

Is SpO₂ een betrouwbare maat voor de oxygenatie?

S.S List, Ventilation Practitioner i.o., P van Velzen, longarts-intensivist, A.C.J.M de Pont, internist-intensivist.

ABSTRACT

Introductie

In het Dijklander ziekenhuis wordt de beademing aangepast aan de hand van de arterieel gemeten zuurstofsaturatie (SaO₂), maar hiervoor wordt per keer tenminste 2ml bloed bij de patiënt afgenomen en elke extra afname kost de afdeling geld. Perifere zuurstofsaturatie (SpO₂) wordt continu gemeten en kost geen extra geld. De vraagstelling voor dit onderzoek is of de SpO₂ een even goede parameter is voor de oxygenatie is als de SaO₂.

METHODE

Bij alle patiënten met een arterielijn op de Intensive Care/Medium Care van het Dijklander Ziekenhuis, locatie Hoorn, werd in de periode van december 2018 tot en met mei 2019 onderzoek gedaan naar het verschil tussen SpO₂ en SaO₂. Van elke patiënt werd de eerste gepaarde meting gebruikt. De resultaten werden vergeleken middels correlatie en Bland-Altman analyse. In een subgroep analyse werd gekeken naar de invloed van vasoactieve medicatie op het verschil tussen de SpO₂ en SaO₂. Tevens werd aanvullende analyse gedaan naar de hoogte van de SpO₂ bij het gebruik van zuurstof (O₂).

RESULTATEN

Van de 81 SpO₂ metingen vielen er 76 binnen de normale range van de SaO₂ (gemiddelde \pm 1,96 x de standaard deviatie (SD) [94%]. In de groep patiënten die vasoactieve medicatie gebruikten vielen alle SpO₂ metingen binnen deze normale range. Aanvullende analyse liet zien dat de met zuurstof behandelde patiënten vaak een zuurstofsaturatie boven de streefwaarden bereikten.

CONCLUSIE

Dit onderzoek toont aan dat de SpO₂ gebruikt kan worden als vervanging van de SaO₂. Bij behandeling met zuurstof moet beter rekening gehouden worden met de streefwaarde van de te bereiken SpO₂.

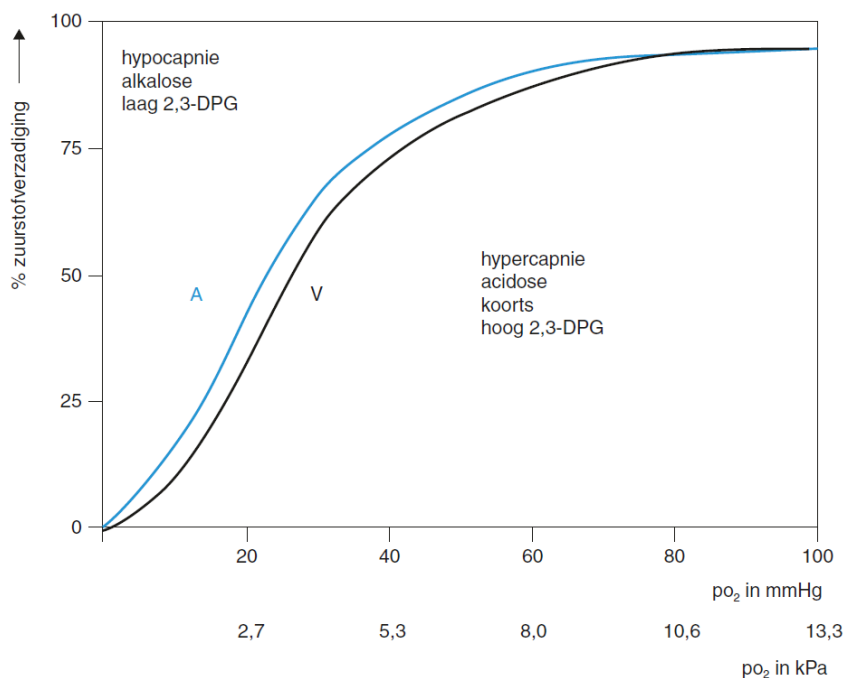
Zoektermen: pulse oxymetry, intensive care, oxygen saturation, blood gas analysis.

Introductie

Op de Intensive Care (IC) en Medium care (MC) worden mensen opgenomen waarbij één of meer vitale functies zijn gestoord. Hierbij is monitorbewaking van de oxygenatie van het bloed de standaard. Pulsoximetrie is een methode die gebruikt wordt om de oxygenatie te monitoren. Bij deze methode wordt de absorptie van geoxygeneerd en gedeoxygeneerd hemoglobine gemeten bij twee golflengtes: 660nm (rood licht) en 940 nm (infrarood licht). Uit de verhouding van deze vier waarden kan de zuurstofsaturatie van het hemoglobine worden berekend (1).

De oxygenatie van het bloed kan ook direct in arterieel bloed worden gemeten middels arteriële bloedgasanalyse: hierbij wordt zowel de partiële zuurstofspanning (PaO_2) als de zuurstofsaturatie van het hemoglobine (SaO_2) gemeten. De relatie tussen deze waarden is beschreven in de zuurstofdissociatiecurve (afbeelding 1).

Arteriële bloedgasanalyse is duur en hiervoor wordt per keer tenminste 2ml bloed bij de patiënt afgenomen. In het Dijklander Ziekenhuis locatie Hoorn zijn er in 2018 in het hele ziekenhuis 10604 bloedgaswaarden bepaald: deze kosten €5,22 euro per analyse en een order tarief van €5,70. Volgens de nu geldende richtlijnen/protocollen is de afspraak dat het instellen van de inspiratoire zuurstoffractie (FiO_2) en de positive end-expiratory pressure (PEEP) wordt gedaan aan de hand van een SaO_2 en PaO_2 (bijlage 1).



Afbeelding 1: Zuurstofdissociatiecurve (bron: Hans ter Haar)

Materiaal en methode

Setting

Dit onderzoek is verricht op de gecombineerde IC- MC van het Dijklander Ziekenhuis in Hoorn. Dit is een level 2 IC met capaciteit voor 12 patiënten waarbij er ruimte is voor 7 beademde patiënten. Op deze IC worden geen neurochirurgische patiënten en geen cardiothoracale chirurgische patiënten behandeld.

Patiënten

Alle opeenvolgende patiënten die op de IC-MC van het Dijklander Ziekenhuis werden opgenomen tussen december 2018 en mei 2019 werden gescreend voor deelname aan de studie. Bij alle patiënten werd tijdens de eerste bloedafname een gepaarde meting van de SpO₂ verricht. De subgroep analyse is gedaan met twee groepen: patiënten met en zonder vasoactieve middelen. Tevens is gekeken naar de hoogte van de SpO₂ en het gebruik van O₂. Hiervoor werden de volgende streefwaarden gehanteerd: chronische obstructieve pulmonaire ziekte (COPD) 88%-92% (2) en patiënten zonder COPD 92%-96%

Inclusiecriteria:

- Leeftijd 18 jaar en ouder
- Arterielijn in situ

Exclusiecriteria:

- Besmetting door een vancomycine resistente enterococ (VRE), verdacht of aangetoond
- Bloedgasanalyse verricht als point of care (GEM 2000, Landtec, Colton, USA)
- Signaalsterkte van de SpO₂ < 50%
- Niet te verwijderen nagellak of kunstnagels (3)

Procedure

Alvorens de SpO₂ te meten werd het plethysmogram gecontroleerd. Het plethysmogram is de curve die het pulserende bloedvolume visualiseert. Het verschil in bloedvolume dat ontstaat door de verandering van de arteriële druk in het vaatbed (systole en diastole) ziet men in het plethysmogram terug als pulshoogte. Tevens werd gecontroleerd of de signaalsterkte > 50% was. De probe werd onder het laken gelegd om de beïnvloeding van licht te voorkomen. Vervolgens werd de SpO₂ via de monitor (Ultraview SL, spacelabs Healthcare, Snoqualmie WA, USA) gemeten op een van de volgende 3 manieren:

1. Saturatieknijper (Nellcor Oximax Durasensor DS- 100A adult SpO₂ finger sensor, Medtronic, Minneapolis MN, USA). Hierbij geeft de fabrikant aan dat bij een SpO₂ tussen de 70 en 100% de nauwkeurigheid +/- 3% mag zijn.
2. Saturatiesticker (Nellcor Single Use Adhesive SpO₂ Sensor- neonatal / adult, Medtronic, Minneapolis MN, USA). Hierbij geeft de fabrikant aan dat bij een SpO₂ tussen de 70 en 100% de nauwkeurigheid +/-2,0 % mag zijn.
3. Saturatieknijper oor (Nellcor Oximax D-YSE, Medtronic, Minneapolis MN, USA). Hierbij geeft de fabrikant aan dat bij een SpO₂ tussen de 70 en 100% de nauwkeurigheid +/- 3,5 % mag zijn.

Bij alle patiënten was een arteriële lijn in situ in de a. radialis, a. brachialis of a. femoralis. De arteriële lijn was aangesloten aan een druksysteem (Safedraw closed arterial blood drawing system, Meritmedical South Jordan UT USA).

Bloed werd volgens een standaard protocol afgenomen middels een RAPIDlyte 3ml arteriële bloed sampling syringe (Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany). Na afname van arteriële bloed voor bloedgasanalyse werd het arteriële bloedmonster binnen 15 minuten geanalyseerd in het laboratorium met behulp van een Rapidlab 1256 bloedgasanalyser (Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany). De verpleegkundige noteerde op het registratieformulier alle bevindingen die van belang zouden kunnen zijn, zoals temperatuur en het gebruik van vasoactieve medicatie (bijlage 2).

Statistische analyse

Voor het analyseren van de data is gebruikt gemaakt van SPSS versie 21. De verdeling van de gemeten waarden werd gevisualiseerd in een histogram en de normaliteit werd getoetst met de test van Kolmogorov-Smirnov. De SpO₂ werd vergeleken met de SaO₂ als gouden standaard middels een Bland-Altman plot.

Resultaten

Overall groep

In totaal zijn 263 bloedgasanalyses afgenomen. Hiervan zijn er 20 geëxcludeerd in verband met een point of care bepaling. Van de overige 243 bloedgasanalyses zijn er 12 geëxcludeerd in verband met een signaalsterkte van < 50%. Van de overgebleven 231 bloedgasanalyses zijn er 150 geëxcludeerd omdat er alleen met de eerste bloedgaswaarde een gepaarde meting werd gedaan. Dit kwam neer op 81 geïncludeerde patiënten.

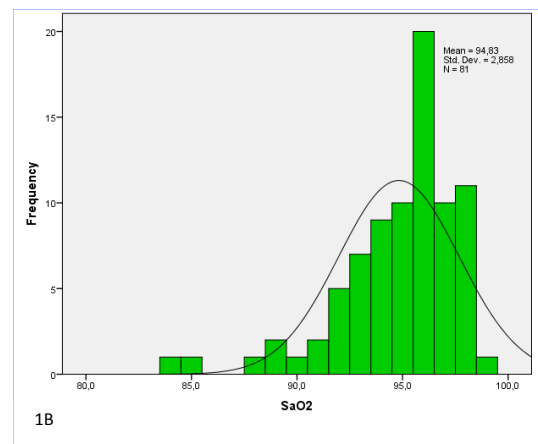
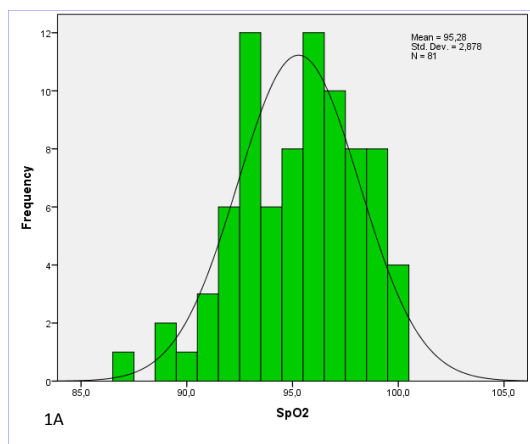
Tabel 1: Basiskarakteristieken

| Basiskarakteristieken | Aantal | % |
|-------------------------|--------|------|
| Vrouw | 31 | 38 |
| COPD | 23 | 28 |
| Beademing | 40 | 49,4 |
| Vasoactieve medicatie | 34 | 42 |
| Noradrenaline 1mg/50ml | 5 | 6,2 |
| Noradrenaline 5mg/50ml | 21 | 25,9 |
| Noradrenaline/Milrinone | 7 | 8,6 |
| Dopamine | 1 | 1,2 |
| Leeftijd (mediaan) | 81 | 66 |

Tabel 2: Gemeten waarden IQR, interquartile range

| Waarden | Aantal | Mediaan | IQR |
|-------------------|--------|------------|------|
| pH | 81 | 7,42 | 0,09 |
| PaCO ₂ | 81 | 5,35 kPa | 1,7 |
| SpO ₂ | 81 | 96 % | 4,5 |
| SaO ₂ | 81 | 96 % | 3,5 |
| PaO ₂ | 81 | 10,2 kPa | 2,8 |
| Lactaat | 68 | 1,4 mmol/l | 1,0 |
| Temperatuur | 77 | 36,9 °C | 1,1 |
| Hb | 81 | 6,3 mmol/l | 2 |

De basiskarakteristieken van de geïncludeerde patiënten zijn weergegeven in Tabel 1 en de gemeten waarden in Tabel 2. Om de normaliteit te toetsen, zijn de waarden van de SaO₂ en SpO₂ weergegeven in een histogram (Figuur 1A en B).

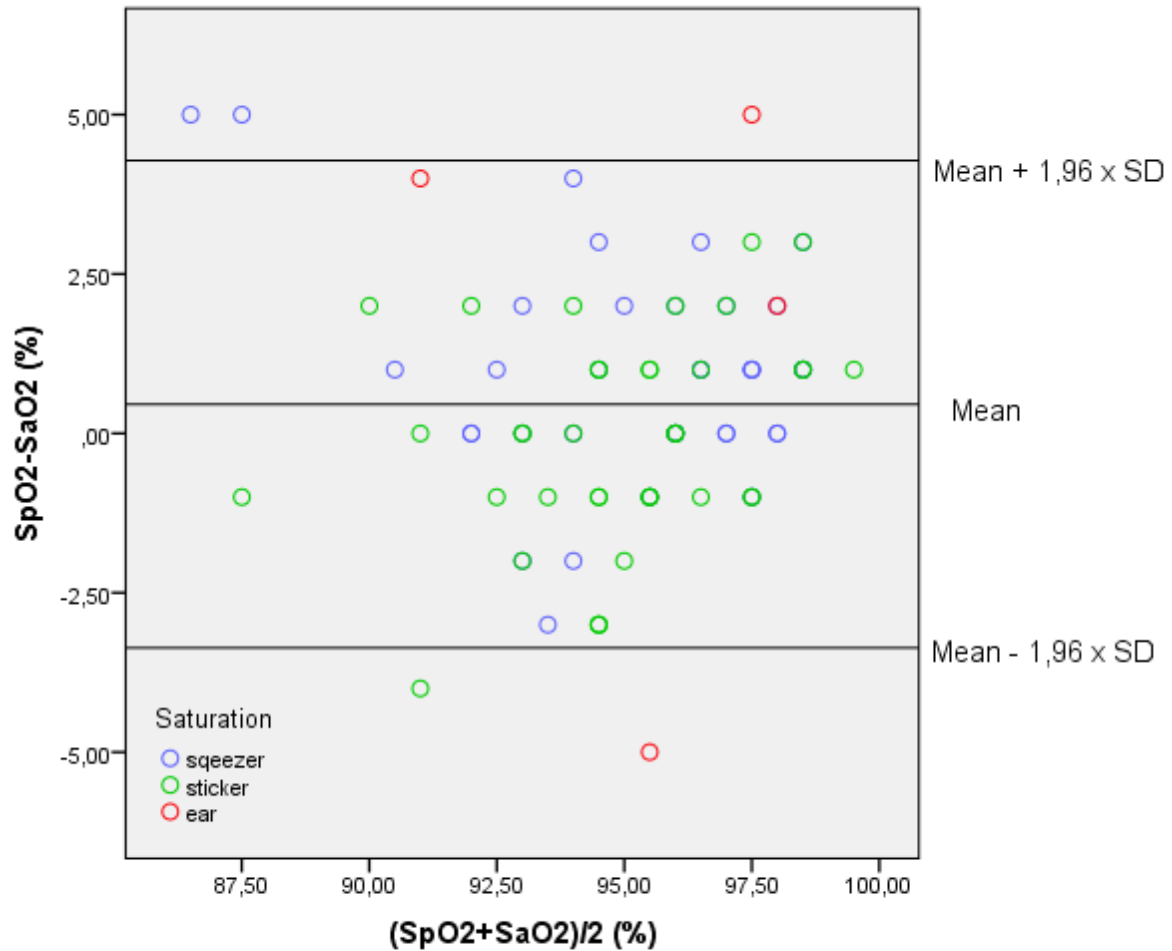


Figuur 1: Histogram met op de x-as de SpO₂ (1A) en de SaO₂ (1B) en op de y-as het aantal afgenomen arteriële bloedgasanalyses. De zwarte lijn geeft de normale verdeling weer.

In de Bland-Altman plot Figuur 2 is het gemiddelde van de SpO₂ en de SaO₂ uitgezet tegen het verschil tussen die 2 waarden, weergegeven door middel van een rondje. Hierbij heeft elke meetmethode een eigen kleur. De metingen in de range mean \pm 1,96 SD hebben een betrouwbaarheid van 95% en worden daarom als acceptabel beschouwd.

In onderstaande plot zijn 81 gepaarde meetwaardes ondergebracht waarvan er 35 een gelijke uitkomst hadden. Hierdoor vallen deze over elkaar en zijn donkerder van kleur. In deze plot vallen 76 van de 81 gepaarde metingen binnen de acceptabele range mean \pm 1,96 SD (94%). Voor het meten van de SpO₂ werd ongeveer even vaak gebruik gemaakt van een

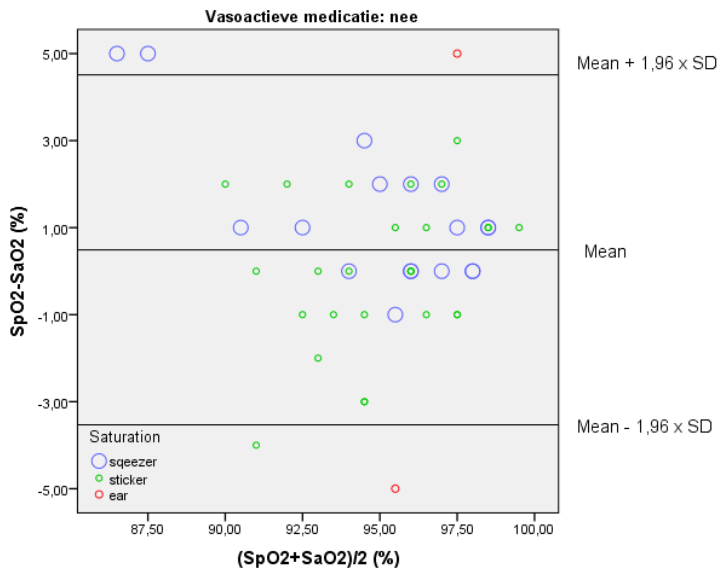
sticker als van een knijper (respectievelijk 39 en 38 keer). In de stickergroep viel 1 van de 39 metingen buiten de acceptabele range (2,5%), tegen 2 van de 38 in de knijpergroep (5%). In de groep waarbij een oorknijper werd gebruikt, vielen 2 van de 4 metingen buiten de acceptabele range (50%).



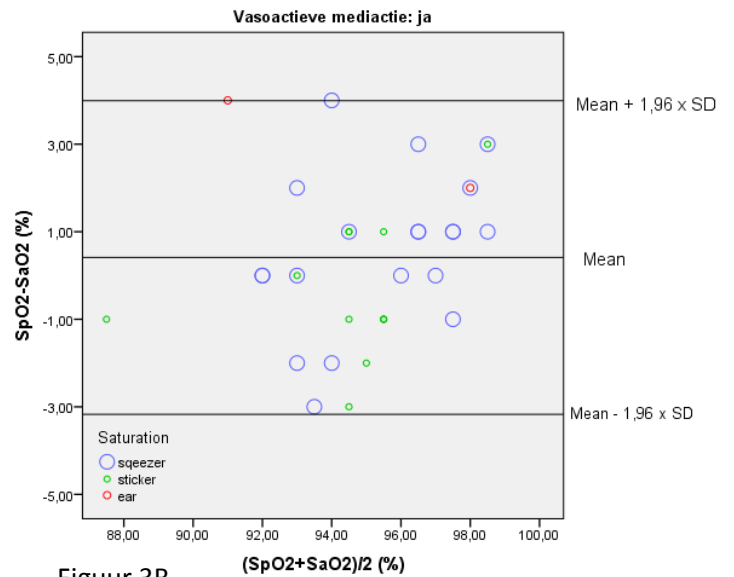
Figuur 2: Bland-Altman plot met op de x- as het gemiddelde van de de SaO_2 en SpO_2 en op de y-as het verschil tussen SaO_2 en SpO_2 .

Subgroep

In de subgroep is er analyse gedaan naar het verschil in de SpO_2 en de SaO_2 bij patiënten met of zonder vasoactieve medicatie. De Bland-Altman plots laten zien dat in de groep zonder vasoactieve medicatie 5 van de 34 metingen (14,7%) buiten de acceptabele range vielen tegen 0 van de 47 (0%) in de groep vasoactieve medicatie (figuur 3).



Figuur 3A



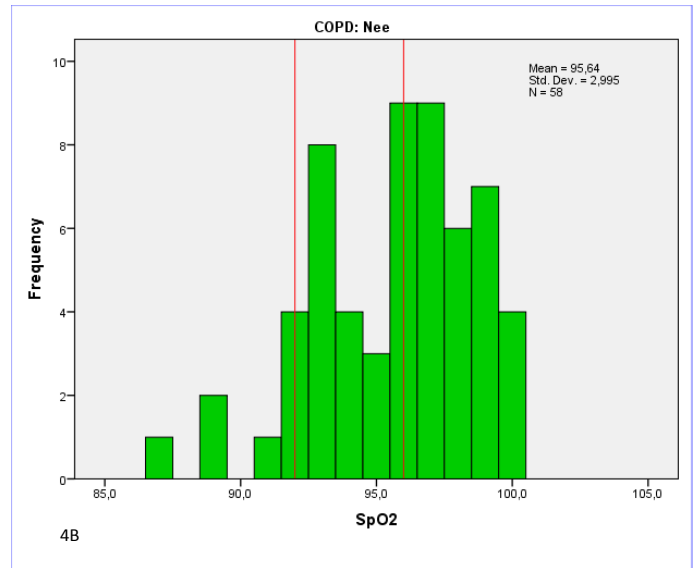
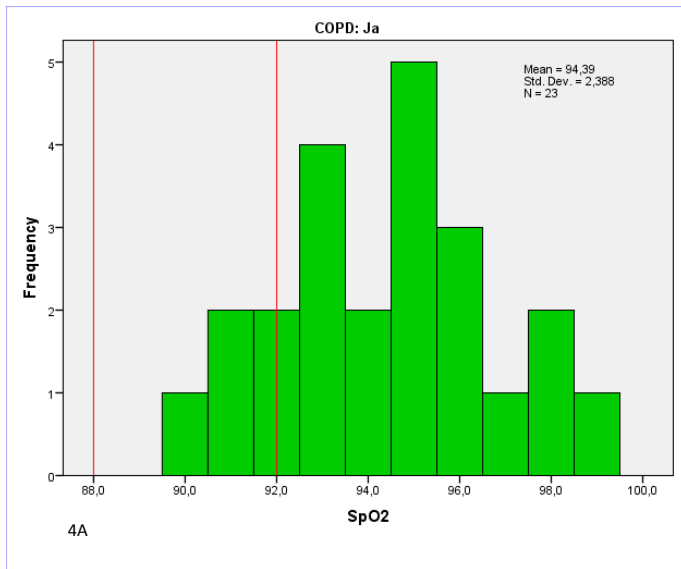
Figuur 3B

Figuur 3: Vergelijking van de SpO_2 en de SaO_2 bij patiënten zonder (3A) en met (3B) vasoactieve medicatie

Aanvullende analyse

In de aanvullende analyse is gekeken naar de hoogte van de SpO_2 in twee groepen: de COPD groep waarin de ideale streefwaarde van de SpO_2 tussen de 88%-92% lag en de groep zonder COPD met een streefwaarde van de SpO_2 tussen de 92%-96%. In zowel de groep met COPD als de groep zonder COPD had een groot aantal van de patiënten een SpO_2 hoger dan de streefwaarde (respectievelijk 18 van de 23 [78.3%] en 26 van 58 [44,8%]).

Dit is weergegeven in een histogram, waarvan de verticale rode lijnen de marges van de streefwaarde van de SpO_2 per groep weergeven (Figuur 4 A en B). In de groep met COPD varieerde de toegediende hoeveelheid zuurstof van 1 liter per minuut op een neusbril tot 0.6 FiO_2 via de beademingsmachine. In de groep zonder varieerde de toegediende hoeveelheid zuurstof van 1 liter per minuut op een neusbril tot 0.8 FiO_2 via de beademingsmachine.



Figuur 4: Verdeling in SpO₂ bij patiënten met (4A) en zonder COPD (4B).

Discussie

In dit onderzoek werd bij 81 IC/MC patiënten de SpO₂ vergeleken met een op hetzelfde tijdstip afgenomen SaO₂. Hierbij bleek de mediane waarde van zowel SaO₂ als SpO₂ gelijk te zijn (96%) waarbij 94% van de SpO₂ waarden vielen binnen de acceptabele range van het gemiddelde $\pm 1,96 \times SD$. Ook is aangetoond dat een meting middels een sticker even betrouwbaar is als die gemeten met een knijper op de vinger.

In het Dijklander Ziekenhuis wordt een PaO₂ kleiner of gelijk aan 8 kPa gebruikt als ondergrens om de oxygenatie te verbeteren (4). In dit onderzoek hadden 7 personen een pO₂ onder de 8,0 (6,0 – 7,8) waarbij 4 personen een SpO₂ < 92% hadden. Bij de overige 74 patiënten met een PaO₂ > 8 kPa hadden er 3 een SpO₂ < 92%. Hieruit volgt dat de specificiteit 96%, de positief voorspellende waarde 57% en de negatief voorspellende waarde van 96%.

Van de Louw *et al* vergeleken bij 102 opeenvolgende patiënten de SpO₂ met de SaO₂ (5). Zij vonden ook overeenkomstige mediane waarden voor SpO₂ en SaO₂ (97% versus 97,3%). Op basis van herhaalde metingen bleek echter dat het verschil tussen SaO₂ en SpO₂ niet reproduceerbaar was. Ook bleek de accuratesse van de SpO₂ meting af te hangen van het type oximeter dat was gebruikt. Tevens werd berekend dat voor het bereiken van een SaO₂ boven de 92% een SpO₂ van 93% nodig is met een sensitiviteit van 83% en een specificiteit van 91%. De hierbij behorende positief en negatief voorspellende waarden bedroegen respectievelijk 42% en 99%. De door de Van de Louw *et al* gemeten sensitiviteit is hoger dan de bij dit onderzoek gemeten sensitiviteit. Mogelijk komt dit door het kleine aantal patiënten dat wij bij onze berekening hebben gebruikt.

Het verschil tussen deze studie en de bovengenoemde studie is dat in onze studie alle SpO₂ metingen op hetzelfde apparaat zijn gedaan, in tegenstelling tot de studie van Van de Louw *et al* die drie verschillende pulsoximeters heeft gebruikt. Een tekortkoming in deze studie is dat de verschillen tussen de opeenvolgende SpO₂ en SaO₂ metingen bij dezelfde patiënt niet

met elkaar zijn vergeleken. Hierdoor kunnen wij geen uitspraak doen over de reproduceerbaarheid van onze methode.

In deze studie was het gebruik van vasoactieve middelen niet van invloed op de betrouwbaarheid van de SpO₂ meting. Van de Louw *et al* schrijven dat het gebruik van vasoactieve middelen wel van invloed was, maar dit is niet nader gespecificeerd. De studie van Ibanez *et al* includeerde 24 patiënten met vasoactieve medicatie (6). Bij 22 van deze 24 patiënten viel de SpO₂ meting binnen de range van gemiddelde ± 2 SD van de SaO₂. De auteurs van deze studie vonden de betrouwbaarheid van de SpO₂ bij vasoactieve middelen inaccuraat omdat de afwijking bij 9 van de 24 patiënten meer dan 4% bedroeg. Wij zijn echter van mening dat een afwijking van 4% alleen belangrijk is wanneer dit optreedt bij een SpO₂ onder de 92%.

Uit dit onderzoek blijkt dat van de met zuurstof behandelde patiënten meer dan de helft een SpO₂ boven de streefwaarde had. Uit eerder onderzoek blijkt dat ernstige hyperoxie (> pO₂ 200 mmHg) geassocieerd wordt aan een verhoogde mortaliteit (7). Ook werd in eerder onderzoek aangetoond dat patiënten met een restrictief zuurstofbeleid geen slechtere outcome hadden dan patiënten met een conservatief zuurstofbeleid (8). In hoeverre dit consequenties heeft voor de streefwaarde van de SpO₂ zal onderwerp zijn van toekomstig onderzoek.

Uit de resultaten van ons onderzoek concluderen wij dat in het Dijklander Ziekenhuis de SpO₂ in zijn algemeenheid goed gebruikt kan worden als alternatief voor de SaO₂, waarbij aangetekend moet worden dat in een klein aantal gevallen een lage pO₂ niet gesignaleerd werd door een lage SpO₂.

Aanbevelingen:

Wij bevelen aan een saturatiesticker alleen te gebruiken wanneer er met een knijper geen betrouwbare meting kan worden verkregen. Dit in verband met de extra kosten van €18,13 die een sticker met zich meebrengt.

Gezien de betrouwbaarheid van de SpO₂ meting kan de het aantal per dag afgenomen bloedgasanalyses worden gereduceerd. Er kan worden gekozen om één bloedgasanalyse te doen per dag en verder bij `klinische verslechtering`.

Meer onderzoek naar de oor-saturatiemeter in grotere patiënten aantallen zal gedaan moeten worden gezien de geringe patiëntenpopulatie in dit onderzoek. De betrouwbaarheid van deze meting in dit onderzoek bleek onvoldoende.

Uit de aanvullende analyse kwam naar voren dat in zowel de COPD groep als in de groep zonder COPD de gemeten SpO₂ boven zowel 92% als wel de 96% waren. Hierover staat in het protocol invasieve beademing beschreven dat de streef SpO₂ >92% moet zijn bij patiënten zonder COPD maar een maximum wordt niet vermeld. En voor COPD patiënten staat: "Kan

de streefwaarde lager zijn". Hier is dus momenteel geen goede richtlijn voor; deze zal moeten worden gemaakt.

Aanbevolen wordt een kostenanalyse te maken op het aantal afgenomen bloedgasanalyses voor dit onderzoek zodat er na invoering van het nieuwe protocol een besparing kan worden uitgerekend.

Dankbetuiging

Patricia van Velzen: Voor al je kennis en kunde als intensivist-longarts. Heb veel van je geleerd en hoop dit in de toekomst nog lang te mogen doen.

Tjeerd van der Ploeg: Voor al je hulp bij SPSS, waardoor ik de data analyse eigenlijk leuker vond dan het schrijven van het artikel.

Anne-Cornelie de Pont: Voor al je geduld bij het uitleggen als ik het weer eens niet wist met mijn artikel. En voor het feit dat jij een soort levende Mendeley bent.

Ben de Boer: Voor al je hulp maakt niet uit hoe laat en wanneer jij reageerde altijd direct.

Mariska Brink: Voor het samen sparren

Literatuurlijst

1. Jubran A. Pulse oximetry. *Appl Physiol Intensive Care Med* 1 *Physiol Notes - Tech Notes - Semin Stud Intensive Care, Third Ed* [Internet]. 2012;51–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-015-0984-8>
2. Wills KE, Blizzard L, Walters EH, Wood-baker R. Effect of high flow oxygen on mortality in chronic obstructive randomised controlled trial. *Bmj*, 341, c5462. Austin, M.
3. Hinkelbein J, Genzwuerker H V., Sogl R, Fiedler F. Effect of nail polish on oxygen saturation determined by pulse oximetry in critically ill patients. *Resuscitation*. 2007;72(1):82–91.
4. Helmerhorst HJF, Schultz MJ, Voort PHJ Van Der, Bosman RJ, Juffermans NP, Wilde RBP De, et al. Effectiveness and Clinical Outcomes of a Two-Step Implementation of Conservative Oxygenation Targets in Critically Ill Patients: A Before and After Trial*. 2016;44(3).
5. Louw A, Cracco C, Cerf C, Harf A, Duvaldestin P, Lemaire F, et al. Accuracy of pulse oximetry in the intensive care unit. *Intensive Care Med*. 2001;27(10):1606–13.
6. Ibanez J, Velasco J, Raurich JM. *Intensive Care Medicine* The accuracy of the Biox 3700 pulse oximeter in patients receiving vasoactive therapy. 1991;484–6.
7. Helmerhorst HJF, Schultz MJ, Voort PHJ Van Der, Jonge E De, Westerloo DJ Van. Bench-to-bedside review : the effects of hyperoxia during critical illness. *Crit Care* [Internet]. 2015; Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-015-0996-4>
8. Panwar R, Hardie M, Bellomo R, Eastwood GM, Young PJ. Conservative versus Liberal Oxygenation Targets for Mechanically Ventilated Patients. 2016;193:43–51.

Bijlage 1

Protocol invasieve beademing

Beschrijving beademingsvormen bij EVITA-4 en Hamilton S1

EVITA-4 Drukgestuurde gecontroleerde beademing

BIPAP (biphasic positive airway pressure)

Is de standaard modus voor gecontroleerde beademing met de EVITA-4. Basisinstellingen bij start beademing:

- P_{INSPI} wordt ingesteld op geleide van het hiermee bereikte V_T . Het V_T moet uitkomen op 6 ml/kg ideaal gewicht (zie schema).
- Frequentie wordt ingesteld op geleide van de pCO_2 en pH.
- T_{INSPI} wordt ingesteld op basis van de gewenste I:E ratio.
- De drukstijgtijd wordt ingesteld op 0,20 sec.
- PEEP en O_2 worden ingesteld op basis van de pO_2 en SaO_2 .
- P_{ASB} kan worden ingesteld indien de patient tussen door kan ademen. Stel hiervoor ook de flowtrigger in (uitgebreide instellingen).

Let op:

- $P_{INSPI} = PEEP + \text{druk boven op PEEP}$.
- Bij aanpassingen in de frequentie wordt de T_{INSPI} constant gehouden door de EVITA-4. Om weer de juiste I:E ratio aan te houden moet daarom bij iedere aanpassing in de frequentie de T_{INSPI} worden aangepast.
- Bij een ademfrequentie $>30/\text{min}$ kan het voorkomen dat door een korte T_{INSPI} er onvoldoende teugvolume in komt. Dit kan worden opgelost door de T_{INSPI} te verlengen door de I:E ratio aan te passen (bv 1:1,5 of 1:1), de drukstijgtijd te verkorten, of de P_{INSPI} te verhogen.

Uitgebreide instellingen:

- De flowtrigger wordt aangezet en ingesteld op 5 L/min.
- De apneuventilatie wordt aangezet en staat standaard ingesteld op teugvolume van 520ml en ademfrequentie van 12 per minuut.
- De tubecompensatie wordt niet gebruikt.

Alarminstellingen:

- Stel grenzen in voor het minuutvolume (MV), de frequentie (f_{SPN}), teugvolume (V_{Ti}), en end-tidal CO_2 ($etCO_2$). De airwaypressure (P_{AW}) grens is niet relevant bij drukgestuurde beademing aangezien deze wordt bepaald door de mate van P_{INSPI}/P_{ASB} en PEEP.

EVITA-4 Drukgestuurde ondersteunende beademing

ASB (assisted spontaneous breathing)

Is de standaard modus voor ondersteunende beademing met de EVITA-4. Basisinstellingen:

- P_{ASB} wordt ingesteld op geleide van de pCO_2 en pH. Streef naar een P_{ASB} van 5 cm H_2O .
- De drukstijgtijd wordt ingesteld op 0,20 sec. Bij dyssynchronie op basis van dyspneu kan deze worden verkort.

Uitgebreide instellingen:

- De flowtrigger wordt aangezet en ingesteld op 5 L/min.
- De apneuventilatie wordt aangezet en staat standaard ingesteld op teugvolume van 520ml en ademfrequentie van 12 per minuut.
- De tubecompensatie wordt niet gebruikt.

De alarminstellingen zijn hetzelfde als bij BIPAP.

EVITA-4 Volumegestuurde gecontroleerde beademing

IPPV (intermittend positive pressure ventilation)

Wordt alleen toegepast in het kader van de PREVENT trial. Basisinstellingen:

- V_T (6 ml/kg ideaal gewicht of 10 ml/kg ideaal gewicht afhankelijk van randomisatie. Zie hiervoor het schema.
- Frequentie wordt ingesteld op geleide van de pCO_2 en pH.
- T_{INSP} wordt ingesteld op basis van de gewenste I:E ratio.
- Flow wordt ingesteld op basis van de pauzetijd (10%). Zie hiervoor het schema.
- De P_{MAX} wordt ingesteld op 60 cm H_2O (de P_{PEAK} hoeft niet worden te begrensd omdat dit niet de druk in de alveoli weergeeft).
- PEEP en O_2 worden ingesteld op basis van de pO_2 en SaO_2 .

Let op: bij aanpassingen in de frequentie wordt automatisch de T_{INSP} aangepast door de EVITA-4. Om weer de juiste I:E ratio aan te houden moet daarom bij iedere aanpassing in de frequentie de T_{INSP} worden aangepast. Het ophogen van de frequentie wordt beperkt door de flow die is ingesteld. De flow bepaalt hoe snel het ingestelde V_T kan worden gegeven (= T_{INSP}). Daarom kan het zo zijn dat eerst de flow moet worden verhoogd voordat de frequentie hoger kan worden ingesteld. De juiste waarde voor de flow staat aangegeven op het schema met frequenties.

Uitgebreide instellingen:

- De flowtrigger kan worden aangezet en ingesteld op 5 L/min. Bij een trigger van de patient wordt de eerstvolgende ademteug synchroon met de trigger gegeven.
- De zuchtfunctie wordt in principe niet gebruikt
- De autoflow wordt in het kader van de PREVENT trial uitgezet
- De tubecompensatie wordt niet gebruikt

Alarminstellingen:

- Stel grenzen in voor het minuutvolume (MV), de frequentie (f_{SPN}), teugvolume (V_T), de airwaypressure (P_{AW}), en end-tidal CO_2 ($etCO_2$). De P_{AW} is de drukbegrenzing indien de autoflow functie wordt gebruikt.

Overige beademingsvormen

De beademingsvorm SIMV wordt niet toegepast.

Hamilton S1 Drukgestuurde gecontroleerde beademing

P-CMV (pressure controlled mechanical ventilation)

Is de standaard modus voor gecontroleerde beademing met de Hamilton S1. Instellingen:

- P_{CONTROL} wordt ingesteld op geleide van het hiermee bereikte V_T . Het V_T moet uitkomen op 6 ml/kg ideaal gewicht (zie schema).
- Frequentie wordt ingesteld op geleide van de $p\text{CO}_2$ en pH.
- PEEP en O_2 worden ingesteld op basis van de $p\text{O}_2$ en SaO_2 .
- De I:E ratio wordt ingesteld op 1:2.
- De PRamp wordt ingesteld op 50 ms.
- De trigger wordt ingesteld op flowtrigger en op 5 L/min.

DuoPAP (duo positive airway pressure) en APRV (airway pressure release ventilation)

DuoPAP is vergelijkbaar met BIPAP van de EVITA-4. APRV is een beademingsmodus die kan worden toegepast bij hypoxemie niet reagerend op diverse verhogingen van de PEEP en buikligging indien de patient niet meer in aanmerking komt voor ECMO. Er wordt een laag en hoog niveau van PEEP ingesteld (P_{LAAG} en P_{HOOG}) en een T_{LAAG} en T_{HOOG} voor de tijdsduur van het niveau van lage en hoge PEEP. Omdat patient zowel bij hoge en lage PEEP zelf kan blijven ademen wordt ook een P_{SUPP} ingesteld en bijhorende PRamp, ETS en flowtrigger. Bij DuoPAP wordt met PEEP het lage niveau PEEP ingesteld en wordt met de frequentie ingesteld hoe vaak het hoge niveau PEEP wordt toegediend en met de T_{HOOG} de duur van het hoge PEEP niveau. De overige instellingen zijn hetzelfde als bij APRV. DuoPAP en APRV zijn vergelijkbaar met P-CMV waarbij de I:E ratio is ingesteld als 2:1 of hoger. Het verschil is dat bij DuoPAP en APRV de patient zelf tussendoor kan ademen.

Hamilton S1 Drukgestuurde ondersteunende beademing

SPONT (spontaan)

Is de standaard modus voor ondersteunende beademing met de Hamilton S1.

Instellingen:

- P_{ASB} wordt ingesteld op geleide van de $p\text{CO}_2$ en pH. Streef naar een P_{ASB} van 5 cm H_2O .
- De drukstijgtijd wordt ingesteld op 0,20 sec. Bij dyssynchronie op basis van dyspneu door 'air hunger' kan deze worden verkort tot 0,0 sec.

Uitgebreide instellingen:

- De flowtrigger wordt aangezet en ingesteld op 5 L/min. Bij spierzwakte kan dit worden verlaagd maar let hierbij op mogelijke autotriggering.
- De apneuventilatie wordt aangezet en staat standaard ingesteld op teugvolume van 520ml en ademfrequentie van 12 per minuut.
- De tubecompensatie wordt niet gebruikt.

Hamilton S1 Volumegestuurde gecontroleerde beademing

S-CMV (synchronized controlled mechanical ventilation)

Wordt alleen toegepast in het kader van de PREVENT trial.

Instellingen:

- V_T (4-6 ml/kg ideaal gewicht of 8- 10 ml/kg ideaal gewicht afhankelijk van randomisatie. Zie hiervoor het schema.
- Frequentie wordt ingesteld op geleide van de pCO_2 en pH.
- PEEP en O_2 worden ingesteld op basis van de pO_2 en SaO_2 .
- De I:E ratio wordt ingesteld op 1:2.
- De flow wordt ingesteld op continu (rechthoek) en de pauze op 10%.
- De trigger wordt ingesteld op flowtrigger en op 5 L/min.

Hamilton S1 ASV (adaptive support ventilation)

ASV zorgt voor toediening van een vastgesteld AMV waarbij de patient ondersteund beademd wordt maar bij een te lage ademfrequentie gecontroleerde slagen toegediend krijgt zodat het AMV gegarandeerd wordt. De mate van pressure support bouwt ASV zelf af afhankelijk van de mate van effort die een patient levert. De frequentie en het teugvolume dat wordt geleverd wordt gegeneerd vanuit de gedachte dat er een optimale combinatie is waarbij de work-of-breathing voor de patient minimaal is. Dit is de reden waarom ASV relatief grote teugvolumes geeft. Hierom wordt ASV alleen toegepast bij patienten zonder longziekten en met een verwachte korte beademingsduur. De box waarbinnen ASV het teugvolume en frequentie kiest wordt begrensd door:

- Bovengrens V_T : wordt begrensd door de P_{ASV} limiet
- Ondergrens V_T : 4,4 ml/kg ideaal gewicht
- Bovengrens frequentie: AMV / ondergrens teugvolume met een maximum van 60/min
- Ondergrens frequentie: 5/min

ASV beademing zal niet lukken indien het voor het ingestelde AMV niet lukt een combinatie V_T en frequentie te kiezen die binnen het veiligheidsbox valt (alarm 'doel niet gehaald'). Indien dit het geval is moet ofwel de P_{ASV} worden verhoogd, of er moet gekozen worden voor een andere beademingsvorm.

ASV-intelligent is hetzelfde als ASV, echter nu vindt terugkoppeling van $etCO_2$ en SpO_2 plaats naar het ASV algoritme. Hierdoor hoeft het percentage AMV niet meer worden ingesteld en kan ook de oxygenatie automatisch worden geregeld.

Instelling ASV:

- Registreer de lengte en het geslacht van patient in het hoofdscherm
- Stel het gewenste %MinVol in; 100% komt overeen met een AMV = $0,1 \cdot \text{gewicht}$ (ideaal)
- Stel de P_{ASV} limiet in. Let op: de drukgrens (in alarmscherm) staat altijd 10 cm H₂O boven de P_{ASV} limiet.
- De overige instellingen zijn als bij spontane ademhaling

ASV-Intelligent:

- Stel oxygenatietarget in

- Stel etCO₂ target in. Let op correctie hiervan bij patiënten met ARDS, chronische hypercapnie en bij metabole alkalose.

Instellingen met betrekking tot oxygenatie:

- FiO₂: wordt ingesteld op geleide van de streefsaturatie.
- PEEP: de minimale waarde is 5 cm H₂O. De PEEP kan worden verhoogd bij hypoxemie als de oorzaak hiervan atelectase is. Het is hierdoor zinnig om de PEEP te verhogen als daarmee de FiO₂ kan worden afgebouwd. Het kunstmatig hoog houden van de PEEP bij atelectasen of ARDS zonder winst in oxygenatie is niet aangetoond beter.⁶ Het meten van de oesofagusdruk voor het instellen van PEEP is niet aangetoond effectief en wordt daarom niet gedaan.⁷
- I:E ratio: staat in principe altijd op 1:2. Bij onvoldoende effect van verhogen van PEEP kan de I:E ratio op 1:1,5 of 1:1 gezet worden. Op deze manier kan er auto-PEEP ontstaan zodra het effect van externe PEEP wordt versterkt.
- Recruitment manoeuvres: bij hypoxemie niet goed reagerend op verhogen van de FiO₂ en PEEP moet een recruitment manoeuvre worden verricht. Dit wordt alleen door intensivisten gedaan.
- Buikligging: de redenatie achter buikligging is verbetering van de ventilatie/perfusie verhouding in de longen en recruterende van atelectatisch longweefsel waardoor de compliantie toeneemt. Het nut van buikligging is aangetoond bij ernstige ARDS⁸ en moet daarom altijd worden overwogen zodra een PEEP niveau van 15 cm H₂O nodig is.
- Indien er persisterende hypoxemie is ondanks buikligging kan indien er geen contra-indicatie voor antistolling is venoveneuze extracorporele membraanoxygenatie (ECMO) worden overwogen in overleg met het AMC.

Ondersteunende beademing:

- Modus: altijd drukgestuurd.
- Pressure Support wordt ingesteld zodat het teugvolume 6ml/kg is. De minimale instelling is 5 cm H₂O. Indien de tubecompensatie wordt gebruikt kan verder worden afgebouwd. Indien de patient zelf met minimale ondersteuning grote teugvolumes maakt wordt dit geaccepteerd.
- Permissive hypercapnia kan ook bij ondersteunende beademing worden toegepast zolang de patient comfortabel oogt. Bij ernstige dyspneu kan de PS opgehoogd worden indien dit tot minder dyscomfort leidt.
- Flow-trigger: standaard op 5 L/min. Bij patiënten met zeer weinig kracht kan deze worden verlaagd. Dit verhoogt echter het risico op auto-triggering. Druktrigger wordt in principe niet gebruikt.
- Drukstijgtijd: wordt ingesteld op 50 ms. Deze kan bij ernstige dyspneu worden verkort.
- ETS (expiration trigger sensitivity): geeft het percentage van de peakflow aan waarbij de patient kan uitademen. Des te hoger deze staat ingesteld, des te eerder de uitademingscyclus begint. Deze wordt standaard op 25% ingesteld en kan worden aangepast bij dyssynchronie en bij COPD.
- Back-up ventilatie wordt altijd aangezet.

Adaptive support ventilation:

Indicatie:

- Patiënten die sedatie hebben gehad en nog onvoldoende wakker zijn om volledig zelfstandig te ademen. Dit zijn postoperatieve patienten en patienten die procedurele sedatie krijgen bij een interventie of gedurende transport.
- In principe bij alle andere patiënten vanaf het moment dat weaning kan beginnen. Voordelen van ASV zijn het geautomatiseerd afbouwen van beademingsvoorwaarden en het streven naar een zo laag mogelijke work-of-breathing voor de patient waardoor weanen van de beademing wordt bevorderd. De enige uitzondering is ARDS omdat de teugvolumes hierbij zo laag mogelijk moeten worden gehouden. ASV geeft teugvolumes van 6-8 ml/kg bij de meeste patienten en van 10 ml/kg bij COPD. Hou hier rekening mee.

Instellingen:

- Ventilatie: stel het benodigde AMV in waarbij 100% gelijk is aan 0,1L/kg/min.
- Oxygenatie: stel PEEP en FiO₂ in zoals gebruikelijk.

ASV-Intellivent:

- Past het AMV automatisch aan op uitslagen van de etCO₂. De streefwaarde voor de etCO₂ moet worden aangepast bij metabole alkalose (lage etCO₂) en bij permissive hypercapnia / ARDS / chronische hypercapnie (hoge etCO₂).
- Past de PEEP en FiO₂ automatisch aan op uitslagen van de SpO₂. De streefwaarde hiervoor kan worden aangepast bij chronische hypoxemie zoals bij COPD of interstitiele longziekten.
- Weanen: bij kortdurende beademing kan de Quick-wean optie worden gebruikt. Bij langere beademing kan het AMV handmatig worden verlaagd.

Indicatie:

Invasieve beademing kan om vier redenen worden toegepast:

- Gaswisselingsstoornissen
- Neuromusculaire ziekten met te weinig kracht van de ademhalingspijeren
- Narcose i.v.m. operatieve ingreep
- Na intubatie i.v.m. vrijhouden van de ademweg

De instellingen van de beademingsmachine worden geleid o.b.v. gaswisseling en op geleide van het beperken van schade door beademing (ventilator-induced lung injury). In dit protocol wordt beschreven welke instellingen moeten worden gebruikt voor oxygenatie en ventilatie waarbij wordt gestreefd naar instellingen die VILI minimaliseren.

Monitoring:

Alle patiënten met beademing krijgen de volgende monitoring:

- Perifere saturatiemeter
- Arterielijn voor bloedgasafname. Er wordt per dienst minimaal 1 bloedgas afgenomen indien de patient beademd wordt. Op indicatie vaker.
- Thoraxfoto wordt alleen op indicatie verricht in overleg met de intensivist.

In principe wordt ASV-intelligent gebruikt waarbij de verpleegkundige de streef etCO_2 en streef SpO_2 instelt in overleg met de arts. De beademingsvoorwaarden worden dan geautomatiseerd afgebouwd. Indien de patient op druk- of volumegestuurde beademing staat of op spontane ademhaling dan moet per dienst actief worden gekeken of kan worden afgebouwd volgens onderstaand schema.

IC verpleegkundigen mogen de beademingsinstellingen afbouwen indien de gaswisseling gedurende minimaal een uur met minimaal 1 controle met bloedgas voldoende is zonder tussenkomende aanpassingen aan de beademingsmachine door de arts. Dit geldt voor alle beademingsmodi. Bij ophogen van instellingen moet altijd de arts-assistent of intensivist worden ingelicht.

Oxygenatie - afbouwen:

Op geleide van een vastgestelde streefsaturatie moet minimaal 1x per dienst worden beoordeeld of de beademingsinstellingen kunnen worden afgebouwd. Zie hiervoor het schema:

| FiO2 | 21% | 30% | 40% | 40% | 50% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| PEEP | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 | 10 | 10 | >10 | >10 | >10 | >10 |

- De FiO2 mag in stappen van 10% worden afgebouwd indien de gemeten saturatie boven de streefwaarde zit. Er hoeft niet na iedere stap een nieuwe bloedgas te worden afgenomen. Indien bij controle van de bloedgas de streef saturatie gehaald is maar de streef pO_2 niet dan overleg met de arts.
- De PEEP mag door verpleegkundigen worden afgebouwd volgens het schema zodra deze 10 cm H_2O of lager is. Het afbouwen van PEEP >10 cm H_2O gaat afbouwen i.o.m. de intensivist. De minimale PEEP die wordt gehanteerd is 5 cm H_2O .

Oxygenatie - ophogen (altijd arts inlichten):

- Ophogen van de FiO2 mag tot 100%. Ophogen van de PEEP mag tot 10 cm H_2O . Let bij ophogen van de PEEP altijd op de bloeddruk i.v.m. verminderen van de veneuze return.
- Uitzuigen van luchtwegen altijd proberen.
- Indien bovenstaand onvoldoende, dan is recruitmanoeuvre door intensivist geïndiceerd. Laagdrempeilig thoraxfoto i.o.m.arts.

Voorkomen van zuurstofgerelateerde schade:

- Hyperoxie lijkt geassocieerd met mortaliteit. De streefsaturatie is in principe >92% en streef PaO₂ > 8kPa.⁵ Bij patiënten met pre-existente longziekten met chronische hypoxemie kan de streefwaarde lager zijn.

Ventilatie - afbouwen:

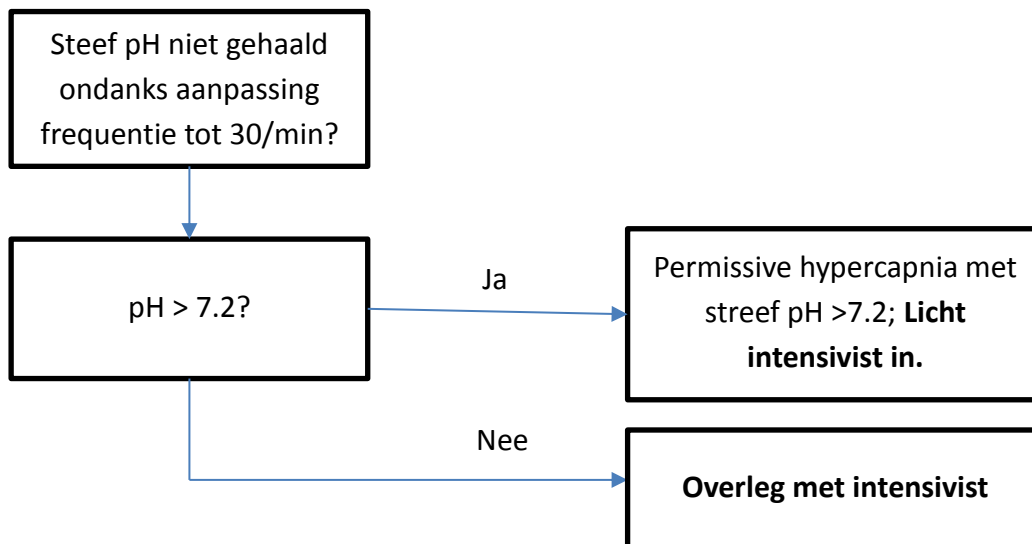
Pressure control en frequentie bij gecontroleerde beademing en pressure support bij ondersteunende beademing kunnen altijd door verpleegkundigen worden afgebouwd rekening houdend met een streefteugvolume van 6 ml/kg en het gebruik maken van permissive hypercapnia.

Ventilatie - ophogen (altijd arts inlichten):

Frequentie mag opgehoogd worden tot 30/min

Indien ophogen van de frequentie niet tot voldoende ventilatie leidt dan kan in overleg met de intensivist het teugvolume worden opgehoogd.

Stroomdiagram:

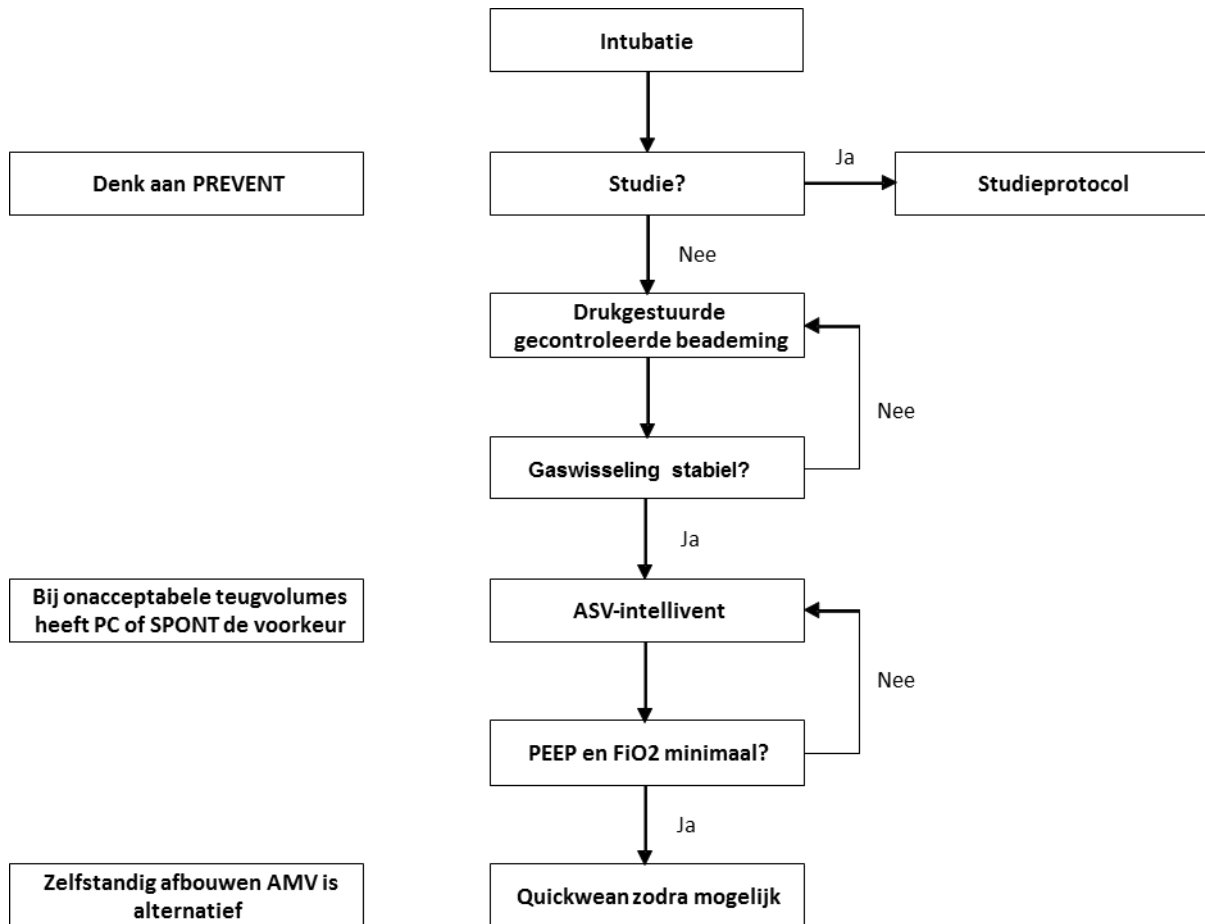


Overzetten beademing bij postoperatieve patienten tijdens dienst waarbij de intensivist niet op de IC aanwezig is:

Voorkomen van ventilator induced lung injury (VILI):

- Bij gecontroleerde beademing moet het teugvolume op 6 ml/kg ideaal gewicht of lager blijven. De ademprequentie wordt aangepast op geleide van de pCO₂ en de pH (zie ventilatie). Bij een ademprequentie >30/min kan een pH tot 7.20 worden geaccepteerd (permissive hypercapnia).¹
- Indien de driving pressure (P_{plateau} – PEEP bij volumegestuurde beademing en Pressure Control bij drukgestuurde beademing) te hoog wordt (>20 cm H₂O) kan worden gekeken of aanpassen van PEEP de compliantie toeneemt en het teugvolume toeneemt. Ook bij buikligging moet beoordeeld worden of de driving pressure kan worden verlaagd aangezien er bij buikligging vaak longweefsel wordt gerecrueteerd.²⁻³

- Venoveneuze extracorporele CO₂ removal (ECCOR) kan worden overwogen indien er onbehandelbare hypercapnie is met een pH < 7.20 ondanks maximale frequentie en maximaal teugvolume.⁴



Referenties

1. Slutsky AS, et al. Ventilator-induced lung injury. N Engl J Med 2013; 369:2126-2136.
2. Amato MB, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 2015; 372:747-755.
3. Gattinoni L, et al. Prone position in acute respiratory distress syndrome. Rationale, indications, and limits. Am J Respir Crit Care Med 2013; 188:1286-1293.
4. Fanelli V, et al. Feasibility and safety of low-flow extracorporeal carbon dioxide removal to facilitate ultra-protective ventilation in patients with moderate acute respiratory distress syndrome. Crit Care 2016; 20:36.
5. Helmerhorst HJ, et al. Association between arterial hyperoxia and outcome in subsets of critical illness: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression of cohort studies. Crit Care Med 2015; 43:1508-1519.
6. Briel M, et al. Higher vs lower positive end-expiratory pressure in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. Systematic review and meta-analysis. JAMA 2010; 303:865-873.
7. Brochard L. Measurement of esophageal pressure at bedside: pros and cons. Curr Opin Crit Care 2014; 20:39-46.
8. Guérin C, et al. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 2013; 368:2159-2168.

Bijlage 2

| | | | | | | |
|--|----------|---|------------|-----------|----|--|
| SpO ₂ op de monitor | | | | | | |
| SaO ₂ in de bloedgas | | | | | | |
| PaO ₂ in de bloedgas | | | | | | |
| Tijd en datum afname bloedgas | | | | | | |
| Plaats arterielijn | | Links / rechts Arterie Radialis/ Ulnaris/ Femoralis | | | | |
| Is de balk van de saturatie > dan 50% gevuld | | Ja / Nee | | | | |
| Krijgt de patiënt zuurstof | | Ja / Nee hoeveelheid | | | | |
| Temperatuur patiënt | | | | | | |
| Saturatie knijper/ saturatie sticker | | | | | | |
| Noradrenaline 1/5 mg | Dopamine | Dobutamine | Adrenaline | Milrinone | | |
| St | st | St | St | St | St | |