

Terapeuttinen hengityskone

VAROITUS! Teksti sisältää yhtä tai useampia seuraavista: uskonnollisesti tai poliittisesti värittyä, mielipidevaikuttaminen, terveyteen liittyvä.
// 7.12.2021 Ylläpito

□

Sisällys

- [1 Johdanto](#)
- [2 Perusrakenne ja toimintaperiaate](#)
 - [2.1 Hengitysilman-/hapensyöttökoneisto](#)
 - [2.2 Hengityksen rytmittäjäkoneisto](#)
 - [2.2.1 Esimerkinomaisesti erilaisia hengitysrytmejä](#)
 - [2.3 Uloshengitysilman poistoputkisto](#)
- [3 Laitteistoon tarvittavien osien inventaario](#)
- [4 Muuta huomionarvoista](#)

Johdanto

Tässä artikkelissa selostetaan sanallisesti, miten rakennetaan/valmistetaan erityisillä tavoin terapeuttinen [hengityskone](#). Laite soveltuu niin sairaalaolosuhteisiin kuin kenttäolosuhteisiin. Kysymyksessä on yhteensä neljää potilasta tekohengittävä yksi laitteisto. Hengityspäätteitä on yhden sijasta neljä siitä syystä, että laitteiston erittäin yksinkertainen ja varsin varmatoiminen rakenne ja toimintaperiaate tarjoaa "samalla hinnalla" yhden hengityskonepaikan lisäksi kolme ylimääräistä hengityskonepaikkaa teknisesti samalla laitteistolla, joten tietenkin neljälle potilaalle kannattaa laite suunnitella eikä yhdelle. Hengityskonepotilaiden hengitysrytmit ovat muuten kukin ominaisuuksiltaan erikseen yksilöllisesti säädettäviä yksiköitä, paitsi että hengityssykli on pituudeltaan kaikille potilaille yhtäläinen, sillä laitteisto kierrättää keinohengitysavusteista sisäänhengitysvaihetta yksi potilas kerrallaan, ja kunkin heistä hengityssyklin kaikkien vaiheiden alkamisviiveet ja kestoajat määräytyvät sisäänhengitysvaiheen alkamishetkestä. Laitteistossa ei ole mekaanisesti kuluvia osia, eikä se näin ollen tarvitse sellaista huoltoa, vaan lähinnä ylläpidollista kuten pölyjen pyyhintä ja hengitysilman esikostutusvesisäiliön täyttö.

Yksi tällainen laite tarjoaa 24/7 keinohengitystä korkeintaan neljälle potilaalle kaasunaamarin, hengityssuojaimen, intubaatioputken, [trakeostomian](#) tai vaikka koniotomiaputken kautta. Hengitysilma syötetään happirikastimella ('portable oxygen concentrator', jossa on mahdollisuus tarvittaessa tuottaa <96% happea), happipullosta (kentällä) tai kompressorilla ((kuljetuksessa tai kenttäsairaalassa). Kompressorin ilman lämpötilansäätö onnistuu yksinkertaisella mekaanisella pneumaattisella lisäosalla ([vortex](#)-jakoputki), joka ominaisuus erityisen kuumissa tai erityisen kylmissä olosuhteissa parantaa potilaan ennustetta (happirikastus voidaan liittää kompressorin ilmanottoon tarvittaessa, mutta vortex-putken takia osa happirikastetusta ilmasta menee

kuuman/kylmän poistoilman mukana harakoille, happirikastettu ilma on kuitenkin lähes ilmaista tuottaa, joten ei sen niin väliä). Happirikastinta lukuunottamatta laite tarvitsee 12VDC jännitettä, virrankulutus on vähäinen.

Mahdollisuus korkeaan 96% happipitoiseen ilmaan tarvitaan, koska tällainen korkea happipitoisuus desinfioi potilaan hengitysteitä (hengitystieinfektion lieveneminen, potilaan ennusteen paraneminen) ja toisaalta antaa viitteen siihen suuntaan, että happirikastin on laadukas laite. Tällaista happirikastettua ilmaa voidaan hyödyntää myöskin välineiden ja instrumenttien sekä veden desinfioinnissa sekä esimerkiksi korkean otsonipitoisuuden tuottamiseksi otsonaattoriin.

- maksimi-happipitoisuuden tuottamiseksi laitteella ja syöttämiseksi ylähengitysteihin korkeana, ilman virtaama olisi pidettävä pienenä, käytännössä tällainen skenaario neljälle rinnakkaiselle potilaalle realisoituisi tuottamalla ylähengitysteihin korkean happipitoisuuden pulsseja (hapen absorboituminen limakalvon pinnassa tehokkain), mikä onnistuisi parhaiten kytkemällä kuhunkin hengityspäätteeseen happiviikset. Puolestaan osan tai kaikkien neljän potilaan ollessa "keinohengityskytketyt" hengityskoneeseen ja ilman virtaama halutaan pitää pienempänä kuin keuhkojen tilavuudet edellyttävät (happipulssien realisoimiseksi), silloin hengityskykyisten potilaiden sisäänhengitysvaiheen kesto lyhennetään tavanomaisesta ja "hengityksenpidätysvaiheen" kesto tiputetaan pois eli että ulospuhallusventtiili avautuu heti sisäänhengitysvaiheen loputtua, jolloin ainoastaan lyhyen ja nopeasyklisen sisäänhengitysvaiheen alussa uloshengitysventtiili on kiinni, mutta sitten heti avautuu. Mahdollistaen hengityskykyisille potilaille omaehtoisen hengitysrytmin raitisilmaventtiileistään samanaikaisesti pakottaen heidän ylähengitysteihin korkean happipitoisuuden pulssit, ja että rinnankytketyt keinohengityspotilaat saavat keuhkonsa tarpeeksi täyteen happea samalla kun heidänkin ylähengitystiet saavat korkean happipitoisuuden ilmaa. Potilaiden happisaturaatiotasoa tietysti tarkkaillaan samalla.

Laite mahdollistaa mm. poliisin erikoisjoukkojen hyödyntämän hengitystekniikan, joka rauhoittaa stressireaktiota (mm. alentaen sykettä ja verenpainetta) sekä hengitysrytmin, jolla pitkäaikaisesti hengityskoneessa olleen potilaan oma hengityслиike eli pallealihas voidaan palauttaa aktiiviseksi. Hengityskoneen tuottama keinohengityksen rytmi ei estä naamari-/maskipotilasta keskustelemasta esimerkiksi huonetovereiden tai omaistensa kanssa. Samaan hengityslaitteistoon voidaan kytkeä erikokoisia ihmisiä (erikokoiset keuhkot). Samaan hengityslaitteistoon kytketyt potilaat eivät keinohengityslaitteiston kautta kontaminoidu toisistaan ja heidän uloshengitysilmansa poistuu kootusti putkea pitkin, mistä syystä esimerkiksi kenttäsairaalassa tai ylipäänsä potilashuoneeseen ei (esimerkiksi happirikastimen tarpeisiin) tarvita tehostettua ilmanvaihtoa.

Mikäli laitteiston joku moduuli vaurioituu tai hengitysrytmin ohjausmoduuli sammutetaan, kolmen potilaan keinohengitys keskeytyy (ympäristön ilman sisäänhengitys sekä uloshengitys vapautuu näistä kullakin) ja neljännen potilaan hengityspääte muuttuu happimaskiksi (jatkuva puhallus), mistä syystä tämä neljäs (ensisijainen) hengityspääte kannattaa varata naamarille tai maskille ja ensivastetarpeisiin (mm. ambulanssipotilaan manuaalinen tekohengitys elvytyksen vaatimassa rytmissä).

Laitteisto on kohtuullisen hyvin radiohäirintää/aurinkomyrskyjä sietävä, mutta esimerkiksi happisaturaatiomittarit voidaan esimerkiksi sairaalaolosuhteissa kytkeä tietokoneeseen. Myöskin hengitysrytmien säätö voidaan kytkeä tietokoneeseen (esimerkiksi potilaan nukahtaessa automaattinen hengitysrytmin muutos), mutta keinoälyhakkeroinnin/radiohäirinnän/aurinkomyrskyn keston parantamiseksi muuta kuin potilaiden statuksien seuraamista ei kannata kytkeä tietokoneeseen. Laitteiston hankintahinta saturaatiomittareineen, happirikastin poislukien, on noin 300 euroa.

Perusrakenne ja toimintaperiaate

Laitteistossa on kolme toisistaan riippumatonta toiminnallista kokonaisuutta, hengitysilman-/hapensyöttökoneisto sekä hengityksen rytmittäjäkoneisto sekä passiivisin yksisuuntaventtiilein varustettu uloshengitysilman poistoputkisto, johon liittyen potilaan hengityspäätteen välittömässä läheisyydessä (taikka esimerkiksi maskissa erillisenä venttiilinä) sisäänhengitysilmaventtiili.

Hengitysilman-/hapensyöttökoneisto

Tämä toiminnallinen kokonaisuus paineistaa sekä esikostuttaa potilaan hengityspäätteestä ulos tulevan ilman. Happirikastimen kanssa ilma edellisten lisäksi esisuodatetaan ja happirikastetaan (typen poisto). Happirikastimen on oltava sellainen, jolla voidaan tuottaa isoa ilmavirtaamaa, mikä merkitsee samalla, että rikastimen sisäinen ilmapumppu on teholtaan (paineennostokapasiteetiltaan) riittävä käytettäväksi hengityskoneen puhaltimena. Happirikastimesta lähtevät putkisto korvataan sisähalkaisijaltaan isommalla, virtausvastuksen vähentämiseksi, täten kohonneen paineennostokapasiteetin hyödyntämiseksi hengityspäätteessä. Välittömästi happirikastimen jälkeen voidaan lisäksi kytkeä sellainen avustava puhallinmoduuli, joka nostaa painetta ja pois päältä ollessaan päästää ilman lävitseen (ei esimerkiksi mäntätoiminen pumppu vaan esimerkiksi turbiinimainen puhallin).

Hengityksen rytmittäjäkoneisto

Hengityksen rytmittäjäkoneisto koostuu ilmaputkistoon yhdistetyistä (kaksiasentoisista, 'normally-closed' sekä 'normally-open' -tyyppisistä) solenoidiventtiileistä, joita ohjataan viiveajastetuin ('on/off' tyyppisin sekä 'kytkentä1/kytkentä2' -tyyppisin, periaatteessa kaikki releet voivat olla "herätevirtaohjattavia", eivät "virrankytkeytymisohjattavia" eikä niiden tarvitse olla 'infinite-loop' tyyppisiä, vaan kertatoimisuus riittää) relein. Lähtökohtaisesti käytetään erillisiä yksikanavaisia analogisia releitä, jotka herätevirtojen kautta kytketään sarjaan "infinite-loop-sykliksi". Tällöin rikkoutuvia mikropiirejä ei ole ja rikkoutunut moduuli on helppo paikantaa ja "oho, muutin vahingossa tän yhdistelmäreleen ohjelmointia ja tää mun hengityskone sekosi, miten tää korjataan ennenku mä tukehdu" -vaaraa ei ole.

Yksikanavaisia analogisia releitä käytettäessä kunkin neljän potilaan hengitysrytmin säädinruuvit olisi mahdollista ergonomisesti ryhmitellä erilleen toisistaan, jolloin periaatteessa vaikka potilas/omaiset itsekin voisi säätää niitä. Kuitenkin jos säätömahdollisuus eli rele-virtapiirilevyt tuodaan esimerkiksi piuhoilla kullekin potilaalle käden ulottuville, riskinä on piuhojen vaurioituminen käytössä tai esimerkiksi kuljetuksen yhteydessä, ja kaikkien potilaiden keinohengityksen lakkaaminen, sillä releohjaussyklin pysyminen yllä toki vaatii kaikkien sykliin kytkettyjen releiden toimimista. Potilas/omaiset voivat pyytää hoitohenkilöstä hienosäätämään potilaskohtaista hengitysrytmiä.

On olemassa sellaisia digitaalisin ohjauspaneelin varustettuja yhdistelmäreleitä, jotka soveltuvat erityisesti tähän kyseiseen hengityskone tarpeeseen. Sellainen on kuitenkin analogisesti säädettäviä releitä herkempi sähkömagneettisille häiriöille.

Neljästä analogisesta releestä koostuva sykli on myöskin helppo yksinkertaisella ohituskytkimellä vaihtaa kolmireleiseksi tai kaksireleiseksi sykliseksi. Kolmireleinen "kolmen potilaan hengityskone" saattaa soveltua joillekuille, esimerkiksi lapsipotilaille ja vauvoille, nelireleistä paremmin, sillä nämä laitteet tarjoavat hieman erilaisen hengitysrytmin. Syklissä käytössä olevien hengityspäätteiden määrällä vaikutetaan hengityslaitteen keinohengitysrytmin luonteeseen ensisijaisesti, eli vaikka olisi hengityskoneeseen kytkettynä vähemmän potilaita, aktiivisten hengityspäätteiden määrään se ei vaikuta. Yhdistelmäreleen kohdalla hengityspäätteitä pudotetaan syklistä säätämällä pois pudotettavien hengityspäätteiden solenoidien kytkettynäoloajat nolulle. Analogisista releistä muodostetussa syklissäkin voi näin toki tehdä ohituskytkimen sijaan, mutta ohituskytkintä käytettäessä esimerkiksi ei menetetä esisäätöarvoja, ja ohituskytkimien avulla kukin rikkoutunut rele/solenoidiventtiili on yksinkertaista paikantaa ja korvata uuteen "lennossa" (automaattista keinohengityssykliä tai ainakaan happimaskiominaisuutta keskeyttämättä).

Vapaana olevaa hengityspäätettä voidaan käyttää myöskin "syöttöilman ohivirtaukseen", eli mikäli potilaiden mielestä sisäänhengitysvaihe on liian pitkä tai hengityssykli heille liian nopea suhteessa sisäänhengitysvaiheen pituuteen hengityssyklissä. Syöttöilman ohivirtauksen sijaan voidaan myös pienentää työttöilman virtaamaa ja sisäänhengitysvaiheita pidentää, jolloin siis syklin kesto pitenee, potilaiden hengityksen syvyyden säilyessä entisellään. Tällöin kuitenkin, kun keinohengitetty sisäänhengitysvaihe kestää suhteellisesti pitemmän aikaa syklistä, keskusteleminen on epäluontevampaa kuin jos käytettäisiin nopeaa sisäänhengitysvaihetta ja ohivirtausta.

Uloshengityspuolella putkisto on läpimitaltaan ilmanpuhallusputkia isompaa (vähäisempi vastapaine), koska putkistossa ei ole avustavia puhaltimia, vaan normally-open -solenoidiventtiilit sekä niiden takana (tai edessä) passiiviset yksisuuntaventtiilit ("takaiskuventtiilit"). Näiden venttiilien sulkeutumista ohjataan 'normally-off' releillä, joihin on säädettävissä odotusviive ennen kytketymistään päälle sekä tietenkin päällekytkennän (ulostruphallusventtiili suljettuna eli keinohengityksen sisäänhengitysvaihe + hengityksenpidättelyvaihe) kesto aika:

- **odotusviiveellä** (hapekas ilma hengityspäätteen kautta ilman ylipainetta, mikä vastaavasti lyhentää ylipaineistusvaiheen pituutta) voidaan terapeuttisesti harjoittaa pallealihasta toimimaan aktiivisesti, ennen potilaan poistamista hengityskoneesta.
- **päällekytkennän kestoajalla** (ulostruphallusventtiilin kiinnioloaika) voidaan rauhoittaa

potilasta somaattisesti (mm. hyperventilointitarpeen rauhoittuminen ja pulssin hidastuminen) sekä toisaalta myöskin "säästää hengitysilmaa" (hapenvaihdanta keuhkoissa pidempi, hiilidioksidin pitoisuus uloshengitysilmassa korkeampi ja toisaalta "jäännöshapen" matalempi.

Ilmansyötön nopeutta (esimerkiksi happisaturaatiolaitteesta lisäpuhaltimiseen) eli virtaamaa säätämällä voidaan vaikuttaa inhalaation (sisäänhengitysvaiheen) nopeuteen/vauhdikkuuteen. Sisäänhengitysvaiheen keston puolestaan voidaan vaikuttaa sisäänhengityspoisen sekä uloshengityspoisen releiden välisiä viiveitä muuttamalla. Keuhkojen täyttöasteeseen eli hengityksen syvyyteen vaikuttaa luonnollisesti sekä virtaama että keinohengitetyn sisäänhengitysvaiheen kesto. Kuten edellä mainittu, vauhdikkaampi mutta lyhytkestoisempi sisäänhengitysvaihe mahdollistaa paremmin keskustelemisen.

- päivisin lepotilassa sisäänhengitysvaihe on pitkä ja hengitys syvä. Sisältää hengityksenpidätysvaiheen. Uloshengitysvaihe (lopputaukoineen) on pitkä.
- keskustelun aikana sisäänhengitysvaihe on lyhyempi, mutta hengitys syvä. Ei sisällä hengityksenpidätysvaihetta. Uloshengitysvaihe (lopputaukoineen) on lyhyehkö (jona aikana puhuminen tapahtuu, kesto riippuu puhetavasta), mutta tässä laitteessa se kannattaa säätää pitkäköksi, jotta puhuvan henkilön keuhkot ehtisivät tyhjenisivät tarpeeksi, jotta keuhkot ehtisivät luontevasti tyhjentyä ennen seuraavaa keinohengityksen sisäänhengitysvaihetta.
 - yksikanavaisissa releissä oleva herätevirtakytkentä/painikekytkentä toimii siten että meneillään olevan releohjausvaiheen voi myöskin keskeyttää herätevirralla/painikkeella. Näin ollen kunkin hengityspäätteen puhallusputkihaaraan voidaan kytkeä säädettävä switch-on -tyyppinen ylipaineanturi, joka laukaisee uloshengitysilman normally-open -tyyppisen solenoidi-sulkuventtiilin auki ohjausreleestä käsin, mutta sama voidaan tehdä myöskin kierrättämällä kyseisen venttiilin sulkujännitekytkentä switch-off tyyppisen ylipaineanturin kautta, mutta switch-off tyyppisessä kytkennässä on riskinä, että jos piuha katkeaa, keinohengityssykli lakkaa, koska uloshengitysventtiilin ohjausrelekytkennän katkettua venttiili jää auki-asentoonsa. Tämä riski ei ole mikään merkittävä, ellei potilaan ole tarkoitettu itse hienosäätävän ylipaineanturia ja se on epäergonomisessa paikassa. Tällainen säätömahdollisuus kannattaa potilaalle tarjota.
 - Ylipaineanturi tarjoaa releajastukselle rinnakkaisen hengityssyklin hienosäätömahdollisuuden, joka ensisijaisena regulaattorina soveltuu tietysti jutteleville potilaille paremmin kuin pelkkä aikakytkentä (aikakytkentä ensisijaisena taas soveltuu sängyssään pyöriskeleville nukkuville potilaille paremmin). Lisäksi ylipaineanturin ansiosta pystytään hienosäätämään hengityksen syvyyden kannalta sisäänhengitysvaiheen kesto hengityksenpidätysvaiheen kesto lyhentämättä.
 - (hengityspäättekohtainen) mekaaninen 'adjustable pressure relief valve' on järkevämpi ja varmatoimisempi valinta, sillä säädettävä so. elektroninen (digitaalinen) paineenmittaus relekytkentöineen vaatisi useamman moduulin yhdistämisen. Mekaaninen säädettävä ylipaineventtiili voidaan kytkeä riippumatta siitä käytetäänkö analogisia vai digitaalisia sisäänhengityksen solenoidiventtiilien ohjausreleitä.
 - mikäli potilas haluaa nimenomaan esimerkiksi keskittyä puhumaan, hänelle kannattaa edellisen lisäksi tarjota erillinen painike, esimerkiksi hätäkutsupainikkeen yhteyteen, jolla manuaalisesti vapauttaa yksittäisiä keinohengityksen pakottamia sisäänhengityksiä. Tämä painike olisi nimenomaan switch-on -tyyppiä, joka kytketään nimenomaan siihen uloshengityspotken sulkuventtiilin releen herätteeseen.
 - öisin eli nukkuessa sisäänhengitysvaihe on vauhdikkaampi ja lyhytkestoisempi, pinnallisempi ja ei sisällä hengityksenpidätysvaihetta. Uloshengitysvaihe (lopputaukoineen) on lapsilla

lyhyempi, aikuisilla pitempi.

Esimerkinomaisesti erilaisia hengitysrytmejä

Hengityskoneen solenoidiventtiileihin (muutaman millisekunnin reaktioaika) releohjaussykli vuorottelee ilman syöttöhaaraa siten, että ilmansyöttökoneisto toimii kokoajan vakiovirtaamalla ja tasaisella vastapaineella, jolloin esimerkiksi happirikastin laitteisto ei vaurioidu. Neljästä hengityspäätteestä kolme on toissijaista, joiden sisäänhengityspuolen solenoidiventtiilit ovat 'normally-closed' ja ensisijaisen hengityspäätteen 'normally-open' -tyyppinen, jonka sähkövirtaohjaus tapahtuu inversiona).

- **neljän** hengityspäätteen rytmitys
 1. sisäänhengitysvaihe **4 sekuntia**
 2. hengityksenpidätysvaihe **4 sekuntia**
 3. uloshengitysvaihe ja tauko **8 sekuntia**
- **kolmen** hengityspäätteen rytmitys
 1. sisäänhengitysvaihe **4 sekuntia**
 2. uloshengitysvaihe ja tauko **8 sekuntia**
- **kahden** hengityspäätteen rytmitys
 1. sisäänhengitysvaihe **4 sekuntia**
 2. uloshengitysvaihe ja tauko **4 sekuntia**

Uloshengitysilman poistoputkisto

Normaalitilassaan, hengityskoneen ollessa pois päältä, sammutettuna, uloshengitysilman poistoputkisto on siis avoin ja kunkin potilaan putkessa (ennen kokojaputken liitoskohtua) on takaiskuventtiili, joka on rakenteeltaan silikoniläppätoiminen yksisuuntaventtiili. Sisäänhengitysilma virtaa joko

1. välittömästi hengityspäätteen juuressa olevan takaiskuventtiilillä varustetun putkenhaaran kautta toisesta putkesta tai esimerkiksi suodatinkasetin läpi, taikka kuten hengitys-/kasvosuojaimissa / kaasunaamareissa tavallista,
2. kokonaan toisesta kohdassa pinnassa olevasta venttiilistä.
 - Ensimmäinen vaihtoehto on monipuolisemmin käytännöllinen (esim. intubaatioputki) ja käyttöönoton sekä tarviketuollon kannalta yksinkertaisempi, mutta toisaalta sisäänhengityksen alkuvaiheen hiilidioksidikuplasta johtuen epämiellyttävämpi potilaalle.
 - Toinen vaihtoehto soveltuu paremmin ylempänä mainittuun terapeuttiseen käyttöön.
 - Todennäköisesti järkevintä olisi, että olisi molemmat sekä vaihtoehto 1 että 2 käytettävissä.

Uloshengityspotken sisähalkaisijan ollessa kohtuullinen (esimerkiksi yli tuuman), virtausvastuksesta johtuva vastapaine on niin vähäinen, että tämä putki voi olla pituudeltaan kymmeniä metrejä.

- mikäli hengityskonelaitteistoon halutaan yhdistää avustettu uloshengitys (esimerkiksi ilmarinta-/vesikeuhkopotilaiden varalle), tällöin ennen kokoojahaaraliitoksia jokaisen hengityspäätteen uloshengityspotkeen tarvitaan säädettävä virtaaman säädin (esimerkiksi sairaaloista tuttu pilarinainen ilman virtausmittari) ja kokoavaan poistoputkeen pieni yksinopeuksinen "kanavapuhallin" tukemaan uloshengitystä/alipaineimuri "pakottamaan" uloshengitystä.
 - uloshengitysvaiheen ja sisäänhengitysvaiheen välissä ei varmastikaan tarvita erityistä "hengityksenpidätysvaihetta" (mikä sinänsä helposti ajastettavissa analogiseen releen

kakkosvaiheen kestoksi kun kyseisen releen infinite-cycle moodi on aktivoituna), mutta mikäli uloshengityksen imu on "pakotettua", on syytä lisätä hengityspäätekohtaisesti säädettävä alipainekytkin (kytketään rinnan ylempänä tässä artikkelissa mainittuun ylipainekytkimen kanssa, eli se keskeyttää uloshengitysenttiilin solenoidia ohjaavassa releessä meneillään olevan vaiheen.

Laitteistoon tarvittavien osien inventaario

Alla olevissa linkeissä on eräs esimerkki tällaisesta neljän potilaan hengityskonesta, eli sellaisen rakenteesta ja toimintaperiaatteesta. Suunnitelma perustuu netissä edullisesti tarjolla oleviin pääasiassa kiinalaisvalmisteisiin osiin.

- [sivu 1/4](#)
 - [sivu 2/4](#)
 - [sivu 3/4](#)
 - [sivu 4/4](#)
-
- sähkökytkennöissä käytetty symboli M viittaa yksittäiseen moninapakytkimeen tai useaan yksittäiseen kytkimeen, jolla voidaan kytkeä hengityskone pyörimään jommalla kummalla tai molemmilla nelirelemoduuleilla. Esimerkiksi toisen releohjaimen vaihtamisen tai uudelleenajastamisen ajaksi.
 - Ylipaineinen hengitysilma kannattaa syöttää useasta rinnankytketystä lähteestä, häiriötilanteiden hallitsemiseksi.
 - jotkut venttiilit, joiden on tarkoitus säätää paine-eroja, voidaan toteuttaa nesteanemometri-moduulein.
 - esimerkiksi kommunikointi uloshengitysvaiheen aikana pilli tms signaalivälineen avulla tulisi sijoittua ylipainevälille, joka toisaalta ylittää normaalin uloshengityspaineen, toisaalta alittaa triggeroimispaineen, jolla relesyklin uudelleenkohdistuu triggeroijan hengityksenpidätysvaiheeseen. ** Uloshengityspainetriggeri voidaan kytkeä aktiiviseksi esimerkiksi vain molempien sisäänhengityksen tahtien ajaksi, jolloin keskusteleva potilas pystyy hyödyntää molempia sisäänhengityksiä kommunikointiin, muiden potilaiden hengitysvaiheiden toistaessa tällöin epämukavasti, mutta ei terveydelle haitallisesti, jompaa kumpaa puolta 8-vaiheisessa hengityssyklissä, ja toisaalta yhden hengityskonepotilaan ruvetessa yltiöaasiaaliseksi, kukin voi omalla painetriggerillään puuttua asiaan.
 - näistä painetriggereistä johtuen kannattaa jokaisessa kahdeksassa hengitysvaiheessa antaa signaalit molempien yhdistelmäventtiilien solenoideille (myös vaikei venttiilin asennon kuuluisi vaihtua), tämä myös yksinkertaistaa laitteen huoltamista/toimintakunnon tarkkailua.
 - laitteen kotelointi kannattaa olla metallia, ja se mekaanisesta vipukytkimestä yhdistettävissä taikka irrotettavissa virtapiirin negatiivisesta navasta sekä tietysti maadoitettavissa (faradayn häkki). Laitteen jokaiseen positiivisen navan johdinväliin kannattaa kytkeä pikku ledivalo, joiden negatiivinen karva kytketty metallikoteloon. Tällöin ledeistä voidaan ilman perehdytystäkin tarkastella virtapiirin toimintaa ja raportoida viasta virransyötössä (ei kuitenkaan vikaa varsinaisessa komponentissa ledin perusteella). Kytkemällä negatiivinen napa irti kopasta, ledi-indikaattorit samalla

sammuvat (esim. yöksi / virransäästö).

- laitteen kotelointi voi olla myös läpinäkyvää akryylimuovia, havainnollisuuden vuoksi. Tällöin kytkentäjohtot kannattaa korvata siististi taivutellusta jäykästä kuparilangasta, jotka viimeistelyvaiheessa sähköeristetään erivärisin kutistesukin havainnollisuuden vuoksi. Päät, joihin kiristysruuviliitos, eli mm. sokerinpala, kannattaa viilata puolikuuksi. Komponenttien kiinnitysalustaksi soveltuu esimerkiksi ohut muovinen leikkulauta, josta voi leikata esimerkiksi vinolävistäjän kotelolaatikkoon, jolloin sitä ei tarvitse erikseen kiinnittää paikoilleen. Moduulit, joissa on painikkeita, kannattaa ankkuroida pleksikuoren sisäpintaan siten, että painikkeiden kohtiin on tehty reiät. Ennen ankkurointia kannattaa esimerkiksi paperisuikaleen avulla voidella reiän sisäkyljet silikonivoiteluaineella, jotta ankkuroinnin jälkeen voidaan esimerkiksi täyttää reikä silikoniliiman kaltaisella massalla, jota painamalla painike toimii vesitiiviin kuoren läpi.
- hengityslaitteessa käytettävä venttiilityyppi voidaan tilata myös "mittatilauksena" tärkeitä venttiilivalmistajilta.
 - tällöin ei välttämättä kannata muuttaa venttiilistää sellaiseksi, ettei se olisi edelleen tarvittaessa koottavissa irtoventtiileistäkin.
 - Manuaalivipujen kuuluu liikkua automattimoodin aikana, jotta lapsikin pystyy oppimaan ja imitoimaan relesykin käyttämää rytmiä.
- mittatilauksena venttiili voisi myös olla 360° pyörivä venttiili, jolloin molemmat moduulit (eli 4 * 5-tieventtiili) integroituisivat yhdelle pyörivälle akselille. Tällaisessa toteutuksessa poistuu tarve sähköreleille, mutta toisaalta myöskin hengitysvaiheiden kestojen potilaskohtainen säätömahdollisuus kömpelöityy.
 - ulompi sylinteri, jossa kohtisuorat pneumaattisten putkien lähdöt ja pyörivää sisäakselia läpäisevät esimerkiksi 60° vinokulmalävistäjän suuntaiset venttiilikanavat (virtauksen jako vuorotellen kahteen tai miksei neljäänkin eri lähtöön, sillä osa voi olla läpäiseviä ja osa kylkiuritettuja venttiilikanavia), joiden venttiilikanavien poikkileikkauksen muodolla (ympyrä vs. litteä) voidaan vaikuttaa siihen monenko asteen suuruisen kiertokulman ajan pneumaattinen kanava on auki ja miten äkkinaisesti kanavayhteys aukeaa (lähtökohtaisesti pyöreä venttiilikanava ja 180° + 180°). Nylon-/teflonttiiviste tarvitaan vain tulopuolen lieriölle sisäakselia vasten. Mikäli tämä tulopuolen putkiliitoskohta (lieriöosuus ulkoakselissa olisi pyöriteltävissä, silloin voisi hienosäätää lähtökanavien aukioleiden vaihteita, mutta todennäköisesti tällainen säädettävyyden heikentää laitteiston toimintavarmuutta suotta.
 - todennäköisesti kätevämpi (edullisempi valmistaa) venttiilikanavatyypin on sisempään akseliin kylkiurittaminen, ja tällä tavoin venttiiliakselille on myös yksinkertaista toteuttaa versiossa 1 kuvailtu 8-vaiheinen hengityssykli.
- periaatteessa vieläkin yksinkertaisempi tapa toteuttaa (esimerkiksi version 1 mukainen 8-vaiheinen) venttiilistö olisi putkenomainen sisäakseli, jonka toisesta päästä sisäänhengitysilman syöttökanava, välissä tulppaus ja putken toisessa päässä ulkoshengitysilman poistokanava. Tahdistus toteutettu pyöreän tai pitkulaisin rei'in sisäakselissa, joita kohtia vastaavat aukot ulommassa akseliputkessa. Sisempään putkeen sovitettuna kiinteä ratas, jota pyöritetään kaksin vetokierukoin tai -hammasrattain (vastakkaisilla puolilla akselia), jolloin tähän pyörivään sisäakseliin ei kohdistu tiivisteitä kuluttavaa (hiertävää) toispuoleista puristusvoimaa eikä siinä tarvita erillisiä laakerointejakaan.

Muuta huomionarvoista

Potilaille omaisineen kannattaa varata kynä ja paperia (esimerkiksi hoitohenkilöstön kanssa kommunikoidakseen heidän aikaansa säästäen) sekä mahdollisesti myös [morsettamisen](#) avulla kommunikointimahdollisuus.