



minen, joka heijastuu näin matalampana huippuilmatiepaineena<sup>6,7</sup>.

### Vital capacity maneuver (VCM) ja PEEP

Rothen kollegoineen osoitti vuonna 1993, että anestesian induktion jälkeen syntyneet atelektasit häviävät täydellisesti, kun sisäänhengityspaine nostetaan 40 cmH<sub>2</sub>O paineeseen 15 s ajaksi. He osoittivat keuhkojen vitaalikapasiteetin täyttyvän tuossa ajassa ja antoivat toimenpiteelle nimen vital capacity maneuver (VCM)<sup>8</sup>. Joitakin vuosia myöhemmin Rothen osoitti, että samaisen vitaalikapasiteetin saavuttamiseksi riittää lyhyempikin aika noin 7–8 s<sup>9</sup>.

Reinius kollegoineen tutki VCM:n ja PEEP:n vaikutusta 30:llä (BMI yli 40 kg/m<sup>2</sup>) mahalaukun ohitusleikkauspotilaalla kuvaamalla keuhkot tietokonetomografialla ennen ja jälkeen anestesian induktion. Kaikilla potilailla käytettiin ventilaatiomuotona tilavuuskontrolloitua ventilaatiota. Tutkijat jakoivat aineiston kolmeen ryhmään, jossa ensimmäisellä ryhmällä käytettiin pelkästään PEEP 10 cmH<sub>2</sub>O, toisella ryhmällä PEEP asetettiin nollassi, mutta tehtiin VCM, ja kolmannella ryhmällä laitettiin PEEP 10 cmH<sub>2</sub>O ja tehtiin lisäksi VCM. VCM suoritettiin välittömästi intubaation jälkeen. Keuhkojen TT-tutkimuksessa ennen induktiota sekä ajanhetkillä 5, 20 ja 40 min intubaation jälkeen havaittiin atelektaseja sekä PEEP 10 cmH<sub>2</sub>O -ryhmässä että PEEP 0 cmH<sub>2</sub>O -ryhmässä, mutta sen sijaan atelektasit hävisivät PEEP 10 cmH<sub>2</sub>O ja VCM -ryhmässä<sup>10</sup>.

PEEP:n ja VCM:n vaikutusta ylipainoisten (BMI yli 40 kg/m<sup>2</sup>) potilaiden keuhkoatelektasien ehkäisyssä tutki myös Talab kollegoineen tutkimusasetelmalla, joka oli lähes samanlainen kuin Reiniuksen<sup>10</sup> tutkimusryhmällä. Heidän tutkimusaineistonsa koostui 66 potilaasta, jotka jaettiin kolmeen ryhmään: 0 cmH<sub>2</sub>O PEEP, 5 cmH<sub>2</sub>O PEEP ja 10 cmH<sub>2</sub>O PEEP. Kaikille potilaille suoritettiin VCM välittömästi induktion jälkeen. Postoperatiivista hapentarvetta ja atelektaseja esiintyi merkittävästi vähemmän viimeisimmässä ryhmässä. Sen sijaan postoperatiivista desaturaatiota, bronkospasmia sekä keuhkoinfektioita ilmaantui yhteensä seitsemälle PEEP 0 ja PEEP 5cmH<sub>2</sub>O -ryhmän potilaalle. Korkean PEEP-ryhmän potilaat viipyivät myös merkittävästi vähemmän aikaa heräämössä verrattuna kahteen muuhun ryhmään<sup>11</sup>. Hemodynaamisia komplikaatioita tai barotraumaa ei todettu kummassakaan tutkimuksessa<sup>10,11</sup>.

Vuonna 2006 Whalen kollegoineen raportoi, että happeutumisen (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>) ja komplianssin korjaantumiseksi ylipainoisilla (BMI > 40 kg/m<sup>2</sup>) riitti niinkin alhainen kuin 4 cmH<sub>2</sub>O jatkuva PEEP, mikäli induktion jälkeen suoritettiin lisäksi keuhkoalveoleiden rekrytointi. Tutkimukseen osallistui 20 vapaaehtoista potilasta, jotka tulivat laparoskopiseen leikkaustoimenpiteeseen. Tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään siten, että kontrolliryhmässä oli käytössä ainoastaan PEEP ja tutkimusryhmässä PEEP:n ohella toteutettiin keuhkoalveoleiden rekrytointi. Keuhkoalveoleiden rekrytoitimenpide toteutettiin nostamalla PEEP-tasoa portaittain kolme kertahenkäystä kerrallaan, ensin PEEP 10 cmH<sub>2</sub>O, sitten PEEP 15 cmH<sub>2</sub>O ja lopulta PEEP 20 cmH<sub>2</sub>O 10 kertahenkäyksen ajaksi ja se suoritettiin välittömästi induktion jälkeen sekä aina, jos valtimoveren PaO<sub>2</sub> laski yli 3 kPa lähtöarvosta. Merkille pantavaa tutkimuksessa oli, että rekrytoitimenpiteen vaikutus hävisi jo noin 30 minuuttia ekstubaation jälkeen, minkä tutkijat havaitsivat valtimoverinäytteen heikentyneenä happiosapaineena ja suurentuneena hiilidioksidiosapaineena. Yhteenvetona tutkijat suosittelivatkin postoperatiivisena hoitona jatkuvan positiivisen uloshengityspaineen (continuous positive airway pressure, CPAP) käyttöä heräämövaiheessa<sup>12</sup>.

### Painekontrolloitu ventilaatio

Viime vuosikymmenen aikana markkinoille tulleissa ventilaattoreissa painekontrolloitu ventilaatiomalli (pressure controlled ventilation, PCV) on yleistynyt. Tässä ventilaatiomallissa ventilaattori ylläpitää hengitysteissä tiettyä ennalta käsin asetettua vakioista painetta säätelemällä virtausnopeutta. Aluksi kiihtyvän, loppua kohden hidastuvan virtauksen ansiosta virtaus ilmатеissä on enemmän laminaarista kuin turbulenttia ja se saattaa edesauttaa vakiovirtausta (vrt. VCV) mahdollisesti parempaan kaasujakautumaan keuhkojen eri osissa<sup>5</sup>. Samoin kuin tilavuuskontrolloidussakin ventilaatiossa, tulisi ventilaation tehostamiseksi käyttää riittävän pitkää sisäänhengitysaikaa, jotta paine-erot keuhkojen eri osien välillä ehtisivät tasaantua ja hengityskaasut vaihtua<sup>7</sup>.

Toisin kuin volyymikontrolloitu ventilaatiomuoto, edellyttää PCV ventilaattorilta suurempia sisäänhengitysvirtausnopeuksia. Mitä nopeammin haluttu painetaso halutaan saavuttaa, sitä nopeampi on virtausnopeuden oltava. Sitä aikaa, jolloin virtaus nousee huippuunsa, nimitetään paineenousajaksi (rise time). Ventilaattorista riippuen

aika on säädettävissä 150–900 ms välillä. Paineen nousujan määrittämisellä on enemmän käytännön merkitystä tehohoidossa, jolloin esimerkiksi respiraattorihoidosta vieroitettaessa halutaan minimoida potilaan tekemää hengitystyötä<sup>13,14</sup>.

## PCV vs. VCV

Painekontrolloidun ventilaation etuja on verrattu tilavuuskontrolloituun useissa tutkimuksissa eri sairaustiloissa<sup>6,15,16</sup>. Huippuilmatiepaine on kaikissa tutkimuksissa havaittu merkittävästi alhaisemmaksi PCV-ryhmässä, mutta sen sijaan happeutumisen kannalta tulokset ovat olleet ristiriitaisia.

Cadi kollegoineen vertasi PCV- ja VCV-ventilaation mallien eroa 36 laparoskopiasa suoritettavassa mahanpinnan kiristysleikkaustoimenpiteessä (BMI > 35 kg/m<sup>2</sup>). He jakoivat aineiston kahteen osaan siten, että toisella ryhmällä käytettiin volyyimikontrolloitua ventilaatiota ja toisella painekontrolloitua ventilaatiota. Kertatilavuuksien (11 vs. 10,2 ml/kg) ja plateau-paineiden (26 vs. 27 cmH<sub>2</sub>O) välillä ei havaittu eroa, mutta huippuilmatiepaine nousi VCV-muodossa yli 30 cmH<sub>2</sub>O:n.

Sekä perioperatiivinen happeutuminen että hiilidioksidin tuulettuminen olivat kummasakin ryhmässä viitealueella, mutta tilastollisesti merkittävästi tehokkaampaa PCV-ryhmässä kuin VCV-ryhmässä (PaO<sub>2</sub> 22,5 vs. 15,9 kPa, p=0,011 ja PaCO<sub>2</sub> 5,2 vs. 5,4 kPa, p= 0,014)<sup>6</sup>. Sen sijaan Hans kollegoineen ei havainnut eroa happeutumisessa PCV:n eduksi verrattessaan VCV- ja PCV-muotoa 40:llä ylipainoisella (BMI > 40 kg/m<sup>2</sup>) mahalaukun ohitusleikkaukseen tulevalla potilaalla. Ainoastaan huippuilmatiepaine oli merkittävästi matalampi PCV- kuin VCV-ryhmässä (21,5 cmH<sub>2</sub>O vs. 26,8 cmH<sub>2</sub>O, p < 0,001)<sup>15</sup>. Myöskään Unzueta kollegoineen ei havainnut PCV:stä olevan lisähyötyä happeutumisen kannalta käytettäessä yhden keuhkon ventilaatiota, mutta keskimääräinen huippuilmatiepaine oli jopa 10 cmH<sub>2</sub>O matalampi PCV kuin VCV-muodossa<sup>16</sup>.

Vaikka tuloksissa ei vaikuttaisi olevan merkittävää eroa happeutumisen kannalta PCV:n eduksi, mahdollistaa PCV-muoto silti matalamman ilmatiepaineen käytön VCV-muotoon verrattuna, mikä saattaa olla eduksi etenkin laparoskooppisissa toimenpiteissä.

## Kurkunpäänaamari vai intubaatio

Kurkunpäänaamari (laryngeal mask airway, LMA) on verraten uusi vaihtoehtoinen tapa huolehtia potilaan ilmasteistä esimerkiksi tilanteissa, jolloin potilaan relaxointi kirurgisen toimenpiteen takia ei ole välttämätöntä. Zoremba kollegoineen vertasi LMA:n ja intubaation vaikutusta keuhkojen toimintaan 134 lievästi lihavalla potilaalla (BMI 30 kg/m<sup>2</sup>). Potilaat satunnaistettiin tasan intubaatio- ja kurkunpäänaamariryhmiin. Intubaatiota varten potilaat relaxoitiin rokuronilla, mutta kurkunpäänaamariryhmässä relaxaatiota ei käytetty. Keuhkofunktio mittaukset (FVC, FEV1) suoritettiin ennen anestesiaa sekä 0,5 h, 2 h, ja 24 h herätyksen jälkeen. Kaikissa mittauksissa LMA-ryhmän potilailla keuhkofunktio mittaukset olivat postoperatiivisesti merkittävästi paremmat kuin intubaatioryhmässä<sup>17</sup>.

LMA:n asettaminen ei vaadi relaxaatiota eikä se ärsytä hengitysteitä, mikä altistaa ylimääräiselle liman eritykselle ja näin ilmasteiden ahtautumiselle. Näin ollen LMA:ta tulisi suosia ainakin tilanteissa, joissa relaxaatio ei kirurgian puolesta ole välttämätöntä.

## Painettu vai painekontrolloitu ventilaatio

Painettu ventilaatiomuoto (pressure supported ventilation, PSV) eroaa PCV-muodosta siten, että se sallii myös potilaan omat hengitysyriytykset ja tukee yrityksiä ennalta säädetyin sisäänhengityspaineen mukaisesti. PSV-muodon etu on siinä, että se sallii pallealihaksen oman aktivoitumisen johtaen näin etenkin keuhkojen taaempien osien tehokkaampaan tuuletukseen<sup>18</sup>. Hengityskoneeseen voidaan säätää yhtäaikaaisesti PCV- ja PSV-muodot siten, että potilas saa tietyn ”vähimmäismäärän” pakotettuja kertahengitystilavuuksia, joiden lisäksi potilas voi halutessaan hengittää painetuttuja kertatilavuuksia.

Zoremba tutkimusryhmineen vertasi vastikään PSV-muotoa ja PCV-muotoa keskenään 89 lievästi tai merkittävästi lihavalla (BMI 25–35 kg/m<sup>2</sup>) potilaalla, joiden kirurginen toimenpide vaati nukutusta, mutta ei relaxaatiota. Tutkimuksessa potilaiden ventilaatio turvattiin kurkunpäänaamarilla ja painesäädöt asetettiin siten, että noin 6–8 ml/kg kertatilavuus täyttyi. PSV-ryhmässä ei käytetty ennalta käsin säädettyä hengitystaajuutta, vaan potilaiden taajuutta ohjasi heidän oma hengityskeskus. Ventilaation riittävyttä arvioitiin toimenpiteen ai-

kana mittaamalla valtimoverinäytteestä hiilidioksidiosapainetta, lisäksi seurattiin happisaturaatioita. Koko anestesian aikana happeutumisen säilyi merkittävästi parempana PSV-ryhmässä kuin PCV-ryhmässä. Sen sijaan hiilidioksidiosapaine oli PSV-ryhmässä PCV-ryhmää huomattavasti korkeampi (5,60 vs. 6,45 kPa). Korkeampi hiilidioksidipitoisuus PSV-ryhmässä selittyi mm. opioidien käytöllä, joka osaltaan lamasi hengityskeskusta<sup>19</sup>.

## Yhteenvedo

Riittävä PEEP:n käyttö yhdessä keuhkoalveoloiden rekrytointitoimenpiteen kanssa vähentää merkittävästi atelektaseja ylipainoisilla potilailla<sup>7-11</sup>. Painekontrolloidun ventilaatiomuodon etu näyttäisi olevan ennen kaikkea alhaisempi huippuilmatiepaine tilavuuskontrolloituun ventilaatiomuotoon nähden<sup>6,14,15</sup>. Mikäli tilavuuskontrolloidun ventilaation aikana ilmaantuu happeutumisoongelmia, saattaisi olla hyödyllistä siirtyä painekontrolloituun ventilaatioon. Suosimalla pitkää sisäänhengitysaikaa (I:E suhde 1:1) voidaan tehostaa happeutumista ja hiilidioksidin poistumista<sup>5</sup>. Kurkunpäänaamarista näyttäisi olevan hyötyä etenkin silloin, kun lihasrelaksaatio ei kirurgian puolesta ole välttämätöntä<sup>17,19</sup>. Mielenkiintoista on nähdä, miten tulevaisuudessa uudet tilavuuskontrolloidut paineohjatut ventilaattorit toimivat ylipainoisilla potilailla. □

### Lähteet

- Hekkala N, Alahuhta S. Korkea painoindeksi ja anestesia. *Finnanest* 2006; 39: 286–90.
- Heino R. Laihdutuskirurgia anestesiologisena haasteena. *Finnanest* 2009; 42: 218–23.
- Duggan M, Kavanagh BP. Pulmonary atelectasis: a pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology* 2005; 102: 838–54.
- Eichenberger A, Proietti S, Wicky S, ym. Morbid obesity and postoperative pulmonary atelectasis: an underestimated problem. *Anesth Analg* 2002; 95:1788–92, table of contents.
- Koh SO. Mode of mechanical ventilation: volume controlled mode. *Crit Care Clin* 2007; 23: 161–7.
- Cadi P, Guenoun T, Journois D, ym. Pressure-controlled ventilation improves oxygenation during laparoscopic obesity surgery compared with volume-controlled ventilation. *Br J Anaesth* 2008; 100: 709–16.
- Pillet O, Choukroun ML, Castaing Y. Effects of inspiratory flow rate alterations on gas exchange during mechanical ventilation in normal lungs. Efficiency of end-inspiratory pause. *Chest* 1993; 103: 1161–5.
- Rothen HU, Sporre B, Engberg G ym. Re-expansion of atelectasis during general anaesthesia: a computed tomography study. *Br J Anaesth* 1993; 71: 788–95.
- Rothen HU, Neumann P, Berglund JE, ym. Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia. *Br J Anaesth* 1999; 82: 551–6.
- Reinius H, Jonsson L, Gustafsson S, ym. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anaesthesia and



Riitta Heino

paralysis: a computerized tomography study. *Anesthesiology* 2009; 111: 979–87.

- Talab HF, Zabani IA, Abdelrahman HS, ym. Intraoperative ventilatory strategies for prevention of pulmonary atelectasis in obese patients undergoing laparoscopic bariatric surgery. *Anesth Analg* 2009; 109: 1511–6.
- Whalen FX, Gajic O, Thompson GB, ym. The effects of the alveolar recruitment maneuver and positive end-expiratory pressure on arterial oxygenation during laparoscopic bariatric surgery. *Anesth Analg* 2006; 102: 298–305.
- Yang SC, Yang SP. Effects of inspiratory flow waveforms on lung mechanics, gas exchange, and respiratory metabolism in COPD patients during mechanical ventilation. *Chest* 2002; 122: 2096–104.
- Chiumello D, Pelosi P, Taccone P, ym. Effect of different inspiratory rise time and cycling off criteria during pressure support ventilation in patients recovering from acute lung injury. *Crit Care Med* 2003; 31: 2604–10.
- Hans GA, Pregaldien AA, Kaba A, ym. Pressure-controlled ventilation does not improve gas exchange in morbidly obese patients undergoing abdominal surgery. *Obes Surg* 2008; 18: 71–6.
- Unzueta MC, Casas JI, Moral MV. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation during one-lung ventilation for thoracic surgery. *Anesth Analg* 2007; 104:1029–33, tables of contents.
- Zoremba M, Aust H, Eberhart L, ym. Comparison between intubation and the laryngeal mask airway in moderately obese adults. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009; 53: 436–42.
- Kleinman BS, Frey K, VanDrunen M ym. Motion of the diaphragm in patients with chronic obstructive pulmonary disease while spontaneously breathing versus during positive pressure breathing after anesthesia and neuromuscular blockade. *Anesthesiology* 2002; 97: 298–305.
- Zoremba M, Kalmus G, Dette F ym. Effect of intra-operative pressure support vs pressure controlled ventilation on oxygenation and lung function in moderately obese adults. *Anaesthesia* 2010; 65: 124–9.

Walteri Siirala  
erikoistuva lääkäri  
ATEK-klinikka  
Turun yliopistollinen sairaala  
walteri.siirala[at]tyks.fi