

Hapenkulutuksen mittaus M-CAiOVX-moduulilla

Markku Taittonen

Anestesian ja kirurgian vaikutusta hapenkulutukseen on selvitetty lukuisissa tutkimuksissa. Hapenkulutuksen on osoitettu vähenevän 8% – 40% anestesiaa tai leikkausta edeltävistä arvoista (1-5). Muutoksiin vaikuttavat mm. kehon lämpötila, anestesian syvyys, relaksaation aste, käytetty anesteetti ja muutokset kiertävässä verivolyymissä.

Aerobisissa olosuhteissa hapenkulutus kuvastaa kudosten metabolista aktiivisuutta. Jos hapenkuljetus kudoksille on riittämätöntä, hapenkulutus tulee suoraan riippuvaiseksi hapentarjonnasta. Seurauksena saattaa olla anaerobinen metabolia ja maitohapon muodostuminen. Anaerobisen metabolian yhteydessä hapenkulutus ei kuvaa kudosten hapentarvetta vaan kudoksiin muodostuu happivajetta. Happivajeen korvaantuminen näkyy lisääntyneenä hapenkulutuksena, kun hapentarjonta on taas riittävä (6,7).

Epäsuora kalorimetria

Epäsuorat kalorimetrit tarjoavat mahdollisuuden noninvasiiviseen ja jatkuvaan elimistön kaasujenvaihdon seurantaan. Suurimmassa osassa nykyisistä epäsuorista kalorimetreistä on ns. avoin kierto, jossa uloshengityskaasut kerätään, kaasun volyyymi ja virtaus mitataan ja uloshengitysilman happi- ja hiilidioksidipitoisuudet analysoidaan. Hapenkulutus ja hiilidioksidintuotto lasketaan näiden tietojen perusteella.

Hengityskaasuista mitataan joko sisään- tai uloshengitysvolyymi ja toinen lasketaan käyttämällä Haldanen kaavaa: $((1-FIO_2) \cdot Vi = (1-FEO_2 - FECO_2) \cdot Ve)$ (8), missä FIO_2 ja FEO_2 ovat sisään- ja uloshengityskaasun happipitoisuudet, $FECO_2$ uloshengityksen hiilidioksidipitoisuus sekä Vi ja Ve

sisään- ja uloshengitysvolyymit. Haldanen kaava perustuu oletukseen, että keuhkoissa tapahtuu vain hapen ja hiilidioksidin vaihtoa ja ylimääräisenä kaasuna on typpi, jonka volyyymi on sama sisään- ja uloshengityksessä. Olettamuksesta seuraa, että kun toinen virtauksista tiedetään niin toinen voidaan laskea. Hengityskaasujen virtauksen mittaukseen liittyy silti lukuisia ongelmia: kosteuden vaikutus, hengitysteiden eritteet, kaasupitoisuuksissa tapahtuvat muutokset ja virtausanturin dynaamiset ominaisuudet.

Deltatrac-metaboliamonitorissa (Datex-Ohmeda, Helsinki) virtausantureihin liittyvät ongelmat on vältetty menetelmällä, jossa uloshengityskaasut sekoittuvat tiettyyn vakiovirtaukseen. Deltatrac-monitorin toiminnalle on erityisen tärkeää virtausgeneraattorin toiminta ja sen säännöllinen tarkistaminen.

Deltatrac on herkkä vuodoille potilas-ventilaattorisysteemissä mitattaessa hapenkulutusta respiraattorissa olevilta potilailta. Hapenkulutus laskeaan käyttämällä Haldanen kaavaa. Kaavasta johtuen Deltatrac on herkkä myös sisäänhengitysilman happipitoisuudessa tapahtuville muutoksille. Virheen riski kasvaa sitä suuremmaksi, mitä suurempaa happipitoisuutta käytetään. Tämä johtuu siitä, että suuremmilla pitoisuuksilla Haldanen kaavassa oleva termi $1 - FiO_2$ lähenee nollaa. Mitatut arvot ovat käytännössä epäluotettavia, jos happipitoisuus on suurempi kuin 80 % (9). Haihtuvia anesteetteja ja ilokaasua ei voi käyttää mitattaessa hapenkulutusta Deltatracilla.

Deltatrac-monitori on suhteellisen kookas. Tehohoitokäyttöön esiteltiin v. 1997 M-COVX-moduuli (epäsuora kalorimetri), joka voidaan liittää suoraan Datex-Ohmedan AS/3 - monitoriin. Vas-

taavan tyyppinen moduuli M-CAiOVX esiteltiin anestesiakäyttöön viime vuonna. Kuten Deltatracissa hapenkulutuksen mittaukseen käytetään paramagneettista happianturia. Hiilidioksidi mitataan käyttämällä infrapunavalon absorptiota. Moduuli laskee hapenkulutuksen, hiilidioksidintuoton, hengitysosamäärän, energiankulutuksen ja mittaa lisäksi haihtuvien anesteettien pitoisuudet. Moduuli toimii myös spirometrina.

M-CAiOVX-laitteessa hapenkulutuksen laskeminen perustuu myöskin Haldanen kaavaan, jolloin korkeat happipitoisuudet häiritsevät mittauksia, eikä ilokaasua voi käyttää. Haihtuville anesteeteille laitteessa on korjauskertoimet. Hapenkulutuksen mittaus tapahtuu henkäys henkäykseltä. Tämä mittausmenetelmä on teknisesti vaativa ja edellyttää monimutkaisia korjauskertoimia, jotta kliinisessä käytössä vaadittava tarkkuus saavutetaan.

M-CAiOVX:n yhteydessä käytettävä D-lite-virtausanturi (Datex-Ohmeda, Helsinki) ja kaasujen näytteenotto kytketään intubaatioputken päähän. Virtauksen mittaus perustuu paine-eron muutokseen anturin ”kuristimessa”. D-lite-anturi toimii sivuvirtausperiaatteella, jolloin kaasukonsentraation ja virtauksen mittaus ei tapahdu samanaikaisesti. Kaasunäytteen kulkiessa D-lite-anturin läpi virtaus rekisteröidään pienen viiveen kuluttua (alle 10 ms), koska paineen muutos kulkeutuu spirometrin letkustosta moduuliin äänennopeudella. Kaasunäytteen kulkeutuminen anturin letkustosta moduuliin kestää noin 1.5 s, jolloin happi- ja hiilidioksidipitoisuudet rekisteröidään. Aikaviive ei ole vakio; se täytyy kompensoida anturissa tapahtuvien virtauksen ja paineen vaihtelujen sekä kaasujen konsentraatioissa tapahtuvien muutosten suhteen. Lisäksi happi- ja hiilidioksidikäyrissä tapahtuvat muutokset täytyy kompensoida käyttämällä dekonvoluutioalgoritmeja. Hapenkulutus ja hiilidioksidintuotto saadaan integroitua mitatusta virtauksesta ja kaasusignaalista, kun alkuperäiset happi- ja hiilidioksidikäyrät on rekonstruoitu ja sovitettu ne täsmäämään virtaussignaalin kanssa.

Hapenkulutuksen mittaus anestesian aikana

Anestesiologin ensisijaisena tavoitteena on turvata kudosten riittävä hapentarjonta kirurgisen toimenpiteen aikana. Normaalisti hapentarjonnan seurantaan yleisanestesian aikana riittävät hengityskaasu-

jen happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien mittaus, pulssioksimetria ja noninvasiivinen verenpaineen mittaus. Joissakin tapauksissa hapenkuljetuksen optimoimiseksi saatetaan tarvita invasiivista verenpaineen mittausta ja keuhkovaltimokatetria.

Jatkuva hapenkulutuksen mittaus anestesian aikana yhdistää verenkierrosta ja kaasujen vaihdosta saatavaa tietoa ja kuvaa potilaan hyvinvointia paremmin kuin nämä mittaukset yksinään.

Hapenkulutuksen mittaus saattaa olla hyödyllinen toimenpiteissä, joihin liittyy suuria muutoksia kiertävässä verivolyymissa. Perinteisesti riittävä nestetäyttö on arvioitu sydämen sykkeen, verenpaineen ja keskuslaskimopaineen avulla. Keuhkovaltimokatetria käytettäessä voidaan nestetäytön arvioinnissa käyttää lisäksi sydämen minuuttitilavuutta ja kiilapainetta.

Verenvuodon korvausta voidaan arvioida myös hapenkulutuksen perusteella. Korvaus on riittävä, kun vuotoa edeltävä hapenkulutus on saavutettu. Tähän päästään, jos veritilavuus ja sen happea kuljettava kapasiteetti on riittävä. Tiettyyn rajaan alhainen hemoglobiini voi korvautua lisääntyneellä sydämen minuuttitilavuudella. Tämä kompensatiomekanismi riippuu suuresti nestetäytön asteesta. Vuodon korvaus pelkästään kirkkailla liuoksilla johtaa alhaiseen veren hemoglobiinipitoisuuteen. Tässä tilanteessa jatkuva hapenkulutuksen mittaus yhdessä verenkierron seurannan kanssa osoittaa, milloin elimistön kompensatiomekanismit eivät enää riitä ja kudoksiin muodostuu happivajetta.

Potilastapaus

Potilas on 69-vuotias mies, joka sai sydäninfarktin 4 kuukautta ennen ohitusleikkausta. Sepelvaltimoiden varjoainekuvauksessa todettiin kolmen suonen tauti. Ventrikulogrammissa oli infarktin jäljiltä pieni liikkumaton alue vasemman kammion alaseinämässä ja laskennallinen ejektiofraktio oli 48 %.

Anestesia indusoiitiin propofolilla ja sufentanililla. Liharelaksanttina käytettiin pankuronia. Anestesia ylläpidettiin propofoli- ja sufentanyyli-infusioilla ja isofluraanilla. Ohitukseen käytettiin vena saphena magna -siirrettä ja vasenta arteria mammaria interna. Diffuusista taudista johtuen kirurgella oli vaikeuksia löytää sopivaa anastomoosin paikkaa vasemmassa sepelvaltimossa. Aortta oli suljettuna 71 minuuttia ja perfuusioaika oli 141 minuuttia. Perfuusion aikana potilaan lämpötilan an-

nettiin laskea, ennen kuin aktiivinen lämmittäminen aloitettiin toimenpiteen lopussa. Nenänielusta ja virtsarakosta mitattu lämpötila oli 36.5 °C, kun potilas vieroitettiin perfuusorista. Adrenaliini- (5 mg/min) ja nitroglyseriini-infuusiot (16 mg/min) aloitettiin perfuusiosta vieroittelun yhteydessä. Rintalastan sulkemisen jälkeen potilasta seurattiin 15 min leikkaussalissa ennen siirtoa teho-osastolle.

Hapenkulutusta mitattiin anestesian induktios- ta lähtien ja jatkettiin kunnes potilas siirrettiin leikkaussalissa teho-osastolle. Mittaus keskeytettiin perfuusion ajaksi.

Ennen perfuusiota hapenkulutus laski hitaasti elimistön jäähtymisen myötä. Rintalastan avaaminen aiheutti pienen verenpaineen nousun ja hetkel- lisen lisääntymisen hapenkulutuksessa. Hapenkulutus lisääntymisen syynä oli todennäköisesti katekoliamiinitasojen nousu ja metabolian kiihtyminen vasteena kirurgiselle stressille. Syynä saattoi olla myös verenkierron jakaantuminen huonosti perfusoituihin kapillaareihin.

Heti perfuusion jälkeen hapenkulutus oli lähes perfuusiota edeltäneellä tasolla. Tämän jälkeen hapenkulutus lisääntyi noin puolen tunnin ajaksi. Syynä saattoi olla adrenaliini-infuusio ja/tai huonosti perfusoitujen alueiden kapillaarien avautuminen ja kudosten happivajeen korvautuminen riittävän hapentarjonnan seurauksena.

Yhteenveto

Jatkuva hapenkulutuksen mittaus on aiheellinen leikkauksissa, joissa voidaan odottaa suuria muutoksia kiertävässä verivolyymissä. Hypovolemian aiheuttama riittämätön kudoshapetus vähentää hapenkulutusta. Hapenkulutus palautuu ennelleen, kun vuoto on oikein korvattu. Hapenkulutuksessa tapahtuvia muutoksia voidaan näin osaltaan käyttää arvioitaessa riittävää nesteytystä.

M-CAiOVX-moduuli on non-invasiivinen ja se mittaa jatkuvaa hapenkulutusta. Laite antaa uuden mahdollisuuden hoitointerventioiden seurantaan, sillä AS/3 monitorista voidaan valvoa samanaikaisesti sekä hapenkulutuksessa että verenkierrossa tapahtuvia muutoksia.

Kirjallisuusviitteet

1. Brismar B, Hedenstierna G, Lundh R, Tokics L. Oxygen uptake, plasma catecholamines and cardiac output during neurolept-nitrous oxide and halothane anaesthetics. *Acta Anaesthesiol Scand* 1982; 26: 541-549.
2. Viale JP, Annat G, Bertrand O, Thouverez B, Hoen JP, Motin J. Continuous measurement of pulmonary gas exchange during general anaesthesia in man. *Acta Anaesthesiol Scand* 1988; 32: 691-697.
3. Svensson KL, Henriksson BÅ, Sonander H, Stenqvist O. Metabolic gas exchange during nitrous oxide anaesthesia with controlled ventilation. *Br J Anaesth* 1990; 64: 320-326.
4. Taittonen MT, Kirvelä OA, Aantaa R, Kanto JH. Effect of clonidine and dexmedetomidine premedication on perioperative oxygen consumption and haemodynamic state. *Br J Anaesth* 1997; 78: 400-406.
5. Taittonen MT, Kirvelä OA, Aantaa R, Kanto JH. The effect of clonidine or midazolam premedication on perioperative responses during ketamine anaesthesia. *Anesth Analg* 1998; 87: 161-167.
6. Cain SM, Curtis SE. Experimental models of pathologic supply dependency. *Crit Care Med* 1991; 19: 603-612.
7. Gilbert EM, Haupt MT, Mandanas RY, Huaranga AJ, Carlson RW. The effect of fluid loading, blood transfusion, and catecholamine infusion on oxygen delivery and consumption in patients with sepsis. *Am Rev Respir Dis* 1986; 134: 873-878.
8. Meriläinen PT. Metabolic monitor. *Int J Clin Monit Comput* 1987; 4: 167-177.
9. Takala J, Keinänen O, Väisänen P, Kari A. Measurement of gas exchange in intensive care: laboratory and clinical validation of a new device. *Crit Care Med* 1989; 17: 1041-1047.

Markku Taittonen, LT, erikoislääkäri
TYKS, anestesiolegian ja tehohoidon yksikkö
PL 52
20521 Turku
sähköposti: markku.taittonen@tyks.fi