



Timo Kaakinen

dosentti, erikoislääkäri
yliopistotutkija
Sydänanestesian lisäkoulutus
Lääkäriskouluttajan erityispätevyys
OYS Tehohoitokeskus, Oulun yliopisto
timo.kaakinen@oulu.fi

Mitä uutta keuhkovaltimokatetrasta?

Kirjoitin vuonna 2015 keuhkovaltimokatetrin pienen katsauksen tähän lehteen (1). Sen sisältö on enimmäkseen edelleen ajankohtaista, mutta viime vuosina on tullut lisää tietoa keuhkovaltimokatetrin hyödyistä kardiogeenisessä sokissa. Näyttää myös siltä, että vaihtoehtoiset menetelmät, kuten uudet mini-invasiiviset sydämen minuuttitulavuutta (cardiac output, CO) mittaavat monitorit, joita meille aktiivisesti markkinoidaan, eivät ole edelleenkään tarpeeksi luotettavia korvaamaan keuhkovaltimokatetria CO:n mittaamisessa. Siksi katsoin aiheelliseksi kirjoittaa jälleen lyhyen katsauksen aiheesta jäsenkunnallemme luettavaksi. Tämä artikkeli ei ole tarkoitettu systemaattiseksi katsaukseksi, vaan se ainoastaan kertoo erään asiasta kiinnostuneen kollegan ajatuksia tästä haastavasta aihepiiristä.

Keuhkovaltimokatetrin etuna on kliinisessä käytössä olevista monitoreista luotettavin, termodiluutiotekniikkaan perustuva CO-mittaus. Kaikki markkinoille tulevat CO-monitorit tulisi validoida vertaamalla niillä saatuja arvoja samanaikaisesti keuhkovaltimokatetrilla mitattuihin arvoihin. Lisäksi sen avulla voidaan monitoroida suoraan keuhkovaltimopaineita. Keuhkovaltimokatetrin keltaisesta linjasta (niin sanottu pulmonaalilinja) voidaan ottaa verikaasuanalyysi eli astrup, jolloin puhutaan sekoittuneesta laskimoverinäytteestä. Sekoituneen laskimoveren happisaturaatio (SvO₂) on perinteinen tapa arvioida potilaan verenkierron riittävyttä.

Keuhkovaltimokatetrin käyttö rajoittuu nykyään lähinnä sydänkirurgisiin potilaisiin sekä harkiten merkittävässä verenkiertovajauksessa oleviin tehohoitopotilaisiin (esimerkiksi elvytyksen jälkeinen tehohoito, kardiogeeninen sokki ja vaikea septinen verenkiertovajaus). Pulmonaalihypertensiota sairastavia potilaita hoi-

dettaessa suositellaan yksilöllistä harkintaa siitä, onko keuhkovaltimokatetrin käyttö tarpeellista. Keuhkovaltimokatetrin käytön rajoitteista ja siihen yhdistetyistä haitoista voi lukea vuoden 2015 katsauksestani (1).

Keuhkovaltimokatetrin käyttö vaihtelee huomattavasti eri yksiköiden välillä. Esimerkiksi meillä Oulussa on vuosikymmenten mittainen perinne keuhkovaltimokatetrin käytöstä sydänkirurgian yhteydessä, ja edelleen asetamme sen kaikille sydänleikkauspotilaille, jos vain mahdollista. Muille edellä mainituille potilasryhmille keuhkovaltimokatetri asetetaan melkein vain harkinnan jälkeen. On kuitenkin paljon keskuksia, jotka eivät käytä keuhkovaltimokatetria ollenkaan, vaan arvioivat potilaan sydämen ja verenkierron toimintaa muilla tavoin. Näitä tapoja ovat esimerkiksi sydämen ultraäänitutkimus ruokatorven kautta (transesophageal echocardiography, TEE), sydämen ultraäänitutkimus rintakehän läpi (transthoracic echocardiography, TTE), keskuslaskimosta mitattu happisaturaatio (ScvO₂), lähi-infrapuu-

naspektroskopia (near-infrared spectroscopy, NIRS) ja mini- ja noninvasiiviset CO-monitorit. Vertailevaa tutkimusta keuhkovaltimokatetrin ja näiden muiden menetelmien välillä on kuitenkin tehty varsin vähän, ja julkaisujen luotettavuutta heikentävät pienet otoskoot ja vaillinaiset tilastotieteelliset menetelmät. Esimerkiksi korrelaatioanalyysia ei tulisi käyttää lainkaan samaa arvoa mittaavien monitoreiden validointitutkimuksissa, vaan sitä varten on kehitetty oma niin sanottu Bland-Altman-menetelmä eri muunnoksineen. Olisi myös tärkeää arvioida toistettujen mittausten luotettavuutta hoidon aikana, eli suorittaa trendianalyysi arvojen käyttäytymisestä ajan kuluessa. Tämä analyysi puuttuu lähes kaikista tutkimuksista (2,3).

TEE

TEE:n hyödyntäminen potilasmonitoroinnissa vaatii erityisosaamista, joten sen käyttö rajoittuu lähinnä sydänkirurgiaan ja osavissa käsissä myös muihin ympäristöihin, kuten tehohoitoon ja elinsiirtoihin. TEE:n etuja ovat yleensä hyvänlaatuinen kuva ja parempi näkyvyys kuin TTE:llä. Monet haastavat tilanteet, kuten sydämen sisäiset hyytymät, TTE:llä havaitsemattomat sydämen viereiset verihyytymät tai läppien bakteerivegetaatiot, näkyvät paremmin TEE:lla kuin TTE:llä. TEE:n edut diagnostisena välineenä ovat kiistattomat. Potilaan anatomia kuitenkin rajoittaa myös TEE:n tekemistä, eikä sitä yleensä voi tehdä kuin intuboiduille potilaille. TEE:n ja keuhkovaltimokatetrin avulla mitattuja CO-arvoja on vertailtu keskenään useissa tutkimuksissa, ja on havaittu, että TEE:llä mitatut CO-arvot eivät ole riittävän luotettavia korvaamaan keuhkovaltimokatetria, jos potilaan neste- ja verenkierron tukilääkehoitoa halutaan ohjata CO-arvojen avulla. (4–6)

TTE

Tavanomainen TTE-tutkimus on nykyään helposti toteutettavissa, ja erilaisia koulutuksia aiheesta järjestetään runsaasti. TTE on arkipäivää teho-osastotyössä, ja innokkaimmat kollegamme käyttävät sitä myös leikkauspotilaille. TTE on parhaimmillaan erinomainen diagnostinen työkalu, ja merkittävät patologiset löydökset, kuten uhkaava sydämen tamponaatio ja keuhkoemboolian aiheuttama sydämen oikean puolen kuormitus, ovat usein helposti todettavissa. TTE

Lyhenteet

- CO = cardiac output
- TEE = transesophageal echocardiography, sydämen ultraääni-tutkimus ruokatorven kautta
- TTE = transthoracic echocardiography, sydämen ultraäänitutkimus rintakehän läpi
- SV_{O_2} = sekoittuneen laskimoveren happisaturaatio
- Scv_{O_2} = keskuslaskimosta mitattu happisaturaatio
- NIRS = near-infrared spectroscopy, lähi-infrapunaspektroskopia
- VO_2 = hapenkulutus ($ml/min/m^2$)
- Sa_{O_2} = arteriasaturaatio
- Sv_{O_2} = venasaturaatio
- ECMO = extracorporeal membrane oxygenation, kehonulkoinen happeutus
- SVV = stroke volume variation, iskutilavuuden vaihtelu

(ja TEE) vaatii kuitenkin merkittävän määrän koulutusta, harjoittelua ja tervettä nöyryyttä tekijältään.

TTE:llä (kuten TEE:lläkin) voidaan mitata runsaasti erilaisia hemodynaamisia mittauksia, kuten CO ja keuhkovaltimopaineet. TTE:llä mitatut CO-arvot ja pulmonaalipaineet eivät kuitenkaan ole luotettavia, kun niitä verrataan samaan aikaan keuhkovaltimokatetrilla mitattuihin arvoihin, joskin trendianalyysin mukaan toistettavuus voisi olla hyvä, ainakin kokeneen tekijän käsissä (7–8). Sekä TTE:n että TEE:n ongelma CO:n mittaamisessa on se, että vasemman kammion ulosvirtauskanavan koon mittaaminen ultraäänellä arvioiden ei ole luotettavaa, tai erityisesti TTE:n suhteen se on joskus huonon näkyvyyden takia mahdotonta. Tämä koskee erityisesti sydänkirurgisia potilaita välittömässä postoperatiivisessa vaiheessa, jolloin suurella osalla potilaista ei saada riittävä näkyvyyttä mittausten tekemiseen tai esimerkiksi tamponaation poissulkuun rintakehän sisällä olevan ilman ja mekaanisen ventilaation takia. Tällöin tulee turvautua TEE-tutkimukseen ja allekirjoittaneen mielestä myös keuhkovaltimokatetrin käyttöön mittaauksissa.

SV_{O_2} ja Scv_{O_2}

Laskimoveren happisaturaatiota on käytetty jo viime vuosikymmenen puolella arvioimaan leikkaus- ja tehohoitopotilaiden hapenkulutusta ja verenkierron riittävyttä. Sekoittuneen

>>

laskimoveren happisaturaatio (SvO_2) mitataan keuhkovaltimosta otetusta näytteestä, eli käytössä pitää olla keuhkovaltimokatetri. Tavallisen keskuslaskimokatetrin avulla saadaan mitattua keskuslaskimohappisaturaatio ($ScvO_2$), ja sitä käytetään yleisesti vaihtoehtoisena menetelmänä SvO_2 -arvoille. Sekä SvO_2 että $ScvO_2$ voidaan mitata myös jatkuvana mittauksena kuituoptisia katetreja hyödyntäen, mutta nämä mittaukset eivät ole yhtä luotettavia kuin verinäytteet (9–11).

Elimistön hapenkulutusta on kuvattu yhtälöllä $VO_2 = CO \times Hb \times 1,34 \times (SaO_2 - SvO_2)$, jossa VO_2 on hapenkulutus ($ml/min/m^2$), CO on sydämen minuuttitilavuus (l/min), Hb on hemoglobiinipitoisuus (g/l) ja SaO_2 ja SvO_2 ovat arteria- ja venasaturaatiot. 1,34 on happeutuneen

TTE on parhaimmillaan erinomainen diagnostinen työkalu.

hemoglobiinin kuljetuskapasiteetti millilitroissa grammaa kohden. Kun yhtälöä muokataan SvO_2 :n mukaan, saadaan $SvO_2 = SaO_2 - VO_2 / (CO \times Hb \times 1,34)$. Kliinisessä työssä voidaan vaikuttaa näihin arvoihin vain jonkin verran. Matalia arvoja voidaan korjata esimerkiksi parantamalla happeutumista (SaO_2) ja antamalla nestetäyttöä ja/tai vasoaktiivista lääkitystä (CO) tai punasoluja (Hb). Hapenkulutusta (VO_2) voidaan laskea esimerkiksi sedaatiolla, relaksaatiolla ja hypotermialla. Tiedetään kuitenkin myös se, että nämä hoitokeinot ovat rajallisia ja väärin käytettynä varmasti haitallisia, koska muun muassa hyperoksiaan, liialliseen nestetäyttöön, vasoaktiiviseen lääkitykseen ja punasolusiirtoihin liittyy selkeitä haittoja, kuten myös pitkityneeseen sedaatioon ja hypotermiaan. Kliiniset tutkimukset ovat osoittaneet, että hapen tarjonnan ja kulutuksen optimointi ei johda välttämättä parempaan lopputulokseen. $ScvO_2$ -tavoitetta ei enää löydy tuoreimmista kansainvälisistä sepsiksen hoitosuosituksista (12). CO :n ja SvO_2 :n yhteyttä toisiinsa ei ole kliinisissä tutkimuksissa tähän mennessä osoitettu kattavasti.

Perinteisesti on kuitenkin ajateltu, että kriittisesti sairaiden potilaiden $ScvO_2$ -tavoite tulisi olla yli 70 % ja SvO_2 -tavoite yli 65 %. $ScvO_2$ ja SvO_2 eivät ole numeroarvoltaan samoja samalla

potilaalla, eivätkä niiden arvot käyttäydy samalla tavalla seurannan aikana (11,13). Niitä ei siis voi käyttää toisiaan korvaavina menetelminä. Tiedetään myös, että korkeat venasaturaatioarvot ovat yhteydessä lisääntyneeseen kuolemanriskiin, mikä liittyy vakavaan solu- ja mikroverenkiertotason hapentarjonnan ja -kulutuksen häiriöön esimerkiksi sepsiksessä (14). On kuitenkin näyttöä retrospektiivisistä tutkimuksista, että sydänkirurgisilla potilailla teholle saapumisen yhteydessä otettujen SvO_2 -arvojen alittaessa 58–60 % ennuste huononee (15–16). Vielä julkaisemattoman oululaisen tutkimuksen mukaan SvO_2 -arvot alle 60 % teholle tullessa ja 4 tunnin kohdalla liittyvät sydänkirurgisilla potilailla kohonneeseen kuoleman riskiin, mutta tähän tietoon tulee tässä vaiheessa vielä suhtautua varauksellisesti. Kuopiolaiset kollegat totesivat jo yli 20 vuotta sitten satunnaistetussa, kontrolloidussa tutkimuksessaan, että sydänkirurgisten potilaiden ennuste parani hieman (vähemmän komplikaatioita ja lyhyempi sairaalassaoloaika), kun heidän SvO_2 -arvonsa pidettiin yli 70 prosentissa leikkauksen jälkeisen tehohoitojakson ensimmäisten kahdeksan tunnin ajan nesteytyksellä ja vasoaktiivisella lääkityksellä (17).

Laskimoveren happisaturaatioarvot ovat kuitenkin yksilöllisiä, ja niihin vaikuttavat muun muassa mekaaninen ventilaatio, sedaatio ja mahdollinen lihasrelaksaatio, kuumeilu, suolen toiminta, motorinen aktiivisuus, kipu, stressi, tulehdustilat ja infektiot, lisääntynyt hengitystyö ynnä muut sekoittavat tekijät. Venasaturaatioarvoja ei tule käyttää yksin arvioimaan potilaan verenkierron ja hapenkulutuksen tilaa, vaan ne tulee suhteuttaa muihin käytössä oleviin luotettaviin monitorointimenetelmiin, laboratorioarvoihin ja potilaan tilaan (18). Venasaturaatioarvoilla on mahdollisesti eniten käyttöarvoa silloin, kun hoidetaan mekaanisesti ventiloitua ja sedoitua potilasta, kuten yleensä on tilanne välittömässä postoperatiivisessa vaiheessa sydänkirurgisen tai muun suuren toimenpiteen jälkeen. Sydänkirurgisilla potilailla alentuneet venasaturaatioarvot normalisoituvat yleensä 4–6 tunnin kuluessa, ja myöhemmin tehohoitojakson aikana ekstubation jälkeen niissä on huomattavasti enemmän vaihtelua (19,20).

NIRS

NIRS eli lähi-infrapunaspektroskopia on kaJoamaton monitorointimenetelmä, joka hyö-

dyntää valon lähi-infrapuna-alueen spektriä (kaupallisilla laitteilla yleensä 700–850 nm). Oksi- ja deoksihemoglobiini tuottavat lähi-infrapunaspektrillä tyypilliset absorptiokuvaajat, jotka laite tunnistaa, ja niiden avulla laite laskee oksihemoglobiinin suhteen koko hemoglobiinin konsentraatioon. NIRS-valo läpäisee myös luuta, joten se penetroituu aivojen kuorikerrokseen asti. Ajatellaan, että 85 % signaalista on aivojen kuorikerrokselta ja 15 % iholta ja muualta kallon ulkopuolisista kudoksista ja 70 % signaalista koostuu laskimoverestä (21). Tavallisin tapa hyödyntää NIRS-tekniikkaa on asettaa laitteen anturit potilaan otsalle molemmin puolin keskiviivaa. Koska signaaliin liittyy merkittävästi myös kasvojen alueen verenkiertoa, NIRS-arvojen perusteella ei voi sulkea pois merkittävää aivoverenkierron häiriötä tai aivoverenkierron loppumista aivo-kuolleella potilaalla (22). NIRS-arvoihin vaikuttavat muun muassa potilaan verenpaine, CO ja valtimoveren hiilidioksidipitoisuus sekä hemoglobiinitaso.

NIRS-monitoroinnin ongelma on se, että arvoilla on iso vaihtelu eri yksilöiden välillä. Ei ole olemassa mitään absoluuttisia raja-arvoja, jotka kertoisivat uhkaavasta aivokudoksen hapenpuutteesta. Myöskään usean laitevalmistajan mainostama –20 prosentin muutos lähtötasosta ei välttämättä kerro luotettavasti uhkaavasta hapenpuutteesta. NIRS-monitoreja kannattaakin hyödyntää lähes reaaliaikaisena systeemisena hapentarjonnan ja -kulutuksen mittarina, koska niiden ehkä käyttökelpoisin sovellus on mittarin hyvä korrelaatio ja assosiaatio SvO₂- ja CO-arvoihin (23, vielä julkaisematon oululainen havainto). Karotiskirurgian yhteydessä NIRSin avulla voidaan varsin luotettavasti todeta riittämätön kollateraalikierto verisuonipihdityksen yhteydessä. Lisäksi sydän- ja aorttakirurgian tapausselostuksissa on kuvattu, miten NIRSin avulla voidaan tunnistaa kanyylien malpositio ja malperfuusio sekä todeta riittävä selektiivinen antegradinen aivoperfuusio (24). En käsittele tässä katsauksessa enempää muita NIRSin mahdollisia käyttöaiheita, joita ovat muun muassa ECMO-hoidon seuranta, neurologisten komplikaatioiden mahdollinen väheneminen sydänkirurgian yhteydessä ja aivoverenkierron autoregulaation monitorointi.

Mini-invasiiviset CO-monitorit

Erilaisia mini- ja noninvasiivisia sydämen minuuttitulavuutta mittaavia monitoreja on tullut

markkinoille runsaasti viime vuosikymmenten aikana. Niin sanotut pulse contour -menetelmään perustuvat laitteet hyödyntävät valtimokanyylin kautta saatavaa invasiivista valtimopainekäyrää, ja niistä kukin laskee oman enemmän tai vähemmän salaisen algoritminsa avulla aimo liudan hemodynaamisia parametrejä, kuten CO:n ja isku-tilavuuden vaihtelun (stroke volume variation, SVV). Muita tekniikoita ovat muun muassa bioreaktanssi, joka perustuu rintakehän sisäisten suurten suonten verenvirtauksen aiheuttamaan vaihemuutokseen antureiden lähettämässä ja vastaanottamassa pienessä sähkövirrassa, sekä ruokatorvidoppler, jossa ohut ultraäänianturi asetetaan ruokatorveen mittaamaan laskevan aortan verenvirtausta. Lisäksi eri valmistajilta on tullut markkinoille sormiin tai ranteeseen asetettavia laitteita, jotka hyödyntävät pienten suonten perifeeristä pulssikäyrää CO:n mittaamisessa. Muitakin tekniikoita CO:n mittaamiseen on olemassa (25).

Valitettavasti mikään mini- ja noninvasiivinen tekniikka ei ole tähän mennessä osoittautunut CO:n mittaamisessa luotettavaksi, kun niitä on verrattu keuhkovaltimokatetriin (26). Vaikka keskimäärin mittausten arvot voivat olla lähellä keuhkovaltimokateetrilla mitattuja arvoja (harha, bias), niin kaikki mittaukset huomioiden arvojen hajonta on kautta linjan aivan liian suurta. Tutkimuksissa on raportoitu liian laajoja niin sanottuja yhtäpitävyysrajoja (limits of agreement, LOA) ja prosentuaalisia virheitä (percentage error, PE), ja trendianalyysi on usein jäänyt kokonaan tekemättä. CO-monitori on luotettava, jos bias on alle 0,5 l/min (cardiac index -arvona

ScvO₂-tavoitetta ei enää löydy kansainvälisistä sepsiksen hoitosuosituksista.

0,25 l/min/m²), LOA on alle 1,0 l/min (cardiac index -arvona 0,5 l/min/m²) ja PE on alle 30 %. Seurannan aikana tutkimusmittareilla mitattujen arvojen tulisi muuttua suurimmaksi osaksi samaan suuntaan kuin keuhkovaltimokateetrilla mitattujen arvojen, jotta niitä voidaan pitää luotettavina trendimonitoreina (27–29). Näitä arvoja ja periaatteita voidaan pitää tiukkoina, mutta vakava verenkiertovajaus pitää voida tunnistaa

>>

tarkasti ja luotettavasti myös mini- ja noninvasiivisilla monitoreilla.

SVV on kiistanalainen suure, koska sen käyttöön liittyy runsaasti erilaisia virhelähteitä. SVV:tä kuitenkin käytetään muun muassa nestevasteisuuden mittaamiseen, ja esimerkiksi tuoreissa sepsiksen hoitosuosituksissa ja katsausartikkeleissa suositellaan käyttämään dynaamisia hemodynaamisia muuttujia kuten SVV:tä arvioimaan nestehoidon vastetta (12,30). SVV:n luotettavuutta eri mittareiden välillä ei ole tutkittu oikeastaan ollenkaan, ja mitään kultaista standardia jatkuvan sydämen iskutilavuuden ja

NIRS-monitoreja kannattaakin hyödyntää lähes reaaliaikaisena mittarina.

SVV:n mittaamiselle ei ole olemassa. Kliininen kokemus kuitenkin kertoo, että nämä arvot voivat olla eri monitoreilla mitaten huomattavan erilaisia samalla potilaalla samaan aikaan. Toivottavasti jatkossa saadaan eri menetelmiä vertailevia tutkimuksia myös dynaamisista nestevastetta mittaavista muuttujista.

Kardiogeeninen sokki ja keuhkovaltimokatetri

Ennen 2010-lukua keuhkovaltimokatetrin käyttöön liittyviä tutkimuksia vaivasi yleisesti erikoinen ongelma, nimittäin sairaimmat eli korkeimman riskin potilaat suljettiin niistä pois. 2010-luvulla ja tämän vuosikymmenen alussa on kuitenkin julkaistu useita rekisteritutkimuksia, joissa vaikeassa kardiogeenisessä sokissa olevien potilaiden ennuste on parantunut, kun heitä on monitoroitu keuhkovaltimokateetrilla. Referoin tässä lyhyesti muutamia niistä.

Yhdysvaltojen National Inpatient Sample-tietokannasta kaivettiin esiin 9,4 miljoonaa potilasta, jotka sairastivat akuuttia sydämen vajaatoimintaa. Yli 900 000 potilasta oli ollut kardiogeenisessä sokissa. Vain 0,87 % vajaatoimintapotilaista sai keuhkovaltimokatetrin, mutta kardiogeenisessä sokissa olleista potilaista sen sai 8,7 %. Kun arvioitiin pelkästään kardiogeenistä sokkia sairastaneet potilaat, niin havaittiin pienempi sairaalakuolleisuus (35,1 % vs 39,2 %, odds ratio, OR 0,91 [95 %:n luottamusväli 0,88–

0,95]) ja vähemmän sydänpysähdyksiä (14,9 % vs 18,3 %, OR 0,77 [0,74–0,81]), kun potilaita oli monitoroitu keuhkovaltimokateetrilla. Toisaalta lievempää akuuttia sydämen vajaatoimintaa sairastaneilla potilailla kuolleisuus ja muut ongelmat olivat jopa yleisempiä, jos heitä monitoroitiin keuhkovaltimokateetrilla (31).

Amerikkalainen taannehtiva monikeskusrekisteritutkimus arvioi keuhkovaltimokateetrilla suoritettua kattavaa hemodynaamisen arvion vaikutusta kardiogeenistä sokkia sairastavien potilaiden ennusteeseen (32). Tutkimukseen saatiin kahdeksasta keskuksista 1404 potilasta, jotka olivat huomattavan sairaita (mekaanista tukihoidtoa sai 84 % potilaista, ja yli puolet tarvitsivat useita vasoaktiivisia tukilääkkeitä). Jos heidän verenkiertonsa tila arvioitiin kattavasti, saavutettiin merkittävästi vähentynyt kuolleisuus. Jos keuhkovaltimokateetriä ei käytetty, kuolleisuus oli suurempaa (OR 1,57 [1,06–2,33]).

Kuluvana vuonna julkaistu meta-analyysi tukee edellä mainittujen tutkimusten havaintoja (33). Se yhdisti edellä olevan kahden tutkimuksen lisäksi neljän muun havainnoivan tutkimuksen tiedot saaden kokoon yli 1,1 miljoonan kardiogeenistä sokkia sairastaneen potilaan tiedot. Lyhyen aikavälin kuolleisuus oli keuhkovaltimokateetriyhmässä 36 % [27–45 %] ja kontrolliryhmässä 47 % [35–59 %], OR 0,71, 95 % CI 0,59–0,87). Keuhkovaltimokateetriyhmässä oli enemmän potilaita mekaanisessa verenkierron tukihoidossa kuin kontrolliryhmässä (59 % [54–65 %] vs 48 % [95 % CI 43–53 %]), OR 1,60 [95 % CI 1,27–2,02).

Lopuksi

Näyttää siltä, että keuhkovaltimokatetrin käyttö on hyödyllisintä vaikeimmissa tapauksissa kuten kardiogeenistä sokkia sairastavilla potilailla. Laadukkaita eteneviä tutkimuksia toki edelleen tarvitaan, koska satunnaistetut tutkimukset puuttuvat. Keuhkovaltimokatetria on arvosteltu vuosien varrella moneen kertaan, mutta tämä kliinisessä käytössä yli 50 vuoden ajan ollut laite näyttää edelleen puolustavan paikkaansa, kunhan klinikko muistaa sen rajoitukset ja käyttöön liittyvät harvinaiset ongelmat (1,34).

Suomalainen lääkärikunta tuntee ymmärtääkseni varsin hyvin mini- ja noninvasiivisten CO-monitoreiden rajoitukset. On kuitenkin yleinen väärinkäsitys, että mini- ja noninvasiiviset CO-monitorit olisivat heikkouksistaan

huolimatta käyttökelpoisia hemodynaamisten trendien mittaamisessa. Näin väittää myös suomenkielinen erikoisalamme oppikirja, mutta kirjallisuus ei tue tätä ajatusta (35). Myöskään TTE ja TEE eivät ole mitenkään erityisen hyviä menetelmiä mittaamaan hemodynaamisia arvoja, vaikka ovatkin muuten erinomaisia diagnostisia apuvälineitä anestesia- ja tehohoitolaäkäreille. SvO₂ ja NIRS ovat kliinikolle hyödyllisiä apuvälineitä vaikeasti sairaan potilaan verenkierron arvioinnissa, sillä ne vaikuttavat selvästi luotettavammilta kuin mini- ja noninvasiiviset monitorointimenetelmät, mutta niidenkin rajoitteet täytyy pitää mielessä. ■

Viitteet

- Kaakinen T. Keuhkovaltimokatetri – hyvä verenkierron monitorointitapa osaaavissa käsissä. *Finnanest* 2015; 48(2): 124–8.
- Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res.* 1999; 8(2): 135–60.
- Montenij LJ, Buhre WF, Jansen JR, ym. Methodology of method comparison studies evaluating the validity of cardiac output monitors: a stepwise approach and checklist. *Br J Anaesth.* 2016; 116(6): 750–8.
- Graeser K, Zemtsovski M, Kofoed KF, ym. Comparing Methods for Cardiac Output: Intraoperatively Doppler-Derived Cardiac Output Measured With 3-Dimensional Echocardiography Is Not Interchangeable With Cardiac Output by Pulmonary Catheter Thermodilution. *Anesth Analg.* 2018; 127(2): 399–407.
- Canty DJ, Kim M, Guha R, ym. Comparison of Cardiac Output of Both 2-Dimensional and 3-Dimensional Transesophageal Echocardiography With Transpulmonary Thermodilution During Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2020; 34(1): 77–86.
- Rong LQ, Kaushal M, Mauer E, ym. Two- or 3-Dimensional Echocardiography-Derived Cardiac Output Cannot Replace the Pulmonary Artery Catheter in Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2020; 34(10): 2691–7.
- Mercado P, Maizel J, Beyls C, ym. Transthoracic echocardiography: an accurate and precise method for estimating cardiac output in the critically ill patient. *Crit Care.* 2017; 21(1): 136.
- Olivieri PP, Patel R, Kolb S, ym. Echo is a good, not perfect, measure of cardiac output in critically ill surgical patients. *J Trauma Acute Care Surg.* 2019; 87(2): 379–85.
- Armaganidis A, Dhainaut JF, Billard JL, ym. Accuracy assessment for three fiberoptic pulmonary artery catheters for SvO₂ monitoring. *Intensive Care Med.* 1994; 20(7): 484–8.
- Baulig W, Dullenkopf A, Kobler A, ym. Accuracy of continuous central venous oxygen saturation monitoring in patients undergoing cardiac surgery. *J Clin Monit Comput.* 2008; 22(3): 183–8.
- Lequeux PY, Bouckaert Y, Sekkat H, ym. Continuous mixed venous and central venous oxygen saturation in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Eur J Anaesthesiol.* 2010; 27(3): 295–9.
- Evans L ym. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock 2021. *Intensive Care Med.* 2021; 47(11): 1181–247.
- Lanning KM, Erkinaro TM, Ohtonen PP, ym. Accuracy, Precision, and Trending Ability of Perioperative Central Venous Oxygen Saturation Compared to Mixed Venous Oxygen Saturation in Unselected Cardiac Surgical Patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2022; 36(7): 1995–2001.
- Teboul JL, Hamzaoui O, Monnet X: SvO₂ to monitor resuscitation of septic patients: Let's just understand the basic physiology 2011; 15.
- Holm J, Håkanson E, Vånky F, ym. Mixed venous oxygen saturation predicts short- and long-term outcome after coronary artery bypass grafting surgery: A retrospective cohort analysis. *Br J Anaesth* 2011; 107: 344–50
- Holm J, Håkanson RE, Vånky F, ym. Mixed venous oxygen saturation is a prognostic marker after surgery for aortic stenosis. *Acta Anaesth Scand* 2010; 54: 589–95.
- Pölonen P, Ruokonen E, Hippeläinen M, ym. A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anesth Analg* 2000; 90: 1052–9.
- Squara P. Central venous oxygenation: when physiology explains apparent discrepancies. *Crit Care.* 2014; 18(6): 579.
- Perz S, Uhlig T, Kohl M, ym. Low and “supranormal” central venous oxygen saturation and markers of tissue hypoxia in cardiac surgery patients: A prospective observational study. *Intensive Care Med* 2011; 37: 52–9.
- Williams J, McLean A, Ahari J, ym. Decreases in Mixed Venous Blood O₂ Saturation in Cardiac Surgery Patients Following Extubation. *J Intensive Care Med* 2020; 35: 264–9.
- Hogue CW, Levine A, Hudson A, Lewis C. Clinical Applications of Near-infrared Spectroscopy Monitoring in Cardiovascular Surgery. *Anesthesiology* 2021; 134(5): 784–91.
- Caccioppola A, Carbonara M, Macri M ym. Ultrasound-tagged near-infrared spectroscopy does not disclose absent cerebral circulation in brain-dead adults. *Br J Anaesth.* 2018; 121(3): 588–94.
- Moerman A, Vandenplas G, Bové T, ym. Relation between mixed venous oxygen saturation and cerebral oxygen saturation measured by absolute and relative near-infrared spectroscopy during off-pump coronary artery bypass grafting. *Br J Anaesth* 2013; 110(2): 258–65.
- Zheng F, Sheinberg R, Yee MS, ym. Cerebral near-infrared spectroscopy monitoring and neurologic outcomes in adult cardiac surgery patients: a systematic review. *Anesth Analg* 2013; 116: 663–76.
- Arya VK, Al-Moustadi W, Dutta V. Cardiac output monitoring - invasive and noninvasive. *Curr Opin Crit Care* 2022; 28(3): 340–7.
- Joosten A, Desebbe O, Suehiro K, ym. Accuracy and precision of non-invasive cardiac output monitoring devices in perioperative medicine: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* 2017; 118(3): 298–310
- Montenij LJ, Buhre WF, Jansen JR, ym. Methodology of method comparison studies evaluating the validity of cardiac output monitors: a stepwise approach and checklist. *Br J Anaesth.* 2016; 116(6): 750–8.
- Ylikauma LA, Ohtonen PP, Erkinaro TM, ym. Bioreactance and fourth-generation pulse contour methods in monitoring cardiac index during off-pump coronary artery bypass surgery. *J Clin Monit Comput.* 2022; 36(3): 879–88.
- Ylikauma LA, Lanning KM, Erkinaro TM, ym. Reliability of Bioreactance and Pulse-Power Analysis in Measuring Cardiac Index in Patients Undergoing Cardiac Surgery With Cardiopulmonary Bypass. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2022; 36(8 Pt A): 2446–53.
- Timothy E. Miller, Paul S. Myles. Perioperative Fluid Therapy for Major Surgery. *Anesthesiology* 2019; 130: 825–32.
- Hernandez GA, Lemor A, Blumer V, ym. Trends in Utilization and Outcomes of Pulmonary Artery Catheterization in Heart Failure With and Without Cardiogenic Shock. *J Card Fail.* 2019; 25(5): 364–71.
- Garan AR, Kanwar M, Thayer KL, ym. Complete Hemodynamic Profiling With Pulmonary Artery Catheters in Cardiogenic Shock Is Associated With Lower In-Hospital Mortality. *JACC Heart Fail.* 2020; 8(11): 903–13.
- Bertaina M, Galluzzo A, Rossello X, ym. Prognostic implications of pulmonary artery catheter monitoring in patients with cardiogenic shock: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *J Crit Care* 2022; 69: 154024.
- Swan HJ, Ganz W, Forrester J, ym. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med.* 1970; 283(9): 447–51.
- Yli-Hankala A, Salmenperä M. Sydämen minuuttitilavuus. Kirjassa: Anestesiologia, teho-, ensi- ja kivunhoito. Duodecim 2020.