

Saturaation mittaaminen - reflektio- ja transmissiotekniikan ero ja näyttö tarkkuudesta

Ville Lindroos
Syventävien opintojen kirjallinen työ
Tampereen yliopisto
Lääketieteen yksikkö
Joulukuu 2016

Tampereen yliopisto
Lääketieteen yksikkö

VILLE LINDROOS: SATURAATION MITTAAMINEN – REFLEKTIO- JA TRANSMISSIOTEKNIIKAN ERO JA NÄYTTÖ TARKKUUDESTA

Kirjallinen työ, 12 s
Ohjaaja: Kirurgian apulaisprofessori Niku Oksala

Joulukuu 2016

Avain sanat: happisaturaatio, pulssioksimetria, reflektio, transmissio

TAUSTA: Valtimoveren happikyllästeisyyden eli saturaation mittaaminen on tärkeä osa kriittisesti sairaan potilaan hoitoa. Uusien mittausmenetelmien kehittäminen on tärkeää, jotta nykyisten tapojen heikkouksista ja virhelähteistä päästäisiin eroon. Reflektiopulssioksimetrian tarkkuudesta ranteeseen asetettuna ei ole aikaisempaa tutkimusnäyttöä vaan se perustuu sormenpästä tehtyyn mittaukseen.

Menetelmä: Prospektiivisessä tutkimuksessa pyrimme määrittämään Nellcor™ OxiMask MAX-FAST otsa sensorin käyttökelpoisuutta distaaliseen kyynärvarteen asetettuna 28 postoperatiivisella potilaalla. Saatuja mittatuloksia verrattiin Carescape B650 monitoriin yhdistetyn Trusignal™- saturaatiosensorin lukemiin. Mittaukset suoritettiin Tampereen yliopistollisen sairaalan kirurgisen leikkausyksikön heräämöhuoneessa kahden tunnin seuranta-aikana.

Tulokset: 28 potilaalta kerättiin yhteensä 10714 happisaturaatiomittausparia, joissa erotuksen (SpO_2 sormi – SpO_2 ranne) mediaani oli -1,31 prosenttiyksikköä (-2,73 – 1,38) ja niiden välillä oli alhainen Pearsonin korrelaatio ($r=0,281$). Saturaatioparien, jotka mitattiin liikkeen aikana, korrelaatio oli pieni ($r= 0,173$). Liikkeellä oli pieni tilastollisesti merkittävä vaikutus ($p < 0,001$). Saturaatioiden erotuksen itseisarvon mediaani liikkeettömissä saturaatiopareissa oli 3,28 prosenttiyksikköä (1,31 – 4,31). Myös potilaan BMI vaikutti merkittävästi ($p=0,026$). ASO-taudin ja ranteenympäryksen ei todettu vaikuttavan tilastollisesti merkittävästi.

Päätelmät: Tutkittu reflektiivinen pulssioksimetri ei kykene luotettavasti mittaamaan potilaan happisaturaatiota ranteesta.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Transmissiopulssioksimetria.....	2
1.2	Reflektanssipulssioksimetria.....	4
1.3	Lähi-infrapunaspektroskopia NIRS.....	5
1.4	Tutkimuksen tarkoitus.....	5
2	TUTKIMUSMETODI.....	6
2.1	Aineisto.....	6
2.2	Menetelmät.....	6
2.3	Tilastollinen analyysi.....	7
3	TULOKSET.....	7
4	POHDINTA.....	9
5	KIRJALLISUUS.....	11

1 JOHDANTO

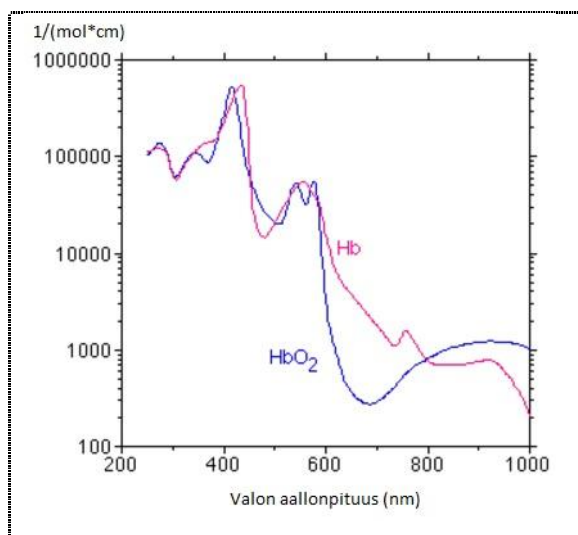
Veren happisaturaation määrittäminen on tärkeä osa potilaiden tutkimusta ja peruselintoimintojen seuranta. Erityisesti kriittisesti sairaiden, kuten tehohoitoa vaativien hoidossa saturaation seuraamista voi pitää välttämättömänä. Happisaturaation seuraamisella on myös merkittävä rooli perioperatiivisessa hoidossa.

Systeemisen valtimoverenkierron happiosapaine pO_2 on keskimäärin 95 mmHg (12,6 kPa). Tämä vastaa valtimoveren hemoglobiinin happisaturaatiota SO_2 97 % hapen dissosiaatiokäyrän mukaisesti. SO_2 mittaaminen vaatii kuitenkin invasiivisen eli elimistöön sisäisesti kajoavan tutkimusmenetelmän. Tällainen on esimerkiksi verikaasuanalyysi. (1) Kajoavat menetelmät eivät sovellu myöskään jatkuvaan seurantaan yhtä hyvin kuin noninvasiiviset menetelmät. Edellä mainituista seikoista johtuen invasiivisten menetelmien käyttö ei aina ole käytännöllistä tai suotavaa. Saturaation määrittämisessä ja seurannassa yleisesti käytetään pulssioksimetriaa, joka on ei kajoava saturaation määrittämenetelmä. Pulssioksimetria on saavuttanut aseman kliinisenä standardina osana elintoimintojen monitorointia (2).

Pulssioksimetria perustuu spektrofotometriaan ja fotopletysmografiaan (PPG). Sillä määritetään sekä valtimoverenkierron happisaturaatio että sydämen syketaajuus. Spektrofotometria perustuu valon absorptioon eli valon imeytymiseen kudoksessa eri aallonpituuksilla. Imeytyneen valon määrän perusteella saturaatio lasketaan käyttäen Beer-Lambertin lakia. Laki olettaa valon läpäisevän materiaalin olevan homogeenistä eli tasalaatuista. Oikeassa kudoksessa tasalaatuisuus ei toteudu, mikä rajoittaa mahdollisia mittauspaiikkoja. (3) Näkyvän valon punaisella (noin 660 nm) ja infrapunalla (900-940 nm) aallonpituuksilla hemoglobiini ja myoglobiini ovat pääasiallisia imeytymisen aiheuttajia. Näillä aallonpituuksilla imeytyminen kudoksessa on kuitenkin vähäistä, joka mahdollistaa tarkan saturaation määrittämisen. Koska myös myoglobiini eli lihaspuna aiheuttaa valon imeytymistä, mittauspaiikaksi ei sovellu kohdat, joissa laitteen lähettämä valo läpäisee merkittävästi lihaskudosta.

Edellä mainituilla valon aallonpituuksilla saturoituneen hemoglobiinin (oksihemoglobiini) absorptiokerroin eroaa saturoitumattoman hemoglobiinin (deoksihemoglobiini) kertoimesta. Kuvasta 1 voidaan havaita, että Deoksihemoglobiini on pääasiallinen imeytymisen aiheuttaja punaiselle valolle ja oksihemoglobiini infrapunavalolle. Siinä on esitetty hemoglobiinin molaarinen absorptiokerroin eri aallon pituuksilla. Näin voidaan erottaa toisistaan valtimoverenkierrossa kiertävä

hyvin happeutunut ja laskimoverenkierrossa oleva matalammin saturoituneen veren aiheuttama valon imeytyminen toisistaan. PPG huomioi valtimossa virtaavan veren tilavuuden vaihtelun mittausalueella ajanfunktiona. Systolen aikainen oksihemoglobiinin virtaus kudokseen aiheuttaa voimakkaamman infrapunavalon absorptioon, jonka avulla sydämen syketaajuus voidaan havaita saman taajuisena valon imeytymisen muutoksena. (5,6) Tällainen pulsoiva fotopletysmogrammi on välttämätön pulssioksimetrin onnistuneelle toiminnalle (7). Tilavuuden ja absorptioon muutokset havaitaan valonlähteen ja detektorin eli ilmaisimen avulla. Nämä voivat sijaita joko kudoksen vastakkaisilla puolilla (transmittanssitekniikka) tai vierekkäin kudoksen samalla puolella (reflektiotekniikka). (8)



Kuva 1: Deoksihemoglobiinin (Hb) ja oksihemoglobiinin (HbO₂) molaarinen absorptiokerroin eri valon aallonpituuksilla (4).

1.1 Transmissiopulssioksimetria

Nykyään yleisimmin käytössä olevan standardin mukaiset pulssioksimetrit ovat transmissio pulssioksimetrejä eli läpäisy pulssioksimetrejä. Siinä valonlähteen lähettämä valo kulkee kudoksen läpi vastakkaisella puolella olevalle ilmaisimelle. Menetelmän käyttäminen kliinisessä työssä alkoi 80-luvun alkupuolella. (2) Läpäisyyn perustuvan pulssioksimetrin tarkkuutta on tutkittu runsaasti. Pulssioksimetrin antamat happisaturaatio SpO₂ arvot poikkeavat SaO₂ arvosta tyypillisesti alle 1-2 %, kun todellinen saturaatio on yli 70 %. Hyväksyttävänä virhemarginaalina pidetäänkin ±2 prosenttiyksikköä. (5)

Menetelmässä lähetetty valo kulkee kehon osan läpi. Tämä rajoittaa paikkoja, joista saturaatio voidaan luotettavasti määrittää. Paikan tulee olla tarpeeksi ohut, jotta valo voi läpäistä sen. Mittauskohdalla tulee olla myös selkeä sykkivä verenvirtaus. Tyypillisiä asennuspaikkoja ovat sormi, varvas tai korvalehti. (2) Vauvoilla kämmen, ranne, jalkapöytä ja nilkka ovat myös mahdollisia mittauspaikkoja (9,10). Mittauskohdat sijaitsevat siis kehon ääriosissa. Tästä johtuen mittaukset ovat alttiita muun muassa hypotermian ja vasokonstriktion eli suonien supistumisen vaikutukselle (2).

Mittauspaikka vaikuttaa tarkkuuteen liikkeen aikana. 6 minuutin kävelytestissä yli neljänneksellä tutkituista saatiin sormenpääturilla alhaisempia saturaatioarvoja kuin korvalehdestä mitattuna (11). Jo aikaisemmassa meta-analysissä liikkeen on todettu aiheuttavan todellista matalampia arvoja (5). Uudet 3 sukupolven saturaatioanturit on suunniteltu liikettä sietäviksi. Erityisesti Masimo Radical pulssioksimetrin

tarkkuus säilyy liikkeen aikana. (12) Pediatriassa tehohoidossa saturaatio mitataan usein kämmenestä tai jalkapohjasta, vaikka anturit tarkoitettu sovitettavaksi sormeen tai varpaaseen. Näin toimitaan, koska anturin asentaminen potilaan pieniin sormiin tai varpaisiin voi haasteellista. Saturaation ollessa yli 90 % sormeen ja kämmeneen asennetun anturin tarkkuuksien välillä ei ole eroa, mutta jalkapohjaan ja varpaaseen asennettujen välillä havaitaan tarkkuudessa tilastollisesti merkittävä ero. Lisäksi alle 90 % SpO₂ arvoilla jalkaterään ja kämmeneen asennettujen anturien mittausrvirheet ovat 6,0 prosenttiyksikköä ($\pm 5,7$) ja 4,5 prosenttiyksikköä ($\pm 4,5$). (13) Vauvoilla ranteeseen tai nilkkaan asetettuna pulssioksimetri on yhtä luotettava kuin kämmeneen tai jalanpohjaan asetettuna (9,10). Vastasyntyneisyyskauden hoidossa voidaan käyttää myös aikuiselle tarkoitettuja sormisensoreita 1. varpaaseen asetettuna. Sensorin terävät reunat kuitenkin voi pidempään käytettynä aiheuttaa ihovaurioita. Vaurio on kuitenkin ehkäistävissä ohuella kirurgisella teipillä (esimerkiksi 3 M Micropore) ilman tarkkuuden kliinisesti ja tilastollisesti merkittävää heikkenemistä. (14)

Läpäisy-pulssioksimetriaan liittyy muitakin mahdollisia virhelähteitä. Vaikeassa hypoksemissä (SaO₂ < 70 %) mittausrvirhe kasvaa ja pulssioksimetri antaa todellista suurempia arvoja. Hiilimonoksidin eli hään sitoutuminen hemoglobiiniin ja hyperbilirubinemia aiheuttavat saturaation yliarvioimista. Heikentynyt äärisverenkierto, matala keskiverenpaine ja anemia saattavat aiheuttaa todellista alhaisemman SpO₂ arvon. (5) Ihon pigmentillä on myös vaikutuksensa. Erityisesti hyvin tummaihoisilla SpO₂ ollessa alle 80% pulssioksimetria aliarvioi todellista saturaatiota (15).

Kriittisesti sairailta tehohoidon potilailla SpO₂ tulisi pitää yli 94, jotta turvataan todellisen saturaation pysyminen yli 90 %. SaO₂ ollessa 90 % SpO₂ vaihteluväli voi olla 86 – 94 %. (16) Lapsilla pulssioksimetrin tarkkuus heikkenee jo, kun SpO₂ < 90 %, ja pulssioksimetri alkaa yliarvioida saturaatiota. SpO₂ ollessa 86 – 90 % ero SaO₂ on yli 4 % ja SpO₂ ollessa 80 – 85 % ero SaO₂ on 6 %. (17)

Nykyään käyttöön on tullut kompakteja sormeen asetettavia paristollisia pulssioksimetrejä, jotka ovat lisänneet käyttömukavuutta. Tällaisten pulssioksimetrien ja sairaalassa käytettävien monitoreihin kytkettävien pulssioksimetrien välillä ei ole havaittu tilastollisesti merkittävää eroa (18). Myöskään ympäristöstä tulevalta valolla ei ole vaikutusta pulssioksimetrin tarkkuuteen (19). Irritettavat akryyliset keinokynnet voivat kuitenkin heikentää pulssioksimetrin tarkkuutta (20).

Pulssioksimetriaa voidaan käyttää seulantatyökaluna etsittäessä kongenitaalisia eli synnynnäisiä sydänvikoja oireettomalta vastasyntyneiltä. Kun seulonnan positiivisena rajana pidetään SpO₂ alle 95 %, testin herkkyys 63 % ja tarkkuus 99,8 %. Kliiniseen tutkimukseen kombinoituna herkkyys on 77 % ja tarkkuus 99,9 %. Testillä saadaan siis melko luotettavasti poissuljettua sydänvika, kun SpO₂ \geq 95 %. (21)

1.2 Reflektanssipulssioksimetria

Reflektanssipulssioksimetrissä perustuu valo heijastumiseen. Siinä valonlähde ja ilmaisimet ovat asennettu vierekkäin. Mittauslaite tulee asettaa kohdalle, josta valo voi heijastua helposti takaisin. Tällainen kohta on esimerkiksi tasainen luunpinta otsalla. Heijastumistekniikka ei vaadi, että mittarin asettamispaikka on hyvin ohut. Mittari voidaan asettaa siis läpäisy pulssioksimetriä sentraalisemmin. Tästä johtuen tekniikka ei ole yhtä altis ääreisverenkierron aiheuttamille virhelähteille. (2) Luupinnasta heijastumisen lisäksi erytrosyytit toimivat valoa heijastavana peilinä. Tämän takia heijastuneen valon intensiteetti on sitä parempi, mitä enemmän suonessa virtaa verta. (3) Tutkimuksia, joissa heijastuvuus pulssioksimetrin tarkkuutta verrataan suoraan kajoavasti mitattuun saturaatioon, ei löytynyt. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että nykyään verrataan usein läpäisy pulssioksimetriin, jonka käyttö on yleistynyt aikaisemmin ja joka on todettu kliiniseen käyttöön riittävän tarkaksi.

Mittauskohdaksi otsan lisäksi kelpaavat paikat, joissa lähetetty valo voi heijastua takaisin. Tästä johtuen mahdollisia mittauspaikkoja on enemmän kuin läpäisy pulssioksimetrillä. Heijastumiseen perustuvalla tekniikalla voi mitata muun muassa ruokatorvesta, peräsuolesta tai silmän verkkokalvosta. Nämä mittauskohdat ovat läpäisy pulssioksimetrille mahdottomia. (22) Tekniikan käyttämistä viskeraalisen elimen eli sisäelimen happisaturaation arvioimiseen leikkausolosuhteissa on myös tutkittu. Elimestä heijastuneen signaalin laatu ei eroa tilastollisesti merkittävästi verrattaessa sormesta mitattuun. (7) Synnytyksen aikana sikiön saturaatiota voidaan seurata sikiön päähän kiinnitettyllä heijastavalla pulssioksimetrillä. Mittalaitteen asetuspaikalla sikiön päässä ei ole tilastollisesti merkittävää vaikutusta. (23) Yleisanestesiassa saturaation mittaaminen ruokatorvesta on sormenpää mittausta tarkempi ja hypoksemia voidaan havaita aikaisemmin (24). Heijastumiseen perustuvan pulssioksimetrin käyttäminen voi kuitenkin vaatia käyttäjältään enemmän kokemusta, jotta mittauksessa saadaan luotettava tulos. (22)

Verenpaineen ja perfuusion ollessa hyvä, heijastava otsamittari ja läpäisevä sormi- tai korvalehtimittari antavat saturaation yhtä luotettavasti. Kun nämä heikkenevät, heijastava mittari otsalla antaa luotettavamman saturaatioarvon ja hypoksemia havaitaan aikaisemmin kuin sormesta mitattaessa. (2,25)

Laskimokongestio eli lisääntynyt laskimoverekkyys on haaste kummankin tyyppisen pulssioksimetrin toiminnalle. Lisääntynyt laskimoverekkyys voi aiheuttaa turvotusta, jolloin ilmaisimelle tuleva signaalin voimakkuus laskee mittaamattomaksi. Ongelma korostuu otsalle asetetussa heijastavassa mittarissa, kun pää lasketaan Trendelenburgin asentoon (pää sydäntason alapuolella makuuasennossa). (22) Tällöin heijastavan mittarin voimakkaampi painaminen (maksimissaan 20 mmHg paine) luuta vasten saattaa

parantaa mittauksen luotettavuutta. Painaminen estää mittausalueella ylimääräistä laskimoverenkiertoa ja näin parantaa mitattua tulosta. (26) Kriittisesti sairailta heikentyneestä perfuusiosta kärsiville potilaille ja potilaan tarvitessa verenpainetta tukevaa lääkitystä otsalle asetettu mittari antaa luotettavamman arvion saturaatiosta kuin sormenpäässä oleva pulssioksimetri. Heijastava mittari pystyy myös useammin mittaamaan onnistuneesti. Sillä keskimääräinen ero todelliseen SaO_2 arvoon on 1,4 prosenttiyksikköä ja läpäisevä pulssioksimetrillä 2,6–3,8 prosenttiyksikköä mallista riippuen. (27,28) Äkillisestä hengitysvaikeusoireyhtymästä ARDS kärsivillä saturaation mittaaminen otsalta ja sormesta vaikuttaa olevan yhtä tarkkoja. Korkeilla uloshengityksen loppuvaiheen paineilla (yli 25 cmH_2O) sormenpää mittari on kuitenkin mahdollisesti tarkempi. (29)

1.3 Lähi-infrapunaspektroskopia NIRS

Lähi-infrapunaspektroskopia NIRS (near infrared spectroscopy) on modifikaatio heijastuvuuteen perustuvasta pulssioksimetristä. Sillä pyritään määrittämään kudoksen hapetusta. Tekniikka perustuu eri infrapuna-aallonpituuksien hyödyntämiseen 700 – 1000 nm aallonpituus alueella. Siinä käytetään vähintään kolmea eri aallonpituutta. Tällä varmistetaan, että eri valon imeytymisen aiheuttajat kyetään erottelemaan toisistaan. NIRS kykenee mittaamaan saturaation jopa 8 cm syvyydestä, kun tavallinen heijastava näkyvään valoon perustuva pulssioksimetri ei voi mitata 1 cm syvemältä. Koska NIRS:llä pyritään määrittämään kudoshapetusta, mitattu StO_2 poikkeaa merkittävästi veren happisaturaatiosta SaO_2 . Sen keskiarvo on tyypillisesti 87 % mitattuna terveen potilaan thenar-lihaksista. (30) Tekniikalla voidaan mitata myös aivokudoksen hapetusta, mutta sitä ei ole vielä otettu kliiniseen käyttöön tutkimustiedon vähäisyyden takia (31). Tekniikassa on myös vielä kehitettävää, koska perättäiset mittaukset saattavat vaihdella jopa 14 prosenttiyksikköä (32). Tekniikalla voidaan mahdollisesti tulevaisuudessa ennustaa kehittyvän elinvarion vaikeusastetta. Kriittisesti sairailta potilailla, joilla kudoksen StO_2 normalisoitui hitaasti, kehittyi vakavampia elinvarioita. (33) Lisää tutkimustietoa tarvitaan ennen NIRS laajempaa hyödyntämistä kliinisessä työssä.

1.4 Tutkimuksen tarkoitus

Saturaation nopea ja luotettava määrittäminen on nykyään tärkeä osa potilaiden hoitoa. Tekniikan kehittyessä saturaation mittaaminen uusista paikoista on käynyt mahdolliseksi. Heijastavan pulssioksimetrin tarkkuudesta on tietoa, kun tämä on asetettu otsalle. Muista ei-kajoavista mittauspaikoista ei ole tutkimustietoa. Kahdessa artikkelissa tutkittu saturaation mittaustarkkuutta ranteessa, mutta ne on kuitenkin tehty vauvoilla ja nuorilla lapsilla läpäisy-pulssioksimetrialla (9,10). Lisäksi yhdessä tutkimuksessa muunnellulla reflektiivisellä anturilla saatiin mitattua ranteesta melko luottavasti.

Keskimääräinen virhe sormianturiin nähden oli 2,47 prosenttiyksikköä ($\pm 1,66\%$). (34) Nyt tavoitteena oli tutkia jo markkinoilla olevan otsalle asetettavaksi tarkoitetun heijastavaan tekniikkaan perustuvan pulssioksimetrin tarkkuutta, kun tämä on asetettu potilaan ranteeseen.

2 TUTKIMUSMETODI

2.1 Aineisto

Aineisto koostuu 30 postoperatiivisen potilaan 2 tunnin seurannasta. 2 potilaasta ei tutkimuslaitteella saatu happisaturaatio arvoja tutkimuslaitteen rikkoutumisen vuoksi. Tästä johtuen analyyseissä potilaita on mukana 28. Aineisto on koottu osana laajempaa tutkimusta, jossa saturaation lisäksi muita tutkittavia parametreja olivat syketaajuus, hengitysfrekvenssi, verenpaine ja EKG. Lisäksi aineiston avulla on tutkittu mahdollisuutta siirtää kyseisten parametrien mittaustulos langattomasti etäluettavaksi Internetin välityksellä. Tiedot on kerätty Tampereen Yliopistollisen sairaalan heräämössä tammikuun ja toukokuun välisenä aikana vuonna 2015. Sisäänottokriteerinä oli, että potilaalle oli elektiivisesti tehty jokin toimenpide, joka vaati invasiivisen verenpaineen seurannan sekä postoperatiivisen seurannan heräämössä. Potilaat, joilla oli asennettu sydämentahdistin, suljettiin tutkimuksen ulkopuolelle sairaalan laiteturvallisuusyksikön suosituksesta.

2.2 Menetelmät

2 tunnin monitoroinnin ajan potilasta seurattiin kahdella erillisellä seurantamenetelmällä. Ennen mitausten aloittamista jokaiselta pyydettiin kirjallinen suostumus tutkimuksen tekemiseen. Tutkimuslaite kiinnitettiin rannekkeen avulla distaalisen käsivarren ympärille siten, että käytetty Nellcor™ Oximask MAX-FAST otsasensori asettui varttinaluun volaaripuolen pintaa vasten. Tiedot lähetettiin tutkimuslaitteesta langattomasti Internetin välityksellä etäserverille. Vertailukohtana sairaalan heräämön käyttämä GE Carescape™ B650 monitori (GE Healthcare Oy, Helsinki, Suomi), jossa oli TruSignal™ saturaatio sormisensori. Mittalaite ja sairaalan monitorointi asetettiin potilaan eri yläraajoihin, koska verenpaineen invasiivinen monitorointi ja tutkimuslaite eivät voineet olla samalla puolella. Tutkimuslaitteessa oli liikeanturina 3-D kiihtyvyyssanturi (Freescale MMA8452Q; NXP, Eindhoven, Alankomaat).

2.3 Tilastollinen analyysi

Tutkimusaineisto analysoitiin IBM SPSS statistics versiolla 23.0. Virhelähteiksi tunnistettiin liike, ahtauttava valtimonkoveustauti eli ASO-tauti, painoindeksi BMI ja ranteenympärys. Potilaan liikkeen vaikutuksen määrittämiseksi tutkimuslaitteen kiihtyvyyssanturin liikkeelle laskettiin alhaisimman 90 % keskiarvo ja keskihajonta. Tämän jälkeen lievänä, mahdollisena liikkeenä pidettiin +2 SD muutosta keskiarvosta ja varmana, voimakkaana liikkeenä +10 SD muutosta. Koska potilaiden välillä oli suuri hajonta havaittujen saturaatio parien määrässä, jokaiselle potilaalle laskettiin keskimääräinen saturaatioiden erotus. Saadusta erotuksesta otettiin itseisarvo. Tätä erotuksen itseisarvoa käytettiin arvioitaessa ASO-taudin, BMI:n ja ranteenympäryksen vaikutusta. Liikkeen vaikutuksen merkittävyyttä arvioitaessa käytettiin yksittäisen saturaatioparin erotuksen itseisarvoa. Vertailukohtana käytettiin erotuksen itseisarvoa, koska haluttiin arvioida puhtaasti eroa ja jättää huomioimatta kumpi mitatuista arvoista todellisuudessa suurempi. Tilastolliset merkittävyydet laskettiin käyttäen Mann-Whitneyn tai Kruskal-Wallis testia.

3 TULOKSET

Lopullisessa analyysissä on 28 leikkauksen läpikäyneeltä potilaalta kerätty tieto. Kahden potilaan kohdalla tutkimuslaitteen pulssioksimetriltä ei saatu mittausarvoja laitteen rikkoutumisen takia. Tarkemmat potilaiden ominaisuudet on kuvattu taulukossa 1. Taulukossa 2 esitetään potilaille tehty kirurgisen toimenpiteet erikoisaloittain.

Taulukko 1: Potilaiden ominaisuuksien keskiarvo (keskihajonta) tai osuus (%).

Ominaisuudet	n = 28
Sukupuoli (mies/nainen)	16/12 (57/43)
ikä (vuotta)	67 (13)
pituus (m)	1,72 (0,10)
paino (kg)	80 (16)
BMI (kg/m ²)	27 (4,3)
ranteenympärys (cm)	18 (2,0)

28 potilaalta kerättiin yhteensä 10714 happisaturaatioparia tutkimuslaitteen ja vertailukohtana käytettävän sormianturin välillä. Näiden erotuksen (SpO₂ sormi – SpO₂ ranne) mediaani on -1,31 prosenttiyksikköä (-2,73 – 1,38). Spearmanin korrelaatio mitattujen arvojen välillä on heikko $r = 0,281$. Kuvassa 2 on esitetty korrelaatio pistekartassa. Pareja, joissa ei liikettä havaittu, oli 9921. Näiden erotuksen mediaani oli -1,33 prosenttiyksikköä (-2,72 – 1,22) ja korrelaatio $r = 0,284$. Liikettä havaittiin 793 parissa (7,4 % kaikista pareista). Näiden parien eron mediaani -0,82 prosenttiyksikköä (-2,03 – 3,74) ja korrelaatio oli

Taulukko 2: Toimenpiteet erikoisaloittain

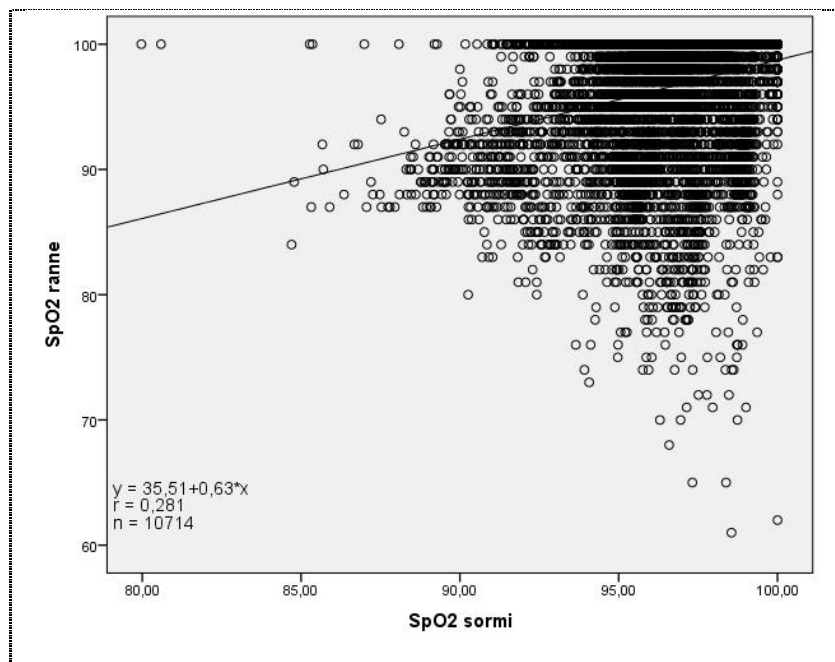
Erikoisala	n	%
Verisuonikirurgia	13	46,4
Gastrokirurgia	5	28,6
Urologia	2	7,1
Plastiikkakirurgia	3	10,7
Ortopedia	2	7,1

0,173, joka on edellisiä heikompi. Havaittu ero on tilastollisesti merkittävä ($p < 0,001$). Kuvassa 3 on Bland-Altman plot, jossa on potilaan saturaatioiden keskiarvon erotus verrattuna saturaatioiden keskiarvoon. Saturaatioiden erotuksen itseisarvon mediaani liikkeettömissä saturaatiopareissa oli 3,28 prosenttiyksikköä (1,31 – 4,31) ja liikkeen aikana 2,91 (1,43 – 4,69).

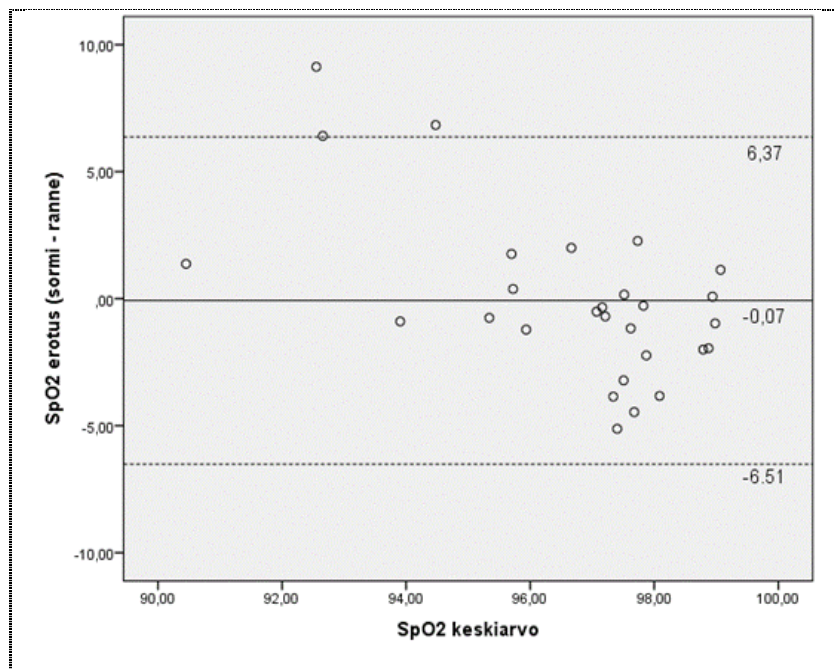
Tutkittavana oli varsin vähän pareja, joissa todettiin alhainen saturaatio.

Sairaalan sormianturi mittasi alle 90 % saturaation 109 parissa (1,02 %) ja alle 95 % 1672 parissa (15,6 %). Näissä pareissa mitattujen saturaatioiden eron itseisarvon mediaani oli 1,57 prosenttiyksikköä (1,57 – 2,47) ja 3,44 prosenttiyksikköä (1,38 – 5,51). Tutkimuslaite ranteessa mittasi alle 90 % saturaation 1085 parissa (10,1 %) ja alle 95 % 2679 parissa (25,0 %). Näistä pareista tutkimuslaite antoi vertailuanturia pienemmän arvon 98,9 % ja 92,3 % parista. Näissä pareissa mitattu eron mediaani oli 9,23 prosenttiyksikköä (6,85 – 12,03) ja 5,71 prosenttiyksikköä (2,93 – 8,54). Kun tutkimuslaite mittasi 95 % tai yli olevan saturaatio arvon, erotuksen itseisarvon mediaani oli 2,13 prosenttiyksikköä (1,06 – 3,35).

Potilaat jaettiin painoindeksin (kg/m^2) mukaan kolmeen ryhmään: alle 25, 25-30 ja yli 30. Ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkittävä ero $p = 0,026$. Muilla tutkituilla virhelähteillä, ASO-tauti ja ranteenympäryys, ei havaittu tilastollisesti merkittävää eroa. Tutkittujen virhelähteiden osalta taulukossa 3 on esitetty ryhmien mediaani (kvartaaliväli) sekä tilastollinen merkitsevyys.



Kuva 2: Saturaation Spearmanin korrelaatio vertailukohtaan (SpO_2 sormi) ja tutkimuslaite (SpO_2 ranne) välillä.



Kuva 3: Bland-Altman plot. Saturaation erotusten keskiarvon suhde saturaatioiden keskiarvoon. Viivat edustavat keskiarvoa ja 1,96 SD eli 95 % luottamusväliä.

Taulukko 3: Saturaation erotuksen itseisarvon mediaani, kvartaaliväli ja p-arvo tutkituille mahdollisille virhelähteille. n edustaa joko saturaatioparien määrää tai potilaiden määrää ryhmässä.

		n	SpO2 ero	Kvartaaliväli	p-arvo
Liike	Kyllä	793	4,13	(1,43 – 4,69)	< 0,001
	Ei	9921	2,48	(1,31 - 4,31)	
Varma liike	Kyllä	535	2,49	(1,31 - 4,76)	0,005
	Ei	10179	2,99	(1,32 - 4,33)	
BMI (kg/m ²)	< 25	11	1,22	(0,34 - 1,95)	0,26
	25 – 30	11	3,83	(1,17 - 6,40)	
	> 30	6	0,73	(0,49 - 2,67)	
ASO	Kyllä	13	0,97	(0,54 - 2,12)	0,088
	Ei	15	2,00	(1,14 - 5,12)	
Ranteenympäryys (cm)	< 18	14	1,57	(0,75 - 2,07)	0,541
	≥ 18	14	1,70	(0,65 - 4,49)	

4 POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia jo markkinoilla olevan reflektiivisen eli heijastavan happisaturaatio anturin käyttömahdollisuutta ranteeseen asetettuna, vaikka tämä on alunperin tarkoitettu asetettavaksi otsalle tasaista luupintaa vasten. Tutkimuksessa havaitsimme, että ranteeseen asetettuna tutkittu saturaatio anturi ei kykene mittaamaan saturaatiota tarkasti. 2 prosenttiyksikön poikkeamaa voitiin aikaisemman tiedon pohjalta pitää hyväksyttävänä (5). Saturaation erojen keskiarvon kohdalla tässä kriteerissä tutkittulaite pysyy, mutta korrelaatio oli tuolloinkin erittäin huono. Kun poikkeaman suunta poistettiin laskuista itsearvoistamalla tulokset, tutkimuslaite ei pysynyt 2 % kriteerin sisällä. Mittausvirhe vaikutti korostuvan, kun tutkimuslaite näytti alle 95 % saturaatiota. Tällöin mitattujen saturaatioiden erotus kasvoi suureksi.

Nellcor™ OxiMask MAX-FAST otsasensori on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu jopa tarkemmaksi kuin vertailukohtana ollut sormisensori. Näissä otsasensori oli kuitenkin asetettu otsalle, kuten on alunperin tarkoitettu. (27-29) Nykyisessä tutkimuksessa ei päästy lähellekään edellisten tarkkuutta. Otsalla heijastava luupinta on suhteellisen laakea verrattuna distaalisen radiuksen huomattavasti pyöreämpään pintaan, josta nykyisen tutkimuksen mittauksen tehtiin. Pyöreämpi muoto aiheuttaa todennäköisesti takaisin heijastuvien valonsäteiden siroamista erisuuntiin, jolloin vastaanottavalle ilmaisimelle tulee takaisin huomattavasti heikompi signaali. Lisäksi pyöreä pinta altistaa käyttäjästä johtuvalle virheelle. Jos pulssioksimetri on ranteeseen asetettu vähänkin väärään kohtaan, takaisin heijastuvien säteiden intensiteetti heikkenee. Tutkimuslaite oli ranteessa kiinni rannekellon ranneketta vastaavalla rannekeella. Tätä ei voitu kiristää niin tiukalle, että käden liikkeen aiheuttama pulssioksimetrin siirtyminen suhteessa luuhun olisi voitu ehkäistä. Siksi ranteessa kyseinen anturi on myös alttiimpi liikkeen aiheuttamalle tarkkuuden alenemiselle.

Heijastavan pulssioksimetrin tarkkuutta ranteessa on tutkittu ainoastaan yhdessä tutkimuksessa (34).

Nykyisessä tutkimuksessa havaittu mittaus tarkkuus vastaa lähes tämän aikaisemman tutkimuksen tulosta, kun tutkimuslaitteella mitattu saturaatio on yli 95 %. Alhaisemmillä mittausarvoilla tutkimuksessa ei päästy vastaavaan tarkkuuteen.

Nykyisessä tutkimuksessa havaittiin pieni mutta merkittävä liikkeen aiheuttama vaikutus mittaustarkkuuteen. Myös aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet liikkeen vaikuttavan mittaustarkkuuteen merkittävästi (5,35). Tällä tutkimuksella ei voida luotettavasti osoittaa vaikutuksen suuruutta, koska liikkeen aikaisia saturaatiopareja oli hyvin vähän. Uusissa 3.-sukupolven saturaatioantureissa löytyy varmaankin tulevaisuudessa ratkaisu liikkeen vaikutuksen eliminoimiseksi. Nykyään nekään eivät yllä invasiivisen mittauksen tarkkuuteen. (12)

Painoindeksillä havaittiin olevan tilastollisesti merkittävä vaikutus saturaatiomittaukseen. Potilaat oli jaoteltu kolmeen ryhmään: normaalipainoiset (alle 25), lievä ylipaino (25-30) ja merkittävä ylipaino (yli 30). Hypoteettisessa tilanteessa painoindeksin kyky vaikuttaa mitattuun saturaatioon on looginen. BMI:n kasvaessa myös potilaan ranteenympäryys suurella todennäköisyydellä kasvaa, jolloin valon säteen kulkema matka kudoksessa pitenee. Tällöin mittaustarkkuuden voisi olettaa heikkenevän BMI:n kasvaessa. Nykyisen tutkimuksen kohdalla mukana on kuitenkin todennäköisesti jokin tunnistamaton sekoittava tekijä, koska painoindeksin vaikutuksesta mitatut tulokset eivät heikentyneet loogisesti ryhmien välillä. Lievästi ylipainoisten ryhmässä havaittu saturaatio poikkesi enemmän kuin merkittävästi ylipainoisten ryhmässä. Ranteenympärykselle ei havaittu tilastollisesti merkittävää vaikutusta.

Ahtauttava valtimokovetustauti ei myöskään tutkimuksessa aiheuttanut tilastollisesti merkittävää vaikutusta mitattujen saturaatioiden välille. Merkittävyys arvo oli kuitenkin 0,088, joka oli lähellä tilastollisen merkittävyyden rajaa. Suuremmalla tutkimusotoksella merkittävyys olisi mahdollisesti saavutettu. ASO-taudin vaikutus olisi voitu eliminoida suurelta osin, jos anturit olisivat sijainneet samassa kädessä. Potilaita ei myöskään tutkimuksen yhteydessä tutkittu ASO-taudin suhteen. ASO-potilaaksi laskettiin kaikki, joilla jokin ateroskleroosin muoto oli aikaisemmin todettu. Verrokki ryhmässä siis saattoi olla ateroskleroosi potilaita, joilla tätä ei ollut todettu.

Invasiivisesti mitattua verikaasuanalyysiä voidaan edelleen pitää saturaation määrittämisen kultaisena standardina (5). Tähän nykyisessä tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta verrata tutkittua saturaatiota. Potilailla oli asetettuna verikaasuanalyysin luontevan mittaamisen salliva valtimokanyyli. Tätä ei kuitenkaan voitu hyödyntää, koska toisen tutkimuksen verenpaine mittauservoja verrattiin valtimokanyylistä mitattuun verenpaineeseen. Lisäksi jatkuva valtimoverinäytteiden ottaminen olisi

sekoittanut potilaan normaalin postoperatiivisen monitoroinnin.

Nykyisellä tutkimuksella oli useita rajoitteita. Ensinnäkin potilaat eivät olleet kriittisesti sairaita, vaan tarkoin valikoitunut ryhmä elektiivisesti leikattuja potilaita. Tästä syystä jo tutkimukseen ryhtyessä voitiin olettaa, että saturaation vaihtelu jää vähäiseksi. Lisäksi potilailla oli käytössä lisähappea joko maskin tai happiviiksien välityksellä heidän sitä tarvitessa. Alhaisia saturaatioarvoja mitattiin hyvin vähän, joten tutkimus ei anna tietoa menetelmän käytettävyydestä kriittisesti sairailta potilailla, joiden saturaatio on laskenut merkittävästi alle normaalin. Lisäksi potilaiden verenpaine oli tarkassa monitoroinnissa ja he saivat verenpainetta tukevaa lääkitystä sitä tarvitessaan. Tästä johtuen potilaiden verenpaineet pysyivät suhteellisen vakaina. Toiseksi potilaat liikkuvat tutkimuksen aikana hyvin vähän, koska olivat monitoroitavana leikkauksen jälkeen ja nukkuivat osan tutkimusajasta. Nykyisessä tutkimuksessa liikkeellä oli pieni merkittävä vaikutus mittaus tarkkuuteen. Vaikutuksen suuruutta ei voida yleistää muuhun voimakkaammin liikkuvan potilasryhmään, kuten kouristaviin tai alkoholin vaikutuksen alla oleviin potilaisiin.

5 KIRJALLISUUS

1. Guyton AC, Hall JE. Textbook of Medical Physiology. 12th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2011.
2. Wax DB, Rubin P, Neustein S. A comparison of transmittance and reflectance pulse oximetry during vascular surgery. *Anesth Analg* 2009 Dec;109(6):1847-1849.
3. Reisner A, Shaltis PA, McCombie D, Asada HH. Utility of the photoplethysmogram in circulatory monitoring. *Anesthesiology* 2008 May;108(5):950-958.
4. Prael S. Optical Absorption of Hemoglobin. 1999; Saatavissa: <http://omlc.org/spectra/hemoglobin/index.html>. Noudettu 13.12.2016.
5. Jensen LA, Onyskiw JE, Prasad NG. Meta-analysis of arterial oxygen saturation monitoring by pulse oximetry in adults. *Heart Lung* 1998;27(6):387-408.
6. Nitzan M, Romem A, Koppel R. Pulse oximetry: fundamentals and technology update. *Med Devices (Auckl)* 2014;7:231-239.
7. Crerar-Gilbert AJ, Kyriacou PA, Jones DP, Langford RM. Assessment of photoplethysmographic signals for the determination of splanchnic oxygen saturation in humans. *Anaesthesia* 2002 May;57(5):442-445.
8. Shelley KH. Photoplethysmography: beyond the calculation of arterial oxygen saturation and heart rate. *Anesth Analg* 2007;105(6 Suppl):31.
9. Phattraprayoon N, Sardesai S, Durand M, Ramanathan R. Accuracy of pulse oximeter readings from probe placement on newborn wrist and ankle. *J Perinatol* 2012 Apr;32(4):276-280.
10. Safar H, El-dash H. Pulse Oximetry: Could Wrist and Ankle Be Alternative Placement Sites?. *Clin Pediatr (Phila)* 2015 Dec;54(14):1375-1379.
11. Barnett E, Duck A, Barraclough R. Effect of recording site on pulse oximetry readings. *Nurs Times* 2012;108(1-2):22-23.
12. Barker SJ. "Motion-resistant" pulse oximetry: a comparison of new and old models. *Anesth Analg* 2002;95(4):967-972.
13. Sedaghat-Yazdi F, Torres AJ, Fortuna R, Geiss DM. Pulse oximeter accuracy and precision affected by sensor location in cyanotic children. *Pediatr Crit Care Med* 2008 Jul;9(4):393-397

14. James J, Tiwari L, Upadhyay P, Sreenivas V, Bhambhani V, Puliyel JM. Evaluation of pulse-oximetry oxygen saturation taken through skin protective covering. *BMC Pediatr* 2006;6:14.
15. Feiner JR, Severinghaus JW, Bickler PE. Dark skin decreases the accuracy of pulse oximeters at low oxygen saturation: the effects of oximeter probe type and gender. *Anesth Analg* 2007;105(6 Suppl):18.
16. Van de Louw A, Cracco C, Cerf C, Harf A, Duvaldestin P, Lemaire F, et al. Accuracy of pulse oximetry in the intensive care unit. *Intensive Care Med* 2001 Oct;27(10):1606-1613.
17. Ross PA, Newth CJL, Khemani RG. Accuracy of pulse oximetry in children. *Pediatrics* 2014 Jan;133(1):22-29.
18. Pupim D, Iwaki Filho L, Takeshita WM, Iwaki LCV. Evaluation of accuracy of portable fingertip pulse oximeter, as compared to that of a hospital oximeter with digital sensor. *Indian J Dent Res* 2013;24(5):542-546.
19. Fluck RRJ, Schroeder C, Frani G, Kropf B, Engbretson B. Does ambient light affect the accuracy of pulse oximetry?. *Respir Care* 2003 Jul;48(7):677-680.
20. Hinkelbein J, Koehler H, Genzwuerker HV, Fiedler F. Artificial acrylic finger nails may alter pulse oximetry measurement. *Resuscitation* 2007 Jul;74(1):75-82.
21. Thangaratinam S, Daniels J, Ewer AK, Zamora J, Khan KS. Accuracy of pulse oximetry in screening for congenital heart disease in asymptomatic newborns: a systematic review. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2007 May;92(3):176.
22. Keogh BF, Kopotic RJ. Recent findings in the use of reflectance oximetry: a critical review. *Curr Opin Anaesthesiol* 2005 Dec;18(6):649-654.
23. Dassel AC, Graaff R, Aardema M, Zijlstra WG, Aarnoudse JG. Effect of location of the sensor on reflectance pulse oximetry. *Br J Obstet Gynaecol* 1997 Aug;104(8):910-916.
24. Chen G, Zhu Z, Liu J, Wei W. Esophageal pulse oximetry is more accurate and detects hypoxemia earlier than conventional pulse oximetry during general anesthesia. *Front med* 2012 Dec;6(4):406-410.
25. Sugino S, Kanaya N, Mizuuchi M, Nakayama M, Namiki A. Forehead is as sensitive as finger pulse oximetry during general anesthesia. *Can J Anaesth* 2004 May;51(5):432-436.
26. Agashe GS, Coakley J, Mannheimer PD. Forehead pulse oximetry: Headband use helps alleviate false low readings likely related to venous pulsation artifact. *Anesthesiology* 2006 Dec;105(6):1111-1116.
27. Schallom L, Sona C, McSweeney M, Mazuski J. Comparison of forehead and digit oximetry in surgical/trauma patients at risk for decreased peripheral perfusion. *Heart Lung* 2007;36(3):188-194.
28. Nessler N, Frenel J, Launey Y, Morcet J, Malledant Y, Seguin P. Pulse oximetry and high-dose vasopressors: a comparison between forehead reflectance and finger transmission sensors. *Intensive Care Med* 2012 Oct;38(10):1718-1722.
29. Hodgson CL, Tuxen DV, Holland AE, Keating JL. Comparison of forehead Max-Fast pulse oximetry sensor with finger sensor at high positive end-expiratory pressure in adult patients with acute respiratory distress syndrome. *Anaesthesia & Intensive Care* 2009;37(6):953-960.
30. Epstein CD, Haghenbeck KT. Bedside assessment of tissue oxygen saturation monitoring in critically ill adults: an integrative review of the literature. *Crit Care Res Pract* 2014;2014:709683.
31. Ghosh A, Elwell C, Smith M. Review article: cerebral near-infrared spectroscopy in adults: a work in progress. *Anesth Analg* 2012 Dec;115(6):1373-1383.
32. Hyttel-Sorensen S, Hessel TW, Greisen G. Peripheral tissue oximetry: comparing three commercial near-infrared spectroscopy oximeters on the forearm. *J Clin Monit Comput* 2014 Apr;28(2):149-155.
33. Lima A, van Bommel J, Jansen TC, Ince C, Bakker J. Low tissue oxygen saturation at the end of early goal-directed therapy is associated with worse outcome in critically ill patients. *Crit Care* 2009;13(Suppl 5):S13.
34. Mendelson Y, McGinn MJ. Skin reflectance pulse oximetry: in vivo measurements from the forearm and calf. *J Clin Monit* 1991 Jan;7(1):7-12.
35. Petterson MT, Begnoche VL, Graybeal JM. The effect of motion on pulse oximetry and its clinical significance. *Anesth Analg* 2007 Dec;105(6 Suppl):78.