

UNIT 6: SISTEM RESPIRATORI

MINGGU	10, 11 DAN 12
JAM	7 (KULIAH) ; 2 (AMALI)

HASIL PEMBELAJARAN:

Pada akhir topik ini pelajar dapat:

1. Mengenalpasti anatomi organ dan struktur yang terlibat dalam sistem respiratori
2. Menerangkan fungsi organ dan struktur dalam sistem respiratori
3. Menerangkan fisiologi ventilasi, respirasi eksternal, pengangkutan gas melalui darah dan respirasi internal
4. Mendefinisikan isipadu dan kapasiti paru-paru (*lung volumes and capacities*)
5. Menyatakan contoh penyakit berdasarkan kegagalan fungsi organ dan ketidaknormalan fisiologi bagi sistem yang berkaitan

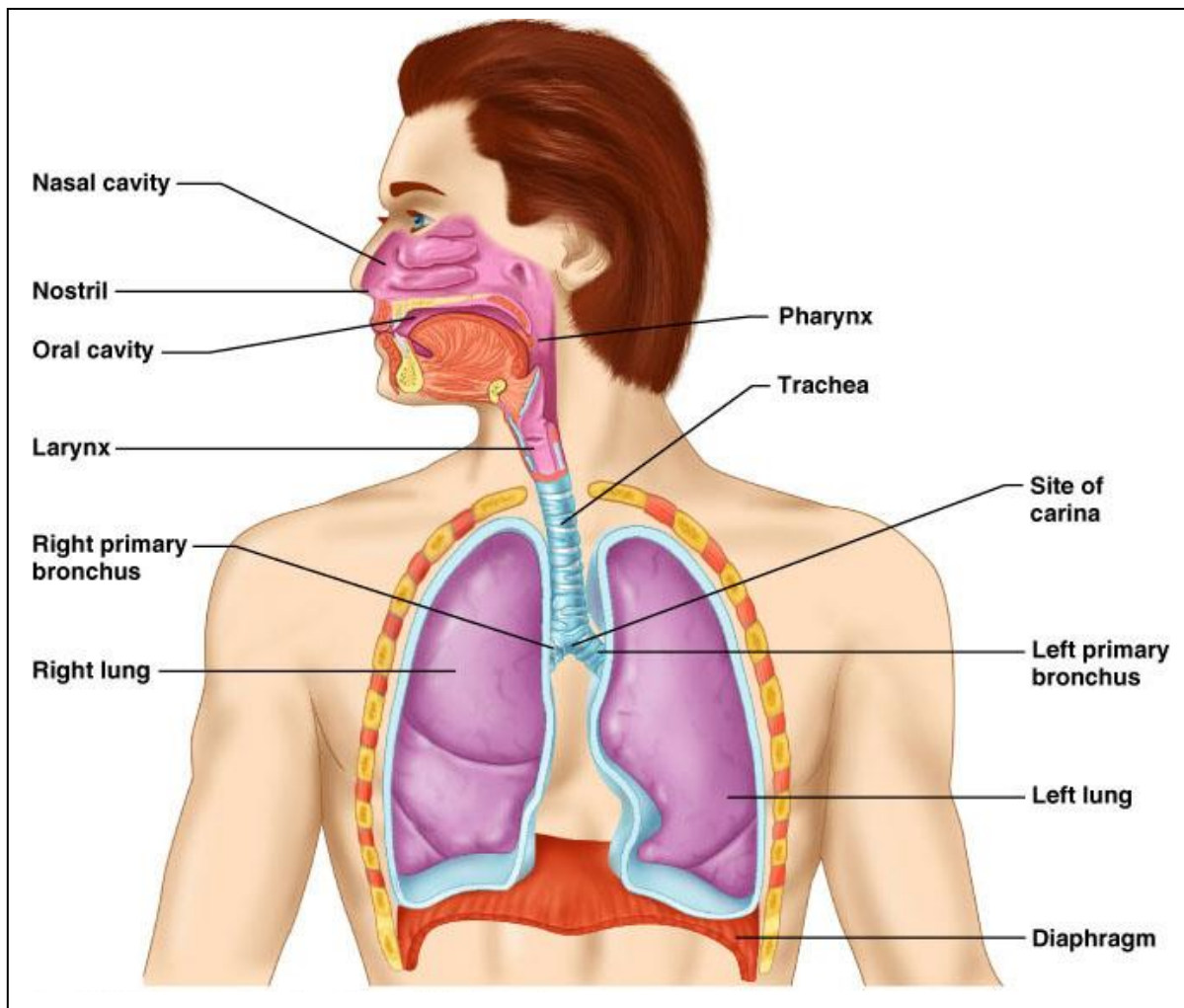
Kandungan:

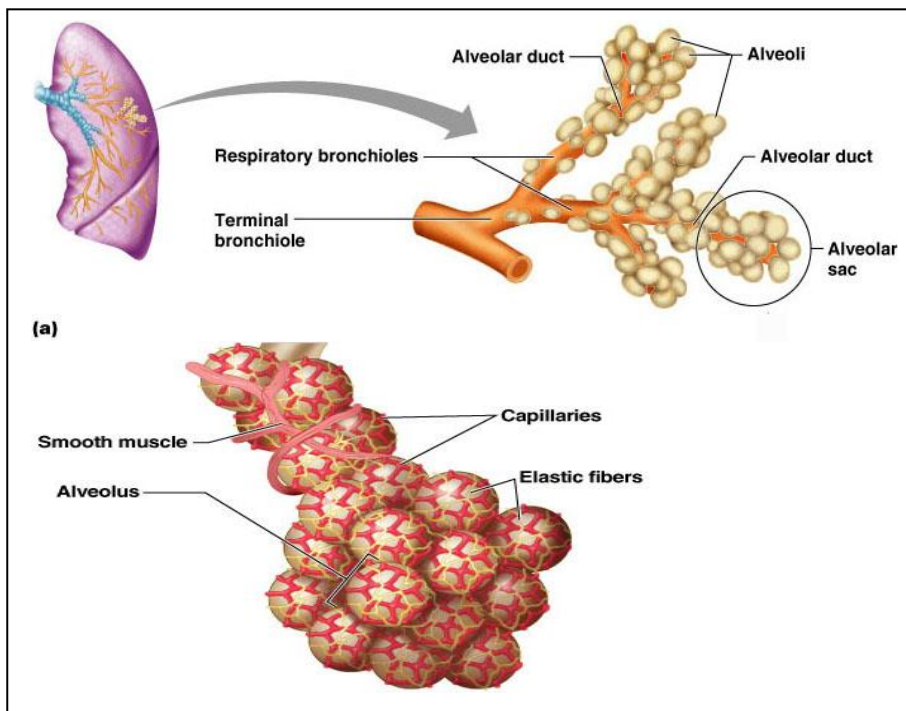
- A. Pengenalan sistem dan fungsi umum
- B. Anatomi dan fisiologi setiap organresiratori: hidung, pharynx, larynx, trakea, lungs (paru-paru): bronchi, bronchioles dan alveolus, otot-otot respirasi
- C. Fisiologi ventilasi (breathing), respirasi eksternal, pengangkutan gas melalui darah dan respirasi internal
- D. Isipadu dan kapasiti paru-paru
- E. Penyakit yang terlibat

A. PENGENALAN SISTEM DAN FUNGSI UMUM

- Melibatkan dua gas utama badan
 - Gas oksigen (O_2)
 - gas yg diperlukan oleh sel bagi membantu penghasilan tenaga sel (ATP: adenosine triphosphate)
 - respirasi sel: proses pembentukan tenaga ATP melalui pemecahan glucose (berlaku di dlm sel (mitokondrian)), dgn O_2 , 38 ATP terbentuk (tanpa O_2 hanya 2ATP shj terbentuk serta blaku phasilan asid laktik)
 - hasil respirasi sel membebaskan gas karbon dioksida (CO_2)
 - gas oksigen di bawa drpd atmosfera ke sel → melibatkan pertukaran gas antara atmosfera dgn sistem respiratori (perbezaan kepekatan gas)
 - kekurangan O_2 (hypoxia): kegagalan sistem respiratori dan sistem kardiovaskular (sistem yg mbawa O_2 ke sel) boleh menyebabkan kematian sel
 - Gas karbon dioksida (CO_2)
 - Gas yg dikumuhkan oleh sel selepas penghasilan tenaga
 - Gas CO_2 perlu diangkut ke atmosfera: sistem respiratori dan sistem urinari (ion bikarbonat, HCO_3^-)
- Melibatkan empat fungsi utama (2 daripada 4 dilakukan oleh sistem respiratori)
 - **Pulmonary ventilation:** pgerakan udara masuk dan keluar drpd paru-paru (tarik dan hembus nafas)
 - **External respiration:** pertukaran gas antara udara (dalam alveolus) dengan darah (kapilari) - penyerapan gas
 - Pengangkutan gas melalui salur darah (dari paru-paru ke sel): sistem kardiovaskular
 - **Internal respiration:** pertukaran gas antara darah (kapilari) dengan sel – penyerapan gas

- Udara di atmosfera mengandungi pelbagai gas: gas nitrogen, gas oksigen (21%), gas karbon dioksida dan lain-lain
- Semasa proses pernafasan, semua kandungan udara akan masuk melalui sistem respiratori
- Bagi membantu fungsi di atas, sistem respiratori dilengkapi dengan
 - Trek pernafasan: (ventilasi)
 - salur udara, bagi membantu membawa udara dari atmosfera (nostril) ke paru-paru → alveolus (kantung udara yang dikelilingi kapilari: pertukaran gas)
 - dibantu oleh chest bones (tulang rusuk dan sternum) serta otot-otot bg mbantu mhasilkan perbezaan tekanan udara (udara bgerak dr kaw tekanan tinggi ke kaw tekanan rendah
 - dilengkapi proses plempapan dan pemanasan udara, penapisan udara
 - Eksternal respiration: pertukaran gas (O_2 dan CO_2) antara alveolus dan kapilari darah





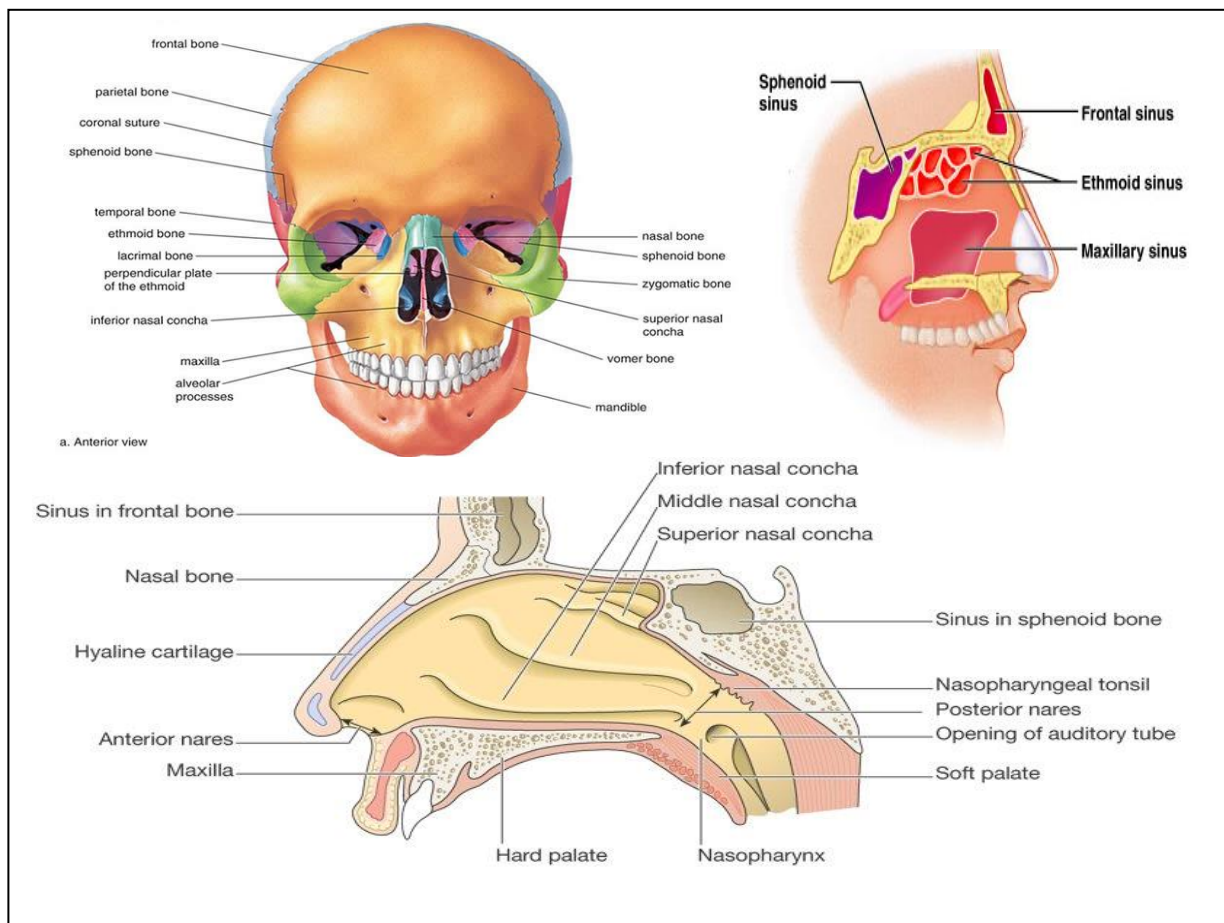
B. ANATOMI DAN FISILOGI

- KAVITI NASAL
 - Trek respiratori eksternal (visible)
 - Lajuan pertama udara dari atmosfera ke sistem respiratori; juga terlibat sebagai organ sensori bau (olfactory function), ruang resonans semasa bcakap
 - Trek pernafasan: (kelebihan)
 - Kaviti nasal yg luas: udara dilembap dan dipanaskan (salur darah)
 - Penapisan dan pbersihan udara yg masuk
 - Anatomi kaviti nasal (hidung)
 - Dikeliling oleh bberapa tulang (nasal bone, ethmoid bone, vomer, inferior nasal conchae , palatine bone dan maxilla bone)
 - Dgn 3 ruang: superior nasal conchae; middle nasal conchae; inferior nasal conchae): mningkat luas permukaan dan pergolakan udara
 - 2 bahagian kaviti nasal (dipisahkan oleh nasal septum (vomer bone)
 - Bhgn hdpn terdiri drpd hyaline cartilage

- Nostril (lubang hidung): pintu masuk ke kaviti nasal, tdpt nasal hair dgn mucus melekit
- Kaviti nasal: dilapisi oleh ciliated columnar epithelium dgn goblet cell dan kaya dgn kapilari darah
- Tdpt bukaan kecil (ruang antara sambungan tulang) = sinus (frontal sinus, sphenoid sinus, ethmoid sinus, maxilla sinus); lapisan dalam sama dgn kaviti nasal: ciliated columnar epithelium (resonans utk pencakapan, mringankan kepala: udara)

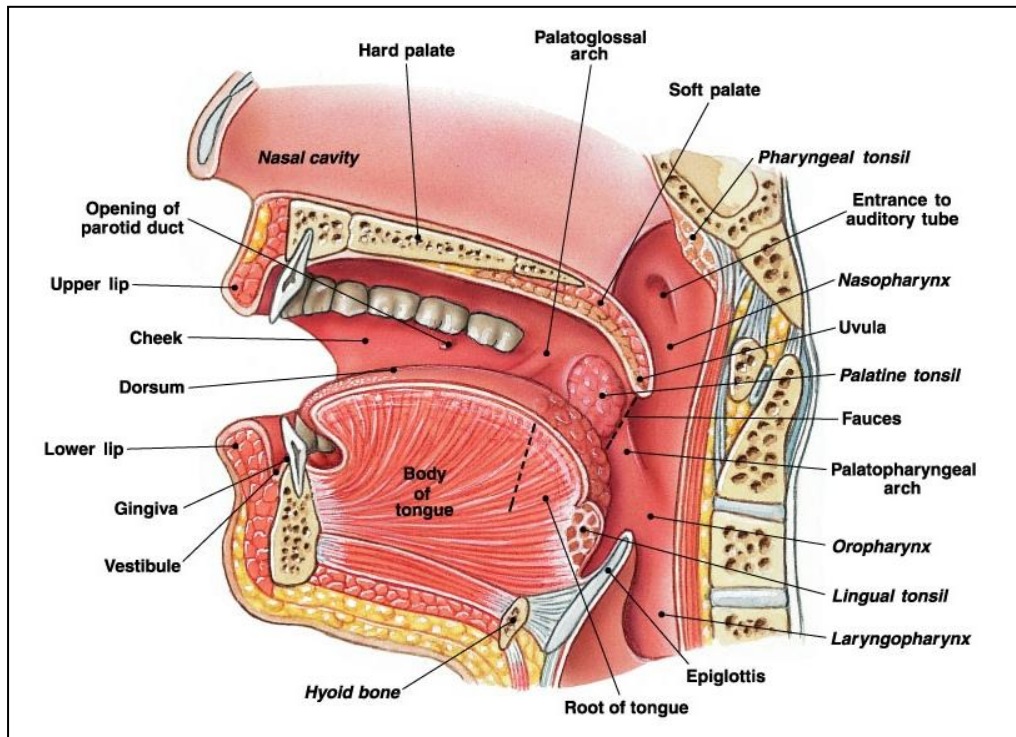
- Fungsi kaviti nasal

- Memanaskan udara supaya suhu udara sama dgn suhu darah (keseimbangan suhu), tetapi apb terlalu panas udara myebabkan suhu darah meningkat : pdarahan hidung (epistaxis)
- Penapisan dan pbersihan:dgn bantuan nasal hair, mucus dan ciliated columnar epithelium: mhalang kemasukan debu dan jangkitan
- Pelembapan udara: melembapkan udara yg kering dgn bantuan mucus



2. PHARYNX

- Laluan kedua udara (tiub udara: 12-14cm), bermula dr blkg hidung - vertebra cervical 3
- Anatomi:
 - Tletak di belakang kpd kaviti nasal dan kaviti oral dan terbuka kpd larynx dan esophagus
 - Tbahagi kpd 3 ruang: nasopharynx, oropharynx dan laryngopharynx
 - Nasopharynx: laluan drpd kaviti nasal; pd sisi (lateral) tdpt bukaan pharyngotympanic (auditory tube); tdpt pharyngeal tonsil (antara kaviti nasal dan pharynx: besar sms kanak2: tisu limfatik: ptahanan drpd jangkitan)
 - Oropharynx: laluan drpd kaviti oral (dipisahkan oleh uvula); pd sisi tdpt sepasang palatine tonsil
 - Laryngopharynx: laluan ke larynx (tdpt epiglottis) dan esophagus
 - Dilapisi oleh ciliated columnar epithelium, bermukus (nasopharynx) ttp utk oropharynx dan laryngopharynx: stratified squamous epithelium (laluan mknn), saluran dilapisi otot licin bg mbantu mnolak mknn ke esophagus
- Fungsi pharynx:
 - Laluan udara dan makanan (udara ke larynx; makanan ke esophagus; tdpt epiglottis pd permukaan atas larynx bg mhalang mknn masuk ke larynx
 - Memanaskan supaya suhu udara sama dgn suhu darah (keseimbangan suhu),
 - Penapisan dan pbersihan: dgn bantuan mucus dan ciliated columnar epithelium: mhalang kemasukan debu dan jangkitan
 - Pelembapan udara: melembapkan udara yg kering dgn bantuan mucus
 - Ptahanan thadap jangkitan: tdpt tonsil bg mhasilkan antibody
 - Resonans sms bercakap
 - Bukaan dr pharyngotympanic: laluan udara apb ktidakseimbangan tekanan, juga laluan bunyi dr pcakapan kita ke cochlear

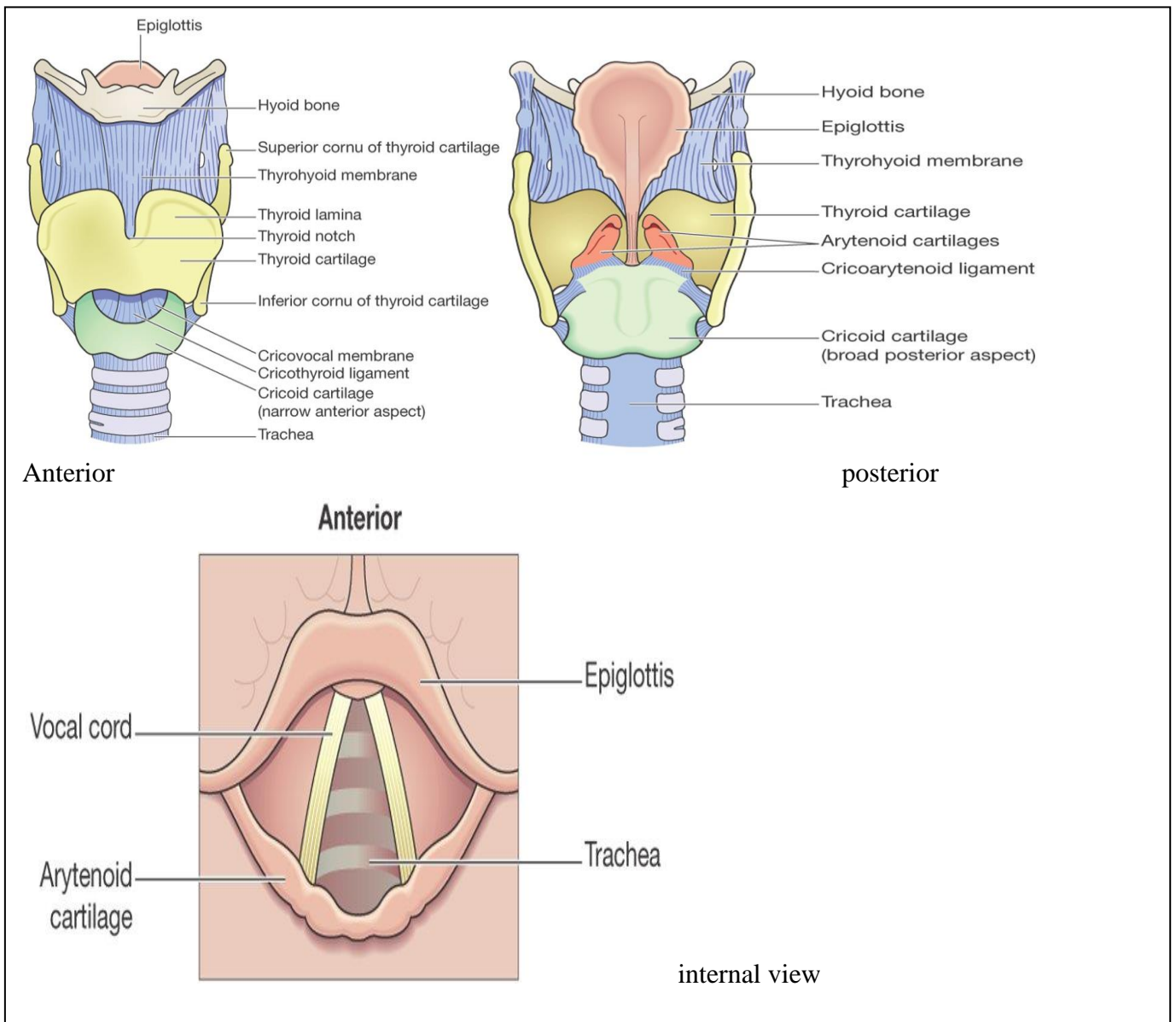


3. LARYNX

- Lalan ketiga (lower respiratory tract), dikenali sbg voice box (peti suara), lalan udara shj (perlindungan: epiglottis)
- Tletak di antara vertebra cervical 3-5 (tgh leher)
- Anatomi
 - Tletak ke hadapan drpd esophagus, ditutupi oleh epiglottis (elastic cartilage bbbentuk daun)
 - Saluran udara dgn dibaluti oleh bbrp hyaline cartilage (dpn ke blkg: thyroid cartilage, cricoids cartilage; blkg shj: arytenoids cartilage), dpn kpd thyroid cartilage, tdpt tisu lembut: Adam's apple: jelas dikalangan lelaki
 - Antara larynx dan trakea, tdpt thyroid gland (mhasilkan hormon) di bhgn hadapan (bentuk rama2)
 - Dalam saluran: tdpt lipatan mucous membrane: vocal cord dan vestibular fold (bukaan dikawal oleh otot): mhasilkan suara (bunyi)
 - Saluran udara: juga dilapisi ciliated columnar epithelium

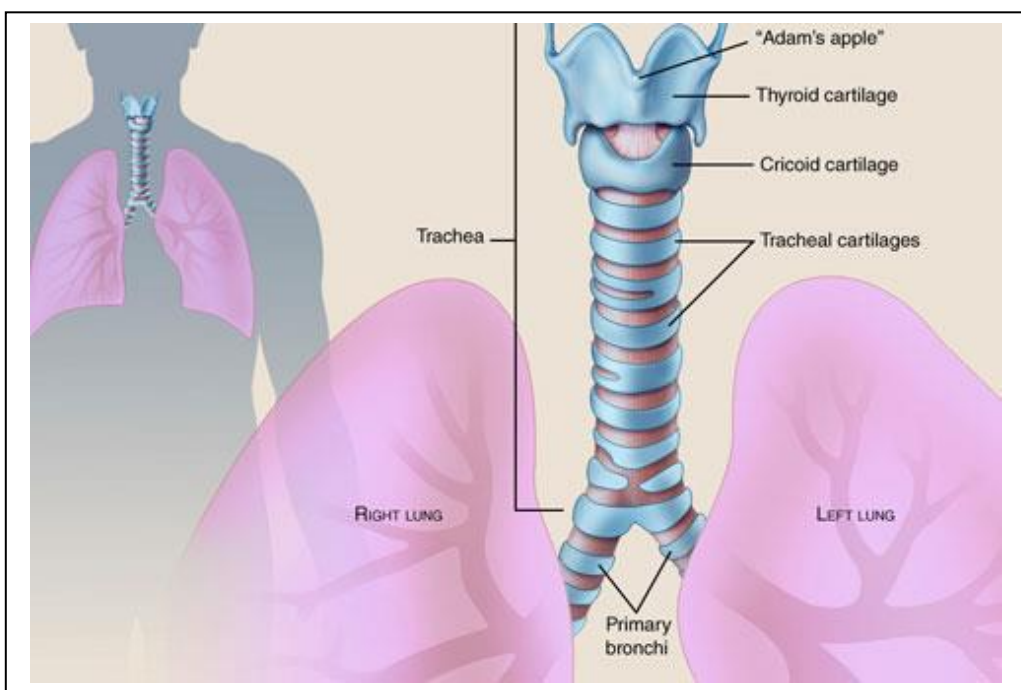
- Fungsi

- Laluan udara: tdpt perlindungan epiglottis bg mhalang mknn ke bhgn trakea
- Memanaskan supaya suhu udara sama dgn suhu darah (keseimbangan suhu),
- Penapisan dan pbersihan:dgn bantuan, mucus dan ciliated columnar epithelium: mhalang kemasukan debu dan jangkitan
- Pelembapan udara: melembapkan udara yg kering dgn bantuan mucus
- Ucapan: bunyi suara dihasilkan drpd getaran vocal cord (dihasilkan oleh pgerakan lidah, dagu dan bibir) – sbm puberty, saiz bukaan larynx kecil (dan berbeza antara jantina)



4. TRAKEA

- Laluan ke 4 (lower respiratory track), dikenali sbg windpipe, mmanjang (10cm) drpd vertebra cervical 5 – vertebra thorax 5, kemudian bcabang 2: bronchus (utk setiap belah paru-paru)
- Tletak dihadapan kpd esophagus
- Anatomi
 - Saluran udara yg dibaluti oleh 16-20 cincin hyaline cartilage (bbentuk C) : utk mhalang salur udara mgempis smasa proses ventilasi (mgekalkan bentuk saluran)
 - Tdiri drpd lapisan berotot (otot licin): mbantu mgembangkan/mgecilkan saiz salur (autonomic)
 - Saluran (bhgn dalam) : dilapisi oleh ciliated columnar epithelium dgn goblet cell: mhasilkan mucus
- Fungsi
 - Balutan cincin hyaline cartilage (bentuk C): mmastikan trakea sentiasa tbuka
 - Mucociliary escalator: mgeluarkan mana-mana particle besar yg bjaya mlepassi larynx mlalui reflex batuk (dikawal oleh medulla oblongata mlalui vagus nerve)
 - Mmanaskan, mlembapkan dan mnapis udara

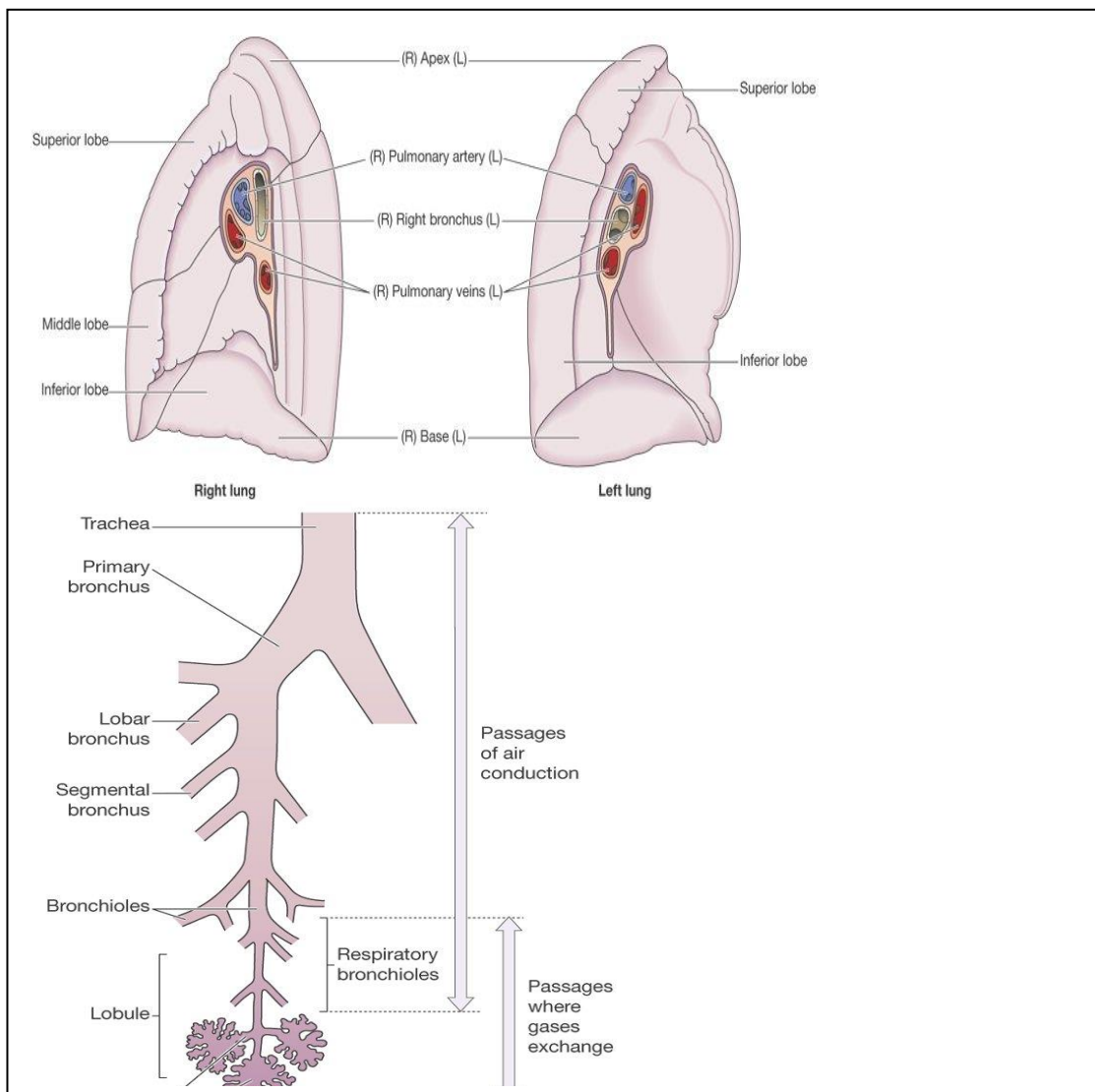


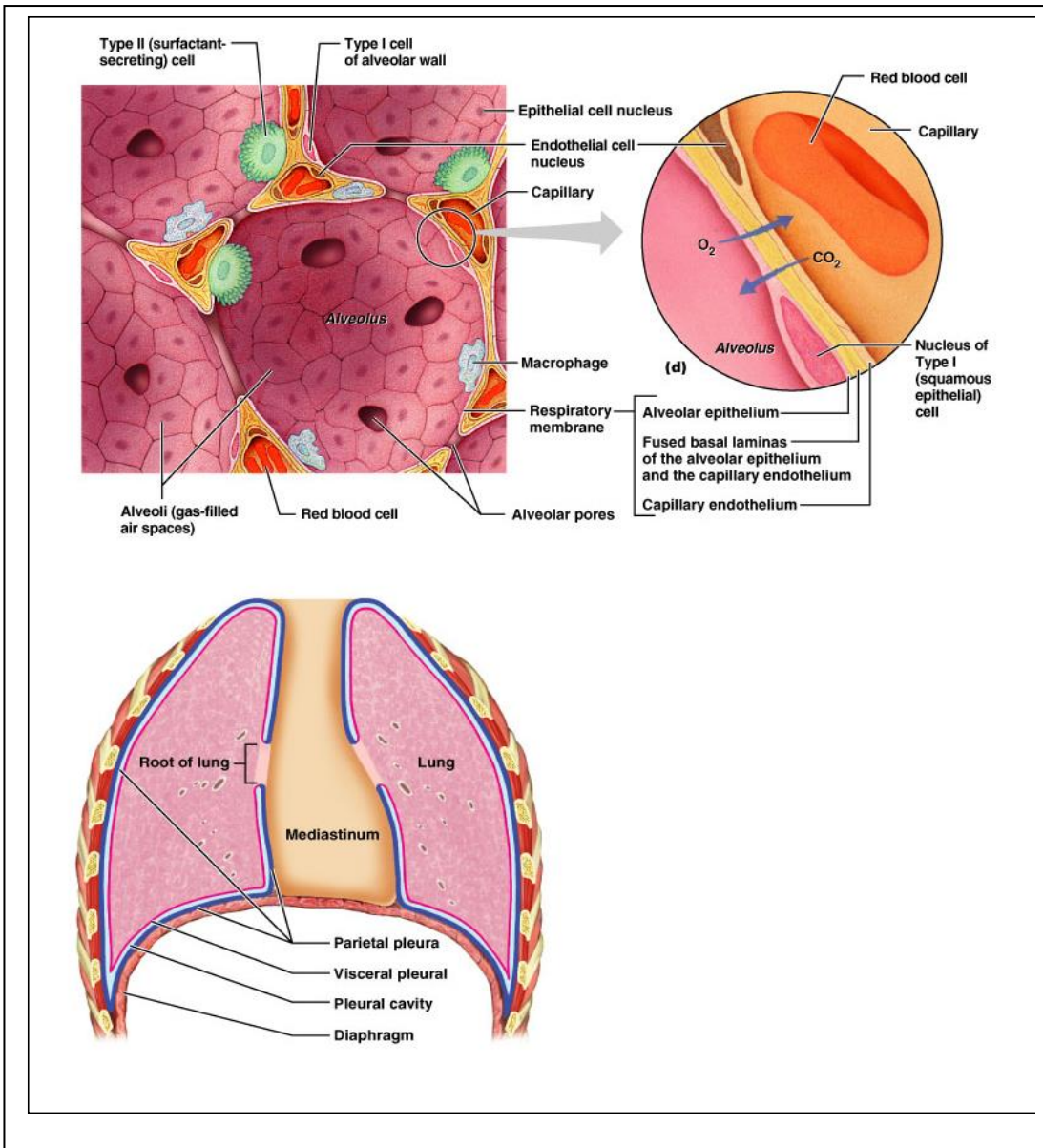
5. PARU-PARU (Lungs)

- Organ utama pertukaran gas
- Sepasang, berbentuk kon; terletak dlm kaviti toraks, memenuhi kwsn drpd rib 1 – hingga ke diafragma (dgn bhgn atas: apex; bhgn bwh: base);
- kaviti pleural (dgn 2 lapisan membrane; antara lapisan tdpt cecair serosa : khusus utk paru-paru, kbocoran mganggu proses pengembangan paru-paru
- Antara paru-paru tdpt kwsn mediastinum: lokasi jantung, salur darah utama, trakea, esophagus, bronchus dll
- Anatomi
 - Paru-paru kanan: lebih besar; 3 lobe (superior, middle, inferior lobe); lobe dipisahkan oleh fissure
 - Paru-paru kiri: lebih kecil, 2 lobe → (superior dan inferior lobe), tdpt cardiac notch (lekukan bhampiran jantung)
 - Salur darah utama: right & left pulmonary artery, right & left pulmonary vein, capillary (mengelilingi alveolus: ptukaran gas) : pd bhgn hilus
 - Pulmonary artery: mbawa darah kurang beroksigen (deoxygenated blood) dr jantung ke paru-paru
 - Pulmonary vein: mbawa darah beroksigen (oxygenated blood) dari paru-paru ke jantung
 - Tdiri drpd elastic tissue dgn bronchus (cabangan trakea, kiri & kanan), bronchioles (cabangan bronchus) dan alveolus (air sacs)
 - Bronchus
 - Kanan: lebih → luas, pendek (2.5cm) , mnegak (vertical), kmudian bcabang kpd 3 bronchiole (utk setiap lobe)
 - Kiri: sempit, pjg (5cm), kmudia bcabang kpd 2 bronchiole
 - Struktur: sama spt trakea, ttp kluasan berbeza
 - Bronchioles: cabang bronchus dan lebih kecil sehingga ke alveolus
 - Alveolus: dlm bentuk lobule (gugusan), tdpt 150 juta alveolus, dilapisi oleh

simple squamous epithelium, dikelilingi oleh jaringan kapilari darah (respiratori eksternal), antara sel epithelium tdpt sel khusus: septa cell yg berfungsi menghasilkan surfactant (cecair bg mhalang kekeringan alveolus dan seterusnya mengurangi kadar ptukaran gas (respirasi eksternal); juga berfungsi mengurangi surface tension dan mhalang dinding alveolus collapses sms mnarik nafas (expiration)

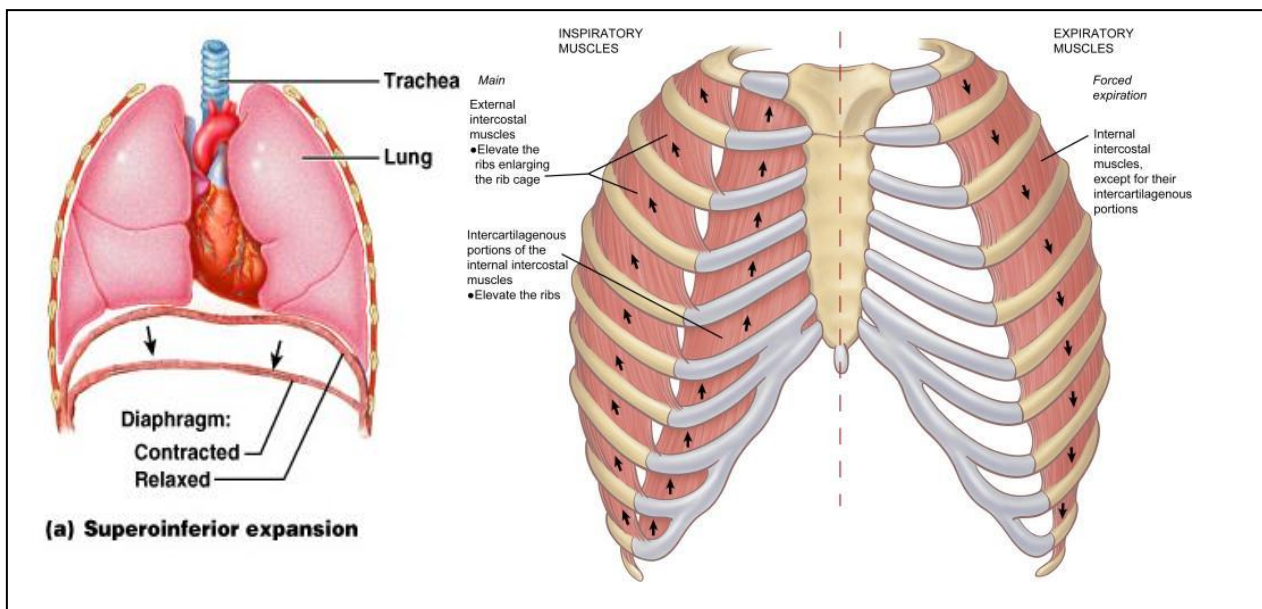
- Fungsi bronchus dan bronchiole
 - laluan udara, dikawal saiz scara autonomic (vagus nerve); parasimpatetik: bronchoconstriction dan simpatetik: bronchodilatation
 - Mmanaskan, mlembapkan dan mnapis udara
 - Reflex batuk
 - Fungsi alveolus: External respiration





6. OTOT-OTOT RESPIRATORI

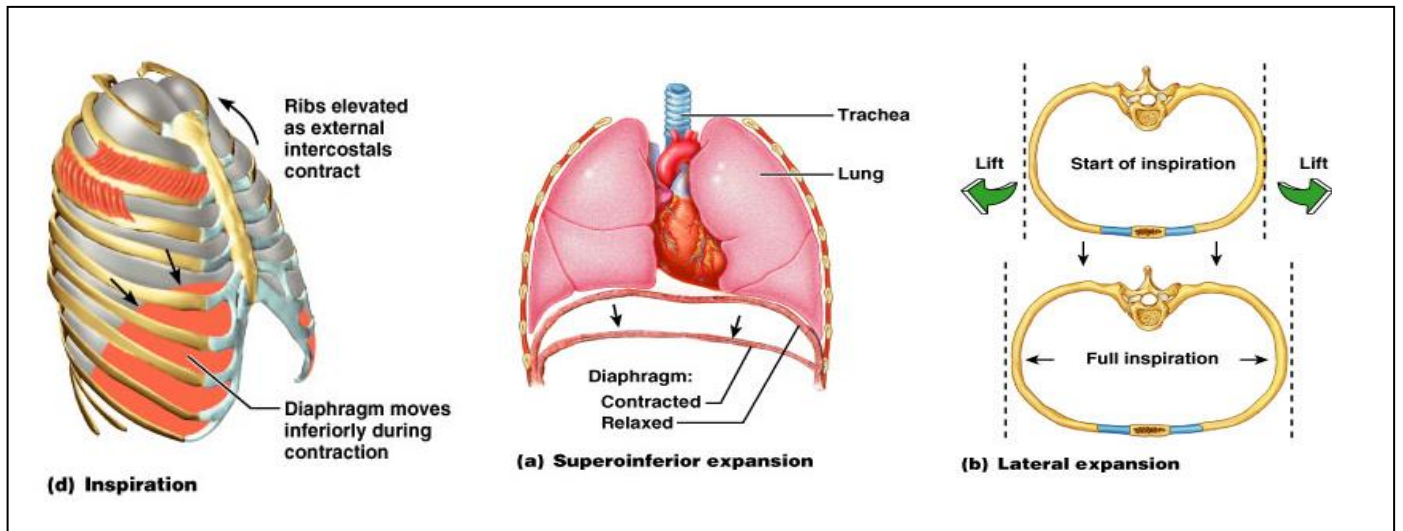
- M bantu mgerakkan tulang-tulang rusuk (ribs) bg mhasilkan perbezaan tekanan udara (udara bgerak drpd kaw bertekanan tinggi ke kaw bertekanan rendah)
- Pernafasan (pulmonary ventilation): mlibatkan 2 fasa
 - Menarik nafas: inspiration (inhalation): udara dr atmosfera ke dlm paru-paru
 - Menghembus nafas: expiration (exhalation): udara dari paru-paru ke atmosfera
- Tdiri drpd otot:
 - Intercostals muscles (11 pasang: antara tulang rusuk): disusun 2 lapisan
 - External intercostals muscle: pgecutan (contraction) otot: myebabkan tulang rusuk bgerak ke dpn dan ke atas (otot utk inspiration) → kaviti toraks mjadi tekanan rendah
 - Internal intercostals muscle: pgecutan (contraction) otot: myebabkan tulang rusuk bgerak ke blkg dan ke bwh (otot utk expiration) → kaviti toraks mjadi tekanan tinggi
 - Diaphragm: otot bbentuk kubah di bhgn bwh kaviti toraks
 - Pgecutan (inspiration): saiz otot memendek mybbkan kaviti toraks mjadi tekanan rendah, central tendon berada pd rib 9
 - Relax (expiration): saiz otot spt asal (kubah) mybbkan kaviti toraks mjadi tekanan tinggi, central tendon berada pd rib 8
- Pgecutan diaphragm bsama external intercostals muscle semasa inspiration



C. FISILOGI VENTILASI (BREATHING), RESPIRASI EKSTERNAL, PENGANGKUTAN GAS MELALUI DARAH DAN RESPIRASI INTERNAL)

1. Fisiologi ventilasi (breathing)

- Kadar respirasi: 12-15 breaths/min,
 - dikawal oleh
 - pusat kawalan respiratory: medulla oblongata (CN X: vagus nerve): autonomic
 - chemoreceptor: bergantung kpd kandungan gas O₂ dan CO₂ dlm darah; hypercapnia (tinggi CO₂) ; (perubahan pH darah: tinggi CO₂), tdpt pd medulla oblongata, aorta, carotid (tepi leher)
 - exercise: pergerakan otot mningkat kadar pnafasan
 - lain-lain: emosi
 - Mlibatkan 3 fasa:
 - a) inspiration: udara masuk (in)
 - b) expiration : udara keluar (out)
 - c) pause
 - Udara (gas) akan bgerak drpd kwsn ketekanan tinggi ke kwsn btekanan rendah
 - Dgn mgubah isipadu toraks kpd besar mybbkan tekanan udara mjadi rendah (luas = kurang tekanan) : diubah oleh otot intercostals dan diaphragm
- a) INSPIRATION**
- Scara serentak, otot external intercostals dan diaphragm **mgecut** myebabkan tulang rusuk **ditolak ke atas dan kedepan** manakala diaphragm **mmendek** (lurus pd ribs 9) → **kaviti toraks mjadi luas = tekanan rendah**
 - Tisu paru-paru mgembang, tekanan udara pada alveolus bkurangan
 - Myebabkan udara dibawa masuk (utk seimbangkan tekanan)
 - Inspiration: proses aktif = mlibatkan pgecutan otot, guna tenaga
 - Mgambil masa 2 saat

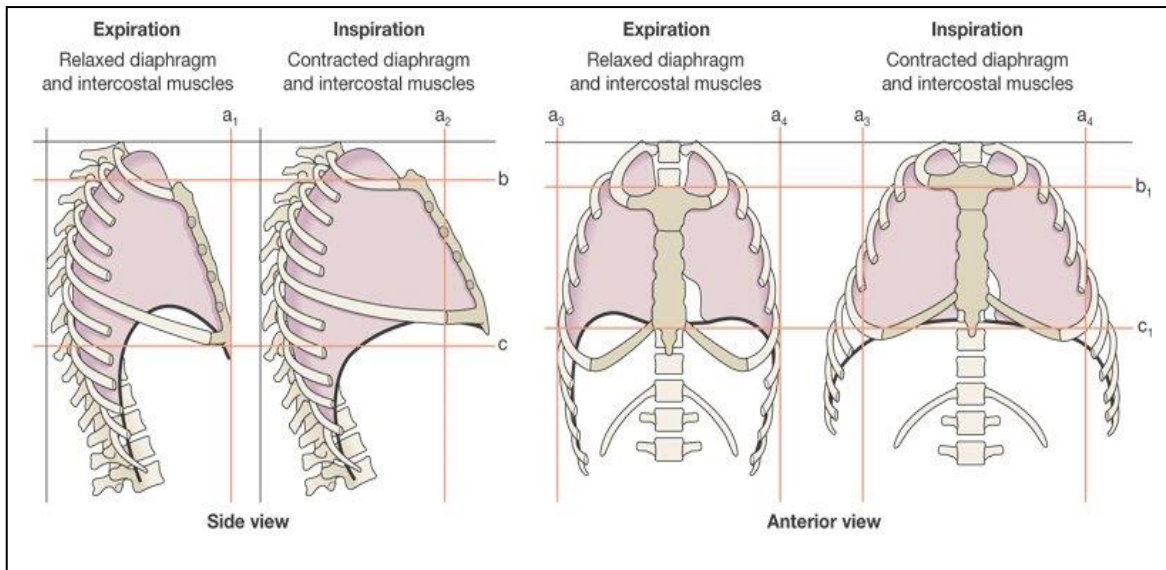


b) EXPIRATION

- Secara serentak, otot external intercostals dan diaphragm **megecut** myebabkan tulang rusuk bgerak **ke bawah dan ke belakang** manakala diaphragm **mbentuk kubah** (mlengkung pd ribs 8) → **kaviti toraks mjadi sempit = tekanan tinggi**
- Tisu paru-paru mgecut (dgn surfactant, mhalang alveolus collapse), tekanan udara pada alveolus mningkat
- Myebabkan udara dibawa keluar (utk seimbangkan tekanan), tetapi tidak semua udara keluar tdpt cecair serosa (pleural fluid) utk mhalang complete collapse
- expiration: proses pasif = mlibatkan pgenduran otot, tidak guna tenaga
- Mgambil masa 3 saat

c) PAUSE: rehat sebelum proses ventilasi berikutnya

- Kadar ventilasi berbeza antara satu sama lain
 - Elasticity: keupayaan paru-paru kembali kpd saiz asal, hilang kekenyalan mybbkan proses ventilasi mjadi sukar,
 - Compliance: keupayaan utk mgembangkan alveolus, bantuan surfactant,
 - Sekatan salur pernafasan (airway resistance): bronchoconstriction: more respiratory effort : contoh asthma
- Penyakit: pneumothorax: collapse lungs, smoking leads to lekatan carbon pd tisu paru-paru (mganggu elasticity)

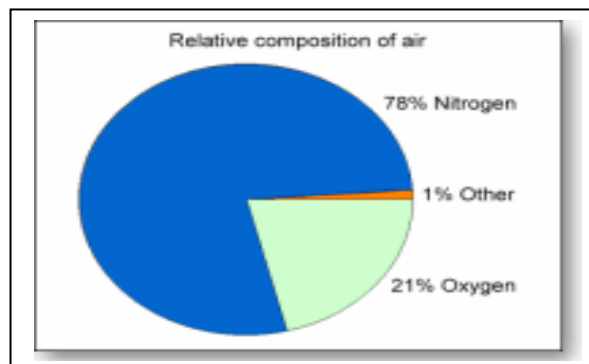


2. Fisiologi Respirasi Eksternal (Figure 10.24 A)

- Proses pertukaran gas antara alveolus dengan alveolar capillaries (konsep resapan gas): kawasan bkepekatan (tekanan) tinggi ke kawasan bkepekatan (tekanan) rendah
- Darah drp jantung (dr seluruh tubuh) ke paru-paru kaya dgn gas karbon dioksida (CO₂) dan kurang gas oksigen (O₂) : deoxygenated blood (lihat Table 10.2, m/s 250)

$$P_{O_2} = 5.3 \text{ kPa}; P_{CO_2} = 5.8 \text{ kPa}$$

- Manakala, tekanan O₂ di alveolus ($P_{O_2} = 13.3 \text{ kPa}$) → lebih tinggi berbanding dgn alveolar capillaries dan tekanan CO₂ di alveolus ($P_{CO_2} = 5.3 \text{ kPa}$) → lebih rendah berbanding dgn alveolar capillaries
- Oleh itu, blaku pertukaran gas antara 2 bhgn sehingga seimbang: (O₂ dr alveolus ke kapilari; CO₂ dr kapilari ke alveolus)
- Kwsn utk respirasi eksternal = tennis court (byk alveolus)



3. Fisiologi Respirasi Internal (Figure 10.24 B)

- Proses pertukaran gas antara blood capillaries dgn sel badan (konsep resapan gas): kawasan bkepekatan (tekanan) tinggi ke kawasan bkepekatan (tekanan) rendah → blaku antara membrane sel kapilari darah dgn membrane sel
- Darah drp jantung ke seluruh bhgn tubuh kaya dgn gas oksigen (O_2) dan kurang gas karbon dioksida (CO_2) : oxygenated blood (lihat Table 10.2, m/s 250)

$$P O_2 = 13.3 \text{ kPa}; P CO_2 = 5.3 \text{ kPa}$$

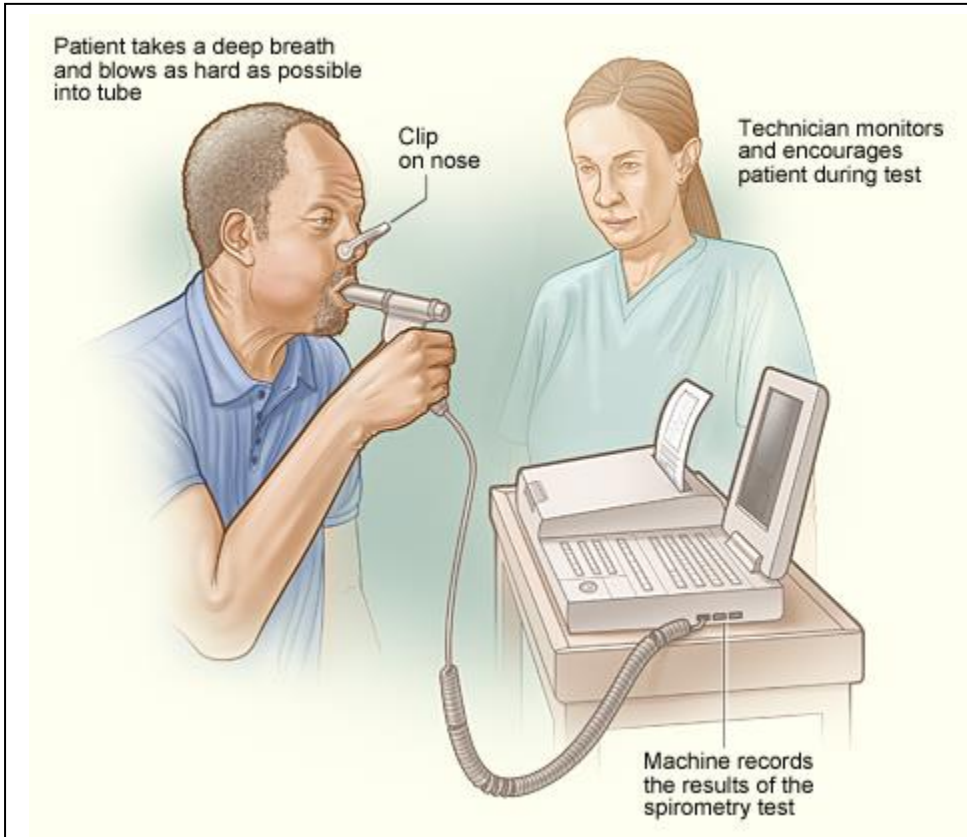
- Manakala, tekanan O_2 di sel ($P O_2 = 5.3 \text{ kPa}$) → lebih rendah berbanding dgn blood capillaries dan tekanan CO_2 di sel ($P CO_2 = 5.8 \text{ kPa}$) → lebih tinggi (kesan aktiviti phasilan tenaga ATP, respirasi sel) berbanding dgn blood capillaries
- Oleh itu, blaku pertukaran gas antara 2 bhgn sehingga seimbang (O_2 dr kapilari ke sel; CO_2 dr sel ke kapilari)

4. Pengangkutan Gas Melalui Darah

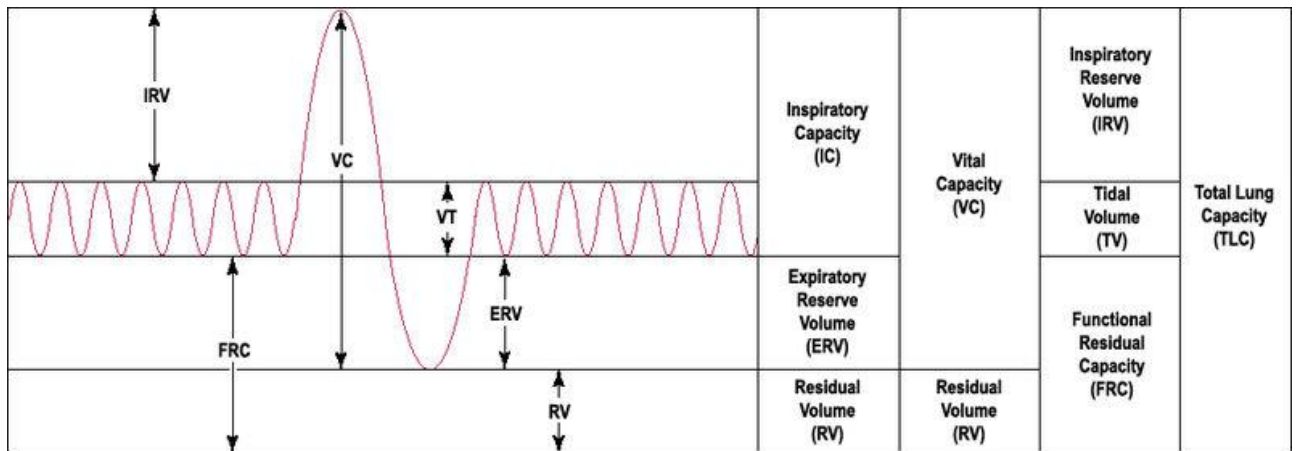
- Gas oksigen (O_2) dan gas karbon dioksida (CO_2) diangkut melalui darah
- Gas oksigen (O_2): drp alveolus capillaries ke sel
 - 98.5% mgunakan hemoglobin (sel darah merah) mbentuk oxyhemoglobin
 - 1.5% larut dlm plasma
- Gas karbon dioksida (CO_2): bhn buangan (drpd sel ke alveolus capillaries/ organ pkumuhan)
 - 70% Mbentuk ion bicarbonate (HCO_3^-) yg larut dlm plasma → dikumuhkan bsama urin
 - 23% mgunakan hemoglobin (sel darah merah) mbentuk carbaminohemoglobin
 - 7% larut dlm plasma

D. ISIPADU DAN KAPASITI PARU-PARU

- Ukuran dlm ujian fungsi paru-paru (lung function tests): utk mgenalpasti masalah paru-paru (mgunakan spirometer): sumbatan / halangan sms pernafasan
- **Isipadu paru-paru**
 - **Tidal volume (TV)** – udara yg bgerak masuk dan keluar drpd paru2 dlm setiap kitaran pernafasan normal (± 500 ml)
 - **Inspiratory reserve volume (IRV)** – jumlah tambahan udara yg boleh disedut sms proses tarikan nafas (inspiration) maksimum (mlebihi TV: 2100–3200 ml)
 - **Expiratory reserve volume (ERV)** – jumlah tambahan udara yg boleh dihembus sms proses hembusan nafas (expiration) maksimum (mlebihi TV: 1000-1200 ml)
 - **Residual volume (RV)** – udara yg tertinggal dlm paru-paru slps hembusan nafas secara maksimum (1200 ml)
- Kapasiti paru-paru
 - **Inspiratory capacity (IC)** – jumlah udara yg boleh disedut dgn upaya yg maksimum (TV + IRV)
 - **Functional residual capacity (FRC)** – jumlah udara yg tertinggal did lm paru-paru slps tidal expiration (utk mmastikan alveolus tidak collapse) = (RV + ERV)
 - **Vital capacity (VC)** – jumlah maksimum udara yg boleh masuk dan keluar dari paru-paru (TV + IRV + ERV)
 - **Total lung capacity (TLC)** – jumlah semua isipadu paru-paru (approximately 6000 ml in males)
- **Alveolar ventilation:** jumlah isipadu udara masuk dan keluar drpd alveolus dlm 1 min ((TV-anatomi dead space) X respiratory rate)
 - Anatomy dead space: kwsn paru-paru yg tiada alveolus (150ml)
 - Respiratory rate: 12-15 breath/min (15)
- **Nonrespiratory Air Movements:** tindakan reflex (coughing, sneezing, crying, laughing, hiccupping, and yawning)



a) Spirometer



b) spirograph

E. PENYAKIT YANG TERLIBAT

- Inflamasi pd URT (Upper respiratory tract)
 - Jangkitan virus, bacteria (jangkitan mlalui droplet) tmasuk rokok → pningkatan phasilan mucus
- Masalah sumbatan salur pnafasan:merokok, jangkitan, kotoran, alahan debu
 - Bronchitis: inflamasi pd bronchus
 - Emphysema: runtuh dinding alveolus
 - Asthma: hypersensitivity, jangkitan dll (salur pnafasan mjadi sempit)
 - Bronchiectasis: sumbatan dgn nanah, mucus dll
- Restrictive lung disorders: kagalan paru-paru mgembang (pneumonia)
- Tuberculosis

