

Mechanical Power

Hoeveel kracht genereert mechanische beademing?

Laura Buiteman

Ventilation Practitioner i.o.

Afdeling Intensive Care, Reinier de Graaf, Delft

30 oktober 2019

Inhoud

- Inleiding
- Aanleiding
- Probleem-, doel- en vraagstelling
- Methode
- Resultaten
- Discussie
- Aanbevelingen
- Rol Ventilation Practitioner

Inleiding

Reinier de Graaf (Reijnerus de Graaf)

Geneesheer, onderzoeker in de anatomie, pionier in wetenschap

Delfts Gasthuis

Sinds 1252

Reinier de Graaf Gasthuis

Sinds 1982

Nieuwbouw

Sinds 2015



Inleiding



Inleiding

Intensive Care

Level 2

12 bedden, 9 beademing, 3 CRRT

IC opnames

732 (2017)

796 (2018)

Beademingsdagen

879 (2017)

1100 (2018)



Aanleiding

Intensive Care Med (2016) 42:1567–1575
DOI 10.1007/s00134-016-4505-2

ORIGINAL

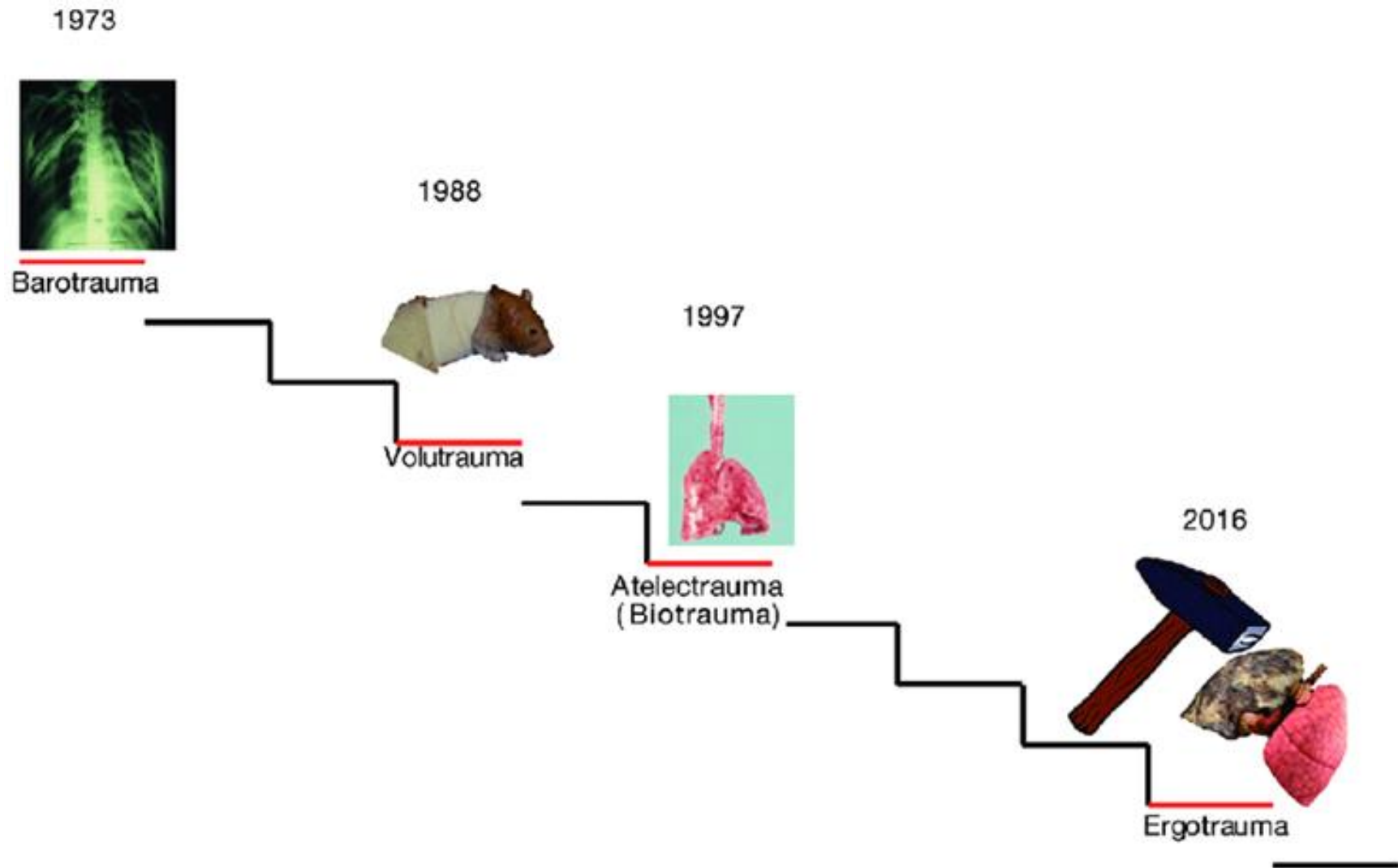


Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power

L. Gattinoni^{1*}, T. Tonetti¹, M. Cressoni², P. Cadringer³, P. Herrmann¹, O. Moerer¹, A. Protti³, M. Gotti²,
C. Chiurazzi², E. Carlesso², D. Chiumello⁴ and M. Quintel¹

Mechanical power: de energie die mechanische beademing
overbrengt op het respiratoire systeem

Evolutie van oorzaken van Ventilator Induced Lung Injury (VILI)



Mechanical Power (MP) en VILI

- Inflammatoire reactie
- Longprotectief beademen

- MP = alle parameters van energie overdracht ineen
- Hoe lager MP = hoe lager de energie overdracht
- Lage MP = mogelijk minder kans op VILI

Mechanical power formule

$$\text{Power}_{rs} = \text{RR} \cdot \left\{ \underbrace{\Delta V^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \text{EL}_{rs} \right]}_{\text{Uitzetten longen+thorax}} + \underbrace{\text{RR} \cdot \frac{(1 + I:E)}{60 \cdot I:E} \cdot R_{aw}}_{\text{Verplaatsen gas}} + \underbrace{\Delta V \cdot \text{PEEP}}_{\text{Openhouden long}} \right\}$$

Gattinoni et al (2016)

Instelparameters

- Ademhalingsfrequentie (RR)
- Teugvolume (ΔV)
- Flow
- PEEP

Afhankelijk van patiënt

- Weerstand van het respiratoire systeem (R_{aw})
- Elasticiteit van het respiratoire systeem (EL_{rs})

Vereenvoudigde formule

$$\text{Mechanical Power (Joule/minuut)} = 0.098 \cdot V_t \cdot RR \cdot (P_{\text{peak}} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P)$$

Gattinoni et al (2016)

0.098: omzetting naar Joule per minuut

V_t: teugvolume in liter

RR: ademhalingsfrequentie per minuut

P_{peak}: piekdruk in cmH₂O

ΔP: driving pressure (P_{plat} – PEEP_{tot}) in cmH₂O

Joule: internationale eenheid van energie

Mechanical power berekenen

Spontaan ademend persoon met normale Raw en Elrs: MP = **3,7 J/min**

Tonetti 2017

Beademde patiënt:

- Frequentie 15
- Tv 480
- Ppeak 22
- Pplat 19 = ΔP 9
- PEEPtot 10

$$\frac{0.098 \cdot V_t \cdot RR \cdot (P_{peak} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P)}{0.098 \cdot 0,48 \cdot 15 \cdot (22 - \frac{1}{2} \cdot 9) = \underline{\underline{12,3 \text{ J/min}}}$$

Teugvolume van 400 ml: **10,2 J/min**

Beademde patiënt met ARDS:

- Frequentie 28
- Tv 320
- Ppeak 31
- Pplat 24 = ΔP 12
- PEEPtot 12

21,9 J/min

Tennisbal van 56 g met 90 km/uur: **17,5 J**

Wanneer is mechanical power schadelijk?

- Associatie met

- Hogere mortaliteit (op IC, binnen ziekenhuis en na 30 dagen)
- Minder beademingsvrije dagen
- Verlengde IC- en ziekenhuis opname
- Grotere kans op overlijden bij MP > 17 J/min

Intensive Care Med
https://doi.org/10.1007/s00134-018-5375-6

ORIGINAL

Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients: an analysis of patients in two observational cohorts



Ary Serpa Neto^{1,2,3*}, Rodrigo Octavio Deliberato^{2,3,4}, Alistair E. W. Johnson⁵, Lieuwe D. Bos¹, Pedro Amorim⁶, Silvio Moreto Pereira⁶, Denise Carnieli Cazati², Ricardo L. Cordioli², Thiago Domingos Correa², Tom J. Pollard⁵, Guilherme P. P. Schettino², Karina T. Timenetsky², Leo A. Celi^{5,7}, Paolo Pelosi^{8,9}, Marcelo Gama de Abreu¹⁰, Marcus J. Schultz^{1,11} and for the PROVE Network Investigators

Mechanical Power and Development of Ventilator-induced Lung Injury

Massimo Cressoni, M.D., Miriam Gotti, M.D., Chiara Chiurazzi, M.D., Dario Massari, M.D., Ilaria Algieri, M.D., Martina Amini, M.D., Antonio Cammaroto, M.D., Matteo Brioni, M.D., Claudia Montaruli, M.D., Klodiana Nikolla, M.D., Mariateresa Guanziroli, M.D., Daniele Dondossola, M.D., Stefano Gatti, M.D., Vincenza Valerio, Ph.D., Giordano Luca Vergani, M.D., Paola Pugni, M.D., Paolo Cadringher, M.Sc., Nicoletta Gagliano, Ph.D., Luciano Gattinoni, M.D., F.R.C.P.

- Een MP van > 12 J/min veroorzaakte altijd uitgebreid longoedeem
- Hoe hoger MP, hoe ernstiger het longoedeem afgebeeld op CT-scan

(ANESTHESIOLOGY 2016; 124:1100-8)

Onderzoek

Probleemstelling

De werkelijke energieoverdracht van de beademingsmachine naar het respiratoire systeem is niet bekend. Het is niet inzichtelijk hoe hoog de MP is.

Doelstelling

Inzicht krijgen in de MP waar het respiratoire systeem mee in aanraking komt tijdens mechanische ventilatie.

Onderzoek

Vraagstelling

Wat is de MP in Joule per minuut tijdens de gecontroleerde beademing van patiënten op de Intensive Care van het Reinier de Graaf?

Deelvragen

- Is er verschil in MP bij vergelijking tussen verschillende beademingsvormen?
- Hoe verhouden de resultaten uit dit onderzoek zich met de resultaten uit de literatuur, voor wat betreft de hoogte van de MP?

Methode

Exploratief, prospectief onderzoek

Inclusie

Patiënten ≥ 18 jaar, die tenminste 24 uur invasief gecontroleerd beademd werden

Dataverzameling

3 meetmomenten gedurende 24 uur, maximaal 4 dagen

Maximaal 12 meetmomenten

Methode

Dataregistratie

Benodigde parameters, toegepaste beademingsvorm en gebruikte beademingsmachine (Dräger Evita XL en Hamilton C6)

Statistiek

Linear Mixed Effect Model, correlatiestructuur: AR(1)

Akaike Information Criteria (AIC) 1480

Variabelen

Geslacht, leeftijd, BMI, tijd, beademingsvorm, APACHE IV score bij opname

Resultaten

Basis karakteristieken

Aantal (n)	24
Leeftijd (in jaren)	68 (44-86)
Geslacht man (n)	15/24 (63%)
Lengte (cm)	175 (155-198)
Gewicht (kg)	80.5 (52-120)
BMI (kg/m ²)	26 (20-35)
IBW (kg)	70.1 (47.9-91.5)
Apache IV score bij opname	95 (40-156)
Opnamediagnose	
Pneumonie	6/24 (25%)
Sepsis	3/24 (12.5%)
Postoperatief	2/24 (8.3%)
Cardiovasculair	7/24 (29.2%)
Overige	8/24 (33.3%)

Aangesloten beademingsmachine

Evita XL [®]	12/24 (50%)
Hamilton C6 [®]	12/24 (50%)

Vitale functies bij start beademing

Hartfrequentie (bpm)	102 (52-161)
MAP (mmHg)	67 (47-130)
SpO ₂ (%)	95 (80-100)

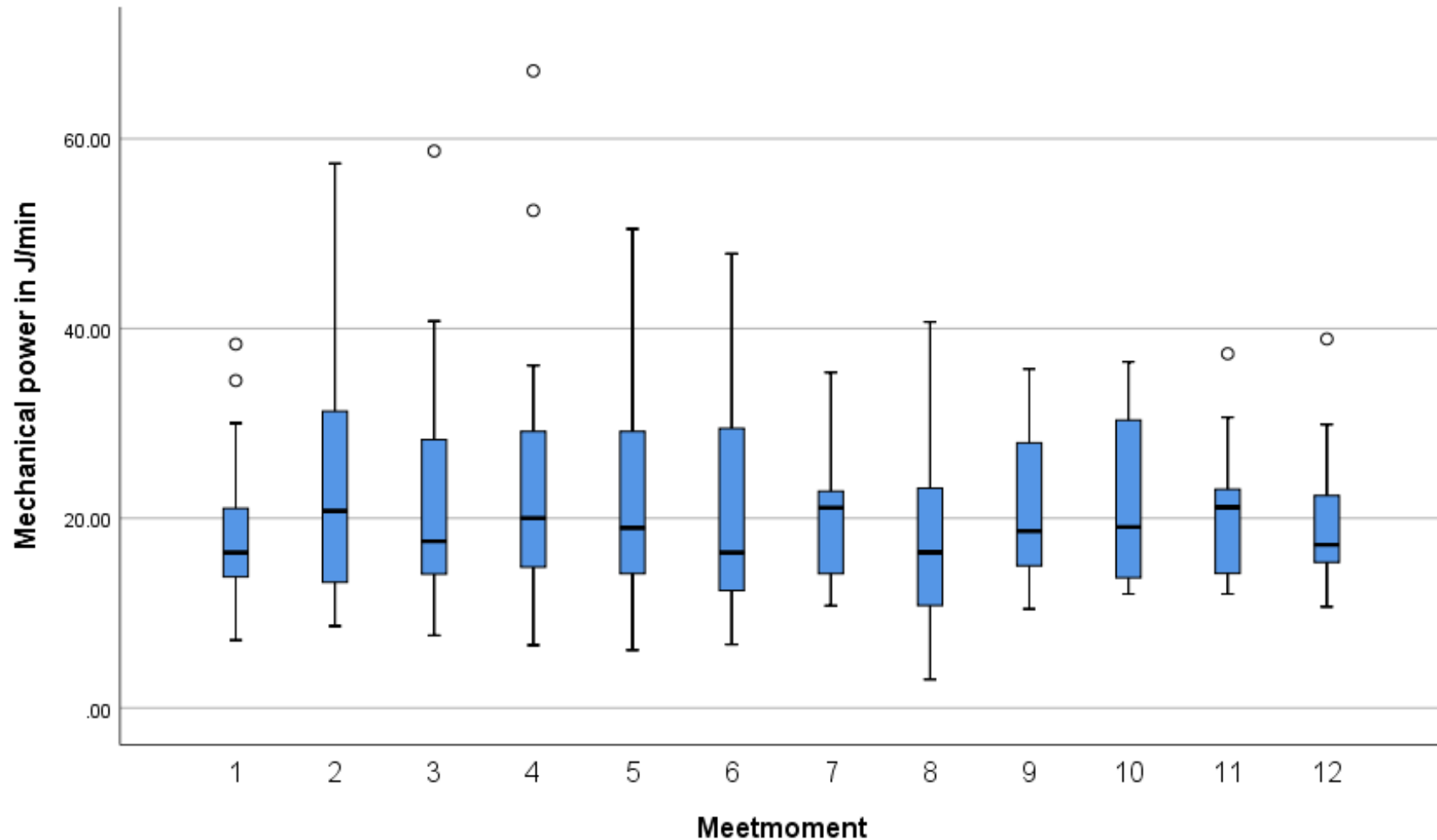
Laboratorium uitslagen bij start beademing

pH	7.29 (6.84-7.53)
PaO ₂ (kPa)	12.1 (8.6-30)
PaCO ₂ (kPa)	7.1 (2.8-11.5)
Bicarbonaat (mmol/l)	26 (10-43)

Tabel 1. Basiskarakteristieken
Mediaan weergegeven (min-max)

Resultaten

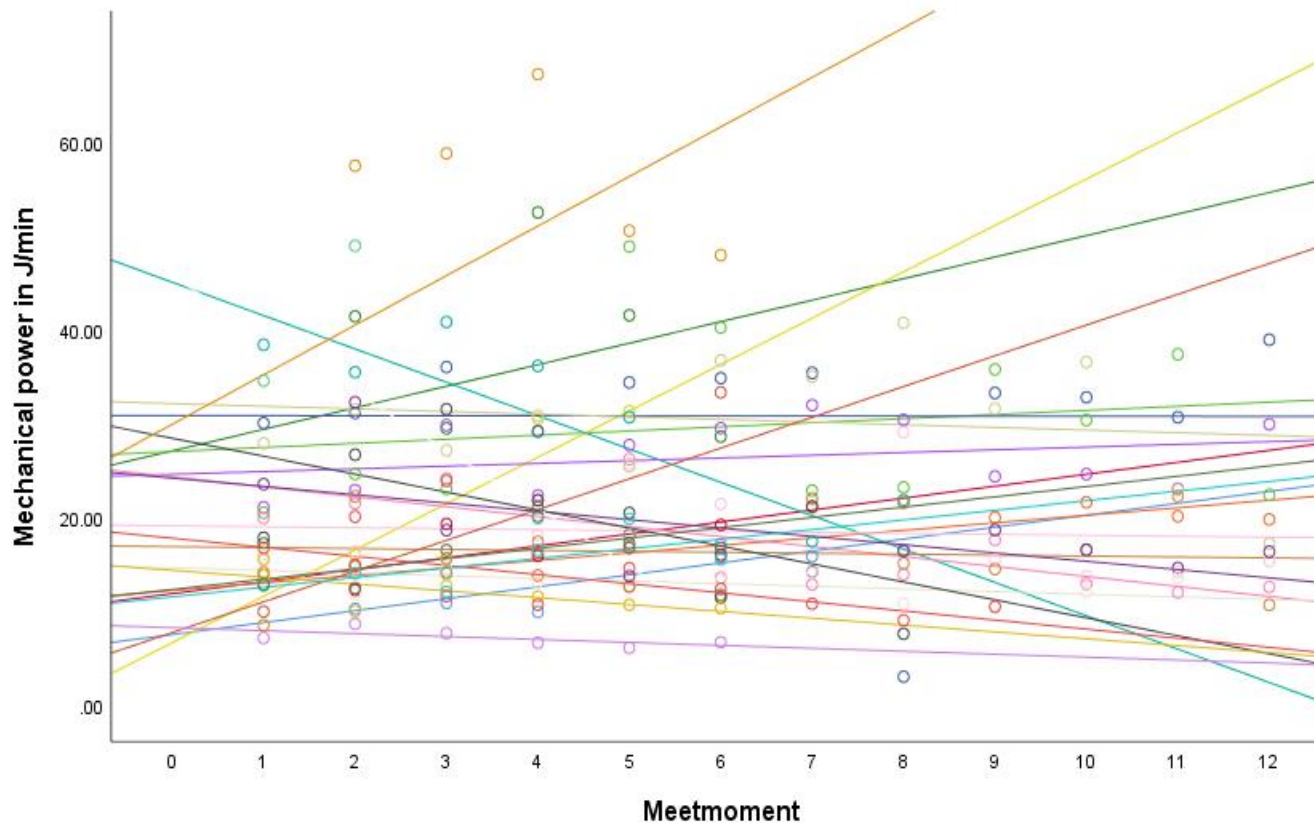
MP (mediaan): 18,4 J/min (SD 10,7)



Grafiek 1. Mechanical power versus meetmoment.

Resultaten

MP versus tijd: geen correlatie gevonden ($p=0.9$)



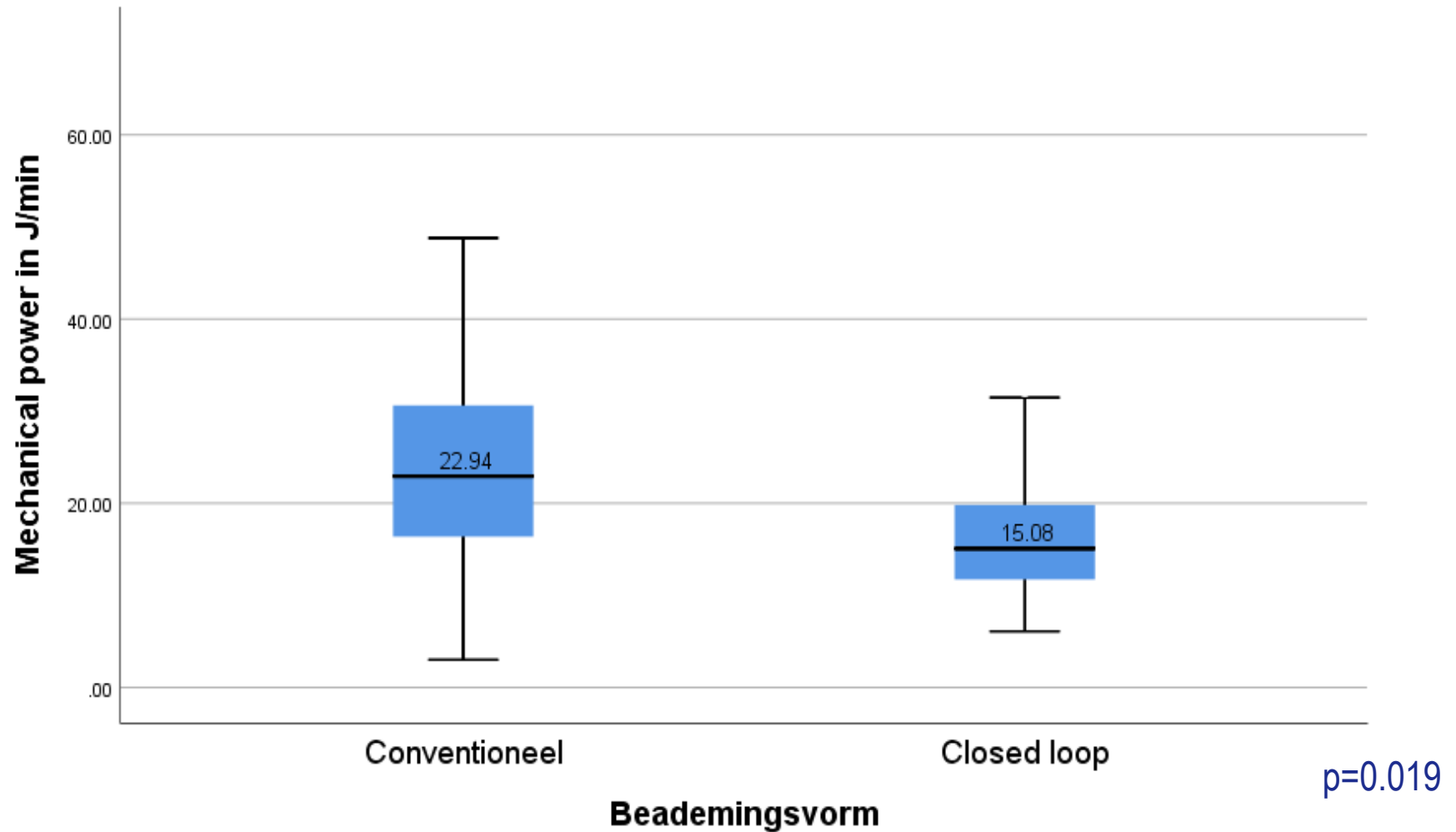
Grafiek 2. Mechanical power versus meetmoment per patiënt.

Resultaten

Mannelijke patiënten worden beademd met gemiddeld 5,3 J/min MP
meer in vergelijking met patiënten van het vrouwelijke geslacht
 $p=0.048$, 95% CI 0,23-11

Bij closed loop beademen wordt gemiddeld 6,2 J/min MP minder
overgebracht op het respiratoire systeem
 $p=0.019$, 95% CI 2,4-9,3

Resultaten



Grafiek 3. Verschil in MP bij conventionele versus closed loop beademing.

Conclusie

Overall MP mediaan is 18,4 J/min

Mannen worden met 5,3 J/min meer MP beademd in vergelijking met vrouwen

Closed loop beademing genereert 6,2 J/min minder MP, wanneer er wordt vergeleken met conventionele beademing

Discussie

Hoogte MP

Verskil in MP tussen man en vrouw

Piekdruk?

MP als biomarker?

Alternatieve formule

Grootte onderzoekspopulatie

Aanbevelingen

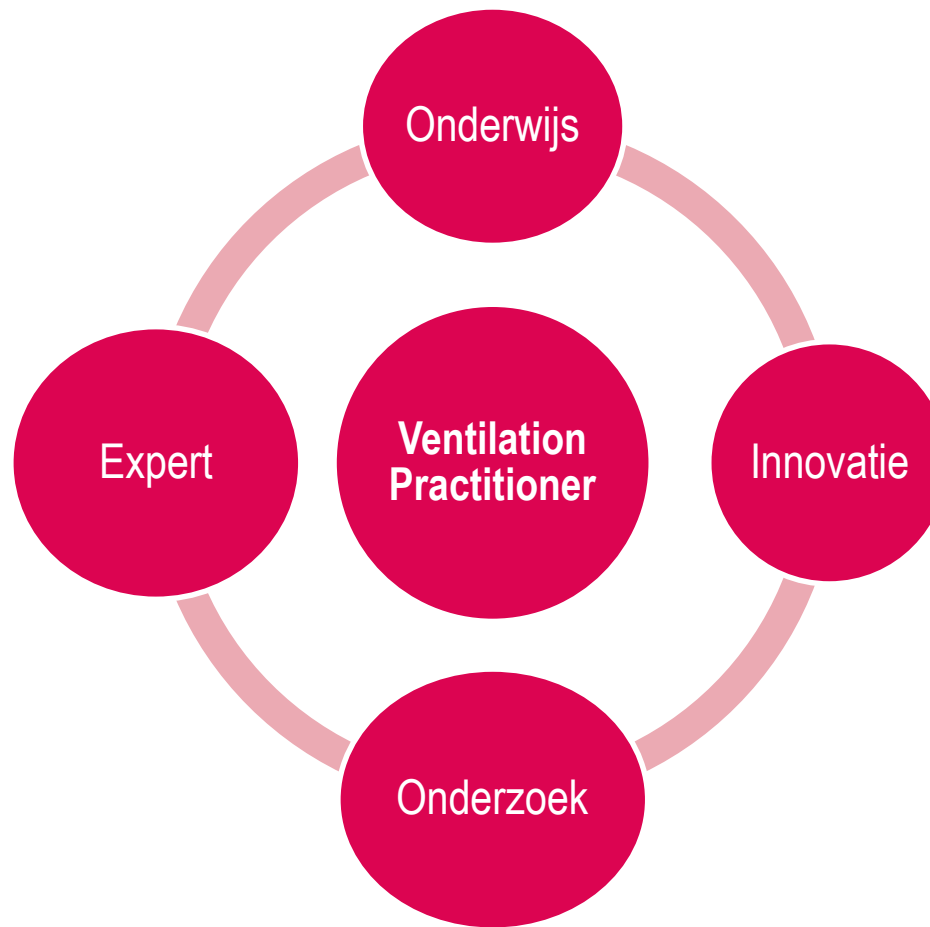
MP gebruiken in klinische setting

Closed loop beademing kan 1^e keus worden

MP berekening in software van de beademingsmachine

Vervolgonderzoek

Rol Ventilation Practitioner



Met dank aan...

Peter

Pim

Hassan

Betty

Sven

Collega's

CTG

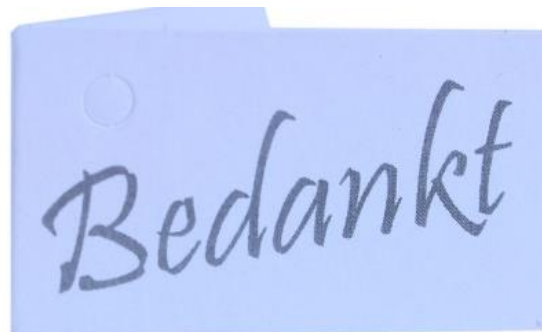
Hans

Rianne

Vrienden

Familie

Medestudenten



Literatuurlijst

- Neto, A.S., Deliberato, R.O., Johnson, A.E.W. et al. (2018). *Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients: an analysis of patients in two observational cohorts*. Intensive Care Med.
- Tonetti, T., Vasques, F., Rapetti, F. et al. (2017). *Driving pressure and mechanical power: new targets for VILI prevention*. Ann Transl Med;5(14):286
- Kacmarek, R.M. (2017) *Egans fundamentals of respiratory care*. Elsevier.
- Gattinoni, L., Tonetti, T., Cressoni, M. et. al. (2016). *Ventilator related causes of lung injury: the mechanical power*. Intensive Care Med. 42: 1567-1575.
- Gattinoni, L., Tonetti, T., Cressoni, M. et. al. (2016). *Ventilator related causes of lung injury: the mechanical power*. *Electronic Supplement* Intensive Care Med. 42: 1567-1575.
- Zhang, Z., Zheng, B., Liu N. et al. (2019). *Mechanical power normalized to predicted body weight as a predictor of mortality in patients with acute respiratory distress syndrome*. Intensive Care Med. 45(6):856-864
- Brochard, L., Bersten, A. (2019). *Mechanical Power. A biomarker for the lung?* Anesthesiology. 130:9-11.
- Becher, T., van der Staay, M., Schädler, D. et. al. Intensive Care Med (2019). <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05636-8>
- van der Meijden, S., Molenaar, M., Somhorst, P. et al. Intensive Care Med (2019). <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05698-8>

Vragen?

Laura Buiteman
Ventilation Practitioner i.o.

Intensive Care, Reinier de Graaf
I.kruizinga@rdgg.nl

Versimpeling formule

Knowing that $R_{aw} = (P_{peak} - P_{plat})/F$ and $F = \Delta V/T_{insp}$, the equation 3 in the main manuscript can be rewritten as follows:

$$E_{breath} = \Delta V^2 \cdot EL_{rs} \cdot \frac{1}{2} + \Delta V \cdot (P_{peak} - P_{plat}) + \Delta V \cdot PEEP \quad (I)$$

Knowing that $EL_{rs} = \Delta P_{aw}/\Delta V$, the equation (I) can be rewritten as follows:

$$E_{breath} = \Delta V \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \Delta P_{aw} + P_{peak} - P_{plat} + PEEP \right) \quad (II)$$

Where $\Delta P_{aw} = P_{plat} - PEEP$. Accordingly:

$$E_{breath} = \Delta V \cdot \left[P_{peak} - \frac{1}{2} \cdot (P_{plat} - PEEP) \right] \quad (III)$$

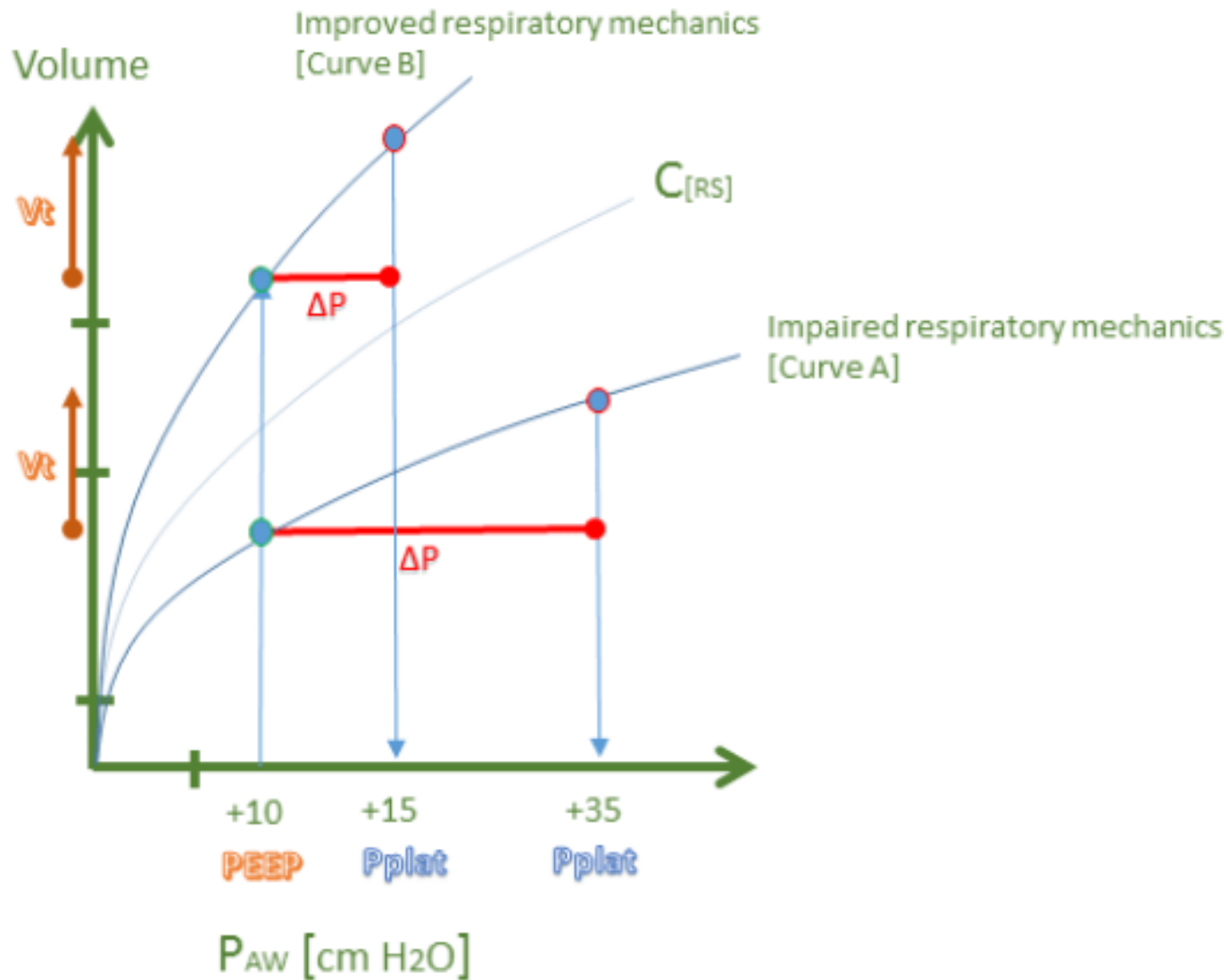
Or:

$$E_{breath} = \Delta V \cdot \left(P_{peak} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P_{aw} \right) \quad (IV)$$

So:

$$Power_{rs} = 0.098 \cdot RR \cdot \Delta V \cdot \left(P_{peak} - \frac{1}{2} \cdot \Delta P_{aw} \right) \quad (V)$$

Driving pressure



Ergo trauma

kracht (vanuit natuurkunde = 'vim' in het latijn, en spel in het latijn is (in deze betekenis) agituur of agitura dus krijg je 'vim agitura' . Het woord trauma is een leenwoord uit het Grieks, dus waarom niet een griekse term met trauma? Dan krijg je (vanuit het Grieks): *trauma paichnídi dýnamis* (TPD).

Formule bewegingsenergie

Tennisbal met 90km/uur

Gegeven: $m = 56 \text{ g} = 0,056 \text{ kg}$, $v = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$

Gevraagd: $E_B = ?$

Uitwerking: $E_B = \frac{1}{2} \times m \times v^2 = \frac{1}{2} \times 0,056 \times 25^2 = 17,5 \text{ J}$

Omzetting naar SI eenheid

Druk

- $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 98.0665 \text{ Pa}$

Volume

- $1 \text{ L} = 0.001 \text{ m}^3$

- $1 \text{ cmH}_2\text{O} \times 1 \text{ Liter} = 0.0980665 \text{ Joule}$

VCV vs PCV

Figure 1: Dynamic PV-loop for pressure controlled (P-CMV, yellow) and volume controlled (S-CMV, gray) passive ventilated patients
van der Meijden, 2019

