus**

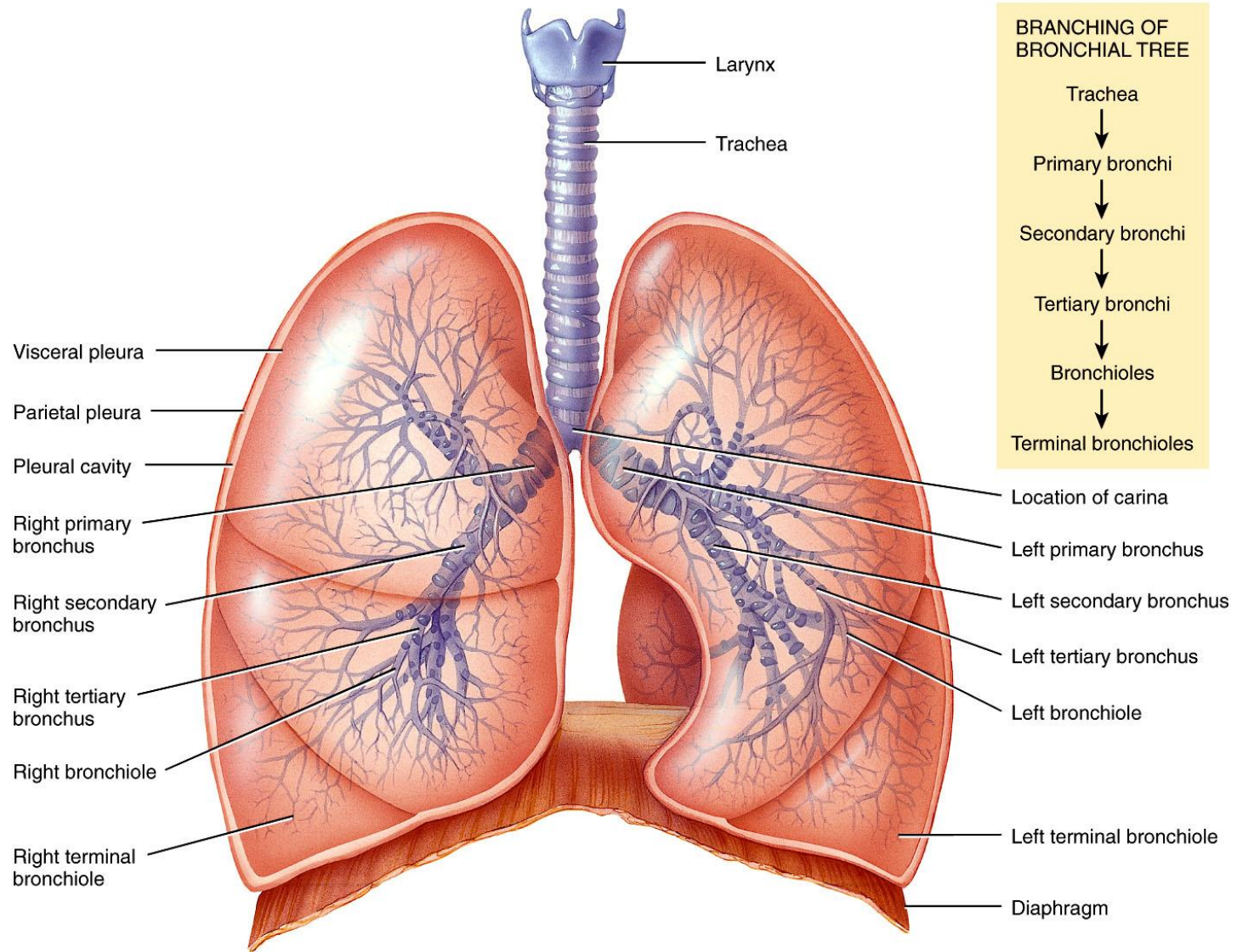
Paru2 terdapat di dalam rangkaian tulang rusuk dan di atas diafragma, otot dada dan rongga abdomen

Paru2 lembut dan spongy, tidak melekat langsung di dinding rongga dada

Setiap paru dibungkus oleh membran tipis → **PLEURA**

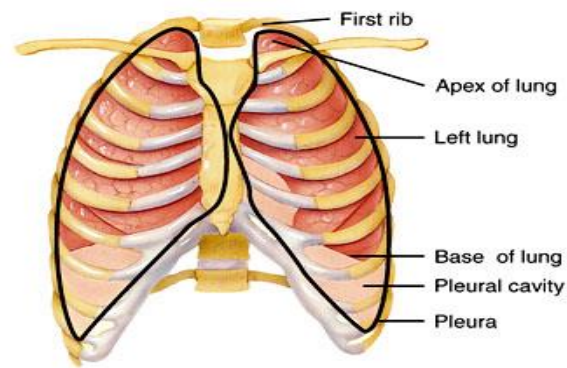
STRUKTUR PARU-PARU



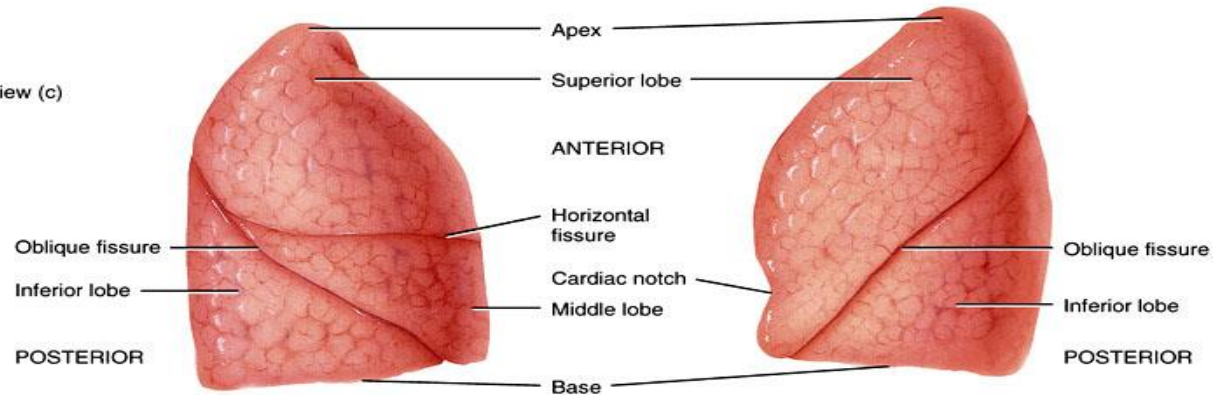


Anterior view

Figure 23.07 Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

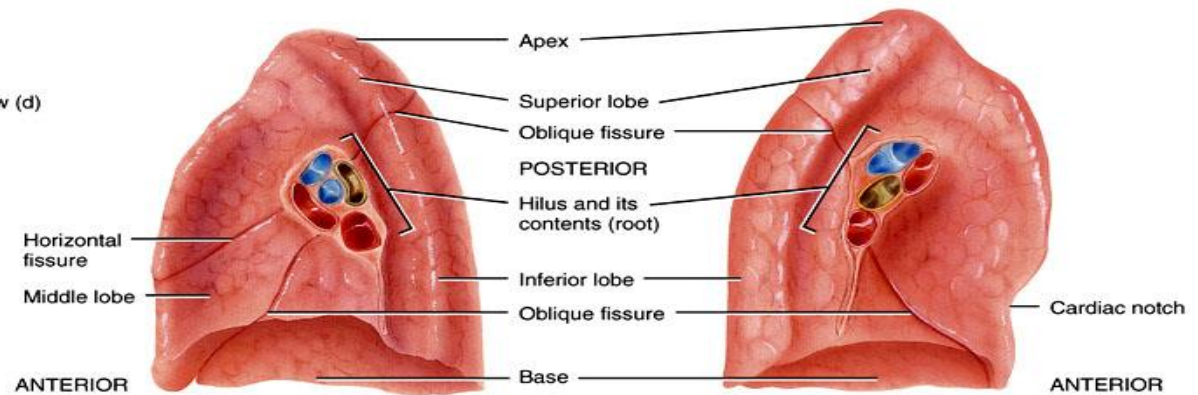


(a) Anterior view of lungs and pleurae in thorax



(b) Lateral view of right lung

(c) Lateral view of left lung

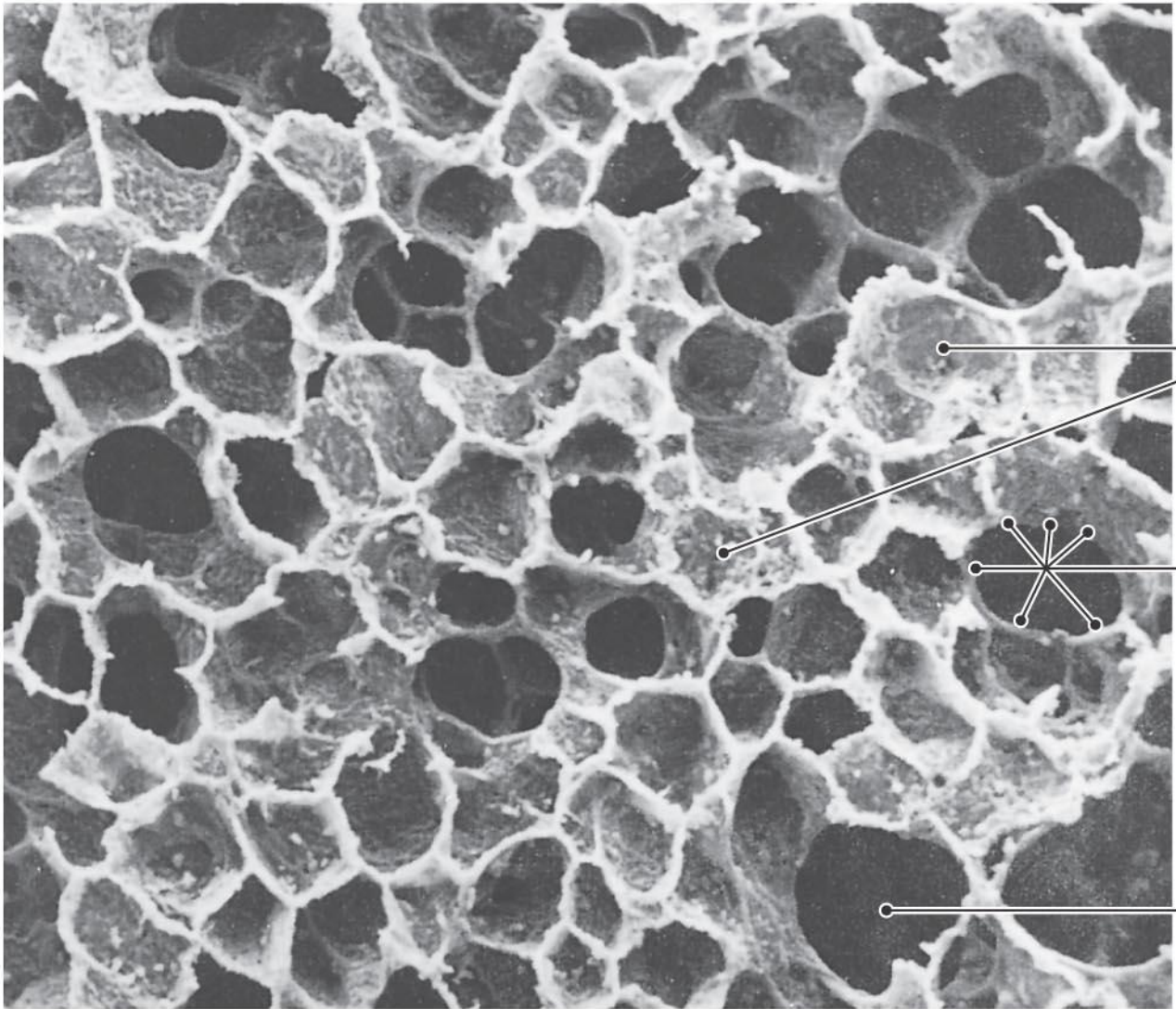


(d) Medial view of right lung

(e) Medial view of left lung

Surfaktan

- Surfaktan adalah substansi seperti deterjen yang disekresikan dalam cairan yang membungkus permukaan alveoli → untuk menurunkan tekanan
- Tanpa surfaktan, dinding paru-paru akan bersentuhan selama ekshalasi
- Bayi prematur bermasalah dalam bernafas karena belum memiliki surfaktan



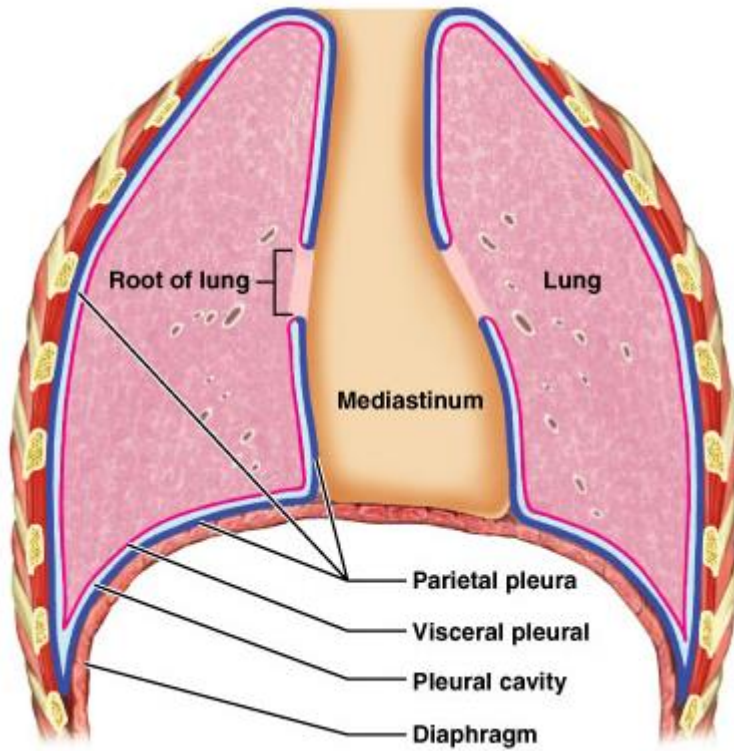
Alveoli

Alveolar sac

Alveolar duct

(b) SEM of lung alveoli

Paru-paru dan Pleura



Di sekeliling setiap paru terdapat kantong datar dari membran serosa yang disebut ***pleura***

Parietal pleura – lapisan luar
Visceral pleura – langsung dengan paru-paru

Rongga Pleura – Area yang dipenuhi oleh cairan pleura

DEFINISI PERNAFASAN

- **Pernafasan atau respirasi** adalah menghirup udara dari luar yang mengandung oksigen (O_2) ke dalam tubuh serta menghembuskan udara yang banyak mengandung karbondioksida (CO_2) sebagai sisa dari oksidasi keluar dari tubuh

RESPIRASI

■ Ventilasi Pulmonal

- Udara berpindah/bergerak ke dalam dan ke luar paru2
- Pergantian gas secara terus menerus di dalam alveoli

■ Respirasi Eksternal

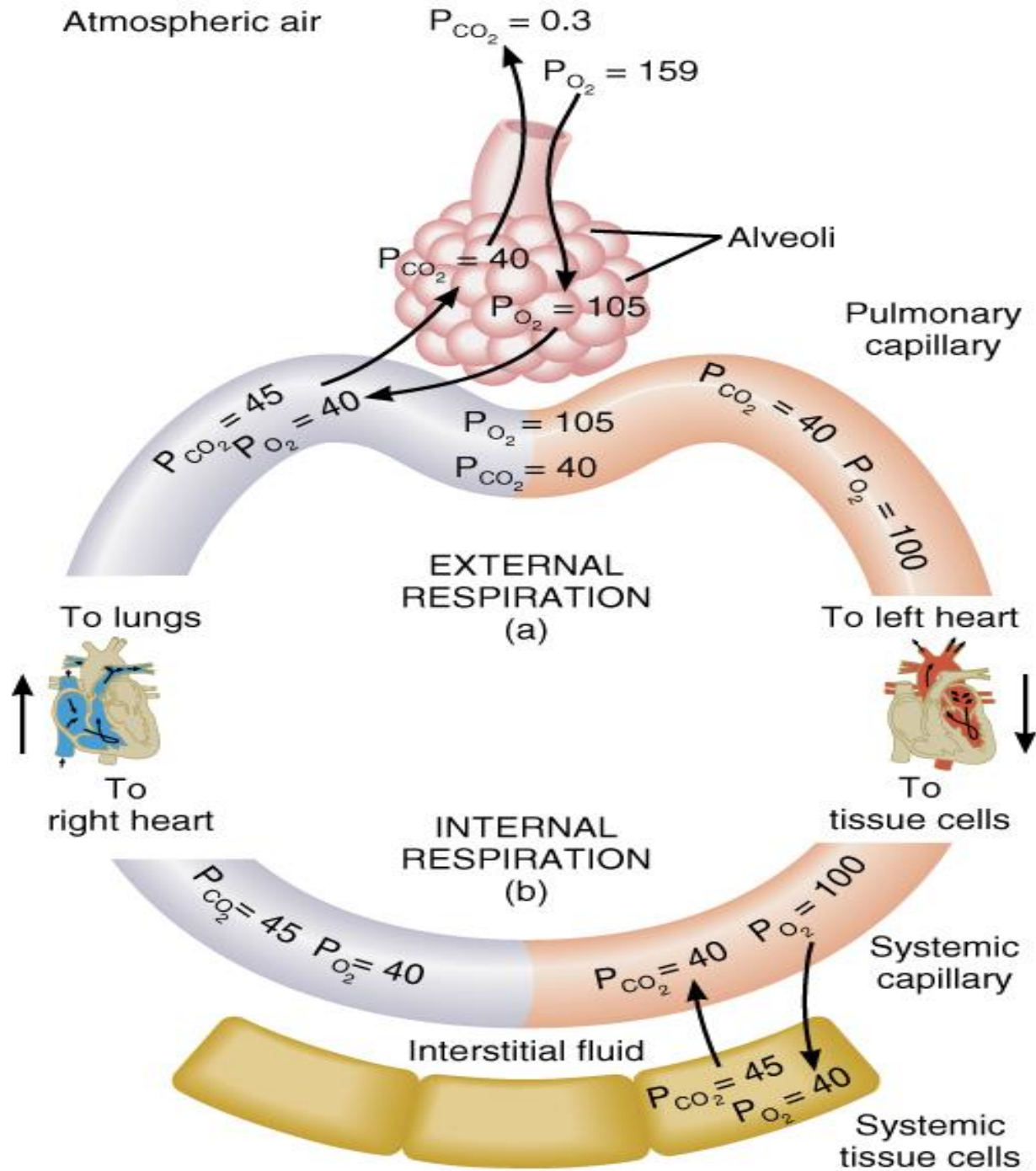
- Pertukaran gas antara darah dan udara dalam alveoli
- O₂ (oksigen) dalam udara berdifusi dalam darah
- CO₂ (karbondioksida) dalam darah berdifusi ke dalam udara

■ Transportasi Gas Respirasi

- Antara paru2 dan sel-sel tubuh
- Didukung oleh sistem kardiovaskuler
- Darah adalah alat transportasi cair

■ Respirasi Internal

- Pertukaran gas dalam kapiler antara darah dan sel-sel jaringan
- O₂ dalam darah berdifusi ke dalam jaringan
- CO₂ sisa metabolisme dalam jaringan berdifusi ke dalam darah



RESPIRASI SELULER

- Oksigen (O_2) digunakan oleh sel-sel
- O_2 dibutuhkan dalam konversi glukosa menjadi energi seluler (ATP)
- Seluruh sel-sel tubuh
- Karbondioksida (CO_2) diproduksi sebagai zat sisa
- Sel-sel tubuh akan mati jika sistem respirasi atau kardiovaskuler bermasalah

MEKANIKA PERNAFASAN

Ventilasi

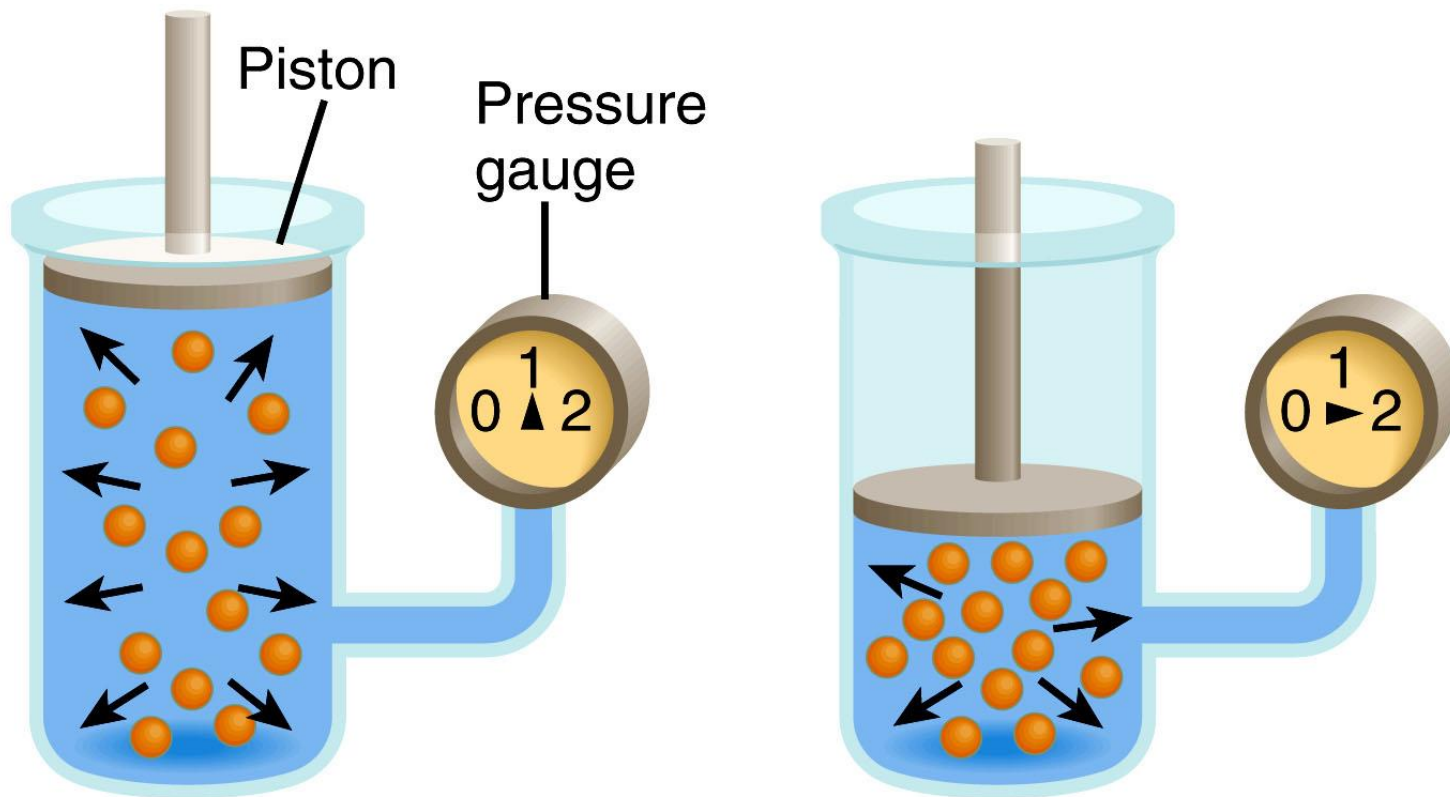
- Bernafas = “ventilasi pulmonal”
 - Pulmonal berarti berhubungan dengan paru-paru
- **Dua Fase :**
 - **Inspirasi (inhalation) – udara masuk**
 - **Expirasi (exhalation) – udara keluar**
- Tenaga mekanis menyebabkan perpindahan udara
 - **Gas selalu mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah**
 - **Ketika udara masuk ke dalam thoraks, tekanan udara dalam thoraks lebih rendah dari pada tekanan atmosfer**

- Terdapat 3 tekanan yang berperan penting dalam ventilasi :
 - **Tekanan atmosfer (barometrik)** : Tekanan yang ditimbulkan oleh berat udara di atmosfer pada benda di permukaan bumi : 760 mmHg
 - **Tekanan intra-alveolus/tekanan intraparu** : Tekanan di dalam alveolus : 760 mmHg ketika diseimbangkan dengan tekanan atmosfer
 - **Tekanan intrapleura/tekanan intrathoraks** : Tekanan di dalam kantung pleura/tekanan yang ditimbulkan di luar paru di dalam rongga thoraks : 756 mmHg

HUKUM BOYLE

- **Pada suhu konstan, tekanan yang ditimbulkan oleh suatu gas berbanding terbalik dengan volume gas**
- Jika pada suatu temperatur tertentu volume meningkat, maka tekanan akan berkurang dan sebaliknya
- Hal ini berarti : **Jika volume diperkecil menjadi setengahnya, maka tekanan akan menjadi dua kali lipat** → lebih banyak partikel gas yang bertumbukan dengan dinding wadah

Boyle's Law



Volume = 1 liter
Pressure = 1 atm

Volume = 1/2 liter
Pressure = 2 atm

Figure 23.12 Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

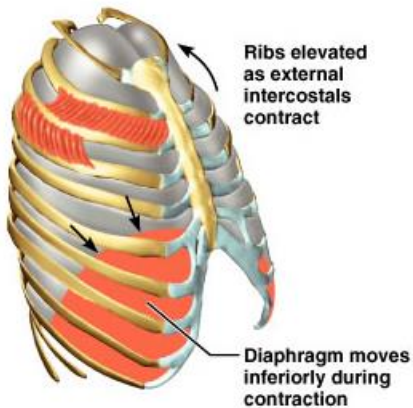
MEKANISME BERNAPAS DAN HUKUM BOYLE

- **Pernapasan (Ventilasi)** = Inspirasi “mengambil udara ke dalam rongga dada” dan Ekspirasi “mengeluarkan udara ke luar rongga dada”
- Gerakan pernapasan menyebabkan **perubahan volume toraks (dada) dan perubahan tekanan gas dalam rongga dada** yang mengakibatkan udara mengalir ke dalam dan ke luar rongga dada

Inspirasi

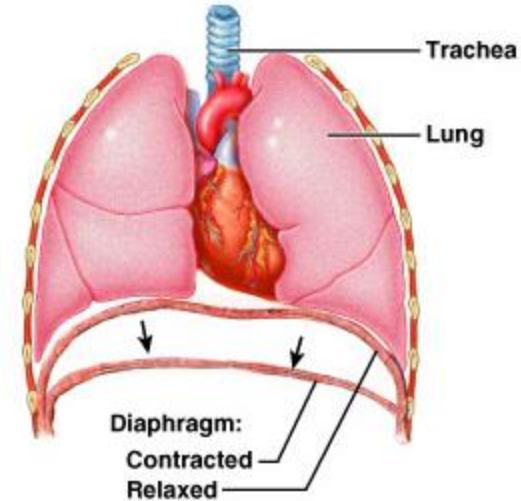
- Selama inspirasi, kubah yang dibentuk oleh **diafragma mendatar yang berarti berkontraksi**
 - **Memperbesar volume rongga thoraks dan tekanan paru-paru berkurang (hukum boyle)**

Together:

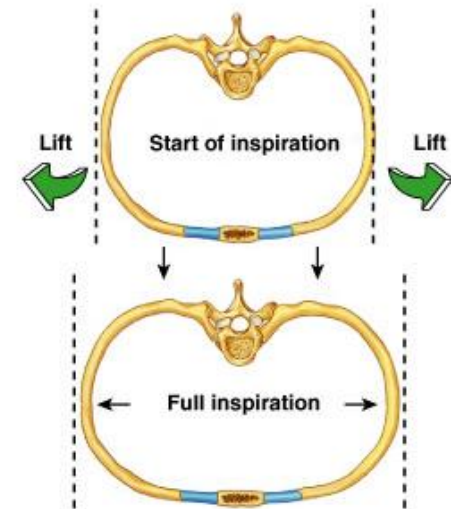


(d) Inspiration

Otot interkostal eksternal berkontraksi **memperbesar rongga thoraks dalam dimensi lateral (sisi ke sisi) dan anteroposterior (depan-belakang)**



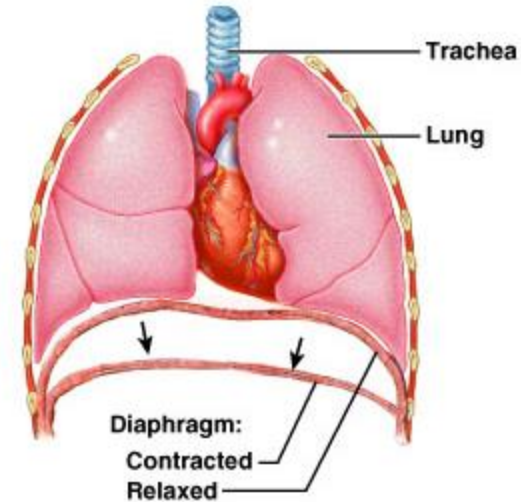
(a) Superoinferior expansion



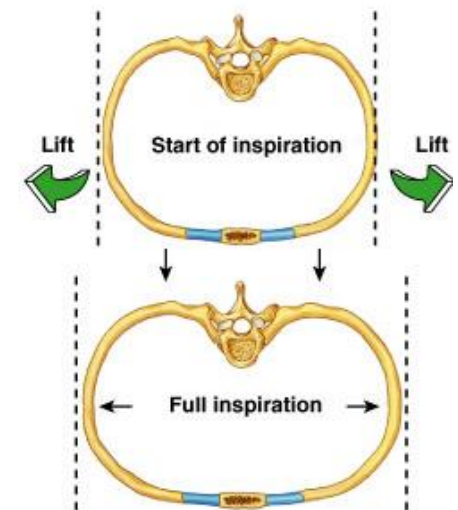
(b) Lateral expansion

INSPIRASI

- Sewaktu rongga thoraks membesar paru juga dipaksa mengembang → **tekanan intra alveolus turun** (jml molekul udara sama, menempati volume paru yang lebih besar) → **gerakan inspirasi biasa turun 1 mmHg (759 mmHg)**
- Karena **tekanan intra alveolus lebih rendah dari tekanan atmosfer** → udara mengalir ke dalam paru mengikuti penurunan gradien tekanan → sampai tekanan intra alveolus setara dengan tekanan atmosfer

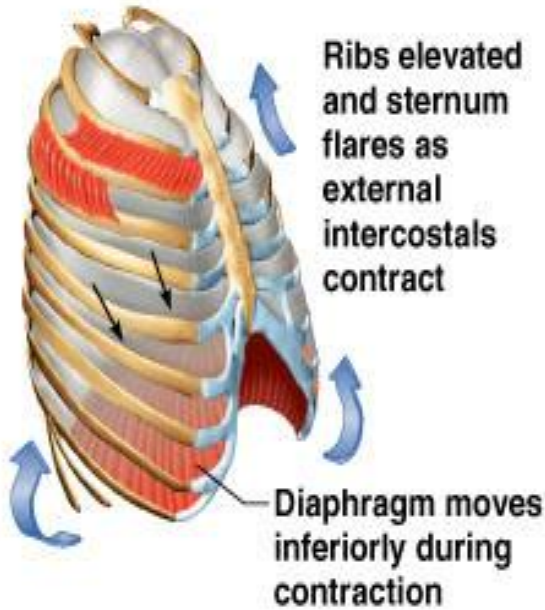



(a) Superoinferior expansion



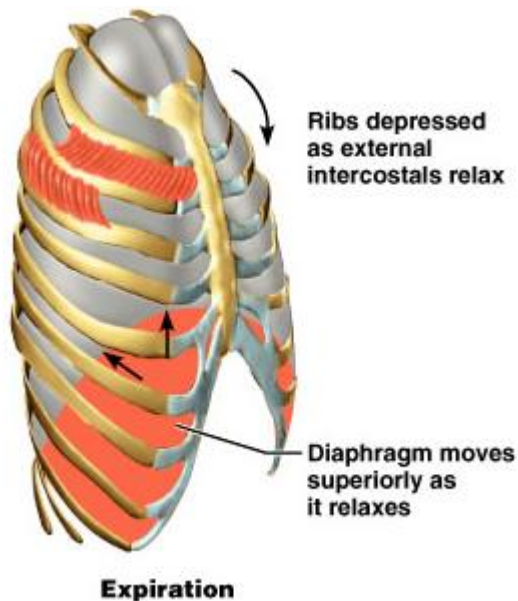
(b) Lateral expansion

Inspiration

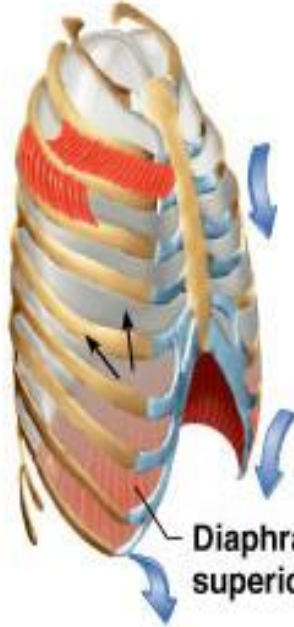
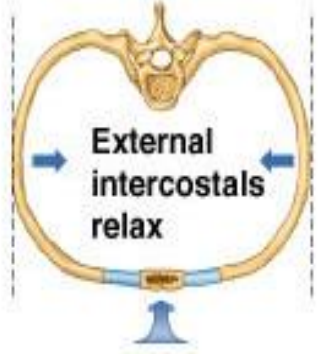
	Sequence of events	Changes in anterior-posterior and superior-inferior dimensions	Changes in lateral dimensions
Inspiration	<ol style="list-style-type: none"> ① Inspiratory muscles contract (diaphragm descends; rib cage rises) <li style="text-align: center;">↓ ② Thoracic cavity volume increases <li style="text-align: center;">↓ ③ Lungs stretched; intrapulmonary volume increases <li style="text-align: center;">↓ ④ Intrapulmonary pressure drops (to -1 mm Hg) <li style="text-align: center;">↓ ⑤ Air (gases) flows into lungs down its pressure gradient until intrapulmonary pressure is 0 (equal to atmospheric pressure) 	 <p>Ribs elevated and sternum flares as external intercostals contract</p> <p>Diaphragm moves inferiorly during contraction</p>	 <p>External intercostals contract</p>

EKSPIRASI

- Ekspirasi normal merupakan proses pasif : **Diafragma berelaksasi** dan bergerak ke atas (berbentuk spt aslinya → kubah) dan **otot interkostal eksterna berelaksasi**
- Paru kembali mengecil → **tekanan intra alveolus meningkat**(1 mmHg) → 761 mmHg
- Udara meninggalkan paru menuruni gradien tekanannya dari tekanan intraalveolus yang **lebih tinggi** → tekanan atmosfer yang lebih rendah
- Aliran udara keluar berhenti ketika tekanan intra-alveolus menjadi sama dengan tekanan atmosfer dan gradien tekanan tidak ada lagi



Expiration

	Sequence of events	Changes in anterior-posterior and superior-inferior dimensions	Changes in lateral dimensions
Expiration	<ol style="list-style-type: none"> ① Inspiratory muscles relax (diaphragm rises; rib cage descends due to recoil of costal cartilages) ↓ ② Thoracic cavity volume decreases ↓ ③ Elastic lungs recoil passively; intrapulmonary volume decreases ↓ ④ Intrapulmonary pressure rises (to +1 mm Hg) ↓ ⑤ Air (gases) flows out of lungs down its pressure gradient until intrapulmonary pressure is 0 	 <p>Ribs and sternum depressed as external intercostals relax</p> <p>Diaphragm moves superiorly as it relaxes</p>	 <p>External intercostals relax</p>

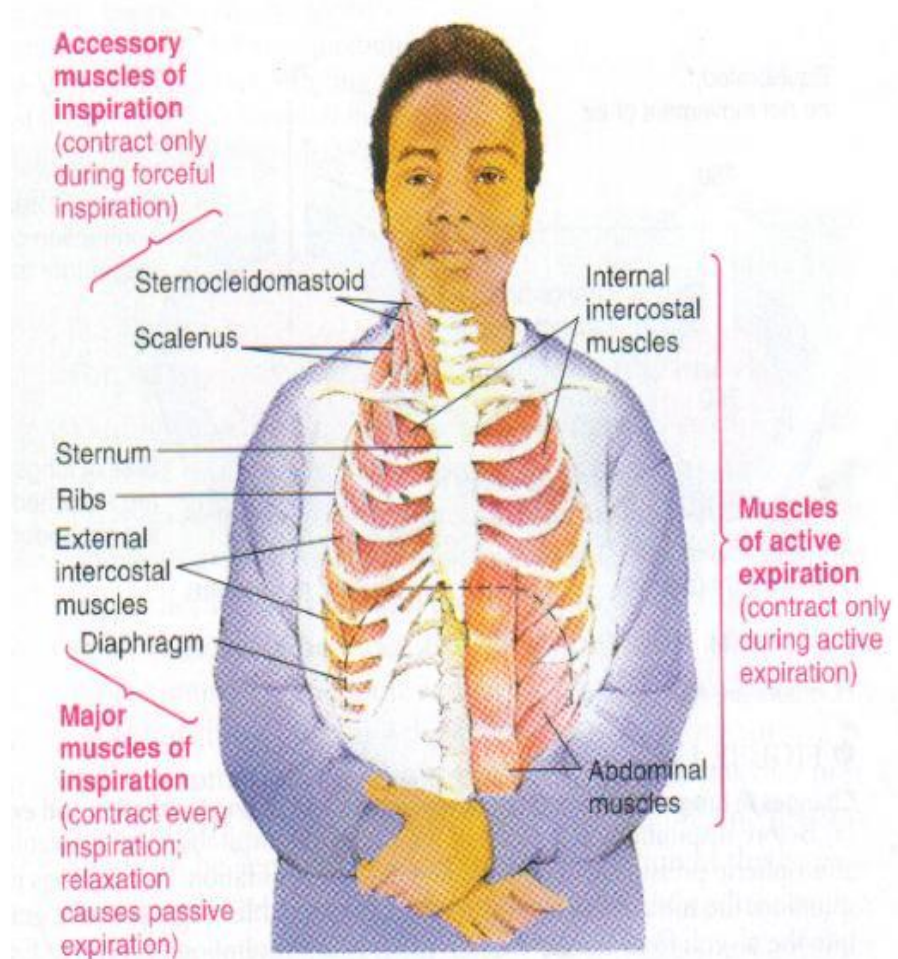
INSPIRASI

Otot utama:

- Diafragma
- m. Intercotalis externus

Otot tambahan:

- m. Sternocleido mastoideus
- m. Scalenus



● FIGURE 13-11

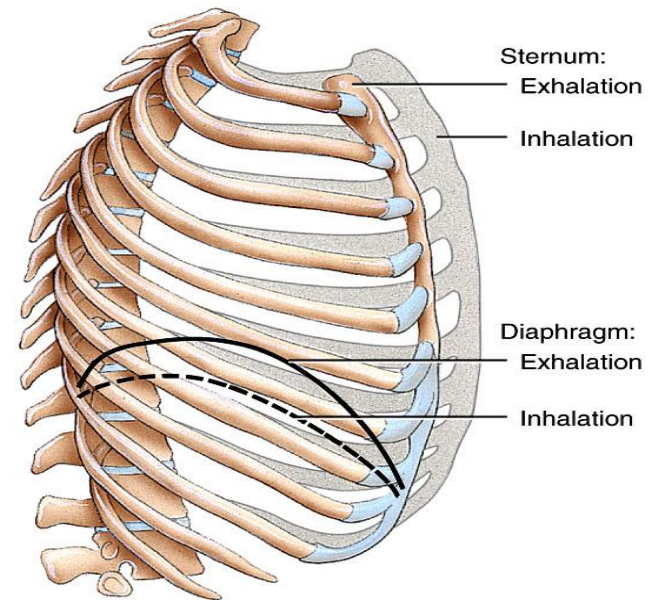
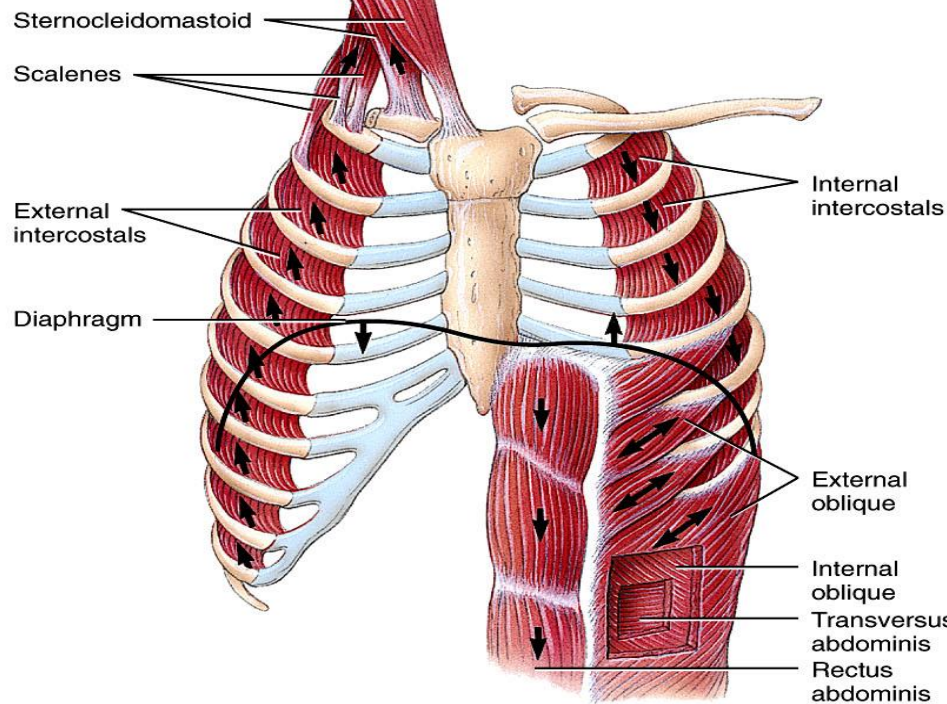
Anatomy of the respiratory muscles

EKSPIRASI

- Otot-otot di abdomen : m rectus abdominis
- m. Intercostalis internus

MUSCLES OF INHALATION

MUSCLES OF EXHALATION



(a) Muscles of inhalation and their actions (left); muscles of exhalation and their actions (right)

(b) Changes in size of thoracic cavity during inhalation and exhalation



(c) During inhalation, the ribs move upward and outward like the handle on a bucket

Figure 23.13 Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

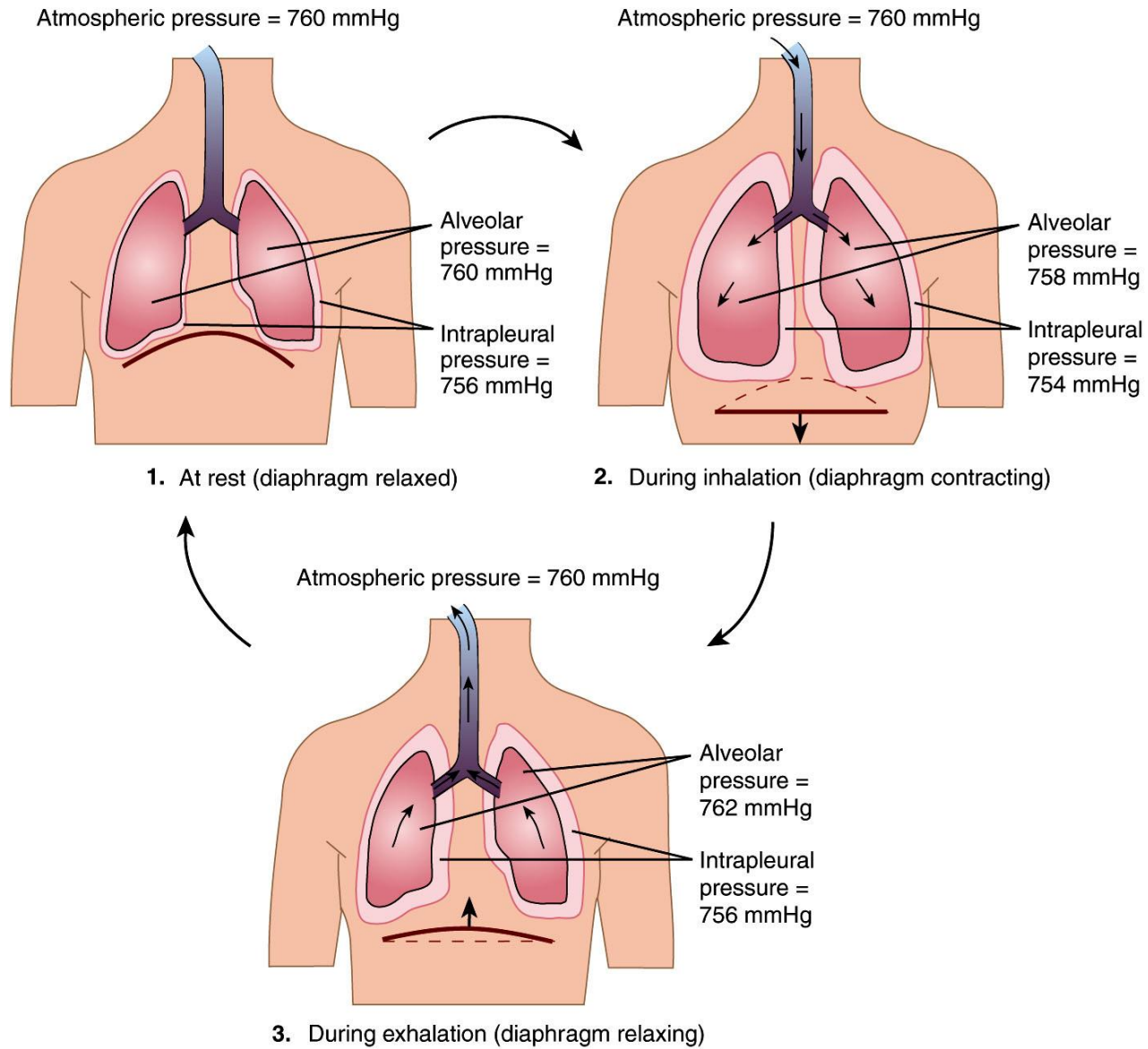


Figure 23.14 Tortora - PAP 12/e
 Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Airflow

- Air pressure differences drive airflow
- 3 other factors affect rate of airflow and ease of pulmonary ventilation
 - Surface tension of alveolar fluid
 - Causes alveoli to assume smallest possible diameter
 - Accounts for 2/3 of lung elastic recoil
 - Prevents collapse of alveoli at exhalation
 - Lung compliance
 - High compliance means lungs and chest wall expand easily
 - Related to elasticity and surface tension
 - Airway resistance
 - Larger diameter airway has less resistance
 - Regulated by diameter of bronchioles & smooth muscle tone

VOLUME & KAPASITAS PARU-PARU

- Setiap orang berbeda
- Tergantung pada ukuran paru-paru, kekuatan bernapas, cara bernapas
- Volume paru-paru orang dewasa: 5-6 liter, terdiri dari:
 - Volume tidal (VT)
 - Volume cadangan inspirasi (VCI)
 - Volume cadangan ekspirasi (VCE)
 - Volume residu (VR)

VOLUME PARU-PARU

- **Volume tidal (VT):** volume udara hasil inspirasi/ekspirasi pada setiap kali bernapas normal, $\pm 500\text{cc/ml}$ pada rata-rata orang dewasa muda
- **Volume cadangan inspirasi (VCI):** volume udara ekstra yang dapat diinspirasi setelah volume tidal, \pm mencapai 3000cc/ml

VOLUME & KAPASITAS PARU-PARU

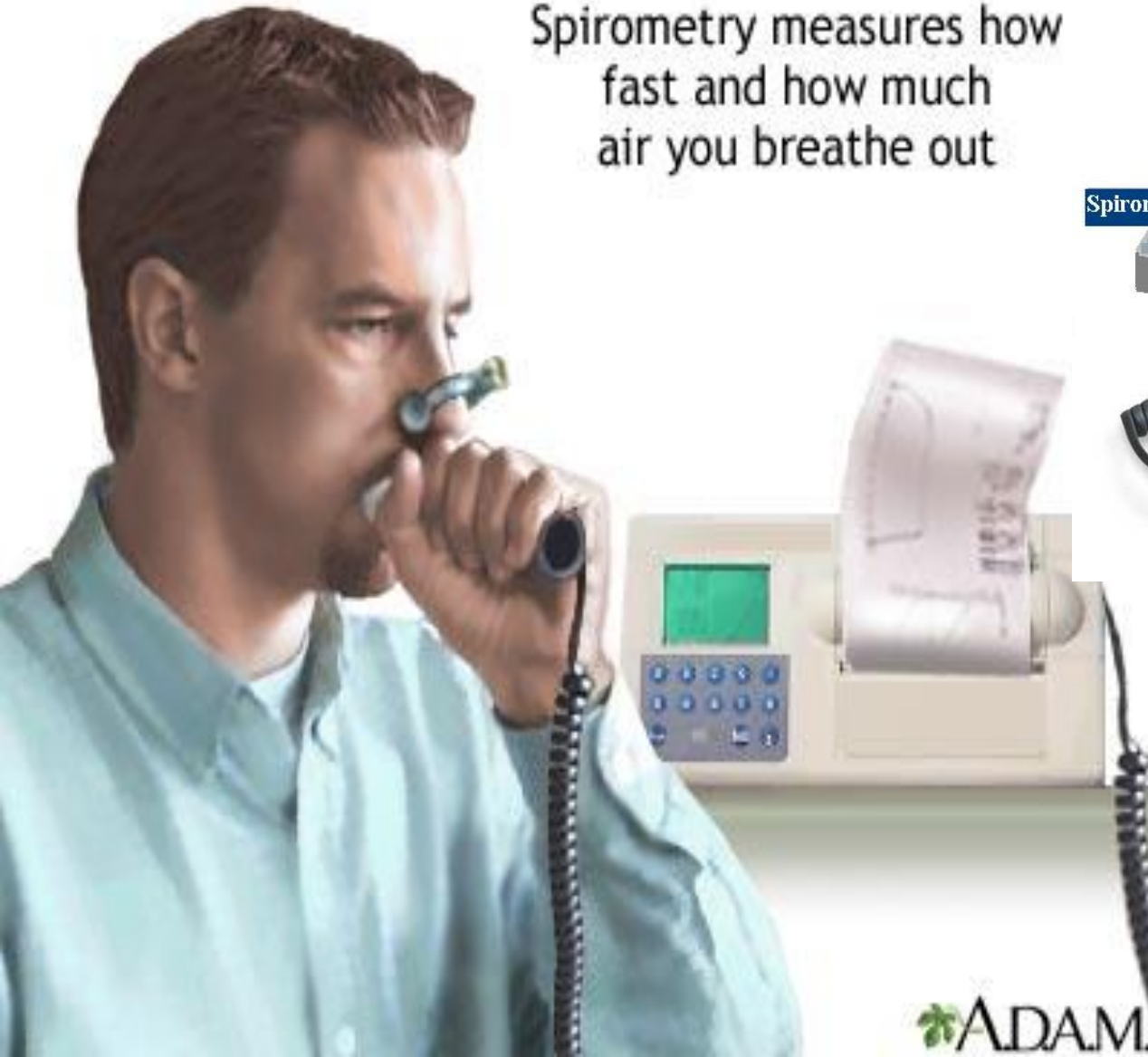
- **Volume cadangan ekspirasi (VCE):** volume udara yang masih dapat diekspirasi kuat pada akhir ekspirasi normal, \pm mencapai 1100cc/ml
- **Volume residu (VR):** volume udara yang masih tetap berada dalam paru-paru setelah ekspirasi kuat, \pm sebanyak 1200cc/ml

KAPASITAS PARU-PARU

- **Kapasitas Inspirasi (KI)**= V_T+V_{CI}
- **Kapasitas residu fungsional (KRF)**= $V_{CE}+V_R$
- **Kapasitas vital (KV)**= $V_{CI}+V_T+V_{CE}$
- **Kapasitas total paru-paru**= $KV+V_R$
- **Spirometri**: metode yang digunakan untuk mencatat volume udara yang masuk dan keluar dari paru-paru

VOLUME & KAPASITAS DARU-PARU

Spirometry measures how fast and how much air you breathe out



spirometer

Spirogram of Lung Volumes and Capacities

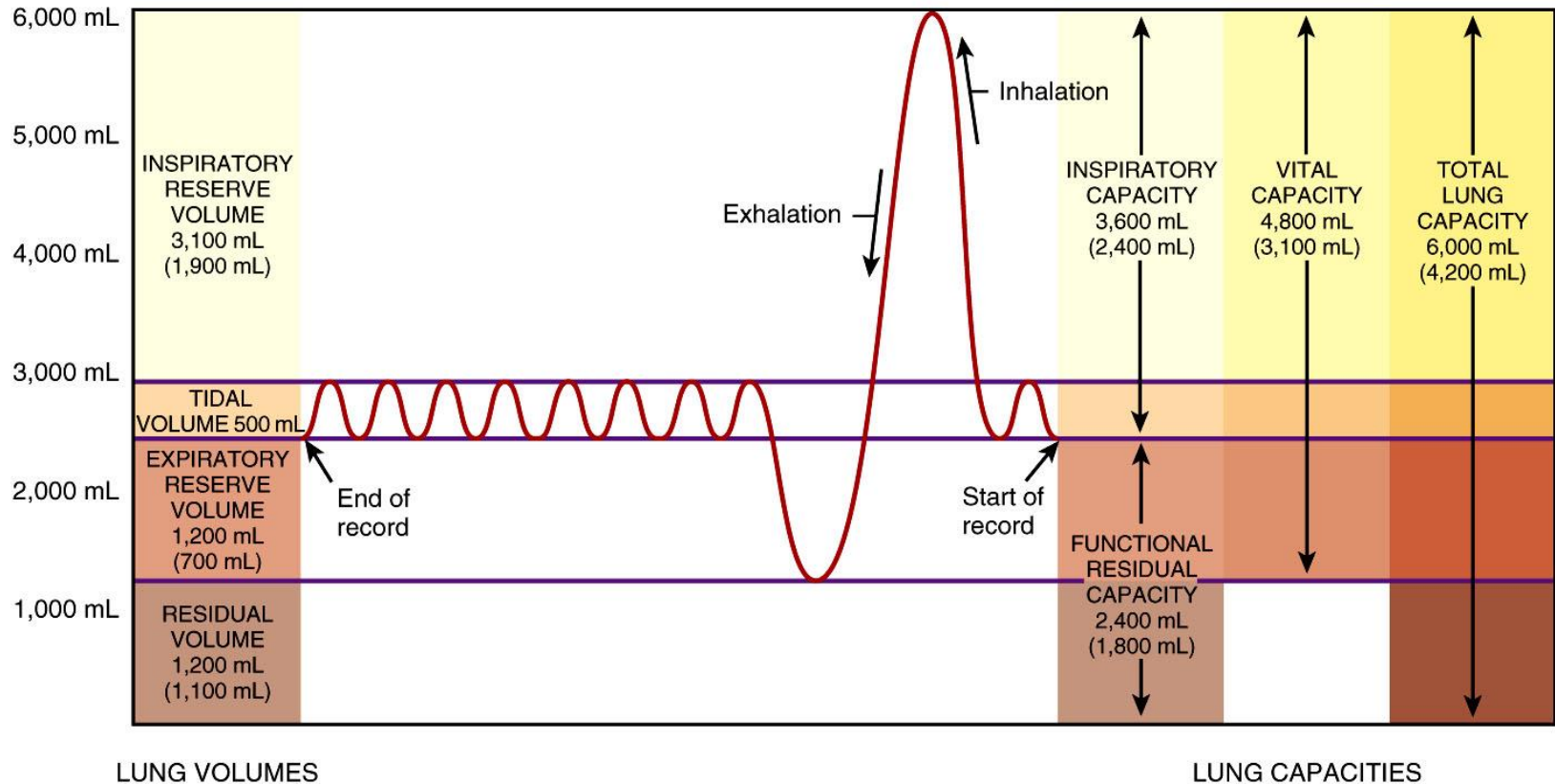


Figure 23.16 Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

PERTUKARAN GAS

HUKUM TEKANAN PARSIAL DALTON

- Hukum dalton menyatakan bahwa pada campuran gas, tekanan yang diberikan oleh setiap gas adalah sama dengan tekanan pada keadaan dimana hanya gas tersebut yang mengisi ruang
- **$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$**
- **Keterangan :**
 - P_{total} = tekanan total campuran gas
 - $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$ = tekanan parsial setiap gas

HUKUM TEKANAN PARSIAL DALTON

- Dalton's Law
 - Pressure of a specific gas is partial pressure P_x
 - Total pressure is the sum of all the partial pressures
 - Atmospheric pressure (760 mmHg) = $P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + P_{CO_2} + P_{\text{other gases}}$
 - Each gas diffuses across a permeable membrane from the area where its partial pressure is greater to the area where its partial pressure is less
 - The greater the difference, the faster the rate of diffusion

- Udara yang kita hirup adalah campuran gas yang mengandung :
 - 79% nitrogen
 - 21% oksigen
 - 0,5% uap air
 - 0,03% karbondioksida
 - Dan gas-gas inert

Sehingga tekanan udara adalah :

P udara =

$P_{\text{nitrogen}} + P_{\text{oksigen}} + P_{\text{air}} + P_{\text{karbondioksida}} + P_{\text{gas-gas inert}}$

Tekanan Parsial gas : Tekanan yang ditimbulkan secara independen oleh masing-masing gas dalam suatu campuran gas

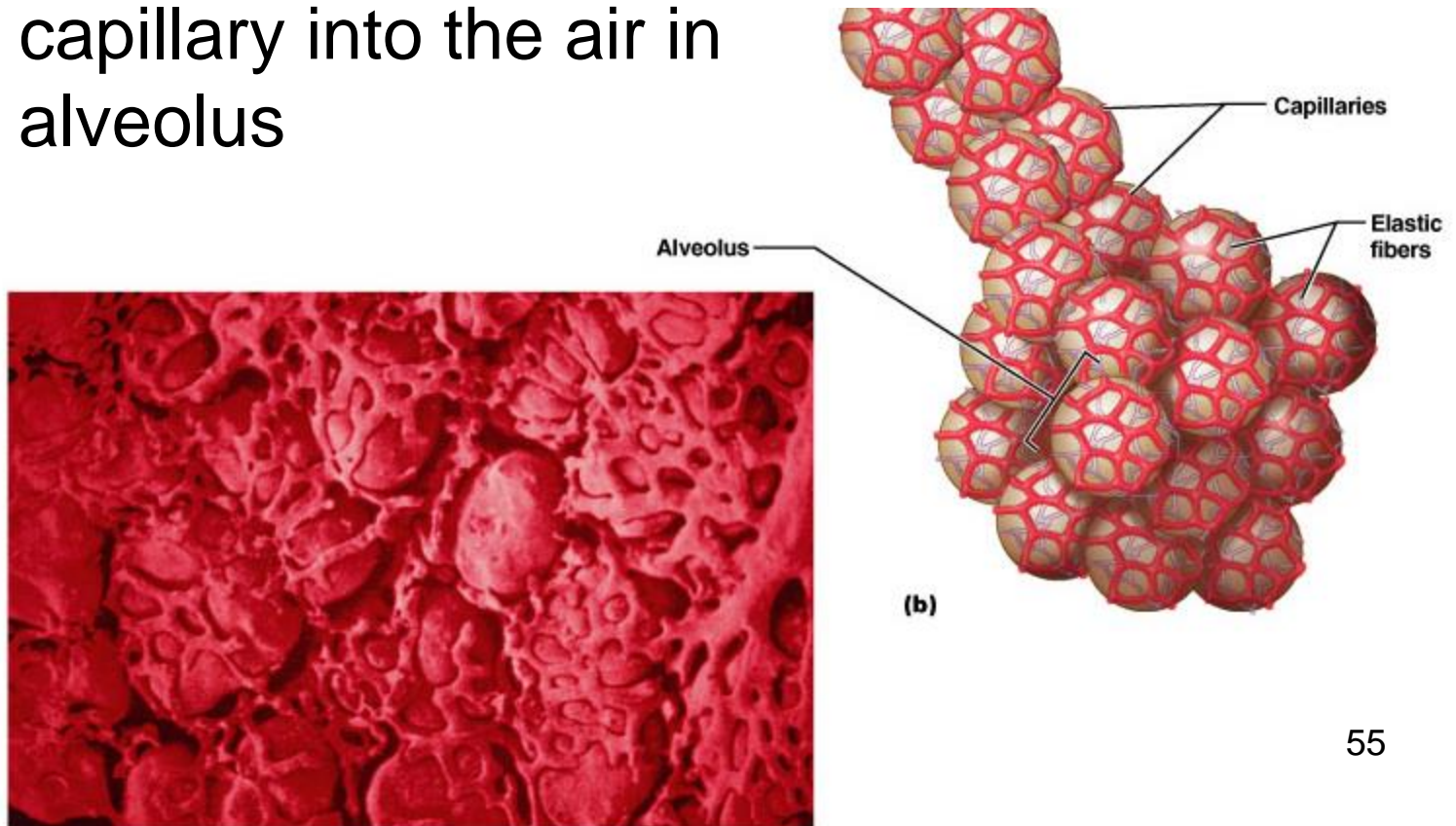
Partial Pressures of Gases in Inhaled Air

P_{N_2}	=0.786	x 760mm Hg	= 597.4 mmHg
P_{O_2}	=0.209	x 760mm Hg	= 158.8 mmHg
P_{H_2O}	=0.004	x 760mm Hg	= 3.0 mmHg
P_{CO_2}	=0.0004	x 760mm Hg	= 0.3 mmHg
$P_{\text{other gases}}$	=0.0006	x 760mm Hg	= 0.5 mmHg
		TOTAL	= 760.0 mmHg

External Respiration in Lungs

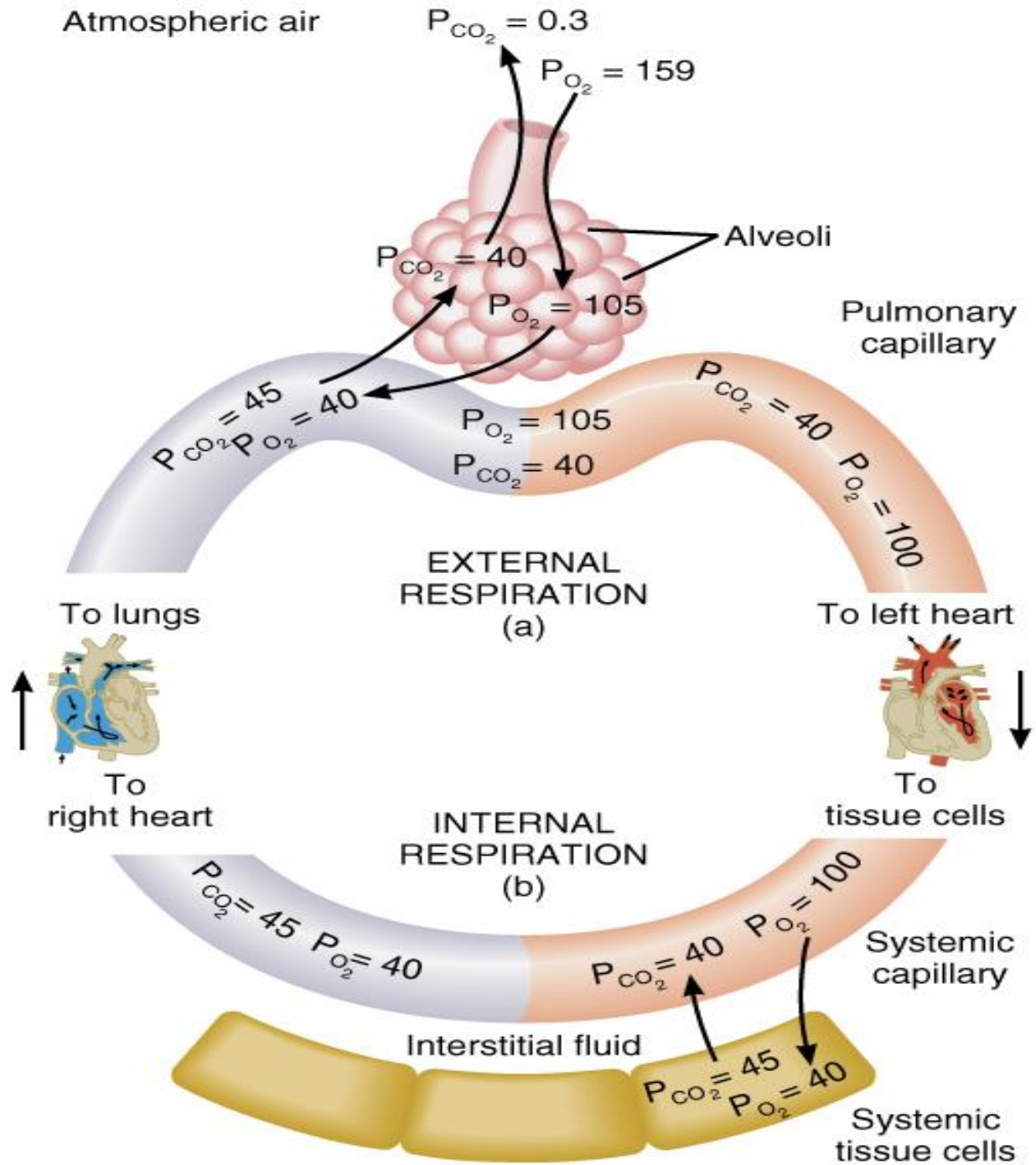
- Oxygen
 - Oxygen diffuses from alveolar air (P_{O_2} 105 mmHg) into blood of pulmonary capillaries (P_{O_2} 40 mmHg)
 - Diffusion continues until P_{O_2} of pulmonary capillary blood matches P_{O_2} of alveolar air
 - Small amount of mixing with blood from conducting portion of respiratory system drops P_{O_2} of blood in pulmonary veins to 100 mmHg
- Carbon dioxide
 - Carbon dioxide diffuses from deoxygenated blood in pulmonary capillaries (P_{CO_2} 45 mmHg) into alveolar air (P_{CO_2} 40 mmHg)
 - Continues until P_{CO_2} of blood reaches 40 mmHg

- This “air-blood barrier” (the respiratory membrane) is where gas exchange occurs
 - Oxygen diffuses from air in alveolus (singular of alveoli) to blood in capillary
 - Carbon dioxide diffuses from the blood in the capillary into the air in the alveolus



Internal Respiration

- Internal respiration – in tissues throughout body
- Oxygen
 - Oxygen diffuses from systemic capillary blood (P_{O_2} 100 mmHg) into tissue cells (P_{O_2} 40 mmHg) – cells constantly use oxygen to make ATP
 - Blood drops to 40 mmHg by the time blood exits the systemic capillaries
- Carbon dioxide
 - Carbon dioxide diffuses from tissue cells (P_{CO_2} 45 mmHg) into systemic capillaries (P_{CO_2} 40 mmHg) – cells constantly make carbon dioxide
 - P_{CO_2} blood reaches 45 mmHg



- Dalam tubuh terjadi perubahan gas karena :
 - Karbondioksida dan oksigen **bergerak ke arah yang berbeda** akibat perbedaan tekanan parsial
 - **PO₂ lebih tinggi pada alveolus** sehingga oksigen dapat berdifusi menurut gradien tekanannya menuju ke dalam darah yang memiliki **PO₂ rendah**
 - **Karbondioksida** berdifusi dari darah yang memiliki **PCO₂ relatif tinggi** ke **alveoli dengan PCO₂ rendah**

Rate of Pulmonary and Systemic Gas Exchange

- Depends on
 - Partial pressures of gases
 - Alveolar P_{O_2} must be higher than blood P_{O_2} for diffusion to occur – problem with increasing altitude
 - Surface area available for gas exchange
 - Diffusion distance
 - Molecular weight and solubility of gases
 - O_2 has a lower molecular weight and should diffuse faster than CO_2 except for its low solubility - when diffusion is slow, hypoxia occurs before hypercapnia

Transport of Oxygen and Carbon Dioxide

- Oxygen transport
 - Only about 1.5% dissolved in plasma
 - 98.5% bound to hemoglobin in red blood cells
 - Heme portion of hemoglobin contains 4 iron atoms – each can bind one O₂ molecule
 - Oxyhemoglobin (Hb berikatan dengan O₂)
 - Deoksihemoglobin (Hb yang tidak berikatan dengan O₂)
 - Only dissolved portion can diffuse out of blood into cells
 - Oxygen must be able to bind and dissociate from heme

HUKUM HENRY

- Kelarutan gas dalam cairan tergantung pada **tekanan parsial gas dan koefisien kelarutannya**. Gas yang berbeda memiliki kelarutan yang berbeda
- **Semakin tinggi koefisien kelarutan, semakin mudah larut gas tersebut.**
- Contoh : Karbondioksida 23 kali lebih mudah larut dalam air dibandingkan dengan Oksigen

- Di dalam darah, karbondioksida akan langsung larut dan dengan mudah ditransport dalam larutan
- Oksigen kurang larut dan membutuhkan 'pembawa'. **Pembawa oksigen adalah Hemoglobin.**
- Istilah saturasi : Proporsi hemoglobin yang mengikat oksigen. **Normalnya : 98-100%**

- Saat tekanan parsial suatu gas di atas suatu larutan meningkat, maka konsentrasi gas yang larut dalam larutan tersebut akan meningkat secara proporsional
- Pada tempat yang tinggi tekanan parsial gas di udara akan berkurang sebanding dengan berkurangnya tekanan atmosfer → Lebih sedikit oksigen yang berdifusi ke dalam darah.

Relationship between Hemoglobin and Oxygen Partial Pressure

- Higher the P_{O_2} , More O_2 combines with Hb
- Fully saturated – completely converted to oxyhemoglobin
- Percent saturation expresses average saturation of hemoglobin with oxygen
- Oxygen-hemoglobin dissociation curve
 - In pulmonary capillaries, O_2 loads onto Hb
 - In tissues, O_2 is not held and unloaded
 - 75% may still remain in deoxygenated blood (reserve)

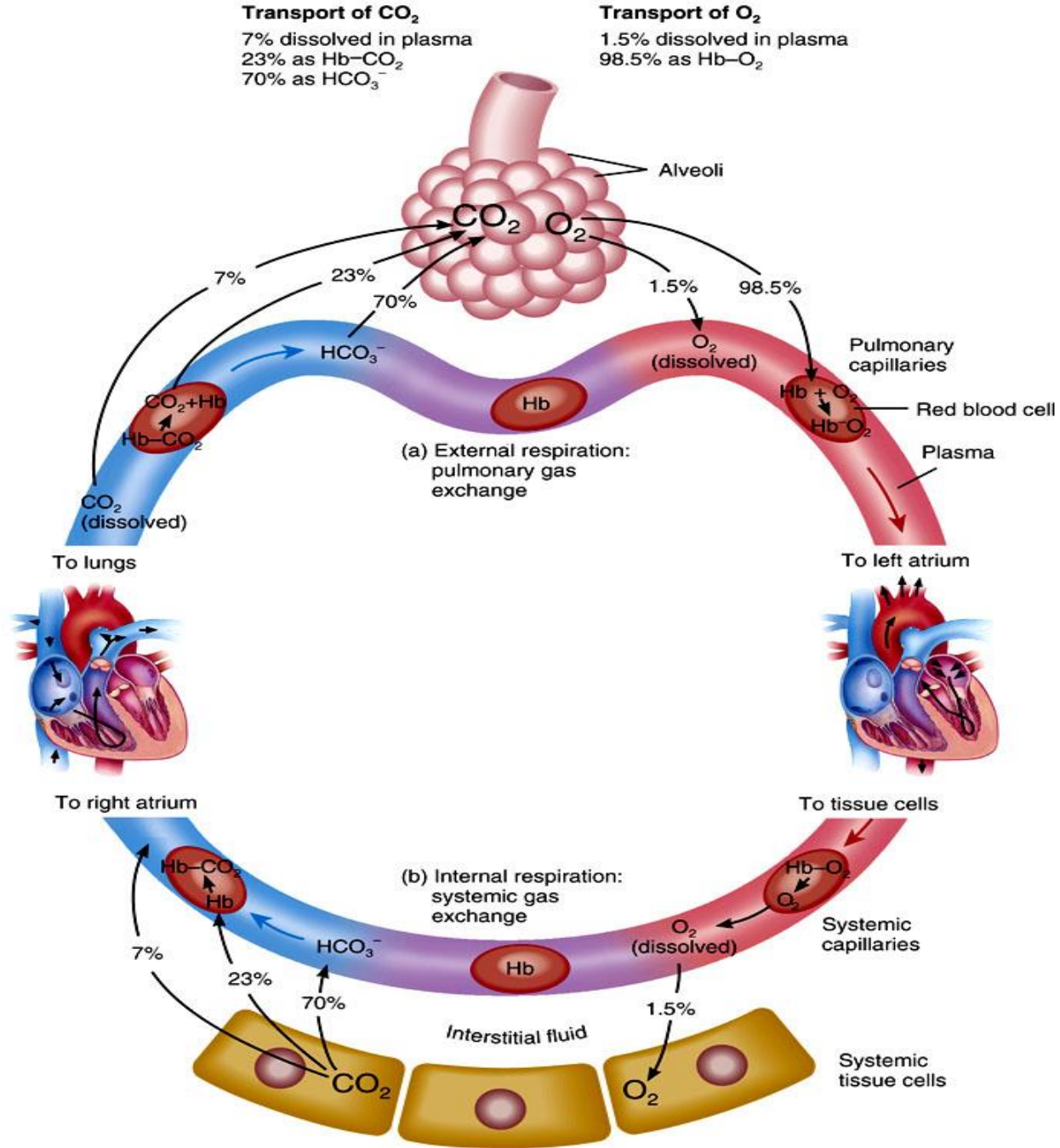
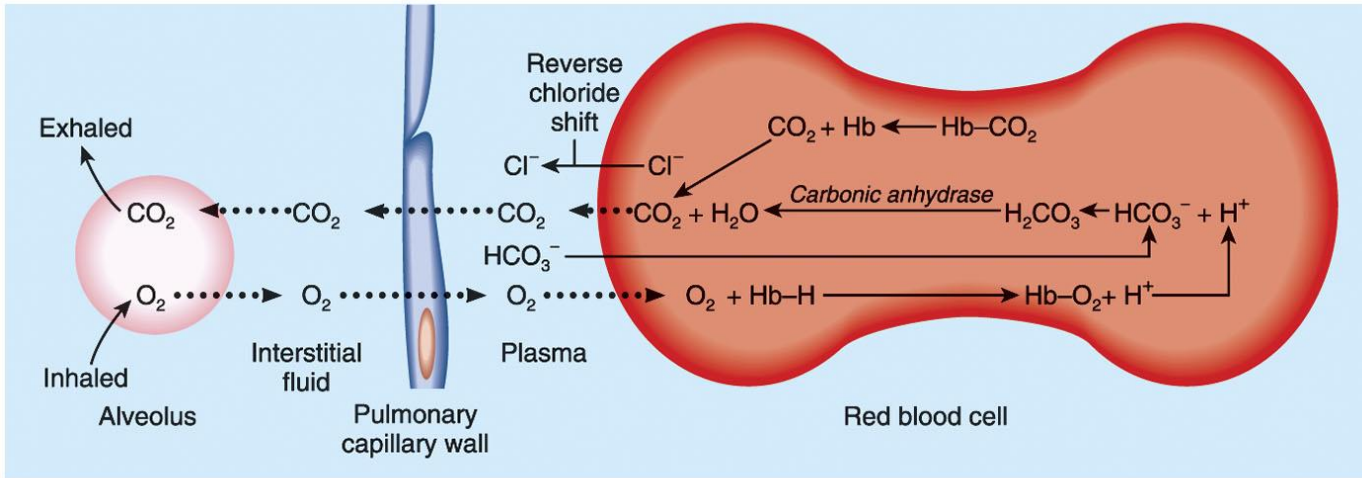


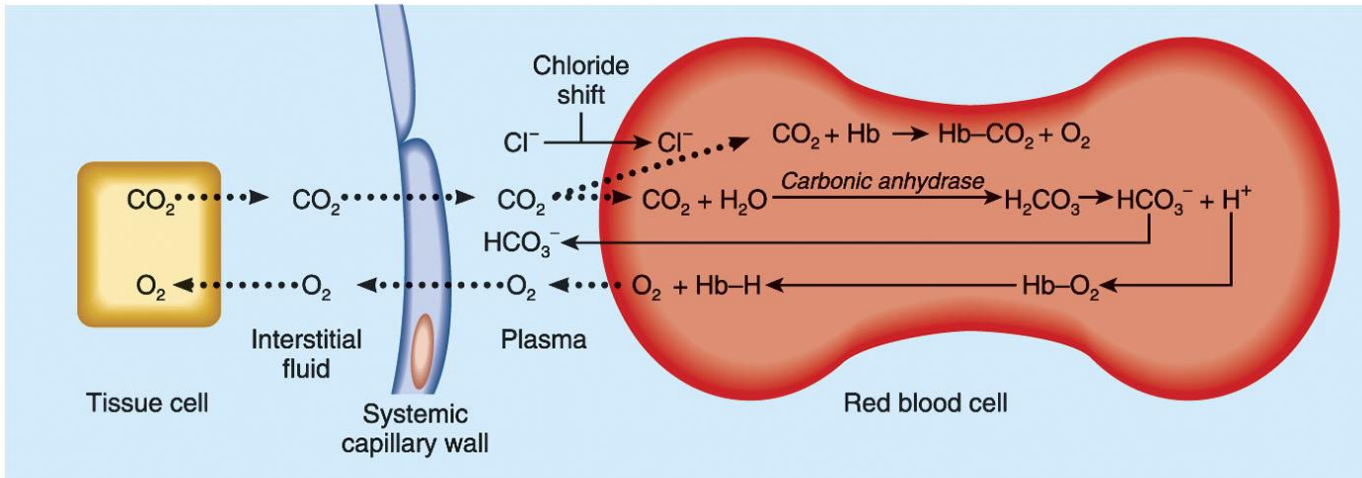
Figure 23.18 Tortora - PAP 12/e
 Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Hemoglobin and Oxygen

- Other factors affecting affinity of Hemoglobin for oxygen
- Each makes sense if you keep in mind that metabolically active tissues need O_2 , and produce acids, CO_2 , and heat as wastes
 - Acidity
 - P_{CO_2}
 - Temperature



(a) Exchange of O_2 and CO_2 in pulmonary capillaries (external respiration)



(b) Exchange of O_2 and CO_2 in systemic capillaries (internal respiration)

Figure 23.23 Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

PUSAT KONTROL PERNAFASAN

- Otot pernafasan adalah otot rangka → berkontraksi hanya jika dirangsang oleh syaraf mereka
- Aktivitas pemacu yang menciptakan irama napas terletak di pusat kontrol pernafasan di otak, bukan di paru/otot pernafasan

KOMPONEN KONTROL SISTEM PERNAFASAN

- Faktor yang menghasilkan irama inspirasi/ekspirasi bergantian
- Faktor yang mengatur besar ventilasi (kecepatan dan kedalaman bernapas)
- Faktor yang memodifikasi aktivitas pernafasan untuk tujuan lain

- Sel syaraf pengontrol pernafasan ada di beberapa level :

1. Di batang otak :

a. pons :

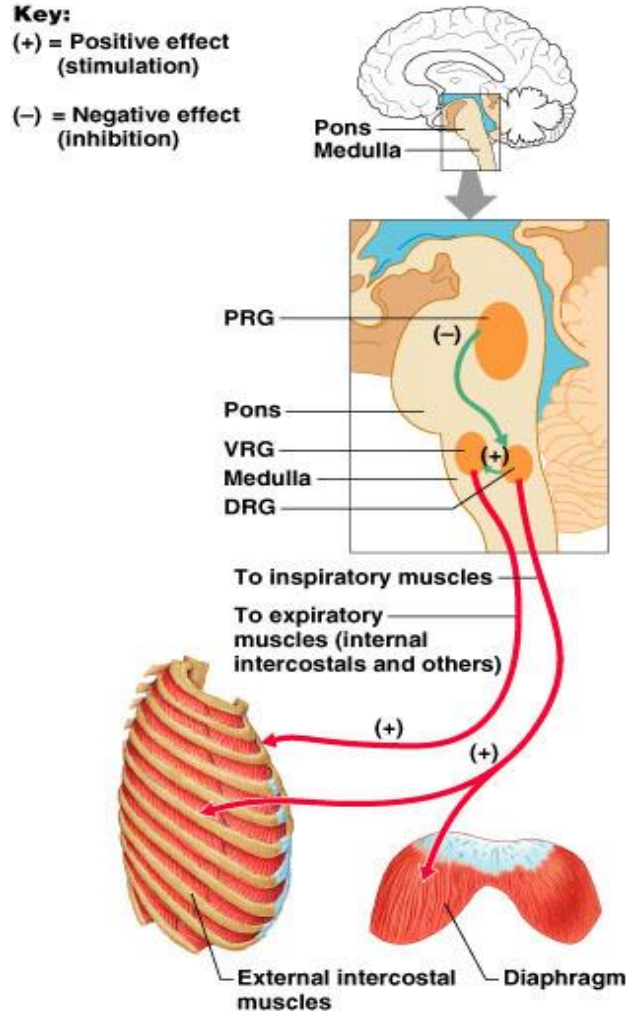
- apneustik center : bekerja melalui penghambatan inspirasi
- Pneumotaxic center : mengatur pola pernafasan berdasarkan stimulasi hipoksia, stimulasi hiperkapnia, stimulasi inflasi paru

b. medulla oblongata :

berperan untuk pernafasan spontan (involuntary)

- ### 2. Di korteks : Berperan untuk pernafasan voluntary (disadari) → behavior related control of breathing (bicara, menyanyi, mengedat)

Control of Respiration: Medullary Respiratory Centers



■ SENSOR PERNAFASAN

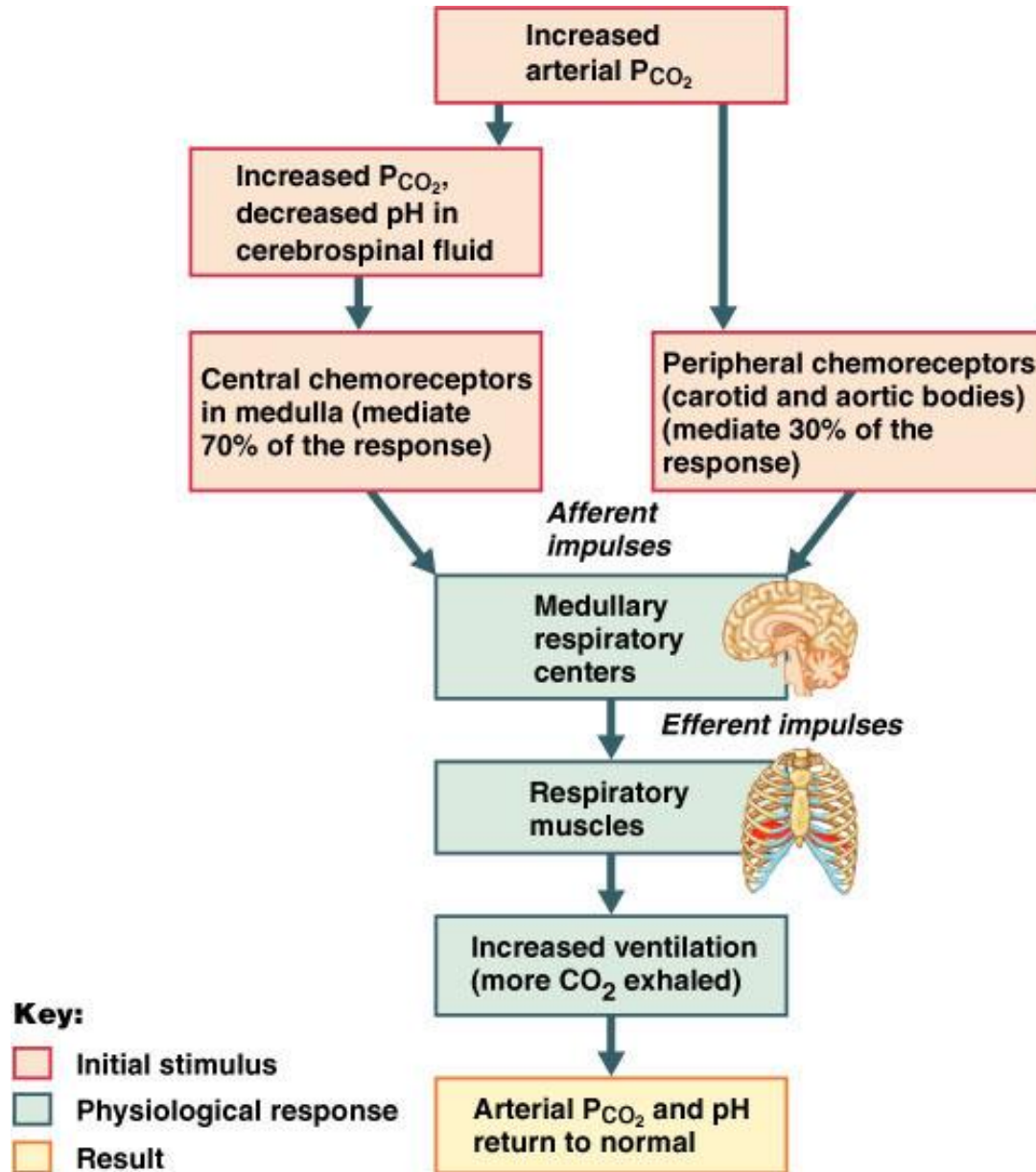
a. Kemoreseptor sentral → terletak di permukaan ventral medulla oblongata → merespon cepat setiap peningkatan konsentrasi CO₂ atau dan peningkatan H⁺ dengan menambah ventilasi

HIPOKSIA tidak berperan sebagai stimulan terhadap kemoreseptor sentral, melainkan menekan kemoreseptor ini

b. Kemoreseptor perifer → terletak di bifurkasio arteri karotis dan sepanjang arkus aorta → diaktifkan oleh hipoksia dan CO₂ dan H⁺

- Pada suasana normal reseptor ini sangat peka dan menjaga PaO₂ tetap konstan walaupun ada perubahan produksi CO₂

Depth and Rate of Breathing: P_{CO_2}



■ SENSOR PERNAFASAN

Sensor pernafasan juga peka terhadap penurunan tekanan darah, misal renjatan syok → hiperventilasi

c. Mekanoreseptor di dinding dada → bereaksi terhadap adanya penegangan otot interkostal yang secara refleks mengatur irama pernafasan dan dalamnya tarikan nafas

d. Reseptor Sensoris di dalam paru

Medullary Respiratory Centers

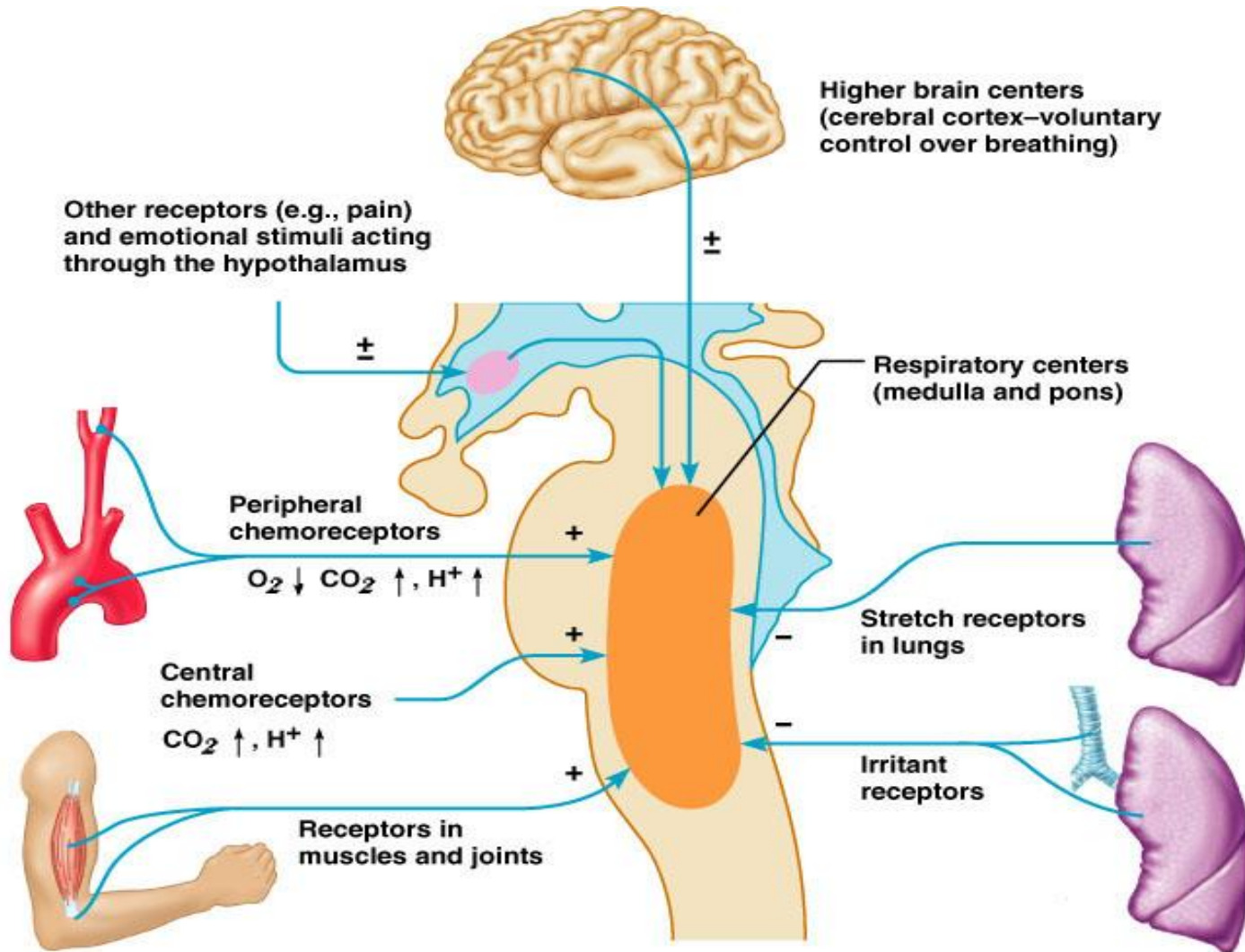


Figure 22.25 ⁷⁵

- EFEKTOR PERNAFASAN :
 - Transmisi impuls dari **pusat pernafasan berjalan** melalui **nervus frenikus yang menuju diafragma**, **nervus interkostalis** yang menginervasi muskulus interkostalis dan muskulus abdominalis, **nervus aksesoris** yang menuju muskulus sternokleidomastoideus, dan **nervus servikalis inferior** yang ke muskulus skalenus

- Terima Kasih.....