

7^{EME} JOURNÉE OUTCOME REA

Nouveaux indicateurs de gravité de l'ARDS : Driving pressure vs. Mechanical Power

Jean-Marie FOREL

Médecine Intensive Réanimation

AP-HM, CHU Nord, Marseille

Aucun conflit d'intérêt

jean-marie.forel@ap-hm.fr

Ce qui est connu pour limiter les VILI et améliorer le pronostic du SDRA

- Diminution du volume courant à 6 mL/kg

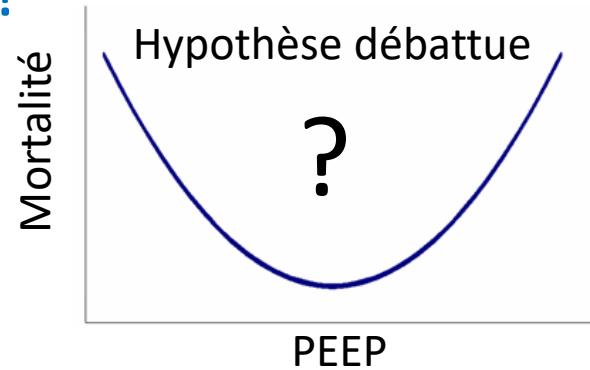
The ARDS Network, ARMA, NEJM, 2000

- Diminuer la Pplat < 30 cm H₂O

The ARDS Network, ARMA, NEJM, 2000

Ce qui reste débattu pour limiter les VILI et améliorer le pronostic du SDRA

- Réglage de la PEEP ?



The NHLBI ARDS Clinical Trials Network, NEJM, 2004
Meade et al, JAMA, 2008
Mercat et al, JAMA, 2008
ART investigators et al, JAMA, 2017

- Diminution de la pression motrice ?

Amato et al, NEJM, 2015

Ce qui reste largement inconnu pour limiter les VILI et améliorer le pronostic du SDRA

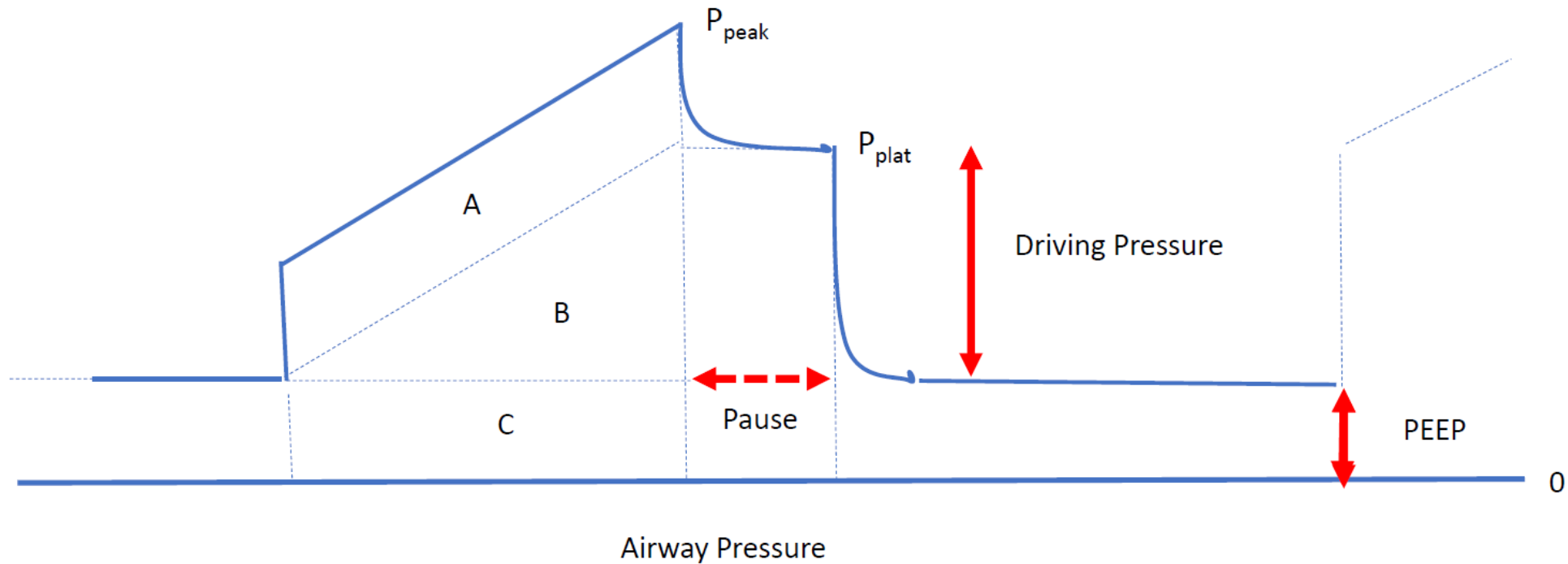
- FR ??

- Débit d'insufflation ??

Les concepts

Driving pressure

$$DP = P_{plat} - PEEP_{total}$$



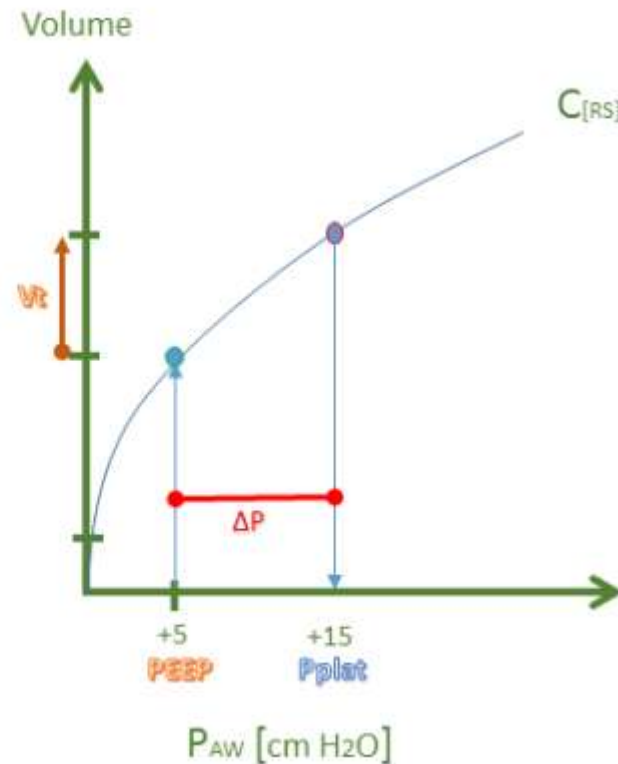
Compliance = variation de volume / variation de pression = $\Delta V / \Delta P$

= V_t / Driving Pressure

→ $DP = V_t$ / Compliance

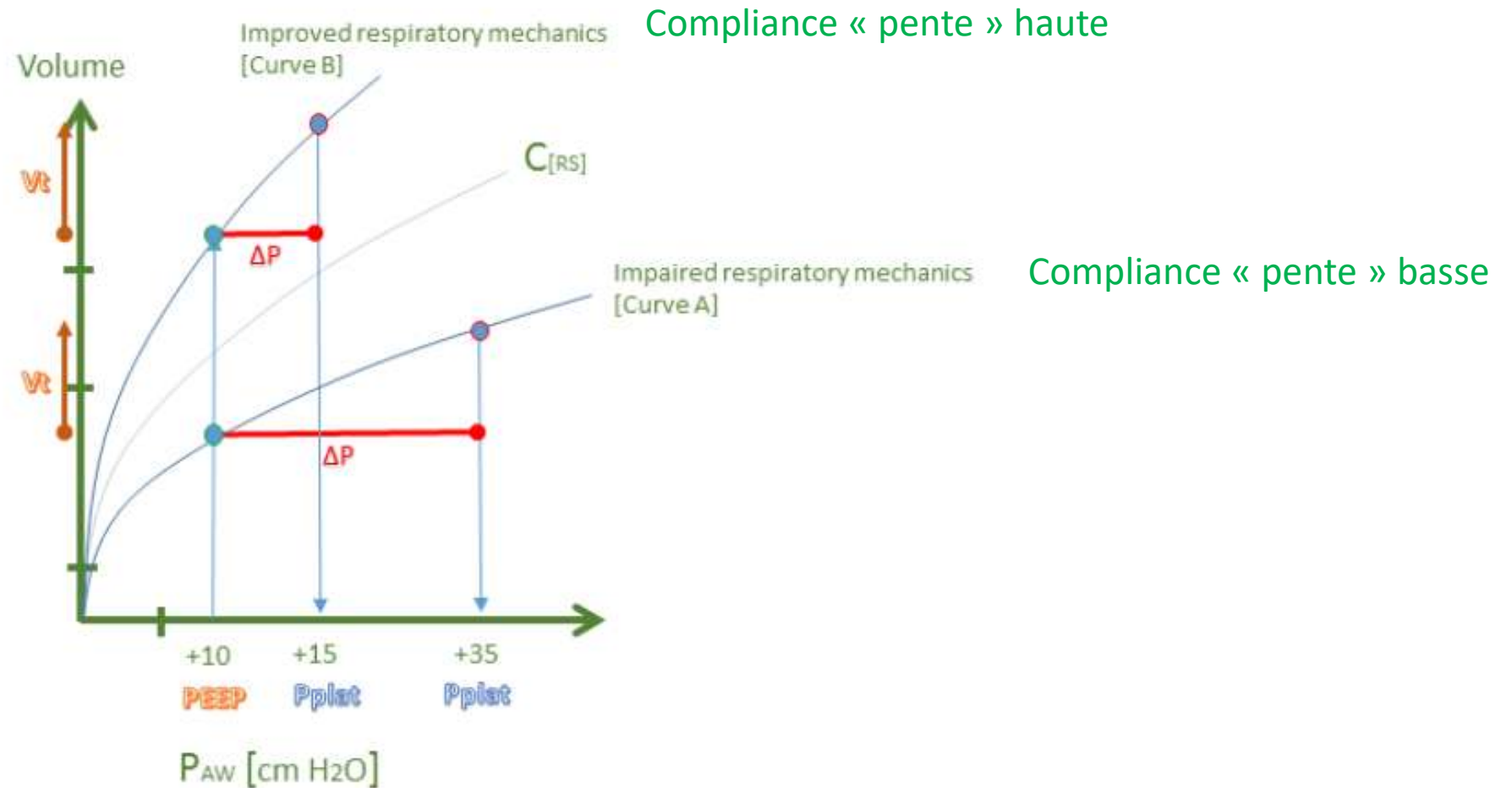
$$P_{plat} - PEEP^* = \frac{[V_t^*]}{C_{rs}}$$

* indicates clinician controlled
[independent variable]



DP « rapporte » le V_t insufflé à la compliance du malade

DP « rapporte » le V_t insufflé aux « caractéristiques pulmonaire et pariétale du malade » (« baby lung », anomalie compliance thorax)



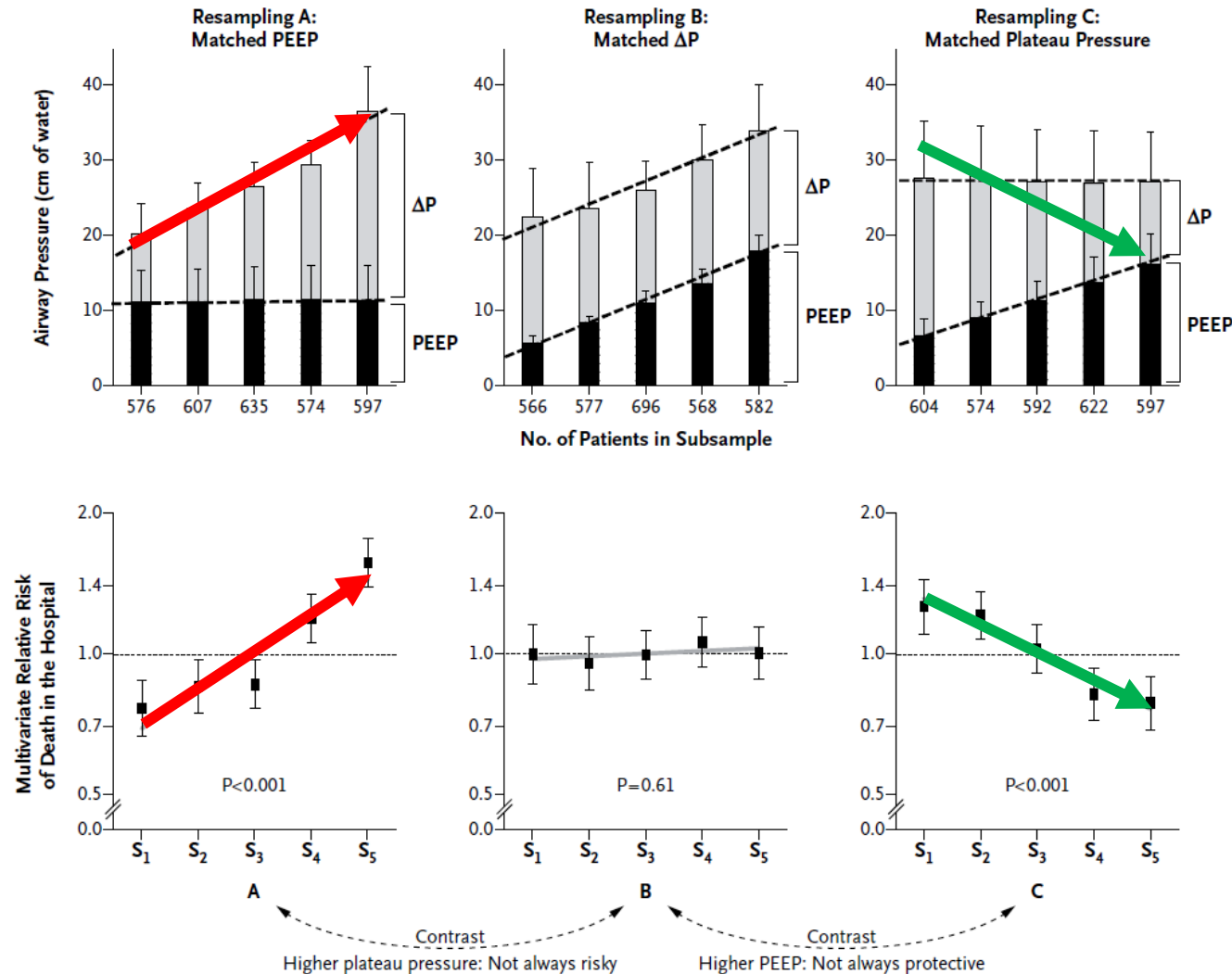
Les applications cliniques

Driving Pressure

N ENGL J MED 372;8 NEJM.ORG FEBRUARY 19, 2015

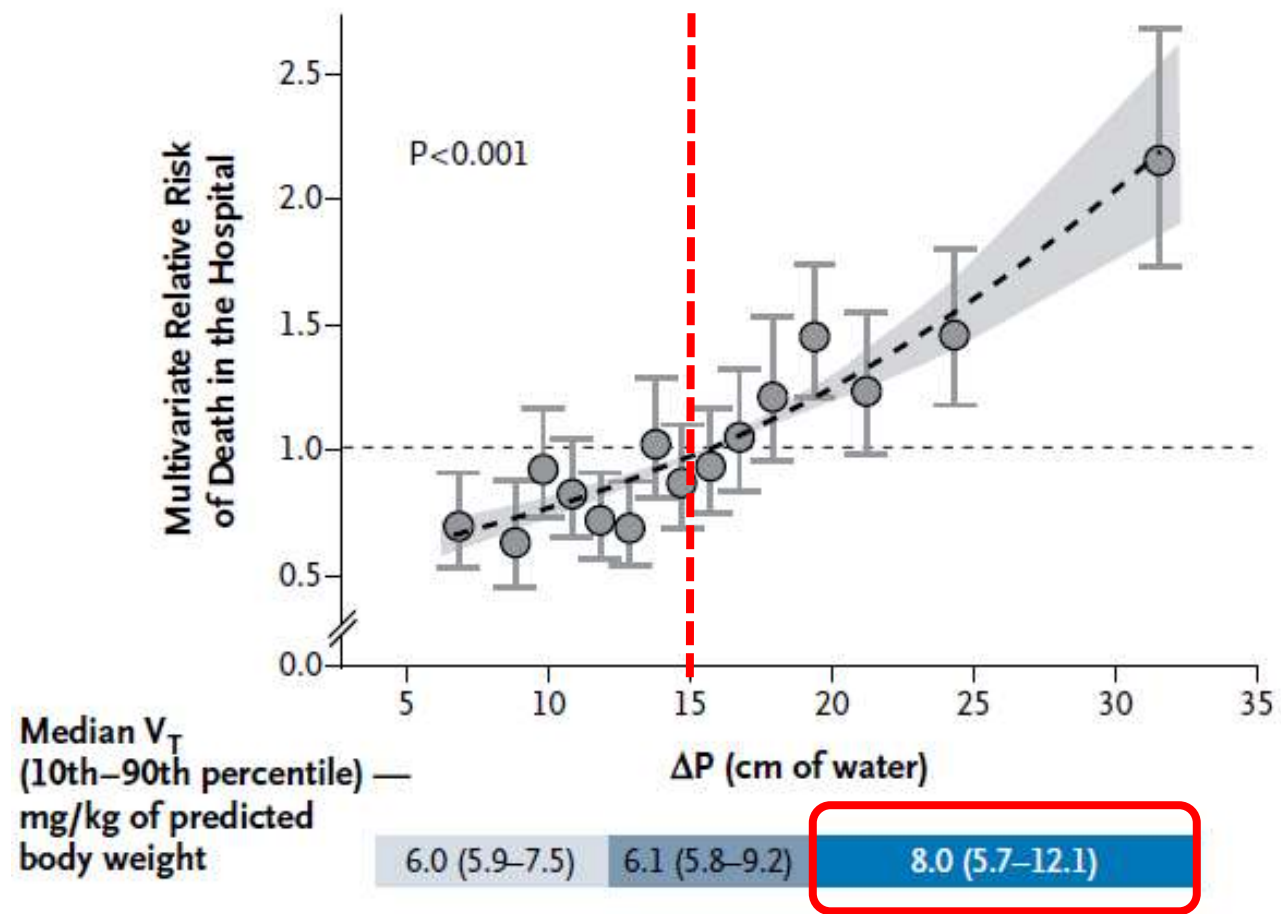
Driving Pressure and Survival in the Acute Respiratory Distress Syndrome

Marcelo B.P. Amato, M.D., Maureen O. Meade, M.D., Arthur S. Slutsky, M.D., Laurent Brochard, M.D., Eduardo L.V. Costa, M.D., David A. Schoenfeld, Ph.D., Thomas E. Stewart, M.D., Matthias Briel, M.D., Daniel Talmor, M.D., M.P.H., Alain Mercat, M.D., Jean-Christophe M. Richard, M.D., Carlos R.R. Carvalho, M.D., and Roy G. Brower, M.D.



Driving Pressure and Survival in the Acute Respiratory Distress Syndrome

Marcelo B.P. Amato, M.D., Maureen O. Meade, M.D., Arthur S. Slutsky, M.D.,
Laurent Brochard, M.D., Eduardo L.V. Costa, M.D., David A. Schoenfeld, Ph.D.,
Thomas E. Stewart, M.D., Matthias Briel, M.D., Daniel Talmor, M.D., M.P.H.,
Alain Mercat, M.D., Jean-Christophe M. Richard, M.D.,
Carlos R.R. Carvalho, M.D., and Roy G. Brower, M.D.



Effect of driving pressure on mortality in ARDS patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized controlled trials

Claude Guérin^{1,2,3*}, Laurent Papazian^{4,5,6}, Jean Reignier⁷, Louis Ayzac⁸, Anderson Loundou⁵, Jean-Marie Forel⁹
and on behalf of the investigators of the Acurasys and Proseva trials

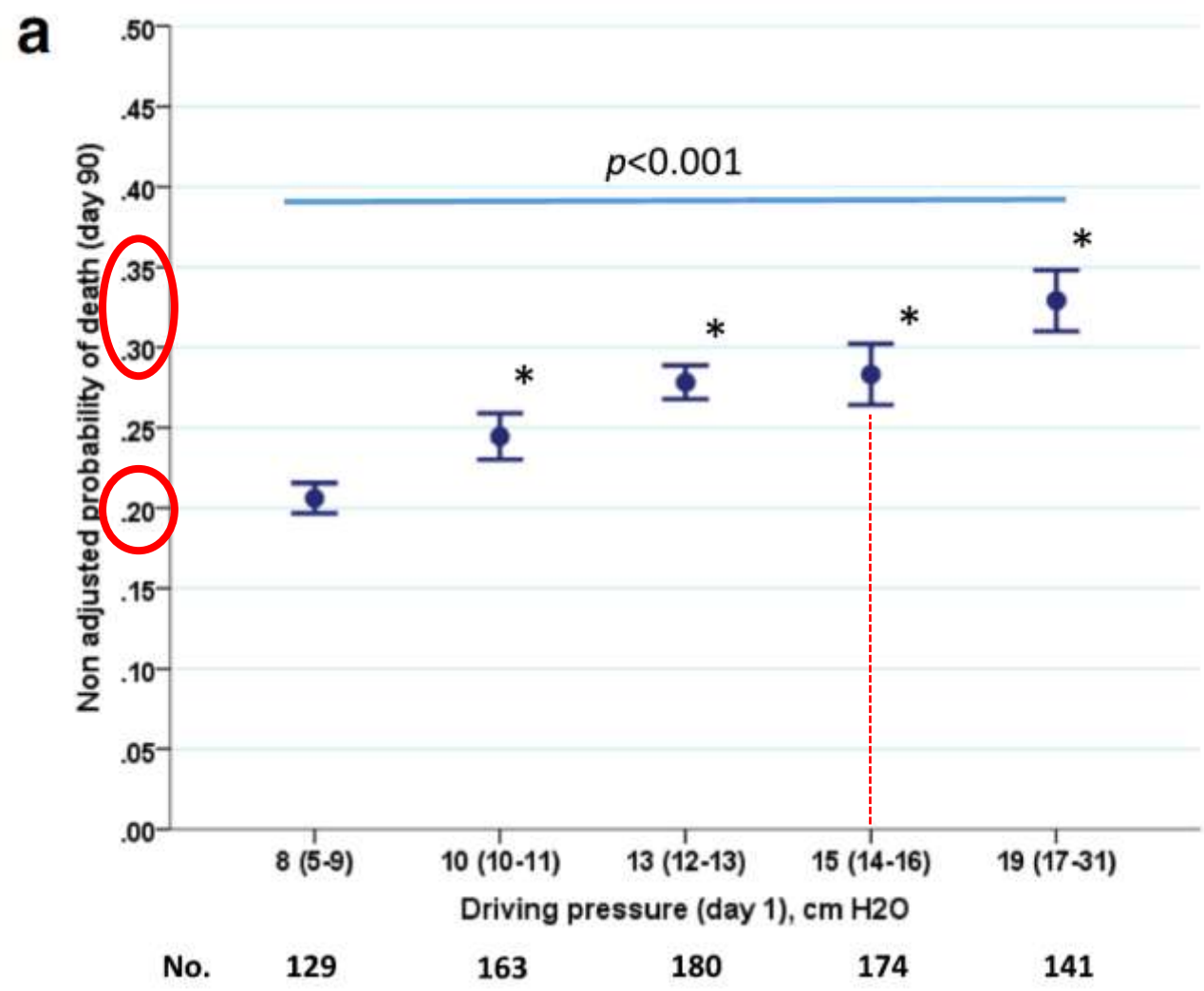
Table 2 Multivariate Cox regression analysis for factors including driving pressure at day 1 associated with ARDS mortality at day 90

Variables	Hazard ratio (95% CI)	<i>p</i>
Age, per year	1.04 (1.03–1.05)	<0.001
SOFA score on day 1, per unit	1.07 (1.03–1.11)	<0.001
Continuous NMBA as allocation group, (reference is yes)	0.64 (0.45–0.91)	0.012
Continuous prone position as allocation group (reference is yes)	0.68 (0.47–0.98)	0.037
Respiratory rate on day 1, per unit	1.01 (0.98–1.03)	0.698
PaO ₂ /FiO ₂ on day 1, per unit	1.00 (0.99–1.01)	0.831
Arterial pH on day 1, per unit	0.057 (0.009–0.371)	0.003
Lactate on day 1, per unit	18.44 (1.39–244.00)	0.027
Interaction between lactate and arterial pH on day 1, per unit	0.67 (0.47–0.96)	0.030
Driving pressure on day 1, per unit	1.05 (1.02–1.08)	0.005

Driving pressure was calculated as the difference between plateau pressure and applied positive end-expiratory pressure (PEEP). Day 1 was defined as the 24 hours following the inclusion. *CI* confidence intervals, *SOFA* sequential organ failure assessment, *NMBA* neuromuscular blocking agent, *PaO₂/FiO₂* ratio of the partial pressure of arterial oxygen to the fraction of inspired oxygen

Effect of driving pressure on mortality in ARDS patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized controlled trials

Claude Guérin^{1,2,3*}, Laurent Papazian^{4,5,6}, Jean Reignier⁷, Louis Ayzac⁸, Anderson Loundou⁵, Jean-Marie Forel⁹
and on behalf of the investigators of the Acurasys and Proseva trials



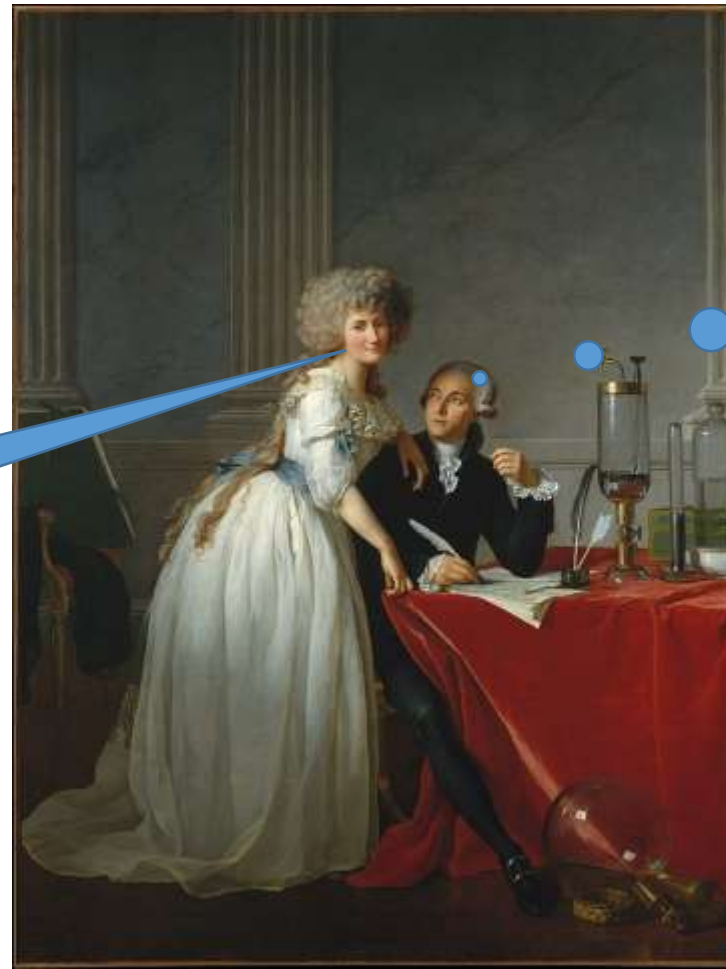
Les concepts

Mechanical power

Lavoisier 1743-1794

T'es
sûre !

*Rien ne se perd, rien ne se
crée, tout se transforme*



- = Energie transmise au système respiratoire par unité de temps $\rightarrow$ J/min
- = Energie par cycle respiratoire (J) x FR (/min)

Les concepts

Mechanical power

- Dérivée de l'équation de mouvement du système respiratoire
- Variable unique intégrant l'ensemble des paramètres potentiellement délétères de la ventilation mécanique :
 - ΔP (pression motrice)
 - ΔV (volume courant)
 - Fréquence respiratoire
 - Débit inspiratoire
 - PEEP

The future of mechanical ventilation: lessons from the present and the past

Luciano Gattinoni^{1*}, John J. Marini², Francesca Collino¹, Giorgia Maiolo¹, Francesca Rapetti¹, Tommaso Tonetti¹, Francesco Vasques¹ and Michael Quintel¹

$$P = (E_{rs} \cdot \Delta V) + (F \cdot R_{aw}) + PEEP$$

$\times \Delta V$

$$Power_{rs} = 0,098 \cdot RR \cdot \left\{ \underbrace{\Delta V^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot E_{rs} \right]}_{\text{Distend the lung}} + \underbrace{RR \cdot \left[\frac{(1 + I:E)}{60 \cdot I:E} \cdot R_{aw} \right]}_{\text{Move the gas}} + \underbrace{\Delta V \cdot PEEP}_{\text{Keep open}} \right\}$$

$\times$

$\frac{n \text{ breaths}}{\text{time}}$

$\times$

ENERGY to ...

Fig. 3 Upper box: simplified equation of motion, showing that, at any given moment, the pressure in the respiratory system (P) above the relaxed volume equals the sum of the elastic pressure (elastance of the respiratory system E_{rs} times change in lung volume), plus the pressure needed to move the gases (flow F times airway resistance), plus the pressure (if any) to keep the lung pressure above the atmospheric pressure at end expiration (PEEP). If each of these three components is multiplied by the tidal change in lung volume ΔV , the energy per breath is obtained. If multiplied by the respiratory rate, the corresponding power equation is obtained. 0.098 is the conversion factor from liters/cmH₂O to Joules (J). $I:E$ inspiratory–expiratory ratio, $PEEP$ positive end-expiratory pressure, $Power_{rs}$ mechanical power to the respiratory system, RR respiratory rate, ΔV change of volume R_{aw} airways resistances

Power to mechanical power to m ventilator-induced lung injury?

Pedro Leme Silva¹, Lorenzo Ball^{2,3}, Patricia R. M. Rocco^{1*} and Paolo Pelosi²

Silva et al. Intensive Care Medicine Experimental 2011

PUISSANCE MECANIQUE TOTALE (J/min) :
0,098.FR.ΔV.(PEEP + ΔP.½ + (PPic – PPlat))

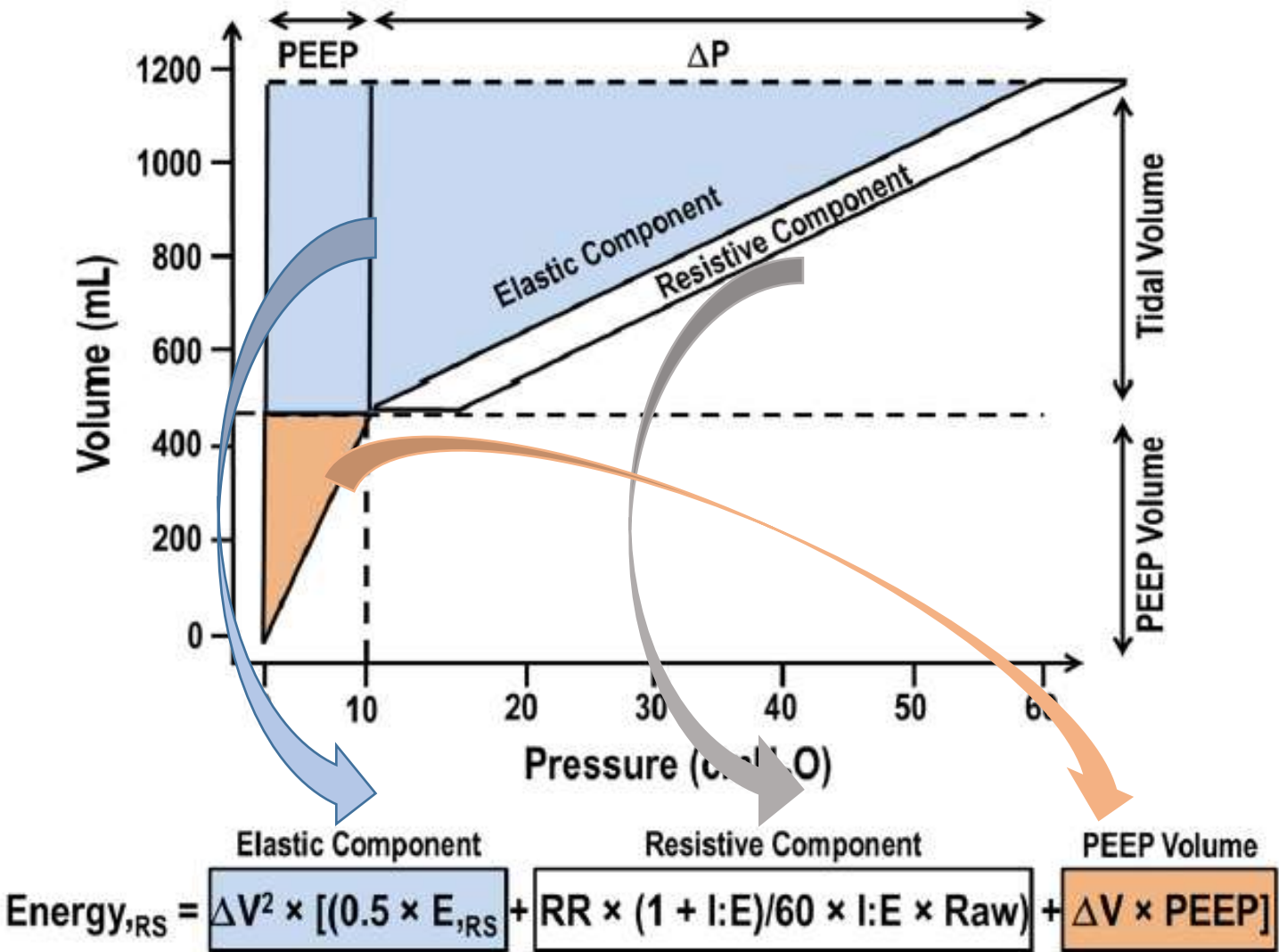


Fig. 2 Mechanical power calculation, which includes the resistive properties and variation of lung volume correspondent to PEEP level. All components are depicted below the schematic figure: elastic, resistive, and PEEP volume

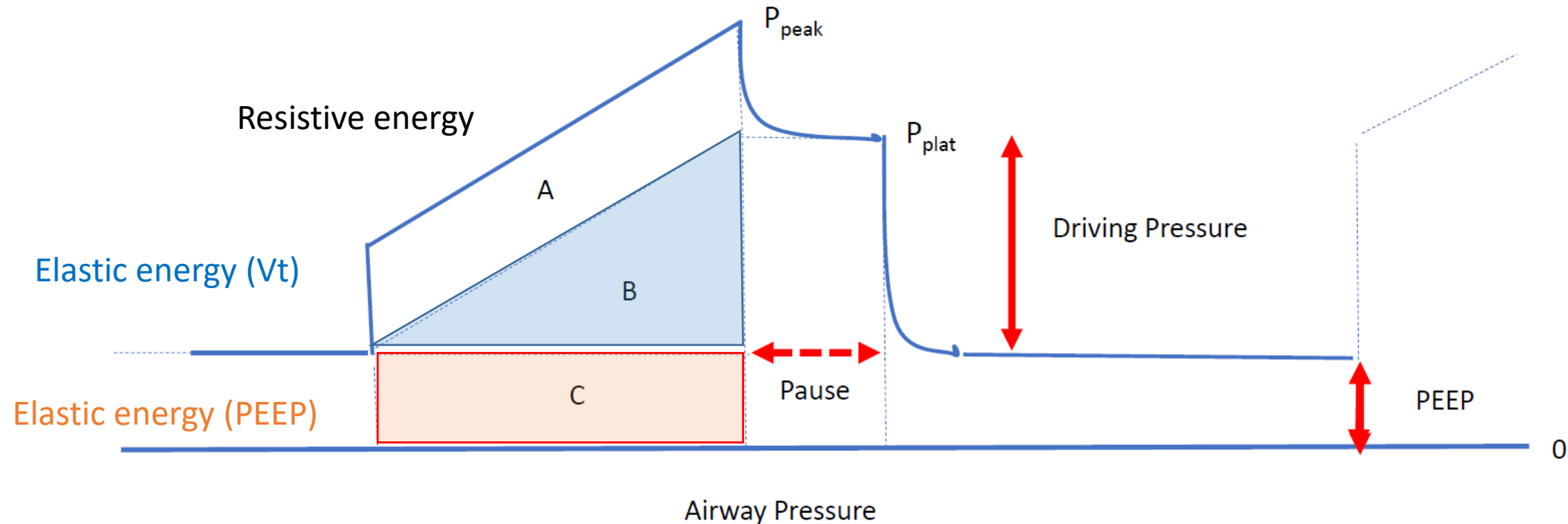


Figure 1, Left panel. Airway pressure profile during inflation with constant flow. Under these conditions, time and inspired volume are linearly scaled. P_{peak} and P_{plat} are the peak dynamic and static ('plateau') pressures. Total PEEP is comprised of the set PEEP and auto-PEEP. Areas A, B and C correspond to the flow resistive, tidal elastic, and PEEP related energy components.

$$A + B + C = \text{Energy tot}$$

$$\text{Energy} \times \text{Time} = \text{Power} \quad (\text{time} = \text{FR c/min})$$

PUISSANCE MECANIQUE TOTALE (J/min) :
 $0,098 \cdot \text{FR} \cdot \Delta V \cdot (\text{PEEP} + \Delta P \cdot \frac{1}{2} + (P_{\text{Pic}} - P_{\text{Plat}}))$

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

Intensive Care Med (2016) 42:1567–1575

Vt ou DP ou débit insp. augmente de 20 % → MP augmente de 37 %
(X1,8)

FR augmente de 20 % → MP augmente de 27 %
(X1,4)

PEEP augmente de 20 % → MP augmente de 6 %

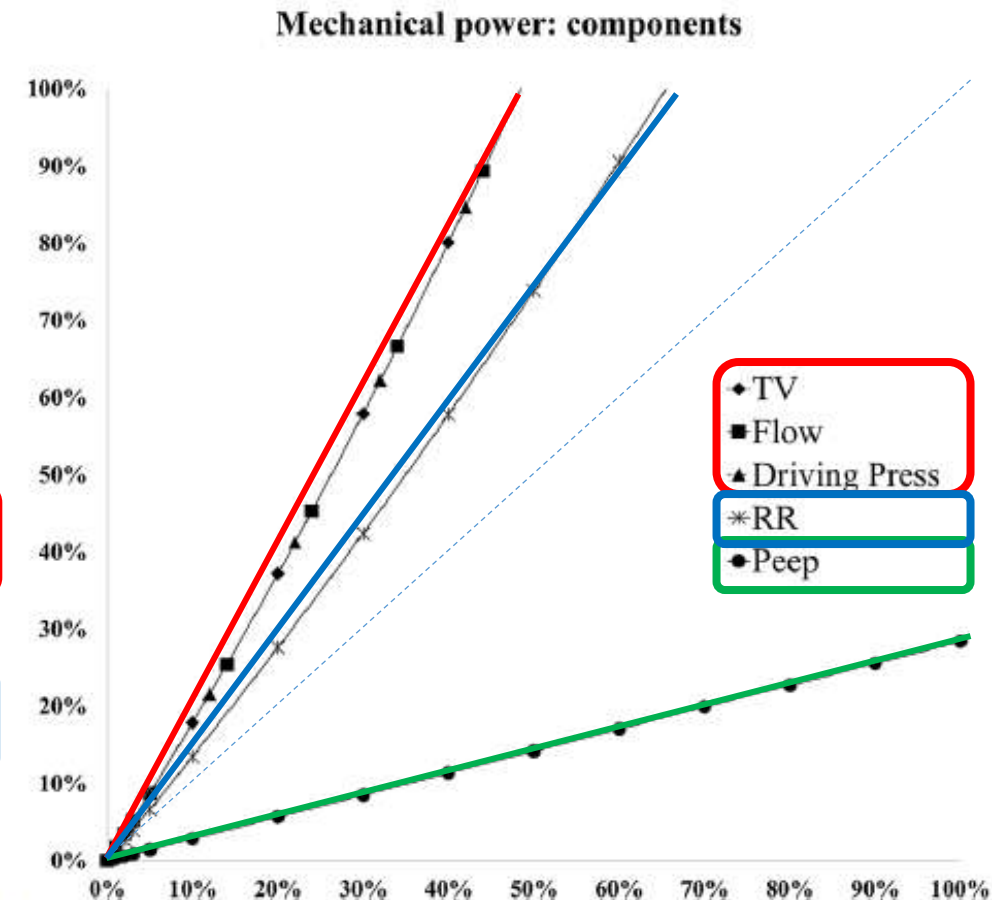


Fig. 4 The percent increase of mechanical power as a function of $TV/\Delta P_{aw}$ /inspiratory flow (diamonds, squares and triangles), RR (stars), PEEP (circles). The variations of mechanical power with TV, ΔP_{aw} and inspiratory flow are exactly the same, lying on the same line (for clarity, we show the mechanical power variations at different percent variations of TV, ΔP_{aw} and inspiratory flow, otherwise all points would have been overlapped). While the mechanical power increases by 37 % with a 20 % increase of $TV/\Delta P_{aw}$ /inspiratory flow, it increases by 27 % and by 5.7 % with a 20 % increase of respiratory rate and PEEP, respectively. All the computations were done by changing one variable at a time, while keeping all the others constant

Fréquence respiratoire et débit inspiratoire

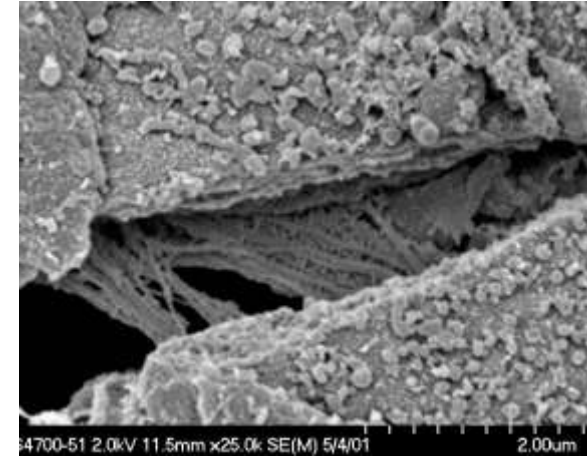
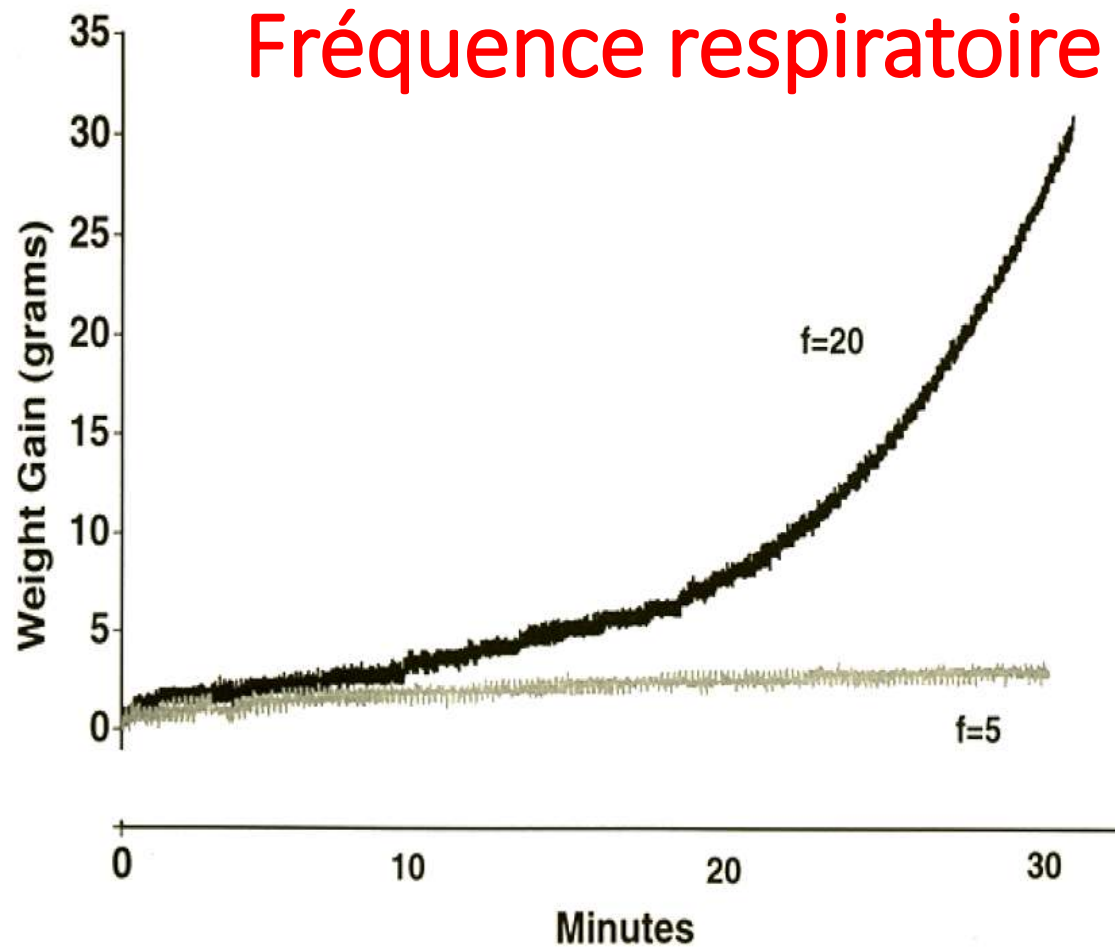


Figure 4. Catastrophic breakdown of the alveolar-capillary barrier. In this isolated, ventilated and perfused rabbit lung, weight gain rapidly accelerates (arrow) after the first 10 minutes of ventilation at the higher ventilating frequency ($f = 20$ vs. 5 tidal cycles/min). Stress amplitude intensifies at the higher frequency with the alveolar dropout that occurs as alveoli progressively flood.



Fréquence respiratoire et débit inspiratoire

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 Cadringer, M.Sc., Nicoletta Gagliano, Ph.D., Luciano Gattinoni, M.D., F.R.C.P.



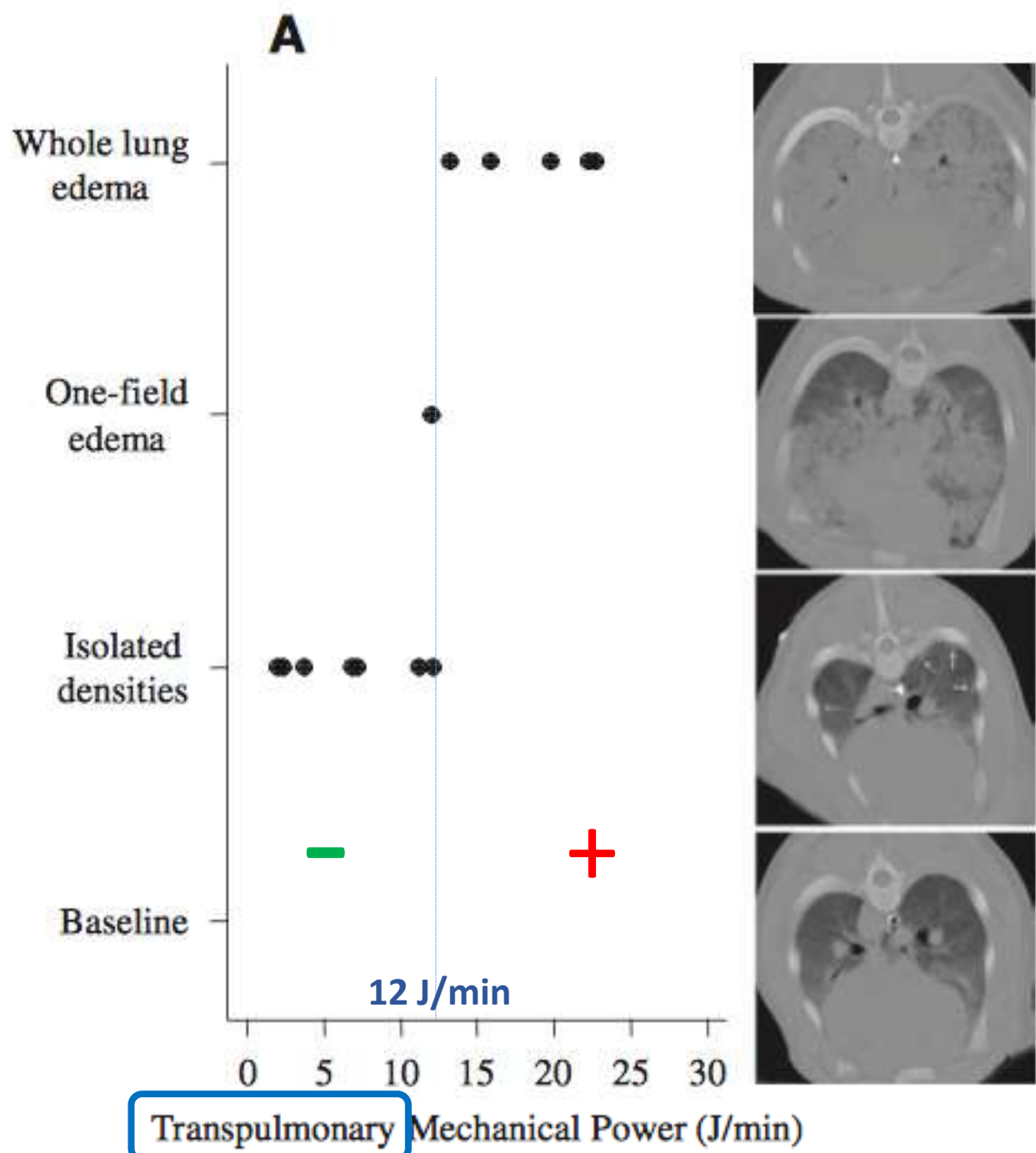
$V_T = 38 \text{ mL/kg}$
FR : de 3 à 15/min

Table 2. Energy per Breath and Mechanical Power at Different Respiratory Rates in Piglets

	RR 3	RR 6	RR 9	RR 12	RR 15	P Value	r^2
	n = 3	n = 3	n = 3	n = 3	n = 3		
Delivered dynamic transpulmonary energy per breath (J)	0.72 ± 0.081	1.2 ± 0.57	1.1 ± 0.29	1.1 ± 0.16	1.4 ± 0.1	0.02	0.35
Average inspiratory flow (l/s)	0.11 ± 0.02	0.2 ± 0.02	0.37 ± 0.07	0.43 ± 0.01	0.57 ± 0.08	< 0.0001	0.93
Mechanical power (transpulmonary) (J/min)	2 ± 0.2	7 ± 3	10 ± 3	14 ± 2	22 ± 2	< 0.0001	0.90



$V_T = 38 \text{ mL/kg}$
FR : de 3 à 15/min



Transpulmonary MP

12
Joules
/min

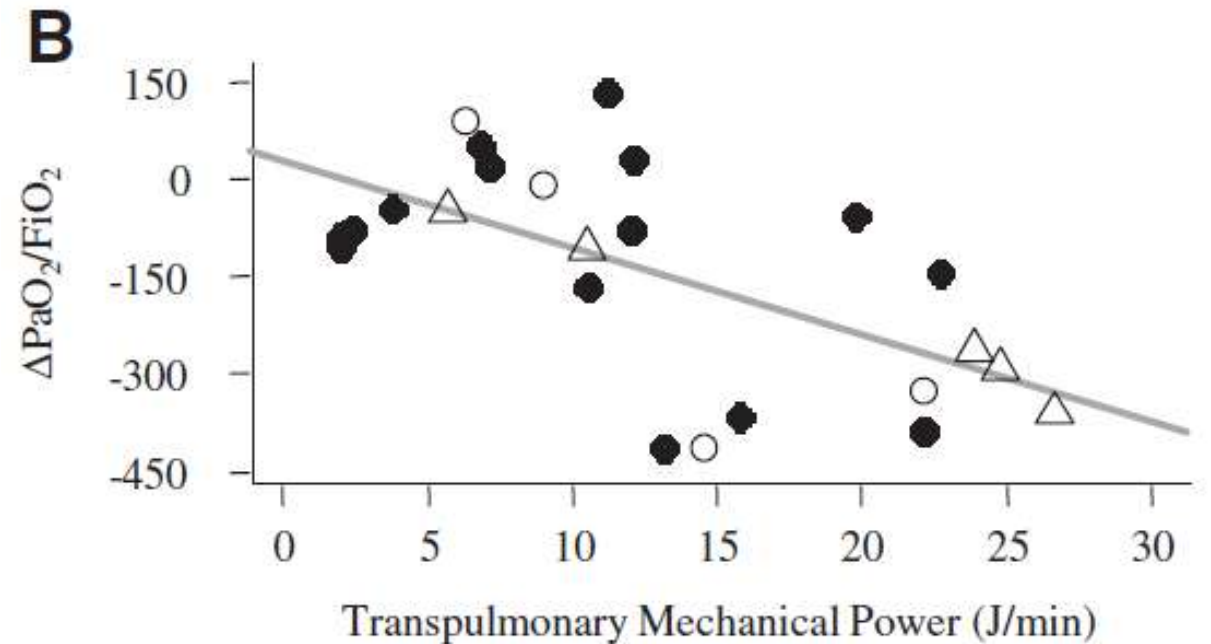
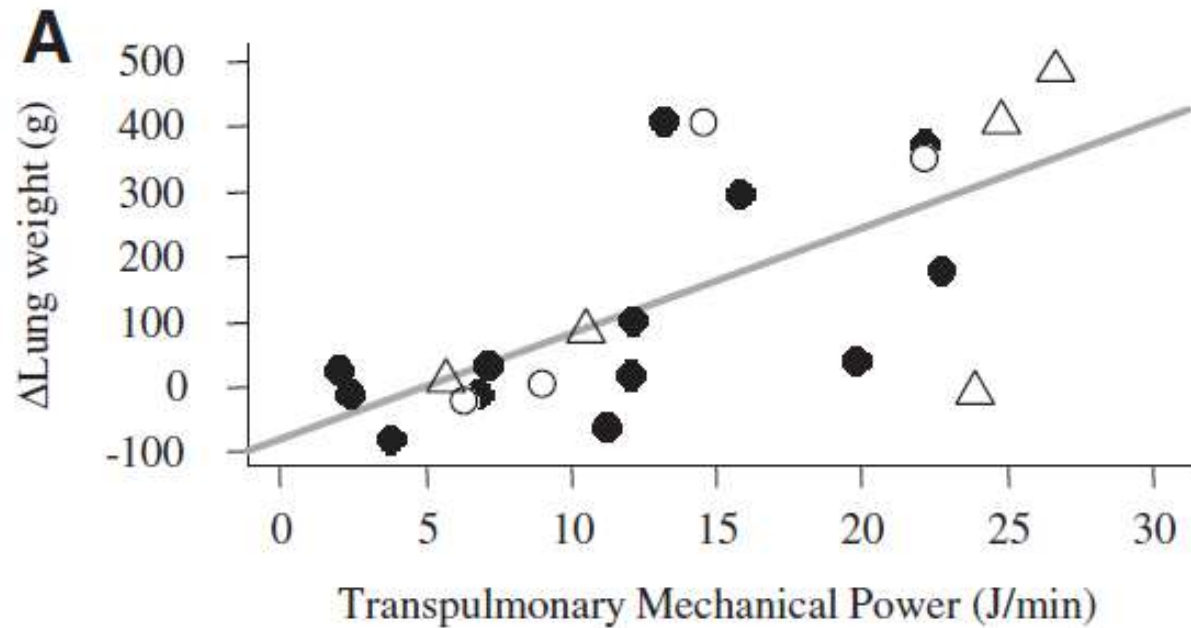
Respiratory system
(poumon+paroi) MP

25
Joules
/min

Mechanical Power and Development of Ventilator-induced Lung Injury

(ANESTHESIOLOGY 2016; 124:1100-8)

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 Pugini, M.D., Paolo Cadringer, M.Sc., Nicoletta Gagliano, Ph.D., Luciano Gattinoni, M.D., F.R.C.P.



Conclusion: In piglets, VILI develops if a mechanical power threshold is exceeded. 12 J/min,

Environ 10 900 résultats (0,40 secondes)

Les **carabines** entre **10 et 20 joules** max permettent d'atteindre des cibles à **18** mètres environ.

Puissance carabine à plomb - Fusil Calais

<https://www.fusil-calais.com> > content > category > 30-la-puissance



25
Joules
/min



(expressed in breaths per minute) to obtain the power of breathing (joules/minute). In a healthy subject the normal value is around **2.4 J/min** [7]. As illustrated by the Camp-

7. Mancebo J, Isabey D, Lorino H, Lo-faso F, Lemaire F, Brochard L (1995) Comparative effects of pressure support ventilation and intermittent positive pressure breathing (IPPB) in non intubated healthy subjects. Eur Respir J 8:1901-1909

Positive End-expiratory Pressure and Mechanical Power

Francesca Collino, M.D., Francesca Rapetti, M.D.,
 Francesco Vasques, M.D., Giorgia Maiolo, M.D.,
 Tommaso Tonetti, M.D., Federica Romitti, M.D.,
 Julia Niewenhuys, M.S., Tim Behnemann, M.S., Luigi Camporota, M.D.,
 Günter Hahn, M.Sc., Verena Reupke, D.V.M., Karin Holke, M.D.,
 Peter Herrmann, M.Sc., Eleonora Duscio, M.D.,
 Francesco Cipulli, M.D., Onnen Moerer, M.D., John J. Marini, M.D.,
 Michael Quintel, M.D., Luciano Gattinoni, M.D. F.R.C.P.

ANESTHESIOLOGY 2019; 130:119–30

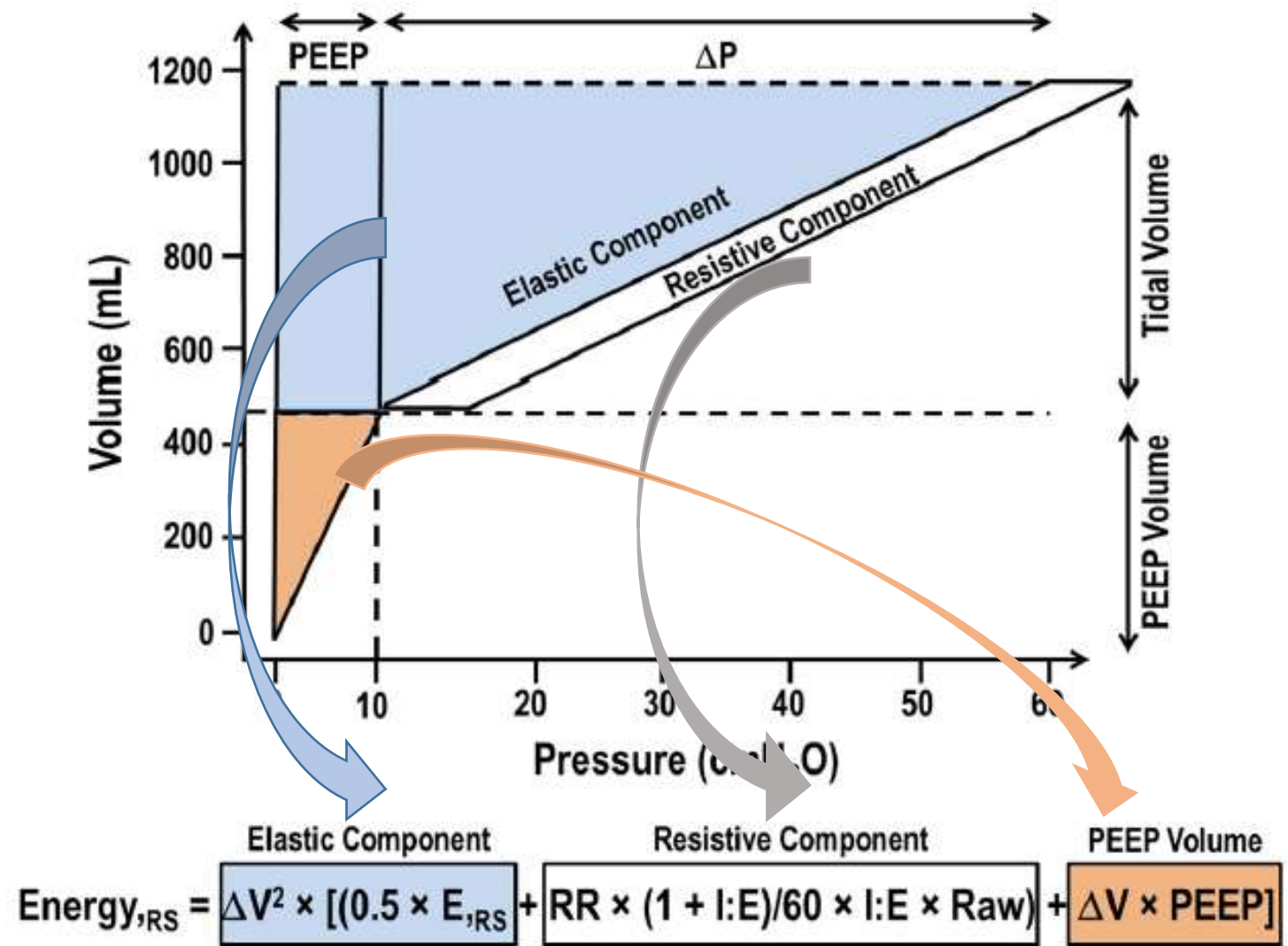


Fig. 2 Mechanical power calculation, which includes the resistive properties and variation of lung volume correspondent to PEEP level. All components are depicted below the schematic figure: elastic, resistive, and PEEP volume

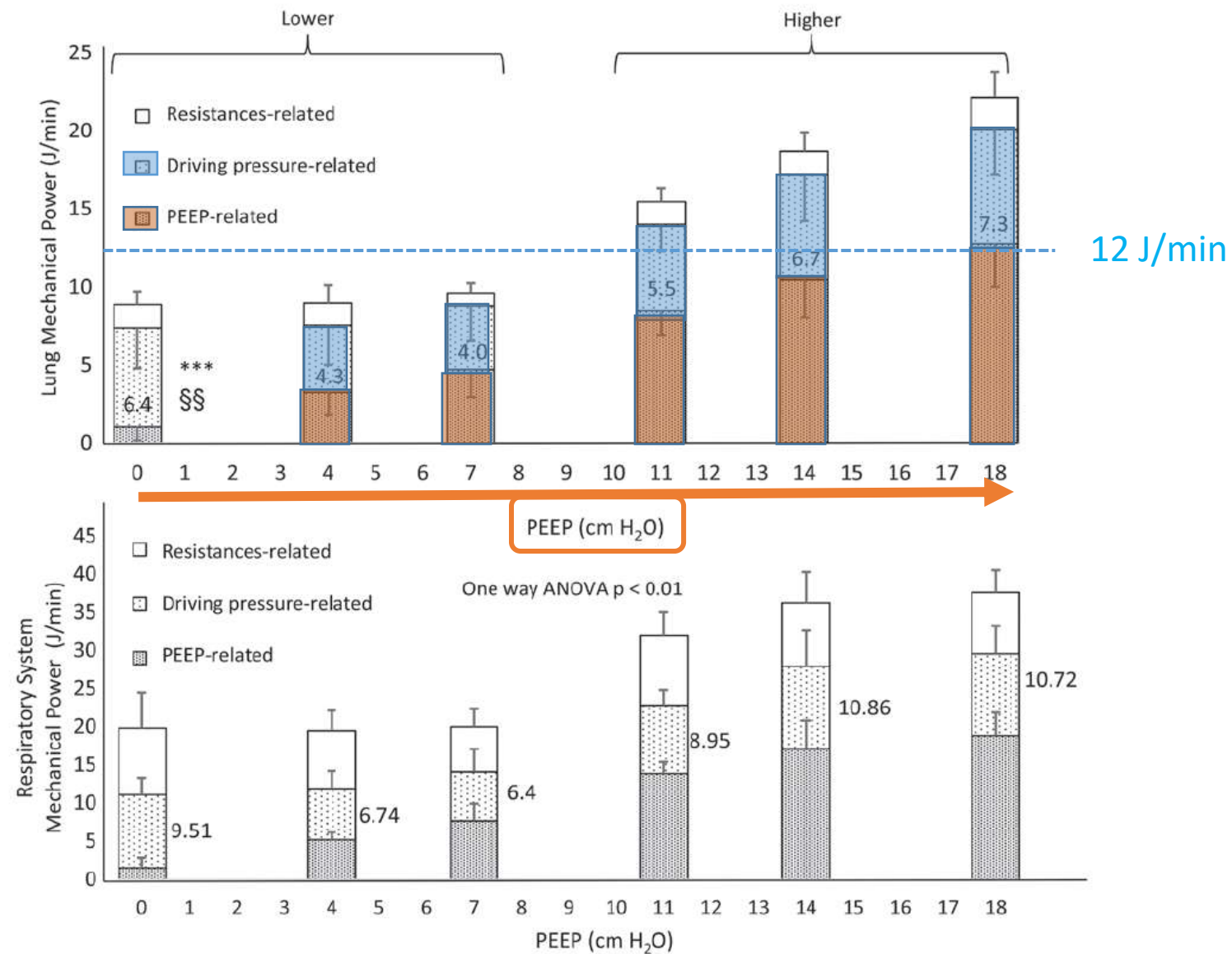
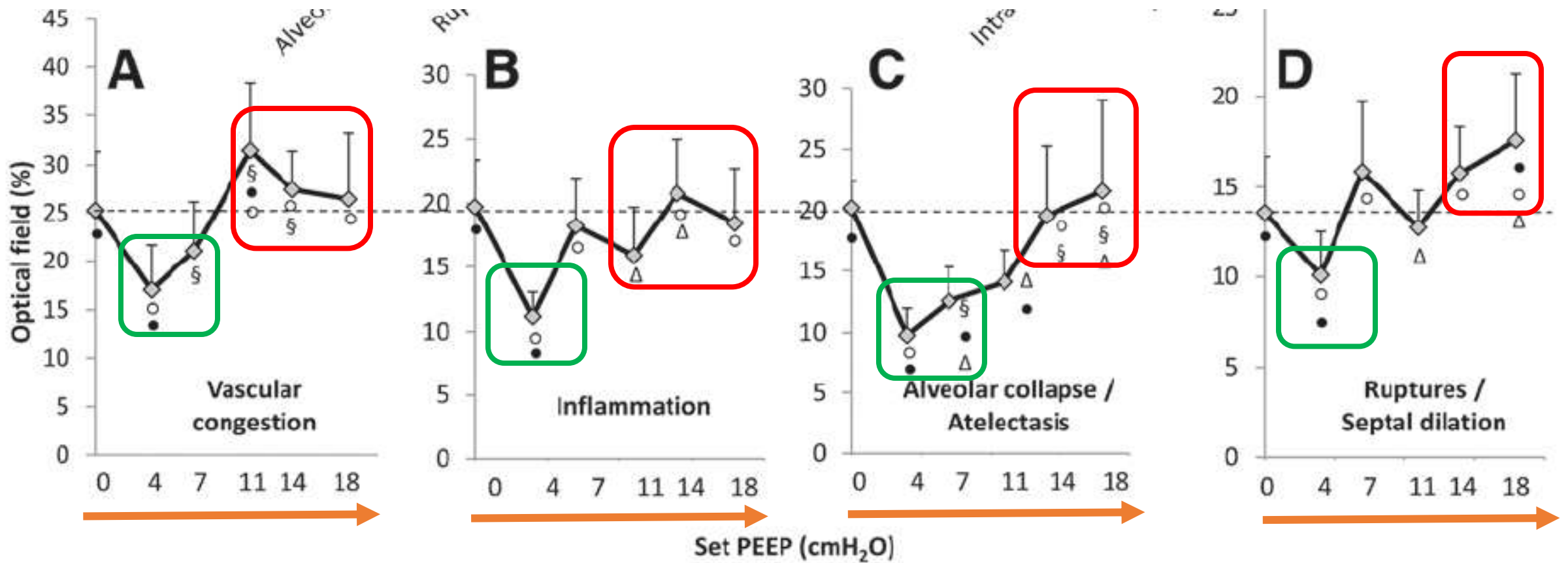


Fig. 1. Column chart showing the mechanical power applied to the respiratory system (*top*) and to the lung (*bottom*) at set positive end-expiratory pressure (PEEP) values of 0, 4, 7, 11, 14, and 18cm H₂O. Note that power is scaled differently for respiratory system (0 to 45 J/min) and the lung (0 to 25 J/min). *** $P < 0.001$, driving pressure related power PEEP 0 vs. PEEP 4. §§ $P < 0.05$, driving pressure related lung power PEEP 0 versus PEEP 7.



What This Article Tells Us That Is New

- This *in vivo* study (36 pigs mechanically ventilated in the prone position) suggests that low levels of positive end-expiratory pressure reduce injury associated with atelectasis, and above a threshold level of power, positive end-expiratory pressure causes lung injury and adverse hemodynamics

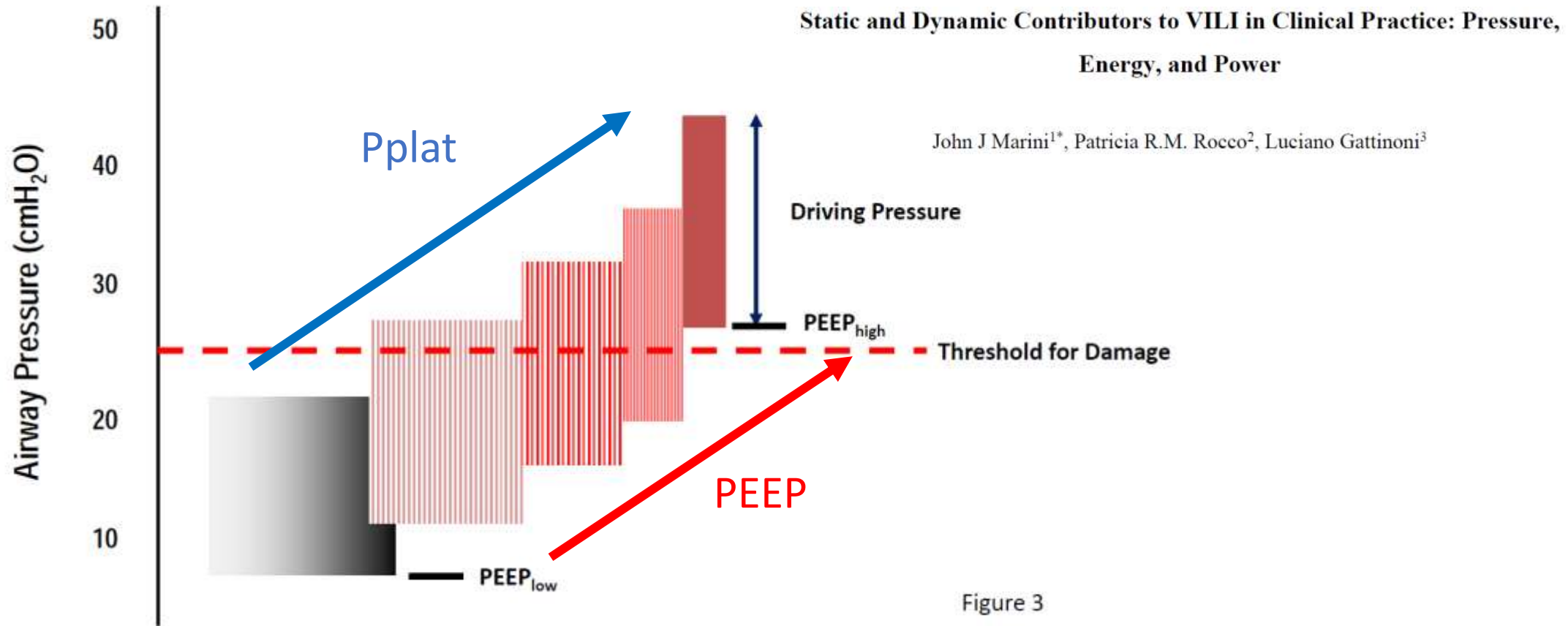
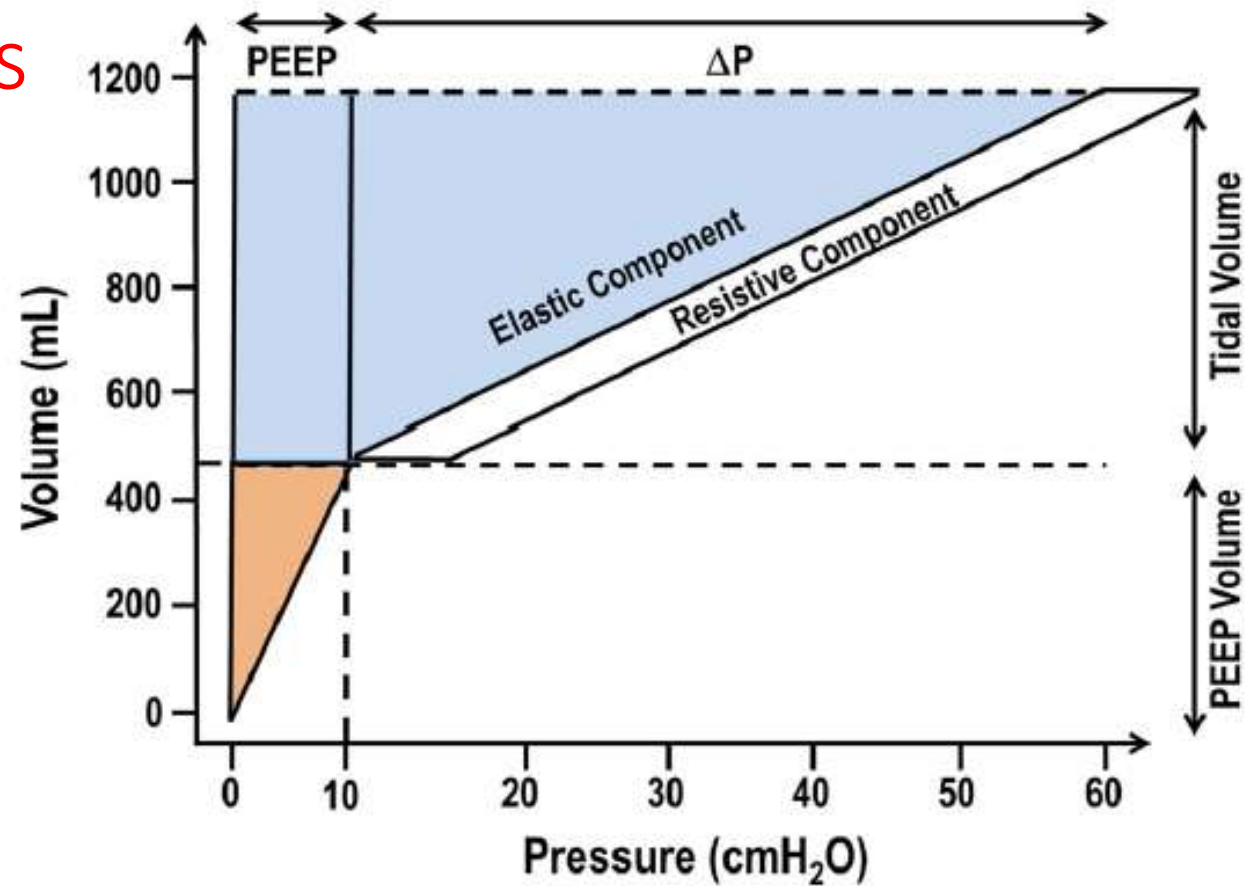


Figure 3. Influence of PEEP on lung tissue strain for the same driving pressure (bi-directional arrow). Dashed red line represents the threshold pressure at which VILI begins. The width of each rectangle indicates the number of high risk junctional interfaces between open and closed lung units. PEEP may reduce number of junctional interfaces but increases strain on those remaining un-recruited, as indicated by the deepening hues.

Les applications cliniques

Mechanical power



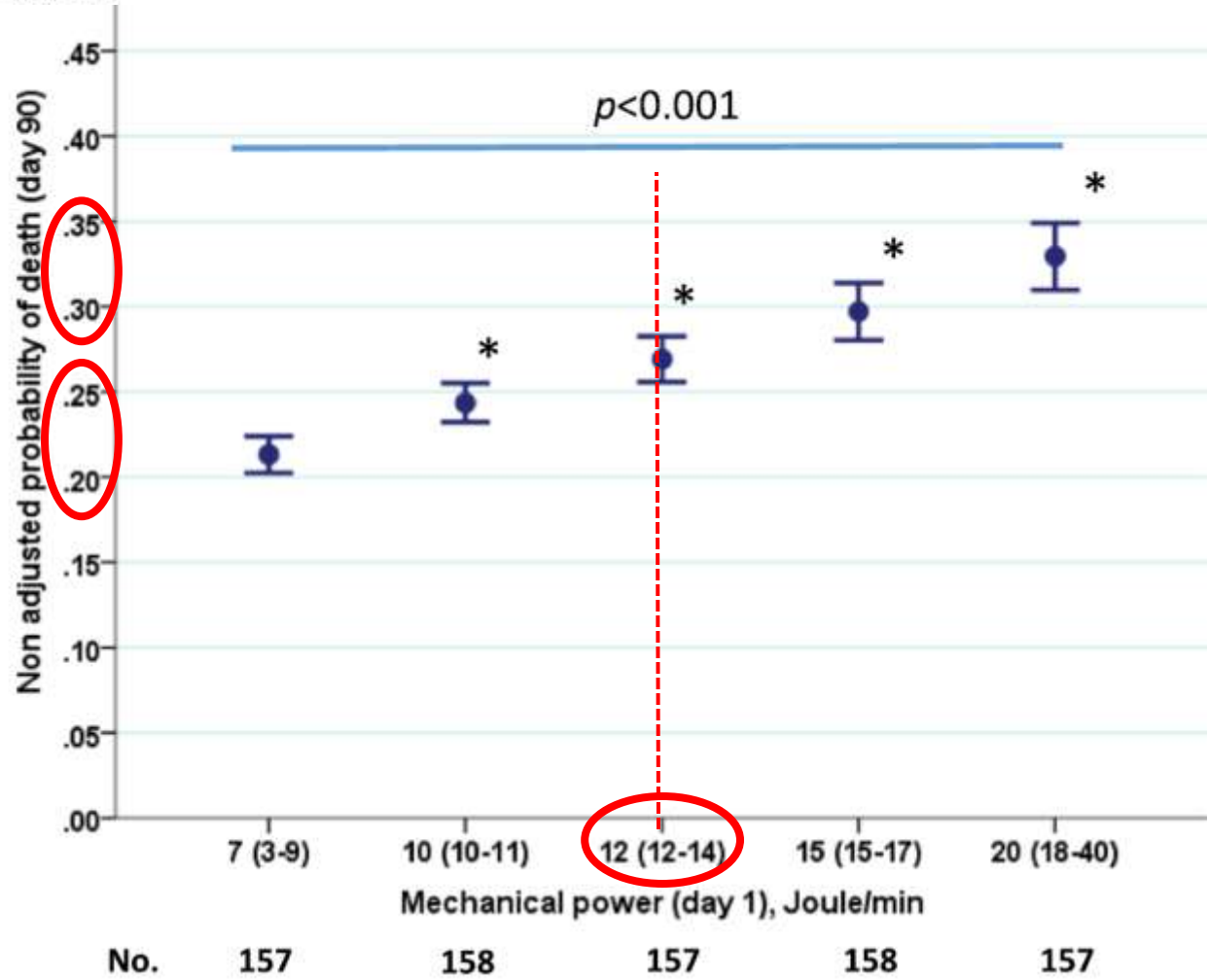
$$\text{Energy}_{\text{RS}} = \underbrace{\Delta V^2 \times [(0.5 \times E_{\text{RS}})]}_{\text{Elastic Component}} + \underbrace{\text{RR} \times (1 + \text{I:E}) / 60 \times \text{I:E} \times \text{Raw}}_{\text{Resistive Component}} + \underbrace{\Delta V \times \text{PEEP}}_{\text{PEEP Volume}}$$

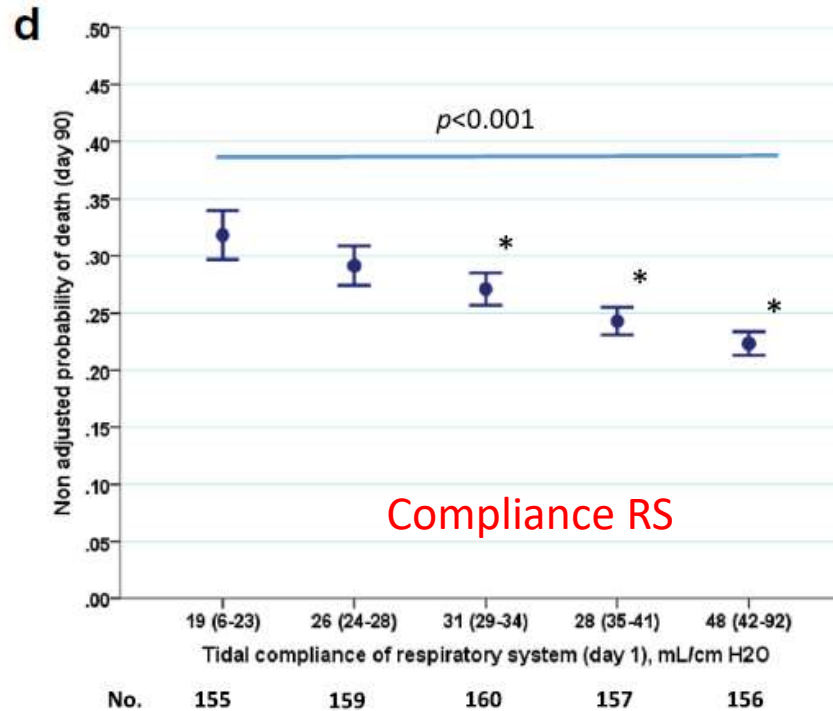
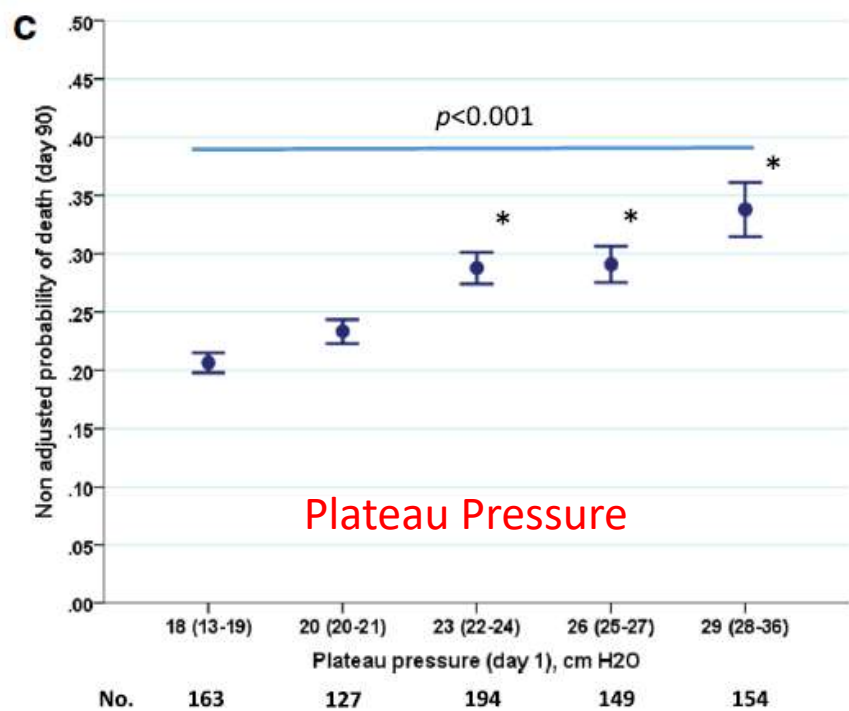
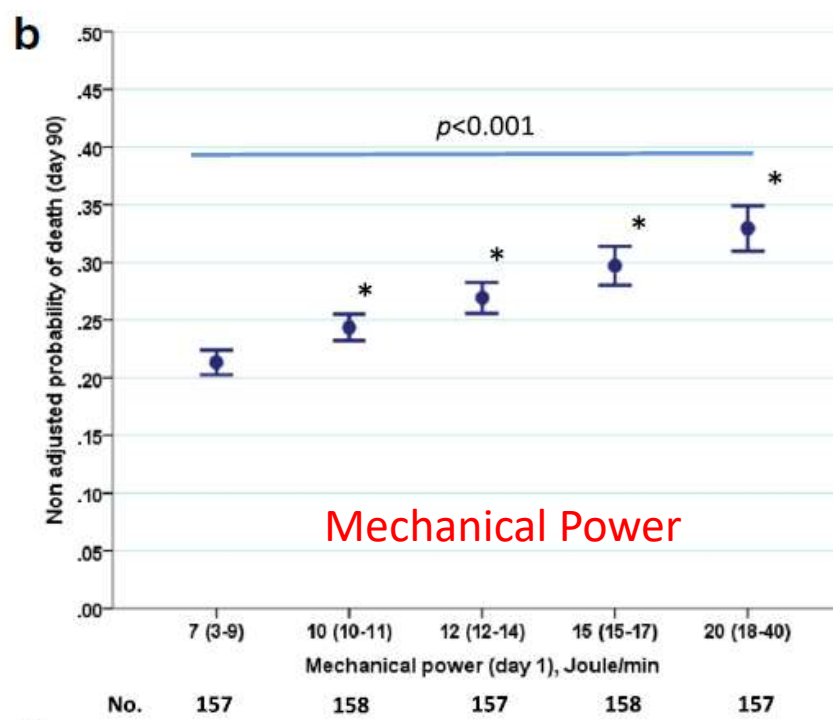
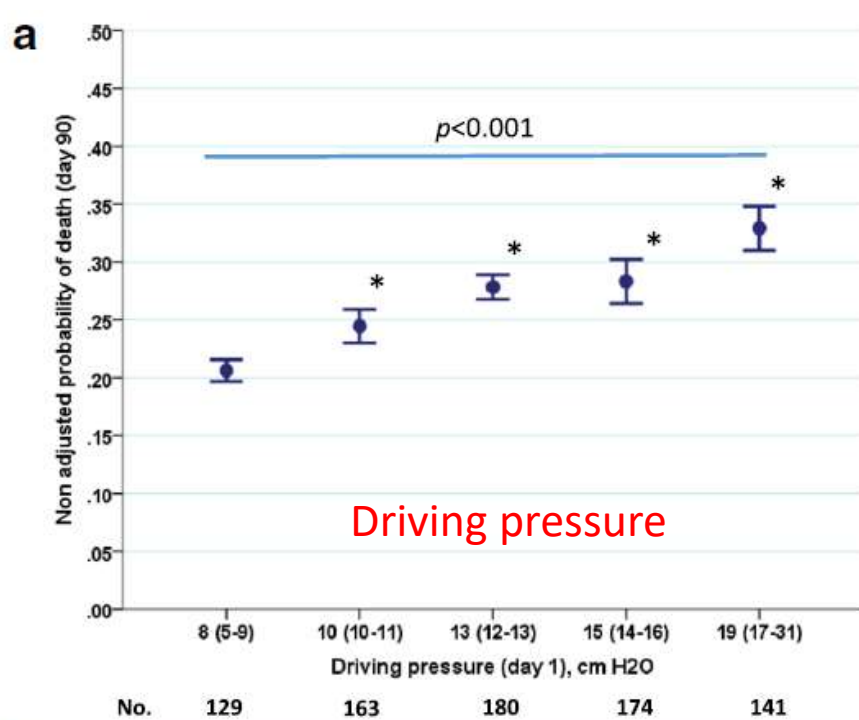
Fig. 2 Mechanical power calculation, which includes the resistive properties and variation of lung volume correspondent to PEEP level. All components are depicted below the schematic figure: elastic, resistive, and PEEP volume

PUISSANCE MECANIQUE TOTALE (J/min) :
0,098.FR.ΔV.(PEEP + ΔP.½ + (PPic – PPlat))

Effect of driving pressure on mortality in ARDS patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized controlled trials

Claude Guérin^{1,2,3*}, Laurent Papazian^{4,5,6}, Jean Reignier⁷, Louis Ayzac⁸, Anderson Loundou⁵, Jean-Marie Forel⁹
and on behalf of the investigators of the Acurasys and Proseva trials

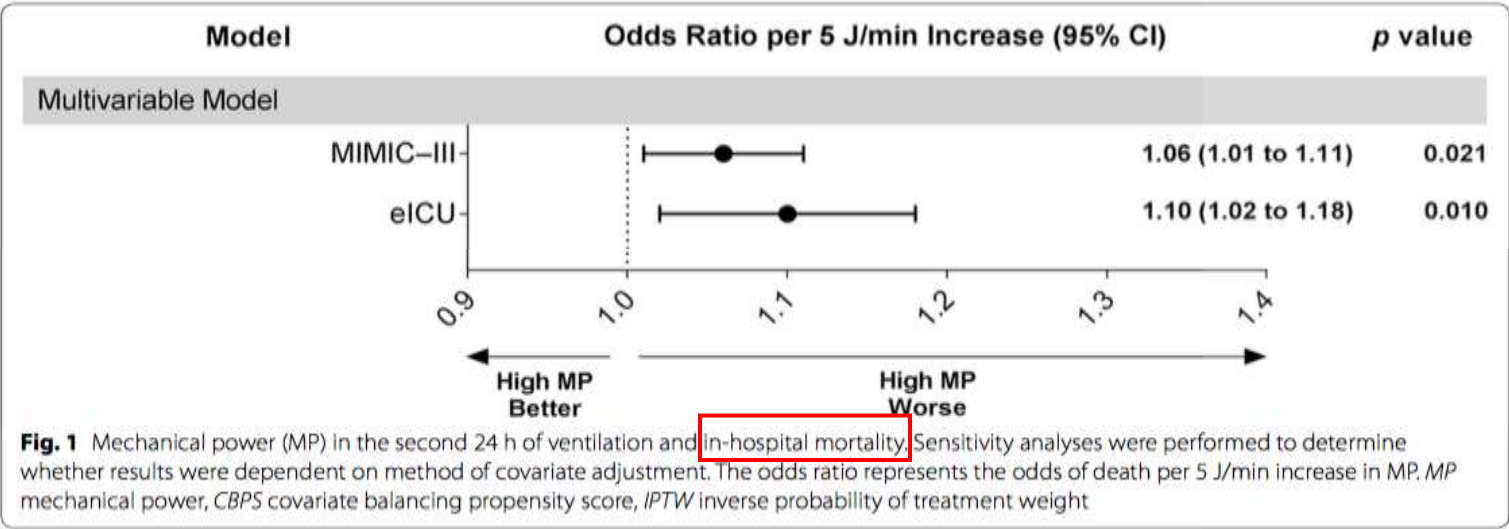




Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients: an analysis of patients in two observational cohorts

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

- 2 cohortes observationnelles : MIMIC-III et e-ICU
- 8207 Patients sous ventilation mécanique invasive > 48 heures



Conclusion: High MP of ventilation is independently associated with higher in-hospital mortality

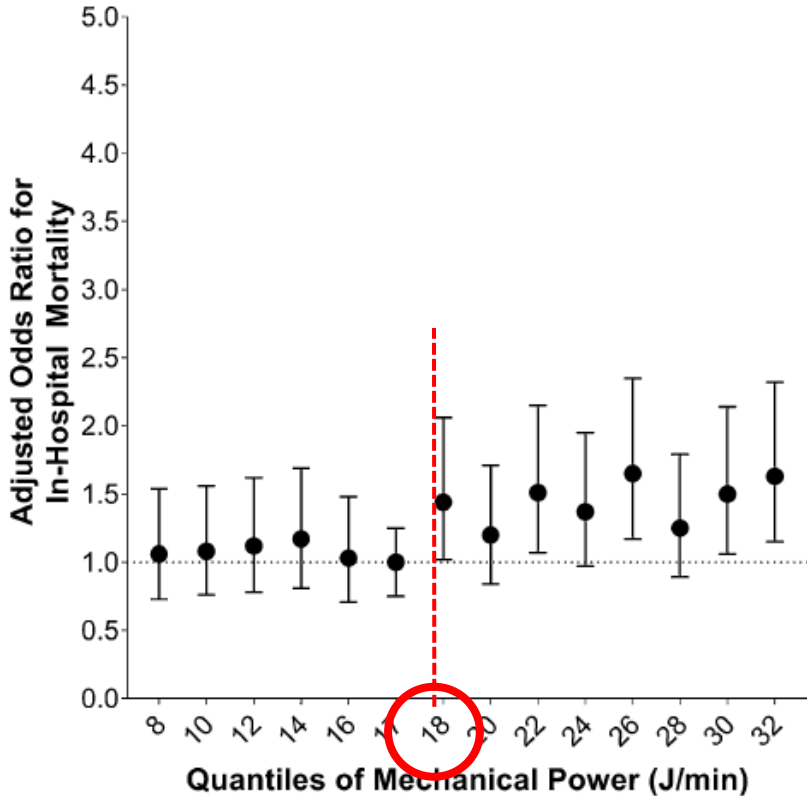


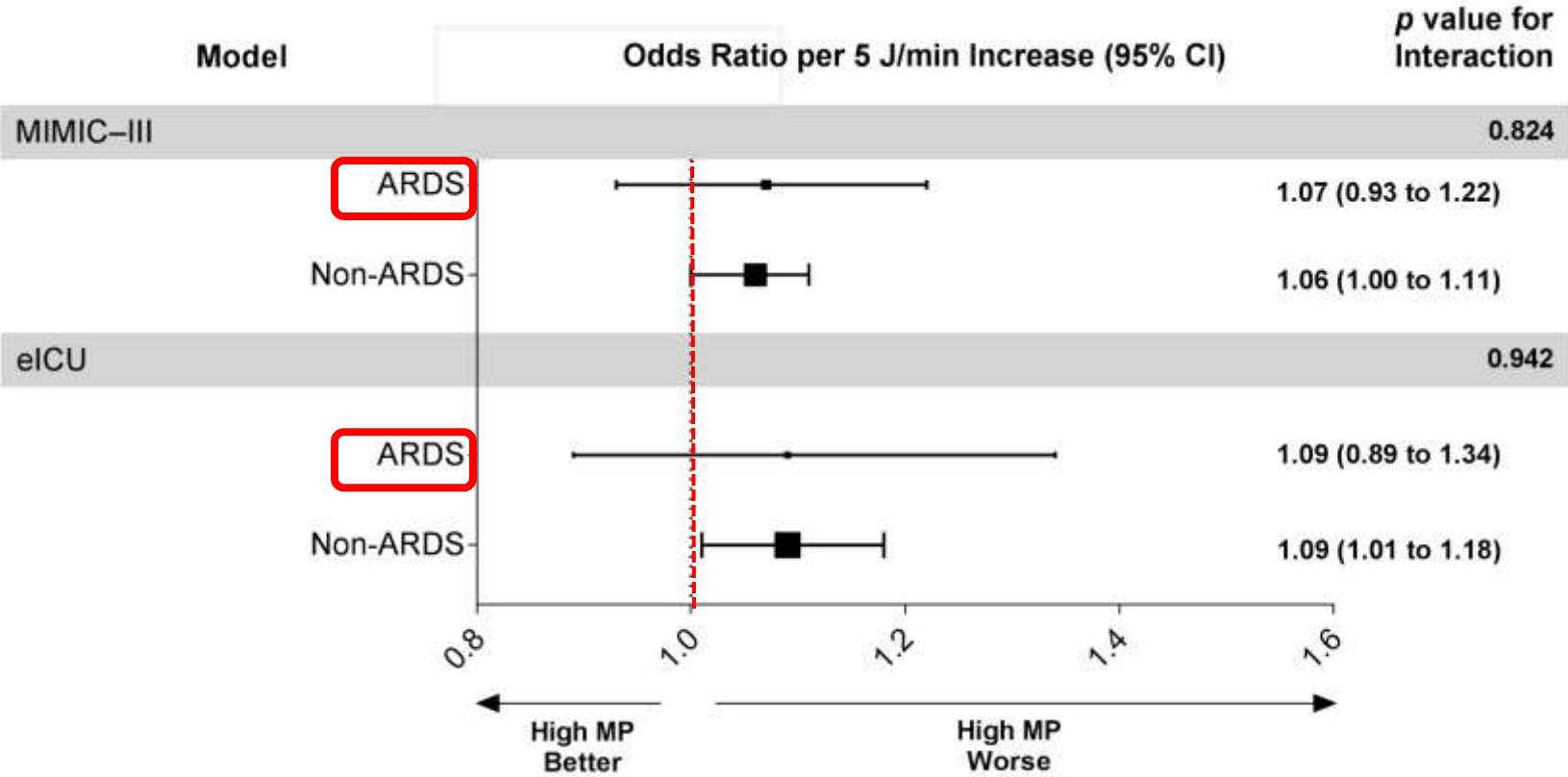
Fig. 3 Adjusted odds ratio for in-hospital mortality according to percentiles of mechanical power (MP) in the pooled cohort after multivariable adjustment. The pooled cohort was partitioned into 14 quantiles of mechanical power, and the adjusted odds ratio for each quantile was calculated in relation to the median mechanical power of the whole cohort. The odds ratio and 95% confidence intervals (error bars) for each percentile were calculated after multivariable adjustment for age, prognostic score, SOFA, pH, mean arterial pressure, PaO₂/FiO₂, SpO₂, temperature, and PaCO₂

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

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

eFigure 6 – Association between mechanical power and in-hospital mortality according to the presence of ARDS in the first days



ARDS: Acute Respiratory Distress Syndrome



Mechanical power normalized to predicted body weight as a predictor of mortality in patients with acute respiratory distress syndrome

- 8 essais contrôlés randomisés au cours du SDRA
- 5159 ARDS

Mechanical Power
PBW

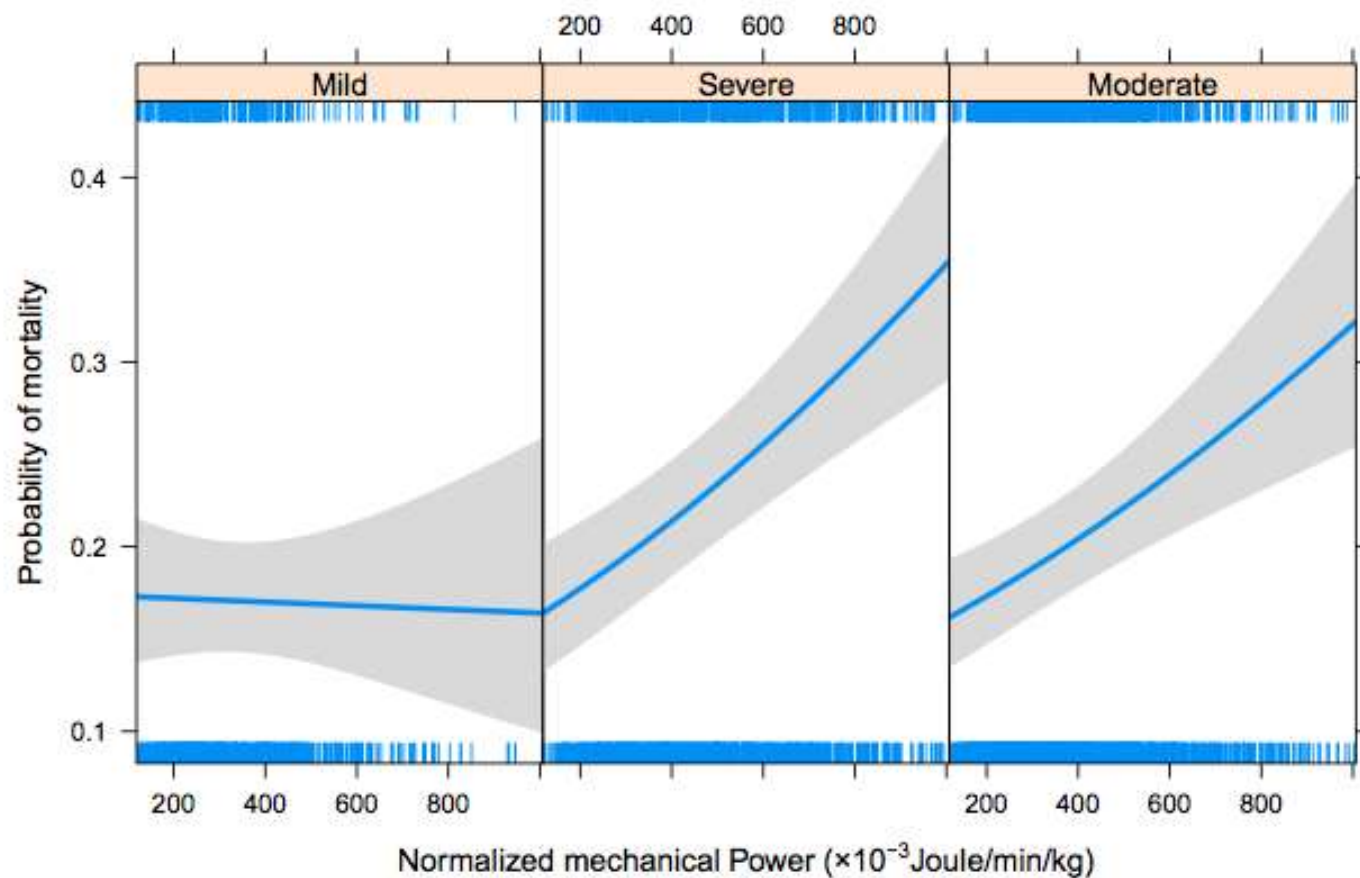


Fig. 1 Interaction between norMP and ARDS severity. While the norMP was not significantly associated with mortality outcome (OR 0.99; 95% CI 0.91–1.07; $p=0.862$) in patients with mild ARDS, it was associated with increased risk of mortality in moderate (OR 1.11; 95% CI 1.02–1.23; $p=0.021$) and severe (OR 1.13; 95% CI 1.03–1.24; $p=0.008$) ARDS. norMP mechanical power normalized to predicted body weight, ARDS acute respiratory distress syndrome, OR odds ratio

Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury?

Pedro Leme Silva¹, Lorenzo Ball^{2,3}, Patricia R. M. Rocco^{1*} and Paolo Pelosi^{2,3}

Silva et al. *Intensive Care Medicine Experimental* 2019, 7(Suppl 1):38

PUISSANCE MECANIQUE TOTALE (J/min) :
 $0,098.FR.\Delta V.(PEEP + \Delta P.\frac{1}{2} + (PPic - PPlat))$

Elastic (PEEP)

Elastic (Vt)

Resistive

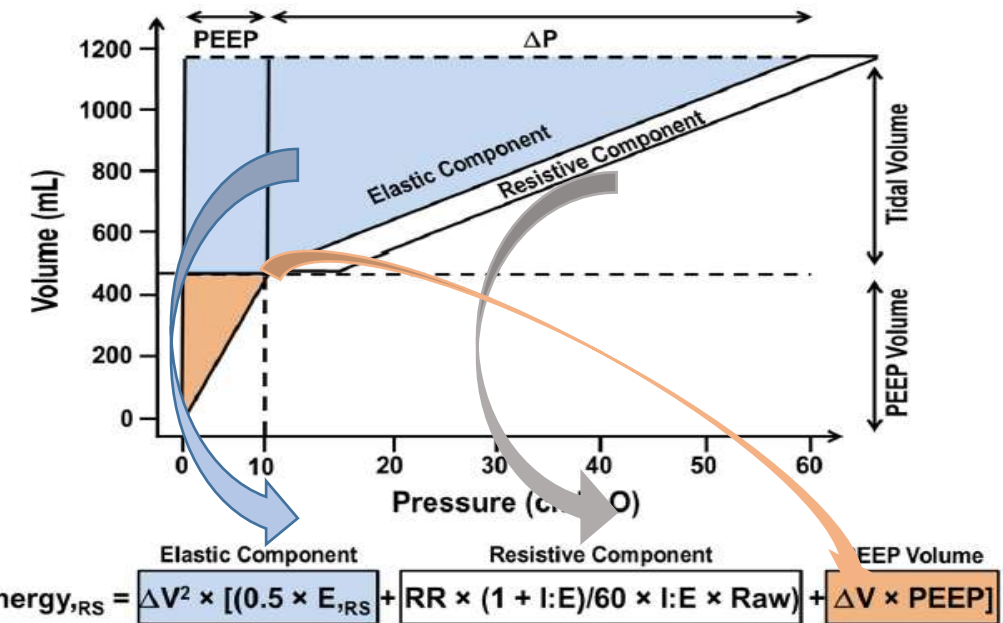


Fig. 2 Mechanical power calculation, which includes the resistive properties and variation of lung volume correspondent to PEEP level. All components are depicted below the schematic figure: elastic, resistive, and PEEP volume

Acurasys
339 SDRA
306exploitables

Valeurs moyennes (J1 et J2)	Survivants à J90 (n = 213)	Non-survivants à J90 (n = 93)	p
Fréquence respiratoire (/min)	24.5 ± 5.1	25.7 ± 5.2	0.05
Volume courant/poids idéal théorique (mL/kg)	6.3 ± 0.7	6.3 ± 0.7	0.84
PEEP totale (cmH2O)	10.0 ± 2.7	10.7 ± 2.5	0.04
Pression plateau (cmH2O)	22.8 ± 4.3	24.2 ± 4.2	0.009
Pression motrice (cm H2O)	12.7 ± 3.7	13.5 ± 3.9	0.11
Pression de pic - Pression plateau (cm H2O)	9.2 ± 8.6	9.1 ± 7.0	0.86
Compliance du système respiratoire (mL/cmH2O)	35.6 ± 12.0	33.2 ± 13.3	0.11
Puissance mécanique totale (J/min)	25.3 ± 11.5	26.7 ± 10.4	0.29
Composante élastique liée à la PEEP (J/min)	9.9 ± 3.9	10.8 ± 3.6	0.06
Composante élastique liée au VT (J/min)	6.2 ± 2.2	6.6 ± 2.1	0.11
Composante résistive (J/min)	9.2 ± 9.0	9.5 ± 7.6	0.77

Puissance mécanique totale/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	391 ± 179	422 ± 158	0.13
Composante élastique liée à la PEEP/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	153 ± 57	169 ± 53	0.01
Composante élastique liée au VT/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	96 ± 34	105 ± 35	0.02
Composante résistive/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	141 ± 145	149 ± 118	0.62

Tableau 2. Paramètres ventilatoires et composantes de la puissance mécanique de ventilation (valeurs moyennes sur J1 et J2) entre survivants et non-survivants à J90.

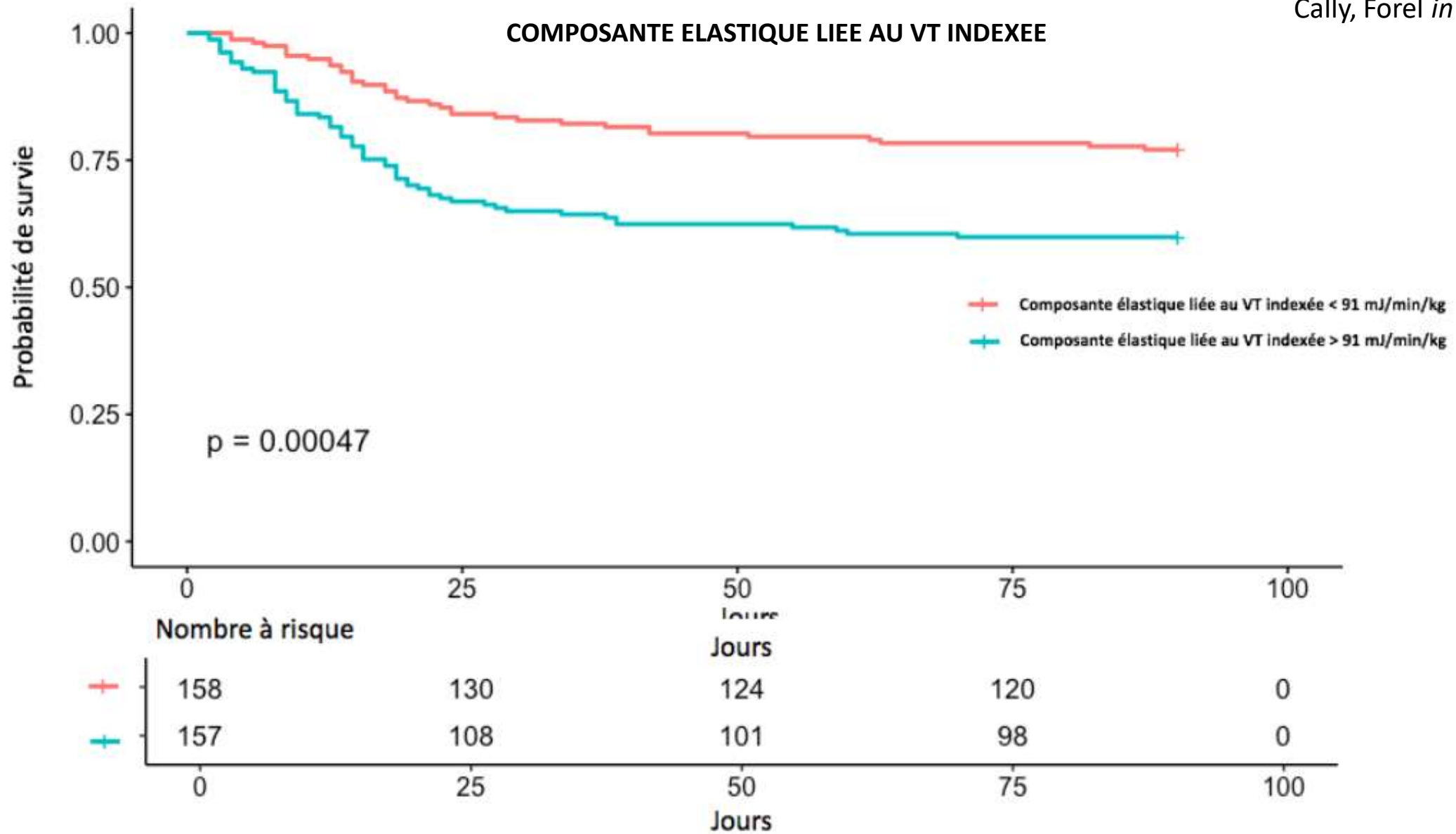


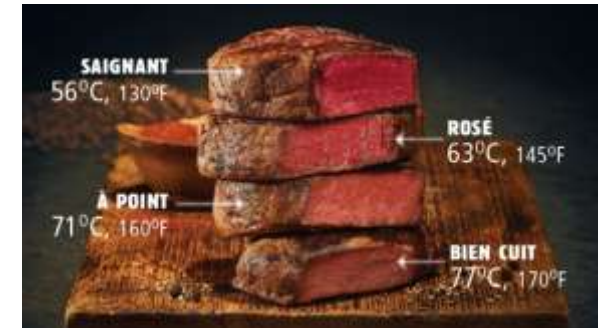
Figure 2b. Courbe de Kaplan-Meier représentant la probabilité de survie à J90 en fonction de la valeur médiane de la composante élastique liée au VT indexée au poids idéal théorique. Les groupes ont été comparés par le test du log rank.

Limites du Mechanical Power

- Effet baguette magique vs. Variable unificatrice (rôle de hémodynamique pulmonaire, de l'O₂ dans les VILI ?)
- Rapporter MP/quantité de poumon disponible (/PBW, X C_Lprédite/C_Lobs, /CRF)
- Rapporter le MP aux poumons → Poeso pour MP_{transpulmonary}
- Rôle discuté de la PEEP dans son calcul
- MP expiratoire ? (« rien ne se perd... »)
- Calcul du MP en mode en pression +/- VS à confirmer
- Intégrer la durée d'exposition à un MP élevé (durée VM)

Huhle et al. MP and VILI

Ann Transl Med 2018;6(19):394



Conclusion

Driving Pressure

- Simple ($P_{plat} - PEEP$), seuil 15 cm H₂O?
- $DP = V_t/C =$ « rapporte » le V_t insufflé à la compliance du malade
- Manque de preuve (0 RCT)

Mechanical Power

- Intègre « tous » les paramètres de la VM participant aux VILI (V_t , DP, FR, Débit)
- Porte l'intérêt sur des éléments négligés (FR, débit inspiratoire)
- Ne semble pas faire mieux que V_t , P_{plat} pour le pronostic (en l'état actuel)
- Nouvel éclairage sur les études négatives pour haute PEEP (trop haut transfert d'énergie ?)
- L'avenir :
 - Poursuivre expérimental (PEEP?)
 - S'intéresser à la partie expiratoire (restitution d'énergie)
 - RCT MP sup 12 vs inf 12
 - Mode ventilatoire limitant le MP

Merci de votre attention



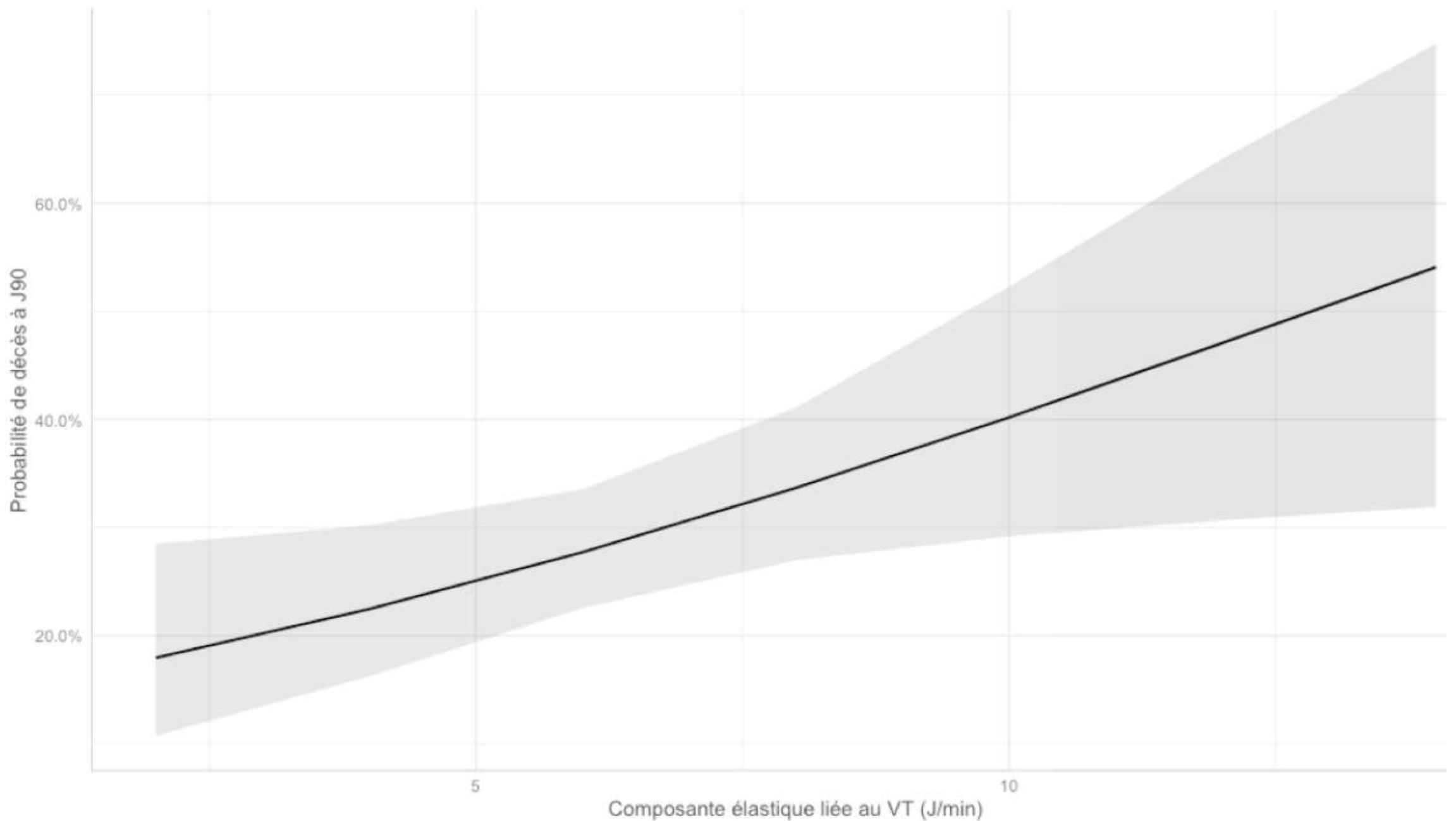


Figure 3. Association entre probabilité de décès à J90 et composante élastique liée au VT de la puissance mécanique de ventilation après ajustement sur l'âge, l'IGS II sans l'âge à l'inclusion, le rapport PaO₂/FiO₂ à l'inclusion, le pH à l'inclusion et le groupe de randomisation.

**Static and Dynamic Contributors to VILI in Clinical Practice: Pressure,
Energy, and Power**

John J Marini^{1*}, Patricia R.M. Rocco², Luciano Gattinoni³

- Et la dissipation de l'énergie lors de l'expiration

50) Goebel U, Haberstroh J, Foerster K, et al. Flow-controlled expiration: a novel ventilation mode to attenuate experimental porcine lung injury. Br J Anaesth 2014;113(3):474-83. doi: 10.1093/bja/aeu058.

51) Borgmann S, Schmidt J, Goebel U, Haberstroh J, Guttman J, Schumann S. Dorsal recruitment with flow-controlled expiration (FLEX): an experimental study in mechanically ventilated lung-healthy and lung-injured pigs. Crit Care. 2018 Sep 29;22(1):245. doi: 10.1186/s13054-018-2168-9

P_{plateau} and Driving pressure = incomplete slices of the inflation energy applied during each cycle-

Adaptive mechanical ventilation with automated minimization of mechanical power—a pilot randomized cross-over study

Tobias Becher*, Anna Adelmeier, Inéz Frerichs, Norbert Weiler and Dirk Schädler

Table 3 Results for subgroup of patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS)

Parameter	AVM	AVM2	p value
V _T (ml/kg)	7.9 ± 0.5	6.6 ± 0.8	< 0.0001
ΔP _{stat} (cmH ₂ O)	13.3 ± 2.7	11.8 ± 1.7	0.0044
P _{insp} (cmH ₂ O)	23.0 ± 2.6	20.5 ± 2.0	< 0.0001
RR (1/min)	13.0 ± 2.0	16.3 ± 2.9	0.0001
Mechanical Power (J/min)	17.5 ± 4.6	15.6 ± 3.2	0.006
Ṡ _A	4.1 ± 0.7	3.9 ± 0.9	0.26
P _{aw, mean} (cmH ₂ O)	13.7 ± 0.9	14.3 ± 1.1	0.11
C _{rs} (ml/cmH ₂ O)	47.3 ± 9.1	43.8 ± 11.9	0.12
R _{insp} (cmH ₂ O/l/s)	10.8 ± 2.7	9.5 ± 1.6	0.02
RC _e (s)	0.73 ± 0.18	0.71 ± 0.23	0.53
PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)	218 ± 61	195 ± 55	0.01
PaCO ₂ (mmHg)	38.5 ± 4.0	40.2 ± 6.1	0.19
pH	7.44 ± 0.08	7.43 ± 0.08	0.18
MAP (mmHg)	82 ± 12	81 ± 12	0.75
HR (1/min)	63 ± 11	64 ± 11	0.42

Conclusions: Adaptive mechanical ventilation with automated minimization of inspiratory power may lead to mor lung-protective ventilator settings when compared with adaptive mechanical ventilation according to Otis' equation.

Composantes de la puissance mécanique de ventilation et mortalité au cours du SDRA : analyse secondaire de l'étude ACURASYS

Dr Radj CALLY

Présentation du jeudi 10 octobre 2019

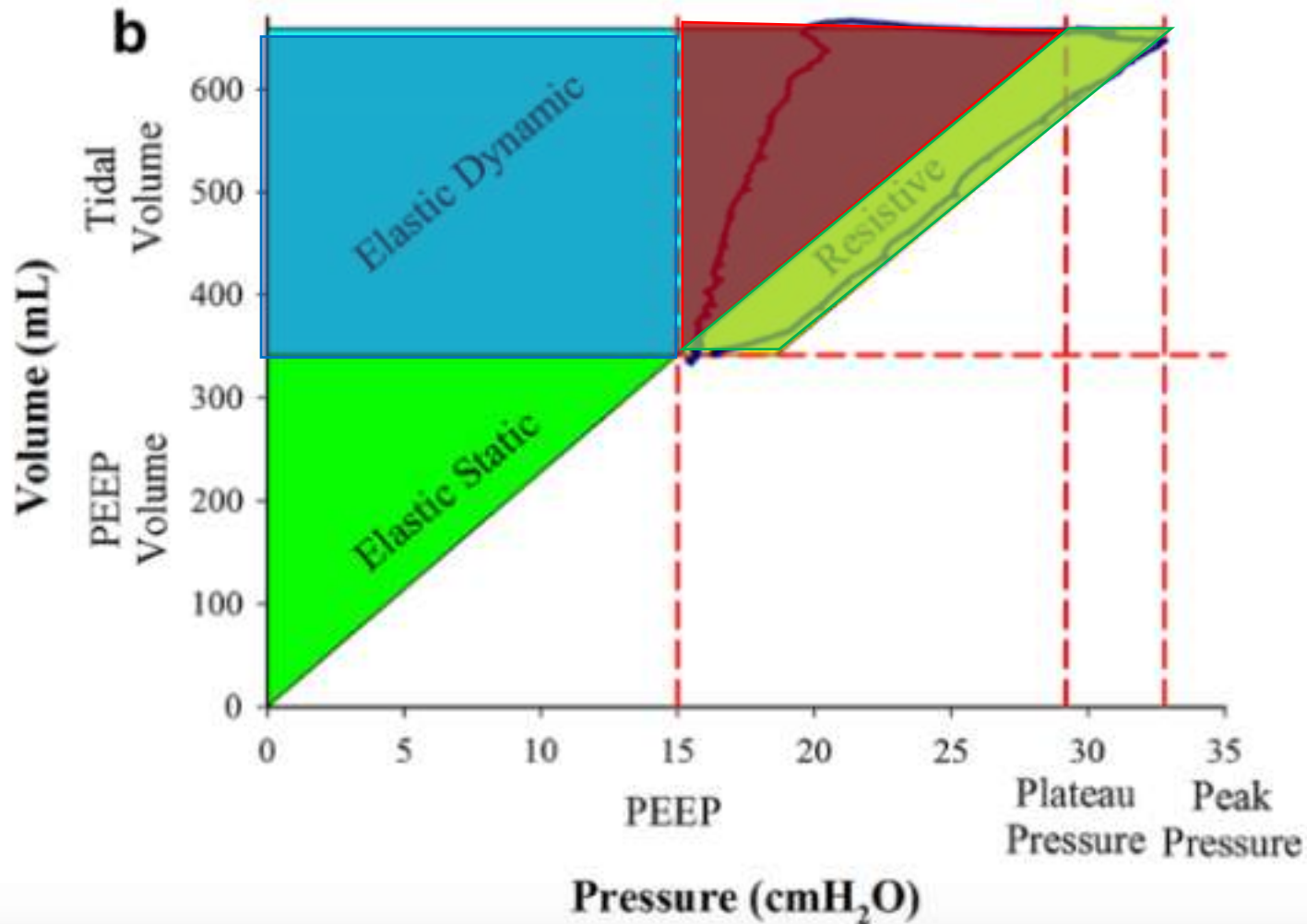
Pour l'obtention du DESC de Réanimation médicale

INTRODUCTION

Puissance mécanique de ventilation

- = Energie transmise au système respiratoire par unité de temps $\rightarrow$ J/min
= Energie par cycle respiratoire (J) x FR (/min)
- Dérivée de l'équation de mouvement du système respiratoire
- Variable unique intégrant l'ensemble des paramètres potentiellement délétères de la ventilation mécanique :
 - ΔP (pression motrice)
 - ΔV (volume courant)
 - Fréquence respiratoire
 - Débit inspiratoire

Mechanical power equation



ENERGIE PAR CYCLE :

$$\Delta V \cdot \Delta P \cdot \frac{1}{2}$$

Composantes principales :

- + $\Delta V \cdot (P_{Pic} - P_{Plat})$
 - Elastique liée à la PEEP
- Elastique liée au volume courant
- + $\Delta V \cdot PEEP$
 - Résistive

Composantes composites :

- ↔ $\Delta V \cdot (\Delta P \cdot \frac{1}{2} + (P_{Pic} - P_{Plat}) \cdot PEEP)$
 - Elastique totale (élastique liée à la PEEP et élastique liée au volume courant)
- Elastique liée au volume courant et résistive

PUISSANCE MECANIQUE TOTALE (J/min) :

$$0,098 \cdot FR \cdot \Delta V \cdot (PEEP + \Delta P \cdot \frac{1}{2} + (P_{Pic} - P_{Plat}))$$

Objectif de l'étude

- Evaluer l'association entre la puissance mécanique et le devenir des patients atteints de SDRA modéré à sévère issus de l'essai ACURASYS (mortalité et durée de ventilation mécanique)
- En considérant la puissance mécanique :
 - **Totale**
 - Suivant ses 3 composantes principales =
 - **Elastique liée à la PEEP**
 - **Elastique liée au volume courant**
 - **Résistive**

PATIENTS ET METHODES

Patients

- Ensemble des patients de l'essai ACURASYS (n = 339)
(essai contrôlé randomisé, en double aveugle, contre placebo ayant évalué la curarisation systématique et précoce par cisatracurium des patients présentant un SDRA avec rapport $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 150$ sous $\text{PEEP} \geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$)
- Protocole de ventilation « protectrice » pour les 2 bras de randomisation

Variables

- À l'inclusion
- Valeur moyenne sur les 2 premiers jours après l'inclusion

- Caractéristiques démographiques et cliniques
 - Variables ventilatoires (V_T , V_T indexé au poids idéal théorique, PEEP, PPlat, ΔP , FR, compliance)
 - Paramètres gazométriques
 - Puissance mécanique totale = $0,098.FR.\Delta V.(PEEP + \frac{1}{2}.\Delta P + (PPic - PPlat))$
 - Composantes principales :
 - Elastique liée à la PEEP = $0,098.FR.\Delta V.PEEP$
 - Elastique liée au volume courant = $0,098.FR.\Delta V.\frac{1}{2}.\Delta P$
 - Résistive = $0,098.FR.\Delta V.(PPic - PPlat)$
 - Composantes composites :
 - Elastique totale = élastique liée à la PEEP + élastique liée au volume courant
 - Elastique liée au volume courant + résistive
- brute
- indexée au poids idéal théorique

Critères de jugement

- Critère de jugement principal : **mortalité à J90**
- Critère de jugement secondaire : **nombre de jours vivant et sans ventilation mécanique à J90**

Analyse statistique

Patients vivant vs décédés à J90

- Analyse univariée
 - Courbes de Kaplan-Meier en fonction de la valeur médiane de la puissance mécanique
 - Analyse multivariée : modèles de régression logistique
- performances de prédiction des modèles évaluées par l'aire sous la courbe ROC et comparées

Nombre de jours vivant et sans ventilation mécanique à J90

- Test de corrélation de Spearman avec variables ventilatoires et types de puissance mécanique

RESULTATS

Caractéristiques à l'inclusion	Population totale (n = 339)	Survivants à J90 (n = 224)	Non-survivants à J90 (n = 115)	p
Age (années)	58 ± 15	55.3 ± 15.5	63.8 ± 13.7	<0.001
IGS II total	49 ± 15	47 ± 16	52 ± 14	<0.01
IGS II sans l'âge	38 ± 15	38 ± 15	40 ± 16	0.30
Volume courant/poids idéal théorique (mL/kg)	6.5 ± 1.0	6.5 ± 1.0	6.5 ± 1.0	0.68
Fréquence respiratoire (/min)	24.6 ± 5.2	24.4 ± 5.1	25.2 ± 5.3	0.16
Ventilation minute (L/min)	10.0 ± 2.4	10.1 ± 2.5	9.9 ± 2.2	0.54
PEEP totale (cm H2O)	10.2 ± 3.5	10.0 ± 3.6	10.7 ± 3.4	0.10
Pression de plateau (cm H2O)	24.7 ± 4.6	24.5 ± 4.7	25.2 ± 4.3	0.16
Pression motrice (cm H2O)	14.5 ± 4.6	14.5 ± 4.6	14.6 ± 4.6	0.93
Compliance du système respiratoire (mL/cm H2O)	31.7 ± 11.2	32.5 ± 11.1	30.2 ± 11.1	0.08
Pression de crête (cm H2O)	35.4 ± 7.9	35.5 ± 8.4	35.3 ± 6.8	0.87
FiO2	0.78 ± 0.19	0.78 ± 0.19	0.78 ± 0.19	0.76
PaO2/FiO2	110 ± 38	112 ± 42	107 ± 29	0.25
pH	7.31 ± 0.10	7.33 ± 0.09	7.29 ± 0.11	0.004
PaO2 (mmHg)	82 ± 26	83 ± 29	80 ± 20	0.20
PaCO2 (mmHg)	47 ± 11	47 ± 10	47 ± 12	0.60
Décubitus ventral ou NO inhalé ou almitrine (n, %)	56 (16.5)	39 (17)	17 (15)	0.64
Agression pulmonaire directe (n, %)	265 (78)	176 (79)	89 (77)	0.89
Puissance mécanique totale (J/min)	28.6 ± 10.8	28.6 ± 10.8	28.6 ± 10.7	1
Composante élastique liée à la PEEP (J/min)	10.3 ± 4.5	10.1 ± 4.5	10.7 ± 4.4	0.21
Composante élastique liée au VT (J/min)	7.2 ± 3.0	7.2 ± 2.9	7.3 ± 3.0	0.96
Composante résistive (J/min)	11.0 ± 7.4	11.3 ± 7.6	10.5 ± 7.0	0.39
Composante élastique totale (J/min)	17.5 ± 5.6	17.3 ± 5.6	18.0 ± 5.5	0.30
Composante élastique liée au VT et résistive (J/min)	18.3 ± 8.9	18.5 ± 9.0	17.8 ± 8.7	0.50

Tableau 1. Caractéristiques des patients à l'inclusion.

Tableau 3.

Comparaison des différents types de puissance mécanique à la mortalité à J90 en régression logistique :

Valeurs brutes

Variable ventilatoire testée au sein du modèle	Variables du modèle	Odds-ratio (intervalle de confiance à 95%)	p	Aire sous la courbe ROC du modèle
	Composante élastique totale	1.061 (1.007-1.120)	0.03	
Composante composite élastique totale	Age	1.053 (1.034-1.075)	<0.001	0.708
	IGS II sans âge à l'inclusion	1.006 (0.989-1.023)	0.49	
	PaO2/FiO2 à l'inclusion	1.000 (0.992-1.007)	0.96	
	pH à l'inclusion	0.288 (0.015-5.361)	0.40	
	Groupe cisatracurium	1.634 (0.972-2.768)	0.07	
Composante composite élastique et résistive liée au VT	Composante élastique et résistive liée au VT	1.014 (0.985-1.044)	0.36	0.701
	Age	1.050 (1.031-1.071)	<0.001	
	IGS II sans âge à l'inclusion	1.004 (0.987-1.021)	0.67	
	PaO2/FiO2 à l'inclusion	0.998 (0.990-1.005)	0.58	
	pH à l'inclusion	0.116 (0.006-2.180)	0.15	
	Groupe cisatracurium	1.752 (1.037-2.989)	0.04	
	Composante élastique liée au VT	1.151 (1.023-1.297)	0.02	
Composante élastique liée au VT	Age	1.054 (1.035-1.076)	<0.001	0.715
	IGS II sans âge à l'inclusion	1.008 (0.991-1.025)	0.36	
	PaO2/FiO2 à l'inclusion	0.998 (0.990-1.005)	0.61	
	pH à l'inclusion	0.310 (0.016-5.978)	0.44	
	Groupe cisatracurium	1.740 (1.037-2.951)	0.03	
Composante résistive	Composante résistive	1.007 (0.975-1.040)	0.66	0.699
	Age	1.050 (1.030-1.071)	<0.001	
	IGS II sans âge à l'inclusion	1.004 (0.987-1.021)	0.65	
	PaO2/FiO2 à l'inclusion	0.998 (0.990-1.006)	0.63	
	pH à l'inclusion	0.111 (0.006-2.066)	0.14	
	Groupe cisatracurium	1.745 (1.033-2.974)	0.03	

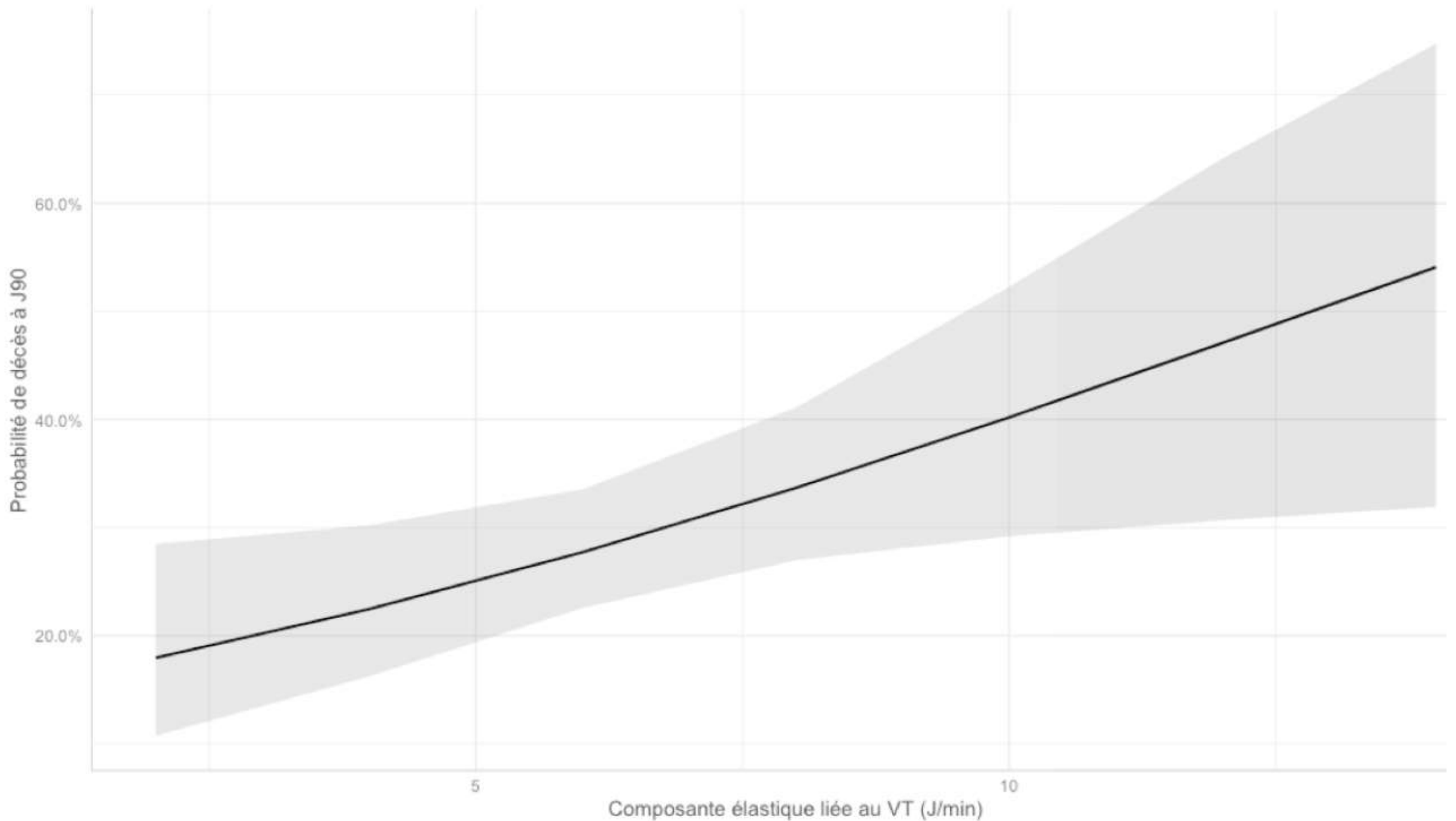


Figure 3. Association entre probabilité de décès à J90 et composante élastique liée au VT de la puissance mécanique de ventilation après ajustement sur l'âge, l'IGS II sans l'âge à l'inclusion, le rapport PaO₂/FiO₂ à l'inclusion, le pH à l'inclusion et le groupe de randomisation.

Valeurs moyennes (J1 et J2)	Survivants à J90 (n = 213)	Non-survivants à J90 (n = 93)	p
Fréquence respiratoire (/min)	24.5 ± 5.1	25.7 ± 5.2	0.05
Volume courant/poids idéal théorique (mL/kg)	6.3 ± 0.7	6.3 ± 0.7	0.84
PEEP totale (cmH2O)	10.0 ± 2.7	10.7 ± 2.5	0.04
Pression plateau (cmH2O)	22.8 ± 4.3	24.2 ± 4.2	0.009
Pression motrice (cm H2O)	12.7 ± 3.7	13.5 ± 3.9	0.11
Pression de pic - Pression plateau (cm H2O)	9.2 ± 8.6	9.1 ± 7.0	0.86
Compliance du système respiratoire (mL/cmH2O)	35.6 ± 12.0	33.2 ± 13.3	0.11
Puissance mécanique totale (J/min)	25.3 ± 11.5	26.7 ± 10.4	0.29
Composante élastique liée à la PEEP (J/min)	9.9 ± 3.9	10.8 ± 3.6	0.06
Composante élastique liée au VT (J/min)	6.2 ± 2.2	6.6 ± 2.1	0.11
Composante résistive (J/min)	9.2 ± 9.0	9.5 ± 7.6	0.77
Composante élastique totale (J/min)	16.1 ± 5.2	17.3 ± 4.7	0.05
Composante élastique liée au VT et résistive (J/min)	15.3 ± 9.7	16.0 ± 8.4	0.53
Puissance mécanique totale/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	391 ± 179	422 ± 158	0.13
Composante élastique liée à la PEEP/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	153 ± 57	169 ± 53	0.01
Composante élastique liée au VT/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	96 ± 34	105 ± 35	0.02
Composante résistive/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	141 ± 145	149 ± 118	0.62
Composante élastique totale/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	249 ± 76	274 ± 72	0.006
Composante élastique liée au VT et résistive/poids idéal théorique (mJ/min/kg)	237 ± 155	254 ± 133	0.33

Tableau 2. Paramètres ventilatoires et composantes de la puissance mécanique de ventilation (valeurs moyennes sur J1 et J2) entre survivants et non-survivants à J90.

Tableau 4.

Comparaison des différents types de puissance mécanique à la mortalité à J90 en régression logistique :

Valeurs indexées au poids idéal théorique

Variable ventilatoire testée au sein du modèle	Variables du modèle	Odds-ratio (intervalle de confiance à 95%)	p	Aire sous la courbe ROC du modèle
	Composante élastique totale	1.004 (1.001-1.008)	0.02	
Composante composite élastique totale/poids idéal théorique	Age	1.051 (1.032-1.072)	<0.001	0.708
	IGS II sans âge à l'inclusion	1.006 (0.989-1.023)	0.051	
	PaO2/FiO2 à l'inclusion	1.000 (0.992-1.007)	0.94	
	pH à l'inclusion	0.363 (0.019-6.865)	0.50	
	Groupe cisatracurium	1.691 (1.007-2.870)	0.05	
Composante composite élastique et résistive liée au VT/poids idéal théorique	Composante élastique et résistive liée au VT	1.001 (0.999-1.003)	0.34	0.699
	Age	1.049 (1.030-1.070)	<0.001	
	IGS II sans âge à l'inclusion	1.004 (0.987-1.021)	0.67	
	PaO2/FiO2 à l'inclusion	0.998 (0.990-1.005)	0.57	
	pH à l'inclusion	0.122 (0.006-2.276)	0.16	
	Groupe cisatracurium	1.758 (1.038-3.005)	0.04	
	Composante élastique liée au VT	1.010 (1.002-1.017)	0.01	
Composante élastique liée au VT/poids idéal théorique	Age	1.052 (1.033-1.073)	<0.001	0.712
	IGS II sans âge à l'inclusion	1.008 (0.991-1.025)	0.36	
	PaO2/FiO2 à l'inclusion	0.998 (0.990-1.005)	0.56	
	pH à l'inclusion	0.365 (0.019-7.15)	0.51	
	Groupe cisatracurium	1.797 (1.067-3.060)	0.03	
Composante résistive/poids idéal théorique	Composante résistive	1.000 (0.998-1.003)	0.66	0.698
	Age	1.050 (1.030-1.070)	<0.001	
	IGS II sans âge à l'inclusion	1.004 (0.987-1.021)	0.65	
	PaO2/FiO2 à l'inclusion	0.998 (0.990-1.006)	0.62	
	pH à l'inclusion	0.114 (0.006-2.112)	0.15	
	Groupe cisatracurium	1.737 (1.028-2.964)	0.04	

Variable ventilatoire testée au sein du modèle	Odds-ratio (intervalle de confiance à 95%)	p	Aire sous la courbe ROC du modèle
Volume courant	0.996 (0.989-1.004)	0.33	0.706
Volume courant/poids idéal théorique	0.810 (0.557-1.162)	0.26	0.708
Pression plateau	1.115 (1.050-1.189)	<0.001	0.732
Pression motrice	1.096 (1.025-1.175)	<0.01	0.721
Fréquence respiratoire	1.038 (0.988-1.092)	0.14	0.709
Compliance du système respiratoire	0.973 (0.951-0.994)	0.02	0.715

Tableau 5. Comparaison de différents paramètres ventilatoires associés à la mortalité à J90 par régression logistique. Seuls les odds-ratio de la variable ventilatoire testée sont présentés avec leur intervalle de confiance à 95% et leur valeur p. Les co-variables d'ajustement étaient l'âge, l'IGS II sans l'âge à l'inclusion, le rapport PaO₂/FiO₂ à l'inclusion, le pH à l'inclusion et le groupe de randomisation.

Aucune différence sur la performance de prédiction de la mortalité à J90 entre les différents modèles intégrant les différentes variables ventilatoires et les différents types de puissance mécanique (brute ou indexée)

Nombre de jours vivant et sans ventilation mécanique à J90

- Corrélation négative avec tous les types de puissance mécanique (brute ou indexée) à l'exception de la composante résistive
- Corrélation avec tous les paramètres ventilatoires testés à l'exception du V_T et du V_T indexé au poids idéal théorique

DISCUSSION

Forces

- 1^{ère} étude à analyser séparément les différentes composantes de la puissance mécanique
- Patients atteints de SDRA modéré à sévère ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 150$)
- Explore l'hypothèse selon laquelle, à énergie équivalente, chaque type de puissance mécanique a un impact différent en termes de lésions induites par la ventilation :
 - Structures différentes sur lesquelles l'énergie s'exerce ?
 - Absorption et restitution différente de l'énergie ?
- Intérêt de la composante composite élastique totale ?
- Intérêt de la valeur moyenne sur les 2 premiers jours après inclusion

Limites

- Pas de possibilité d'indexation de la puissance mécanique à la surface alvéolaire fonctionnelle
- Pas d'intérêt démontré de l'indexation au poids idéal théorique
- Pas de supériorité démontrée de la puissance mécanique ou de ses composantes sur la prédiction de la mortalité à J90 par rapport à des variables ventilatoires plus classiques
- Puissance mécanique basée sur l'idée d'une compliance linéaire aux volumes et pressions considérés
- Analyse secondaire d'un seul essai contrôlé randomisé
- Valeurs moyennes sur les 2 premiers jours après inclusion : exclusion des décès précoces

CONCLUSION

Chez des patients atteints de SDRA avec rapport $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 150$ analysés dans le cadre de l'essai ACURASYS :

- La **puissance mécanique totale** n'était pas associée à la mortalité à J90
- Seule la **composante principale élastique liée au VT** était associée à la mortalité à J90
- La **composante composite élastique totale** était associée à la mortalité à J90
- La puissance mécanique ou ses composantes (brutes ou indexées au poids idéal théorique) n'étaient pas supérieure à certains paramètres ventilatoires classiques pour prédire la mortalité à J90

$$P_{aw} - \dot{P}_{pl})$$

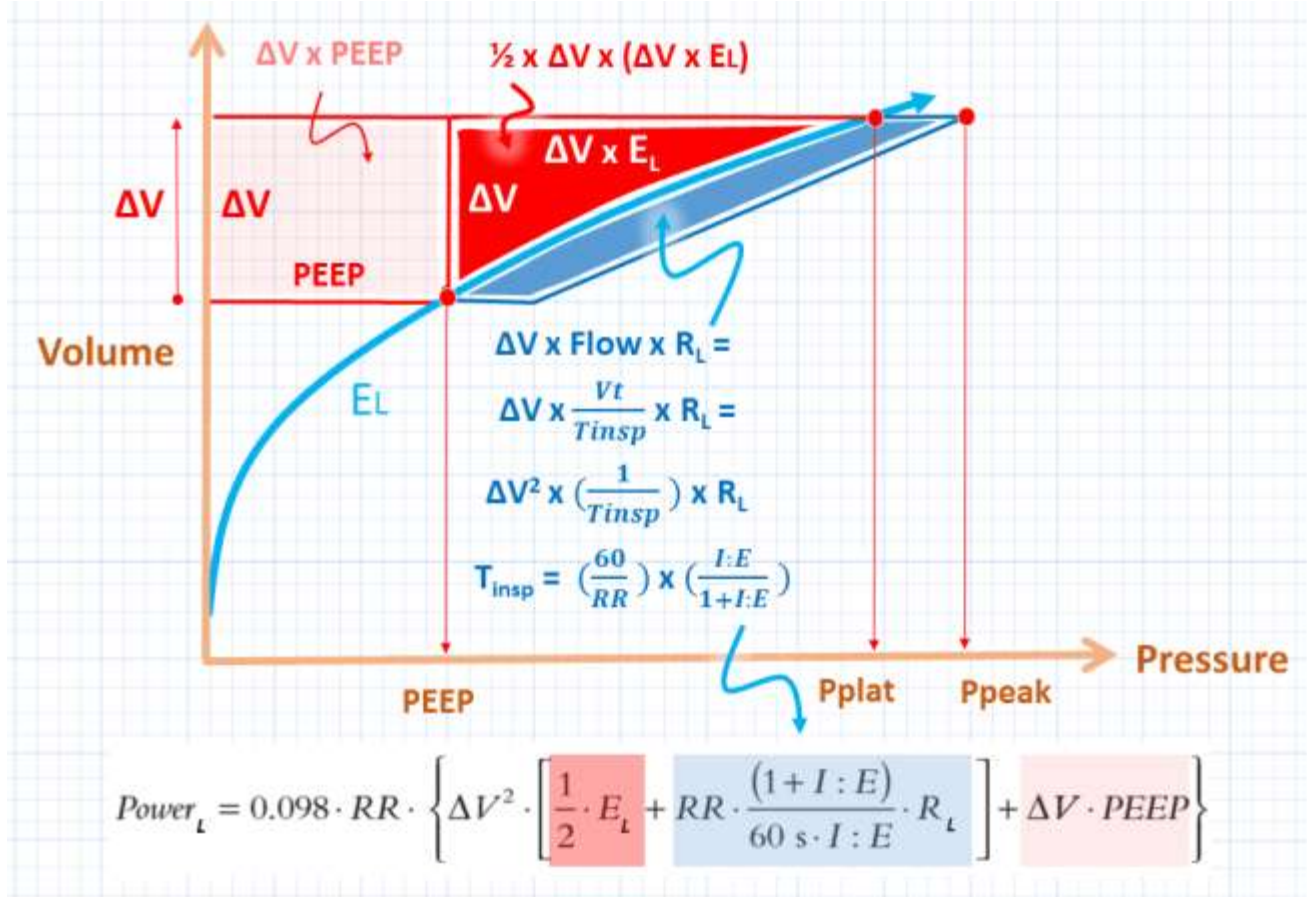
$$P_L = E_{Lspec} \cdot \frac{\Delta V}{FRC}$$

$$Stress = E_{Lspec} \cdot Strain$$

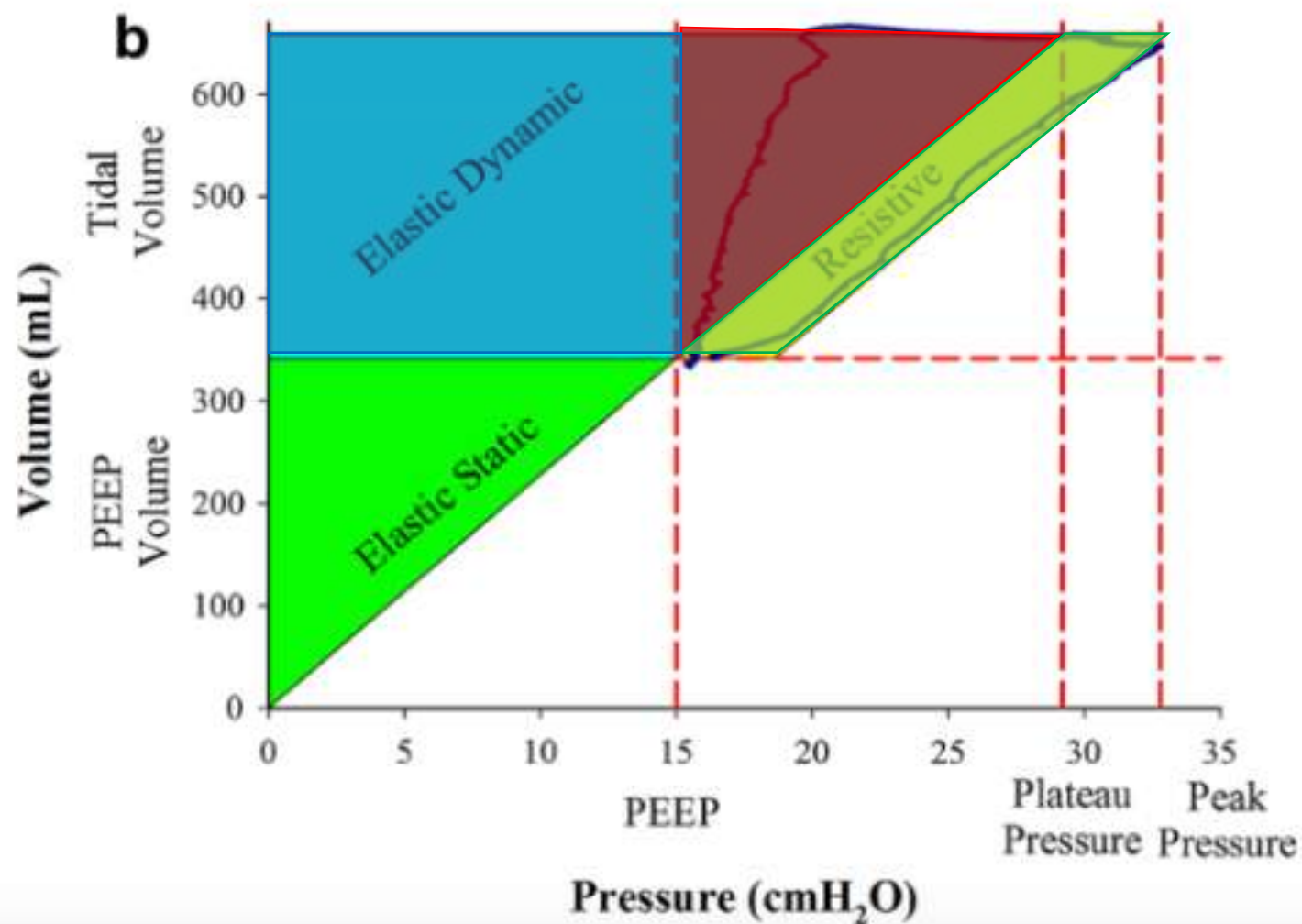
$$Barotrauma = k \cdot Volutrauma$$

- Baby lung $\rightarrow$ rapport puissance / capacité





Mechanical power equation



ENERGIE PAR CYCLE :

$$\Delta V \cdot \Delta P \cdot \frac{1}{2}$$

Composantes principales :

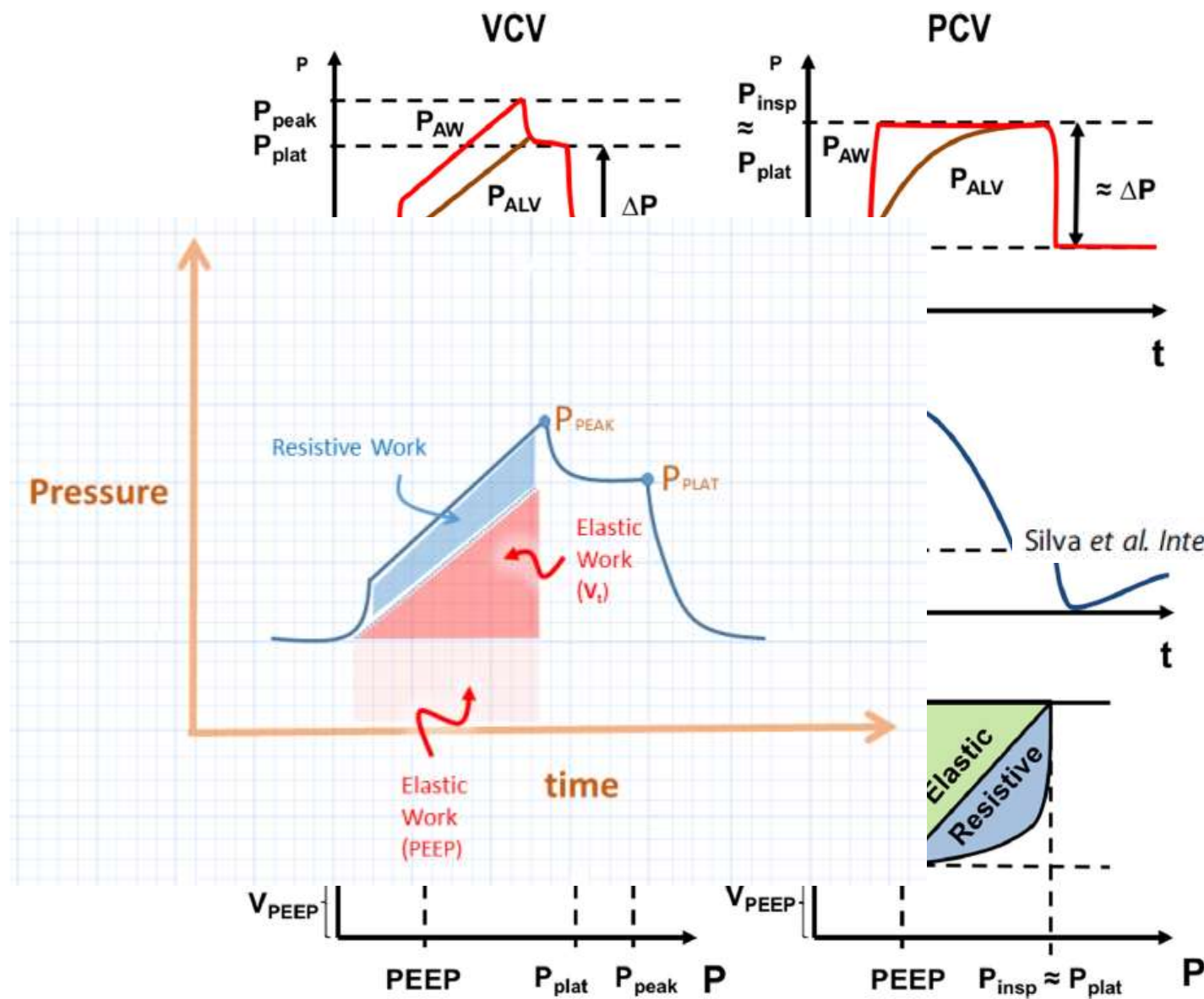
- + $\Delta V \cdot (P_{Pic} - P_{Plat})$
 - Elastique liée à la PEEP
- Elastique liée au volume courant
- + $\Delta V \cdot PEEP$
 - Résistive

Composantes composites :

- ↔ $\Delta V \cdot (\Delta P \cdot \frac{1}{2} + (P_{Pic} - P_{Plat}) \cdot PEEP)$
 - Elastique totale (élastique liée à la PEEP et élastique liée au volume courant)
- Elastique liée au volume courant et résistive

PUISSANCE MECANIQUE TOTALE (J/min) :

$$0,098 \cdot FR \cdot \Delta V \cdot (PEEP + \Delta P \cdot \frac{1}{2} + (P_{Pic} - P_{Plat}))$$



Silva et al. Intensive Care Medicine Experimental 2019, 7(Suppl 1):38

Fig. 5 Mechanical power during volume- and pressure-controlled ventilation. Top panels represent the typical pressure-time curve of these two controlled ventilation modes; middle panels, the flow-time curves; and bottom panels, the weight of different power components in the two ventilation modes. VCV, volume-controlled ventilation; PCV, pressure-controlled ventilation

Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury?

Pedro Leme Silva¹, Lorenzo Ball^{2,3}, Patricia R. M. Rocco^{1*}  and Paolo Pelosi^{2,3}

power per ventilated lung unit,

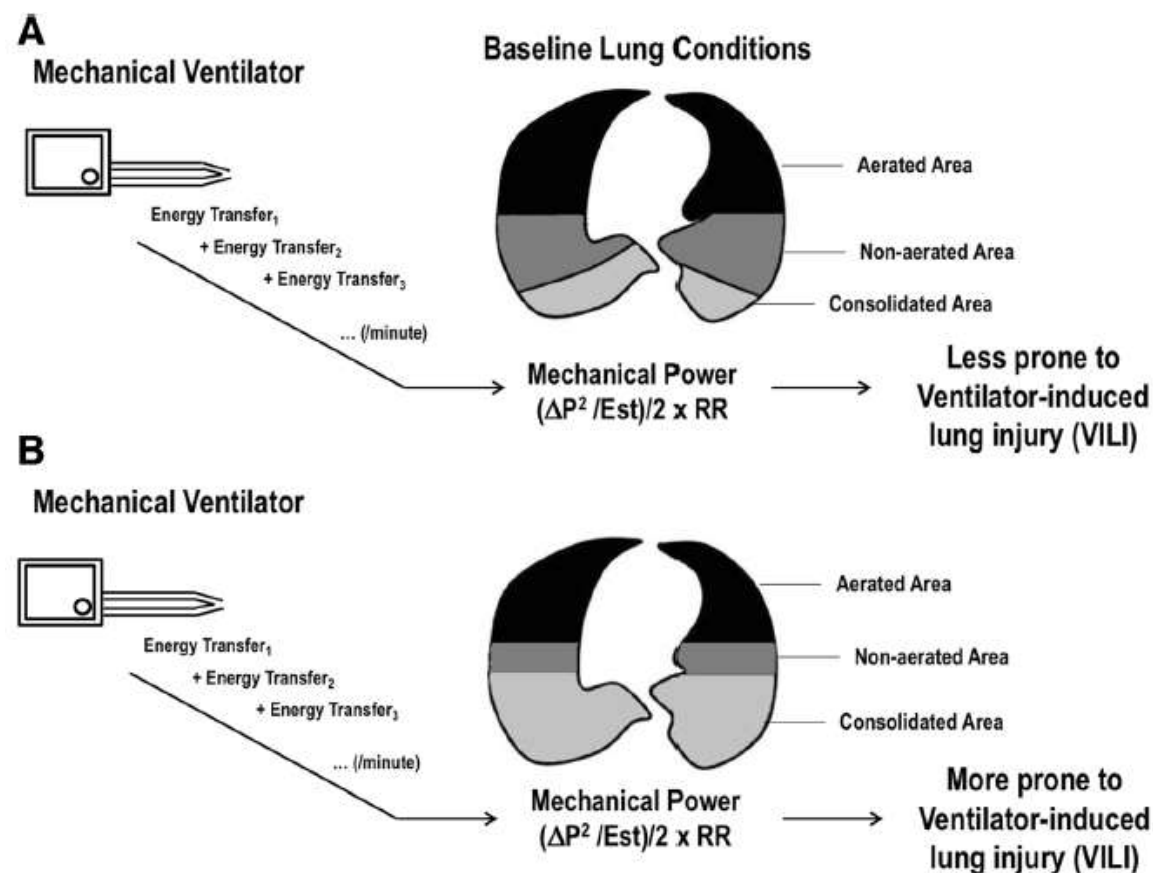


Fig. 4 a, b Interaction of a given mechanical power with baseline lung conditions. If the lung surface (encompassing both aerated and non-aerated areas) able to accommodate the energy transfer is high, VILI is less likely to occur. On the other hand, if the lung surface is low, VILI is more likely to develop for the same mechanical power delivered by the mechanical ventilator

Les concepts Stress Strain

Static and Dynamic Contributors to VILI in Clinical Practice: Pressure,
Energy, and Power

John J Marini^{1*}, Patricia R.M. Rocco², Luciano Gattinoni³

AJRCCM Articles in Press. Published on 30-October-2019 as 10.1164/rccm.201908-1545CI

To cause damage, a pressure must be paired with a volume change. More specifically, the damaging factor is the pressure applied directly to the lung (i.e. transpulmonary pressure) (stress) coupled to the associated change of lung volume relative to resting volume (strain)(14)

$$\textit{Stress} = E_{Lspec} \cdot \textit{Strain}$$

$$\textit{Barotrauma} = k \cdot \textit{Volutrauma}$$

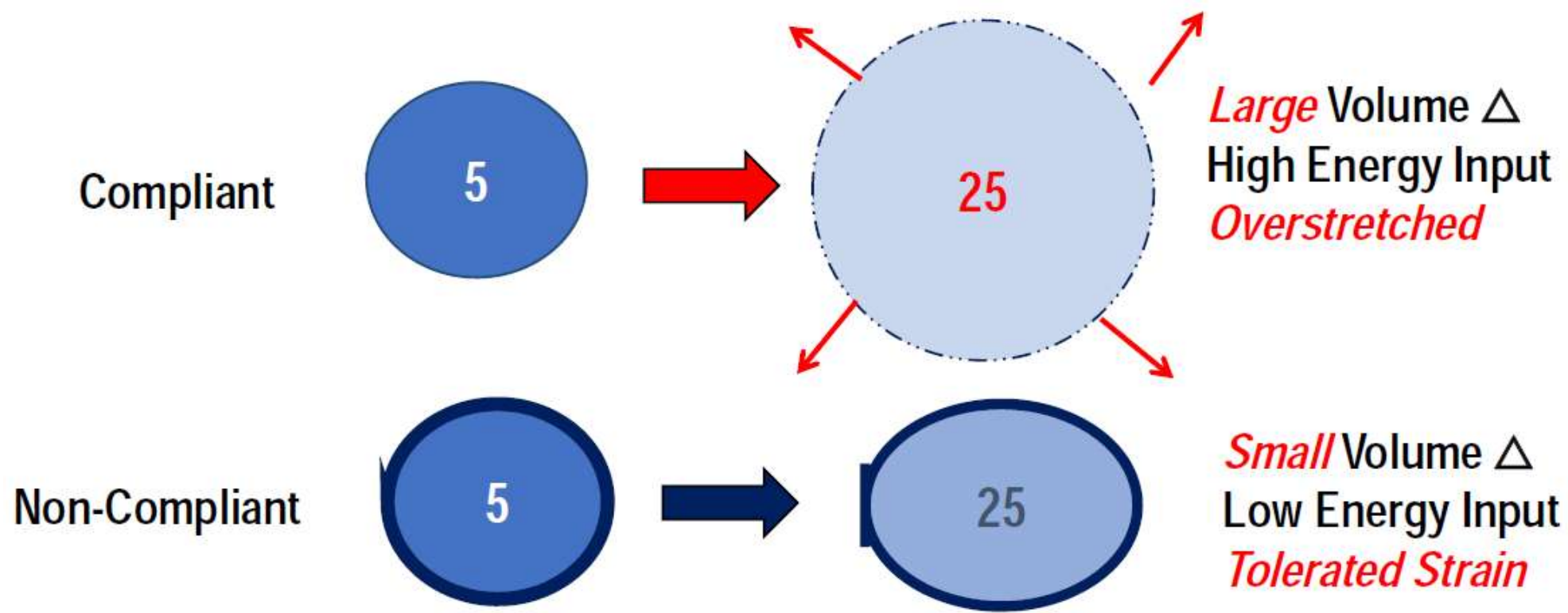


Figure 2. Potential importance of compliance to consequences of driving pressure on injuring strain. Damage from a given driving pressure depends jointly on associated lung unit compliance and delivered energy. In this example, the same driving pressure of 20 cmH₂O overstretches the compliant alveolus (top), whereas the less compliant alveolus undergoes less volume change and tolerates the associated strain. Open units of varying specific compliance are embedded in different zones within the same injured ‘baby lung’.

zaho

To scale externally measured power to the reduced size of the baby lung, one suggested co-factor is to multiply measured power by the ratio of predicted to observed tidal compliance: C_{pred}/C_{obs} (33).

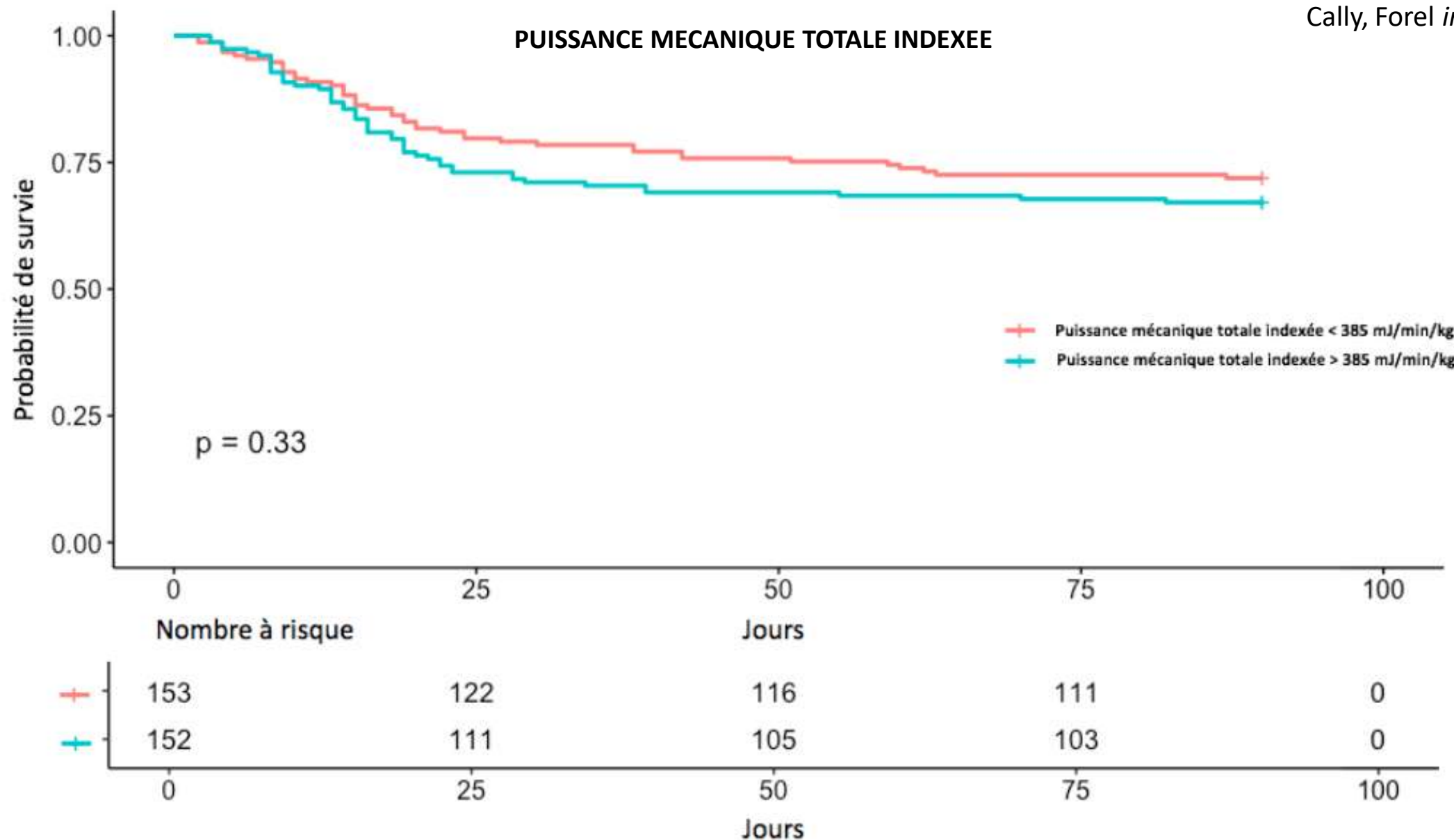


Figure 2a. Courbe de Kaplan-Meier représentant la probabilité de survie à J90 en fonction de la valeur médiane de la puissance mécanique totale indexée au poids idéal théorique. Les groupes ont été comparés par le test du log rank.