

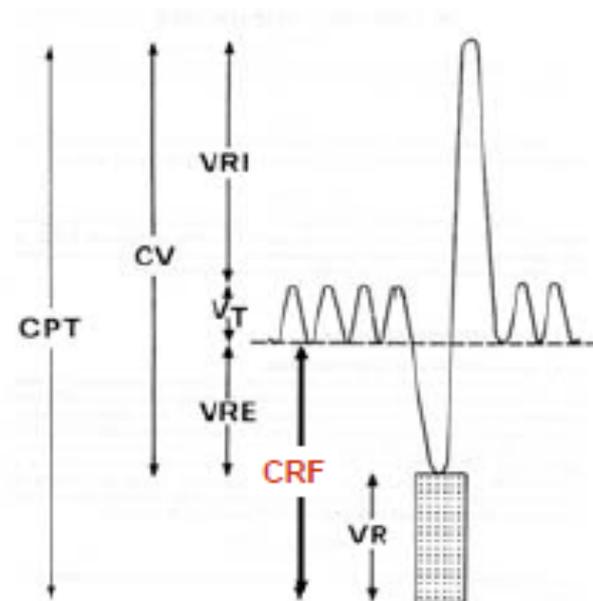
# La mesure de la CRF au lit du patient

**Bernard Lambermont**  
**CHU Sart Tilman**

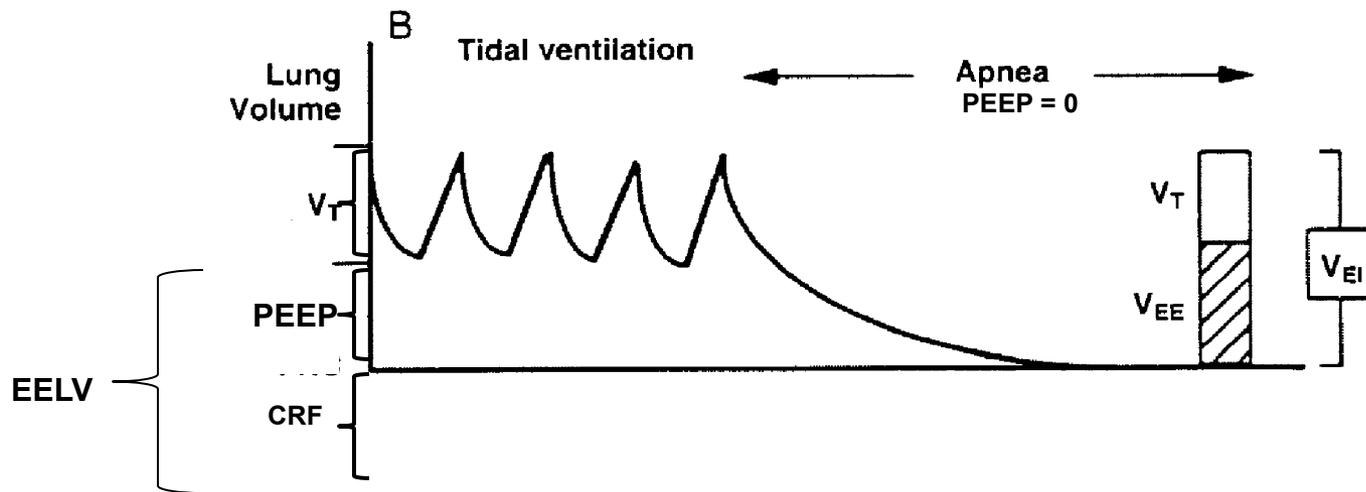
# La CRF

## Les volumes pulmonaires

- **Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)** = volume pulmonaire en fin d'expiration normale
- CRF = **volume pulmonaire «de repos»**
- $CRF = VR + VRE$
- Mesurée de façon indirecte
- Adulte au repos  $\approx 2\ 000$  ml

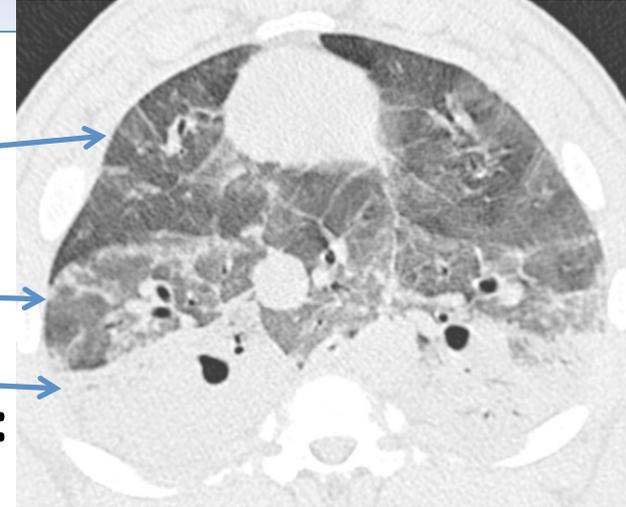


# CRF et volume de fin d'expiration (EELV)



# La notion de baby lung dans l'ARDS

- **Trois types de zone dans l'ARDS:**
    - Zones aérées
    - Zones faiblement aérées
    - Zones non aérées
  - **La quantité de tissu non aéré est corrélée à:**
    - l'hypoxémie
    - au shunt
    - à l'HTAP
  - **La quantité de tissu aéré est corrélée:**
    - à la compliance pulmonaire (notion de compliance pulmonaire spécifique)
- => Le volume pulmonaire aéré et le volume non aéré mais recrutable deviennent donc les enjeux de la ventilation dans l'ARDS**



# Méthodes de mesure

- Pléthysmographie (1965): impossible en réa...
- Dilution de traceur (Hélium): nécessite un système clos et du rebreathing -> complexe. Déconnection du respi => risque de dérecrutement
- Scanner: précis (air piégé), lourd logistiquement, irradiation, pas de mesures répétées.
- Washin-washout (azote, oxygène, SF6,...): mesure uniquement le volume aéré accessible (< plethysmo ou scan), nécessite un changement de  $FiO_2$

# Modalités de mesure sur l'Engström Care Station°

- Mesure basée sur la méthode de washin-washout de l'azote:
  - Rendue possible par l'analyse breath/breath du CO<sub>2</sub> et de l'O<sub>2</sub>
  - Nécessite un changement de 10% de FiO<sub>2</sub>
- Mesure unique ponctuelle ou répétée
- Peep in view



# Limitations de cette méthode de mesure

- $FiO_2$  entre 0.4 et 0.65 pour des résultats optimaux
- Tachypnée ou pattern respiratoire irrégulier:
  - Grandes variations des volumes courants
  - Fortes fièvres
  - Agitation
  - Conditions neurologiques altérant la respiration

# Valeurs normales

	Type de mesure	CRF		
		ARDS		non ARDS
Malbuisson 2001	Scanner	733 ± 390		
Gattinoni 2006	Scanner	1102 ± 609		2382 ± 1214
Rouby 2000	Scanner	Lobaire: 1314 ± 394 Diffus: 553 ± 237		2085 ± 537
Chiumello 2008	Helium	1013 ± 593		1715 ± 734
		<b>Volume pulmonaire de fin d'expiration</b>		
Patroniti 2008	Washin washout O2	1750 ± 480		3750 ± 830
Olegard 2005	Washin washout N2			2578 ± 1055

$$\text{CRF} = (2.34 \times \text{taille (m)}) + (\text{\AA}ge \times 0.0.1) - 1.09$$

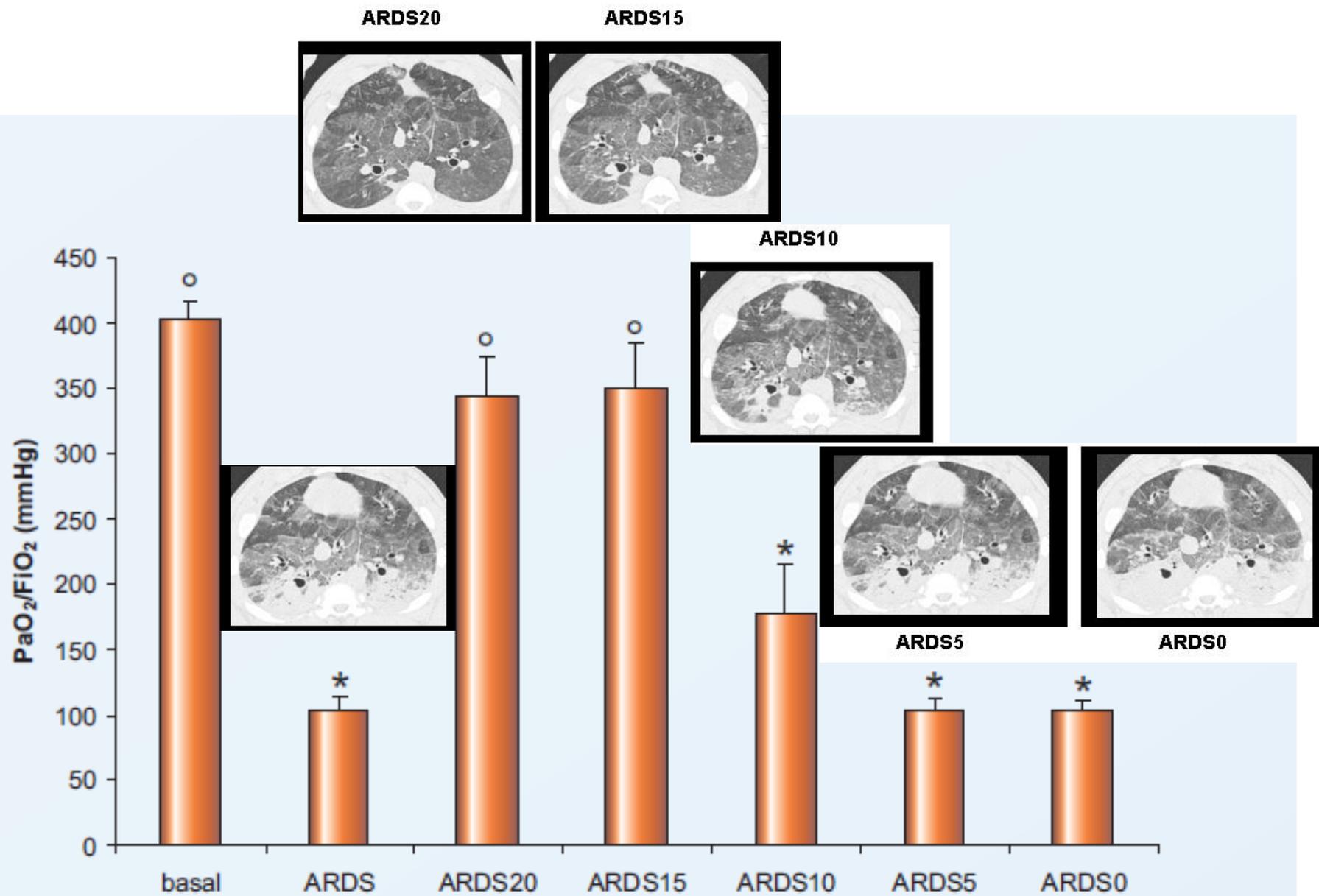
# Facteurs influençant la CRF

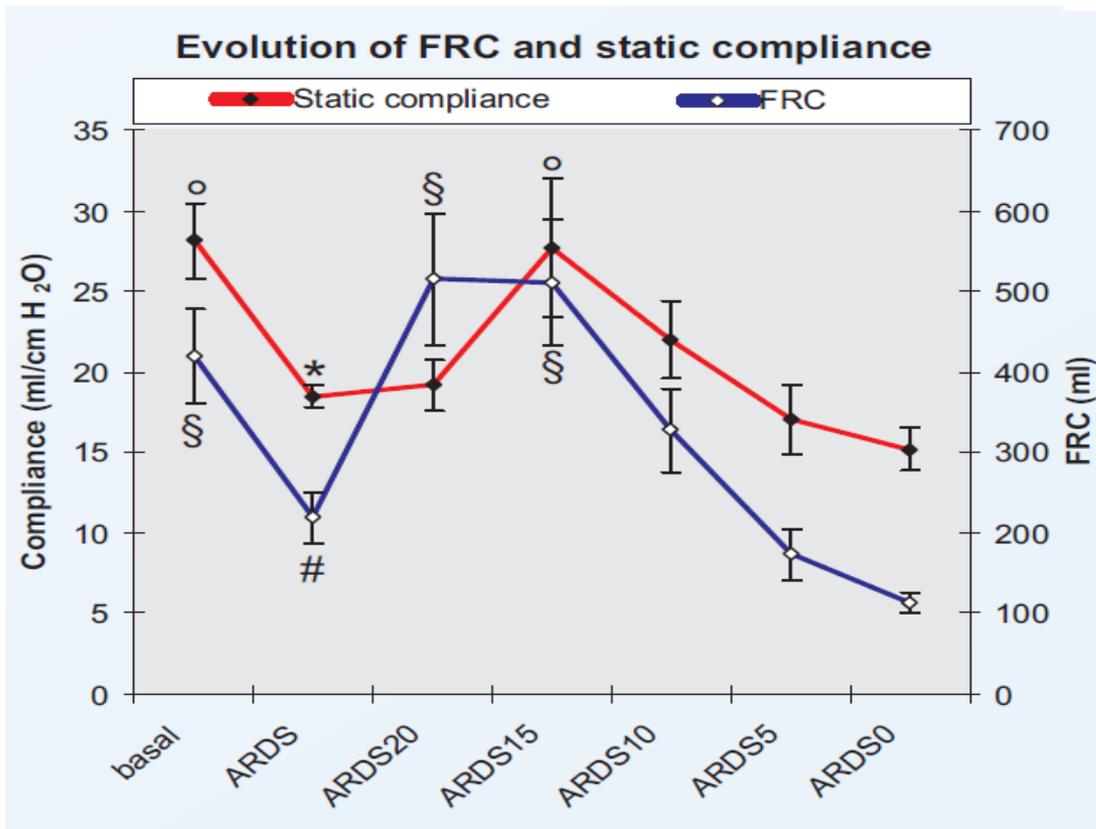
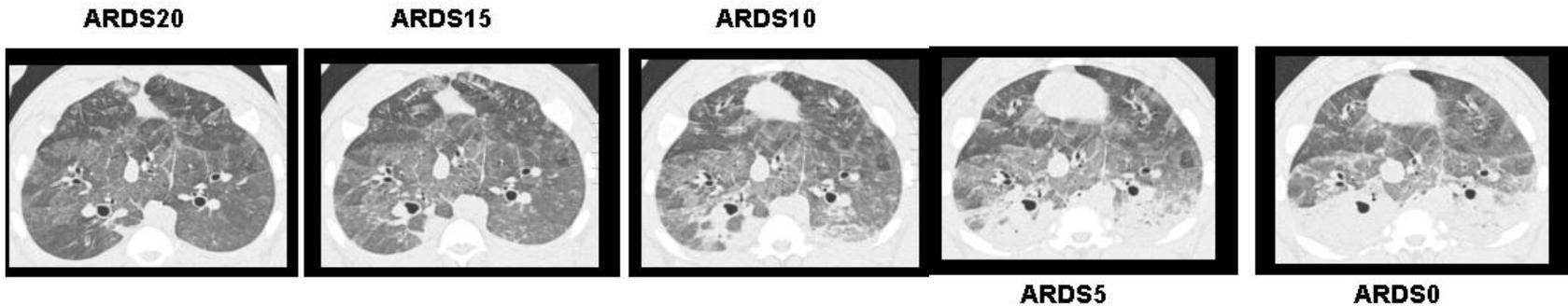
- Augmentation:
  - Hyperinflation, emphysème, asthme, âge
  - Manœuvres de recrutement ou PEEP (notion de EELV)
  - Prone position (variable)
- Diminution:
  - Syndrome restrictif, obésité
  - position couchée (-25%), anesthésie, chirurgie abdominale ou thoracique, douleur post-opératoire
  - ARDS, atélectasie, pneumothorax, pneumonie
  - Hypertension intra-abdominale

## **Comparison of functional residual capacity and static compliance of the respiratory system during a positive end-expiratory pressure (PEEP) ramp procedure in an experimental model of acute respiratory distress syndrome**

Bernard Lambermont<sup>1,2</sup>, Alexandre Ghuysen<sup>1,3</sup>, Nathalie Janssen<sup>1,3</sup>, Philippe Morimont<sup>1,2</sup>, Gary Hartstein<sup>3</sup>, Paul Gerard<sup>1,4</sup> and Vincent D'Orio<sup>1,3</sup>

- Effets de l'ARDS expérimental sur la CRF
- Effets de la PEEP sur la CRF
- Intérêt de la mesure de la CRF pour régler la PEEP





L'augmentation de la CRF liée à la PEEP peut être due soit à un recrutement soit à une surdistension: l'évolution de la compliance peut aider à discriminer ces deux phénomènes.

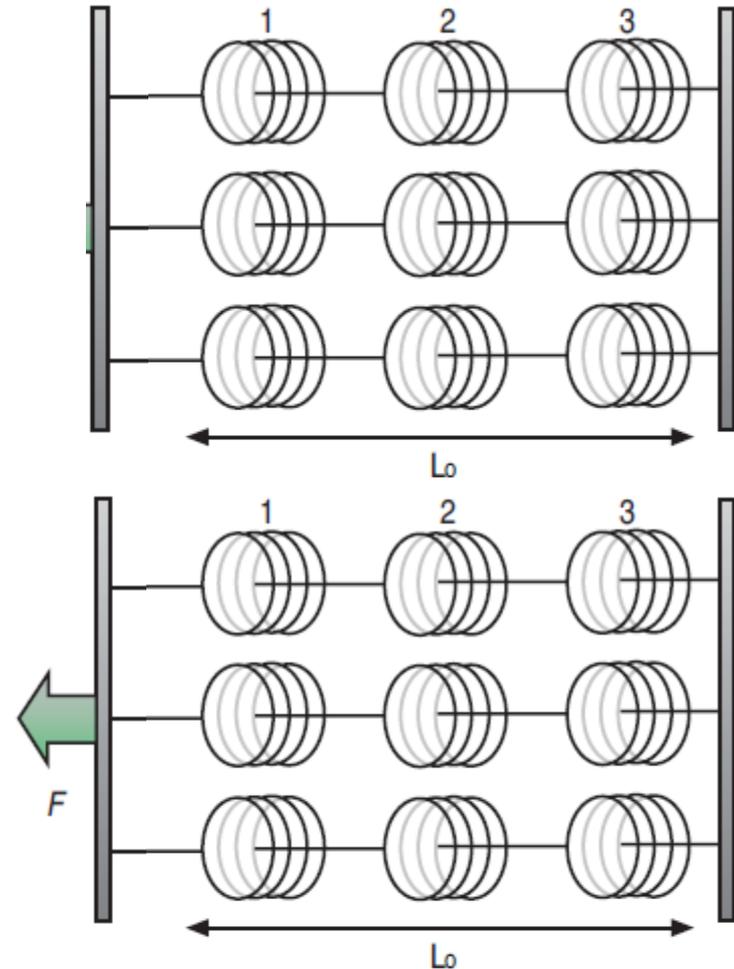
**Positive end-expiratory pressure**

Luciano Gattinoni<sup>a,b</sup>, Eleonora Carlesso<sup>b</sup>, Luca Brazzi<sup>a,b</sup> and Pietro Caironi<sup>a,b</sup>

- La mesure de la CRF permet de caractériser la sévérité de l'atteinte pulmonaire et de suivre son évolution, d'identifier les patients répondeurs aux manœuvres de recrutement ou au changement de position, de quantifier le recrutement lors de manœuvre de recrutement ou de l'application d'une PEEP, de détecter un dérecrutement
- Utilisée seule elle ne permet pas d'identifier la surdistension alvéolaire

# Le stress et le strain pulmonaires

$F = \text{pression transpulmonaire}$   
 $= P_{\text{plat}} - P_{\text{oeso}}$   
 $\Rightarrow \text{Stress pulmonaire}$

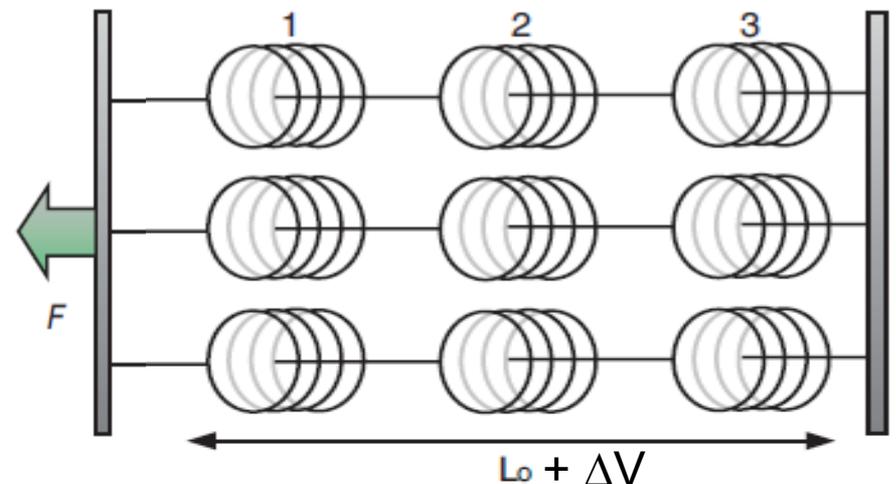
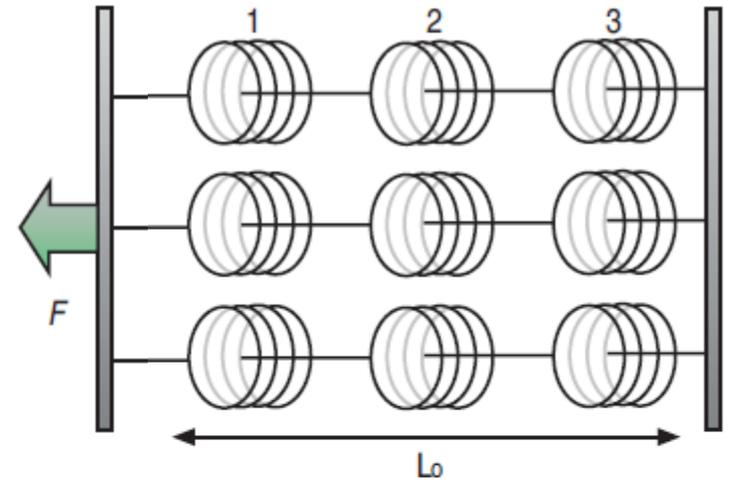
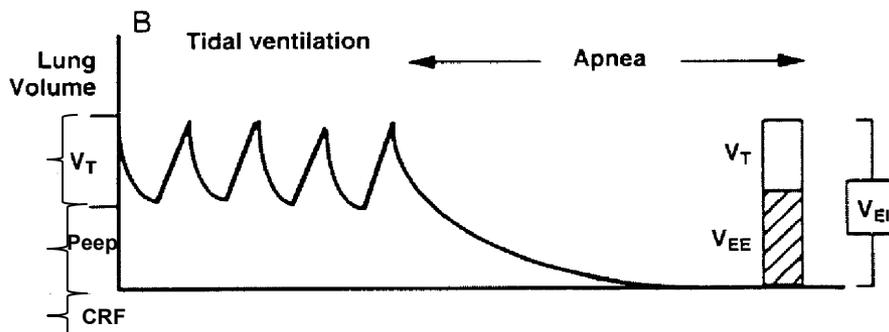


# Le stress et le strain pulmonaires

$F$  = pression transpulmonaire  
 $\Rightarrow$  Stress pulmonaire

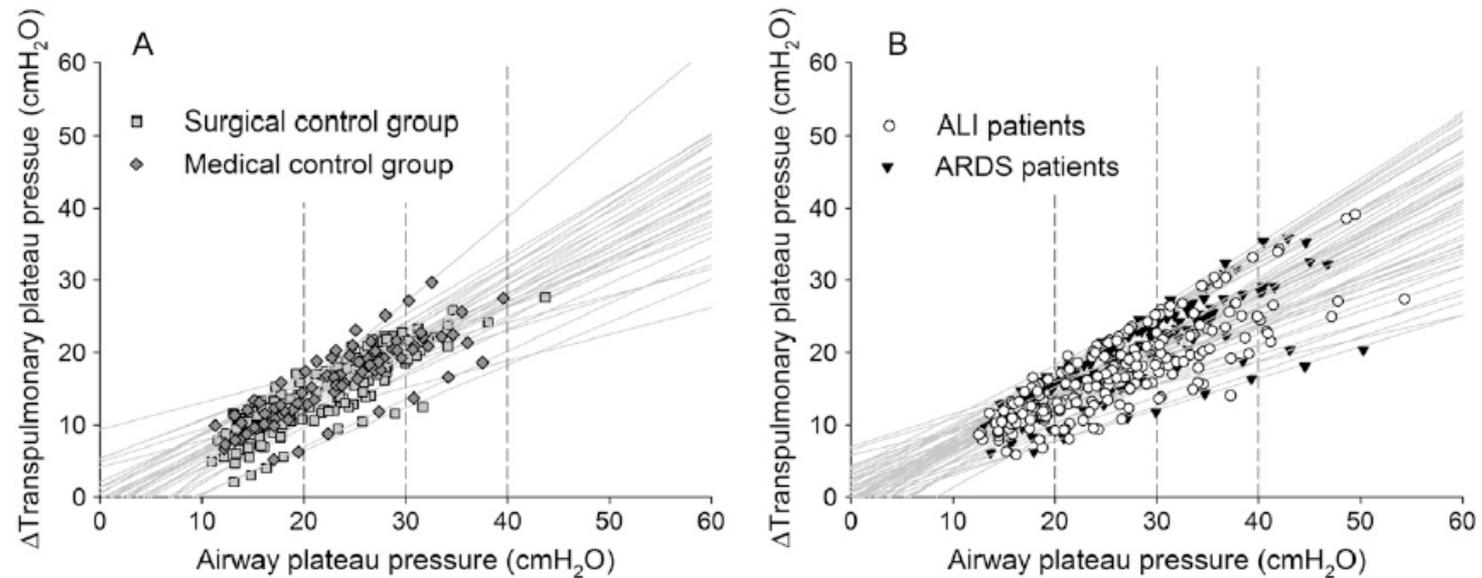
$\Rightarrow$  Strain: déformation  
 $= \Delta V$  (Vol tidal+Vol PEEP)/CRF( $L_0$ )

Stress =  $k \times$  Strain



# Lung Stress and Strain during Mechanical Ventilation for Acute Respiratory Distress Syndrome

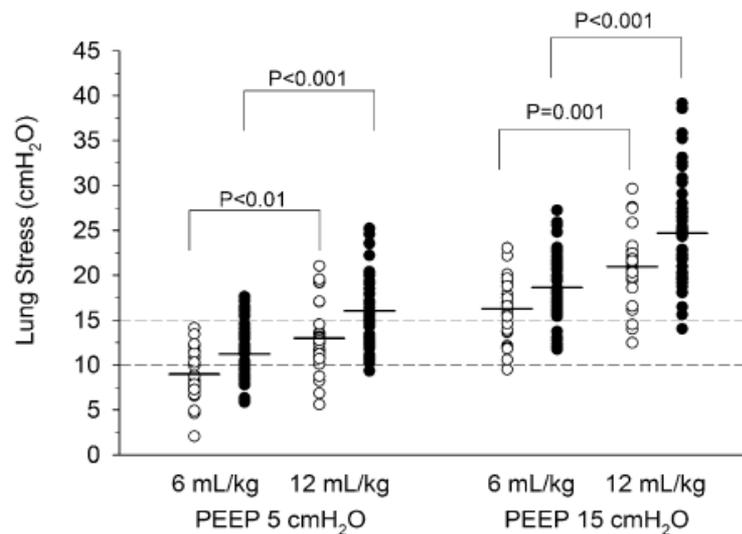
Davide Chiumello<sup>1</sup>, Eleonora Carlesso<sup>2</sup>, Paolo Cadringer<sup>2</sup>, Pietro Caironi<sup>1,2</sup>, Franco Valenza<sup>1,2</sup>, Federico Polli<sup>2</sup>, Federica Tallarini<sup>2</sup>, Paola Cozzi<sup>2</sup>, Massimo Cressoni<sup>2</sup>, Angelo Colombo<sup>1</sup>, John J. Marini<sup>3</sup>, and Luciano Gattinoni<sup>1,2</sup>



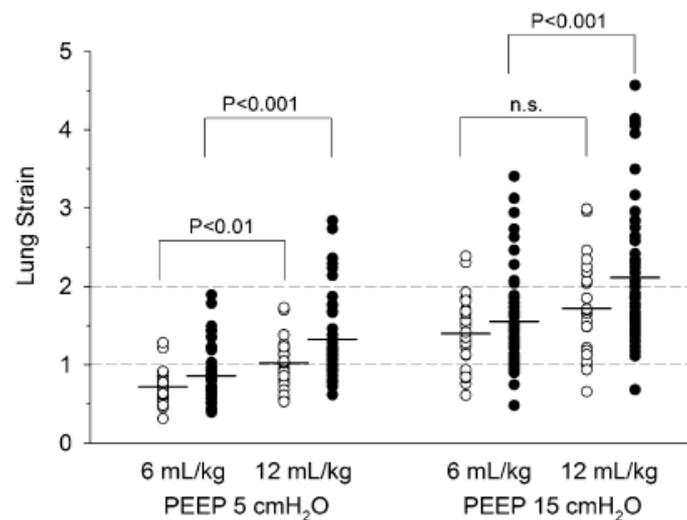
**Figure 4.**  $\Delta$ Transpulmonary and airway pressure relationship in surgical control subjects, medical control subjects, patients with acute lung injury (ALI) and patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS). (A) The  $\Delta$ transpulmonary to airway pressure relationship in 30 control subjects, and (B) the  $\Delta$ transpulmonary to airway pressure relationship in 50 patients with ALI/ARDS. In both panels, *gray solid lines* represent the relationship observed in each individual subjects in the eight experimental conditions (i.e., four different  $V_T$  [6, 8, 10, 12 ml/kg idea body weight]), at two different positive end-expiratory pressure (PEEP) levels (5 and 15 cm H<sub>2</sub>O). A linear function ( $y = ax + y_0$ ) was used. *Vertical dashed lines* at 20, 30, and 40 cm H<sub>2</sub>O airway pressure were drawn to underline the large variability of the corresponding  $\Delta$ transpulmonary pressure both in control subjects and patients.

# Lung Stress and Strain during Mechanical Ventilation for Acute Respiratory Distress Syndrome

Davide Chiumello<sup>1</sup>, Eleonora Carlesso<sup>2</sup>, Paolo Cadringer<sup>2</sup>, Pietro Caironi<sup>1,2</sup>, Franco Valenza<sup>1,2</sup>, Federico Polli<sup>2</sup>, Federica Tallarini<sup>2</sup>, Paola Cozzi<sup>2</sup>, Massimo Cressoni<sup>2</sup>, Angelo Colombo<sup>1</sup>, John J. Marini<sup>3</sup>, and Luciano Gattinoni<sup>1,2</sup>



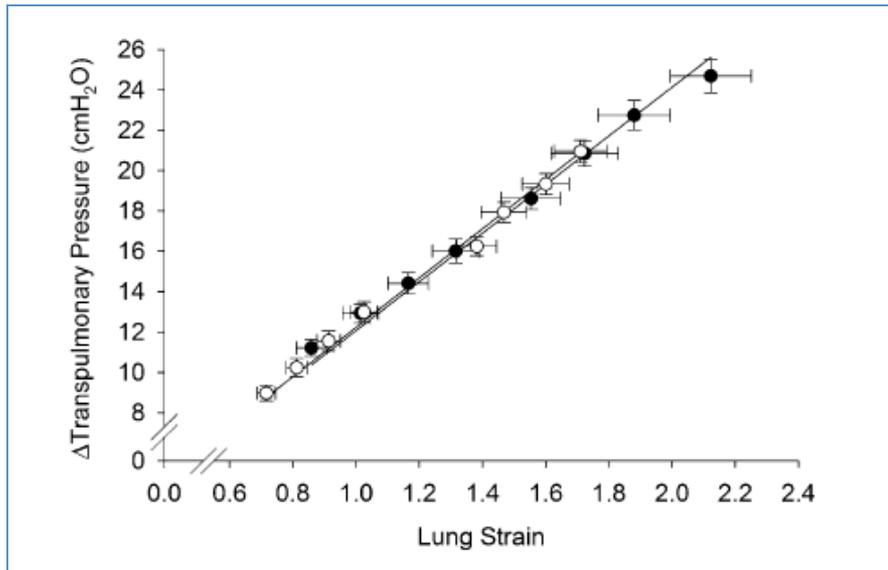
**Figure 5.** Lung stress at 6 and 12 ml/kg V<sub>T</sub> IBW in patients with acute lung injury (ALI) or acute respiratory distress syndrome (ARDS) and control subjects. For clarity, surgical and medical control subjects were grouped together as were the patients with ALI and ARDS (see the online supplement for further details). Individual values of lung stress detected in patients with ALI/ARDS (solid circles) and in control subjects (open circles) are reported, both at 6 and 12 ml/kg V<sub>T</sub> IBW with positive end-expiratory pressure (PEEP) of 5 and 15 cm H<sub>2</sub>O. Black solid lines represent mean values of each group. Dashed lines were drawn at lung stress of 10 and 15 cm H<sub>2</sub>O to underline the overlap of lung stress at different V<sub>T</sub> IBW and PEEP.



**Figure 6.** Lung strain at 6 and 12 ml/kg V<sub>T</sub> IBW in patients with acute lung injury (ALI) or acute respiratory distress syndrome (ARDS) and control subjects. For clarity, surgical and medical control subjects were grouped together as were the patients with ALI and ARDS (see the online supplement for further details). Individual values of lung strain detected in patients with ALI/ARDS (solid circles) and in control subjects (open circles) are reported, both at 6 and 12 ml/kg V<sub>T</sub> IBW with positive end-expiratory pressure (PEEP) of 5 and 15 cm H<sub>2</sub>O. Black solid lines represent mean values of each group. Dashed lines were drawn at lung strain of 1 and 2 to underline the overlap of lung strain at different V<sub>T</sub> IBW and PEEP.

# Lung Stress and Strain during Mechanical Ventilation for Acute Respiratory Distress Syndrome

Davide Chiumello<sup>1</sup>, Eleonora Carlesso<sup>2</sup>, Paolo Cadringer<sup>2</sup>, Pietro Caironi<sup>1,2</sup>, Franco Valenza<sup>1,2</sup>, Federico Polli<sup>2</sup>, Federica Tallarini<sup>2</sup>, Paola Cozzi<sup>2</sup>, Massimo Cressoni<sup>2</sup>, Angelo Colombo<sup>1</sup>, John J. Marini<sup>3</sup>, and Luciano Gattinoni<sup>1,2</sup>



- Stress =  $E_{Lspec} \times \text{Strain}$   
 $\Rightarrow P_{transpulm} = E_{Lspec} \times \Delta V / CRF$   
 $\Rightarrow E_{Lspec} = P_{transpulm} / (\Delta V / CRF)$   
 $= 13.5 \text{ cm H}_2\text{O}$

# Lung Stress and Strain during Mechanical Ventilation for Acute Respiratory Distress Syndrome

Davide Chiumello<sup>1</sup>, Eleonora Carlesso<sup>2</sup>, Paolo Cadringer<sup>2</sup>, Pietro Caironi<sup>1,2</sup>, Franco Valenza<sup>1,2</sup>, Federico Polli<sup>2</sup>, Federica Tallarini<sup>2</sup>, Paola Cozzi<sup>2</sup>, Massimo Cressoni<sup>2</sup>, Angelo Colombo<sup>1</sup>, John J. Marini<sup>3</sup>, and Luciano Gattinoni<sup>1,2</sup>

- Ni la pression plateau ni le volume courant ne sont des bons prédicteurs du stress et du strain pulmonaire -> principaux déterminants des lésions pulmonaires induites par la ventilation

⇒ Stress = **Esp** (specific lung elastance) x Strain

## Objectifs de la ventilation protectrice:

⇒ Strain max: < 2

- Stress = 13.5 x strain

⇒ Stress max: ± 27 cmH<sub>2</sub>O

- Vu la relation qui unit stress et strain, en pratique clinique mesurer l'un ou l'autre est équivalent:

$$\text{Strain} = \Delta V (\text{Vol tidal} + \text{Vol PEEP}) / \text{CRF}$$

⇒ Stress et strain nouveaux garde-fou de la ventilation protectrice?

# Conclusions

- La mesure de la CRF au lit du patient peut être aisément réalisée sous certaines conditions
- Quelle en est l'utilité réelle?
  - Caractérisation des patients, sévérité de l'atteinte
  - Suivi évolution pathologie
  - Identification des patients répondeurs aux manœuvres de recrutement ou changement de position et leur effet temps-dépendant
  - Indication du dérecrutement
  - Réglage optimal de la PEEP
  - Aide à la ventilation protectrice (stress et strain)

## **MAIS:**

- ne permet pas d'identifier la surdistension doit être utilisé avec d'autres indices
- impossible si  $FiO_2 = 1$
- impossible si pattern respiratoire instable