



Hengitys

5.3.2024

Oppimistavoitteet

Tunnistaa hengityselimistön keskeiset anatomiset rakenteet

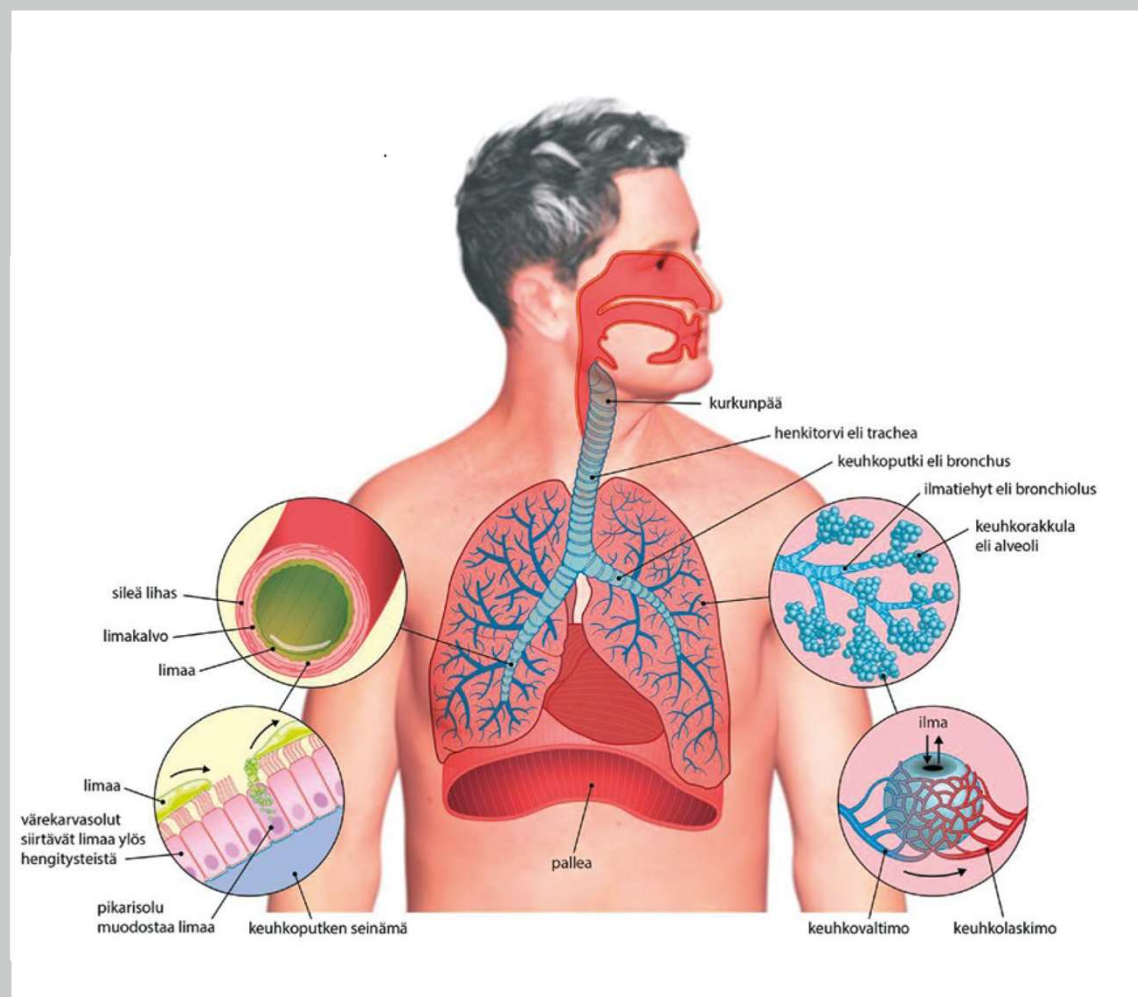
Ymmärtää kaasujenvaihdon fysiologiset periaatteet keuhkorakkuatasolla

Ymmärtää hengityksensäätelyn periaatteet

Tunnistaa hengityselimistön tutkimisessa käytettävien keskeiset tutkimukset

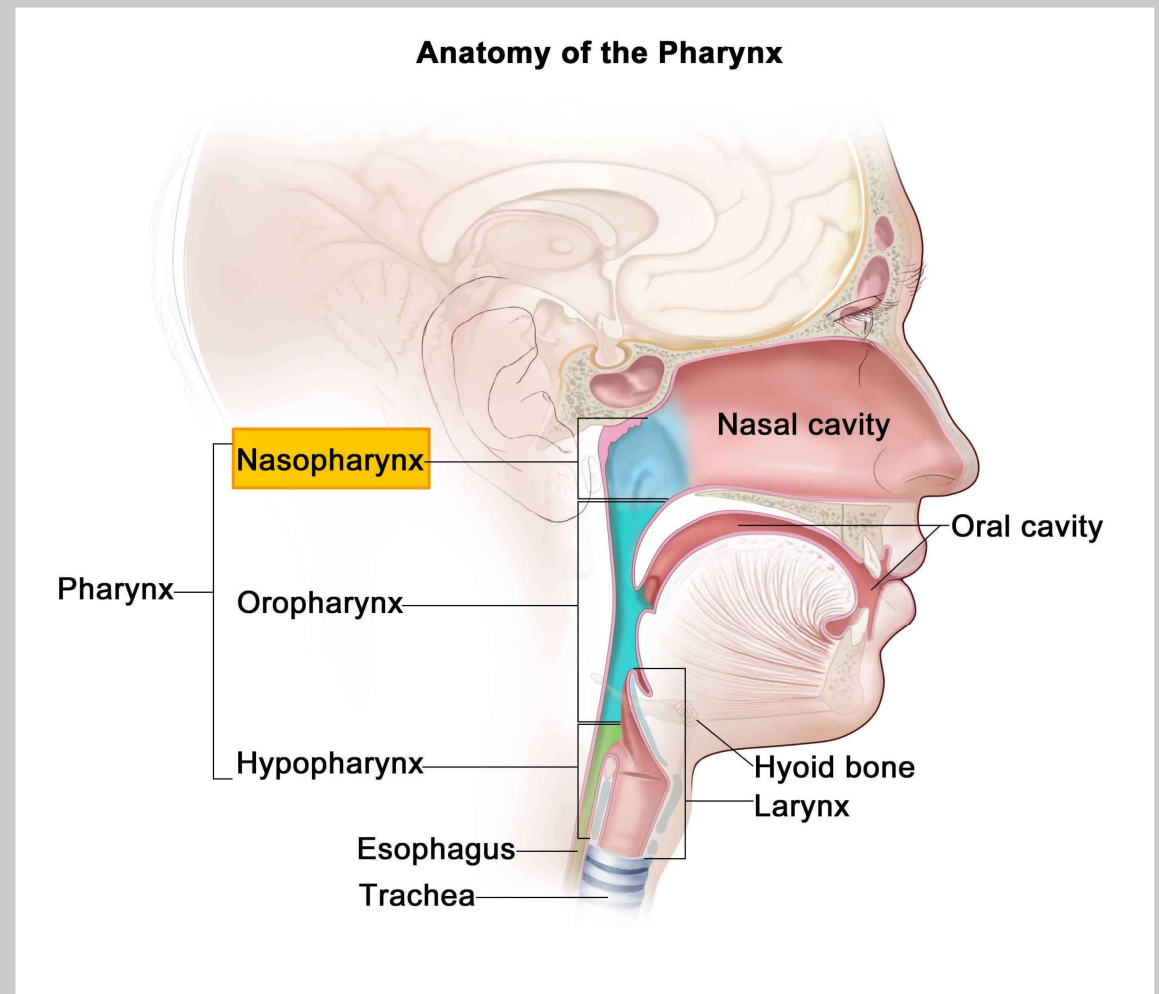
Hengityselimistön rakenne

- Ylähengitystiet: nenäontelo sivuonteloineen ja nielu
- Alahengitystiet: kurkunpää, henkitorvi, keuhkoputket
- Pienimmät keuhkoputket päätyvät keuhkorakkuloihin, jotka muodostavat pääosan keuhkokudoksesta



Nenäontelossa ilma puhdistuu, kostuu ja lämpenee

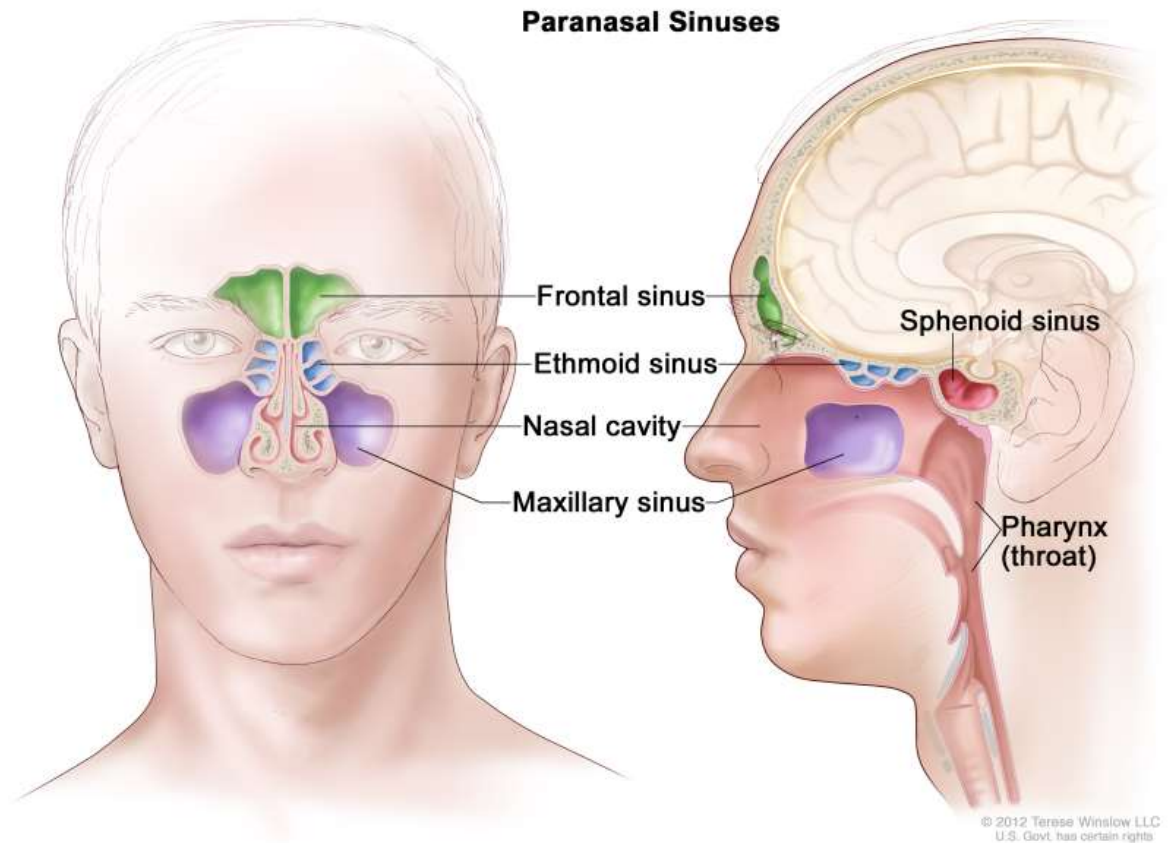
- Värekarvaepiteeli, limakalvo
- Epäpuhtaudet nielun ja ruokatorven kautta mahalaukkuun
- Runsas verisuoniverkosto
- Nenäontelon katossa hajuepiteeli



<https://healthjade.net/nasopharynx/>

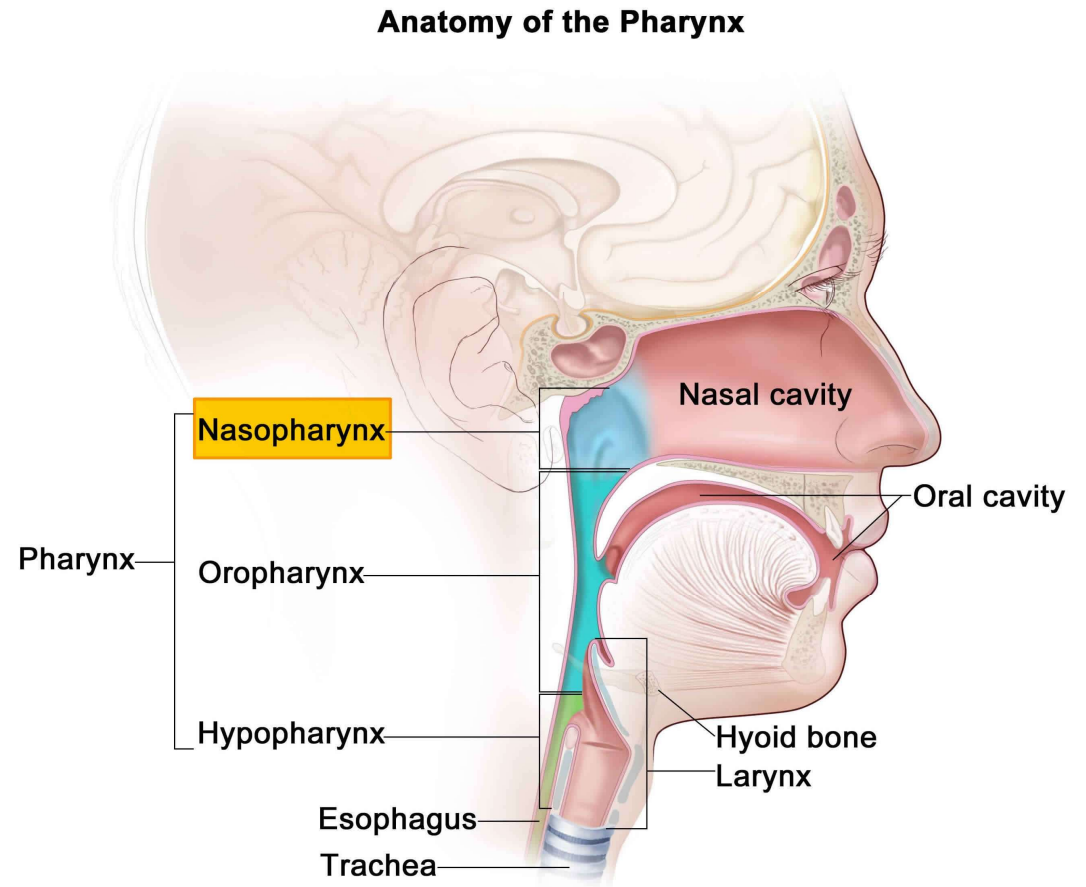
Sivuontelot

- Poski- ja otsaontelot, kitaluun ontelo ja seualokerot
- Lisäävät ilmaa kosteuttavan ja lämmittävän limakalvon pinta-alaa
- Kaikupohja äänenmuodostuksessa
- Kallon painon keventäminen
- Lisää toiminta-alaa hajuepiteelille



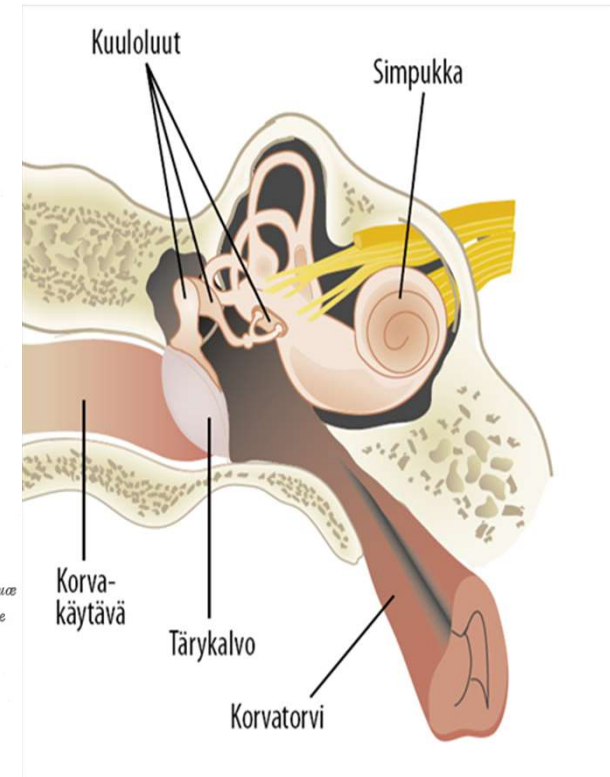
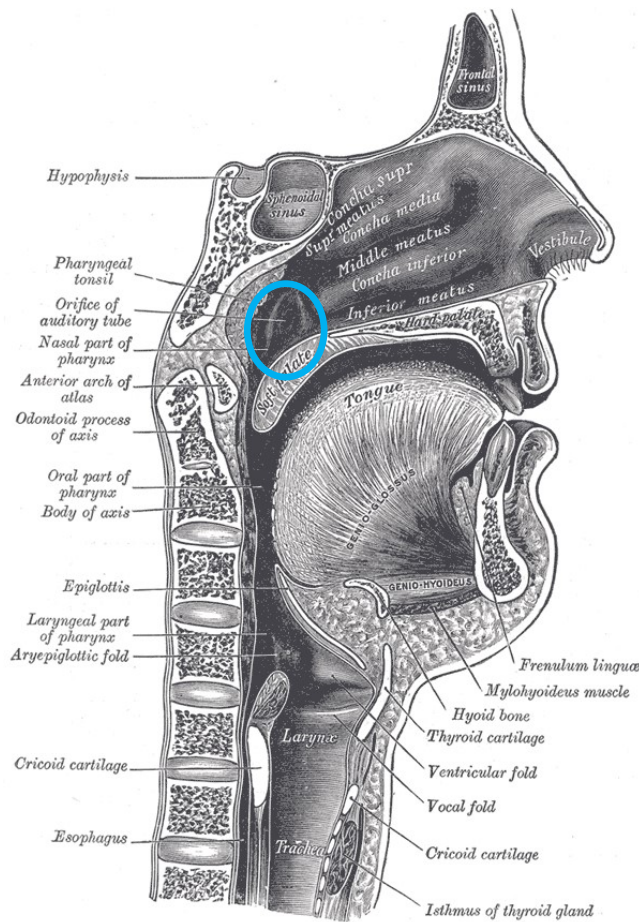
Nielu

- Kuuluu sekä hengitys- että ruuansulatus-elimistöön
- Nenä-, suu- ja alanielu



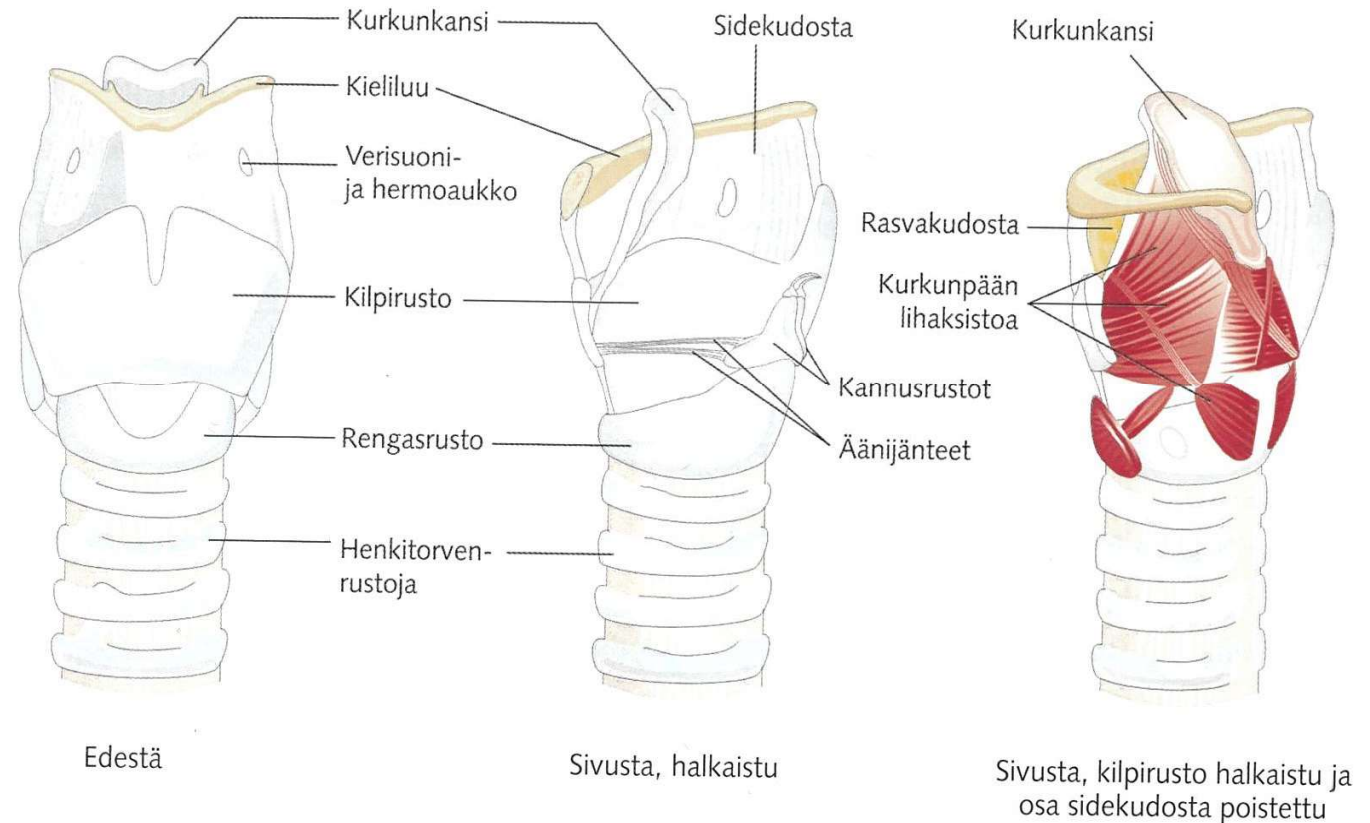
<https://healthjade.net/nasopharynx/>

- Nenänielussa
 - Värekarvaepiteeli
 - Korvatorvet välikorvan ja nielun välisen paineen tasausta varten
- Suu- ja alanielu osallistuvat lähinnä ruansulatuselimistön toimintaan



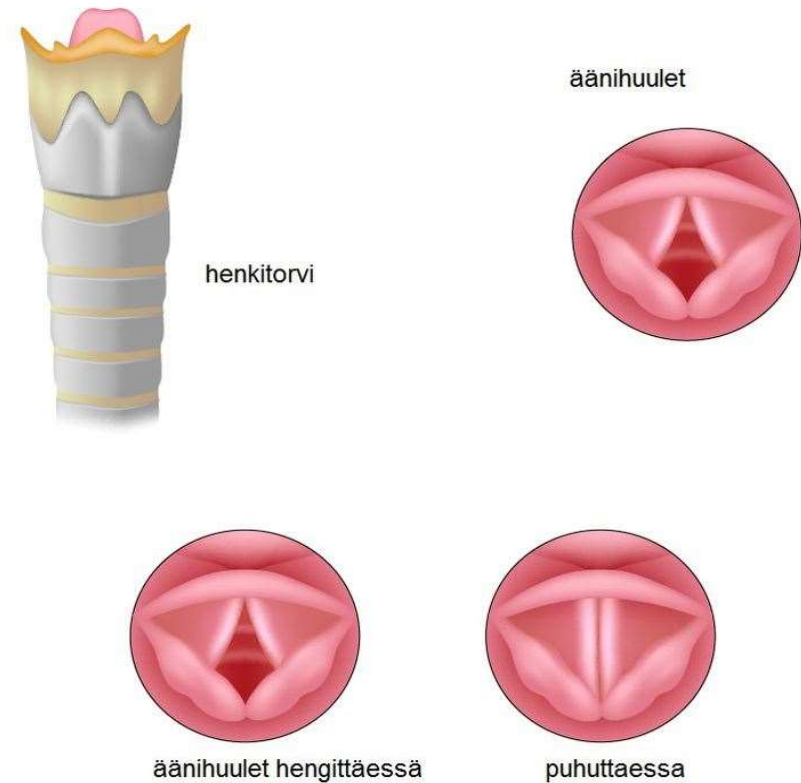
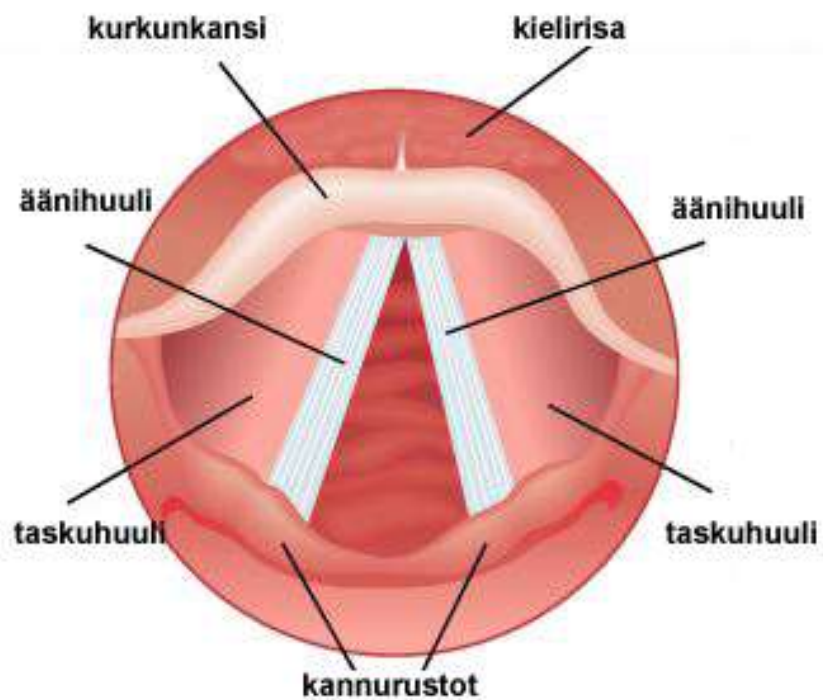
Kurkunpää

- Rustoa, side- ja lihaskudosta
- *Kilpirusto* liittyy sidekalvolla kieliluuhun: heilahtaa nielaistessa
- *Rengasrusto* sijaitsee kilpiruston alapuolella
- Rengasruston takaosan päällä parillinen *kannusrusto*, johon liittyvät äänijänteet



Karhumäki ym. Päästä varpasiin 2017

Äänenmuodostukseen osallistuvat kurkunpää ja ylemmät hengitystiet

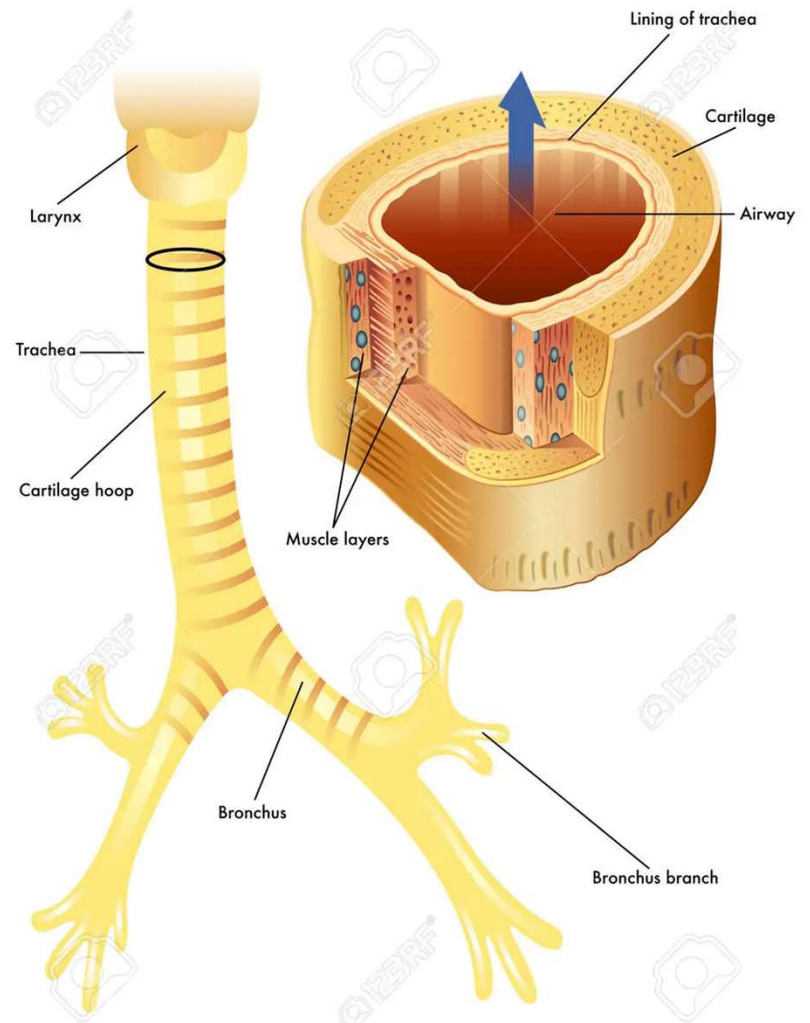




[Normal Voice Function | Sean Parker Institute for the Voice \(cornell.edu\)](http://www.seanparkerinstitute.com)

Henkitorvi

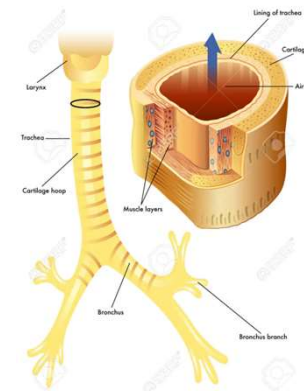
- Joustava 12 cm putki, joka alkaa kurkunpäästä ja haarautuu alaosassaan keuhkoputkiksi
- 15-20 U:n muotoista rustoa etuosan tukena, takaosa sileää lihasta ja sidekudosta
- Värekarvaepiteeliä
- Pysyy jatkuvasti avoimena rakenteensa ansiosta



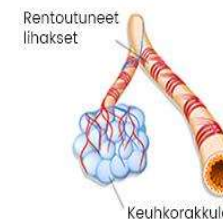
https://www.123rf.com/photo_17438472_anatomy-of-the-trachea.html

Keuhkoputket

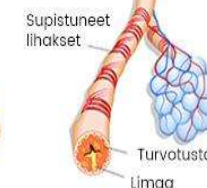
- Pääkeuhkoputket (pääbronkukset) haarautuvat edelleen keuhkoputkiksi (bronkuksiksi)
- Keuhkoputket haarautuvat pienemmiksi ja vähärustoisemmiksi – 1 mm läpimittaisissa *ilmatiehyissä* enää sileää lihaskudosta
- Astmakohtauksessa lihassolut supistuvat



Normaali keuhkoputki



Astmatikon tulehtunut keuhkoputki



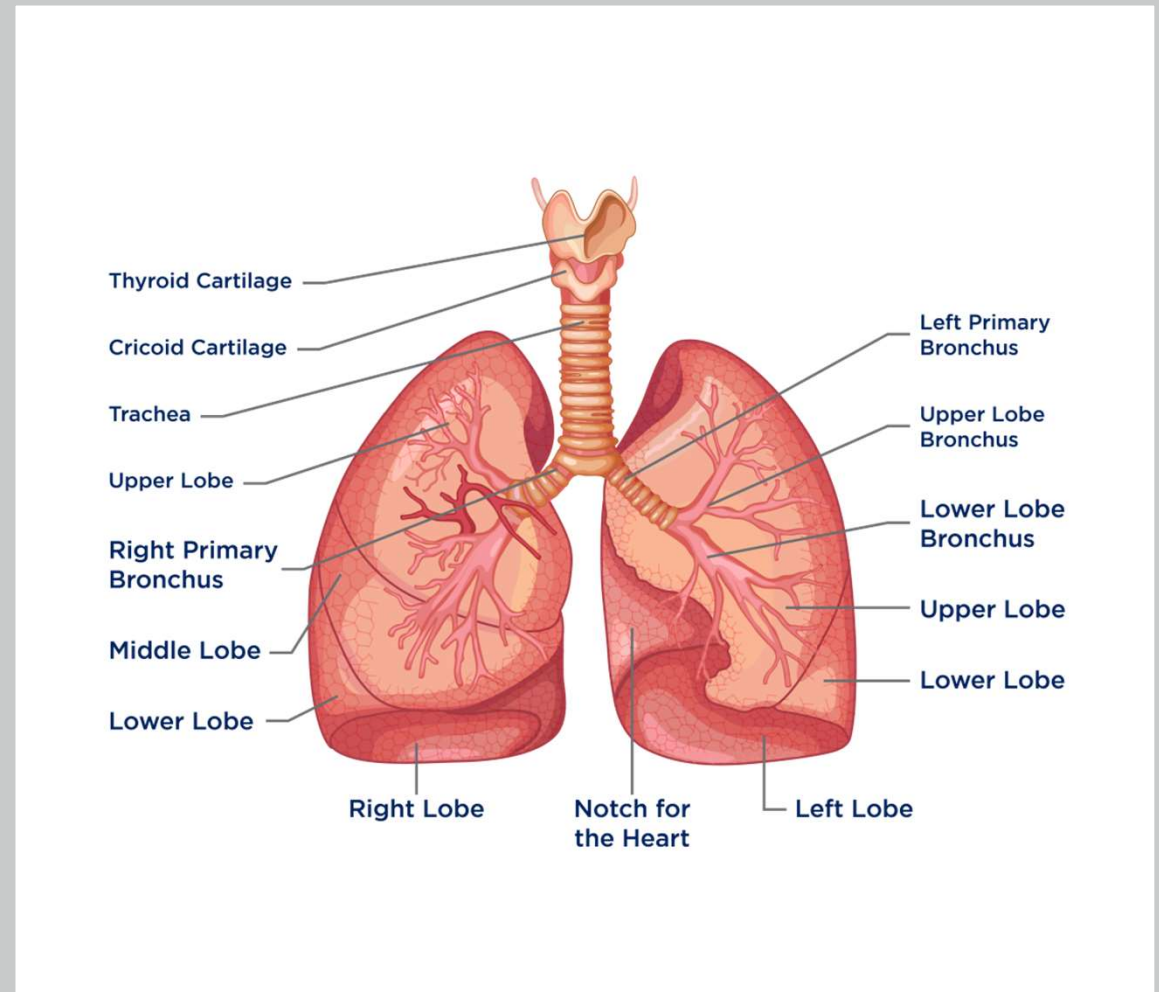
<https://www.euroclinix.net/fi/>

mita-eroa-on-avaavilla-ja-ehkaisevilla-inhalaattoreilla

	Name of branches	Number of tubes in branch
Conducting zone	Trachea	1
	Bronchi	2
		4
	Bronchioles	8
		16
	Terminal bronchioles	32
Respiratory zone	Respiratory bronchioles	6×10^4
		5×10^5
	Alveolar ducts	
	Alveolar sacs	8×10^6

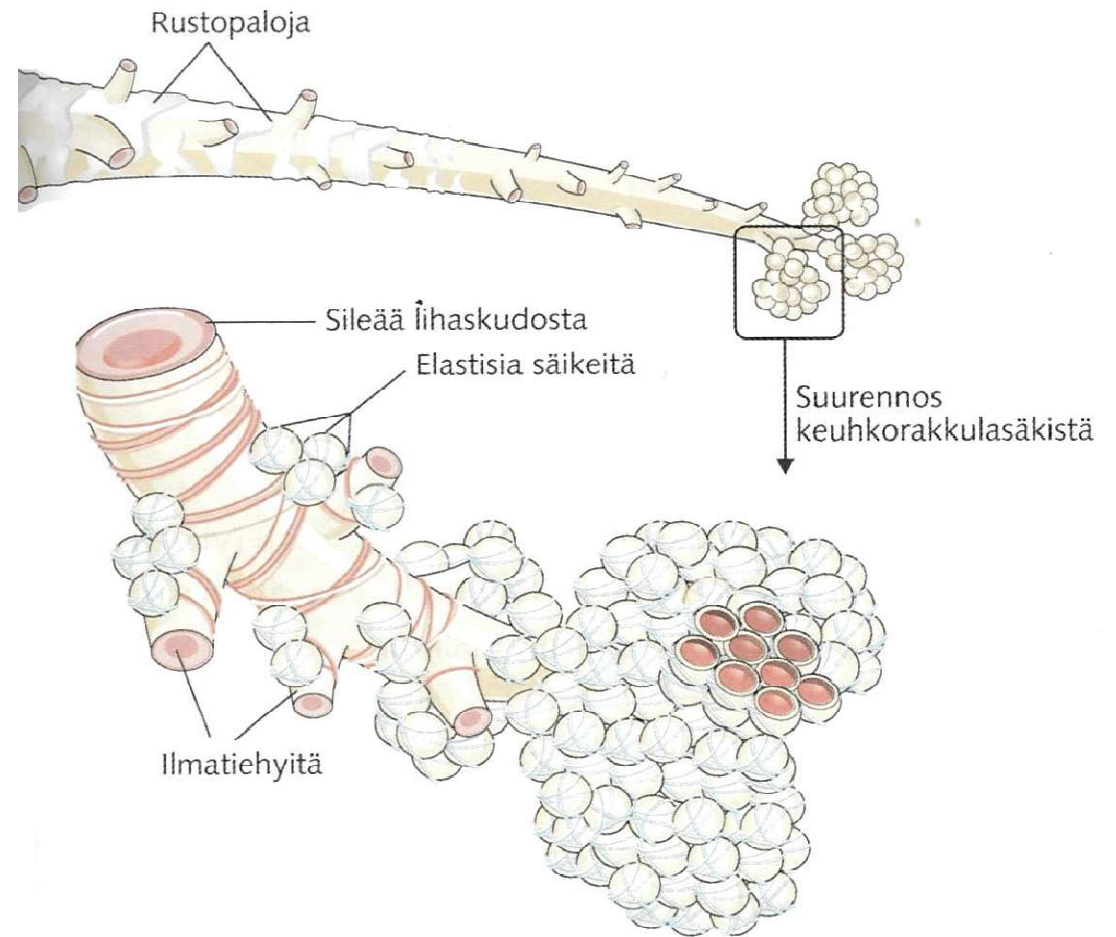
Keuhkot

- Parillinen, rintaontelon sisällä liikkuva elin
- Oikea puoli muodostunut 3 ja vasen 2 lohkoa
- Lohkot jakautuvat edelleen 10 segmenttiin per puoli, joihin jokaiseen menee keuhkoputki
- Keuhkoputki – ilmatiehyt – hengitystiehyt – keuhkorakkulatiehyt – keuhkorakkulasäkki



<https://diagnosis101.welchalln.com/auscultation/educational-topics/anatomy-of-the-heart-and-lungs/>

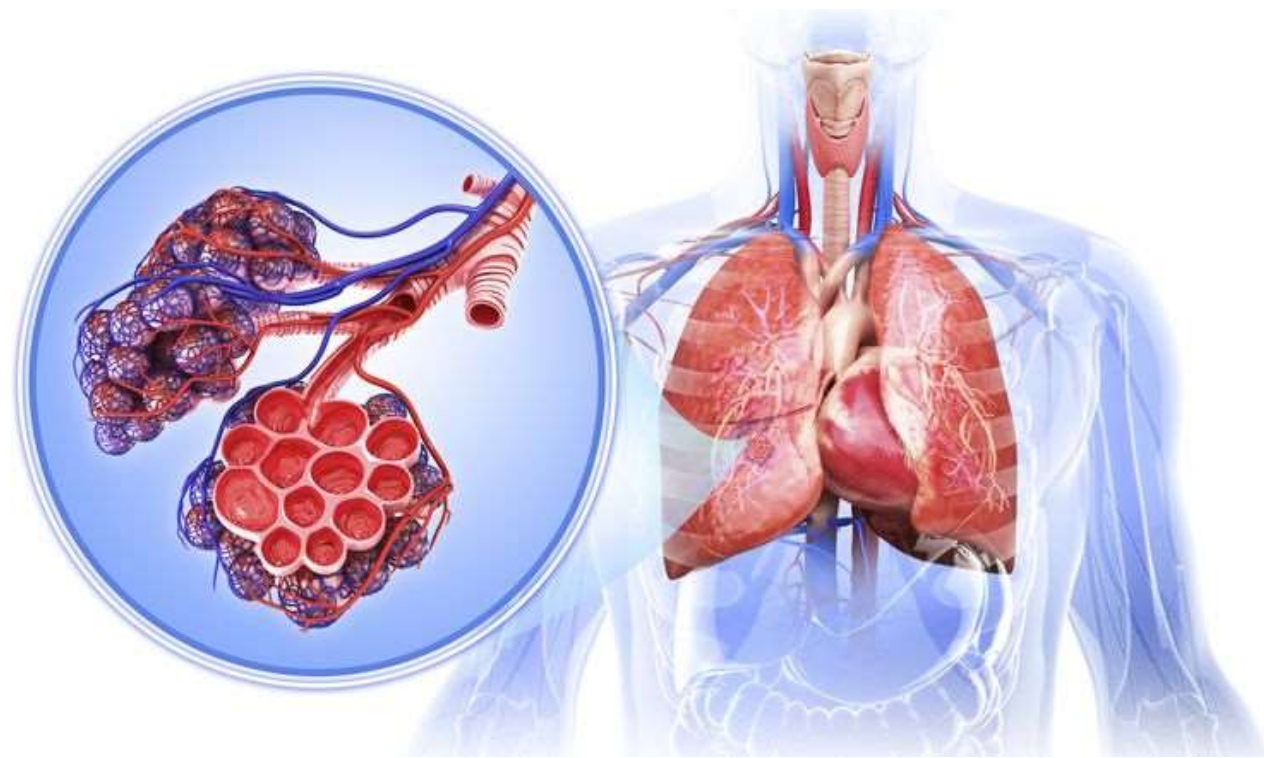
Keuhkokudos
muodostuu
pääosin
keuhkorakkuloista
eli alveoleista



Karhumäki ym. Päästä varpasiin 2017

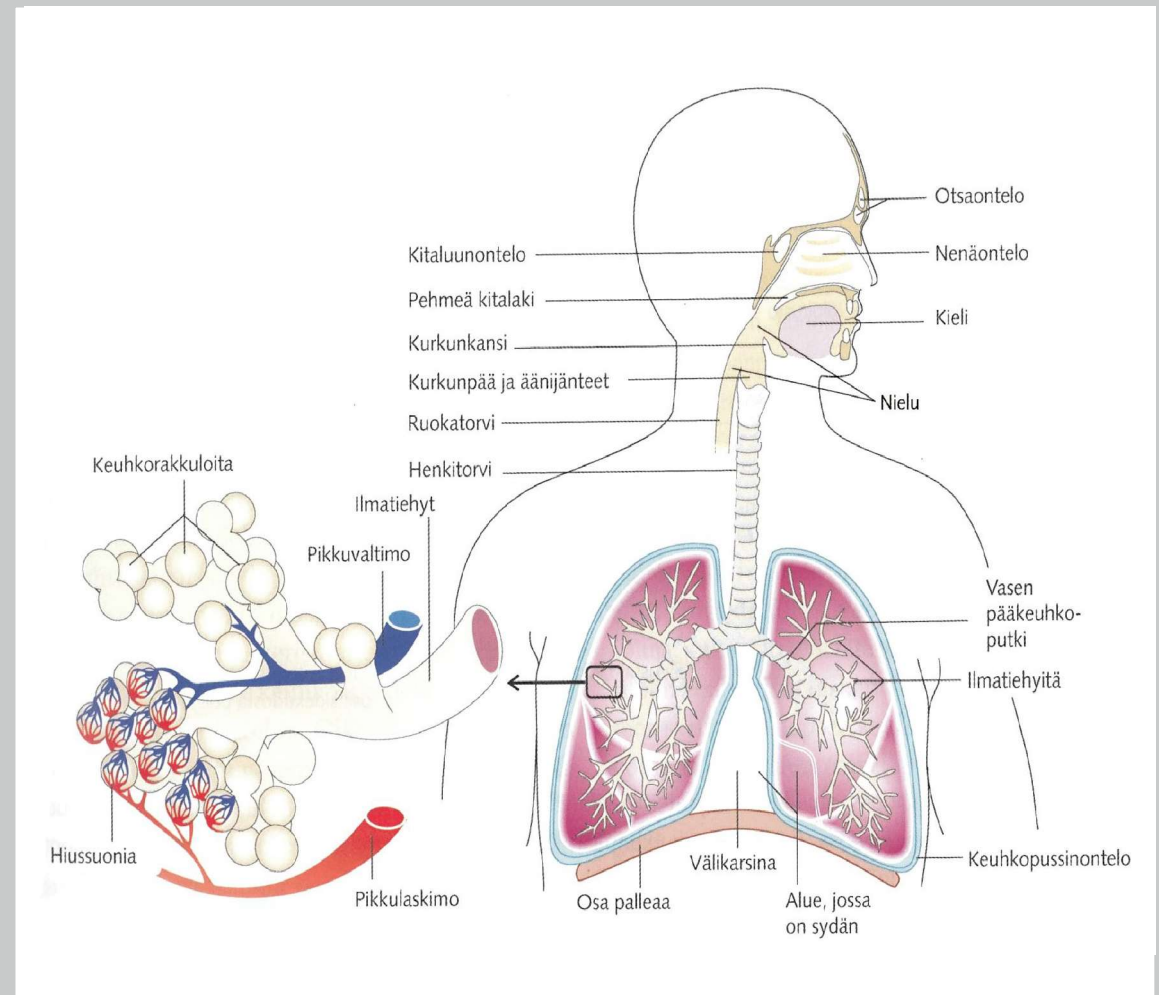
Alveolit

- Lkm satoja miljoonia
- Läpimitta uloshengityksessä 0 mm, sisäänhengityksessä 2 x
- Hyvin verisuonitettuja
- Sisäpinnalla nestekerros
 - taipumus painua kasaan
 - pintajännitystä vähentää surfaktantti

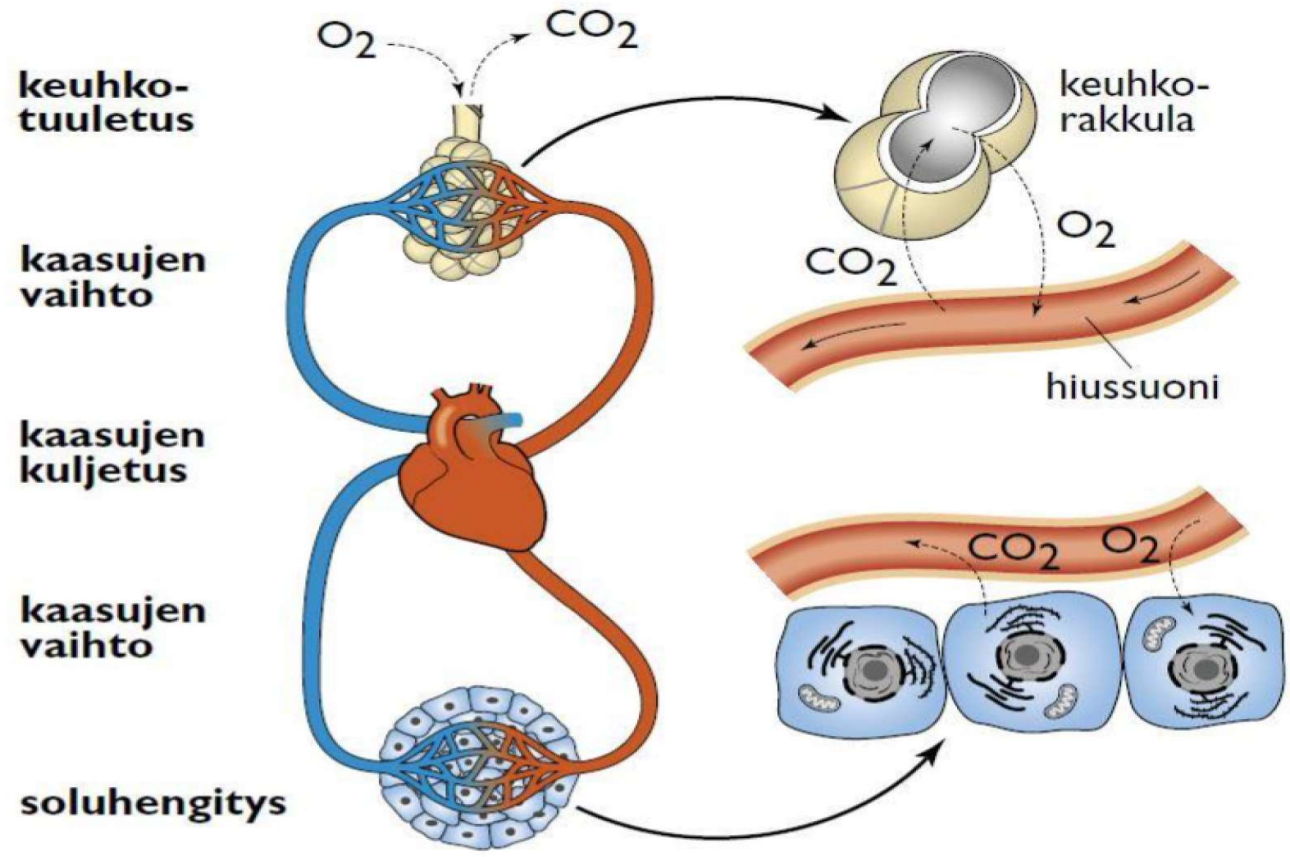


Keuhkopussi

- Ympäröi kumpaakin keuhkoa
- Kaksilehtinen kalvo: sisempi kiinni keuhkojen ulkopinnassa, ulompi verhoaa rintaontelon seinämää ja palleaa
- Lehtien välissä kitkaa vähentävää nestettä lehtien liukuessa toisiaan vasten hengitettäessä

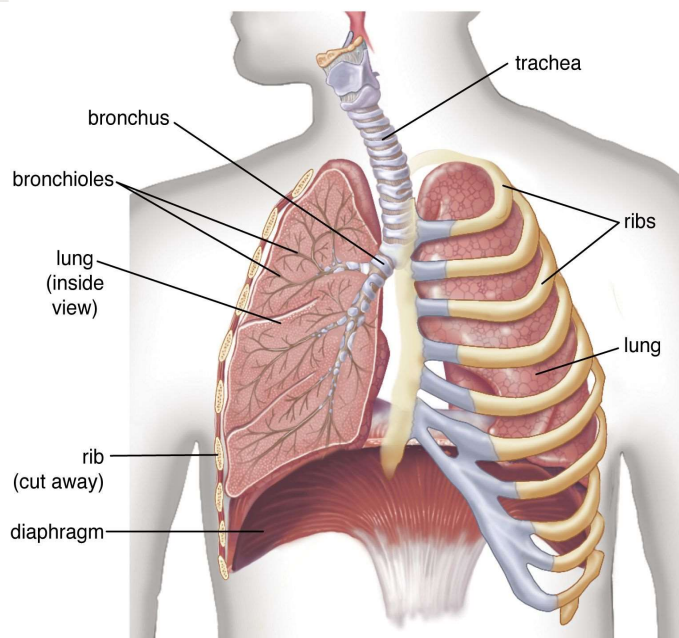


Hengityksen vaiheet



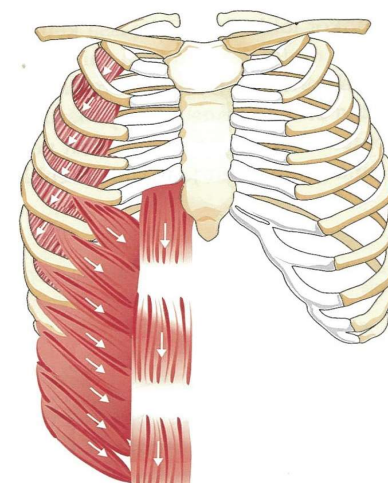
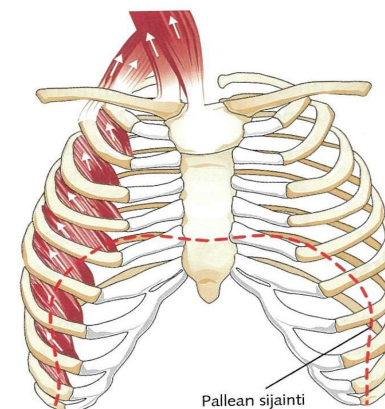
Hengityslihakset

- Rauhallisessa hengityksessä vain sisäänhengitys on aktiivinen
- Tärkeimmät sisäänhengityslihakset pallea ja ulommat kylkivälilihakset
- Apuhengityslihakset kaulalla
- Voimakkaassa uloshengityksessä sisemmät kylkivälilihakset ja vatsalihakset aktiivisia



© Encyclopædia Britannica, Inc.

Sisäänhengitys

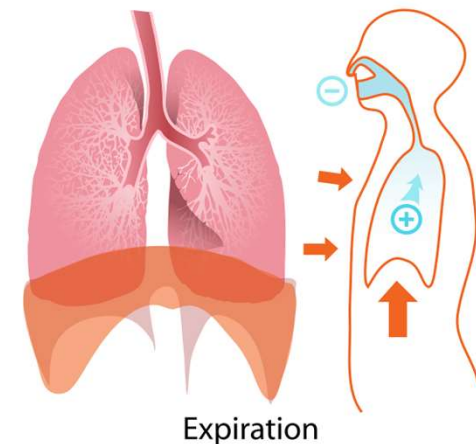
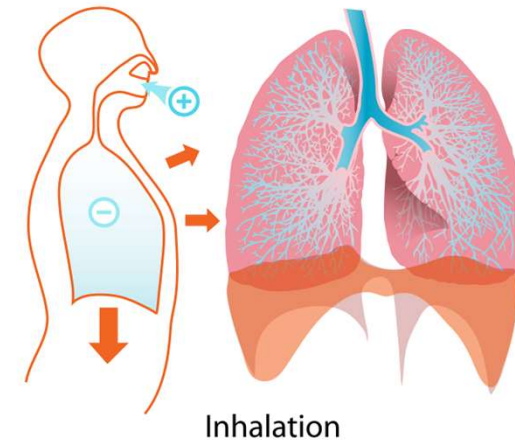


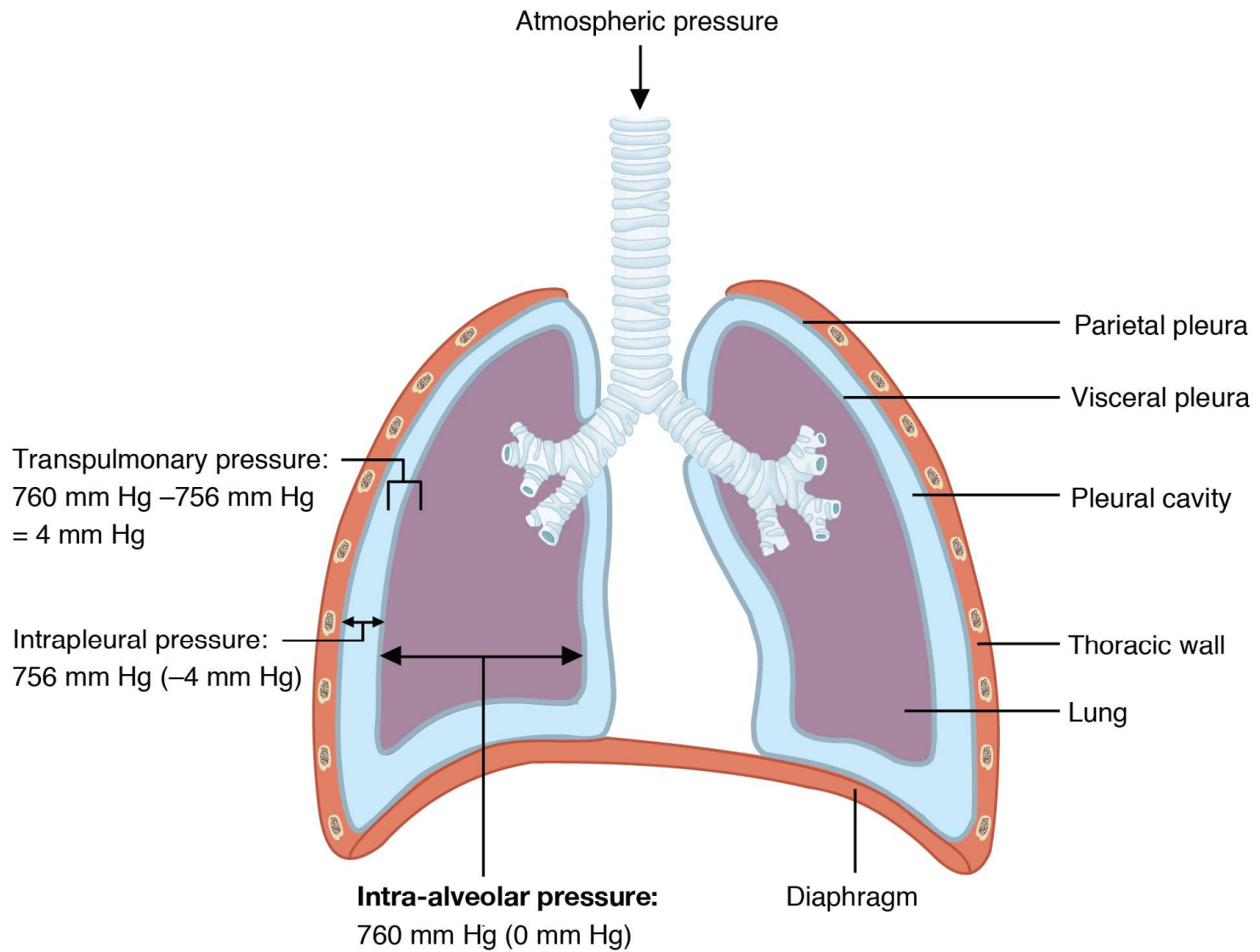
Uloshengitys

Karhumäki ym. Päästä varpaisiin 2017

Hengityselinten paineet

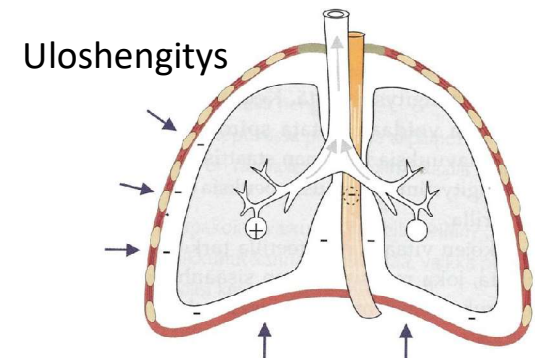
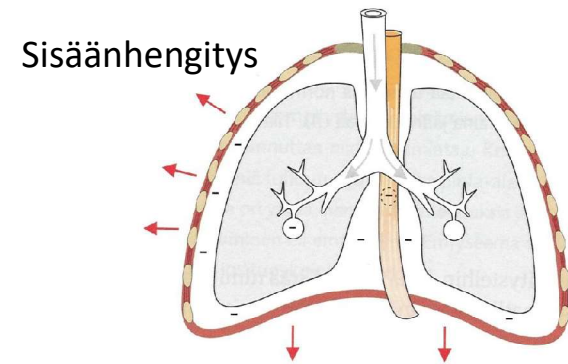
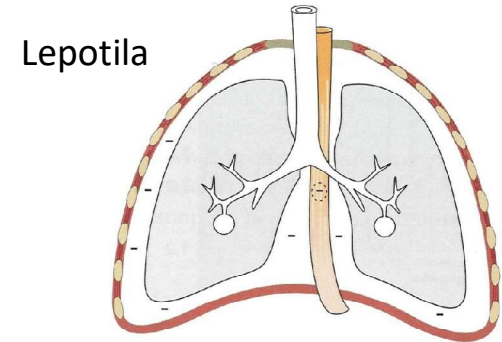
- Keuhkot pyrkivät painumaan kasaan, rintakehän seinämät laajenemaan → keuhkopussinontelossa alipaine
 - Yhteys ulkoilman ja keuhkopussin ontelon välillä → keuhko painuu kasaan = ilmarinta
- Keuhkoputkissa ja keuhkorakkuloissa hengitysvaiheen mukaan vuoroin ali- ja ylipaine





Hengitystilavuudet

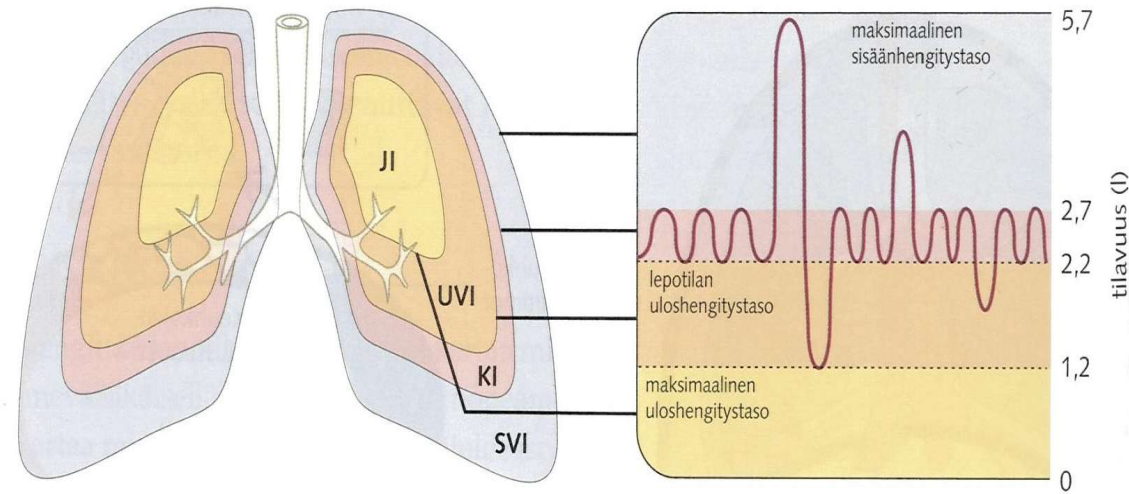
- Aikuinen hengittää lepotilassa n. 12-15/min, lapset tiheämmin
- Jokaisella hengenvedolla n. 0.5 l ilmaa → minuuttitilavuus levossa n. 6-7 l
- Lihastyö suurentaa hengitystiheyttä ja minuuttitilavuutta



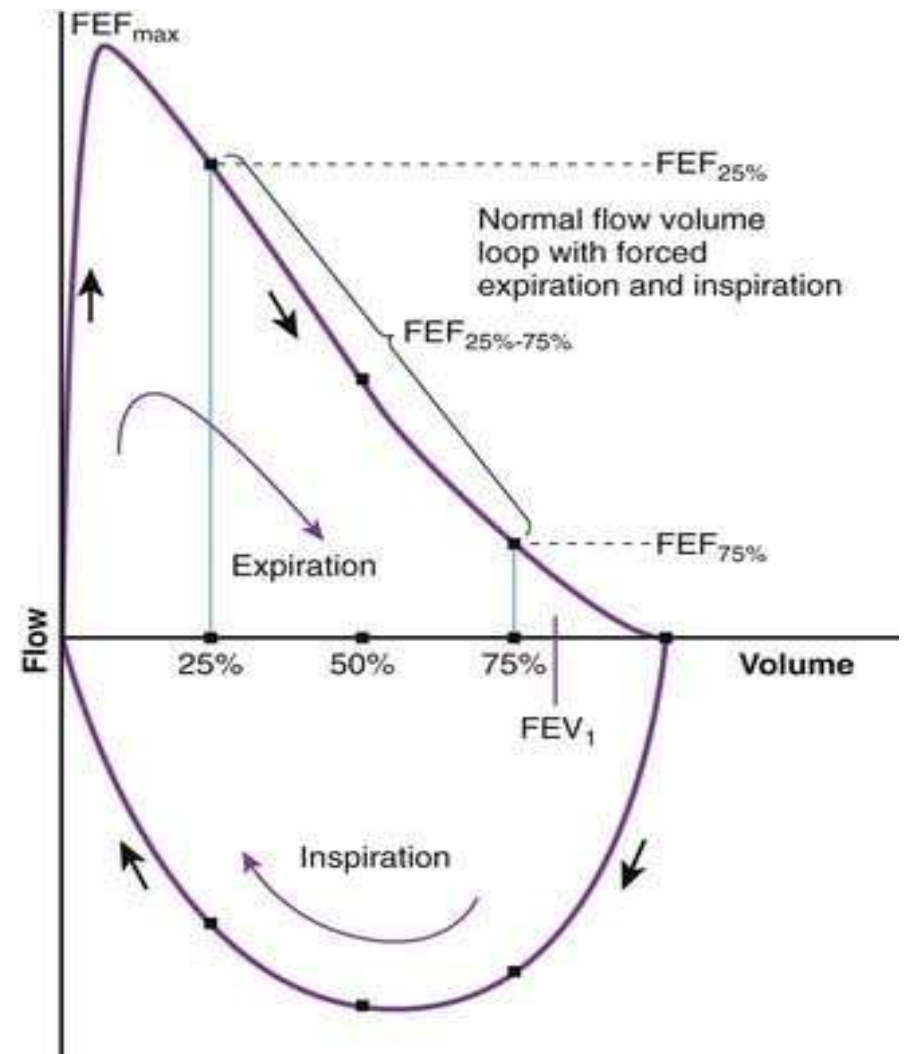
Karhumäki ym. Päästä varpasiin 2017

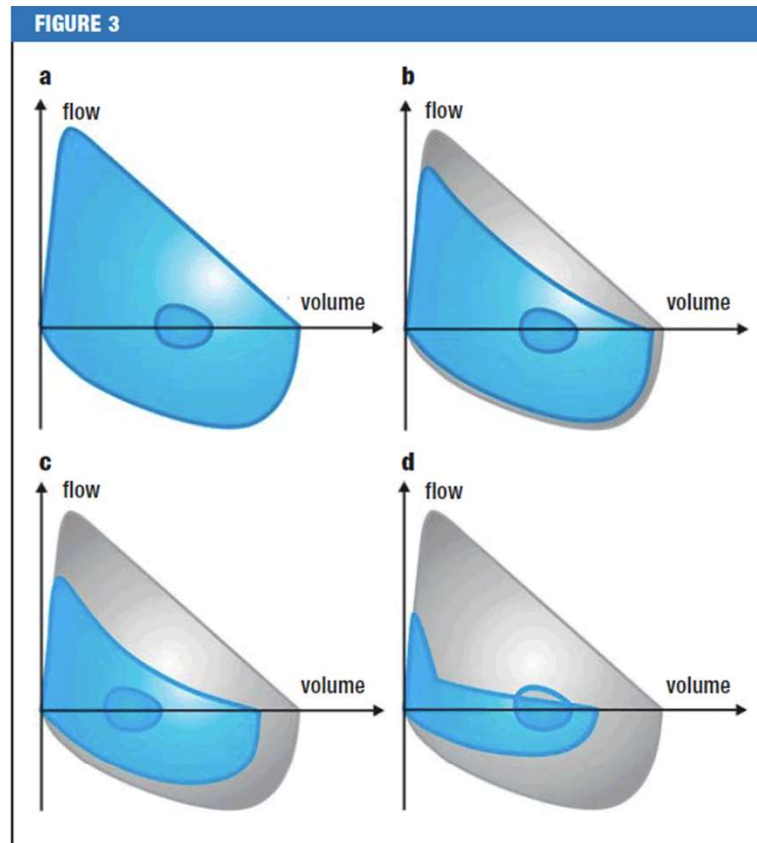
Keuhkotuuletuksen mittaaminen

- Keuhkotuuletusta (ventilaatiota) tutkitaan spirometriassa
- Sisäänhengityksen (kertahengitysilma, KI, n. 0.5 l) jälkeen keuhkoihin voi vielä vetää ilmaa n. 3 l: Sisäänhengityksen varailmatila (SVI)
- Uloshengityksen varailmatila (UVI): normaalin uloshengityksen lisäksi aktiivisesti puhallettavissa ulos (n. 1 l)
- Jäännösilma (JI, n. 1.5 l)



- Vitaalikapasiteetti = ilmamäärä, joka on maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeen puhallettavissa ulos: $0.5 \text{ l} + 3 \text{ l} + 1 \text{ l} = 4.5 \text{ l}$
- Kokonaiskapasiteetti = vitaalikapasiteetti + $Jl = 6 \text{ l}$
- Dynaamisessa spirometriassa tutkitaan virtausnopeuksia:
 - sekuntikapasiteetti (FEV1): ilmamäärä (l), jonka ihminen pystyy puhaltamaan ulos 1 s aikana
 - $FEV\% = FEV1/\text{vitaalikapasiteetti}$
 - PEF = uloshengityksen huippu- virtausnopeus

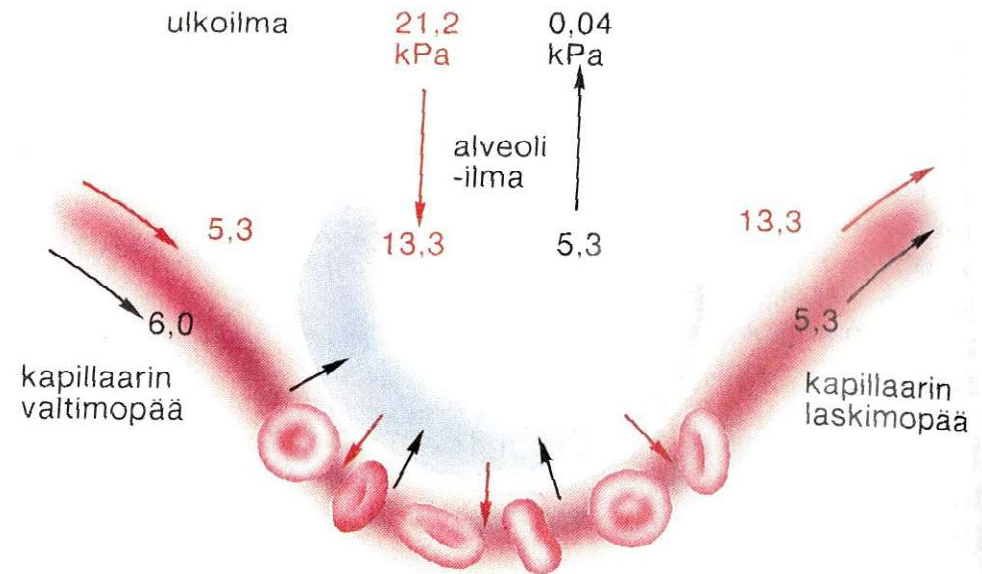




Ideal flow-volume curves for breathing at rest (smaller loop) and a forced maneuver (larger loop), with inspiration below and expiration above, the total lung capacity (TLC) indicated at left, and the residual volume (RV) at right on the volume axis.
 a) Normal; b) mild obstruction; c) moderate obstruction with reduced FVC (forced vital capacity) and shift of respiration at rest toward inspiration; d) severe obstruction with limitation of expiratory flow at rest. In b)–d), the normal curve is shown in gray in the background. The expiratory portion of the curve becomes more concave with increasing obstruction.
 Diagram: H.-J. Smith

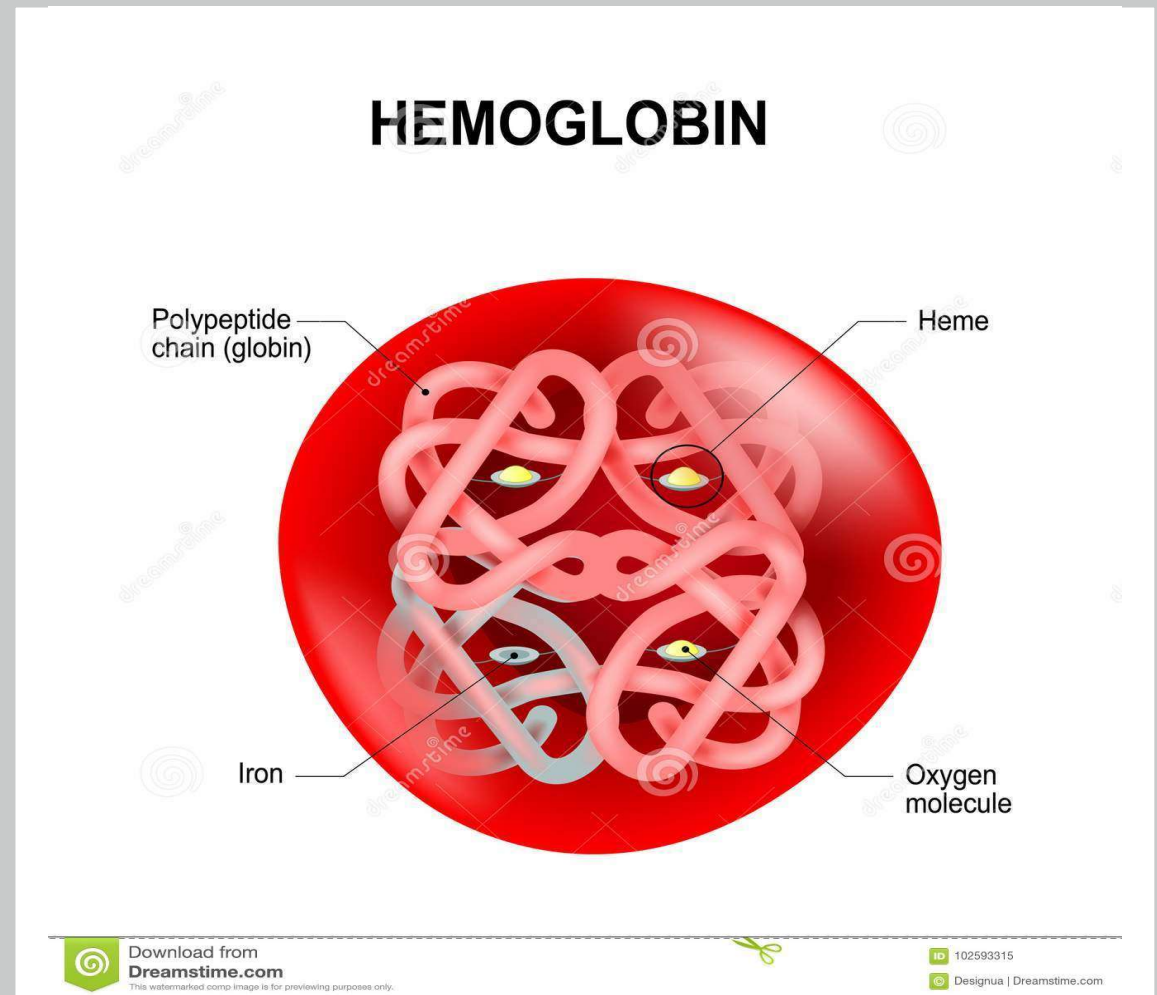
Keuhkorakkuloiden tuuletus

- n. 150 ml hengitysilma ei mene keuhkorakkuloihin saakka: ns. kuollut tila
- Keuhkorakkuloiden tuuletus = alveoleihin pääsevä ilmamäärä/min (n. 15 x 350 ml)
- Kaasut pyrkivät siirtymään kohti pienempää osapainetta
- 1/7 alveoli-ilmasta vaihtuu per hengenveto
- Happea imeytyy vereen n. 250 ml/min ja hiilidioksidia siirtyy ulkoilmaan n. 200 ml/min
- Alveoli-ilman ja veren välissä alveolineste-kerros, alveoliepiteeli, hiussuonen endoteeli, mutta matkaa yht. 0.2-1 um ja kaasunvaihto nopeaa



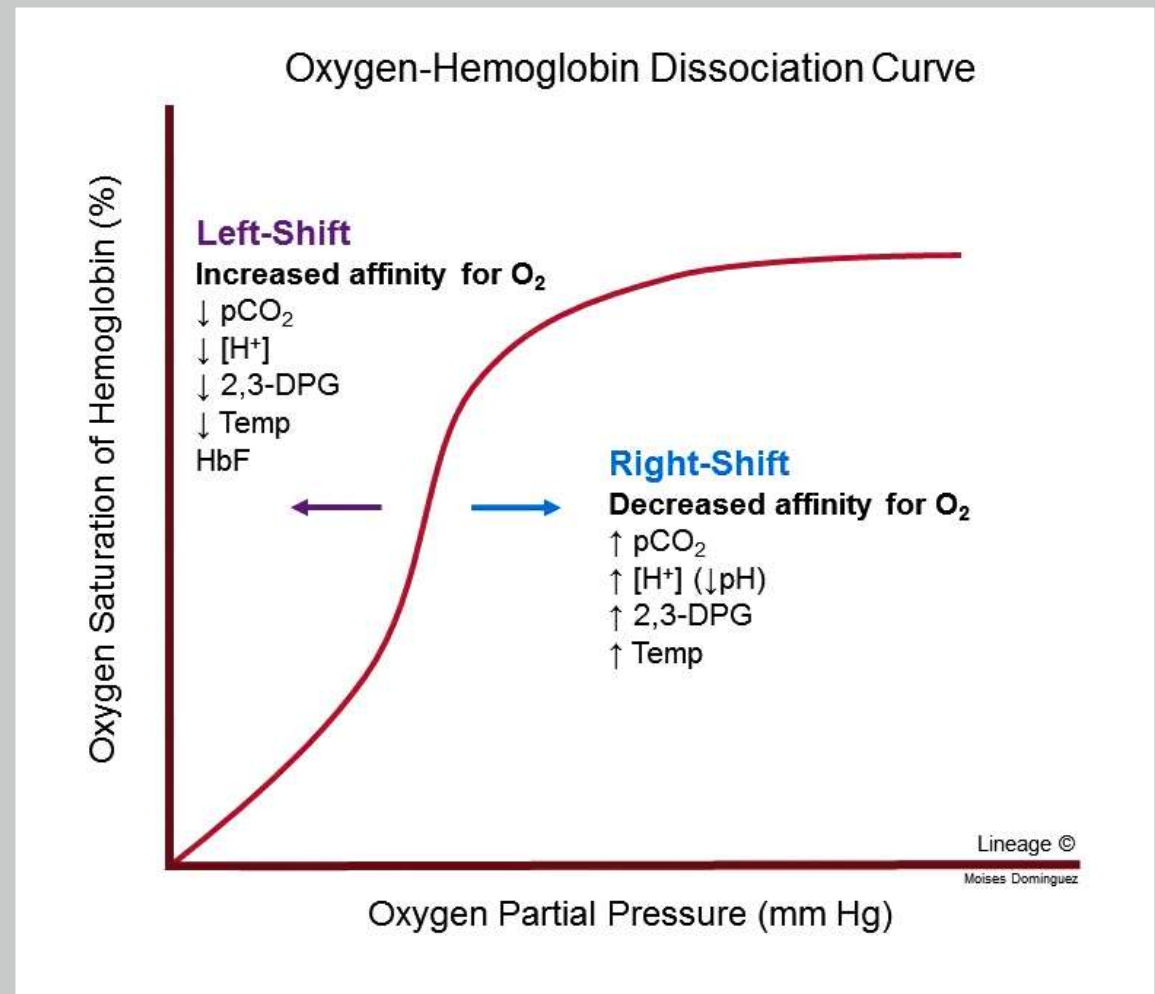
Verenpunan hapenkuljetus

- 99% hapesta sitoutuu hemoglobiiniin
- Hemoglobiinin proteiinosia muodostuu 4 peptidiketjusta, joissa kussakin porfyriiniyhdiste (hemi), jossa rauta-atomi
- Happimolekyylä liittyy rauta-atomiin
- Kapillaareista happi siirtyy matalamman happiosapaineen suuntaan kudokseteeseen ja soluihin



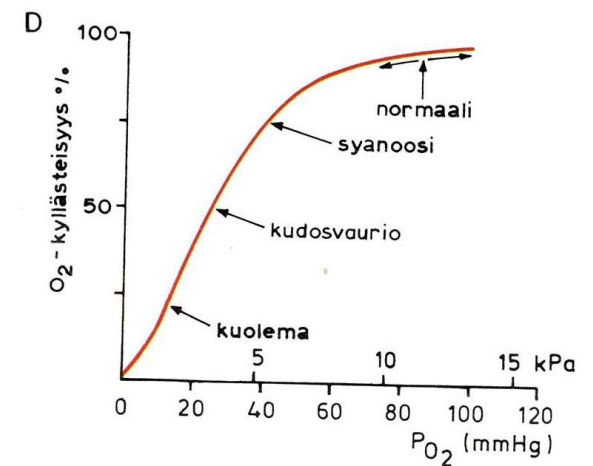
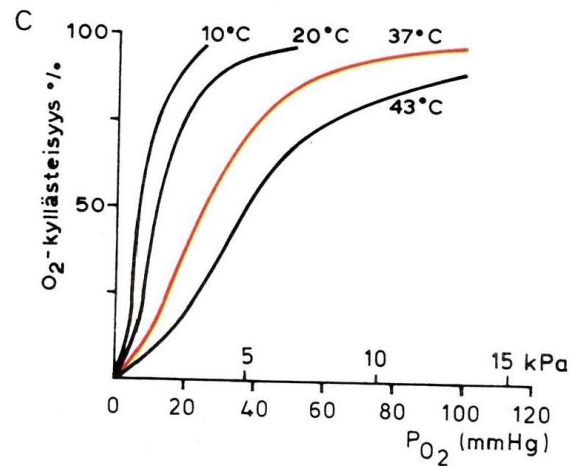
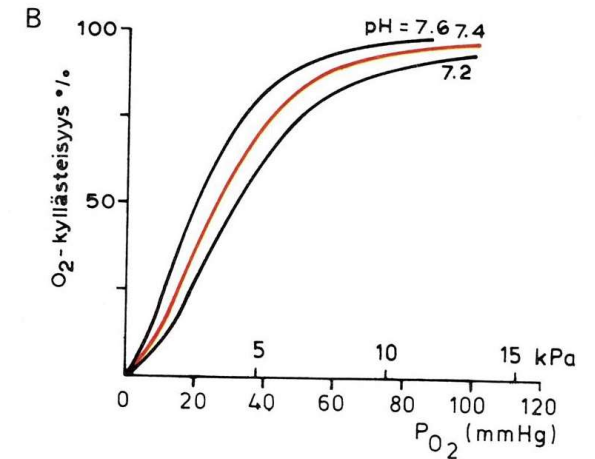
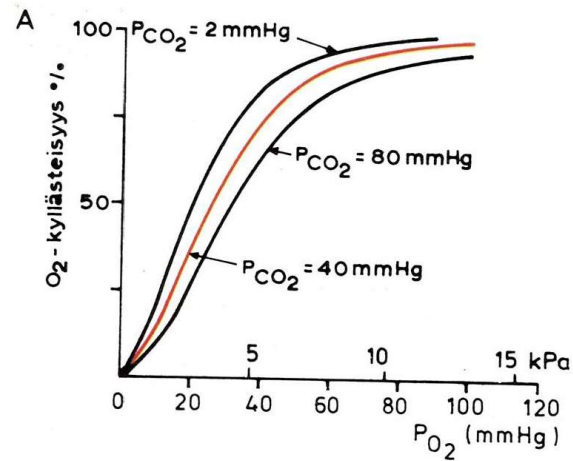
Verenpunan hapenkuljetus

- Isossa verenkierrrossa verenpunan happikyllästeisyys on n. 97%
- Laskimoveressä happikyllästeisyys n. 75%
- Kudosten hapenkulutuksen kasvaessa verenpunan happikyllästeisyys pienenee jyrkästi: Bohr'n efekti



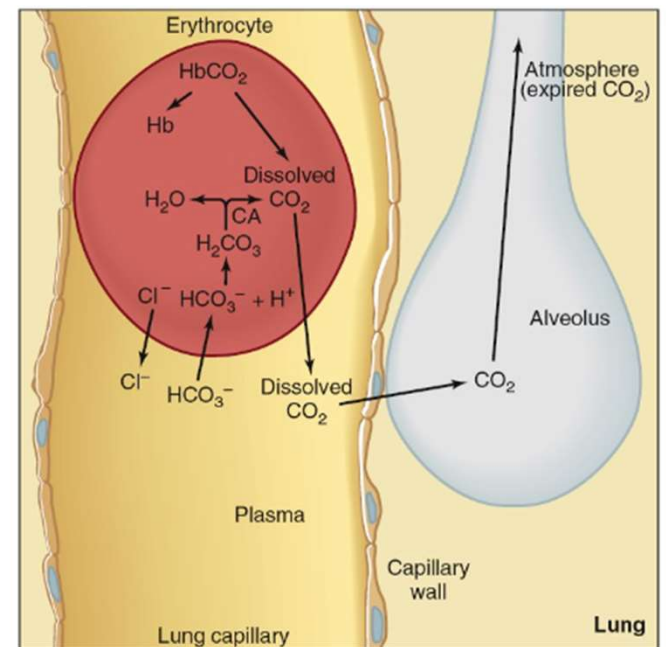
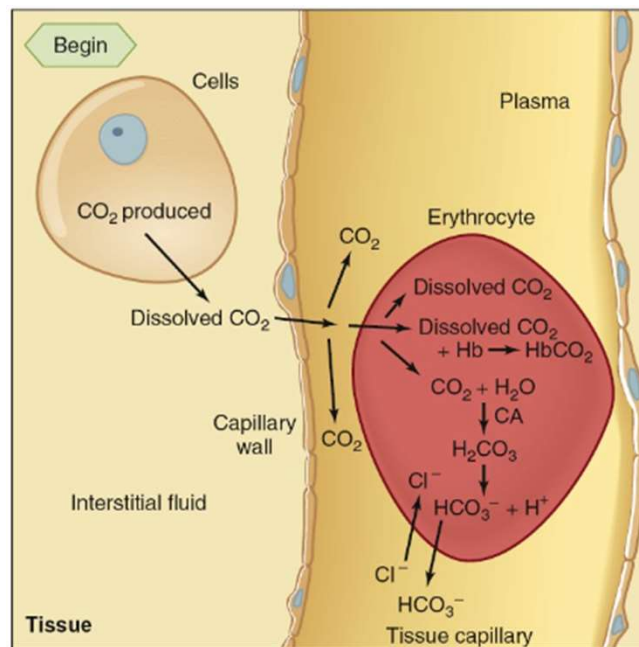
<https://step1.medbullets.com/respiratory/117014/oxygen-hemoglobin-dissociation-curve>

Kudosten hapenkulutuksen kasvaessa esimerkiksi CO₂-osapaineen noustessa, pH:n laskiessa tai lämpötilan noustessa verenpunan happikyllästeisyys pienenee jyrkästi



Hiilidioksidin siirtyminen kudossoluista keuhkorakkuloihin

- CO_2 diffundoituu kudostesteen kautta vereen, jossa se kulkee eri muodoissa keuhkoihin
 - osa liittyy hemoglobiiniin karbaminohemoglobiiniksi (HbCO_2)
 - suurin osa reagoi veden kanssa muodostaen hiilihappoa, joka edelleen dissosioituu vedyksi ja vetykarbonaatiksi HCO_3^-



Hengityksen säätely

- Ydinjatkeen hengityskeskus pyrkii pitämään O_2 ja CO_2 osapaineet vakaina
- Hengitysrytmin säätelyyn osallistuvat keuhkoputkiston reseptorit
- *Humoraalinen säätely*: veren ja kudosten O_2 ja erityisesti CO_2 -pitoisuudet (kemoreseptorit aortan-kaaressa ja ydinjatkeessa)
- *Neuraalinen säätely* yleensä merkittävämpää: lihastyön aikaiset impulssit aivokuorelta, lihaksista, kehon lämpötilasta

