

VCO₂ als surrogaat variabele voor het energieverbruik van beademde patiënten

Onderzoek ter afronding van de opleiding tot Ventilation Practitioner

K. Forschelen Ventilation Practitioner i.o., N. Foudraïne internist-intensivist, J. le Noble internist-intensivist

Abstract

Introductie:

Het meten van de energy expenditure (EE) is belangrijk om de voedingsbehoefte bij patiënten te kunnen bijsturen. Niet elke IC heeft altijd de beschikking om indirecte calorimetrie uit te voeren. Over het algemeen zal de voedingsbehoefte dan bijgestuurd worden op basis van voorspellende formules. Deze zijn echter vaak onbetrouwbaar. Het doel van deze studie is om te onderzoeken of energy expenditure berekend uit VCO₂ uit de uitademingslucht een goed alternatief is voor indirecte calorimetrie wanneer deze niet ter beschikking staat.

Methodes:

In totaal zijn er 101 patiënten geïncubeerd waarvan alle invasief beademd. Er zijn 30 minuten metingen verricht door indirecte calorimetrie. Voorafgaand aan indirecte calorimetrie is er gedurende 30 minuten de mean VCO₂ verzameld vanuit de beademingsmachine en hieruit is de EE berekend met een herschreven WEIR formule. Hierna zijn de voorspellende formules gebruikt voor het berekenen van energy expenditure: Harris-Benedict, Faisy, Penn State University en European society for clinical nutrition and metabolism guideline.

Resultaten:

Een sterke correlatie werd gevonden tussen: EEVCO₂ en indirecte calorimetrie (EEmetabM) ($R^2=0.83$) met P-waarde <0.0001 . De slechtste correlatie werd gevonden bij EEesp25 ($R^2=0.33$). De beste correlatie na EEVCO₂ vs EEmetabM werd gevonden bij EEfaisy met ($R^2=0.60$). Een slechte correlatie met EEmetabM werd gevonden bij EEmifstjeor ($R^2=0.34$) en EEHB ($R^2=0.34$). Bias werd gevonden bij EEservo: -10.01 vs EEmifstjeor -459. Dit vergeleken met EEHB 388.9 en EEfaisy -94. EEesp met een bias van -94.

Conclusies:

EEVCO₂ afgeleid uit de beademingsmachine is accuraat en betrouwbaarder dan de voorspellende formules. EEVCO₂ is het beste alternatief voor indirecte calorimetrie. EE gemeten door indirecte calorimetrie blijft echter de "gouden standaard".

Introductie

Doorgaans wordt bij IC patiënten binnen 24-48 uur gestart met voeden. Of het vroeg starten van voeding beter is dan laat starten met voeding staat ter discussie.⁽¹⁵⁾ Vroeg starten met enteraal voeden kan echter leiden tot een afname van de "length of stay" op de IC.⁽¹⁰⁾, wat kan leiden tot een betere prognose en outcome voor de patiënt.⁽⁸⁾ Tijdens een IC opname ontstaat vaak sarcopenie. Optimale voeding is voor herstel en opbouw van spieren erg belangrijk. Ook kan optimale voeding infecties verminderen.⁽²²⁾

Het streven is om patiënten enteraal te voeden, omdat dit beter is voor de integriteit van de darmmucosa.⁽²¹⁾ Er is echter geen duidelijk bewijs dat enteraal voeden beter is dan parentaal voeden.⁽¹⁴⁾ Op de IC in het VieCuri Medisch Centrum worden verschillende manieren gebruikt voor het berekenen van de voedingsbehoefte van de IC patiënt. Zo wordt de energy expenditure berekend door het gebruik van voorspellende formules. Hiervoor wordt de Harris-Benedict formule gebruikt. Op de IC is een metabole monitor beschikbaar voor indirecte

calorimetrie. Deze meting wordt in rust uitgevoerd om de resting energy expenditure te berekenen (REE). Deze meting wordt standaard één keer in de 4 dagen verricht bij de beademde patiënt. De patiënt moet tijdens een meting in rust zijn om bias te voorkomen, hierdoor kan tijdens een meting geen goede patiëntenzorg plaats vinden.

Op Intensive Care afdelingen is echter niet altijd de beschikking over indirecte calorimetrie. Gezien de energiebehoefte erg kan variëren gedurende een IC opname zou dagelijkse bijsturing nuttig zijn. Dagelijkse meting is vanwege praktische redenen vaak niet haalbaar.

Voorspellende formules worden over het algemeen als alternatief gebruikt. VCO_2 afgeleid uit de beademingsmachine om de EE te berekenen zou een uitkomst kunnen bieden. Ook zou dagelijkse bijsturing mogelijk zijn.

Op dit moment zijn meerdere onderzoeken verricht om de energy expenditure te berekenen door middel van het meten van de VCO_2 . Dit staat onder andere beschreven in de studie door Stapel et al.⁽¹⁾ De RQ (respiratory quotiënt) wordt in deze studie geschat op 0.86. De RQ is de verhouding van geproduceerd CO_2 ten opzichte van verbruikt O_2 tijdens metabolisering van voedsel. Normaal ligt deze tussen de 1 en 0.7.

In de literatuur beschreven is de formule van WEIR voor het berekenen van EE:

$$EE = 3.941 \times VO_2 \text{ (L/min)} / \text{Nutritional RQ} + 1.11 \times VCO_2 \text{ (L/min)} \times 1440 = 24 \text{ hr KCAL.}^{(3)}$$

Deze wordt gebruikt bij indirecte calorimetrie. Voor berekeningen met alleen VCO_2 is deze formule aangepast aan een RQ van 0.86. Dit is de RQ van de meeste nutriënten. IC patiënten verbranden namelijk zelden alleen koolhydraten. Deze formule is vereenvoudigd naar:

$$EE = 8.19 \times VCO_2 \text{ (ml/min)}.^{(1)}$$

Deze formule kan eenvoudig aan het bed berekend worden. Uit onderzoek is gebleken dat deze berekening vrij betrouwbaar is in verhouding tot de voorspellende formules.⁽¹⁾ Indirecte calorimetrie blijft echter nog steeds de "Gouden Standaard".

Patiënt en methoden:

Studieontwerp en setting

Het betreft een prospectief observationele studie die is uitgevoerd op een algemene volwassenen Intensive Care van het VieCuri Medisch Centrum te Venlo. Deze studie is goedgekeurd door de ethische commissie van het VieCuri Medisch Centrum. Informed consent was in deze studie niet nodig gezien het standaard zorg betrof voor de IC patiënt.

Patiënten

Inclusiecriteria betroffen patiënten ouder dan 18 jaar die invasief werden beademd. Exclusiecriteria betroffen patiënten met een FiO_2 fractie boven de 0.6, PEEP hoger dan 15 cmH₂O en bij luchtlekkage in het slangencircuit. Ons elektronisch patiënten systeem HIX chipsoft™ werd gebruikt voor het verzamelen van demografische gegevens. Apache scores en SAPS scores werden verzameld in de mediscore database.

Studieprotocol

Hierin werden de patiënt gerelateerde factoren en medische factoren (ziektebeeld, beademingsinstellingen, apache score, mortality score, temperatuur etc.) verzameld. Wekelijks werd de IC populatie gescreend om te bekijken welke patiënten geïnccludeerd konden worden voor het onderzoek. De metingen met de metabole monitor werden volgens protocol uitgevoerd (bijlage 1). De meting met de metabole monitor heeft 30 minuten geduurd. De VCO_2 meting werd uitgevoerd met de capnograaf en opgeslagen in de beademingsmachine. De mean van 30 minuten gemeten VCO_2 werd gebruikt voor de berekening van EE.

Energy expenditure afgeleid uit indirecte calorimetrie

Met behulp van de medgraphic CCM express® werd gedurende een meetperiode van 30 minuten de EE gemeten. De metabole monitor werd aangesloten tussen de beademingsmachine en de patiënt ter hoogte van het y-stuk tussen beademingscircuit en de tube. Het kalibreren en aansluiten van het apparaat gebeurde volgens protocol. De metabole monitor verzamelde uit deze beademingsgassen iedere minuut: VCO_2 , VO_2 , RQ en energy expenditure. RQ werd berekend. De metingen werden niet structureel op een bepaald tijdstip uitgevoerd vanwege praktische en logistieke redenen. De metingen werden uitgevoerd door de onderzoeker.

Energy expenditure afgeleid uit de beademingsmachine

De servo-i® (Getinge group) werd gebruikt. De beademingsmachine beschikt over mainstream capnografie. De capnograaf werd gekalibreerd alvorens de meting werd uitgevoerd. Met de capnograaf wordt de CO_2 spanning gemeten. De integraal over de tijd van deze spanning in het expiratoir teugvolume leverde de VCO_2 op. De EE werd berekend door het gebruik van een aangepaste WEIR formule.⁽¹⁾

Energy expenditure afgeleid uit voorspellende formules

In totaal zijn er in dit onderzoek vier voorspellende formules gebruikt om EE te berekenen: Harris-Benedict⁽²³⁾, ESPEN guideline⁽²⁴⁾, Penn State University⁽⁹⁾ en de Faisy formule.⁽²⁵⁾ Deze formules zijn gekozen aangezien deze vaak gebruikt worden voor het berekenen van EE bij de Intensive Care patiënt.

EE: Harris-Benedict:

Men: $88.362 + 13.397 \times \text{weight}(\text{kg}) + 4.799 \times \text{height}(\text{cm}) - 5.677 \times \text{age}(\text{y})$
 Women: $447.593 + 9.247 \times \text{weight}(\text{kg}) + 3.098 \times \text{height}(\text{cm}) - 4.33 \times \text{age}(\text{y})$

EE: esp25 (European society for clinical nutrition and metabolism guideline):

25 kcal/kg/day

EE: Penn State University:

$\text{Mifflin} - \text{St Jeor} \times 0.96 \times T_{\text{max}} \times 167 + V_e \times 31 - 6212$

Mifflin – St Jeor:

Men: $10 \times \text{weight}(\text{kg}) + 6.25 \times \text{height}(\text{cm}) - 5 \times \text{age}(\text{y}) + 5$

Women: $10 \times \text{weight}(\text{kg}) + 6.25 \times \text{height}(\text{cm}) - 5 \times \text{age}(\text{y}) - 161$

EE: Faisy

$8 \times \text{weight}(\text{kg}) + 14 \times \text{height}(\text{cm}) + 32 \times V_e (\text{L/min}) + 94 \times T - 4834$

Het doel van deze metingen en berekeningen was om te onderzoeken hoe betrouwbaar $EEVCO_2$ was ten opzichte van indirecte calorimetrie. De deelvraag was om te kijken hoe betrouwbaar de voorspellende formules waren ten opzichte van indirecte calorimetrie en $EEVCO_2$.

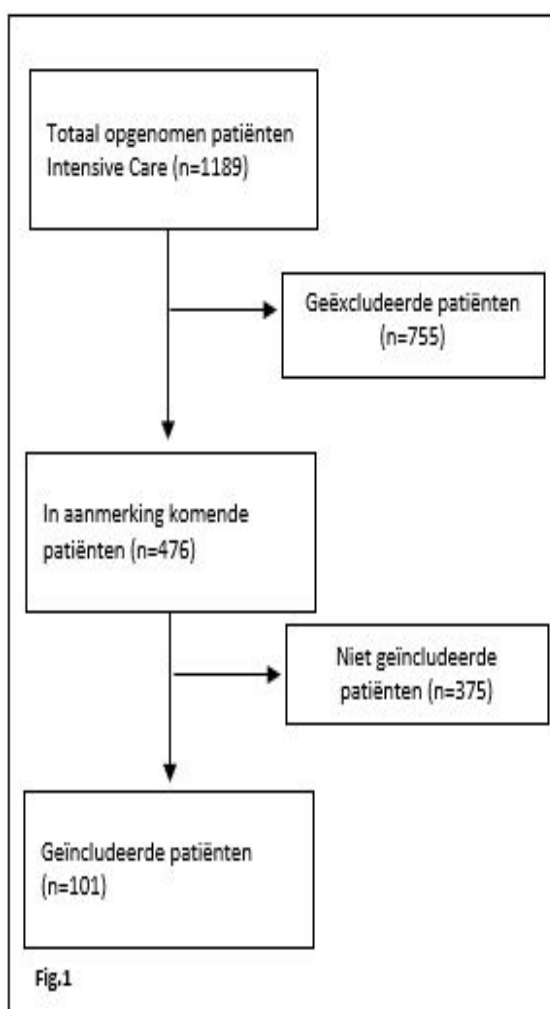
Data-analyse:

De data werd bijgehouden in Microsoft Office Excel™. Later werd deze omgezet naar IBM SPSS statistics® software. Verdere analyse vond plaats in IBM SPSS statistics® software. Een P-waarde lager dan 0.05 werd als significant beschouwd.

Patiënten karakteristieken werden verzameld. Deze werden weergegeven in mean ± standaarddeviatie en percentages. T-testen werden uitgevoerd indien de verdeling normaal was. De EE die met indirecte calorimetrie (EEmetabM) werd gemeten werd gecorreleerd aan $EEVCO_2$, EEHB, EEesp25, EEFaisy en EEPSU. Afwijkingen in de correlatie werden weergegeven met Bland & Altman grafieken en lineaire regressies. De primaire uitkomst was om te kijken naar de accuratie van $EEVCO_2$ ten opzichte van EEmetabM (indirecte calorimetrie). Voorspellende formules werden vergeleken met EEmetabM en $EEVCO_2$.

Resultaten:

De studie vond plaats van 04-05-2017 tot en met 17-07-2018. In totaal werden er 1189 patiënten opgenomen gedurende deze periode. In totaal werden er 476 patiënten invasief beademd. Vanwege het niet voldoen aan de inclusiecriteria, logistiek en praktische redenen zijn 375 patiënten niet geïncubeerd (figuur 1), aangezien de onderzoeker niet altijd aanwezig was. Alle metingen werden verricht door de onderzoeker om bias te voorkomen. Controle van deze metingen heeft steekproefsgewijs plaats gevonden. In totaal zijn er 101 patiënten geïncubeerd.



Patiënten karakteristieken zijn afgebeeld in tabel 1. Het grootste aantal van de geïncubeerde patiënten bestond uit mannen (76.2%). Het betrof een heterogene groep met diverse opname diagnoses. Het

Tabel 1 Patiënten karakteristieken

Patiënten n(%)	101	(100.0)
Man	77	(76.2)
Vrouw	24	(23.8)
Leeftijd, jaren	68	(12.9)
Lengte, cm	172	(9)
Anamnestisch lichaamsgewicht, kg	83	(19.5)
Body mass index	28	(5.6)
Opname diagnose n(%)		
Sepsis	10	(9.9)
Trauma	6	(5.9)
Neurologie	5	(5.0)
Respiratoir falen	34	(33.7)
Post chirurgie	12	(11.9)
Gastro intestinaal	10	(9.9)
Cardiaal falen	5	(5.0)
Post cardiac arrest	13	(12.9)
Cardiovasculair	6	(5.9)
APACHE II score	23	(6.9)
APACHE IV score	84	(24.3)
SAPSII	52	(14.2)
Glasgow Coma Scale	6	(3.8)
Sedation-Agitation Scale	-3	(1.7)
Lichaamstemperatuur, °C	37.6	(0.9)
FiO ₂ , %	36.5	(9.4)
PEEP cmH ₂ O	10.3	(3.4)
Ademminuutvolume, L/min	11	(3.5)
Beademingsduur invasief, uren	264	(234)
VCO ₂ , mL/min	236	(65.3)
Respiratory quotient	0.82	(0.1)
Energy expenditure, kcal/day	2033	(573)
Length of ICU stay, dagen	17	(11.8)
ICU mortaliteit n%	32	

Resultaten mean(standaard deviatie)

APACHE Acute Physiology and Chronic Health Evaluation
SAPS Simplified Acute Physiology Score, FiO₂ Fraction of inspired O₂, PEEP positive end expiratory pressure, VCO₂ volume van CO₂ productie

gemiddelde BMI betrof 28±5.6. Anamnestisch lichaamsgewicht is gebruikt voor het berekenen van het BMI.

Mean waarden

Mean resultaten van EEmetabM, EEVCO₂, EEHB, EEesp25, EEPSU en EEFaisy zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Mean resultaten EE metingen, VCO₂ en RQ

	Mean ±SD
VCO ₂ (ml/min)	
EEmetabM	237±65.3
EEServo-i	247±65.9
RQ	0.82±0.1
Energy Expenditure (kcal/24uur)	
EEmetabM	2033±573
VCO ₂ Servo-i	2022±542.7
HB	1644±300
HB+20%	1973±360
ESP25	2078±486
PSU(Mifstjeor)	1573±242
Faisy	2126±8

Resultaten mean±standaard deviatie
 EEmetabM (indirecte calorimetrie), Esp25 European Society for Clinical Nutrition and Metabolism-guideline equation van 25 kcal/kg/dag, HB+20% Harris Benedict, PSU Penn State University 2003b equation, RQ respiratory quotient, SD standaard deviatie, VCO₂ productie, VCO₂ servo-i (beademingsmachine)

Correlatie

De beste correlatie werd gevonden met de EEVCO₂ en EEmetabM ($R^2=0.83$). Zie figuur 1. Hier kwam een P-waarde uit van <0.0001 . De slechtste correlatie werd gevonden bij de theoretisch voorspellende formule van EEesp25 ($R^2=0.33$). De beste correlatie na EEVCO₂ werd gevonden bij EEfaisy met ($R^2=0.60$). De correlatie bij EEMifstjeor kwam uit op ($R^2=0.34$). De correlatie van EEHB kwam uit op ($R^2=0.34$).

Bias

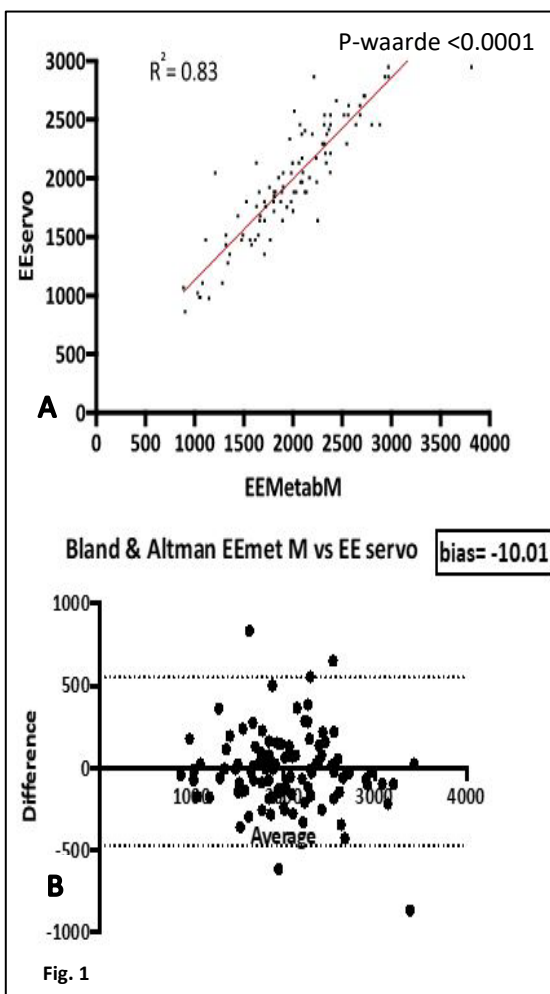
De bias is weergegeven in Bland & Altman grafieken in figuur 1. De bias van EEVCO₂ was met -10.01 wat lager dan bij EEMifstjeor met -459. Dit vergeleken met EEHB 388.9 en EEfaisy -94. EEesp scoorde hoger met een bias van -94.

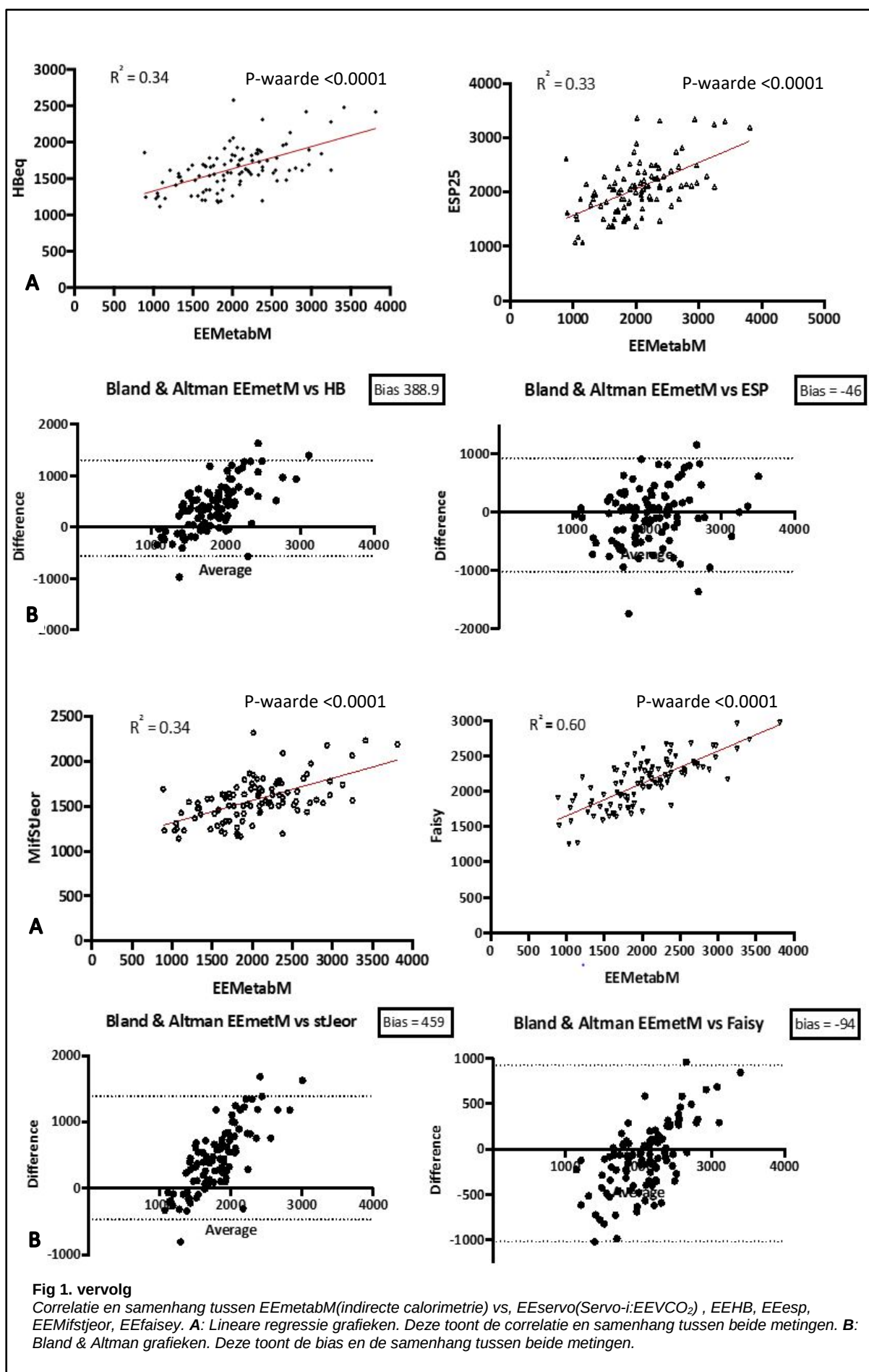
Discussie:

Het doel van deze studie was om bij de invasief beademde IC patiënt te onderzoeken of EEVCO₂ een goed alternatief is voor indirecte calorimetrie. De mean getallen van

EEmetabM en EEservo (EEVCO₂) kwam het beste overeen. Bij de voorspellende formules was er qua mean getallen meer afwijking dan bij calorimetrie. Als er gekeken werd naar de Lineaire en Bland & Altman grafieken was duidelijk zichtbaar dat EEservo het beste correleerde met indirecte calorimetrie. In dit onderzoek kwam de correlatie in de buurt van de correlatie van Stapel et al. met ($R^2=0.935$).⁽³⁾ Het gebruik van EEservo gaf een betere correlatie en minder bias dan bij gebruik van de theoretisch voorspellende waarden. Vooral EEesp en EEMifstjeor bleken onbetrouwbaar. EEHB die op onze IC gebruikt wordt bleek een grote afwijking en slechte correlatie te hebben. Het is dan ook onacceptabel om deze formule te gebruiken bij de patiënt.

Van de voorspellende theoretische formules kwam EEfaisy het dichtst in de buurt bij indirecte calorimetrie. Mogelijk vanwege het gebruik van ademminuutvolume in deze formule.

**Fig. 1**



Echter wijkt deze formule te veel af om deze als alternatief voor indirecte calorimetrie te gebruiken.

Het nadeel van EEVCO₂ is dat de RQ geschat wordt en dat na meting door middel van indirecte calorimetrie de RQ pas bekend is. Nu kwam in deze studie de gemiddelde RQ op 0.82 wat redelijk in de buurt kwam van de RQ van 0.86 die gebruikt werd voor EEVCO₂.

Een nadeel van metingen met EEmetabM en EEVCO₂ is onder andere dat dit een moment opname is. Tevens wordt de gemeten VCO₂ per teug gemeten, maar alleen per minuut opgeslagen door de beademingsmachine. Bij een wisselend adempatroon kan hierdoor de daadwerkelijke VCO₂ foutief geregistreerd worden. De daadwerkelijke energy expenditure kan hierdoor afwijken. Ook kunnen meerdere factoren een meting beïnvloeden. Een opmerking in deze studie is dat alleen gedurende 30 minuten EEmetabM en EEVCO₂ metingen zijn verricht en niet gedurende 24 uur. 24 Uurs metingen zouden mogelijk vollediger/ nauwkeuriger kunnen zijn.

Een nadeel aan indirecte calorimetrie is dat niet iedere IC deze ter beschikking heeft. Ook zijn er mogelijk hoge kosten verbonden aan indirecte calorimetrie, gezien de aanschaf en onderhoud van de apparatuur. De meting van indirecte calorimetrie is tevens tijdsintensief. De betrouwbaarheid verschilt per merk metabole monitor.⁽⁴⁾ Ontwikkeling van betere metabole monitoren die preciezer en praktischer zijn is dan ook nodig.

De voordelen van EEVCO₂ zijn onder andere dat de meeste moderne beademingsmachines de beschikking hebben over meting van VCO₂, waardoor dit mogelijk kosteneffectief is. Verder kost een meting praktisch nauwelijks extra tijd en zou deze meting automatisch gekoppeld kunnen worden in het elektronisch patiënten systeem. Dagelijkse evaluatie van de

EE en bijsturing van de voeding is dan mogelijk.

Conclusie/aanbevelingen:

- EEVCO₂ is niet accuraat genoeg om als vervanging van indirecte calorimetrie te dienen. Langer en herhaaldelijk meten van EEVCO₂ zou mogelijk de nauwkeurigheid kunnen verbeteren.
- EEVCO₂ afgeleid uit de beademingsmachine is evident beter dan de voorspellende formules. EEVCO₂ is dan ook het beste alternatief voor indirecte calorimetrie.
- Het voordeel van EEVCO₂ is dat dagelijkse bijsturing mogelijk is.
- Meer onderzoek voor ontwikkeling en verbetering van betere metabole monitoren is nodig.

Literatuurlijst volgens APA:

1. Sandra N. Stapel, Harm-Jan S. de Grooth, Hoda Alimohamad. Ventilator-derived carbon dioxide production to assess energy expenditure in critically ill patients: proof of concept. *Critical Care* 2015
2. Taku Oshima¹, Séverine Graf¹, Claudia-Paula Heidegger. Can calculation of energy expenditure based on CO₂ measurements replace indirect calorimetry? *Critical Care* 2017
3. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol.* 1949;109:1–9.
4. C. Black, M. P. W. Grocott³, and M. Singer¹. Metabolic monitoring in the intensive care unit: a comparison of the Medgraphics Ultima, Deltatrach, and Douglas bag collection methods. *British Journal of Anaesthesia* 114(2): 261–8 (2015)
5. Amir O. Elhassan, MD^a, Lien B. Tran, MD^a, Richard C. Clarke. Total Parenteral and Enteral Nutrition in the ICU Evolving Concepts. *Anesthesiol Clin.* 2017
6. Suarez-Sipmann, F., Bohm, S. H., & Tusman, G. (2014). Volumetric capnography: the time has come. *Current opinion in critical care*, 20(3), 333-339.
7. Stapel, S. N., Elbers, P. W., & Oudemans-van Straaten, H. M. (2017). VCO₂-derived energy expenditure: do not throw the baby out with the bath water!. *Critical Care*, 21(1), 82.
8. Álvarez-Hernández, J., Vila, M. P., León-Sanz, M., de Lorenzo, A. G., & Celaya-Pérez, S. (2012). Prevalence and costs of malnutrition in hospitalized patients; the PREDyCES® Study. *Nutr Hosp*, 27(4), 1049-1059
9. Frankenfield, D. C., Coleman, A., Alam, S., & Cooney, R. N. (2009). Analysis of estimation methods for resting metabolic rate in critically ill adults. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 33(1), 27-36.

10. Oshima, T., Berger, M. M., De Waele, E., Guttormsen, A. B., Heidegger, C. P., Hiesmayr, M., ... & Pichard, C. (2017). Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clinical nutrition*, 36(3), 651-662.
11. Rousing, M. L., Hahn-Pedersen, M. H., Andreassen, S., Pielmeier, U., & Preiser, J. C. (2016). Energy expenditure in critically ill patients estimated by population-based equations, indirect calorimetry and CO₂-based indirect calorimetry. *Annals of intensive care*, 6(1), 16.
12. Oshima, T., Ragusa, M., Graf, S., Dupertuis, Y. M., Heidegger, C. P., & Pichard, C. (2017). Methods to validate the accuracy of an indirect calorimeter in the in-vitro setting. *Clinical Nutrition ESPEN*, 22, 71-75.
13. Sion-Sarid, R., Cohen, J., Hourii, Z., & Singer, P. (2013). Indirect calorimetry: a guide for optimizing nutritional support in the critically ill child. *Nutrition*, 29(9), 1094-1099.
14. Casaer, M. P., Mesotten, D., Hermans, G., Wouters, P. J., Schetz, M., Meyfroidt, G., ... & Vlasselaers, D. (2011). Early versus late parenteral nutrition in critically ill adults. *N Engl J Med*, 365(6), 506-517.
15. Marik, P. E. (2016). Is early starvation beneficial for the critically ill patient?. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 19(2), 155-160.
16. Segadilha, N. L., Rocha, E. E., Tanaka, L., Gomes, K. L., Espinoza, R. E., & Peres, W. A. (2017). Energy expenditure in critically ill elderly patients: indirect calorimetry vs predictive equations. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 41(5), 776-784.
17. De, E. W., Opsomer, T., Honore, P. M., Diltor, M., Mattens, S., Huyghens, L., & Spapen, H. (2015). Measured versus calculated resting energy expenditure in critically ill adult patients. Do mathematics match the gold standard?. *Minerva anesthesiologica*, 81(3), 272-282.
18. Flancbaum, L., Choban, P. S., Sambucco, S., Verducci, J., & Burge, J. C. (1999). Comparison of indirect calorimetry, the Fick method, and prediction equations in estimating the energy requirements of critically ill patients. *The American journal of clinical nutrition*, 69(3), 461-466.
19. Habes, Q. L., & Pickkers, P. (2016). When enteral nutrition is not possible in intensive care patients: whether to wait or use parenteral nutrition?. *Nederlands tijdschrift voor geneeskunde*, 160, D646-D646.
20. Kagan, I., Zusman, O., Bendavid, I., Theilla, M., Cohen, J., & Singer, P. (2018). Validation of carbon dioxide production (VCO₂) as a tool to calculate resting energy expenditure (REE) in mechanically ventilated critically ill patients: a retrospective observational study. *Critical Care*, 22(1), 186.
21. Huynh, D., Chapman, M. J., & Nguyen, N. Q. (2013). Nutrition support in the critically ill. *Current opinion in gastroenterology*, 29(2), 208-215.
22. Artinian, V., Krayem, H., & DiGiovine, B. (2006). Effects of early enteral feeding on the outcome of critically ill mechanically ventilated medical patients. *Chest*, 129(4), 960-967.
23. Roza, A. M., & Shizgal, H. M. (1984). The Harris Benedict equation reevaluated: resting energy requirements and the body cell mass. *The American journal of clinical nutrition*, 40(1), 168-182.
24. Kreymann, K. G., Berger, M. M., Deutz, N. E., Hiesmayr, M., Joliet, P., Kazandjiev, G., ... & Hartl, W. (2006). ESPEN guidelines on enteral nutrition: intensive care. *Clinical nutrition*, 25(2), 210-223.
25. Faisy, C., Guerot, E., Diehl, J. L., Labrousse, J., & Fagon, J. Y. (2003). Assessment of resting energy expenditure in mechanically ventilated patients. *The American journal of clinical nutrition*, 78(2), 241-249.

Bijlage 1: Protocol metabole monitor

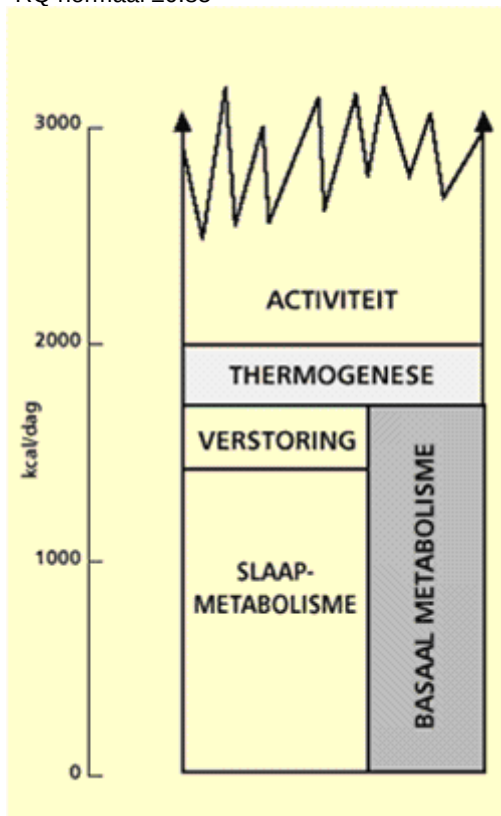
Algemeen / Inleiding

Het gebruik van de meetwaarden via de metabole monitoring verkleint de kans op onder-/overvoeding en daarmee ook het risico op infecties, morbiditeit en mortaliteit.

Meetwaarden worden verkregen door het meten van de hoeveelheid O₂ bij inademing en de hoeveelheid CO₂ bij uitademing.

De metabole monitor meet een rustmetabolisme.

- Vaste relatie tussen vrijgekomen energie en O₂-verbruik door glycolyse, krebscyclus en oxidatieve fosforylering
- $REE = 3.9 * VO_2 + 1.1 * VCO_2$
- RQ: respiratoir Quotient = uitgeademde CO₂ / ingeademde O₂
- RQ normaal ± 0.85



Doel

Voedingstoestand van de beademde patiënt optimaliseren
Nu vaak ondervoeding of overvoeding

Definities en begrippen

REE (Resting Energy Expenditure) : rust metabolisme

Uitvoerenden, verantwoordelijken en bevoegdheden

voedingsteam
IC verpleegkundige
intensivist

Betrokken afdelingen / instellingen

Intensive Care

Patienten met : Ondergewicht
Overgewicht
Weaningsfalen
Sepsis
Hypermetabolisme
Trauma
Brandwonden
ARDS

Benodigd materiaal

- metabole monitor
- kleine blauwe filter

Werkwijze

- voer de meting uit bij beademde patiënten:
 - o op zondag en woensdag in de nachtdienst, om ongeveer 02.00 uur
- zet het apparaat aan de achterkant aan en laat het 30 minuten opwarmen
- de patiënt dient ontspannen te zijn vanaf een half uur voor de test (dat wil zeggen: geen verplaatsingen, bezoek, operaties, etc.)
- $\text{FiO}_2 < 60\%$ op het moment van de test
- druk op de volgende pictogrammen als te zien op het Screenshot en selecteer een half uur voor de test



Nieuwe patiënt voer gegevens in (geboortedatum: maand-dag-jaar) = Amerikaans



Nieuwe test voor bestaande patiënt. Hierbij moet alleen de lengte en het gewicht opnieuw ingevoerd worden



Inzien van een test van geselecteerde patiënt



Zoek patiënt, op naam of patiëntnummer

Patient ID	Last Name	First Name	Middle	Visit Date
123	SYRINGE			06/29/2004 03:42:11 PM
224000003	GESV	TEST	MGC	11/29/2006 11:07:16 AM
UW 4	UW 4	DF		01/04/2007 03:33:15 PM
UW8	UW8	JS		01/05/2007 11:18:23 AM
UW20	UW 20	VE		01/08/2007 11:07:32 AM
-----	TESTER	M		01/22/2007 09:25:57 AM
279	MOB	M		06/05/2007 09:39:29 AM
JH1234	D	JESS	L	06/18/2007 04:00:37 PM
JH1234	D	JESS	L	06/21/2007 04:01:07 PM
JH1234	D	JESS	L	06/21/2007 04:19:37 PM
JH1234	D	JESS	L	06/21/2007 04:45:23 PM
123	SYRINGE			06/21/2007 05:07:43 PM
JH1234	D	JESS	L	06/21/2007 05:17:48 PM
123	SYRINGE			08/16/2007 07:04:11 AM
224000003	GESV	TEST	MGC	08/16/2007 08:25:12 AM

Data moet hier worden ingevoerd, wanneer ingevuld:

Klik op "reset flowsensor"



Klik op "respirator-test" 5 minuten testen gaat in



Last: First: Middle: >>
 ID: Gender: Race:
 DOB: Ht: Wt:
 Esc 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 Del
 Tab Q W E R T Y U I O P
 Bksp A S D F G H J K L -
 C Z X C V B N M Space ← →
 ◀ ▶ RMR 🩺 ❤️ 🖨️

- Voer een gaskalibratie uit: Dit kan tijdens de respiratoir test.

1. Verbind de umbilical clip met de kalibratiepoort:

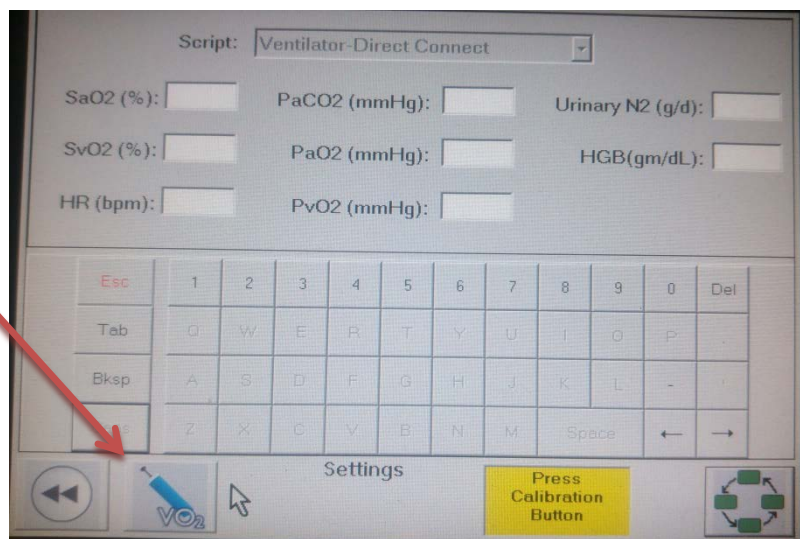
Verbind de witte en rode lijn met de gasflessen (op de fles staat een sticker met wit en rood), zorg dat de druk van de flessen af is voordat je ze opendraait. Dit door de knop tegen de klok in te draaien.



2. Zet de gasflessen op 5-7 psi. Dit door de knop met de klok mee te draaien.

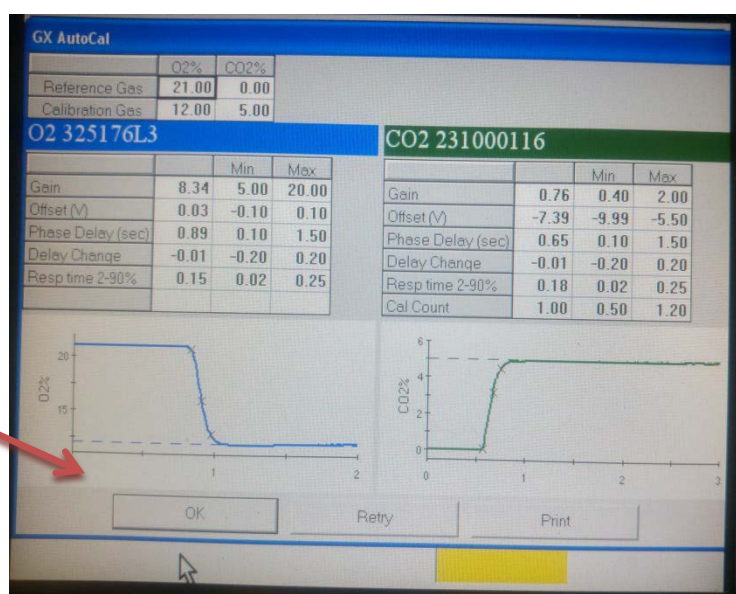


3. Klik op het icoontje  en de kalibratie start automatisch dit duurt 2 minuten.



4. Resultaten volgens onderstaand schema en klik op 'OK'.
5. Draai de gasflessen dicht, draai de knoppen op de gasflessen helemaal open en haal de witte en rode lijnen uit de gasflessen. Dit door de knoppen tegen de klok in te draaien.

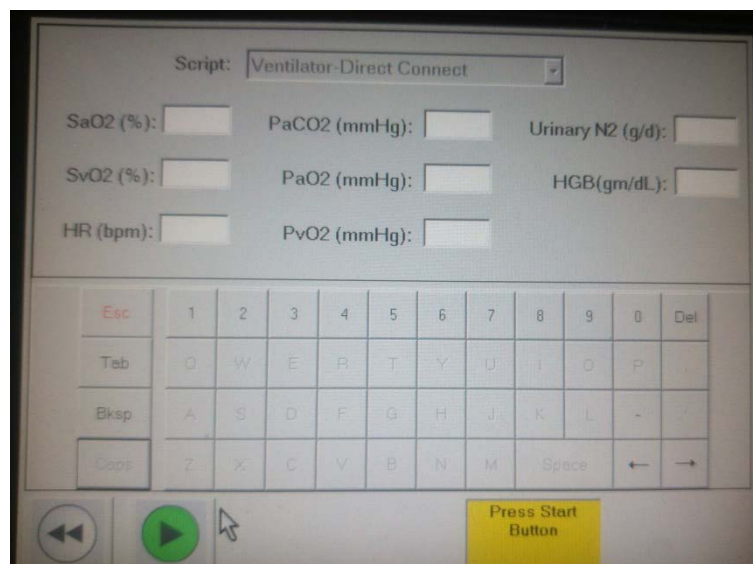
Druk op OK.



TEST:

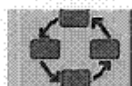
Verbind de flow sensor met de kabel
doe de flow sensor tussen de buis en de "Y" verbinding
zet tussen de patiënt en flow sensor een blauw filter en zet
de Fisher and Paykel uit, gedurende een half uur tijdens de
meting.

-  klik op "start" de meting start en data wordt verzameld
- gedurende 30-45 minuten meten
-  Stop klik op "stop"



UITLEZEN DATA:

Uitlezen data:



4 mogelijkheden om data te bekijken:

- 1= Alle data opgesomt in een tabel conform "breath by breath"
- 2= Resultatenscherf. Hier is oa de REE en Kcal/dag af te lezen
- 3= Hier kun je bepaalde data eventueel uitsluiten van de meting.
- 4= Grafisch overzicht van de verzamelde data

Er is hier ook de mogelijkheid om een bepaalde 'schokkerige' periode eruit te selecteren. Zet het pijltje bij het begin van de data die je wilt excluderen en selecteer het gebied dat eruit gehaald moet worden.

- NB. Data worden niet verwijderd uit de grafiek maar ze worden niet meegenomen in de berekeningen.

5. AFSLUITEN: Ga voor hulp met behulp van de pijltoetsen terug naar het hoofdscherm of sluit af:



Nazorg:

- noteer het aantal kCal in het PDMS, bij verpleegkundige decursus
- voedingsteam op de hoogte stellen van de meting

Na afloop van de test:

- 1) Haal de flow sensor ertussen uit
- 2) Zet de bevochtiging weer aan
- 3) Vervang de kabel bij een nieuwe test
- 4) Indien mogelijk: blaas de kabel door met 'gewone' lucht
- 5) Werp een blik op de hoeveelheid gas in de flessen na afloop van de test.

	Mean Value	Pred			
Time (min)	45:12				
FIO2 (%)	34.32				
REE (Kcal/day)	1820	1724			
RQ	0.86				
REE/Pred (%)	105				
RR (br/min)	19.34				
Vt BTPS (mL)	473				
VE BTPS (L/min)	9.14				
VCO2 (mL/min)	219				
VO2 (mL/min)	259				
Urinary N2 (g/day)					
CHO/REE (%)	52				
Fat/REE (%)	48				
Prot/REE (%)					

Resting Summary

Post-reanimatiepatiënten

- sluit de metabole monitor aan als de temperatuur $<34^{\circ}\text{C}$ is
- dan de metabole monitor laten lopen tot temperatuur $>36^{\circ}\text{C}$ is. (dit in verband met een kleinschalig onderzoek)
- Fisher and Paykel uitzetten tijdens de hele periode, blauwe filter is voldoende, i.o.m. Norbert Foudraine

Aandachtspunten

- contra-indicatie bij kleine tidals en hoge peep $>15\text{ cm H}_2\text{O}$

Foutieve metingen:

- bij FiO_2 meer dan 60%
- hoge beademingsvoorwaarden
- luchtlekkage en patiënt bewegingen
- tegelijkertijd CVVH
- veranderingen in vaso-actieve medicatie
- koorts met koude rillingen
- CO_2 stapeling

Referenties

Berger, Pichard; Best timing for energy provision during critical illness; Critical Care, 2012; 16;215
 Weijs; Optimal protein and energy nutrition decreases mortality in mechanically ventilated, critically ill patients: a prospective observational cohort study. JPEN 2012 Jan;36(1):60-8
 Malone AM. Methods of assessing energy expenditure in the intensive care unit. Nutr Clin Pract 17:21-28, 2002.
 ASPEN Board of Directors. JPEN 26;1S, 2002
 Ireton-Jones CS, Jones JD. Why use predictive equations for energy expenditure assessment? JADA 97(suppl):A44, 1997.
 Wall J, Ireton-Jones CS, et al. JADA 95(suppl):A24, 1995
 Frankenfield D; Prediction of resting metabolic rate in critically patients at the extremes of body mass index, 2-7; 2012; Journal of Parental and Enteral nutrition
 Critical Illness ADA Evidence Based Guidelines, 10-06
 Medscape

Bijlage 2: Taken en rol van de Ventilation Practitioner en tijdbalk voor implementatie van aanbevelingen

Algemene taken en rol van de Ventilation Practitioner

De Ventilation Practitioner is een gediplomeerd Intensive Care verpleegkundige (CZO herkend) met de vervolgopleiding tot Ventilation Practitioner gevolgd bij Care Training Group. De VP-er heeft een affiniteit met beademing. De VP-er werkt zelfstandig en staat altijd onder supervisie van de Intensivist. Dit tijdens de opleiding en na diplomering. Op de Intensive Care van het VieCuri Medisch Centrum zijn al meerdere VP-ers werkzaam. De VP-er vervult veel functies op de Intensive Care en ziekenhuis breed. Als voorbeeld implementatie van de Airvo™2 en non invasieve beademing op de afdeling Longgeneeskunde. Met name dit laatste, om dit in goede banen te leiden, is iets waar ik mij als VP-er i.o. veel mee bezig houd.

Op de Intensive Care bestaat de functie uit het optimaliseren van de beademing bij de Intensive Care patiënt. Daarnaast wordt gestreefd naar Best Practice. Dit doet de VP-er door evidenced based te werken, dit door op zoek te gaan naar de meest bewezen effectieve methode of handeling om je doel te kunnen bereiken en zich op de hoogte te houden van de laatste literatuur en inzichten. Dit met als doel om zo min mogelijk complicaties of problemen te bewerkstelligen.

De VP-er heeft tevens een belangrijke rol op het gebied van scholingen en instructies gerelateerd aan beademing. Ook heeft de VP-er een belangrijke rol tussen verpleegkundigen en specialismen. De VP-er heeft tevens een adviserende rol naar Intensivisten, arts-assistenten en verpleegkundigen. Hierbij wordt gekeken naar het huidig gemaakte beleid op gebied van beademing en ventilatie.

Op het gebied van innovatie en onderzoek houdt de VP-er de nieuwste ontwikkelingen en technologieën bij op het gebied van beademing. De VP-er kijkt kritisch met de andere VP-ers welke innovaties meerwaarde kunnen hebben voor de IC. Dit gaat altijd in overleg met de Intensivist. Wanneer er vragen of problemen gesignaleerd worden zal de VP-er zijn plan bijstellen. Dit met als doel om Best Practice te handelen.

Taken en rol van de Ventilation Practitioner m.b.t. tot energy expenditure op de IC

Ten eerste wil ik mijn affiniteit met voeding op de IC benadrukken. Dit is ook de reden geweest om dit onderwerp te kiezen voor mijn onderzoek. Naar aanleiding van het gevoerde onderzoek voor afronding van de opleiding tot Ventilation Practitioner zijn er een aantal aanbevelingen ten aanzien van energy expenditure (EE) gedaan. Zo is uit literatuursearch en mijn onderzoek gebleken dat de voorspellende formules voor het berekenen van EE onbetrouwbaar zijn. Het is dan ook onacceptabel om verder door te gaan met het berekenen van EE met deze voorspellende formules. Dit ook als advies richting diëtië. Gezien EEVCO₂ als goed alternatief voor indirecte calorimetrie naar voren kwam, zal dit ook geïmplementeerd worden op de IC in VieCuri Medisch Centrum. Alvorens dit te realiseren is het nodig dat de VCO₂ waarde in het elektronisch patiëntensysteem (EPD) zal worden geregistreerd. Hiervoor is contact nodig met ICT en chipsoft™. De servo-i® kan namelijk maar een aantal waarden doorsturen naar het elektronisch patiënten systeem. Hiervoor zal een waarde geschrapt moeten worden. Hiervoor is overleg nodig met de intensivisten en Ventilation Practitioners. Mogelijk kan de waarde peak inspiratory pressure (PIP) geschrapt worden en kan VCO₂ hiervoor in de plaats komen. Hierna kan ieder uur de VCO₂ berekend worden en kan er een gemiddelde van 24 uur gebruikt worden voor het berekenen van EEVCO₂. Dagelijkse bijsturing van voeding is dan mogelijk.

Tijdbalk voor implementatie

Oktober 2018	November 2018	December	Januari
Presentatie resultaten.	Terugkoppeling resultaten en adviezen aan overige disciplines.	Voorstellen i.p.v. PIP VCO ₂ te laten registreren in het EPD. Overleg met ICT voor implementatie van EEVCO ₂ .	Implementatie EEVCO ₂ i.p.v. voorspellende formules.