



**Στρογγυλή Τράπεζα
«Επεμβατικός Μηχανικός Αερισμός»
Παρασκευή 31.5.2019**

**«Εφαρμογή ΕΜΑ. Παθοφυσιολογική προσέγγιση:
Αποφρακτικές, περιοριστικές διαταραχές. Η
ιδιαιτερότητα του ARDS »**

 **ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΠΕΛΛΑΣ**
Νοσοκομειακή Μονάδα Γιαννιτσών



Δ. Λαγονίδης MD, PhD
Πνευμονολόγος-Εντατικολόγος
ΜΕΘ –Εργαστήριο Ύπνου
Γενικό Νοσοκομείο Γιαννιτσών

Applied respiratory physiology

The equation of motion

ASSISTED
MODE



$$P_{tot} = P_{aw} + P_m = R.V' + E.\Delta V + PEEP + PEEP_i,$$

Resistive load

Elastic load

Elastic load

Respiratory
muscle Pressure

Airway Pressure

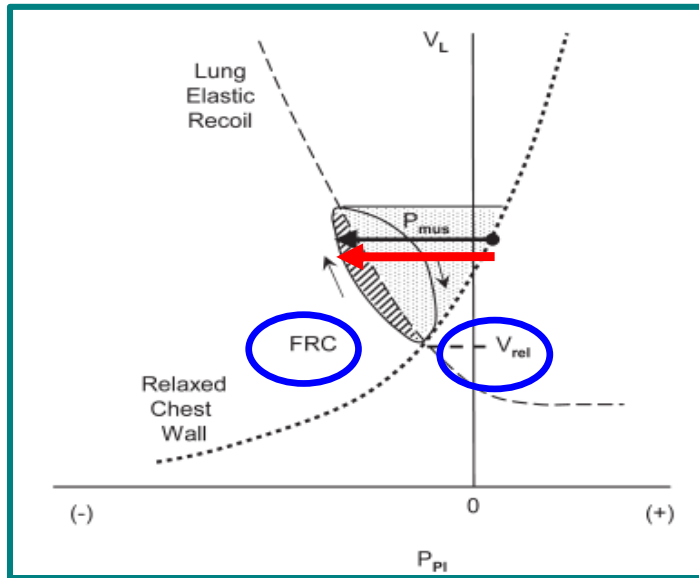
CONTROLLED
MODE



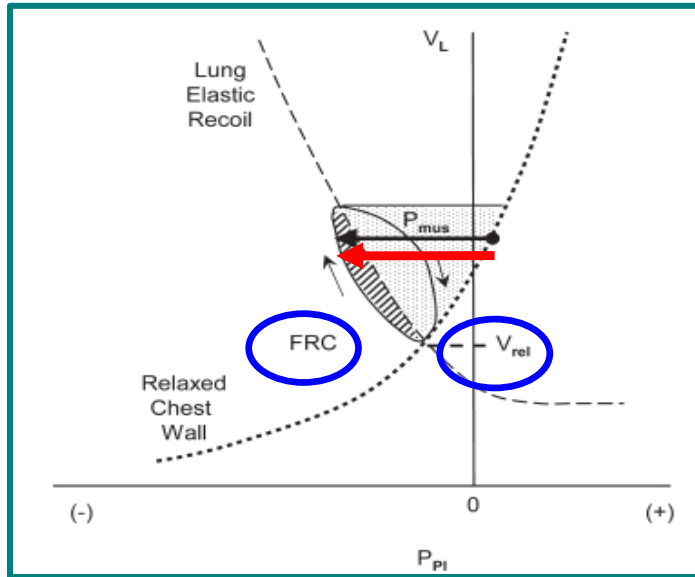
$$P_{tot} = P_{aw} = R.V' + E.\Delta V + PEEP + PEEP_i,$$

ΑΠΟΦΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΧΑΠ- ΑΣΘΜΑ

Φυσιολογικό άτομο

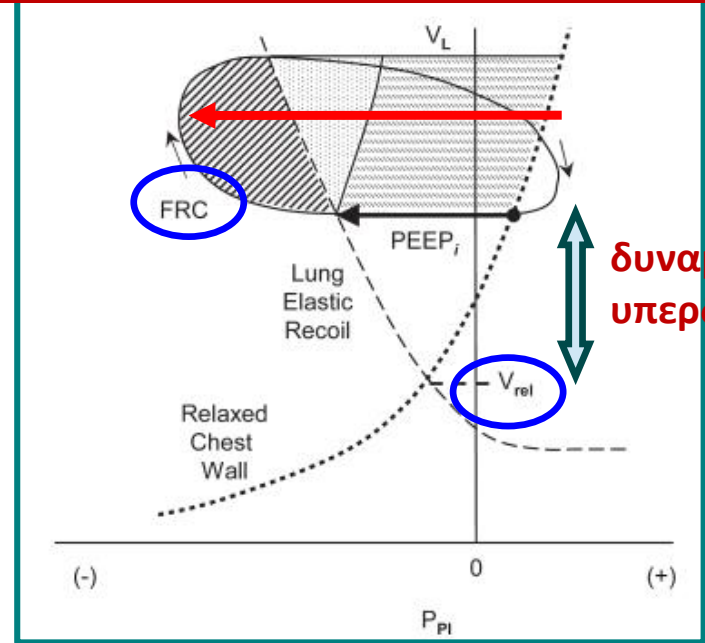


Φυσιολογικό άτομο



Ασθενής με ΧΑΠ

Περιορισμός εκπνευστικής ροής



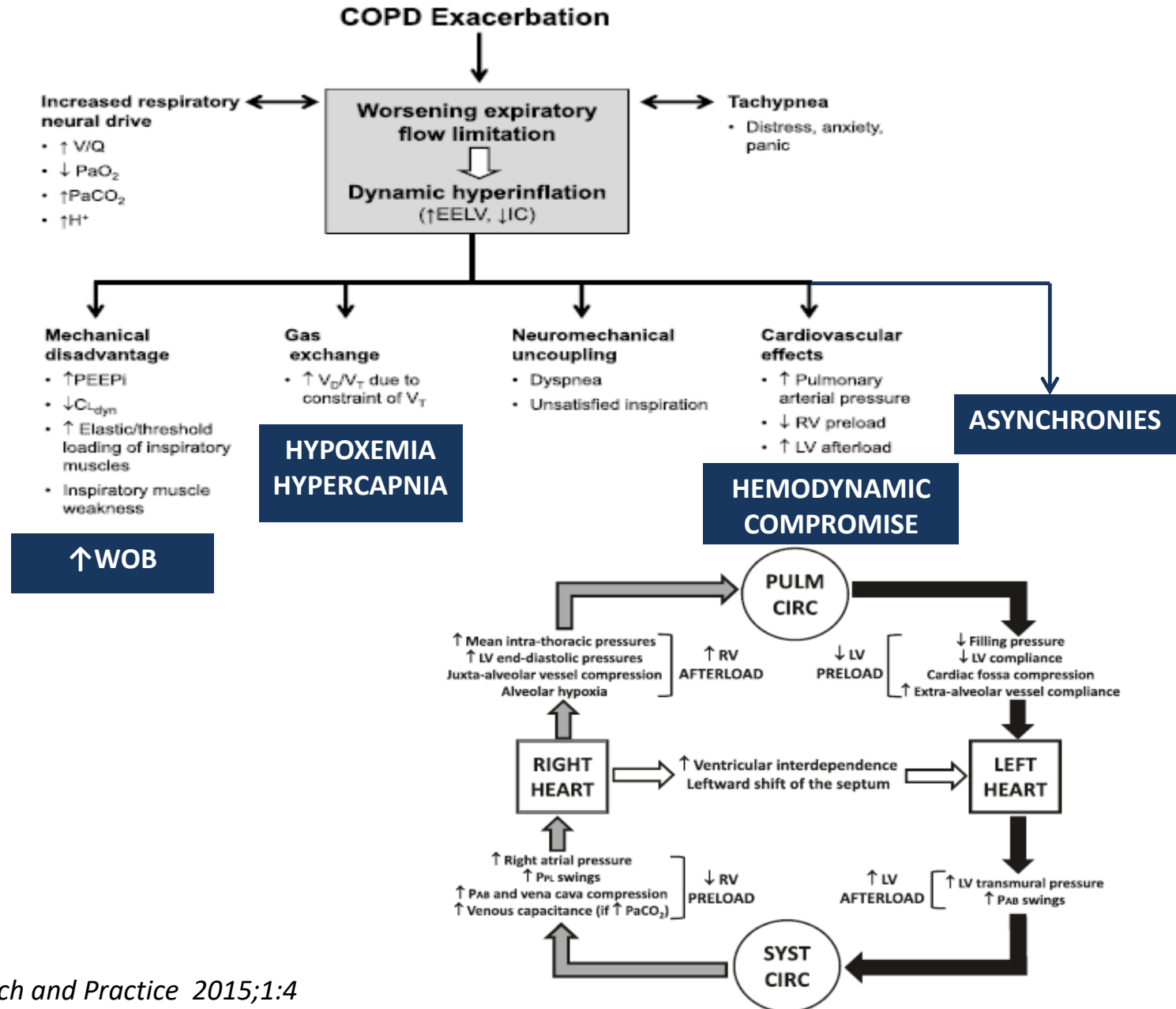
Δυναμική υπερδιάταση

1. αύξηση αν. συχνότητας ή αύξηση του κατά λεπτόν αερισμού
2. περιορισμός εκπνευστικής ροής

PEEP_i

1. Φυσιολογικοί βρόγχοι
 - ταχύπνοια
 - εξωτερική συμπίεση
 - αφαίρεση πνευμ. παρεγχύματος
2. Στενωμένοι βρόγχοι
 - με περιορισμό εκπνευστικής ροής
 - χωρίς περιορισμό εκπν. ροής

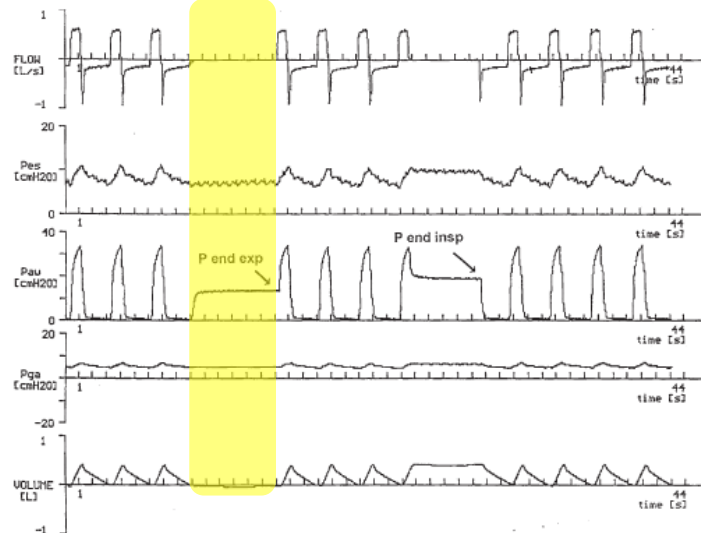
Παρόξυνση ΧΑΠ: Οι αρνητικές επιπτώσεις της δυναμικής υπερδιάτασης



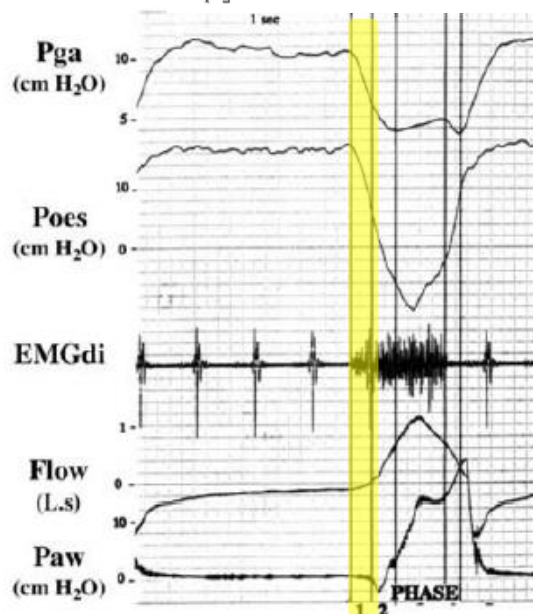
Μέτρηση PEEPi

PASSIVE RELAXED
VENTILATION

VOLUME
CONTROL

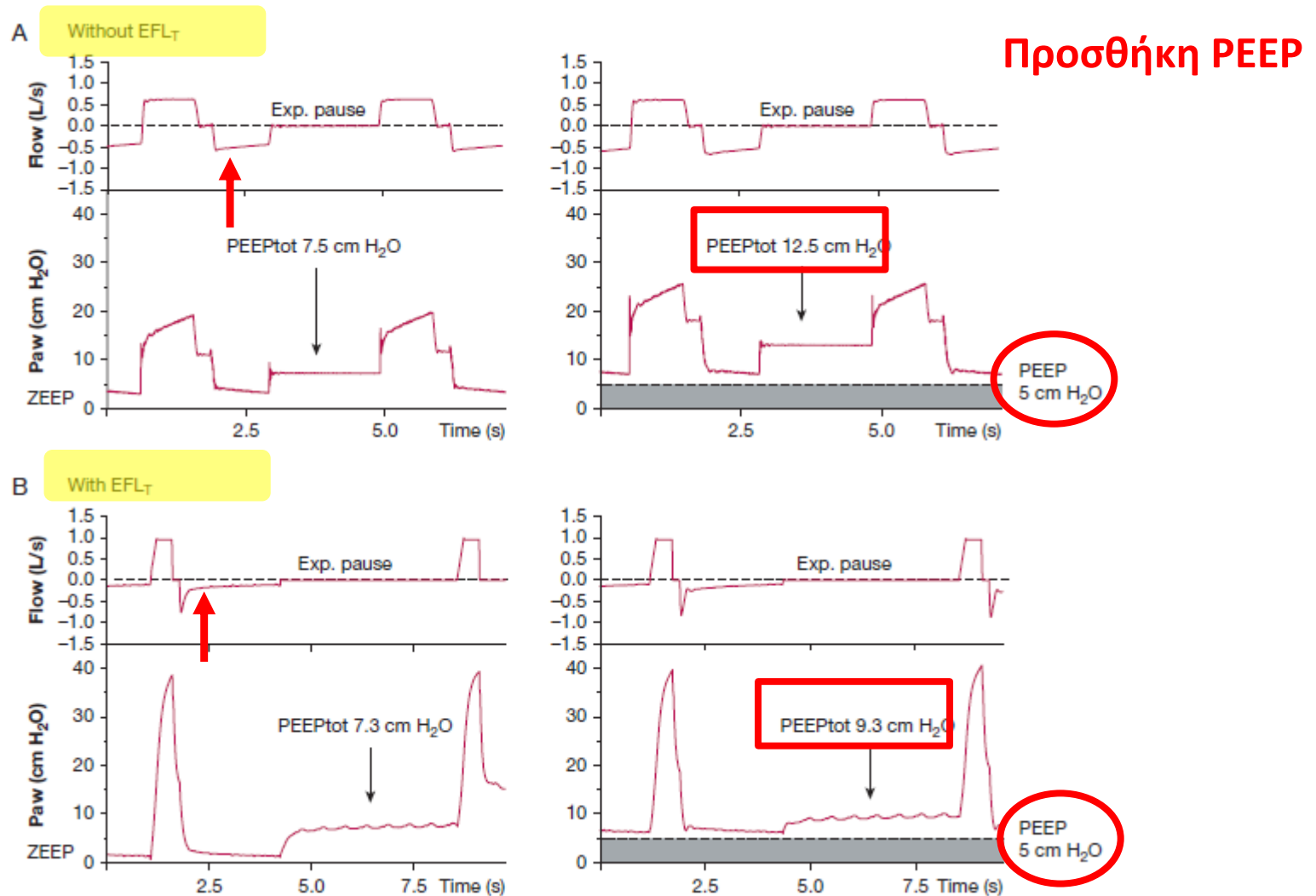


ASSISTED OR SPONTANEOUS
BREATHING

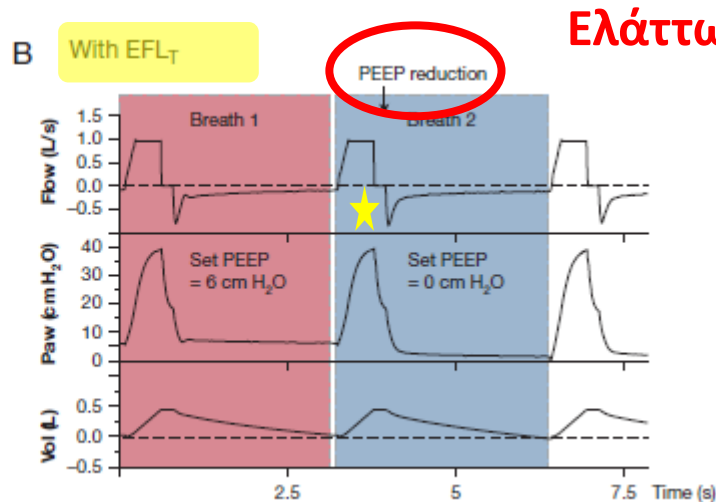
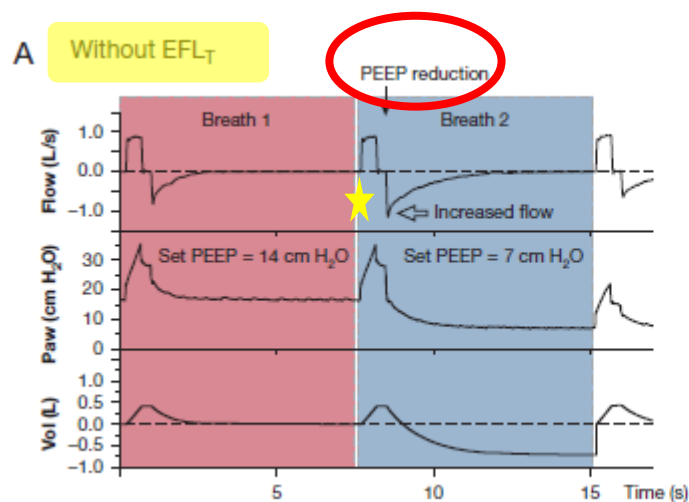


PRESSURE SUPPORT
VENTILATION

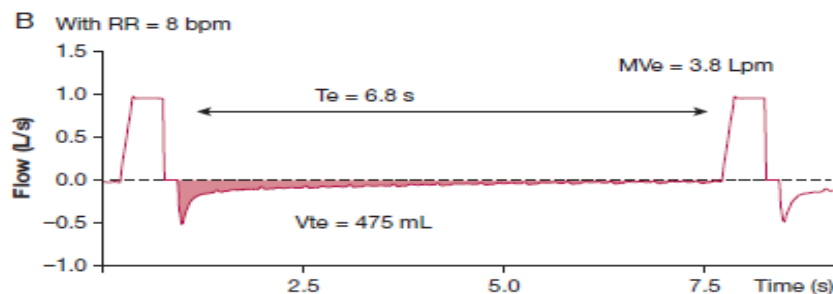
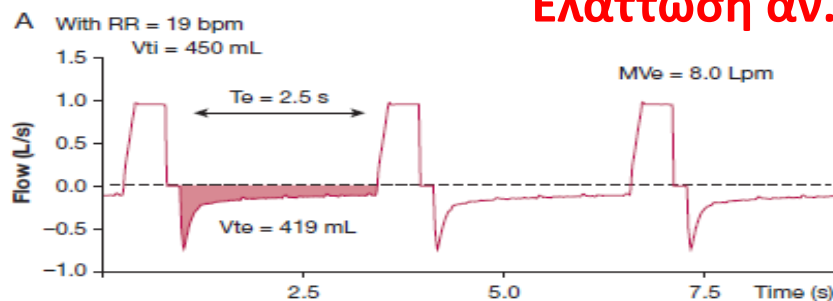
How to suspect Expiratory Flow Limitation during tidal breathing (EFL_T)



How to suspect Expiratory Flow Limitation during tidal breathing (EFL_T)



Ελάττωση PEEP



Ελάττωση αν. συχνότητας

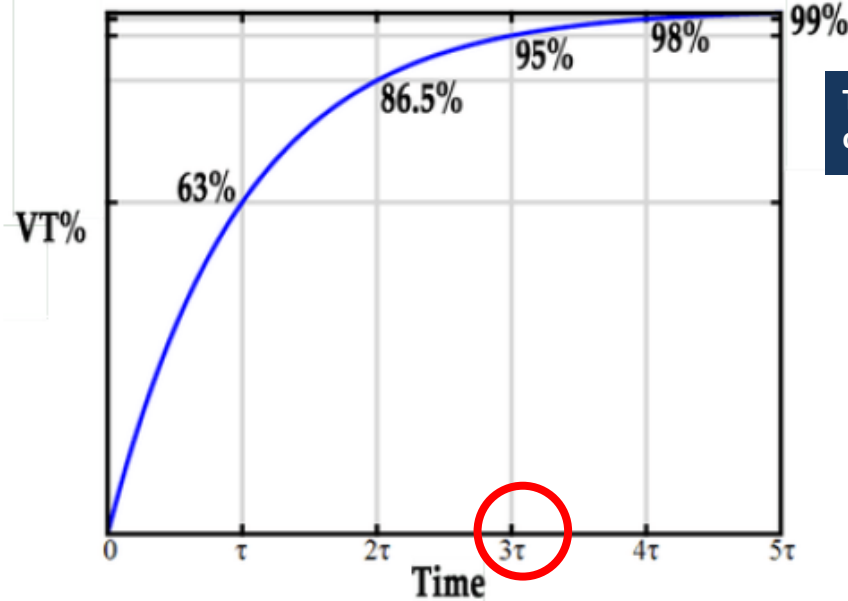
Η σημασία της σταθεράς χρόνου

$$\tau = C \times R$$

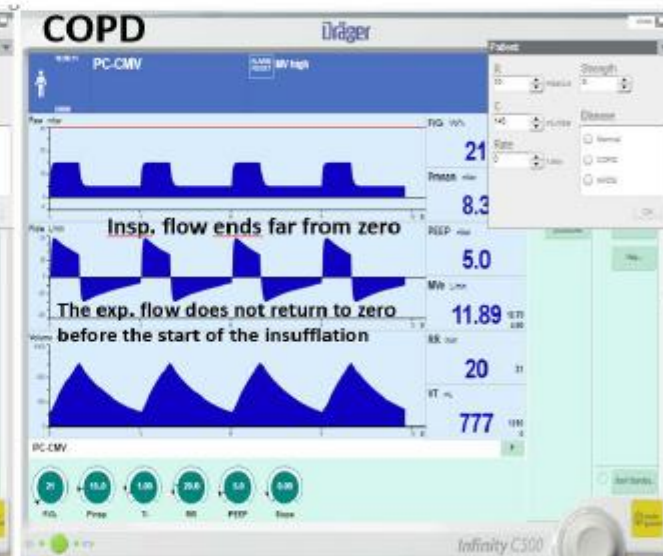
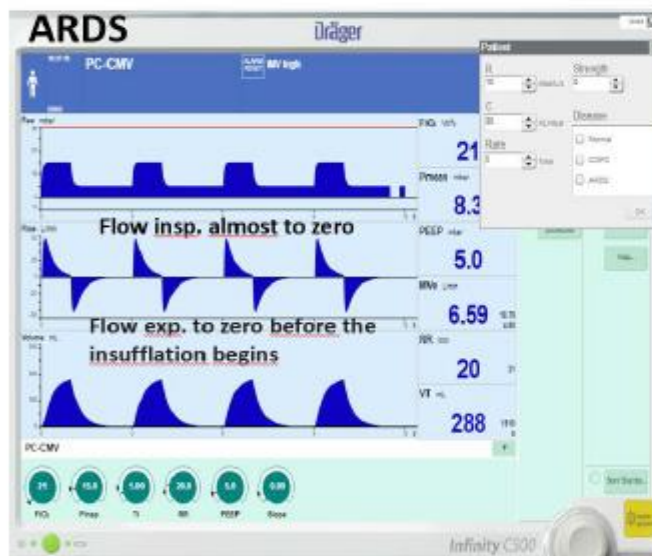
$$\tau = C \times R = 1 \text{ sec}$$

$$C = 50 \text{ ml/cmH}_2\text{O}$$

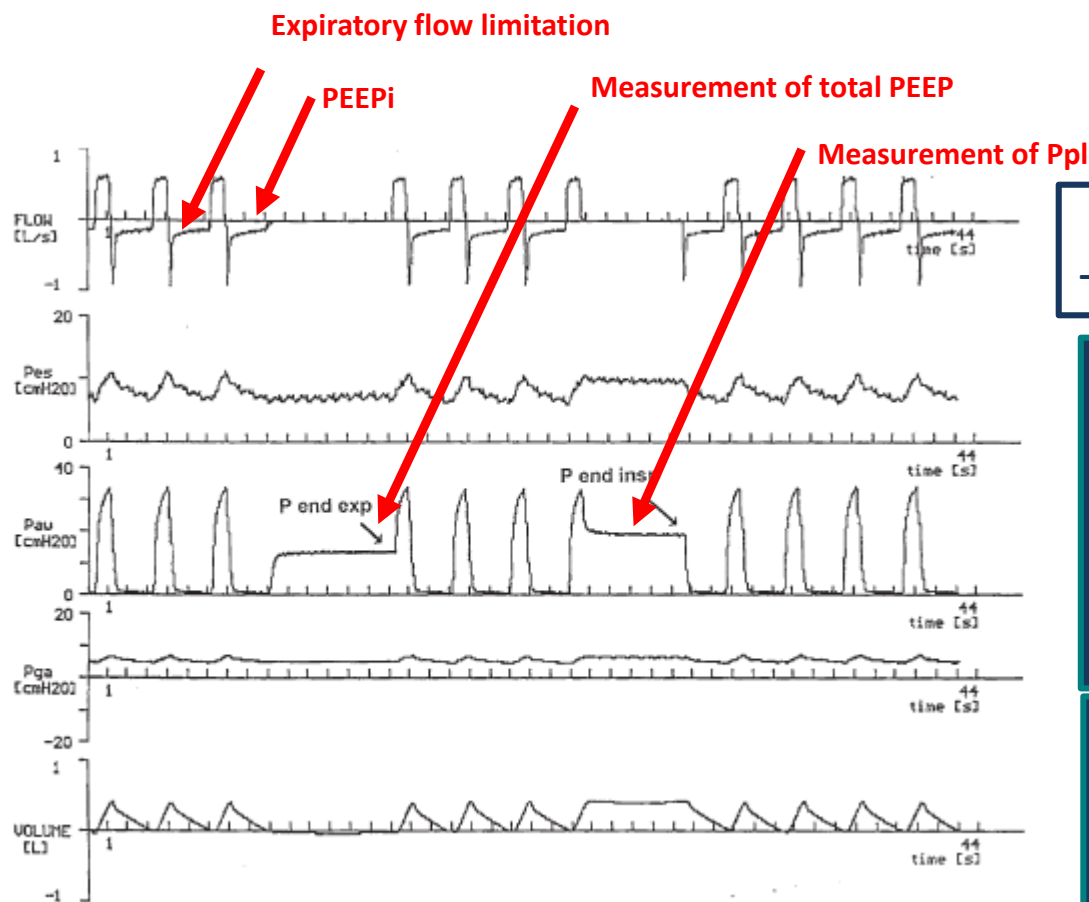
$$R = 20 \text{ cmH}_2\text{O/L/sec}$$



Το 95% της εισπνοής και της εκπνοής ολοκληρώνεται σε 3 σταθερές χρόνου



Παράμετροι στον αναπνευστήρα σε ασθενείς με ΧΑΠ ?



ΣΤΟΧΟΣ

Περιορισμός της δυναμικής υπερδιάτασης

βαθιά καταστολή, μυοχάλαση?
-VOLUME CONTROL , square insp.flow

- ↓ MV (<10L/min)
V_T 6-8mL/kgIBW, R=12-14

ΜΕ ΣΚΟΠΟ

- ↓εκπνεόμενου όγκου
- ↓PEEP_i
- P_{plateau} <30cmH₂O

- ↓ T_{insp}, ↑ T_{exp}

- ↑insp Flow (≥ 60L/min)
- ↑I/E (≥ 1/3-1/4)
- No inspiratory pause ?
- Square flow?

Georgopoulos D et al, ICM 1995;21:880

Tuxen et al Am Rev Respir Dis 1987;136:872

Connors et al, Am Rev Respir Dis 1981;124:533

Mancebo J, 2015

-Μελέτη της κυματομορφής της ροής στην εκπνοή, monitoring
- Υπολογισμός time constant (τ)

Παράμετροι στον αναπνευστήρα σε ασθενείς με ΧΑΠ ?

VOLUME CONTROL
MODE

PERMISSIVE
HYPERCAPNIA

Ασφαλές όριο ?
pH 7,2 ?
pCO₂ ≤ 80mmHg

ΣΤΟΧΟΙ

- Περιορισμός της δυναμικής υπερδιάτασης
- Ανταλλαγή αερίων
Διατήρηση SpO₂ ≈90%
- Επίτευξη **οχι φυσ. PCO₂**
- Αποφυγή αιμοδυναμικών διαταραχών

Θα θέσω εξωτερικό PEEP ?

PARADOXIC RESPONSE

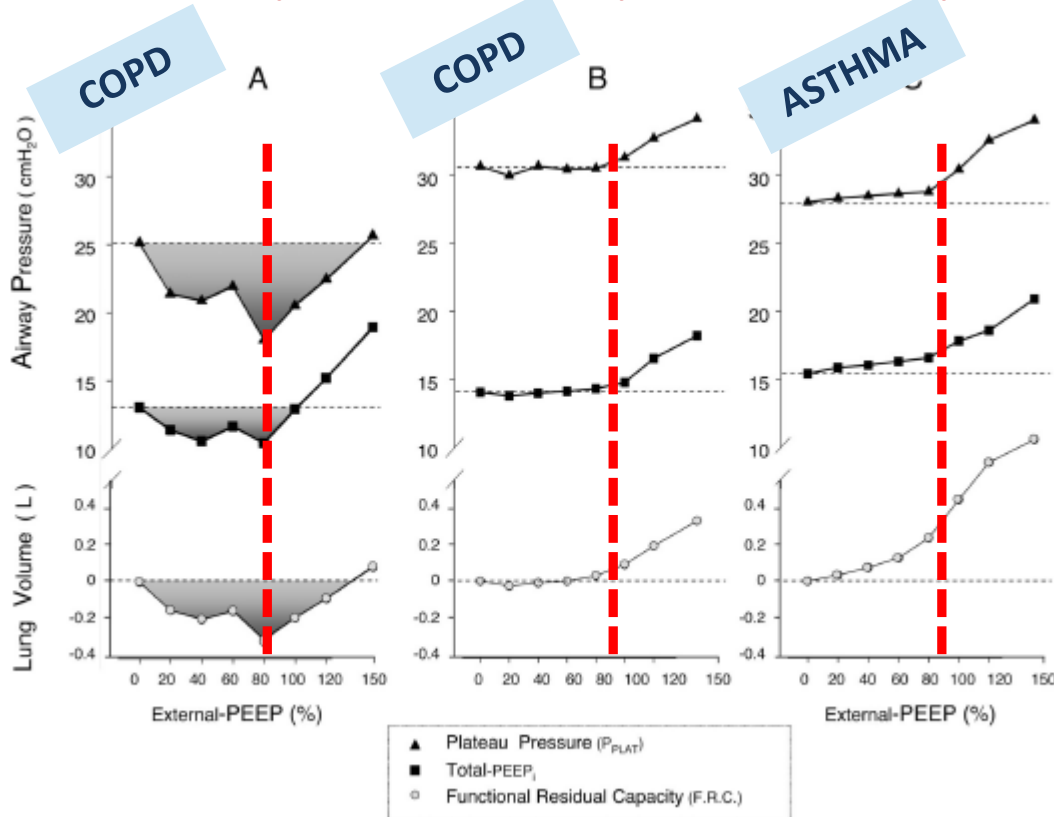
VT = 6mL/kg,
RR= 9/min

BIPHASIC RESPONSE

VT = 9mL/kg,
RR= 6/min

HYPERINFLATION RESPONSE

VT = 9mL/kg,
RR= /min



ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΗ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΞΩΤ. PEEP

- Οι περισσότεροι ασθενείς ανήκουν στην κατηγορία B και C
- ΠΡΟΣΟΧΗ με το εξωτ. PEEP
- ΠΑΝΤΑ εξωτ. PEEP < 80% PEEP_i
- ΠΑΝΤΑ monitoring of P_{plateau}

How to ventilate a patient with asthma

ΠΑΘΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ

- ↑↑ βρογχοκινητικού τόνου
- ↑↑ φλεγμονώδης διήθηση βρόγχων
- Διάχυτες, αλλά αναστρέψιμες αλλοιώσεις
- Πνευμονική υπερδιάταση → ↓Crs → ↑↑Pplateau
- Καλή απάντηση στη φαρμακευτική αγωγή

ΣΤΟΧΟΙ

- Περιορισμός της δυναμικής υπερδιάτασης
- Ανταλλαγή αερίων
Διατήρηση SpO₂ ≈ 90%
- Επίτευξη φυσ. pH, όχι φυσ. PCO₂
- Αποφυγή αιμοδυναμικών διαταραχών
- Αποφυγή βαροτραύματος

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΤΟΝ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΗΡΑ

- VT 6-8mL/kgIBW, R=10
- I/E = 1/3, 1/4, 1/5 χωρίς εισπν. παύση
- Volume control-
σταθερή ροή 80-100 L/min
- Pplateau = 25-30 cmH₂O
- Pplateau καλύτερος δείκτης σε σύγκριση με τη PEEP_i
- Επαναξιολόγηση των παραμέτρων
- Επιτρεπόμενη υπερκαπνία pH > 7.20

Πώς να ελαττώσω το έργο της αναπνοής κατά τη διάρκεια του weaning ?

ΠΑΡΑΤΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΕΚΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ
(cycling off)

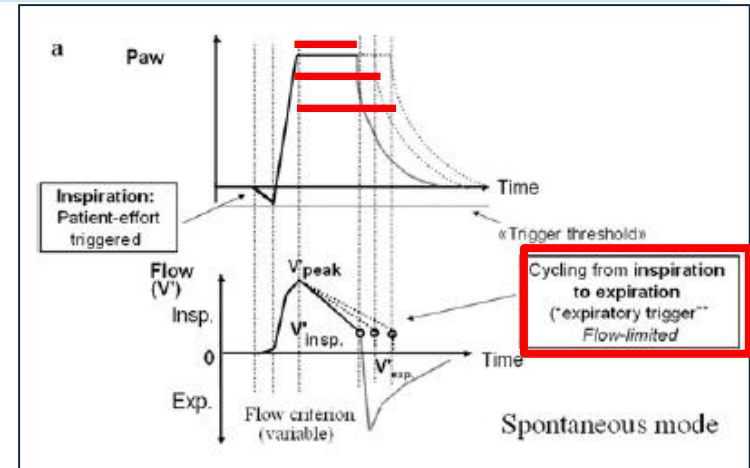
ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΟΥΔΟΥ
ΕΙΣΠΝ. ΠΥΡΟΔΟΤΗΣΗΣ

ΕΛΑΧΙΣΤΟ RAMP TIME

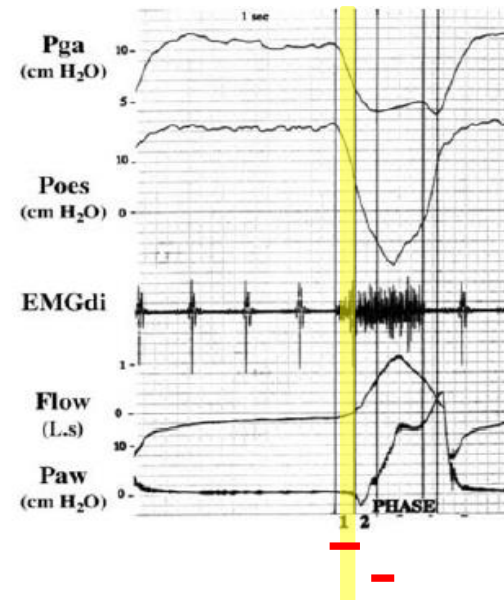
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ PEEP

ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΑΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΩΝ

PSV



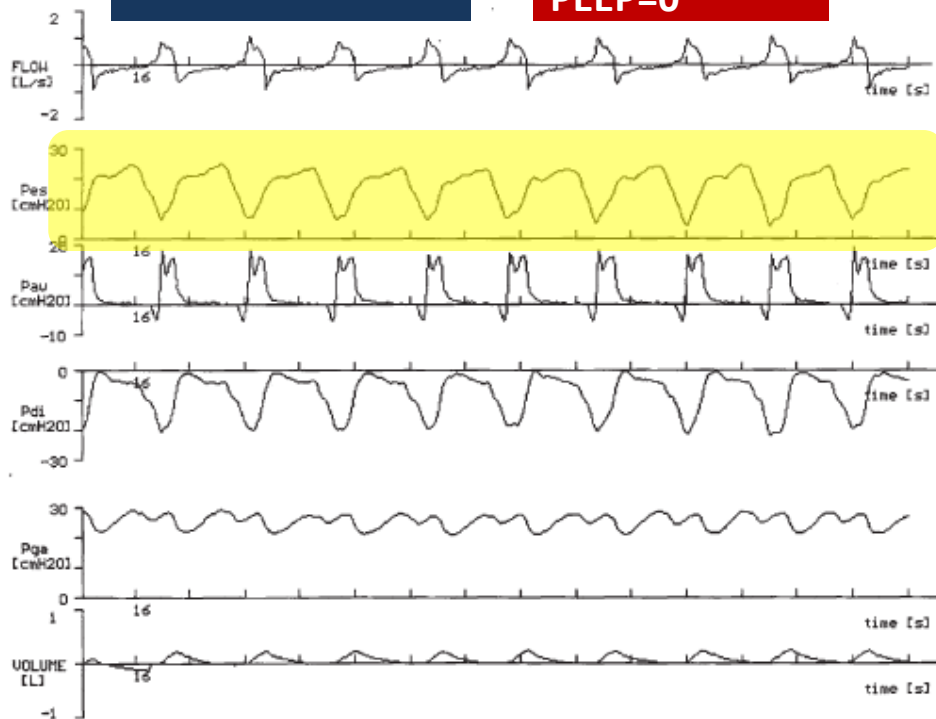
PSV



ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ PEEP

**PRESSURE SUPPORT
VENTILATION**

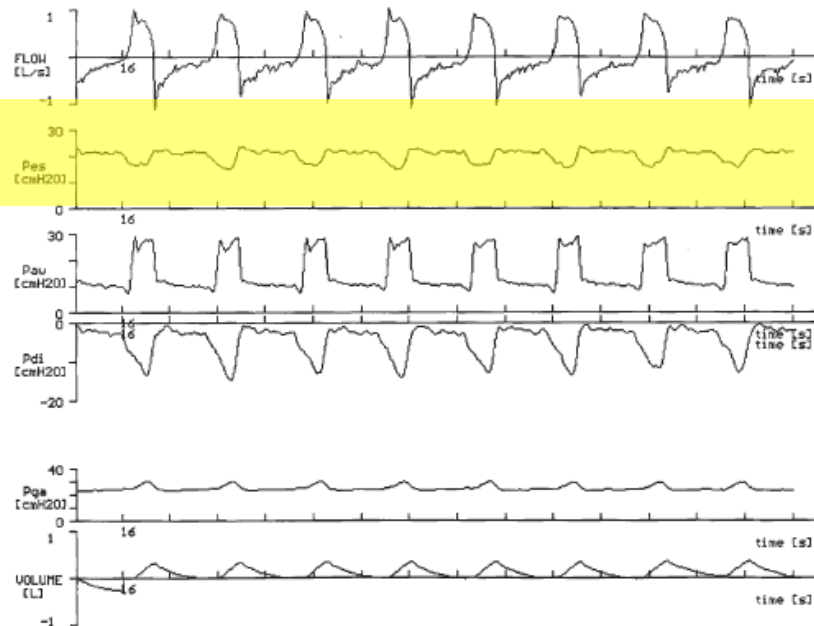
**PS=15cmH₂O
PEEP=0**



**Αν συχν. = 39
WOB = 0.9 Joules/min**

**PRESSURE SUPPORT
VENTILATION**

**PS=15cmH₂O
PEEP= 10**



**Αν συχν. = 34
WOB = 0.03 Joules/min**

Κίνδυνος για υπερδιάταση

Εφαρμογή εξ. PEEP

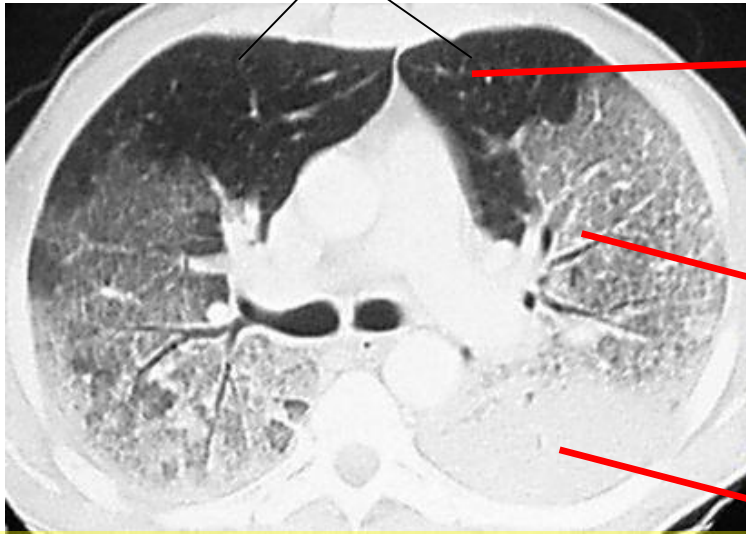


Έως το 80% της PEEPi

ARDS

The meaning of compliance in ARDS

Baby lung

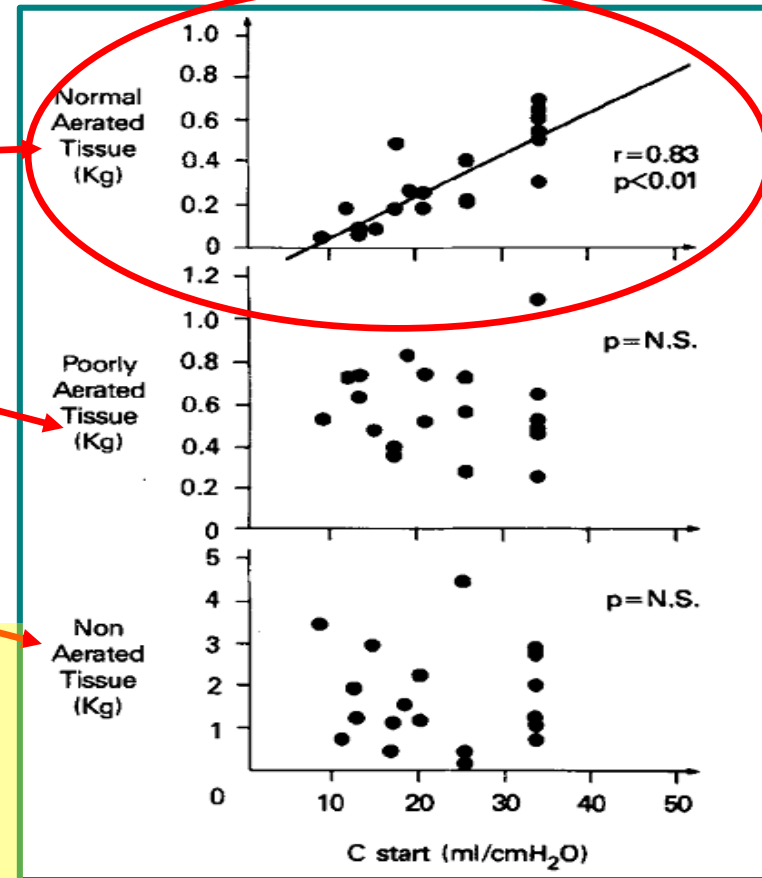


Causes of Baby lung:

Primary disease

ICU disease:

Obesity
Supine position
Sedation/paralysis
Controlled MV
Fluid overload, FiO₂



A low compliance does not indicate a stiff lung
Compliance is a good index of normally aerated lung tissue
(low compliance indicates a small lung)



Strain
VT / FRC

Stress

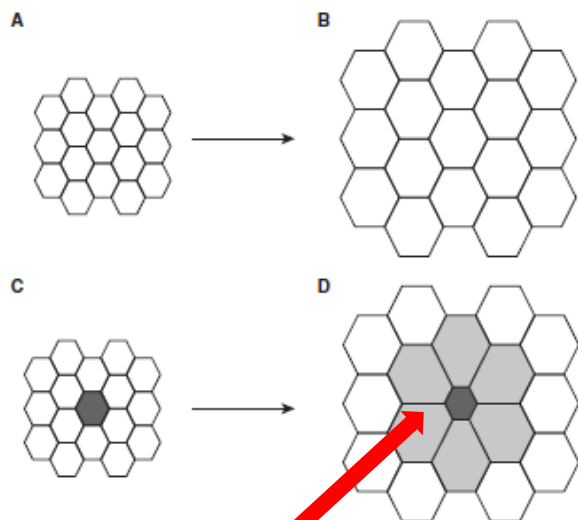
PL (trans-pulmonary pressure) = Paw-Ppl

12cmH₂O/mL

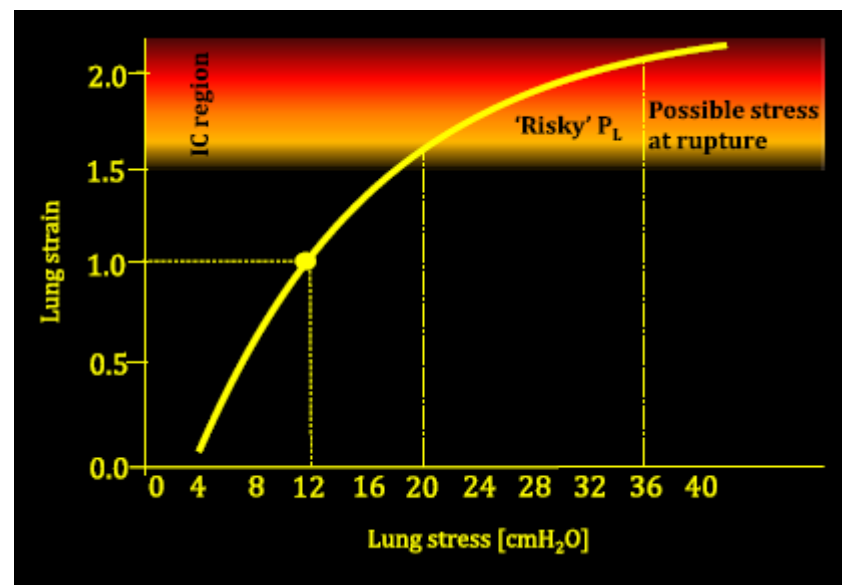
Stress = E_{Lspec} . Strain

Barotrauma = k . Volutrauma

LUNG INHOMOGENEITY



Stress raisers



Μηχανισμοί πρόκλησης Ventilator Induced Lung Injury (VILI)

VILI σε αυξημένους
πνευμονικούς όγκους

LOW TIDAL VOLUME

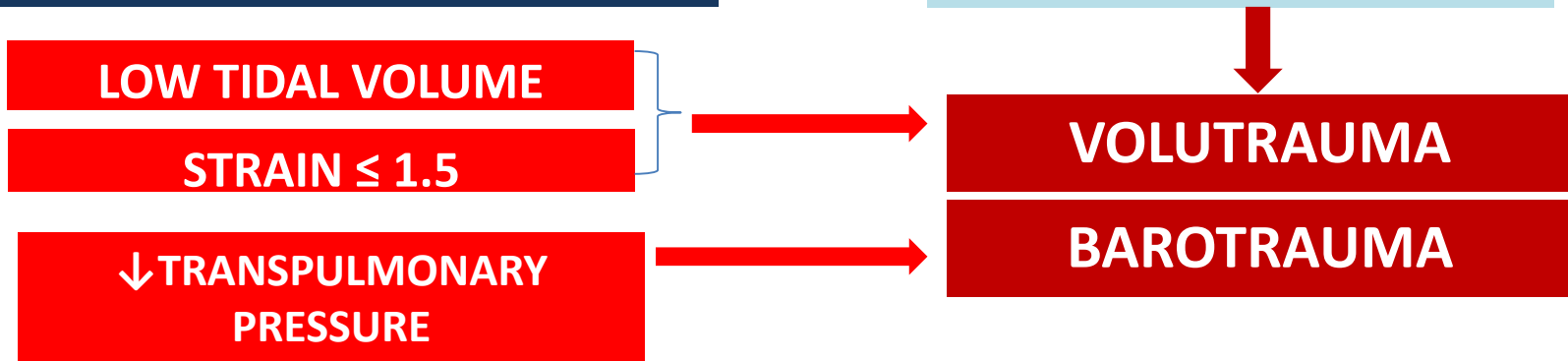
STRAIN ≤ 1.5

↓ TRANSPULMONARY
PRESSURE

Υπερδιάταση κυψελίδων
(↑ διαπνευμονική πίεση στο τέλος
της εισπνοής)

VOLUTRAUMA

BAROTRAUMA



Μηχανισμοί πρόκλησης Ventilator Induced Lung Injury (VILI)

**VILI σε αυξημένους
πνευμονικούς όγκους**

LOW TIDAL VOLUME

STRAIN ≤ 1.5

↓TRANSPULMONARY PRESSURE

**Υπερδιάταση κυψελίδων
(↑διαπνευμονική πίεση στο τέλος
της εισπνοής)**

VOLUTRAUMA

BAROTRAUMA

**VILI σε χαμηλούς
πνευμονικούς όγκους**

USE OF PEEP

**Επαναλαμβανόμενη διάνοιξη
και σύγκλειση κυψελίδων
(↑διαπνευμονική πίεση στην αρχή της
εισπνοής)**

ATELECTRAUMA

BIOTRAUMA



PROTECTIVE VENTILATION

OPEN LUNG STRATEGY

PROTECTIVE VENTILATION

Εφαρμογή των μηχανικών ιδιοτήτων του αναπν. συστήματος με σκοπό την ↓VILI σε υψηλούς πνευμονικούς όγκους

LOW TIDAL VOLUME
(6mL/kg PBW)

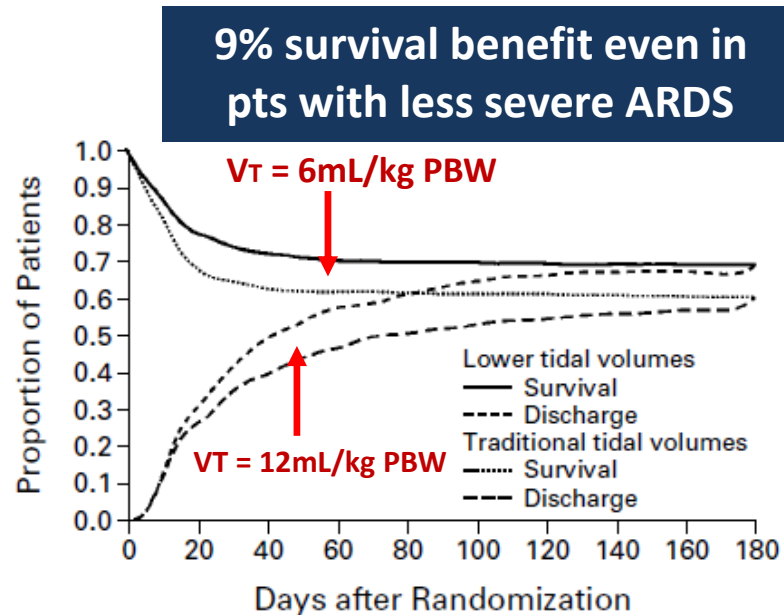
PLATEAU PRESSURE
($P_{plat} < 30 \text{ cmH}_2\text{O}$)

DRIVING PRESSURE
($\Delta P < 16 \text{ cmH}_2\text{O}$)

↓TRANSPULMONARY PRESSURE
($< 20 \text{ cmH}_2\text{O}$)

STRESS INDEX

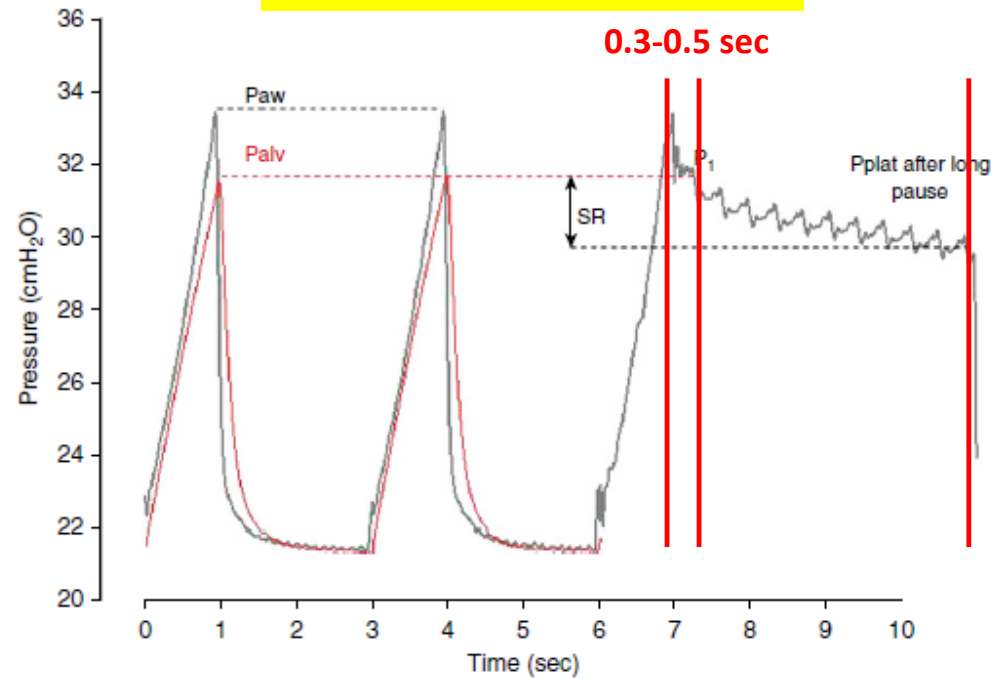
LOW TIDAL VOLUME (6mL/kg PBW)



ARDS network, NEJM 2000

PLATEAU PRESSURE (P_{plat} < 30cmH₂O)

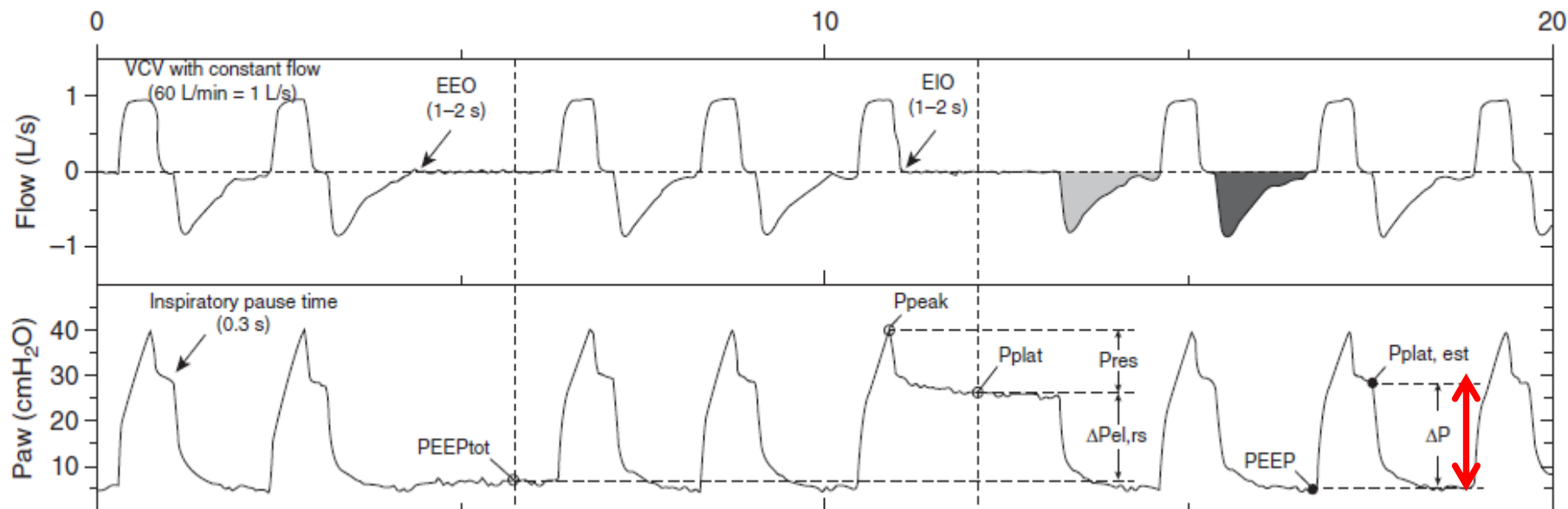
Αξιόπιστη μέτρηση P_{pl}



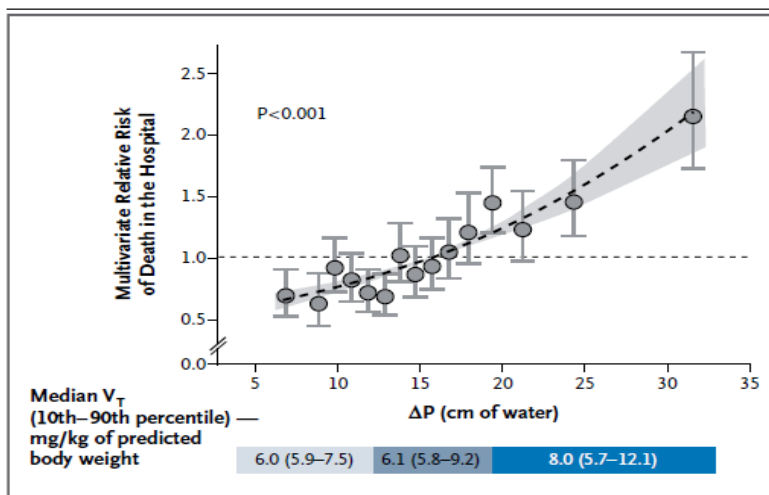
Henderson, AJRCCM 2017; 196(7):822

DRIVING PRESSURE ($\Delta P < 16 \text{ cmH}_2\text{O}$)

How to decrease ΔP : - $\downarrow V_T$
- $\uparrow C_{rs}$ (PEEP)

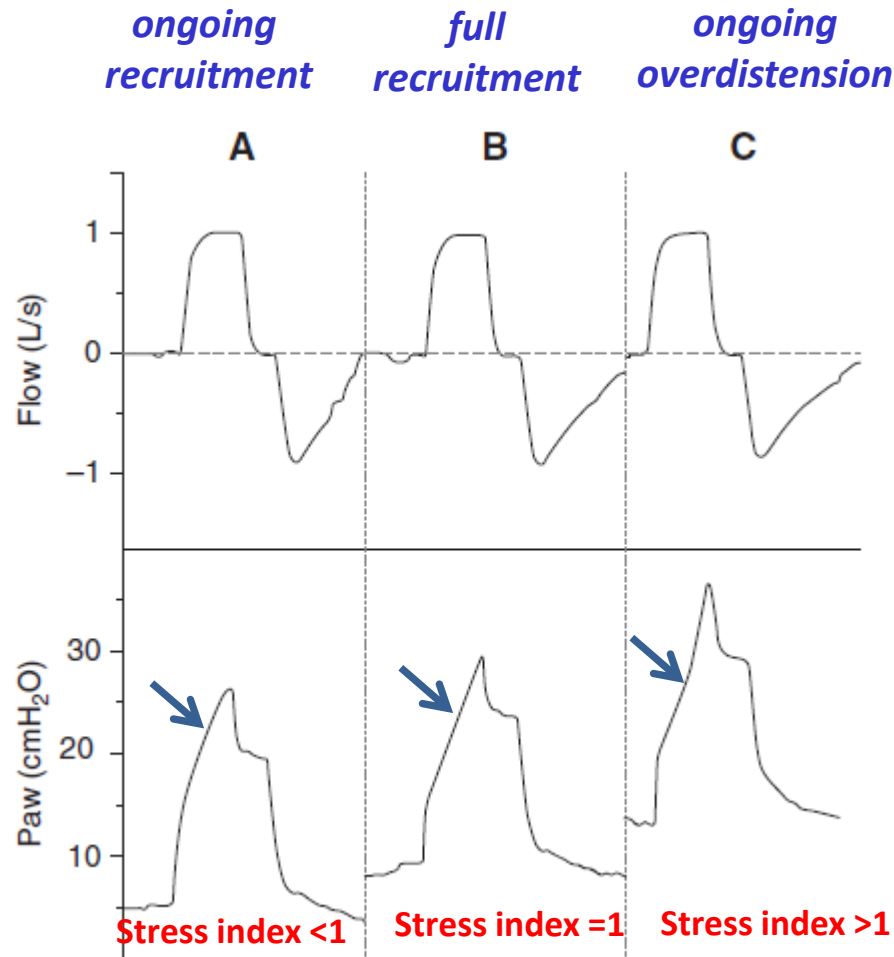


**Driving Pressure =
P_{plateau} - PEEP_{tot}**



STRESS INDEX

Airway pressure as a function of time
as surrogate of P-V curve



Individualized approach

$$\Delta P_{pl} = \Delta P_{aw} \cdot E_w/E_{tot}$$

E_w/E_{tot} (0.3-0.7) in ARDS

- ✓ Obese pts with ARDS
- ✓ Pregnant women with ARDS

$$\uparrow \Delta P_{pl} = \Delta P_{aw} \cdot \uparrow E_w/E_{tot}$$

$$\downarrow \Delta P_L = \Delta P_{aw} - \uparrow \Delta P_{pl}$$

PLATEAU PRESSURE
($P_{plat} < 30 \text{ cmH}_2\text{O}$) ????

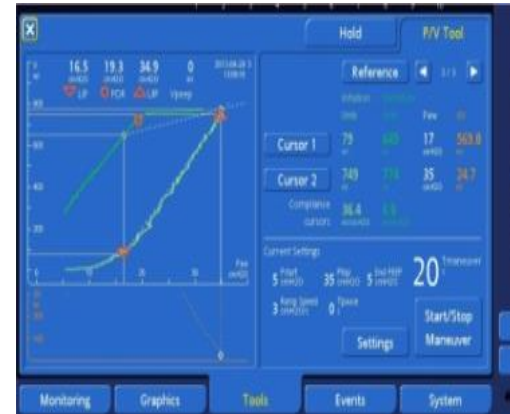
Open lung strategy



Low

-Assess and optimize hemodynamics with echo
- ABG with PEEP 5-10cmH2O

Assess recruitability



High

Is the lung recruitable?

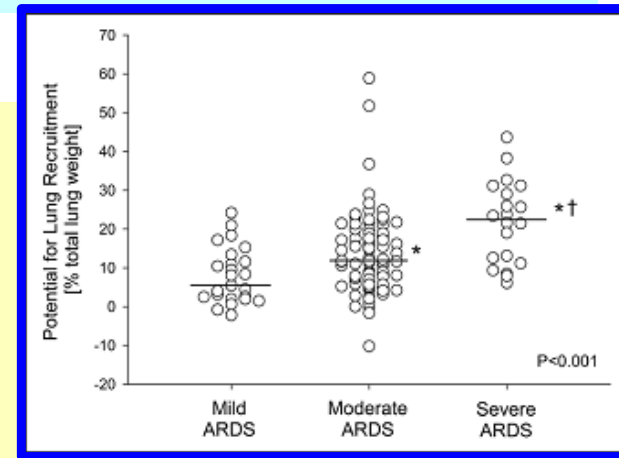
- ✓ **Severity of ARDS; severe ARDS>moderate>mild**

Caironi Crit Care Med 2015

- ✓ **Type of ARDS; extra- pulmonary >pulmonary
Non-Lobar > lobar**

Rouby, Crit Care Med 2003, Grasso AJRCCM 2007

- ✓ **Time from the beginning of ARDS early >late**



PaO₂/FiO₂ >200 100-200 <100

Caironi et al Crit Care Med 2015;43:781

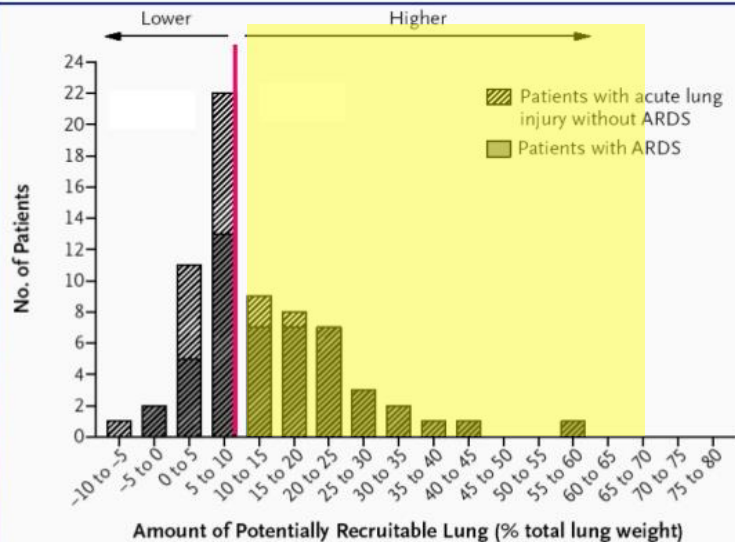
Stratification based on severity

68 late ALI pts

The NEW ENGLAND
JOURNAL of MEDICINE

Lung Recruitment in Patients with the Acute Respiratory Distress Syndrome

Luciano Gattinoni, M.D., F.R.C.P., Pietro Caironi, M.D., Massimo Cressoni, M.D., Davide Chiumello, M.D., V. Marco Ranieri, M.D., Michael Quintel, M.D., Ph.D., Sebastiano Russo, M.D., Nicolò Patroniti, M.D., Rodrigo Cornejo, M.D., and Guillermo Bugedo, M.D.



Gattinoni, NEJM 2006

51 early ARDS pts



CRITICAL CARE

How large is the lung recruitability in early acute respiratory distress syndrome: a prospective case series of patients monitored by computed tomography

Gustavo FJ de Matos¹, Fabiana Stancan², Rogério H Passos³, Maunio F Fontana⁴, Renato A Baladejo⁵, Raquel E Caserta⁶, Clevil CE Santos⁷, João Batista Borges^{8,9}, Marcelo BP Amato¹⁰ and Camrin SV Barbas^{1,10}

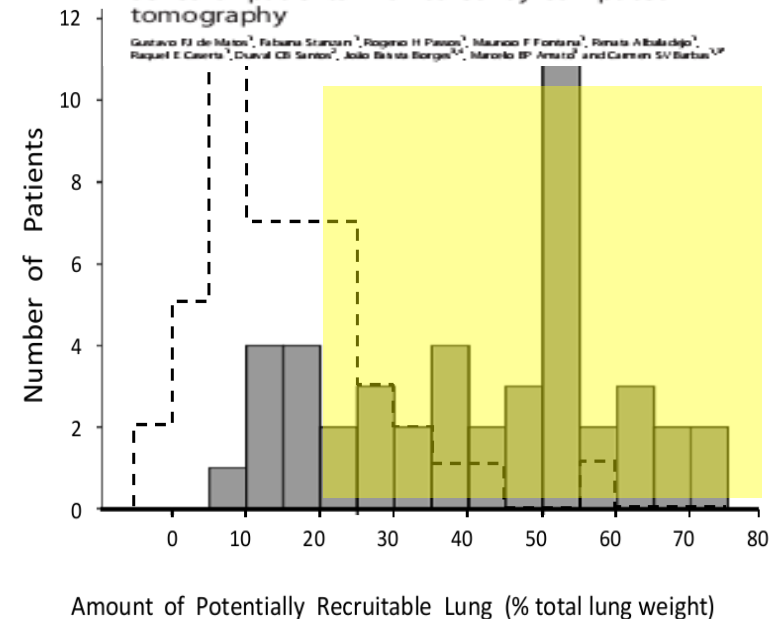


Figure 4 Histogram for the amount of potentially recruitable lung observed in our sample of patients (N = 45). Dashed lines represent the equivalent histogram described by Gattinoni and cols. in a previous publication [29].

De Matos, Crit Care 2012

How do we assess recruitability?

- ✓ **Gold standard : CT scan**

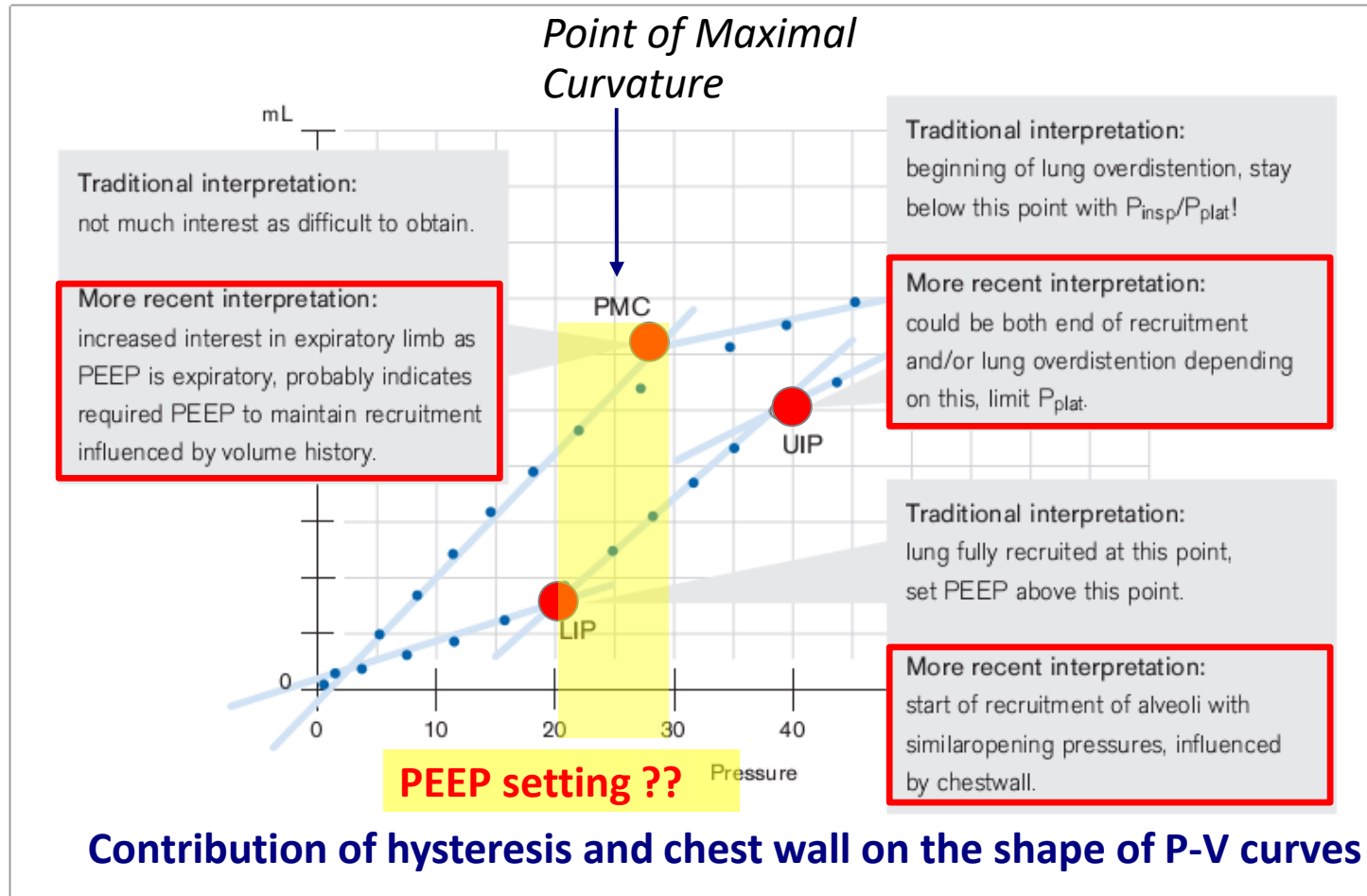
Gattononi NEJM 2006

- ✓ **Other imaging methods; lung echo, Electrical Impedance Tomography**

Bouhemad, AJRCCM 2011, Bikker Crit Care 2010

- ✓ **Bedside method: PV curve**

Traditional and more recent interpretation of inflection points

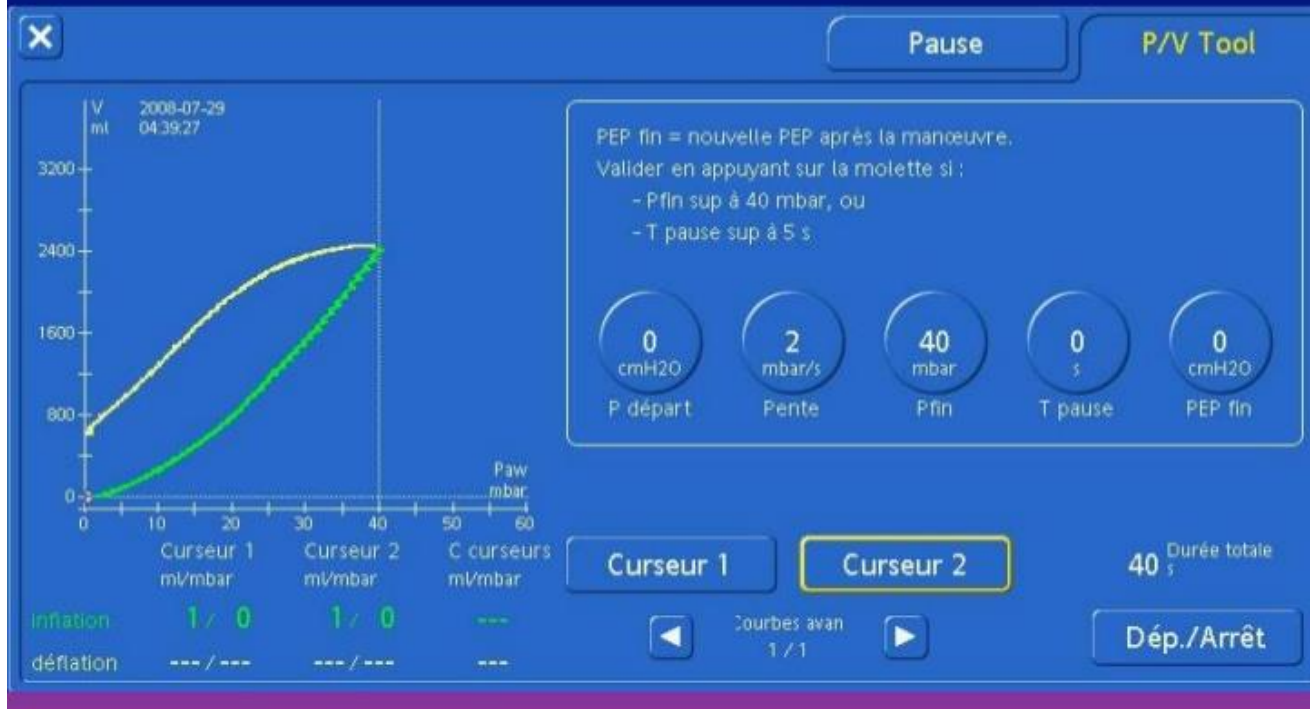


Experimental and clinical trials demonstrated good results with PEEP setting of LIP +2cmH2O

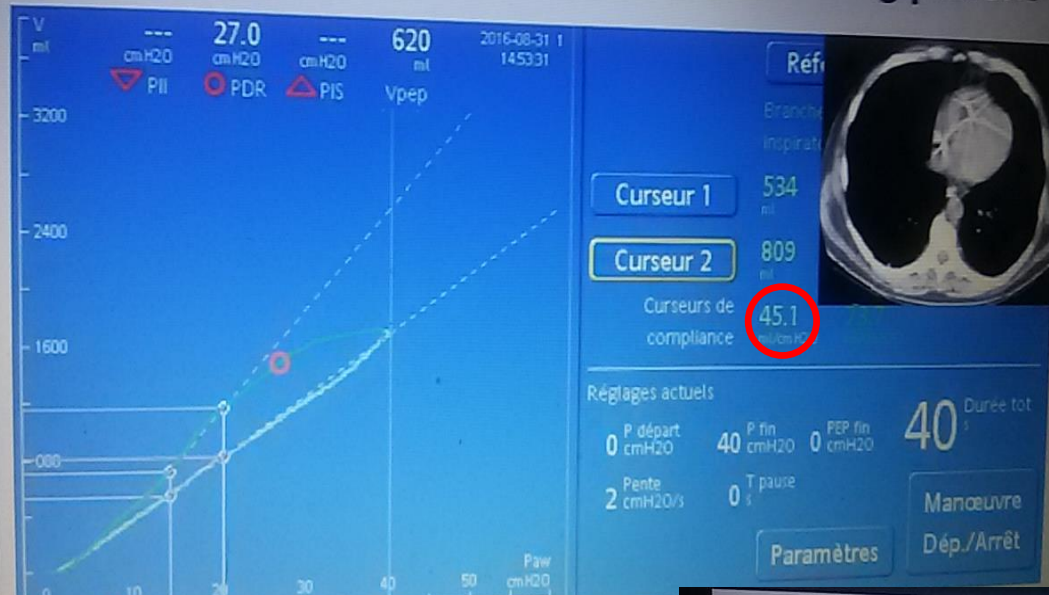
Bedside assessment of recruitability

Assessment of recruitability

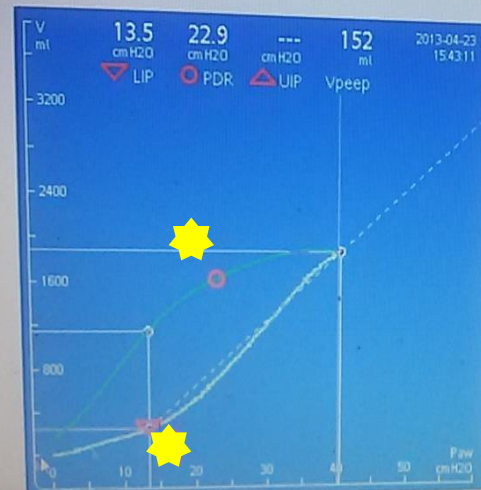
Low flow <10L/min
Pstart=0cmH2O
Plim=40 cmH2O
Tins=20sec



PV curve in normal lung patient



PV curve in ARDS patient Shape of the curve



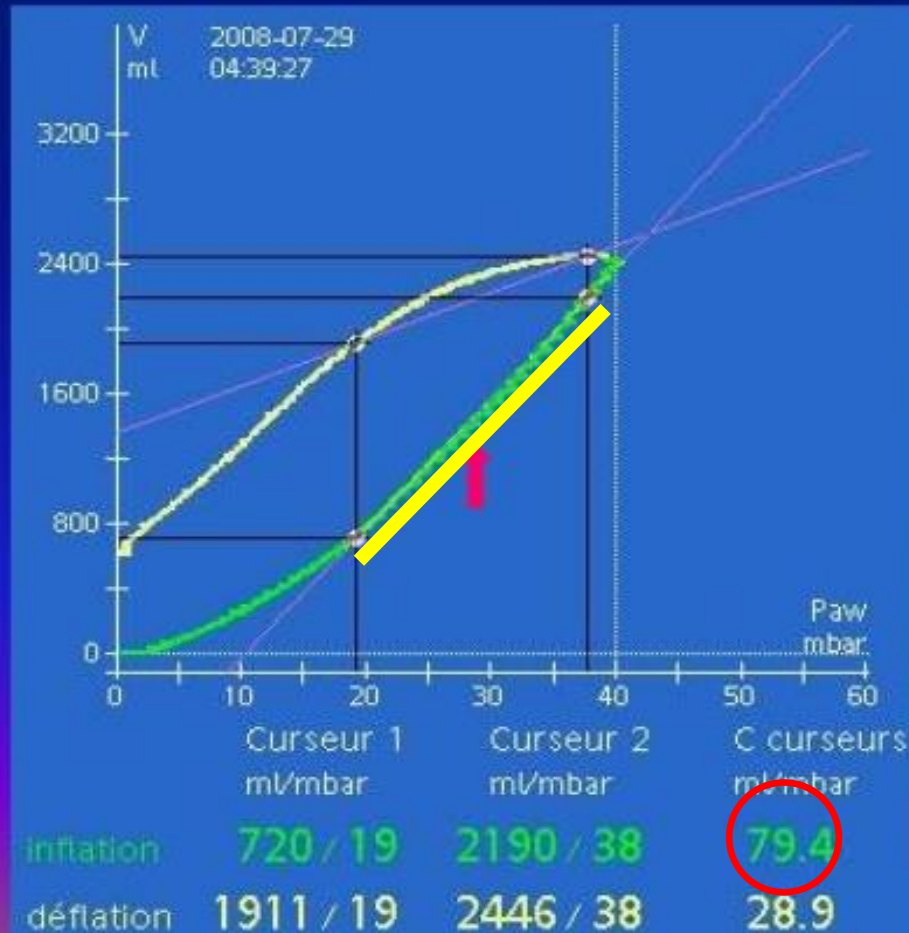
Grasso. Am J Respir Crit Care Med 2005

Courtesy JM Arnal MD

Assessment of recruitability

Linear compliance

(Core compliance)



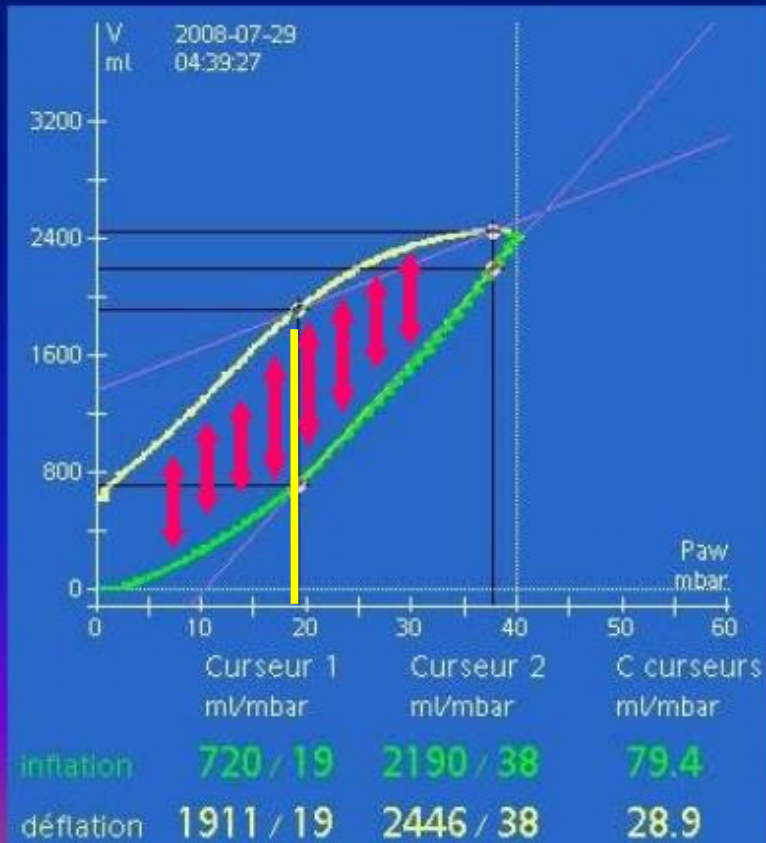
Linear compliance
>60ml/cmH₂O

↑ recruitability

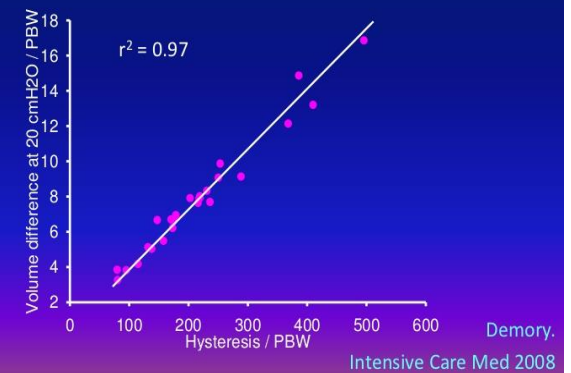
Maggiore.
AJRCCM 2001

Assessment of recruitability

Hysteresis



Assessment of recruitability
Hysteresis and volume difference at 20 cmH₂O



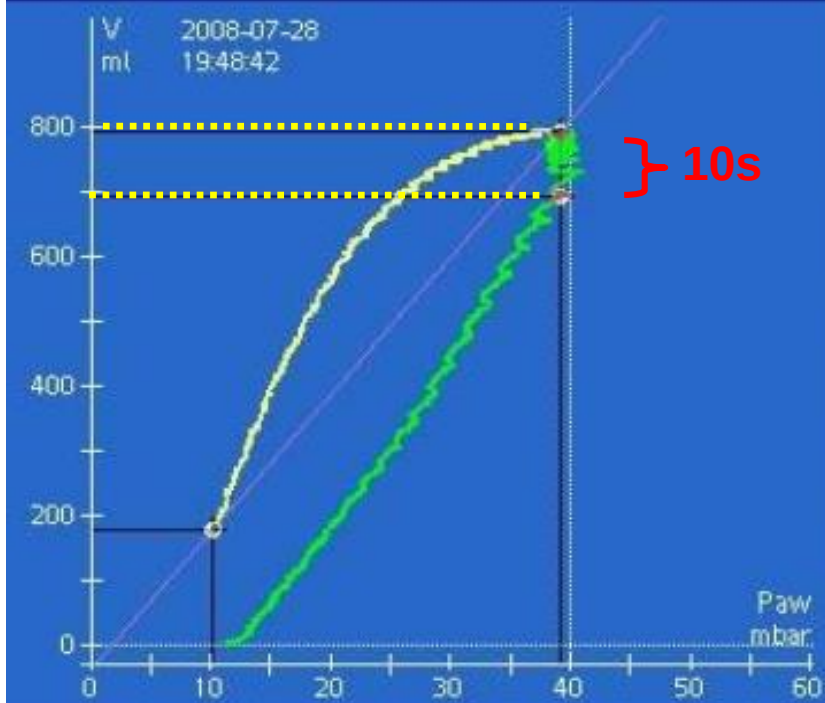
If ΔV at $P=20\text{cmH}_2\text{O}$
 $>400\text{ml}$

↑ recruitability

Demory.
Intensive Care Med 2008

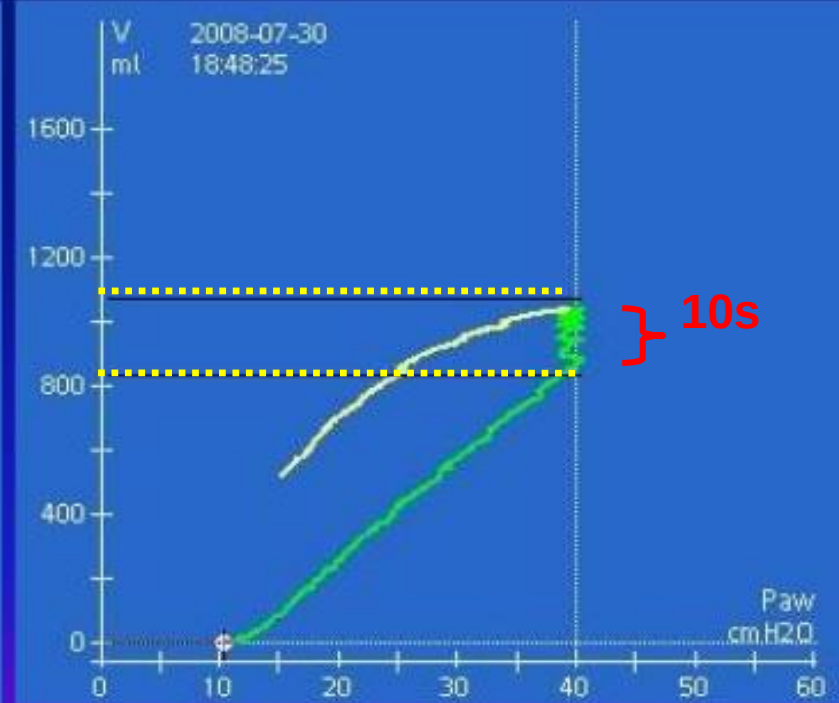
Volume increase during a recruitment maneuver

pt#1



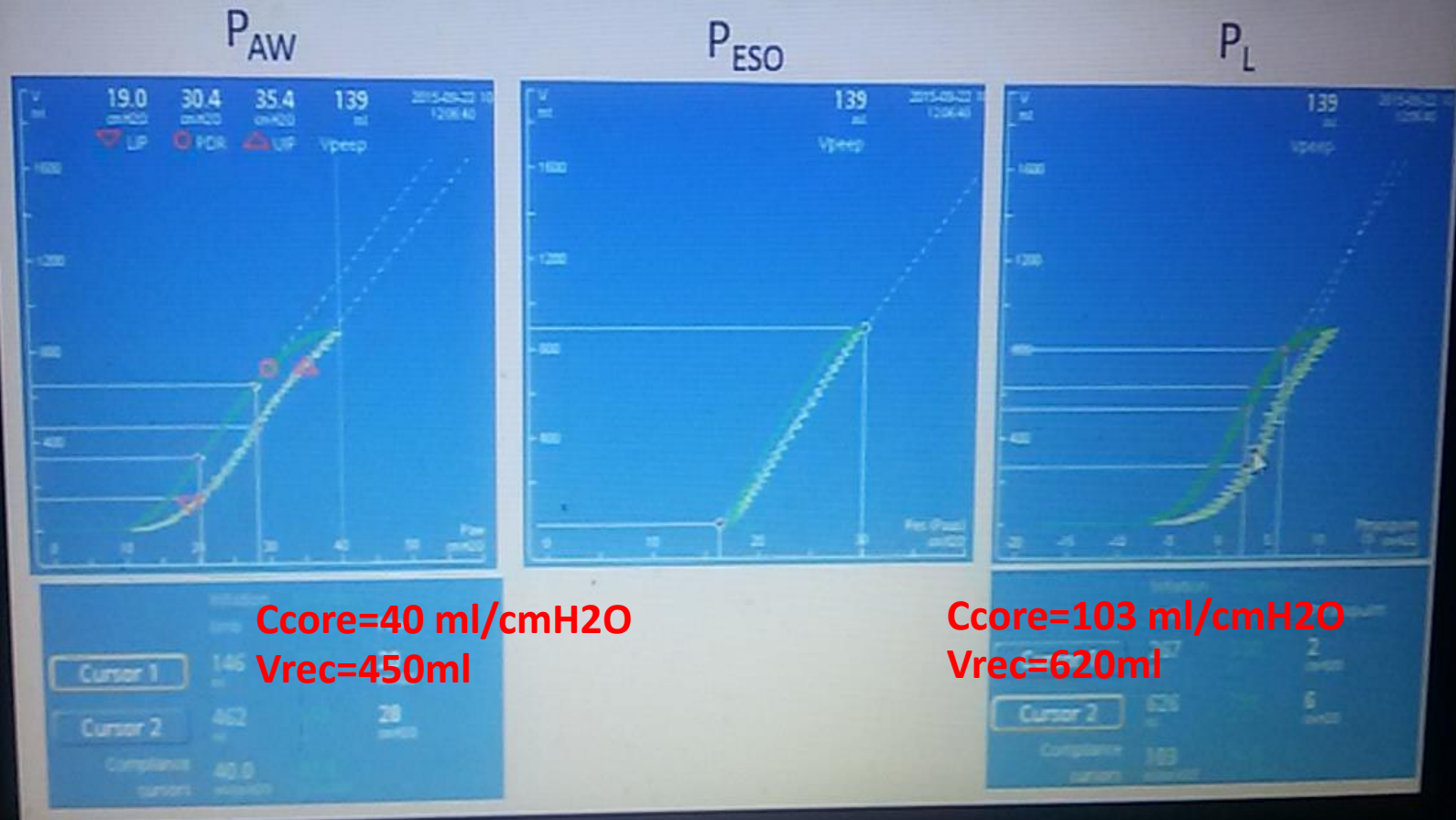
$V_{RM} = 100 \text{ mL}$

pt#2



$V_{RM} = 240 \text{ mL}$

Transpulmonary pressure volume curve



Open lung strategy



Low

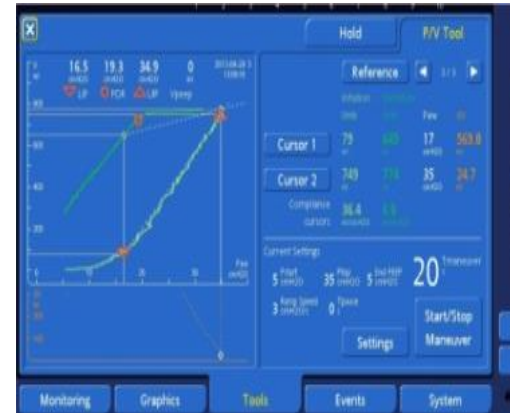
**No recruitment maneuver
PEEP 5-8 cmH₂O**

Prone position

ECMO

- Assess and optimize hemodynamics with echo
- ABG with PEEP 5-10cmH₂O

Assess recruitability



High

**Recruitment maneuver
PEEP titration**

Transpulmonary pressure

Prone position

ECMO

Spontaneous breathing: a double-edged sword to handle with

care Tommaso Mauri^{1,2}, Barbara Cambiaghi³, Elena Spinelli², Thomas Langer¹, Giacomo Grasselli^{1,2}

TO REDUCE Patient Self Inflicting Lung Injury (PSILI)

Ann Transl Med 2017;5(14):292

AVOID PATIENT-VENTILATOR ASYNCHRONIES

- monitoring of Paw, Flow, V_T curves
- matching of neural time to mechanical time
- modification of ramp time and cycling-off
- avoid overassistance/underassistance
- switch to NAVA

MATCH RESPIRATORY DRIVE TO PATIENT'S NEEDS

- ↓metabolic needs(hyperthermia, overfeeding)
- ↓agitation, delirium

AVOID V_T >9mL/kg PBW

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

Critical Care (2017) 21:183

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

To decrease VILI

- ↓mechanical power
- ↓strain

↑lung homogeneity

- **LOW** V_T , appropriate PEEP
- **Ppl**<30, **DP**<16

- **PRONE POSITION**
- **PEEP**

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

$\times \Delta V$

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

Distend the lung

Move the gas

Keep open

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

$\times$

ENERGY to ...