

Respiraattorit

Minkä hengitysmoodin valitsen ja miksi?

SAH ja SAY Anestesiakurssi 28.-29.3.2019, Helsinki

Harri Tohmo

LT, ylilääkäri, HUS Hyvinkään sairaala

Mac's law: Anaesthesia is easy. As long as the blood is going round and round, and the air is going in and out, the worst that can happen is that the patient will wake up.



HUS investoi noin 150 m€

KESKI-UUDENMAAN kunnat
Hyvinkää (48 th as), Järvenpää,
Tuusula, Nurmijärvi, Mäntsälä,
yht 188 th as

Suuri synnytyssairaala, seuraava
KYSin jälkeen, synnytyksiä
enemmän kuin Satakunnan ks ja
Päijät-Hämeen ks

HUSin ainoa
keskussairaalapalvelua antava
koulutussairaala

KORJAUS- JA RAKENNUSHANKKEET 2018 HYVINKÄÄN SAIRAALA-ALUEELLA



Käytettyjä anestesiaventilaattoreita

- Manley 1986-1990 luvulla (puoliavoin kiertojärjestelmä) (Tyks)
- Siemens Servo 1986-2003 (puoliavoin) (Tyks, HUS Hyvinkää)
- Siemens 710 1992-2000 (puolisuljettu) (Tyks, Lounais-Häme *, Kotka) (aikanaan yksi Suomen eniten käytetyistä respiraattoreista)
- Engström Elsa 1997-2000 (puolisuljettu) (Lounais-Häme*)
- Datex Ohmeda Aespire 2000-2010 (puolisuljettu) (Hyvinkää*)
- Dräger Julian 2000-2010 (puolisuljettu) (Hyvinkää*)
- Dräger Primus 2005-2018 (puolisuljettu) (Hyvinkää*)
- Maquet FLOW-i noin 2012 alkaen (puolisuljettu) (Hyvinkää*)
- Tehohoidon puolelta Bird* useita malleja, Dräger* useita malleja

* merkittyjä olen ollut ostamassa, provikkaa en ole saanut, pitkäaikaisia tuttuja ovat, muita siteitä ei ole

- **Taustatietoa hengityksestä ja verenkierrosta**
- Hengityskonehoidon vaikutuksista keuhkoihin
- Ventilaatiojärjestelmistä
- Hengitysmalleista
- Respiraattoreista
- Mä luulen että mä ehkä tekisin -osio

Anestesian aikaan
respiraattorihoitoon mutkan kautta,
mutta kokonaisuudessa pitäisi olla
ainakin ohut punainen lanka ...



Mac's law: Anaesthesia is easy. As long as the blood is going round and round, and the air is going in and out, the worst that can happen is that the patient will wake up. (Urquhart J. The Anaesthetic Aide-Memoire, Oxford Medical Publication, 1996)

- Anaesthesia is easy
 - Uskon siihen, että mitä yksinkertaisemmin ja ”helpommin” tekee, sitä **turvallisempaa** anestesia on.
- As long as the blood is going round and round
 - **Anestesian tarkoitus** on mahdollistaa kirurgia ja säilyttää elimistön homeostaasi ja mahdollisuuksien mukaan korjata elimistön patofysiologista tilaa. Homeostaasin ylläpitäminen ja patofysiologisen tilan korjaaminen edellyttävät riittävää hapentarjontaa kudoksille. **Hapentarjontaan** vaikuttavat verenkierto, hemoglobiinin määrä ja hengitys.
- and the air is going in and out
 - **Spontaanihengitys** (pääosin sisäänhengitysvaihe) tuo laskimoverta sydämeen. Samalla saadaan ilmaa (FiO₂ 21%) keuhkoihin. Uloshengityskaasussa on happea noin 15% ja aineenvaihdunnan seurauksena hiilidioksidia 5%.

As long as the blood is going round and round

- **Laskimopaluu täyttää sydämen oikean puolen.**
Oikeasta kammiosta veri laskimoveri menee **keuhkovaltimoiden kautta keuhkokapillaareihin**, hapettuu alveolien läpi ja virtaa keuhkolaskimoista vasempaan eteiseen ja edelleen **vasemman kammion kautta systeemiverenkiertoon.**
- Verivolyymien kasvu lisää laskimopaluuta
- Laskimoiden supistuminen pienentää laskimoreservuaaria ja lisää laskimopaluuta vasempaan eteiseen
- Lihasaktiiviteetti lisää laskimopaluuta luurankolihashasten pumppuvaikutuksesta
- Pystyasento (painovoiman seurauksena) vähentää laskimopaluuta

Hengityksen ja verenkierron tarkoituksena on hapen tarjonta ja hiilidioksidin poisto

Hengittäminen tuo laskimoverta sydämeen ja samalla saadaan ilmaa keuhkoihin. Sisään hengitetään ilmaa ja ulos hengitetään uloshengityskaasua.

- **Sisäänhengityksessä** intrapleuraalinen paine-ero kasvaa ($-2,5 \rightarrow -6$ cmH₂O). Negatiivinen paine välittyy suuriin laskimoihin niin että keskuslaskimopaine laskee sisäänhengityksen aikana $6 \rightarrow 2$ cmH₂O. Sisäänhengitysvaiheen **keskuslaskimopaineen lasku lisää laskimopaluuta oikeaan eteiseen**. Tämä koskee erityisesti ylävartaloa.
- Kun sisäänhengitysvaiheessa pallea vetäytyy alaspäin, intra-abdominaalinen paine nousee. **Intra-abdominaalisen paineen nousu puristaa laskimoverta sydämeen**, koska alaraajojen laskimoläpät estävät takaisinvirtauksen alaraajalaskimoihin (kaksitahtikone).
- Ala- ja yläonttolaskimoista tuleva laskimopaluu täyttävää oikean eteisen, josta veri oikean kammion pumppaamana menee keuhkovaltimoiden kautta **keuhkojen kapillaariverenkiertoon, jossa happi sitoutuu hemoglobiiniin**.
- **Kammirelaksaatio "imee" verta eteisestä vasempaan kammioon**. Vasemman eteisen supistuminen lopputäyttää vasemman kammion ja luo ns. esikuorman (sydänlihaksen venyntyminen ennen supistumista).
- Intraperikardiaalisen paineen nousu rajoittaa vasemman kammion täyttymistä. Myokardiumin jäykistyminen heikentää venyvyyttä ja vähentää kammion täyttymistä.
- Vasemman kammion täyttö lisää **iskuvolyymiä (vasemman kammion supistuessa pumpatun veren määrää)** määrättyyn rajaan asti.

Hengityksen ja verenkierron tarkoituksena on hapen tarjonta ja hiilidioksidin poisto

- Sympaattinen hermosto ja katekoliamiinit lisäävät sydämen **supistumisherkkyttä** (contractility).
- Kontraktiliteetin lisääntyminen lisää samalla täytöllä tapahtuvaa kammion tyhjenemisen määrää (pienentää loppusystolista volyymia ja lisää ejektiofraktiota).
- Kontraktiliteetin lisääntyminen **lisää iskuvolyyymiä**.
- Sympaattinen stimulaatio ja katekoliamiinit lisäävät sydämen sykettä. **Syke ja iskuvolyyymi määräävät minuuttivolyymin (cardiac output)**.
- **Hyperkapnia (korkea CO₂), hypoksia (matala O₂) ja asidoosi heikentävät kontraktiliteettiä ja siten vähentävät iskuvolyyymiä.** Terveillä ihmisillä syketaajuuden nousun vaikutus minuuttivolyyymiin on suurempi kuin iskuvolyymin muutos.
- Keskimääräisellä 72 /min syketaajuudella ja 70 ml/syke iskuvolyyymilla sydämen **minuuttivolyyymi on noin 5 L/min.** Fyysinen rasitus voi lisätä minuuttivolyyymiä jopa 7 kertaiseksi.

Hengityksen ja verenkierron tarkoituksena on hapen tarjonta ja hiilidioksidin poisto

- **Elimistön hapentarjontaan vaikuttavat keuhkoihin tulevan hapen määrä, keuhkoissa tapahtuva kaasujen vaihto, veren virtaus ja veren hapenkuljetuskapasiteetti.**
- Veren virtaukseen vaikuttavat verisuonten supistumisaste ja sydämen minuuttivolyymi.
- **Veren happimäärään vaikuttavat liuenneen hapen määrä, hemoglobiinin määrä, ja hemoglobiinin happiaffiniteetti.** Happi sitoutuu oksygenaatiolla rautaan. **Hapen (oxygen-hemoglobin) dissosiaatiokäyrä** kuvaa hemoglobiinin hapenkuljetuskykyä suhteessa happiosapaineeseen (PO_2).
- Kun veri tasapainottuu 100 %:sti hapella ($PO_2 = 760$ mmHg), normaali hemoglobiini satureituu 100 %. **Yhdessä dL verta on noin 20 mL happea sitoutuneena hemoglobiiniin. Liuenneen hapen määrä on PO_2 lineaarinen funktio (0.003 mL/dL verta / mmHg $PO_2 \rightarrow 0.3$ mL/dL verta kun PO_2 100 mmHg jolloin normaalisti SaO_2 98%).**

Hengityksen ja verenkierron tarkoituksena on hapen tarjonta ja hiilidioksidin poisto

Telia FI 4G (VPN) 22.15 12 %

Oxygen Content of Arterial Blood

Oxygen Content of Arterial Blood

Hgb gm/dL

O2Sat %

PaO2 mmHg

Result:

CaO2 mL/L

Decimal Precision:

Formula

$$\text{CaO}_2 = (\text{Hgb} * 13.4 * \text{O}_2\text{Sat} / 100) + (\text{PaO}_2 * 0.031)$$

- Hapen tarjonta

- Oxygen delivery (DO_2) = $\text{CaO}_2 \times \text{CI} \times 10$;
 CaO_2 (ml/dl) = $1.34 \times \text{Hgb} \times \text{SaO}_2/100 + 0.003 \times \text{PaO}_2$
 - CI (l/min/m²) = CO/BSA (CO, cardiac output; BSA, Body Surface Area)
 - $\text{CO} = \text{SV} \times \text{HR}$ (SV, stroke volume; HR, heart rate)
 - **CaO₂ = arterial oxygen content**
(valtimoveren happisisältö, viitearvo 20 ml/100 ml verta kun Hb on 15g/100 ml)
 - 1.34 = hemoglobin oxygen binding capacity (ml of oxygen in g of hemoglobin)
 - Hgb (g/dl) = arterial hemoglobin concentration
 - SaO₂ (%) = arterial oxygen saturation
 - 0.003 = correction factor for the amount of oxygen dissolved in the blood (0.003 ml oxygen/100 ml blood/l mmHg)
 - PaO₂ (mmHg) = arterial oxygen partial pressure

Legal Notices and Disclaimer

All information contained in and produced by the MedCalc 3000 system is provided for educational purposes only. This information should not be used for the diagnosis or treatment of any health problem or disease. **THIS INFORMATION IS NOT INTENDED TO REPLACE CLINICAL JUDGMENT OR GUIDE INDIVIDUAL PATIENT CARE IN ANY MANNER.** [Click here for full notice and disclaimer.](#)

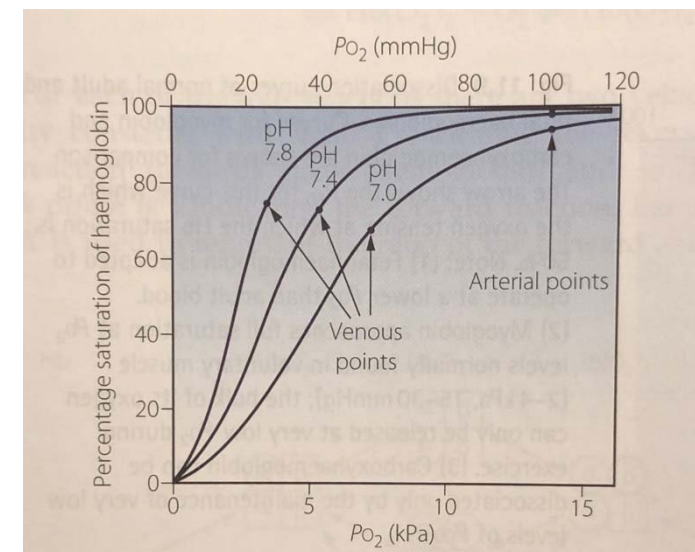
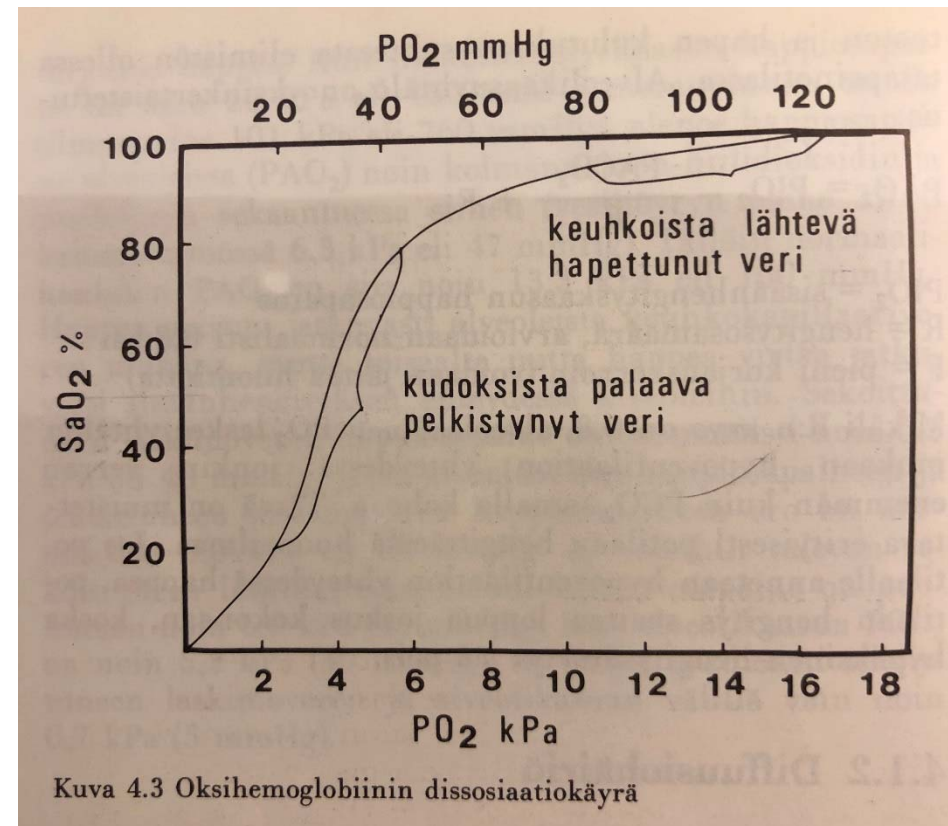
MedCalc 3000 is Copyright © 1998-2011 Foundation Internet Services, LLC [Build 244179 v11.2.2]

Oxygen delivery (DO_2) = $\text{CaO}_2 \times \text{CI} \times 10$; $\text{CaO}_2 \text{ (ml/dl)} = 1.34 \times \text{Hgb} \times \text{SaO}_2/100 + 0.003 \times \text{PaO}_2$

- **Valtimoveren happisisältö on noin 20 ml/dl. Tästä liuenneen hapen määrä on noin 0.3 ml, kun FiO_2 on 0.21.**
 - **Hapen (hemoglobiinin) saturaatioaste** vaikuttaa valtimoveren happisisältöön enemmän kuin liuenneen hapen määrä. Mitä matalampi on mitattu SaO_2 , sitä merkittävämmässä roolissa hapen saturaatio on suhteessa liuenneen hapen määrään.
 - **Hemoglobiinitason merkitys valtimoveren happisisältöön** on suurin lähellä normaalia olevilla SaO_2 / PaO_2 arvoilla. Matalammilla SaO_2 / PaO_2 arvoilla SaO_2 / PaO_2 nostamisen merkitys valtimoveren happisisältöön on samaa suuruusluokkaa tai suurempi kuin kohtuullisella Hb –tason nostamisella (esim. anemiassa).
 - **Asidoosi ja kuume** muuttavat hapen saturaation ja happiosapaineen suhdetta niin että samaa SaO_2 laskua kohden PaO_2 laskee nopeammin.
 - **Hemoglobiiniin sidottu happi muodostaa ”happivaraston”. Happi siirtyy kudoksiin liukoisessa muodossa. Vaikka liukoisen hapen määrä on pieni, niin sen merkitys on vitaali.**
 - **Cardiac index merkitys hapen tarjontaan on suuri**, tilanteesta riippuen samaa suuruusluokkaa kuin happikontentin merkitys.
-
- Terveellä ihmisellä PaO_2 kaksinkertaistaminen tasolta 100 mmHg (13.3 kPa) tasolle 200 mmHg nostaa SaO_2 tasolta 98 % tasolle 100 %. Tällöin valtimoveren happisisältö (CaO_2) nousee tasolta 20.0 tasolle 20.7. Noususta 0.4 ml/dl johtuu SaO_2 muutoksesta ja 0.3 ml/dl johtuu PaO_2 noususta. Nousu johtuu siis yhtä lailla SaO_2 muutoksesta kuin PaO_2 (liuenneen hapen määrä) noususta.
 - PaO_2 nosto tasolta 10 kPa (75 mmHg) tasolle 13 kPa (100 mmHg) nostaa SaO_2 tasolta 92 % tasolle 99 % → CaO_2 nousee tasolta 18.7 tasolle 20.4. Noususta 1.6 ml/dl johtuu SaO_2 muutoksesta ja 0.07 ml/dl PaO_2 noususta (liuenneen hapen määrän noususta). Nousu johtuu pääosin SaO_2 noususta. Hb tasolla 12 g/dl, vastaava CaO_2 nousu olisi tasolta 15.0 ml/dl tasolle 16.2 ml/dl (1.2 ml/dl).
 - PaO_2 nosto tasolta 5.3 kPa (40 mmHg) tasolle 8 kPa (60 mmHg) nostaa SaO_2 tasolta 75 % tasolle 90 % → CaO_2 nousee tasolta 15.2 tasolle 18.3. Noususta 3.0 ml/dl johtuu SaO_2 muutoksesta ja 0.06 ml/dl johtuu PaO_2 noususta (liuenneen hapen määrän noususta). Nousu johtuu aikaisempia esimerkkejä enemmän SaO_2 noususta. Hb tasolla 12 g/dl, vastaava CaO_2 nousu olisi 2.6 ml/dl.
 - SaO_2 92 % / PaO_2 75 mmHg skenaariossa, jos Hb on lähtötilanteessa 10 g/dL, niin sen nosto tasolle 12 g/dl nostaa CaO_2 tasolta 12.5 tasolle 15.0 (2.5 ml/dl). Tämä on kaksinkertainen verrattuna siihen, että SaO_2 saadaan nousemaan tasolta 92 % tasolle 99 %.

Oksihemoglobiinin dissosiaatiokäyrä (Bohr 1904)

- Vereen liuenneen O₂ määrä on lineaarisessa suhteessa PO₂
- Hemoglobiinin happikyllästeisyysasteen ja PO₂ suhde on sigmoidi
- **Kapillaareissa verenkiertoon siirtyy kudosten aineenvaihdunnan tuotteena CO₂ joka laskee pH jonka vuoksi dissosiaatiokäyrä siirtyy oikealle ja tulee laakeammaksi, jonka seurauksena O₂ vapautuminen hemoglobiinista lisääntyy. Vastaavasti O₂ uptake lisääntyy keuhkokapillaarien normaalissa CO₂ ja pH ympäristössä (Bohr efekti).**



- Taustatietoa hengityksestä ja verenkierrosta
- **Hengityskonehoidon vaikutuksista keuhkoihin**
- Ventilaatiojärjestelmistä
- Hengitysmalleista
- Respiraattoreista
- Mä luulen että mä ehkä tekisin -osio



Hengityskonehoito ja akuutti keuhkovaurio (ALI)

- Kertavolyymi (TV)
 - **Alveolien ylivenyttäminen** aiheuttaa keuhkovauriota. ALI:ssa vain kolmannes keuhkoista saattaa ventiloitua, jolloin normaali TV aiheuttaa tälle alueelle vastaavan TV kuin terveelle ihmiselle noin 2 L TV.
- Painecontrolloitu hengitys
 - Riittävän minuuttivolyymien (MV) ylläpito haastavaa ALI:ssa.
 - Käänteinen I/E suhde
 - **Permissivinen hyperkapnia**, jossa PaCO₂ annetaan nousta tasolle jossa ei vielä ilmaannu haitallista respiratorista asidoosia
- PEEP
 - **Vähentää ventiloitumattoman keuhkon laajutta**. Oikovirtaus vähenee ja PaO₂ nousee. Heikentyneestä keuhkojen komplianssista johtuen cardiac output (CO) laskee vähemmän kuin muuten olisi odottavissa (noin 20% PEEP-tasolla 15 cmH₂O).
 - Tutkimuksissa 13 vs 8 cmH₂O PEEP paransi PaO₂ mutta ei vaikuttanut myönteisesti eloon jäämiseen.
 - **Korkealla PEEP –tasolla on haitallisia vaikutuksia keuhkokudokseen**

Barotrauma

- Hengityskonehoito voi aiheuttaa **paineesta johtuvaa** keuhkovauriota (barotrauma).
- Pitkäaikainen korkea transmuraalinen painegradientti voi vaurioittaa keuhkoa.
- Seurauksena voi olla **subkutaani emfyseema, pneumomediastinum, pneumothorax**.
- Barotraumasta voi seurata **bronchiolectasis, jossa terminaaliset ja respiratoriset bronkiolit laajenevat**. Korkea PEEP, korkeat huippuilmatiepaineet, suuret TV, pitkä hengityskonehoito voivat aiheuttaa.

Volutrauma (VALI)

- Ajatellaan olevan merkittävässä roolissa ALlin liittyvässä keuhkovauriossa.
- Ilmenee **interstitiaalisena tai alveolaarisena keuhkoödeeminä**.
- Alveolaarinen venytys aiheuttaa **permeabiliteetin** lisääntymistä.
- Toistuva pienten ilmäteiden sulkeutuminen ja avautuminen aiheuttaa **"atelectrauma"**, aiheuttaen lopulta **mukosaalista ödeemiä**, josta seuraa lopulta kollapsi. Rekrytointi korkealla PEEPillä johtaa pahenevaan keuhkovaurioon.
- Kohtuullinen PEEP ehkäisee syklistä ilmäteiden sulkeutumista, ylläpitää surfaktantin toimintaa ja vähentää VALIa
- TV pienentäminen siinä määrin kuin mahdollista (pH) ehkäisee suojaa keuhkoa.
- **Ilmäteiden plateau paine kuvastaa parhaiten alveolaarista venytystä. Jos rintakehän komplianssi on normaali, ei plateau paine saisi ylittää tasoa 35 cmH₂O.**

Keuhkoja suojaava hengitys

- **Suurten TV välttäminen, korkeiden ilmatiepaineiden välttäminen, haitallisen korkeiden FiO2 välttäminen**
 - Painecontrolloitu hengitys, jossa alkuvaiheessa TV 6-8 ml/kg
 - PEEP paine-tilavuuskäyrä huomioiden tai tasoa nostaen kunnes PaO2 on riittävä tai kardiovaskulaarinen tila alkaa huonontua
 - **Jos plateau pressure > 35 cmH2 tai FiO2 > 0.65, pitäisi harkita vaihtoehtoisia ventilointimuotoja**
 - Rekrytointi, käänteinen I/E suhde, vatsa-asento, typpioksidi, high frequency ventilation, kehonulkoinen kaasujen vaihto

Atelektaasit - yleisanestesia

- Anestesian **esihapetusvaiheessa** FiO_2 0.6 – 0.8 aiheuttaa vähemmän atelektaaseja kuin FiO_2 1.0 %, CT –tutkimusten perusteella. Esihapetusta käytetään estämään hypoksiaa.
- Anestesian **ylläpitovaiheessa** korkea FiO_2 aiheuttaa atelektaasien muodostusta. Toisaalta, vertailtaessa FiO_2 0.8 ja 0.3, ei postoperatiivisten atelektaasien määrässä havaittu eroa.
- **Ennen ekstubaatiota** FiO_2 1.0 saattaa lisätä postoperatiivista atelektaasien muodostumista.
- N_2O ei aiheuttane absorptioatelektasia (liittyen N_2 eliminaatioon ja korvautumiseen N_2O :lla).

Atelektaasien avaaminen yleisanestesian aikana - rekrytointi

- Vitaalikapasiteettitekniikka
 - Sisäänhengityksen huippupaineen nostaminen tasolle 30 cmH₂O 15 sekunnin ajaksi, jonka jälkeen IPPV (tai muu käytössä oleva hengitysmalli) 3-5 min ajan ja toistettuna kolmasti. Neljännellä kerralla **huippupaineen nosto tasolle 40 cmH₂O**.
- PEEP
 - PEEP:n nosto 5 cmH₂O portain vajaan minuutin välein ja 15 cmH₂O tasolla TV nosto niin että **huippupaine on tasolla 40 cmH₂O**.
 - Maquet FLOW-i oma ”rekrytointityökalu” ohjelma joka tekee automaattisesti PEEP –perusteisen rekrytoinnin
- Rekrytoinnin jälkeen PEEP luokkaa 10 cmH₂O

- Taustatietoa hengityksestä ja verenkierrosta
- Hengityskonehoidon vaikutuksista keuhkoihin
- **Ventilaatiojärjestelmistä**
- Hengitysmalleista
- Respiraattoreista
- Mä luulen että mä ehkä tekisin -osio

Kaasunkiertojärjestelmät

- Systems without gas reservoir
 - Avoin
 - Kaasureservuaariin sekoittuu ilmaa aina ennen uutta sisäänhengitysvaihetta, jolloin tarkka kaasukomposition kontrollointi on mahdotonta (esim. käsiventilointi Reesin systeemillä)
- Non-rebreathing systems
 - Kaasunkiertojärjestelmässä ei käytetä CO₂ absorberia
 - Puoliavoin
 - Tuorekaasuvirtaus > minuuttivolyymi
- **Rebreathing systems (yleistyivät Suomessa 1990 –luvulta alkaen)**
 - CO₂ poistetaan käyttämällä kemialliseen reaktioon perustuvaa CO₂ absorberia
 - Puolisuljettu
 - Tuorekaasuvirtaus > uptake ja < minuuttivolyymi
 - Muutos puolisoljetusta kohti suljettua systeemiä on jatkumo
 - Suljettu
 - Tuorekaasuvirtaus = uptake

Anestesiaventilaattoreiden tuorekaasuvirtauksesta

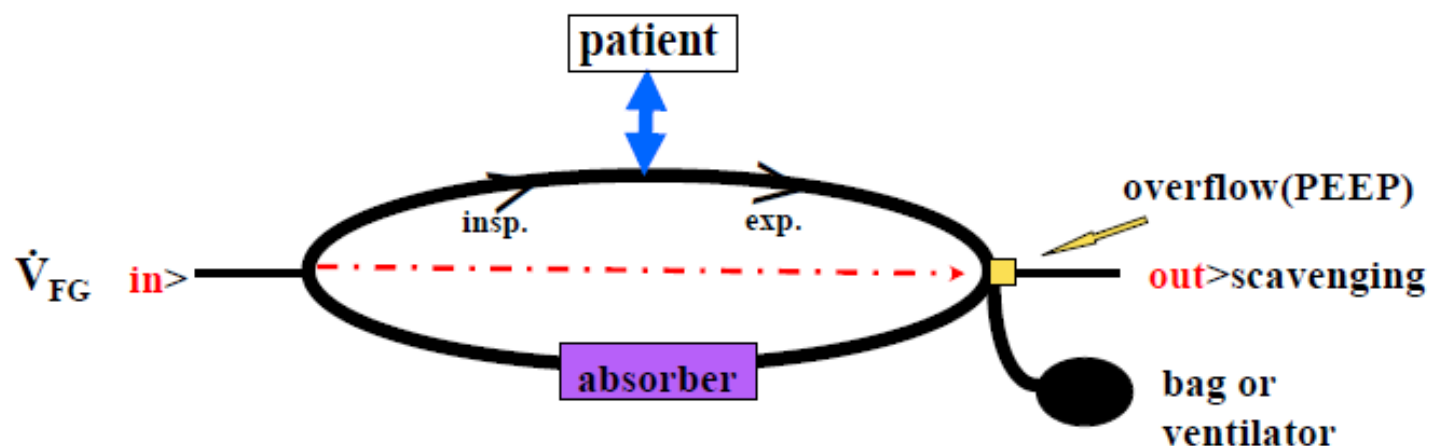
- FGF –rajat ovat keinotekoisia, kyse on jatkumosta
 - Määritelmiä on useita, esim. Baumin käyttämä luokittelu (Baum J. Low flow anaesthesia, 2nd ed., Butterworth-Heinemann 2001)
- Low flow
 - Tuorekaasuvirtaus 0.5 - 1.5 L/min
- Minimal flow
 - Tuorekaasuvirtaus 0.3 - 0.5 L/min
- TAI esim. De Monte A, et al. Low flow, minimal flow and closed circuit system inhalational anesthesia in modern clinical practice. SIGNA VITAE 2008; 3 Suppl 1: S33-6

Table 1. Classification of anesthesia circuits according to Baker and Simionescu.

Circuit	Fresh gas flow
Metabolic flow	~ 250 ml/min
Minimal flow	250-500 ml/min
Low flow	500-1000 ml/min
Medium flow	1-2 L/min
High flow	2-4 L/min
Open	> 4 L/min

- **Kiertojärjestelmä absorberilla**

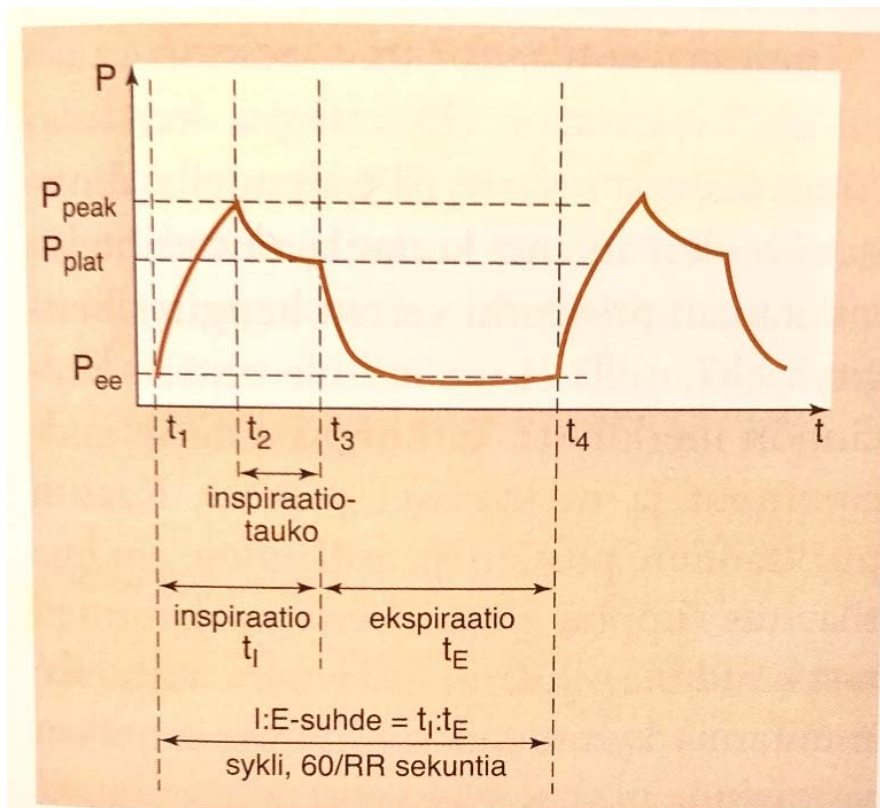
- CO₂ poistetaan kierrosta **absorberilla**
- CO₂-taso määräytyy **minuuttiventilaatiosta**
- Kaasujen uudestaankäyttö (rebreathing)
riippuu tuorekaasuvirtauksesta



Tampere 22.1.2009

- Taustatietoa hengityksestä ja verenkierrosta
- Hengityskonehoidon vaikutuksista keuhkoihin
- Ventilaatiojärjestelmistä
- **Hengitysmalleista**
- Respiraattoreista
- Mä luulen että mä ehkä tekisin -osio

Anestesiaventilaattorin painekäyrä ja sen osat



Kuva 6. Tyypillinen mekaanisen ventiloinnin painekäyrä ja siihen liittyviä käsitteitä. P_{peak} = huippupaine, P_{plat} = tasopaine, P_{ee} = uloshengityksen loppupaine, inspiraatiotauko = tauko, jonka lopussa on tasopaine, inspiraatio = sisäänhengitys, ekspiraatio = uloshengitys, t_I = sisäänhengitysaika, t_E = uloshengitysaika.

Modes of mechanical ventilation in the operation room

Ball L, et al. Best Pract Res Clin Anaesth, accepted 20 Aug 2015

Tables

Manufacturer	Model	Ventilator type	Modes of ventilation	Optional modes of ventilation	Tidal volume (mL)	Respiratory rate (breaths/min)	Inspiratory flow (L/m)	Pressure limit (cmH ₂ O)	PEEP (cmH ₂ O)
Drager Medical	Perseus A500	Turbine	Manual/spontaneous, PC-CMV, PC-BIPAP, VC-CMV, VC-CMV/AF, VC-SIMV/AF	CPAP/PS, PC-BIPAP/PS, VC-SIMV/AF/PS, PC-APRV	20 to 2000	3 to 100	0 to 180	7 to 80	Off, 2 to 35
Drager Medical	Apollo	Piston	Manual/spontaneous, VC-CMV, PC-CMV	PS, VC-CMV/AF	20 to 1400	3 to 100	0 to 150	up to 70	0 to 20
GE Healthcare	Aisys CS2	Ascending bellows	VC-CMV	PC-CMV, PCV-VG, VC/PC/VG-SIMV, CPAP/PS	20 to 1500	4 to 100	0 to 120	12 to 100	Off, 4 to 30
MEDEC	Saturn Evo	Horizontal bag-in-bottle bellows	VC-CMV, VC-SIMV, PC-CMV, PC-SIMV	PS	10 to 1600	4 to 80	Not specified	7 to 99	0 to 20
Spacelabs Healthcare	Blease e900	Ascending bellows	VC-CMV, PC-CMV, SIMV	PS	20 to 1500	2 to 99	up to 100	10 to 70	3 to 20
Maquet	FLOW-i	Volume Reflector	Manual/spontaneous, VC-CMV, PC-CMV	PS, PRVC, SIMV	20 to 2000	4 to 100	0 to 200	0 to 120	0 to 50

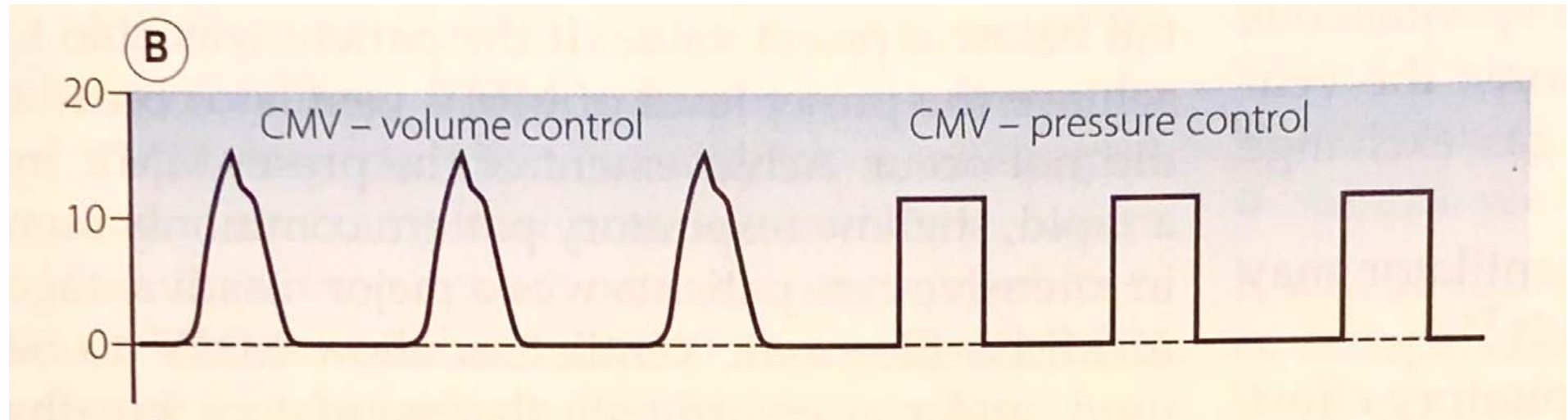
Table 1. Some of the commercially available mechanical ventilators for the operating room. PC: Pressure Controlled, VC: Volume Controlled, CMV:

Continuous Mandatory Ventilation, SIMV: Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation, BIPAP: Bilevel Positive Airway Pressure, AF:

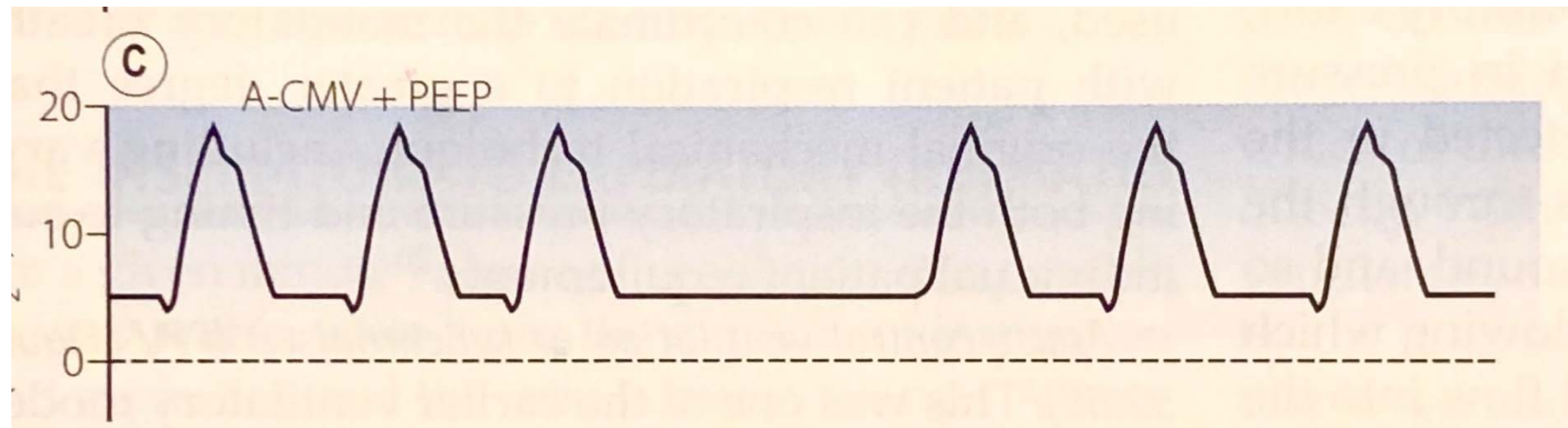
AutoFlow, CPAP: Continuous Positive Airway Pressure, APRV: Airways Pressure Release Ventilation, PS: Pressure Support, VG: Volume-

Guaranteed. PRVC: Pressure Regulated Volume Control. Technical parameters were retrieved on the manufacturers' website on April 2015.

- Assist-control ventilaatio tai synkronoitu IPPV (Intermittent Positive Pressure Ventilation)
 - Volyymikontrolloitu IPPV jossa potilas triggaa hengityksen joko negatiivisella paineella tai virtauksella
- Airway Pressure Release Ventilation (APRV)
 - ”Käänteinen IPPV”, jossa hengityskierrossa pidetään positiivinen paine (P_{high}), joka ajoittain päästetään alemmalle painetasolle (P_{low}), uloshengityksen mahdollistamiseksi.
 - Potilas voi hengittää missä tahansa hengityssyklin vaiheessa. Yleensä spontaani hengitys tapahtuu P_{high} tasolla, jolloin sisäänhengitys alkaa funktionaalista residuaalikapasiteettia suuremmalla keuhkojen tilavuudella.
 - Tiheämmät ja pidemmät P_{low} vaiheet lisäävät minuuttivolyymiä, tehostavat CO_2 eliminaatiota, laskevat keski-ilmatiepainetta mutta samalla altistaa keuhkokudoksen kollapsille ja hapetuksen huononemiselle.



pressure-controlled inspiration. (C) A-CMV, assist-control mode ventilation where breaths are triggered by a fall in circuit pressure. When apnoea occurs, ventilator breaths occur without triggering. (D) APRV,



spontaneous breathing. (B) CMV, control mode ventilation showing volume and pressure-controlled inspiration. (C) A-CMV,

09:12

PAINEKONTROLI 
AGC

P. huippu (cmH₂O)
35 **19**

PEEP (cmH₂O)
11 **10**

MVi (l/min)
4.3

VTi (ml)
304

MVe (l/min)
3.9

I:E
1:2.0

VT_e (ml)
283

Taajuus (krt/min)
14

Fi
0.2

Et
5.2

CO₂ (kPa)
0.7

O₂ (%)
41

DES (%)
5.3

O₂ ilma **DES**
4.3

MAC
Ikä: 83 **0.8**

Kok-FGF
0.4

0.20 **0.15**
l/min l/min

11
ml/h



APL
SP
SP cmH₂O 80

Kaasuseos
O₂/ILMA

Nopeus
1 2 3 4 5 6 7 8 max

Kohde FiO₂
40
% 80 MAX

Kohde-EtDES
4.6
OFF 0 % 18.0

PEEP
10
cmH₂O 50

Hengitystaajuus
14
krt/min 100

PC PEEPin päälle
9
cmH₂O 120

03-20 09:07



PBW: 42 kg



O₂ Ilma N₂O
(kPa*100) 4.2 5.2 3.2
(kPa*100) -

PRVC
AGC

MANUAALINEN

P. huippu (cmH₂O)

35

20

PEEP (cmH₂O)

11

10

MVi
(l/min)

4.6

I:E

1:1.9

VTi
(ml)

324

VT_e
(ml)

311

MVe (l/min)

20.0

4.4

Taajuus (krt/min)

20

14

Fi

Et

CO₂ (kPa)

0.7

0.2

6.5

5.6

O₂ (%)

30

41

4.0

35

DES (%)

16.0

5.6

12.0

4.4

O₂ Ilma

DES

MAC
Ikä: 83

0.9

Kok-FGF
(l/min)

0.4

0.30 0.10
l/min l/min

11
ml/h

1 Paine (cmH₂O)



2 Virtaus (l/min)



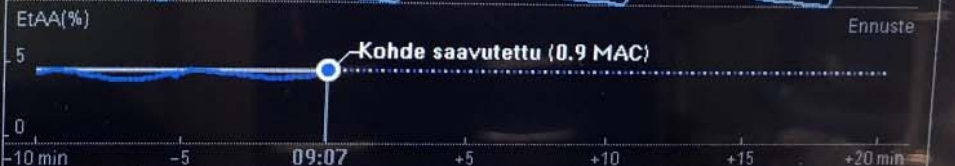
3 CO₂ (kPa)



500 Volyyymi (ml)



EtAA(%)



Kohde saavutettu (0.9 MAC)

Ennuste

APL
SP

SP cmH₂O 80

Kaasuseos
O₂/ILMA

Nopeus



Kohde FiO₂
40

30 % 80 MAX

Kohde-EtDES
4.6

OFF 0 % 18.0

PEEP
10

0 cmH₂O 50

Hengitystaajuus
14

4 krt/min 100

Kertatilavuus
330

100 ml 2000

03-20 09:09



PSW: 42 kg



O₂ Ilma N₂O
(kPa*100) 4.2 5.1 3.2
(kPa*100) - - -

VOLYYMIKONTROLLI

AGC



MANUAALINEN

P. huippu (cmH₂O)

35

23

PEEP (cmH₂O)

11

10

MVI
(l/min)

4.9

I:E

1:1.9

VTi
(ml)

348

VT_e
(ml)

336

MVe (l/min)

4.7

Taajuus (krt/min)

20

14

Fi

CO₂ (kPa)

0.7

0.2

Et

5.2

O₂ (%)

30

42

25

36

DES (%)

16.0

5.7

12.0

4.6

O₂ Ilma DES

MAC
Ikä: 83

0.9

Kok-FGF 0.4

0.27 0.13
l/min l/min

7
ml/h

APL

SP

cmH₂O 80

Kaasuseos
O₂/ILMA

Nopeus

1 2 3 4 5 6 7 8 max

Kohde FIO₂

40

% 80 MAX

Kohde-EtDES

4.6

OFF 0 % 18.0

PEEP

10

cmH₂O 50

Hengitystaajuus

14

krt/min 100

Kertatilavuus

350

ml 2000

30 Paine (cmH₂O)



50 Virtaus (l/min)



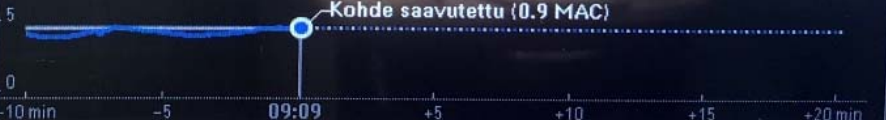
7 CO₂ (kPa)



500 Volyyti (ml)



EtAA(%)



Kohde saavutettu (0.9 MAC)

Ennuste

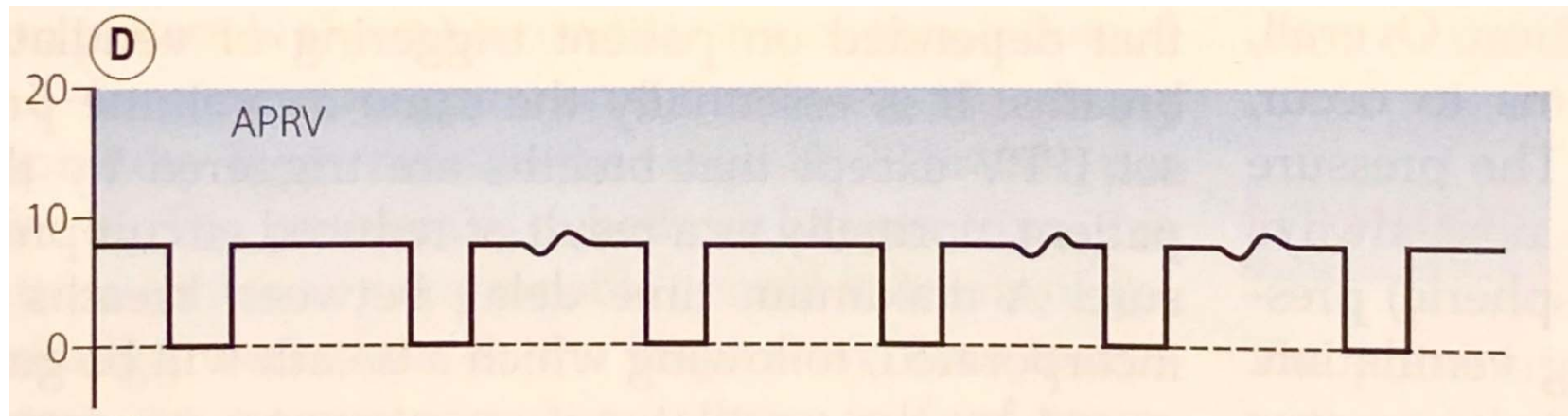
-10 min -5 09:09 +5 +10 +15 +20 min

Tauko

Kaasu-
asetukset

Hengityshoito-
asetukset

MAQUET



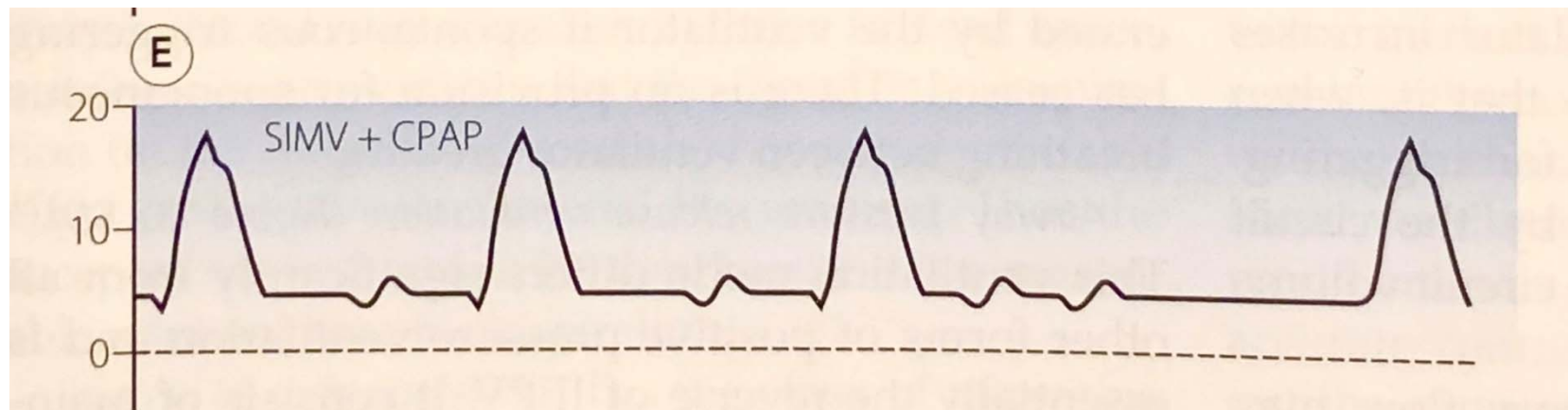
breaths occur without triggering. (D) APRV, airway pressure release ventilation with an upper airway pressure (P_{high}) of 8 cmH₂O and simultaneous spontaneous breathing.

- **Synchronised Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)**

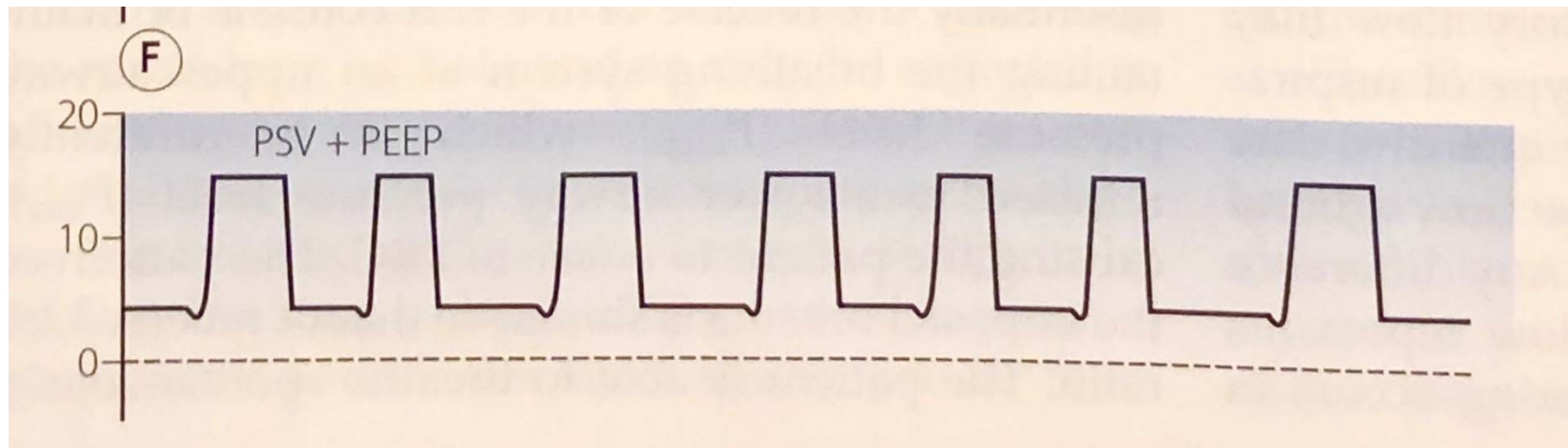
- Intermittent Mandatory Ventilation (IMV), jossa konehengitykset synkronoitu potilaan omiin hengityksiin
- Potilas voi hengittää itse konehengitysten välissä
- **SIMVin voi yhdistää painekontrolloituihin tai volyymikontrolloituihin hengityksiin.**
- **SIMViin voi yhdistää PSV (Pressure Support Ventilation), jossa sisäänhengitys laukaisee kaasuvirtauksen määrättyyn painetasoon asti. Virtaus loppuu kun potilaan oma sisäänhengitysvaihe päättyy.**

- **Bilevel Positive Airway Pressure (bilevel PAP, biPAP)**

- Ilmatiepaine vaihtelee esiasetetun inspiratorisen ja ekspiratorisen paineen välillä
- **Sama kuin PSV + CPAP (Continuous Positive Airway Pressure)**



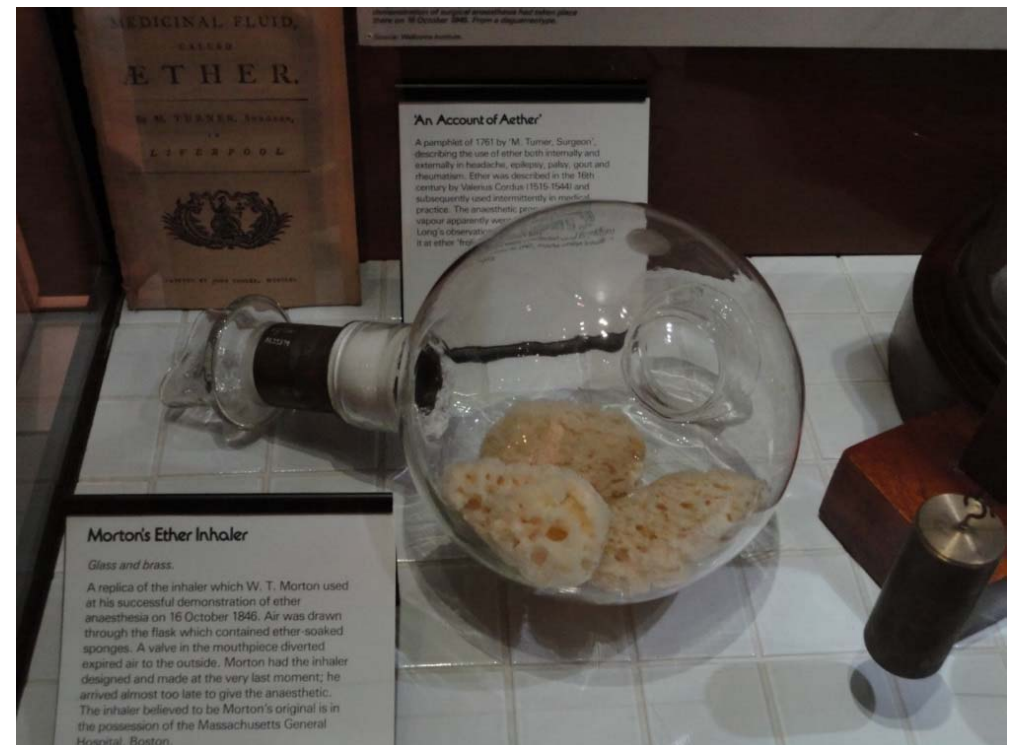
(E) SIMV, synchronised intermittent mandatory ventilation, as for A-CMV except that spontaneous breathing can occur between ventilator breaths. (F) PSV,



occur between ventilator breaths. (F) PSV, pressure support ventilation in which pressure-controlled breaths are triggered by the patient, who also controls the duration of each breath. In practice, many ventilators allow combinations of these modes, such as SIMV, PSV and PEEP together.

PSV + CPAP
 = volume PAP
 = BiPAP

- Taustatietoa hengityksestä ja verenkierrosta
- Hengityskonehoidon vaikutuksista keuhkoihin
- Ventilaatiojärjestelmästä
- Hengitysmalleista
- **Respiraattoreista**
- Mä luulen että mä ehkä tekisin -osio



Bellows

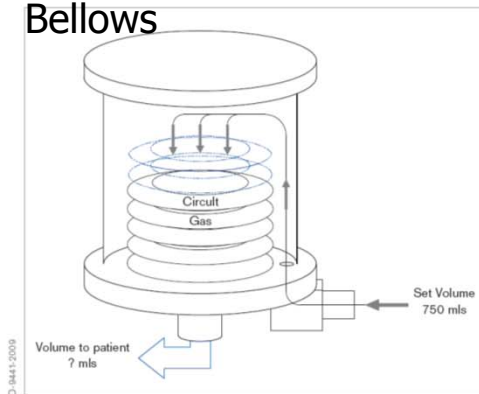
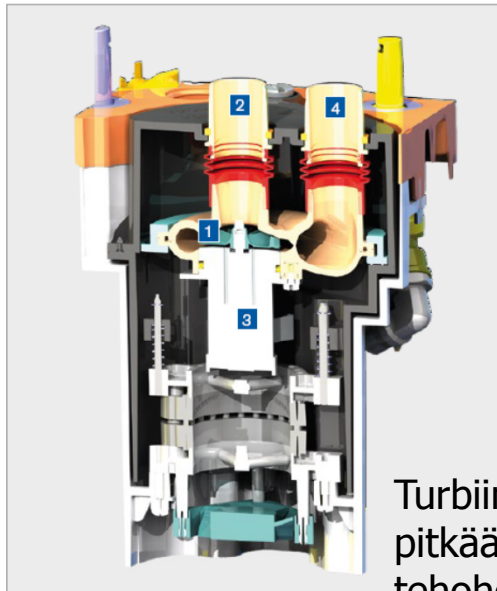
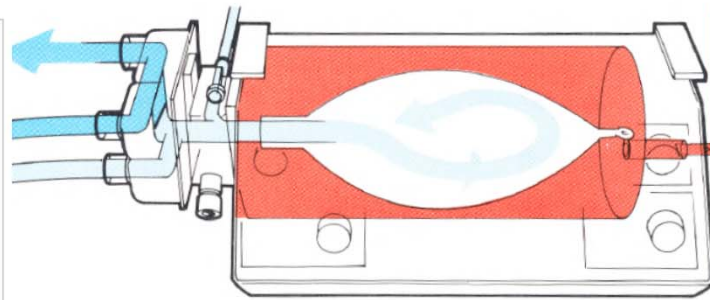


Fig. 2: To deliver a certain volume to a patient, the desired volume (eg 750 mls) is delivered into the bellows compartment displacing the bellows and pushing circuit gas to the patient. Since the pressure in the bellows compartment will vary from patient to patient, the volume displaced by the bellows will also vary. Furthermore, since the final position of the bellows is not known, the volume that was delivered by the ventilator is also not known.

The TurboVent ventilator works in a very similar way. Through the one-directional rotation of an impeller (1), a gas mixture is sucked in from the reservoir bag in the breathing system (through 2), gets compressed (1 and 3), and it is then emitted towards the patient (4).



Schematic of TurboVent ventilator

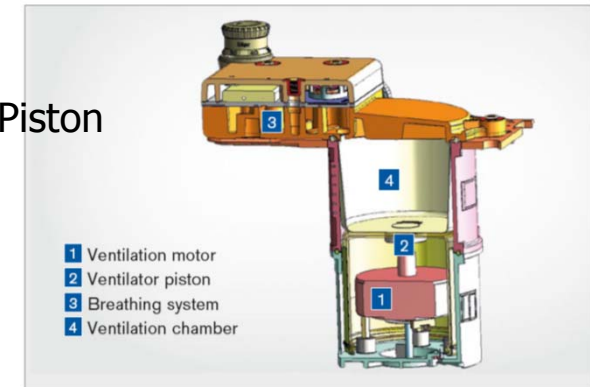


Bag in bottle

Expiratory gas

Drive gas

Piston

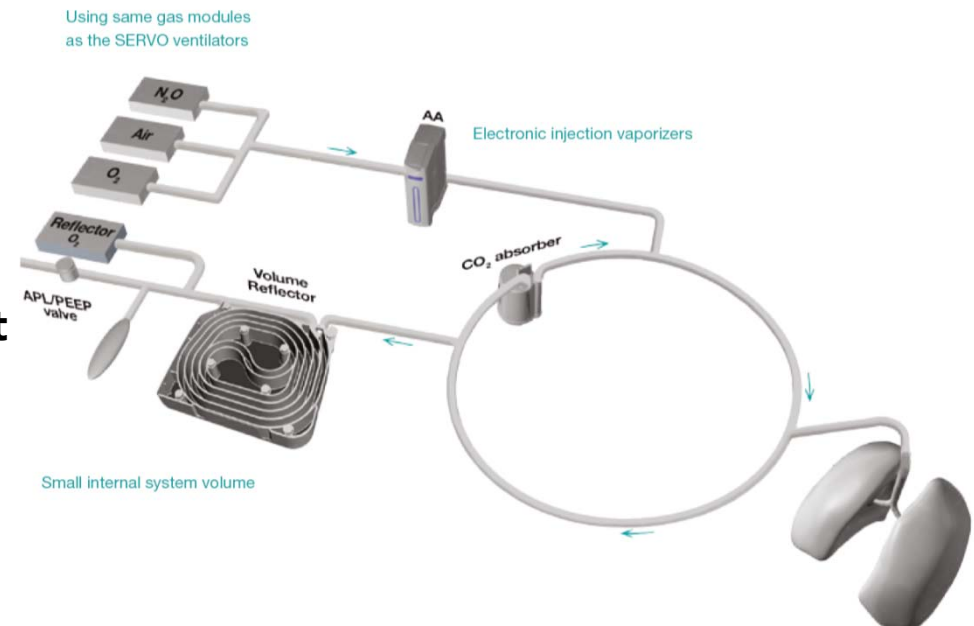


Schematic of E-Vent ventilator Apollo®

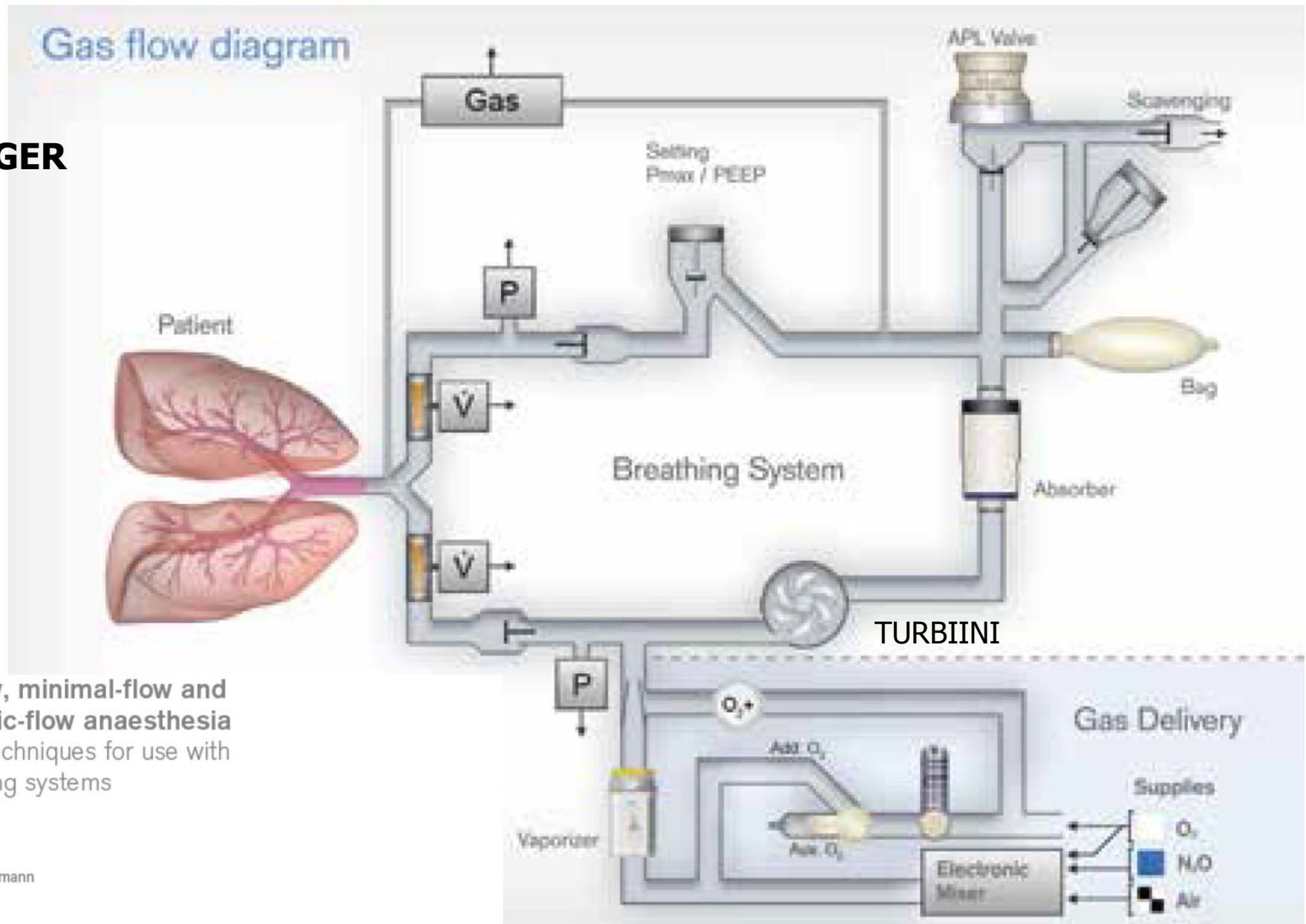
Nopeus, tarkkuus,
riittävät ja
vakioiset
virtaukset ja
paineet,
teho-
hoito-
ventilaatori-
tasoiset
hengitysmallit,
hyvä tuki
spontaanihengit-
ysmalleille

Turbiini ollut käytössä
pitkään
teho-
hoitoventilaattoreiss

Maquetilla käytössä ns. Volyme Reflector
- pystyy 95% takaisinhengitysosuuteen



DRÄGER



Low-flow, minimal-flow and metabolic-flow anaesthesia
Clinical techniques for use with rebreathing systems

Christian Hönemann
Bert Mierke

Dräger. Technology for Life®

Fig. 6: Gas flow diagram using the Perseus A500 rebreathing system as an example

SMART VENTILATION
CONTROL (SVC)

VENTILATION OPTION
OF DRÄGER ZEUS®
INFINITY® EMPOWERED

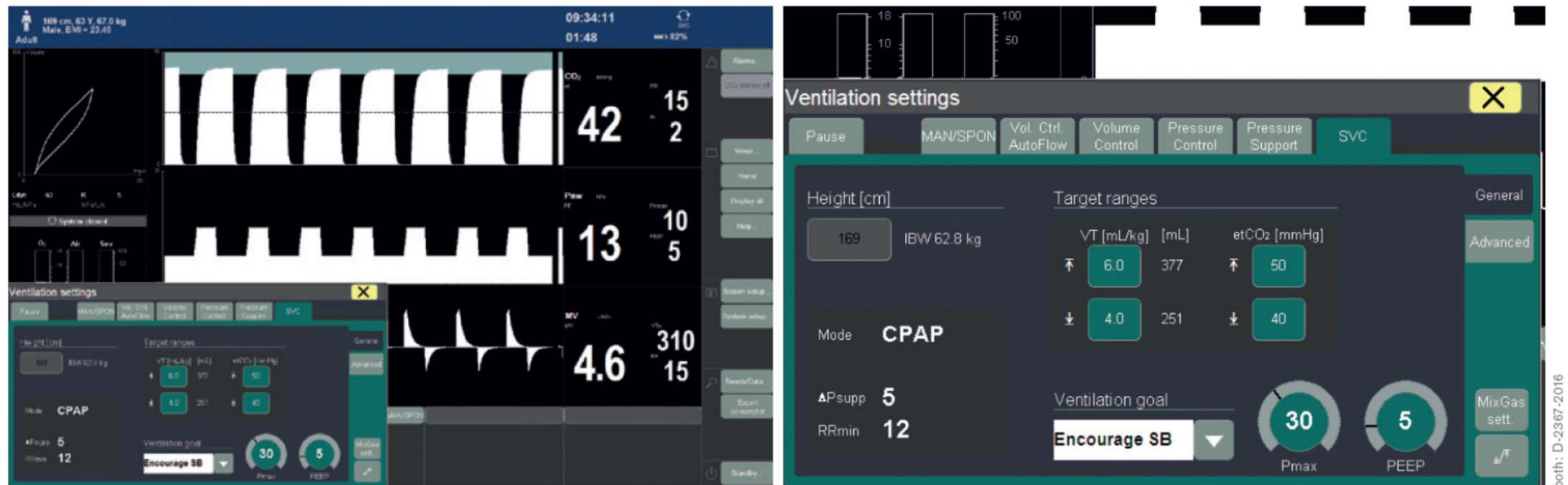
Maximise Spontaneous Breathing
during Anaesthesia

The earlier the better

SVC ensures that the emerging respiratory drive is gently being taken care of and spontaneous breathing is being fostered – safe, **spontaneous**, simple!

Säädetään tavoite TV ja
EtCO₂

**Rethink Ventilation
in the Operating Room**
Safe – Spontaneous – Simple



Smart Ventilation Control (SVC) user interface on Zeus® Infinity® Empowered

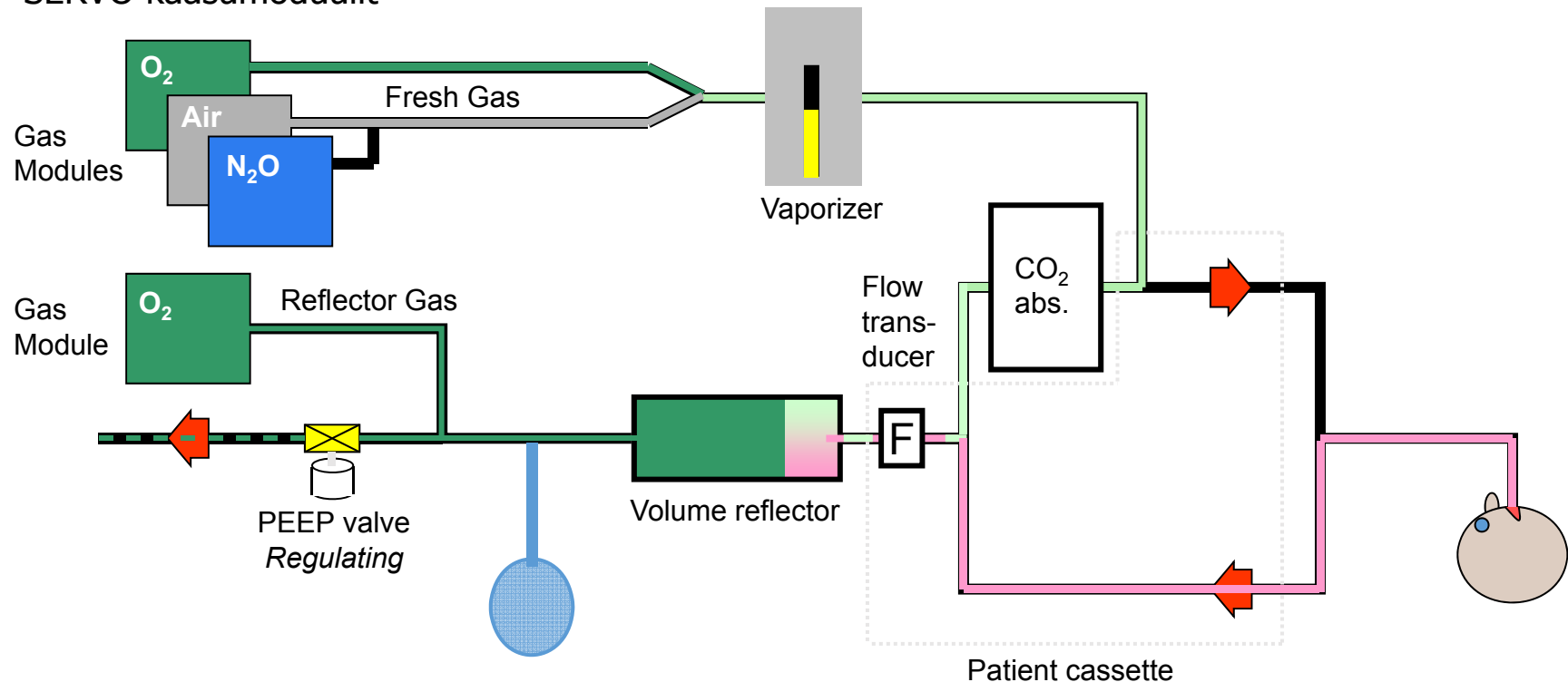
you to get there.

A simple user interface allows you to set the ventilation goal and target ranges easily. With **low tidal volumes** and a smooth **transition** from **controlled ventilation** to **spontaneous breathing SVC** – the new ventilation option of Zeus® Infinity® Empowered – offers cutting edge technology and great ventilation **comfort** for **you** and **your patient**.

EXPIRATION - FRESH GAS < 2 l/min,
kaavakuva
Maquet FLOW-i

Nopeus, tarkkuus, riittävät ja vakioiset
virtaukset ja paineet, **tehohoito-
ventilaattori-tasoiset
hengitysmallit, hyvä tuki
spontaanihengitysmalleille**

SERVO kaasumoduulit

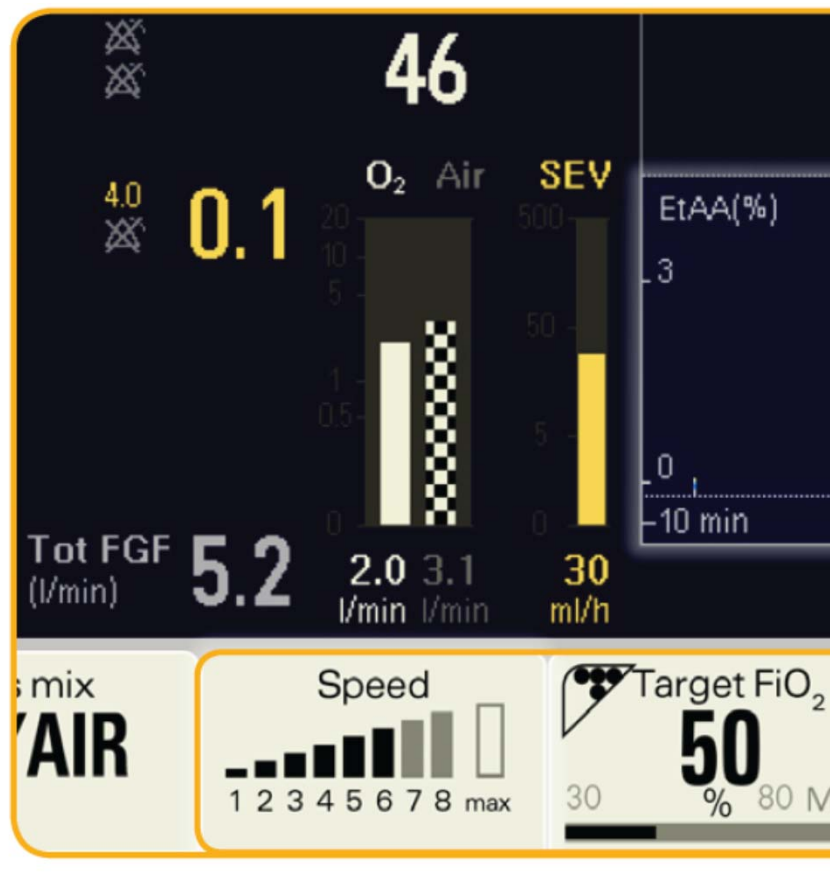


Maquetilla käytössä ns. Volyme Reflector
- pystyy 95% takaisinhengitysosuuteen

ICU **ventilation performance**
when you need it

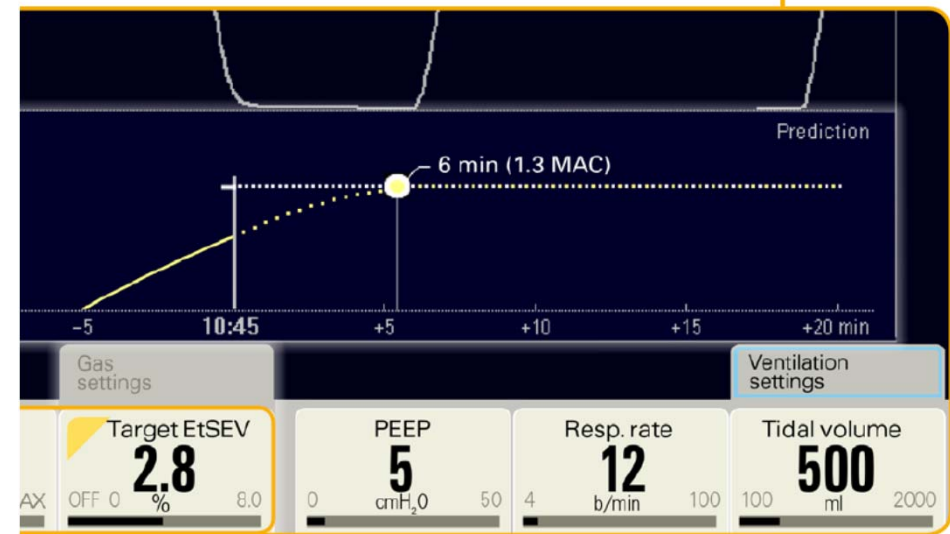


Anesthesia system with
built-in **SERVO ventilator**



Control Target EtAA

AGC automatically controls the fresh gas flow (FGF) and anesthetic agent supply in order to reach the end-tidal anesthetic agent (EtAA) target for the desired time. This removes the need for continuous manual adjustments of FGF, O₂ and anesthetic agent, giving you more time for other tasks.



Automatic Gas Control (AGC) – Maquet FLOW-i

säädetään tavoite FiO₂ ja EtAA sekä nopeus ja näyttö ennustaa saavutettavan MAC -arvon

Pre-induction

Start by pre-programming AGC between cases, when the FLOW-i is in standby or manual ventilation. You can now set target FiO_2 , end-tidal anesthetic agent (EtAA) and speed based on the patient's clinical needs and other OR inputs.



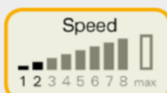
The settings are grouped and easily pre-programmed.

Display of MAC level corresponding to the target end-tidal anesthetic agent concentration.

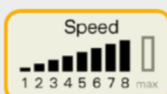
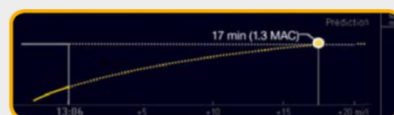


Induction

With the settings pre-programmed you can now start AGC. During induction AGC allows you time to monitor the patient's status and complete other responsibilities. If needed adjust the speed to target or target EtAA with a single maneuver. FLOW-i will adjust FGF and anesthetic agent delivery accordingly.



Induction with low speed setting, resulting in a corresponding prediction of 17 minutes to target.



Induction with high speed setting, resulting in a corresponding prediction of 2 minutes to target.



Maintenance

Once your target EtAA is reached, AGC automatically reduces the fresh gas flow, allowing you to safely ventilate your patient with a fresh gas flow down to 0,3 liters per minute.

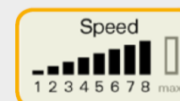
Furthermore, FLOW-i's unique active O_2 GUARD™ function is designed to reduce the risk of hypoxia.



Automatic adjustment of FGF and other relevant values improves convenience and safety at low and minimal flow anesthesia.

Emergence

Change your target EtAA and adjust the speed, if you need a fast or slow emergence as per surgical requirements. This can also help maintain the OR schedule.



AGC lets you set the speed of emergence, clearly visualizing present point and time to target.

- Taustatietoa hengityksestä ja verenkierrosta
- Hengityskonehoidon vaikutuksista keuhkoihin
- Ventilaatiojärjestelmistä
- Hengitysmalleista
- Respiraattoreista
- **Mä luulen että mä ehkä tekisin -osio**

- Jos kirurgia ei tarvitse relaksaatiota, niin **miksi potilas pitäisi relaksoida** kun nykyiset anestesiaventilaattorit mahdollistavat spontaanin hengityksen?
- Lyhyet anestesioidet – **nukutus vai puudutus?**
- **Kaasuilla spontaanihengitys** sujuu hyvin
- Yleisanestesia jossa merkittävässä määrin spontaanihengitystä vaatii että se on ”**talon tapa**”, tuttu menetelmä joka osataan. Jos näin ei ole niin kontrolloidumpi hengitys on turvallisempaa.
- **Uudet koneet ovat hyviä. Jos mahdollista, niin omaa hengitystä pitäisi suosia ja respiraattorilla sitä tukea.**
- **Itsekseen (tuettuna) hengittävä potilas** on tietyllä lailla kivampi kuin koneen nokassa roikkuva?

Sanottua

Paloheimo M. Anestesia-laitteet. Anestesiologia ja tehohoito, Duodecim 2006

- ”Tällaisia tehohoidosta peräisin olevia ventilaatiomenetelmiä ei juuri tarvita normaalissa anestesiatyössä, mutta niitä voi käyttää potilaan aloitellessa spontaanihengitystä anestesian loppuvaiheessa.”
- ”Anestesia-ventilaattorilta vaaditaan varsin vähän: luotettavaa, säädettävän kertatilavuuden antoa määrättyllä taajuudella.”

Kirjallisuutta

- Lumb AB. Nunn's Applied Respiratory Physiology, 7th ed. Churchill Livingstone, Elsevier 2010 / klassikko
- Nikki P, Vuori A. Hengitysvajauksen tehohoito. Kone Oy, Serioffset Turku / klassikko (kovakantisessa ei ole painovuotta, kirja ei ole enää myynnissä)
- Rosenberg et al, toim. Anesthesiologia ja tehohoito, Duodecim 2006
- Urguhart J. The Anaesthetic Aide-Memoire, Oxford Medical Publications 1996 (pokkari)
- Ganong W. Review of Medical Physiology, McGraw-Hill 2005 (oppikirja)
- Wylie WD, Churchill-Davidson HC. A Practice of Anaesthesia, Lloyd-Luke Medical Books Ltd, London, 2nd ed, 1962 (paksu ja musta)