Βασικές αρχές μηχανικού αερισμού του αναπνευστικού ασθενούς στο τμήμα

Ροβίνα Νικολέττα
Επίκουρη καθηγήτρια Πνευμονολογίας - Εντατικής Θεραπείας ΕΚΠΑ
Α Πανεπιστημιακή Πνευμονολογική Κλινική
ΝΝΘΑ «η Σωτηρία»

Γιατί υποστηρίζουμε μηχανικά την αναπνοή ενός ασθενούς ?

Ο κύριος στόχος του μηχανικού αερισμού είναι η μείωση του έργου της αναπνοής και να δοθεί χρόνος για άλλες θεραπευτικές παρεμβάσεις (βρογχοδιασταλτικά, κορτικοστεροειδή, αντιβιοτικά), ώστε να αναστραφεί το αίτιο της διασωλήνωσης

Οξεία αναπνευστική ανεπάρκεια στο τμήμα Επεμβατικός αερισμός σε ποιον?

- Σε ασθενείς που δεν ανέχονται τον NIV ή απέτυχαν στον NIV
- Σε ασθενείς με σοβαρή δύσπνοια και χρήση επικουρικών μυών-παράδοξη αναπνοή
- Σε ασθενείς με αναπνευστική συχνότητα >35 αναπνοές/λεπτό
- Σε απειλητική για τη ζωή υποξαιμία (PaO_2<60 mmHg) παρά τη χορήγηση οξυγονοθεραπείας
- Σε ασθενείς με σοβαρή οξέωση (pH<7,25) και/ή υπερκαπνία (PaCO2 > 60 mmHg)

Υποξυγοναιμία

Πιθανά αίτια

- Χαμηλό μείγμα εισπνεόμενου οξυγόνου (FiO2)
- Υποαερισμός
- Διαταραχή διάχυσης
- Διαταραχή αερισμού-αιμάτωσης (V/Q)
- Shunt
- Αποκορεσμός αίματος πνευμονικών αρτηριών (μεικτό φλεβικό)

Διόρθωση της υποξυγοναιμίας με την εφαρμογή επεμβατικού μηχανικού αερισμού

1. Αύξηση **FiO2**

- Χαμηλό μείγμα εισπνεόμενου οξυγόνου (FiO2)
- Διαταραχή διάχυσης
- Διαταραχή αερισμού-αιμάτωσης (V/Q)
- Αποκορεσμός αίματος πνευμονικών αρτηριών (μεικτό φλεβικό)

2. Εφαρμογή **PEEP**

- Shunt

FiO_2 Εξισώσεις

$PAO_2 = FiO_2 \cdot (P_{ATM} - P_{H_2O}) - PACO_2/R$

$PAO_2 = 0{,}21 \cdot (760-47) - 40/0{,}8$

$PAO_2 = 150 - 50$

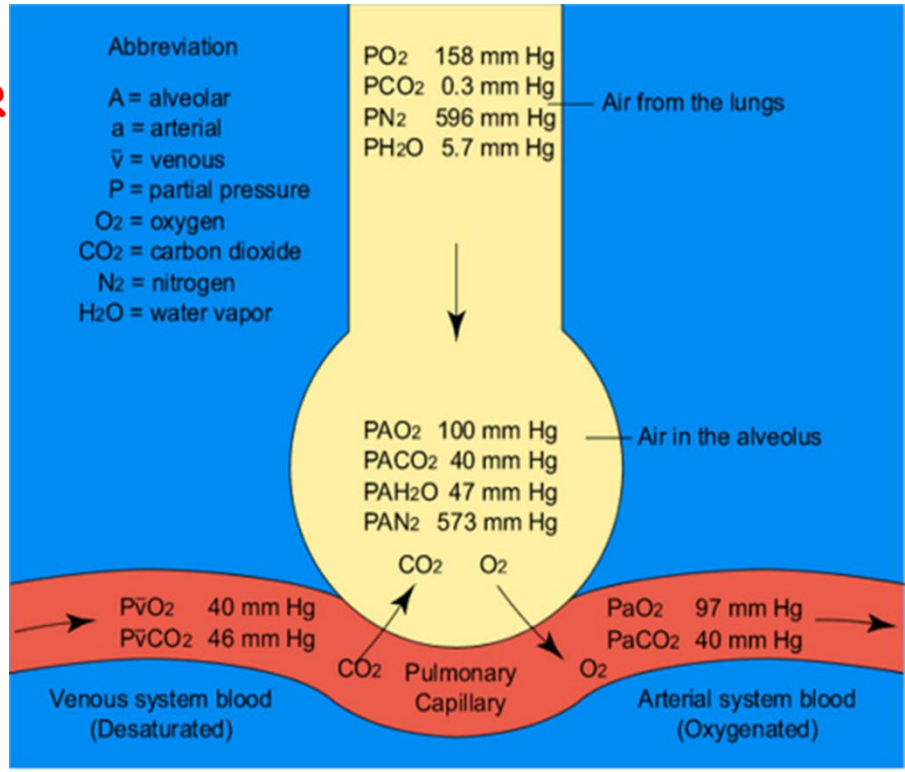
$PAO_2 = 100 mmHg$

$R = VCO_2/VO_2 = 200/250 = 0{,}8$

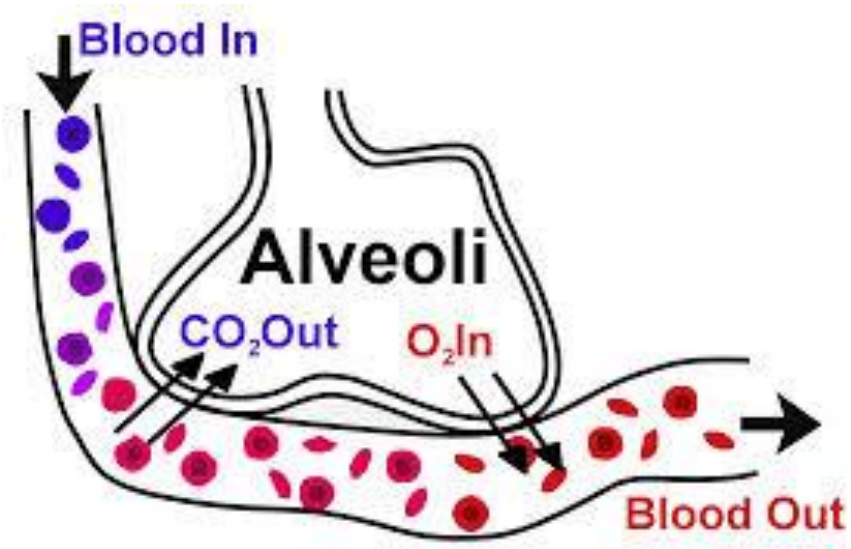
$P(A-a)O_2 = PAO_2 - PaO_2 < 10$

$150 - PaCO_2 / R - PaO_2 < 10$

$PaCO_2 + PaO_2 > 120 mmHg$

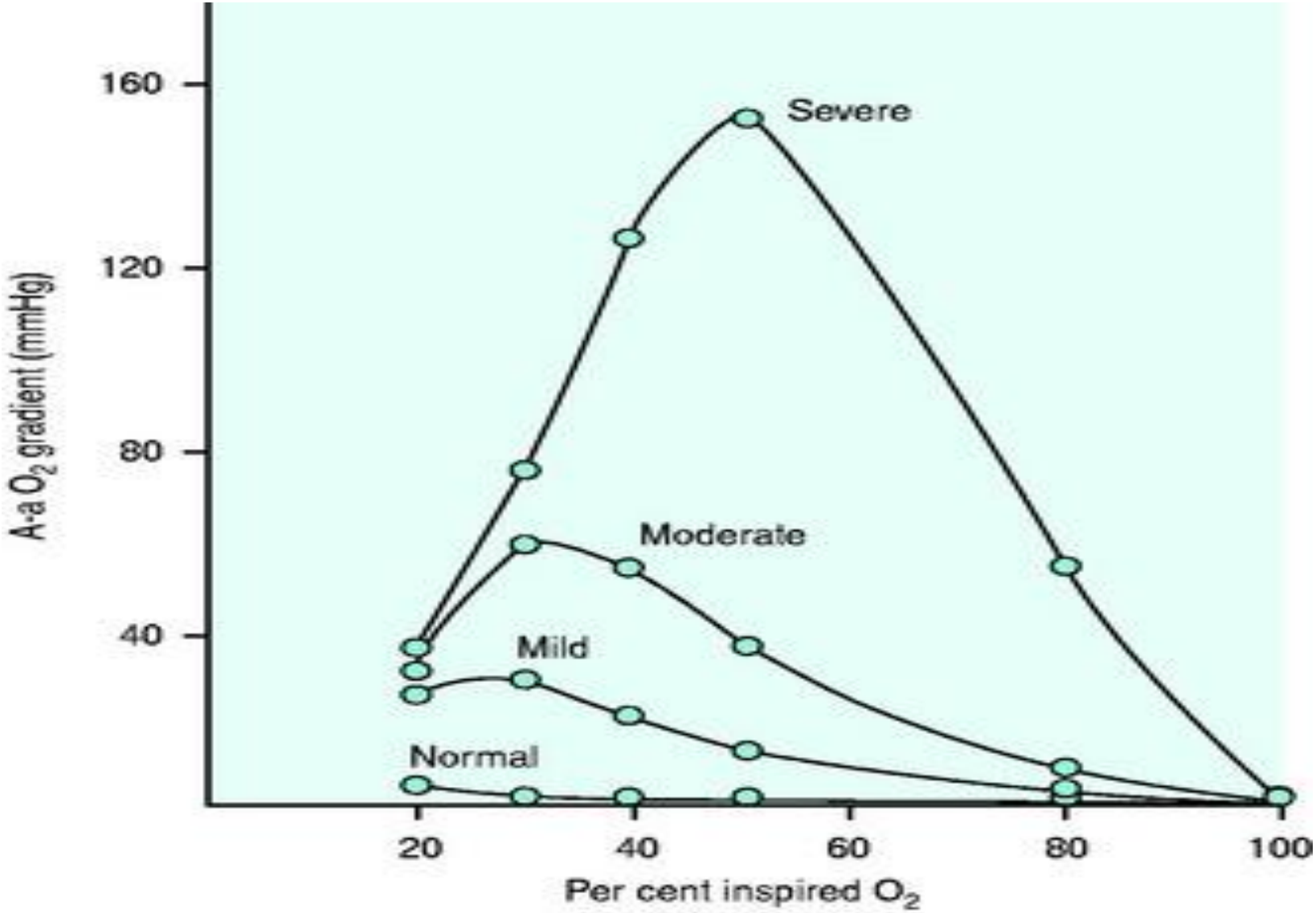


FiO2

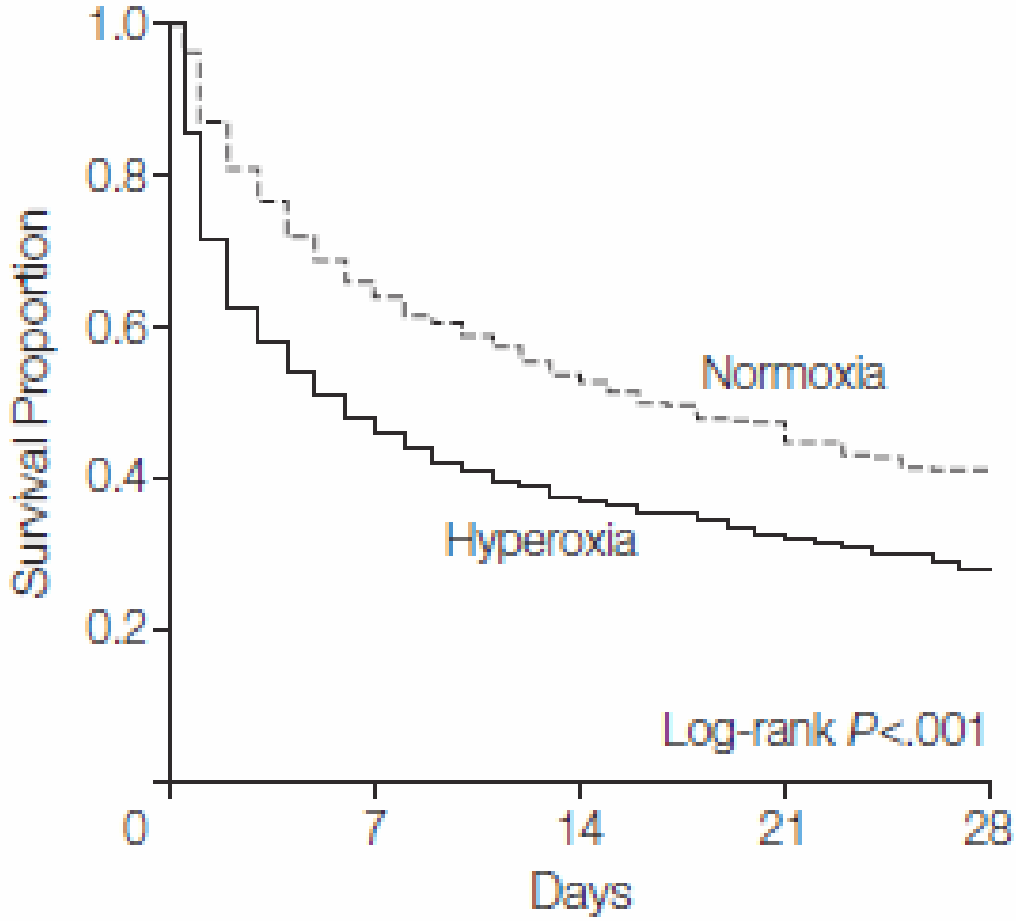


FiO2	Κυψελιδικό Οξυγόνο
21%	100mmHg
40%	250mmHg
60%	400mmHg
80%	550mmHg
100%	700mmHg

Διαταραχή αερισμού-αιμάτωσης (V/Q)



In-Hospital Death Between Hyperoxia and Normoxia

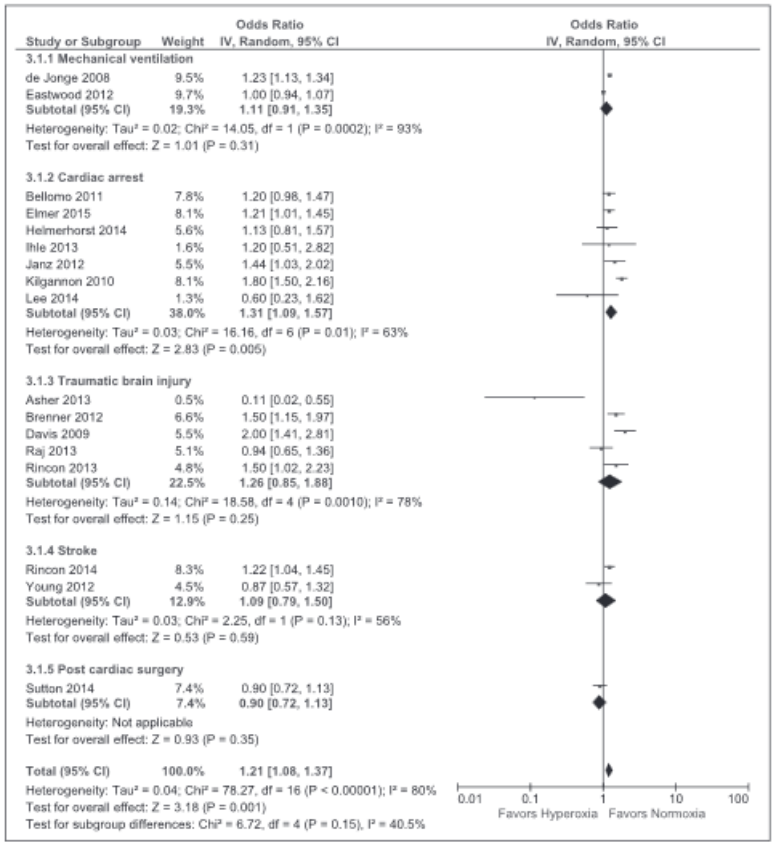


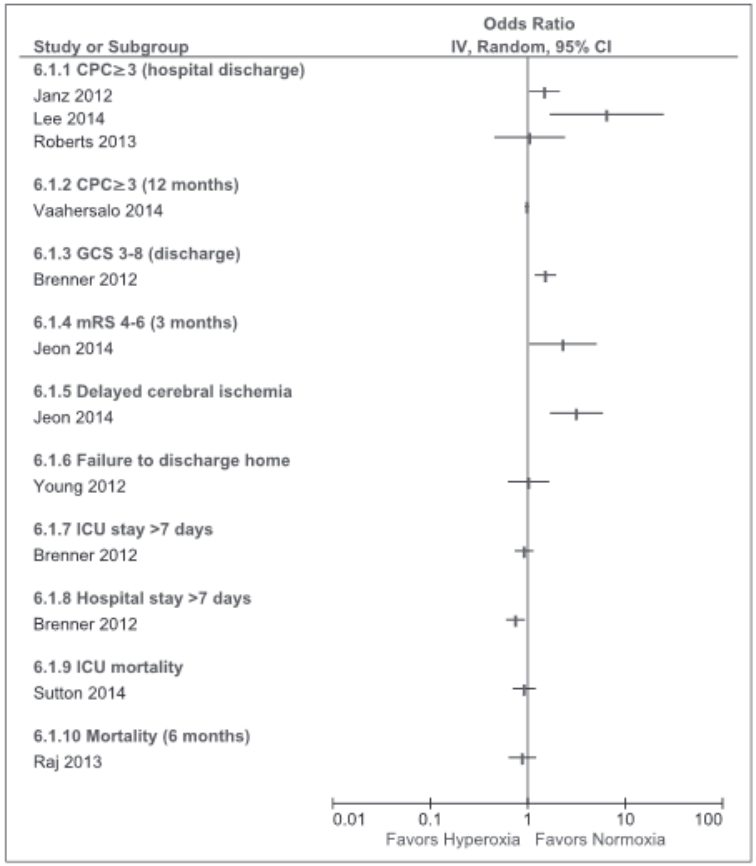
No. at risk					
Normoxia	1171	514	236	129	83
Hyperoxia	1156	406	211	115	70

JAMA. 2010;303(21):2165-2171

Association Between Arterial Hyperoxia and Outcome in Subsets of Critical Illness: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Meta-Regression of Cohort Studies*

Hendrik J. F. Helmerhorst, MD[1,2]; Marie-José Roos-Blom, MSc[3]; David J. van Westerloo, MD, PhD[1]; Evert de Jonge, MD, PhD[1]



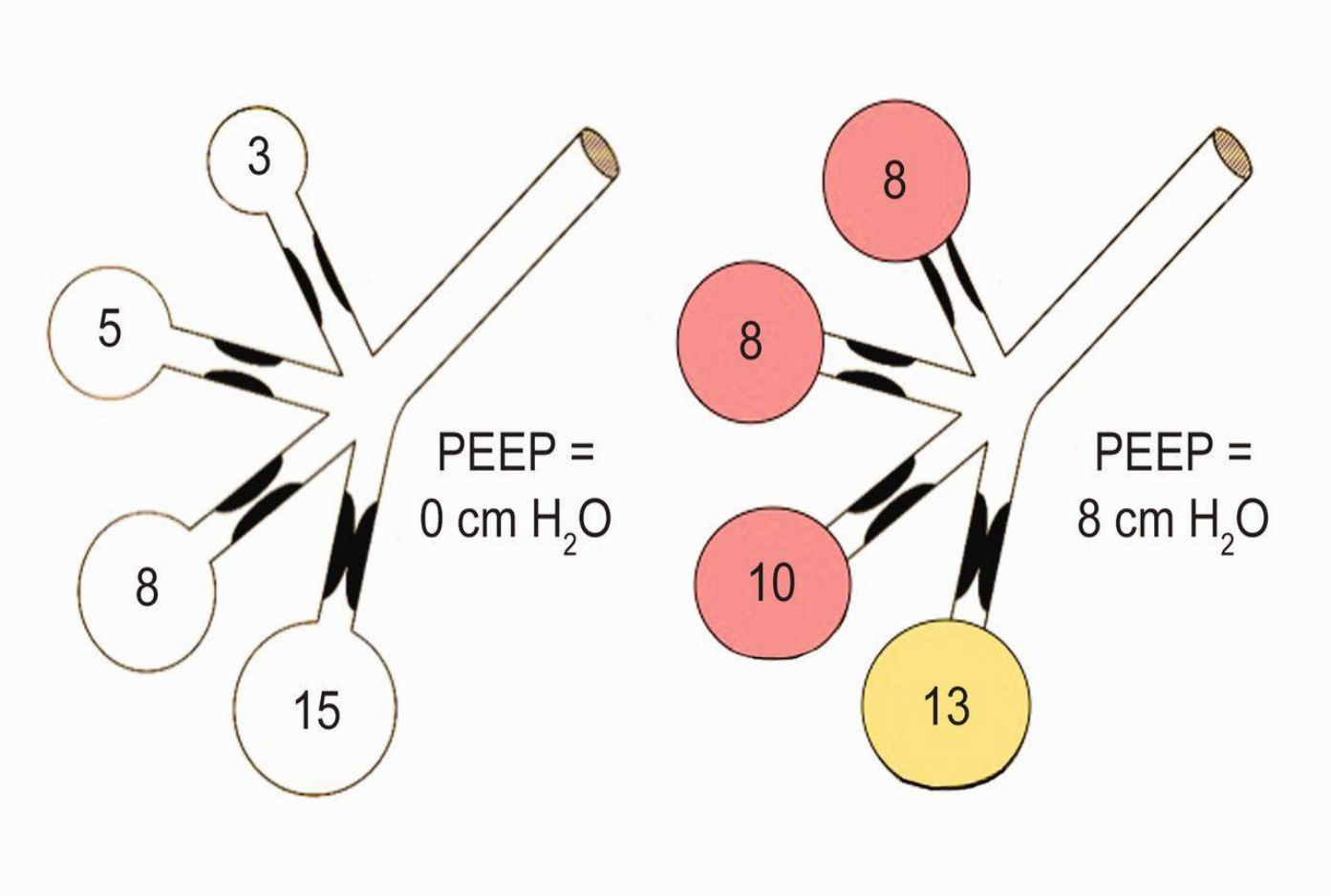


Crit Care Med. 2015 Jul;43(7):1508-19.

Διόρθωση της υποξυγοναιμίας
Positive End Expiratory Pressure

NEVER ZEEP !!!

Η εφαρμογή PEEP βοηθά στην ομογενοποίηση τελοεκπνευστικών πιέσεων που αποκλίνουν βελτιώνοντας έτσι την κατανομή του αερισμού και διευκολύνοντας την έναρξη της αναπνοής

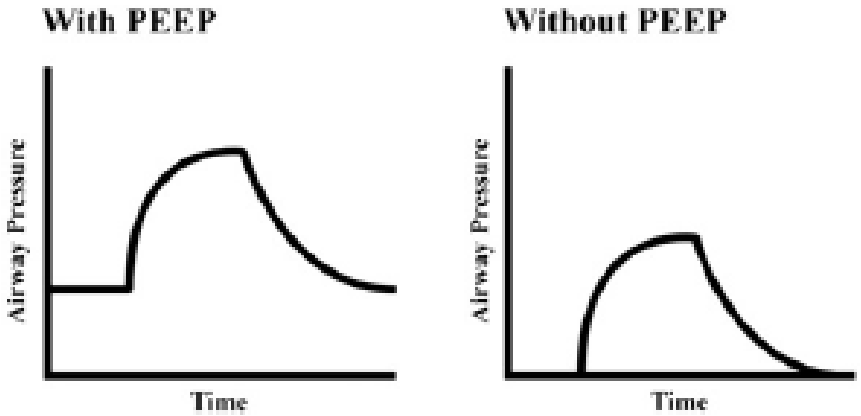


Positive End Expiratory Pressure (PEEP)

Σημαντική η εφαρμογή της σε ασθενείς με υποξαιμική αναπνευστική ανεπάρκεια και μεγάλο shunt που ανταποκρίνονται λιγότερο στην αύξηση του FIO2

Η εφαρμογή PEEP

- Μεταθέτει την καμπύλη πίεσης όγκου προς τη φυσιολογική θέση
- Αυξάνει την ενδοτικότητα
- Επιστρατεύει κυψελίδες
- Αυξάνει τη λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα (FRC)
- Μειώνει το προφόρτιο και το μεταφόρτιο της αριστερής κοιλίας
- Μειώνει τ



Positive End Expiratory Pressure (PEEP)

Table 3
ARDS PEEP-Fio_2 charts. Note that 2 PEEP-Fio_2 charts (high and low PEEP) are presented. The decision to choose one chart rather than the other is still a matter of debate (see text). Note that both charts aim for a Pao_2 between 55 and 80 mm Hg or a Spo_2 between 88% and 95%

Lower PEEP/higher Fio_2								
Fio_2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
PEEP (cm H_2O)	5	5–8	8–10	10	10–14	14	14–18	18–24
Higher PEEP/lower Fio_2								
Fio_2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
PEEP (cm H_2O)	5–10	10–18	18–20	20	20	20–22	22	22–24

JAMA 2008;299(6):646-55.

Positive End Expiratory Pressure (PEEP)

Πιθανές επιπλοκές:

- Επειδή αυξάνει το μεταφορτίο της δεξιάς κοιλίας κίνδυνος αιμοδυναμικής αστάθειας/καταπληξίας σε πνευμονική εμβολή, σοβαρή πνευμονική υπέρταση και έμφραγμα της δεξιάς κοιλίας.
- Παράδοξη επιδείνωση αερισμού-αιμάτωσης και ανταλλαγής αερίων σε ασθενείς με πιο εστιακές βλάβες.
- Αντένδειξη εφαρμογής PEEP: bullous lung disease and preload-dependent shock

Advantages and disadvantages of different modes of mechanical ventilation

Ventilator Mode	Trigger	Limit	Cycle	Advantages	Disadvantages
VAC	Patient or time	Flow, volume	Time	Reduces WOB Guarantees delivery of set V_T (unless PIP limit exceeded)	Potential adverse hemodynamic effects (with auto-PEEP) May lead to inappropriate hyperventilation and excessive inspiratory pressures
PAC	Patient or time	Pressure	Time	Allows limitation of PIP	Same as VAC Potential hyperventilation or hypoventilation with changes in airway resistance or elastance
SIMV	Patient or time	Pressure (patient-triggered breaths) Flow/volume (VC breaths) Pressure (P-SIMV)	Flow (patient-triggered breaths) Volume or time for VC breaths	Less interference with normal cardiovascular function	Increased WOB compared with A/C Asynchrony Poor weaning mode
PRVC	Patient or time	Dual control: pressure-limited mode using a target V_T for feedback control	Time, flow (patient-triggered breaths)	Minimum MV at the lowest PIP possible; Maintains similar V_T with varying resistance and elastance Intelligent closed-loop ventilation that automatically transitions from controlled breathing to spontaneous when patient is ready	When patients attempt to breathe at a V_T greater than the clinician-set target V_T, the burden of inspiratory work is shifted onto the patient Absence of high-level evidence of its superiority on patient-oriented outcomes
ASV	Patient or time	Dual control: pressure-limited mode that uses a target MV for feedback control	Time, flow (patient-triggered breaths)	Same as PRVC. In addition, the microprocessor calculates the ideal V_T and RR to deliver minimizing WOB and targeting a lung protection strategy Decreases workload	When patients attempt to breathe at an MV greater than the clinician-set target MV, the burden of inspiratory work is shifted onto the patient Absence of high-level evidence of its superiority on patient-oriented outcomes
PSV	Patient	Pressure	Flow	Patient comfort Improved patient-ventilator synchrony Decreased WOB	Apnea alarm is only backup (newer microprocessor ventilators have a backup mode if patient apneic)

Emerg Med Clin N Am 30 (2012) 421–449

Εφαρμογή μηχανικής υποστήριξης της αναπνοής

- Επαρκής καταστολή ± Μυοχάλαση
- Αιμοδυναμική σταθερότητα
- FiO2 = 100%
- Ύψος ασθενούς
- Επιλογή V_t
- PEEPe (7-8 cmH2O)
- Επιλογή f (20-25bpm)
- Επιλογή I/E (1/2 – 1/4)
- ABG's
- Αλλαγές ρυθμίσεων

Αναπνεόμενος Όγκος

- 6 – 8 ml/kg Ιδανικού Βάρους Σώματος
- Άνδρες: (Υψος-100)-4
- Γυναίκες: (Υψος-100)-8

Comparison of initial ventilator settings for different clinical situations

	Clinical Example	Modes	Respiratory Rate (Breaths/min)	Tidal Volume (mL/kg IBW[a])	Flow Rate (L/min)	Fio_2	PEEP (cm H_2O)
Normal lung mechanics	Poisoning	VAC PAC SIMV PRVC ASV	10–15 (100%–110% MV)	8–10	60	<0.4	3–5
Severe airflow obstruction	Acute asthma	VAC PRVC ASV	8–10 (100%–110% MV)	4–8 (then adjust)	≥60	0.3–0.5	<80% of intrinsic PEEP
Acute/chronic respiratory failure	COPD exacerbation	VAC PRVC ASV	10–12	6–8	≥60	0.3–0.5	<80% of intrinsic PEEP
Acute hypoxemia	Cardiogenic pulmonary edema	VAC PAC PSV PRVC ASV	10–15 (spontaneous) (100%–110% MV)	8–10 (PS to maintain V_T 8–10 mL/kg)	~60	1.0	10
Acute hypoxemia	Pneumonia and ARDS	VAC	20–35	6–8 and lower to 4–6 subsequently if Ppl >30	~60	1.0	5–24 (ARDS Network PEEP- Fio_2 chart)
Neuromuscular weakness and chest wall trauma	Myelopathy and chest wall trauma	PAC VAC PRVC ASV	15–25 (100%–110% MV)	8–10	60–80	≤0.5	5–8

Emerg Med Clin N Am 30 (2012) 421–449

Επίσης

Παρακολούθηση ζωτικών σημείων (Σφύξεις, ΜΑΠ, SaO2)

Εξασφάλιση καλού συγχρονισμού με τον αναπνευστήρα

Εξασφάλιση καλού ενδαγγειακού όγκου

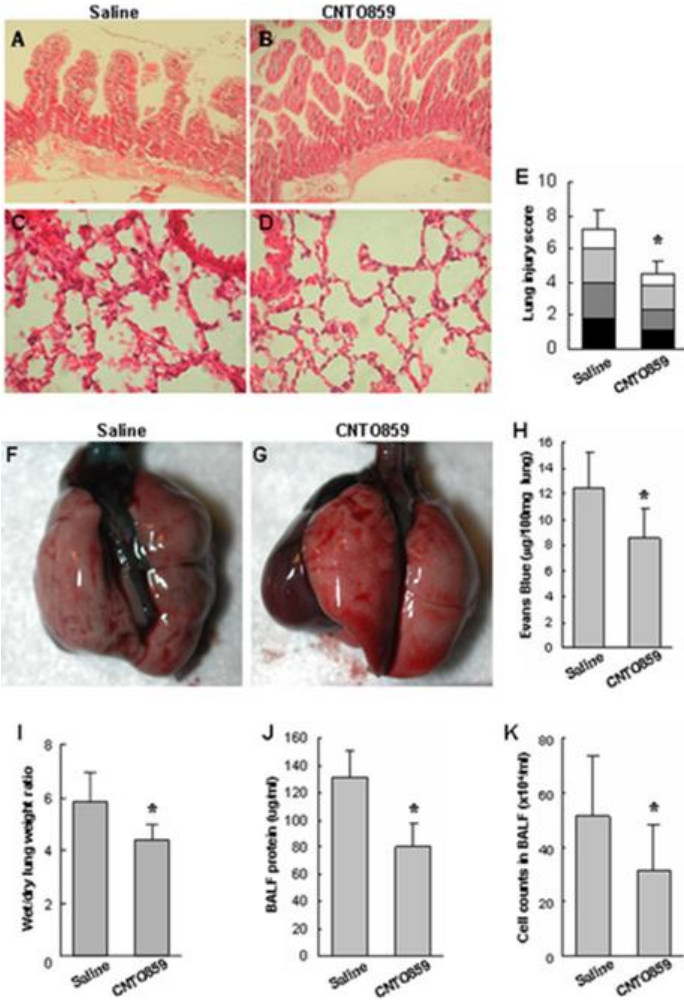
ARDS

ΑΞΟΝΕΣ ΣΤΟΧΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ARDS

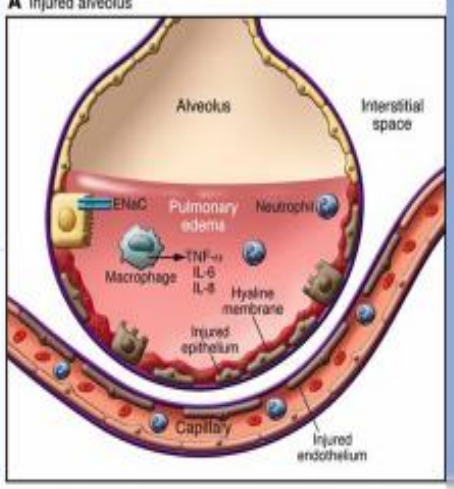
Επαρκής οξυγόνωση (PaO_2 55-80 mm Hg, SaO_2: 88-95%)

Ελαχιστοποίηση των βλαβών που προκαλεί ο αναπνευστήρας

(Ventilator Induced Lung Injury-VILI)

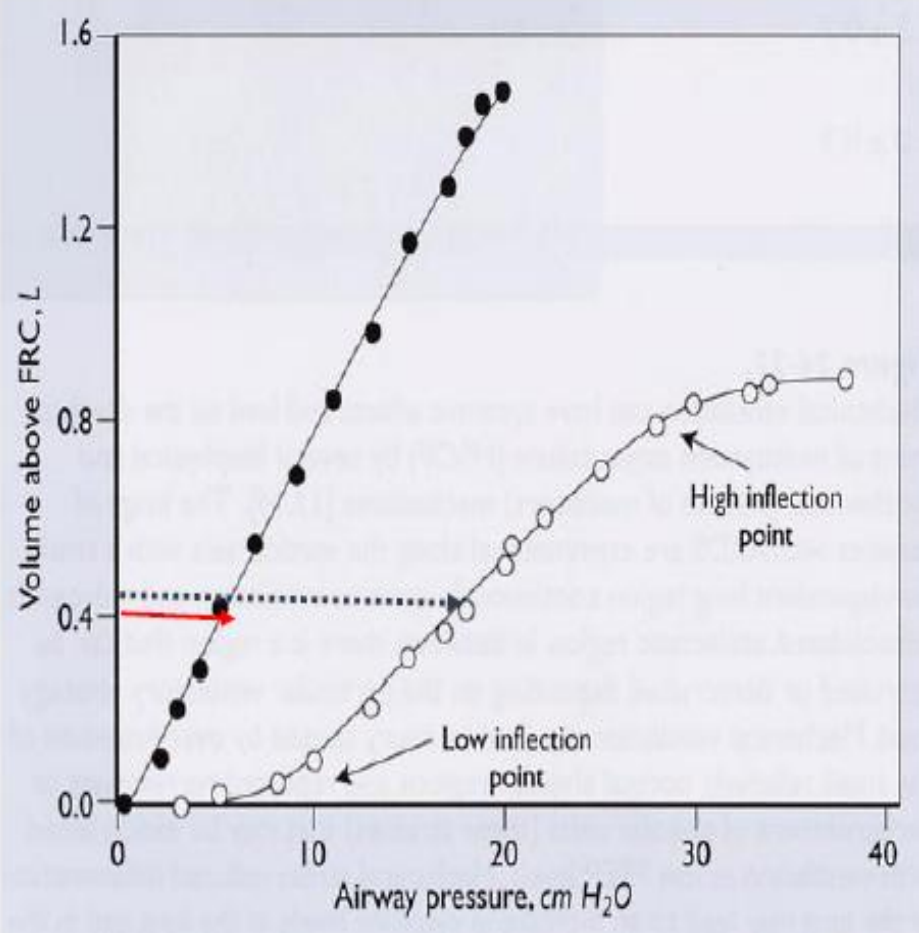


ARDS -φυσιολογία

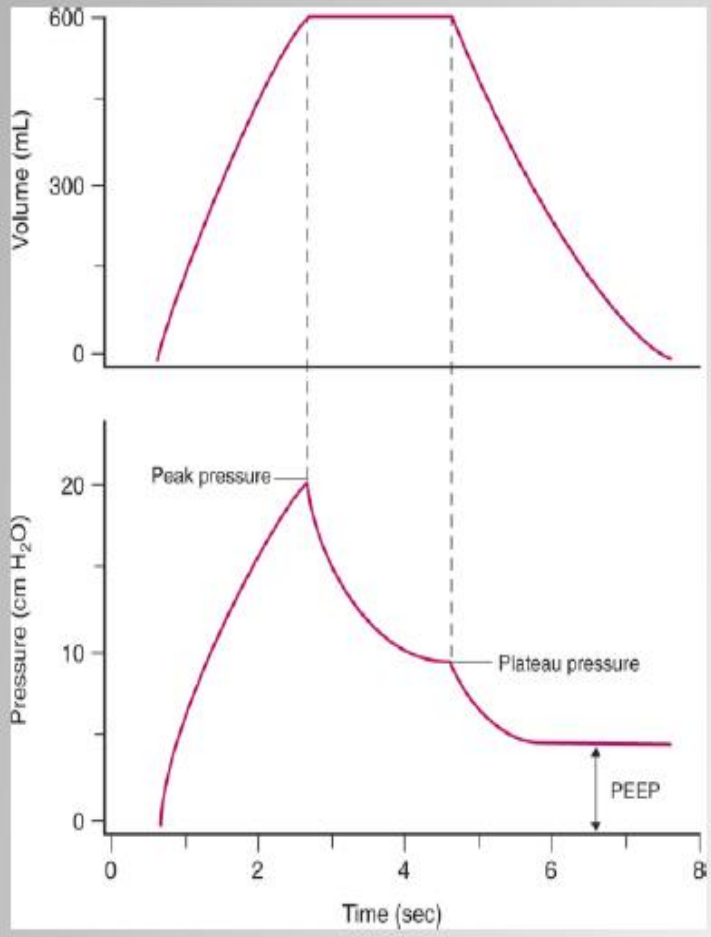


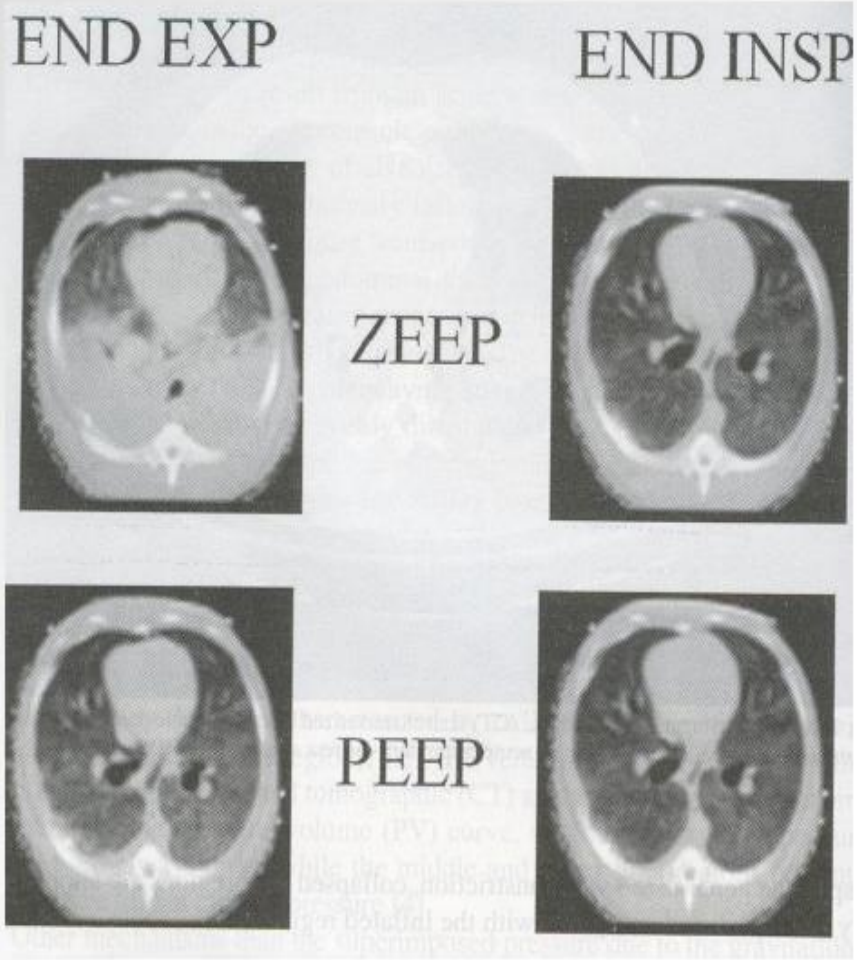
- **Ανταλλαγή των αερίων**
- **↓PaO2:** ↑shunt, διαταραχές V/Q
- **↑ PaCO2:** ↑VD/VT, ↑ παραγωγή CO2

- **↓ Πνευμονικού όγκου (baby lung)**
- ↓ FRC
- ↓ VC
- ↓ Ενδοτικότητας



Positive End-Expiratory Pressure- PEEP





ARDS: Lung protective ventilation

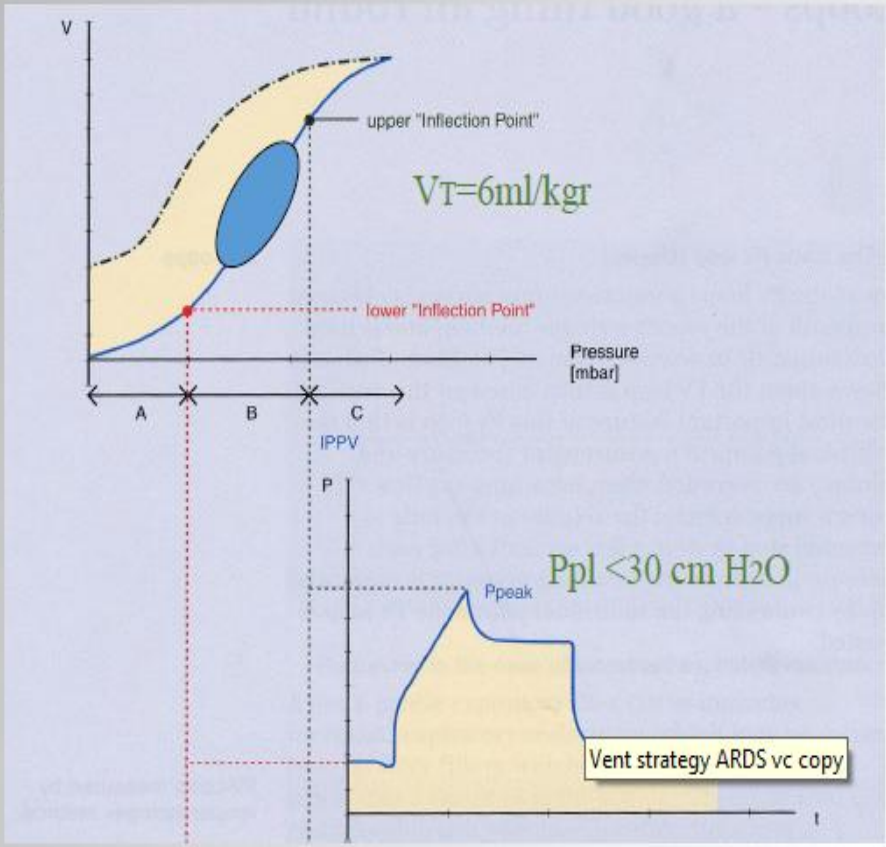
ARDSnet, N Engl J Med 2000

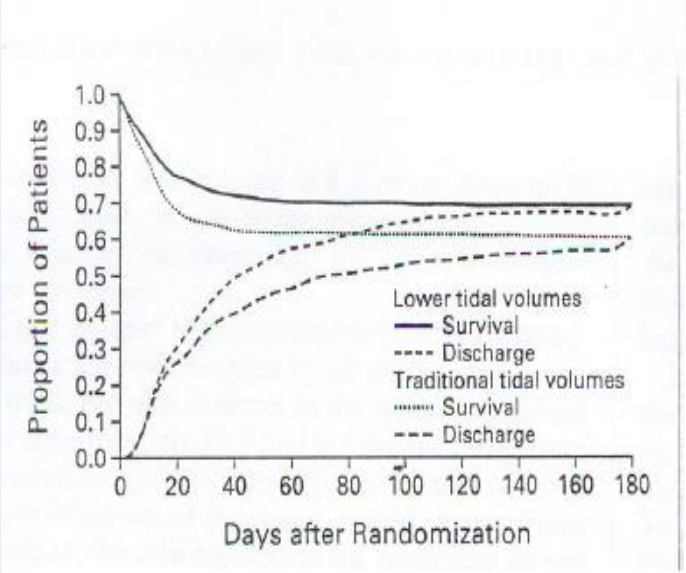
Tv: 6mL/kgPBW

Pplat: ≤30 cm H_2O

RR: 6-35/min

pH: 7.30-7.45



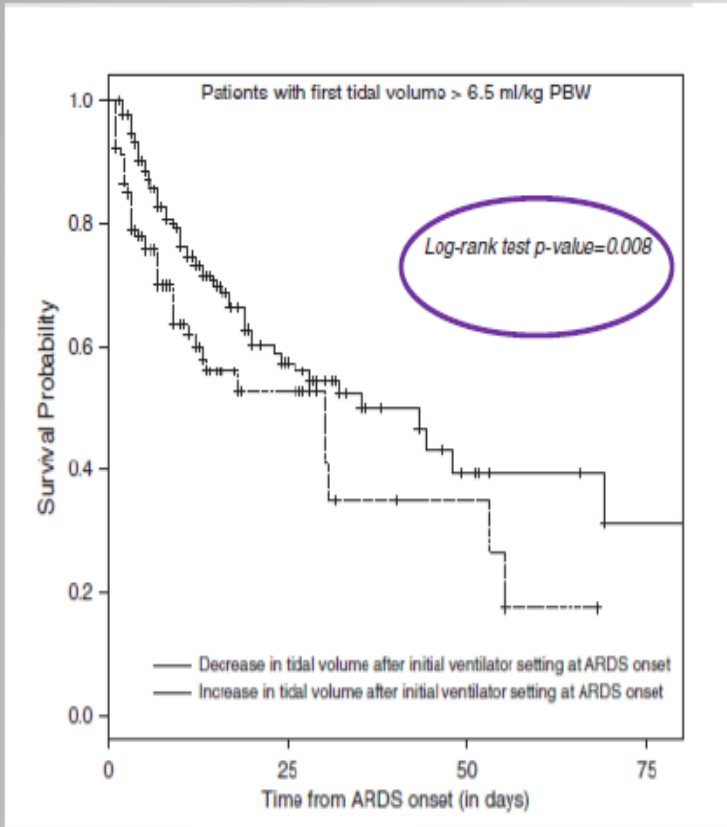


Traditional ventilation: **39,8%**
(Pplat<50cm H2O, VT=12 mL/Kg)
Lung protective ventilation: **30.1%**
(Pplat<30cm H2O, VT=6mL/Kg)
Mortality rate: 20% reduction

FiO_2-PEEP ⇒ PaO_2:55-80 mm Hg or SaO_2: 88-95%

ARDS: Lung protective ventilation

Έγκαιρη εφαρμογή προστατευτικού αερισμού



Πολυκεντρική μελέτη
482 ασθενείς με ARDS
11.558 μετρήσεις Vτ (δυο φορές την ημέρα)

Needham, AJRCCM 2015

Νεότερα στο μηχανικό αερισμό
Driving Pressure

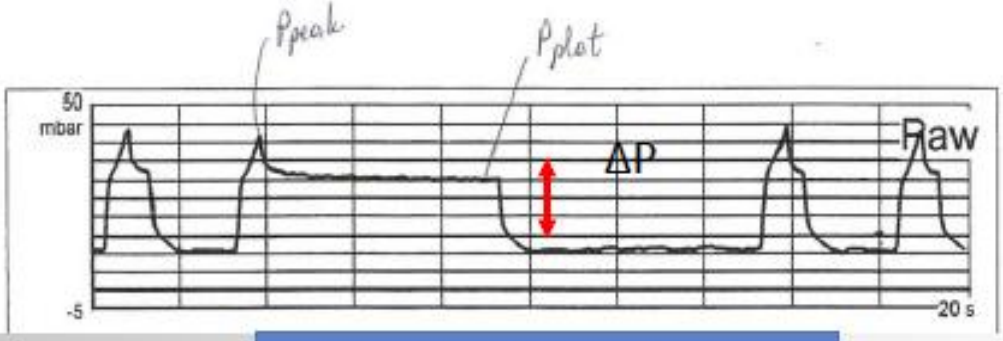
The NEW ENGLAND JOURNAL of MEDICINE

SPECIAL ARTICLE

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.

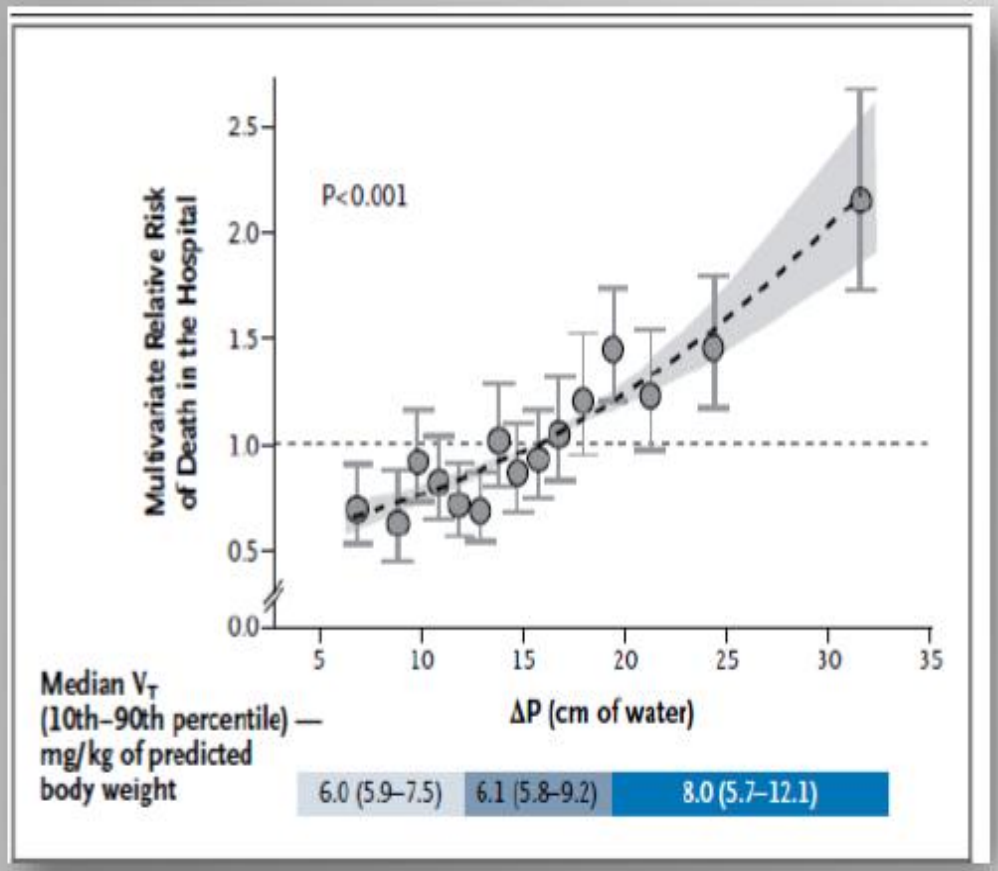
N ENGL J MED 372;8 NEJM.ORG FEBRUARY 19, 2015



$\Delta P = Pplat - PEEP$

Lung protective ventilation

1. Pplat < 30cm H_2O
2. V_T = 6 mL/KgPbw
3. High PEEP

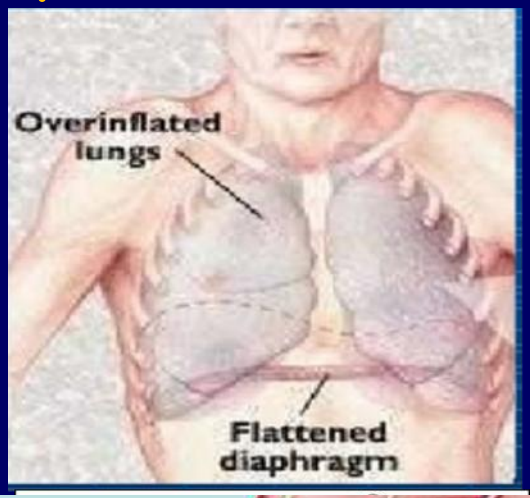


- Η εξαρτημένη μεταβλητή ΔP σχετίζεται ισχυρά και ανεξάρτητα με την επιβίωση.
- Μείωση του Vt ή αύξηση της PEEP έχουν επίδραση στην επιβίωση μόνο εάν σχετίζονται με μείωση της ΔP

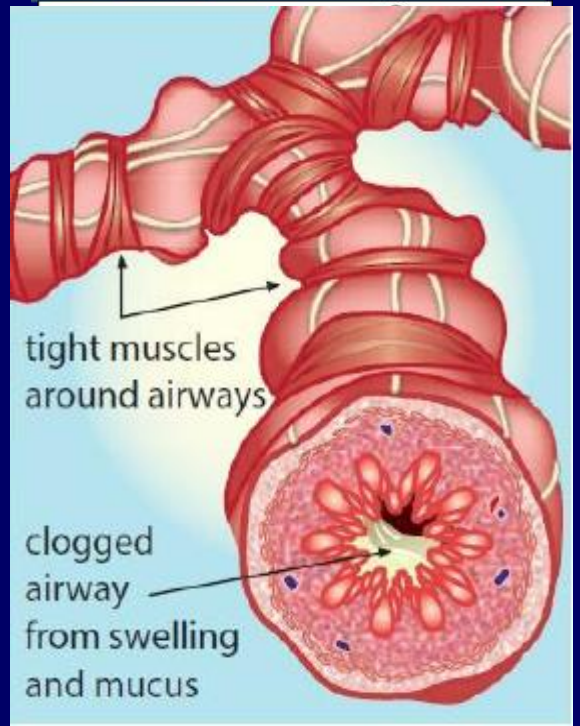
Amato et al, N Engl J Med 2015

Αποφρακτικά νοσήματα

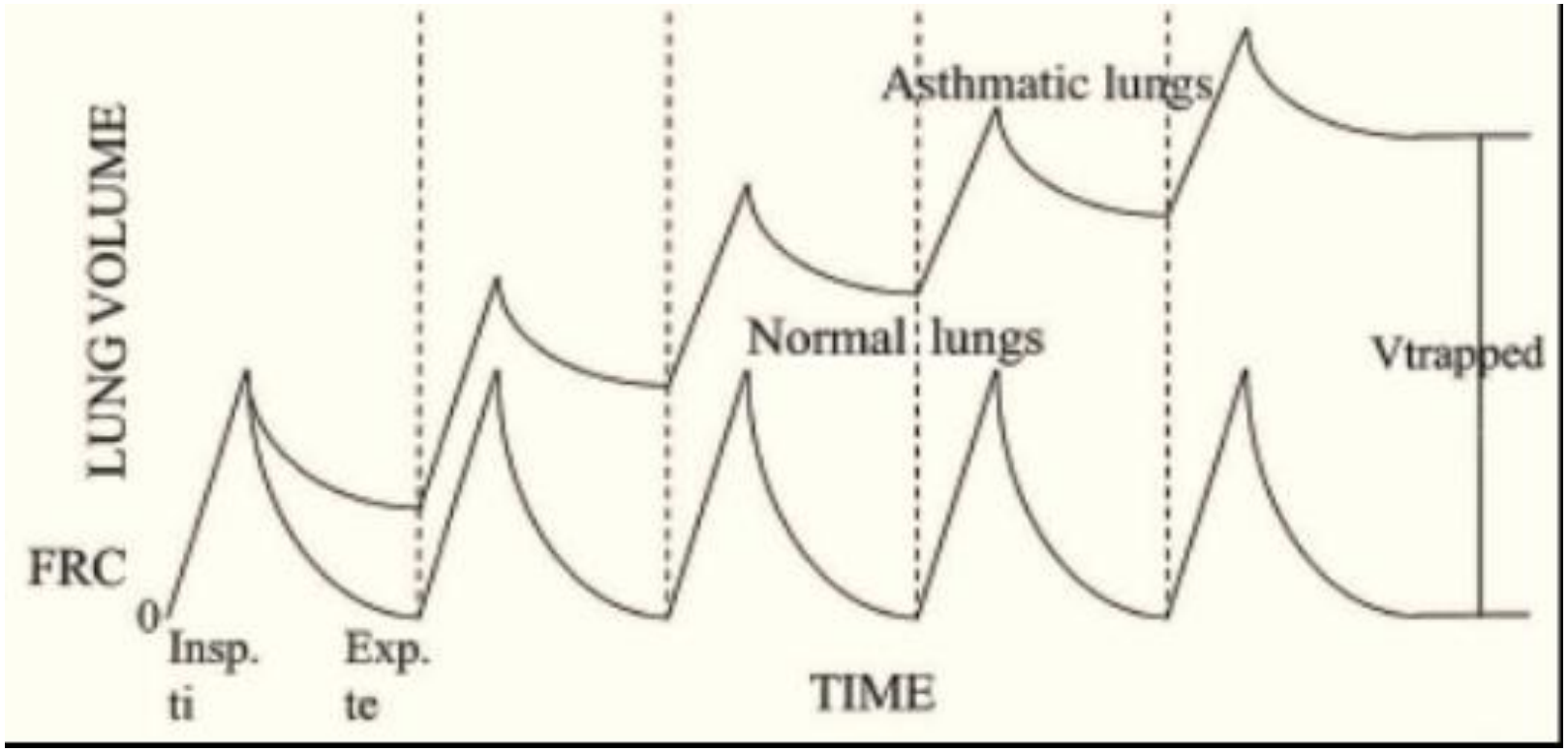
Τέσσερις κύριοι παθοφυσιολογικοί μηχανισμοί πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν στη διάρκεια του μηχανικού αερισμού:



1. Η δυναμική υπερδιάταση
2. Η δυσλειτουργία των αναπνευστικών μυών
3. Η ανεπαρκής ανταλλαγή αερίων
4. Οι καρδιαγγειακές διαταραχές



Στην παρόξυνση: σταδιακή επιδείνωση της δυναμικής υπερδιάτασης



Στένωση των αεραγωγών
Αυξημένη αναπνευστική συχνότητα
Μειωμένος χρόνος εκπνοής

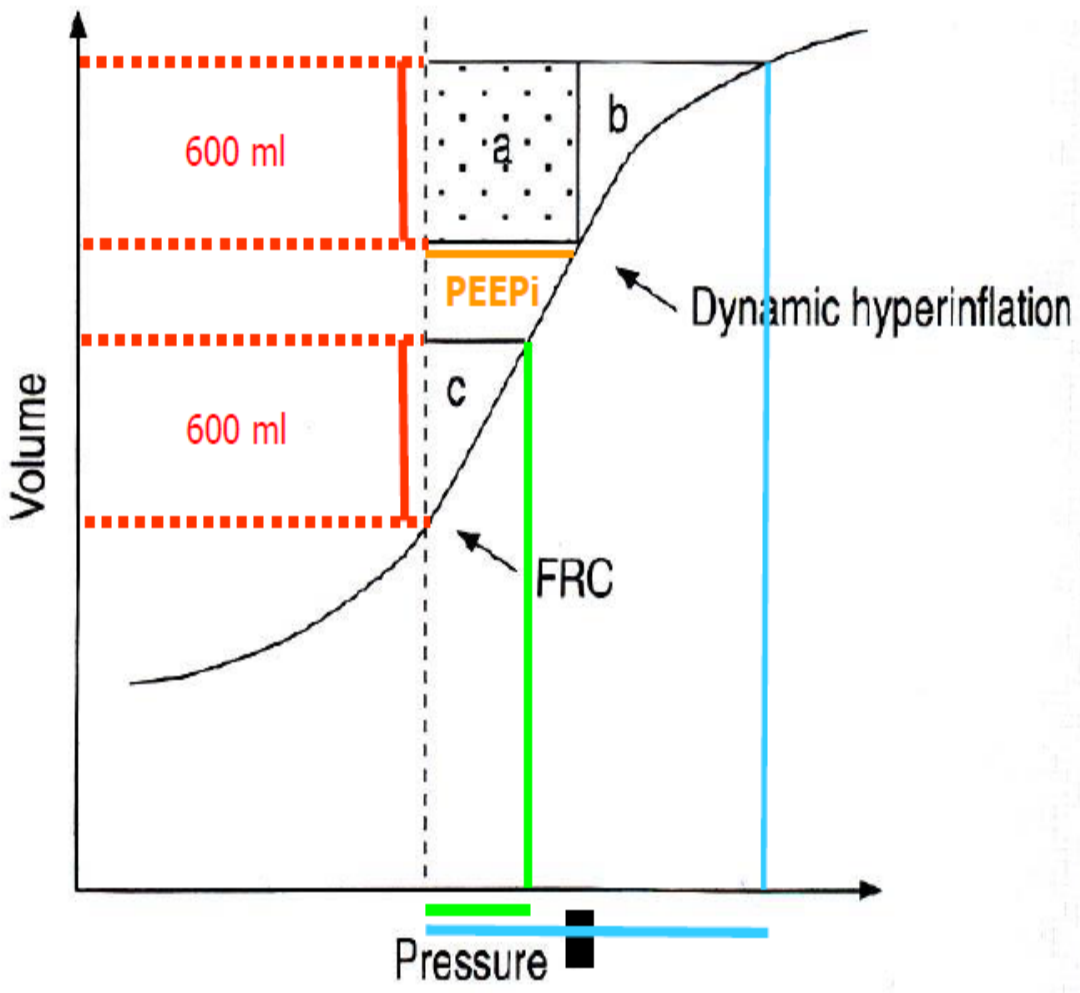
Η FRC στους αποφρακτικούς ασθενείς μπορεί να φτάσει στο 65% της TLC

Δυναμική υπερδιάταση στην παρόξυνση

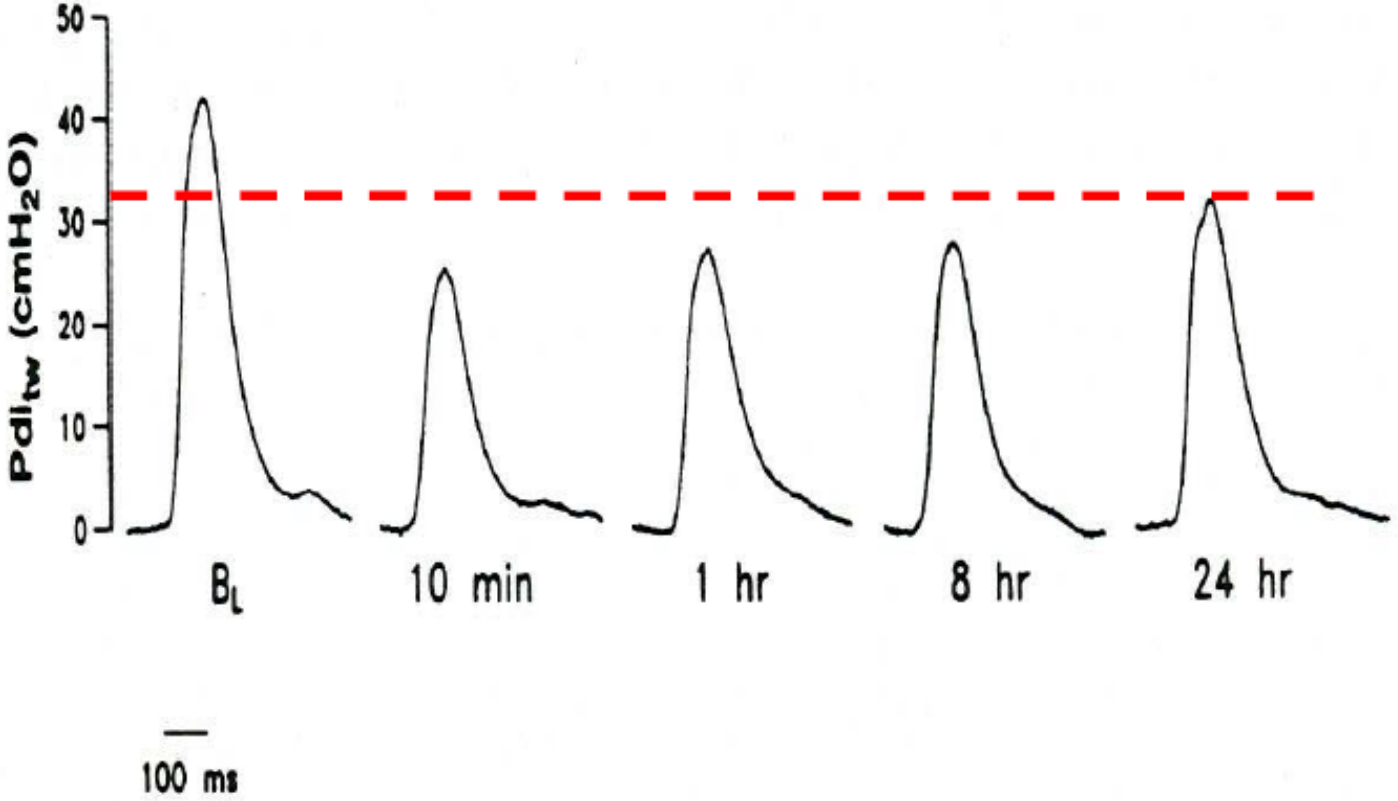
Αυξημένο έργο αναπνοής λόγω:

- Της αυξημένης PEEPi που πρέπει να υπερνικήσουν οι αναπνευστικοί μύες (41% του έργου των εισπνευστικών μυών ξοδεύεται στην υπερνίκηση της PEEPi στην αυτόματη αναπνοή σε ασθενείς με ΧΑΠ)

- Της ελαττωμένης ενδοτικότητας, αφού το σύστημα λειτουργεί σε όγκους που πλησιάζουν την TLC

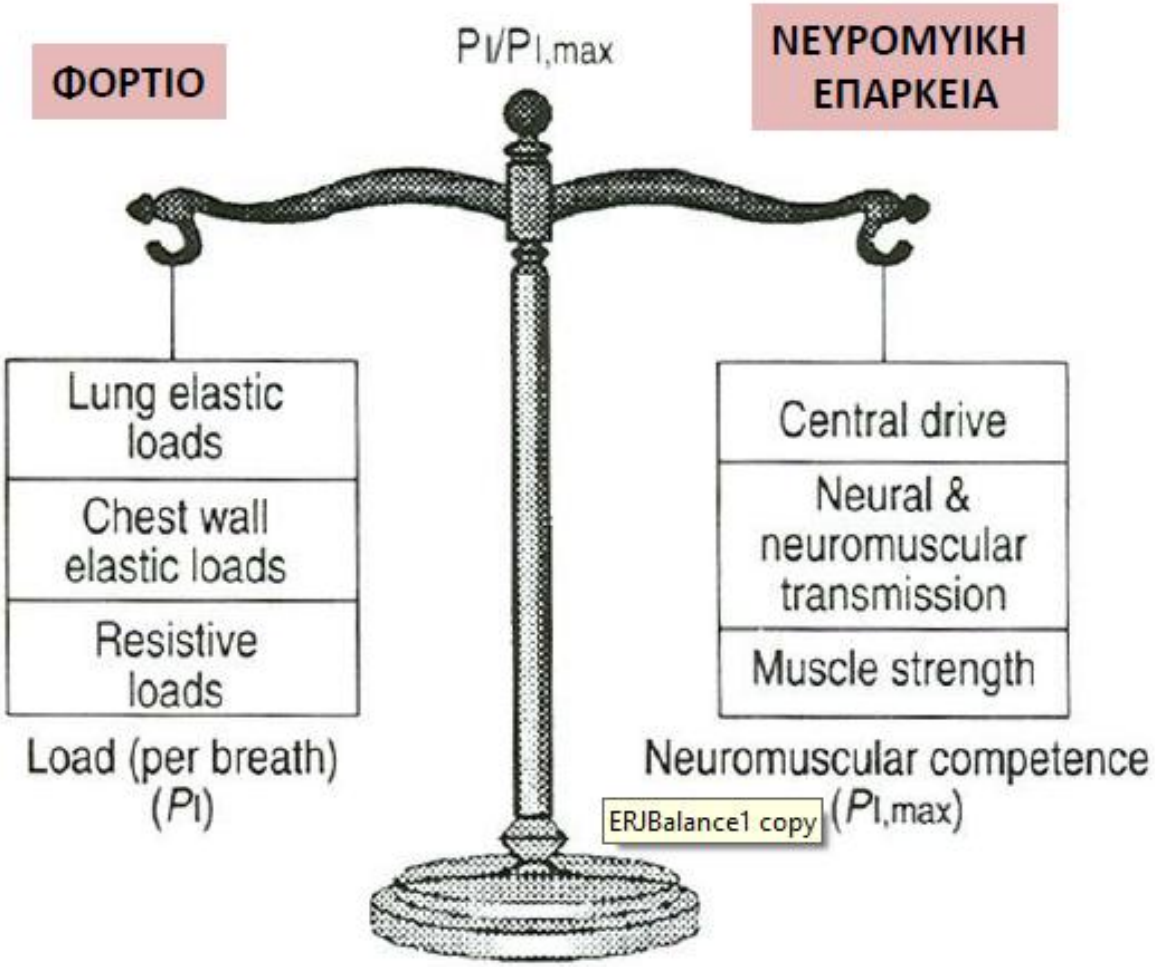


Το αυξημένο έργο της αναπνοής οδηγεί σε διαφραγματική κόπωση



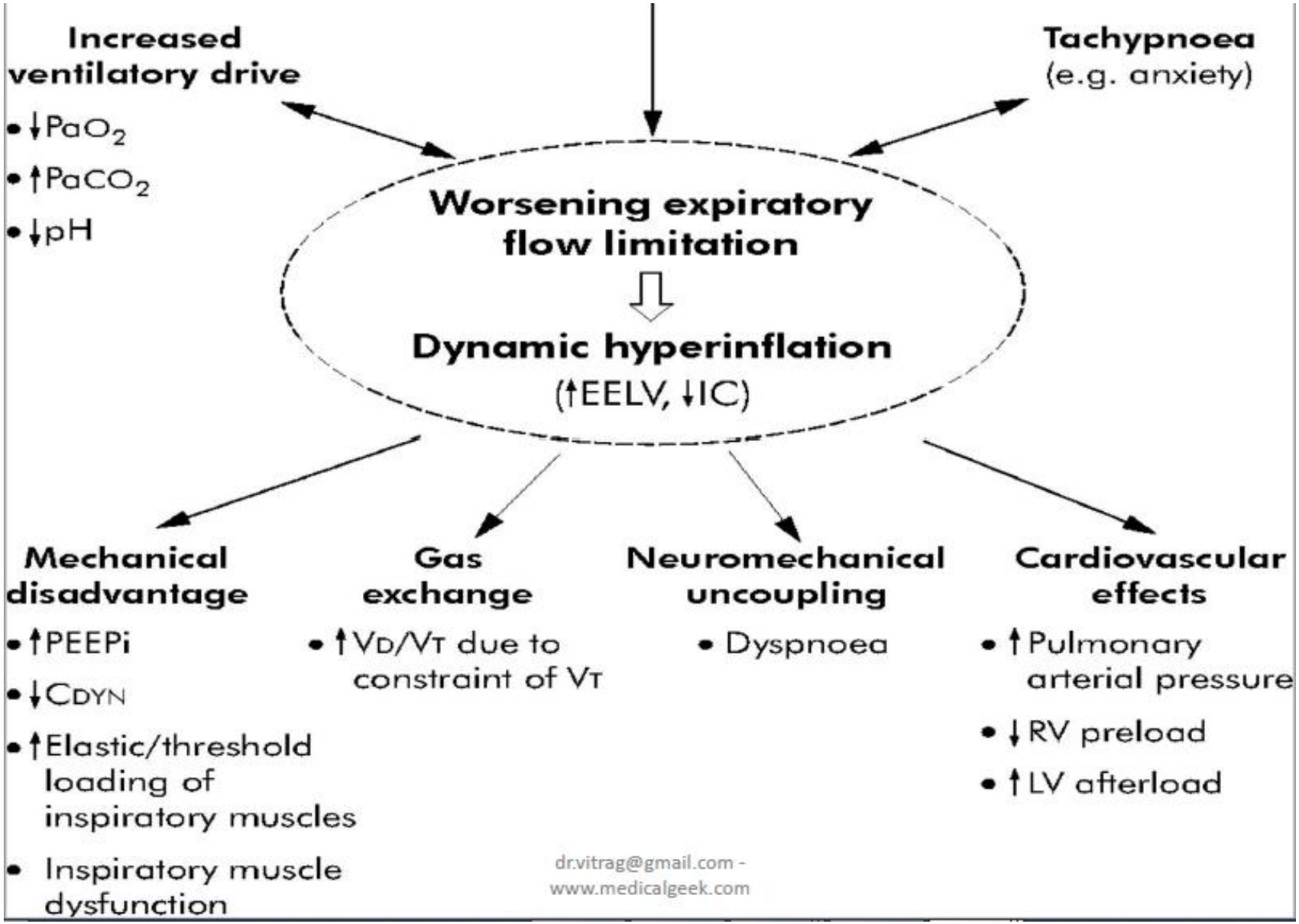
Laghi F et al J Appl Physiol 1995; 500:193-204

Υπερκαπνική αναπνευστική ανεπάρκεια



Vassilakopoulos T et al Eur Respir J 1996;9:2383-2400

Δυναμική υπερδιάταση – παθοφυσιολογικές διαταραχές



Στόχος αερισμού στη ΧΑΠ

1. Βελτίωση της ανταλλαγής αερίων

2. Μείωση της υπερδιάτασης

- **Παράταση εκπνοής**
- **Ελάττωση του κατά λεπτό αερισμού (μείωση f και VT)**
- **Αύξηση του ρυθμού εισπνευστικής ροής**
- **Εφαρμογή peep**
- **Ελάττωση των πνευμονικών αντιστάσεων με βρογχοδιαστολή-στεροειδή**
- **Ελάφρυνση του έργου της αναπνοής-ξεκούραση των μυών**
- **Βελτίωση του συγχρονισμού**
- **Αποφυγή βαροτραύματος**
- **Ελαχιστοποίηση των καρδιαγγειακών επιπλοκών**

Συνεπώς αερισμός με:

- Χαμηλότερο VT
- Λίγες αναπνοές
- Υψηλή ροή ώστε το pH και όχι η PaCO2 να είναι στα φυσιολογικά όρια

Αρχικές ρυθμίσεις στον αναπνευστήρα ΑΣΘΜΑ

Darioli and Perret 1984
"controlled hypoventilation" ή "permissive hypercapnia"

Στόχος: μείωση υπερδιάτασης

Pplateau<30cmH2O και ↓PEEPi (ιδανικά <5cmH2O)

Ventilatory parameters	Settings
Mode	Volume-controlled ventilation
Minute ventilation	<10 l/min
Tidal volume	6–10 ml/kg ideal body weight
Respiratory rate	10–14 cycles/min
Plateau pressure	<30 cmH_2O
Inspiratory flow rate	60–80 l/min
Inspiratory flow waveform	Decelerating waveform
Expiratory time	4–5 s
PEEP	0 cmH_2O
FIO_2	To an SaO_2 of >90%

Στόχος του μηχανικού αερισμού

Μείωση της υπερδιάτασης
Βαθειά καταστολή και μυοχάλαση αρχικά

Agents	Dose	Side effects
Peri-intubation period		
Midazolam	1 mg (intravenous) slowly, every 2–3 min until the patient allows positioning and airways inspection	Hypotension, respiratory depression
Ketamine	1–2 mg/kg (intravenous) at a rate of 0.5 mg/kg/min	Sympaticomimetics effects, delirium
Propofol	60–80 mg/min initial intravenous infusion up to 2.0 mg/kg, followed by an infusion of 5–10 mg/kg/hour as needed	Respiratory depression
Mechanical ventilation		
Midazolam	1–10 mg/hour continuous intravenous infusion	
Morphine sulfate	1–5 mg/hour intravenous continuous infusion	Nausea, vomiting, ileus
Ketamine	0.1–0.5 mg/min (intravenous)	
Propofol	1–4.5 mg/kg/hour (intravenous)	Seizures, hyperlipidemia

Τι μπορεί να συμβαίνει όταν..

- Χαμηλή ενδοτικότητα (υψηλή Ppeak και Pplateau):

- διασωλήνωση βρόγχου/ατελεκτασία
- πνευμοθώρακα
- ARDS
- υπερδιάταση
- παθολογία εκ της κοιλίας που μειώνει την ενδοτικότητα του αναπνευστικού συστήματος (ασκίτης, παγκρεατίτιδα, κλπ)

- Υψηλές αντιστάσεις (υψηλή Ppeak μόνο):

- απόφραξη στον ενδοτράχειο σωλήνα ή σε άλλο σημείο του κυκλώματος που να παρεμποδίζει την ροή
- βρογχόσπασμος
- εκκρίσεις
- αποφρακτικά νοσήματα των αεραγωγών

Μπορεί να υπάρχει υπερδιάταση χωρίς περιορισμό στην εκπνευστική ροή;

- Σε ταχύ αναπνευστικό ρυθμό
- Σε μεγάλους αναπνεόμενους όγκους
- Όταν ο χρόνος εισπνοής είναι μεγαλύτερος από το χρόνο εκπνοής
- Όταν ο ενδοτραχειακός σωλήνας είναι πολύ στενός

Πιθανές επιπλοκές του μηχανικού αερισμού

Pneumomediastinum	6 (21%)
Aspiration pneumonia	4 (14%)
Ventilator-associated pneumonia	4 (14%)
Pneumothorax	4 (14%)
Rhabdomyolysis	3 (11%)
Supraventricular tachycardia	2 (7%)
Endotracheal tube displacement	2 (7%)
Hypotension (requiring inotropic support)	1 (4%)
Central venous line infection	1 (4%)
Perforated duodenal ulcer	1 (4%)

Carrol CL et al. Pediatric Pulmonology 2007;42:914-919

Τελειώνοντας…

Τι να θυμάμαι

- Η βελτίωση της οξυγόνωση βασίζεται στην εφαρμογή FiO2 και PEEP
- Η υποξυγοναιμία μπορεί να είναι απειλητική για τη ζωή
- Η υποξυγοναιμία οφείλει να αναστρέφεται άμεσα
- Πρώτη ενέργεια FiO2 = 100%
- Δεύτερη ενέργεια αύξηση της PEEP

Τελειώνοντας…

Τι άλλο να προσέξω

- Οι μεταβολές του αναπνεόμενου όγκου και της συχνότητας μεταβάλουν τα επίπεδα της PCO2
- Είναι προτιμότερη η υπερκαπνία από τον αερισμό με υψηλές πιέσεις και όγκους (permissive hypercapnia)
- Σε ελεγχόμενα μοντέλα μηχανικής υποστήριξης η αύξηση της PCO2 με τις ίδιες ρυθμίσεις σημαίνει αύξηση του νεκρού χώρου του ασθενούς.

Ευχαριστώ