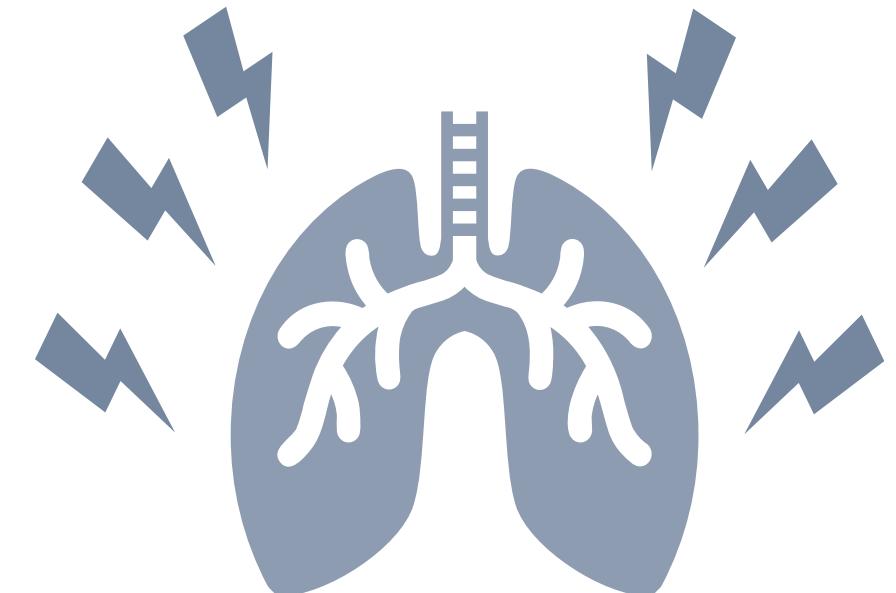


# Mechanical Power: een krachtige vergelijking

## Analyse van de Power Equations versus het Geometrische model

12 oktober 2023

**A.K. Maas, Ventilation Practitioner i.o.**  
Intensive Care Kinderen, Amsterdam UMC  
Dick Markhorst, medisch begeleider  
Annelies Klaar, verpleegkundig manager



# Inhoud



- Amsterdam UMC
- Intensive Care Kinderen
- Onderzoek
  - Introductie
  - Probleem-, doel- en vraagstelling
  - Methode
  - Resultaten
  - Discussie en conclusie
- Functie Ventilation Practitioner



# Amsterdam UMC

1865 Emma kinderziekenhuis opgericht

1989 opgenomen in het AMC

Locatie AMC en VUmc, fusie in 2018

19.500 medewerkers



Parool, 2022



# Intensive Care Kinderen

16 bedden, 13 beademingsplekken

11 kinderartsen-intensivist

71 ICK-verpleegkundigen

3 fellows

3 Ventilation Practitioners (1 i.o.)





# Intensive Care Kinderen

Aantal opnames:

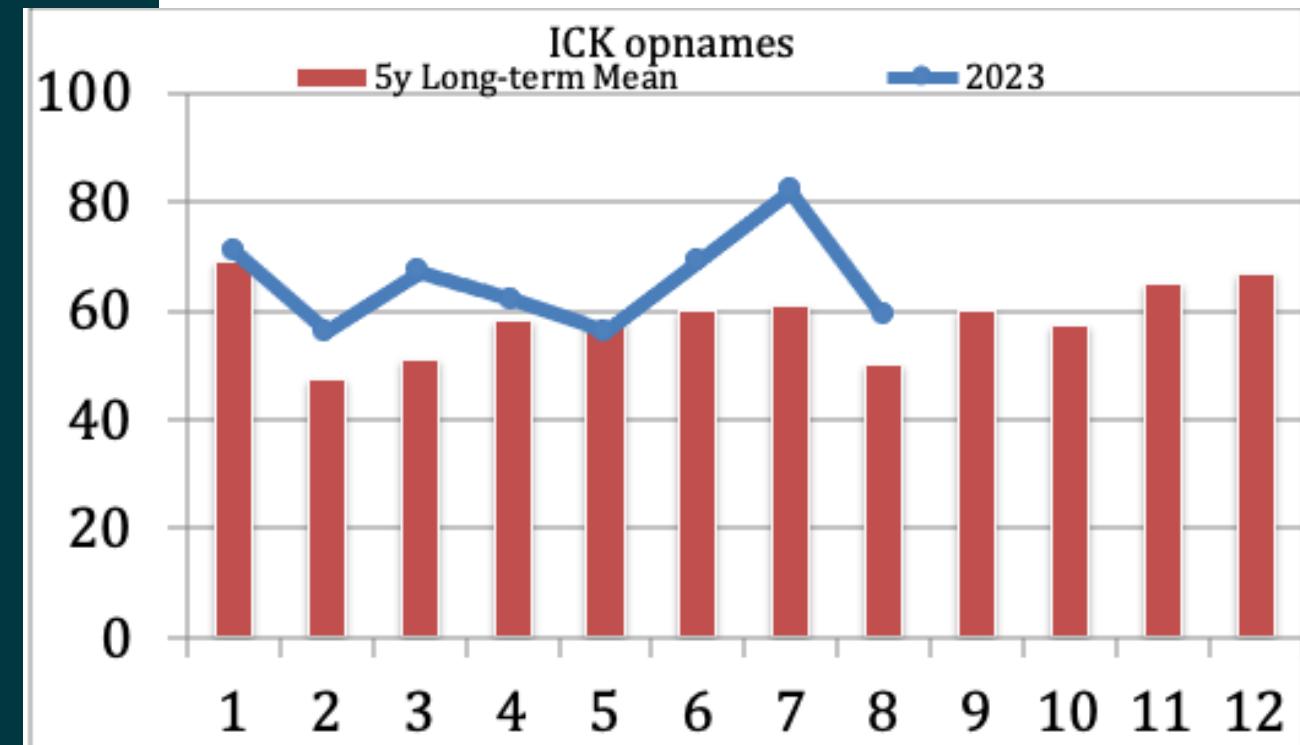
2022: 735 kinderen

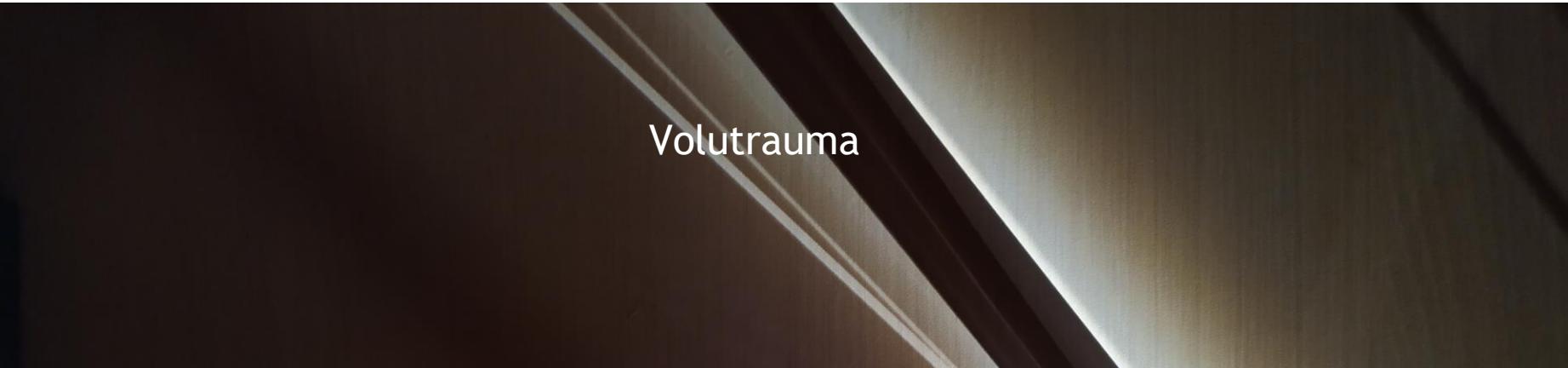
2023: 522 kinderen (tot september)

Aantal beademde patiënten:

2022: 352 kinderen

2023: 219 kinderen (tot september)





Volutrauma

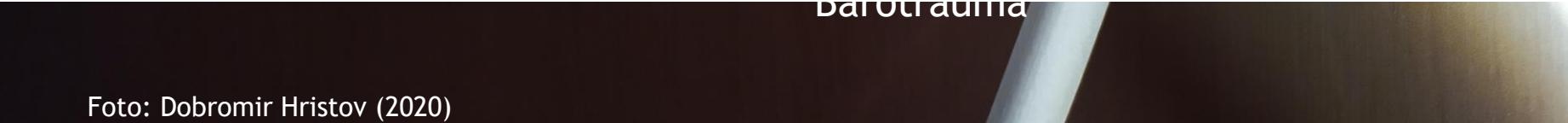
ORIGINAL



# Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power

L. Gattinoni<sup>1\*</sup>, T. Tonetti<sup>1</sup>, M. Cressoni<sup>2</sup>, P. Cadringher<sup>3</sup>, P. Herrmann<sup>1</sup>, O. Moerer<sup>1</sup>, A. Protti<sup>3</sup>, M. Gotti<sup>2</sup>, C. Chiurazzi<sup>2</sup>, E. Carlesso<sup>2</sup>, D. Chiumello<sup>4</sup> and M. Quintel<sup>1</sup>

© 2016 Springer-Verlag Berlin Heidelberg and ESICM



Volutrauma

Foto: Dobromir Hristov (2020)



Bron: AD, 2020



## De rol van ademfrequentie



# Mechanical Power (1)

Energie per tijdseenheid welke nodig is voor volume verandering van het respiratoire systeem (resistieve, statische en elastische krachten)

Energie: potentiële + kinetische energie

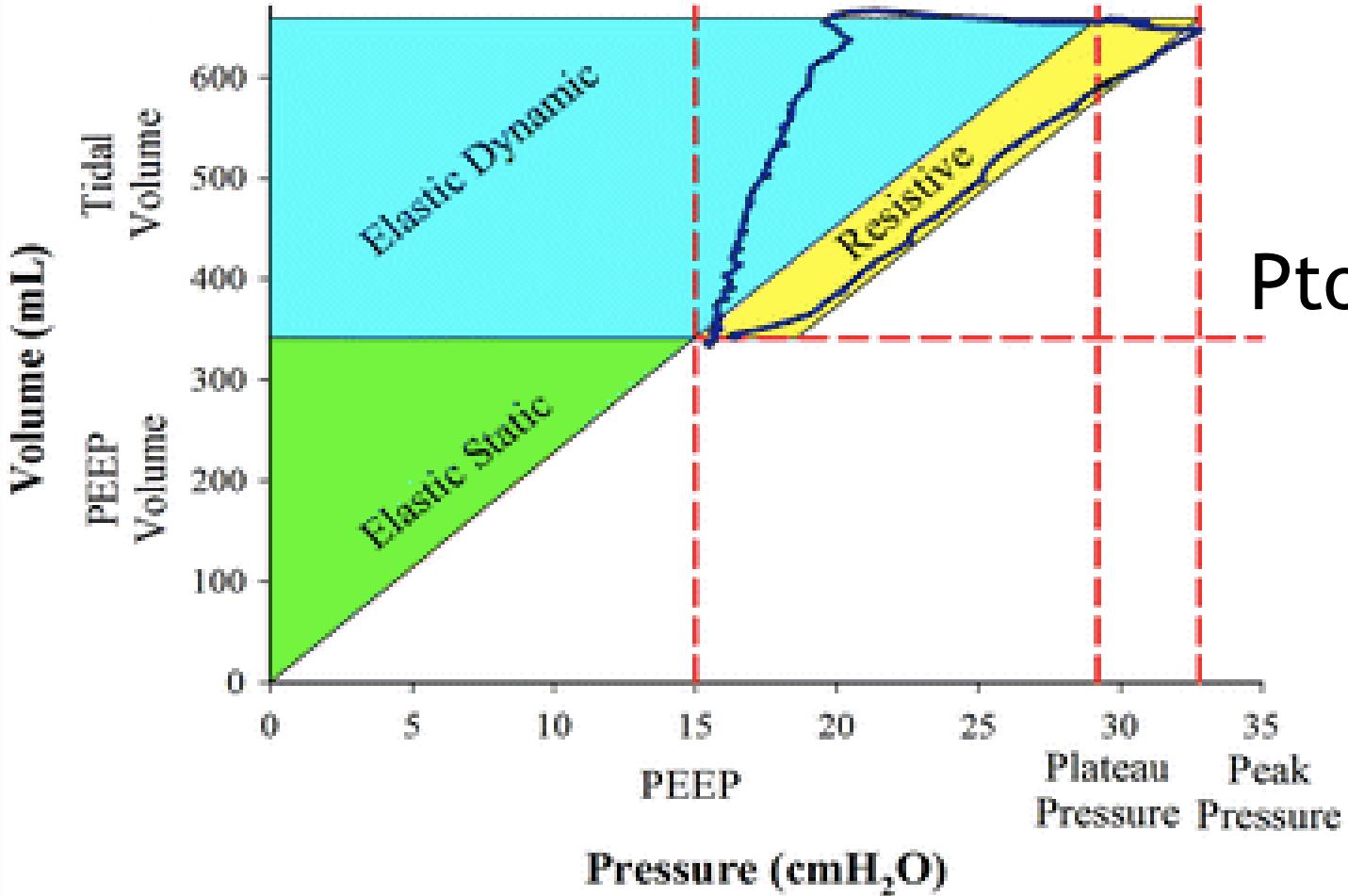
Per tijdseenheid: ademfrequentie

Eenheid: Joules / minuut





# Mechanical Power (2)



$$P_{tot} = E_{rs} \times V_t + F \times R_{aw} + P_{PEEP}$$

Elastische kracht

$$E_{rs} \times V_t$$

Uiteenzetten van long

Resistieve kracht

$$F \times R_{aw}$$

Verplaatsing gas

Statische kracht

$$P_{PEEP}$$



# Mechanical Power (3)

Kinderen  
Volwassenen

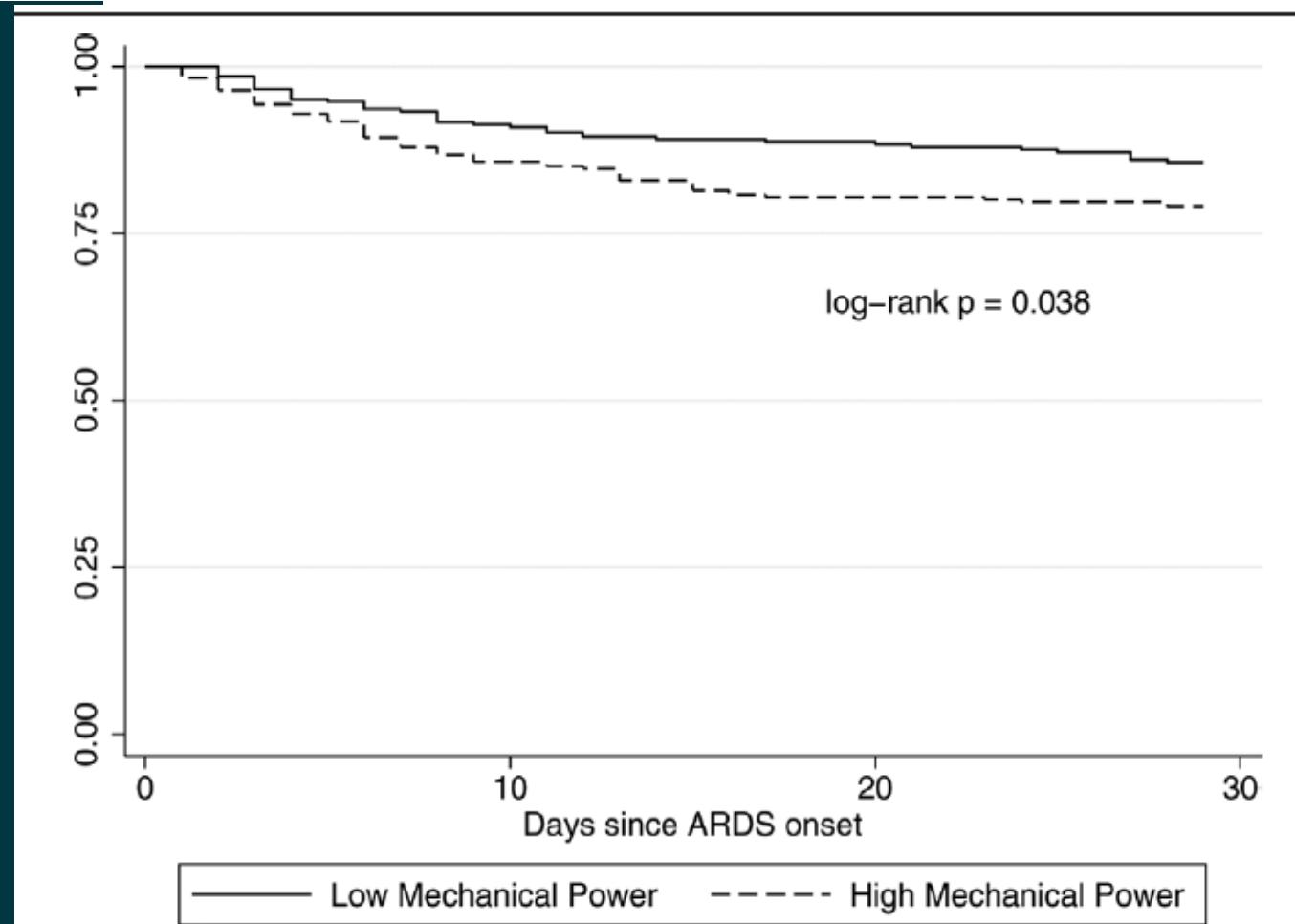
Wijziging relatieve leeftijd, gewicht en MP

Rekken in kg/min  
Verlengde beademingsduur

- Verhoogde mortaliteit

Associatie hoge MP en mortaliteit

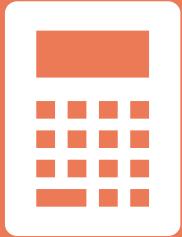
Kaplan-Meier curve: hazard ratio 1,34





## Geometrische meetmethode

- Gouden standaard
- Dynamische P/V loop
- Kan niet aan bed uitgevoerd



## Power Equations, drukgecontroleerde modus:

- Mpsimplified, Mpcomprehensive (Becher, 2022)
- Mplineair (Trinkle, 2022)



# Probleem- en doelstelling

## Probleem

- Toepasbaarheid formules bij kinderen onbekend
- Joules/min of Joules/kg/min

## Doel

Nauwkeurigheid en precisie van de formules bepalen t.o.v. de gouden standaard



# Vraagstelling

Zijn de formules in staat om met voldoende nauwkeurigheid en precisie de geometrische P/V-meting te vervangen bij de berekening van de Mechanical Power tijdens druk-gecontroleerde beademing bij kinderen op de PICU?

Resultaten worden vergeleken in:

- Joules/min en in Joules/kg/min

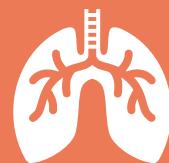
# Methoden



Prospectief, observationeel (waiver METC)



Periode 01-01-2023 t/m 31-07-2023



Pressure controlled mandatory ventilation  
(P-CMV)



Alle beademde kinderen, met en zonder  
verslapping, onafhankelijk van sedatie

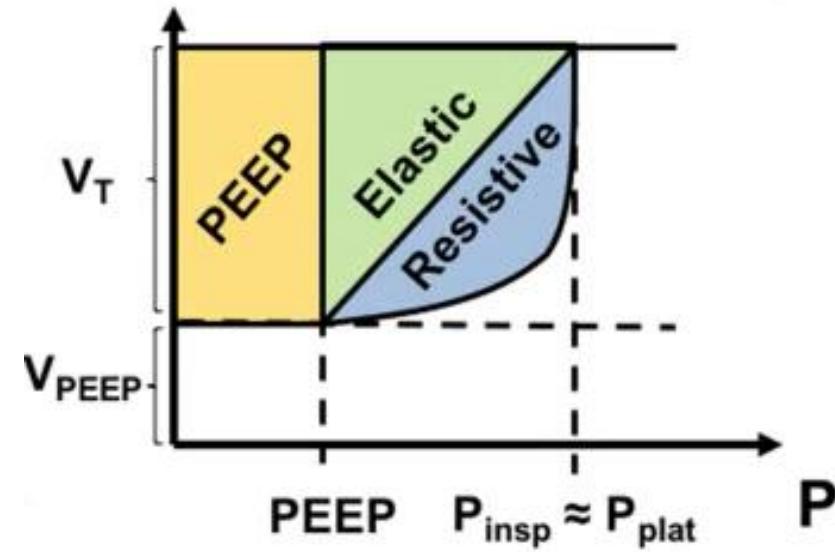
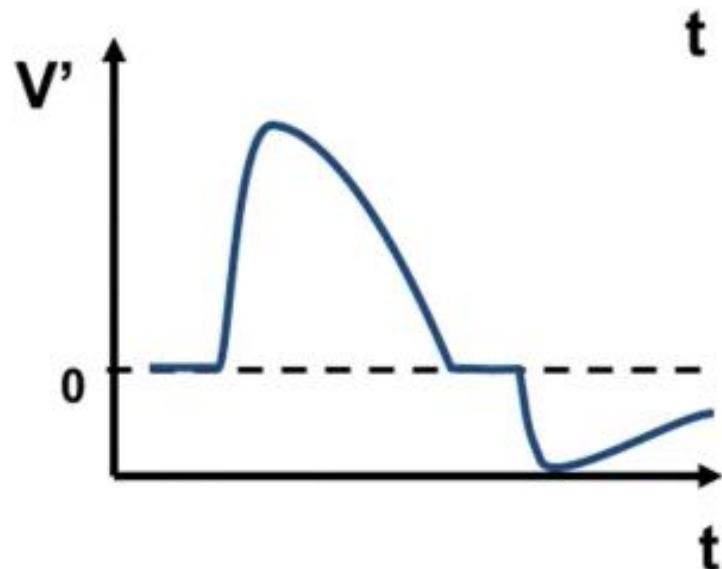


Exclusie indien hoge mate van agitatie  
gemeten op COMFORT-scale



# Geometrische methode

- Tijd, datum, proximale flow en luchtwegdruk
- Elk kind eenmaal, een minuut lang gemeten (sampling freq. 30Hz)
- P/V loop constructie in Excel
- Gemiddelde arbeid per ademteug \* de frequentie





# Formules

Tegelijkertijd screenshots beademingsscherm voor toepassing formules  
Eenmalig gedaan per kind

$$(1) MP_{simplified} = 0,098 \times RR \times Vt (\Delta P_{insp} + PEEP)$$

$$(2) MP_{comprehensive} = 0,098 \times RR [(\Delta P_{insp} + PEEP) \times Vt - \Delta P_{insp}^2 \times C (0,5 - \frac{R \times C}{Tslope} + \left( \frac{R \times C}{Tslope} \right)^2 \times (1 - e^{-\frac{Tslope}{R \times C}}))]$$

$$(3) MP_{LM} = 0,098 \cdot RR \cdot \left\{ V_T \cdot (P_{PEEP} + \Delta P_{insp}) - 0,15 \cdot \Delta P_{insp}^2 \cdot t_{slope}/R \right\}$$

Joules/min   Statisch en dynamisch   Resistief (weerstand)



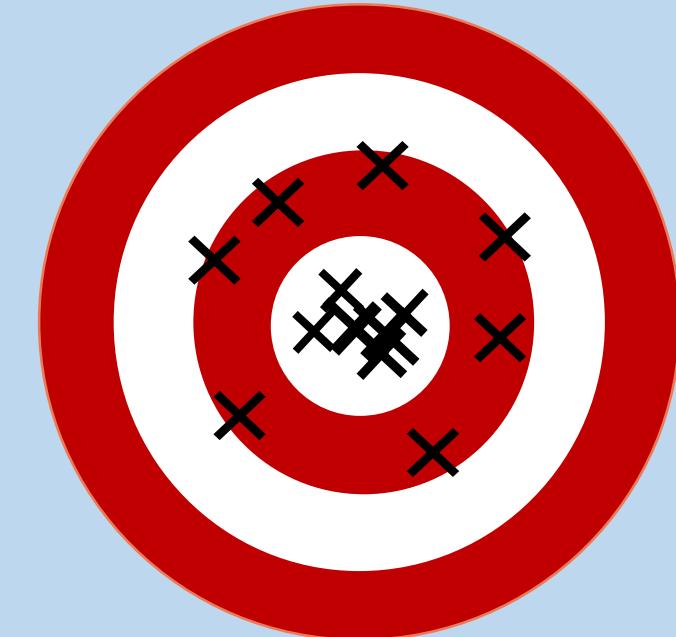
# Uitkomstmaat

Voldoende overeenkomst indien formule:

- met  $< 2 \text{ J/min}$  afwijkt van de gouden standaard

Of

- Formule met  $< 0,2 \text{ J/kg/min}$  afwijkt van de gouden standaard



Lage nauwkeurigheid,  
lage precisie



# Statistische analyse

1

Resultaten Joules/min  
Mpsimplified, Mpcomprehensive en  
MPlineair

1. Shapiro Wilk test  
→ Normale verdeling

2. Bland-Altman analyse

2

Resultaten Joules/kg/min  
Mpsimplified + MPcomprehensive

1. Shapiro Wilk test  
→ Niet normale verdeling
2. Logtransformatie  
→ Normale verdeling
3. Bland-Altman analyse

3

Resultaat in Joules/kg/min  
MPlineair

1. Shapiro Wilk test  
→ Scheve verdeling
2. Logtransformatie
3. Box-Cox transformatie  
→ Niet normale verdeling
4. Bland-Altman analyse  
met mediaan en percentielen

# Resultaten



37 inclusies



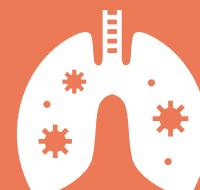
18 vrouwen (48%)



Leeftijd 12 (2 - 6) maanden (mediaan, IQR)



Gewicht 9,5 (3,9 - 20) kg (mediaan, IQR)



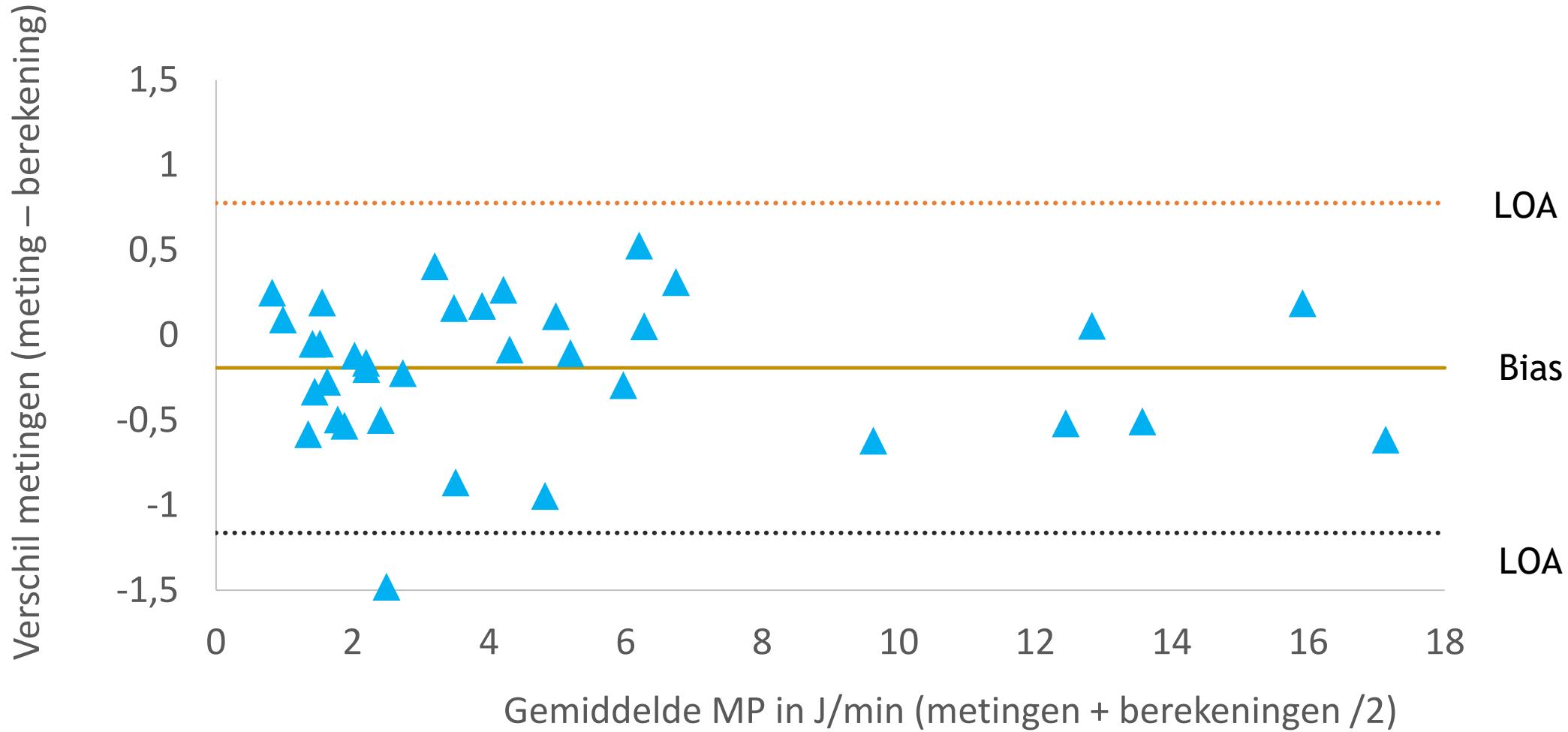
Opname indicatie

- Restrictief longbeeld: 16 kinderen (43%)
- Obstructief longbeeld: 7 kinderen (19%)
- Gezonde longen: 14 kinderen (38%)

# Resultaten J/min



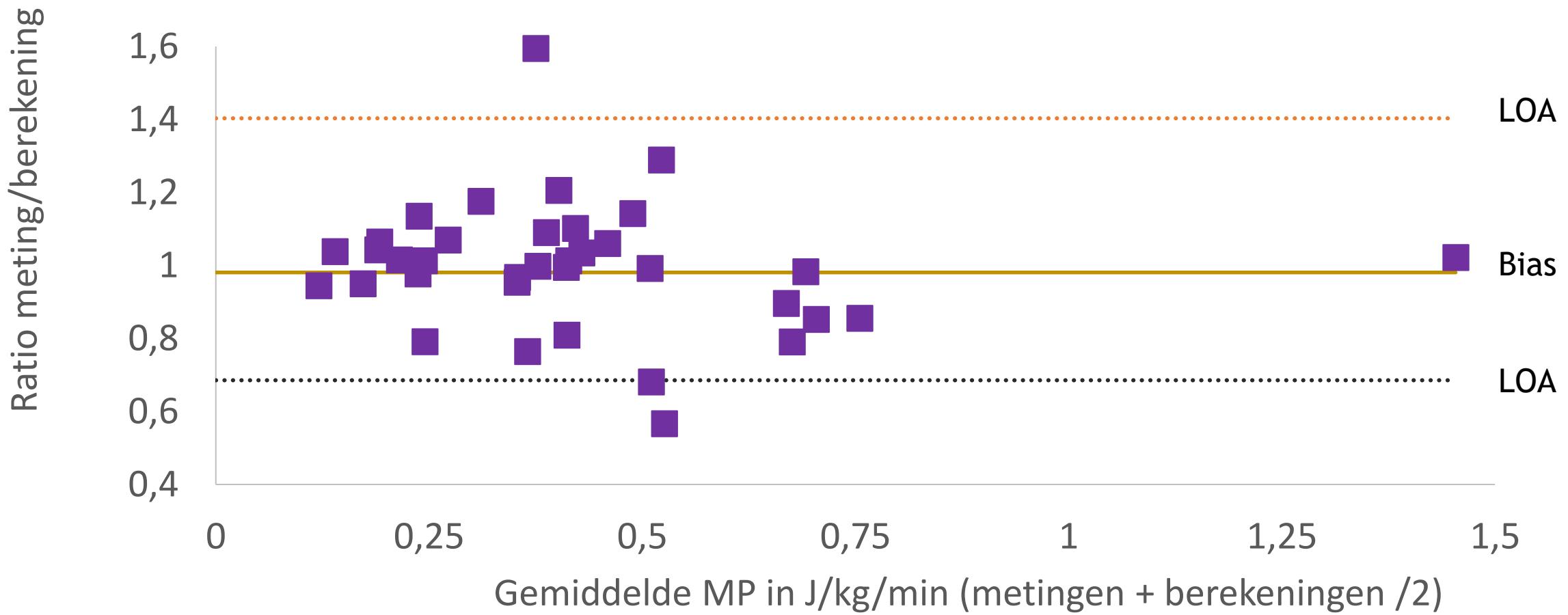
MPlineair



# Resultaten in J/kg/min



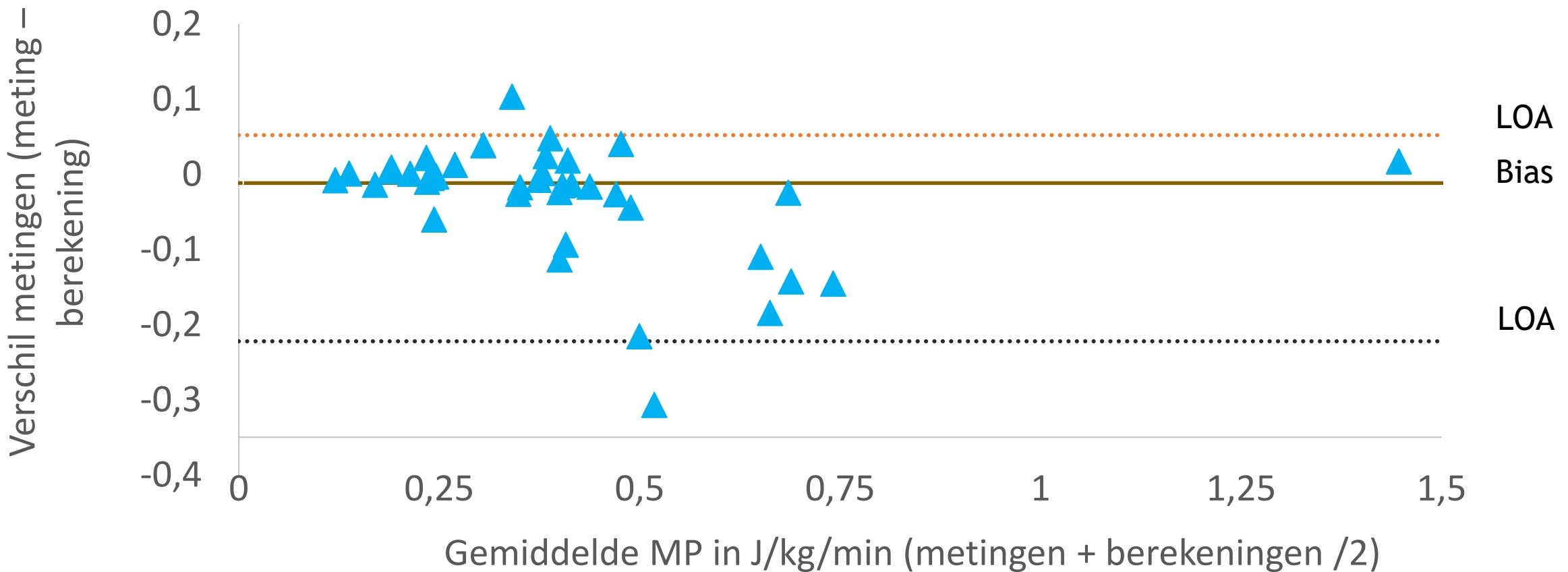
MPsimplified



# Resultaten in J/kg/min



MPlineair





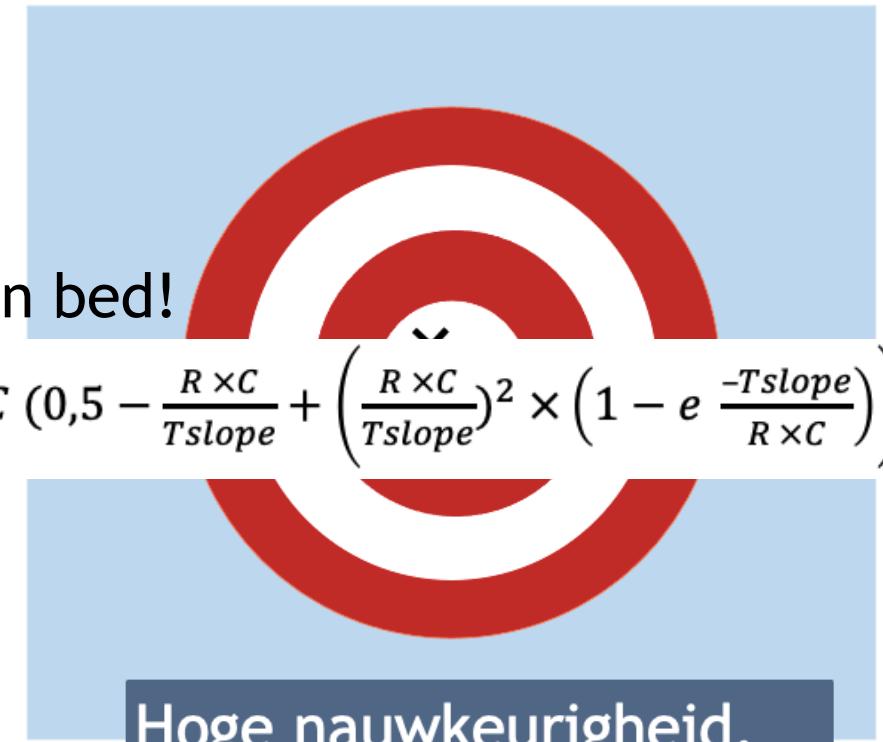
# Discussie (1)

Joules/min: alle drie de formules

- Nauwkeurigheid en precisie van de drie meetmethodes was hoog

- Formule Mpcomprehensive (Becher) complex aan bed!

$$(2) MPcomprehensive = 0,098 \times RR [(\Delta P_{insp} + PEEP) \times Vt - \Delta P_{insp}^2 \times C (0,5 - \frac{R \times C}{Tslope} + \left( \frac{R \times C}{Tslope} \right)^2 \times \left( 1 - e^{-\frac{Tslope}{R \times C}} \right))]$$



Hoge nauwkeurigheid,  
hoge precisie

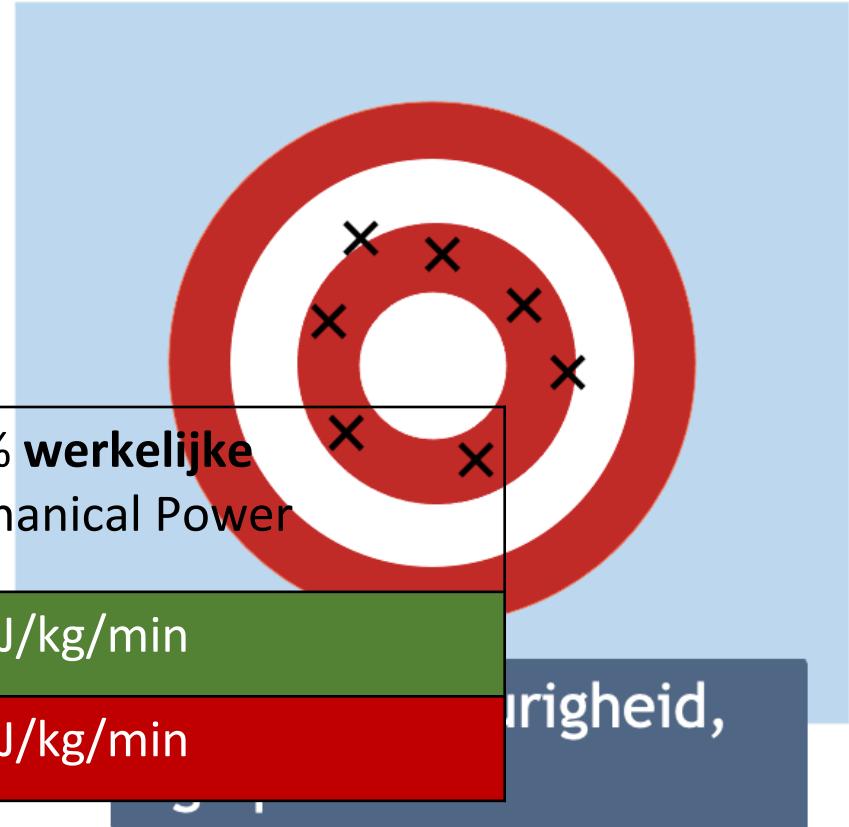


# Discussie (2)

Joules/kg/min - formules  $Mpsimplified$  +  $MPcompl$

- Hoge nauwkeurigheid, lage precisie
- Precisie is -30 tot +40%

Berekende Mechanical Power	-30% werkelijke Mechanical Power	+40% werkelijke Mechanical Power
0,25 J/kg/min	0,18 J/kg/min	0,35 J/kg/min
0,75 J/kg/min	0,52 J/kg/min	1,02 J/kg/min





# Discussie (3)

## Joules/kg/min - formule Mplineair (3)

- Hoge nauwkeurigheid, hoge precisie
- Data scheef verdeeld, geen SD gebruikt



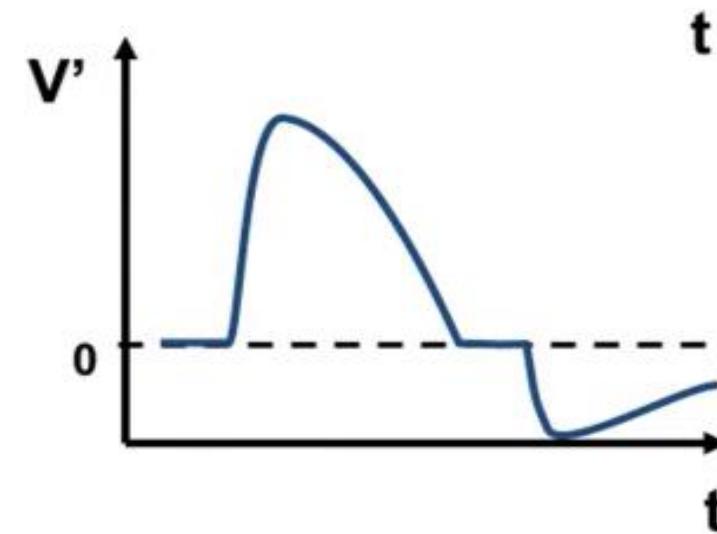
Hoge nauwkeurigheid,  
hoge precisie

$$(3) MPlineair = 0,098 \times RR (Vt \times (PEEP + \Delta Pinsp) - 0,15 \times \Delta Pinsp^2 \times \frac{Tslope}{R})$$



## Discussie (3)

- Formules één getal voor compliantie, één getal voor weerstand
- Dynamische compliantie
- Flowpatroon is decelererend, weerstand is variabel
- Weerstand component kinderen





## Discussie (4)



Kleine, heterogene onderzoeksgroep



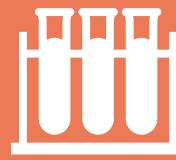
Veel kinderen <1 jaar oud



Zowel verslapte, als niet verslapte kinderen



Geen referentiewaarden bekend in J/kg/min



Resultaten zijn niet generaliseerbaar



# Conclusie

## Joules/min

- Formules kunnen de geometrische meting vervangen tijdens P-CMV beademing

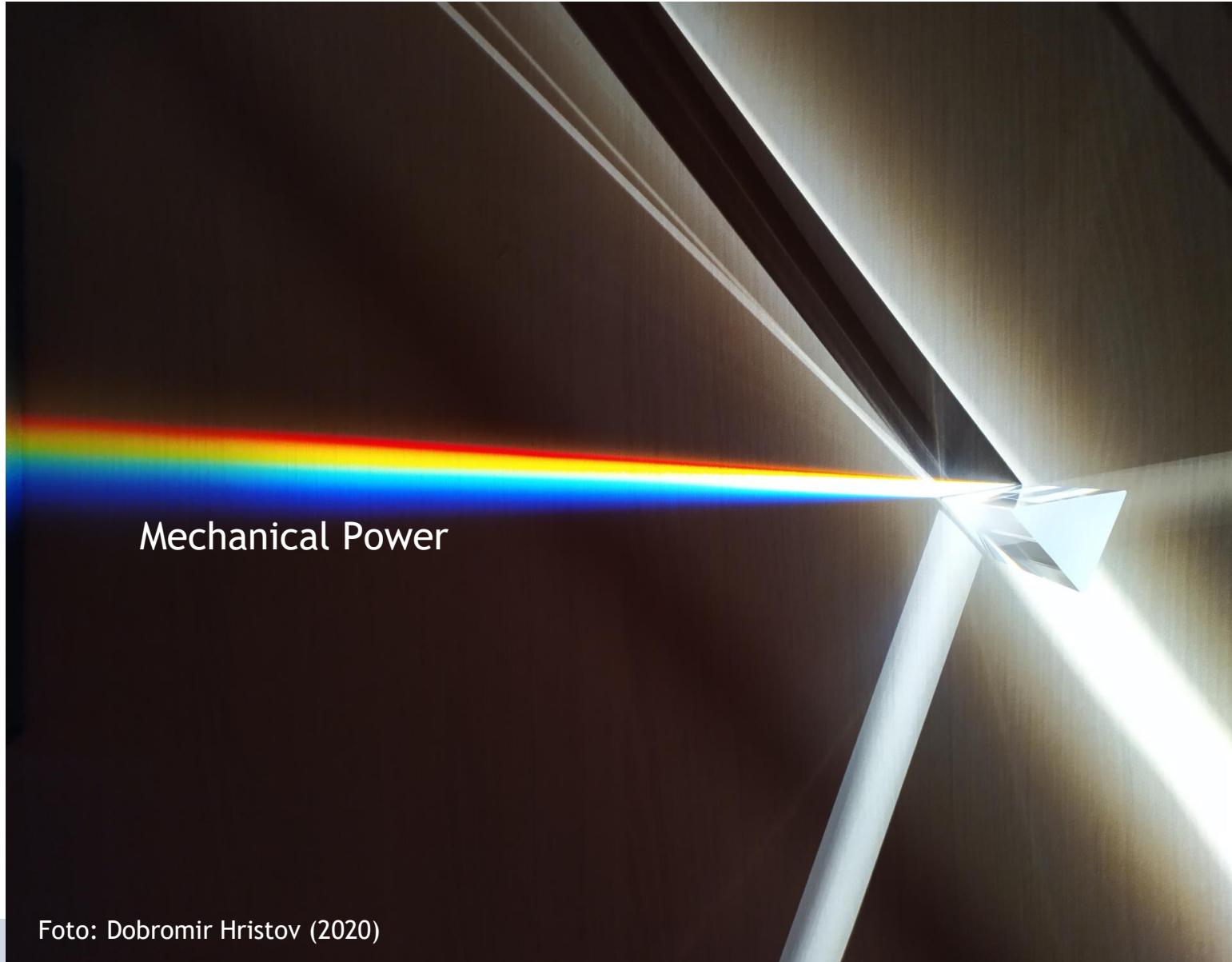
## Joules/kg/min

- Belangrijk om te rekenen in J/kg/min
- Mpcomprehensive en Mpsimplified in dit onderzoek onvoldoende bij een hoge MP
- MPlineair beste resultaten





# Aanbevelingen





## Functie Ventilation Practitioner

- Theorie versus praktijk
- Uitgeplande dagen
- Bedside teaching & klinische lessen
- Projecten en onderwijs

Focus op groei





# Binnen 5 jaar tijd

- Longechografie
- Meedenken over de toekomst van de werkgroep
- Doorgaan met onderzoek





# Dankwoord

*“ Beter dan een bos bloemen ”*

*Dick Markhorst*

*Reinout Bem*

*Rozalinde Klein-Blommert*

*Monica van Gestel*

*Annelies Klaar*



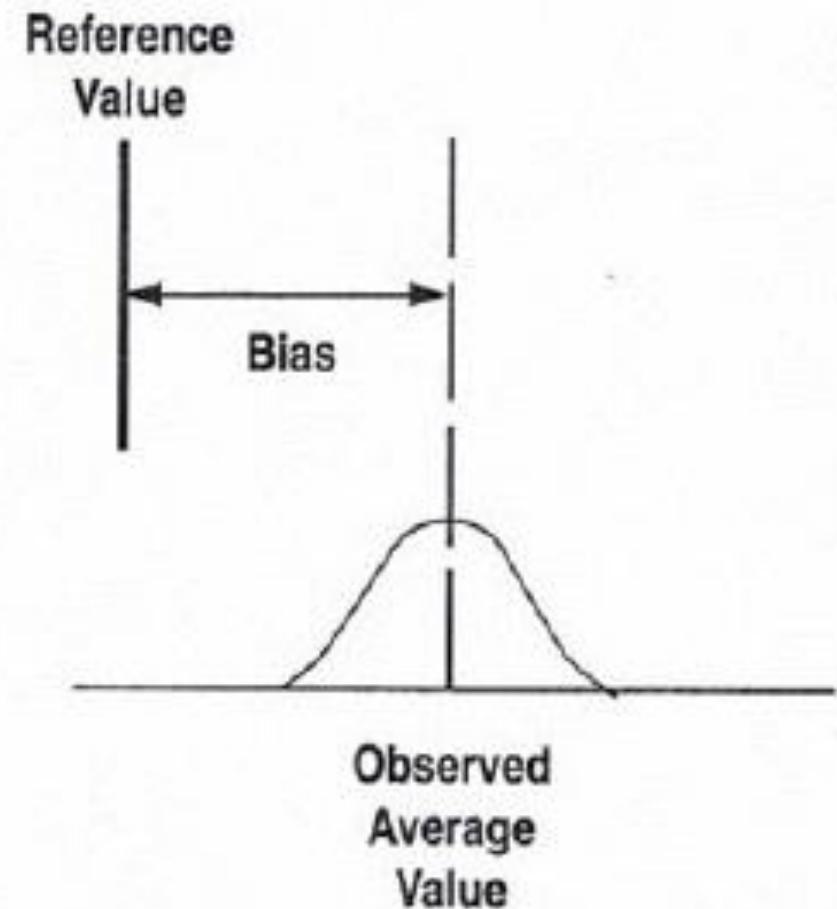
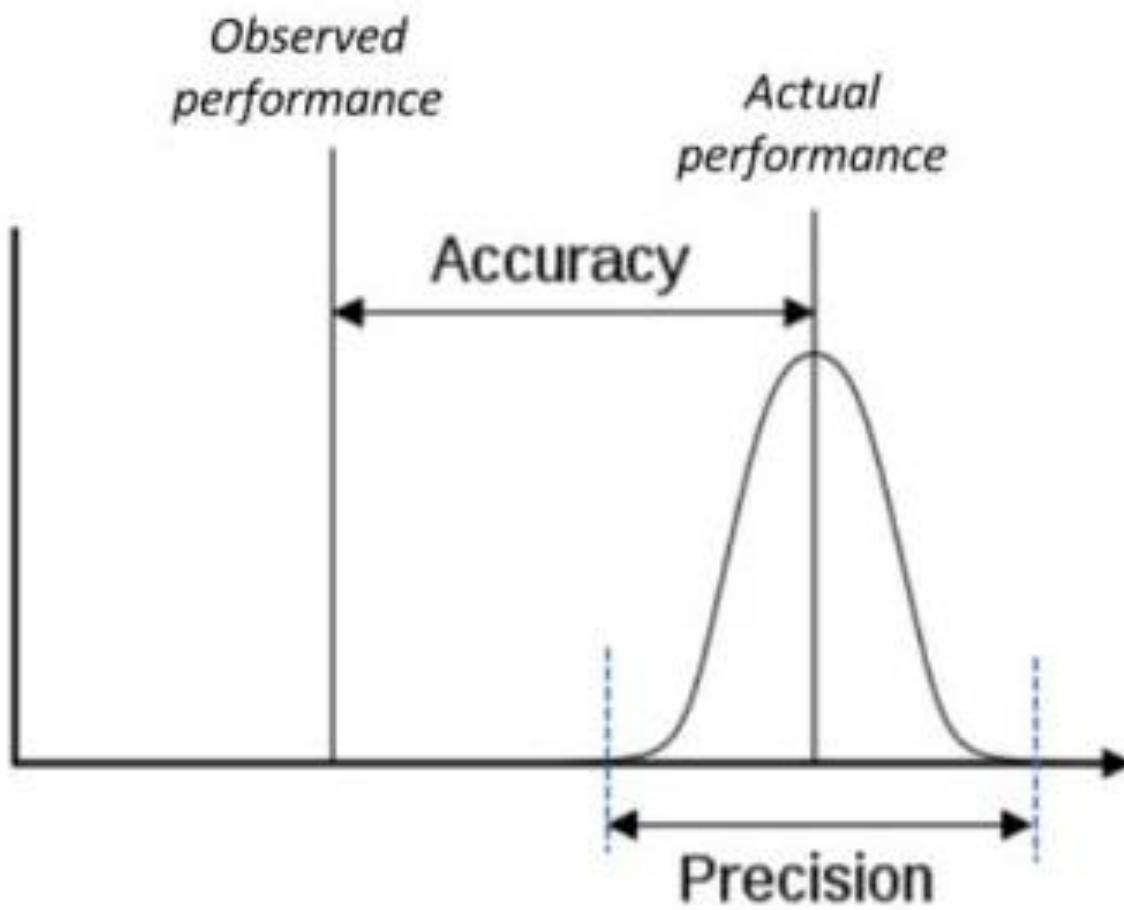
# Literatuur

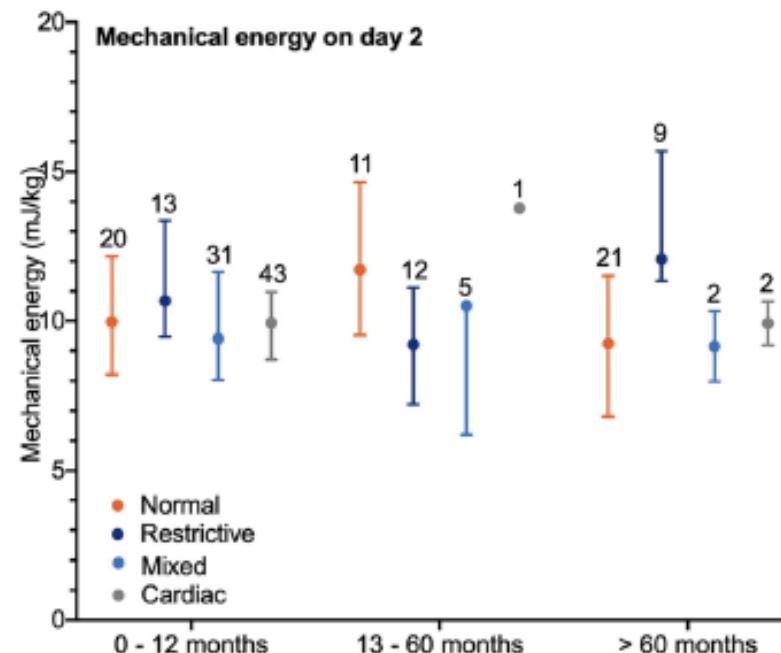
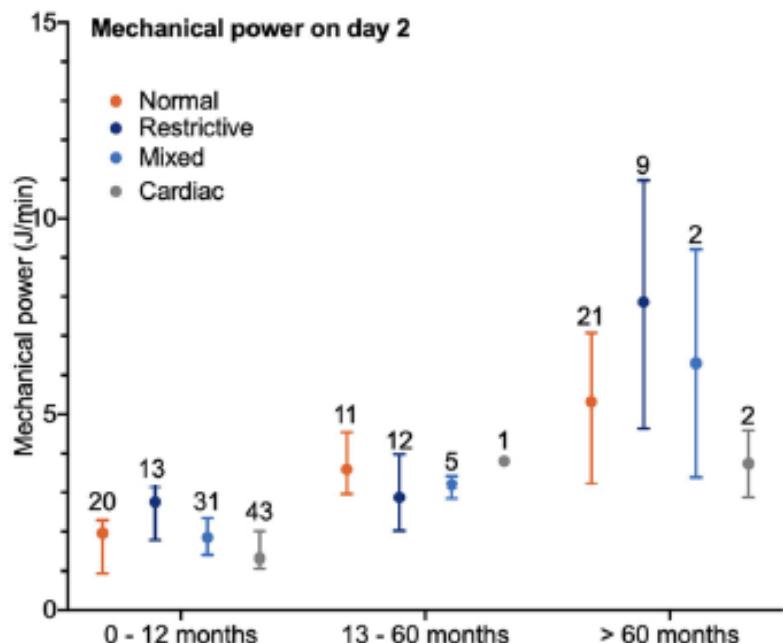
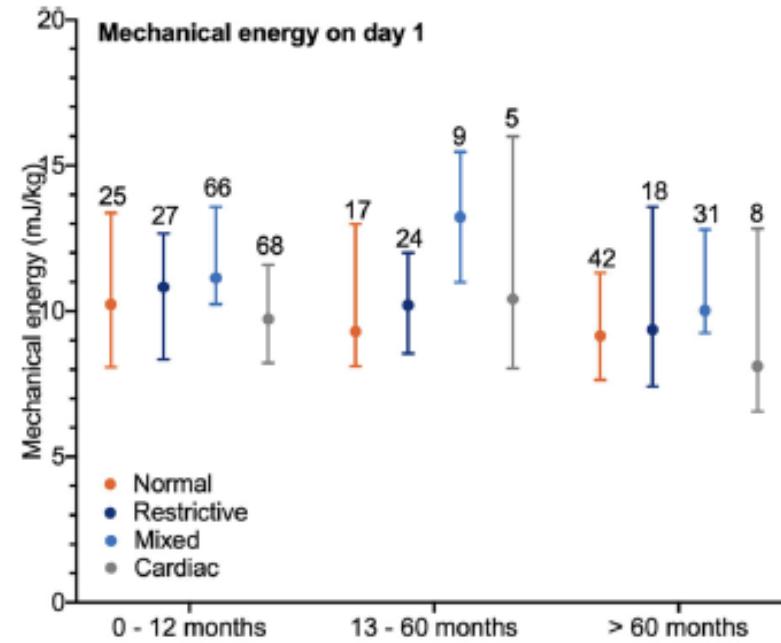
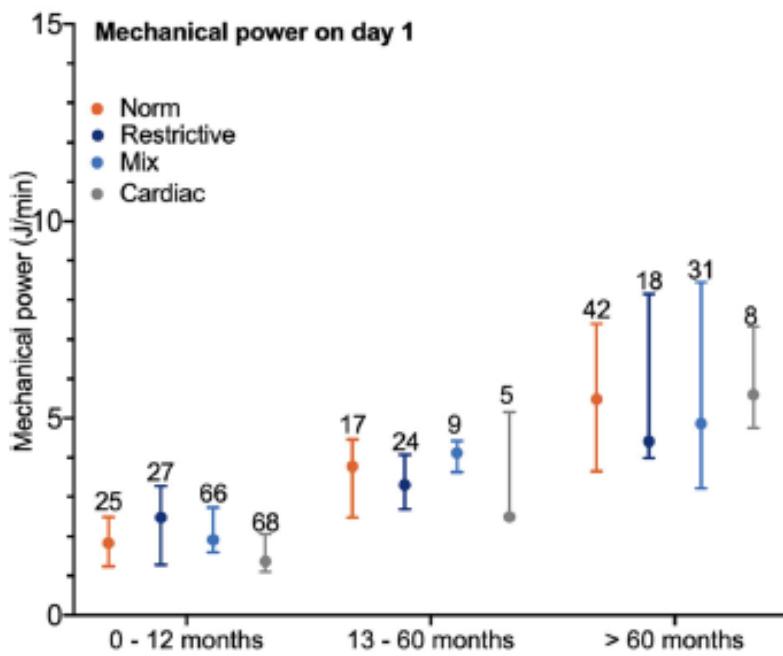


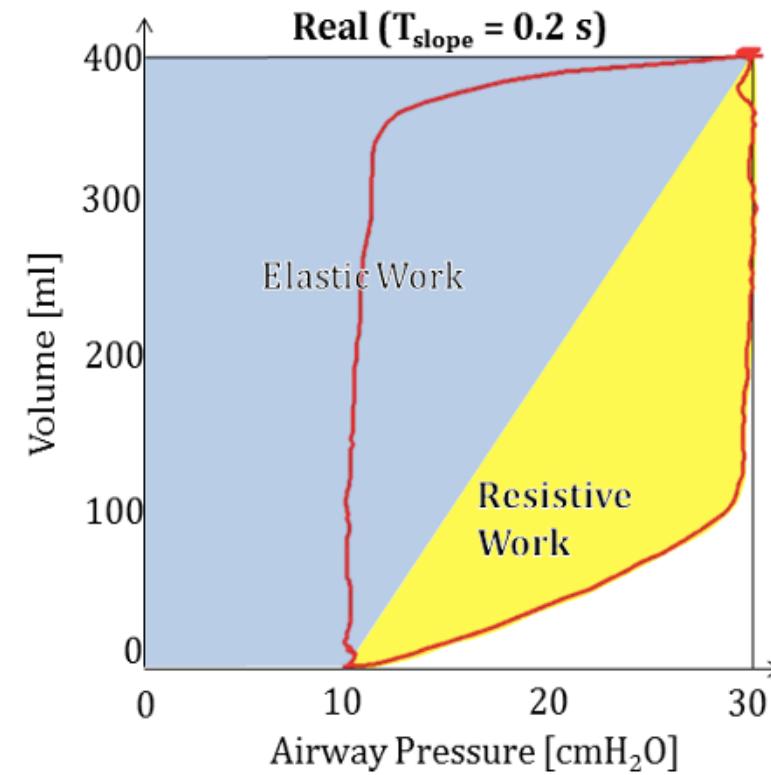
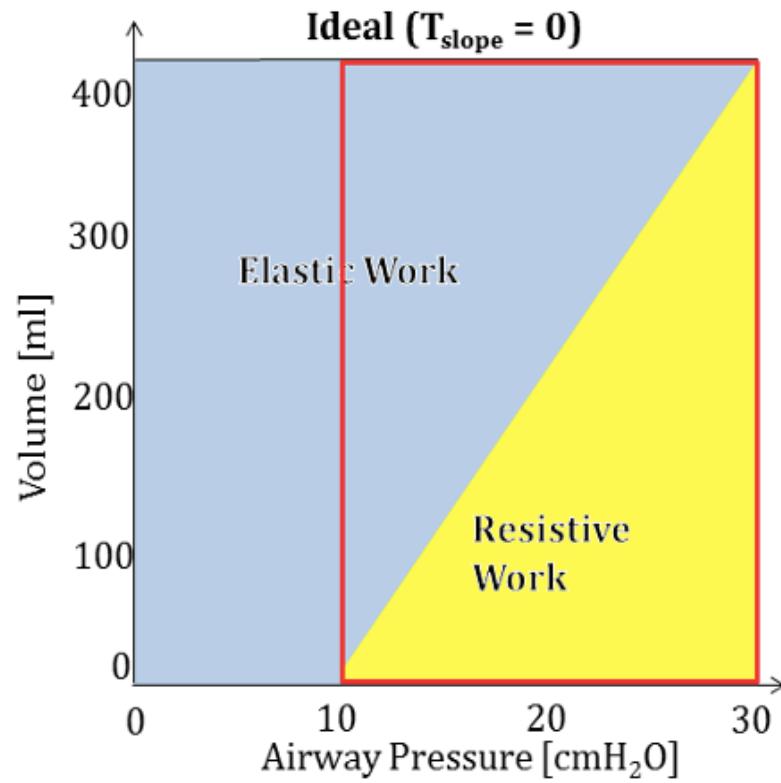
- Slutsky AS, Ranieri VM. Ventilator-induced lung injury. *N Engl J Med.* 2013;369(22):2126-36.
- Serpa Neto A, Deliberato RO, Johnson AEW, Bos LD, Amorim P, Pereira SM, et al. Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients: an analysis of patients in two observational cohorts. *Intensive Care Med.* 2018;44(11):1914-22.
- Bhalla AK, Klein MJ, Modesto IAV, Emeriaud G, Kneyber MCJ, Medina A, et al. Mechanical power in pediatric acute respiratory distress syndrome: a PARDIE study. *Crit Care.* 2022;26(1):2.
- Percy AG, Mai MV, Bhalla AK, Yehya N. Mechanical Power Is Associated With Mortality in Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome. *Pediatr Crit Care Med.* 2023.
- Marini JJ, Rodriguez RM, Lamb V. Bedside estimation of the inspiratory work of breathing during mechanical ventilation. *Chest.* 1986;89(1):56-63.
- Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, Cadringher P, Herrmann P, Moerer O, et al. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med.* 2016;42(10):1567-75.
- Trinkle CA, Broaddus RN, Sturgill JL, Waters CM, Morris PE. Simple, accurate calculation of mechanical power in pressure controlled ventilation (PCV). *Intensive Care Med Exp.* 2022;10(1):22.
- Becher T, van der Staay M, Schädler D, Frerichs I, Weiler N. Calculation of mechanical power for pressure-controlled ventilation. *Intensive Care Med.* 2019;45(9):1321-3.
- Silva PL, Ball L, Rocco PRM, Pelosi P. Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury? *Intensive Care Med Exp.* 2019;7(Suppl 1):38.
- Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res.* 1999;8(2):135-60.
- Urner M, Jüni P, Hansen B, Wettstein MS, Ferguson ND, Fan E. Time-varying intensity of mechanical ventilation and mortality in patients with acute respiratory failure: a registry-based, prospective cohort study. *Lancet Respir Med.* 2020;8(9):905-13.
- Kneyber MCJ, Ilia S, Koopman AA, van Schelven P, van Dijk J, Burgerhof JGM, et al. Energy transmission in mechanically ventilated children: a translational study. *Crit Care.* 2020;24(1):601.

Bronnen foto's presentatie:

- Dobromir Hristov (2020)
- Stadsarchief gemeente Amsterdam, collectie stadsarchief Amsterdam: prentbriefkaarten. Laatst geraadpleegd op 21-09-2023
- Het Parool (2022) De nieuwe entrée van het Amsterdam UMC, laatst geraadpleegd op 21-09-2023







## Mechanical power: components

