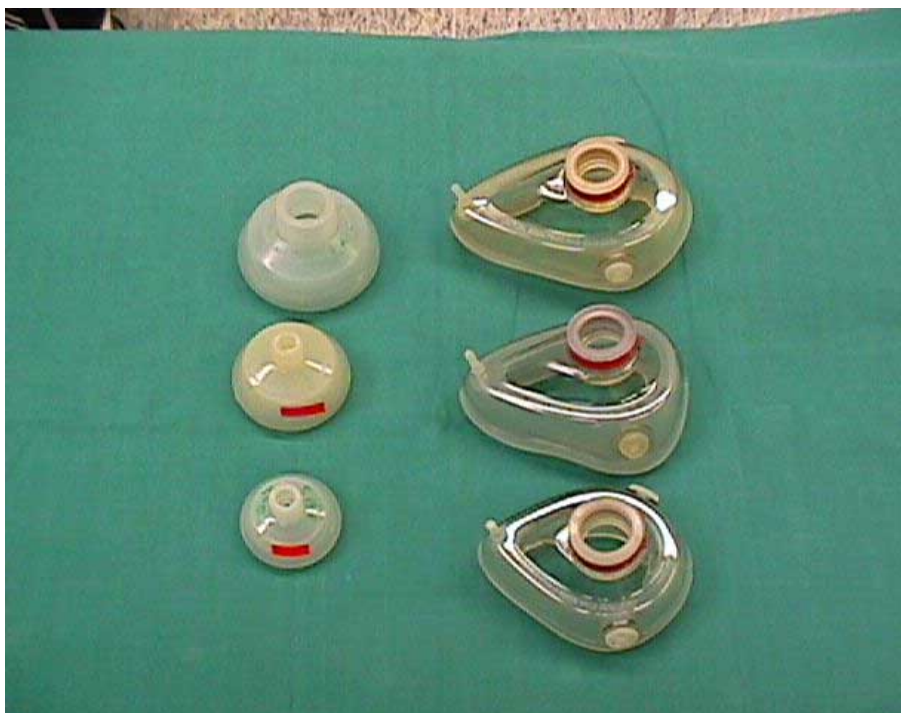


Leikkaussalin kohdepoiston kehittäminen



Julkinen	X	Rekisteröidään VTT:n tutkimusrekisteriin JURE:een	X
Luottamuksellinen	saakka / pysyvästi		
Sisäiseen käyttöön			
Raportin nimi Leikkaussalin kohdepoiston kehittäminen			
Toimeksiantaja/rahoittaja ja tilaus pvm/nro Työsuojelurahasto, HUS		Raportin numero BTUO23-021083	
Projektin nimi Leikkauspöydän anestesiakaasujen kohdepoiston kehittäminen		Suoritteen numero AOSU00598	
Laatija(t) Virve Christiansen, Ilpo Kulmala, Matti Niemeläinen		Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 20 /	
Avainsanat Anestesiakaasut, nukutusaineet, typpioksidiuuli, sevofluraani			
Tiivistelmä Hankkeen alussa selvitettiin eri osapuolten kanssa vaatimukset, jotka anestesiakaasujen poistoon tarkoitetun kohdepoiston tulee täyttää. Esille tuli mm. seuraavanlaisia vaatimuksia: tärkein ominaisuus on laitteen käytettävyyys; kömpelöä ja työtä haittaavaa laitetta ei käytetä, huomaamaton, kestävä materiaali, meluton ja imun aiheuttama ilmavirtaus ei saa viilentää potilasta. Laboratoriossa suoritettujen merkkiainemittausten mukaan huuuvan muoto ei vaikuttaisi merkittävästi sieppausasteeseen, vaan etenkin etäisyys potilaan hengitysvyöhykkeeltä ja poistoilmavirta. Kohdepoisto tehtiin kaupallisesta mallista (ALSIDEN SYSTEM 50 + 75 HMS), jonka niveliin lisättiin sähköjarrut paikallaan pysymisen varmistamiseksi. Jarrun käyttö tapahtui kohdepoiston varressa olevalla kytkimellä. Käytetyillä ilmavirroilla kohdepoiston sieppaustehokkuus alenee jyrkästi etäisyyden kasvaessa. Jotta toimivuus voitaisiin taata, tulisi ilmavirran olla suurempi. Tällöin eräs mahdollisuus olisi matalapaineinen kohdepoistopuhallin, jolla saadaan suurempi ilmavirta ilman, että esim. puhaltimen aiheuttama melutaso kasvaa. Matalapaineisen kohdepoiston kanavat ovat suurempia, tyyppillisesti luokkaa 160 – 200mm halkaisijaltaan. Paras ratkaisu nukutuskaasujen päästöjen vähentämiseksi olisi ilmeisesti kiinteästi leikkauspöytään asennettu kohdepoisto, jonka poistoilma johdettaisiin alakautta kanavistoon riittävän suurilla putkistoilla. Tällaiset ratkaisut ovat kuitenkin niin vaativia, että ne tulisi toteuttaa jo rakennusvaiheessa.			
18.12.2002			
Tutkimuspäällikkö		Tutkija /Erikoistutkija	Tarkastanut
Jakelu (asiakkaat ja VTT):			
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>			

Alkusanat

Julkaisu on loppuraportti Työsuojelurahaston rahoittamasta tutkimuksesta ”Leikkauspöydän anestesiakaasun kohdepoiston kehittäminen”

Tutkimus suoritettiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) Tuotteet ja tuotanto tutkimusyksikössä. Tutkimuksessa kehitettiin lastensairaaloissa käytettävien anestesiakaasujen poistoon sopivaa kohdepoistoratkaisua yhdessä sairaalan henkilökunnan kanssa ja laboratoriossa suoritetuin merkkiainemittauksin mitattiin erilaisten mahdollisten kohdepoistoratkaisujen toimivuutta.

VTT Automaation tutkimusryhmään kuuluivat Virve Christiansen, Ilpo Kulmala, Matti Niemeläinen ja Raija Ilmen. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiristä suunnitteluun osallistuivat Eila Tikka, Taru Suontaka, Eila Hämäläinen ja Tomi Taivainen. Sekä Kojair Tech Oy:stä Paavo Aro ja Pekka Liuttu. VTT Tuotteet ja tuotanto esittää parhaat kiitöksensä rahoittajille ja kaikille tutkimuksen aikana mukana olleille tahoille.

Tampere

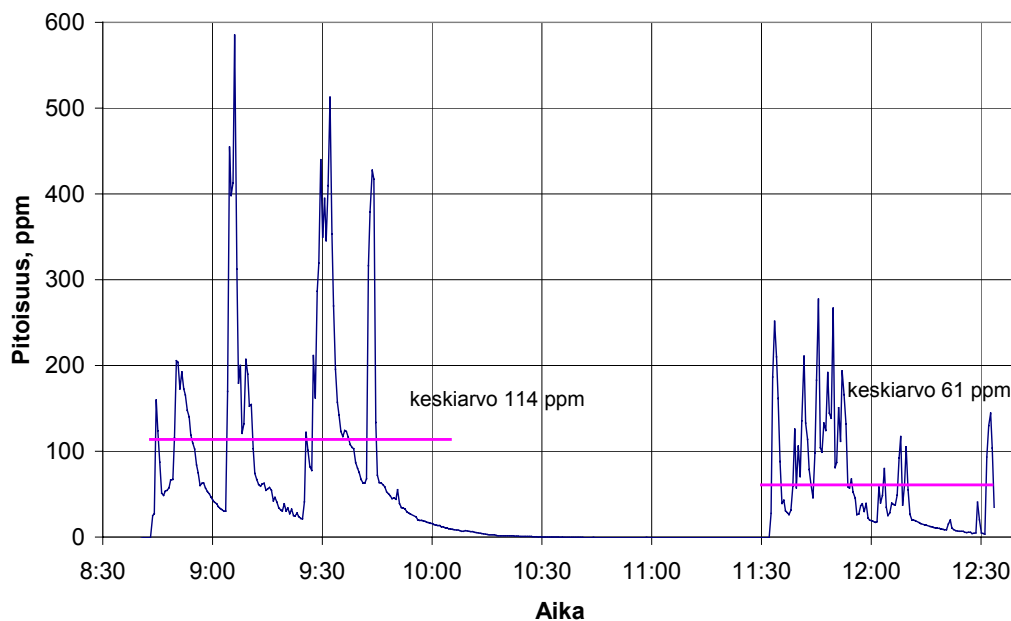
Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	4
2	Tavoite.....	5
3	Aikaisempia kohdepoistomittauksia.....	5
4	Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet	6
5	Mittausmenetelmät	7
5.1	Anestesiakaasujen mittaus.....	7
5.2	Merkkiainemittaukset.....	7
6	Tulokset.....	8
6.1	Kohdepoistolle asetettavat vaatimukset	8
6.2	Merkkiainemittaustulokset	9
6.3	Mittaukset leikkaussalissa	12
6.3.1	Rees-käsiventilaation kaasut kohdepoistoon.....	12
6.3.2	Maskin reunavuodot kohdepoistoon	16
7	Yhteenveto	18
8	Kirjallisuus	20

1 Johdanto

Altistuminen anestesiakaasuille aiheuttaa anestesia lääkeille ja –hoitajille kohonneen keskenmenon ja hedelmättömyyden riskin, suhteellinen riski 1,3 - 2,6 tutkimuksesta riippuen (Guirguis et al.1990, Hemminki et al. 1985, Rowland et al. 1992 ja 1995). Lisäksi esimerkiksi typpioksiduulilla on myös neurotoksisia vaikutuksia, kuten henkisen ja audiovisuaalisen suorituskyvyn sekä käsinäppäryyden aleneminen.

Lastensairaaloissa käytetään anestesiakaasuina halogenoituja yhdisteitä sekoitettuna happi-typpioksiduuliseokseen. Nykyään leikkauksissa käytetään happi-typpioksiduuliseosta, johon on sekoitettu 1 – 3 % sevofluraania.



Kuva 1. Typpioksiduulipitoisuuden vaihtelu poliklinikalla leikkausten aikana.

Edellisessä tutkimuksessa (Christiansen et al., raportti TURB 009) selvitettiin HYKS:n Lastenlinikalla anestesiakaasujen, sevofluraanin ja typpioksiduulin, pitoisuuksia leikkaussaleissa ja heräämössä sekä muutamien kohdepoistotratkaisujen toimivuutta merkkiainemittauksin. Anestesiakaasujen pitoisuudet leikkaussalissa vaihtelivat suuresti riippuen pääasiassa nukutustavasta. Maskinukutuksen aikana pitoisuudet olivat korkeimmillaan. Anestesia lääkäriin hengitysvyöhykkeellä typpioksiduulin pitoisuudet vaihtelivat välillä 4,4 – 300 ppm ja sevofluraanin välillä 0,46 – 32 ppm. Anestesiahoitajalla vastaavat arvot olivat 3,5 – 63 ppm ja 0,3 – 4,8 ppm. Eräällä vauvapotilaalla käytettiin nukutuksen aikana lämmityshuppua (Bair-hugger), johon puhallettiin 38 °C:sta ilmaa, ja anestesiakaasuna ainoastaan sevofluraania. Tämän noin tunnin kestävä leikkauksen aikana sevofluraanin keskimääräinen pitoisuus oli 93 ppm mitattuna kohdepoistoputken yläpuolelta. Kuvassa 1 on esimerkki typpioksiduulipitoisuuden vaihtelusta maskinukutusten aikana.

2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli alentaa sairaalalohenkilökunnan altistumista anestesiakaasuille kehittämällä leikkauspöytään asennettava tai sen välittömässä läheisyydessä oleva kohdepoistoratkaisu, joka ei haittaa työskentelyä.

3 Aikaisempia kohdepoistomittauksia

Tutkimuksessa verrattiin myös kolmen erilaisen nukutuskaasujen kohdepoistoratkaisun sieppaustehokkuuksia. Ratkaisut olivat pyöreä imukanava, joka vastasi lastensairaалassa käytössä ollutta laitteistoa, nukutusmaskiin liitetty kohdepoisto (kaupallinen tuote Medicvent Double Mask) ja pään alle sijoitettu kohdepoisto, mallia ”tyyny”. Sieppausasteet mitattiin kolmella eri uloshengitysilmaavirralla: 7,5, 15 ja 30 l/min. Kuvissa 2,3 ja 4 on kuvat tutkituista ratkaisuista.



Kuva 2. Imukanava



Kuva 3. Double Mask

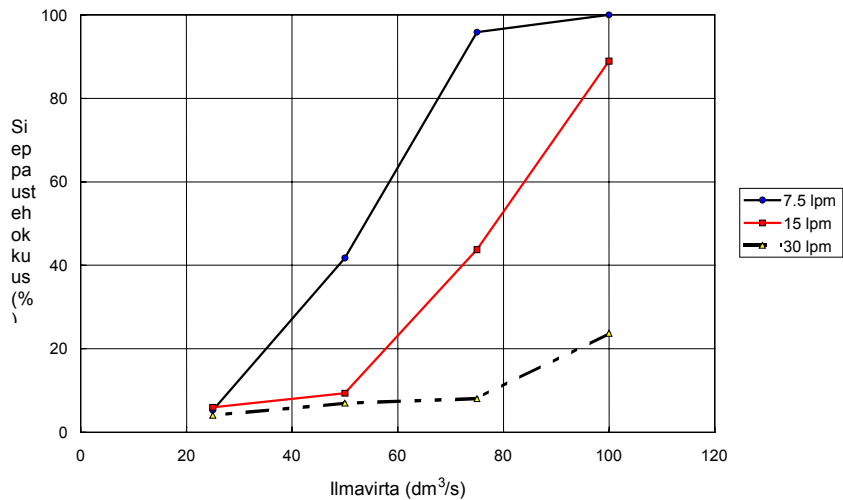


Kuva 4. Malli ”tyyny”

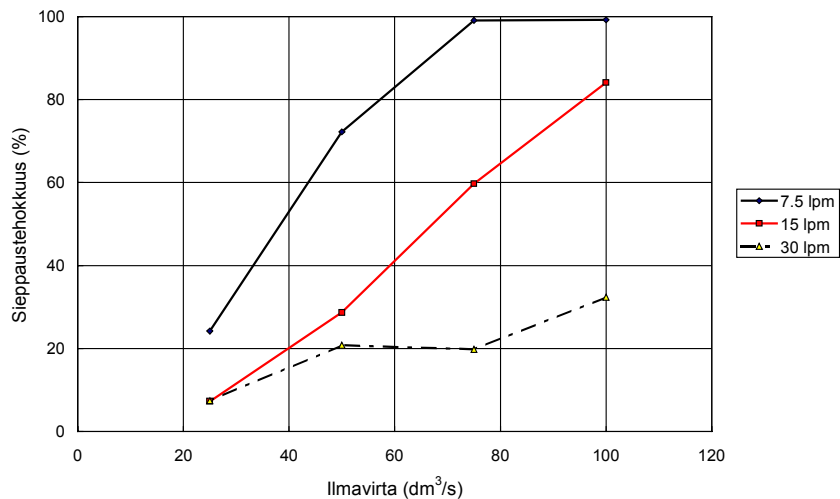
Pyöreän imukanavan sieppaustehokkuus poistoilmavirran funktiona etäisyydellä 20 cm nenästä on esitetty kuvassa 5 ja mallin ”tyyny” kuvassa 6.

Double Maskin sieppausasteet olivat laitteen maksimi poistoilmavirralla (14 l/s) 95 % kun hengitysilmaavirta oli 7,5 ja 15 l/min. Double Maskia ei lapsipotilailla kuitenkaan haluta käyttää, koska maskiosa oli liian suuri ja erittäin kömpelö. Maskin kohdepoistona käytetään korkeapaineista sivukammio puhallinta, joka on aivan liian meluisa.

Imuputken tehokas käyttö puolestaan edellyttää, että imu on lähellä potilaan kasvoja: Jo 20 cm etäisyydellä kohdepoisto on tehoton nykyisillä poistoilmavirroilla. Imupään jatkuva siirtely hankaloittaa myös työskentelyä.



Kuva 5. Pyöreä imuputki, etäisyys 20 cm.



Kuva 6. Kohdepoisto malli "tyyny".

4 Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet

Suomessa sosiaali- ja terveysministeriö on antanut typpioksiduulille HTParvon 100pp (HTP = haitalliseksi tunnettu pitoisuus) sekä sevofluraanille HTP_{8h} -arvon 10 ppm ja $HTP_{15 min}$ -arvon 20 ppm.

Amerikkalainen NIOSH suosittelee typpioksiduulin 8 tunnin raja-arvoksi 25 ppm ja kaikkien halogenoitujen anestesiakaasujen 2 ppm. Silloin, kun käytetään halogenoituja anestesiakaasuja typpioksiduulin kanssa, raja-arvoksi suositellaan 0,5 ppm.

5 Mittausmenetelmät

5.1 Anestesiakaasujen mittaus

Typpioksiduulin ja sevofluraanin mittaus suoritettiin kiinteistä mittauspisteistä, kuten leikkauspöydän läheisyydestä, Miran 1A suoraan osoittavilla infrapuna-analysointilaitteilla ja tiedot kerättiin dataloggerilla. Mittaustulos mitattiin 5 sekunnin välein ja keskiarvo tallennettiin 30 sekunnin välein.

Henkilökohtaiset sevofluraaninäytteet kerättiin imemällä ilmaa Anasorb 747 näytteenottoputkien läpi nopeudella noin 100 ml/min. Analyysi suoritettiin kaasukromatografilla käyttäen FID-detektoria.

5.2 Merkkiainemittaukset

Kohdepoistoratkaisun sieppaustehokkuutta mitattiin VTT :llä tehdyissä laboratorioskokeissa kuvan 7 mukaisella koejärjestelyllä.



Kuva 7 Kohdepoiston tehokkuuden mittauksessa käytetty koejärjestely.

Potilasta kuvaava mallipää ja siihen kytketty hengityssimulaattori on hengityksen suojaisten testaukseen tarkoitettu laite. Käytetty hengitysnopeus oli 8 l/min (pienin mahdollinen ko. hengityssimulaattorilla saatu). Kaasumaista merkkiainetta (rikkiheksafluoridia) sekoitettiin paineilmaan ja päästettiin mallipään ”hengitysilmaan” vakionopeudella. Merkkiaineen pitoisuutta mitattiin kohdepoiston poistoilmasta ja ”hengitysilma” kaasuanalysointilaitteella ja tulokset tallennettiin tiedonkeruulaitteelle analysointia varten. Mallipään takana olevan

poistoilmalimen ilmamäärä oli 200 l/s ja 800 l/s. Tällä pyrittiin simuloimaan leikkaussalissa esiintyviä häiriövirtauksia.

Merkkiaine sekoittuu ilmaan ja kulkee sen liikkeiden mukana, jolloin saadaan selville kohdepoistoon kulkeutuvan ilman osuus. Kohdepoiston tehokkuus ilmaistaan sieppausasteella E , joka laskettiin kaavasta

$$E = \frac{C}{C_0} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

missä C on kohdepoistokanavasta mitattu keskimääräinen pitoisuus ja C_0 vastaava pitoisuus, kun merkkiainetta syötettiin suoraan kohdepoistoon. Sieppausasteen arvo 100 % merkitsee sitä, että kaikki ilmaan vapautuvat epäpuhtaudet kulkeutuvat suoraan kohdepoistoon. Sieppausaste riippuu merkittävästi poistoilmavirrasta, minkä vuoksi kokeita tehtiin useilla eri poistoilmavirroilla.

6 Tulokset

6.1 Kohdepoistolle asetettavat vaatimukset

Hankkeen alussa haluttiin selvittää käyttäjien (anestesia lääkäri ja -hoitaja), työsuojelun ja mahdollisen valmistajan kanssa mitkä ovat tarkalleen ne vaatimukset, jotka anestesiakaasujen poistoon tarkoitetun kohdepoiston tulee täyttää.

Ensimmäisessä tällaisessa keskustelu/pohdintatilaisuudessa tuli esille mm. seuraavanlaisia vaatimuksia:

- Tärkein ominaisuus on laitteen käytettävyyden; kömpelöä ja työtä haittaavaa laitetta ei käytetä.
- Ulkonäön tulisi olla mahdollisimman huomaamaton.
- Materiaalin tulee kestää vahvatkin pesuaineet, esimerkiksi klooria sisältävät
- Melutason tulee olla alhainen
- Imun aiheuttama ilmavirtaus ei saa viilentää potilasta
- Kohdepoiston tehokkuus tulisi olla yli 90 %

Aluksi lähtökohtana oli edellisissä hankkeissa ideoitu ”tyyny”-mallinen ratkaisu. Tämän rakenne voisi olla esim. U-kirjaimen muotoinen, jolloin imu olisi pään molemmilta puolilta. Leveyttä tulisi kuitenkin voida vaihdella, jotta se sopisi eri kokoisille potilaille. Kohdepoiston korkeus tulisi olla mahdollisimman pieni, jottei se haittaa työskentelyä, maksimissaan 5 cm. Materiaali voisi olla muovia tai ruostumatonta terästä. Paino ei ole kovin kriittinen, mutta sitä on voitava helposti liikuttaa mikäli potilasta siirrellään leikkauspöydällä.

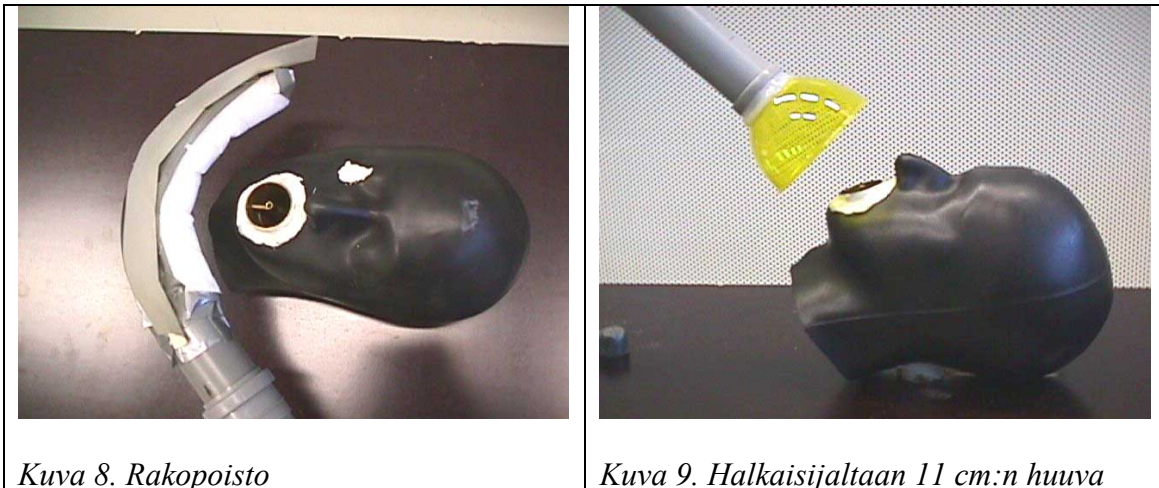
Kohdepoistoratkaisun pohjan tulee olla tukeva ja tasainen. Värille ei ollut mitään erityisvaatimuksia. Virtauslaskentamallin avulla laskettiin, miten suuren poistoilmavirran tällainen ratkaisu vaatii toimiakseen tehokkaasti.

Seuraavassa tilaisuudessa esiteltiin virtauslaskennan tuloksia todeten, että vaadittava poistoilmavirta on melko suuri voiden aiheuttaa mm. melu- ja vetohaittoja. Poistoilmaputken sijoituksesta ja lähtösuunnasta keskusteltaessa yleiseksi mielipiteeksi muodostuikin, että sen

pitää tulla ylhäältä eli ylhäältä tuleva nivelletty laajan liikkumissäteen omaava kohdepoistohuuva on ehdottomasti paras vaihtoehto. Huuvan voi myös useimmiten sijoittaa niin lähelle, että vain nukutusmaski ja käsi mahtuvat alle.

6.2 Merkkiainemittaustulokset

Mittauksia tehtiin käyrällä rakopoistolla ja kolmella eri kokoisella huuvalla (halkaisijat 11, 17,5 ja 23,5 cm). Etäisyys mallipästä ensimmäisissä mittauksissa oli sellainen, että käsi mahtui hyvin alle (noin 10 cm suuaukosta). Kohdepoistoihin liitetyn poistoletkun halkaisija oli 50 mm. Kuvissa 8 ja 9 on esitetty rakopoisto ja eräs kohdepoistohuuva. Käyrä rakopoisto oli peitetty EU5-suodatinmatolla, jotta poistoilmavirta jakautuisi tasaisemmin koko raon alueelle. Lisäksi joissakin mittauksissa siihen liitettiin molemmille puolille 50 mm leveät ”siivekkeet”, jotta takaa tuleva ilmavirta olisi pienempi.



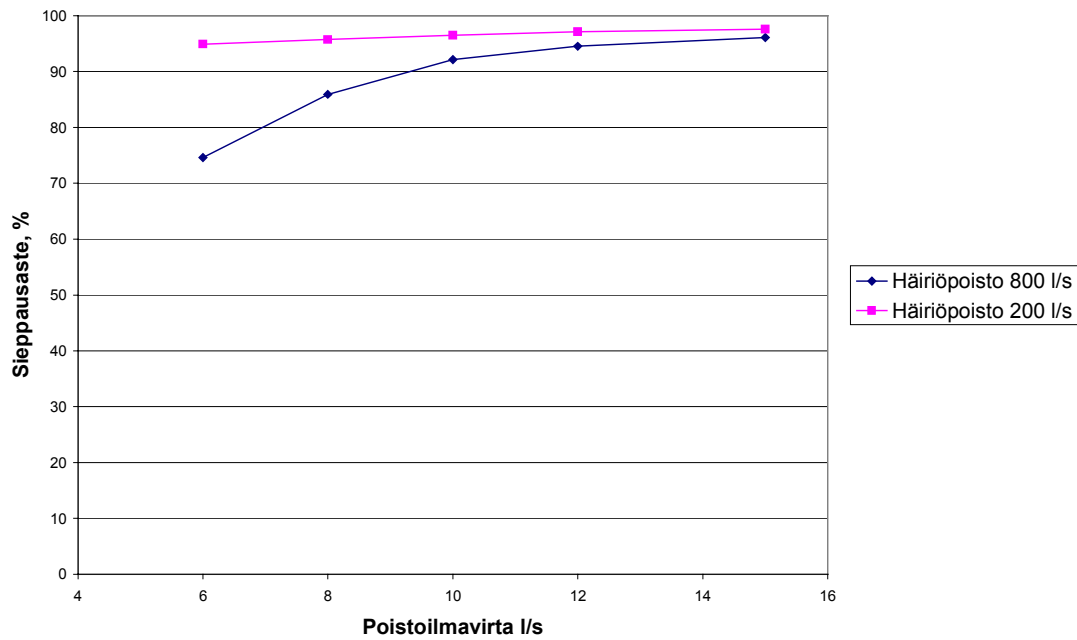
Kuva 8. Rakopoisto

Kuva 9. Halkaisijaltaan 11 cm:n huuva

Huuvien ollessa suoraan yläpuolella ja etäisyyden ollessa noin 10 cm suuaukolta, kaikkien kohdepoistoratkaisujen sieppausaste oli lähes 95 % niin pienellä poistoilmavirralla kuin 6 l/s häiriövirtauksen ollessa 200 l/s. Tulos oli sama, kun huuvat sijoitettiin noin 45 asteen kulmaan ”potilaan” leukapuolelle (kuva 9). Huuvan halkaisijalla ei näyttänyt olevan mainittavaa vaikutusta sieppausasteeseen.

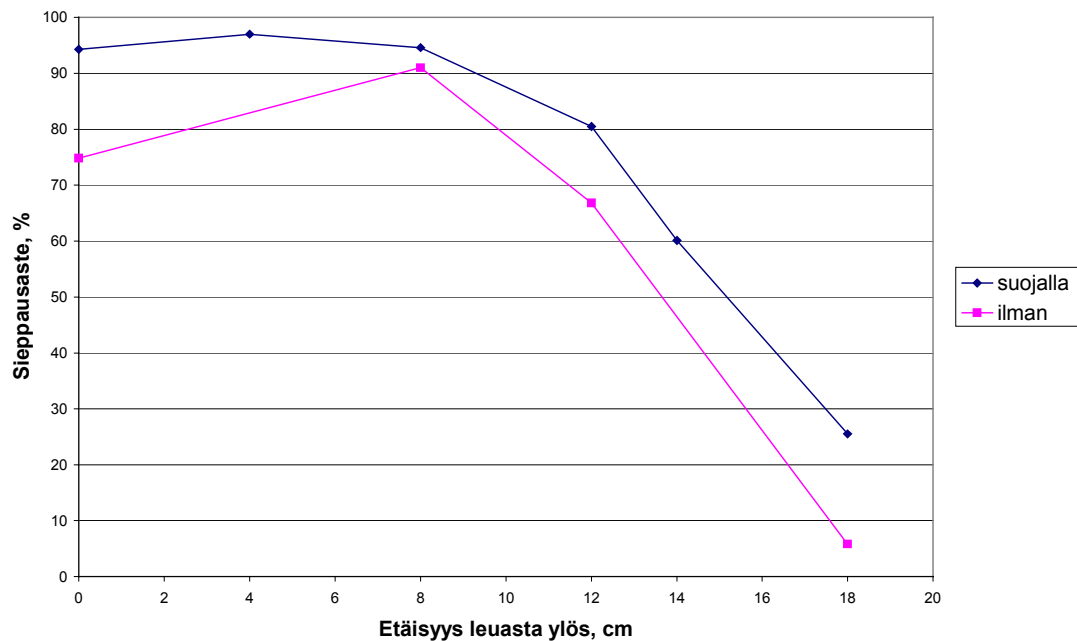
Kuvassa 10 on esitetty käyrän rakohuuvan sieppausaste poistoilman funktiona, kun häiriövirtaukset olivat 200 ja 800 l/s. Poistoilmavirralla 10 l/s saatiin yli 90 %:n sieppausaste suuremmallakin häiriövirtauksella.

Kuvassa 11 on esitetty käyrän rakohuuvan sieppausaste ”potilaan” leukatasosta olevan korkeusetäisyyden funktiona, kun huuva oli varustettu 5 cm:ä leveillä ”siivekkeillä” ja ilman siivekkeitä. Poistoilmavirta oli 10 l/s.

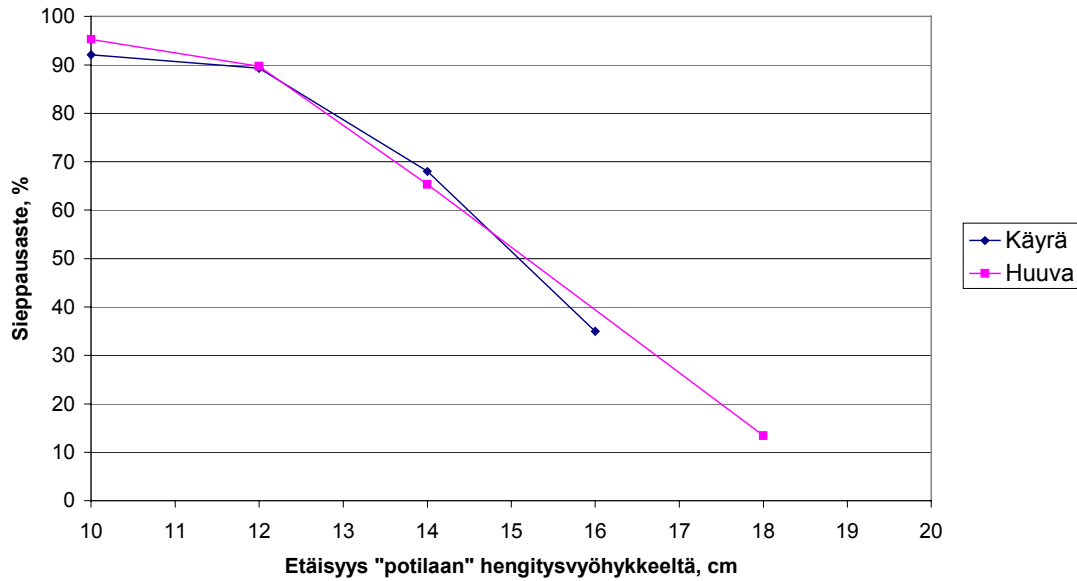


Kuva 10. Rakohuuvan sieppausaste poistoilmavirran funktiona kahdella ”häiriöilmavirtauksella”.

Poistoilmavirralla 10 l/s mitattiin halkaisijaltaan 17,5 cm:n huuvan sekä käyrän rakohuuvan sieppausasteita etäisyyden funktiona ”potilaan” hengitysvyöhykkeeltä. Kuvassa 12 on näiden mittausten tulokset.

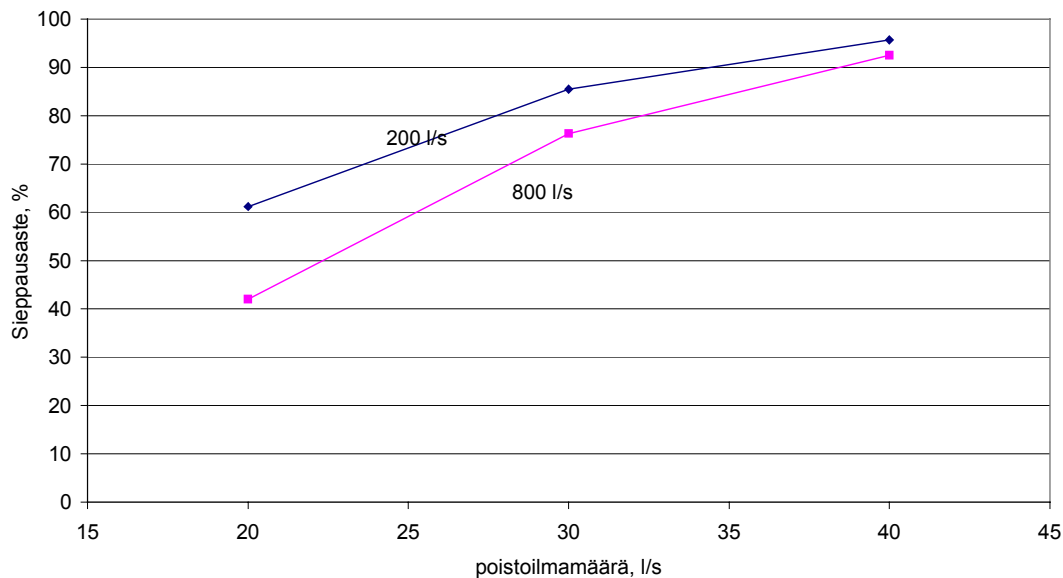


Kuva 11. Käyrän rakohuuvan sieppausaste etäisyyden funktiona ”potilaan” hengitysvyöhykkeeltä.



Kuva 12. Käyrän rakohuuvan ja 17,5 cm:n huuvan sieppausaste etäisyyden funktiona hengitysvyöhykkeeltä.

Aikaisemmassa tutkimuksessa käytetyn ”tyyny”-mallin (kuva 4) sieppausaste poistoilmamäärän funktiona mitattiin tässä tutkimuksessa käytetyllä hengityssimulaattorilla ja saatiin kuvassa 13 esitetyt tulokset.



Kuva 13. ”Tyyny”-mallisen kohdepoiston sieppaustehokkuus poistoilmamäärän funktiona.

Laboratoriossa suoritettujen merkkiainemittausten mukaan huuvan muoto ei vaikuttaisi merkittävästi sieppausasteeseen, vaan etenkin etäisyys potilaan hengitysvyöhykkeeltä ja poistoilmavirta.

6.3 Mittaukset leikkaussalissa

6.3.1 Rees-käsiventilaation kaasut kohdepoistoon

Mittausten tavoitteena oli selvittää ilman anestesiakaasupitoisuudet leikkaussalissa kohdepoiston muutoksen jälkeen. Aiemmin käytössä ollut kohdepoisto uusittiin liikuttelun helpottamiseksi. Kohdepoisto on kaupallinen malli (ALSIDEN SYSTEM 50 + 75 HMS) jonka niveliin oli jälkeinpäin rakennettu sähköjarrut paikallaan pysymisen varmistamiseksi. Jarrun käyttö tapahtuu kohdepoiston varressa olevalla vipukytkimellä. Näiden muutosten lisäksi kohdepoiston imuaukkoa oli laajennettu halkaisijaltaan 23,5 cm:n huuvalla.

Mittausten aikana leikkaussalissa nukutettiin neljä lapsipotilasta. Ensimmäisessä ja neljännessä nukutuksessa syvempi nukutus tehtiin happi/ilokaasu /sevofluraaniseoksella maskia ja Rees-käsiventilaatiosysteemiä käyttäen. Toinen ja kolmas nukutus ylläpidettiin happi/ilokaasu/sevofluraaniseoksella; toisessa nukutuksessa käytettiin kluffitonta ja kolmanneessa kluffillista hengityspotkea. Kolmas nukutus alkoi suonensisäisellä anestesia-aineella, muissa nukutus alkoi maskilla. Herätysvaiheessa siirryttiin käsiventilaatioon pelkällä hapella. Näiden mittausten aikana vain Rees-käsiventilaatiosysteemistä potilaan uloshengityksen mukana kulkeutuvat kaasut ohjattiin kohdepoistohuuvaan (kuva 14).



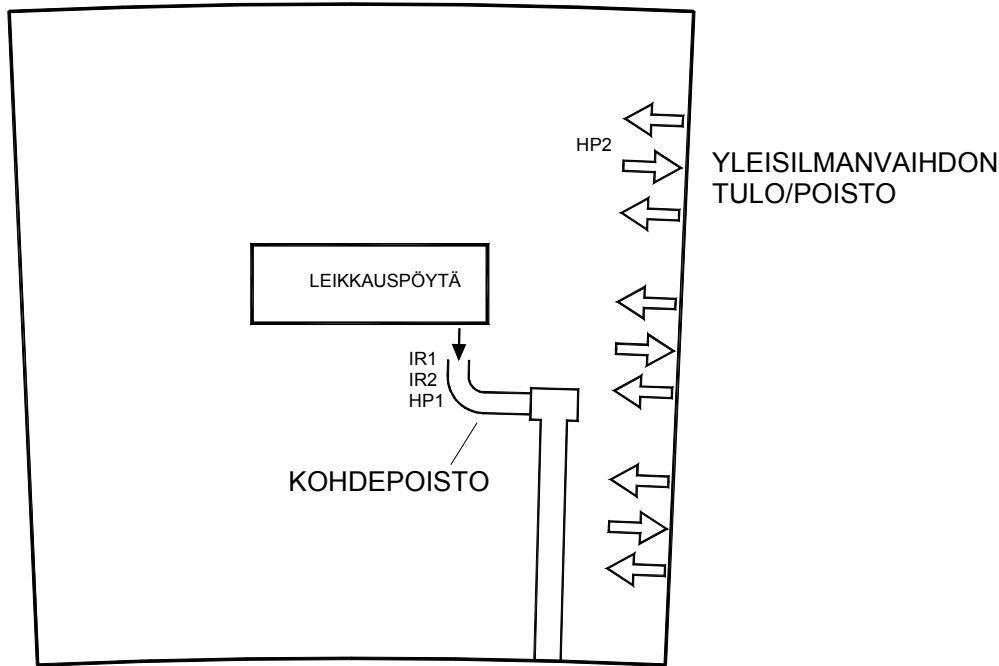
Kuva 15. Rees-käsiventilaatiosysteemin uloshengitysilman mukana tulevat nukutuskaasut ohjataan käsin kohdepoistoon.

Leikkausten aikana nukutuskaasuja käytettiin seuraavasti:

Leikkaus		Potilaan ikä	Nukutuskaasu		
alkoi	loppui		SEVO	N ₂ O	kokonaisvirtaus
8:12	8:42	8 kk	aloitus 8% ylläpito 3 %	4 lpm 1,8 lpm	6.5 lpm 2.8 lpm
9:19	10:40	1v 8 kk	aloitus 7% ylläpito 2 - 3 %	2 lpm	4.1 lpm 2.5 lpm
11:05	12:30	11 v	ylläpito 3 %	0,6 lpm	4.9 lpm 1 lpm (tuorekaasu)
12:50	13:30	3 v	aloitus 8 % ylläpito 1 - 4 %	3,2 lpm 2,1 lpm	6.3 lpm 3,1 lpm

Ilman typpioksiduuli- ja sevofluraanipitoisuutta mitattiin kiinteästä mittauspisteestä kahdella suoraanosoittavalla Miran 1A infrapuna-analysointilaitteella, jonka tiedot kerättiin dataloggerille. Lukemia otettiin 5 sekunnin välein ja niiden keskiarvo tallennettiin 30 sekunnin välein. Kaasuanalysointilaitteet oli kalibroitu mitattaville kaasuille (sevofluraani ja typpioksiduuli). Leikkaussalin kiinteät mittauspisteet (pisteet IR1, IR2 ja HP1 kuvassa 16) teipattiin kiinni kohdepoistoon, jolloin saatiin mitattua kohdepoiston ohi kulkeutuvien nukutuskaasujen pitoisuutta ja lisäksi ne olivat lähellä anestesia- ja hengitysvyöhykettä. Näiden lisäksi otettiin sevofluraaninäytteitä anestesia- ja sairaanhoitajan hengitysilmosta sekä yleisilmanvaihdon poistoilmasta (piste HP2 kuvassa 14). Mittauspisteet sekä leikkaussalin ilmavaihdon periaatekaavio on esitetty kuvassa 14.

Leikkaussalin kohdepoiston tilavuusvirta määritettiin mittaamalla nopeudet imuaukon otsapinnasta kuormalanka-anemometrillä (TSI). Yleisilmanvaihdon ilmavirta arvioitiin alenemamenetelmällä mitattujen kaasupitoisuuksien perusteella.



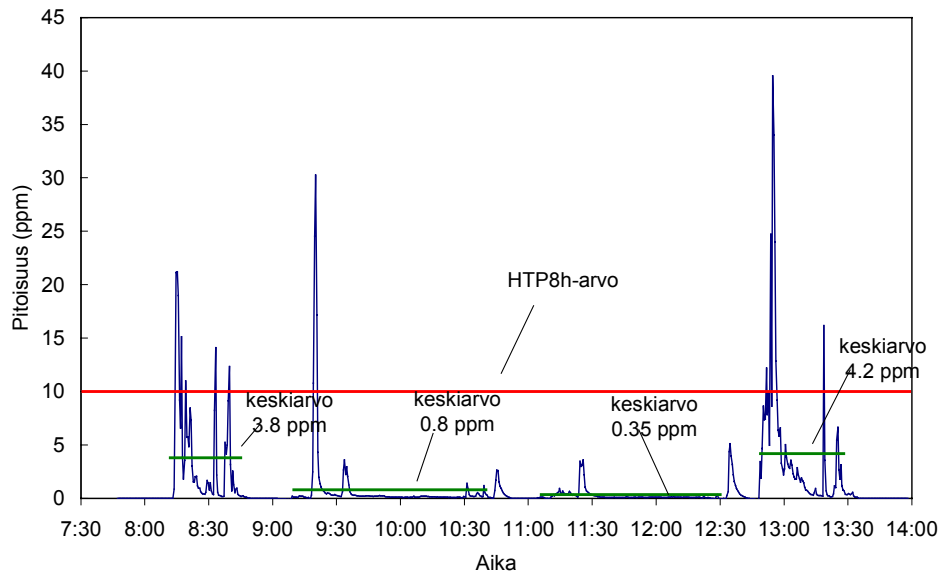
Kuva 15. Leikkaussalin IV ilmanvaihdon periaate sekä kiinteiden mittauspisteiden sijainti. IR=infrapuna-analysointipiste, HP=hiiliputkinäyte.

Hengitysvyöhykkeen sevofluraanipitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Anestesia-
lääkärin hengitysvyöhykkeen läheltä (mittauspisteet IR1 ja IR2) mitattu sevofluraanipitoisuuden vaihtelu nukutusten aikana on esitetty kuvassa 16 ja typpioksiduulipitoisuuden vaihtelu kuvassa 17.

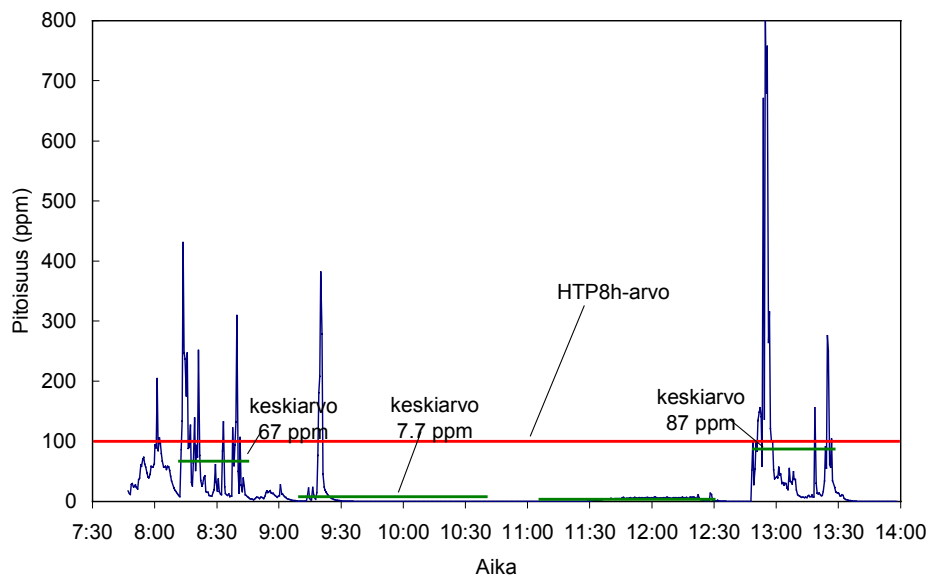
Kohdepoiston muutostöiden jälkeen leikkaussalin kohdepoiston poistoilmavirtaa suurennettiin nostamalla puhaltimen kierroksia taajuusmuuttajasta. Ilmavirta kasvoi tällöin 20 l/s:sta 30 l/s:iin (108 m³/h). Yleisilmanvaihdon ilmavirta oli noin 0,52 m³/s (1900 m³/h). Ilma vaihtuu leikkaussalissa siten noin 27 kertaa tunnin aikana.

Taulukko 1. Leikkaussalissa IV mitatut sevofluraanipitoisuudet.

Mittauspiste	Näytteenottoaika	Sevofluraanipitoisuus ppm
Anestesiahoitaja	8:12 – 13:45	0,61
Anestesia- lääkäri	8:12 – 8:47	1,5
Anestesia- lääkäri	9:15 - 12:30	0,45
Anestesia- lääkäri	12:48 - 13:40	1,7
Leikkauspöydän luota (HP1)	8:12 – 12:30	0,68
Leikkauspöydän luota (HP1)	12:48 - 13:40	3,1
Tausta poistoilma-aukosta (HP2)	8:14 - 13:45	0,24



Kuva 16. Sevofluraanipitoisuuden vaihtelu leikkaussalin kiinteässä mittauspisteessä. Kuvaan piirretyt keskiarvot kuvaavat keskimääräisiä pitoisuuksia kunkin leikkauksen aikana.



Kuva 17. Typpioksiduulipitoisuuden vaihtelu leikkaussalin kiinteässä mittauspisteessä. Kuvaan piirretyt keskiarvot kuvaavat keskimääräisiä pitoisuuksia kunkin leikkauksen aikana.

Mittausten aikana potilaan uloshengityksen mukana kulkeutuvat kaasut ohjattiin käsin kohdepoistohuuvaan (kuva 14). Tämän vuoksi kohdepoisto ei mahtunut olemaan potilaan kasvojen ja nukutusmaskin läheisyydessä, jolloin mahdolliset maskin reunavuodot pääsivät leviämään työilmaan.

Käytettävien nukutuskaasujen määrä määräytyy potilaan painon mukaan, joten mitä pienempi potilas sitä pienempi nukutuskaasujen kokonaismäärä leikkauksen aikana. Tämä osaltaan vaikuttaa Rees-käsiventilaatiosysteemistä vapautuvien ja reunavuotoina syntyvien nukutuskaasujen määrään.

6.3.2 Maskin reunavuodot kohdepoistoon

Seuraavat mittaukset tehtiin niin, että Rees-käsiventilaatiosysteemistä ylipaineella poistuvat nukutuskaasut johdettiin erillisellä letkulla huoneen poistoilmakanavistoon ja kohdepoisto sijoitettiin potilaan lähelle sieppaamaan nukutusmaskin ja kasvojen väliset reunavuodot. Mittaukset suoritettiin samassa leikkaussalissa kuin edelliset ja näytteitä kerättiin samoista mittauspisteistä kuin edellisellä kerralla (kts. kuva 15).

Mittausten aikana leikkaussalissa nukutettiin kaksi lapsipotilasta. Molemmat nukutukset tehtiin happi/ilokaasu/sevofluraaniseoksella maskia ja Rees-käsiventilaatiosysteemiä käyttäen. Herätysvaiheessa käytettiin pelkästään happea.

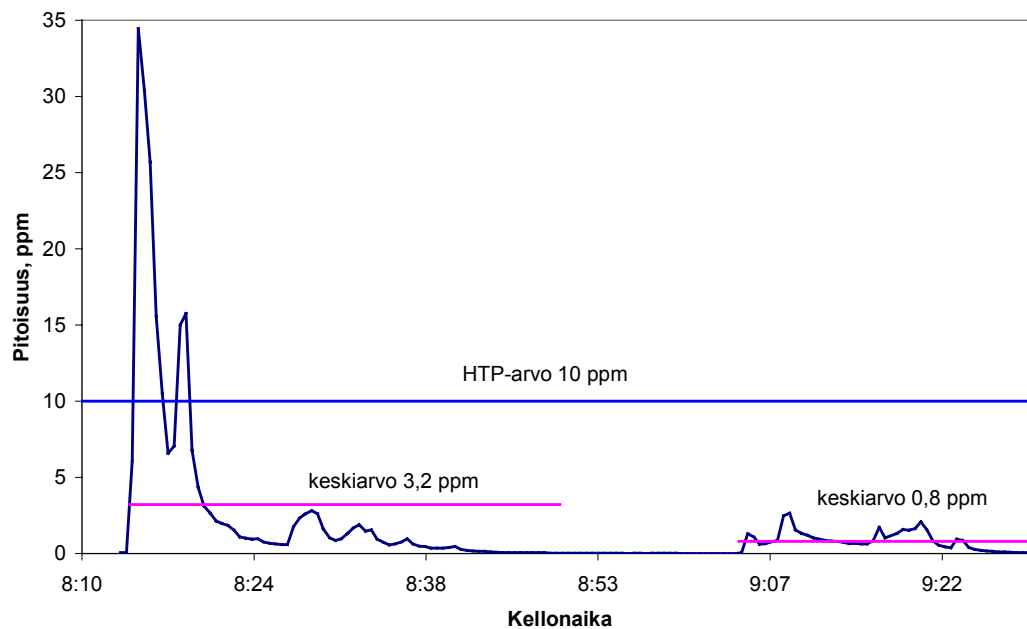
Leikkausten aikana nukutuskaasuja käytettiin seuraavasti:

Leikkaus		Potilaan ikä	Nukutuskaasu		
alkoi	loppui		SEVO	N ₂ O	kokonaisvirtaus
8:18	8:40	6 v	aloitus 3%	4,1 lpm	6,1 lpm
			ylläpito 2 %	4,1 lpm	6,0 lpm
9:04	9:23	7 v	aloitus 8%	4,9 lpm	7,0 lpm
			ylläpito 3 %	4,9 lpm	7,0 lpm

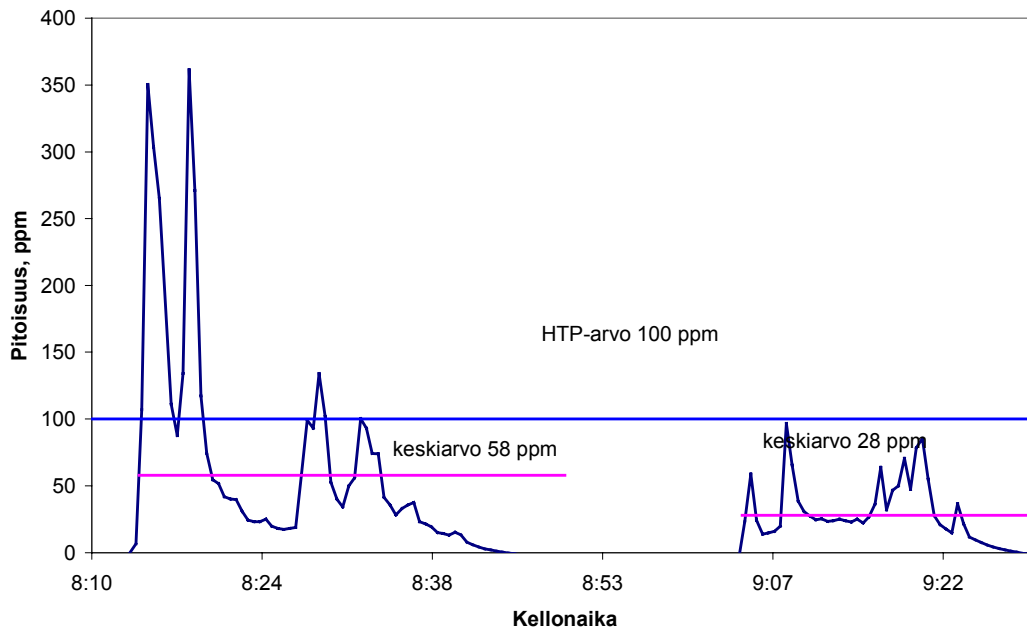
Hengitysvyöhykkeiltä ja kiinteistä pisteistä kerätyt sevofluraanipitoisuudet on esitetty taulukossa 2. Kohdepoiston varteen kiinnitetyn anestesia lääkäriin hengitysvyöhykkeen lähellä sijaitsevan mittauspisteen sevofluraanipitoisuus on esitetty kuvassa 19 ja typpioksiduulipitoisuus kuvassa 20. Ensimmäisen nukutuksen aikana kohdepoisto oli noin 30 – 40 cm:n etäisyydellä ja toisen 10 – 15 cm:n etäisyydellä potilaasta vinosti pääläen puolella. Kohdepoiston kääntövarsi ei ollut niin pitkä, että se olisi ylettynyt potilaan leuan puolelle, jossa se olisi ollut lähempänä hengitysvyöhykettä.

Taulukko 2 . Anestesia­lääkärin ja –hoitajan hengitysvyöhykkeiltä ja leikkaussalin poistosta mitatut sevofluraanipitoisuudet.

Mittaus­piste	Näytteenottoaika	Sevofluraanipitoisuus ppm
Anestesiahoitaja	8:18 – 8:45	2,1
Anestesia­lääkäri	8:18 – 8:45	4,9
Kohdepoiston luota (HP1)	8:20 –8:45	2,5
Tausta poistoilma-aukosta (HP2)	8:18 – 8:45	0,9
Anestesia­lääkäri	9:07 – 9:28	1,4
Anestesiahoitaja	9:07 – 9:28	0,9
kohdepoiston luota (HP1)	9:07 – 9:29	0,9
Tausta poistoilma-aukosta	9:07 – 9:29	0,4



Kuva19. Sevofluraanipitoisuuden vaihtelu leikkaussalin kiinteässä mittaus­pisteessä. Kuvaan piirretyt keskiarvot kuvaavat keskimääräisiä pitoisuuksia kunkin leikkauksen aikana.



Kuva 20. Typpioksiduulipitoisuuden vaihtelu leikkaussalin kiinteässä mittauspisteessä. Kuvaan piirretyt keskiarvot kuvaavat keskimääräisiä pitoisuuksia kunkin leikkauksen aikana.

Tulokset osoittavat, että jälkimmäisessä tilanteessa, jossa kohdepoisto oli mahdollisimman lähellä nukutusmaskia, pitoisuudet olivat alle puolet ensimmäisen leikkauksen aikaisesta. Tämä vastaa laboratorioskokeissa havaittua ilmiötä sieppausasteen ja etäisyyden välisestä voimakkaasta riippuvuudesta.

7 Yhteenveto

Epidemiologisissa tutkimuksissa on todettu, että altistuminen anestesiakaasuille aiheuttaa kohonneen keskenmenon ja hedelmättömyyden riskin, suhteellinen riski 1,3 - 2,6 tutkimuksesta riippuen. Lisäksi esimerkiksi typpioksiduulilla todetaan olevan myös neurotoksisia vaikutuksia, kuten henkisen ja audiovisuaalisen suorituskyvyn sekä käsinäppäryyden aleneminen.

Lastensairaaloissa käytetään anestesiakaasuina halogenoituja yhdisteitä sekoitettuna happi-typpioksiduuliseokseen. Nykyään leikkauksissa käytetään sevofluraania, $\text{CFH}_2\text{-O-CH}(\text{CF}_3)_2$, sekoitettuna 1 - 3 % happi-typpioksiduuliseokseen (happea 30 % ja typpioksiduulia 70 %).

Suomessa sosiaali- ja terveysministeriö on antanut typpioksiduulille HTParvon 100pp (HTP = haitalliseksi tunnettu pitoisuus) sekä sevofluraanille $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvon 10 ppm ja $\text{HTP}_{15\text{min}}$ -arvon 20 ppm.

Amerikkalainen NIOSH suosittelee typpioksiduulin raja-arvoksi 25 ppm ja kaikkien halogenoitujen anestesiakaasujen raja-arvoksi 2 ppm sekä 0,5 ppm käytettäessä näitä typpioksiduulin kanssa.

Hankkeen alussa selvitettiin käyttäjien (anestesia lääkäri ja –hoitaja), työsuojelun edustajien ja mahdollisen valmistajan kanssa mitkä ovat tarkalleen ne vaatimukset, jotka anestesiakaasujen poistoon tarkoitetun kohdepoiston tulee täyttää.

Esille tuli mm. seuraavanlaisia vaatimuksia:

- Tärkein ominaisuus on laitteen käytettävyyttä; kömpelöä ja työtä haittaavaa laitetta ei käytetä.
- Ulkonäön tulisi olla mahdollisimman huomaamaton.
- Materiaalin tulee kestää vahvatkin pesuaineet, esimerkiksi klooria sisältävät
- Melutason tulee olla alhainen
- Imun aiheuttama ilmavirtaus ei saa viilentää potilasta
- Kohdepoiston tehokkuus tulisi olla yli 90 %

Laboratoriossa suoritettujen merkkiainemittausten mukaan huuven muoto ei vaikuttaisi merkittävästi sieppausasteeseen, vaan etenkin etäisyys potilaan hengitysvyöhykkeeltä ja poistoilmavirta.

Parhaimmaksi hankkeen aikana toteuttamiskelpoiseksi vaihtoehdoksi todettiin yläpuolinen huuva, joka on helppo liikuttaa ja saada tarpeen tullen nopeasti pois tieltä. Kohdepoisto tehtiin kaupallisesta mallista (ALSIDEN SYSTEM 50 + 75 HMS), jonka niveliin lisättiin sähköjarrut paikallaan pysymisen varmistamiseksi. Jarrun käyttö tapahtuu kohdepoiston varressa olevalla vipukytkimellä. Näiden muutosten lisäksi kohdepoiston imuaukkoa oli laajennettu halkaisijaltaan 23,5 cm:n huuvalla.

Ensimmäisellä mittauksella vain Rees-käsiventilaatiosysteemistä potilaan uloshengityksen mukana kulkeutuvat kaasut ohjattiin kohdepoistohuuvaan. Tällöin Rees-systeemiä käytettäessä typpioksiduulipitoisuudet leikkausten aikana olivat 67 ppm ja 87 ppm ja sevofluraanipitoisuudet 3,8 ppm ja 4,2 ppm.

Suuria pitoisuushuippuja esiintyi silloin kuin Rees- käsiventilaatiosysteemistä tuleva kaasu ei kulkeutunut poistoon vaan karkasi leikkaussalin ilmaan. Tätä esiintyi tilanteissa joissa nukutuslääkäri laski käsiventilaatiosysteemin leikkauspöydälle muiden töidensä vuoksi jolloin hän ei voinut kannatella Reesä imuaukon edessä. Toinen merkittävä päästö käsiventilaatiossa esiintyi silloin kun nukutuskaasua pääsi virtaamaan maskin ja kasvojen välistä työtilaan. Tällöin pitoisuudet leikkaussalissa nousevat helposti korkeiksi jos päästökohda ei ole kohdepoistohuuvan vaikutusalueella.

Seuraavat mittaukset tehtiin niin, että Rees-käsiventilaatiosysteemistä ylipaineella poistuvat nukutuskaasut johdettiin erillisellä letkulla kohdepoiston poistoilmakanavistoon ja kohdepoisto sijoitettiin potilaan lähelle sieppaamaan nukutusmaskin ja kasvojen väliset reunavuodot. Näiden mittausten aikana nukutettiin kaksi potilasta. Ensimmäisen nukutuksen aikana kohdepoisto oli noin 30 – 40 cm:n etäisyydellä ja toisen 10 – 15 cm:n etäisyydellä potilaasta vinosti pääläen puolella, koska sen liikerata ei riittänyt leuan puolelle sijoittamiseen. Ensimmäisen nukutuksen aikana keskimääräinen typpioksiduulipitoisuus oli 58 ppm ja sevofluraanipitoisuus 3,2 ppm. Tällöin kohdepoistohuuva sijaitsi liian kaukana potilaan hengitysvyöhykkeeltä, jotta se olisi pystynyt sieppaamaan vuodot käytetyllä ilmamäärällä (28 l/s). Toisen nukutuksen aikana typpioksiduulipitoisuus oli 28 ppm ja sevofluraanipitoisuus 0,8 ppm. Tällöin sieppausaste oli huomattavasti parempi, mutta sijoitus lähemmäksi potilaan hengitysvyöhykettä olisi ollut tarpeen.

Käytetyillä ilmavirroilla kohdepoiston sieppaustehokkuus alenee jyrkästi etäisyyden kasvaessa. Jotta toimivuus voitaisiin taata, tulisi ilmavirran olla noin kymmenkertainen näissä mittauksissa käytettyihin verrattuna. Tällöin eräs mahdollisuus olisi matalapaineinen kohdepoistopuhallin, jolla saadaan suurempi ilmavirta ilman, että esim. puhaltimen aiheuttama melutaso kasvaa. Matalapaineisen kohdepoiston kanavat ovat suurempia, tyypillisesti luokkaa 160 – 200mm halkaisijaltaan. Paras ratkaisu nukutuskaasujen päästöjen vähentämiseksi olisi ilmeisesti kiinteästi leikkauspöytään asennettu kohdepoisto, jonka poistoilma johdettaisiin alakautta kanavistoon riittävän suurilla putkistoilla. Tällaiset ratkaisut ovat kuitenkin niin vaativia, että ne tulisi toteuttaa jo rakennusvaiheessa.

8 Kirjallisuus

Christiansen Virve, Kulmala Ilpo, Niemeläinen Matti (1999), Anestesiakaasut lastensairaalan leikkaussalissa ja heräämössä ja niiden hallinta. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, raportti TURB 009, 27s.

Guirguis S. et al. (1990), Health effects associated with exposure to anesthetic gases in Ontario hospital personnel. Br. J. Ind. Med. 47, 490-497

Hemminki K. et al. (1985), Spontaneous abortions and malformations in the offspring of nurses exposed to anesthetic gases, cytostatic drugs and other potential hazards in hospitals, based on registered information of outcome. J. Epidemiol. Comm. Health 39, 141-147.

Rowland A. et al. (1992) Reduced fertility among women employed as dental assistants exposed to high levels of nitrous oxide. N. Eng. J. Med. 327, 993-997.

Rowland et al. (1995), Nitrous oxide and spontaneous abortion in female dental assistants. Am. J. Epidemiol. 141, 531-538.

Westphal K. et al. (1997), Arbeitsplatzbelastung durch Sevofluran. Konzentrationmessungen während Bronchoskopien bei Kindern. Der Anaesthesist 46 (8), 677 – 682.