



Janne Moilanen

LL, erikoislääkäri
OYS, OpTa, Anestesia ja tehohoito
janne.m.moilanen@ppshp.fi

Aikuisen yhden keuhkon ventilaatio – kuinka hoidan?

Anestesia­lääkärille yhden keuhkon ventilaatio voi tulla eteen hyvin satunnaisesti. Siinä on tärkeintä kiinnittää erityistä huomiota intubaatioputken oikeaan sijaintiin sekä optimaaliseen ventilaatiomalliin.

Yhden keuhkon ventilaatio opitaan erikoistumisen aikana, mutta anestesiologin uran myöhemmässä vaiheessa tämän taidon hyödyntäminen voi olla satunnaista. Tämän kirjoituksen tarkoitus on lähestyä aihetta hyvin käytännönläheisesti, jotta harvoin yhden keuhkon ventilaatioon törmäävä anestesiologi saa nopeasti käsityksen, mitä tulee ottaa huomioon. Lasten yhden keuhkon ventilaatiota ei tarkoituksella käydä läpi tässä yhteydessä, mutta aiheesta löytyy tuore artikkeli, johon kannattaa tutustua(1).

Millä välineellä toteutan yhden keuhkon ventilaation?

Optimaalisin vaihtoehto on kaksiluumeninen endobronkiaaliputki, koska molempiin keuhkoihin menee oma, isohko luumen mahdollistaen halutun keuhkon nopean tyhjenemisen, imemisen sekä bronkoskopian, ja desaturaatiotilanteessa vapaan happivirtauksen toimenpidekeuhkoon ilman, että keuhko laajenee.

Kaksiluumenisia endobronkiaaliputkia on joko vasempaan pääkeuhkoputkeen tai oikeaan pääkeuhkoputkeen kääntyviä putkia. Valitse aina

vasen, mikäli se kirurgille sopii (myös vasemman keuhkon poisto voidaan hoitaa vasemman puolen putkella, kunhan se muistetaan nostaa ylös trakeaan ennen pääbronkusten sulkua). Aikuisella vasen pääbronkus on noin 5 cm pitkä, joten bronkiaalisella kuffilla on liikkumisvaraa. Oikealla tätä liikkumisvaraa ei juuri ole, koska oikea pääkeuhkoputki on vain 1,5–2 cm pitkä ennen oikeaan ylälohkoon haarautumista ja putken pitää asettua tarkalleen tähän kapeaan väliin sivuaukko kohti ylälohkoa.

Yleensä miehelle valitaan 39 Fr koko (yli 180 cm => 41 Fr) ja naiselle 37 Fr (yli 180 cm => 39 Fr ja alle 160 cm => 35 Fr).

Selektiiviseen keuhkon eristykseen voidaan myös käyttää keuhkoputken täyttöpallokatetria eli endobronchial blokkaria, joita on markkinoilla useita eri malleja. Aikuisella täyttöpallokatetri viedään pääsääntöisesti näkökontrollissa tavallisen intubaatioputken kautta halutun pääkeuhkoputken suulle.

Hätätilanteessa voidaan yhden keuhkon ventilaatio toteuttaa tavallisella intubaatioputkella, joka työnnetään vain riittävän syvälle toiseen pääkeuhkoputkeen. Yleensä putki ohjautuu oikealle, joten vasemmalle pääsemiseksi tarvitaan todennäköisesti videoskopoin apua.

Miten saan kaksiluumenisen endobronkiaaliputken oikeaan paikkaan?

Riippumatta kumman puolen putki on kyseessä, niin alkuun bronkiaalinen, käyrä osa osoittaa suoraan ylöspäin. Tämän mentyä läpi äänihuulivälissä ohjainkara vedetään pois ja samalla edetään ilman suurempaa voimankäyttöä eteenpäin, kunnes tulee selkeä vastus (noin 29 +/- 1 cm hammasrivistä). Mikäli kyseessä on vasemman puolen putki, on putkea lisäksi käännettävä 90 astetta vastapäivään äänihuulitason jälkeen. Vastavuoroisesti oikean puolen putken tapauksessa käännetään 90 astetta myötäpäivään. Tämän jälkeen trakealuumenin kautta fiberoskoopin avulla tarkastetaan putken sijainti (kuva 1).

Vasemman puolen putki

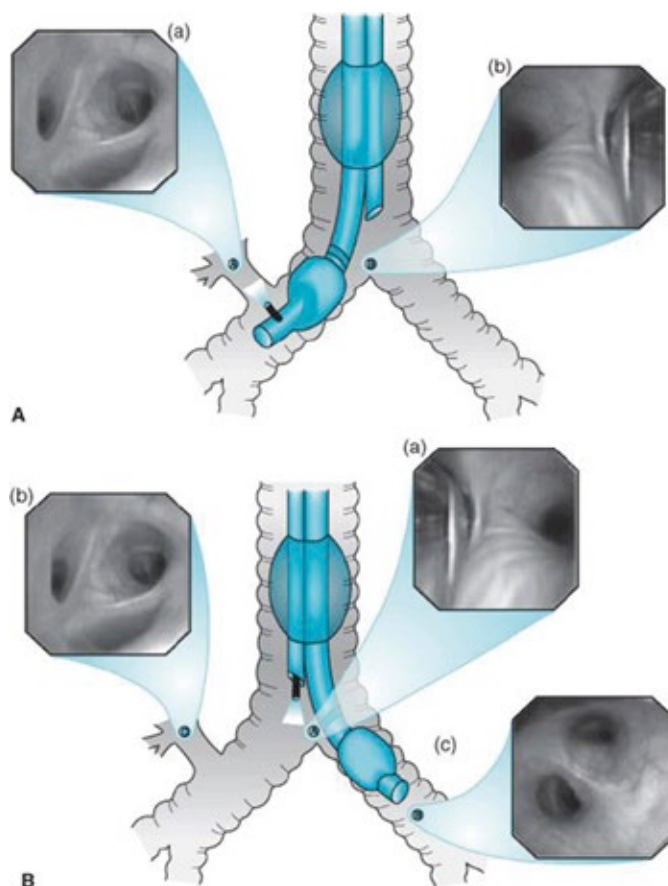
- nähdään trakeassa anteriorisesti rustorenkaiden muodostamat ”holvikaaret” ja posteriorisesti lihassäikeet ”juoksurata” kunnes päädytään oletetulle carinatasolle-1 eli ensimmäinen jakautumistaso.
- carinatasolla-1 nähdään bronkiaalisen putken kääntyvän vasempaan pääbronkukseen ja bronkuskuffiin ilmaa laitettaessa 1–3 ml (käytä pientä ruiskua ja cuffipainemittaria) nähdään sinistä kuffia vähän, mutta se ei saa työntyä bifurkaatioon.
- edetään oikeaan pääbronkukseen ja melko heti tulisi näkyä oikean ylälohkon lähtö ja tämä haarautuu 3 segmenttibrankukseen.
- jos et ole aivan varma näkymästä/ sijainnista (putki voi olla ohjautunut liian syvälle toiseen pääkeuhkoputkeen ja luulet näkeväsi carinataso-1, mutta todellisuudessa oletkin jommallakummalla puolella carinatasolla-2), niin ota stetoskooppi lisäavuksi. Alkuun molemmilta puolilta tulee kuulua hengityssänet, jonka jälkeen suljet bronkiaalisen luumenin (sininen), jolloin vasemmalta ei enää kuulu hengityssäniä. Sitten taas molemmat luumenit auki ja suljetaan trakealuumen (kirkas) ja oikealta ei kuulu hengityssäniä. Mikäli näin ei tapahdu, niin tee seuraavaa
 - Fiberoskooppi bronkiaaliseen luumeniin. Nosta putkea reilusti, jotta olet varmasti trakeassa. Hahmota ”holvikaaret ja juoksurata” jolloin myös saat suuntaorientaation. Etene näkökontrollissa, kunnes ensimmäinen carina tulee vastaan. Ohjaa skooppi vasempaan pääbronkukseen. Liu’uta skooppiä pitkin bronkiaalinen haara vasemmalle, kunnes sininen kärki

tulee skoopin näkökenttään. Tämän jälkeen skooppi trakealuumeniin ja optimoit sinisen bronkuskuffin sijainnin eli näkyy, mutta ei saa työntyä trakeaan.

Oikean puolen putki

- ensimmäinen ja toinen vaihe kuten vasemman puolen putkessa, mutta luonnollisesti endobronkiaalinen luumen kääntyy oikeaan pääbronkukseen
- fiberoskooppi endobronkiaaliseen luumeniin ja asemoidaan/ tarkistetaan, että luumenin sivuvaikko ”Murphy’s eye” suuntautuu oikean ylälohkon suuntaan.

Ensimmäinen sijainnin tarkistus tehdään heti alkuvaiheessa selällä, jonka jälkeen potilas käännetään leikkausasentoon taivutuksineen. >>



Kuva 1. Intubaatioputken oikea sijainti. A) oikean puolen endobronkiaaliputki (a) oikean ylälohkon lähtö (b) trakean bifurkaatio. (B) Vasemman puolen endobronkiaaliputki (a) trakean bifurkaatio (b) oikean ylälohkon lähtö (c) vasemman ylä- ja alalohkon lähtö.

Toiminta desaturaatiotilanteessa yhden keuhkon ventilaation aikana

- Nosta FO, 1,0
- Informoi kirurgia tilanteesta
- Tarkista putken sijainti
- Rekrytoi ventiloitavaa keuhkoa
- Säädä ventiloitavan keuhkon PEEP
- Happivirtaus 1–3 l/min imukatetrilla operoitavaan keuhkoon
- CPAP operoitavaan keuhkoon
- varmista riittävä hemoglobiini
- varmista riittävä sydämen minuuttivirtaus
- harkitse siirtymistä TIVA-anestesiaan
- Jos tilanne ei korjaannu=> palaa kahden keuhkon ventilaatioon ja yritä kohta uudelleen yhden keuhkon ventilaatiota optimisäädöin

Tämän jälkeen tehdään uusi tarkistus, koska putki on voinut nousta hieman ylöspäin. Fiberoskoopin avulla näkökontrollissa tehdään lopullinen hienosäätö ja tämän jälkeen putken kiinnitys. Seuraavaksi voidaan tehdä hetkellinen yhden keuhkon ventilaatio, jossa operoitava puoli suljetaan kierrosta ja avataan luumenin sulkuläppä, jolloin eristetty keuhko tyhjenee ja kädellä tunnustellaan tyhjentävä ilmavirtaus. Muutaman hengityssyklin jälkeen käteen ei enää tunnu ilmavirtausta, jolloin varmistut myös siitä, että kuffien ilmamäärä riittää tiivistämään pääbronkuksen sekä trakean. Testin jälkeen palataan kahden keuhkon ventilaatioon ja bronkiaalinen kuffi tyhjennetään. Muutoinkin bronkiaalinen kuffi pidetään aina tyhjänä, kun yhden keuhkon ventilaatiota ei tarvita, jotta minimoidaan bronkuksen limakalvovauriot. Joskus toimenpiteen alussa operoitava keuhko ei tyhjene spontaanisti, esim. kiinnikkeet pyrkivät vastustamaan tyhjentymistä, jolloin pientä imua voi käyttää keuhkon kasaan saamiseksi.

Taulukko 1. Yhden keuhkon ventilaatio pähkinäkuoressa

Ventilaatiomuoto:	painekontroloitu ventilaatio tilavuusvarmistuksella (PCV-VG)
Kertatilavuus:	4–6 ml/kg; kriittinen hyperkapnia => harkitse 6–8 ml/kg
PEEP:	5–10 cmH ₂ O, obstruktio => 2–5 cmH ₂ O. Määritä yksilöllinen PEEP
Hengitystaajuus:	12–15
F _O 2:	50–80 %, hypoksia 100 %
I:E-suhde	normaali 1:2, restriktiivinen 1:1 tai käänteinen, obstruktio 1:3–4
Hengitystiepaineet, max	huippupaine 35 cmH ₂ O, tasannepaine 25 cmH ₂ O, ajopaine 15 cmH ₂ O
Minuuttiventilaatio	pCO ₂ alle 8–9 kPa

Toimenpiteen aikana keuhkoa manipuloitaessa voi endobronkiaaliputken paikka liikkua suhteessa bifurkaatioon aiheuttaen ongelmia varsinkin ventiloitaessa trakealuumenin kautta. Jos äkillisesti ilmatiepaineet nousevat ja kertatilavuudet laskevat, niin voi olla, että bronkushaaran kuffi on noussut ja hernioitunut osittain trakeaan ahtauttaen ilmatietä, tai sitten trakealuumen on liikkunut syvemmälle ja nojaa hengitysteiden seinämään/bifurkaatioon. Lisäksi oikean puolen putkella oikeaa keuhkoa ventiloitaessa putken liikkuminen syvemmälle aiheuttaa desaturoitumista, koska tuolloin oikea ylälohko jää ventiloitumatta. Ei siis kannata luopua fiberoskoopista ennen kuin leikkaus on ihan loppusuoralla ja ollaan jälleen kahden keuhkon ventilaatioissa.

Kuinka käytän keuhkoputken sulkupallokatetria?

Tavalliseen intubaatioputkeen liitetään monitoimiportti, jonka avulla sulkupallokatetri voidaan asemoida näkökontrollissa fiberoskoopin avulla. Markkinoilla on myös intubaatioputkia, joissa on integroitu kamera putken distaalipäässä ja tähän yhteensopiva, kärjestään hieman taivutettu endoblokkeri mahdollistaen ohjautuvuuden. Yhtenä heikkoutena voidaan, kaksiluumeniseen endobronkiaaliputkeen verrattuna, pitää eristetyin keuhkon hidasta tyhjenemistä, koska blokkeereissa on hyvin pieni lumen, jota pitkin keuhko tyhjenee. Tyhjenemistä voidaan nopeuttaa liittämällä pieni imu hetkellisesti kanavaan tai, mikäli potilas sietää, keskeyttämällä ventilaatio (0 PEEP) ja sallitaan keuhkojen tyhjentymisen, jonka jälkeen täytetään blokkerin kuffi ja jatke-

taan ventilaatiota. Yhden keuhkon ventilaation aikana desaturaatiotilanteessa vapaa happivirtaus ei ole mahdollista blokkerin kautta, vaan aina joudutaan käyttämään CPAP-tukea.

Yhden keuhkon ventilaatio erityistapauksissa

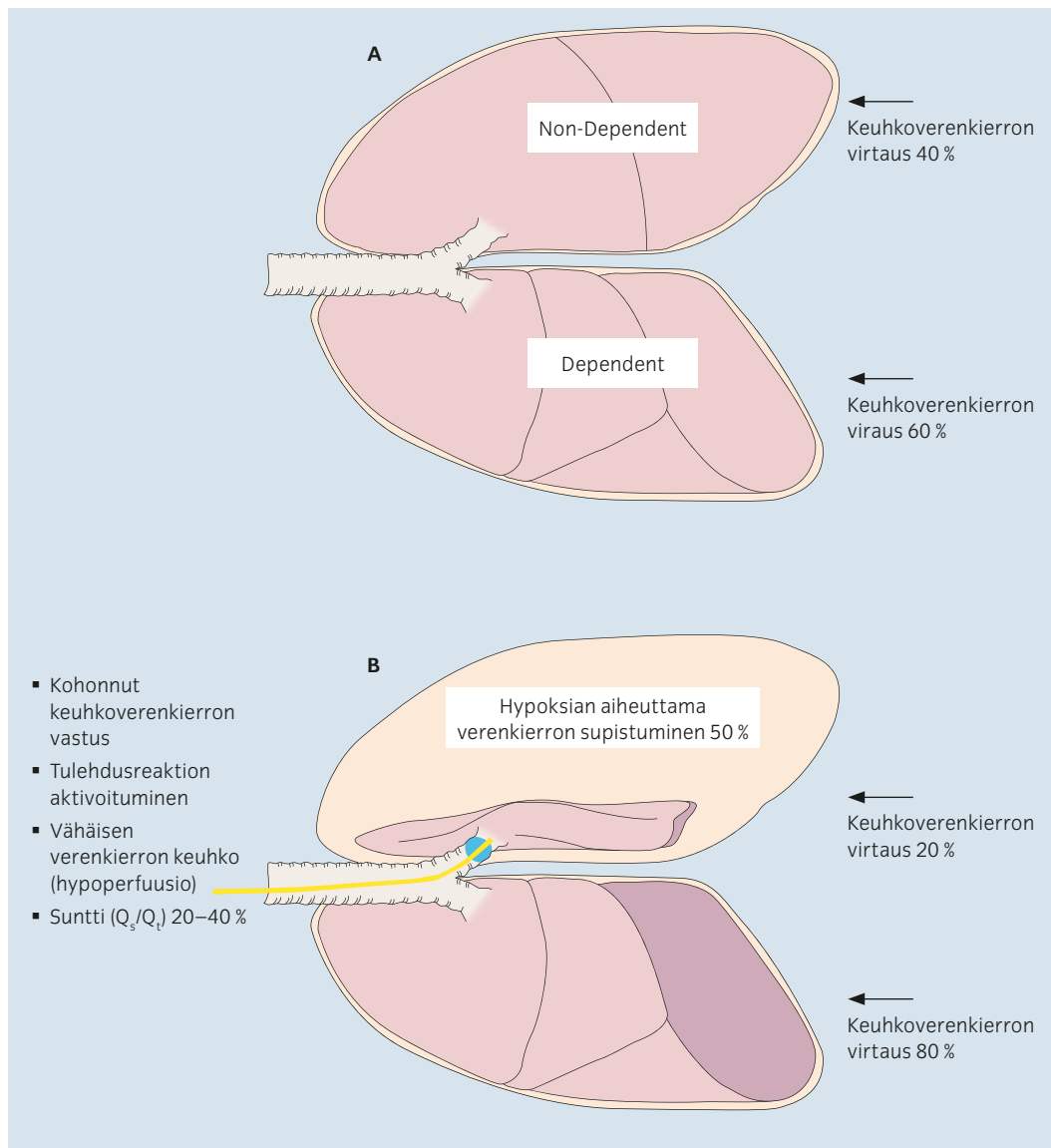
Jos potilaalla on kuffillinen trakeostomiakanyyli, voidaan yhden keuhkon ventilaatio toteuttaa sen kautta sulkupallokatetrin avulla. Jos kanyyli on kuffiton, voidaan poistaa trakeakanyyli ja asemoida tavallinen endobronkiaaliputki suun kautta, tai sitten vaihtaa tilalle kuffillinen trakeakanyyli+ blokkeri. Muista kuitenkin arvioida ilmatien hallinta ennen kuin dekanyloit trakeostomoidun potilaan!

Mikäli potilaalla on tiedossa vaikea intubaatio, on tavallinen intubaatioputki lähtökohtaisesti helpompi saada trakeaan kuin endobronkiaaliputki. Onnistuneen intubaation jälkeen voidaan käyttää joko blokkeria tai sitten vaihtaa endobronkiaaliputki pitkää ohjainkaraa apuna käyttäen. Jos päädytään käyttämään endobronkiaaliputkea ja äänihuulivälin läpäisyssä tuntuu olevan kitkaa, voi geelin sijasta käyttää fiberoskoopin liukastamiseen käytettyä MCT- öljyä, joka kokemusten mukaan liukastaa putken paljon paremmin, ja putki sujahtaa trakeaan kuin kuuma veitsi voihin. Tässäkään tapauksessa intubaatio ei ole voimalaji!

Mikäli potilas tarvitsee hengityskonehoitoa postoperatiivisesti, on tuolloin yleensä endobronkiaaliputki vaihdettu tavalliseen intubaatioputkeen leikkauksen lopussa. Ennen vaihtoa on

>>

Kuva 2. (A) Keuhkoverenkierron jakautuminen kylkiasennossa kahden keuhkon ventilaatiossa. (B) Hypoksian aiheuttaman verisuonten supistumisen (hypoxic pulmonary vasoconstriction) vaikutus keuhkoverenkierron jakautumiseen yhden keuhkon ventilaatiossa sekä atelektaattista keuhkoa. PVR: pulmonaalinen vaskulaariresistenssi. Q_s/Q_t : shunttisuhte. (mukaellen 6).



syytä arvioida ilmiötä, koska pitkän leikkauksen jälkeen nielu voi olla melkoisen turvonnut.

Hypokseeminen pulmonaalinen vaskokonstriktio (HPV) ja anestesia-aineen valinta

HPV:ssä on kyse, kun hapen osapaineen lasku keuhkokapillaareissa laukaisee reflektorisen silmän lihaksen supistumisen ohjaten keuhkoverenkiertoa paremmin ventiloituvalla keuhkon osalle vähentäen oikovirtausta. Ilmiö on erityisen tärkeä yhden keuhkon ventilaatiossa (kuva 2).

Yleisesti käytetty propofoli ei inhiboi HPV:tä. Nykyaikaiset inhalaatioanesteetit sevofluraani, desfluraani ja isofluraani inhiboivat

HPV:tä annosriippuvaisesti, mutta MAC 1 pitoisuudella ei ole todettu merkittävää eroa happeutumisen verrattuna propofoliin. Toki, jos desaturoituminen lähestyy kriittistä rajaa yhden keuhkon ventilaation aikana, voidaan siirtymällä TIVA-anestesiaan saada pieni etu shunttisuhteen vähentymisessä ja happeutumisen parantumisessa (eräessä tutkimuksessa PaO_2 30,9 kPa \Rightarrow 32,7 kPa ja shunttisuhte väheni 38 \Rightarrow 36 %). Lisäksi inhalaatioanesteeteilla on bronkodilatorista vaikutusta, mikä voi olla eduksi kroonista keuhko-obstruktiota sairastavilla potilailla. On myös todettu, että sevofluraanilla on immunomodulatoriivisia vaikutuksia vähentäen keuhkojen ja systeemisiä tulehdusmarkkereita sekä postoperatiivisia keuhkokomplikaatioita verrattuna

propofoliin(2). Käytetyillä opiaateilla ei ole vaikutusta HPV:oon.

HPV on kaksivaiheinen ilmiö. Ensimmäinen vaihe alkaa muutaman sekunnin kuluttua yhden keuhkon ventilaation aloittamisesta, ja saavuttaa maksiminsa 15–20 minuutin kuluttua. Mikäli hypoksemia jatkuu vielä 30–60 minuuttia, saavuttaa HPV toisessa vaiheessa uuden maksimin noin kahden tunnin kuluessa. Hypoksemian väistyttyä HPV ei laukea heti, vaan pulmonaalinen vaskulaariresistenssi (PVR) jää koholle ja vasta tuntien kuluessa palautuu lähtötasolle. Ilmiö tulee huomioida, mikäli samassa anestesiassa tehdään molemminpuolinen yhden keuhkon ventilaatio, jolloin siis jälkimmäisessä vaiheessa ventiloituvassa keuhkossa on edelleen PVR koholla heikentäen HPV:n vaikutusta johtaen herkemmin desaturoitumiseen. On myös havaittu, että HPV-refleksi voimistuu toisiaan seuraavilla keuhkon tyhjennys- ja laajennus sykleillä. Tämä voi olla kliinisesti merkittävä tapahtuma, joten mikäli ensimmäinen yhden keuhkon ventilaatio aiheuttaa merkittävän desaturoitumisen, voi potilas kahden keuhkon ventilaation jälkeen sietää seuraavan yhden keuhkon ventilaatio –yrityksen(3).

Keuhkoja suojaava ventilaatio. Mitkä säädöt ventilaattoriin?

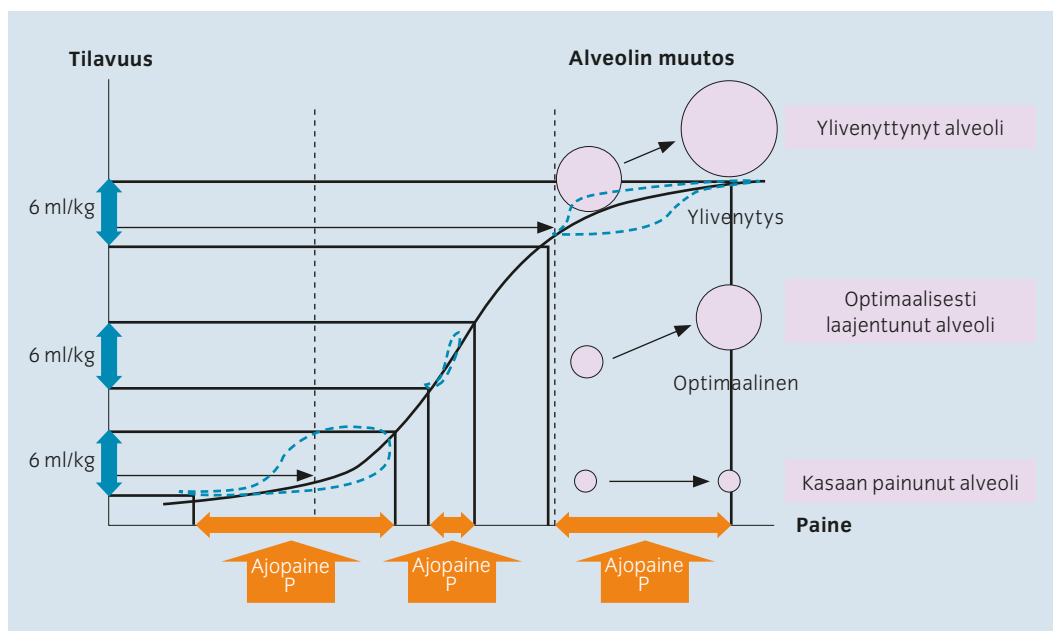
Keuhkokirurgia itsessään aiheuttaa kudosaauriota, mutta yhden keuhkon ventilaatios-

sa keuhkojen heterogeenisyydestä johtuen osa keuhkokudoksesta altistuu tilavuus-, paine- ja atelektaasitraumalle, hyperoksialle sekä iske-mia-reperfuusioauriolla. Edellä mainitut seikat laukaisevat tulehdusvasteen ja lisäävät keuhko-kapillaarien permeabiliteettia molemmissa keuhkopuoliskoissa, mikä voi johtaa postoperatiivisiin keuhkokomplikaatioihin. Aiheesta on hyvä kat-saus, joka kannattaa lukea(4).

Teoriassa painekontrolloitu ventilaatio (PCV) on suotuisampi valinta yhden keuhkon ventilaatiossa verrattuna tilavuuskontrolloituun ventilaatioon (VCV). Painekontrolloidussa venti-laatiossa on hidastuva virtausnopeusprofiili, joka tasapainottaa laajentuvan keuhkon pienentyvää komplianssia. Tällä saavutetaan homogeeni-empi kertatilavuuden jakaantuminen, jolloin rekrytoituu tehokkaammin huonosti ventiloitu-via keuhkonosia. PCV:lla saavutetaan pienemmät huippu- ja tasanneilmatiepaineet, minkä johdosta intra-alveolaaristen keuhkokapillaarisuonten verenvirtaus säilyy suurempana hengityssyklin aikana johtaen pienempään shunttisuhteeseen. Suurentuneen keuhkokomplianssin ja pienem-män shunttisuhteen vuoksi happeutumisen on parempaa. Käytännön työssä PCV:n yliver-taisuutta ei ole kuitenkaan tutkimuksissa pystytty yksimielisesti ja selkeästi osoittamaan (5,6).

Mielestäni painekontrolloitu ja tilavuusvar-mistettu ventilaatiomuoto on soveltuvin yhden keuhkon ventilaatioon, koska siinä yhdistyvät painekontrolloidun ventilaation virtausdynaa-

>>



Kuva 3. Sama kertatilavuus keuhkon eri komplianssialueilla. Matalin ajopaine (driving pressure) saavutetaan korkeimmalla komplianssialueella (mukaellen 5).

miset edut ja tilavuusvarmistus takaa pyydetyn kertatilavuuden sallituissa painerajoissa läpi keuhkoleikkauksen, jonka aikana keuhkokomplianssi voi vaihdella merkittävästi (yhdelta keuhkolta kahdelle ja toisinpäin sekä kirurginen manipulaatio).

Yhden keuhkon ventilaation aikana huipuilmatiepaine halutaan pitää alle 35 cmH₂O ja tasannepaine alle 25 cmH₂O. On myös tuotu esille väitettä, että nämä raja-arvot itsessään eivät olisi merkittäviä, elleivät kuvasta liian suurta ajopainetta (driving pressure). Ajopaineella tarkoitetaan tasannepaineen ja positiivisen uloshengityksen loppupaineen erotusta ja se ei saisi ylittää 15 cmH₂O (5). Säädot on hyvä tarkistaa aina, kun vaihdetaan kahdelta keuhkolta yhdelle keuhkolle ja takaisin, jotta pysytään tavoitteissa. Tilanne voi myös muuttua yhden keuhkon ventilaation aikana, joten tarkkana saa olla koko ajan. Ventilaatiomuodosta riippumatta kertatilavuus yhden keuhkon ventilaation aikana tulisi olla 4–6 ml/kg potilaan ideaalipainosta.

Positiivisen uloshengityksen loppupainetta (PEEP) on erityisen tärkeää käyttää yhden keuh-

kon ventilaation aikana, koska kylkiasennossa ventiloituvaa keuhkoa painavat kasaan medias-tinaaliset rakenteet sekä pallean relaksaatio lisä-ten atelektaasien muodostumista. Hyvänä PEEP-lähtöarvona on 5–10 cmH₂O. Jos potilaalla on tiedossa oleva obstruktiivinen keuhkosairaus tai emfyseema, niin tulee huomioida keuhkosairau-den tuoma sisäinen PEEP. Mahdollisen ilmasal-pauksen riskin vähentämiseksi ulkoinen PEEP kannattaa laskea tällöin tasolle 2–5 cmH₂O. Mi-käli käytetään isompaa PEEP arvoa, tulee seura-ta erityisen tarkasti virtaus-tilavuusspirometrian käyrää, jonka tulee aina palata lähtötasolle aina ennen uuden hengityssyklin alkamista. Opti-maalista olisi löytää yksilöllinen PEEP-taso, jolla haluttu kertatilavuus toteutuu suurimmalla komplianssilla toisin sanoen pienimmällä ajopai-neella (komplianssi= kertatilavuus/ Pplat-PEEP) (kuva 3).

Muodostuneiden atelektaasien aukaisemisek-si tulee ventilaation aikana tehdä alveolien rekry-tointia etenkin silloin, jos ilmenee desaturatiota. Jotta kollapsissa oleva alveoli aukeaa, tulee ilma-tiepainetta hetkellisesti nostaa portaittain 30–

40 cmH₂O:iin ja PEEP 5–15 cmH₂O:iin, jotta auennut alveoli ei sulkeudu. Rekrytoinnin jälkeen palataan takaisin keuhkoja suojaaviin säätöihin. Rekrytoinnin aikana ventiloitavassa keuhkossa intrapulmonaalinen paine nousee johtaen hetkellisesti suurentuneeseen shunttisuhteeseen ja desaturoitumiseen, joka kyllä korjaantuu nopeasti rekrytoinnin jälkeen. Happeutumisen tulisi parantua uusien auenneiden alveolien myötä. Hetkellisesti kohonnut rintaontelon paine myös heikentää laskimopaluuta aiheuttaen ohimenevää verenkierröllistä epävakautta. Toisaalta liian aggressiivinen rekrytointi aiheuttaa epähomogeenisessa keuhkossa alveolien avautumista, mutta myös jo auki olevien alveolien ylivenyttymisestä johtuvaa lisääntyntä tilavuustrauamaa. Ilmarinnan riski myös kasvaa. Tällä hetkellä emme tiedä, mikä on optimaalisin tapa tehdä alveolien rekrytointia yhden keuhkon ventilaation aikana. Yksi lähestymistapa on ”open-lung approach”, jossa isoilla paineilla ja PEEP-tasoilla rekrytoidaan keuhko auki, ja sitten yksilöllisellä PEEP-säädöllä haetaan optimitaso, jossa haluttu, pieni kertatilavuus toteutuu matalimmalla ajopaineella (lähteissä yksi aggressiivinen malli(6) sekä maltillisempi lähestymistapa(7)).

Pitkittänyt altistus korkealle F_O₂:lle aiheuttaa oksidatiivista stressiä sekä iskemia-reperfuusiovauriota ja on haitallista. Pyri siis aina matalimpaan F_O₂:een, jolla SpO₂ pysyy yksilöllisessä tavoiterajassa.

Sääda hengitystaajuus 12–15 krt/min seuraten hiilidioksidipitoisuutta. Tiheämmän hengityksen riskinä on kasvava auto-PEEP lyhentyneen uloshengityksajan vuoksi. Permissiivinen hyperkapnia on osa suojaavaa ventilaatiostategiaa. Olettaen, että kardiovaskulaarinen reservi ja etenkin oikean kammion toiminta on kohtuullista, ovat P_aCO₂ pitoisuudet aina 8–9 kPa asti hyvin siedettyjä lyhytaikaisesti(8).

Normaalikeuhkoisella potilaalla I:E-suhde on yleensä 1:2. Jos potilaalla on restriktiivinen keuhkosairaus, niin I:E-suhdetta tulee nostaa 1:1 tai jopa käänteiseksi, jolloin sisäänhengitysvaihe pitenee mahdollistaen tavoitekertatilavuuden saavuttamisen maltillisilla ilmatiepaineilla. Obstruktiivisessa keuhkosairaudessa puolestaan I:E-suhdetta lasketaan 1:3–4, jolloin pidemmän uloshengityksen vuoksi auto-PEEP:n riski pienenee. Spirometriakäyrää seuraamalla varmistetaan, että uloshengityksen virtaus palaa lähtöpisteeseen ennen uutta sisäänhengitystä.

Yhden keuhkon ventilaation lopuksi operoitu keuhko vaatii kunnan rekrytoinnin.

Toimenpiteen loputtua on aika palata kahden keuhkon ventilaatioon. Tässä vaiheessa operoituva keuhko on painunut kunnolla kasaan ja tarvitsee rekrytoinnin laajentuakseen kauttaaltaan. Perinteisesti tämä on tehty manuaaliventilaatiolla, jossa hitaasti puristetaan isoja kertatilavuuksia ja pidetään hetki pussi puristettuna ennen kuin vapautetaan paine. Ennen rekrytointia APL-venttiili on säädetty 40 cmH₂O tasolle. Mikäli näin menettelemällä keuhko ei laajene, suljetaan aiemmin ventiloitu keuhko pois kierrosta (tilavuus ei pääse ohjautumaan paremman komplianssin omaavaan keuhkopuoliskoon) ja sama toistetaan uudelleen.

Hypoksemia yhden keuhkon ventilaation aikana

Kirjallisuudesta ei löydy yksiselitteistä kriittistä valtimoveren happisaturaation alarajaa yhden keuhkon ventilaation aikana. Yleisesti on pidetty lukemaa 90 % alarajana, joka alittuessa vaatii toimenpiteitä. Tämä olkoon hyvä perussääntö, mutta tästä on varmasti poikkeuksiakin. Ensinnäkin kriittinen alaraja on hyvin yksilöllinen ja riippuu potilaan iästä sekä perussairauksista (esim. herkästi oireileva sepelvaltimotauti, keuhkoahataumatauti). Toiseksi valtimoveren happisaturaatio on vain yksi tekijä hapentarjonnassa. Lisäksi hemoglobiini ja varsinkin sydämen minuuttitilavuus määrittävät yhdessä hapentarjonnan kudoksille. Kolmanneksi vasta sitten, kun hapentarjonta alittaa hapenkulutuksen kudoksissa, on saavutettu kriittinen piste, jolloin anaerobinen metabolia käynnistyy. Tätä taustaa vasten on myös esitetty väite, että yhden keuhkon ventilaation kriittinen happisaturaation alaraja

>>

Kivunhoidossa suositaan regionaalisia puudutuksia.

voisi olla 85 %, jos huolehditaan riittävästä sydämen minuuttivirtauksesta ja hemoglobiinista(9). Happisaturaation lähentyessä yleisesti pidettyä kriittistä alarajaa 90 %, hoitointerventio voi olla esimerkiksi operoitavan keuhkon CPAP tai intermittoiva kahden keuhkon ventilaatio. Hoitointerventio voi hankaloittaa tai pitkittää videoavusteista toimenpidettä ja pahimmassa tapauksessa johtaa avoimeen toimenpiteeseen. Alinta siedettyä happisaturaatorajaa pohtiessa tulee arvioida aiheutetaanko hoitointerventiolla enemmän haittaa kuin hyötyä.

Desaturaatiotilanteessa nostetaan alkuun F_O, 1,0:aan ja informoidaan kirurgia tilanteesta. Tarkistetaan putken sijainti. Suoritetaan rekrytointi ventiloitavaan keuhkoon. Tarvittaessa säädetään PEEPiä. Varmistutaan, että hemodynaaminen profiili on vakaa ja optimoidaan sydämen minuuttivirtaus (esikuorma, jälkikuorma ja tarvittaessa inotropia). Mikäli on desaturaatiota ja videoavusteinen toimenpide, niin johdetaan ohuella imukatetrilla pieni 1–3 l/min happivirtaus operoitavaan keuhkoon. Tällöin on huolehdittava, että katetri ei tuki lumenia ja keuhko ei laajene häiritsevästi. Lopuksi voi vielä kokeilla CPAP:ia operoitavaan keuhkoon säätäen vastusiten, että se häiritsee kirurgia mahdollisimman vähän. Mikäli happeutumisongelmaa ei saada korjattua edellä mainituilla toimenpiteillä, palataan takaisin kahden keuhkon ventilaatioon hetkeksi ja pohditaan kirurgin kanssa jatkosuunnitelmaa.

Lyhyesti neste- ja kivunhoidosta

Keuhkoleikkauspotilaiden hoidossa ei voi olla korostamatta nestehoitoa, koska postoperatiivinen

nesteretentio keuhkokudoksessa on erityisen haitallista kyseiselle potilasryhmälle. Toisaalta liian restriktiivinen nestehoito voi johtaa kudosten hypoperfuusioon ja lisätä akuutin munuaisvaurion riskiä. Suosituksissa tavoitteena on euvolemia ja korvausnesteinä balansoidut kristalloidit(10). On myös suositeltu verenvuodon korvaukseksi alkuun albumiinia ja myöhemässä vaiheessa punasolusiiroja hemoglobiinitason pitämiseksi yli 70–80 g/l (11).

Mikäli toimenpide tehdään avoimesti, on regionaalinen puudutus postoperatiivisen kivunhoidon kulmakivi. Epiduraalinen kivunhoito on ensisijainen menetelmä. Aiemmin se oli aika lailla ainut vaihtoehto, mutta nykyään ultraääniaikakauden myötä erilaiset blokkipuudutukset ovat lisänneet puudutusmahdollisuuksia. Blokkipuudutukset ovat erittäin hyviä vaihtoehtoja päivystystilanteessa, jossa sentraalinen puudutus ei ole mahdollista esimerkiksi antikoagulaatiolääkityksistä johtuen.

Jos on monta tietä Tornioon, niin on myös monta tapaa hoitaa aikuisen yhden keuhkon ventilaatio. Kunhan vain asemoi yhden keuhkon ventilaation mahdollistavan välineen optimipaikalle atraumaattisesti, saa pidettyä hapetuksen riittävänä ja noudattaa keuhkoja suojaavaa ventilaatiomallia, niin taitaa jälleen pukata priimaa. ■

Viitteet

1. Templeton T. et al. An update on one-lung ventilation in children. *Anesth Analg*, 2021; 132: 1389–1399
3. Gala F. et al. Postoperative pulmonary complications, pulmonary and systemic inflammatory responses after lung resection surgery with prolonged one-lung ventilation. *Br J Anaesth*, 2017; 119: 655–63
5. Lumb A, Slinger P. Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction. *Anesthesiology*, 2015; 122: 932–46
7. Lohser J, Slinger P. Lung injury after one-lung ventilation. *Anesth Analg*, 2015; 121: 302–18
9. Ahn H. et al. Driving pressure guided ventilation. *Korean J Anesthesiol*, 2020; 73: 194–204
11. Belda J. et al. The effects of an open-lung approach during one-lung ventilation on postoperative pulmonary complications and driving pressure. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*, 2018; 32: 2665–2672
13. Ahn H. et al. Driving pressure guided ventilation. *Korean J Anesthesiol*, 2020; 73: 194–204
15. Slinger P. (ed). *Clinical management of one-lung ventilation. Principles and practice of anesthesia for thoracic surgery*
17. Durkin C. Hypoxemia during one-lung ventilation. *Current Anesthesiol Rep*, 2021
19. Batchelor T. et al. Guidelines for enhanced recovery after lung surgery: recommendations of the Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) Society and the European Society of Thoracic Surgeons. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 2019; 55: 91–115
21. Ashes C. et al. Volume management and resuscitation in thoracic surgery. *Current Anesthesiol Rep*, 2014;4: 386–396