

INTELLiVENT-ASV; what's the driving pressure?

H. Swinkels – Donkers (ventilation practitioner i.o.)

A. Osinski (internist – intensivist)

M. van der Meijden (afdelingshoofd a.i.)

Januari 2021 Máxima MC Veldhoven

Samenvatting

Introductie

Sinds 2018 wordt op de intensive care van Máxima Medisch Centrum INTELLiVENT-ASV (Adaptive Support Ventilation) als eerste keus beademingsmodus gebruikt. INTELLiVENT-ASV is een closed loop beademingsvorm van Hamilton Medical. De firma stelt dat INTELLiVENT-ASV automatisch een longprotectieve strategie toepast. Het toepassen van een longprotectieve strategie is essentieel bij mechanische beademing en kan Ventilator Induced Lung Injury (VILI) voorkomen. Een driving pressure (ΔP) van ≤ 14 cmH₂O is onderdeel van longprotectieve beademing. Een hogere ΔP is geassocieerd met een hogere mortaliteit bij ARDS (Acute Respiratory Distress Syndrome) patiënten.

Doelstelling

Inzichtelijk krijgen of de automatische aanpassing van de instellingen bij INTELLiVENT-ASV leidt tot $\Delta P \leq 14$ cmH₂O.

Methode

Een prospectieve, observationele studie waarin bij beademde patiënten op de intensive care van het Máxima Medisch Centrum de ΔP wordt gemeten. De metingen worden binnen een uur na intubatie verricht. De metingen worden verricht in de INTELLiVENT-ASV modus waarbij sprake is van automatische aanpassing van het percentage minuutvolume op basis van de ingestelde end tidal CO₂ (PetCO₂). De metingen worden verricht indien het PetCO₂ zich in het midden van de range bevindt of indien het percentage minuutvolume op 70% staat en aanpassing van het PetCO₂ hierbij niet meer mogelijk is. Het meten van de ΔP wordt gedaan bij gecontroleerd beademde patiënten door middel van een inspiratoire en een expiratoire hold van vijf seconden welke respectievelijk de plateaudruk (P_{PLAT}) en de totale PEEP ($PEEP_{TOT}$) meten.

Resultaten

22 patiënten werden geïnccludeerd. De mediane ΔP was 9.3 cmH₂O, interkwartielafstand (IQR) 7.4 – 11.5 cmH₂O.

Conclusie

In dit prospectieve, observationele onderzoek selecteert INTELLiVENT-ASV bij alle geïnccludeerde patiënten een ΔP die als longprotectief wordt beschouwd en geassocieerd is met een lagere mortaliteit (≤ 14 cmH₂O).

Introductie

INTELLiVENT-ASV wordt sinds 2018 gebruikt als eerste keus beademingsmodus op de IC van Máxima MC. De firma stelt dat INTELLiVENT-ASV automatisch een longprotectieve strategie toepast. Het toepassen van een longprotectieve strategie is essentieel bij mechanische beademing en kan VILI voorkomen

VILI is geassocieerd met een langere beademingsduur en een hogere mortaliteit. Mogelijke, oorzakelijke mechanismen van VILI zijn volu-, baro-, atelecto- en biotrauma (15).

De ΔP is een maat voor de belasting die per teug op het respiratoire systeem wordt uitgeoefend. De ΔP is het verschil tussen P_{PLAT} en $PEEP_{\text{TOT}}$, welke worden verkregen door een inspiration en expiration hold uit te voeren. Een ΔP van ≤ 14 cmH₂O bleek in retrospectief onderzoek bij ARDS patiënten geassocieerd met een lagere mortaliteit (1). Er is geen prospectief, gerandomiseerd onderzoek naar de invloed van ΔP op relevante, klinische uitkomsten. Echter, ARDS wordt vaak niet herkend (14) en bij niet-ARDS patiënten wordt een toename van pulmonale complicaties (13) en incidentie van ARDS bij hogere ΔP (12) beschreven. Het wordt daarom geadviseerd om $\Delta P \leq 14$ cmH₂O na te streven in het kader van longprotectieve beademing (16).

INTELLiVENT-ASV is een volledig closed loop beademingsvorm die de beademingsvoorwaarden automatisch aanpast aan de ingestelde PetCO₂ en SpO₂ targets. Men geeft een maximale druklimiet aan (PASV, standaard 30cmH₂O) en stelt minimale en maximale PEEP-limieten in. Bij passieve patiënten functioneert INTELLiVENT-ASV als een adaptieve, volledig gecontroleerde beademingsmodus. Hierbij wordt de inspiratoire druk (P_{INS}) door de machine aangepast om zo het gewenste VT te verkrijgen. De algoritmes op basis waarvan de ventilator zijn frequentie (F) en VT kiest, komen voort uit de ASV-modus. Hierbij zijn VT, F en de P_{INS} gebaseerd op het principe van

minimale ademarheid en kracht beschreven door Otis en Mead (6, 8). VT en F zijn afhankelijk van de resistance (R) en compliantie (C) die gemeten wordt door de beademingsmachine. Het product van de gemeten compliantie en weerstand tijdens expiratie geeft de expiratoire tijdsconstante (RC_{EXP}).

Arnal et al (5) stellen dat INTELLiVENT-ASV de ΔP in 95% van de gevallen ≤ 14 cmH₂O houdt bij geselecteerde patiëntpopulaties. We onderzochten of dit ook het geval is bij onze, gemengde IC populatie.

Onderzoek

In dit onderzoek wordt gemeten welke ΔP INTELLiVENT-ASV, ingesteld volgens het protocol van Máxima MC (zie bijlage 4), hanteert.

Methode

Het onderzoek is uitgevoerd op de IC van het Máxima MC in Veldhoven. Een level twee IC met dertien beademingsbedden in een perifeer opleidingsziekenhuis. Het onderzoek is van 11 februari tot 11 december 2020 uitgevoerd. Het betreft een prospectief, observationeel onderzoek.

Het onderzoek is goedgekeurd door de METC en de Commissie Lokale Uitvoerbaarheid Onderzoek van het Máxima MC.

Patiënten

Geïnccludeerd zijn patiënten die beademd werden met INTELLiVENT-ASV, binnen zestig minuten na intubatie en die geen spontane ademactiviteit vertonen. Inclusie liep van 11 februari tot 11 december 2020. Voorwaarde voor inclusie was dat het percentage minuutvolume automatisch geregeld werd door INTELLiVENT-ASV.

Geëxcludeerd zijn patiënten met eigen ademactiviteit, een vergrote kans op een pneumothorax of patiënten die beademd worden door middel van het protocol 'hersensletsel'.

Beademingsinstellingen

Beademingsinstellingen op de Hamilton S1 werden ingesteld door de verantwoordelijke arts of IC verpleegkundige. De instellingen bij INTELLiVENT-ASV zijn gebaseerd op het protocol van Máxima MC.

Metingen

De metingen werden verricht binnen 60 minuten na intubatie of binnenkomst op de IC. De metingen werden alleen verricht indien er geen sprake was van spontane ademactiviteit. Dit werd uitgesloten door middel van observatie van de patiënt en controle van de spontane ademhaling (F_{SPONT}) op de beademingsmachine. Dit werd vastgelegd door middel van een screenshot.

Na intubatie of binnenkomst op de IC werd de patiënt ingesteld op INTELLiVENT-ASV welke daaropvolgend de beademing aanpaste aan de ingestelde targets (PetCO₂ en de SpO₂). De meting van het PetCO₂ werd uitgevoerd met behulp van een Capnostat 5 sensor. Indien de target van het PetCO₂ werd behaald en de beademingsmachine geen aanpassingen meer deed, werd de ΔP gemeten. De meting werd verricht als het nagestreefde PetCO₂ zich precies in het midden van de targetzone bevond en/of het percentage minuutvolume op 70% stond en aanpassing van het PetCO₂ door INTELLiVENT-ASV niet meer mogelijk was.

Het meten van ΔP gebeurde door een inspiration en expiration hold van vijf seconden waarmee respectievelijk de P_{PLAT} en $PEEP_{TOT}$ worden gemeten. ΔP is het verschil tussen P_{PLAT} en $PEEP_{TOT}$. De inspiration en expiration holds werden vastgelegd met screenshots.

De metingen werden uitgevoerd door een aantal vooraf geïnstrueerde artsen en verpleegkundigen. De uitslagen werden genoteerd op een formulier wat werd ingeleverd bij de onderzoeksleider (bijlage 2).

De statische compliantie (C_{STAT}) werd berekend door VT te delen door ΔP .

Statistische toetsen

De gevonden waarden zijn uitgedrukt in een mediaan met 25% en 75% interkwartielafstanden (IQR 25% - 75%) en niet parametrische betrouwbaarheidsintervallen (B.I.).

Resultaten

In de periode van 11 februari tot 11 december 2020 werden bij dertig patiënten de beschreven metingen verricht. In totaal werden hiervan acht patiënten geëxcludeerd. Eén patiënt in verband met te laat verrichte metingen (drie uur na opname), vijf patiënten in verband met het ontbreken van data, één patiënt in verband met spontane ademhaling op het moment van de metingen en één patiënt waarbij het percentage minuutvolume op handmatig ingesteld stond.

Na exclusie werden de metingen van 22 patiënten geanalyseerd.

Tabel 1 toont de basiskarakteristieken van de geïncludeerde patiënten en de opname indicaties. Negen patiënten hadden een RC_{EXP} van < 0.5 seconden, acht een RC_{EXP} van 0.5 tot 0.7 seconden en vijf een RC_{EXP} van > 0.7 seconden. Tabel 2 toont de pH op basis waarvan de target CO₂ werd berekend en de diverse beademingsinstellingen die automatisch worden ingesteld door INTELLiVENT-ASV op basis van deze target.

Tabel 3 toont de gemeten P_{PLAT} en $PEEP_{TOT}$ en de berekende ΔP en C_{STAT} . De mediane ΔP was 9.3 cmH₂O (IQR 7.4 – 11.5 cmH₂O, B.I. 7.6 – 11.5 cmH₂O).

Bij een RC_{EXP} van < 0.5 seconden, 0.5 – 0.7 seconden en > 0.7 seconden waren de respectievelijke, mediane ΔP 9.9 cmH₂O (IQR 9.1 – 11.7 cmH₂O, B.I. 8.9 – 11.7 cmH₂O), 9.1 cmH₂O (IQR 6.8 – 11.2 cmH₂O, B.I. 4.9 – 12.1 cmH₂O) en 7.8 cmH₂O (IQR 6.8 – 8.9 cmH₂O, B.I. 6.6 – 9.6 cmH₂O).

Tabel 1: Basiskarakteristieken en opname indicatie

		Totaal	RC _{EXP} < 0.5 sec	RC _{EXP} 0.5 – 0.7 sec	RC _{EXP} > 0.7 sec
		N = 22	N = 9	N = 8	N = 5
Geslacht vrouw	N (%)	4 (18%)	2 (22%)	2 (25%)	0 (0%)
Geslacht man	N (%)	18 (82%)	7 (78%)	6 (75 %)	5 (100%)
Leeftijd (jaren)	Mediaan	75	73	74	76
	IQR	67 – 79	69 – 79	62 – 84	60 – 81
	B.I.	67 - 78	67 - 82	39 - 90	54 - 84
Lengte (cm)	Mediaan	175	173	176	174
	IQR	169 – 178	170 – 180	166 – 180	163 – 178
	B.I.	170 - 178	167 - 180	159 - 186	156 - 178
BMI (kg/m ²)	Mediaan	25.7	27.7	25.7	24.6
	IQR	24.0 – 28.1	24 – 28.1	22.6 – 30.0	23.6 – 27.4
	B.I.	24.2 – 28.1	23.3 – 28.1	16.5 – 40.5	23 - 30
APACHE IV					
Chirurgisch	N (%)	5 (23%)	1 (11%)	1 (12.5%)	3 (60%)
Medisch Sepsis	N (%)	5 (23%)	2 (22%)	2 (25%)	1 (20%)
Medisch Respiratoir	N (%)	8 (36%)	5 (56%)	2 (25%)	1 (20%)
Medisch Overige	N (%)	4 (18%)	1 (11%)	3 (37.5%)	0 (0%)

Gegevens weergegeven met mediaan, IQR: interkwartielafstanden 25% - 75%, B.I.: niet parametrische betrouwbaarheidsinterval of met N (%): aantal en percentages

Tabel 2: Beademingsinstellingen

		Totaal:	RC _{EXP} < 0.5 sec	RC _{EXP} 0.5 – 0.7 sec	RC _{EXP} > 0.7 sec
		N = 22	N = 9	N = 8	N = 5
pH	Mediaan	7.30	7.30	7.30	7.33
	IQR	7.30 – 7.30	7.25 – 7.30	7.30 – 7.30	7.30 – 7.35
	B.I.	7.30 – 7.30	7.25 – 7.30	7.30 – 7.31	7.30 – 7.35
Ademfrequentie (aantal/per minuut)	Mediaan	21	22	18	14
	IQR	15 – 23	21 – 30	14 – 23	12 – 19
	B.I.	15 - 23	21 - 30	13 - 23	11 - 22
VTe (ml)	Mediaan	417	337	450	442
	IQR	308 – 460	308 – 416	316 – 542	417 – 536
	B.I.	308 - 451	308 - 427	276 - 579	416 - 627
ExpMV (l/min)	Mediaan	7.3	9.2	8.2	6.0
	IQR	5.7 – 11.6	6.5 – 11.8	4.4 – 11.7	5.1 – 10.2
	B.I.	5.7 – 11.6	6.1 – 12.0	3.6 – 13.2	5.1 – 13.9
VT/IBW (ml/kg)	Mediaan	5.9	5.1	6.2	6.3
	IQR	5.2 – 6.7	4.6 – 6.2	5.5 – 6.9	5.9 – 8.6
	B.I.	5.2 – 6.7	4.4 – 6.5	5.2 – 8.8	5.7 – 9.5

Gegevens zijn weergegeven met mediaan, IQR: interkwartielafstanden 25% - 75%, B.I.: niet parametrische betrouwbaarheidsinterval, pH: pH op basis waarvan de CO₂ target wordt berekend, VTe: teugvolume expiratoir, ExpMV: expiratoir minuutvolume, VT/IBW: teugvolume / kilogram ideaal lichaamsgewicht

Discussie

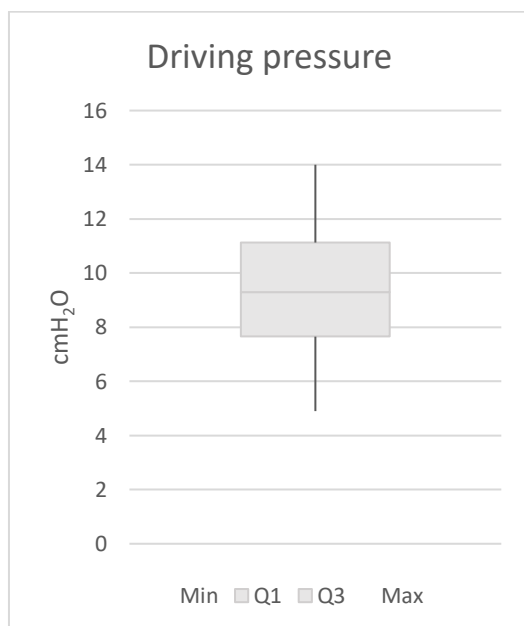
Deze prospectieve, observationele studie waarbij in het eerste uur na intubatie de ΔP is gemeten tijdens beademing met INTELLiVENT-

ASV, laat een ΔP van ≤ 14 cmH₂O zien bij alle geïncludeerde patiënten. Ook bij verschillende RC_{EXP} bevindt de ΔP zich consequent onder de veilige grens van 14 cmH₂O.

Tabel 3: Plateaudruk, totale PEEP, driving pressure en statische compliantie

		Totaal:	RC_{EXP} < 0.5 sec	RC_{EXP} 0.5 – 0.7 sec	RC_{EXP} > 0.7 sec
		N = 22	N = 9	N = 8	N = 5
P_{PLAT} (cmH ₂ O)	Mediaan	18.9	22.6	17.8	16.7
	IQR	16.6 – 22.5	19.3 – 24.7	13.6 – 21.5	15.4 – 19.6
	B.I.	16.7 – 22.6	18.2 – 25	10.1 – 29.1	14.4 – 20.2
$PEEP_{TOT}$ (cmH ₂ O)	Mediaan	9.3	11.5	8.8	9.5
	IQR	8.4 – 12.0	8.9 – 14.9	6.8 – 10.3	8.0 – 10.9
	B.I.	8.5 – 11.5	8.7 – 15.3	5.2 – 17.1	7.5 – 11.1
ΔP (cmH ₂ O)	Mediaan	9.3	9.9	9.1	7.8
	IQR	7.4 – 11.5	9.1 – 11.7	6.8 – 11.2	6.8 – 8.9
	B.I.	7.6 – 11.5	8.9 – 11.7	4.9 – 12.1	6.6 – 9.6
C_{STAT} (ml/cmH ₂ O)	Mediaan	45	34.8	48.2	54.6
	IQR	36.9 – 55.0	28.9 – 42.5	43.9 – 58.0	48.7 – 79.1
	B.I.	37.6 – 54.6	26.2 – 42.9	42.5 – 61.3	46.6 – 90.9

Gegevens zijn weergegeven met mediaan, IQR: interkwartielafstanden 25% - 75%, B.I.: niet parametrische betrouwbaarheidsinterval, P_{PLAT} : plateaudruk, $PEEP_{TOT}$: totale PEEP, ΔP : berekende driving pressure, C_{STAT} : berekende, statische compliantie respiratoire systeem



Figuur 1: Driving pressure bij alle patiënten.

INTELLiVENT-ASV kijkt naar de (luchtweg)weerstand en compliantie om VT en de ΔP te selecteren. Onze resultaten tonen dat bij een $RC_{EXP} < 0.5$ seconden de mediane C_{STAT} significant lager is dan bij een $RC_{EXP} > 0.7$ seconden (34.8 – 54.6 ml/cmH₂O). Echter, de mediane ΔP verschilt niet significant en blijft in beide groepen ≤ 14 cmH₂O. Dit is te verklaren doordat INTELLiVENT-ASV bij een lagere RC_{EXP} automatisch kiest voor lagere VT en een hogere ademfrequentie (zie tabel 2) en zo kan beademen met een $\Delta P \leq 14$ cmH₂O.

Het onderzoek betreft een gemengde populatie. Er werd geen specifieke populatie met een bepaalde longaandoening geselecteerd. Hoewel het een kleine populatie betreft, geven onze resultaten een aanwijzing dat ΔP bij uiteenlopende longbeelden (C_{STAT}

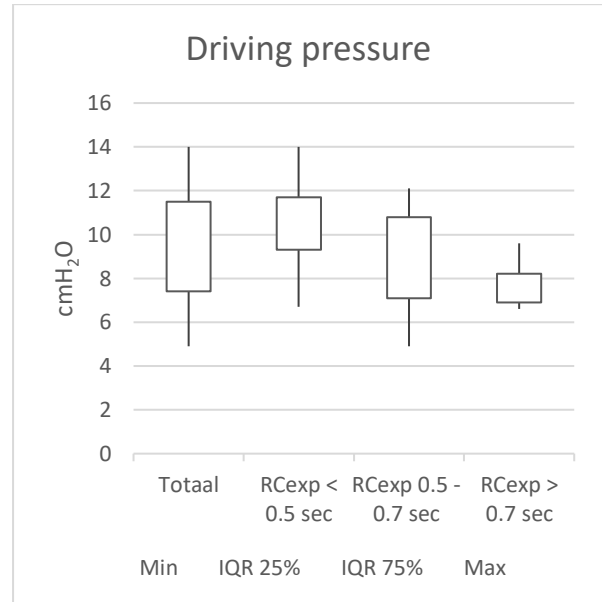
22.1 – 90.9 cmH₂O) laag blijft met INTELLiVENT-ASV.

Ons onderzoek kent een aantal limitaties. De indeling o.b.v. RC_{EXP} kan het onderzoek beperken door foutieve inschatting van de RC_{EXP} door de beademingsmachine. RC_{EXP} wordt bepaald door het product van compliantie en weerstand. In theorie zou de expiratiefilter de expiratoire weerstand kunnen doen toenemen. Echter, aangezien onze inclusie binnen 60 minuten na intubatie plaatsvond, achten we de kans hierop klein.

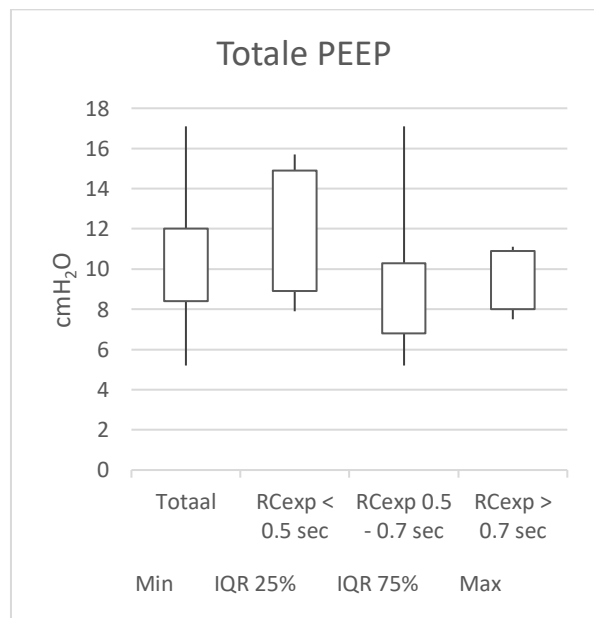
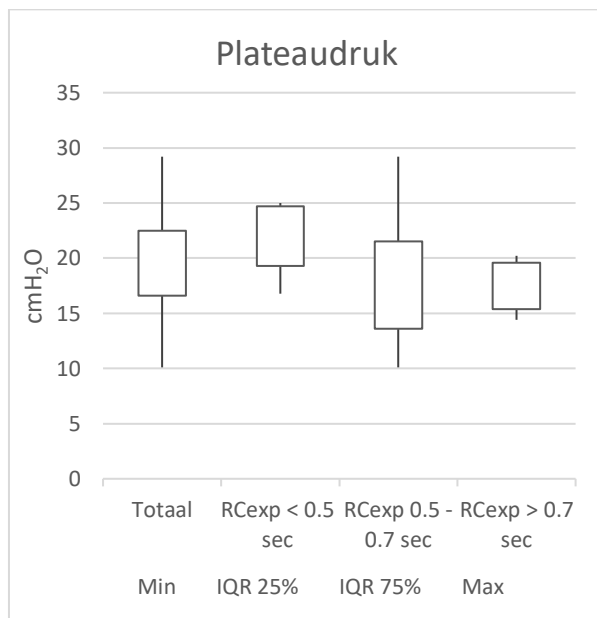
De grootste beperking van ons onderzoek is de kleine populatie met daardoor kleine groepen met verschillende ademmechanische kenmerken. Hoewel onze resultaten eenduidig zijn wat betreft veilige ΔP valt het aan te bevelen het onderzoek in een grotere, gemengde populatie te herhalen. Theoretisch gezien zou men verwachten dat INTELLiVENT-ASV de ΔP veilig houdt gedurende de gehele beademingsperiode. Echter, aangezien we onze metingen binnen 60 minuten na intubatie hebben verricht, kunnen we deze vraag niet beantwoorden. Aanvullende studie met herhaalde metingen gedurende de gehele beademingsperiode is hiervoor nodig.

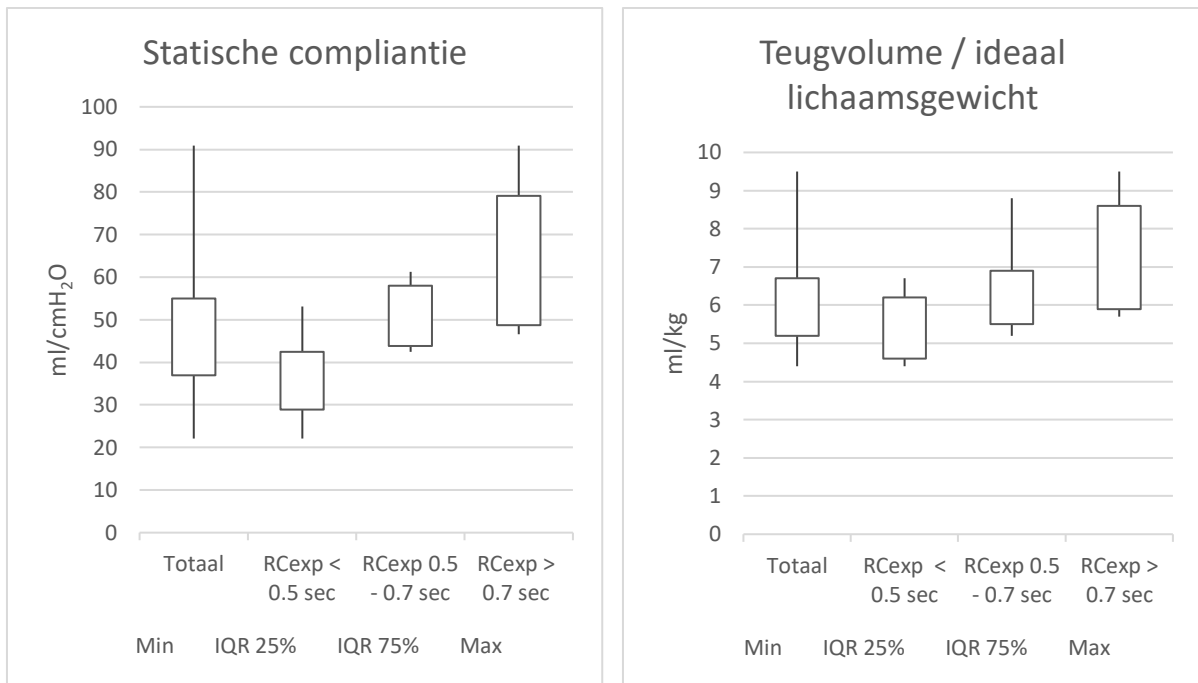
Conclusie

In dit prospectieve, observationele onderzoek bij 22 patiënten met diverse longcondities, selecteert INTELLiVENT-ASV een veilige ΔP bij start van de mechanische ventilatie bij gecontroleerd beademde patiënten.



Figuur 2: Driving pressure bij diverse expiratoire tijdsconstanten.





Figuur 3: Plateaudruk, totale PEEP, statische compliantie en teugvolume / ideaal lichaamsgewicht bij diverse expiratoire tijdsconstanten.

Literatuur

1. Marcelo, B.P., Amato, M.D., 2015. Driving pressure and survival in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *The New England journal of medicine*, 372(8), 747 – 755.
2. Chen, Z., Wei, X., 2019. Higher vs lower DP for Ventilated Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Emergency Medicine International*, 2019, Article ID 4654705, 12 pages.
3. Arnal, J.M., Saoli, M., 2016. Driving pressure automatically selected by INTELLiVENT-ASV in ICU patients. *Intensive Care Medicin Experimental*, 4 (1), A602. Meeting abstract.
4. Umesh, K., 2017. Closed Loop Control: A Newer Mode of Mechanical Ventilation. Review article. *Journal of Clinical Medicine and Therapeutics*, Vol.2, No3:18.
5. Arnal, J.M. et al, 2019. Airway and transpulmonary driving pressures and mechanical powers selected by INTELLiVENT-ASV in passive, mechanically ventilated ICU patients. Elsevier, December 2019.
6. Otis, A.B., Fenn, W.O., Rahn, H, 1950. Mechanics of breathing in man. *J Appl Physiol* 2: 592 – 607.
7. Osama Al-Otaibi. “Adaptive Support Ventilation Version 1.1 State-of Art Literature Review”. *EC Pulmonology and Respiratory Medicine* 7.8 (2018): 591-604.
8. Meade, J, 1963. The control of respiratory frequency. *Annals of the New York Academy of Sciences*. Volume 109, issue 2, 724 – 729.
9. Lanspa, M. J., Peltan, I. D., Jacobs, J. R., Sorensen, J. S., Carpenter, L., Ferraro, J. P., ... Grissom, C. K. (2019). Driving pressure is not associated with mortality in mechanically ventilated patients without ARDS. *Critical Care*, 23(1).
10. Sahetya, S. K., Mallow, C., Sevransky, J. E., Martin, G. S., Girard, T. D., Brower, R. G., & Checkley, W. (2019). Association between hospital mortality and inspiratory airway pressures in mechanically ventilated patients without acute respiratory distress syndrome: a prospective cohort study. *Critical Care*, 23(1).
11. Pelosi, P., & Ball, L. (2018). Should we titrate ventilation based on driving pressure? Maybe not in the way we would expect. *Annals of Translational Medicine*, 6(19), 389.
12. Fuller, B. M., Page, D., Stephens, R. J., Roberts, B. W., Drewry, A. M., Ablordeppey, E., ... Kollef, M. H. (2018). Pulmonary Mechanics and Mortality in Mechanically Ventilated Patients Without Acute Respiratory Distress Syndrome. *SHOCK*, 49(3), 311–316.
13. Neto, A. S., Hemmes, S. N. T., Barbas, C. S. V., Beiderlinden, M., Fernandez-Bustamante, A., Futier, E., ... Schultz, M. J. (2016b). Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *The Lancet Respiratory Medicine*, 4(4), 272–280.
14. Bellani, G., Laffey, J. G., Pham, T., Fan, E., Brochard, L., Esteban, A., ... Pesenti, A. (2016). Epidemiology, Patterns of Care, and Mortality for Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome in Intensive Care Units in 50 Countries. *JAMA*, 315(8), 788.
15. Tonetti, T., Vasques, F., Rapetti, F., Maiolo, G., Collinio, F., Romitti, F., Gattinoni, L. (2017). Driving pressure and mechanical power: new targets for VILI prevention. *Annals of Translational Medicine*, 5(14), 286.
16. Grieco DL, Chen L, Dres M, Brochard L. (2017). Should we use driving pressure to set tidal volume? *Current Opinion in Critical Care*, 23(1), 38–44.

Bijlage 1: Conceptualiseren

Piekdruk (P_{PEAK}): de maximale druk die tijdens de inademing wordt gemeten door de beademingsmachine. Het is de druk die nodig is om een teugvolume in het respiratoire systeem te krijgen en moet hierbij zowel de weerstand (resistance) als de elasticiteit overwinnen. De piekdruk wordt bepaald door teugvolume (V_t), weerstand, elasticiteit en PEEP. De piekdruk wordt weergegeven in cmH_2O .

Plateaudruk (P_{PLAT}): de gemeten inspiratoire druk tijdens de fase waarin er geen flow meer is. De plateaudruk wordt bepaald door teugvolume, elasticiteit en PEEP. Dus niet door de weerstand. De plateaudruk wordt weergegeven in cmH_2O .

Totale PEEP ($PEEP_{TOT}$): Positieve Eind Expiratoire Pressure = de positieve druk die in de longen bestaat na de uitademingsfase, weergegeven in cmH_2O . Deze druk moet voorkomen dat alveoli collaberen tijdens de expiratie omdat dit onder andere leidt tot een slechtere gasuitwisseling en het ontstaan van longschade.

Compliantie (C): de mate waarin de longen meegeven als er een volume in wordt geblazen. Als de longen heel compliant zijn, rekken ze gemakkelijk uit. Zijn ze stug, dan is de compliantie laag. Uitgedrukt in L/cmH_2O .

Dynamische compliantie (C_{DYN}): de compliantie gemeten tijdens de inspiratieflow. Hierdoor wordt de meting beïnvloed door de aanwezige weerstand. Dynamische compliantie = $V_t / (\text{piekdruk} - \text{PEEP})$

Statische compliantie (C_{STAT}): de compliantie gemeten tijdens een fase waarin er geen flow is zodat de weerstand geen rol kan spelen. Statische compliantie = $V_t / (\text{plateaudruk} - \text{PEEP})$

Resistance (R): de luchtwegweerstand; de tegenwerking die een volumestroom (flow) in een buis of buizenstelsel ondervindt. De weerstand wordt bepaald door de lengte en diameter van de luchtwegen en de hoogte van de flow.

Expiratoire tijdsconstante (RC_{EXP}): het product van compliantie en weerstand bij de uitademing. Het is een maat voor de snelheid c.q. traagheid van het respiratoire systeem. De Hamilton S1 meet de RC_{exp} bij 75% van het uitgeademde volume.

Mechanical Power (MP): de energie die mechanische beademing overbrengt op het respiratoire systeem. Deze wordt weergegeven in Joule/minuut. Het is een samenstelling van alle losse variabelen van de beademingsmachine, die aan VILI kunnen bijdragen. Namelijk: teugvolume, Driving Pressure, inspiratoire flow, ademfrequentie en PEEP.

ASV: Adaptive Support Ventilation: ASV is een productnaam van de firma Hamilton. ASV combineert diverse adempatronen afhankelijk van de activiteit van de patiënt. Deze adempatronen worden gecombineerd met optimal targeting waarbij teugvolume en ademfrequentie de closed loop parameters zijn. Er wordt een beademingsdruk gegeven die resulteert in een combinatie van teugvolume en ademfrequentie volgens de vergelijking van Otis en Mead. Deze vergelijking stelt dat bij een bepaalde combinatie van teugvolume en ademfrequentie de adarbeid het laagst zal zijn. De operator voert lichaamslengte, geslacht, percentage minuutvolume (%MinVol) en druklimiet in. Op basis van deze instellingen, de vergelijking van Otis en Mead, de gemeten tijdsconstante en de activiteit van de patiënt kiest ASV een adempatroon, streefteugvolume, streeffrequentie en I:E ratio. De druk die hiervoor nodig is, wordt zonnodig automatisch aangepast tussen de inspiraties. Het geleverde ademminuutvolume kan door de operator beïnvloedt worden met het percentage minuutvolume, deze is gebaseerd op het ideale lichaamsgewicht van de patiënt (IBW). Aan de hand van het ideale lichaamsgewicht van de patient wordt het minuutvolume berekend. Bij volwassenen is dit 100 ml/min/kg . Bv het ideale lichaamsgewicht is 70 kg. Dan is het minuutvolume $70 \times 0,1 \text{ L} = 7$

L/min. 100% minuutvolume komt dan overeen met 7 L/min. Verder worden PEEP en zuurstof door de operator ingesteld.

ASV is te beschouwen als een deels zelfstandige beademingsvorm, waarbij de operator de grenzen van het speelveld aangeeft met druklimiet en het percentage minuutvolume, en waarbinnen de machine adempatroon, teugvolume, frequentie en I:E ratio bepaalt. Bij spontane adempogingen past ASV zich hierop aan.

Het doel van ASV is een effectieve alveolaire ventilatie te verzekeren, de work of breathing (WOB) te minimaliseren en de patient te leiden naar een optimaal ventilatiepatroon zodat complicaties als airtrapping, volume- en barotrauma worden verminderd.

Percentage minuutvolume (%MinVol): het geleverde ademminuutvolume weergegeven in een percentage. Deze wordt ingesteld op de ASV modus en is gebaseerd op het ideale lichaamsgewicht van de patiënt (IBW). Aan de hand van het ideale lichaamsgewicht van de patient wordt het minuutvolume berekend. Bij volwassenen is dit 100 ml/min/kg. Bv het ideale lichaamsgewicht is 70 kg. Dan is het minuutvolume $70 \times 0,1 \text{ L} = 7 \text{ L/min}$. 100% minuutvolume komt dan overeen met 7 L/min.

INTELLiVENT-ASV is een productnaam van de firma Hamilton. Het is een doorontwikkeling van ASV waarbij PetCO₂ en SpO₂ als closed loop parameters gebruikt worden, naast teugvolume en ademfrequentie. INTELLiVENT-ASV kan hiermee zelfstandig beslissingen nemen ten aanzien van ademminuutvolume, PEEP en FiO₂.

Bij passieve patienten wordt de ventilatie geregeld door aanpassing van het %minuutvolume gekeken naar de PetCO₂ targets. Bij spontaan ademende patienten wordt de ventilatie geregeld door aanpassing van het %minuutvolume gekeken naar de ademfrequentie van de patient.

Overige mogelijkheden die INTELLiVENT-ASV biedt zijn: de Quick Wean functie met mogelijkheid tot SBT, de automatische recroteermanoeuvre en HLI.

SBT: Spontaneous Breathing Trial

HLI: Heart Lung Index

CO₂ gap: het verschil tussen het arteriele CO₂ en het End Tidal CO₂.

Bijlage 2: Formulier voor de verzameling van de gegevens.

Invulformulier voor het onderzoek 'INTELLiVENT-ASV; What's the pressure?

Onderzoek naar de Driving Pressure	
Algemene gegevens:	
Datum en tijd intubatie/ binnenkomst beademd op de IC	
Kamernummer	
Beademing specifieke parameters:	
Fspont is 0	Ja (indien nee, exclusie)
Vertoont de patiënt een eigen ademactiviteit?	Nee (indien ja, exclusie)
Target PetCO ₂ in het midden van de targetzone?	Ja; start de metingen.
Geaccepteerde pH bij instellen INTELLiVENT-ASV	
Veronderstelde of bekende CO ₂ gap bij instellen INTELLiVENT-ASV	
Screenshot 'INTELLiVENT' scherm (2x)	
Screenshot 'Meetwaarden 1' scherm (2x)	
Plateaudruk (gemeten met de Inspiration Hold) (cmH ₂ O)	
Screenshot van de gemeten plateaudruk (2x)	
Totale PEEP (gemeten met de Expiration Hold) (cmH ₂ O)	
Screenshot van de gemeten PEEP (2x)	
Opmerkingen/ bijzonderheden in de handelingen, vanaf intubatie tot de meting van de Driving Pressure : (Bv recruitment, instellen van PEEP mbv PV tool)	

Onderzoek 'INTELLiVENT-ASV; What's the pressure?

Inclusiecriteria:

- Alle patiënten beademd met INTELLiVENT-ASV, binnen 60 minuten na intubatie of binnenkomst op de IC, die geen spontane ademactiviteit vertonen.

Exclusiecriteria:

- Patiënten met een eigen ademactiviteit.
- Patiënten met hersenletsel.
- Patiënten met een vergrote kans op een pneumothorax.

Voor de metingen van de inspiration en expiration hold is toestemming van de arts noodzakelijk!

Inspiration Hold (eind inspiratoire pauze) manoeuvre: (meet de plateaudruk)

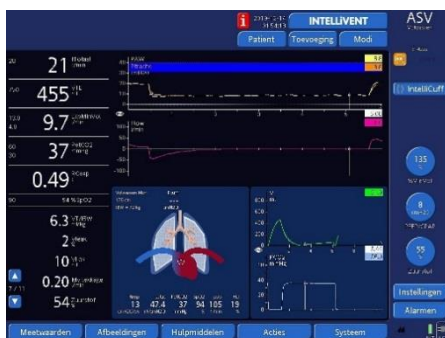
- Ga naar de button hulpmiddelen
- Kies het Hold scherm
- Selecteer Insp Hold, wacht vervolgens 5 seconden (zie timer), druk weer op Insp Hold
- De curven bevriezen automatisch
- Meet vervolgens met de cursor aan het einde van het plateau
- Maak hier 2x een screenshot van



Wacht 1 minuut tot het minuut volume weer genormaliseerd is

Expiration Hold (eind expiratoire pauze) manoeuvre: (meet de totale PEEP)

- Ga naar de button hulpmiddelen
- Kies het Hold scherm
- Selecteer Exp. Hold, wacht vervolgens 5 seconden (zie timer), druk weer op Exp. Hold
- De curven bevriezen automatisch
- Meet vervolgens met de cursor aan het einde van het plateau
- Maak hier 2x een screenshot van



Bijlage 3: Rol Ventilation Practitioner

Mijn missie en visie als ventilation practitioner

Een van de speerpunten van het Máxima MC is het gezond houden van de mensen. Het voorkomen dat patiënten 'zieker' worden. Als ventilation practitioner kan ik hierbij aansluiten door te kijken hoe we kunnen voorkomen dat de patiënten opgenomen worden op de IC en als ze worden opgenomen op de IC, hoe we deze opname zo kort als mogelijk kunnen krijgen. Hoe kunnen we de beademingsduur verkorten bij de IC patiënt zodat ook de opnameduur van de IC wordt verkort?

Mijn missie als ventilation practitioner is kwalitatief hoogwaardige zorg geven aan de patiënt met respiratoire problematiek.

Mijn visie als ventilation practitioner is een IC waar de beste kwaliteit van zorg wordt geleverd aan de patiënt met respiratoire problematiek. De IC is innovatief, werkt continu aan deskundigheidsbevordering en streeft naar de kortst mogelijke beademingsduur. Hierbij staat het belang van de patiënt centraal.

Competenties

Een ventilation practitioner dient te beschikken over verschillende competenties. Deze competenties zijn:

- Innovatie; het vermogen te vernieuwen
- Management; het vermogen te sturen, te (be)handelen en te beheren
- Samenwerking; het vermogen om met professionals uit verschillende beroepsgroepen samen te werken
- Coaching en begeleiding; het vermogen om collegae te begeleiden in hun professionele ontwikkeling
- Research; het vermogen om wetenschappelijk onderzoek te vertalen naar concrete, aanvullende zorg rondom beademing
- Persoonlijke ontwikkeling; het vermogen consequenties te aanvaarden van allergieën, valkuilen en uitdagingen

Gedurende de opleiding heb ik gewerkt aan deze competenties die vereist zijn voor de functie van ventilation practitioner. De opleiding heeft me hiervoor handvaten geboden.

Bij innovatie heb ik me gericht op vernieuwingen en ontwikkelingen rondom de respiratie. Ik heb geleerd om procesmatig te denken en ik ben meer gericht op het zorginhoudelijk en organisatorisch proces rondom de respiratie. Gedurende de opleiding heb ik de profcheck voor de beademingsmachine opgezet. Hiermee wordt elke 2 jaar het gehele team getoetst en wordt beoordeeld of de kennis omtrent de beademingsmachine, de meest gebruikte modi en beademingsprotocollen nog voldoende is. Dit zorgt voor een bepaalde basiskennis van alle gebruikers en verhoogt de kwaliteit van de zorg. Verder geeft de profcheck inzicht in de persoonlijke leerbehoefte en die van het gehele team. Als ventilation practitioner kan ik hierop anticiperen. Ik merk dat er behoefte is aan meer scholing rondom de respiratie. Dit is dan ook waar ik me voornamelijk op wil gaan richten in het begin.

Bij management heb ik me gericht op het gevraagd en ongevraagd sturen van de behandeling. De verantwoordelijkheid die dit met zich meedraagt bij de specifieke respiratoire processen en verpleegtechnische vaardigheden. Maar ook hoe ik een realistische strategie kan bepalen om vastgestelde doelen te bereiken op zorg en organisatieniveau. Hier kan ik me zeker nog verder in ontwikkelen. Door hier meer ervaring mee op te doen, wil ik me hierin verder gaan ontwikkelen.

Bij samenwerking heb ik me gericht op mijn veranderde rol op de afdeling. Hierbij onderhoud ik het contact met verschillende beroepsgroepen: de intensivisten, het management en het verpleegkundig team. Daarnaast probeer ik zoveel mogelijk open te zijn in waar ik voor sta en hoe ik mijn rol voor me zie. Indien ik straks meer ventilation practitioner dagen krijg, zal ik dit contact verder kunnen opbouwen en uitwerken.

Bij coaching en begeleiding heb ik me gericht op het begeleiden van collega's. Hierbij heb ik de lessen van de opleiding meegenomen en dit toegepast. Belangrijk is om je eigen manier van communiceren af te stemmen op de ervaringen van de ander. Bij coaching is het dus belangrijk om eerst een goede connectie en gevoel van vertrouwen te hebben opgebouwd voordat je naar een interventie toe gaat werken. Doordat ik mij hiervan bewust ben, wil ik eerst rapport maken. Doorvragen en rekening houden met de beleefwereld, ervaringen, opvattingen en herinneringen van de ander en daarna pas datgene overdragen wat van belang is. Hierbij probeer ik collega's te motiveren om hier mee aan de slag te gaan. Doordat ik al jaren op deze IC werkzaam ben, heb ik deze rapport al met vele collega's.

Bij research heb ik veel geleerd over het opzetten en uitvoeren van een onderzoek maar ook over het lezen van een onderzoek en hoe je dit kan toepassen in de dagelijkse praktijk. Het lezen van onderzoeken is een manier om bij te blijven in mijn vak en heb je nodig om op de hoogte te blijven van de nieuwste ontwikkelingen. Door mailinglijsten van diverse organisaties probeer ik op de hoogte te blijven van de nieuwste onderzoeken op het gebied van respiratie en hierbij een vertaalslag te maken naar de eigen IC.

Bij persoonlijke ontwikkeling heb ik geleerd om te kijken naar mijn valkuilen, allergieën maar ook naar mijn uitdagingen. Ik ben zeer gemotiveerd om alles aan te pakken, mijn valkuil hierbij is dat ik teveel hooi op mijn vork neem. Ik zie het als een uitdaging om mijn rol als ventilation practitioner goed vorm te geven en te laten blijken dat het een meerwaarde is voor onze IC.

Belangrijk is ook om gebruik te maken van het netwerk van de ventilation practitioners. Hierdoor kan ik ook gebruik maken van de kennis en kunde die er is in de andere ziekenhuizen. Hoe doen ze het daar? En is dat ook iets voor onze afdeling? Door de opleiding wordt dit netwerk geboden bij Practitioners Nederland. Practitioners Nederland ziet er ook op toe dat je de vaardigheden van een practitioner bijhoudt door dit jaarlijks te registreren. Hiermee laat je zien dat je nog actief bent als ventilation practitioner in het onderhouden van je verworven kennis en vaardigheden.

In alle competenties ben ik gegroeid de afgelopen tijd. De komende tijd verwacht ik dat ik hierin nog verder blijf groeien en me zo verder kan ontwikkelen in mijn functie als ventilation practitioner.

Functie ventilation practitioner

Een ventilation practitioner is 'nieuw' op de IC in Máxima MC. Daar dit een nieuwe rol is op de afdeling is het belangrijk om duidelijkheid te creëren in het werk van een ventilation practitioner. Dit begon al voor de opleiding met informeren van het verpleegkundig team en de vakgroep intensivisten over wat de opleiding tot ventilation practitioner inhoudt en wat de meerwaarde hiervan zou zijn voor onze IC. Gedurende de opleiding tot ventilation practitioner was het mijn taak om deze rol steeds duidelijker vorm te geven op de afdeling. Dit heb ik gedaan door middel van informatie verzamelen bij andere ziekenhuizen, functieprofielen te bekijken maar vooral door te kijken naar waar onze IC behoefte aan heeft. Hiervoor ben ik regelmatig in gesprek gegaan met diverse collega's en natuurlijk mijn begeleiders. Waar is behoefte aan op de afdeling omtrent de respiratie, hoe kan ik dit het beste aanpakken en hoe kan ik dit het beste vorm geven en waar liggen mijn grenzen in mijn nieuwe rol als ventilation practitioner. De rol en mijn taken heb ik beschreven in een functieprofiel, speciaal gericht op onze IC met het algemene functieprofiel als leidraad. Dit maakt mijn taken voor iedereen duidelijk en inzichtelijk. In de praktijk wil ik tijdens mijn VP dagen deze rol verder vorm gaan geven. Ik heb een duidelijk beeld hoe ik dit wil doen, dit wil ik delen met het team. Door in gesprek te gaan en te blijven met de verpleegkundigen, de intensivisten en het management

wil ik de functie van ventilation practitioner tot een meerwaarde maken voor onze IC en zo voor de patiënten de kwaliteit van de respiratoire zorg optimaliseren.

Onderzoek naar de driving pressure bij INTELLiVENT-ASV

Gedurende het onderzoek heb ik geleerd om een onderzoeksopzet te maken en uit te voeren. Welke stappen doorlopen worden bij de opzet, tijdens het onderzoek en hoe de gegevens te verwerken en presenteren. Maar ook hoe ik ander onderzoek het beste kan lezen en kan interpreteren. Daarnaast heb ik door dit onderzoek nog meer kennis gekregen over INTELLiVENT-ASV en hoe deze beademingsmodus werkt en de long protectieve aspecten van het beademen.

Het onderzoek heeft veel collega's van de afdeling breder leren kijken naar long protectief beademen. Waar wordt nog meer op gelet als we het hebben over long protectief beademen dan alleen teugvolumes van 6 ml/kg ideaal lichaamsgewicht. Dit heeft voordelen voor de patiënten daar long protectief beademen in mijn opinie het belangrijkste aspect is gedurende de gehele beademingsperiode.

Het onderzoek heeft verder inzichten gegeven over het protocol voor het instellen van INTELLiVENT-ASV. Met de huidige instellingen die de gebruiker doet, hanteert INTELLiVENT-ASV driving pressure ≤ 14 cmH₂O die in de literatuur als longprotectief worden beschouwd. Bij het onderzoek wilde ik de driving pressures > 14 cmH₂O verder gaan analyseren om zo het protocol mogelijk te kunnen optimaliseren. Daar alle waarden ≤ 14 cmH₂O zijn is deze analyse niet mogelijk.

Het onderzoek en de onderzoeksresultaten wil ik delen met de afdeling. Hierbij komen de longprotectieve aspecten van beademing weer naar voren maar ook dat INTELLiVENT-ASV kiest voor veilige driving pressures indien het protocol wordt gehanteerd. Dit promoot het gebruik van INTELLiVENT-ASV.

Specifieke aanbevelingen voor Máxima MC ter optimalisatie van de beademing bij INTELLiVENT-ASV

Met de huidige instellingen voor INTELLiVENT-ASV door middel van het protocol van Máxima MC wordt er beademd met long protectieve driving pressures. Aanpassingen in dit protocol, ter optimalisatie van de driving pressure, zijn nu niet geïndiceerd. Wel zijn er aandachtspunten ter optimalisatie van de zorg bij patiënten die worden beademd met INTELLiVENT-ASV.

De PASV limiet wordt standaard ingesteld op 30 cmH₂O. Indien het noodzakelijk is om deze druk te verhogen, als beademing niet mogelijk is binnen dit limiet, is het aan te bevelen om gericht te kijken of dit binnen veilige drukken kan plaatsvinden.

De PEEP limieten worden ingesteld door de gebruiker. De ingestelde PEEP kan van invloed zijn op de driving pressure. Indien echter door de gebruiker de PEEP onterecht laag of hoog wordt ingesteld en gelimiteerd, kan het voorkomen dat dit leidt tot hogere driving pressures. Op de IC van Máxima MC zijn er geen specifieke richtlijnen waar naar gekeken wordt bij het instellen van de PEEP. Wellicht dat een protocol hierbij zou kunnen ondersteunen. Dit protocol kan zorgen voor eenduidigheid op de werkvloer over het instellen van de PEEP en mogelijk zou het ook de driving pressure en de plateaudrukken kunnen verminderen. Of dit daadwerkelijk leidt tot een verschil zou in een vervolgonderzoek aangetoond kunnen worden.

De resultaten van dit onderzoek ondersteunen het gebruik van INTELLiVENT-ASV om de gebruiker te helpen bij het toepassen van een longprotectieve driving pressure. Verder is het aan te bevelen om met de data van dit onderzoek verder te gaan kijken naar de verschillende long protectieve aspecten

van de beademing bij INTELLiVENT-ASV in Máxima MC, zoals bijvoorbeeld de Mechanical Power. Dit ter optimalisatie van het beademingsbeleid.

Bijlage 4: Instellingen INTELLiVENT-ASV bij protocol Máxima MC

De targets voor het PetCO₂ worden ingesteld door de gebruiker. De aanpassingen die de beademingsmachine doet, zijn afhankelijk van deze targets en het gemeten PetCO₂. Het percentage minuutvolume wordt aangepast om de targetzone van het PetCO₂ te bereiken en te behouden.

PetCO₂ target wordt bepaald door een minimaal, acceptabele pH af te spreken. Aan de hand van het bicarbonaat wordt de maximale toegestane PaCO₂ gevonden voor elke pH via de Henderson en Hasselbalch vergelijking. Het verschil tussen PaCO₂ en PetCO₂ (CO₂-gap) wordt verrekend bij het instellen voor de target en minimaal drie maal daags gecontroleerd.

De PASV limiet staat, in Máxima MC, standaard ingesteld op 30 cmH₂O. Dit betekent dat INTELLiVENT-ASV geen extra drukondersteuning (P_{insp}) meer mag geven als de druk hierboven komt. $P_{peak} = P_{insp} + PEEP$, deze moet dan onder de 30 cmH₂O blijven. De PASV limiet wordt door de gebruiker ingesteld en aangepast.

Op de IC van Máxima MC wordt de optimale PEEP per patiënt bepaald. Het gebruik van het algoritme van INTELLiVENT-ASV bij het instellen van de PEEP wordt vaak begrensd door de PEEP limieten die worden ingesteld door de gebruiker. De PEEP limiet ondergrens staat standaard op 5 cmH₂O tenzij er sprake is van bewezen derecruitment bij deze PEEP. De PEEP limiet ondergrens wordt dan hoger ingesteld. De PEEP limiet bovengrens wordt standaard ingesteld met 2 cmH₂O boven de huidige (optimale) PEEP. In sommige gevallen werd de PEEP niet automatisch geregeld door INTELLiVENT-ASV maar handmatig vast gezet op de optimale PEEP bepaald door de arts.