

Johannes Wittig

Department of Clinical Medicine, Aarhus University, Denmark
Department of Medicine, Randers Regional Hospital, Denmark
Research Center for Emergency Medicine, Aarhus University
Hospital, Denmark
johannes.wittig@clin.au.dk

**Markus Skrifvars**

Tehohoitolääketieteen professori
Anestesiologia ja tehohoito, Helsingin yliopisto
HUS, Leikkaus- ja tehohoitokeskus
markus.skrifvars@hus.fi



Ventilaatio elvytyksen aikana

– uutta tutkimustietoa

Tässä katsauksessa tarkastellaan elvytyksen aikaista ventilaatiota ja siihen liittyviä kiistakysymyksiä: onko ventilaatio elvytyksen aikana ylipäättään tarpeen, onko hyperventilaatio haitallista, ja millainen potentiaali erityisillä ventilaatiomenetelmillä voi olla elvytyksen aikana.

Ventilaatio on keskeinen osa sydänpäysähdyspotilaan elvytystä. (1–4) Nykyiset elvytysohjeet korostavat tehokkaan ventilaation merkitystä koko elvytyksen ajan, mutta samalla suositellaan liian runsaan ventilaation välttämistä. (3) Ennen hengitystievälineen asettamista ventilaatio tulee toteuttaa painelutaukojen aikana puhaltamalla, käyttäen painelu-puhallussuhdetta 30:2. (1,2) Hengitystievälineen asettamisen jälkeen suositellaan ventiloimaan tasaisella taajuudella 10/min, ilman pyrkimystä synkronoida ventilaatiota paineluihin. (2) Ohjeet suosittelevat vaiheittaista etenemistä perustason hengitystie- ja ventilaatiomenetelmistä vaativampiin menetelmiin tehokkaan ventilaation varmistamiseksi. (2) Näin ollen elvytyksen aikana voidaan käyttää maski-paljeventilaatiota sekä ventiloimista supraglottisen hengitystievälineen tai intubaatioputken kautta riippuen toimintaympäristöstä, potilaaseen liittyvistä tekijöistä, henkilöstön osaamisesta ja käytettävissä olevasta välineistöstä. (5–7) Vaikka useimmissa elvytystilanteissa ventilaatio toteutetaan itsestään täyttyvällä palkeella, uusimmat ohjeet sisältävät myös suosituksia hengityslaitteiden käytöstä elvytyksen aikana. (2)

Hoitosuosituksia siis on, mutta todellisuudessa ei ole varmuutta siitä, miten laadukas ventilaatio elvytyksen aikana tulisi toteuttaa. (8–11)

Mikään ventilaatio ei voi parantaa hoitotuloksia, jos ventilaation laatu on heikko.

Perustavanlaatuiset kysymykset, kuten optimaalinen hengitystaajuus, kertahengitystilavuus, painelu-puhallussuhde, tavoiteltava uloshengityksen loppupaine sekä hengityskaasun happipitoisuus, kaipaavat edelleen vastauksia. (8,11–13) Emme myöskään tiedä, mitkä olisivat parhaat ventilaation toteutus- ja monitorointimenetelmät. (9,10) Keskeinen haaste elvytyksen aikaisen ventilaation kehittämisessä on, että sitä mitataan harvoin kattavasti. (14,15) Silloin kun ventilaatiota on mitattu, on sekä sairaalansisäisissä että sairaalan ulkopuolisissa elvytyksissä havaittu huomattavaa vaihtelua käytännöissä. (16–23)

Tässä katsauksessa käsitellään kolmea ajankohtaista aikuisten sydänpäysähdyksen aikaiseen ventilaatioon liittyvää kiistakysymystä: voitaisiinko ventilaatio jättää kokonaan pois elvytyksestä, onko hyperventilaatio haitallista ja mitä tiedetään erityisten mekaanisten ventilointimuotojen käytöstä.

Kiistakysymys 1: Tarvitaanko elvytyksen aikana ventilaatiota?

Ventilaation tarpeellisuus vaikuttaa ilmeiseltä: kun sekä verenkierto että hengitys ovat pysähtyneet, kuulostaa tarkoituksenmukaiselta hoitaa potilasta paineluelvytyksellä ja keinotekoisella hengityksellä, kunnes spontaanin verenkierron palautuminen (return of spontaneous circulation, ROSC) >>

saavutetaan. Useat kliiniset tutkimukset ovat kuitenkin haastaneet tämän käsityksen ja päätyneet tulokseen, että maallikkoelvytyksen yhteydessä ventilaatiota sisältävä elvytys ei ole pelkkää paineluelvitystä parempi. (24–26)

Useita näkökohtia pitää kuitenkin tarkastella. Ensinnäkin sydänpysähdyspotilaiden joukossa voi olla ryhmiä, jotka hyötyvät varhaisesta ventilaatiosta elvytyksen aikana. Näitä voivat olla esimerkiksi potilaat, joiden elottomuus on opioidien tai hukkumisen aiheuttama. (27,28) Lisäksi tulokset eivät välttämättä ole yleistettävissä sairaalassa tapahtuviin sydänpysähdyksiin, joiden taustalla on usein hypoksia, ja joissa elvytystä toteuttavat koulutetut ammattilaiset asianmukaisine välineineen. (29,30) Ehkä tärkein seikka on kuitenkin se, että suusta suuhun -ventilaatioissa käytetään uloshengitysilmaa, jonka happiosuus on vain noin 17 %, minkä vuoksi potilaan hapensaannin kannalta merkitykselliseen vaikutukseen tarvitaan lähes litran tilavuuksia. (31) Lisäksi edellä mainituissa tutkimuksissa ventilaation laatua ei mitattu. (14) Suusta suuhun -ventilaatio (tai mikä tahansa muu ventilaatio) ei voi parantaa hoitotuloksia, jos ventilaation laatu on heikko. Ventilaation mittaaminen sydänpysähdysten aikana on haastavaa, eikä maallikojen toteuttaman ventilaation laadun arviointiin ole käytännöllisiä menetelmiä. (14,32)

Asiaan liittyy näkemys, että pelkkä paineluelvytys tuottaa jonkin verran kaasujenvaihtoa, sillä jokainen painallus liikuttaa pientä ilmamäärää hengitysteissä. (33) Tällöin keskeinen oletus on, että potilaan hengitystie pysyy avoimena paineluelvytyksen aikana. Tämä on kuitenkin epätodennäköistä yhden elvyttäjän toteuttamassa elvytyksessä. Lisäksi paineluelvytyksen aikaansaama ilman liike ylittää vain harvoin anatomisen kuolleen tilan koon, minkä vuoksi tämän ilmarvirtauksen merkitys kaasujenvaihdon kannalta on todennäköisesti vähäinen. (34–36) Lisäksi passiivisen hapen annon strategiat vaikuttavat tehottomilta ja saattavat jopa heikentää potilaan neurologista ennustetta. (37,38)

Elvytyksen aikaisen varhaisen ventilaation merkitystä osoitti Idrisin ym. tutkimus, jossa tutkittiin sairaalan ulkopuolella sydänpysähdysten saaneita aikuispotilaita. Potilaita elvytettiin 30:2-painelu-puhallussuhteella, ja ventilaatio toteutettiin koulutettujen ammattilaisten suorittamalla maski-paljeventilaatiolla. (18) Ven-

laation onnistumista elvytyksen ensimmäisten minuuttien aikana arvioitiin defibrillaattorin rekisteröimien rintakehän impedanssikäyrien avulla. Menetelmään toki liittyy virhelähteitä: se ei anna suoraa tietoa ventiloituvuudesta, ja tarkkuutta rajoittavat paineluelvytyksen aiheuttamat artefaktat sekä laite- ja potilaskohtainen vaihtelu. (39,40) Tutkimuksessa 60 % potilaista (1177/1976) havaittiin onnistunut ventilaatio alle puolessa painelutauoista. Näillä potilailla onnistuneiden ventilaatiokertojen mediaani oli 2 (kvartiiliväli 1–5) yhteensä 12 (7–19) painelutauossa. Vertailuryhmässä onnistuneiden ventilaatiokertojen mediaani oli 12 (6–21) yhteensä 12 (7–17) painelutauossa. Onnistunut ventilaatio oli yhteydessä suurempaan todennäköisyyteen kotiutua sairaalasta (vakioitu riskisuhde 2,2 [95 %:n luottamusväli 1,6–3,0]) ja hyvään neurologiseen toipumiseen (Modified Rankin Scale, mRS ≤ 3) (vakioitu riskisuhde 2,8 [95 %:n luottamusväli 1,8–4,3]).

Tuloksia tulee tulkita varoen, koska kyseessä oli havainnoiva tutkimus, johon voi liittyä sekoittavia tekijöitä. Tutkimus kuitenkin viittaa siihen, että laadukkaan ventilaation toteuttaminen elvytyksen aikana on

merkittävä haaste myös ammattilaisille, ja että paremmin toteutuva ventilaatio saattaa johtaa parempiin hoitotuloksiin. Havainnot korostavat ventilaation mittaamisen merkitystä mahdollisten laatuongelmien tunnistamisessa sekä hengitystien avoimuuden varmistamisen ja maski-paljeventilaation aikaisen ilmavuodon minimoinnin merkitystä. (2)

Maallikoiden voi olla vaikeaa toteuttaa tehokasta ventilaatiota elvytyksen aikana, millä voidaan perustella käytännönläheistä lähestymistapaa, jossa painopiste on paineluelvytyksessä ja varhaisessa defibrillaatiossa. (25) Silloin, kun elvytystä toteuttavat koulutetut terveydenhuollon ammattilaiset asianmukaisella välineistöllä, ventilaation poisjättämisestä sen oletetun heikon laadun perusteella on vaikea perustella. Ventilaatio on laadukkaan elvytyksen olennainen osa, ja tavoitteena tulee olla mahdollisimman tehokas ventilaatio koko elvytyksen ajan. (1,2)

Kiistakysymys 2: Onko hyperventilaatio yleistä ja haitallista?

Elvytysohjeissa on pitkään korostettu liiallisen ventilaation välttämistä, koska hyperventilaation

Kliinikot noudattivat harvoin ohjeiden mukaisia ventilaatiotaajuuksia.

on ajateltu olevan haitallista hemodynamiikan kannalta. (41,42) Huoli perustuu uskottavaan fysiologiseen mekanismiin: positiivisella paineella tiheällä taajuudella toteutettu ventilaatio voi suurentaa intratorakaalista painetta, heikentää laskimopaluuta ja siten vähentää paineluevityksen aikaansaamaa systeemistä ja sepelvaltimoverenkiertoa. (43) Vallalla on ollut käsitys, että hyperventilaatio tai ainakin suuri hengitystaajuus on elvytyksen aikana yleistä. (44)

Käsitys hyperventilaation haitallisuudesta perustuu suurelta osin Aufderheiden ym. vuonna 2004 julkaistuun tutkimukseen. (43,44) Tutkimuksessa raportoitiin 13 sairaalan ulkopuolista sydänpysähdystä koskeneen tapaussarjan aikana mitattuja ventilaatiotaajuuksia. Keskimääräinen ventilaatiotaajuus oli $30 \pm 3,2/\text{min}$. Ventilaatio mitattiin paineanturilla, ja analyysissä käytettiin 16 sekunnin jaksolta havaittua suurinta ventilaatiotaajuutta, ei koko tapauksen keskimääräistä ventilaatiotaajuutta.

Tutkijat toteuttivat tämän jälkeen eläinkokeen, jossa verrattiin ventilaatiotaajuuksia 12, 20 ja 30/min. Kahdessa erillisessä koeasetelmassa suuremmat ventilaatiotaajuudet lisäsivät intratorakaalista painetta, heikensivät sepelvaltimoiden perfuusiopainetta ja huononsivat tutkittavien sikojen selviytymistä. Tutkijat pysyivät myös elegantisti erottamaan toisistaan ventilaatiotaajuuden ja hypokapnian vaikutukset lisäämällä sisäänhengityskaasuun hiilidioksidia. Tutkimuksessa ei raportoitu käytettyjä kertahengitystilavuuksia, mutta ne voidaan päätellä virtausnopeuksista ja sisäänhengitysaajoista, ja niiden perusteella hengitystilavuudet näyttävät ylittäneen 2,5 litraa, mikä on huomattavasti enemmän kuin ventilointipalkeella tuotettava tilavuus. (41,43)

Aufderheiden havaintoja ei ole onnistuttu toistamaan tutkimuksissa, joissa on käytetty kliinisesti realistisia kertahengitystilavuuksia (6 ja 18 ml/kg) sekä ventilaatiotaajuuksia 10 ja 33/min. (45) Tuoreessa eläinkokeessa verrattiin ventilaatiotaajuuksia 5, 10 ja 20/min käyttäen kertahengitystilavuutta 10 ml/kg. Tutkimuksessa ei havaittu eroja ROSCin saavuttamisessa eikä hemodynamiikassa, mutta suuremmat ventilaatiotaajuudet saattoivat parantaa hiilidioksidin poistumista ja happo-emästasapainoa elvytyksen aikana. (46)

Viimeaikainen tutkimusnäyttö haastaa entisestään käsitystä siitä, että suuret ventilaatiotaajuudet olisivat haitallisia elvytyksen aikana. Yh-

den keskuksen satunnaistetussa tutkimuksessa verrattiin elvytyksen aikaisia ventilaatiotaajuuksia 10 ja 20/min sairaalan ulkopuolisen sydänpysähdysten hoidossa. Tutkimukseen ehdittiin rekrytoida 46 potilasta ennen sen keskeyttämistä riittämättömän rekrytoinnin vuoksi. Ryhmien välillä ei havaittu merkitsevää eroa pysyvän ROSCin saavuttamisessa, mutta tutkimusta on pidettävä tulokseltaan epävarmana. (47)

Toisessa, 222 sairaalan sisäistä sydänpysähdystä koskeneessa havainnoivassa tutkimuksessa 84,7 % potilaista ventiloitiin elvytyksen aikana keskimäärin yli 10 kertaa minuutissa, ja suurempi ventilaatiotaajuus oli yhteydessä parempiin hoitotuloksiin. (21) Pysyvä ROSC saavutettiin 24 %:lla potilaista, joiden keskimääräinen ventilaatiotaajuus oli 6–12/min, mutta 45 % potilaista, joiden ventilaatiotaajuus oli yli 12/min ($p = 0,009$). ROSCin todennäköisyys kasvoi jokaisen kahden lisäventilaation myötä sekä vakioimattomissa että vakioituissa analyyseissä, ja yhteys noudatti annos-vastesuhdetta noin ventilaatiotaajuuteen 26/min saakka. (21)

Tuloksia tulee kuitenkin tulkita varoen, koska kyseessä oli havainnoiva tutkimus ja ventilaatiotaajuus määritettiin automaattisesti kapnografiasignaalista, jonka tiedetään olevan altis paineluevityksen aiheuttamille artefakteille. (48) Havainnot muistuttavat kuitenkin Suttonin ym. vuonna 2019 julkaisemaa tutkimusta sairaalassa hoidetuista lapsipotilaista. Siinä todettiin, että klinikot noudattivat harvoin ohjeiden mukaisia ventilaatiotaajuuksia ja että suuremmat ventilaatiotaajuudet olivat myös yhteydessä parempaan toipumiseen. (49)

Keskusteluun liittyy myös tärkeä terminologinen näkökulma. Hyperventilaatiolla tarkoitetaan usein liiallista ventilaatiotaajuutta. Tämä voi kuitenkin johtaa harhaan, sillä hypokapnia näyttää olevan sydänpysähdysten aikana melko harvinainen löydös. (50,51) Vaikka valtimoverikaasuvarjojen tulkinta elvytyksen aikana on haastavaa, (52,53) useissa tutkimuksissa on todettu merkittävän hyperkapnian olevan yhteydessä huonompaan neurologiseen ennusteeseen, (54,55) samoin kuin hypoksemian. (11)

Vain harvoissa tutkimuksissa on mitattu kertahengitystilavuuksia tai minuuttiventilaatiota elvytyksen aikana. (16,56–58) Myös käytettävä hengitystieväline voi vaikuttaa sekä toteutuneeseen ventilaatioon että kaasujenvaihtoon. Vaikka nieluputkea tai supraglottista hengitystievälinettä käytetään elvytyksessä yleisesti, (6) ainoastaan >>

intubaatioputki mahdollistaa tavoitellun kerta-hengitystilavuuden saavuttamisen. (55,56,59) Tämän vuoksi ventilaation optimaalista ”annosta” elvytyksen aikana on vaikea arvioida pelkän ventilaatiotaajuuden perusteella. (14)

Tutkimukset osoittavat, että kun ventilaation laatua mitataan, ventilaatiotaajuudet ovat usein suositeltujen rajojen ulkopuolella. On epäselvää, ovatko nämä poikkeamat tietoisia hoitoratkaisuja vai pikemminkin osoitus siitä, kuinka vaikeaa ohjeiden noudattaminen voi olla vaativassa elvytystilanteessa.

Havainnot korostavat myös tarvetta tutkia systemaattisesti ventilaatiota elvytyksen aikana. Ihanteellista olisi tehdä tämä riittävän suurella satunnaistetulla tutkimuksella, jossa verrattaisiin eri ventilaatiotaajuuksia. Tuoreessa International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) -järjestön systemoidussa katsauksessa ventilaatiota koskevan näytön varmuus arvioitiin erittäin matalaksi, ja katsauksessa peräänkuulutettiin korkealaatuisia satunnaistettuja tutkimuksia. (8) Tällaisen tutkimuksen toteuttaminen edellyttää kuitenkin luotettavia mittausmenetelmiä, joilla ventilaatioparametreja voidaan seurata häiriötömästi myös paineluelvytyksen aikana, (60–62) tai vaihtoehtoisesti menetelmiä, joiden avulla voidaan varmistaa, että klinikot noudattavat suunniteltuja ventilaatiotaajuuksia. (63)

Kiistakysymys 3: Voivatko elvytykseen tarkoitetut erityiset mekaaniset ventilaatiomuodot parantaa hoitotuloksia?

European Resuscitation Councilin (ERC) vuoden 2025 elvytysohjeet sisältävät suosituksia ventilaattorisäädöistä silloin, kun elvytyksen aikana käytetään hengityslaitetta. (2) Ventilaatio hengityslaitetta käyttäen voi helpottaa ventilaatioparametrien hallintaa ja olla hyödyllinen erityisesti tilanteissa, joissa elvyttäjää on vähän. Tuore systemoitu katsaus kuitenkin osoitti, että näyttö tilavuusohjatun mekaanisen ventilaation paremmuudesta verrattuna manuaaliseen ventilaatioon on niukkaa. (9) Lisäksi paineluelvytys voi häiritä ventilaattorin kykyä tuottaa asetettu kertahengitystilavuus. (64–66) On epäselvää, parantaako tilavuusohjattu mekaaninen ventilaatio hengityslaitteella potilaiden hoitotuloksia.

Vuoden 2025 ERC-ohjeet eivät myöskään ota kantaa erityisesti elvytykseen kehitettyihin mekaanisiin ventilaatiomuotoihin, kuten kardiopulmonaaliseen ventilaatioon (Cardiopulmonary

Ventilation, CPV; Air Liquide Medical System, Antony, Ranska) tai paineluelvytykseen synkronoituun ventilaatioon (chest compression synchronized ventilation, CCSV; WEINMANN Emergency, Hampuri, Saksa). (67) Nämä järjestelmät eroavat tavanomaisista hengityslaitteiden ventilaatiomuodoista. (9)

CPV on asynkroninen, paineohjattu ja aika-syklinen ventilaatiomuoto, jossa elvytystä varten on määritelty valmiit asetukset. Yhdessä havainnoivassa tutkimuksessa CPV:n käyttö oli yhteydessä suurempaan ROSC:n todennäköisyyteen verrattuna manuaaliseen maski-paljeventilaatioon. (68) Menetelmästä ei kuitenkaan ole tutkimuksia, joissa olisi arvioitu neurologisesti suotuisaa selviytymistä, eikä käytettävissä ole satunnaistettuja tutkimuksia.

CCSV puolestaan on suunniteltu synkronoimaan nopeat mutta pienet henkäykset paineluelvytyksen kanssa. Tavoitteena on parantaa paineluelvytyksen aikaista hemodynamiikkaa samalla kun turvataan happeutumisen ja ventilaatio. (67) Eläinkokeissa CCSV on parantanut fysiologisia muuttujia, kuten valtimoveren happiosapainetta (PaO_2), (69,70) mutta osa tutkimuksista on herättänyt huolta mahdollisesta ilmarinnan kehittymisestä CCSV:n yhteydessä. (70,71)

Toistaiseksi ei tiedetä, rajoittuuko ilmarinnan esiintyminen CCSV:n ja muiden mekaanisten ventilaatiomuotojen yhteydessä kokeellisiin malleihin vai ilmeneekö sama vaara myös kliinisessä käytössä. (9,72–75) Keskeinen ongelma ilmarinnan todellisen esiintyvyyden selvittämisessä on se, että kaikkia elvytettyjä potilaita pitäisi tutkia systemaattisesti riippumatta siitä, saavutettiinkö ROSC vai ei. Jos ilmarintaa etsitään vain niiltä potilailta, joilla ROSC saavutetaan, jäävät ne potilaat väistämättä havaitsematta, joilla ilmarinta on mahdollisesti vaikuttanut elvytyksen epäonnistumiseen. (76–78)

Toinen CCSV:iin liittyvä huolenaihe on mahdollisuus siihen, ettei laite tuota lainkaan kliinisesti merkittävää ventilaatiota. Mikäli tällainen toimintahäiriö jää huomaamatta vaativassa elvytystilanteessa, seuraukset voivat olla potilaalle haitallisia. Ilmiön mekanismia ei tunneta, mutta siitä raportoitiin ensimmäisen kerran kokeellisessa tutkimuksessa vainajilla. CCSV ei tuottanut ventilaatiota kahdessa tapauksessa yhdestätoista (18 %), vaikka ventilaatio onnistui muilla ventilaatiomuodoilla. (65,66)

CCSV:ia käytetään kliinisessä työssä useissa maissa, mutta havainnoivien tutkimusten tulokset

ovat keskenään ristiriitaisia. (9,77,79) Ainoa tähän mennessä toteutettu satunnaistettu tutkimus tehtiin päivystyspoliklinikalla potilailla, jotka olivat saaneet sairaalan ulkopuolisen sydänpysähdyksen, ja joilla sydänpysähdys oli pitkitynyt ja hoitoresistentti. Tutkimuksessa verrattiin CCSV:ia tilavuusohjattuun ventilaatioon. Ensimmäinen päätemuuttuja oli valtimoveren happiosapaine (PaO_2). Vaikka tutkimukseen satunnaistettiin 144 potilasta, analyysistä suljettiin pois 114 potilasta (79 %), koska elvytyksen aikaista valtimoverinäytettä ei saatu määritettyä. Tämä aiheuttaa merkittävän harhariskin ja vaikeuttaa tulosten tulkintaa. Tutkimuksessa ei havaittu ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevää eroa PaO_2 -arvoissa, mutta ROSC saavutettiin harvemmin CCSV-ryhmässä kuin tilavuusohjatun ventilaation ryhmässä, 7/15 (47 %) verrattuna 13/15 (87 %). (80)

Elvytykseen kehitettyihin erityisiin ventilaatiomuotoihin liittyy houkuttelevia fysiologisia perusteita, mutta niiden laajamittaisen käyttöönoton tueksi ei vielä ole riittävää kliinistä tutkimusnäyttöä. Vaikka menetelmiä paikoitellen käytetään jo kliinisessä työssä, niiden käyttöönotto tutkimusten ulkopuolella on kyseenalaista. Jos menetelmät todella parantavat potilaiden hoitotuloksia, huolellinen tieteellinen arviointi ja vertaisarvioitujen tutkimukset mahdollistaisivat niiden laajemman käyttöönoton ja hyödyttäisivät tulevia potilaita. Jos ne sen sijaan ovat tehottomia tai jopa haitallisia, ongelmat voivat jäädä havaitsematta, koska sydänpysähdyspotilaiden ennuste on edelleen huono eikä esimerkiksi ilmarinnan tai muiden keuhkovaurioiden järjestelmällinen seulonta kuulu tavalliseen kliiniseen käytäntöön. (78,81)

Vaikka happeutumisen optimointi elvytyksen aikana on perusteltu toissijainen päätetapahtuma, (11,52,82) elvytyksenaikaisten interventioiden arvioinnissa tulisi lopulta keskittyä potilaalle merkityksellisiin päätetapahtumiin, kuten elossa selviytymiseen ja neurologiseen toipumiseen. (83)

Johtopäätökset

Ventilaatio on keskeinen osa terveydenhuollon ammattilaisten toteuttamaa sydänpysähdyspotilaan elvytystä. Tästä huolimatta hoidon laadussa on edelleen merkittäviä puutteita. Koska ventilaatiota mitataan harvoin, maski-paljeventilaation heikko laatu ja poikkeamat suositusten mukaisista käytännöistä voivat jäädä tunnistamatta ja vaikuttaa potilaiden hoitotuloksiin.

Viimeaikainen tutkimusnäyttö on haastanut pitkään vallinneen käsityksen suurten ventilaatiotaajuuksien haitallisuudesta. Samanaikaisesti uudet elvytykseen kehitetyt mekaaniset ventilaatiomuodot ovat herättäneet toiveita elvytyshoidon edelleen kehittämisestä. Toistaiseksi uusien ventilaatiomuotojen ei kuitenkaan ole osoitettu parantavan potilaiden hoitotuloksia. Siksi niiden käyttöönoton tulee edelleen perustua huolelliseen tutkimusnäyttöön ja potilaille merkityksellisten päätetapahtumien arviointiin.

Kiitokset

Kiitämme professori Matti Reinikaista avusta artikkelin käännös- ja kielentarkistustyössä.

Sidonnaisuudet

Johannes Wittig toimii Ventilation During In-Hospital Cardiac Arrest (VENT-IHCA) -tutkimuksen (NCT06809309) vastaavana tutkijana. Hän on European Resuscitation Council Science and Education Committee for Advanced Life Support (ALS) -komitean jäsen sekä ILCOR ALS Task Force -työryhmän jäsen. Aarhus University Research Foundation ja Aarhus University Graduate School of Health ovat myöntäneet hänelle tutkimusrahoitusta. Lisäksi hän on saanut rahoitusta Laerdal Foundationilta elvytyksen aikaista ventilaatiota koskevaan tutkimukseen. ■

Viitteet

1. Smyth MA, van Goor S, Hansen CM ym. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Adult Basic Life Support. Resuscitation 2025; 215 Suppl 1: 110771. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110771.
2. Soar J, Bottiger BW, Carli P ym. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Adult Advanced Life Support. Resuscitation 2025; 215 Suppl 1: 110769. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110769.
3. Greif R, Lauridsen KG, Djarv T ym. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Executive Summary. Resuscitation 2025; 215 Suppl 1: 110770. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110770.
4. van Eijk JA, Doeleman LC, Loer SA ym. Ventilation during cardiopulmonary resuscitation: A narrative review. Resuscitation 2024; 203: 110366. doi: 10.1016/j.resuscitation.2024.110366.
5. Doeleman LC, de Jong JFF, van Eeden VGM ym. Airway management by ambulance nurses during out-of-hospital cardiac arrest. Resusc Plus 2025; 25: 100999. doi: 10.1016/j.resplu.2025.100999.
6. Ek JE, Wittig J, Rogers J, Soar J. A survey of Advanced Life Support practices in countries implementing the European Resuscitation Council guidelines. Resusc Plus 2025; 25: 101032.
7. Granfeldt A, Avis SR, Nicholson TC ym. Advanced airway management during adult cardiac arrest: A systematic review. Resuscitation 2019; 139: 133–143. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.04.003.
8. Johnson NJ, Debaty G, Yang BY ym. Ventilation parameters during adult cardiopulmonary resuscitation: a systematic review. Resusc Plus 2026; 29: 101299. doi: 10.1016/j.resplu.2026.101299.
9. Wittig J, Sommer A, Burgstein E ym. Volume-controlled mechanical ventilation during cardiopulmonary resuscitation: >>

- a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 2026; 226: 111199.
10. Debaty G, Johnson NJ, Dewan M ym. Real-time ventilation quality feedback devices efficacy in out-of-hospital cardiac arrest: a scoping review. *Resusc Plus* 2025; 26: 101069. doi: 10.1016/j.resplu.2025.101069.
 11. Skrifvars MB, D'Arrigo S, Ohshima S ym. The use of supplemental oxygen during cardiopulmonary resuscitation - a systematic review of the literature. *Resusc Plus* 2026; 29: 101333.
 12. Kopra J, Litonius E, Pekkarinen PT ym. Oxygenation and ventilation during prolonged experimental cardiopulmonary resuscitation with either continuous or 30:2 compression-to-ventilation ratios together with 10 cmH₂O positive end-expiratory pressure. *Intensive Care Med Exp* 2024; 12: 36. doi: 10.1186/s40635-024-00620-z.
 13. Kopra J, Litonius E, Pekkarinen PT ym. Ventilation during continuous compressions or at 30:2 compression-to-ventilation ratio results in similar arterial oxygen and carbon dioxide levels in an experimental model of prolonged cardiac arrest. *Intensive Care Med Exp* 2023; 11: 3. doi: 10.1186/s40635-022-00485-0.
 14. Wittig J, Krogh K, Orlob S ym. The black box of unmeasured intra-arrest ventilation. *Resuscitation* 2024; 195: 110015. doi: 10.1016/j.resuscitation.2023.110015.
 15. Berve PO, Orlob S. Intra-arrest ventilation: we can only improve what we measure - But what are our devices really calculating? *Resuscitation* 2026; 218: 110914. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110914.
 16. Malberg J, Doeleman L, van Eijk J ym. Ventilation parameters during Advanced Life Support in cardiac arrest (CAvent): A multicentre observational cohort study. *Resuscitation* 2026; 111203.
 17. Doeleman LC, Boomars R, Radstok A ym. Ventilation during cardiopulmonary resuscitation with mechanical chest compressions: How often are two insufflations being given during the 3-second ventilation pauses? *Resuscitation* 2024; 199: 110234.
 18. Idris AH, Aramendi Ecenarro E, Leroux B ym. Bag-Valve-Mask Ventilation and Survival From Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Multicenter Study. *Circulation* 2023; 148: 1847-1856. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.123.065561.
 19. Chang MP, Lu Y, Leroux B ym. Association of ventilation with outcomes from out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2019; 141: 174-181. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.05.006.
 20. Wang HE, Jaureguibertia X, Aramendi E ym. Airway strategy and ventilation rates in the pragmatic airway resuscitation trial. *Resuscitation* 2022; 176: 80-87. doi: 10.1016/j.resuscitation.2022.05.008.
 21. Jaffe IS, Ren Y, Tran L ym. Higher ventilation rate is associated with increased return of spontaneous circulation in in-hospital cardiac arrest patients with advanced airways. *Resuscitation* 2026; 218: 110885.
 22. Benoit JL, Lakshmanan S, Farmer SJ ym. Ventilation rates measured by capnography during out-of-hospital cardiac arrest resuscitations and their association with return of spontaneous circulation. *Resuscitation* 2023; 182: 109662.
 23. Vissers G, Duchatelet C, Huybrechts SA ym. The effect of ventilation rate on outcome in adults receiving cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2019; 138: 243-249. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.03.037.
 24. Hallstrom A, Cobb L, Johnson E, Copass M. Cardiopulmonary resuscitation by chest compression alone or with mouth-to-mouth ventilation. *N Engl J Med* 2000; 342: 1546-1553. doi: 10.1056/NEJM200005253422101.
 25. Riva G, Boberg E, Ringh M ym. Compression-Only or Standard Cardiopulmonary Resuscitation for Trained Laypersons in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Nationwide Randomized Trial in Sweden. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 2024; 17: e010027. doi: 10.1161/CIRCOUTCOMES.122.010027.
 26. Svensson L, Bohm K, Castren M ym. Compression-only CPR or standard CPR in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 2010; 363: 434-442. doi: 10.1056/NEJMoa0908991.
 27. Abe Y, Kimura R, Nakagawa K ym. Effect of bystander cardiopulmonary resuscitation type on 1-month survival in drowning following out-of-hospital cardiac arrest in natural water bodies: a nationwide retrospective cohort study. *Resuscitation* 2026; 225: 111079.
 28. Slutsky AS, Gausche-Hill M, Idris AH, Richard JC. Opioid Overdose and Hypoxia-Induced Cardiac Arrest: The Case for Ventilation-First in Resuscitation. *Am J Respir Crit Care Med* 2026. doi: 10.1093/ajrccm/aamag421.
 29. Lind PC, Risager BH, Gammelager H ym. Why do patients develop in-hospital cardiac arrest? A prospective clinical observational study (WHY-IHCA). *Resuscitation* 2025; 216: 110782. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110782.
 30. Allencherril J, Lee PYK, Khan K ym. Etiologies of In-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 2022; 175: 88-95. doi: 10.1016/j.resuscitation.2022.03.005.
 31. Stallinger A, Wenzel V, Oroszy S ym. The effects of different mouth-to-mouth ventilation tidal volumes on gas exchange during simulated rescue breathing. *Anesth Analg* 2001; 93: 1265-1269. doi: 10.1097/00000539-200111000-00046.
 32. Segond N, Wittig J, Kern WJ, Orlob S. Towards a common terminology of ventilation during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2025; 207: 110511. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110511.
 33. Noc M, Weil MH, Tang W ym. Mechanical ventilation may not be essential for initial cardiopulmonary resuscitation. *Chest* 1995; 108: 821-827. doi: 10.1378/chest.108.3.821.
 34. Deakin CD, O'Neill JF, Tabor T. Does compression-only cardiopulmonary resuscitation generate adequate passive ventilation during cardiac arrest? *Resuscitation* 2007; 75: 53-59. doi: 10.1016/j.resuscitation.2007.04.002.
 35. Idris AH, Banner MJ, Wenzel V ym. Ventilation caused by external chest compression is unable to sustain effective gas exchange during CPR: a comparison with mechanical ventilation. *Resuscitation* 1994; 28: 143-150. doi: 10.1016/0300-9572(94)90087-6.
 36. McDannold R, Bobrow BJ, Chikani V ym. Quantification of ventilation volumes produced by compressions during emergency department cardiopulmonary resuscitation. *Am J Emerg Med* 2018; 36: 1640-1644. doi: 10.1016/j.ajem.2018.06.057.
 37. Segond N, Klein M, Ricard C ym. Neurological outcome of out-of-hospital cardiac arrest patients ventilated with continuous flow insufflation of oxygen: a multicenter observational study. *Resuscitation* 2026; 225: 111113. doi: 10.1016/j.resuscitation.2026.111113.
 38. Groulx M, Emond M, Boudreau-Drouin F ym. Continuous flow insufflation of oxygen for cardiac arrest: Systematic review of human and animal model studies. *Resuscitation* 2021; 162: 292-303. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.03.009.
 39. Jarrett P, Prakash R, Thakur B ym. Defining thoracic impedance thresholds for rescue ventilation: a laboratory study. *Resusc Plus* 2026; 28: 101284. doi: 10.1016/j.resplu.2026.101284.
 40. Berve PO, Irusta U, Kramer-Johansen J ym. Tidal volume measurements via transthoracic impedance waveform characteristics: The effect of age, body mass index and gender. A single centre interventional study. *Resuscitation* 2021; 167: 218-224. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.08.041.
 41. Orlob S, Wittig J, Tenhunen J ym. Never quite there? - Hyperventilation in cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2021; 165: 138-139. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.05.040.
 42. Nolan JP, Hazinski MF, Steen PA, Becker LB. Controversial Topics from the 2005 International Consensus Conference on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 2005; 67: 175-179. doi: 10.1016/j.resuscitation.2005.09.008.
 43. Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirrallo RG ym. Hyperventilation-induced hypotension during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 2004; 109: 1960-1965. doi: 10.1161/01.CIR.0000126594.79136.61.
 44. Aufderheide TP, Lurie KG. Death by hyperventilation: a common and life-threatening problem during cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 2004; 32: S345-S351. doi: 10.1097/01.CCM.0000134335.46859.09.
 45. Gazmuri RJ, Ayoub IM, Radhakrishnan J ym. Clinically plausible hyperventilation does not exert adverse hemodynamic effects during CPR but markedly reduces end-tidal PCO₂. *Resuscitation* 2012; 83: 259-264. doi: 10.1016/j.resuscitation.2011.07.034.
 46. Dong H, Cao Y, Wang J ym. Effects of Different Ventilation Rates on Resuscitation in a Porcine Ventricular Fibrillation Cardiac Arrest Model. *Shock* 2026; 66: 164-173. doi: 10.1097/SHK.0000000000002848.
 47. Prause G, Zoidl P, Eichinger M ym. Mechanical ventilation with ten versus twenty breaths per minute during cardio-pulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest: A randomised controlled trial. *Resuscitation* 2023; 187: 109765. doi: 10.1016/j.resuscitation.2023.109765.
 48. Leturiondo M, Ruiz de Gauna S, Ruiz JM ym. Influence of chest compression artefact on capnogram-based ventilation detection during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2018; 124: 63-68. doi: 10.1016/j.resuscitation.2017.12.013.

49. Sutton RM, Reeder RW, Landis WP ym. Ventilation Rates and Pediatric In-Hospital Cardiac Arrest Survival Outcomes. *Crit Care Med* 2019; 47: 1627–1636. doi: 10.1097/CCM.0000000000003898.
50. Spindelboeck W, Gemes G, Strasser C ym. Arterial blood gases during and their dynamic changes after cardiopulmonary resuscitation: A prospective clinical study. *Resuscitation* 2016; 106: 24–29. doi: 10.1016/j.resuscitation.2016.06.013.
51. Prause G, Zoidl P, Zajic P. Hyperventilation is uncommon during cardio-pulmonary resuscitation: A preliminary observational study. *Resuscitation* 2021; 162: 257–258. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.03.008.
52. Skrifvars MB, Olasveengen TM, Ristagno G. Oxygen and carbon dioxide targets during and after resuscitation of cardiac arrest patients. *Intensive Care Med* 2019; 45: 284–286. doi: 10.1007/s00134-018-5456-6.
53. Wittig J, Lauridsen KG, Furtmüller M, Orlob S. Blood gas measurements during arrest and after return of spontaneous circulation: Apples and oranges. *Resuscitation* 2023; 193: 110016. doi: 10.1016/j.resuscitation.2023.110016.
54. Matsuyama T, Ohta B, Kiyohara K, Kitamura T. Intra-arrest partial carbon dioxide level and favorable neurological outcome after out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide multicenter observational study in Japan (the JAAM-OHCA registry). *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 2023; 12: 14–21. doi: 10.1093/ehjacc/zuac152.
55. Bartos JA, Agdamag AC, Kalra R ym. Supraglottic airway devices are associated with asphyxial physiology after prolonged CPR in patients with refractory out-of-hospital cardiac arrest presenting for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2023; 186: 109769. doi: 10.1016/j.resuscitation.2023.109769.
56. Eickelmann C, Beiske AJ, Deicke M ym. Tracheal intubation vs. supraglottic airway devices during mechanical intra-arrest ventilation with volume-controlled ventilation in out-of-hospital cardiac arrest: a cohort study. *Resuscitation* 2026; 219: 110918. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110918.
57. Lemoine F, Jost D, Lemoine S ym. Manual bag-valve-mask ventilation during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation: a prospective observational study. *Resuscitation* 2025; 217: 110895. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110895.
58. O'Neill JF, Deakin CD. Do we hyperventilate cardiac arrest patients? *Resuscitation* 2007; 73: 82–85. doi: 10.1016/j.resuscitation.2006.09.012.
59. Wittig J, Lauridsen KG. Examining asynchronous intra-arrest ventilation through the prism of advanced airway devices – are all our tools equal? *Resuscitation* 2026; 219: 110958. doi: 10.1016/j.resuscitation.2026.110958.
60. Orlob S, Purkarthofer D, Grobbel M ym. Multiplying flow and pressure: detecting respiratory phases in intra-arrest ventilation. *Resuscitation* 2026; 222: 111050. doi: 10.1016/j.resuscitation.2026.111050.
61. Orlob S, Purkarthofer D, Kern WJ ym. Measurement of tidal volumes and respiratory rate during regular and asynchronous intra-arrest ventilation using the EOLife X device: a method-comparison study in a porcine cardiac arrest model. *Resuscitation* 2026; 111217. doi: 10.1016/j.resuscitation.2026.111217.
62. Tassart B, Jost D, Lemoine F ym. Dataset of bag-valve-mask ventilation parameters in patients with out-of-hospital cardiac arrest cared for by basic life support teams. *Data Brief* 2025; 60: 111620. doi: 10.1016/j.dib.2025.111620.
63. Chapman JD, Geneslaw AS, Babineau J, Sen AI. Improving Ventilation Rates During Pediatric Cardiopulmonary Resuscitation. *Pediatrics* 2022; 150: e2021053030. doi: 10.1542/peds.2021-053030.
64. Orlob S, Wittig J, Hobisch C ym. Reliability of mechanical ventilation during continuous chest compressions: a crossover study of transport ventilators in a human cadaver model of CPR. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2021; 29: 102. doi: 10.1186/s13049-021-00921-2.
65. Wittig J, Lauridsen KG. A warning shot for mechanical ventilation during cardiopulmonary resuscitation – Lessons from a cadaver study on Chest Compression Synchronized Ventilation. *Resuscitation* 2025; 216: 110834. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110834.
66. Gelashvili T, Brand-Saber B, Darvishali M ym. Efficacy of supraglottic airway devices in chest compression synchronized ventilation during continuous resuscitation: a prospective randomized cross-over cadaver study. *Resuscitation* 2025; 216: 110795. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110795.
67. Brock R, Veigl C, Kornfehl A ym. Chest Compression Synchronized Mechanical Ventilation Modes for Cardiac Arrest: A Scoping Review. *Arch Acad Emerg Med* 2025; 13: e73. doi: 10.22037/aaem.v13i1.2782.
68. Malinverni S, Wilmin S, de Longueville D ym. A retrospective comparison of mechanical cardio-pulmonary ventilation and manual bag valve ventilation in non-traumatic out-of-hospital cardiac arrests: A study from the Belgian cardiac arrest registry. *Resuscitation* 2024; 199: 110203. doi: 10.1016/j.resuscitation.2024.110203.
69. Kill C, Hahn O, Dietz F ym. Mechanical ventilation during cardiopulmonary resuscitation with intermittent positive-pressure ventilation, bilevel ventilation, or chest compression synchronized ventilation in a pig model. *Crit Care Med* 2014; 42: e89–e95. doi: 10.1097/CCM.0b013e3182a63fa0.
70. Kopra J, Mehtonen L, Laitinen M ym. Chest compression synchronized ventilation during prolonged experimental cardiopulmonary resuscitation improves oxygenation but may cause pneumothoraces. *Resusc Plus* 2025; 22: 100918. doi: 10.1016/j.resplu.2025.100918.
71. Renz M, Muller L, Kohler J ym. Comparison of different airway pressures in (synchronized) ventilation during cardiopulmonary resuscitation in pigs. *Resusc Plus* 2026; 28: 101248. doi: 10.1016/j.resplu.2026.101248.
72. Auinger D, Orlob S, Wittig J ym. Pneumothorax in a Thiel cadaver model of cardiopulmonary resuscitation. *World J Emerg Med* 2023; 14: 143–147. doi: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2023.029.
73. Auinger D, Hötzer D, Zajic P ym. Post-resuscitation pneumothorax: retrospective analysis of incidence, risk factors and outcome-relevance. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2024; 32: 82. doi: 10.1186/s13049-024-01260-8.
74. Tangpaisarn T, Tosibphanom J, Sata R ym. The effects of mechanical versus bag-valve ventilation on gas exchange during cardiopulmonary resuscitation in emergency department patients: A randomized controlled trial (CPR-VENT). *Resuscitation* 2023; 193: 109966. doi: 10.1016/j.resuscitation.2023.109966.
75. Shin J, Lee HJ, Jin KN ym. Automatic Mechanical Ventilation vs Manual Bag Ventilation During CPR: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Chest* 2024; 166: 311–320. doi: 10.1016/j.chest.2024.02.020.
76. Kopra J, Östman R, Litonius E ym. Question on the occurrence of lung injury in patients receiving chest compression synchronized ventilation in the SYMEVECA study. *Resuscitation* 2026; 222: 110800. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110800.
77. Hernandez-Tejedor A, Gonzalez Puebla V, Corral Torres E ym. Comparison of ventilation modes in non-traumatic out-of-hospital cardiac arrest: SYMEVECA phase 2. *Resuscitation* 2025; 213: 110655. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110655.
78. Hernández-Tejedor A, González Puebla V, Duerto Álvarez J ym. Respiratory outcomes and complications in patients with cardiac arrest according to ventilation strategy: subanalysis of the SYMEVECA study. *Emergencias* 2026; 38: 195–199. doi: 10.55633/s3me/038.2026.
79. Turowski P, Fetz K, Gräsner JT ym. Influence of different ventilation strategies during cardiopulmonary resuscitation on the return of spontaneous circulation in out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective study from the German Resuscitation Registry. *Resuscitation* 2025; 215: 110764. doi: 10.1016/j.resuscitation.2025.110764.
80. Oh YT, Lee CA, Park HA ym. Effectiveness of Chest Compression-Synchronized Ventilation in Patients with Cardiac Arrest. *J Clin Med* 2025; 14: 2394. doi: 10.3390/jcm14072394.
81. Magliocca A, Rezoagli E, Zani D ym. Cardiopulmonary Resuscitation-associated Lung Edema (CRACLE): A Translational Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2021; 203: 447–457. doi: 10.1164/rccm.202006-2382OC.
82. Nelskylä A, Skrifvars MB, Ångerman S, Nurmi J. Incidence of hyperoxia and factors associated with cerebral oxygenation during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2022; 170: 276–282. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.10.001.
83. Haywood K, Whitehead L, Nadkarni VM ym. COSCA (Core Outcome Set for Cardiac Arrest) in Adults: An Advisory Statement From the International Liaison Committee on Resuscitation. *Resuscitation* 2018; 127: 147–163. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.03.022.

Tekoälyn käyttö

Kirjoittajat käyttivät ChatGPT:tä (OpenAI) ja Copilotia (Microsoft) kieliasun viimeistelyn tukena. Kaikki teko-älyavusteisesti tuotettu sisältö tarkastettiin kriittisesti ja muokattiin kirjoittajien toimesta. Kirjoittajat kantavat täyden vastuun tämän julkaistun artikkelin sisällöstä.