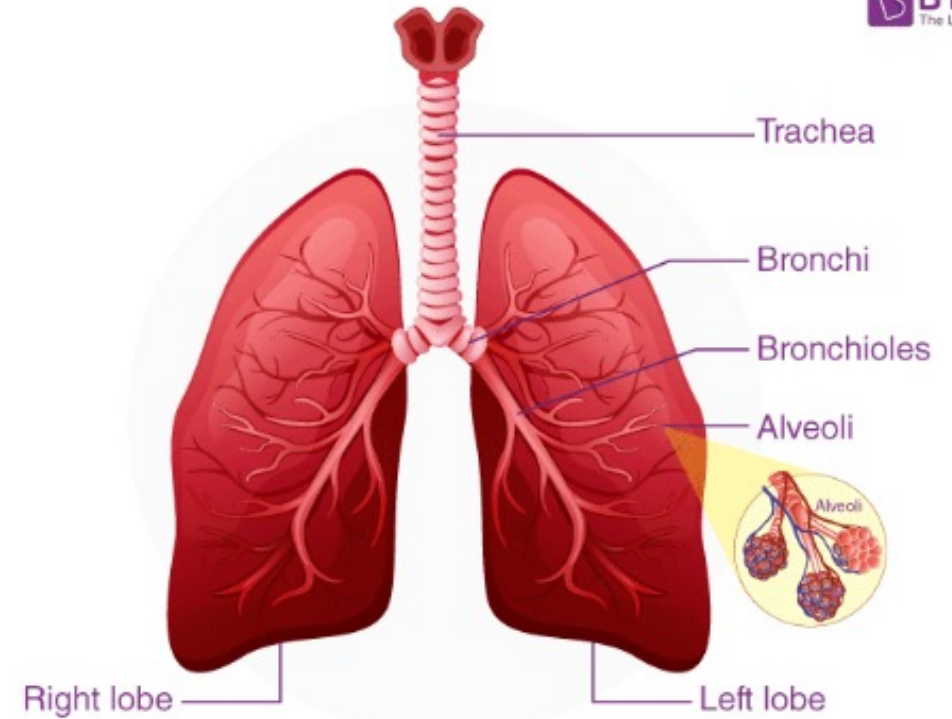


# Mekaaninen ventilaatio

Tomi Ikäläinen, LL, ane evl

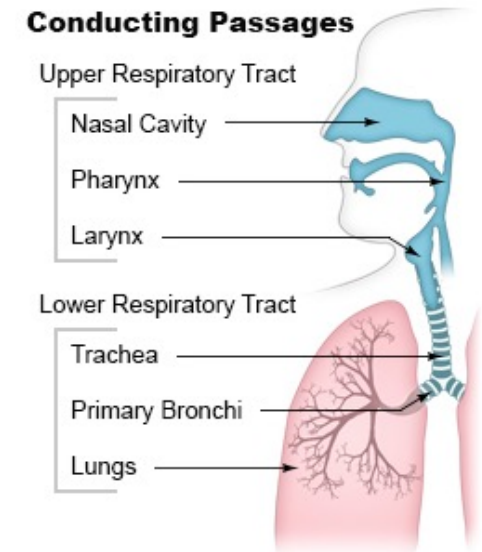
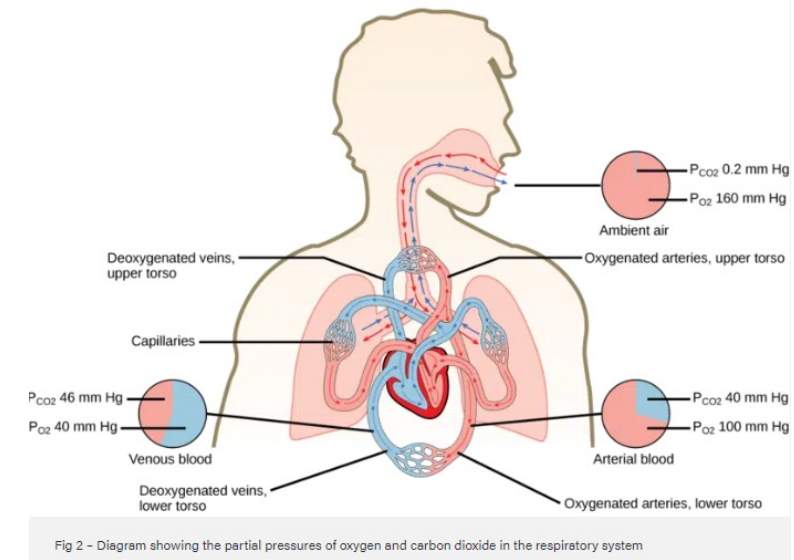
# Sisältö:

- Keuhkojen fysiologiaa
  - Ventilaatioon liittyviä käsitteitä
  - Mekaaninen ventilaatio
  - Erilaiset ventilaatiomoodit
  - Ventilaatioon vaikuttavia sairauksia
  - Erityistilanteita/ongelmia
- 
- Ei sisälly: Non-invasiivinen ventilaatio, erilaiset ventilaattorit



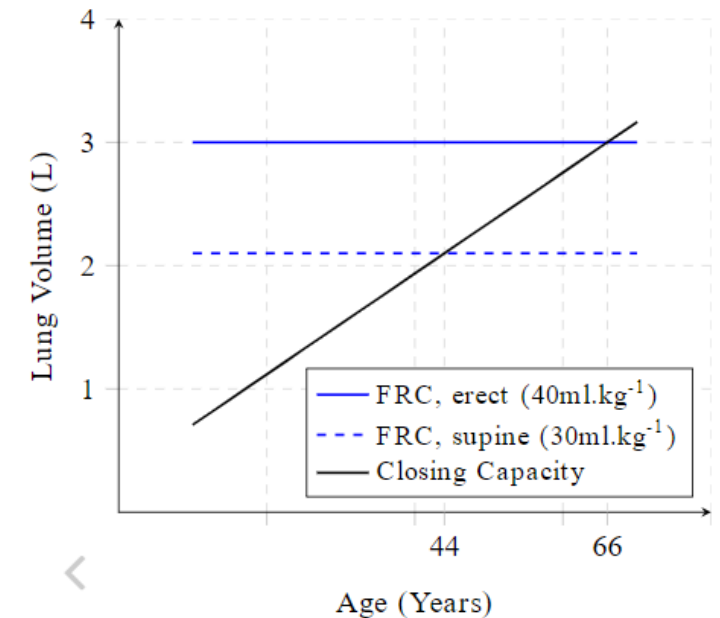
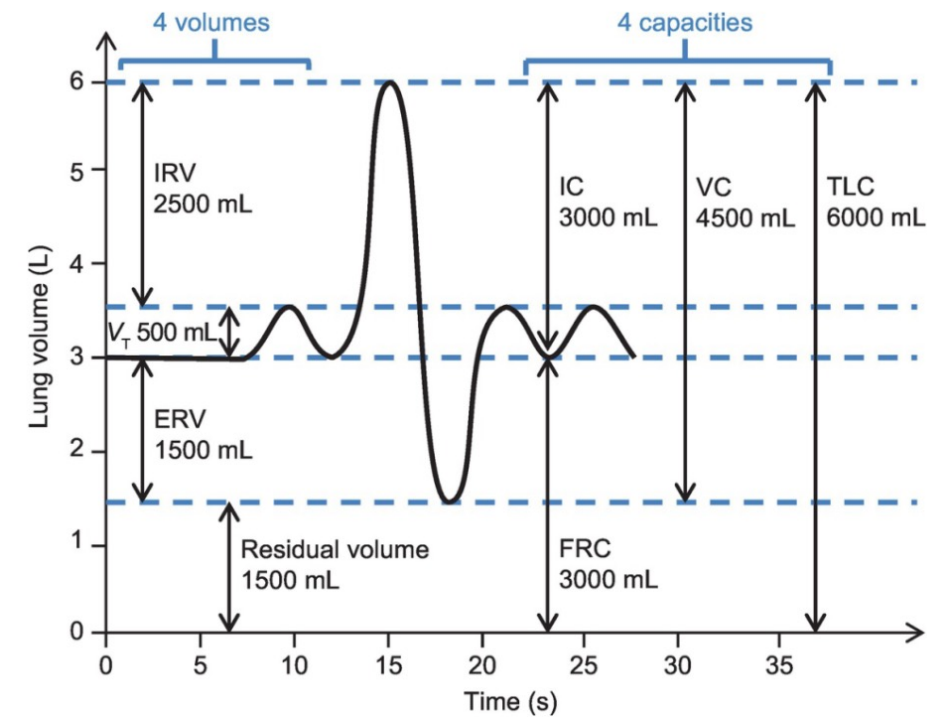
# Keuhkojen fysiologiaa:

- Hengityksen ja verenkierron tehtävä on turvata
  - Riittävä kudoshappeutuminen
  - Perusaineenvaihdunta kuluttaa happea n. 250 ml/min  
→ kudoksiin
  - Tuottaa hiilidioksidia n. 200 ml/min
  - → kudoksista pois
- Yleisanestesia vähentää hapenkulutusta ja hiilidioksidin tuotantoa
- Hengityselimistön voi jakaa ylä- ja alahengitysteihin
  - Rajana toimii kurkunpää



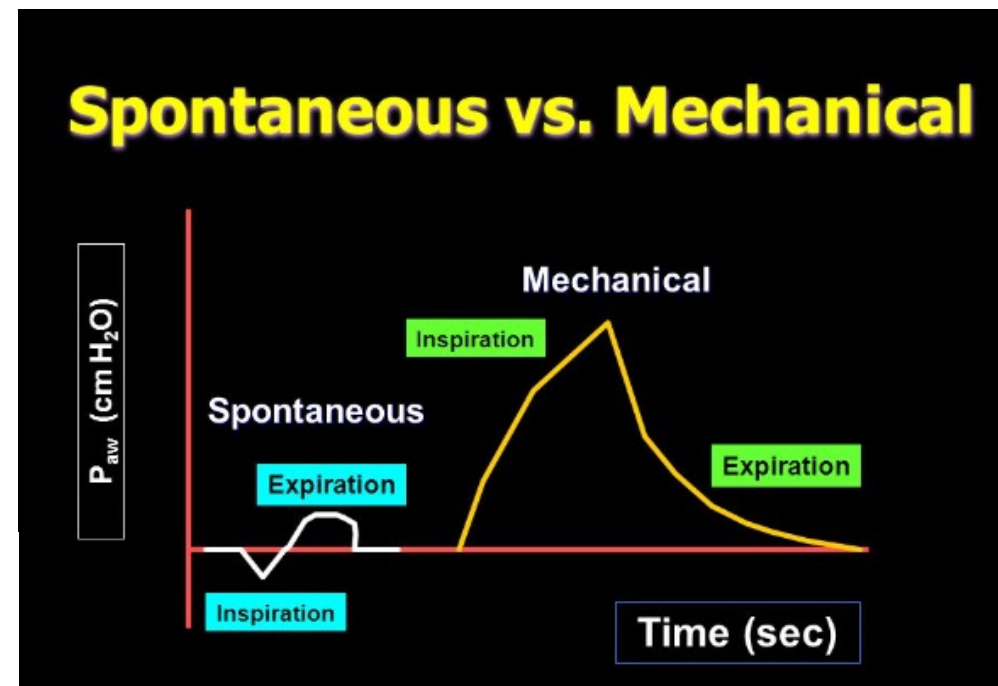
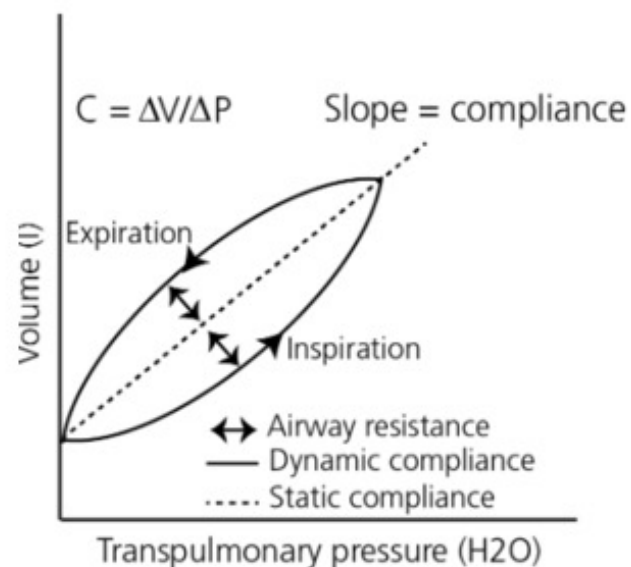
# Keuhkojen fysiologiaa:

- Mitkä ovat keuhkojen olennaisia tilavuuksia?
- Anestesian kannalta ainakin  $V_T$  ja FRC
- FRC:hen vaikuttaa
  - Asento, ylipaino, raskaus, keuhkosairaudet
- Ansailma: ilma ei pääse tyhjenemään keuhkoista
- Sulkeutumistilavuus: muodostuu atelektaaseja
- Spontaani vs mekaaninen ventilaatio:
  - Mikä on mekaanisesti merkittävä ero?



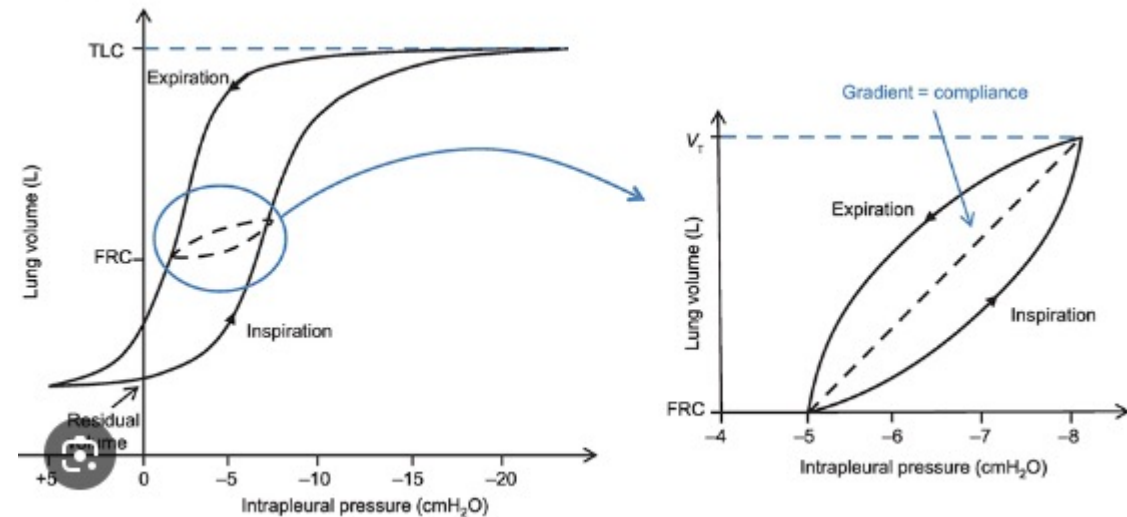
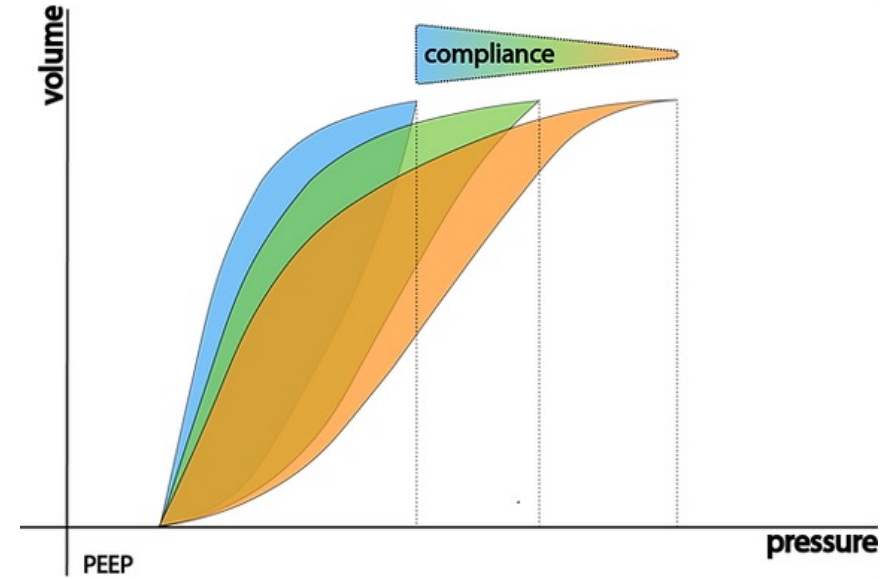
# Spontaani/mekaaninen ventilaatio:

- Paineenvaihtelut paljon pienempiä
- Sisäänhengitys alipaineella ja ulos ylipaineella
- Mekaaninen toisin päin
- Komplianssi:



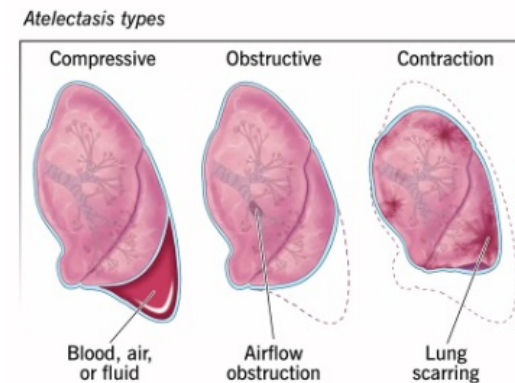
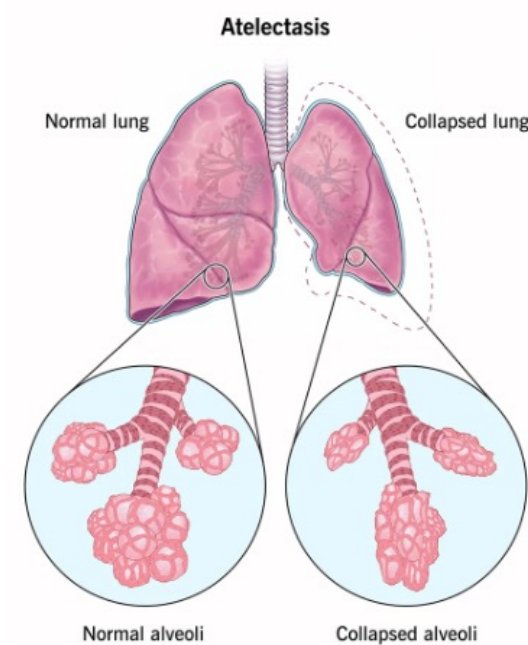
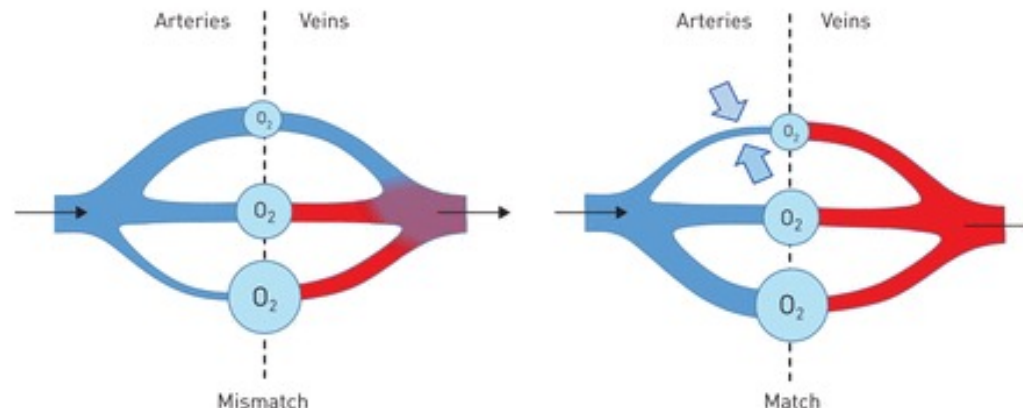
# Ventilaatioon liittyviä käsitteitä:

- Komplianssi  $C = \Delta V / \Delta P$ : esim.  $C(L)$ ,  $C(W)$ ,  $C(\text{tot})$ 
  - $1/C(\text{tot}) = 1/C(L) + 1/C(W)$
- Resistenssi  $R = \Delta P / \Delta V$ 
  - Kaava pitää paikkansa kun virtaus on laminaarista
  - Turbulenssi lisää ilmatievastusta
- Staattinen/dynaaminen komplianssi
- Hystereesi



# Ventilaatioon liittyviä käsitteitä:

- PEEP = positive end expiratory pressure
  - Optimaalinen PEEP
- Atelektaasi = alveolin kollapsi → suntti
- HPV = hypoksinen pulmonaalinen vasokonstriktio
- V/Q-suhde = ventilaatio/perfuusio
  - Kuollut tila =  $\infty$
  - Suntti = 0
- Hengitysvajaus
  - Tyyppi I (hypoksia)
  - Tyyppi II





# Mekaaninen ventilaatio: Miksi?

- Kun koneellisesti hoidetaan potilaan puolesta sisään- ja uloshengitys:
  - Yleensä kun potilaan homeostaasia uhkaa **hypoksemia** tai **respiratorinen asidoosi**
- Voidaan toteuttaa monesta eri syystä:
  - **Leikkaus/anestesia; tarkoituksellisesti lamataan potilaan hengitys:**
    - Analgesia, paralyysi, amnesia ja tajuttomuus
  - **Keuhkoperäinen hengitysvajaus:**
    - Thorax-vamma, keuhkokuume, sepsis, ARDS, astma/COPD, syd. VT
  - **Tajunnantason aleneminen jostain syystä:**
    - Intoksikaatio, AVH/vuoto/leesio,
  - **Muut neurologiset: ALS, myastenia, Guillan-Barre jne.**
- Yleensä useampi näistä samaan aikaan:
  - Esim. pneumonia → sepsis, ARDS, **ylipaino!**





# Mekaaninen ventilaatio: miten toteutetaan?

- → Riippuu tapauksesta/potilaasta
- Tarjottava hengitysmalli kannattaa sovittaa tilanteeseen
- Esim. kevyt nukutus, vain vähän kivulias toimenpide → spontaanihengitys tai painetuki
- Jos tarvitaan paljon analgeetteja, syvää anestesiaa tai relaksaatiota → yleensä tilavuus- tai painekontrolloitu koneventilaatio
- Jos hoidetaan hengitysvajasta jostain muusta syystä → valitaan moodi potilaan tarpeen mukaan:
  - CPAP → Pressure support → PCV/VCV/PCV-VG → APRV

Surgeons looking for  
the anesthetist  
30 minutes before  
end of shift....



# Erilaiset ventilaatiomoodit:

- Tavoitteet hoidolle?
- Mikä moodi?
- Mitkä asetukset?
- Seuranta?
- Asetusten säätö?
- Moodin vaihto?
- Muu hoito?

if unable to achieve, can redefine goals (e.g. permissive hypercapnia)

**Goals for mechanical ventilation:**

1. **Oxygenation** – support PaO<sub>2</sub>/SpO<sub>2</sub>
2. **Ventilation** – maintain pH
3. **Patient comfort** – vent synchrony, ↓ sedation
4. **Facilitate weaning** – minimize muscle loss, promote readiness to wean from support

**Ventilator Modes:**  
Fall into two broad categories: **pressure** and **volume** modes. *Each mode has three features:*

- Trigger (T) – what initiates a breath?
- Cycle (C) – what ends a breath?
- Limit (L) – what stops a breath early?

Each mode has **Pros** and **Cons** to consider.

**Measurement and optimization:**

Measure ABG/SpO<sub>2</sub>

Adjust Settings

ABG

pH / PCO<sub>2</sub> / PaO<sub>2</sub> / HCO<sub>3</sub>

**VENTILATION**

If you want to increase the pH → increase the ventilation parameters

Pulse Ox

SpO<sub>2</sub>

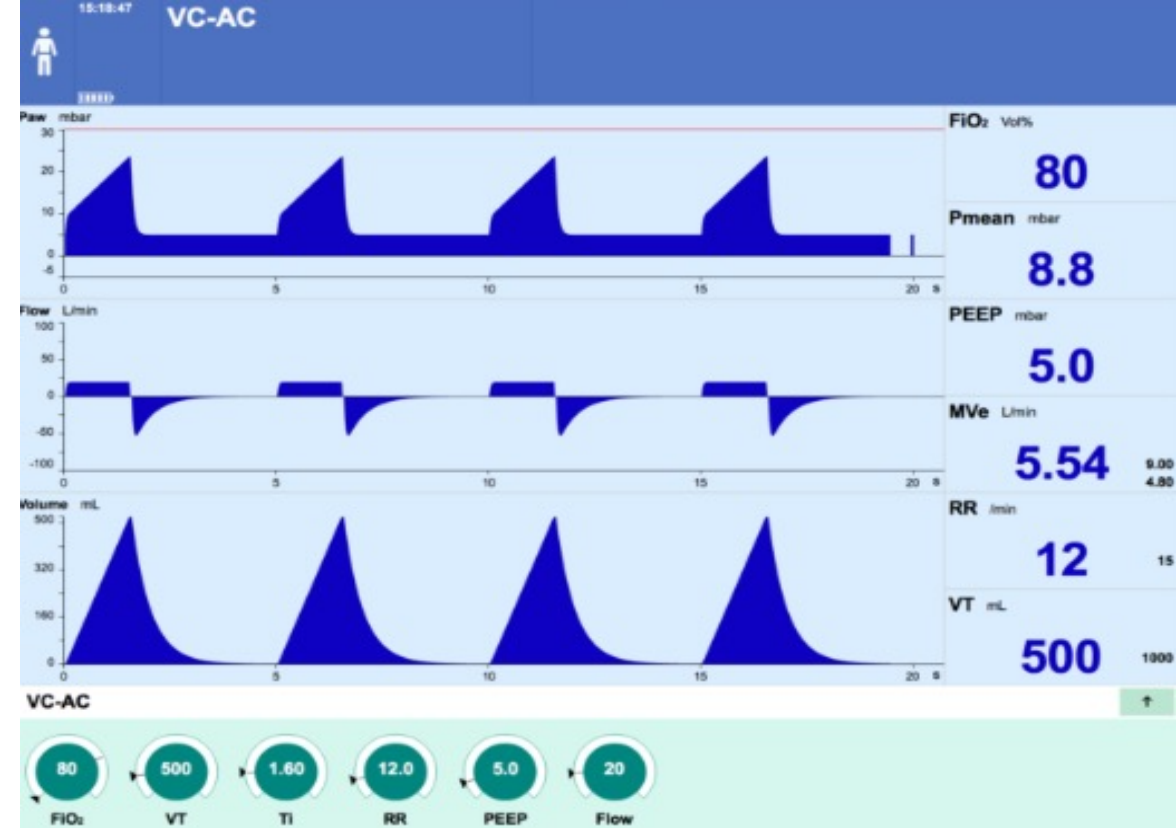
**OXYGENATION**

If you want to change the PaO<sub>2</sub> or SpO<sub>2</sub> adjust oxygenation parameters (FiO<sub>2</sub> and PEEP)

Mode	Description	Pros	Cons	Major settings / example	Monitor
<b>VC</b> Volume Control (a.k.a. assist control volume)	Every breath delivered (mandatory and patient triggered) is the same set <b>volume (TV)</b> T – time/pressure/flow, C – volume, L – volume	Good general-purpose mode; Ensures a minimum MV is achieved. Good mode for lung protective ventilation ( <b>LPV</b> )	Requires you to monitor pressures to avoid barotrauma. (See my <a href="#">OnePager</a> on ARDS for details.)	<b>RR, TV, PEEP, FIO<sub>2</sub></b> 12 bpm, 450cc, +8, 60% <i>(RR – respiratory rate, TV – tidal volume)</i>	Pressures (Ppeak, Pplat)
<b>PC</b> Pressure Control (a.k.a. assist control pressure)	Every breath delivered (mandatory & patient triggered) is a set <b>pressure (IP)</b> for a set <b>time (T<sub>i</sub>)</b> T – time/pressure/flow, C – time, L – pressure	Good for limiting pressure; may be more comfortable for select patients. Also can be used for LPV (no difference in <b>mortality</b> )	Requires you to monitor volumes to avoid volutrauma or hypoventilation	<b>RR, IP, T<sub>i</sub>, Risetime, PEEP, FIO<sub>2</sub></b> 12 bpm, 25 cmH <sub>2</sub> O, 0.9 sec, 0.15 sec, +8, 60% <i>(IP – inspiratory pressure, T<sub>i</sub> – inspiratory time)</i>	Volumes (TV, MV)
<b>PRVC</b> Pressure Regulated Volume Control (a.k.a. VC+, APV, Autoflow)	<b>Hybrid</b> PC mode that dynamically changes inspiratory pressure to deliver a desired volume T – time/pressure/flow, C – volume, L – volume	Guarantees TV but delivers pressure-controlled breaths; (e.g. low risk of causing VILI), which potentially may be more comfortable for patients	In patients who are struggling (e.g. high WOB) this mode will provide <b>less</b> support	<b>RR, TV, T<sub>i</sub>, Risetime, P<sub>max</sub>, PEEP, FIO<sub>2</sub></b> 12 bpm, 450cc, 0.9 sec, 0.15 sec, 30 cmH <sub>2</sub> O, +8, 60% <i>(P<sub>max</sub> – maximum pressure)</i>	Pressures & volumes
<b>SIMV</b> Synchronous Intermittent Mandatory Ventilation	Delivers mandatory breaths with a fixed volume but patient <b>can't</b> trigger (patient breaths are not the same as mandatory breaths); can use PS T – time, C – volume, L – volume	May be useful for patients with hiccups to avoid alkalemia	Seldom used; not effective for weaning; often found to be uncomfortable	<b>RR, TV, PEEP, FIO<sub>2</sub></b> 12 bpm, 450 cc, +8, 60%	Pressure (Ppeak Pplat)
<b>PS</b> Pressure Support	<b>All</b> breaths are patient initiated; ventilation determined solely by patient (no backup rate). T – pressure/flow, C – flow, L – pressure	<b>Ideal weaning mode</b> (used in SBTs and for prolonged periods); <b>most comfortable</b> because it allows patient to control ventilation	Does not guarantee a rate; need to monitor to ensure adequate ventilation	<b>PS, PEEP, FIO<sub>2</sub></b> +10, +5, 40% <i>Note that PS is above PEEP so "Ten over Five" PIP = 15cmH<sub>2</sub>O</i>	Volumes (TV, MV)
<b>APRV</b> Airway Pressure Release Ventilation (a.k.a. Bi-Vent)	<b>Inverse ratio ventilation</b> (e.g. I time > E time) that allows patient to breath spontaneously; can combine w/ PS T – time, C – time, L – pressure	Great for ARDS patients who are spontaneously breathing (e.g. not on NMB); <b>may improve comfort &amp; oxygenation (but no mortality benefit)</b>	Complex mode/settings; Risk of VILI if settings are done improperly; doesn't make sense if on NMB	<b>T<sub>High</sub>, T<sub>Low</sub>, P<sub>High</sub>, P<sub>Low</sub>, FIO<sub>2</sub></b> 5.5 sec, 0.5 sec, 25 cmH <sub>2</sub> O, 0 cmH <sub>2</sub> O, 60% <i>(T<sub>High</sub>/low – time high/low, P<sub>High</sub>/low – pressure high/low, also note that P<sub>low</sub> is analogous to PEEP)</i>	Volumes & gas exchange PCO <sub>2</sub> / EtCO <sub>2</sub>

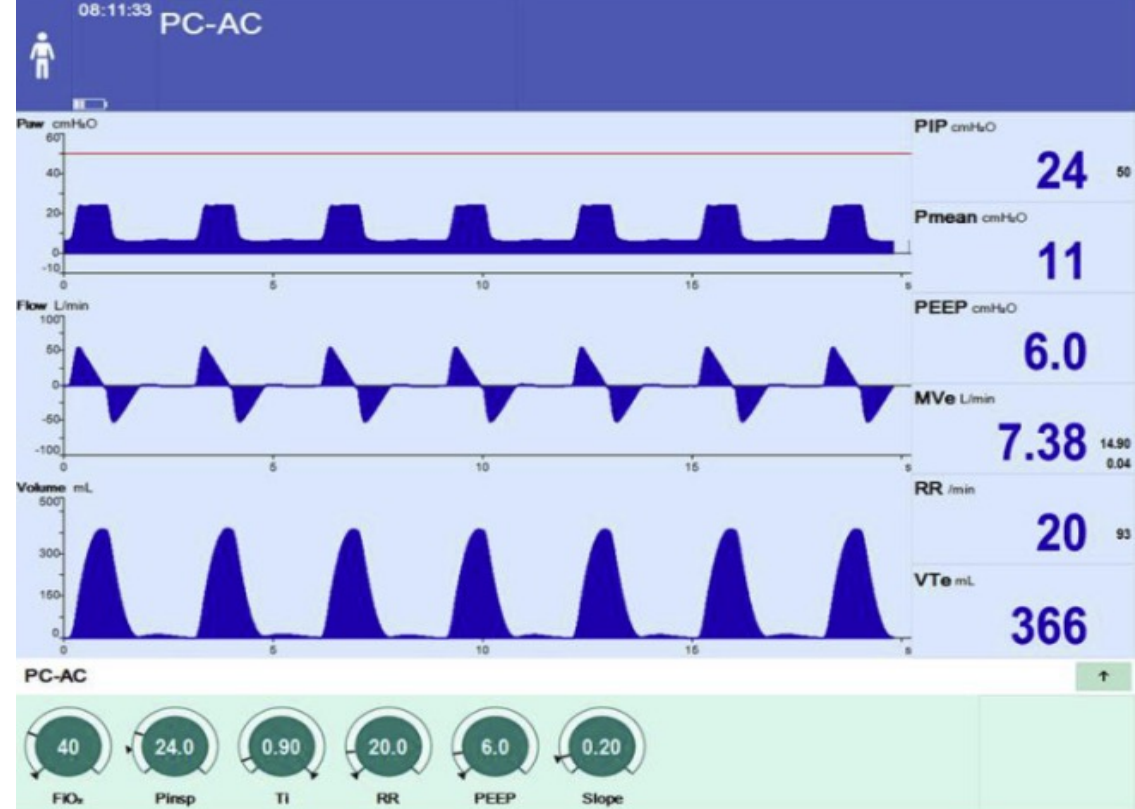
# VC = Volume control

- Määritetään:
  - Haluttu kertatilavuus TV: **500 ml**
  - Hengitysfrekvenssi: **12 krt/min** (1/5 s)
  - Happiprosentti: **80 %**
  - PEEP: **5 cmH2O**
  - I:E (1:2,1) tai Ti: **1,6 s** → Te: 3,4 s
  - Voidaan määrittää myös nousuaika, huippuvirtaus, virtauskuvio jne.
- Perusventilaatiomoodi, sopii hyvin tervekeuhkoiselle potilaalle
- **Hyvää: frekvenssi x TV** takaavat tietyn **minuuttiventilaation**
  - Sopii jos ventilaatiovajausta = respiratorinen asidoosi
- **Huonoa:** paine on dynaaminen, esim. huonokeuhkoinen, komplianssi, laparoscopia, kirurgin käsi, jne.



# PC = pressure control

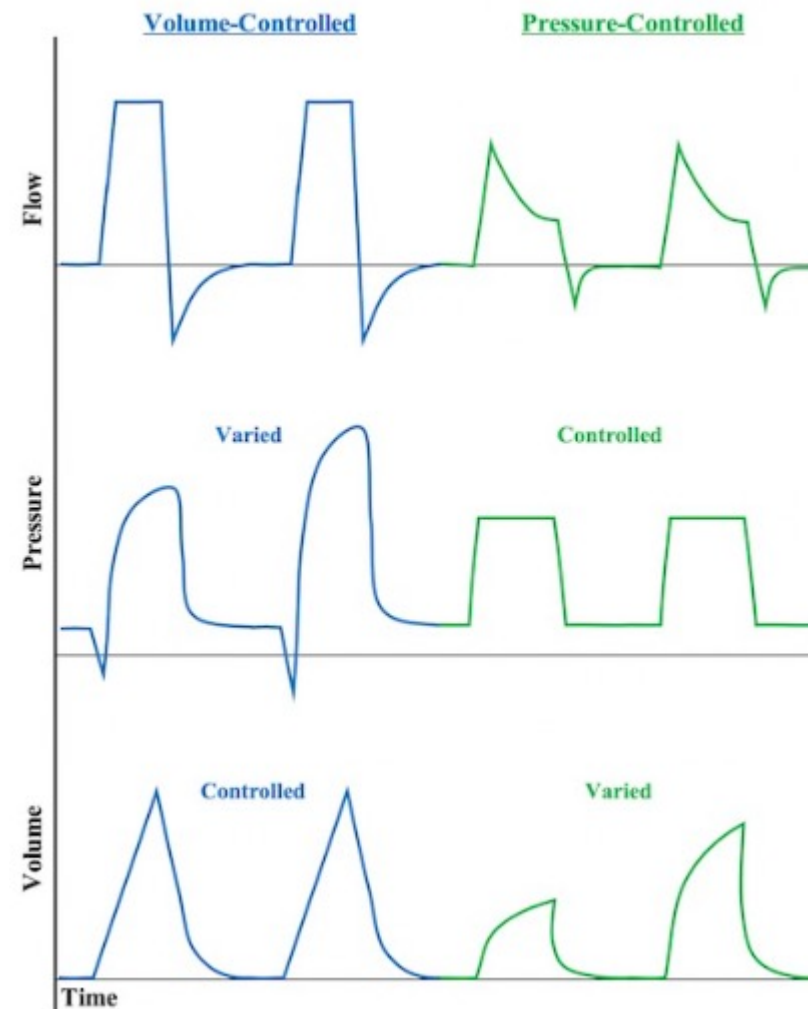
- Määritetään:
  - Haluttu sisäänhengityspaine: **24 cmH<sub>2</sub>O**
  - Hengitysfrekvenssi: **20 krt/min** (1/3 s)
  - Happiprosentti: **40 %**
  - PEEP: **6 cmH<sub>2</sub>O**
  - I:E (1:2,3) tai **Ti 0,9 s** → Te 2,1 s
  - Slope: kuinka nopeasti saavutetaan huippupaine
- Voidaan säätää joko sisäänhengityspainetta tai huippupainetta
  - Jos säädetään sis. hengityspainetta, niin  $PIP = IP + PEEP$
- **Hyvää:** sopii hyvin jos on keuhkosairautta tai esim. 1 keuhkon ventilaatiossa
- **Huonoa:** haluttu minuuttiventilaatio ei aina toteudu!





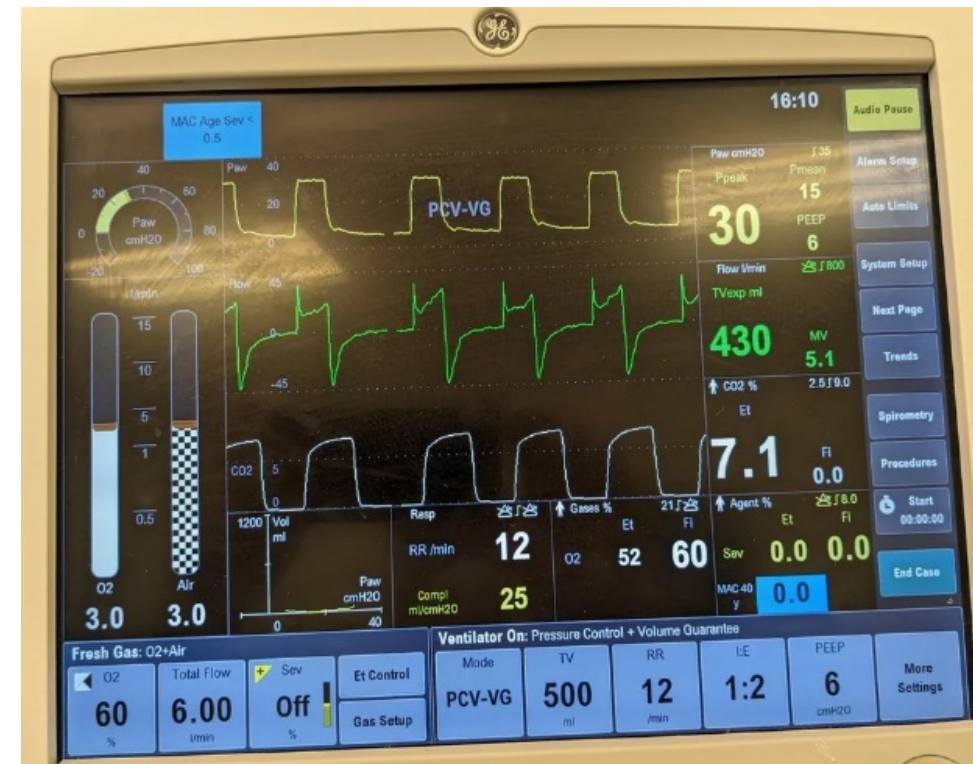
# VC vs. PC:

- **Tilavuusohjatus moodissa yleensä:**
  - Korkeammat huippupaineet/virtaukset
  - Paine saattaa vaihdella potilaan tilanteen tai toimenpiteen vaiheen mukaan
    - Ei mielellään jos keuhko-ongelmia
- **Paineohjatus moodissa yleensä:**
  - Matalammat paineet ja virtaukset
  - Tasaisempi kaasun jakautuminen
    - Vähemmän alveolaarista distensiota
  - Tilavuus saattaa vaihdella potilaan tilanteen tai toimenpiteen vaiheen mukaan
    - Ei mielellään jos riski resp. asidoosiin



# PCV-VG:

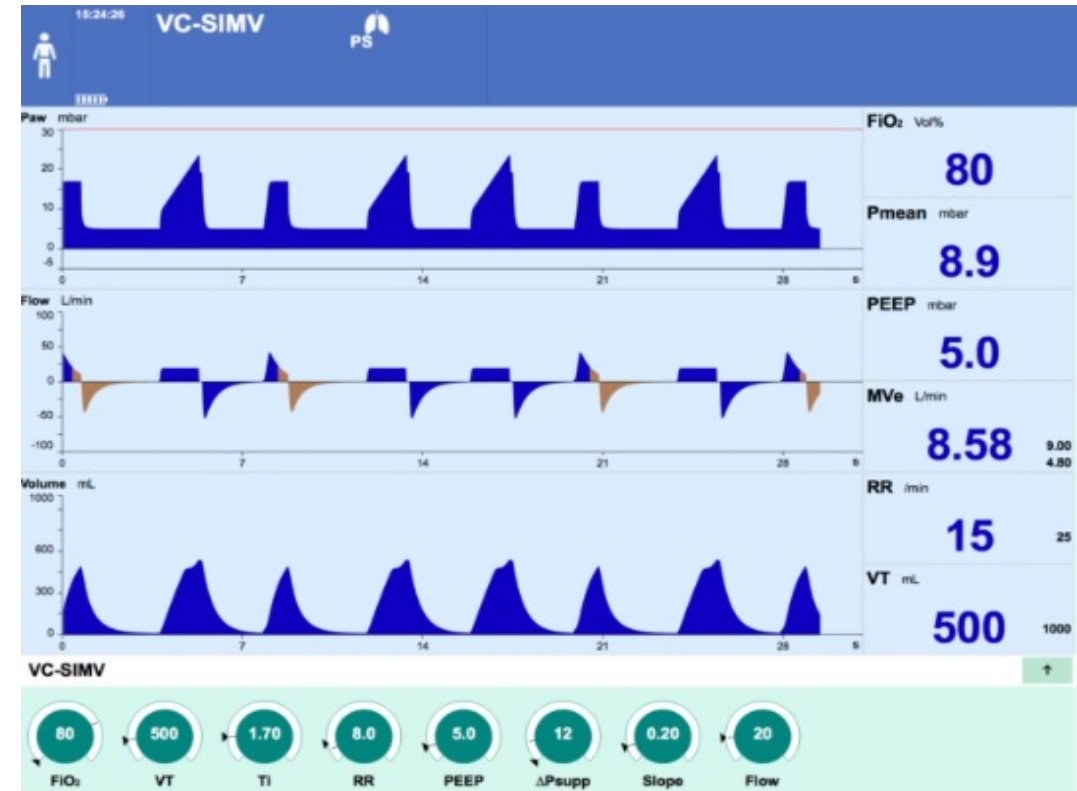
- Pressure controlled ventilation – volume guarantee
- Tämä on ikään kuin yhdistelmä kahdesta edellisestä
- Eli voidaan asettaa tavoite-TV, mutta ventilaatio tapahtuu painekontrolloidusti
- Kone pyrkii toteuttamaan TV:n pienimmällä mahdollisella huippupaineella
- Kone hyödyntää hidastuvaa virtausta tässä
- Periaatteessa molempien (VC/PC) hyödyt





**SIMV** = synchronized intermittent mandatory ventilation:

- Määritetään:
  - Kertatilavuus TV: **500 ml**
  - Minimifrekvenssi: **8 krt/min**
  - Happiprosentti: **80 %**
  - PEEP: **5 cmH2O**
  - Ti: **1,7 s**
  - P-support: **12 cmH2O**
- Kone ventiloii **500 ml x 8/min = 4 l/min**
- Potilas voi siihen päälle hengittää, jolloin sisäänhenkäykselle saa **12 cmH2O** P-supporttia



# PS = pressure support:

- Määritetään:

- Happiprosentti: **40 %**
- PEEP: **5 cmH2O**
- P-support: **10 cmH2O**
- Back up säädöt: Frekv, support jne.

- Tunnistaa potilaan sisäänhengitysyriksen (triggaus)

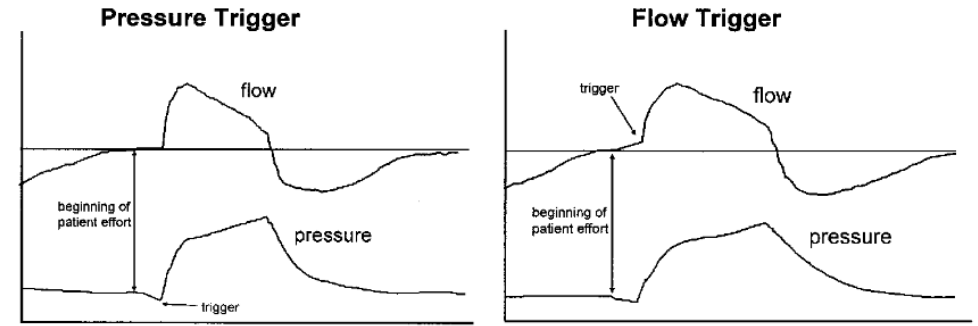
ja tukee näitä P-supportilla

- Tämä moodi siis vaatii, että potilaalla on hengitysdraivia

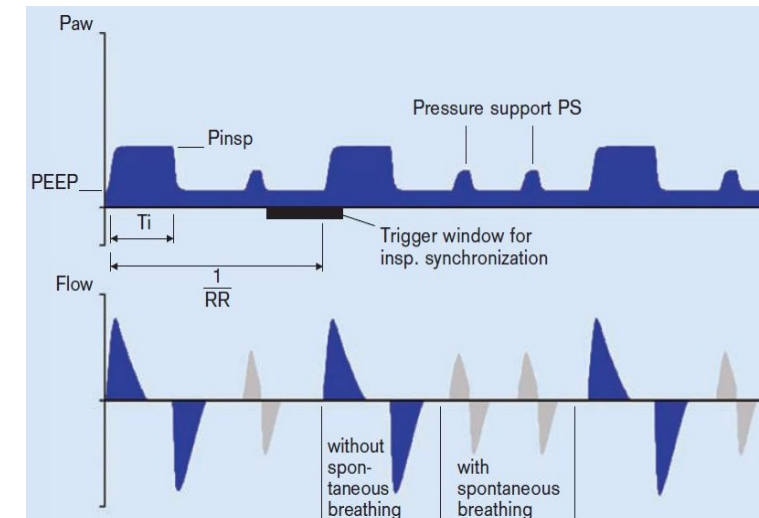
- Joissain moodeissa on kuitenkin back up –ventilaatio, esim. PSVPro



# Hengitystuki-moodit:

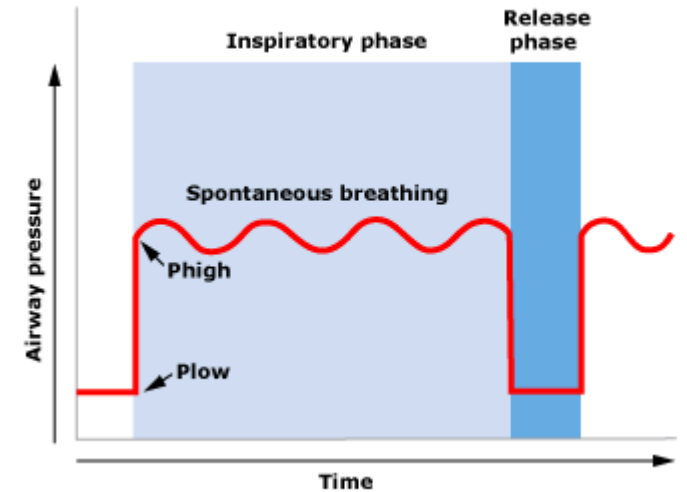


- Näitä voidaan käyttää jos on kevyt anestesia, potilaan oma hengitys on riittävää tai lähes riittävää tai vieroitetaan ventilaattorista
- PS vaatii herkemmin jatkuvaa seuranta, mutta jos on back up –ventilaatio, niin tuolloin on käytännössä lähes sama kuin SIMV
- Näitä moodeja on yleensä säädettävä, jos potilaan kipulääkitystä tai sedaatiota muutetaan
- Ei suositella  $> 20$  cmH<sub>2</sub>O P-supportia!
- Ei näyttöä, että nopeuttaisi vieroittautumista
  - Käytännössä on helpompi määrittää P-supportin avulla, milloin potilas voisi pärjätä omalla hengityksellä



# APRV = airway pressure release ventilation

- Määritetään:
  - P(high): esim 20 cmH<sub>2</sub>O
  - P(low) = PEEP: esim 6 cmH<sub>2</sub>O
  - Syklin kesto: esim 6 s
- Käänteinen I:E -suhde, "sisäänhengitys" on pidempi
- Sallii potilaan spontaanit hengitykset P(high) ja P(low) aikana
- Käytetään vaikeissa happeutumishäiriöissä
- Ikään kuin keuhkojen jatkuvaa rekrytointia
  - Ei virallista indikaatiota, mutta käytetyin potilasryhmä ARDS





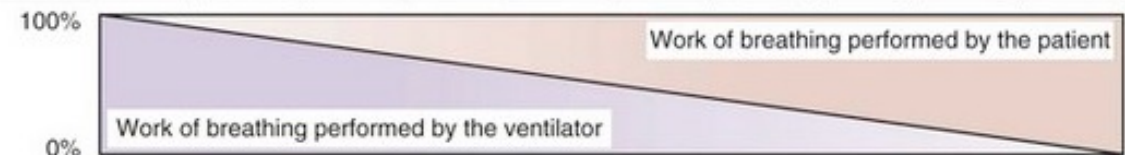
**Why cats are not allowed in the operating room.**



# Hengitysmoodit: kertaus

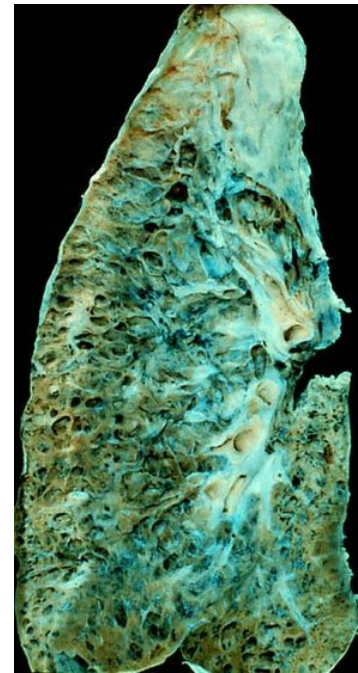
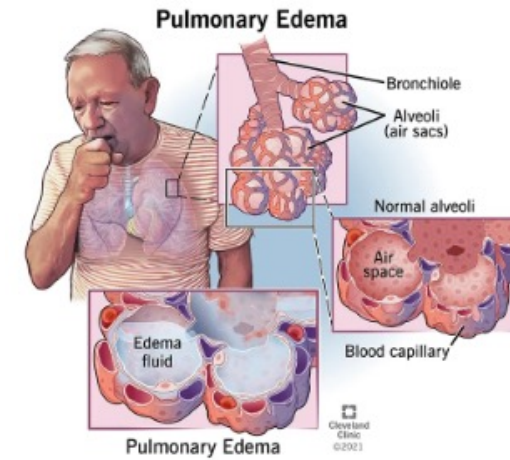
- PC/VC yksinkertaisia
- Hengitystuki: PS/PA/NAVA
- Yhdistelmä:
  - SIMV, PRVC, VS, APRV, BiPAP
- CPAP
- NAVA = neurally adjusted ventilatory assist
  - Tunnistaa pallean sähköisen impulssin

		Controlled modes		Controlled/assisted combined modes				Assisted modes			Nonassisted spontaneous breathing
		VCV	PCV	SIMV	PRVC	VS	BiPAP, APRV	PSV	PAV	NAVA	CPAP
Termination of the breath is determined by	volume	✓	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x
	pressure	x	✓	✓	x	x	✓/x	x	x	x	x
	flow	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x
	time	x	(✓)/x	x	x	x	✓	x	x	x	x
Initiation of the breath by time/by patient effort		✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	x/✓	✓/✓	x/✓	x/✓	x/✓	x/✓
Neurally triggered/cycled		x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x
Predefined level of assist		x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x
Assist is proportional to the patient's respiratory effort		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x



# Ventilaatioon vaikuttavia sairauksia:

- Tilat jotka vaikuttavat potilaan **hengitysmekaniikkaan** tai keuhkojen **diffuusiokapasiteettiin**
- Vaikuttaa **hengitysmekaniikkaan**:
  - Ylipaino, interstitiellit keuhkosairaudet (fibroosi/sarkoidoosi..), COPD/astma, aiempi keuhkoleikkaus, atelektaasit, pneumonia, ARDS, keuhkoembolia, keuhkosyöpä ym.
- Vaikuttaa hapen **diffuusioon keuhkoissa**:
  - Kaikki em. ja lisäksi keuhkoverenkiertoon vaikuttavat asiat
  - Ylipaino ja astma ei välttämättä vaikuta diffuusioon
- Lisäksi esim. syd. VT → keuhkoödeema
  - Voi vaikeuttaa happeutumista ja huonontaa ventilaatiota





# Mekaanisen ventilaation haitat:

- Infektiot: VAP
- Aspiratio
- Ilmarinta,
- Keuhkovaurio: barotrauma, volutrauma
  - Myös vauriot muualla ilmasteissä: äänihuulet, kurkunpää
- Atelektaasi
- Vaikutukset hemodynamiikkaan
- Sopeutuminen/vieroittautuminen





# Ongelmia mekaanisessa ventilaatiossa:

- **A = airway: jos ongelmia, niin tästä kannattaa lähteä liikkeelle**
  - Ilmatestä johtuvat ongelmat yleensä manifestoituu nopeasti
    - Intubaatioputki noussut pois trakeasta tai mennyt liian syvälle (toiseen bronkukseen)
    - LMA ei istu tai huonosti paikallaan, limatulppa, letkut irti tms.
    - Ongelma on ventilaattorin ja potilaan trakean välissä
  - Ratkaisu on käytännössä ilmatien varmistaminen
- **B = breathing: loput ongelmat liittyvät yleensä tähän**
  - Ongelma voi liittyä potilaaseen, koneeseen tai koneen säätöihin
    - Olemassa oleva tai väliaikainen sairaus potilaalla: COPD vs. KE
    - Ei happivirtausta, jäänyt manuaalille tms.
    - Vääränlaiset säädöt koneessa: siis ei potilaalle sopivat
- **C = circulation: voi toki vaikuttaa kudoshappeutumiseen/perfuusioon**
  - Käänteisesti ventilaatio voi vaikuttaa verenkiertoon!

# Tapaus 1:

- 40 vuotias nainen, normaalipainoinen, perusterve. Nukutettu (LMA) ranteen murtuman leikkaushoitoa varten (propofoli-infuusio + fentanyyli)
- Hengitysmallina VC: 450 ml ja 12 krt/min, happi 40 %, PEEP 5 cmH<sub>2</sub>O
- Happeutuminen alkaa laahata 92 %, hengitystiepainet nousta 32 cmH<sub>2</sub>O, TV 450 ml → 200 ml hiilidioksidi laskee 5 kPa:sta → 2,5 kPa:han, RR 130/70, syke 70 bpm
- Mitä tehtäisiin? Mistä voisi olla kyse?

# Tapaus 1:

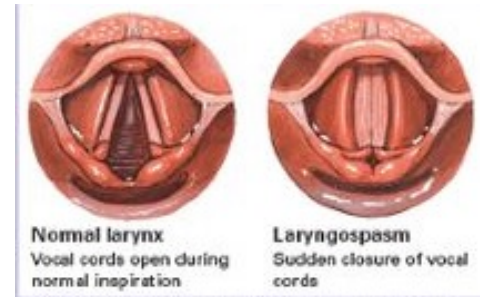
- A: Airway

- Onko LMA noussut/mennyt liian syvälle?
- Onko liian pinnallinen anestesia ja potilas reagoi?
- Laryngospasmi, bronkospasmi?
- Seisooko joku ventilaattorin letkujen päällä?

- B: Breathing

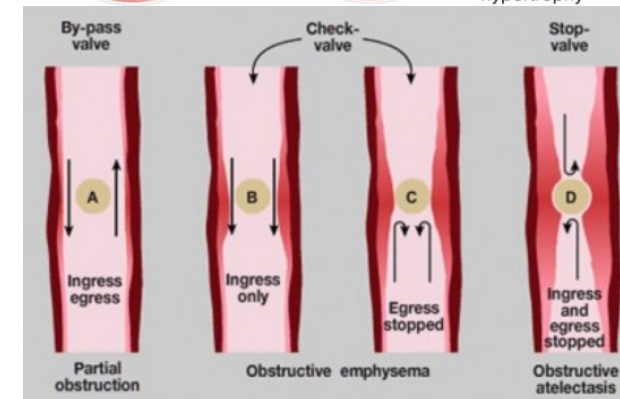
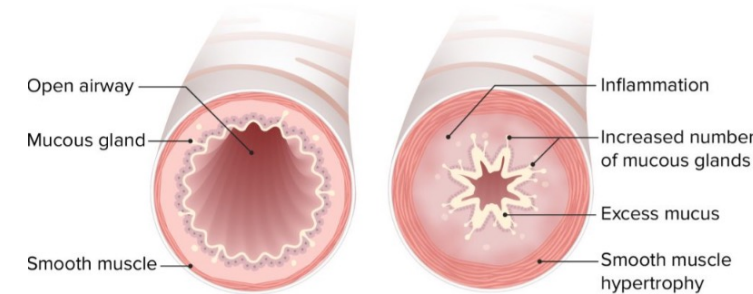
- Bronkospasmi kuuluu oikeastaan tänne

- Alkutoimet: 100 % happi, tarkistetaan ilmatie, pyydetään apua, käsiventilaatio, syvennetään anestesiaa, kipulääkettä



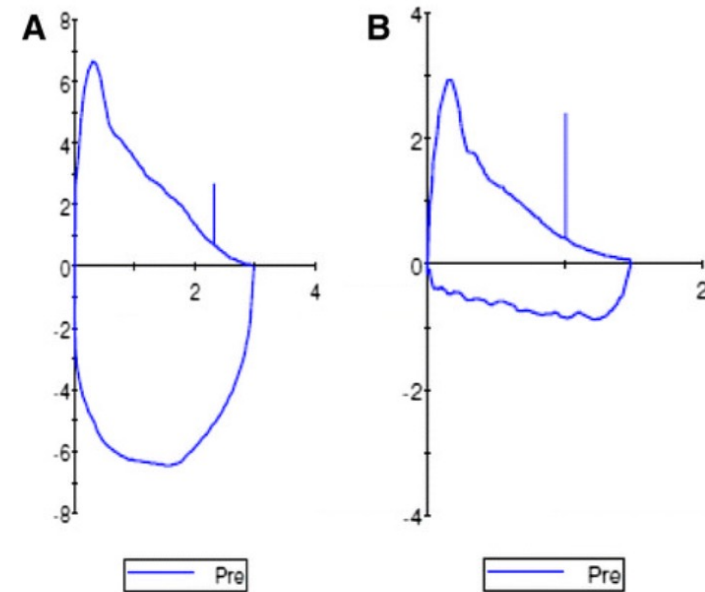
Normal bronchus

Chronic bronchitis



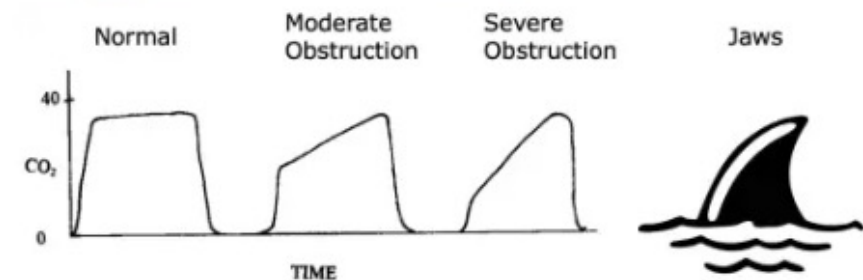
# Tapaus 1:

- Kyse voisi olla pinnallisesta anestesiasta
- LMA voi olla myös huonosti paikallaan
- Tai laryngospasmi tai bronkospasmi:
  - Näiden erottaminen selvinnee auskultoimalla
  - Kuuntelemalla ja katsomalla potilasta
  - Katsomalla spirometrialooppia
- Ylähengitystieongelma → sisäänhengitys vaikeutuu
- Alahengitystie → uloshengitys vaikeutuu



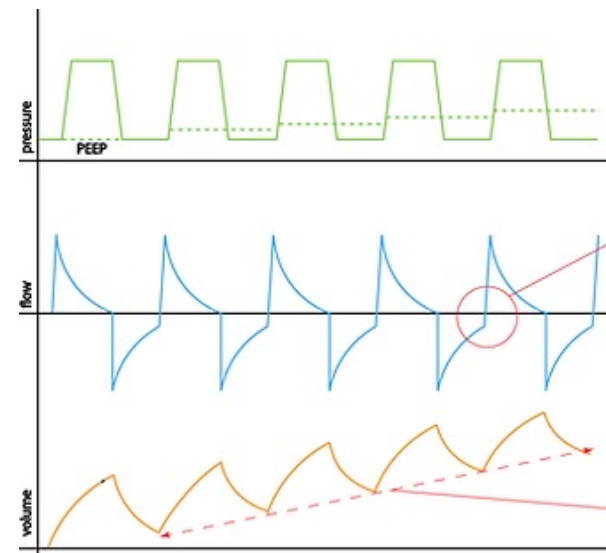
Normal flow volume loop in asymptomatic patient. b Example of flattening, early truncation and saw-tooth pattern of inspiratory limb of flow volume loop in a patient with vocal cord dysfunction

## Capnography waveforms: Obstructive pattern

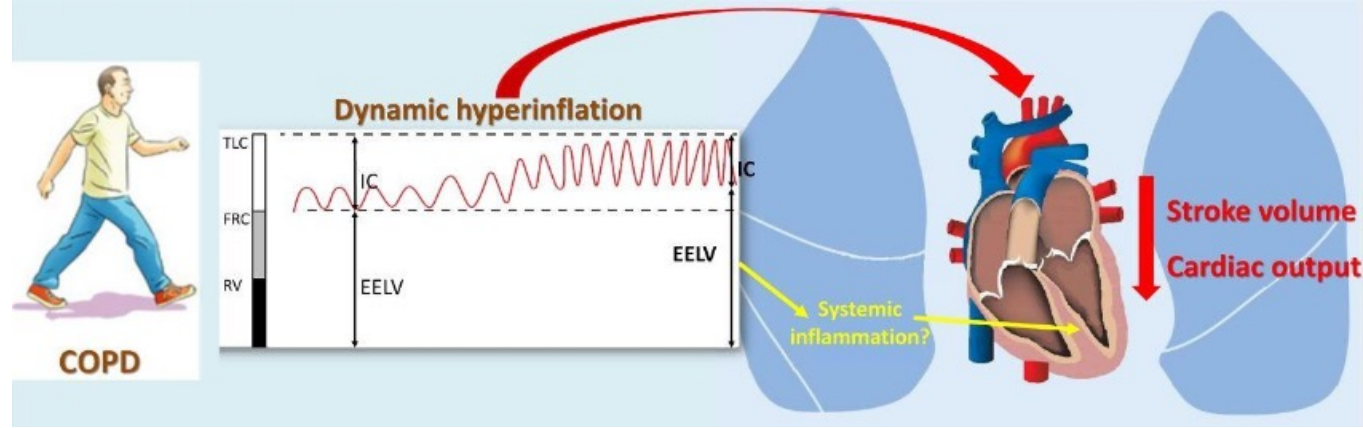


# Tapaus 2:

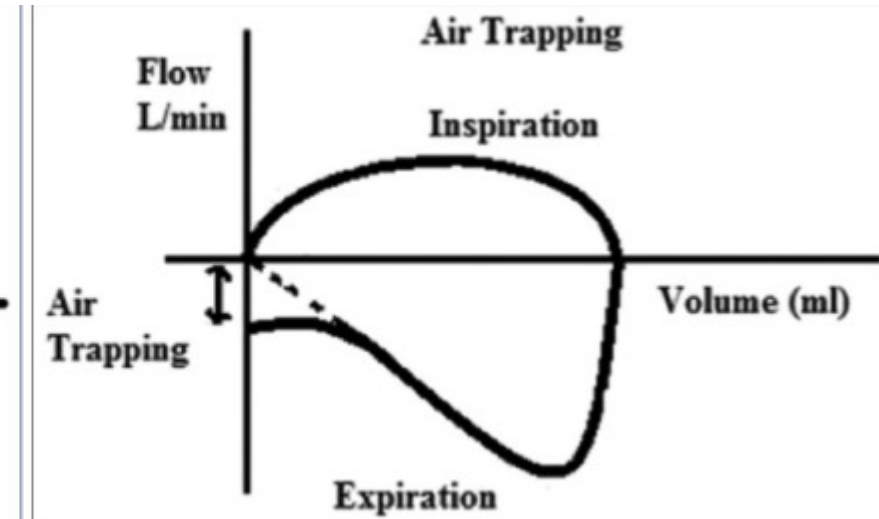
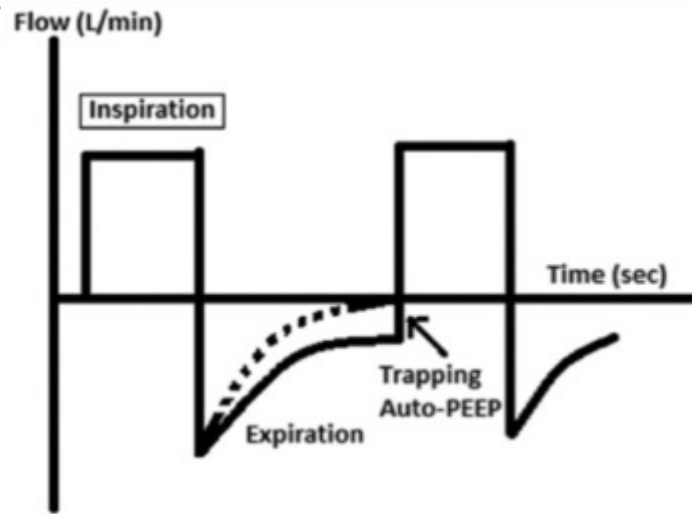
- 60 vuotias mies, BMI 36, 40 askivuotta ja COPD, nukutettu (intubaatio) polven tähystystä varten (sevofluraani + ultiva)
- Hengitysmallina VC: 550 ml, fr 18, happi 50 %, PEEP 5 cmH<sub>2</sub>O. Aluksi saturoituu 99 % ja etCO<sub>2</sub> on 4,5 kPa.
- Pikkuhiljaa potilaan hengitystiepainet nousee ja TV pienenee
- Samaan aikaan potilaan verenpaine alkaa laskea.
- Mistä voisi olla kyse?



# Tapaus 2:



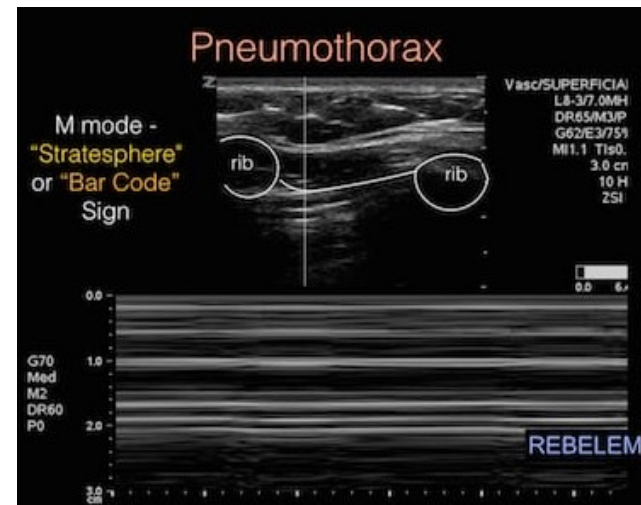
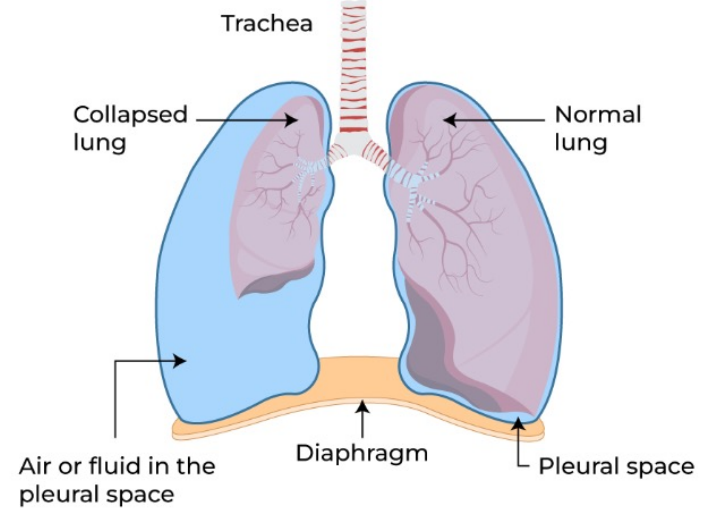
- Dynaaminen hyperinflaatio
- Potilaan keuhkot ei pääse tyhjenemään jos T(exp) on liian lyhyt
- Obstruktion vuoksi ilmaa saadaan keuhkoihin, mutta tyhjeneminen on vaikeutunut/hidastunut
- Venapaluu- ja CO-
- Hoitona:
  - Hoida obstruktio
  - Vähennä TV
  - Vähennä Fr ja T(exp)





# Tapaus 2:

- Pneumothorax/tensio pneumothorax
- Samanlaiset oireet kuin hyperinflaatiossa, ilma menee vain eri paikkaan
- Merkittävässä tensio pneumothoraxissa lisäksi yleensä hengityssäännet hiljenee toispuoleisesti, voi tulla subkutaanista emfyseemaa ja saturaatio laskee
- Diagnoosi: thorax RTG, ultraääni



**THAT'S A WRAP!**



**(Now it's time for lunch)**

# Lähteet:

- Anestesiologia, teho-, ensi- ja kivunhoito, Duodecim oppikirja
- Up to date: Modes of mechanical ventilation
- Mechanical Ventilation, Sean M. Hickey; Al O. Giwa
- Terveysportti
- <https://www.pivares.com/physics>