



HENGITYKSEN FYSIOLOGIA, VALVONTA JA HENGITYSLAITEHOITO AIKUISTEN TEHOHOITOTYÖSSÄ

Kirjallisuuskatsaus

Koulutusala Sosiaali-, terveys- ja liikunta-ala	
Koulutusohjelma Hoitotyön koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Daria Kosovskaya	
Työn nimi Hengityksen fysiologia, valvonta ja hengityslaitehoito aikuisten tehohoitotyössä	
Päiväys 15.12.2015	Sivumäärä/Liitteet 92
Ohjaaja(t) Pirjo Kinnunen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli kuvata hengityksen fysiologiaa, hengityksen valvontaa ja hengityslaitteiden toimintaa aikuisten tehohoitotyössä. Työn tavoitteena oli muodostaa kokonaiskäsitys hengitystoiminnasta, siihen liittyvästä valvonnasta ja hengitysongelmaisen potilaan tehohoidosta. Tämä työ toimii tietopakettina tehohoidosta kiinnostuneille sairaanhoitajanopiskelijoille, jotta he voivat syventää omaa teoreettista osaamistaan ja asiantuntemustaan. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Savonia-ammattikorkeakoulu.</p> <p>Työn menetelmäksi valittiin kirjallisuuskatsaus. Aineistoa etsittiin seuraavista tietokannoista: Medic, Melinda, CINAHL ja PubMed. Lisäksi tiedonhaussa käytettiin Terveysporttia, Finnarest -tietokantoja, hoitajille ja lääkäreille tarkoitettuja oppikirjoja suomen, venäjän ja englannin kielellä, oppiportteja sekä opetusvideoita. Yhteensä työssä käytettiin 26 artikkelia, yhtä väitöskirjaa, yhtä pro gradu-tutkimusta ja muuta lähdemateriaalia.</p> <p>Työssä paneuduttiin hengityselimien fysiologiaan, kuvattiin tarkasti hengityselimien rakenne, hengitysprosessi, hengityksen säätely, ventilaatio/perfuusiosuhteet keuhkoissa ja hengitysmekaniikka. Työssä esitetään pulssioksimetrian ja kapnografian toimintaperiaatteet, hengityslaitehoidon muodot, hengityslaittehoitoon liittyvät muut hoidot sekä hengityslaitehoidon komplikaatiot ja ECMO-hoito.</p> <p>Hengityksen valvonta ja hengityslaitehoito luonnollisesti liittyvät toisiinsa. Laadukas ja turvallinen respiraattorihoito edellyttää hoitajalta syvää tietämystä muun muassa elimistön fysiologiasta, ventilaatiomalleista ja farmakologiasta. Hoitajan ammattitaitoon kuuluu hoitaa potilasta kokonaisvaltaisesti. Hänen tulee nähdä potilas kiireestä huolimatta ihmisenä monien laitteiden takana. Tehohoitajan jatkuva koulutus on nykyään välttämätöntä.</p>	
Avainsanat Hengityksen fysiologia, hengityksen valvonta, hengityslaitehoito, tehohoito	

Field of Study Social Services, Health and Sports			
Degree Programme Degree Programme of Nursing			
Author(s) Daria Kosovskaya			
Title of Thesis Respiratory physiology, monitoring and ventilator management in adults critical care unit.			
Date	15.12.2015	Pages/Appendices	92
Supervisor(s) Pirjo Kinnunen			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this work was describe the physiology of respiration, monitoring of the respiration and function of ventilators. The aim was put together and make general impression of these areas and make complete data set for students of nursing. This way students of nursing can increase their theoretical and practical knowledge. The client of this study was Savonia University of applied sciences</p> <p>The review of literature was selected for method of this work. Literature was searched in databases including Medic, Melinda, CINAHL and PubMed. Terveysportti -, Duodecim - and Finnarrest -databases, English, Finnish and Russian textbooks for students of medicine and nursing science, learning portals and educational videos was used as material.</p> <p>The author use nurse's point of view in this medical subject, ventilator management. Author recognize concrete problems for nurse in ventilator management in adult's intensive care and figure out the theoretical background needed for orientation with ventilators at workplace.</p> <p>In her thesis author show physiology of respiration and ventilator management. Knowledge from books for intensive care nurses and doctors was improved with information from scientific articles and publications. 26 articles, one thesis and one pro gradu-study was used as material. Duodecim - and Finnaret -databases was used. Good and practical pictures, animations and videos from learning portals and web-pages was used.</p>			
<p>Keywords Respiratory physiology, respiratory monitoring, ventilator management, adults critical care</p>			

Opinnäytetyössä käytetyt lyhenteet ja määritelmät

Aerobinen aineenvaihdunta - hapen avulla tapahtuva aineenvaihdunta

ALI - Acute Lung Injury - akuutti keuhkovaurio

Alveoli - keuhkorakkula

ARF - Acute Respiratory Failure - äkillinen hengitysvajaus

ARDS - Acute Respiratory Distress Syndrome - akuutti hengitysvaikeusoireyhtymä

Arterioli - pikkualtimo

Asidoosi - kudoshappoisuus, happomyrkytys

Aspiraatio - tässä henkeen vetäminen

Atelektaasi - keuhkon tai sen osan ilmattomuus

ATP - adenosiinidifosfaatti

ATP - adosiniitrifosfaatti

Bifaasinen - tässä kaksivaiheinen

BiPAP - Bi-level Positive Airway Pressure, kaksivaiheinen positiivinen ilmatiepaine

Bradykardia - sydämen harvalyöntisyys

C - keuhkojen elastisuus, myötävyys - komplianssi (compliance), joka määritellään keuhkojen tilavuuden muutoksena painetta kohti

Cdyn - dynaaminen komplianssi keuhkoissa mitataan jatkuvassa hengitysvirtauksessa

Cstat - komplianssi keuhkoissa uloshengityksen lopussa

CO - Cardiac Output - sydämen minuuttitilavuus

COPD - Chronic Obstruktive Pulmonary Disease - krooninen ahtauttava keuhkosairaus

CPAP - Continuous Positive Airway Pressure, jatkuva positiivinen ilmatiepaine

CPP - Cerebral Perfusion Pressure - aivojen perfuusiopaine (aivojen läpivirtauspaine), valtimopaineen ja kallonsisäisen paineen erotus

CVP - Central Venous Pressure - keskuslaskimopaine

Dekompensaatio - patologinen tila, jossa häiriötekijät ovat niin voimakkaita, että elimistön korjausmekanismit eivät riitä ylläpitämään normaalia tasapainotilaa.

Diffuusio - atomien tai molekyylien siirtyminen puoliläpäisevän kalvon läpi.

ECMO - Extracorporeal Membrane Oxygenation - veren kehonulkoisen happeuttaminen

ERV Ekspiratory Reserve Volume - uloshengityksen varatila

Ekstubaatio - intubaatioputken poisto

EtCO₂ - uloshengitysilman loppuosan hiilidioksidipitoisuus

Exhaustio - uupumus, nääntymys, täydellinen voimattomuus

f - hengitystiheys

FiO₂ - Fraction of Inspired Oxygen, sisäänhengitysilman happiosuus (happifraktio)

FRC - Functional Residual Capacity, keuhkojen jäännösilmatilavuus eli uloshengityksen lopussa keuhkoihin jäävä ilmamäärä.

Happikyllästeisyys - happisaturaatio - kudoksen happipitoisuuden suhde sen maksimaaliseen happipitoisuuteen

HR - syketaajuus

Hyperkapnia - hiilidioksidimyrkytys

Hyperventilaatio - voimistunut hengitys, syvä ja nopea hengitys

Hypoksia - hapen niukkuus

Interkostaalinen - kylkiluiden välinen

Interstitium - soluvälitila

Invasiivinen - kajoava

ERV - Ekspiratory Reserve Volume uloshengityksen varatila

IRV - Inspiratory Reserve Volume eli sisäänhengityksen varatila

Likvori - aivoselkäydinneste

NHFO - Nasal High Flow Oxygen - suurivirtauksinen happihoito (nenäkanyylien kautta)

NIV - Noninvasiivinen ventilaatio

Oksigenaatio - happeuttaminen

PAO₂ - happiosapaine keuhkorakkuloissa

Paw - alveolaarinen paine - paine alveoleissa

PaO₂ - valtimoveren happiosapaine

PaCO₂ - valtimoveren hiilidioksidiosapaine

PaO₂/FiO₂ - suhde eli P/F - suhde: valtimoveren happiosapaineen ja sen saavuttamiseksi käytetyn sisäänhengitysilman happifraktion suhde

PtO₂ - happiosapaine kudoksissa

PvO₂ - happiosapaine laskimossa

Ptp - transpulmonaalinen paine - paine pleraontelon ja alveolien välillä

PEEP - Positive End-Expiratory Pressure - positiivinen loppu-uloshengityspaine

Ppeak - Peak Pressure - suurin inspiratorinen (sisäänhengityksen) paine

Ppl - pleuraontelon paine

Pplat - Airway Plateau Pressure - paine pienissä hengitysteissä, mitataan sisähengityksen lopussa

RV - maksimaalisen uloshengityksen jälkeen keuhkoihin jäävä tilavuus

SaO₂ - valtimoveren hemoglobiinin happikyllästeisyys

Synapsi - kahden hermosolun liitospinta

TLC - Total Lung Capacity - keuhkojen kokonaiskapasiteetti

TV - Tidal Volume - kertahengitystilavuus

VA - Alveolaarinen Ventilaatio - hengitysilma litroissa, joka osallistuu kaasujen vaihtoon minuutin aikana

VD - anatominen kuollut tila (2,0 - 2,2 ml/kg). VD tarkoittaa ylähengitysteissä ja keuhkoputkessa oleva ilmaa, joka ei osallistu kaasuvaihtoon, koska ei pääse alveoleihin.

VT - Tidal Volume, kertahengitystilavuus

Q - sydämen minuuttitulavuus

V - alveolaarinen ventilaatio eli ilma litrassa, joka pääsee alveoleihin minuutin aikana

VAP - Ventilator-Associated Pneumonia

VALI - Ventilator Associated Lung Injury, hengityslaittehoitoon liittyvä keuhkovaurio

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	TEHOHOITO JA HENGITYKSEN VALVONTA.....	12
2.1	Hengityksen valvonta tehohoitotyössä.....	12
2.2	Hengityslaitehoito tehohoitotyössä	13
3	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET.....	15
4	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS	16
4.1	Kirjallisuuskatsaus menetelmänä.....	16
4.2	Kirjallisuuskatsauksen suunnittelu, tutkimusten valinta ja laadun arviointi.....	16
4.3	Aineiston analysointi	18
5	TULOKSET	21
5.1	Hengityksen fysiologia.....	21
5.2	Hengitysmekaniikka	31
5.3	Hengityksen valvonta aikuisten tehohoitotyössä.....	35
5.3.1	Happeuttaminen, happikylästeisyys	37
5.3.2	Tuulettuminen, kapnografia	46
5.3.3	Hengitysvajaus	53
5.4	Hengityslaitehoito aikuisten tehohoitotyössä	55
5.4.1	Mekaaninen ventilaatio	55
5.4.2	Happiterapia	66
5.4.3	Hengitysilman kostutus.....	67
5.4.4	Suurtaajuusventilaatio	71
5.4.5	Vatsa-asentohoito mekaanisen ventilaation aikana	72
5.4.6	VAP.....	73
5.4.7	ECMO.....	78
6	POHDINTA.....	82
6.1	Tulosten tarkastelu	82
6.2	Opinnäytetyön eettisyys ja luotettavuus	84
6.3	Opinnäytetyön merkitys.....	85
6.4	Ammatillinen kasvu	85
	LÄHTEET	87

Hengitys voidaan määritellä monella eri tavalla. Kirjallisuuden mukaan hengityselimistö huolehtii kahdesta keholle elintärkeästä toiminnosta: hapen saannista ja hiilidioksidin poistamisesta. Fysiologian näkökulmasta hengityksellä eli respiraatiolla tarkoitetaan hapen siirtoa ilmasta soluihin ja hiilidioksidin siirtoa soluista ulkoilmaan (Lebedinskiy, Mazurok ja Nefedov 2008).

Hengityksen valvonta voidaan jakaa hengitystyön ja kaasujenvaihdon seurantaan. Hengitystyön mittareita ovat hengitystaajuus ja hengitysmekaniikka. Manuaalisesti eli ilman teknisiä apuvälineitä hengityksessä seurataan hengitystaajuutta, apuhengityselimistöjen käyttöä ja hengitysmekaniikkaa sekä potilaan ihon väriä (syanoosi). Stetoskoopilla kuunnellaan hengityssäännet, jotka voivat paljastaa hengitysvaikeuden syyn. Kaasujenvaihtoa eli happeuttamista ja tuulettumista seurataan ensisijaisesti monitoroimalla happikylläisyyttä ja ulostulevan hengitysilman hiilidioksidipitoisuutta (EtCO₂) sekä valtimoveren verikaasuanalyysin avulla. (Junttila 2014a.)

Tehohoidossa hoidetaan potilaita, joilla on äkillinen, tilapäinen, henkeä uhkaava yhden tai useamman elintoiminnan häiriö. Tehohoito vaatii erityisteknologiaa potilaan elintoimintojen jatkuvaan valvontaan ja ylläpitämiseen. Se vaatii teho-osastolla työskentelevältä sairaanhoitajalta kykyä tehdä nopeasti päätöksiä sekä hallita yllättäviä ja muuttuvia tilanteita. Sairaanhoitajan tulee hallita erilaisia tehohoitotyöhön vaadittavia laitteita. Laitteet itsessään eivät muuta potilaan hoitoa paremmaksi, jos niitä ei osata käyttää. Tehohoitajan täytyy osata hallita laitteita ja tulkita laitteiden antamaa tietoa. Hoitajan pitää ymmärtää sairauden aiheuttamat muutokset hengityselimissä, arvioida lääkärin kanssa hengitystuen tarvetta ja tietää laitteiden soveltavuus tietyille potilaalle ja laitteiden pääasetukset. Puutteellinen tieto laitteiden käytöstä voi johtaa vaaratapahtumiin (Tammi 2014).

Niemisen (2007) mukaan valvonta-yksikön sairaanhoitajan osaamista on pidettävä yllä ja kehitettävä koko ajan. Sairaanhoitajat kokevat tarvitsevansa lisäkoulutusta potilaan elintärkeään hoitoon liittyvien tietojen ja taitojen syventämisessä. Erikoisesti sydämen ja keuhkojen toimintaan, lääkehoitoon ja ravitsemukseen liittyvä osaamista tulisi parantaa sekä hoitajien teknisiä taitoja (Niemi 2007). Peltosen ja Suomisen (2008) mukaan hoitajat kokevat, että toimiessaan potilaan puolestapuhujana heidän tulee hallita tehohoitotyö ja laitteet, joilla potilasta hoidetaan. Nuori tehohoitaja oppii käytännöntyön kautta mekaanisen

ventilaation periaatteet (Copede Guilhermino, Inder, Sundin ja Kuzmiuk 2014). Hoitajat kaipaavat mekaaniseen ventilaatioon liittyvää koulutusta, koska koulutus lisää muun muassa potilasturvallisuutta ja parantaa tätä kautta myös hoidon laatua (Copede Guilhermino ym. 2014). Tehohoito kehittyy sekä teknistyy koko ajan ja henkilökunnan jatkuva koulutus on välttämätöntä. Tehohoidossa potilas on fyysisesti, psyykkisesti ja sosiaalisesti riippuvainen tehohoitajasta sekä hoitolaitteista ja hoitoympäristöstä. Potilaan riippuvuus puolistaan korostaa hoitajan eettisyyttä. Sairaanhoidajalla on vastuu oman ammattitaidon kehittämisessä (Opetusministeriö 2006, 63).

Hengityslaittehoito on yksi keskimmaisista hidoista tehohoitotyössä. Tehohoitoa tai tehovalvontaa tarvitsevien hengitysvajauspotilaiden määrä Suomessa on 78 - 89/100 000/vuosi (Käypä hoito 2014). Hengityslaitteita on runsaasti ja hengityslaitteidosta käytettävät käsitteet vaihtelevat, mikä tuo vaikeuksia niiden käytön perehtymiseen (Gorjachov ja Savin 2013, 4; Varpula ja Pettilä 2014). Nykyaikainen hengityslaitte eli ventilaattori on liitetty tietokoneeseen. Hengityslaitte aistii ilman virtauksia ja paineita hengitysteissä sekä pystyy säätämään näitä sähköisesti ohjattujen venttileiden avulla. Ventilaattorissa on myös kattavat valvontaominaisuudet ja useimmiten hengityslaitteen monitorissa lukee reaaliaikaisina paine-, tilavuus- ja virtauskäyrät. (Niemi-Murola 2014; Varpula ja Pettilä 2014.)

Potilaalla on oikeus laadultaan hyvään terveyden- ja sairaanhoitoon. Terveydenhuollon toiminnan tulee perustua näyttöön ja hyviin hoito- ja toimintakäytäntöihin sekä sen on oltava laadukasta, turvallista ja asianmukaisesti toteutettua. Keskeiset painotusalueet ovat asiakaslähtöisyys, palvelujen ja hoidon laatu, potilasturvallisuus, eri toimijoiden välinen yhteistyö, terveyden ja hyvinvoinnin edistäminen ja kustannusten kasvun hillitseminen. (Laki potilaan asemasta ja oikeuksista 1992, §3; Terveydenhuoltolaki 2010, §4; Tamminen 2014).

Tämä opinnäytetyö tehtiin kirjallisuuskatsauksena. Työn tarkoituksena oli kuvata hengityksen fysiologiaa, hengityksen valvontaa ja hengityslaittehoitoa aikuisten tehohoitotyössä. Työn tavoitteena oli muodostaa kokonaiskäsitys hengitystoiminnasta, siihen liittyvistä valvonnasta ja tehohoidossa olevan potilaan hoidosta, kun potilaalla on hengitykseen liittyviä ongelmia. Tämä työ voi toimia tietopakettina tehohoidosta kiinnostuneille sairaanhoitaja-

opiskelijoille; näin he voivat syventää omaa teoreettista osaamista ja asiantuntemusta.
Opinnäytetyön toimeksiantajana on Savonia-ammattikorkeakoulu.

2 TEHOHOITO JA HENGITYKSEN VALVONTA

Tehohoitotyö kohdistuu kriittisesti sairastuneisiin potilaisiin, joilla on henkeä uhkaava yhden tai useamman elintoiminnon häiriö. Tehohoidon tarkoituksena on elintoimintojen (hengitys, verenkierto, veren hyytyminen, maksan ja munuaisten toiminta) valvonta ja tuki (HUS 2015). Tehohoito vaatii erityisteknologiaa potilaan elintoimintojen jatkuvaan valvontaan ja ylläpitämiseen. Sairaanhoidajan tulee hallita erilaisia tehohoitotyöhön vaadittavia laitteita. Laitteet itsessään eivät muuta potilaan hoitoa paremmaksi, jos niitä ei osata käyttää (Tamminen 2014). Tehohoito on erittäin nopeasti kehittyvä ja teknistyvä ala, jolloin tarvitaan jatkuvaa koulutusta.

2.1 Hengityksen valvonta tehohoitotyössä

Hengityksen valvonta tarkoittaa potilaan hengityksen toiminnan jatkuvaa seurantaa. Hengitys on yksi kolmesta peruselintoiminnoista, jotka ovat välttämättömät elävälle ihmiselle. Peruselintoimintojen seuranta edellyttää syvää tietoa ihmisen fysiologiasta ja anatomiasta. Hengitystä voidaan seurata manuaalisesti ja laitteiden avulla. Hengityksen monitorointi tarkoittaa keuhkojen toiminnan numeeristen ja graafisten arvojen dynaamista seurantaa (Satishur 2007, 187).

Perustoimintojen jatkuva arviointi kuuluu sairaanhoidajan työhön ja siksi hoitajan on osattava arvioida hengityksen toimintaa muun muassa manuaalisesti. Sairaanhoidaja pystyy laskemaan hengitystaajuutta, havainnoimaan apuhengitysilihasten käyttöä, kertatilavuuden poikkeavuutta, miten rintakehän molemmat puolet osallistuvat hengitykseen ja ovatko ilmatiet auki. Sen lisäksi sairaanhoidaja voi havainnoida hengityksessä hajua (esim. etanoli, asetoni, virtsa), hengitysliikkeitä (pinnallinen hengitys, nopea, syvä, Cheyne-Stokes tyyppistä), hengityssäniä, ihon väriä, syanoosia, valtimoiden ja laskimoiden täyttötasoa, potilaan ilmeitä ja miten potilas pystyy puhumaan (Blomster 2001, 149; Junttila 2014a, 19). Stetoskoopilla hoitaja pystyy kuuntelemaan hengityssänet, sydämen äänet ja valtimoista tulevat äänet, jotka voivat paljastaa hengitysvaikeuden syyn (Junttila 2014a, 19).

Hengitysvalvonta jaetaan hengitystyön ja kaasujenvaihdon valvontaan. Hengitystyötä kuvaava hengitysmekaaniset arvot: hengitystiheys, kertahengitystilavuus, minuuttihengitystilavuus, paineet hengitysteissä jne. Kaasujenvaihtoa voidaan arvioida laboratorionkokeiden

avulla (happo-emästasapaino), seuraamalla happikyllästeisyyttä kajoavalla sekä ei-kajoavalla menetelmällä, mittaamalla hiilidioksidipitoisuutta uloshengitysilmaasta.

2.2 Hengityslaitehoito tehohoitotyössä

Nykyaikainen hengityslaitte eli ventilaattori on liitetty tietokoneeseen, jolloin ventilaattori toimii hengitystukilaitteena ja hengitysvälvontalaitteena. Hengityslaitte aistii ilman virtauksia ja paineita hengitysteissä sekä pystyy säätelemään näitä sähköisesti ohjattujen venttiilien avulla. Ventilaattorin monitorista voidaan tarkkailla reaaliaikaisia paine-, tilavuus- ja virtauskäyriä ja arvoja (Niemi-Murola 2014; Varpula ja Pettilä 2014). Hengitysvajauksen hoito on yleisin hoito teho-osastolla (HUS 2015), koska hengitysvajaus liittyy myös muiden peruselintoimintojen häiriöihin. Tehohoitoa tai tehovalvontaa tarvitsevien hengitysvajauspotilaiden määrä Suomessa on 4300/vuosi (Käypä hoito 2014).

Osalle potilaista hoitoa voidaan antaa noninvasiivisesti eli jaksottaisena erilaisten naamareiden avulla, mutta vaikeammassa tilanteessa hoito vaatii keinoilmatietä eli intubaatioputkia tai trakeostomaa. Keinoilmatie tarkoittaa ilman vientiä nenänielun ohi keuhkoihin hengityspotken kautta tai trakeostoman kautta. Yksi hengitysvajauksen hoitomuoto on happiterapia. Lisähappi hengitysilmassa takaa paremmin hapen kyllästeisyyden veressä. Jos potilas hengittää keinoilmatien kautta, nenänielu ei kostuta ilmaa, ja myös hengitys korkealla virtauksella vaatii hengitysilman kostutusta (Siirala 2014). Ventilaatiomalleja on paljon, niiden luokitus on ongelmallinen ja terminologia on sekava. Hengityskone voi tukea potilaan omaa hengitystä tai hengittää potilaan puolesta.

Hengityslaittehoitoon liittyy aina myös komplikaatioita. VAP (engl. - Ventilator-Associated Pneumonia) on yksi hengityslaittehoiton komplikaatioista. Ventilaation liittyvä keuhkokuume ilmenee 48 - 72 tunnin kuluttua intubaatiosta, jolloin potilaalla ei ollut merkkejä keuhkokuumeesta intubaatiohetkellä (Karhu 2015). VAP:n yksi syy on se, että kriittisesti sairastuneilla potilailla immunitetti on laskenut. Toinen syy on se, että kurkunpää ei enää pysty turvaamaan hengitysteitä intubaation vuoksi. VAP:n ehkäisy on tärkeä tehohoitotyössä, koska VAP-potilaiden hoitoaika pitenee, kuolleisuus kasvaa ja hoidon kustannukset kohoavat (Lehtonen 2011; Osbo-Nurminen, Salanterä ja Lundgren-Laine 2013).

Vaikeassa kaasujen vaihto-ongelmassa, jossa perinteinen hengityskonehoito on tehotonta, käytetään korkeataajuusventilaatiohoitoa (Peltoniemi ja Kallio 2013, 22). Korkeataajuus-

ventilaatio eli HFV (engl. - High Frequency Ventilation) on ventilaatio, jossa hengitysfrekvenssi on vähintään 4 kertaa tavallista hengitysfrekvenssiä suurempi (60 - 3000/min). Vakavassa keuhkojen vaurioitumisessa ECMO-laite happettaa verta keuhkojen puolesta ja palauttaa sen elimistöön. ECMO-hoito - kehonulkoisen veren happeuttamista voidaan verrata dialyysihoitoon tai kehonulkoiseen verenkiertoon, jolloin laite korvaa elimen toiminnan (Mildh ja Lommi 2013).

3 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata hengityksen fysiologiaa, hengityksen valvontaa ja hengityslaittehoitoa aikuisten tehohoitotyössä. Työn tavoitteena oli muodostaa kokonaiskäsitely hengitystoiminnasta, siihen liittyvistä valvonnasta ja tehohoidossa olevan potilaan hoidosta, kun potilaalla on hengitykseen liittyviä ongelmia. Tämä työ voi toimia tietopakettina tehohoidosta kiinnostuneille sairaanhoitajanopiskelijoille, näin he voivat syventää omaa teoreettista osaamista ja asiantuntemusta. Tekijän henkilökohtaisena tavoitteena on tutustua aiheeseen eri näkökulmista, muodostaa syy-seuraus suhteiden mukaisesti looginen tietopaketti niin, että monimutkaiset ja haasteelliset numeraaliset arvot tulisivat luki-joille tutuiksi ja arvokkaiksi. Työssä esitetään paljon kuvia, koska aihe on monille vieras ja vaikea. Kuvamateriaalit voivat auttaa asian ymmärtämistä ja muistamista.

Tutkimuskysymykset ovat:

- Mitä hengityksen fysiologia on?
- Miten toteutetaan hengityksen valvontaa tehohoitotyössä?
- Millaista hengityslaittehoito on tehohoitotyössä?

4 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

4.1 Kirjallisuuskatsaus menetelmänä

Kirjallisuuskatsaus on itsenäinen tutkimus, jossa pyritään tutkimuksen toistettavuuteen ja virheettömyyteen (Pudas-Tähkä ja Axelin 2007). Kirjallisuuskatsaus menetelmänä auttaa hahmottamaan olemassa olevien tutkimusten kokonaisuutta: miten paljon tutkimuksia aiheesta löytyy, millaisia tutkimuksia ovat sisällöllisesti ja menetelmällisesti. Kirjallisuuskatsaus antaa lukijalle tiivistetyn, puolueettoman ja loogisen yhteenvedon tämän hetkisestä tiedosta aiheeseen liittyen. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus on sekundaaritutkimus olemassa oleviin tarkasti rajattuihin ja valikoituihin tutkimuksiin ja sen rajaus kohdistuu tietylle aikavälille. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen keskittyy tarkasti valittuihin tutkimuksiin, mutta kirjallisuuskatsaukseen voidaan sisällyttää monenlaista aineistoa; julkaistuista tutkimuksista julkaisemattomiin aineistoihin. Tämän opinnäytetyön menetelmäksi valittiin kirjallisuuskatsaus, jossa haluttiin koota olemassa olevaa tietoa laajasti yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Opiskelijat, jotka työtäni lukevat, saavat monipuolisen kuvan, mitä kirjallisuuden ja tutkimuksen perusteella tiedetään hengityksen fysiologiasta, valvonnasta ja hengityslaitteiden toiminnasta aikuisten tehohoitotyössä. Tämän työn tein yksin, mutta yleensä suositellaan tutkimuksen luottavuuden takia, että kirjallisuuskatsauksen tekemisessä on vähintään kaksi tutkijaa. Kirjallisuuskatsaus kohdistuu tietynä aikana tehtyihin tutkimuksiin, ja sitä on päivitettävä tulosten relevanttiuden ylläpitämiseksi. Kirjallisuuskatsauksessa jokainen vaihe on kirjattava tarkasti virheiden välttämiseksi ja katsauksen toistettavuuden mahdollistamiseksi (Hemingway 2009).

4.2 Kirjallisuuskatsauksen suunnittelu, tutkimusten valinta ja laadun arviointi

Ensimmäinen kirjallisuuskatsauksen tekemisen vaihe sisältää katsauksen suunnittelun. Suunnitteluvaiheessa tarkistellaan aiempaa tutkimusta aiheesta, määritellään katsauksen tarve sekä tehdään tutkimussuunnitelma. Työsuunnitelmassa olevat tutkimuskysymykset ohjaavat tiedonhakua ja kirjallisuuskatsauksen toteutusta.

Tämän kirjallisuuskatsauksen suunnittelu aloitettiin tutustumalla olemassa olevaan kirjallisuuteen. Hakua varten etsittiin ensin asiasanoja yleisestä suomalaisesta asiasanastosta (YSA) sekä Medical Subject Headings (MeSH) -sanastosta. Hakuhehtoina käytettiin muun muassa fraaseja: **“Respiratory Fysiology”, “Mechanical Ventilation”, “Intensive Care”,**

“Inhalation therapy”, “Lung Compliance”, “ Mechanical Ventilators”, “Non-invasive Ventilation”, “Pulmonary Gas Exchange”, “ Pulmonary Ventilation”, “Respiratory Dead Space” “Respiration Disorders” , “Respiratory secretions”, “Respiratory Therapy”, “Ventilation-Perfusion Ratio”, “Ventilator Treatment”. Haun avulla tekijä sai kuvan, mitkä tutkimukset ovat saatavissa tällä hetkellä valitusta aiheesta. Tekijä katsoi myös Theseus - julkaisuarkistosta, oliko jo olemassa valmiita opinnäytetöitä tästä aiheesta. Tekijä löysi muun muassa opinnäytetyön, jossa oli tehty ohjeet tietyn hengityslaitteen käyttöön (akuut-tihengitysvajauksen hoito-ohjeet), mutta sellaisia töitä ei löytynyt, joissa olisi koottu tai kuvattu, mitä tiedetään hengitysfysiologiasta, hengitysvälvonnasta ja hengityslaitteidosta. Näin tekijä varmistui aiheen tarpeellisuudesta ja otsikoi oman työnsä. Tiedonhaussa käytettiin Savonia-AMK:n tietokantoja ja lisäksi tekijällä oli mahdollisuus hakea tietoa myös Itä-Suomen Yliopiston tietokantoista.

Kirjallisuuskatsauksen suunnitteluvaiheessa käytettiin alla olevassa taulukossa esitettyjä tietokantoja (Taulukko 1).

TAULUKKO 1. Tietokannat, jotka käytettiin suunnitteluvaiheessa

Tietokanta:	Kuvaus:
Medic	Suomalainen terveystieteellinen viitetietokanta, jonne tallennetaan lääke-, hammaslääke- ja hoitotieteellisiä julkaisuja.
Melinda	Suomalaisten kirjastojen yhteistietokanta, joka sisältää viitetiedot muun muassa yliopistokirjastojen ja varastokirjaston aineistoihin sekä joihinkin ammattikorkeakoulujen kirjastoihin.
CINAHL	Kansainvälinen hoitotyön tutkimustietokanta, joka sisältää artikkeleita eri julkaisuista.
PubMed	Kansainvälinen viitetietokanta perustuen MEDLINE:n biolääketieteelliseen kirjallisuuteen.

Näiden tietokantojen lisäksi tehtiin manuaalista tiedonhakuja tehohoitoon ja hengitykseen liittyvistä kirjallisuudesta ja julkaisuista, jotta tulokset olisivat mahdollisimman kattavia. Tutkimusten valintaa, hakustrategiaa ja katsauksen parametrien määrittämistä varten tekijä valitsi kriittiset sisäänotto- ja poissulkukriteerit (Taulukko 2, s. 18). Kriteereitä sovellettiin valintaprosessin eri vaiheissa. Näin oli helpompaa löytää suuresta joukosta tutkimukselle tärkeä aineisto.

Aineisto kerättiin suomalaisista, venäläisistä ja kansainvälisistä tutkimuksista. Tiedonhaussa käytettiin tutkimusten lisäksi Terveysporttia, Dodecim- ja Finnarest -tietokantoja, hoitajille ja lääkäreille tarkoitettuja oppikirjoja suomen, venäjän ja englannin kielellä.

TAULUKKO 2. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit tutkimusten osalta

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
Julkaistu vuosina 2010–2015	Julkaistu ennen vuotta 2010
Julkaisukieli suomi, englanti tai venäjä	Julkaisukielenä joku muu kuin suomi, englanti tai venäjä
Pro gradu - tutkielma, väitös-tutkimus, tieteellinen artikkeli	AMK:n opinnäytetyö tai jonkin muu pienimuotoinen tutkimus
Julkaistu on luotettava	Mielipidetutkimus, ei tieteellinen julkaisu
Saatavilla veloitusketta kokotekstinä	Ei saatavilla kokotekstinä tai on maksullinen
Käsittelee aikuisten hoitoa	Käsittelee jotain muuta kohderyhmää kuin aikuisten hoitoa (esim. lapset)
Vastaa tutkimuskysymyksiin	Ei vastaa tutkimuskysymyksiin

4.3 Aineiston analysointi

Tämän opinnäytetyön aineisto analysoitiin sisällönanalyysin avulla. Tuomisen ja Sarijärven (2012) mukaan sisällönanalyysi on perusanalyysimenetelmä, jota voidaan käyttää kaikissa laadullisissa tutkimuksissa (Tuominen ja Sarijärvi 2012, 91). Sisällönanalyysin avulla voidaan tehdä aineistojen erittelyä ja jäsentelyä. Sisällönanalyysillä tarkoitetaan aineiston analysoinnin keinoa, jolla aineistojen asiayhteyksien välisiä suhteita tarkastellaan systemaattisesti ja objektiivisesti. Menetelmässä aineistojen pääpiirteet ja keskeiset asiat nostetaan esille havainnoitaviksi ja samalla pyritään saamaan tutkittavasta ilmiöstä kuvaus tiivistetyssä muodossa. (Latvala ja Vanhanen-Nuutinen 2003, 21; Tuomi ja Sarijärvi 2012, 103.)

Sisällönanalyysissä etsitään tekstin merkityksiä ja sen etuina ovat muun muassa herkkyys kontekstille ja aineiston symbolisille muodoille sekä soveltuvuus myös strukturoimattoman aineiston analyysiin (Silius 2005, 2). Sisällönanalyysin avulla saadut yksittäiset aiheet kootaan järjestelmällisesti vastauksiksi kysymysten alle, jotta päätelmien ja synteessin tekeminen sekä jäsentäminen olisivat helpompia.

Aineistoista etsittiin alkuperäisilmaisut, jotka vastasivat tutkimuskysymyksiin. Sitten alkuperäisilmaisut pelkistettiin ja sitten ryhmitettiin tietoa ala- ja yläkategorioihin. Yläkategorian on vastattava tutkimuskysymyksiin. Yläkategoriaksi muotoutuu niin sanottu ilmiö, joka

kuvaa hengityksen fysiologiaa, valvontaa ja hengityslaittehoitoa. Esimerkki sisällönanalyysin vaiheista esitetään seuraavalla sivulla (Taulukko 3, s.20).

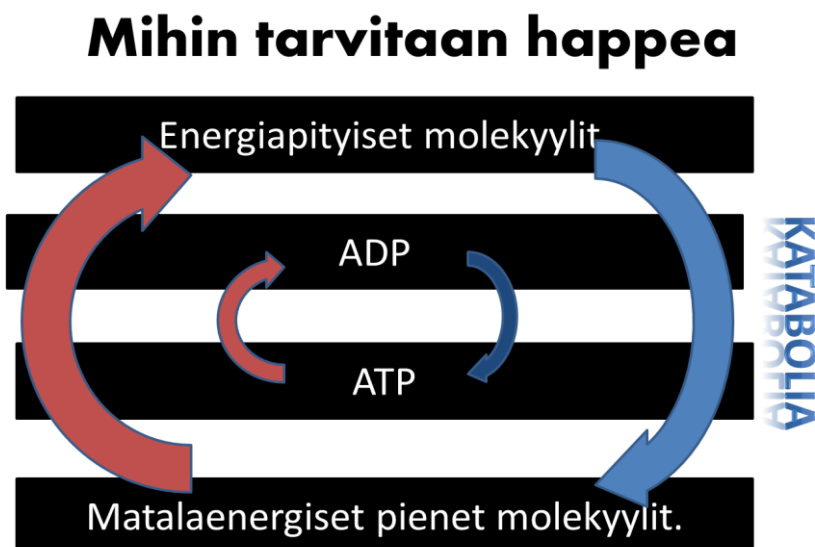
TAULUKKO 3. Esimerkki alkuperäisilmaisujen pelkistämisestä sekä ala- ja yläkategorioiksi muodostamisesta

Alkuperäisilmaisu	Pelkistetty ilmaisu	Alakategori	Yläkategori
"mechanical ventilation in the prone position significantly reduced mortality among patients with ARDS who received protective lung ventilation."	Vatsa-asentohoito laskee kuolleisuutta ARDS-potilailla	Vatsa-asentohoito on tehokas ARDS:ssa	VATSA-ASENTOHOITO MEKAANISESSA VENTILAATIOSSA
"Vatsa-asentohoito soveltuu hyvin hengenpelastavaksi silta-hoidoksi, jos esim. ECMOhoidon aloittamiseen sisältyy esim. siirtoviivettä."	Vatsa-asentohoito on hengenpelastava väliaikainen hoito		
"Vaikean kaasujenvaihtohäiriön hoidon kustannuksia verrattaessa vaikuttaa vatsa-asentohoito halvalta muihin hoitoihin verrattuna ... "	Vatsa-asentohoidon kustannukset ovat matalat	Vatsa-asentohoito on halpa	
"Vatsa-asentohoitoon liittyy kuitenkin selviä riskejä, ja siksi sitä ei pidä käyttää kuin vaikeassa, ARDS-tasoisessa kaasujenvaihtohäiriössä"	Vatsa-asentohoito on käytettävä harkiten	Vatsa-asentohoitoon on perehdyttävä	
"Although there was no significant difference in the occurrence of other complications between the prone and supine groups, these adverse events may occur more frequently in centres with less"	Vatsa-asentohoidon toteuttamisessa tarvitaan kokemusta		
"Prone positioning during mechanical ventilation is not without risks. Our study showed that patients in the prone group were at increased risk of pressure ulcers, obstruction of the"	Vatsa-asentohoitoon liittyy riskejä		
"prone ventilation improves recruitment of collapsed alveoli"	Vatsa-asentohoito rekrytoi kokoon painuneita alveoleja		
"Kun vaikeaa kaasujenvaihtohäiriötä sairastava potilas käännetään vatsalleen, sydämen kompressio keuhkoissa kohdistuu"	Keuhkojen hengittämätön osa pienenee vatsa-asentohoidossa	Vatsa-asentohoito parantaa hengitysfysiologiaa	
"Vatsa-asennossa happeuttaminen paranee usein pian ja dramaattisesti." "Myös ventilaatio tehostuu ja ventilaatio / perfuusio (V / Q) -suhde paranee."	Vatsa-asentohoidossa hengitysmekaniikka ja happeuttaminen paranee ja ventilaatio tehostuu.		

5 TULOKSET

5.1 Hengityksen fysiologia

Hengityselimien toiminta on yhteydessä verenkierron toimintaan. Hengityksen ja verenkierron avulla elimistö pyrkii turvaamaan verenkierrossa happipitoisuuden, joka riittää aerobiseen eli hapen avulla tapahtuvaan aineenvaihduntaan. ATP syntyy adenosiidifosfaattista (ADP) soluhengityksessä mitokondrioiden entsyymien avulla, sivutuotteina ovat hiilidioksidi ja vesi. ATP:n hajoamisesta muodostuu ADP (adenosiidifosfaatti) ja energiaa. ATP:tä käytetään energian siirtoon ja lyhytaikaiseen varastointiin. ATP voidaan käyttää universaalisenä energialähtönä erilaisissa kemiallisissa reaktioissa kaikkiin elimistön tarpeisiin (Kuvio 1). ATP tarvitaan uusien molekyylien (glykogeeni, soluproteiinit jne.) synteesiin, aktiiviseen kuljetukseen solukalvon läpi, lihasten supistumiseen, hermoimpulssin muodostamiseen, kuona-aineiden metaboliaan ja moniin muihin tehtäviin.



KUVIO 1. Adenosinitrifosfaatti (ATP) toimii energian välittäjänä anabolisten ja katabolisten reaktioiden välillä (Solunetti 2006)

Ihmisen arvioidaan käyttävän painonsa verran ATP-molekyyliä vuorokaudessa. ATP:ta ei voi varastoida, minkä vuoksi energian ja hapen jatkuva saanti on välttämätöntä. Jos happea ei tule elimistöön jostain syystä, solun aineenvaihdunta muuttuu anaerobiseksi (hapetto-

maksi) ja lopputuotteena on maitohappoa, joka hajoaa vetyioneiksi ja laktaattianioneiksi, mikä johtaa elimistön asidoosiin eli veren pH laskee. (Aitomäki ja Valta 2014a, 140; Heitz, Horne 2014, 64).

Suurin osa keuhkoista koostuu rypälemäisestä kudoksesta eli noin 300 miljoonasta keuhkorakkulasta (alveolit, engl. - *alveolars*), joiden pinta-ala aikuisella on noin 90 m². Kapillaarisuonet muodostuvat verkoston alveolien ympärillä samalla tavalla kuin kapilaariverkosto kudoksissa. Happi kulkeutuu keuhkoihin ilmasta alveolien seinämän, tyvikalvon ja verisuonten seinämien läpi. Keuhkoista hapettunut verta palaa vasempaan sydämeen ja sieltä isoon verenkiertoon. Kudoksissa happi pääsee hiussuonista välinesteeseen ja sieltä solujen sisään. Kudoksissa muodostunut hiilidioksidi palaa kudoksista hiussuoniin, laskimoja pitkin oikeaan sydämeen ja sitten keuhkoihin. Elimistö kuluttaa happea noin 250 ml/min (VO₂) ja hiilidioksidia elimistö tuottaa noin 200 ml/min (VCO₂) (Aitomäki ja Valta 2014a, 140).

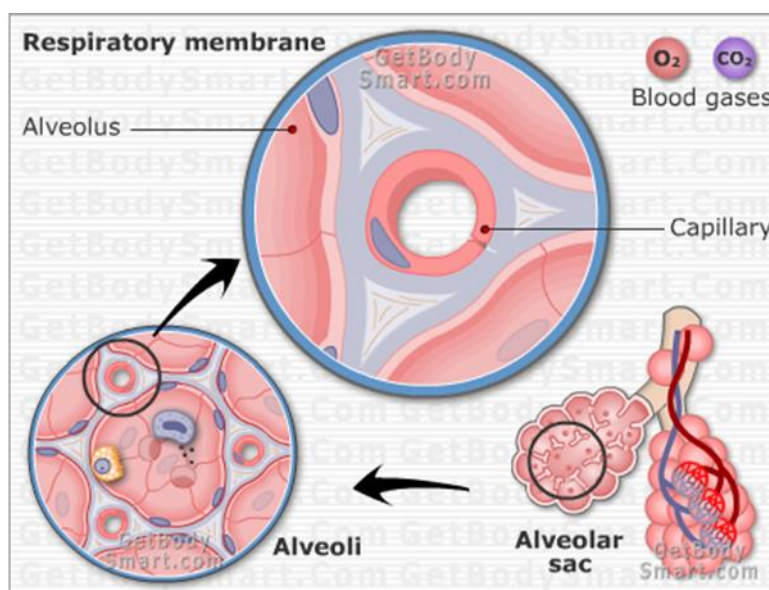
Ylähengitystiet sijaitsevat kurkunpään yläpuolella. Ylähengitysteiden auki pysymiselle on tärkeää ympäröivien lihasten jännevyys eli tonus, kaulan asento, hengitysteiden eritteet ja limakalvon alaisen rasvan määrä. Nukkuminen, alkoholi ja sedaatio vähentävät ylähengitysteiden lihasjänteveyttä, mutta eivät vaikuta niin paljoa sisäänhengityslihasten toimintaan. Tämän takia sisäänhengityslihakset aktivoituvat, ennen kuin ylähengitysteiden lihasjäntevyys vahvistuu ja sisäänhengityksessä hengitystiet kaventuvat. Alentunut ylähengityslihasten jännevyys häiritsee myös naamariventilaatiota. (Aitomäki ja Valta 2014b, 140.)

Kurkunkannen ja äänihuulien toiminta on tärkeä ruuan nielemisessä sekä yskimisessä. Äänihuulet sulkeutuvat reflektorisesti, kun vierasaine joutuu nieluun, estämällä aspiraatiota ja hengitysteiden vahingoittumista. Opioidit, hypnootit, sedatiivit ja alkoholi heikentävät sekä äänihuulien refleksiä että ruokatorven tonusta. Manipulaatioissa ja lääkityksessä otetaan huomioon mahalaukun sisällön aiheuttama aspiraatoriski. (Aitomäki ja Valta 2014b, 141.)

Alahengitysteihin, jotka sijaitsevat kurkunpään alapuolella, kuuluvat henkitorvi ja keuhkoputket, jotka vievät keuhkoihin. Pääbronkukset (päähengityspotket) ovat pyöreitä oikean ollessa lyhyt (2 cm) ja halkaisijaltaan leveämpi, kun taas vasen pääbronkus on pitempi (5

cm) ja ohuempi. Oikean pääbronkuksen haarautumiskulma on 25 %, kun vasemmalla kulma on 45 % (Annala 2005). Se selittää, miksi vieras esine samalla tavalla kuin intubaatioputki joutuu oikeaan bronkukseen helpommin kuin vasempaan.

Suurin osa keuhkoista koostuu keuhkorakkuloista eli alveoleista. Keuhkorakkulatasolla olevissa hengitysteissä ei ole rustorakennetta, ne pysyvät auki vain ympäröivän kudoksen vetäminä (engl. - elastic recoil), ja niiden läpimitta muuttuu keuhkotilavuuden mukaan. Alveolien ja hiussuonien seinämän välissä on vain ohut tyvikalvo. Alveolin seinämää, hiussuonen seinämää ja tyvikalvoa yhdessä kutsutaan veri-ilmaesteeksi (Kuvio 2) (engl. - alveolar-capillary barrier or membrane). Hiussuonista pääsee läpi proteiineja, jotka poistuvat soluvälitilasta imusuoniston avulla keskuslaskimoihin. (Bjalije, Haug, Sand, Sjaastad ja Toverud 1999, 300; Aitomäki ja Valta 2014b, 142.)



KUVIO 2. Veri-ilmaeste (Get body smart 2015)

Pelkkä pallean osuus normaalissa sisäänhengityksessä muuttaa rintakehän tilavuutta noin 75 %. Lopusta huolehtivat ylös- ja ulospäin kylkiluita kääntävät kylkivälilihakset. Sisähengitykseen osallistuvat apuhengityslihakset käynnistyvät vain hengitystyön merkittävässä kasvussa. Nervus phrenicus, joka hermottaa palleaa, lähtee selkäytimestä tasolta C3-C5. Kylkiväliliikseen samalta tasolta tulee nervus intercostalis. C5:n yläpuolella tapahtuva selkäytimen vamma aiheuttaa spontaanin hengityksen lakkaamista. (Aitomäki ja Valta 2014b, 141.)

Hengitysprosessi jakaantuu viiteen vaiheeseen:

- 1) Keuhkotuuletus (ventilaatio) tarkoittaa ilman kuljetusta keuhkoihin (sisäänhengitys) ja ilman kuljetusta ulos keuhkoista (uloshengitys). Sisäänhengitys tapahtuu levossa sisäänhengityslihasten eli kylkivälilihasten ja pallean avulla aktiivisesti. Kun keuhkotuuletusta on tehostettava, sisähengitykseen osallistuvat myös apulihakset: selkälihakset ja kaulan lihakset. Uloshengitys tapahtuu passiivisesti, keuhkokudosten ja rintakehänjoustavuuden vaikutuksesta. (Bjalije ym. 1999, 300.)
- 2) Kaasujenvaihto keuhkorakkuloissa olevan ilman ja kapilaarienveren välillä.
- 3) Kaasujen kuljetus veressä.
- 4) Kaasujen vaihto veren ja kudosten välissä.
- 5) Soluhengitysvaihe. Joskus erotetaan vielä yhden vaiheen: eli soluhengitysvaihe, jolloin happi osallistuu ATP:tuotantoon hengityssentsyymien avulla mitokondrioissa.

Sisäänhengitys käynnistyy, kun sisäänhengityslihakset saavat hermoimpulsseja motoristen neuronien kautta. Ydinjatkeessa sijaitsee hermosolurykelmä (sisäänhengityskeskuksesta), jossa syntyy säännöllisin välein hermoimpulsseja, jotka välittyvät synapsien kautta sisäänhengityslihasten: pallean ja ylös- ja ulospäin kylkiluita kääntävien kylkiluulihaksien motoneuroneihin. Rasituksessa tai hengenahdistuksessa apulihakset, selkälihakset, kaulalihakset ja päännyökkääjälihas, auttavat sisäänhengityksessä. Kun sisäänhengityslihakset veltostuvat, alkaa uloshengitys. Uloshengitys on normaaliolosuhteissa passiivista eli hengitykseen ei tarvita lihasvoimaa. Voimakkaan hengityksen aikana ydinjatkeen muut hermosolut (uloshengityskeskus) aktivoivat uloshengityslihaksen motoneuronien kautta ja uloshengitys toteutuu aktiivisesti eli lihasten voimalla. Aktiiviseen uloshengitykseen osallistuvat vatsalihakset. (Bjalije ym. 1999, 316 - 318.)

Keuhkokudoksessa on venytykseen reagoivia aistinsoluja, joista tieto keuhkojen täyttöasteesta kulkee hengityskeskukseen (sisäänhengityskeskus ja uloshengityskeskus kutsutaan hengityskeskukseksi). Niiden aistinsolujen aktivoituessa sisähengitysimpulssien syntyminen estyy sisäänhengityskeskuksesta. Keuhkojen ylivenytyksessä sisäänhengitystä ei tapahdu. (Bjalije ym. 1999, 316 - 318; Lebedynskiy, Mazurok ja Nefedov 2008, 27.)

Hengityksen kemiallinen säätely tapahtuu aistinsolujen kautta (Taulukko 4, s.26), jotka tunnistavat hapen ja hiilidioksidin osapainetta ja vetyionipitoisuutta. Ensimmäinen aistisoluryhmä on ydinjatkeessa, josta solut ovat synapsien (synapsi on kahden hermosolun liitospinta) kautta yhteydessä hengityskeskukseen. Nämä aistisolut reagoivat ydinjatkeessa hiilidioksidin osapaineen nousuun (hyperkapniaan) likvorissa (aivoselkäydinnesteessä). Nämä aistisolut sijaitsevat aivoissa, jonka takia niitä kutsutaan sentraaliseksi hemoreseptoriksi. Toinen aistinsolujen ryhmä (perifeeriset hemoreseptorit) on kahden ison valtimon seinämässä: kaulavaltimon ja aortakaaren seinämässä. Perifeeriset solut ovat kosketuksessa valtimovereen ja reagoivat hapen osapaineen laskuun (hypoksiaan) ja vetyionipitoisuuden nousuun (pH laskuun eli asidoosiin). Perifeerisistä reseptoreista tieto välittyy hengityskeskukseen. Valtimoveren PaCO₂ nousuun reagoivat parhaiten sentraaliset hemoreseptorit. PaO₂:n laskuun ja H⁺:n nousuun reagoivat perifeeriset reseptorit. (Bjalije ym. 1999, 316 - 318; Satishur 2007, 7-8.)

Hyperkapnian tunnistaminen keskushermostossa on tärkeää. Ydinjatkeen aistisolut reagoivat herkästi hiilidioksidin nousuun likvorissa, esimerkiksi CO₂ nousu 0,3 - 0,4 kPa:ksi aiheuttaa keuhkotuuletuksen kasvua (hengityksen tiheneminen ja syveneminen) yli kaksinkertaisesti sisäänhengityksen stimuloinnilla. Kun PaCO₂ (valtimon CO₂ osapaine) nousee, vetyionien määrä myös nousee, perifeeriset kemoreseptorit tunnistavat pH muutosta, mutta vetyionien perifeerisiä kemoreseptoreja stimuloiva vaikutus on merkityksetön verrattuna ydinjatkeen kemoreseptorien voimakkaaseen aktivoitumiseen. Perifeeristen reseptorien ratkaiseva merkitys keuhkotuuletuksen tehostamisessa pH:n laskun seurauksena ilmestyy happoemätasopainon häiriössä, joka ei johdu hiilidioksidin muutoksista. Perifeeriset reseptorit käynnistävät voimakasta keuhkotuuletusta valtimoveren happiosapaineen huomattavaan laskuun vasta PaO₂:lla alle 8,0 kPa. Osittain se johtuu siitä, että hemoglobiinin happikyllästyneisyys (happisaturaatio) alkaa pienentyä olennaisesti vasta kun PO₂ on alle 8,0 kPa. (Bjalije ym. 1999, 319.)

TAULUKKO 4. Hengityksen säätelyyn osallistuvat reseptoriryhmät, niiden sijainti ja tehtävät sen säätelyyn (Lebedinskiy, Mazurok ja Nefedov 2008, 27 mukaan)

Reseptorien ryhmä	Sijainti	Tehtävät
Sentraaliset kemoreseptorit	Neljännän aivokammion pohjassa	Hidas vaste. RMV (respiratory minute volume) kasvaa. Reseptorit reagoivat hyperkapniasta johtuvaan pH:n laskuun likvorissa
Perifeeriset kemoreseptorit	Aortan kaaressa ja kaulavaltimon poukamassa (sinus caroticus)	Nopea vaste. RMV kasvaa. Reseptorit reagoivat valtimoveren pH:n laskuun (asidoosiin), PaO ₂ laskuun (hypoksiaan). Perifeeriset reseptorit voimistavat hengitystä ei hyperkapniasta johtuvassa happomyrkytyksessä
Venytyreseptorit	Pienissä bronkuksissa ja bronkiooleissa	Sisäänhengityksen lopetus. Reseptorit reagoivat keuhkojen ylitäytymiseen
J-reseptorit	Pienessä verenkierrössä keuhkorakkuloiden väliseinässä lähellä hiussuonia	Hengitystaajuus kasvaa. Reseptorit reagoivat hiussuoneen ylitäyttämiseen
Mekanoreseptorit	Hengityselimissä ja niiden jänteissä	Välittävät aivoihin aistitietoa rintakehän asennosta ja tilavuudesta, aiheuttavat dyspnea eli hengenahdistuksen tunteen.
Limakalvon reseptorit	Hengitysteissä	Ykimisrefleksi

Kriittiset kohdat hengitysprosessissa ovat hapen ja hiilidioksidin diffuusio keuhkoissa veri – ilman veri-ilmaesteen läpi ja kaasujen diffuusio kudoksissa kapillaarien, soluvälinesteen ja solujen välillä. Kaasun diffuusion suunta ja nopeus riippuvat kaasun osuuspaineen erosta esteen eri puolella, esteen paksuudesta, esteen pinta-alasta ja kaasun ominaisuuksista. (Sattishur 2007, 21; Lebedinskiy ym. 2008, 35.)

Hapen ja hiilidioksidin osapaineet hengitysilmassa vaihtelevat kaasujen kulkiessa hengitysteitä pitkin ulkoilmasta kudoksiin (Taulukko 5). Ulkoilman kulkiessa hengitysteitä pitkin keuhkoihin, hapen osapaine laskee $150 - 100 = 50$ mm Hg, koska hiilidioksidin ja veden osuus kasvavat ilmaseoksessa. Kuitenkin hapen osapaineen ero alveolaarisen ilman ja laskimoveren välillä on suuri: $PAO_2 - PvO_2 = 60 - 65$ mm Hg. Happigradienetti on tärkeää oksigenaatiota (happeuttamista), koska hapen diffuusiokyky veressä ja kudoksissa on suhteellisesti pieni verrattuna hiilidioksidin diffuusiokykyyn. Päinvastoin hiilidioksidi helposti kulkee elimistön nesteissä ja kudoksissa; hiilidioksidin liukenemiskyky on happeen liukenemiskyvyn 20 kertaa isompaa. Hapen difuusio alveolaarisesta ilmasta vereen tapahtuu normaaliolosuhteissa ensimmäisen 0,4 sekunnin aikana laskimoveren ja alveolaarisen ilman kontaktista. Erytrosyytti ja alveola ovat kontaktissa suunnilleen 0,75 sekuntia. Kolmas osa kontaktin ajasta riittää veren happeuttamiseen normaaliolosuhteissa. Hiilidioksidin diffuusiioon alveolin ja kapillaarin välinen kontaktiaika ei vaikuta. (Satishur 2007, 21 - 23; Lebedinskiy ym. 2008, 35.)

TAULUKKO 5. Hapen ja hiilidioksidin osuuspaineen dynamiikka hengityksen eri vaiheissa (Satishur 2007, 22)

P, mm Hg*	O₂	CO₂
Ulkoilmassa	PiO ₂ 150	PiCO ₂ 0,2 - 0,3
Alveoleissa	PAO ₂ 100 - 105	PACO ₂ 30 - 40
Valtimoveressä	PaO ₂ 70 - 100	PaCO ₂ 35 - 45
Sekoittuneessa laskimoveressä (Systemic venous saturation)* *	CPv 35 - 45	CPvCO ₂ 40 - 50
Kudoksissa	PtO ₂ 10 - 20	PtCO ₂ 40 - 50

*Osuuspaineen yksiköt (Blomster, Mäkelä, Ritmala – C, Säämänen ja Varjus 2001, 30): 1 vol% = 1 kPa, 1 kPa = 7,5 mm Hg, 1 mm Hg = 0,13 vol% tai 0,13 kPa.

**CPv mitataan keuhkovaltimosta Swan-Ganz-katetrin avulla.

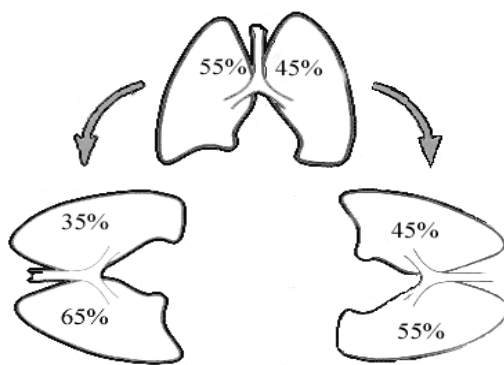
Veri-ilmaesteen paksuuntumisen syynä voi olla keuhkorakkuloiden vaurio ja interstitiumin (soluvälitilan) turvotus, mikä tapahtuu esimerkiksi keuhkokuumeessa tai keuhkoödeemassa. Paksuuntumisen syynä myös on suonien sisäkalvon vaurio, esimerkiksi autoimmuunisairauksissa. Tuloksena hapen diffuusio hidastuu. Silloin happauttamista voi parantaa lisähapella eli nostamalla FiO_2 , seurauksena PAO_2 (happiosapaine rakkuloiden ilmassa) nousee. Tällä tavalla nostetaan happeen gradientti veri - ilman esteen molemmista puolesta. Karkeasti PAO_2 lasketaan kaavalla $PAO_2 = FiO_2 \times 5$. Esimerkiksi, jos $FiO_2 = 40\%$, $PAO_2 = 200\text{ mm Hg}$. Antamalla lisähapetta, me nostamme FiO_2 . On tärkeä ylläpitää PaO_2 taso, koska valtimoista menee verta kudoksiin, jossa myös tapahtuu diffuusio ja siellä hapen diffuusio samalla tavalla riippuu ensisijaisesti hapen gradientista $PaO_2 - PtO_2$. Jos PaO_2 laskee valtimoveressä alle 70 - 60 mm Hg, kudoksissa tapahtuva diffuusio häiriintyy. Kudokset pyrkii kompensoida PaO_2 niukkuutta ottamalla valtimoverestä kaikki mahdollinen happi, mikä näkyy laskimoveren hapen osapaineen PvO_2 laskussa. (Sattishur 2007, 21 - 25, Lebedinskiy ym. 2008, 34 - 37.) CO_2 eli hiilidioksidi on 20 kertaa liukenevampaa kudoksissa ja veressä kuin happi. Se selittää, miksi alveolaarikapilaarisen membranan paksuus ei vaikuta CO_2 :n diffuusion, ja miksi CO_2 :n osapaineen erot sen poistumisen matkalla ovat huomattavasti pienempiä kuin hapella. (Sattishur 2007, 24.) Keuhkoissa ei ole kahta samanlaista paikkaa, jossa verenkierron (Q) ja tuuletuksen (V) suhde olisi yhtä suuri. Q - tarkoittaa sydämen minuuttitilavuus, V - ilma litrassa, joka vaihtuu alveolien kautta minuutissa.

Verenkierto jakautuu samansuuntaisesti, mutta kuitenkin voimakkaammin kuin tuuletus (Aittomäki ja Valta 2014c). Alueilla, jossa V/Q on suuri, tapahtuu hukkatuuletusta, kun taas alueilla, jossa V/Q on matala, veri happettuu heikommin. Ventilaatio/perfuusio suhteen keskiarvo keuhkoissa $V/Q = 0,8 - 0,85$ (Sattishur 2007, 14; Lebedynskiy ym. 2008, 37). V/Q suhteen lasku alle 0,8 tapahtuu esimerkiksi pneumoniassa ja ARDS:ssa. Silloin verenkierto alveoleissa on riittävää, mutta happi ei pääse vereen. Elimistö kärsii hapen puutteesta. Tutkimusten mukaan kuolleisuus ARDS-potilaan joukossa laskee prone position hoidon yhteydessä, jolloin potilasta laitetaan välillä mahalleen mekaanisen ventilaation aikana (Sud, Friedrich, Adhikari, Taccone, Mancebo, Polli, Latini, Pesenti, Curley, Fernandez, Chan, Beuret, Voggenreter, Sud, Tognoni, Gattinoni ja Guerin 2014).

V/Q nousu yli 0,8 tapahtuu esimerkiksi hypovolemiassa tai keuhkojen tromboemboliassa, jolloin alveolit tuuletetaan, mutta keuhkoissa verenkierto ei ole riittävä. Silloin fysiologinen

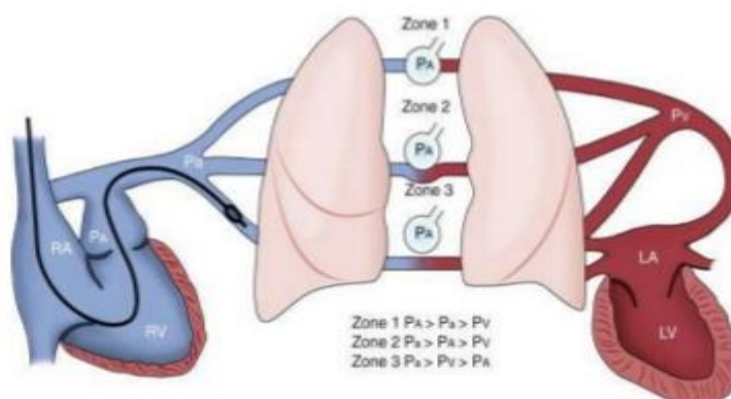
kuollut tila kasvaa. Fysiologinen kuollut tila sisältää anatomisen kuolleen tilan (VD - keuhkojen tila, jossa ei tapahdu kaasujen vaihtoa veri-ilman esteen läpi) ja alveolaarisen kuolleen tilan (ventiloituneet alveolit, joihin ei tule verta). Elimistö kärsii hapen puutteesta.

Potilaan asennolla on suuri vaikutus verenkierron ja tuuletuksen jakautumiseen. Potilaan olleessa selällään verenkierrosta jakautuu 55 % oikeaan ja 45 % vasempaan keuhkoon. Lisäksi painovoimalla on suuri vaikutus verenkierron jakautumiseen. Kylkiasennossa alemman keuhkon perfuusio lisääntyy (Kuvio 3).



KUVIO 3. Perfuusion osuus eri asennossa (Annala 2005).

Painovoiman aiheuttama paine-ero keuhkojen verenkierrossa saa aikaan keuhkojen vyöhykettä eli West zones (Kuvio 4). Asennosta riippumatta West zones lasketaan ylhäältä alaspäin gravitaation mukaan (Annala 2005).



KUVIO 4. West zones (Saini 2015). P_A on alveolaarinen paine, P_a on arteriaalinen paine, P_v on valtimon paine

Zone I Westin vyöhyke 1:

- Paine keuhkorakkuloissa on suurempi kuin molemmat paikalliset keuhkon valtimon ja laskimon paineet.
- Suonet tulevat umpeen alveolaarisen paineen vaikutuksella. Veren virtausta ei tapahdu.
- $P_{alv} > P_a > P_v$

Zone II Westin vyöhyke 2:

- Keuhkossa arterian paine on suurempi kuin alveolaarinen paine.
- Alveolaarinen paine on suurempi kuin laskimon paine. Kuitenkin virtausta säätelee alveolaarinen paine.
- Tilannetta kutsutaan "vascular waterfall" "vesiputoukseksi". Virtaus on riippuvainen vain erosta valtimon ja alveolaarisen paineissa.
- $P_a > P_{alv} > P_v$

Zone III Westin vyöhyke 3

- Valtimon paine on suurempi kuin laskimon paine tai alveolaarinen paine.
- Laskimon paine on suurempi kuin alveolaarinen paine niin, että verivirtaus riippuu valtimon ja laskimon paineiden erosta.
- $P_a > P_v > P_{alv}$

Taulukossa 6, sivulla 31 näkyy, mitkä ovat normaalit V/Q suhteen liittyvät arvot. Ventilaatio laskee, kun kertatilavuus laskee ja samalla hengitysfrekvenssi nousee, koska silloin kuolleen tilan osuus ventilaatiosta kasvaa. Matala hengitysfrekvenssi ja iso kertatilavuus ovat edullisempia alveolaarisen ventilaation kannalta. Myös VD/VT reflektoi, minkä verran sisähengitysilmä osallistuu kaasujen vaihtoon. Normaaliolosuhteissa $VD/VT < 0,3$ eli anatominen kuollut tila on noin 1/3 kertatilavuudesta (Satishur 2007, 14). ARDS:ssa VD/VT voi olla esimerkiksi 0,75 (Reinikainen ja Uusaro 2002).

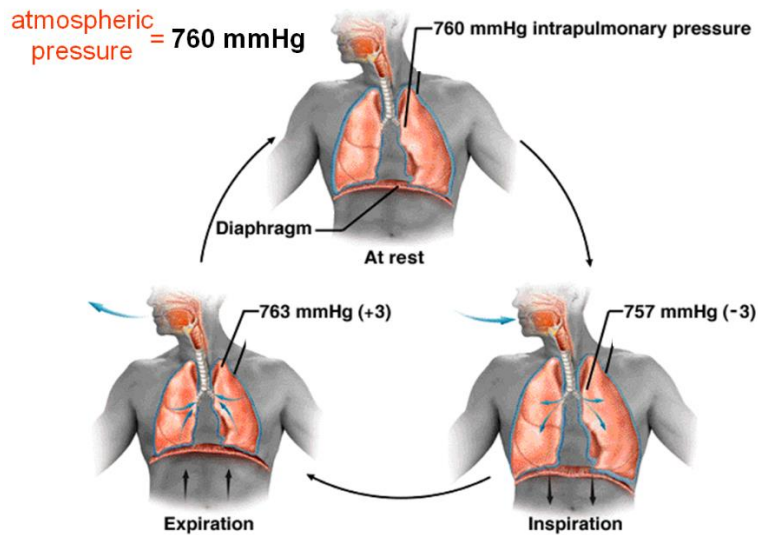
TAULUKKO 6. Ventilaatio ja perfuusio

Suure	Viitearvo
V/Q ventilaatio/perfuusio	0,8 – 0,85
HR – syketaajuus minuutissa	60 – 80/ min
CO – sydämen iskutilavuus	60 – 80 ml
Q = HR x CO	vaihtelee, maaten 5 – 6 l/min
VT – hengityskertatilavuus	7 – 8 ml/kg
VD – anatominen kuollut tila (keuhkojen tila, jossa ei tapahdu kaasujen vaihtoa veri – ilman esteen läpi)	2,0 – 2,2 ml/kg
f - hengitystiheys	12 – 16 /min
V = f x (VT - VD)	4 – 4,5 l
VD/VT	VD/VT < 0,3

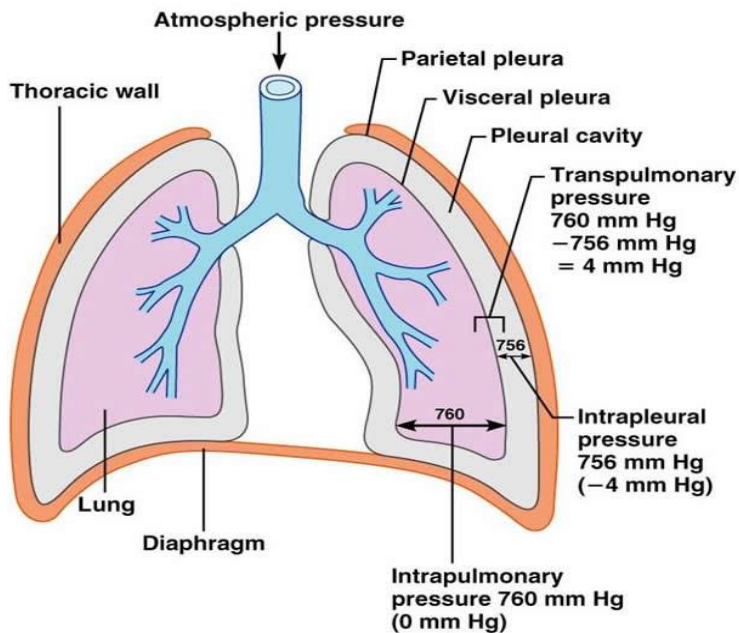
5.2 Hengitysmekaniikka

Hengitysmekaniikka kattaa hengitysprosessissa tapahtuvat fysikaalisten suurteiden muutokset. Paineet (Kuvio 5 ja 6, s. 33) ja tilavuudet (Kuvio 7, s. 34) ovat keskeisiä tekijöitä rintakehän sisällä hengitysmekaniikassa. Keuhkot ovat elastiset ja pyrkivät painumaan koon. Kun ihminen vetää ilmaa sisään, keuhkot täyttävät ilmasta ja elastinen voima kasvaa, uloshengitys tapahtuu passiivisesti. Kasassa oleviin keuhkoihin pitää vetää ilmaa aktiivisesti eli sisäänhengityksessä käytetään lihasvoimaa. Pleurapussi ympäröi keuhkot, sisempi pleuralehti on kiinni keuhkojen pinnassa, ulompi pleuralehti on kiinni rintakehässä. Kaikissa hengitysvaiheissa pleuraonteloon syntyy ulkoilmaan verrattuna negatiivinen paine - Ppl (engl. - Pleural Pressure). Keuhkorakkuloissa on alveolaarinen paine - Paw (engl. - Alveolar Pressure). Koska Paw vaihtelee hengityssyklin aikana (Kuvio 5, s. 32), Paw ajatellaan nollapaineella vain loppusisäänhengityksessä ja loppu-uloshengityksessä. Juuri alveolaarinen paine on otettava huomioon hengityskoneen säätelmissä. Korkea Paw johtuu keuhkojen repeymään ja rakkuloiden seinämän vaurioon. Paw 'ta ei voida mitata suoraan, sen sijaan käytetään Pplat (engl. - Airway Plateau Pressure), joka kuvastaa Paw 'n keskiarvon keuhkoissa. Keuhkoihin vaikuttaa transpulmonaalinen paine (Ptp): $Ptp = Paw - Ppl$. Transpulmonaalinen paine vaihtelee hengityssyklin mukaan (Kuvio 6, s. 32) ja se kumoaa keuhkojen taipumuksen painua kasaan. Määritelmän mukaisesti se pysyy positiivisena sekä

spontaanisessa että mekaanisessa hengityksessä. (Aittomäki ja Valta 2014d, 145; Satishur 2007, 8-9.)



KUVIO 5. Alveolaarinen paine keuhkoissa (MBBS, Medicine 2015)



KUVIO 6. Transpulmonaalinen paine (Mohkberi 2015)

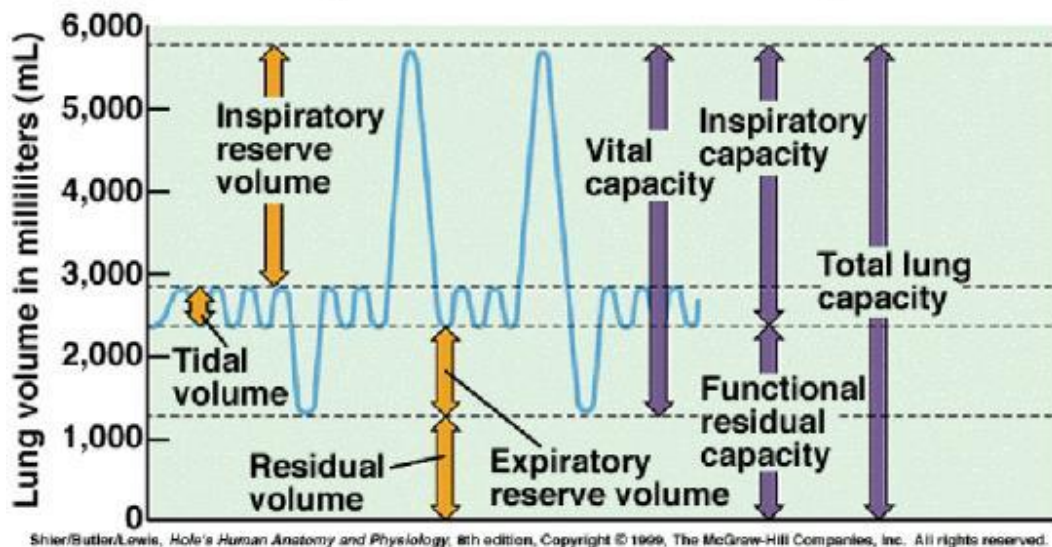
Mekaanisessa ventilaatiossa kone työntää ilmaa keuhkoihin, jolloin P_{aw} ja P_{pl} ovat positiivisia sisäänhengitysaikana. Hengityskone pystyy työntämään ilmaa keuhkoihin tilavuusohjatusti, silloin sisäänhengitysilmavirtaus on tasainen huolimatta P_{aw} - arvosta. Kone pystyy

myös antamaan ilmavirtausta keuhkoihin Paw -arvo huomioiden, on sisäänvirtaus tässä tapauksessa nopean huipun jälkeen laskeva. Kun sisäänvirtaus loppuu, uloshengitys tapahtuu passiivisesti. Uloshengityksen lopussa keuhkoihin jäävä tilavuus FRC (engl. - Functional Residual Capacity) voidaan nostaa PEEP:lla (engl. - Positive End-Expiratory Pressure) eli positiivisella loppu-uloshengityspaineella. Sisäänhengityksen aikana kasvaa rintakehän sisäinen paine, mikä vähentää veren palautusta oikeaan sydämeen, häiritsee sydämen pumppauskykyä ja keuhkovaltimoiden vastustus kasvaa. (Aittomäki ja Valta 2014d, 146 - 147; Satishur 2007, 10.)

Aikuisen VT (engl. - Tidal Volume) eli kertahengitystilavuus on noin 500 ml. IRV (engl. - Inspiratory Reserve Volume) eli sisäänhengityksen varatila on noin 3000 ml ja ERV eli uloshengityksen varatila on noin 1200 ml. RV (engl. - Residual Volume), maksimaalisen uloshengityksen jälkeen keuhkoihin jäävä tilavuus on noin 1300 ml. Keuhkojen kokonaiskapasiteetti (engl. - Total Lung Capacity), TLC on noin 6000 ml. (Aittomäki ja Valta 2014d, 144.)

Tehohoito- ja anestesiatyössä uloshengityksen lopussa keuhkoihin jäävä tilavuus FRC (engl. - Functional Residual Capacity) on tärkeä huomioitava tekijä. Istuvan aikuisen FRC on 2500 ml, makuasennossa FRC pienenee. Huoneilmassa FRC:n hapen määrä on noin 500 ml ($2500 \times 0,21$). Huoneilmaa hengittäessä apnea aiheuttaa hypoksian kahdessa minuutissa, koska normaaliolosuhteessa aikuisen elimistö kuuluttaa 250 ml happea minuutissa ($250 \text{ ml} \times 2 = 500 \text{ ml}$) ja 100 %:sen hapen hengittämisen jälkeen esimerkiksi intubaatiossa hapen varasto tulee 2500 ml:ksi, joka riittää vähintään 5 minuutiksi apneata. Makuuasento pienentää FRC:ta 500 - 700 ml:ksi, koska vatsaontelo painaa palleaan. Anestesia- ja sedatiiviset lääkkeet pienentävät myös FRC-arvoa. Lihavuus pahentaa FRC-arvoa ja silloin FRC-arvoa ylläpidetään aktiivisesti uloshengityksen positiivisella loppupaineella PEEP:lla ja ajoittain laajentamalla keuhkoja (puhalletaan keuhkoihin suuremman TV henkäyksellä). Kaikki keuhkosairaudet pienentävät FRC-arvoa. (Aittomäki ja Valta 2014d 2014, 144.)

Respiratory Volumes and Capacities



KUVIO 7. Hengitystilavuudet (Tamarkin 2011)

Keuhkojen tilavuutta, jossa pienet rustorakenteettomat ilmatiet alkavat sulkeutua, kutsutaan hengitysteiden sulkeutumiskapasiteetiksi (engl. - Closing Capacity). Alveolit sulkeutuvat uloshengityksen aikana, koska keuhkojen kudoksesta painuu kasaan uloshengityksessä. Jos asinukset (hengityksen pääteyksiköt) ovat vaurioituneet (astma, COPD, iäkkäät potilaat), uloshengityksessä asinukseen vievä bronkiola (pieni keuhkoputki) lukkiutuu ja ilma jää alveoleihin suljettuna. Verenkierto jatkuu sulkeutuneiden alveolin ympärillä, mutta kaasujenvaihtoa ei tapahdu. Tätä ilmiötä kutsutaan suntiksi eli oikovirtaukseksi (Aittomäki ja Valta 2014d, 145; Satishur 2007,12). Jos sulkeutumistilavuuden arvo lähestyy FRC:n arvoon, hapeuttaminen kärsii. Sulkeutumistilavuuden väistämiseksi käytetään PEEP uloshengityksen lopussa (Satishur 2007,13).

Keuhkojen elastisuutta mitataan myötävävydellä eli komplianssilla (engl. - Compliance, C), joka määritellään tilavuuden muutoksena painetta kohti. $C = \Delta V / \Delta P$. Pystyasennossa keuhkojen yläosassa komplianssi on pienempi (Aittomäki ja Valta 2014f, 147). Komplianssi voidaan mitata erikseen rintakehässä ja keuhkoissa, mutta klinisen näkökulmasta kiinnittää huomiota vain keuhkokudosten komplianssi. Komplianssin voisi mitata ulkohengityksen lopussa, kun keuhkoteissä ei ole enää ilmavirtausta, silloin puhutaan staatisesta komplianssista $C_{stat} = V_T / P_{plat} - PEEP$, jossa V_T on kertatilavuus, P_{plat} (engl. - Airway Plateau Pressure) on paine pienissä hengitysteissä, ja se mitataan sisähengityksen lopussa, PEEP (engl. -

Positive End-Expiratory Pressure) - positiivien paine uloshengityksen lopussa. Cstat pitää olla 50 - 100 ml/cm H₂O, muuten keuhkot vaurioituvat. C_{dyn} eli dynaaminen komplianssi mitataan jatkuvassa hengitysvirtauksessa, mutta arvo riippuu muun muassa hengitysteiden vastuksesta ja vähemmän se kertoo keuhkokudosten elastisuudesta. $C_{dyn} = VT / (P_{peak} - PEEP)$, jossa VT - kertatilavuus, P_{peak} - suurin inspiratorinen (sisäänhengityksen) paine, PEEP - positiivien paine uloshengityksen lopussa. Keuhkojen komplianssi laskee muun muassa iän mukaan, makuuasennossa, keuhkoödeemassa ja keuhkotulehduksessa. Kun keuhkojen komplianssi laskee liian alas, mekaanisessa ventilaatiossa olevan potilaan hengityspaine nousee korkeaksi. Tämä on tärkeä muistaa, kun kyseessä on tilavuusohjatusti toimiva mekaaninen ventilaatio. P_{peak}in kasvaessa keuhkojen trauman riski kasvaa. (Satischur 2007, 17.)

Hengitystyö tapahtuu pääasiassa sisäänhengityksessä, koska uloshengitys on passiivinen. Kuitenkin akuutin bronkokonstriktion (keuhkoputkien supistumisen) seurauksena tai limakalvojen turvotuksessa, uloshengityksessä pitää tehdä myös lihastyötä ja tähän kuluu energiaa. Hengitystyö voidaan kuvata kaavion avulla: $W = P \times \Delta V$, jossa W - hengitystyö, P - paine keuhkoteissä, V - keuhkojen tilavuuden muutos. Keuhkotyöhön kuuluu normaaliolosuhteissa noin 3 % elimistöön tulleesta hapesta. Hengitystyö kasvaa, jos hengitystiheys kasvaa, keuhkojen komplianssi laskee ja hengitysteiden vastus kasvaa. Patologisessa olosuhteessa (sairauden seurauksena) hengitystyö on kuluttavaa toimintaa, se vie jopa 40 % elimistöön tuomasta hapesta. Hengitystyön voimakas kasvu on kriteeri ventilaation aloittamiselle (Satischur 2007, 20). Jäykissä keuhkoissa (matala komplianssi, esimerkiksi pneumonipotilailla) hengitystyö on voimakkaampaa kertatilavuuden nousussa. Obstruktiopotilailla (korkeassa hengitystien vastus) hengitystyö kasvaa hengitystiheyden kasvaessa. Potilas pyrkii vähentämään hengitystyötä säätelemällä kertatilavuutta tai hengitystiheyttä. Pneumoniaa sairastava potilas hengittää usein pienellä kertatilavuudella. Kurkunpään ahtaumasta kärsivä potilas hengittää hitaasti, ja hänen kertatilavuutensa on suuri (Satischur 2007, 20).

5.3 Hengityksen valvonta aikuisten tehohoitotyössä

Hengitys on yksi kolmesta peruselintoiminnoista. Peruselintoiminnoilla (vitaalit) tarkoitetaan elintoimintoja, jotka ovat välttämättömät elävälle ihmiselle: hengitys, verenkierto ja tajunta. Hengitys ja verenkierto ovat riippuvaiset toinen toisista, merkit hengityksen ja verenkierron vaajatoiminnasta ilmestyvät kriittisesti sairastuneilla yhtä aikana (Webster, 1999). Hengityksen valvontaa eli seurantaa voidaan tehdä manuaalisesti tai laitteiden avulla.

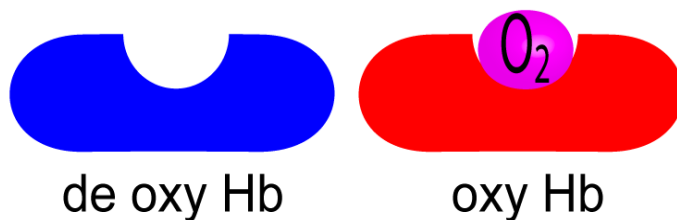
la. Hengityksen monitorointi tarkoittaa keuhkojen toiminnan numerollisten ja graafisten arvojen dynaaminen seuranta (Satishur2007, 187). Peruselintoimintojen arviointi on tehtävä jo ennen diagnoosin varmistamista, koska viiveetön tehohoidon aloitus parantaa potilaan ennustetta (Lund 2011; Junntila 2014b, 17). Kriittisesti sairastunut potilas on tunnistettavissa yleensä anamneesin ja statuksen perustella - siihen ei tarvita monitoreita, laboratorio-kokeita. Kriittisesti sairastuvan potilaan peruselintoimintojen tukihoidon periaatteet ovat samalaiset häiriön aiheuttavasta tekijästä huolimatta (Junntila 2014b, 17).

Hengitysvalvonta jaetaan hengitystyön ja kaasujenvaihdon valvontaan. Hengitystyötä arvioidaan hengitysmekaniikan arvojen avulla ja laskemalla hengitystaajuutta. Kaasujen vaihdon valvonnassa seurataan happeuttamista (arvioidaan happikyllästeisyyttä) ja tuulettamista (arvioidaan hiilidioksidipitoisuutta) (Junntila 2014a, 19). Manuaalista eli ilman teknisiä välineitä valvontaa ei kannata aliarvioida (Junntila 2014a, 19). Sairaanhoidaja pystyy laskemaan hengitystaajuutta, ja arvioimaan hengitysmekaniikkaa: apuhengityslihasten käyttöä, kertatilavuuden poikkeamia, sekä osallistuvatko keuhkojen molemmat puolet samalla tavalla hengitykseen vai eivät jne. Sen lisäksi läsnä oleva sairaanhoidaja voi havainnoida, ovatko potilaan ilmatiet auki, onko hengityksessä erityisiä hajuja (etanoli, asetoni, virtsanhaju), hengitysliikkeitä (pinnallinen hengitys, nopea, syvä, Cheyne-Stokes tyyppistä), hengitysäniä, ihon väriä, syanoosia, valtimoiden täyttötasoa, potilaan ilmeitä, potilaan mahdollisuutta (Blomster 2001, 149; Junntila 2014a, 19). Stetoskoopilla hoitaja pystyy kuuntelemaan hengitysäänet, sydämen äänet ja valtimoista tulevat äänet, jotka voivat paljastaa hengitysvaikeuden syyn (Junntila 2014a, 19).

Hengitystyötä arvioidaan hengitysmekaniikan arvojen avulla ja laskemalla hengitystaajuutta. Hengitystaajuuden keskiarvo aikuisilla 10 - 20 kertaa minuutissa. Se voidaan laskea rintakehän liikkeistä, impedanssin kautta sähköisesti tai kapnografilla. Hengitysvajauksessa hengitystyö kasvaa. Hengitysvajaus on tavallisin vakaviin sairauksiin liittyvä henkeä uhkaava elintoimintojen häiriö. Se liittyy sairauksiin, jotka kohdentuvat keuhkoihin, keuhkoverenkiertoon, keskushermostoon, hengityslihaksiin tai rintakehään. Äkilliseen hengitysvajaukseen liittyy lähes aina myös muita elintoimintahäiriöitä (Käypä hoito 2014).

5.3.1 Happeuttaminen, happikyllästeisyys

Happisaturaatio eli happikyllästeisyys tarkoittaa hemoglobiinin hapenkuljetuspaikkojen kyllästyneisyyttä hapella. Happikyllästeisyyttä voi mitata noninvasiivisesti tai ottaa valtimo- tai laskimoverestä. Valtimoveren saturaatio SaO₂ kertoo, miten paljon hemoglobiiniin sitoutuneena happea on keuhkoista kudoksiin lähtevässä valtimoveressä. Laskimoveren saturaatio SpO₂ kertoo, paljonko hemoglobiiniin sitoutuneena happea tulee elimistöstä sydämen kautta keuhkoihin. Valtimoveren happisaturaation arvo on verenkierron ja hengityksen yhteisen toiminnan tulos, valtimoveren happisaturaatio ei mittaa tuulettumista. Monitoroinnin voi tehdä joko pulssioksimetrin avulla (SpO₂) tai valtimosta otetusta verinäytteestä (SaO₂). Seuraavaksi paneudutaan pulssioksimetrin eli SpO₂-laitteen toimintaan. P-kirjain (SpO₂:ssa) kertoo mittaamismenetelmästä (vrt. a - kirjain SaO₂:ssa - valtimoverestä Astrupin avulla mitattu happikyllästeisyys). Hemoglobiinia on kaksi fraktiota: oksihemoglobiini (Oxy Hb) eli hapen kuljettava hemoglobiini ja deoksihemoglobiini (Deoxy Hb) eli hemoglobiini ilman happea (Kuvio 8).

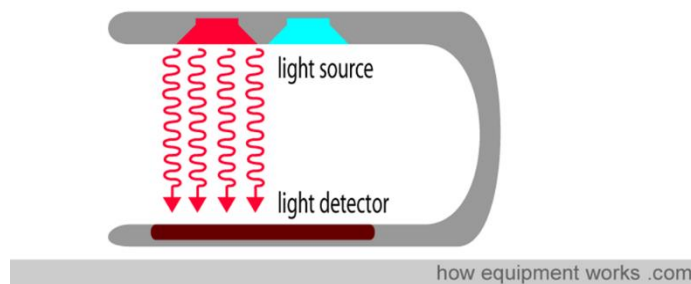


how equipment works .com

KUVIO 8. Desoksihemoglobiini Deoxy Hb ja oksihemoglobiini Oxy Hb (Tilakaratna 2012)

Saturaatiomittarin näyttäessä 100 %, se tarkoittaa, että kaikki hemoglobiinimoleekylit ovat sitoutuneet hemoglobiiniin. Pulssioksimetrin avulla happikyllästeisyyden mittaamismenetelmä perustuu valtimovereen absorboituvan puna- ja infrapunavalon määrän mittaamiseen. Anturi koostuu puna- ja infrapunavaloa lähettävästä diodista ja sen vastakkaisella puolella olevasta valoherkästä tunnistimesta. Tunnistin mittaa, paljonko valoa saapui kudosten lävitse (Kuvio 9). Mitä vähemmän tunnistin rekisteröi valoa (valon absorboituminen runsasta), sitä suuremman pulssiaallon piirturi piirtää (Blomster 2001, 19). Oksihemoglobiini absorboi infrapunavalon ja deoksihemoglobiini punavalon. Anturi osaa mitata, miten paljon valoa absorboituu diodien ja tunnistimen välitullassa ja sen perusteella laskee happikyllästeisyyden. On tärkeää että anturi tunnistaa pulsoivaa veren virtausta, koska vain pulsoi-

vassa suonessa tapahtuva valon absorbtio vaikuttaa saturaatioarvoon, ei pulsoivassa suonessa absorboitu valo jää laskematta. Laitteen tarkoitus on mitata saturaatio vain arterias-
 ta, joka normaaliolosuhteessa pulsoi. Jos jostain syystä laskimo pulsoi, saturaatioarvo ma-
 daltuu. Anturit ovat erilaisia. Anturi voidaan laittaa sormeen, varpaaseen, korvalehteen tai
 poskeen. Näytöstä näemme fotopletismogramman eli saturaatiokäyrän, pulssiarvon ja
 SpO2:n arvon. Pulssioksimetrin puna- ja infrapunavaloa lähettävät diodit ja tunnistimet
 mahdollistavat valon pääsemisen sormen läpi diodista tunnistimeen (Kuvio 9).



KUVIO 9. Pulssioksimetrin puna- ja infrapunavaloa lähettävät diodit ja tunnistimet (Tilaka-
 ratna 2012)

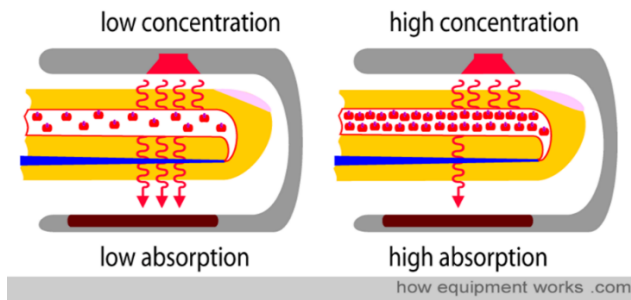
Tavallisesti pulssioksimetrillä mitattu happikylästeisyys SpO2 kuvaa happiosapainetta val-
 timossa eli on suunnilleen sama kuin valtimoverestä mitattu Astrup (Taulukko 7).

TAULUKKO 7. SpO2 reflektoi PaO2 (hapen osapaine valtimoveressä)

SpO2 %	PaO2 mm Hg
95 – 98 %	80 - 100 mm Hg
90 %	60 mm Hg
75 %	40 mm Hg

Absorboidun valon määrä säätelevät seuraavat tekijät:

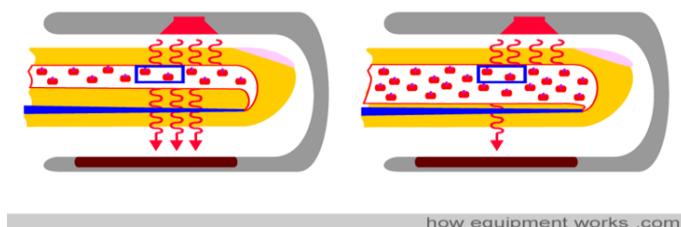
1) Absorboivan aineen pitoisuus (Kuvio 10). Esimerkiksi anemiaa sairastava potilas kärsii
 hypoksiasta, vaikka SpO2 on 97 %, koska kudoksiin ei pääse riittävää happea ”kuljettajan”
 puutteen vuoksi. Hoitajan on tärkeää arvioidessaan Spo2-arvoa ottaa huomioon Hb/Hct
 (hemoglobiini/hematokriitti) arvo.



KUVIO 10. Absorboivan aineen pitoisuus vaikuttaa saturaatioarvoon (Tilakaratna 2012)

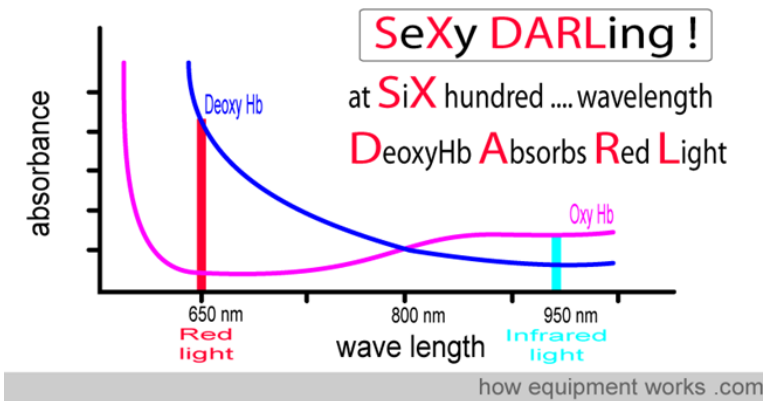
2) Valon kulkeman matkan pituus absorboivan aineen läpi eli suonen läpimitta (Kuvio 11). Esimerkiksi jos mittaamme SpO₂-arvon kahdesta eri kohdasta. Toinen mittauskohta sisältää laajentuneen arterian (sormi on peiton alla), toinen mittauskohta sisältää supistuneen arterian (raajan päällä on kylmäpussi), jolloin voidaan saada eri arvot. Heikko verenkierto mittauskohdassa vaikuttaa SpO₂-arvoon antaen epäluotettavan arvon. Tästä syystä hoitajan on tärkeä huolehtia, että anturi laitetaan hyvin pulsoivan suonen kohtaan. Normaalisti pulsoi vain arteria, mutta on otettava huomioon poikkeavuudet:

- jos anturi puristaa kudosta, laskimoveri ei pääse kiertämään kudoksissa, pulsaatioal-
to siirtyy laskimoon ja anturi laskee laskimoveren ja valtimoveren saturaation, jolloin
saturaatioarvo on virheellinen
- valtimoiden laajentuessa (dilataatiossa) pulsaatio myös siirtyy laskimoon ja satu-
raatio arvo on virheellinen
- trikuspidaaliläpän vuoto (läppäviassa tai akuutissa oikean kammion vaajatoimin-
nassa vaikka keuhkojen emboliassa) aiheuttaa laskimon veren regurgitaation, ja pul-
saation mittauskohdassa mitattu saturaatio on virheellisesti matala

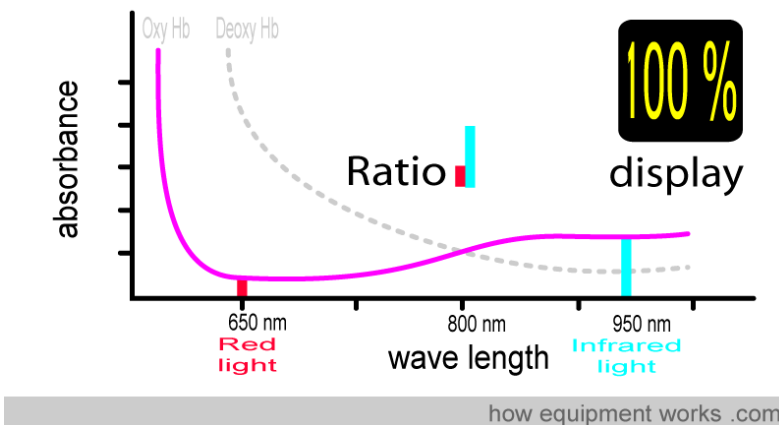


KUVIO 11. Pulsoivan suoneen läpimitta vaikuttaa saturaatioarvoon (Tilakaratna 2012)

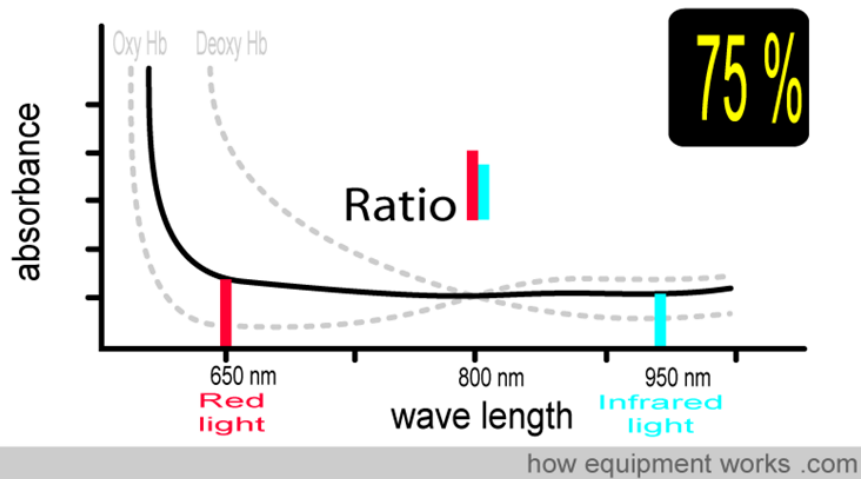
Oksihemoglobiini (Oxy Hb) eli happea kuljettava hemoglobiini ja deoksihemoglobiini (Deoxy Hb) eli hemoglobiini ilman happea absorboivat punavalon ja infrapunavalon eri tavalla (Kuvio 12). Pulssioksimetri antaa saturaatioarvon arvioimalla, paljonko infrapunavaloa oli absorboitu verellä verrattuna punavaloon (Kuvio 13, kuvio 14).



KUVIO 12. Muistisääntö ”Deoksihemoglobiini absorboi punavalon (Tilakaratna 2012)

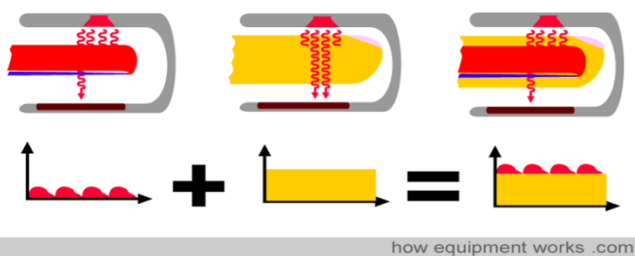


KUVIO 13. Tilanne, kun SpO2 = 100 %, veressä on pelkästään oksihemoglobiini, joka absorboi paljon infrapunasta valoa (Tilakaratna 2012)

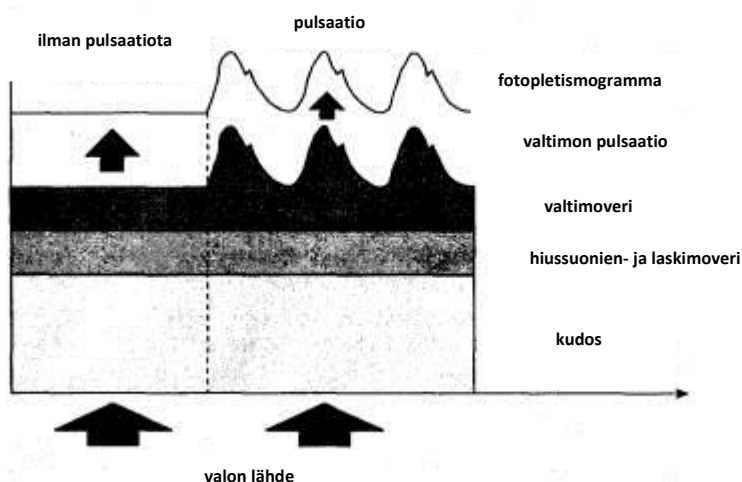


KUVIO 14. SpO2 = 75 % (Tilakaratna 2012)

Nyt tiedetään, mihin perustuu SpO2-mittarin toiminta. Seuraava kysymys on, miten SpO2 mittari laskee numeeriset arvot. Kuvioissa 15 ja 16 on esteet, jotka ovat valon kulumatkalla diodeista tunnistimiin.

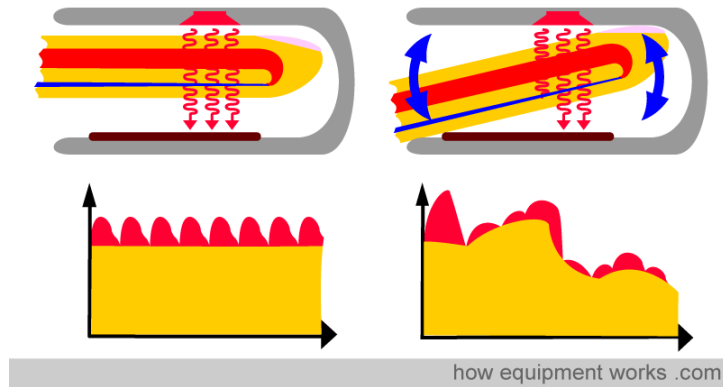


KUVIO 15. Esteet valon matkalla (Tilakaratna 2012)



KUVIO 16. Tärkeimmät esteet valon matkalla (Medical monitoring 2015)

Kudoskerros. Sekä punainen että infrapunavalot on saman verran sammuttu kulkiessaan kudosten kautta. Jos mittauskohdassa ei ole liikkeitä (sormi on liikkumatta), lähettävät diodit automaattisesti säätelevät diodeista tulevaa valon määrää niin, että riittävästi valoa pääsee valon tunnustimeen. Potilaan liikkeet ja värinä aiheuttavat virheitä eli artefakteja (Kuvio 17).



KUVIO 17. Virheet eli artefaktit potilaan liikkeessa (Tilakaratna 2012)

Hiussuoni- ja laskimokerros. Punainen ja infrapunavalot absorboituvat hiussuonissa ja laskimoissa saman verran, koska näissä suonissa ei ole pulsaatiota, verentilavuus ei muutu pulsaatioilla ja sen vuoksi valon absorbointi on pysyvä. Anturi laskee vain pulsoivan suonen saturaation eli arterian saturaatio.

Anturin puristaessa kudosta ei laskimoveri pääse kudoksista, pulsaatioalto siirtyy laskimoon ja anturi laskee laskimoveren ja valtimoveren saturaation, jolloin saturaatio laskee. Sama häiriö tapahtuu valtimoiden laajentumisessa (dilataatiossa), silloin pulsaatio siirtyy laskimoon. Trikuspidaaliläpän vuoto (läppävika, akuutti oikean kammion vaajatoiminta tai keuhkoembolia) aiheuttaa pulsaation jokaisen oikean kammion supistumisessa. Silloin mitattu saturaatio on reaalista saturaatioarvoa matalampi. Yskiminen aiheuttaa rintapaineen nousun ja hetkeksi laskimon veri työnnetään takaisin, jolloin saturaatio laskee myös. Anturin on oltava sydämen tasolla. Esimerkiksi, jos potilaan käsi riippuu sängystä, laskimoveri ei pääse kädestä ylös, saturaatio laskee ja monitorissa pulssi kaksinkertaistuu.

Ei-pulsoiva valtimoveri. Tässä kerroksessa sijaitsee valtimoveri, jota jää pulsaatioallon jälkeen valtimeen. Anturi ei pysty mittaamaan saturaatiota ei-pulsoivassa suonessa. Punavalot ja infrapunavalot pääsevät kolmen kerroksen läpi. Kudoksissa sekä laskimo- ja hiussuonissa absorboitu valo on vakio sekä sydämen systolin, että diastolin aikana. Valti-

moveressa absorboituneen valon määrä on suurempi systolin aikana ja pienempi diastolin aikana. Vain pulsoiva kerros antaa tarvitsemaa tietoa saturaation laskentaa varten. Silti kaikki häiriöt, jotka häiritsevät pulsaatiota, vaikuttavat saturaatio arvoon. Monitoreissa happikylläisyys voi ilmestyä eri tavalla (Taulukko 8).

TAULUKKO 8. Happikylläisyys monitoreissa

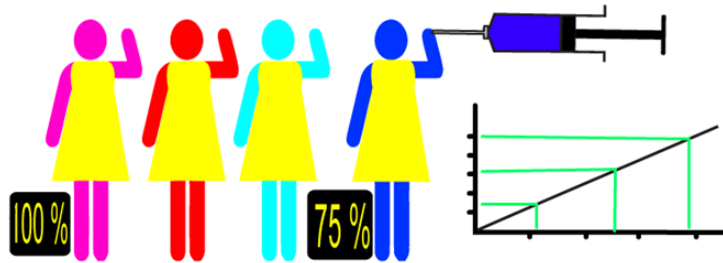
SAT	happikylläisyys
HbO2	oksihemoglobiinin osuus kaikesta hemoglobiinista
SaO2	happikylläisyys valtimoveressä
SpO2	happikylläisyys valtimoveressä, mitattu pulssioksimetrillä

Esimerkiksi häämyrkytyksessä SpO2 on normaali, mutta laboratoriossa mitattu SaO2 on matala.

Anturi päivittää tietoa kerran 2 - 20 sekunnissa eli analysoimalla 2 - 20 aaltoa, viivästys saturaation mittaamisessa voi olla jopa 1,5 min. Käytännössä toimenpiteen aikana otetaan huomioon mittaamisen viivästys, eikä jäädä odottamaan saturaation laskua alle sallitun rajan. Jos potilaalla on bradykardia tai arytmia, anturi antaa oikean pulssin arvon, jos arviointiväli on pitkä, mutta silloin anturi reagoi saturaation muutokseen myöhässä. Anturin reagointi-aika riippuu veren virtauksen ajasta sydämestä sormeen ja analysointi-intervaalista. Verenkierronhäiriössä korva-anturi mittaa saturaation nopeammin ja luotettavammin kuin sormianturi.

Pulssioksimetri mittaa happikylläisyyden 0 - 100 %, jos plasmassa on likaa kuljettajaan sitoutumatonta happea ja esimerkiksi PaO2 = 120 mm Hg, SpO2 on edelleen 100 %, se ei enää kerro happiosapaineesta valtimoveressä. Toisesta saturaatioarvo ei ole tarkka ja luotettava enää SpO2 ollessa < 75 % (Kuvio 18). Tämä johtuu siitä, että kalibrointitutkimuksiin osallistuivat terveet ihmiset, joilla mitataan yhtä aikana SpO2 ja PaO2 (invasiivisesti). SpO2

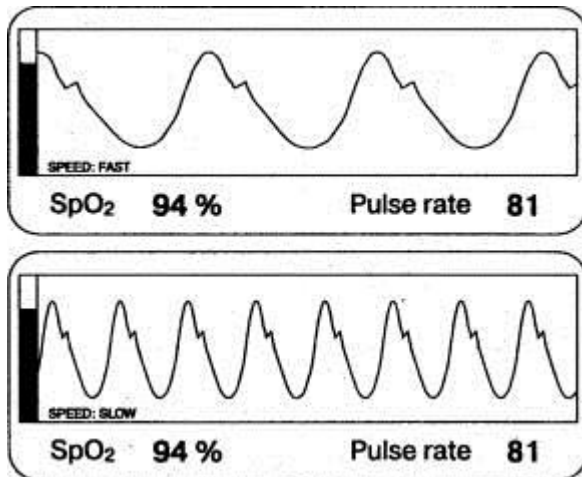
ei silloin saa laskea alle 75 %, koska silloin ihmiset kärsisivät hypoksiasta. $SpO_2 < 75\%$ alueella kalibrointia ei ole tehty, ja virhemahdollisuus kasvaa.



how equipment works .com

KUVIO 18. Anturin kalibroinnin periaatteet (Tilakaratna 2012)

Joskus on mielenkiintoista seurata muutoksia muutamien syklien aikana, kun kyseessä on arytmia, hengitykseen liittyvät muutokset tai artefaktit. Silloin on mahdollisuus pienentää näytön suuruutta. Jos halutaan katsoa aallon kompleksin muotoa, kannattaa suurentaa näyttöä (Kuvio 19).



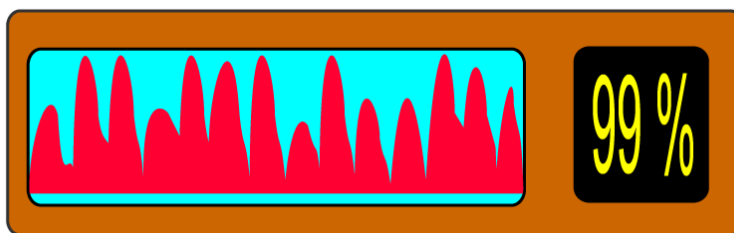
KUVIO 19. Käyrän suurennus näytössä (Medical monitoring 2015)

Fotopletismogramma voi kertoa mahdollisista häiriötekijöistä, jolloin saturaatioarvo ja pulssiarvo eivät ole luotettavia. Ensiksi kannattaakin vilkaista fotopletismogrammaan ja vasta sen jälkeen lukea saturaation arvo (Kuvio 20, kuvio 21, s. 45).

When looking at SpO_2
See pleth before O_2

how equipment works .com

KUVIO 20. ”Tulee katsella käyrää, sitten vasta saturaatioarvo” (Tilakaratna 2012)



how equipment works .com

KUVIO 21. Fotopletismogramma ei ole luotettava (Tilakaratna 2012)

Anturi ei pysty erottamaan toisistaan oksi-, karboksi- ja methhemoglobiinia. Jos potilaalla epäillään poikkeavien hemoglobiinien pitoisuuksia, saturaatioarvo ei ole luotettava. Esimerkiksi häkämyrkytöissä saturaatio näyttää olevansa 95 %, vaikka hemoglobiini on kylästynyt hiilimonoksidilla (Blomster 2001, 20; Juntila 2014a). Happi ei sitoudu hemoglobiiniin, koska HB - CO yhdiste on 250 kertaa sitoutuvampi kuin HB - O₂ yhdiste. CO (hiilimonoksidi eli häkä) syntyy, kun hiiltä sisältävä polttoaine ei pala kokonaan. Häkää vapautuu monista lähteistä, kuten avotulesta, lämmittimistä, pakokaasuista, savukkeista ja kaasulla toimivista generaattoreista. Methhemoglobiini taas syntyy raudan hapettuessa ferri muodoksi, eikä se kuljeta happea. Syynä ovat lääkkeet (nitraatit). Ketamiini on yleinen methhemoglobiini aiheuttaja ja voi aiheuttaa potilaalle methhemoglobinemian ja hypoksi-an.

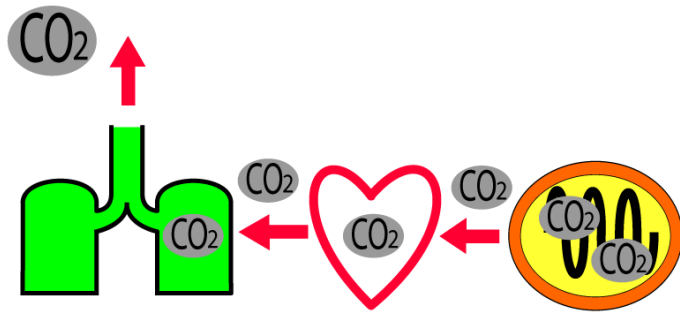
5.3.2 Tuulettuminen, kapnografia

Tuuletus eli ventilaatio tarkoittaa elimistön kykyä poistaa CO₂ uloshengityksen kautta (Junttila 2014a, 19). Kapnografia on objektiivinen monitorointiväline ventilaatiotilan nopeaan arviontiin (Kuvio 22). Kapnografi mittaa potilaan hengitysilmassa olevaa CO₂ - pitoisuutta. Normaaliolosuhteissa uloshengitysilmassa hiilidioksidia (ETCO₂) on 35 - 45 mm Hg eli 5 % vol. Numeerisen arvon lisäksi kapnografi piirtää monitoriin käyrän. Käyrä antaa lisätietoa ventilaation luonteesta.



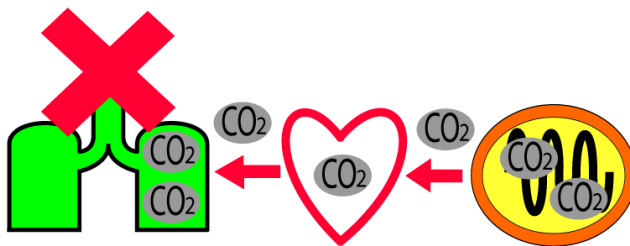
KUVIO 22. Kapnografia menetelmänä (Tilikaratna 2012; Kaakinen 2013)

Kudokset käyttävät happea ja metabolian tuloksena syntyy hiilidioksidia. Hiilidioksidi poistuu elimistöstä vaiheittain: mitokondrioista hiilidioksidi pääsee solunväl nesteeseen, sitten laskimoihin, verenkierron avulla se saapuu keuhkoihin ja sitten ulkoilmaan (Kuvio 23, s. 47). Kapnografi mittaa hiilidioksidia hengitysilmassa; poikkeavasta hiilidioksidin pitoisuudesta laite hälyttää (Kuvio 24, s.47).



howequipmentworks.com

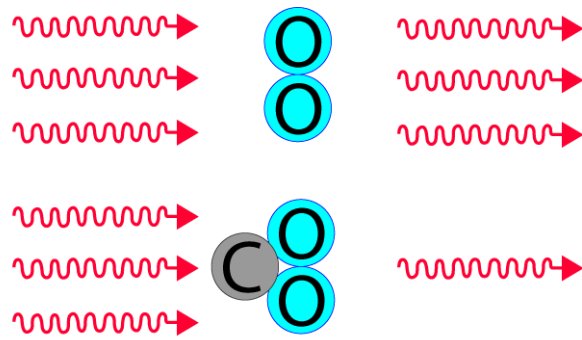
KUVIO 23. Hiilidioksidi poistuu kudoksista keuhkojen kautta uloshengitysilmaan (Tilakaratna 2012)



howequipmentworks.com

KUVIO 24. Kapnografi hälyttää, jos CO₂:n pitoisuus uloshengitysilmassa poikkeaa normaalivasta (Tilakaratna 2012)

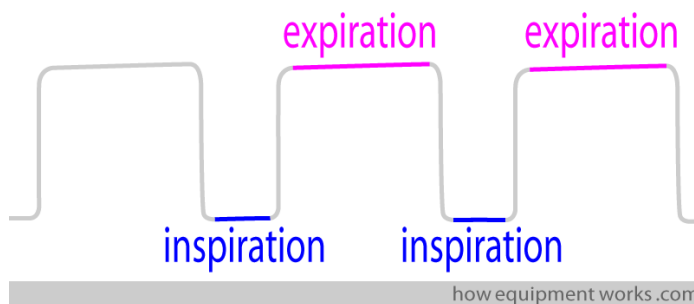
Kapnografi käyttää infrapunavaloa hiilidioksidin mittaamiseen. Tämä infrapunavalo absorboituu kaasuilla, joissa on enemmän kuin kaksi eri atomia molekyylissa. Tärkeintä on, että happi ei absorboidukaan kapnografilla. Samoja periaatteita käytetään ilokaasun tai isofluraanin mittaukseen (Kuvio 25, s. 48).



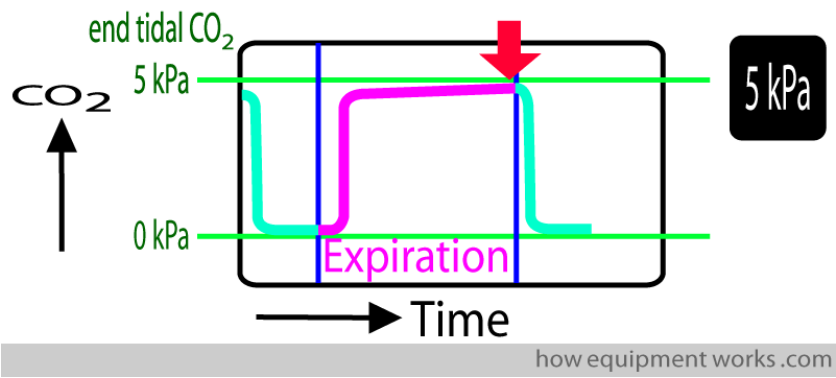
how equipment works .com

KUVIO 25. Infrapunavalo adsorboituu atomisilla kaasuilla, joiden molekyyli koostuu enemmän kuin kahdesta eri atomista (Tilakaratna 2012)


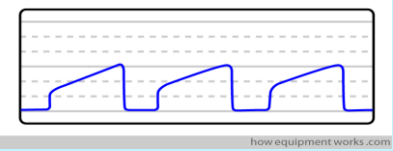
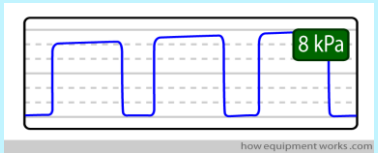
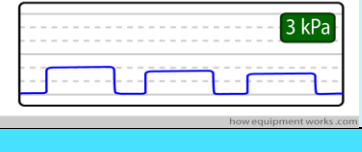
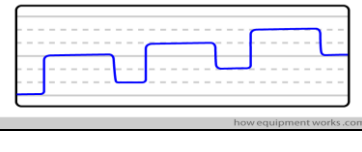
Kuvioissa 26 sivulla 48 ja kuviossa 27 sivulla 49 näemme normaalit kapnogrammat ja taulukossa 9 sivulla 50 poikkeavat kapnogrammat.



KUVIO 26. Kapnografi mittaa hiilidioksidia loppuhengityksessä (Tilakaratna 2012)

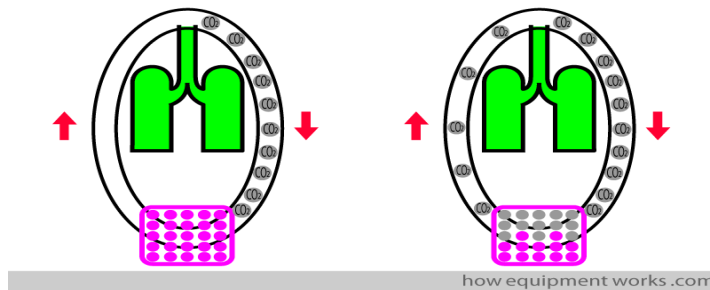


KUVIO 27. Normaali kapnogramma (Tilakaratna 2012)

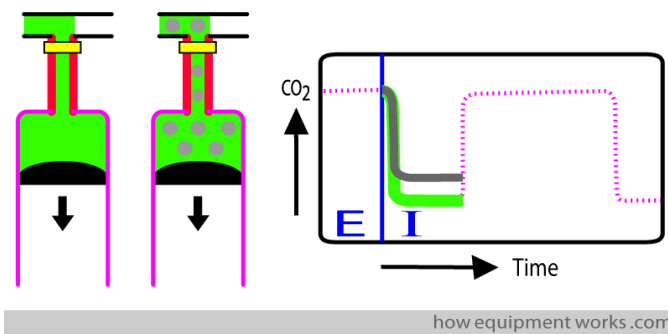
CO2 pitoisuus on nollassa	
<p>Kapnografi ei ole kiinnitetty potilaaseen.</p> <p>Vakava bronkospasmi.</p> <p>Hengitysteiden obstruktio.</p> <p>Hengitystiet tukossa tai intubaatioputki on tukossa.</p> <p>Kapnografin letku on tukossa.</p> <p>Hengityksen pysähdys – apnea.</p> <p>Cardiac arrest. Sydämen pysähdys. Ei ole verenkiertoa, CO2 ei pääse hengitysteihin.</p>	
Hengitysteiden obstruktio, limaisuus.	
<p>Bronkospasmi, COPD.</p> <p>Eritteet tuubissa, letkustossa, letkut ovat sekaisin</p>	
Hyperkapnia.	
<p>Hypoventilaatio.</p> <p>CO2:n tuotanto on suuri, esimerkiksi korkea kuume.</p>	
Hypokapnia.	
<p>Tämä tilanne voi johtua hyperventilaatiosta.</p>	
Sisäänhengitysilmassa on hiilidioksidia.	
<p>Adsorberin toimintahäiriö.</p>	

Adsorberin toimintahäiriössä suljetun hengityssysteemin käytössä anestesian aikana (circle anaesthesia breathing system) hiilidioksidi ilmestyy sisäänhengitysilmassa. Suljettu hengityssysteemi on inhalaatioanestesian muoto, jolloin potilaan ulos hengittämä ilma rikastetaan hapella ja puhdistetaan hiilidioksidista ja palautetaan hengitysteihin. Tämä menetelmä

säästää inhalaatioanesteetteja, vähentää inhalaatioanesteettien pääsyä ulkoilmaan ja hengitysilmä pysyy kosteana. Kun adsorberi on kyllästetty, se ei poista enää CO₂ uloshengitysilmästä ja CO₂ pääsee takaisin potilaan hengitysteihin sisäänhengityksessä (Kuvio 28, kuvio 29).

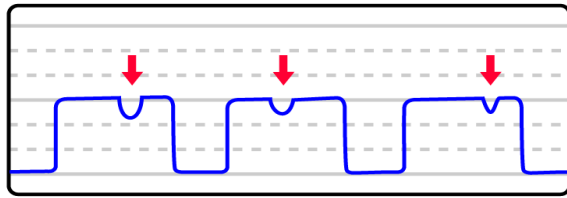


KUVIO 28. Absorber (vaaleapunainen) suljetussa hengityssystemissä kunnossa ja kyllästynyt absorber (CO₂ ei eliminoidu hengitysilmästä) (Tilakaratna 2012)



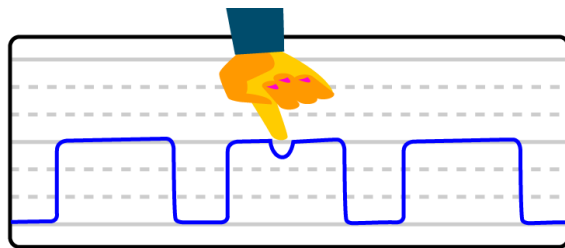
KUVIO 29. Hiilidioksidi on sisäänhengitysilmästä, kapnogrammissa on noussut alaviiva (harma) (Tilakaratna 2012)

Potilaan omat hengähdykset voidaan nähdä kapnogrammissa (Kuvio 30, s. 52). Toimenpiteen aikana anestesiahoitaja valvoo potilaan vitaalitoimintoja ja huolehtii potilaan turvallisuudesta. Kuviossa 31, s. 52 kirurgi nojaa potilaan päälle. Joskus kapnogrammissa näemme sydämen tykytystä (Kuvio 32, s. 52). Kapnografia käytetään aina intuboinnissa, koska yksi vakavista intubointiin liittyvistä komplikaatioista on ruokatorven intubointi (Kuvio 33, s. 53).



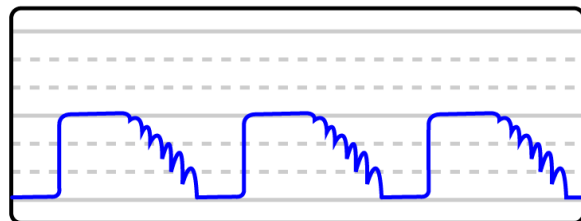
howequipmentworks.com

KUVIO 30. Kapnogrammassa spontaaniset hengähdykset (Tilakaratna 2012)



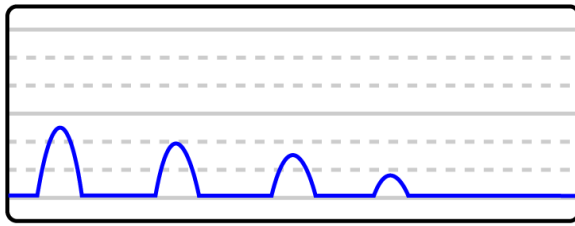
howequipmentworks.com

KUVIO 31. Kirurgi nojaa potilaaseen anestesian aikana (Tilakaratna 2012)



howequipmentworks.com

KUVIO 32. Sydämentykytys kapnografiassa (Tilakaratna 2012)



how equipment works .com

KUVIO 33. Ruokatorven intubointi (Tilakaratna 2012)

5.3.3 Hengitysvajaus

Branderin mukaan hengitysvajauksella tarkoitetaan yleensä hengitysilman ja valtimoveren välisen kaasujenvaihdon häiriötä, jolloin $\text{PaO}_2 < 8 \text{ kPa}$, $\text{PaCO}_2 > 6.0 \text{ kPa}$ (Brander 2013). Hengitysvajauksessa pääongelmana voi olla hypoksemia (alveolitason kaasujenvaihtohäiriö) tai hyperkapnia (keuhkotulehduksen häiriö) (Roussos and Koutsoukou 2003; Brander 2013). Hengitysvajauksessa hengitystyö kasvaa, usein esiintyy piirteitä sekä kaasujenvaihtohäiriöstä että ventilaatiovajauksesta (Brander 2013). Hengitysvajaus voi jakaa äkilliseen ja krooniseen hengitysvajaukseen.

Äkillinen hengitysvajaus (engl. - Acute Respiratory Failure, ARF) on tavallisin peruselintoinnin häiriö kriittisesti sairastuneilla potilailla (Linko 2012, 9). Äkillisen hengitysvajausoireyhtymän ilmaantuvuus Suomessa on 14–59/100 000/v (Käypä hoito 2014).

Äkillinen hengitysvajaus on tilaa, jossa happeutumishäiriö, hiilidioksidin kertyminen tai hengitystyön lisääntyminen aiheuttaa elimistön tasapainon häiriytymiseen. Äkillinen hengitysvajaus vaatii välittömiä hoitotoimenpiteitä. Hapettumishäiriö on kyseessä, kun happisaturaatio laskee nopeasti alle 90 % tai valtimoveren happiosapaineen lasku on alle 8 kPa. Puhutaan keuhkotulehduksen häiriöstä, kun potilaalle kehittyy asidoosi (valtimoveren pH alle 7,35). Hengitystyön lisääntymisestä kertoo hengitystaajuuden tihentyminen eli hengitysfrekvenssi nousee yli 25/min. (Käypä hoito 2014.)

Hengitysvajaus voi johtua keuhkojen sisäisistä tai keuhkojen ulkopuolisista syistä. ARF:n pulmonaariset syyt ovat: keuhkokuume, ilmarinta, astmakohtaus jne. ARF:n ekstrapulmonaariset syyt ovat useimmiten: hengityksen säätelyn häiriö, vatsa-alueen vakavat sairaudet ja postoperatiivinen vaihe. ALI (engl. - Acute Lung Injury - akuutti keuhkovaurio) ja ARDS (engl. - Acute Respiratory Distress Syndrome - akuutti hengitysvaikeusoireyhtymä) kehittyvät sekä ekstrapulmonaarisista syistä: vakava trauma, ei keuhkoista lähtevä sepsis sekä pulmonaarisista syistä: pneumonia ja aspiraatio (Bersten, Edibam, Hunt ja Moran 2002).

Kriittisesti sairastuneen potilaan tavallisin ARF:n syy on pulmonaarinen; aikuisella tyypillisesti se on bakteeriatuottava pneumonia. Myös kroonisesta hengitysvajauksesta kärsiville potilaille (COPD, astma) voi infektiin yhteydessä kehittyä ARF (Brander 2013).

ARF:n hoidon tavoitteena on turvata riittävä kudosten hapettuminen ja hiilidioksidin eliminaatio sekä kohtuullinen hengitystyö (Brander 2013). Ensisijaisesti on tärkeää turvata kudosten riittävä hapensaanti. Sen osatekijöitä ovat valtimoveren hapettuminen (PaO_2), sydämen minuuttitulavuus ja veren hapenkuljetuskyky (HB), jotka kaikki on pidettävä mielessä. Avoin hengitystie on aina varmistettava. Yhtä aikaa aloitetaan hengitysvajauksen taustalla olevan sairauden etiologinen (syyntuottava) hoito (esimerkiksi lääkehoito pneumoniaan, sydämen vajaatoimintaan, hengitystieobstruktiin). Happihoidossa (sisäänhengitysilman happipitoisuus eli FiO_2 nostetaan yli arvon 0,21) pyritään happivajauksen korjaamiseen, mutta krooniseen ventilaatiovajaukseen sairastuneille happea annetaan harkiten (Brander 2013).

CPAP-hoito varmistaa keuhkotilavuutta, ylläpitää ylähengitystiet avoimina, pyrkii avaamaan kokoon painuneita hengitysteitä, parantaa kaasujenvaihtoa ja vähentää hengitystyötä, mutta ei varsinaisesti avusta mekaanisesti hengitystä. Mekaaninen hengityslaitehoito avustaa ja ylläpitää mekaanisesti itse hengitystoimintaa, vähentää hengitystyötä, suurentaa keuhkotilavuutta, pyrkii avaamaan kokoon painuneita hengitysteitä, tehostaa keuhkotuuletusta ja parantaa kaasujenvaihtoa. (Brander 2013)

Kroonisessa hengitysvajauksessa samalla tavalla kuin äkillisessä hengitysvajauksessa hapettumisen häiriö, hiilidioksidin kertyminen ja/tai hengitystyön lisääntyminen aiheuttaa elimis-

tön tasapainolle häiriön, mutta muutokset eivät ole äkilliset. Kroonisessa hengitysvajauksessa valtimoverinäytteessä $p\text{CO}_2 > 6 \text{ kPa}$ ja/tai $p\text{O}_2 < 8 \text{ kPa}$, pH normaali.

Kroonisen ventilaatiovajauksen aiheuttaa usein pitkäkestoinen alveolien tuuletushäiriö: pitkäaikainen/pysyvä häiriö hengityskeskukseen, hengitykseen osallistuvien hermojen, hengityslihasten, rintakehän tai keuhkojen toiminnassa. Yleisimpiä krooniseen ventilaatiovajaukseen johtavia sairauksia ovat keuhkohtaumatauti, neuromuskulaarisairaudet, rintakehän liikkuvuutta rajoittavat sairaudet (kyfoskolioosi ja muut rintakehän epämuodostumat, polion jälkitila, vaikea selkärankareuma, sairaalloinen lihavuus), vaikea uniapnea ja liikapainoon liittyvä ventilaatiovajaus (lihavuuteen liittyvä hypoventilaatio-oireyhtymä eli Pickwickin oireyhtymä). Krooninen ventilaatiovajaus korostuu unen aikana. Ensisijainen hoito on ventilaation avustaminen hengityslaitteella (kotiventilaattorihoito). Ventilaattorihoidon tavoitteena on estää hengityksen unenaikainen vaimeneminen, poistaa yölliseen hypoventilaatioon viittaavat oireet, parantaa unen laatua, vaikuttaa edullisesti päiväaikaiseen suorituskyykyyn ja vähentää akuuttien hengitysvajausvaiheiden ilmaantumista. Kotiventilaattorihoitoon voidaan tarvittaessa liittää happihoito. Tavoitteena on hoidon aloittaminen elektivisesti. (Brander 2013.)

5.4 Hengityslaitehoito aikuisten tehohoitotyössä

5.4.1 Mekaaninen ventilaatio

Hengityslaitehoito tarkoittaa hengityksen tukihoitoa hengityslaitteen avulla. Nykyaikainen hengityslaitte eli ventilaattori on tietokoneen ohjaama laite, joka aistii hengitysteiden virtauksia ja paineita ja pystyy säätelemään näitä nopeasti ja herkästi toimivilla sähköisesti ohjatuilla venttiileillä. Ventilaattorissa on myös kattavat valvontaominaisuudet ja useimmiten reaaliaikaiset paine-tilavuus- ja virtauskäyrät – mittaus ja valvonta. (Niemi-Murola 2014, 30; Varpula ja Pettilä 2014, 961.)

Yksi kolmasosa kaikista tehohoitopotilaista joutuu mekaaniseen ventilaatioon (Ko, Yu, Lien, Wang ja Slutsky 2013). Hengityslaitehoito ei ole sairauksia parantava hoitomuoto vaan tukihoito. Hengityslaitehoito on tarpeellista, kun potilaan oma hengitys ei enää riitä turvaamaan kaasujenvaihtoa, potilaalle kehittyy hypoksemia, respiratorinen asidoosi tai potilaan tekemä hengitystyö rasittaa potilasta liikaa (Reinikainen ja Uusaro 2002). Hengityskone

mahdollistaa myös potilaan hoidon anestesiassa ja riittävän kipulääkityksen (Blomster ym. 2001, 46). Hengityslaittehoidon avulla tuetaan potilaan hengitystä samalla, kun hoidetaan hengitysvajaukseen johtuvaa ongelmaa. Hengityslaittehoidon indikaatiot löytyvät taulukosta 10.

TAULUKKO 10. Hengityslaittehoidon indikaatiot (Reinikainen ja Uusaro 2002; Brander 2013)

Hengityslaittehoidon indikaatiot
SaO ₂ < 90 % tai PaO ₂ < 8 kPa
Hoitotoimenpiteitä edellyttävä hypoksemia
PaCO ₂ > 6.5 kPa
Kliinisesti arvioiden liian suuri hengitystyö

Hengitysvajauspotilaan SpO₂ ja verikaasuanalyysi voivat vielä olla normaalit, vaikka ekshaustio (haukkova hengitys) on lähellä - kliininen arvio on avainasemassa, kun halutaan ajoissa tunnistaa uhkaava hengitysvajaus. Kliinisesti arvioiden liian suuri hengitystyö on hengityslaittehoidon aihe. Hengitystaajuus on informatiivinen suure. Tavallisesti se on aikuisella 12 - 16/min. Hengitystaajuus yli 30 /min (tai toisaalta < 8/min, esimerkiksi liialliseen sedaatioon liittyen) on selvästi poikkeava. On selvitettävä, onko potilaalla dyspneaa eli subjektiivista hengenahdistuksen tunnetta? Onko hengitys työlään näköistä, ovatko apuhengityslihakset käytössä? Onko sympatikotonian merkkeinä takykardiaa, hypertensiota tai hikoilua? Hengityksen tukihoidon tarpeesta ensisijaisesti päätetään kliinisen arvion perusteella. (Reinikainen ja Uusaro 2002.)

Hengityslaittehoito ilman keinoilmatietä kutsutaan noninvasiiviseksi (NIV- noninvasive ventilation) eli kajoamattomaksi; invasiivinen eli kajoava hengityslaittehoito edellyttää keinoilmatietä. Gorjachov ja Savin monografiassa mainitsevat seuraavat mekaanisen ventilaation komplikaatiot (Taulukko 11, s.57) (Gorjachev ja Savin 2013, 33).

TAULUKKO 11. Mekaanisen ventilaation komplikaatiot (Gorjachev ja Savin 2013, 33)

Mekaanisen ventilaation komplikaatiot
Barotrauma (korkeasta hengitysilman paineesta johtuva keuhkojen vamma)
Volumotrauma (isosta kertatilavuudesta johtuva keuhkojen vamma)
Atelektaasit
Biotrauma (keuhkojen vaurio, joka johtuu elimistön välittäjäaineista, bakteerisista toksineista)
Toksinen hapen vaikutus
Riittämätön kostutus

Hengityskone nostaa alveolaarisen paineen sisäänhengityksen aikana, verenpaine keuhkojen hiussuonissa kasvaa ja neste karkaa hiussuoneista soluväliseen tilaan. Ventilaatio isolla kertahengitystilavuudella johtuu surfaktantin häviämiseen, alveolien kolapsiin ja atelektaasiin, ja seurauksena hypoksemiaan. Toisesta pienemmät kertatilavuudet aiheuttavat myös alveolien atelektaasit, hiilidioksidin poistumisen häiriön ja hypoksemian.

Ventilaatiosta vaurioituneilla keuhkoilla (pneumonia, ARDS, ALI) ongelmana on se, että kudoksen vaurioaste vaihtelee paikasta paikkaan. Ppeak > 40 - 45 cm H₂O aiheuttaa barotraumat (mikrovuodot, ilmarinta ja tulehduksellinen reaktio eli inflamaatio). Barotrauman yhteydessä tulehdukselliset välittäjäaineet pääsevät keuhkoista verenkiertoon ja vaurioittavat muut elimet. (Sathishur 2007, 36.)

Mekaaninen ventilaatio vaikuttaa hemodynaamikkaan. Hengityskoneella sisäänhengityksessä transpulmonaalinen paine nousee (spontaanisessa hengityksessä päinvastoin), laskimoveri ei pääse sydämeen, oikean kammion esikuorma laskee, myös keuhkosuonien vastus kasvaa ja oikean sydämen iskuutilavuus laskee. Koska keuhkosuonien vastus kasvaa ja veri sieltä työnnetään vasempaan eteiseen, vasemman kammion esikuorma kasvaa, vasemman kammion iskuutilavuus kasvaa. Mekaanisen ventilaation seurauksena sisäänhengityksessä oikean kammion iskuutilavuus laskee ja vasemman kammion iskuutilavuus nousee. Uloshengityksessä laskee iskuutilavuus vasemmassa kammiossa ja nousee iskuutilavuus oikeassa kammiossa. Pmean vaikuttaa keuhkoihin pisintä aikaa. Pmeanin aika pitenee, jos inspiratoori-

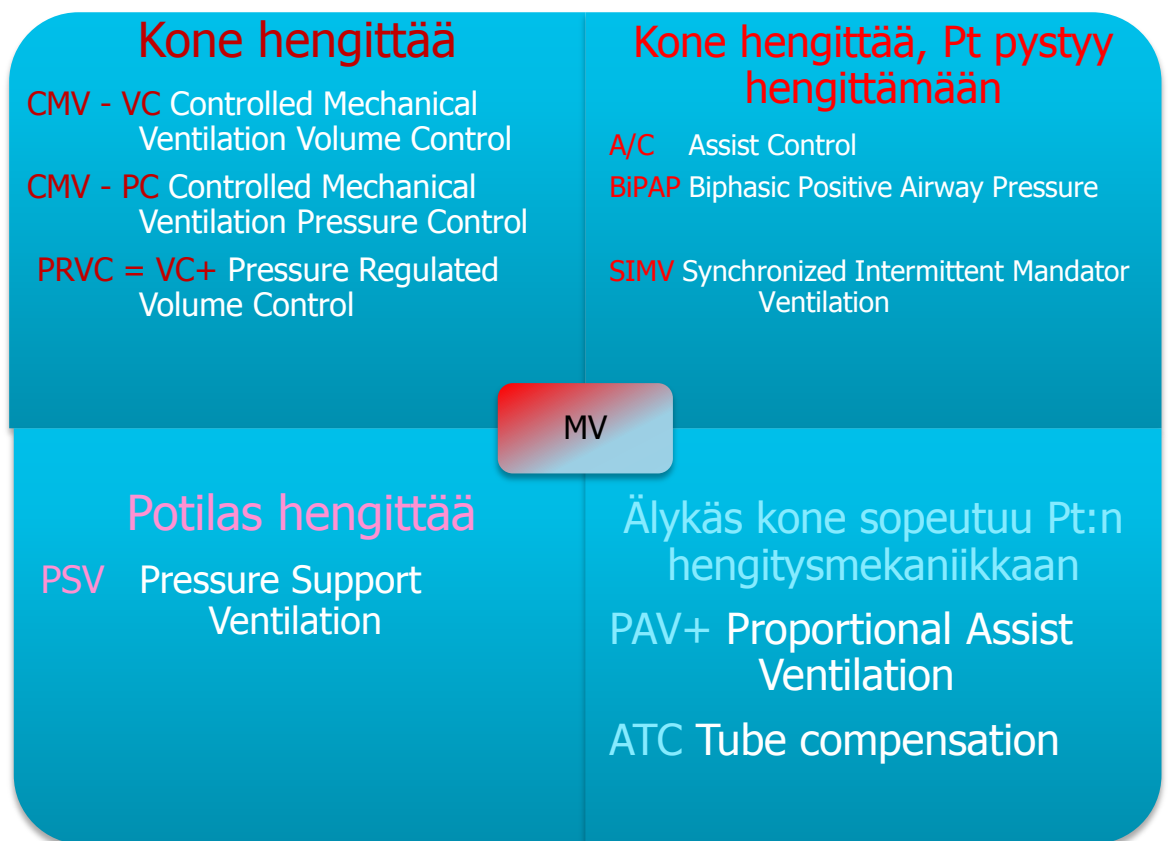
nen pausa on pitempää. $P_{mean} > 18 - 19$ cm H₂O aiheuttaa sydämen iskutilavuuden laskun. Aivoedeemapotilailla P_{mean} nousu on hengenvaarallista. (Satishur 2007, 36.)

Mekaanisen ventilaation vaikutus hemodynamiikkaan voimistuu hypovolemiassa, sydämen iskemiassa, infarkteissa ja sydänlappäivioissa. Mekaanisen ventilaation aikana monitoroidaan hemodynamiikkaa invasiivisesti, korjataan volemia nesteytyksellä ja inotroppeilla. Hengityslaitteiden aiheuttavat hemodynamiikan puutokset vaikuttavat muun muassa munuaisiin, maksaan ja ruokasuolatuskanavaan. Minuuttitilavuuden laskiessa munuaiset eivät saa tarpeeksi verta, suodatus laskee. Samalla elimistön verenkierron vajauksessa aktivoituu jukstaglomerulaarinen systeemi ja erittyy iso määrä angiotensiinia. Transpulmonaarisen paineen kasvaessa alaonttolaskimossa verensuolaus nousee ja munuaisten perfuusiopaine laskee. Mekaanisessa ventilaatiossa antidiureettisen ja natriureettisen hormonin erityksessä kasvaa, natrium ja vesi imeytyvät munuaisissa takaisin. Diureesi laskee.

Minuuttitilavuuden laskiessa ruokasuolatuskanavan verenkierto häiriintyy. Laskimoverensuolaus nousee, vatsaontelon paine kasvaa, sappitiehyissä paine kasvaa. Tulee muistaa, että spontaaniset hengitysyrietykset vähentävät mekaanisen ventilaation haittavaikutuksia, koska silloin hengitysmekaniikka on luonnollisempaa.

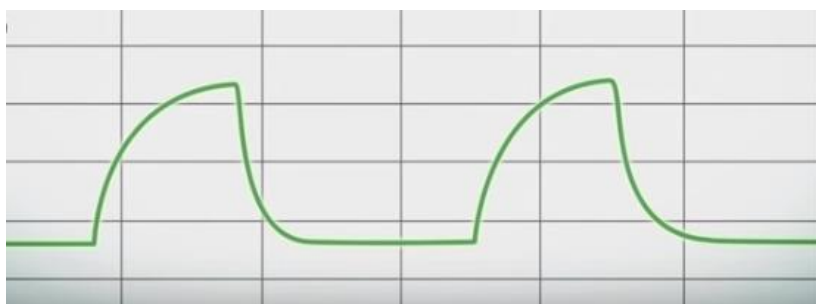
Teknisen kehityksen myötä hengitysmalleihin liittyvä terminologia on sekava, koska laitevalmistajat keksivät omat termit ja lyhenteet eri hengitysmalleille (Satishur 2007, 43; Varpula ja Pettilä 2014, 961). Tässä opinnäytetyössä käytetään sekavuuden estämiseksi vain englannin kielisiä lyhenteitä.

Kokeillaan ryhmittää erinimiset mutta samalla periaatteella toimivat hengitysmallit yhteen. Lebedinskiy ehdottaa opettavassa videossa seuraavaa ventilaatiomalliluokitusta (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015) (Kuvio 34, s. 59).



KUVIO 34. Mekaanisen ventilaation klassifikaatio (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015)

CMV - VC (Controlled Mechanical Ventilation Volume Control) käytetään potilailla ilman hengitymekaniikan häiriöitä, kun potilas saa myorelaksantit, ja häneltä ei odoteta sponaanista hengitystä lähiaikana. Hengityspainekäyrä näkyy kuviossa 35 sivussa 59.

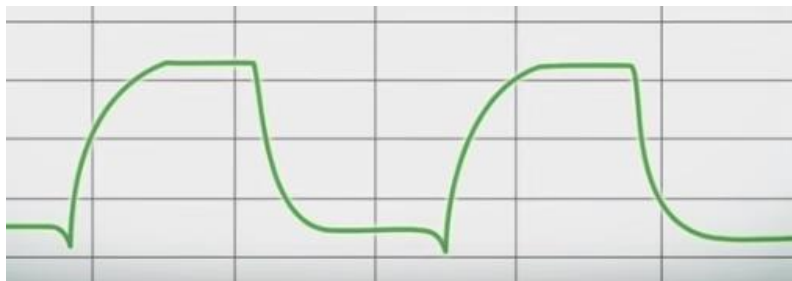


KUVIO 35. CMV - VC (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015)

Assist Control on muokattu CMV - VC malli, jolloin potilas voi aloittaa sisäänhengityksen itse (triggaus). Lääkäri asettaa seuraavat arvot: kertahengitystilavuus VT, hengitysfrekvenssi f, joskus myös sisäänhengityksen virtaus ja inspiratorinen pausa. Kone laskee sisäänhengityksen aikana T_{insp} ja sisään- ja uloshengityksen suhde I:E. Tavallisesti $VT = 6 - 8 \text{ ml/kg}$, $f =$

10 - 14/min, I:E = 1:2, Inspiratorinen pausa 15 - 20 % Tinsp. Kun lääkäri miettii sisäänhengityksen aikaa, on varmistettava, että uloshengitys on täydellinen ja autoPEEP ei pidä paikkaansa. CMV – VC avulla savutetaan minuuttitilavuus, mutta barotrauman riski on iso sisäänhengityksen aikana, jollei seurata Pplat ja Ppeak. (Reinikainen ja Uusaro 2002; Satishur 2007, 64; Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015.)

CMV – PC Controlled Mechanical Ventilation Pressure Control – suosittu malli potilaille, joilla on barotraumariski ilman vakavia hengitysmekaniikan muutoksia(COPD, ARDS). Käyrä näkyy kuviossa 36.



KUVIO 36. CMV - PC (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015).

Lääkäri asettaa Ppeak 10 - 20 cm H₂O, f 10 - 14 /min. VT ja MV kone laskee itse compliance huomioin. I:E = 1:1,5 tai 1:3, Tinsp = 0,2 - 0,8 sek. Asetuksien algoritmi on CMV - VC:n käänteinen. Lääkärin on varmistettava, että virtaus ennen seuraavaa sisäänhengitystä on nolla. Jos kehittyä autoPEEP, kannattaa laskea f ja Tinsp (Pplat nostetaan VT ja MV saavuttamiseksi). Barotraumariski on pieni, mutta komplianssin äkillinen muutos johtuu äkilliseen VT:n ja MV:n laskuun. (Reinikainen ja Uusaro 2002; Satishur 80 - 103; Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015.)

PRVC = VC+ Pressure Regulated Volume Control on yhdistelmä kahdesta edellisestä mallista. Käyrä näkyy kuviossa 37 sivussa 61.



KUVIO 37. PRVC-malli (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015)

Lääkäri asettaa VT 6 - 8 ml/kg, T_{insp} = 1,0 - 1,2 sek., f 12 - 14/min ja sen lisäksi Trigger 3 - 4 cm H₂O tai 1,5 - 2 l/min. PRVC aistii potilaan hengitysyriytykset eli synkronointi on mahdollista. Kone säätelee hengityspainetta VT ja MT saavuttamiseksi niin, että P_{peak} olisi minimaalinen. PRVC = VC+ takaa MV ja pieni barotraumariski (Satishur 2007, 80 - 103).

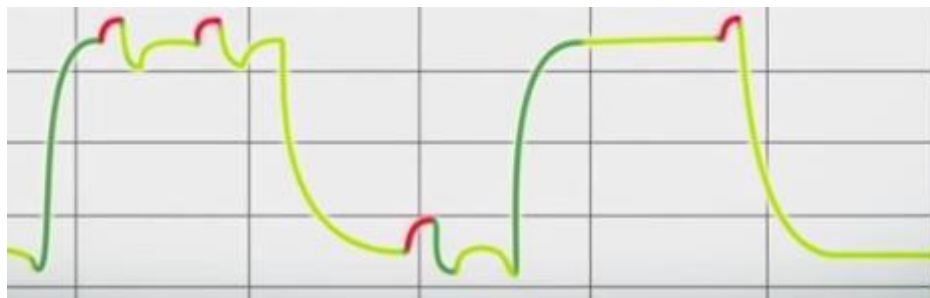
A/C Assist Control on nykyään kaikkien controlled ventilaation mallien taustalla, koska A/C mahdollistaa synkronointia. Malli on komfortinen potilaalle. Koska kone synkronoi hengitystä potilaan kanssa, etupaneeliin tulevat triggausasetukset. Potilaan hengitykset voivat tapahtua vuorotellen konehengityksien kanssa, tästä johtuu hyperventilaation riski. A/C-käyrä näkyy kuviossa 38 sivussa 61. (Reinikainen ja Uusaro 2002; Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015.)



KUVIO 38. A/C malli. Potilas hengittää itse (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015)

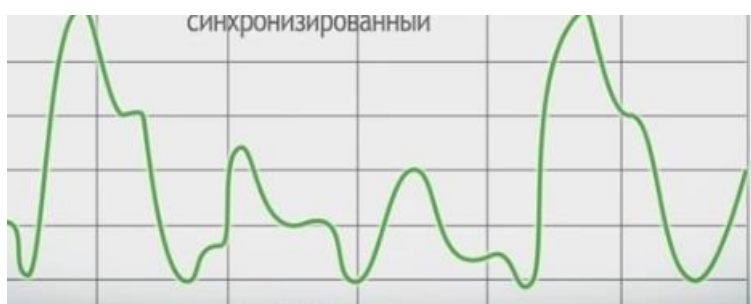
BiPAP = BiLevel Biphasic Positive Airway Pressure-mallissa on kaksi positiivisen paineen tasoa (PEEP high 15 cm H₂O ja PEEP low 5 cm H₂O, Time high = 1 sek., Time low = 2,75 sek.), potilas voi hengittää milloin tahansa, potilaan sisäänhengitys ylläpidetään PS (Pressure Support) avulla. Malli käytetään spontaanisti hengittävillä potilailla, malli on hyvin komfortinen. Käyrä näkyy kuviossa 39 sivussa 62. Kaksi painetasoa (koneen sisäänhengitys ja uloshengitys), vaihto tapahtuu tietyn ajan välissä. Jos potilas ei itse hengitä, malli toimii

kuin Pressure Control-malli. Potilas synkronisoituu hyvin koneeseen ja barotraumariski on pieni. (Satishur 2007, 119; Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015.)



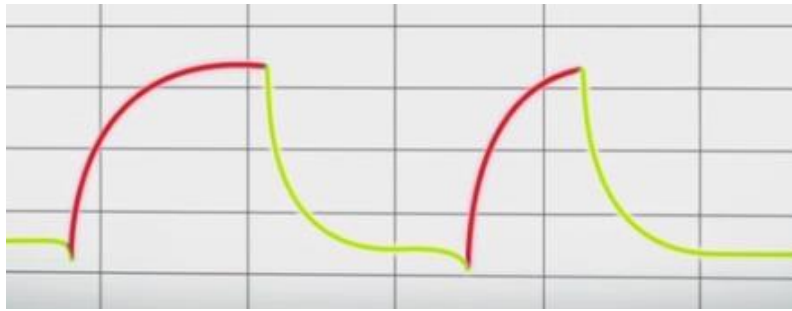
KUVIO 39. BiLevel = BiPAP malli. Potilaalla on spontaanista hengitystä sekä ylä- että alapainetasolla (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015)

SIMV Synchronized Intermittent Mandator Ventilation antaa mahdollisuuden lähteä pois hengityslaittehoidosta. Käyrä näkyy kuviossa 40 sivussa 62. Kone voi ylläpitää spontaaneja hengitysyriäisiä PS:lla ($PS = 1 - 25 \text{ cm H}_2\text{O}$). SIMV takaa MV. Jos $f_{\text{kone}} = \text{max}$, toimii kun CMV malli, $f_{\text{kone}} = \text{min}$, toimii kun SIMV-malli. Lääkäri säätelee koneen $f = 4 - 10 / \text{min}$, PS (1 - 25 cm H₂O), Triggauus (2 - 3 cm H₂O, 2 - 3 l / min). (Reinikainen ja Uusaro 2002; Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015.)



KUVIO 40. SIMV-malli, keskellä kaksi spontaanista hengitysyriästä ja reunoilla konehengitys (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015).

PSV Pressure Support Ventilation - potilaalla on spontaanihengitys, johon hän saa painetukea (Kuvio 41, s. 63). Lääkäri asettaa vain PS (1 - 20 cm H₂O) ottaen huomioon VT, MV, Ast-rup, Potilaan tuntemukset. Tavoite $f = 10 - 18 / \text{min}$. Malli on sallittu vain tajussa oleville spontaanisti hengittäville potilaille. PSV-malli on tarkoitettu koneesta vieroitukseen. (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015.)



KUVIO 41. PSV-malli (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015).

PAV+ Proportional Assist Ventilation On tehty PSV:n perusteella. Kone säätelee koko ajan tukipainetta komplianssista riippuen (saa jatkuvaa palautetta potilaasta). Asetuksessa on intubaatiotubun tiedot. Mallin tarkoitus varmistaa, että potilaan hengitystyö ei nouse ja potilasta voidaan vieroittaa hengityslaittehoitosta. (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015.)

ATC Tube Compensation tarkoitus - virtuaalinen extubaatio. Kone kompensoi hengitysputkeen kuuluvaa hengitystyötä. Jos ATC-lla hengittävällä potilaalla muutamassa tunnissa VT ja f pysyvät samalla tasolla, voidaan ekstuboida. (Lebedinskiy, Mazurok ja Levikov 2015.)

Noninvasiivinen hengityslaittehoito

Termejä NIV ja CPAP käytetään joskus väärin. NIV tukee hengityslihakset ja takaa ventilaatiota (engl. - respiratory support), CPAP ei toimi hengityslihasten puolesta (Hess 2013). CPAP periaatteena on jatkuva paineen tuki hengitysteissä koko hengityssyklin aikana. CPAP:lla saavutetaan auki olevat ylähengitystiet, keuhkojen tilavuuden nousu ja rintakehän sisäinen paineen nousu.

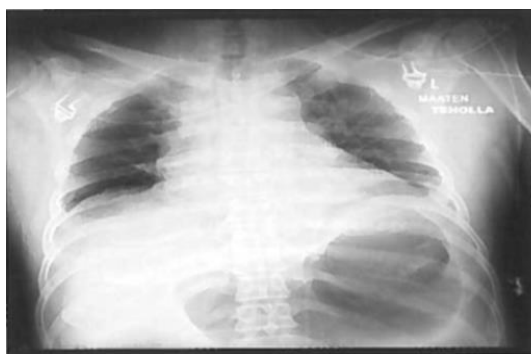
Hengityskoneella on myös hengitystuki muoto nimeltä CPAP, eli ei tarvita erillistä CPAP laitetta, kun potilasta siirretään spontaan hengitykseen, eli varsinaiset tehoitoventilaattorit pystyvät antamaan CPAP ja BiPAP hengitystukihoidot invasiivisesti tai noninvasiivisesti (Blomster 2001,45 - 46).

NIV:n avulla paine hengitysteissä nostetaan sisäänhengityksen aikana eli autetaan potilasta hengittämään sisään ja tehdään vakiona pysyvää uloshengityksen vastapainetta vastaan hengittämistä (tämä uloshengityksen vastapaine kutsutaan CPAP/PEEP). NIV on suositeltu

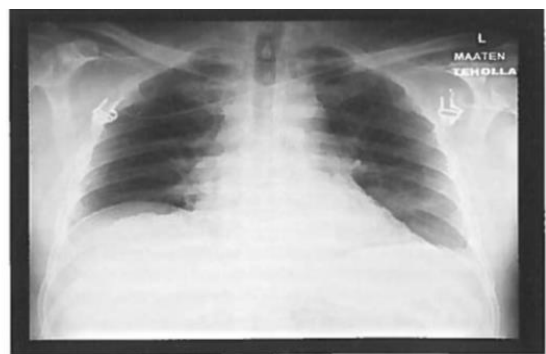
hoitomuoto muun muassa COPD:n pahenemisvaiheessa tai kardiogeenisessä keuhkoödeemassa. Jos ei haluta invasiivista ventilaatiota jostain syystä, käytetään NIV. Noninvasiivisen ventilaation käyttö (Varpula, Halme ja Maasilta 2012):

- Kroonisen hyperkapnisen hengitysvajauksen pahenemisvaiheissa. Harkitse NIV ennen invasiiviseen mekaaniseen ventilaation aloittamista.
- Tajunta normaali, ilmatie on luotettavasti auki. Käytännössä tämä tarkoittaa yhteistyökykyistä potilasta.
- Akuutissa vaiheessa potilaalle valitaan kasvonaamari. Subakuutissa vaiheessa voidaan käyttää nenänaamaria.

NIV - hoidon aiheet ja vasta-aiheet löytyvät taulukosta 12 sivusta 65. NIV-hoidossa ohi- vuoto on ongelma. Jos naamari ei sovi, voi sopivuutta parantaa trimmaamalla kasvon ryhtiä: leuan kohottaminen auttaa (Arola 2009). Jos potilas tarvitsee nenämahaletkun (NML), tarjolla on naamareita, joissa NML on johdettu tiivisti naamarin läpi. Mikäli NIV-hoito pitkit- ty > 3 vrk. hengitystiet kuivuvat, lima sitkistyy, tilannetta pahentaa se, että naamarin käyt- tö estää liman sylkemisen ja suun hoidon. Lämmittävä kostutin vähentää eritteiden sitkis- tymistä. Jos odotettavissa on useiden päivien NIV-hoito tai iho on pahasti rikki, ventilaa- tiohappu on hyvä vaihtoehto (Kuva 2, s. 65). NIV-hoidossa oleville potilaille on tyypillistä hengitysilman pääsy mahalaukkuun. Vatsaontelon paineen nousu mistä tahansa syystä es- tää pallean liikettä, mikä aiheuttaa hengitysvajaus (Kuva 1). Hengitysvajauspotilaan tut- kimiseen kuuluu aina vatsan palpaatio (Reinikainen 2012).



Kuva 1. Jo korjautumassa ollut hengitysvajaus on uudelleen vaikeutunut. Mahalaukkuun on kertynyt paljon ilmaa.



Kuva 2. Mahalaukku on imetty tyhjäksi nenä-mahaletkun avulla. Hengitysvajaus on korjautumassa.

KUVA 1. Hengitysvajaus voi johtua ilman kertymisestä mahalaukkuun (Reinikainen 2012).



KUVA 2. Ventilaatiohuppu (Antonelli, Pennisi ja Montini 2004)

TAULUKKO 12. Hoidon edellytykset ja vasta-aiheet (Varpula, Halme ja Maasilta 2012; Arola 2009):

NIV – hoidon edellytykset
Riittävä tajunta
Jatkuva valvonta
PEEP-venttiili säädetään arvioidun keuhkomekaniikan häiriön ja saavutetun hoitovasteen mukaan, 5–15 cmH₂O.
Virtausgeneraattorista on saatava jatkuva virtaus, joka ylittää sisäänhengityksen huipuvirtauksen. (Vaikeassa hengitysvajauksessa virtaus voi olla yli 100 l/min.)
NIV:hoidon vasta-aiheita
Hengityspysähdys
Eritteet
Oksetus
Levottomuus, muu ko-opperoimattomuus
Kasvojen kirurgia, yläilmateiden kirurgia

NIV:ssä olevat potilaat tarvitsevat suun hoitoa 4 kertaa vuorokaudessa (Aarnio, Marila, Knutar, Koivisto, Palonen, Pesonen, Rajasuo, Rytönen, Saarela, Suokas ja Varrio 2012). Hapillisäpotilaan suu kosteutetaan tarpeen mukaan (Aarnio ym. 2012). Kaikilla tehopotilailla hampaiden harjaus tehdään kahdesti päivässä plakin poistamiseksi (Aarnio ym. 2012).

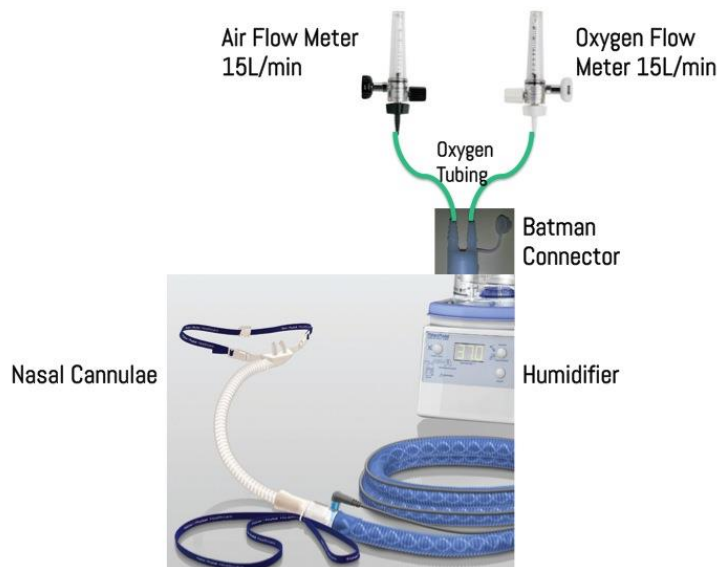
5.4.2 Happiterapia

Hapettumishäiriö hoidetaan muun muassa antamalla lisähappea. Matala virtaus 2–15 l/min käytetään lievän happettamishäiriön hoidossa viiksien tai venturimaskin kautta (Kuvio 42). Matalaa virtausta käytettäessä sisäänhengitysilman happipitoisuus (FiO₂) saattaa myös laimentua potilaan vähentyneen kertahengitystilavuuden, kiihtyneen hengitystiheyden sekä hengitysteiden suuren anatomisen kuolleen tilan vaikutuksesta, mikä heikentää happihoidon tehoa. Virtauksella annettu hengitysilma kuivaa hengitystiet. (Siirala 2014.)



KUVIO 42. Venturimaskit.

Tarvittaessa hapetushäiriön hoidossa käytetään nykyään korkeavirtaushappiterapiaa (engl. - High Flow Oxygen Therapy). Korkeavirtaushappiterapialla tarkoitetaan hapen annostelua suurella (yli 15 l/min) virtauksella, suuri virtaus estää FiO₂:n laimentumista hengitysteissä. On myös mahdollista, että korkea virtaus lisää keuhkotuuletusta ja tällä tavalla parantaa ventilaatiota. Tämä hoito on perinteistä matalavirtaushappiterapiaa moninkertaisesti kalliimpaa, koska potilas tarvitsee kostuttimen, sierainkanyyliä tai erikoismaskin ja letkuston. Sierainkanyyli tuntuu mukavammalta potilaasta korkeavirtaushappihoidon aikana verrattuna NIV-maskiin tai venturimaskiin ja hapeuttaminen on myös hyvää (Schwabbauer, Berg, Blumenstock, Haap, Hetzel ja Riessen 2014). Kuluneen vuosikymmenen aikana markkinoille on tullut korkeapaineilmaa ja -happea hyödyntäviä sekoittajia (esimerkiksi OptiFlow™ ja Airvo™, Fisher ja Paykel Healthcare Ltd, Auckland, Uusi Seelanti), joissa voi lisätä ilmanvirtausta yli 15 l/min, koska laitteissa on aktiivikostutin (Kuvio 43, s. 67). Kummassakin laitteessa aktiivisella lämminhöyrykostuttajan ja lämmitettävän letkuston yhdistelmällä voidaan saavuttaa jopa 44 mg H₂O/l - pitoisuus, mikä vastaa 100 % suhteellista kosteutta 37 °C lämpötilassa. (Siirala 2014.)



KUVIO 43. Airvo laite (Siirala 2014)

Optiflow ja Airvo sopivat vain spontaanisti hengittäville potilaille. Kostuttajat toimivat yhtä tehokkaasti molemmissa laitteessa. Sen sijaan OptiFlown ylläpitää tarkasti FiO_2 (21 - 60 %) pitoisuus koko virtausalueella 30 - 60 l/min, minkä vuoksi laite soveltuu erityisesti akuutin hapetushäiriön hoitoon. Airvossa FiO_2 voidaan säädellä tarkasti (21 - 60 %) vain alle 30 l/min virtauksilla. Nostettaessa kokonaisvirtaus Airvossa 60 l/min, FiO_2 saavuttaa ainoastaan 45 % pitoisuuden. Airvo sopii potilaille, joilla akuutti hapentarve on ohittunut, mutta jotka tarvitsevat tehokasta hengitysteiden kostutusta (kuten esimerkiksi trakeostomoidut potilaat). (Siirala 2014.)

Siirala päätelee, että sierainkanyylien kautta korkeavirtaushappiterapia aiheuttaa keskimäärin jopa 3 - 7 cmH₂O CPAP:n suun ollessa suljettuna, minkä on arveltu helpottavan potilaan hengitystyötä ja siten ehkäisevän jopa mekaanisen ventilaatiohoidon tarpeelta, mutta kattavat tutkimukset puuttuvat (Siirala 2014). Korkeavirtaushappiterapian käyttö soveltuu valikoiduille potilaille, joilla happeuttamishairio on pitkittynyt ja joilla mekaanisen ventilaatiotuen aloitusta on pyritty ehkäisemään (Siirala 2014).

5.4.3 Hengitysilman kostutus

Hengitysilman riittävä kostutus hengityslaittehoitossa ehkäistä hengitysinfektiota, vähentää sairaala- ja tehohoitopäivien määrää sekä kokonaiskustannuksia (Vuori 2010).

Nenänielun kautta hengitys on fysiologinen hengitys. Nenänielussa ja ylähengitysteissä tapahtuu ilman puhdistaminen, lämmittäminen ja kostuttaminen. Jos nenä ei osallistu hengitykseen yli 2 - 3 tuntiin, ventilaatiossa on käytettävä tekonenää. (Lebedinskiy ym.2008, 30.)

Koko ilmatiehytuustossa on oltava riittävä kosteus, jotta värekarvatoiminta nostaa liman ja mikrobit kurkunpään asti. Jos nenänielu on ohitettu keinoilmatiellä, huonosti kostutettu hengitysilma sitkittää limaa, karstoittaa kanyylyä sekä aiheuttaa atelektaaseja ja värekarvatoiminnan heikkenemistä, mikä altistaa hengitysteiden infektioille (Vuori 2010; Gorjachev ja Savin 2013, 34, Siirala 2014). Kostutukseen liittyvä riski on erityisesti vuodeosastohoidossa olevilla trakeostomoiduilla potilailla, joilla valvonta esimerkiksi tehohoitoon verrattuna on muutenkin vähäisempää (Siirala 2014).

Liman viskositeetti, potilaan kyky syventää sisäänhengitystään sekä potilaan yskäisyvoimat ovat ratkaisevia liman poistumiseen isoista bronkuksista. Pääbronkukseen saattaa syntyä kohta, josta ylöspäin lima ei kuivuudesta johtuvan sitkeyden vuoksi liiku ("stagnation point", "isoterminen kyllästymisraja"). Yskäisykyky heikkenee korkeassa selkäydinvammassa, etenevässä neuromuskulaarisessa sairaudessa, kiputilassa, bulbaaristen funktioiden häiriöissä ja merkittävässä obesiteetissa. Liman juoksevuus ja yskimiskyky vaikuttavat liman poistumiseen isoista hengitysteistä, häiriöt tässä vaiheessa johtuvat hengitysinfektioon. (Vuori 2010.)

Hyvin pienissä ilmateissä liman nousemiseen vaikuttaa liman olomuodon lisäksi kaasun virtaus ja koostumus. Typpiä huoneilmassa noin 78 %. Jos käytössä on happilisa, se vähentää typen osuutta hengitysilmassa. Heikosti ventiloituissa, ahtautuneen ilmatien takana olevissa alveoleissa happi imeytyy ja alveoli tulee umpeen. Atelektaasi estää keuhkorakkulaa osallistumisesta kaasujen vaihtoon, ja myöskään lima ei poistu keuhkoista. Liman juoksevuus ja hengityskaasujen virtaus ja koostumus (lisähappi aiheuttaa absorptioatelektaseja) vaikuttavat liman poistumiseen pienistä hengitysteistä, häiriöt tässä vaiheessa myös johtavat hengitysinfektioon. (Vuori 2010.)

Joka päivä ihmisestä haihtuu 250 ml vettä ja häviää 350 kcal lämpöä hengityksessä nenän kautta. Sisäilman suhteellinen kosteus 20 °C lämpötilassa on noin 50 - 60 %, mikä tarkoittaa 10 mg H₂O/l-pitoisuutta, alveolitasolla 37 °C lämpötilassa hengitysilma saavuttaa 100 % suhteellisen kosteuden, joka vastaa 44 mg H₂O/l-pitoisuutta (Vuori 2010; Gorjachev ja Sa-

vin 2013, 34; Siirala 2014). Oppikirjojen mukaan ventilaattorissa olevien potilaiden kostutuksessa tulisi saavuttaa vähintään 30 mg H₂O/l-pitoisuus, jotta keinoilmalien karstoittuminen voitaisiin varmuudella ehkäistä.

Hengitysilmaa voidaan kostuttaa passiivisesti tai aktiivisesti aerosoli- tai höyryvedellä. Aerosolimudossa oleva vesi lisää infektioalttiutta; vesihöyry ei (Vuori 2010). Passiivikostuttaja ("Keinonenä" = kosteuslämpövaihdin = Heat and Moisture Exchanger = HME) hyödyntää hengityselinten tuottamaa kosteutta, käyttää uloshengityksen kosteutta sisäänhengitystä varten (Kuvio 44). Tällainen kostutin ei sovellu esimerkiksi puhekanyylien yhteydessä käytettäväksi tai jos cuffivuoto on runsasta, koska silloin kosteus karkaa keinonenän ohi. Passiivikostutin ei useinkaan ole riittävä potilaalle, jonka ylähengitystiet on ohitettu ja lima ei poistu riittävässä määrin. Lisähappi kuivattaa hengitysilmaa ja heikentää entisestään kostuttimen tehoa. Passiivikostuttajien toimintaan vaikuttavat ulkoilman lämpötila, potilaan nestetasapaino, kostuttajan ikä sekä virtausnopeus, minkä vuoksi 30 mg H₂O/l-pitoisuuden päästään käytännössä vain koeolosuhteissa (Siirala 2014). Käytännössä passiivikostuttajan kostutusteho saattaa jäädä 25 - 30 mg H₂O/l-pitoisuuden tasolle (Siirala 2014) ja alle 25 mg H₂O/l-pitoisuutta voidaan pitää merkittävänä riskitekijänä keinoilmalien karstoitumiselle.



KUVIO 44. Passiivikostuttaja HME (Heat and moisture exchanger).

HME-kostuttimessa on suodatin molemmissa päissä, jossa on varsin hyvä virus- ja bakteerinsuodatuskyky. Kostuttimien haittapuolena on kuollut tila (hukkatila, Dead Space), jonka läpi on hengitettävä edes takaisin. Se vaihtelee tuotekohtaisesti suuresti 10 - 90 millilitran välillä. Hukkatilalla on sitä suurempi merkitys, mitä pienempi kertahengitystilavuus on, joten se on huomioitava etenkin pinnallisesti hengittäville ja lapsipotilaille. HME-kostuttimen

käyttäjällä on aina vaara kostuttimen tukkeutumiselle, jolloin virtausvastus lisää potilaan hengitystyötä spontaanissa hengityksessä. Mekaanisesti ventiloituilla potilailla tukkeutumisalttius ei ole yhtä kriittinen asia, eikä virtausvastuksella ole samanlaista merkitystä, koska sen voittamiseen ei tarvita potilaan omaa lihasvoimaa.

Eri lähteiden mukaan kostuttaja tulisi vaihtaa vähintään 24 tunnin välein, mutta tarvittaessa useammin. Jos potilas on esimerkiksi erittäin limainen, vaihtovälin on oltava lyhyempi. (Vuori 2010; Siirala 2014.)

Aerosolikostutin lisää infektioriskiä, höyrykostutin ei. Vesihöyrymolekyylin halkaisija on 0,0001, virusten 0,017–0,3 mikronia ja bakteerien 0,2–10 mikronia. Vesiaerosolin pisarako on 1–40 mikronia, koska se on suurempi kuin mikrobien, vesiaerosoli kantaa niitä pisaroiden pinnalla syvemmälle hengitysteihin. (Vuori 2010.)

Aerosolikostuttimen (Kuvio 45, s. 71) sisällä ovat törmäystekniikalla tai ultraäänen avulla nebulisaattorissa pilkkoutuneet vesipisarot. Lopputuloksena hengitysteihin tulevat vesipisarot ovat kylmät (18 astetta), ja hengitysilma sisältää korkeintaan 15 mg/l vettä. Viileä kosteus ei pääse pieniin ilmäteihin ja potilaalle aiheutuu myös lämmönhukkaa. Kylmä aerosoli on jossakin määrin bronkospasmogeenista lisäten hengitystyötä. Järjestelmään tulee liittää T-kappaleen avulla aikuispotilaalle 20 - 40 cm:n mittainen uloshengitysletku, jolloin kostutusteho paranee, kun noin 150 ml juuri uloshengitettyä 100 % kostutettua kaasua hengitetään uudelleen sisään. Tämä korjaa tilannetta, erityisesti jos kertahengitystilavuus on pieni. Uloshengitysletkun aiheuttaman kuolleiden tilan vaikutus kaasujen vaihtoon tulee kuitenkin potilaskohtaisesti muistaa. Kylmäaerosolikostutuksen yhteydessä on myös muistettava arvaamaton ylihydraatioriski, koska potilaan keuhkoihin tiivistyy vettä. Vesi letkussa myös lisää infektion riskiä. Järjestelmää voidaan käyttää pitkään - yleinen suositus on vaihto kerran viikossa. (Vuori 2010.)



KUVIO 45. Aerosolikostutin

Aktiivinen kostutin on kaikkein tehokas (Kuvio 46). Lämminhöyrykostuttimen ja lämmitettävien letkujen yhdistelmällä voidaan saada 100 % suhteellinen kosteus hengitysilmassa. Käyttäen aktiivista kostutusta virtausnopeus voidaan nostaa teoriassa jopa 100 l/min. (Siirala 2014.) Lämmitettävän letkuston tarkoituksena on tehostaa kostutusta sekä ehkäistä vesihöyryn kondensoitumista letkustoon (Ward 2013).



KUVIO 46. Lämminhöyrykostuttaja

Huonosti hengittävä, limainen potilas tarvitsee kunnon kostutuksen lisäksi myös kaiken muun hyvän perushoidon, sekä hyvän ja riittävän hengitysfysioterapian. Potilaan asentoon tulee luonnollisesti kiinnittää huomiota koko ajan. Imutekniikan on oltava atraumaattinen ja sellainen, ettei se aiheuta ateleктаaseja ja limakalvovaurioita välttämättömyyttä enemmän. Myös riittävästä nesteytyksestä on huolehdittava. (Vuori 2010.)

5.4.4 Suurtaajuusventilaatio

Suurtaajuusventilaatio eli HFV (engl. - High Frequency Ventilation) on ventilaatio, jossa hengitysfrekvenssi on vähintään 4 kertaa tavallista hengitysfrekvenssiä suurempi (60 - 3000/min) ja kertatilavuus on kuolleen tilaan vertainen tai sitä pienempi. HFV:ssa normokapniaa varten tarvitaan kertatilavuus 1 - 3 ml/kg (Vrt. 7 - 10ml/kg tavallisissa ventilaatiomalleissa).

HFV:ta voidaan verrata värähtelevään CPAP-koneeseen. Korkeataajuusventilaatiohoitoa käytetään vaikeassa kaasujen vaihto-ongelmassa, jossa perinteinen hengityskonehoito on tehotonta (Peltoniemi ja Kallio 2013, 22). HFV:n edut ja puutteet näkyvät taulukossa 11.

TAULUKKO 11. HFV hyvät ja huonot puolet (Peltoniemi ja Kallio 2013)

HFV	
Hyvät puolet	Huonot puolet
Ei laske sydämen esikuormaa	Tarvitaan erillisen HFV-kone
Ppeak ja Pmean hengitysteissä laskee, jolloin barotrauma on pienempi	Kostutus on ongelmallinen
Ventilaatio on mahdollista myös ilmarintapotilaalla	Keuhkojen komplianssi vaikuttaa kertatilavuuteen
HFV on hyvä bronkoskopiassa, kun hengitys ilmaa vuotaa	Hengityksen minuuttitilavuus on epäselvä
HFV ohuen kanyylin kautta mahdollistaa leikkaukset hengitystörvessä ja kurkussa	
Ei vaadi syvää sedaatiota	
Imu ei aiheuta hypoksiaa	

5.4.5 Vatsa-asentohoito mekaanisen ventilaation aikana

Vatsa-asentohoitoa käytetään vaikeassa ARDS:ssa. Potilasta käännetään selänmakuulta vatsamakuulle muutamaksi tunniksi ja sitten takaisin. Vatsa - asentohoito pienentää kuolleisuutta ARDS - potilailla, ja verrattuna muihin hoitoihin vatsa-asento on halpa hoitomuoto (Sud ym. 2014; Varpunen 2014; Karjula ja Meriläinen 2015). Hoitajista hoidon toteutus on haasteellinen ja työläs, hoitajan roolia vatsa - asentohoidossa ei voida yliarvioida (Karjula ja Meriläinen 2015). Vatsa-asentohoitoon liittyy riskejä, hoidon tekemiseen tarvitaan kokemusta ja koulutusta (Sud ym. 2014; Karjula ja Meriläinen 2015).

Selkäasennossa ventilaatiossa olevalla potilaalla päällimmäisessä keuhkonosissa keuhkokomplianssi on parempi ja ventilaatio jakautuu siihen. Alimmaisissa keuhkonosissa eivät venti-

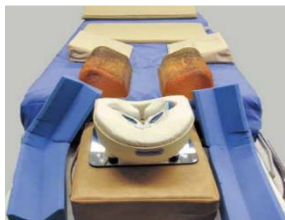
loidu, mutta saavat paljon enemmän verta. Varpusen mukaan vatsa - asennossa ventilaatio selän puolella paranee ja verenkierto pysyy samana, mikä vähentää oikovirtausta (Varpu- nen 2014). Eritteiden poistuminen vatsa - asennossa tehostuu, ja keuhkojen ventiloiva tila- vuus kasvaa. Vatsa-asentohoidon hyödyt, riskit ja vasta-aiheet on kuvattu kuviossa 47.

Vatsa - asentohoidon hyödyt



- Happeutuminen paranee
- Ventilaatio paranee
- Keuhkoverenkie- rron vatus laskee

Vatsa - asentohoidon riskit



- Hengityspotken irtoaminen
- Aspiraatio
- Sydämen pysähdys
- Painehaavat
- Silmien vaurio
- Vatsaontelon paineen nousu, munuaisten ja suoliston iskemia
- Aivoverenkiertohäiriöt
- Hermovauriot

Vatsa- asentohoidon vasta - aiheet



- Avoin vatsa
- Avoin rintakehä
- Haavat vatsapuolella
- Epästabiili niska / selkäranka
- Kasvo - , lantiomurtumat
- Henkeä uhkaavat rytmihäiriöt
- Kohonnut kallonsisäinen paine
- Raskaus
- Akuutti verenvuoto
- Epästabiili hemodynaamikka

Kuvio 47. Vatsa - asentohoidon hyödyt, riskit, vasta - aiheet (Karjula ja Meriläinen 2015)

5.4.6 VAP

Hengityslaittehoitoon liittyvä keuhkokuume VAP (engl. - Ventilator-Associated Pneumonia) on hengityslaittehoitoon liittyvä komplikaatio ja tehohoitopotilaan yleisin sairaalainfektio (25 - 30 % kaikista tehoalkuisista infektiosta), joka kehittyy intuboidulle potilaalle viimeistään 48 tun- nin kuluttua intubaatiosta (Hillier, Ilson, Chamberlain ja King 2013; Olsbo - Nurminen, Sa- lanterä ja Lundgren - Laine 2013).

Yksi kolmasosa kaikista tehohoitopotilaista joutuu hengityslaittehoitoon (Ko, Yu, Lien, Wang ja Slutsky 2013). Hengityslaittehoitossa oleville potilaille VAP ilmestyy 10 % - 48 %:lla (Hillier ym. 2013). Olsbo-Nurminen ym. mainitsee, että hengityslaittehoitoon pitkäaikainen yli viikon mittaiseksi lisää VAP:n vaaraa (Olsbo-Nurminen, Salanterä ja Lundgren-Laine 2013). Riski

sairastua VAP:iin kasvaa 1 - 3 % joka päivä mekaanisen ventilaation aikana (Hillier ym. 2013). VAP:n preventiossa pyritään minimoimaan invasiivisen ventilaation kesto ja korvaamaan aina kun on mahdollista NIV:lla (Ylipalosaari 2009).

VAP:n yksi syy on se, että kriittisesti sairastuneilla potilailla immuniteetti on laskenut. Toinen syy on se, että kurkunpää (epiglottis) ei enää pysty turvaamaan hengitysteitä intubaation vuoksi. Sedatoitu ja ventiloitu potilas on makuasennossa, eikä niele normaalin tavoin, normaalit kielen ja suun liikkeet eivät pidä paikkaansa, syljen erityks heikkenee tai lisääntyy, potilas saa peroraalista ravitsemusta, mutta suolisto tavallisesti ei toimi kunnolla. (Aarnio, Marila, Knutar, Koivisto, Palonen, Pesonen, Rajasuo, Rytkönen, Saarela, Suokas ja Varrio 2012; Hillier ym. 2013; Olsbo - Nurminen ym. 2013.)

Infektiomäärä on hoidon laatumittari kansainvälisesti. Sairaalainfektioista kärsii 20 % teuhoidossa olevista potilaista, ja sairaalainfektiot useimmiten liittyvät hengityslaittehoidon ohella cvc-katetriin käyttöön ja leikkaushaavainfektioihin. VAP - potilaiden hoitoaika pitenee, kuolleisuus kasvaa, ja heidän hoidon kustannukset kohoavat. (Ritmala-Castren ja Labeau 2012; Olsbo-Nurminen ja Salanterä, 2013.)

Oikeat vastaukset tehosairaanhoidajille tarkoitettuun VAP kyselyyn (Ritmala-Castren ja Labeau 2012) ja Hillierin VAP:iin johtuvat muut tekijät (Hillier ym. 2013) näkyvät taulukossa 12 sivussa 75.

TAULUKKO 12. Oikeat vastaukset VAP kyselyyn (Ritmala-Castren ja Labeau 2012) ja Hillierin VAP:iin johtuvat muut tekijät (Hillier ym. 2013)

VAP kyselyssä oikeat vastaukset (Ritmala-Castren ja Labeau 2012)
Puoli-istuva asento vähentää VAP:n riskiä
Kineettinen sänky vähentää VAP:n riskiä
Intubaatioputki, jossa on ylimääräinen kanava äänihuulten alapuolelle kertyvien eritteiden poistamiseksi vähentää VAP:n riskiä
Käytetään suljettua imujärjestelmää, niitä vaihdetaan potilaan vaihtuessa tai kun hoidon kannalta tarpeen
HME-käytetään (lämmön ja kosteuden vaihtaja), kostuttaja vaihdetaan kerran viikossa tai kun hoidon kannalta tarpeen
Hengityslaitteen letkuston vaihto suosituksen mukaan tapahtuu potilaan vaihtuessa tai kun hoidon kannalta tarpeen
Suositus on intubaatio suun kautta
Hillierin ym. VAP:iin johtuvat muut tekijät
Asentohoidot
Sedation tarpeen arviointi
Mahahaavan profilaksia
Suuhygieniä

Suuhygieniä on yksi VAP: ehkäisyn tärkeimmistä tekijöistä (Hillier ym. 2013). Tehokas ja oikein suoritettu suunhoito vähentävät aspiraatiota ja sairaalakeuhkokuumeen syntymistä sekä lisäävät potilaan hyvinolon tunnetta (Olsbo-Nurminen ym. 2013). Kriittisesti sairaiden potilaiden suuhygieniä toteutetaan usein puutteellisesti tai se jopa laiminlyödään (Olsbo-Nurminen ym. 2013). Intuboidun, hengityslaittehoitoa saavan tehohoitopotilaan suunhoidon epäonnistuminen voi johtua useasta eri tekijästä, kuten potilaasta itsestään, hoitajasta tai organisaatiosta. Potilas saattaa kieltäytyä suunhoidosta esimerkiksi kivun tai sedatiivien ja analgeettien aiheuttamien aistinharhojen takia, tehopotilaan suun hoidon haasteita ovat mm. intubaatioputki ja rajoittunut suun avaus, jotka estävät näkyvyyttä suuhun. Suun hoito on toteuduttava nopeasti, koska potilaan happeuttaminen on epävakaata (Aarnio ym. 2012). Hoitajasta johtuvia, suunhoitoon yhteydessä olevia tekijöitä ovat esimerkiksi hoitajien asenteet, kuten suunhoidon alhainen tai vähäinen arvostus, uskomukset ja tiedon puute sekä suunhoitoon saatu koulutus. Suunhoito koetaan epämiellyttäväksi ja hankalaksi tai hoitajilla on käsitys, ettei suunhoidosta ole potilaalle merkittävää hyötyä. Hoitajista johtu-

vat syyt vaikuttavat hoitajan päätökseen suunhoidon toistoista ja laadusta, jolloin se näkyy myös suunhoidon kirjaamisessa. Myös organisaatioon liittyvät tekijät, kuten riittävä aika, hoitohenkilökunnan määrä ja tarvittavat välineet suunhoidon toteuttamiseen, sekä suunhoidon yhtenäiset, selkeät ohjeistukset vaikuttavat potilaalle toteutetun suunhoidon laatuun ja hoitajien asenteisiin suunhoidon tärkeydestä. Lisäksi suunhoidon määritelmän epäselvyys ja tulkinta tuottavat hankaluuksia suunhoidon tarpeen määrittelyssä ja toteutuksessa. (Olsbo-Nurminen ym. 2013.)

Suun hoitoon suositeltavat tuotteet ovat monikerroshammasharja, erikoispehmeä ja lasten pehmeä hammasharja, parentasuoja ja valollinen suupeili sekä klooriheksidiinivalmisteet. Monikerroshammasharja nopeuttaa hoitajan työskentelyä, erikoispehmeä hammasharja sopii harjaukseen herkkien ja vuotavien suun limakalvojen vuoksi. Intubaatioputkin ulkopinnat harjataan lasten pehmeällä hammasharjalla. Parentasuoja ehkäisee parentatapa-turmia. Puupeili lisää näkevyyttä potilaan suuhun. Kloriheksidiinisuuveden rinnalle suositellaan klooriheksidiinigeeliä intuboidun ja trakeostomoidun potilaan hampaiden harjaukseen, sillä geeli ei valu helposti potilaan nieluun. (Aarnio ym. 2012.)

Seuraavat käytännöt ovat KYS:ssa (Lehtonen 2011):

1. *Asentohoito:*

- Pääpuoli on aina kohoasennossa noin 40 astetta, jollei sille ei ole esteitä
- Säännöllinen asennonvaihto painehaavojen ja atelektaasien ehkäisemiseksi ja hoitamiseksi

2. *Microaspiraation ehkäisy:*

- Subglottisella imukanavalla varustettu intubaatioputki laitetaan aina teholla intuboiduille potilaille (aikaisemmin oli ohje laittaa erikoistuubi, jos hengityslaitehoito pitkittyy yli 48 tuntia)
- Kuffipaine mitataan työvuoron alussa ja ennen imuja, kuffipaineen pitää olla 20 - 35 cm H₂O
- Tarkistus kirjataan, samoin intubaatioputken syvyys, malli ja suljetun imun käyttö

3. *Suun hoito.*

- Suun hoito suoritetaan 4 tunnin välein
- Tehostettu suunhoito aamuin ja illoin klooriheksidiinilla
- Suunpuhdistuksen jälkeen sekä potilaan pääpuolta laskettaessa ja asentoa vaihdettaessa imetään erite nielusta joko imukatrilla tai subglottisella imulla

4. *Aspiraation ehkäisy.*

- NML:n paikka tarkistetaan työvuoron alussa ja tarvittaessa useammin
- Ravitsemuksen retentio mahalaukkuun tarkistetaan kerran työvuorossa, 8 tunnin välein ja kirjataan
- Tavallinen nenämahaletku pyritään mahdollisimman nopeasti vaihtamaan ohuempaan aterialetkuun

5. *Aseptiikka.*

- Hyvä käsihygienia.
- Aseptinen työskentely hoitotoimenpiteissä
- Hengityslaitteiden letkut vaihdetaan mallista riippuen 4 - 7 vrk välein, suljetun imusetin 72 tunnin välein, hengitysilman suodatin vaihdetaan 24 tunnin välein, kostuttajaa käytetään pitkittyneessä hengityslaittehoidossa.

6. *Kirjaaminen.*

- Kaikki ylimainitut asiat kirjataan tietojärjestelmään.

Luvun loppuun haluaisin näyttää ohjeistukset ja suositukset VAP:n ehkäisemiseksi taulukossa 13 sivussa 78 (Olsbo-Nurminen ym. 2013).

TAULUKKO 13. Ohjeistukset ja suositukset VAP:n ehkäisemiseksi (Olsbo-Nurminen ym. 2013)

Kohoasento 30°- 45°
Päivittäinen sedaatiotauko ja extubaatiovalmiuden arviointi
Ulkusprofylaksia
Tromboosiprofylaksia
Suunhoito: hampaiden, ienten ja kielen harjaaminen vähintään 2 x päivässä
Suun limakalvojen ja huulten kostuttaminen 2 - 4 tunnin välein*Oral balance®
Päivittäinen suunhoito klooriheksidiini 0,12 %
Klooriheksidiinidiglukonaatti (0.12 %) - suuhuuhteen käyttö kahdesti päivässä ennen leikkausta aikuiselle sydän kirurgisille potilaille.
Suun puhdistaminen säännöllisesti
Käsien puhdistaminen huolellisesti saippualla ja vedellä tai alkoholipitoisella huuhteella ennen ja jälkeen potilaaseen tai hengityslaitteeseen koskemisen
Välineiden puhdistaminen tai vaihtaminen eri potilaiden välillä
Subglottisimuaukollinen intubaatioputki sekä suljettu imu
Hopeapäälysteinen tai polyuretaanicuffillinen intubaatioputki
Intubaatioputken kuffin paineen tarkistaminen
Retention tarkistaminen
Suueritteiden poistaminen ennen potilaan asennon muuttamista

5.4.7 ECMO

ECMO-hoidossa (engl. - Extracorporeal Membrane Oxygenation) huonosti hapettunut veri pumpataan mekaanisesti kehon ulkopuolella olevan happettimen läpi ja johdetaan hyvin hapetettuna takaisin potilaan verenkiertoon (Mildh ja Lommi 2013).

Esimerkkejä ECMO:n indikaatioista aikuisilla näkyy taulukossa 14.

TAULUKKO 14. ECMO:n indikaatiot aikuisilla (Valtonen 2012)

ARDS
Septinen sokki
Monielinvaurio
Keuhkoembolia
Oik. kammion infarkti
Keinosydämeen, tranplantaatioon yhteydessä
Sairaalasiirtoon yhteydessä

ECMO:a pitäisi harkita, mikäli potilas täyttää seuraavat kriteerit (Taulukko 15).

TAULUKKO 15. ECMO:n kriteerit

f PO ₂ /FiO ₂ < 70 mmHg, vaikka PEEP yli 10 - 15 cm H ₂ O yli 6 h
Hyperkarbia kompensoimaton, pH < 7.25 yli 2 h
Sisäänhengityksen tasannepaine korkea > 35 - 45 cm H ₂ O
Staattinen komplianssi < 30 ml/cmH ₂ O
Omatoiminen potilas ennen akuuttia sairastumista, ei vakavia sairauksia todettavissa
Kohtuullinen akuutin sairastumisen jälkeen oletettavissa oleva elämänlaatu
Palautuva vaikea keuhkovaurio
Happeuttamisindeksi (OI)>30 [OI = FiO ₂ x keski-ilmatiepaine / PaO ₂]

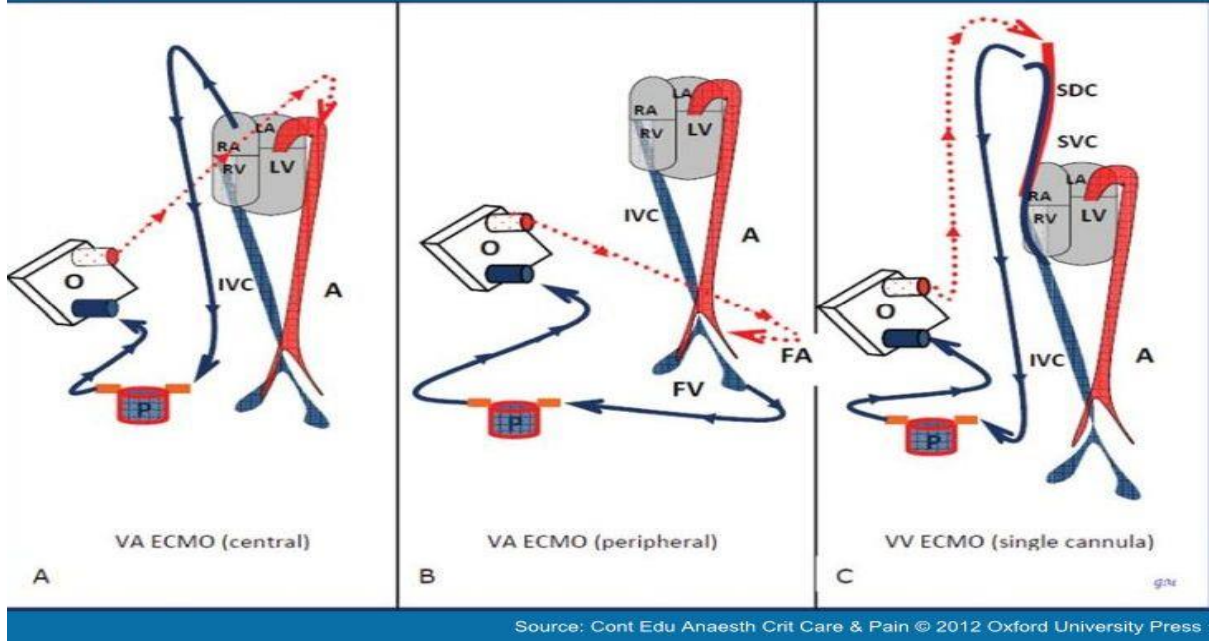
Hoidolla voidaan ylläpitää elimistön homeostaasia, kunnes sairauden aiheuttama verenkierron tai hengityksen lama on korjaantunut. Lisäksi ECMO-hoidon aikana voidaan vähentää joidenkin mahdollisesti haitallisten hoitomuotojen, kuten esimerkiksi inotrooppien käyttöä tai korkeita paineita ventilaatiossa. Kun ECMO käytetään akuutissa hengitysvajauksessa, ECMO-hoidon aikana hengityslaitesäädöt ovat varsin maltilliset: frekvenssi noin 10/min, loppu-uloshengityksen positiivinen hengitystiepaine (PEEP) 5 - 10 cm H₂O ja sisäänhengityksen tasannepaine korkeintaan 25 cm H₂O. Sisään- ja uloshengitysaikojen suhde säädetään suunnilleen 1:1:een keuhkokudoksen painevaurioiden vähentämiseksi. Jos potilaan tila sallii, sisäänhengitysilman happipitoisuus pyritään pitämään mahdollisimman alhaalla (noin 30 %). Näillä säädöillä on keuhkoissa tapahtuva kaasujen vaihto potilaalle lähes merkityksetöntä. Hoidon alkuvaiheessa kertahengitystilavuudet jäävätkin pienimmillään alle 50 ml:n. Tavoitteena on välttää keuhkovaurion pahentuminen ja antaa keuhkoille aikaa parantua ja samalla turvata ECMO:lla riittävä veren hapettaminen (Kalliomäki, Långsjö ja Kuitunen 2012). Hoitoon liittyvien mahdollisten komplikaatioiden vuoksi sitä tulee käyttää harkiten, silloin kun muut hoidot ovat osoittautuneet tehottomiksi tai haitallisiksi (Taulukko 16, s. 80).

TAULUKKO 16. ECMO vasta - aiheet (Kalliomäki, Långsjö ja Kuitunen 2012)

Suhteelliset vasta - aiheet ECMO:oon
Vaikea lihavuus
Hengityslaittehoidon kesto yli 7 vuorokautta (korkea FiO2)
Absoluuttiset vasta - aiheet
Kallon sisäinen vuoto, tuore aivotapahtuma alle 3 kk sisällä
Vaikea neurologinen vamma
Koagulopatia
Vasta-aihe elinsiirrolle
Hoidolle reagoimaton vaikea sepsis tai septinen sokki

Tutkimukset osoittavat, että vastasyntyneillä äkillisen hengitysvajeen hoidossa ECMO-hoidolla on parempi teho verrattuna tavallisiin menetelmiin, selviytymisprosentit ovat vastasyntyneillä yli 80 % (Valtonen 2012). Aikuisilla ECMO-hoitoon liittyvät tutkimusten tulokset ovat ristiriitaiset.

Jos sydän ei tarvitse välitöntä tukea, käytetään vena-vena-kiertoa (verta otetaan v. femoraliksesta ja palautetaan v. jugularis interna kautta ylempään v. cavaan). Jos sydämen toiminta ei riitä, käytetään vena-arteriakiertoa (verta otetaan v. femoraliksesta tai v. jugularis internasta ja palautetaan a. femoralikseen tai arteria carotikseen). (Valtonen 2012.) ECMO:ssa käytettävät suonireitit näkyvät kuviosta 48.



KUVIO 48. ECMO:n suonireitit.

Opinnäytetyön kysymykset oli asetettu niin, että tekijällä olisi mahdollisuus perehtyä kiinnostavaan aiheeseen laajasti ja esteettömästi. Tekijällä oli tehtävänä lähestyä aihetta sairaanhoitajan näkökulmasta. Tekijä mielti miellekartan avulla, mitkä konkreettiset asiat aiheuttaisivat hoitajalle vaikeuksia toteuttaa hengityslaitehoitoa aikuisten tehohoitotyössä, mitä teoreettista tietoa hoitaja tarvitsee halutessaan perehtyä hengityslaithoitoon perusteellisesti.

Tekijän tavoitteena oli muodostaa vaikeasta tiedosta selkeä tietopaketti, jossa monipuoliset kuvat, kuviot ja taulukot auttavat asian ymmärtämistä. Tässä tehtävässä tekijä onnistui. Ongelmana oli sopivan vaikeustason löytäminen ja työn rajaaminen. Hengityslaithoitoon perehtyminen edellyttää hyvää teoreettista taustaa, jokainen seuraava asia perustuu edellisen asian ymmärtämiseen, työn sivujen suuri määrä tässä tapauksessa on välttämätöntä.

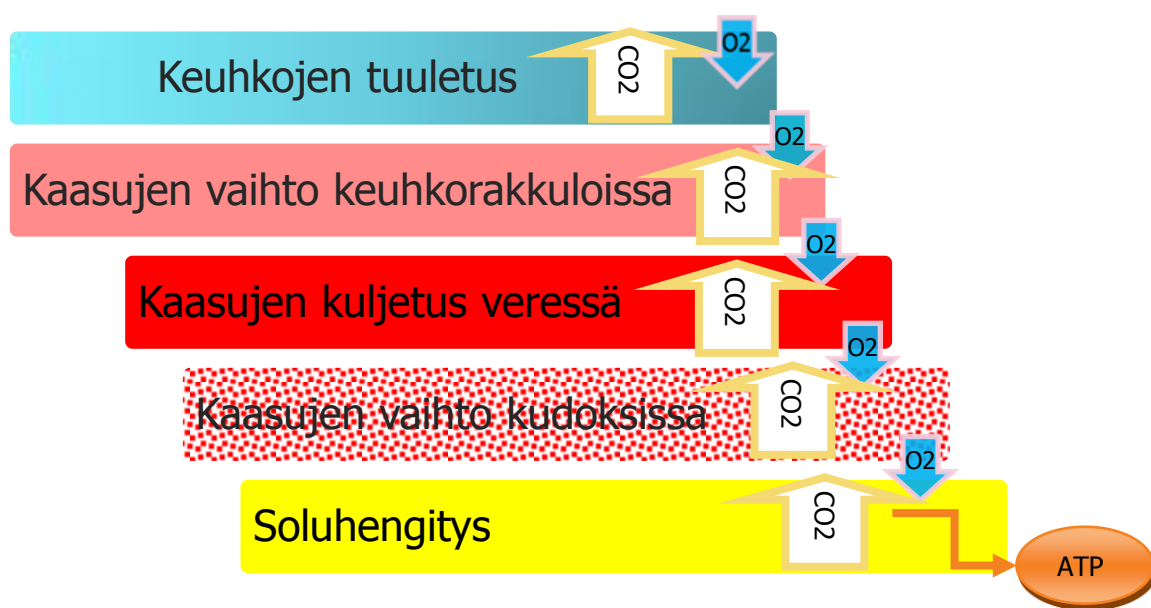
Työssä kiinnitettiin huomiota anatomiaan, fysiologiaan ja hengitysmekaniikkaan käytännön työhön yhteydessä. Tekijä kuvasi perusteellisesti manuaalisen hengityksen valvonnan lisäksi hengityksen valvonnan laitteiden avulla. Työprosessin alussa oli idea kertoa erikseen respiraatorista näkyvistä käyristä, mutta oli pakko rajoittaa työtä. Opinnäytetyössä kerrotaan lyhyesti ventilaatiomalleista ja niiden käyttötarkoituksesta, suurtaajuusventilaatiosta, kostutuksen toteuttamisesta, happihoidosta ja mekaanisen ventilaation komplikaatioista.

Tekijä on itse innostunut opinnäytetyön aiheesta, vaikka työssä esitettiin vain hengityslaithoitoon liittyvät pääkysymykset. Tekisi mieli tulevaisuudessa perehtyä hengityslaithoitoon tarkemmin.

6.1 Tulosten tarkastelu

Hengitysprosessi jakaantuu viiteen vaiheeseen (Kuvio 49, s. 83). Häirio jokaisessa vaiheessa aiheuttaa hengitysvajausta. Hengitysmekaniikka kattaa hengitysprosessissa tapahtuvat fyysikaalisten arvojen muutokset. Hengitystyö kasvaa, jos hengitystiheys kasvaa, keuhkojen komplianssi laskee ja hengitysteiden vastus kasvaa. Patologisessa olosuhteessa (sairauden seurauksena) hengitystyö on kuluttavaa toimintaa, ja se vie jopa 40 % elimistöön tuomasta hapesta. Hengitystyön voimakas kasvu on kriteeri ventilaation aloittamiselle.

Hengityksen valvontaa eli seuranta voidaan tehdä manuaalisesti tai laitteiden avulla. Hengitysvalvonta jaetaan hengitystyön ja kaasujenvaihdon valvontaan. Hengitystyötä arvioidaan hengitysmekaniikan arvojen avulla ja laskemalla hengitystaajuutta. Kaasujen vaihdon valvonnassa seurataan happeuttamista (arvioidaan happikyllästeisyyttä) ja tuulettamista (arvioidaan hiilidioksidipitoisuutta). Teknologian kehittymisestä huolimatta tehohoitotyö vaatii myös inhimillisyyttä. Hoitajan rooli on kuitenkin havainnoida muutoksia potilaan voinnissa, olla jatkuvassa vuorovaikutuksessa potilaan kanssa, tehohoitotyössä hoitaja on potilaan puolestapuhuja.



KUVIO 49. Hengitysprosessi (Kosovskaya 2015)

Hengityslaittehoito tarkoittaa hengityksen tukihoidtoa hengityslaitteen avulla. Nykyaikainen ventilaattori hengityksen tukihoidon lisäksi toimii monitorointilaitteena, joka näyttää reaaliaikaiset paine-tilavuus- ja virtauskäyrät. Hengityslaittehoitoa ei voida toteuttaa erikseen muista hoidoista, kuten happiterapia, hengitysilman kostutus, vatsa-asentohoito jne. Hengityslaittehoito voi johtua komplikaatioihin. Hengityslaittehoitoon liittyvä keuhkokuume VAP on hengityslaittehoitoon yleisin komplikaatio. VAP:n seurauksena hoitoaika pitenee, hoidon kustannukset kohoavat, potilaiden kuolleisuus kasvaa. VAP:n ehkäisyssä hoitajalla on keskeinen rooli. Vakavassa happeuttamishäiriössä harkitaan ECMO-hoitoa, jolloin verta hapeutetaan kehon ulkopuolella ja palautetaan elimistöön.

6.2 Opinnäytetyön eettisyys ja luotettavuus

Työn tekemisessä tekijä halusi toimia eettisesti oikein. Tekijä oli hyvin kiinnostunut aiheesta, joka oli valittu varhaisessa opiskeluvaiheessa. Tekijä miettii aiheeseen liittyvät kysymykset harjoittelun aikana teho-osastolla. Tietoa hengityksen fysiologiasta ja hengitysvalvonnasta hoitajat tarvitsevat arkityössä, koska hengityksen fysiologia ja hengityksen valvonta kuuluvat sairaanhoitajan ammatilliseen osaamiseen (Eriksson, Korhonen, Merasto ja Moisio 2015, 63). Hengityslaitehoito on erikoisalue, josta opiskelun aikana hoitajat saavat pinnallista tietoa. Teho-osastoon tullessaan nuoret hoitajat perehtyvät hengityslaitetehoon käytännöntyön kautta (Copede Guilhermino, Inder, Sundin ja Kuzmiuk 2014). Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen. Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, eivätkä sen aihe tai sitä ohjaavat kysymykset asettaneet mitään ihmis- tai potilasryhmää väheksynnän kohteeksi. Lähdemerkinnät tehtiin huolellisesti silloin, kun käytettiin toisten tuottamaa tietoa. Tutkimuksen tarkoituksena oli koota, jäsentää ja esittää olemassa olevaa tietoa.

Suosittelaa vähintään kaksi tutkijaa kirjallisuuskatsauksen tekemiseen, jotta kirjallisuuskatsaus olisi luotettava. Kyseinen työ on narratiivinen kirjallisuuskatsaus, tekijän tapa hakea tiedot, tehdä valinnan, käsitellä tietoa voisi johtua ongelmaan kriittisen tarkastelun osalta (Johansson 2007, 4). Tässä työssä tekijä kuitenkin keräsi ja analysoi kirjallisuutta yksin, mikä voi olla työn heikkous.

Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat tekstin rakenteellinen muotoilu sekä löydettyjen käsitteiden selkeä kuvaus ja niiden onnistunut nimeäminen (Paunonen ja Vehviläinen-Julkunen 1998, 220). Tutkijalla on kehitettävää suomen kielen osaamista, myös käsitteiden eri kielellä yhteensopivuus joskus tuntui vaikealta. Työn aihe on vaikea, kirjallisuudesta löytyy ristiriitaisia mielipiteitä samasta asiasta. Vaikeissa tapauksissa tutkija pyrkii etsimään selkeät kuvat luotettavista lähteistä mieluummin englannin kielellä. Käsitteet ja lyhenteet annettiin sekä suomeksi että englanniksi. Venäjänkielisistä lähteistä kerätyt tiedot opinnäytetyössä varmistetaan ja analysoidaan käyttämällä luotettavia suomenkielisiä ja englanninkielisiä lähteitä. Opinnäytetyöprosessin loppuvaiheessa tekijä kiinnitti huomionsa siihen, että tulosten esittelyssä oli käytetty muita lähteitä, kuin haun kautta saatu aineisto. Tämä on opinnäytetyön puute.

Yhteensä työssä käytettiin 26 artikkelia, yhtä väitöskirjaa ja yhtä pro gradu -tutkimusta, myös paljon tietoa on löydetty Duodecim- ja Finnarest-tietokannoista, työssä hyödynnettiin oppimisporttaleja ja sivustoja, joista löydettiin kuvia, animaatioita ja videoita. Tekijän tavoitteena oli monipuolisesti ja selkeästi vastata tutkimuskysymyksiin, sen vuoksi työssä hyödynnettiin runsaasti kuvioita ja taulukoita.

6.3 Opinnäytetyön merkitys

Tekijä valitsi opinnäytetyön aiheen harkiten, tavoitteena oli perehtyä kiinnostavaan ja esikatselulla monimutkaiseen teemaan, joka tulee vastaan tehohoitajan arkityössä. Syventävää harjoittelua ajattelen tekijä kerää tietoa avainasemassa olevasta peruselinhäiriöstä kirjallisuuskatsauksen avulla. Opinnäytetyön menetelmä edistää tutkijan suomen kielen taidon parantamista ja samalla tutkija tutustuu tehohoidon terminologiaan. Työ voisi olla hyödyllinen myös muille hoitoalan opiskelijoille, koska siitä löytyy tärkeät hengitysfysiologiaan, hengitysvälvontaan ja hengityslaittehoitoon liittyvät tiedot.

6.4 Ammatillinen kasvu

Hoitotyön osaaminen edellyttää sairaanhoitajalta monitieteistä tietoperustaa (Eriksson ym. 2015, 24). Hengityksen fysiologia ja hengityksen valvonta ovat tärkein osa kliinisestä osaamisesta. Perehtymällä työn aiheeseen tekijä loi itselle hyvän tietoperustan tulevaa työtä varten. Tehohoito on nopeasti kehittyvä ja teknistyvä ala. Tehohoitotyö on fyysisesti ja henkisesti raskasta työtä sekä teknisesti vaativaa ja asiantuntijuuteen perustuvaa hoitotyötä. Hengityslaittehoito on yleisin hoitomuoto teho-osastolla. Ymmärtämällä hengityslaittehoitoon periaatteet tekijä voisi tehokkaasti hyödyntää perehdytysaikaa työpaikassa esimerkiksi valvontayksikössä, perioperatiivisessa yksikössä tai teho-osastolla. Tehopotilas on kriittisesti sairas potilas, hän on menettänyt riippumattomuutensa, koskemattomuutensa ja yksityisyytensä. Sairaanhoitajat vastaavat hengityskonehoidossa olevan potilaan kokonaisvaltaisesta hoidosta, jolloin hoitajan eettinen osaaminen korostuu. Itsensä kehittäminen on yksi sairaanhoitajan kompetensseista.

Tekijä valitsi kirjallisuuskatsauksen opinnäytetyön menetelmäksi ajattelen omaa ammattikasvua. Opinnäytetyönprosessin kautta tekijä kehitti tiedonhankintataitoa, tutustui monipuoliseen kirjallisuuteen, oppi suunnittelemaan omaa toimintaa, ja tekijän suomen kielen

taidot kehittyivät merkittävästi. Työprosessin aikana tekijä joutui miettimään tehohoitoon liittyviä eettisiä kysymyksiä.

LÄHTEET

- AARNIO, A., MARILA, I., KNUTAR, A., KOIVISTO, J., PALONEN, M., PESONEN, T., RAJASUO, A., RYTKONEN, J., SAARELA, A., SUOKAS, S. ja VARRIO, A. 2012. Sormet suussa tehosi-
osastolla. Tehohoito 30(1).
- AITTOMÄKI, J. ja VALTA, P. 2014a. Soluhengitys. Teoksessa: ROSENBERG, T., ALAHUHTA, S.,
LINDGREN, L., OLKKOLA, K. ja RUOKONEN, E. (toim.) Anestesiologia ja tehohoito. 3. uudis-
tettu painos. Duodecim.
- AITTOMÄKI, J. ja VALTA, P. 2014b. Hengityselimistön rakenne ja toiminta. Teoksessa: RO-
SENBERG, T., ALAHUHTA, S., LINDGREN, L., OLKKOLA, K. ja RUOKONEN, E. (toim.) Anes-
tesiologia ja tehohoito. 3. uudistettu painos. Duodecim.
- AITTOMÄKI, J. ja VALTA, P. 2014c. Tuuletuksen ja verenkierron jakautuminen keuhkoissa.
Teoksessa: ROSENBERG, T., ALAHUHTA, S., LINDGREN, L., OLKKOLA, K. ja RUOKONEN, E.
(toim.) Anestesiologia ja tehohoito. 3. uudistettu painos. Duodecim.
- AITTOMÄKI, J. ja VALTA, P. 2014d. Hengittäminen spontaanisti ja mekaanisesti. Teoksessa:
ROSENBERG, T., ALAHUHTA, S., LINDGREN, L., OLKKOLA, K. ja RUOKONEN, E. (toim.) Anes-
tesiologia ja tehohoito. 3. uudistettu painos. Duodecim.
- AITTOMÄKI, J. ja VALTA, P. 2014e. Keuhkotilavuudet. Teoksessa: ROSENBERG, T., ALAHUH-
TA, S., LINDGREN, L., OLKKOLA, K. ja RUOKONEN, E. (toim.) Anestesiologia ja tehohoito. 3.
uudistettu painos. Duodecim.
- AITTOMÄKI, J. ja VALTA, P. 2014f. Keuhkojen komplianssi. Teoksessa: ROSENBERG, T.,
ALAHUHTA, S., LINDGREN, L., OLKKOLA, K. ja RUOKONEN, E. (toim.) Anestesiologia ja teho-
hoito. 3. uudistettu painos. Duodecim.
- ANNALA, K. 2005. Keuhkoleikkauspotilaan hyvä hoito. Finnarest, 38 (1) Saatavissa:
http://www.finnanest.fi/files/a_annala.pdf
- AROLA, O. 2009. Non-invasiivinen ventilaatio tehohoidossa ja tehovalvonnassa. Tehohoito
27(1).
- BERSTEN, A.-D., EDIBAM, C., HUNT, T. ja MORAN, J. 2002. Incidence and mortality of acute
lung injury and the acute respiratory distress syndrome in three Australian States. Ameri-
can Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 165: 443-448.
- BJALIE, J.G., HAUG, E., SAND, O., SJAASTAD, Q.V. ja TOVERUD, K.C. 1999. Ihminen. Fysiolo-
gia ja anatomia. Werner söderström osakeyhtiö. Porvoo-Helsinki-Juva.
- BRANDER, E.P. 2013. Hengitysvajaus. Duodecim. Saatavissa:
[http://www.terveysportti.fi.ezproxy.savonia-
amk.fi/dtk/ltk/koti?p_artikkeli=ykt00164&p_haku=hengitysvajaus](http://www.terveysportti.fi.ezproxy.savonia-amk.fi/dtk/ltk/koti?p_artikkeli=ykt00164&p_haku=hengitysvajaus)

- BLOMSTER, M., MÄKELÄ, M., RITMALA-CASTREN, M., SÄÄMÄNEN, J. ja VARJUS, S. 2001. Tehohoitotyö. Tampere.
- COPEDE GUILHERMINO, M., INDER, K.-J., SUNDIN, D. ja KUZMIUK, L. 2014. Education of ICU nurses regarding invasive mechanical ventilation: Findings from a cross-sectional survey. *Australian Critical Care* 27 (3).
- ERIKSSON, E., KORHONEN, T., MERASTO, M. ja MOISIO, E. 2015. Sairaanhoidajan ammatillinen osaaminen. Sairaanhoidajakoulutuksen tulevaisuus - hanke. Ammattikorkeakoulujen terveystieteen verkosto ja Suomen sairaanhoidajaliitto ry. Saatavissa: <https://www.tehy.fi/@Bin/31009045/loppuraportti-sairaanhoidajan-ammattillinen-osaaminen.pdf>
- ETENE 2006. Tutkimuksen eettinen arviointi Suomessa. [viitattu 2014 - 05 - 10]. Saatavissa: http://www.etene.fi/c/document_library/get_file?folderId=17145&name=DLFE-529.pdf
- GORJACHOV, A. ja SAVIN, I. 2013. Fundamentals of mechanical ventilation. Moskova.
- JOHANSSON, K. 2007. Kirjallisuuskatsaukset – huomio systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen. Teoksessa JOHANSSON, K., AXELIN, A., STOLT, M. ja ÄÄRI, R. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turku: Digipaino – Turun yliopisto.
- JUNTILA, E. 2014a. Hengityksen valvonta. Teoksessa: NIEMI - MUROLA, L., JALONEN, J., JUNTILA, E., METSÄVAINIO, K. ja PÖYHIÄ, R. (toim.) Anestesiologian ja tehohoidon perusteet. Duodecim.
- JUNTILA, E. 2014b. Yleistä peruselintoimintojen häiriöistä. Teoksessa: NIEMI - MUROLA, L., JALONEN, J., JUNTILA, E., METSÄVAINIO, K. ja PÖYHIÄ, R. (toim.) Anestesiologian ja tehohoidon perusteet. Duodecim.
- HEITZ, U. ja HORNE, M. 2014. Pocket guide to fluid, electrolyte and acide – base balance. Fifth edition. Elsevier MOSBY. BINOM. Moskva.
- HEMINGWAY P. 2009. What is a systematic review? University of Sheffield. Saatavissa: <http://www.medicine.ox.ac.uk/bandolier/painres/download/whatis/syst-review.pdf>
- HESS, D.-R. 2013. Noninvasive ventilation for acute respiratory failure. *Respiratory care* 58 (6).
- HILLIER, B., ILSON, C., CHAMBERLAIN, D. ja KING, L. 2013. Preventing ventilator-associated pneumonia through oral care, product selection, and application method. Literature Review. *AACN Advanced Critical Care* 24 (1), pp.38-58. Saatavissa: http://www.nursingcenter.com/Inc/JournalArticle?Article_ID=1494834&Journal_ID=&Issue_ID=
- GET BODY SMART. Human anatomy & physiology an online exploration. [viitattu 2015 - 09 - 23]. Saatavissa:

[http://www.getbodysmart.com/ap/respiratorysystem/lungs/respiratorymembrane/tutoria
l.html](http://www.getbodysmart.com/ap/respiratorysystem/lungs/respiratorymembrane/tutoria
l.html)

HUS 2015. Helsingin Yliopistollinen Sairaala. Tehohoito. [viitattu 2015 – 3 - 12]. Saatavissa:
<http://www.hus.fi/sairaanhoito/sairaanhoitopalvelut/tehoahoito/Sivut/default.aspx>

KAAKINEN, T. 2013. Kapnometri. Akuuttihoitoon laitteet. Duodecim. Saatavissa:
<http://www.terveysportti.fi.ezproxy.savonia.fi/dtk/aho/koti>

KALLIOMÄKI, J., LÅNGSJÖ, J. ja KUITUNEN, A. 2012. Äkillinen vaikea hengitysvajaus ja ke-
honulkoisen happeutushoito (ECMO). FINNAREST 45(5).

KARJULA, E. ja MERILÄINEN, M. 2015. Vatsa-asentohoito-ohjeistuksen laatiminen - mo-
niammatillista yhteistyötä OYS:n operatiivisen tulosalueen tehohoidossa. Tehohoito 2015,
33 (1).

KARHU, J. 2015. Vakavan keuhkokuumeen hoito. Oulun yliopistollinen sairaala. [viitattu
2015 – 05 - 27]. Saatavissa:
[http://sshy.fi/data/documents/luennot/Vaikeiden_infektioiden_alkuhoito-
symposium_5.5.2011/Vakavan_keuhkokuumeen.pdf](http://sshy.fi/data/documents/luennot/Vaikeiden_infektioiden_alkuhoito-
symposium_5.5.2011/Vakavan_keuhkokuumeen.pdf)

KONTIO, E. ja JOHANSSON, K. 2007. Systemaattinen tarkastelu alkuperäistutkimuksen laa-
tuun. Teoksessa JOHANSSON, K., AXELIN, A., STOLT, M. ja ÄÄRI, R. (toim.) Systemaattinen
kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turku: Digipaino – Turun yliopisto.

KO, H., YU, W., LIEN, T., WANG, J., SLUTSKY, A. 2013. Care Unit-Acquired Bacteremia in
Mechanically Ventilated Patients: Clinical Features and Outcomes. PLoS One. 2013; 8(12):
e83298.

KYLMÄ, J. ja JUVAKKA, T. 2007. Laadullinen terveystutkimus. Helsinki: Edita publishing Oy.

KÄYPÄ HOITO 2014. Hengitysvajaus (äkillinen). [Julkaistu 2014-05-23]. [viitattu 2015 - 5 -7].
Saatavissa:
[http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suosituks/suosituks;jsessionid=1265D08D67C901887E
08E0C800434D4E?id=kht00056](http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suosituks/suosituks;jsessionid=1265D08D67C901887E
08E0C800434D4E?id=kht00056)

LAKI POTILAAN ASEMASTA JA OIKEUKSISTA. L 785/1992. Finlex. Lainsäädäntö. [viitattu
2015 - 11 -25]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920785>

TERVEYDENHUOLTOLAKI. L 1326/2010. Finlex. Lainsäädäntö. [viitattu 2015 - 11 -25]. Saa-
tavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101326>

LATVALA, E. ja VANHANEN-NUUTINEN, L. 2003. Laadullisen hoitotieteellisen tutkimuksen
perusprosessi: sisällönanalyysi. Teoksessa JANHONEN, S. ja NIKKONEN, M. (toim.) Laadulli-
set tutkimusmenetelmät hoitotieteessä. Helsinki: WSOY.

LEBEDINSKIY, K., MAZUROK, V. ja NEFEDOV, A. 2008. Fundamentals of respiratory support.
St-Petersburg. Saint – Petersburg. Cheloveck.

- LEBEDINSKIY, K., MAZUROK, V. ja LEVIKOV, D. 2015. Mekaaninen ventlaatio ja ventilaatiomallit. Opetusvideo. Business - Contact. Saatavissa:
<https://www.youtube.com/watch?v=QCKBgqRHLSk>
- LEINO-KILPI, H. ja VÄLINÄKI, M. 2009. Etiikka hoitotyössä. 5., uudistettu painos. WSOY. Oppimateriaalit Oy.
- LEHTONEN, V. 2011. Hengityslaittehoitoon liittyvän keuhkokuumeen ehkäisy. Tehohoito 29 (1).
- LINKO, R. 2012. Incidence, treatment and outcome of critically ill patients with acute respiratory failure. Academic dissertation. University of Helsinki.
- LUND, V. 2011. Milloin aikuispotilaan hoito teho-osastolla on tarpeen? Suomen Lääkärilehti 13/2011 vsk 66
- MBBS. MEDICINE. [viitattu 2015 – 09 - 30]. Saatavissa:
<http://medicinembbs.blogspot.fi/2011/05/normal-values-and-concentrations.html>
- Medical monitoring 2015. [viitattu 2015 – 10 - 11]. Saatavissa.
http://www.symona.ru/school/monitoring-methods/monitoring-methods_30.html
- MILDH, L. ja LOMMI, J. 2013. ECMO eli kehon ulkoinen happeuttaminen sydämen vajaatoiminnan hoidossa. Sydänääni 2013 n 24:1A Teemanumero.
- MOKHBERI, F. 2015. Pneumothorax and hemothorax. Saatavissa:
<http://www.slideshare.net/Farshidmokhberi/pneomothorax-hemothorax-by-farshid-mokhberi>
- NIEMINEN, I. 2007. Valvontayksikön sairaanhoitajan erityisosaaminen keuhkosairautta sairastavan potilaan hoitotyössä. Pro gradu-tutkielma. Tampereen yliopisto. Saatavissa:
<https://tampub.uta.fi/bitstream/handle/10024/78126/gradu01915.pdf?sequence=1>
- NIEMI-MUROLA, L. 2014. Hengitysvajauksen hoidon pääperiaatteet. Teoksessa: NIEMI-MUROLA, L., JALONEN, J., JUNTULA, E., METSÄVAINIO, K. ja PÖYHIÄ, R. (toim.) Anestesiologian ja tehohoidon perusteet. Duodecim.
- OLSBO-NURMINEN, M. SALANTERÄ, S. ja LUNDGREN-LAINE, H. 2013. Vap:n ehkäisyä tukeva suunhoito – näyttöön perustuva mallisivu potilastietojärjestelmään. Tehohoito 31 (1).
- OPETUSMINISTERIÖ 2006. Ammattikorkeakoulusta terveydenhuoltoon. Koulutuksesta valmistuvien ammatillinen osaaminen, keskeiset opinnot ja vähimmäisopinnot. Opetusministeriön työ-ryhmämuistioita ja selvityksiä. [viitattu 2014 – 2-12]. Saatavissa:
<http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2006/liitteet/tr24.pdf>
- PAUNONEN, M., VEHVILÄINEN-JULKUNEN, K. ja SÖDESTRÖM, W. 1998. Hoitotieteen tutkimusmetodiikka. Juva: WSOY.

PELTONEN, P. ja SUOMINEN, T. 2008. Sairaanhoidaja tehohoitopotilaan edustajana. Tutkiva hoitotyö 6 (2).

PELTONIEMI, O. ja KALLIO, M. 2013. Hengityskonehoito lasten tehohoidon aikana. Tehohoito-lehti 31 (1).

PUDAS-TÄHKÄ, S.-M. ja AXELIN, A. 2007. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen aiheen raja- ja hakutermit ja abstraktien arviointi. Teoksessa JOHANSSON, K., AXELIN, A., STOLT, M. ja ÄÄRI, R. (toim.) Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turku: Digipaino – Turun yliopisto.

REINIKAINEN, M. ja UUSARO, A. 2002. O₂, CO₂ ja hengityslaitehoito. Finarest 35 (2). Saatavissa: http://www.finnanest.fi/files/a_reinikainen.pdf

RITMALA-CASTREN, M. ja LABEAU, S. 2012. Tunneemmeko infektioiden ehkäisyyn kansainväliset hoitosuosituks? Tehohoito 30 (1).

ROUSSOS, C. ja KOUTSOUKOU, A. 2003. Respiratory failure. The European respiratory journal. Supplement European Society for ClinicalRespiratory Physiology 47.

Saini, S 2015. Pulmonary artery catheter for cardiac pressory monitoring and its role in anesthetic practice. Grate Britain Hospital, Delfi. Saatavissa: <http://www.slideshare.net/inbaaras/pulmonary-arterycatheter2>

SATISHUR 2007. Mecanical ventilation of lungs. Moskva. Medical literature.

SCHWABBAUER, N., BERG, B., BLUMENSTOCK, G., HAAP, M., HETZEL, J. ja RIESSEN, R. 2014. Nasal high-flow oxygen therapy in patients with hypoxic respiratory failure: effect on functional and subjectiverespiratory parameters compared to conventional oxygen therapy and non-invasive ventilation (NIV). BMC Anesthesiology doi: 10.1186/1471-2253-14-66. eCollection 2014.

SHIELDS, T.W., LOCICERO, J., PONN, R.B. ja RUSCH, V.W. 2005. General thoracic surgery. Sixth edition. Saatavissa: http://www.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=wBBIKR_sQMYC&oi=fnd&pg=PA104&dq=+Mechanics+of+Breathing&ots=SJkP0ZWQK9&sig=PHQNIGG9IBO2jqXTyH5eAFTW4bE&redir_esc=y#v=onepage&q=Mechanics%20of%20Breathing&f=false

SILIUS, K. 2005. Sisällönanalyysi. Oppimateriaali. [Viitattu 2014-11-02]. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: http://matwww.ee.tut.fi/hmopetus/hmjatkosems04/liitteet/JOS_hypermedia_Silius150405.pdf

SIIRALA, W. 2014. Korkeavirtaushappiterapian käyttö aikuispotilailla. Tehohoito 32 (2).

SOLUNETTI.FI 2006. [viitattu 2015 – 4 - 23]. Saataviissa: http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/solun_aineenvaihdunta/2/

SUD, S., FRIEDRICH, JO., ADHIKARI, NK., TACCONE, P., MANCEBO, J., POLLI, F., LATINI, R., PESENTI, A., CURLEY, MA., FERNANDEZ, R., CHAN, MK, BEURET, P., VOGGENRETER, G., SUD, M., TOGNONI, G., GATTINONI, L ja GUERIN, C. 2014. Effect of prone positioning during mechanical ventilation on mortality among patients with acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis. Canadian Medical Association Journal 186(10):E381-90.

TAMARKIN, D.A. 2011. Anatomy & physiology. Springfield Technical Community College. Springfield, Massachusetts. Saatavissa:
<http://faculty.stcc.edu/AandP/AP/AP2pages/Units21to23/respiration/volumes.htm>

TAMMINEN, J. 2014. Kohti turvallista terveydenhuoltoa. Tehohoito 32 (2).

TILAKARATNA, P. 2012. Anaesthesia equipment. Saatavissa:
<http://www.howequipmentworks.com/>

TUOMINEN, J. ja SARAJÄRVI, A. 2012. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 9. Painos. Helsingi: Tammi.

VALTONEN, M. 2012. Äkillisen hengitysvajauksen hoito kehonulkoisella happeuttamisella (ECMO). Tehohoito 28(3).

VARPULA, T. 2014. Vatsa-asennon käyttö hengitysvajauksessa. Käypä hoito. Saatavissa:
<http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suosituksset/suositus?id=nak05259>

VARPULA, T., HALME, M. ja MAASILTA, P. 2012. Akuutin hengitysvajauksen ventilaatiohoito. Akuuttihoito - opas.

VARPULA, T, PETTILA, V. 2014. Hengitysmalli. Teoksessa: ALAHUHTA, S., LINDGREN, L., OLKKOLA, K., RUOKONEN, E. ja ROSENBERG, P. (toim.) Diodecim.

VUORI, A. 2010. Miten kostutan hengitysilman? Tehohoito 2010 28 (2).

WARD, J 2013. High-flow oxygen administration by nasal cannula for adult and perinatal patients. Respiratory care 58, 98 – 122.

WEBSTER, N.R. 1999. Monitoring the critically ill patient. Educational review. Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh 4 (6), 386 - 93. Saatavissa:
http://www.rcsed.ac.uk/RCSSEDBackIssues/journal/vol44_6/4460032.htm

YLIPALOSAARI, P. 2009. Hengityslaittehoitoon liittyvän keuhkokuumeen (VAP) estäminen. Tehohoito 27 (1).