

Παρακολούθηση του αναπνευστικού σε ασθενείς υπό μηχανική υποστήριξη της αναπνοής (Respiratory monitoring)



Respiratory monitoring

- Διάγνωση
- Εκτίμηση της αναπνευστικής λειτουργίας:
 - Υπολογισμός των φυσιολογικών παραμέτρων του αναπνευστικού συστήματος
 - Ερμηνεία των κυματομορφών
- Αλλαγές στην κατάσταση του ασθενούς
- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου VILI
- Αλληλεπίδραση ασθενούς αναπνευστήρα



Παρακολούθηση του αναπνευστικού σε ασθενείς υπό μηχανική υποστήριξη της αναπνοής (Respiratory monitoring)

- **Ανθρωποκεντρική** (και όχι τεχνολογο-κεντρική) προσέγγιση
- Η έκβαση του αρρώστου εξαρτάται από τις **αλλαγές που θα κάνουμε στη θεραπεία** βάσει των πληροφοριών που θα πάρουμε από την παρακολούθηση του αναπνευστικού και όχι από τις αλλαγές που θα καταγράψουν τα μηχανήματα
- Η **εξέλιξη** των παραμέτρων στη πορεία του χρόνου ως απάντηση στη θεραπεία και όχι οι μεμονωμένες τιμές
- *Hudson. Respir Care 1985. 30: 628*

Respiratory monitoring: Στόχος

Για να είναι αποτελεσματικό:

- Ποιες παραμέτρους θα μετρήσουμε
- Πως θα τις μετρήσουμε
- Πως θα χρησιμοποιήσουμε την πληροφορία που θα πάρουμε!!!!
(εντός των αρχών της φυσιολογίας)



Η ανταλλαγή των αερίων

O_2 , CO_2

Αναπνευστική ανεπάρκεια

$PaO_2 < 60 \text{ mm Hg}$, η/και $PaCO_2 > 45 \text{ mm Hg}$

Αναπνευστική ανεπάρκεια

$PaO_2 < 60 \text{ mm Hg}$, $PaCO_2 > 45 \text{ mm Hg}$

Ασθενής 78 ετών εισάγεται στη ΜΕΘ αφού διασωληνώθηκε στο ΤΕΠ λόγω κώματος και αναπνευστικής ανεπάρκειας

Προ της διασωλήνωσης η ασθενής είχε:

$FiO_2=0.21$

$PaO_2=45 \text{ mmHg}$

$PaCO_2=80 \text{ mmHg}$

$pH=7.08$

Ποια είναι η πιο πιθανή διάγνωση

- A. Η ασθενής έχει βαριά πνευμονία
- B. Η ασθενής έχει παρόξυνση ΧΑΠ
- Γ. Η ασθενής έχει αγγειακό εγκεφαλικό
- Δ. Η ασθενής έχει πνευμονικό οίδημα

$$\Delta A-aO_2 = PAO_2 - PaO_2$$

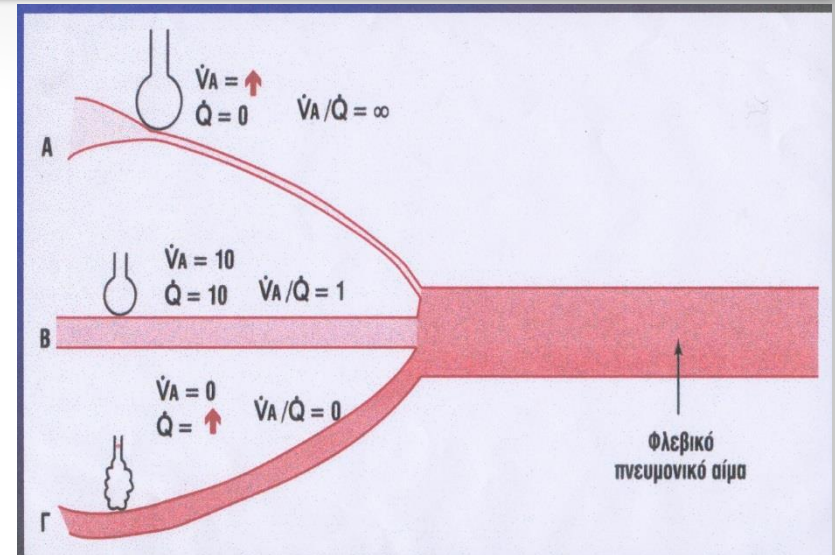
$$\Delta A-aO_2 = 5 \text{ mmHg}$$

Οξυγόνωση

Εκτίμηση της ανισοτιμίας V/Q

- $\Delta A-aO_2 = PAO_2 - PaO_2$
- $PAO_2 = PiO_2 - PaCO_2/R$
- $PAO_2 = (760 - 47) \times FiO_2 - PaCO_2/0.8$

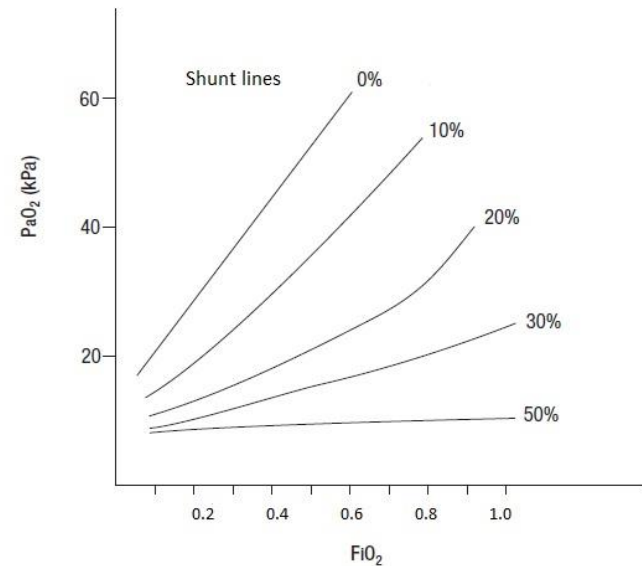
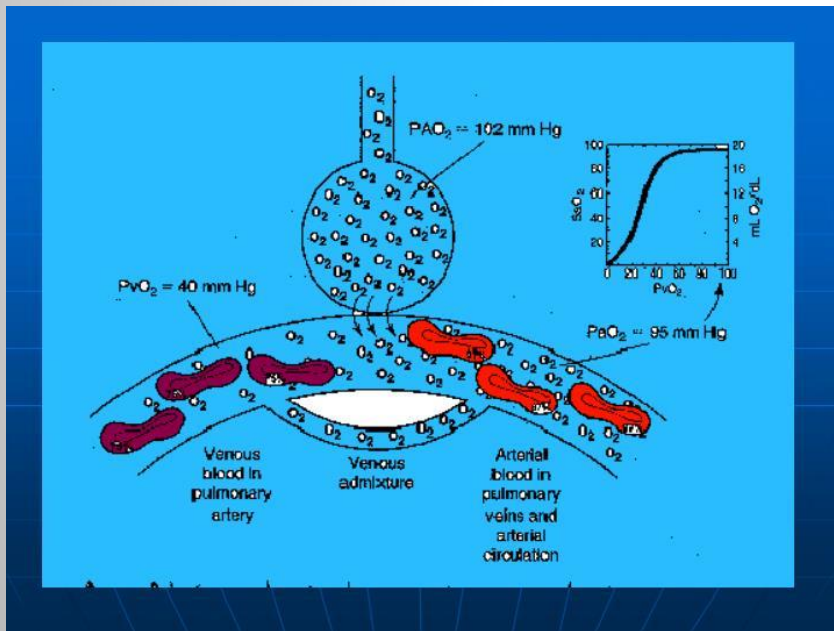
- $\Delta A-aO_2$: Κυψελιδοαρτηριακή διαφορά O_2



Οξυγόνωση



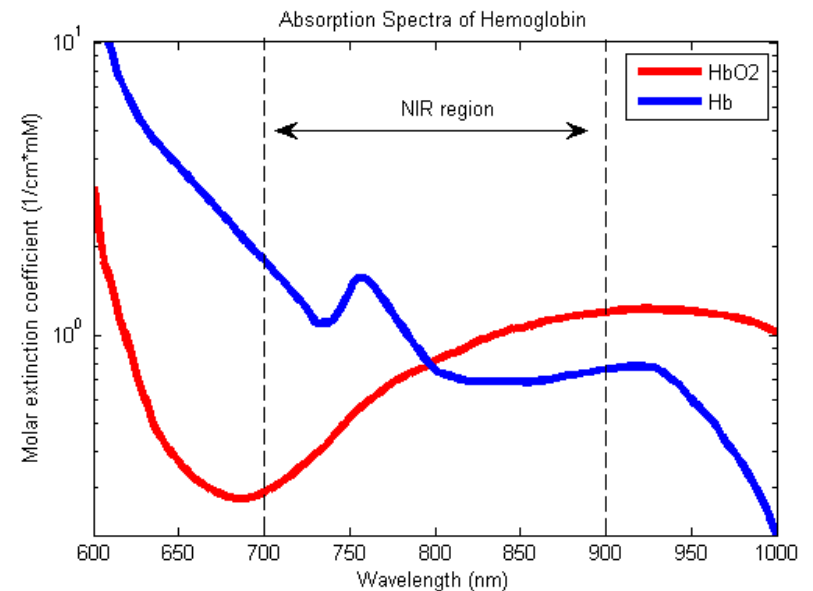
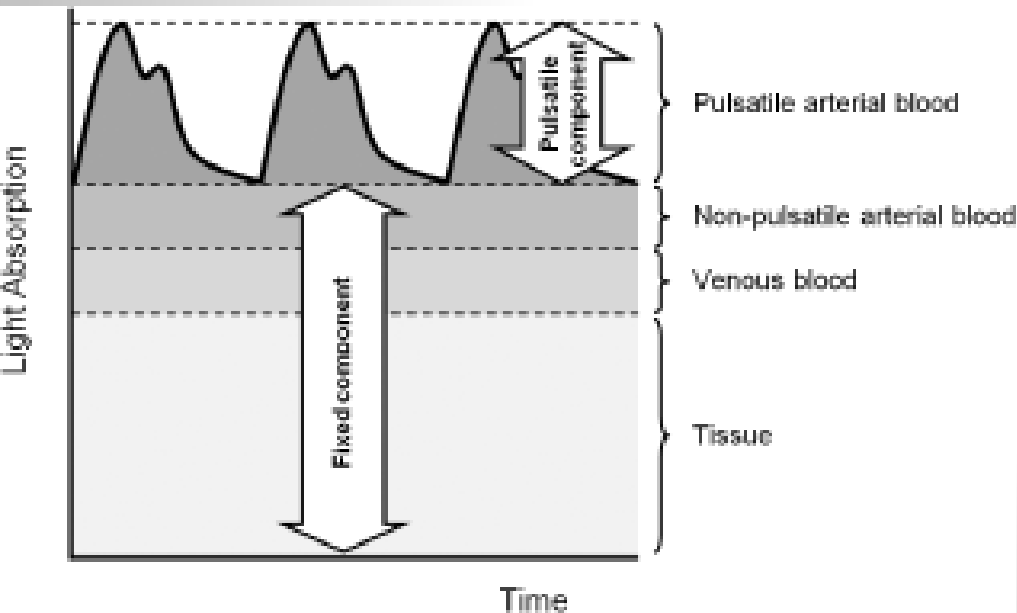
- Φλεβική πρόσμιξη ή παράκαμψη (Shunt)



SpO₂

Oxy-Hb / ολική Hb (Oxy-Hb+Deoxy-Hb)

Pulse oximetry (SpO₂)



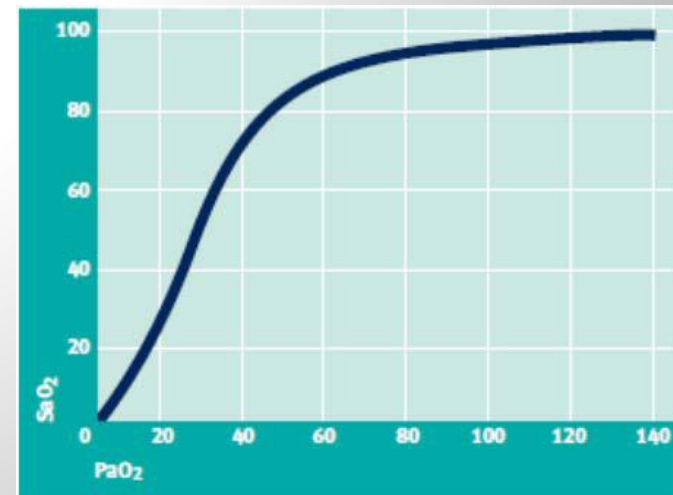
Pulse oximetry (SpO₂)

Bias +/- precision of SpO₂ varies with levels of actual SaO₂

- Accuracy varies widely because of different algorithms employed
- Prudent to assume that SpO₂ is over-estimating SaO₂, and to take some action whenever SpO₂ falls below 93%

SaO ₂	Bias (difference)	Precision (SD)
>=90 %	1.7%	1.2%
<90%	5.1%	2.7%

Jubran & Tobin. Chest 1990



Αίτια λανθασμένης καταγραφής αποτελεσμάτων από το παλμικό οξύμετρο είναι όλα τα παρακάτω ΕΚΤΟΣ:

- A. Υποθερμία
- B. Καρδιογενές shock
- C. Παρουσία καρβοξυαιμοσφαιρίνης
- D. Υπερδυναμική κυκλοφορία σε σηπτικό shock
- E. Βαμμένα νύχια

Pulse oximetry: Περιορισμοί

- Κακή επαφή του αισθητήρα- artefact (shivering,)
- Παθολογικές αιμοσφαιρίνες (primarily COHb –falsely high SpO₂ –, and MetHb)
- Έκθεση του αισθητήρα στο φως περιβάλλοντος
- Καταστάσεις μειωμένης άρδευσης
- Υποθερμία
- Skin pigmentation
- Βαφή νυχιών,
- Πολύ χαμηλό SaO₂ < 83%

Ποιος ασθενής έχει μεγαλύτερη υποξία?

Ασθενής	pH	PaCO ₂	PaO ₂	SaO ₂	Hb
A	7.48	34	85	95	7
B	7.32	74	55	85	15

$$\text{CaO}_2 = (\text{SaO}_2 \times \text{Hb} \times 1.34) + (0.003 \times \text{PaO}_2 \text{ in mmHg}).$$

$$\text{Ασθενής A: } 0.95 \times 7 \times 1.34 \times + 0.003 \times 85 = 9.3 \text{ mL O}_2/\text{dL}$$

$$\text{Ασθενής B: } 0.85 \times 15 \times 1.34 \times + 0.003 \times 55 = 17.5 \text{ mL O}_2/\text{dL}$$

ΦΤ: CaO₂ = 16-20 ml O₂/100 mL blood

O₂ transport

DO₂: O₂ delivery

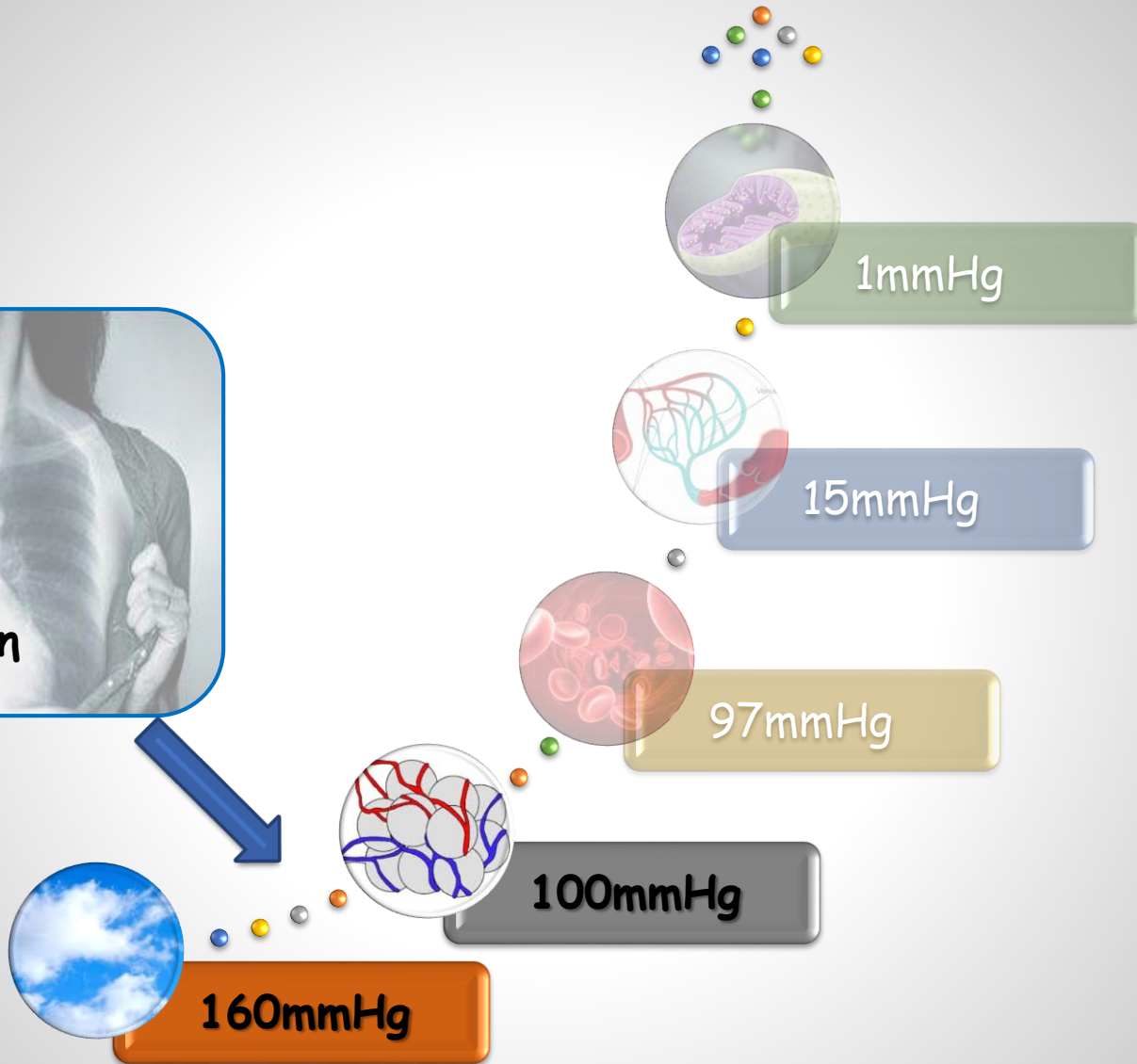


Μεταφορά O₂ στους ιστούς Περιεχόμενο του αίματος σε O₂: CaO₂

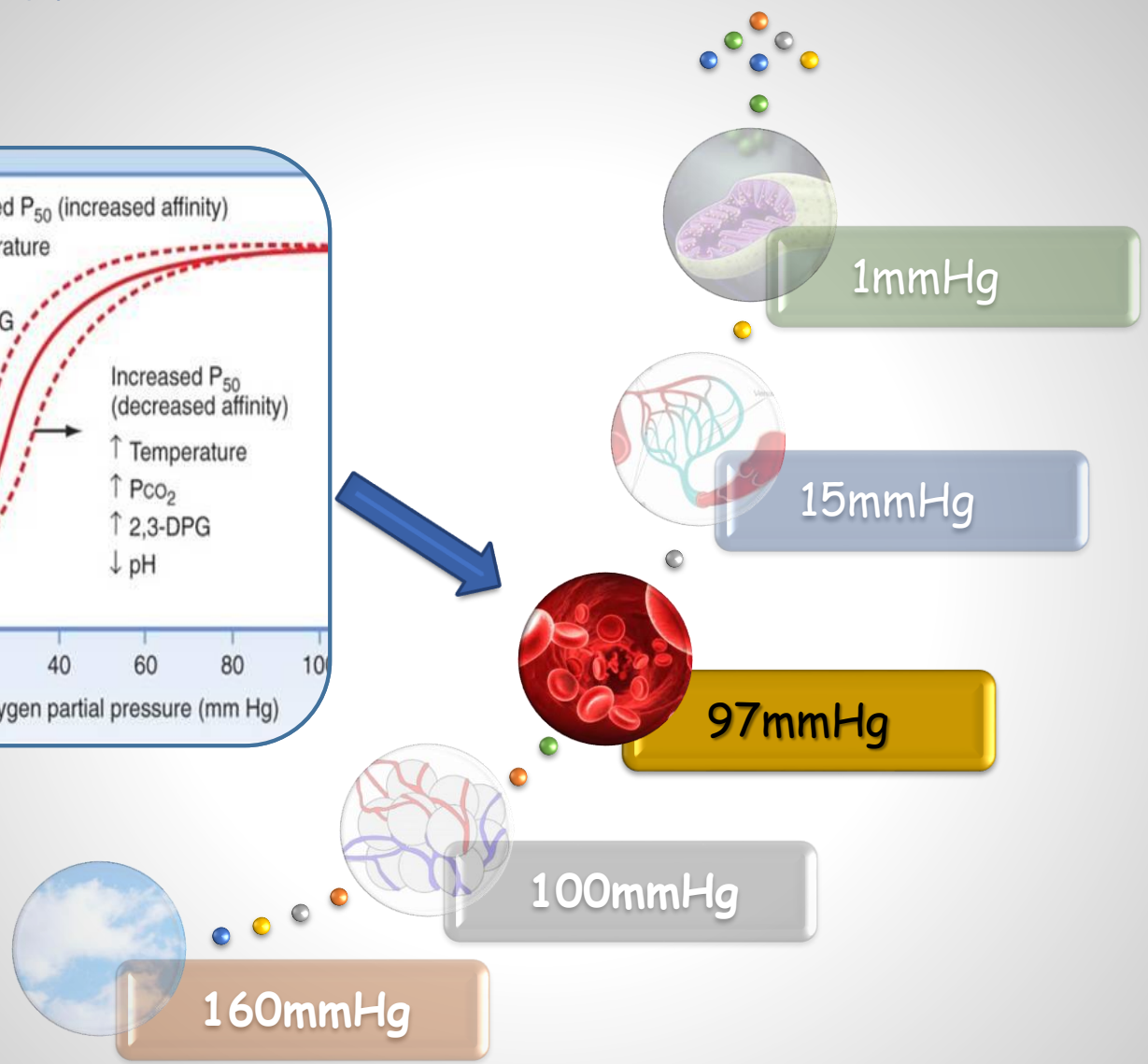
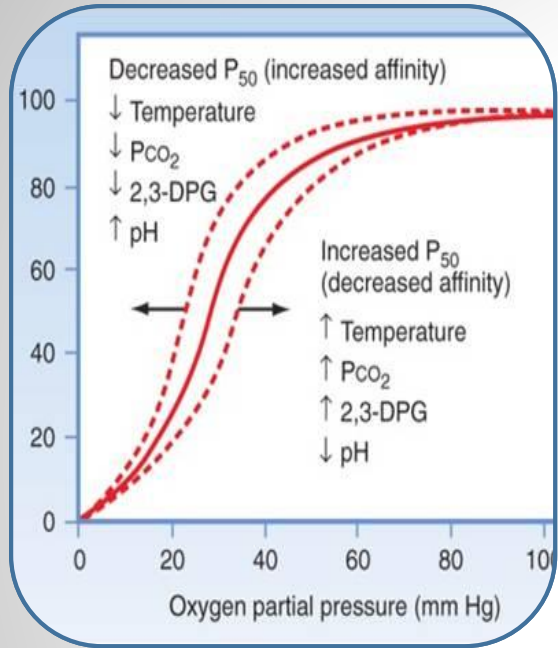
- $\text{CaO}_2 = (\text{SaO}_2 \times \text{Hb} \times 1.34) + (0.003 \times \text{PaO}_2 \text{ in mmHg}).$
- ΦΤ: $\text{CaO}_2 = 16\text{-}20 \text{ ml O}_2/100 \text{ mL blood}$

O₂ transport

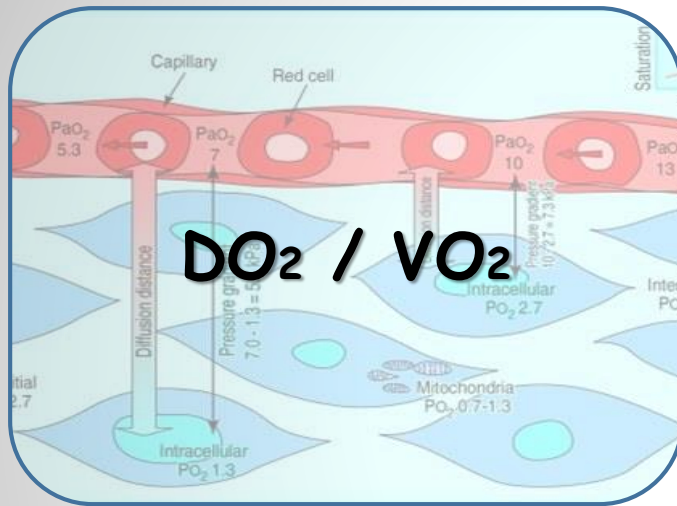
- 
1. V_e
 2. V/Q
 3. shunt
 4. Διάχυση



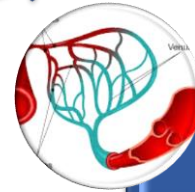
O₂ transport



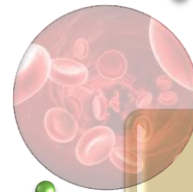
O₂ transport



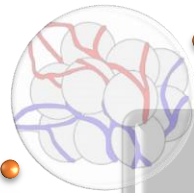
1mmHg



15mmHg



97mmHg



100mmHg



160mmHg

Παροχή O₂ στους ιστούς (Oxygen Delivery): DO₂

$$CO = HR \times SV$$

Εκφράζει το συνολικό ποσό του O₂ που μεταφέρεται στους ιστούς ανά min, ανεξάρτητα από την κατανομή της αιματικής ροής

$$DO_2 = CO \times CaO_2$$

$$CaO_2 = (1,34 \times Hb \times SaO_2) + (0,003 \times PaO_2)$$

συνδεδεμένο με την Hb διαλυμένο στο αίμα

$$CaO_2 = (1,34 \times 14 \times 0,98) + (0,003 \times 100) = 18,6 \text{ ml/dl}$$

ΦΤ: 16-20ml/dl

$$DO_2 = CO \times CaO_2$$

$$1000 \text{ ml/min} = 5.000 \text{ ml/min} \times 20 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml αίματος}$$

$$\Phi T: 800-1000 \text{ mL O}_2/\text{min}$$

DO2: O2 delivery

- 70χρονος ασθενής με MDS και ΣΔ ΙΙ εισάγεται λόγω ΑΑ σε έδαφος πνευμονίας
- Σηπτικός: 39°C, σφ:105/min, RR: 35/min, Sat: 76%, WBCs: 16.000/mm, Hb:7mg/dl, MAP<60mmHg



FiO2	PaO2 (mmHg)	SaO2 (%)	CaO2 (ml/dL)	disolved O2 (ml/dL)	Hb (g/dl)	CO (lt/min)	DO2 (ml/min)	%
0.21	70	96	17	0,3	13	5,3	900	0

$$\text{DO2} = (\text{HR} \times \text{SV}) \times \{ (1,34 \times \text{Hb} \times \text{SaO2}) + (0,003 \times \text{PaO2}) \} \times 10$$

FiO2	PaO2 (mmHg)	SaO2 (%)	CaO2 (ml/dL)	disolved O2 (ml/dL)	Hb (g/dl)	CO (lt/min)	DO2 (ml/min)	%
0.21	70	96	17	0,3	13	5,3	900	0
0.21	45	75	7,2	0,14	7	4	288	-68



FiO2	PaO2 (mmHg)	SaO2 (%)	CaO2 (ml/dL)	disolved O2 (ml/dL)	Hb (g/dl)	CO (lt/min)	DO2 (ml/min)	%
0.21	70	96	17	0,3	13	5,3	900	0
0.21	45	75	7,2	0,14	7	4	288	-68
0.60	150	98	9,6	0,38	7	4	384	+33

FiO2	PaO2 (mmHg)	SaO2 (%)	CaO2 (ml/dL)	disolved O2 (ml/dL)	Hb (g/dl)	CO (lt/min)	DO2 (ml/min)	%
0.21	70	96	17	0,3	13	5,3	900	0
0.21	45	75	7,2	0,14	7	4	288	-68
0.60	150	98	9,6	0,38	7	4	384	+33



FiO2	PaO2 (mmHg)	SaO2 (%)	CaO2 (ml/dL)	disolved O2 (ml/dL)	Hb (g/dl)	CO (lt/min)	DO2 (ml/min)	%
0.21	70	96	17	0,3	13	5,3	900	0
0.21	45	75	7,2	0,14	7	4	288	-68
0.60	150	98	9,6	0,38	7	4	384	+33
0.60	150	98	14,2	0,38	10,5	4	568	+47

FiO2	PaO2 (mmHg)	SaO2 (%)	CaO2 (ml/dL)	disolved O2 (ml/dL)	Hb (g/dl)	CO (lt/min)	DO2 (ml/min)	%
0.21	70	96	17	0,3	13	5,3	900	0
0.21	45	75	7,2	0,14	7	4	288	-58
0.60	150	98	9,6	0,38	7	4	384	+33
0.60	150	98	14,2	0,38	10,5	4	568	+47



FiO2	PaO2 (mmHg)	SaO2 (%)	CaO2 (ml/dL)	disolved O2 (ml/dL)	Hb (g/dl)	CO (lt/min)	DO2 (ml/min)	%
0.21	70	96	17	0,3	13	5,2		0
0.21								-68
0.6								33
0.60						4	568	+47
0.60		98	14,2	0,38	10,5	6	852	+50

Η βελτιστοποίηση της παροχής O2 στους ιστούς επηρεάζεται λιγότερο από την μερική πίεση O2 και περισσότερο από την επάρκεια της κυκλοφορίας να το μεταφέρει (συγκέντρωση Hb και CO)

Ποια από τις παρακάτω συνθήκες συνοδεύεται με μικρότερη P_{aO_2} ?

1. Αναιμία
2. Δηλητηρίαση με CO
3. Παθολογική Hb
4. Νόσημα του πνεύμονα με Shunt

*VO₂: O₂
consumption*



Κατανάλωση οξυγόνου ($\dot{V}O_2$: Oxygen consumption)

- $\dot{V}O_2$: το συνολικό ποσό O_2 που καταναλώνεται ανά min για να πραγματοποιηθούν οι μεταβολικές διεργασίες του οργανισμού.
- $\dot{V}O_2 = CO \times (CaO_2 - CvO_2) \times 10$
- $\dot{V}O_2 = CO \times Hb \times 1,34 \times 10 \times (SaO_2 - SvO_2)$

Η φυσιολογική τιμή του είναι $250 \text{ ml}O_2/\text{min}$.

Βαθμός απόληψης O₂ (Oxygen Extraction Ratio): O₂ER

Το ποσοστό αυτό του O₂ που αποδίδεται συνεχώς στους ιστούς συνιστά το βαθμό απόληψης O₂, O₂ER (Oxygen Extraction Ratio)

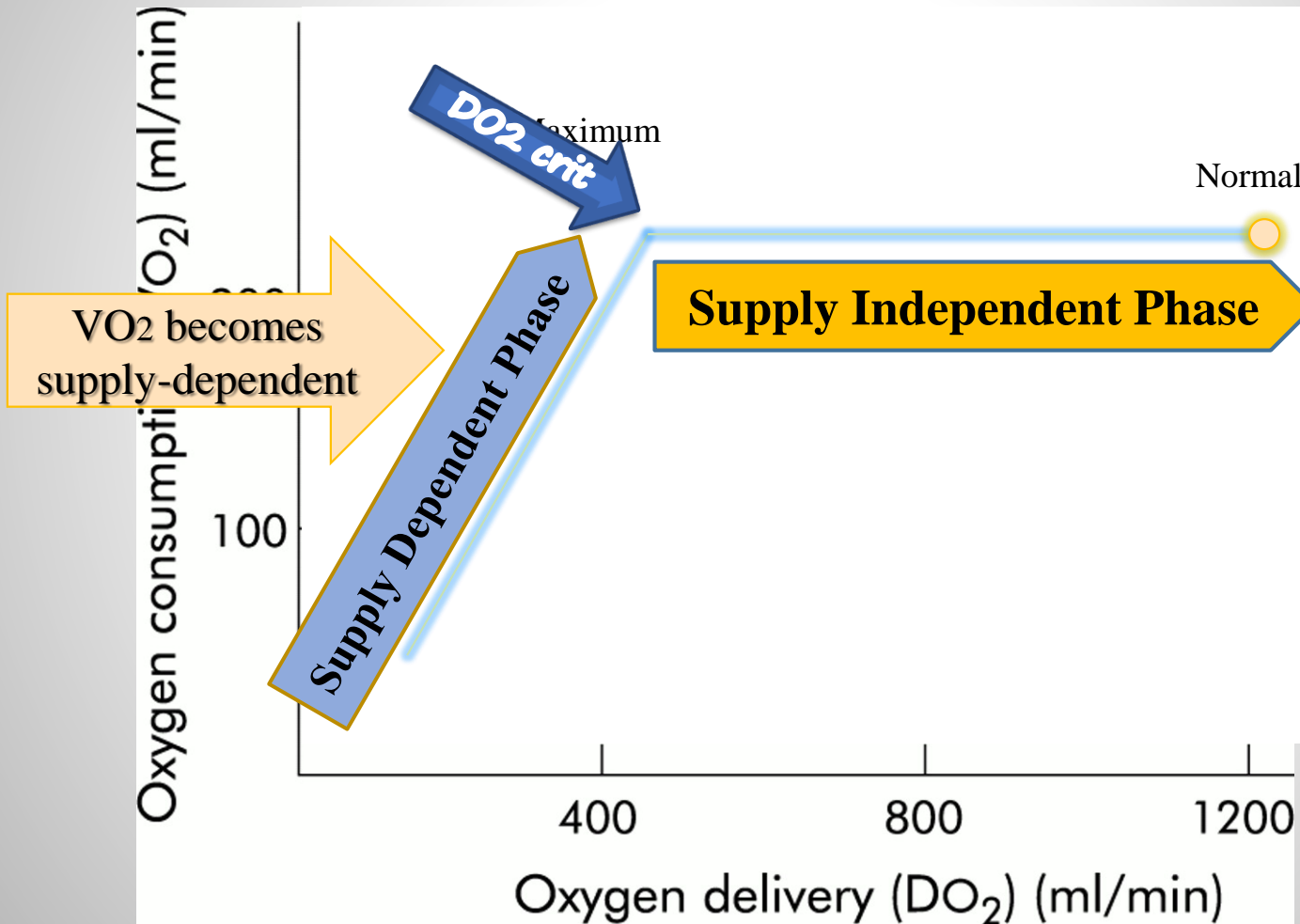
$$O_2ER = VO_2 / DO_2 \text{ (ΦΤ 25\%)}$$



Σχέση DO_2 - VO_2

↑ μεταβολικές ανάγκες, ↑ η κατανάλωση O_2 ↑ αυξάνει ο ρυθμός απόληψης O_2 από το αρτηριακό αίμα.

Η αύξηση του O_2ER μπορεί να φτάσει ως το 50-60%.



$$VO_2 = DO_2 \times O_2ER$$

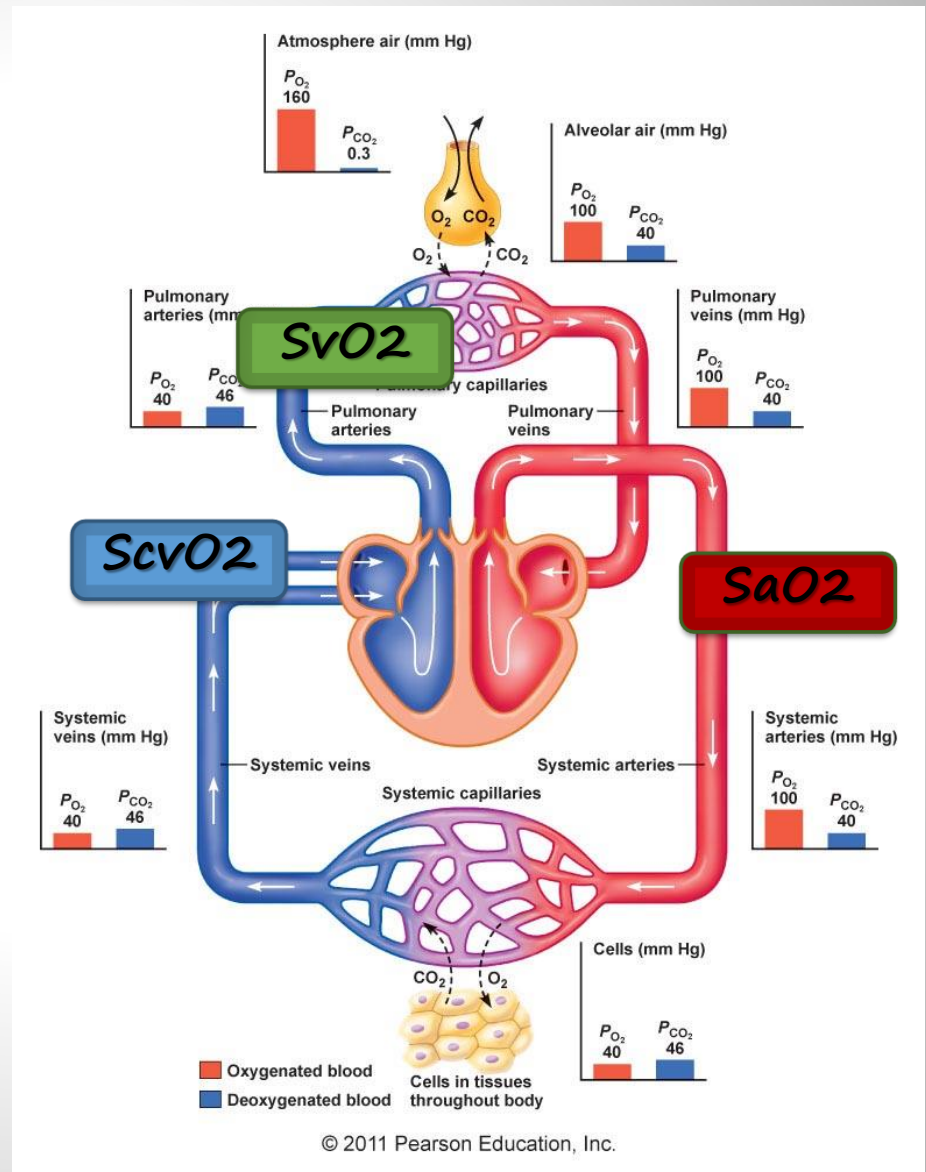
$S_{cv}O_2 / S_{v}O_2$

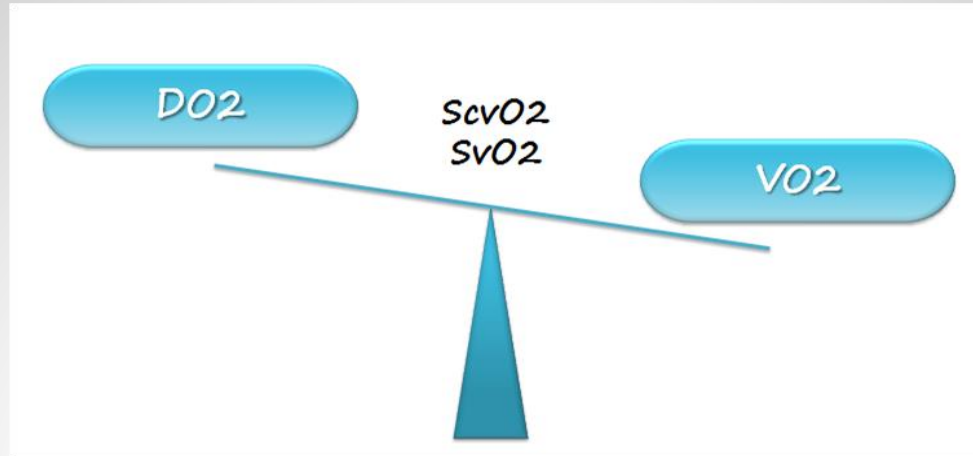
Κορεσμός
φλεβικού / μεικτού φλεβικού
αίματος

Κορεσμός φλεβικού /μικτού φλεβικού αίματος

✓ Το O_2 μεταφέρεται στους ιστούς με το αρτηριακό αίμα (SaO_2 : 98-100%)

✓ Ένα ποσοστό του (περίπου 25%) αποδίδεται στα κύτταρα και το υπόλοιπο επιστρέφει στην δεξιά κυκλοφορία





Το σύνολο του O_2 που δεν αποδίδεται στους ιστούς επιστρέφει στην δεξιά κυκλοφορία και εκφράζεται ως

$SvO_2 / ScvO_2$ (κορεσμός μικτού φλεβικού/φλεβικού αίματος)

$$\begin{aligned} SvO_2 / ScvO_2 &= SaO_2 - O_2ER \\ &= SaO_2 - (VO_2 / DO_2) \end{aligned}$$

$$SvO_2 > ScvO_2$$

SvO_2

Ιστική οξυγόνωση

$$VO_2 = CO \times 13.4 \times Hb \times (SaO_2 - SvO_2)$$

$\geq 75\%$

- $DO_2 > VO_2$
- Φυσιολογική αποδέσμευση ή μειωμένη κατανάλωση

50% - 75%

- Αυξημένη κατανάλωση (VO_2) ή μειωμένη παροχή (DO_2)
- Αντιρροπιστική αύξηση αποδέσμευσης (O_2ER)

30% - 50%

- Εξάντληση δυνατοτήτων αποδέσμευσης ($VO_2 > DO_2$)
- Εμφάνιση γαλακτικής οξέωσης

25% - 30%

- Σοβαρή γαλακτική οξέωση

$< 25\%$

- Κυτταρικός θάνατος

Σε φυσιολογικές συνθήκες το αρτηριακό αίμα έχει κορεσμό κοντά στο 100% και το O_2ER είναι περίπου 25%, συνεπώς ο κορεσμός του φλεβικού αίματος είναι περίπου 75%.

Mixed/central venous gas analysis

$$S\bar{v}O_2 / ScvO_2$$

Ασθενής 62 ετών στη ΜΕΘ έχει $SvO_2 = 58\%$

- Ο ασθενής μπορεί να έχει:
- Α. Καρδιογενές shock
- Β. Οξεία απώλεια αίματος
- Γ. Χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια και πνευμονία
- Δ. Όλα τα ανωτέρω

$$VO_2 = CO \times (CaO_2 - C\bar{v}O_2)$$


$$C\bar{v}O_2 = CaO_2 - VO_2 / CO$$

$$C\bar{v}O_2 / CaO_2 = 1 - VO_2 / (CaO_2 \times CO) = 1 - VO_2 / DO_2$$

$$S\bar{v}O_2 / SaO_2 = 1 - VO_2 / DO_2$$

$$S\bar{v}O_2 = SaO_2 - (VO_2 / 1.34 \times Hb \times CO)$$

Continuous central venous and pulmonary artery oxygen saturation monitoring in the critically ill

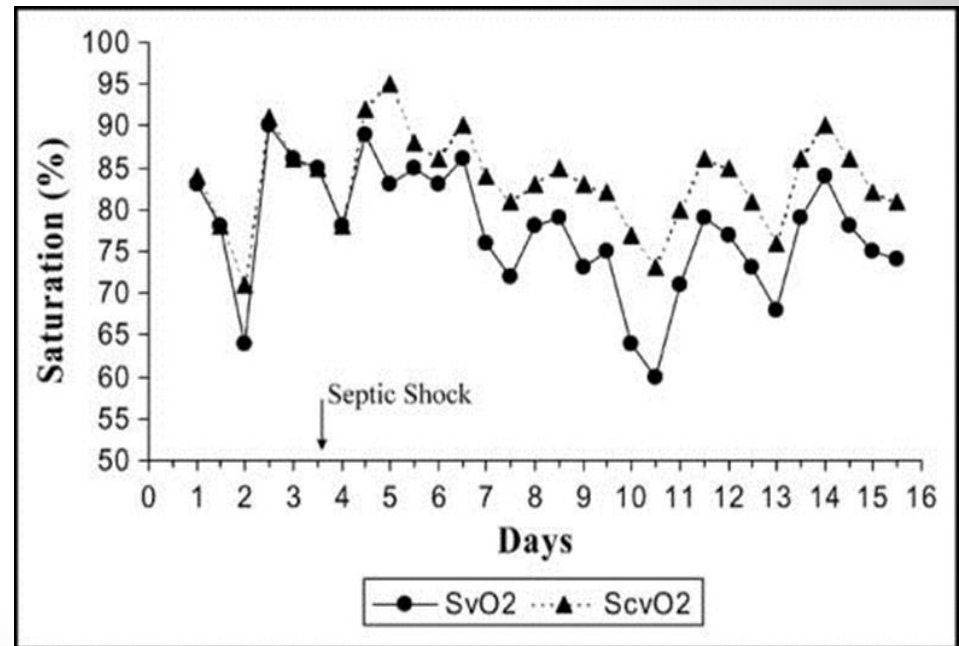
Konrad Reinhart  , Hans-Jörg Kuhn, Christiane Hartog, Donald L. Bredle



Intensive Care Medicine

August 2004, Volume 30, Issue 8, pp 1572-1578

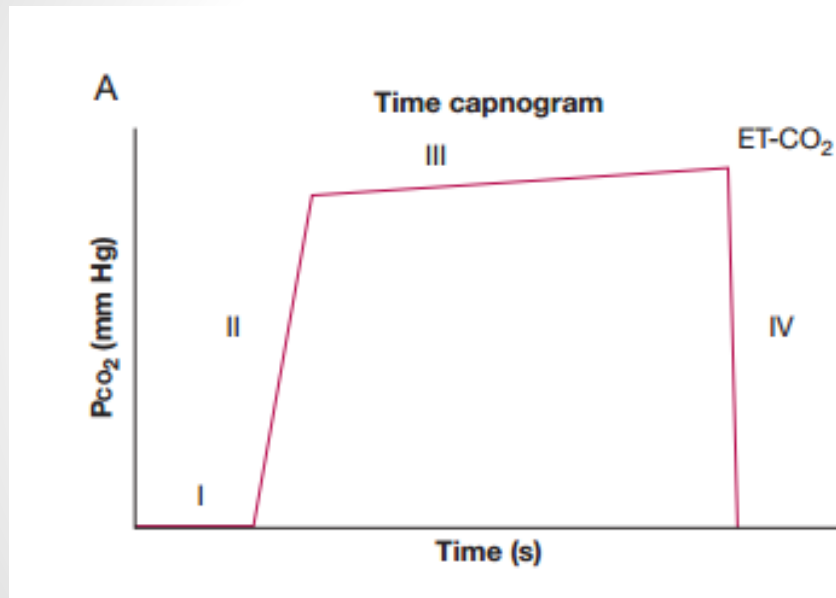
- Καλή συσχέτιση **SvO₂** και **ScvO₂** σε βαριά πάσχοντες ασθενείς
- high-risk surgical pts
- septic pts
- head-trauma pts



Μπορεί το **ScvO₂** να αντικαταστήσει το **SvO₂**;

CO₂ analysis

Capnography

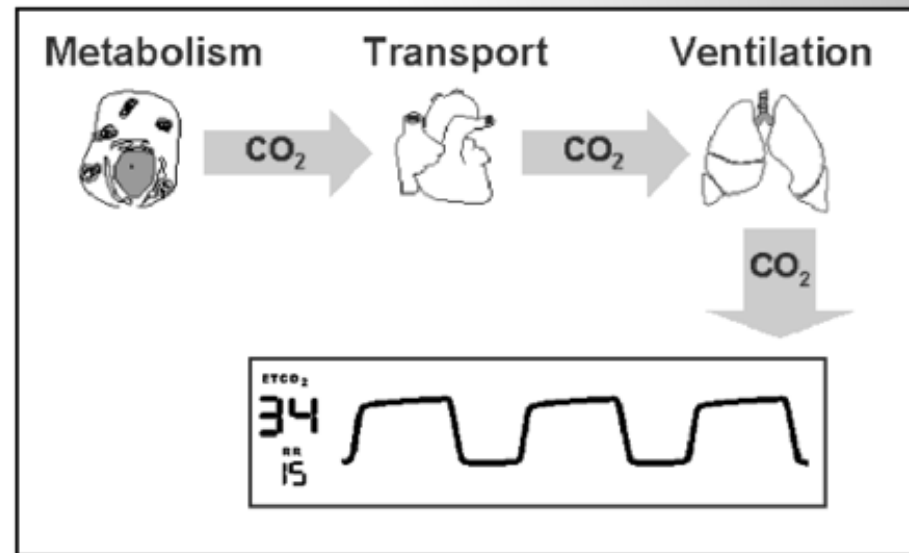


Capnography, the measurement and the graphical display of CO₂ in expired gases

Time *Capnography*

Η συγκέντρωση του CO₂ στον εισπνεόμενο και εκπνεόμενο αέρα προς το χρόνο

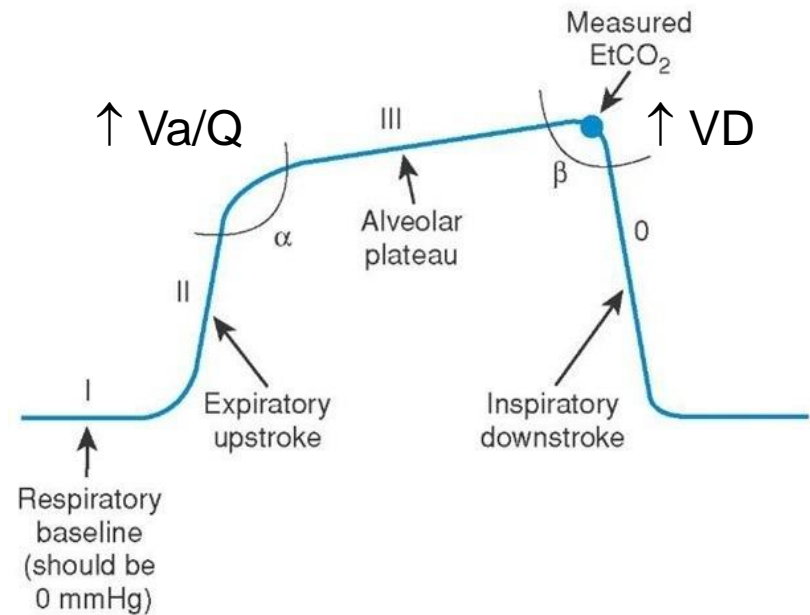
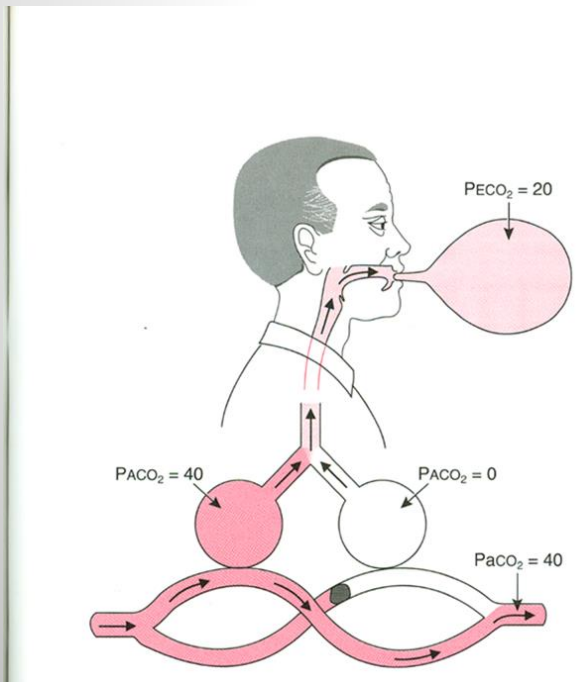
- Το εκπνεόμενο CO₂ εξαρτάται από
 - Μεταβολισμό
 - Αιμάτωση του πνευμονικού τριχοειδικού δικτύου (ευθέως ανάλογο του end-tidal CO₂)
 - Πάχος της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης (αντιστρόφως ανάλογο του end-tidal CO₂)*
 - Αερισμό



Time *Capnography*

Η συγκέντρωση του CO₂ στον εισπνεόμενο και εκπνεόμενο αέρα προς το χρόνο

- Το εκπνεόμενο CO₂ εξαρτάται από
- Μεταβολισμό
- Αιμάτωση του πνευμονικού τριχοειδικού δικτύου (ευθέως ανάλογο του end-tidal CO₂)
- Πάχος της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης (αντιστρόφως ανάλογο του end-tidal CO₂)*
- Αερισμό



PaCO₂-PETCO₂: 5 mmHg

Time Capnography

Sustained low EtCO₂ with good alveolar plateau

↓ παραγωγή και μεταφορά στους πνεύμονες



©Copyright Oridion Systems Ltd.

Πιθανά αίτια

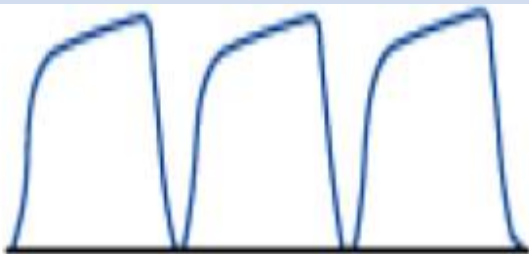
- Υποθερμία
- Υπερθερμία
- Κεντρικός υποαερισμός
- Ρίγος

Πιθανά αίτια

- Λήψη οπιούχων
- Υπερθερμία
- Κεντρικός υποαερισμός
- Ρίγος
- Όλα τα ανωτέρω

Elevated ETCO₂ with good alveolar plateau

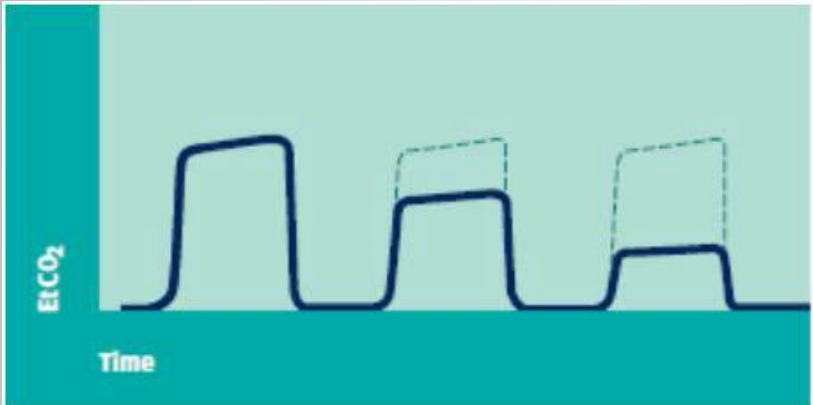
↑ Αυξημένη παραγωγή και μεταφορά στους πνεύμονες



©Copyright Oridion Systems Ltd.

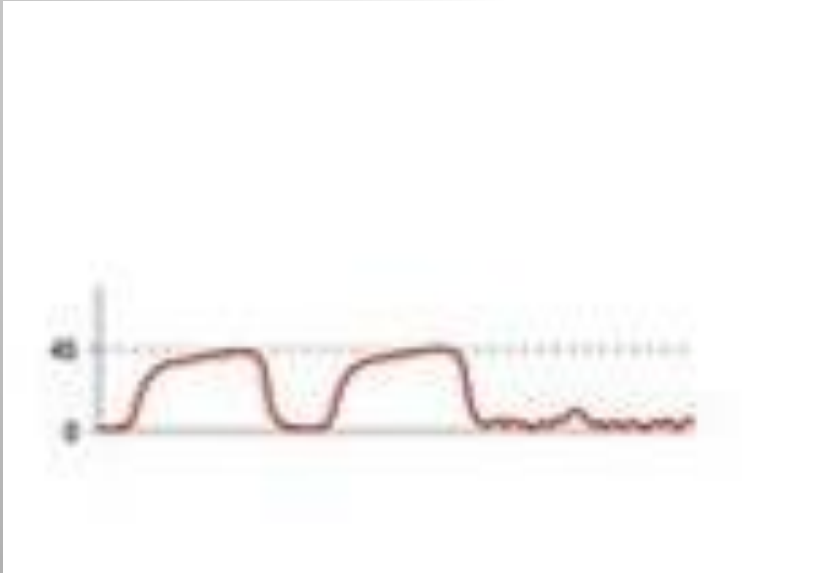
Time Capnography

EtCO₂: Μεταβολισμός, Αιμάτωση, Αερισμός,



Πιθανά αίτια

- Πνευμονική εμβολή
- Καρδιακή ανακοπή
- Κρίση άσθματος

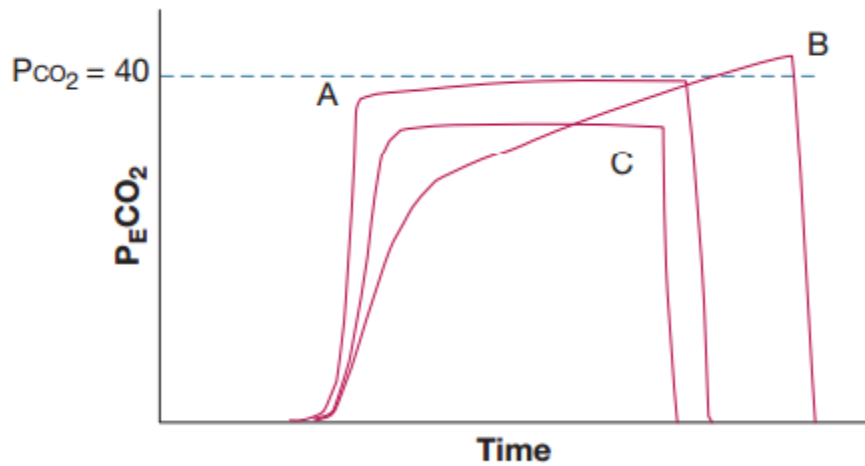


Πιθανά αίτια

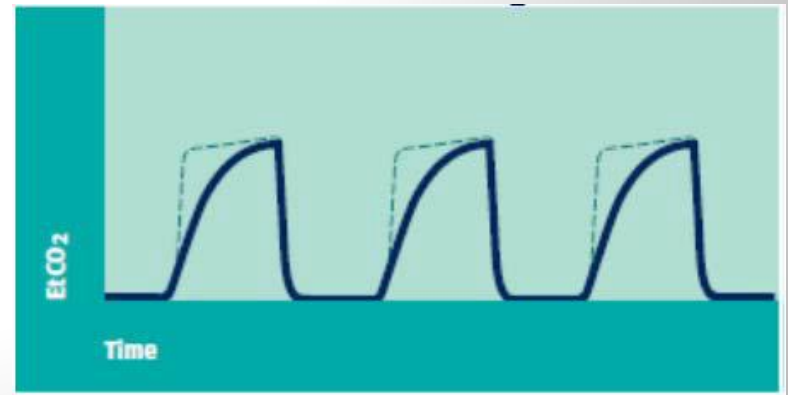
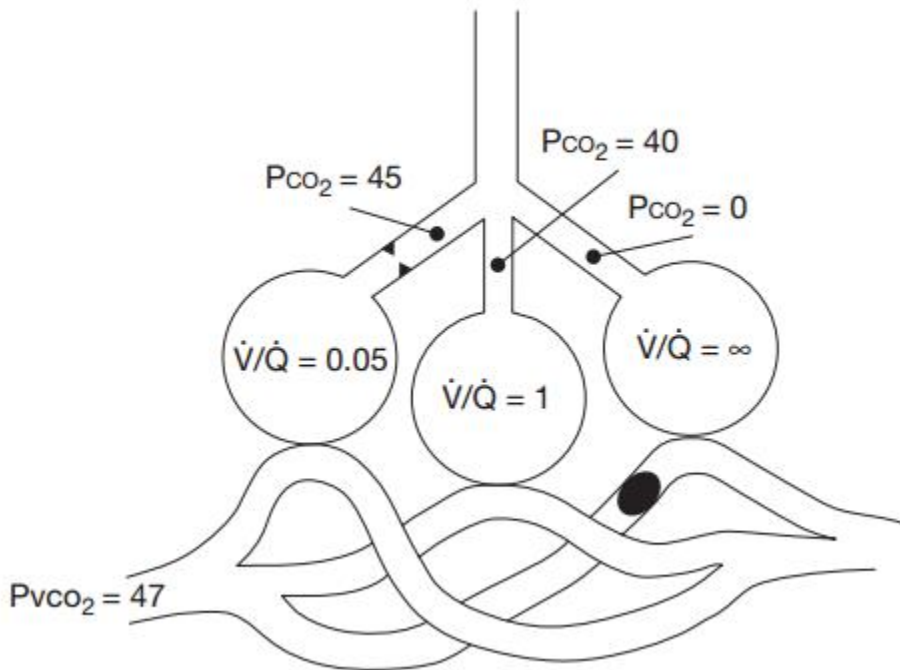
- Πνευμονική εμβολή
- Αποσύνδεση από τον αναπνευστήρα
- Αυτόματες αναπνοές

Time Capnography

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΪΣΤΕ:



- Φυσιολογική καμπύλη
- Πνευμονική εμβολή
- Παρόξυνση ΧΑΠ
- Κρίση άσθματος
- Αποσύνδεση από τον αναπνευστήρα



↑ V_a/Q ανομοιογένεια

Επιπέδωση της φάσης II, Διευρυνση της γωνίας α

Extravascular lung water (EVLW)

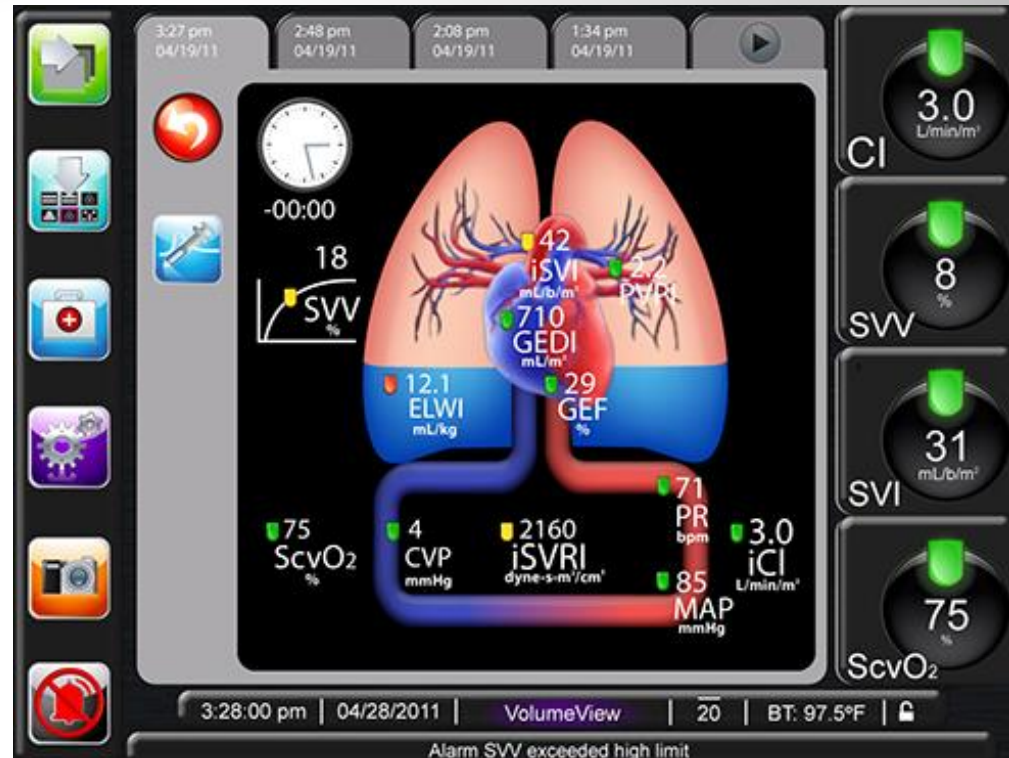
EVLW: Ο εξω-αγγειακός όγκος ύδατος στους πνεύμονες

Υπολογίζεται με την μέθοδο της διαπνευμονικής θερμοαραίωσης

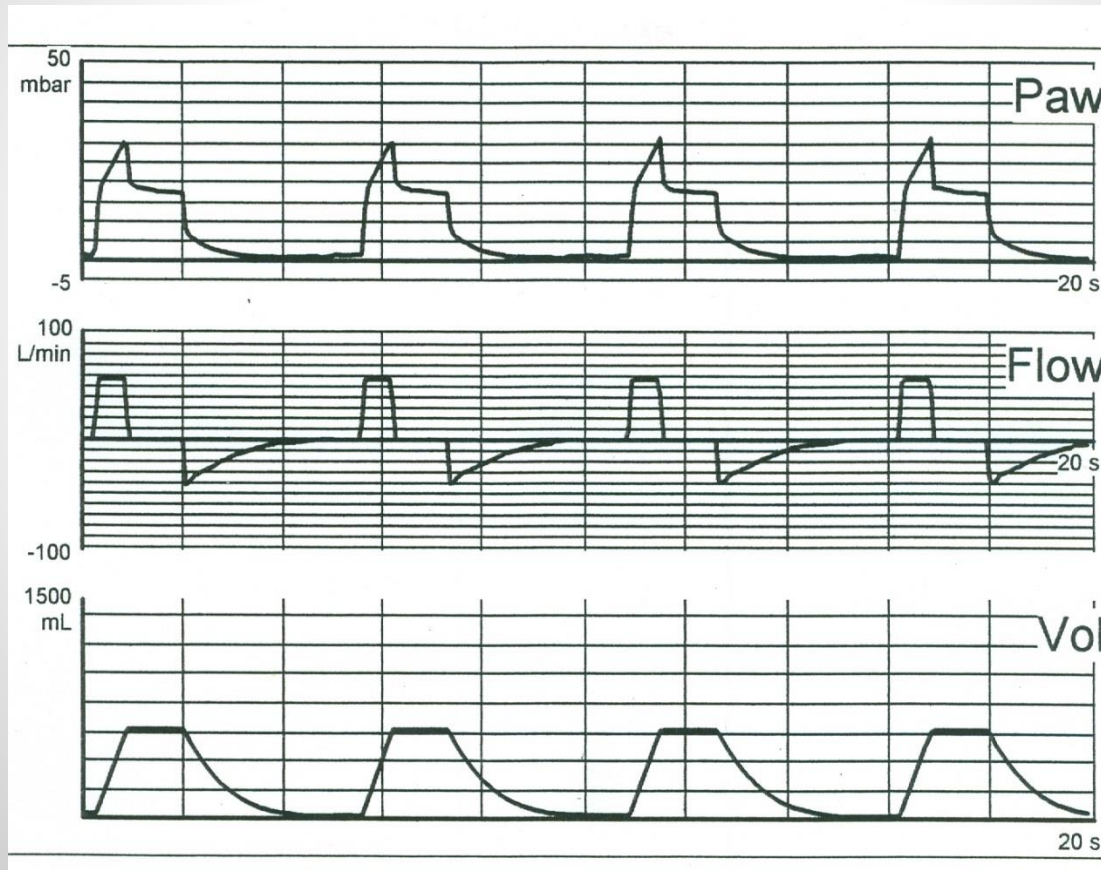
Παρουσιάζει πολύ καλή συσχέτιση με την άμεση μέτρηση του ύδατος στον πνευμονικό ιστό σε παθολογοανατομικά υλικά.

Η φυσιολογική τιμή του EVLW είναι 5-7ml/kgIBΣ,

Δείκτης αναπνευστικής λειτουργίας
Προγνωστικός δείκτης έκβασης



Monitoring Ventilator Waveforms



Monitoring Ventilator Waveforms

Μετρήσεις:

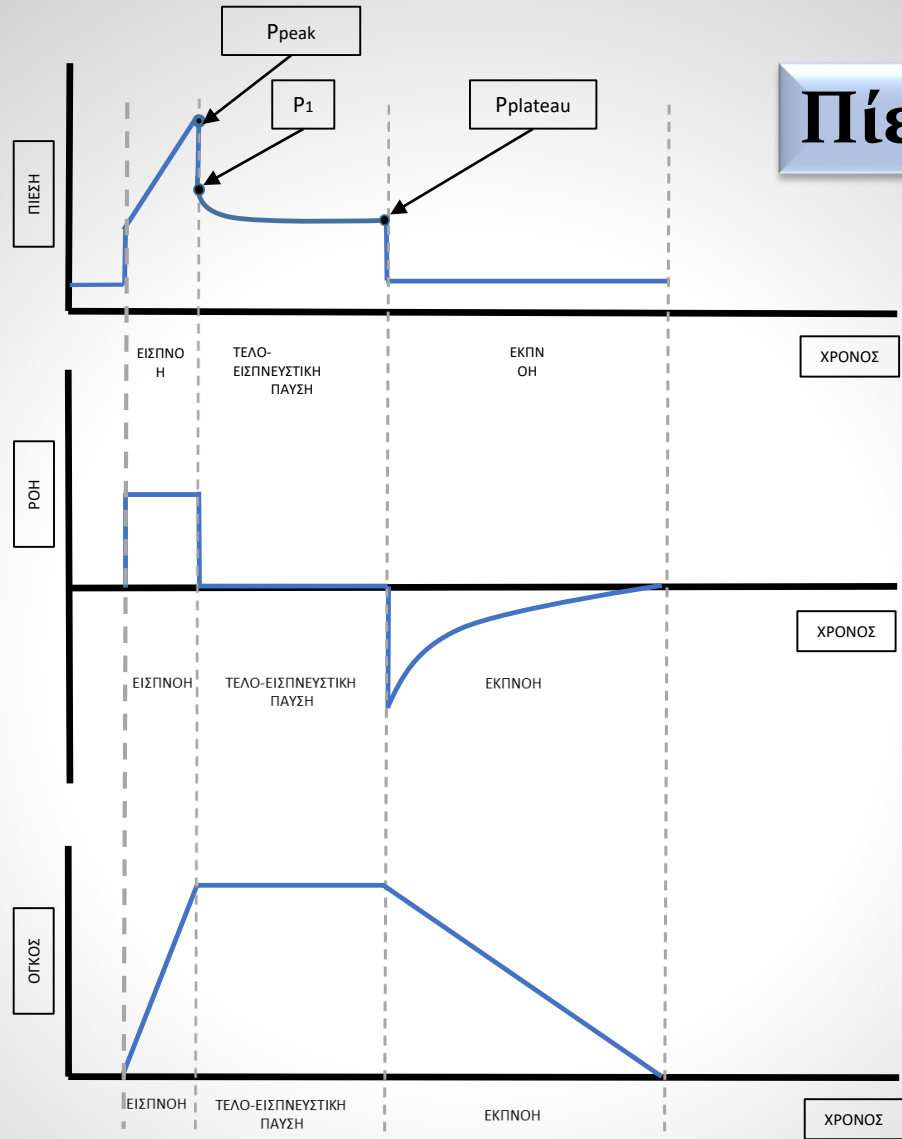
- Πίεση αεραγωγών
- Οισοφάγεια πίεση
- Ροή
- Αναπνεόμενος όγκος
- Ενδογενής PEEP

Μορφολογία των κυματομορφών

Υπολογισμός μηχανικών ιδιοτήτων του αναπνευστικού

Volume control

Πίεση-χρόνος

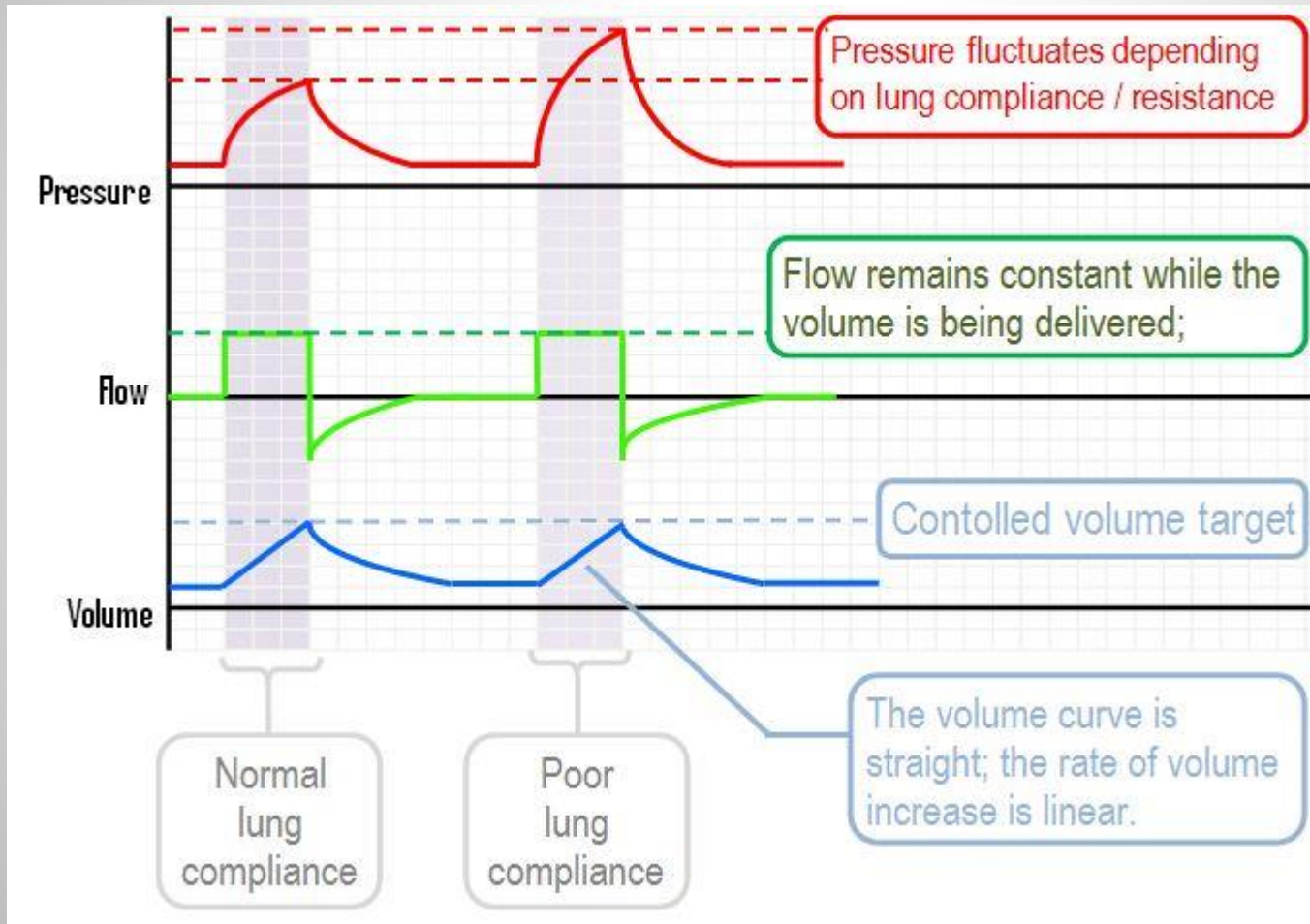


P_{max} : Το άθροισμα των πιέσεων για την υπερνίκηση των αντιστάσεων ροής και της ελαστικότητας

P_{plat} : Οι πιέσεις απαραίτητες για την υπερνίκηση των ελαστικών δυνάμεων επαναφοράς

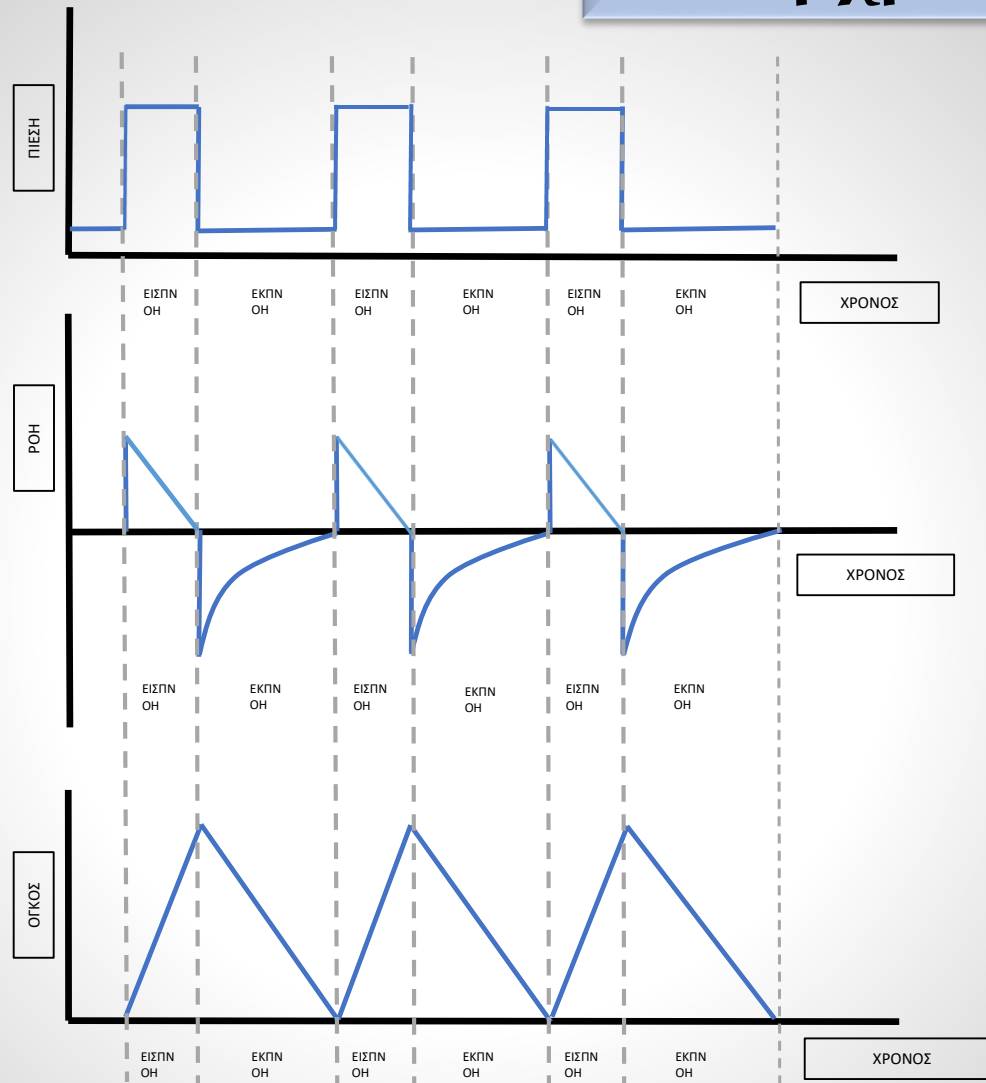
Εικόνα 3 Κυματομορφές πίεσης, ροής και όγκου σε μοντέλο ελεγχόμενου όγκου. Με την τελειοσπνευστική παύση η P_{peak} πέφτει απότομα σε P_1 λόγω διακοπής της ροής και σταδιακά καταλήγει σε μία μικρότερη τιμή, την $P_{plateau}$, λόγω του φαινομένου της αιώρας.

Πίεση-χρόνος



Πίεση-χρόνος

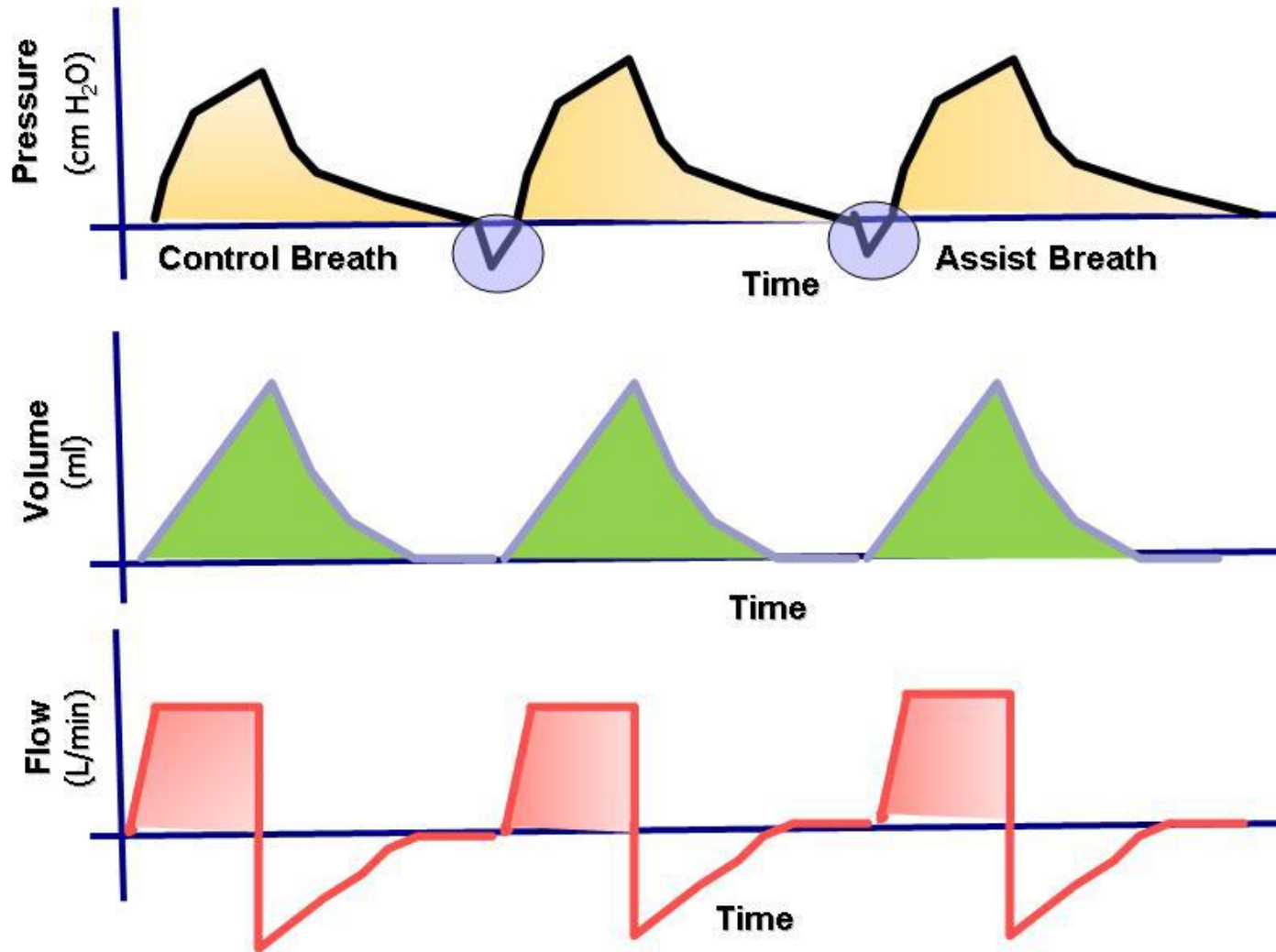
Pressure control



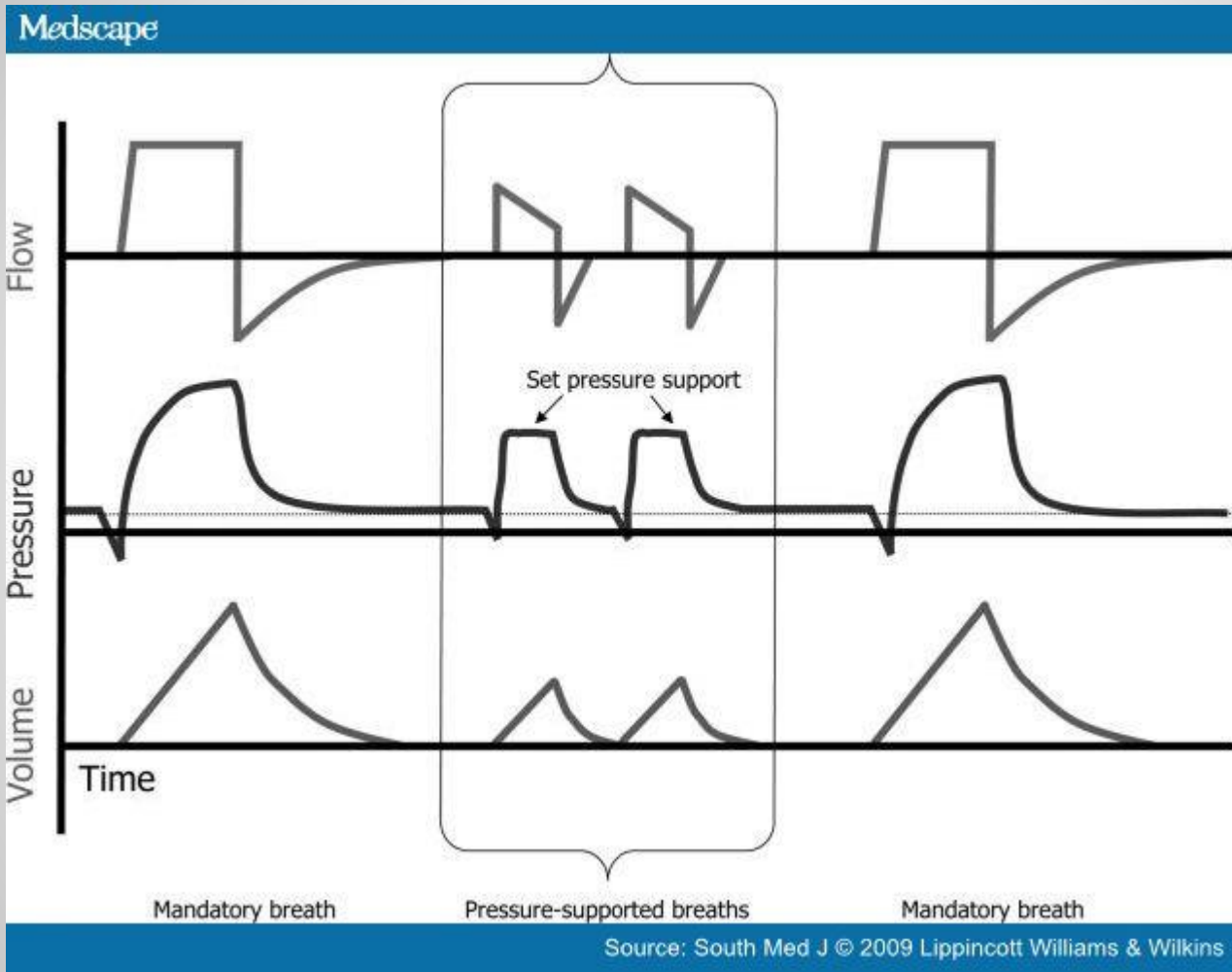
Εικόνα 7: Σχηματική αναπαράσταση κυματομορφών πίεσης, ροής και όγκου σε pressure control. Η πίεση κατά τη διάρκεια της εισπνοής είναι σταθερή.

Πίεση-χρόνος

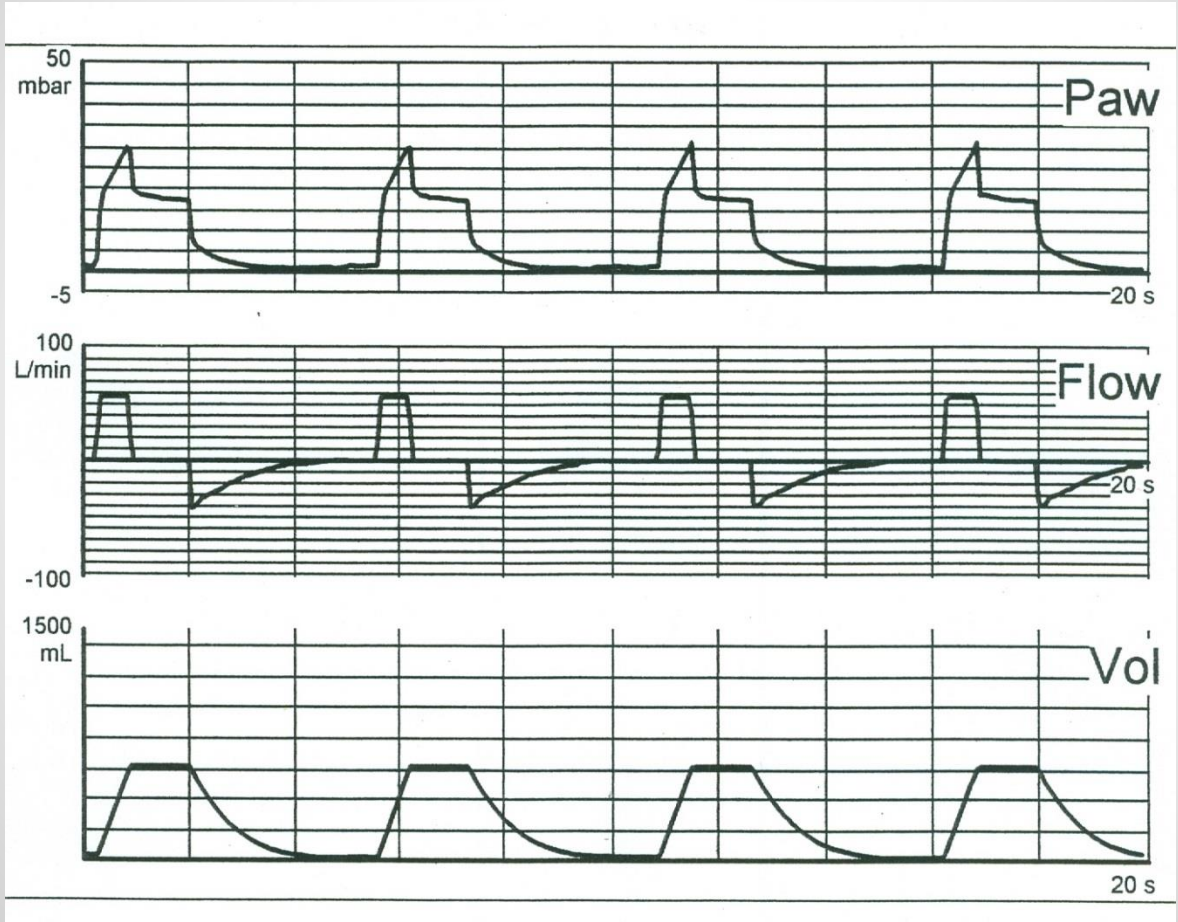
Assisted Mode (Volume-Targeted Ventilation)



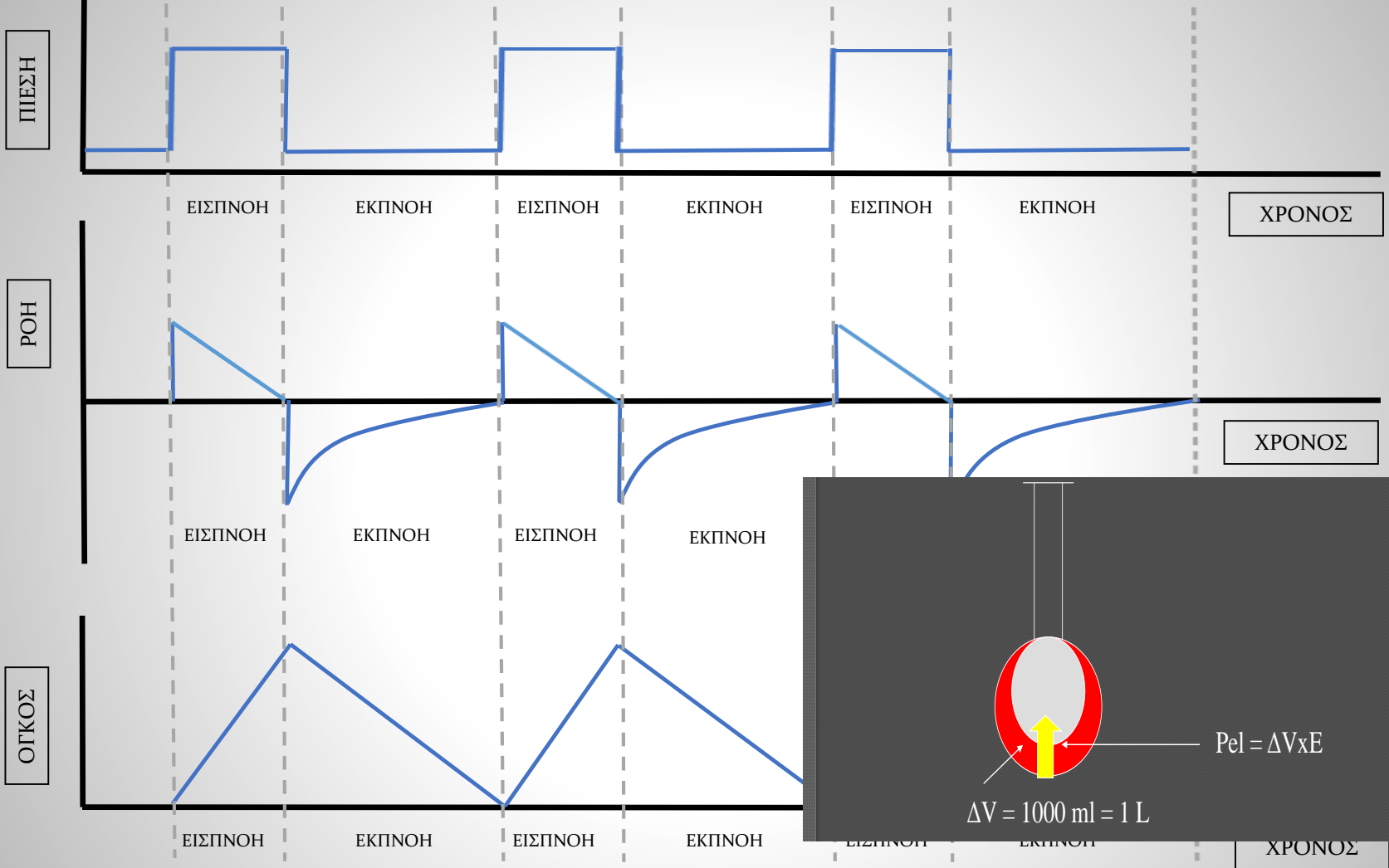
Πίεση-χρόνος



Ροή-χρόνος



Εισπνευστική Ροή-χρόνος

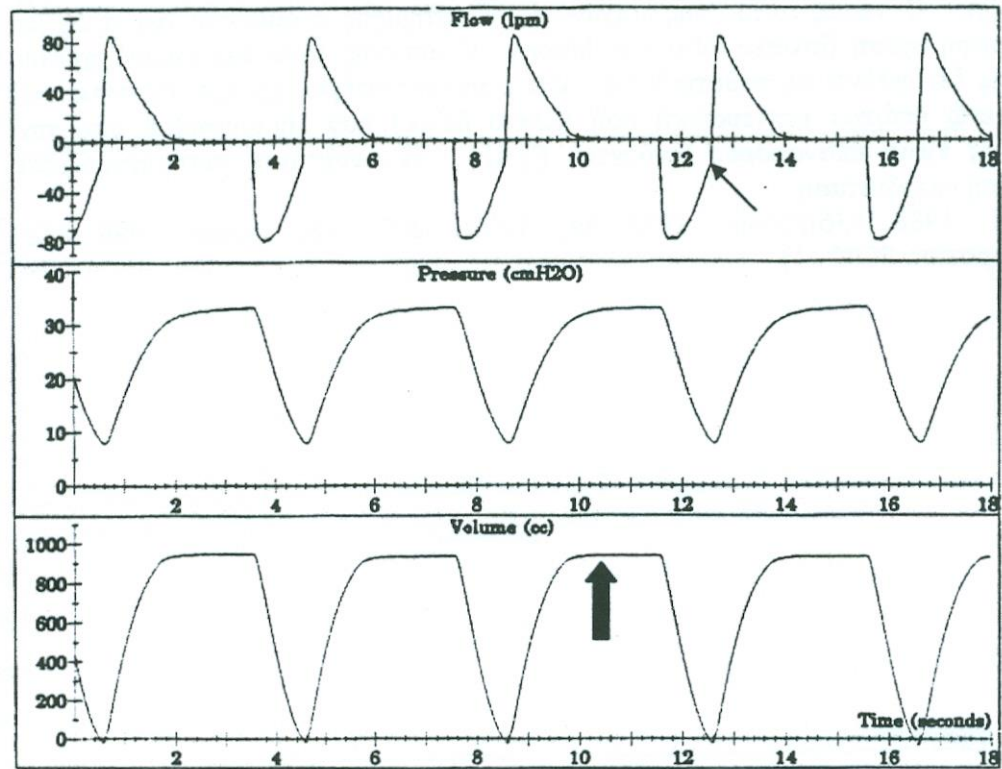


$$P_{vent} = P_{res} + P_{el} + P_{EEP,T}$$

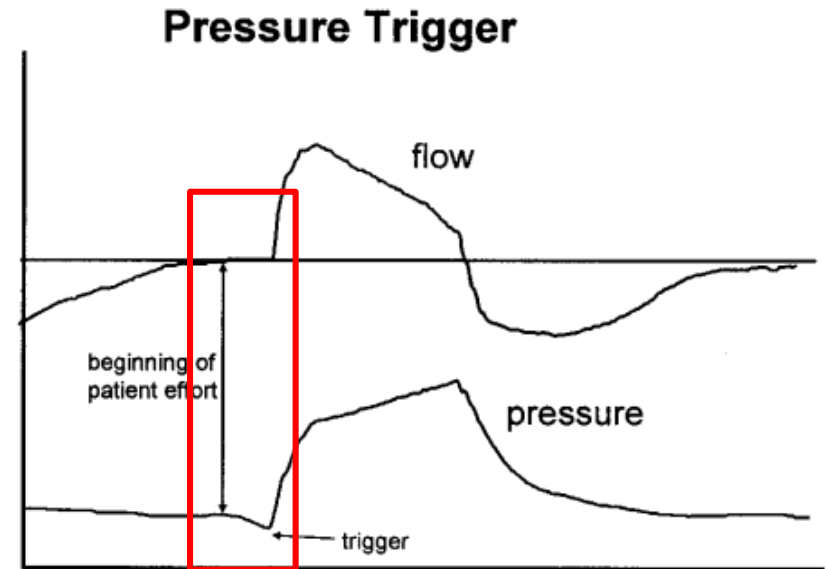
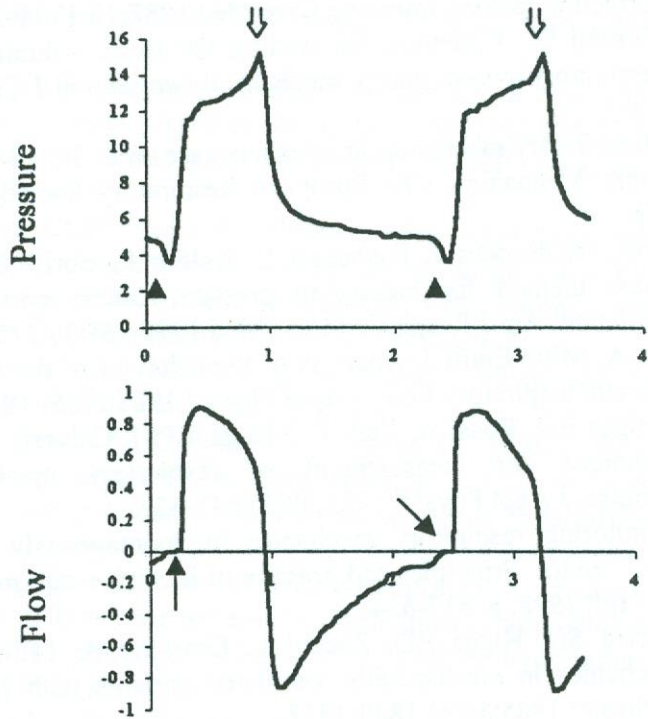
$$P_{el} = E \times V \quad P_{res} = \text{Flow} \times R$$

Εισπνευστική Ροή-χρόνος

- A. Ο ασθενής αερίζεται με Volume control
- B. Ο ασθενής αερίζεται με Pressure support και μεταβλητή διέγερσης πίεση
- Γ. Ο ασθενής αερίζεται με Pressure Control

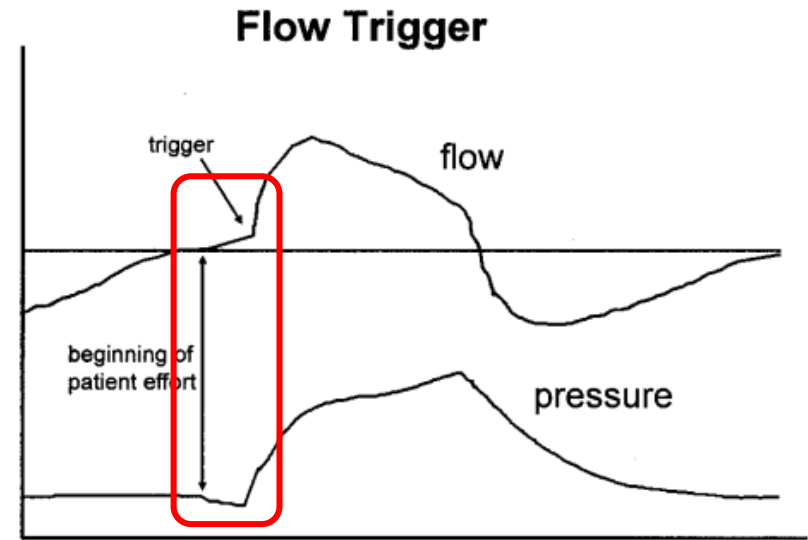
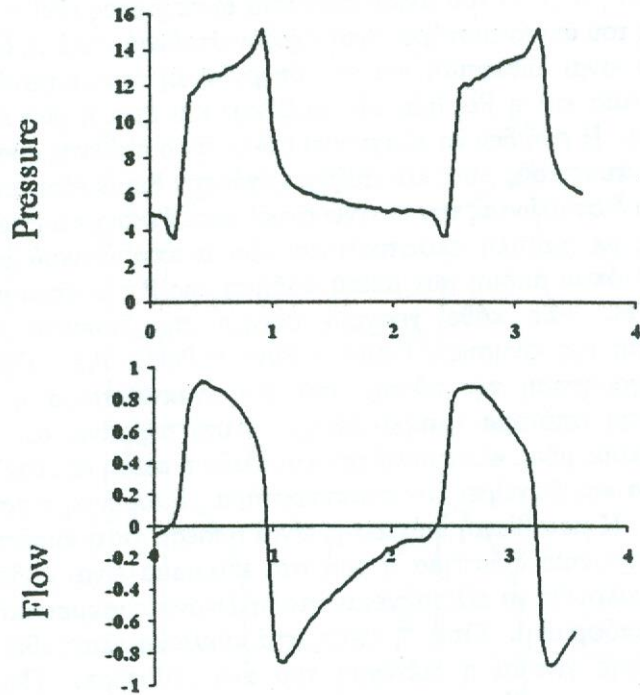


Εκπνευστική Ροή-χρόνος



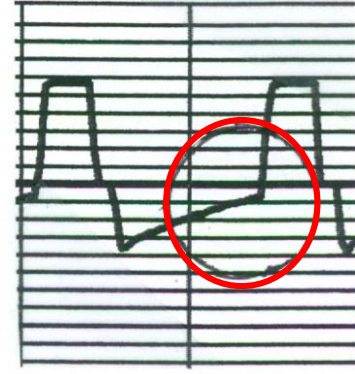
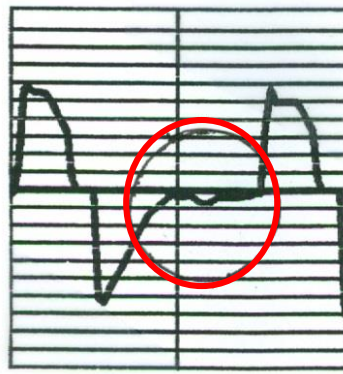
- A. Ο ασθενής αερίζεται με Volume control
- B. Ο ασθενής αερίζεται με Pressure support και μεταβλητή διέγερσης ροή
- Γ. Ο ασθενής αερίζεται με Pressure support και μεταβλητή διέγερσης πίεση

Ροή-χρόνος



- A. Ο ασθενής αερίζεται με Volume control
- B. Ο ασθενής αερίζεται με Pressure support και μεταβλητή διέγερσης ροή
- Γ. Ο ασθενής αερίζεται με Pressure support και μεταβλητή διέγερσης πίεση

Εκπνευστική Ροή-χρόνος



Μηχανικές ιδιότητες του αν. συστήματος

- Ελαστικότητα, Elastance $E_{st,rs}$
- Ενδοτικότητα, Compliance, C,rs
- Ενδογενής PEEP (PEEP_i)
- Αντιστάσεις, Resistance

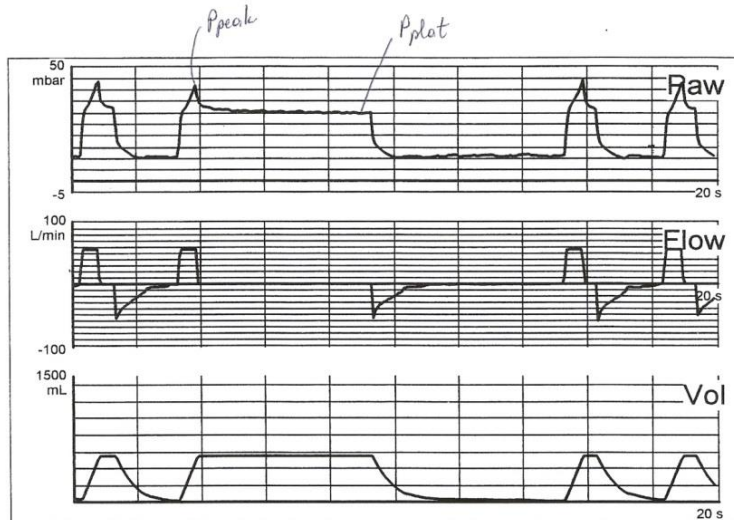
- Εκτίμηση της κατάστασης του ασθενούς ή αλλαγές ως αποτέλεσμα των θεραπευτικών παρεμβάσεων

- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου VILI

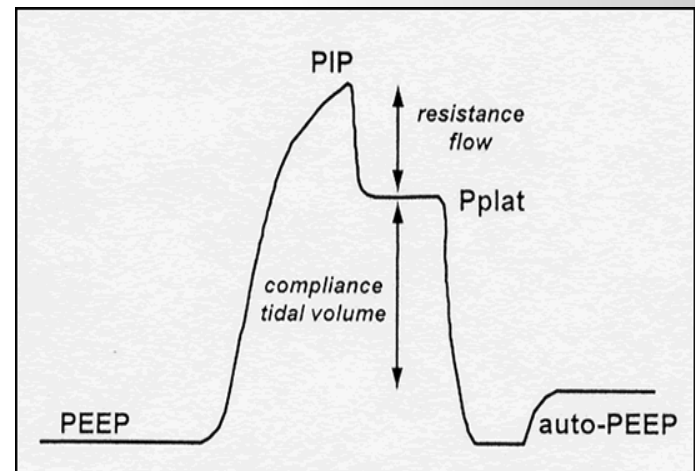
Η Ελαστικότητα (Elastance) $E_{st,rs} = \Delta P / \Delta V$ cm H₂O/L

Ενδοτικότητα (Compliance) $C_{st,rs} = \Delta V / \Delta P$ mL/cm H₂O

Ταχεία απόφραξη αεραγωγών υπο σταθερή ροή



Notes: PEEP=10

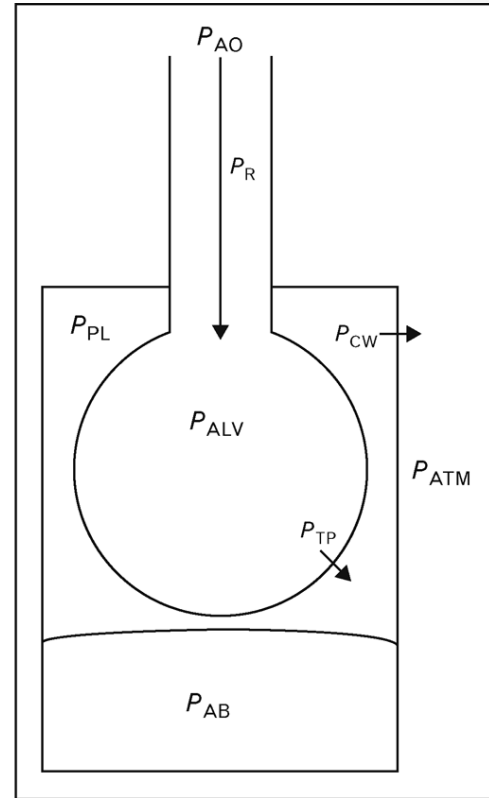


$$E_{st,rs} = (P_{plat} - PEEP) / \Delta V$$

$$C_{st,rs} = \Delta V / \Delta P$$

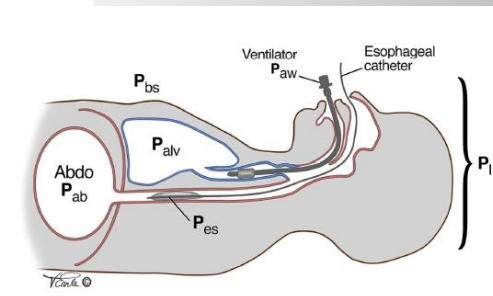
Η Ελαστικότητα (Elastance) $Est,rs = \Delta P / \Delta V$ cm H₂O/L

- $Est,rs = \Delta P / \Delta V$ cm H₂O/L
- $Est,rs = (P_{plat} - PEEP) / \Delta V$
- $Est,rs = Est,L + Est,cw$
- $Est,L = \Delta P_{TP} / \Delta V$
- $Est,L = P_{ALV} - P_{PL} / \Delta V$
- $Est,cw = Est,rs - Est,L$
- $1/Cst,rs = 1/CstL + 1/Cst,cw$



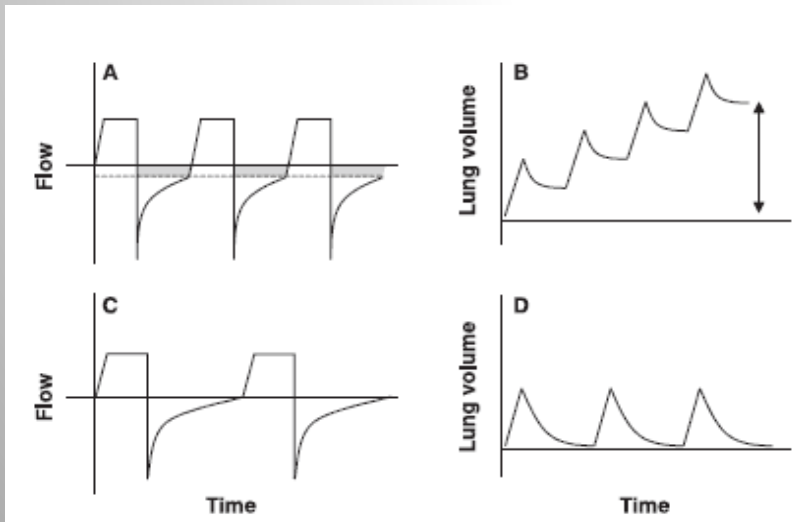
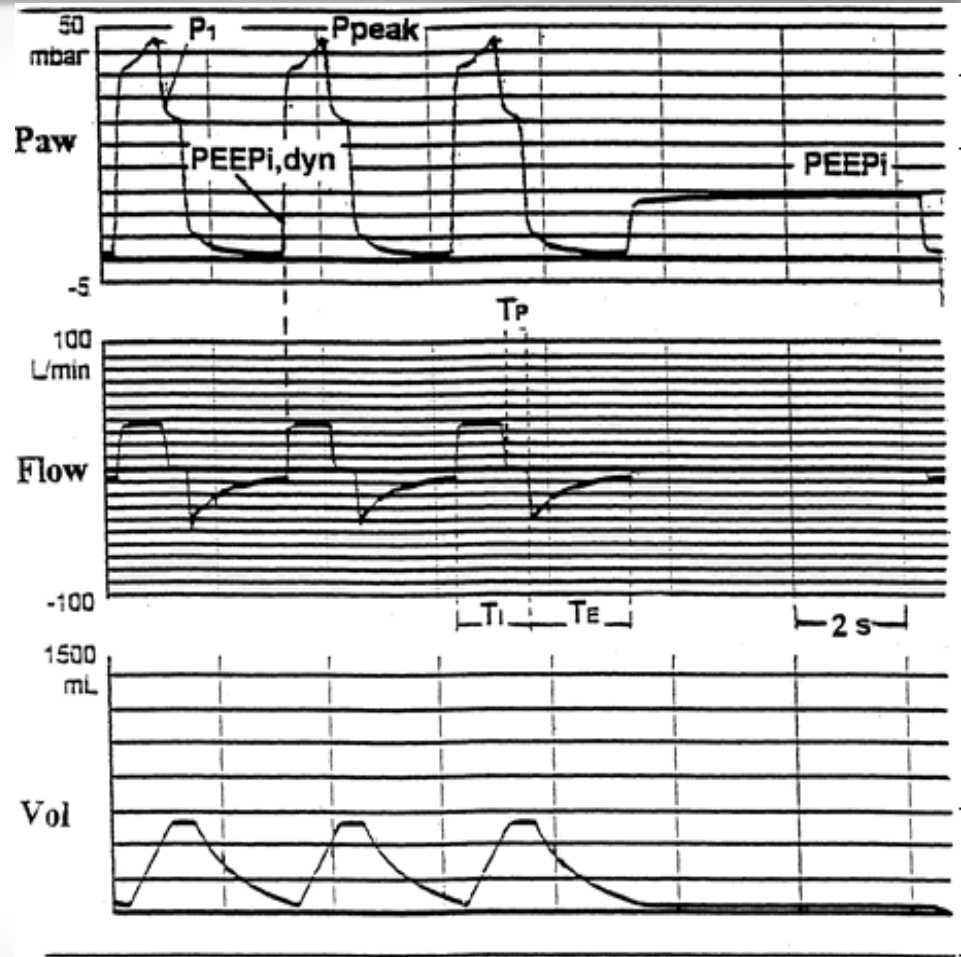
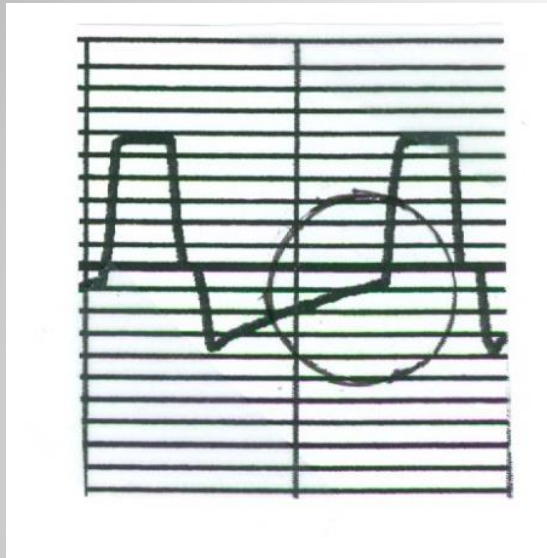
$$P_{TP} = P_{ALV} - P_{PL}$$

$$P_{PL} = P_{aw} \times E_{CW} / E_{RS}$$



The diagram illustrates the relationships between airway opening pressure (P_{AO}), alveolar pressure (P_{ALV}), pleural pressure (P_{PL}), abdominal pressure (P_{AB}), atmospheric pressure (P_{ATM}), transpulmonary pressure (P_{TP}) and pressure across the chest wall (P_{CW}).

Μετρήσεις: ενδογενής PEEP (PEEPi)



$$\tau = C \times R$$

Οι αντιστάσεις

$$dP = P_1 - P_2$$



$$\text{Flow} = dP/R$$

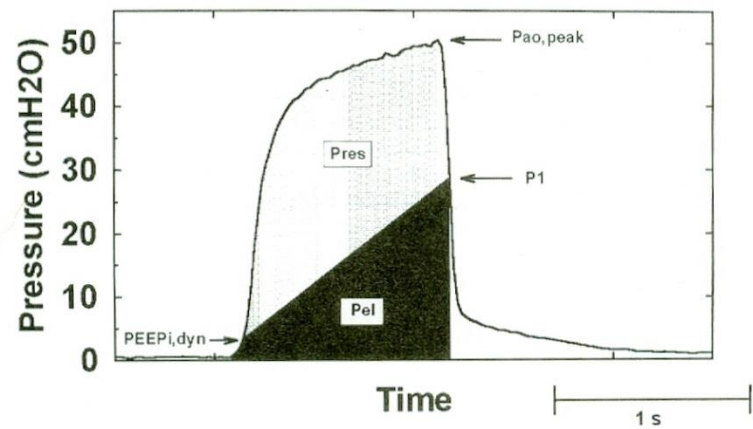
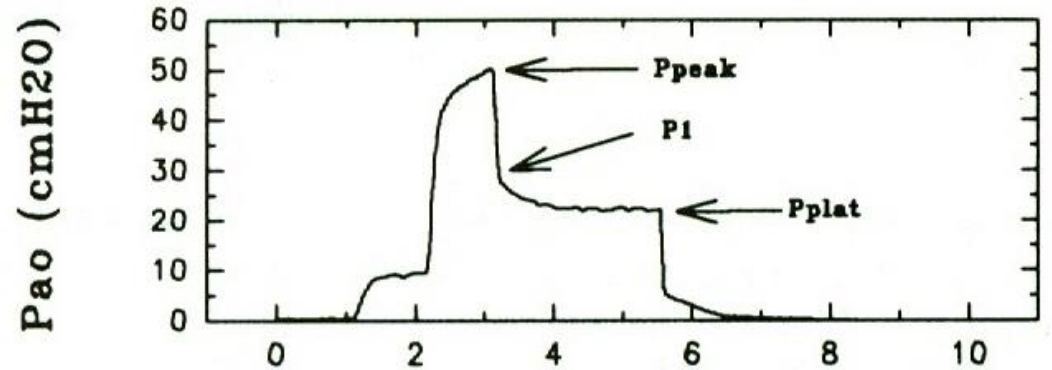
Εφαρμογή του νόμου του Ohm για τον υπολογισμό των αντιστάσεων του αναπνευστικού συστήματος.

Η ροή σε έναν αεραγωγό, είναι ανάλογη της διαφοράς πίεσης στα άκρα του αγωγού και αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης.

Οι αντιστάσεις του αν. συστήματος

Ταχεία απόφραξη αεραγωγών υπό σταθερή ροή

- $R = \Delta P / V'$ cm H₂O/L/s
- $R_{rs} = P_{peak} - P_{plat} / V'$ cm H₂O/L/s
- $R_{rs} = R_L + R_{cw}$
- $R_L = R_{aw} + R_{tissue}$ ($R_{int} + R_{tissue}$)
- $R_{int} = P_{peak} - P_1 / V'$
- $\Delta R_{rs} = P_1 - P_{plat} / V'$



- Εφημερεύω ...πάλι...(4^η φορά σε 10 ημέρες)!!!
- Κι εκεί που ήταν όλα ήρεμα, υπό έλεγχο (h: 3:45πμ)

...πάλι αυτός!
αφού ήταν μιά
χαρά...δεν με
λυπάται πιά
κανένας...!!!



Pick up the phone!

Νοσηλεύτρια: ο ασθενής XX... Εδώ και λίγη ώρα
ανεβάζει πιέσεις στον αναπνευστήρα. Κοιμάται καλά

Να κάνω κάτι???

Μέτρηση των αντιστάσεων

- Ασθενής 65 ετών, $\gamma = 1,70$, $B = 82$ Kg, υπο μηχανικό αερισμό, VCV, T-tube ID= 7.00 cm
- $PaO_2 = 85$ mm Hg, $PaCO_2 = 60$ mmHg, $pH = 7.37$, $FiO_2 = 0.45$
- $P_{peak} = 48$ cm H_2O , $P_1 = 28$ cm H_2O , $P_{lat} = 25$ cm H_2O , $V_t = 500$ mL, $V_i = 60$ L/min, PEEP=10 cm H_2O

A. Ο ασθενής κινδυνεύει από βαρότραυμα

B. Ο ασθενής κάνει παρόξυνση ΧΑΠ ή έχει εκκρίσεις στο σωλήνα

Γ. Πρέπει άμεσα να μειώσω το V_t

Δ. Πρέπει άμεσα να αλλάξω τον τραχειοσωλήνα

Ε. Πρέπει άμεσα να μειώσω την PEEP

Δυναμική υπερδιάταση

Αίτια δυναμικής υπερδιάτασης είναι:

A. Αυξημένη C,rs

B. Μειωμένη C,rs

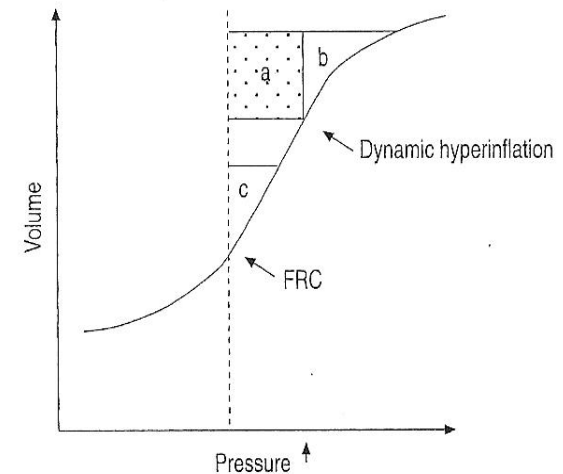
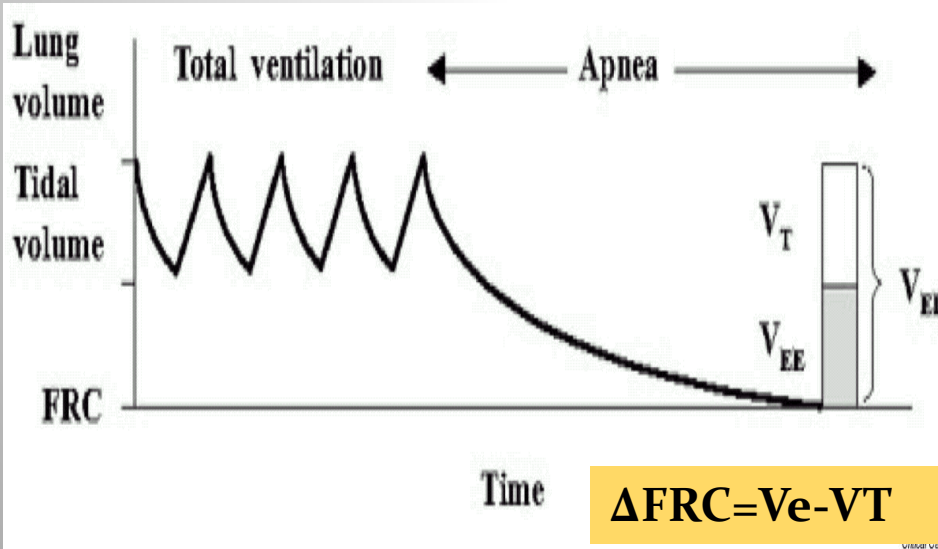
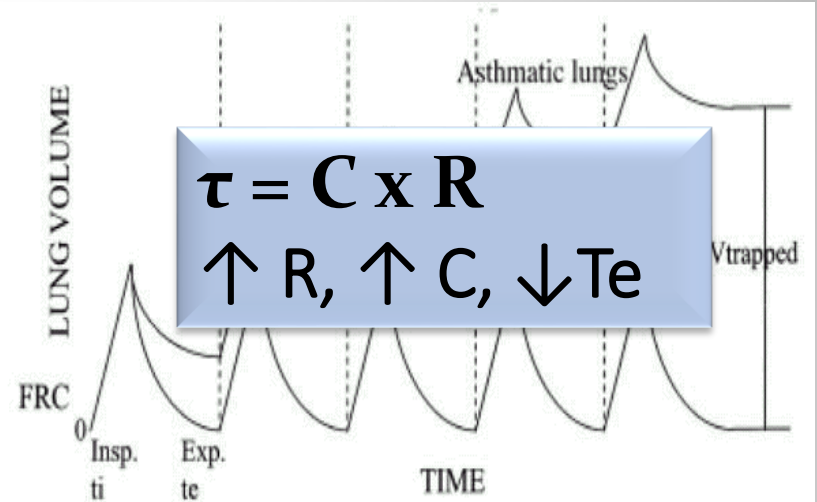
Γ. Αυξημένες R,rs

Δ. Μειωμένος Te

E. Αυξημένη σταθερά χρόνου (τ)

ΣΤ. Τα Α,Γ, Δ

Z. Τα Α, Γ, Δ, Ε



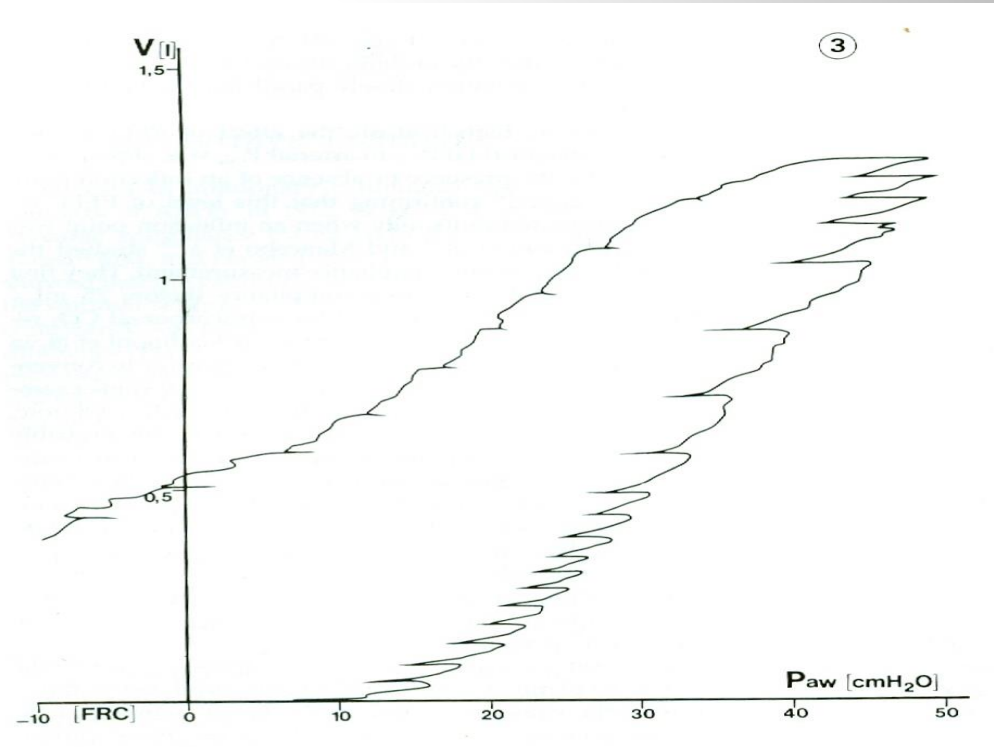
Καμπύλες (curves)

Pressure-volume curves

Pressure-volume curves

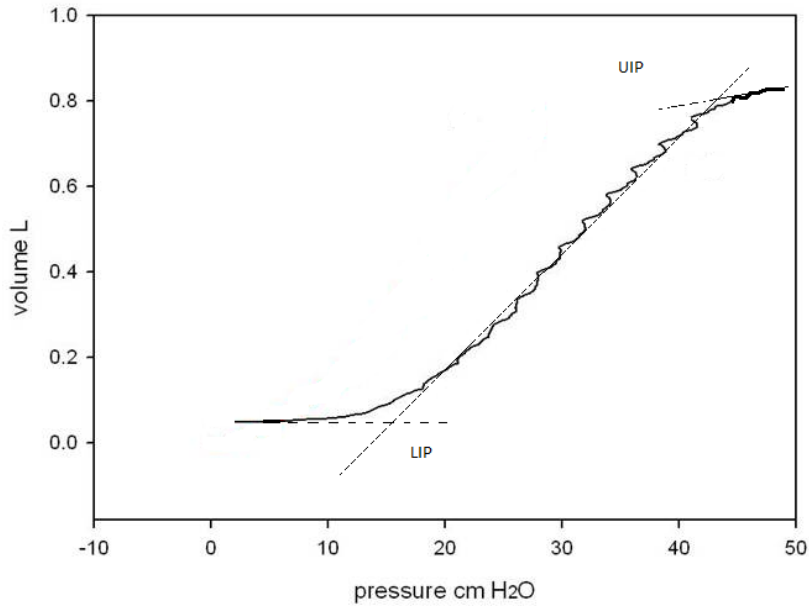
χρησιμοποιούνται για:

- Μέτρηση της ενδοτικότητας (compliance)
- Μέτρηση του έργου της αναπνοής



Supersyringe technique

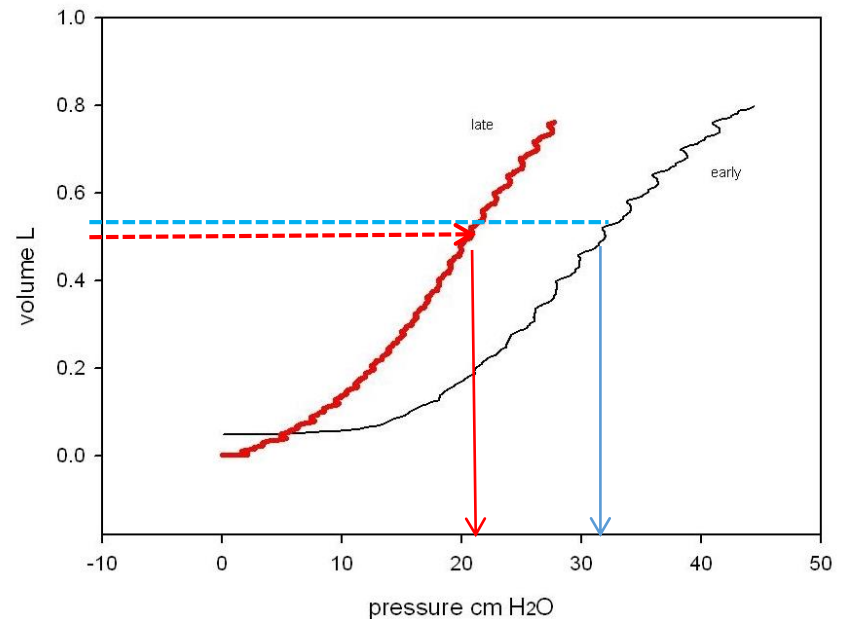
Pressure-Volume curves



Low flow inflation technique

Pressure-volume curves χρησιμοποιούνται για:

- Αξιολόγηση της ενδοτικότητας και των μεταβολών της



Pressure-Volume curves

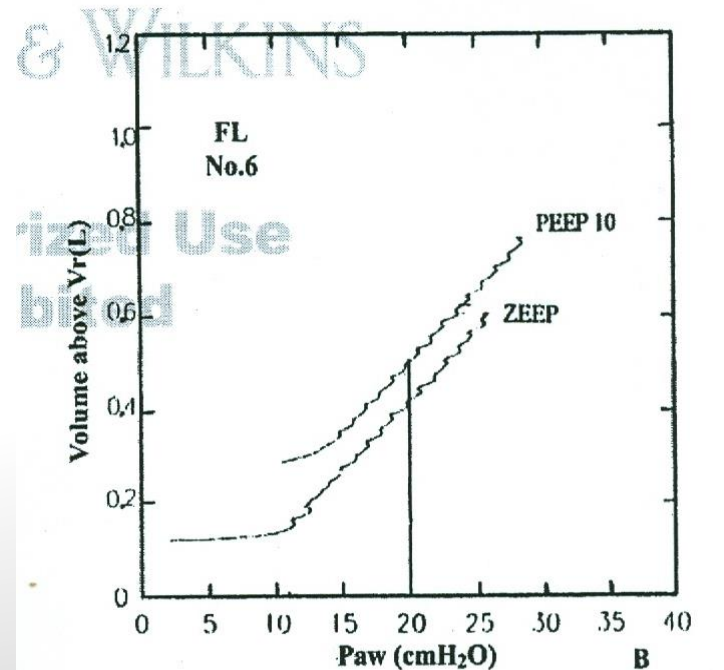
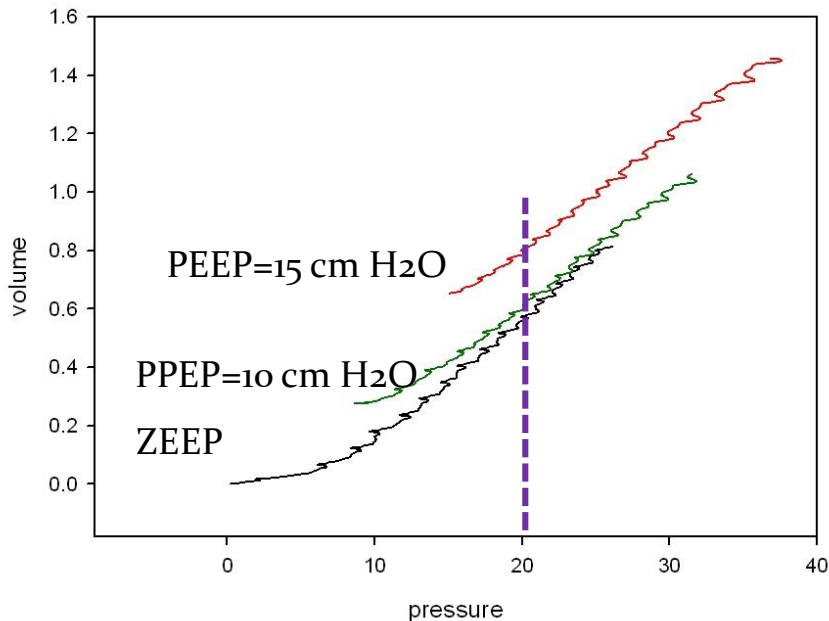
Pressure-volume curves χρησιμοποιούνται για:

- Αξιολόγηση του αποτελέσματος των χειρισμών που εφαρμόζουμε

A. Ο ασθενής πολύ πιθανόν βελτίωσε την οξυγόνωση με PEEP=10 cm H₂O

B. Ο ασθενής πολύ πιθανόν βελτίωσε την οξυγόνωση με PEEP=15 cm H₂O

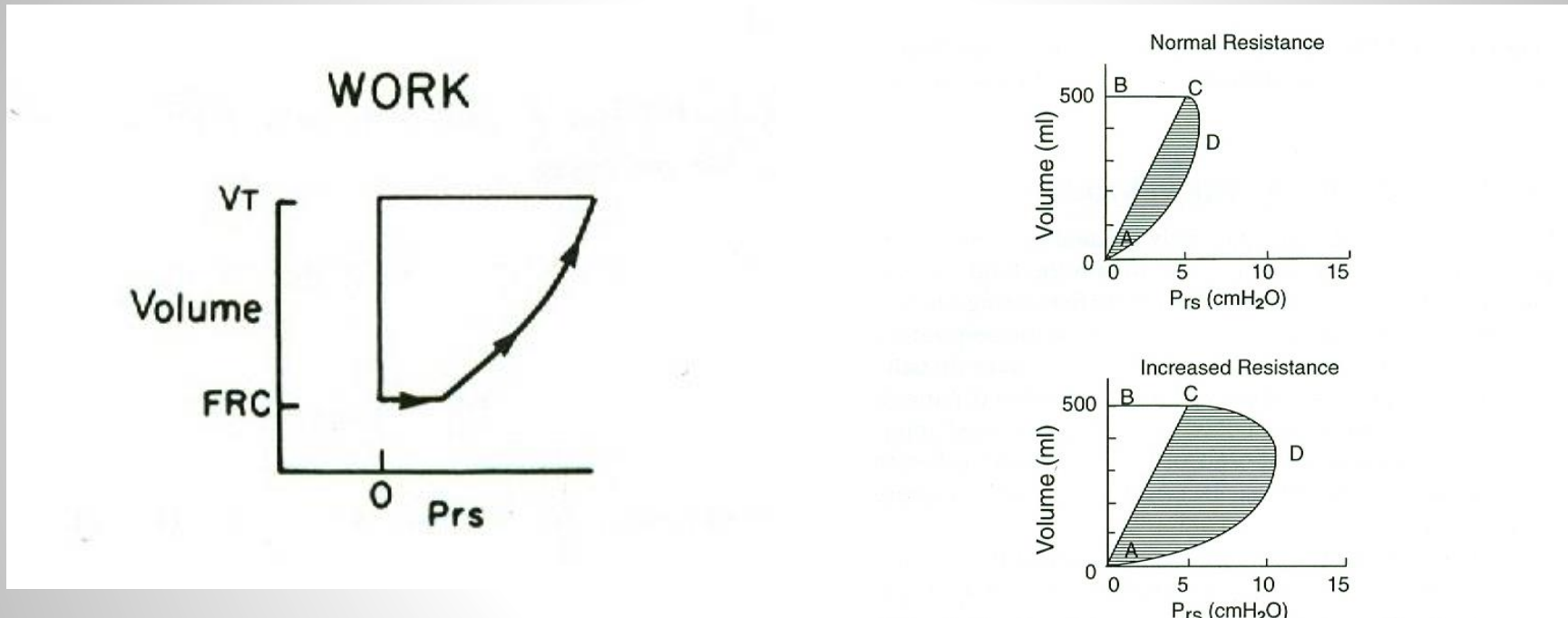
Γ. Ο ασθενής με PEEP=15 cm H₂O κάνει υπερδιάταση



Pressure-volume curves. Έργο της αναπνοής

$$WOB = P_{apl} * V = \int_0^t P_{apl} * \Delta V$$

$$\text{Joule} = 1L \times 1kPa \quad (1L \times 10.2 \text{ cmH}_2\text{O})$$



Οι συνιστώσες του έργου

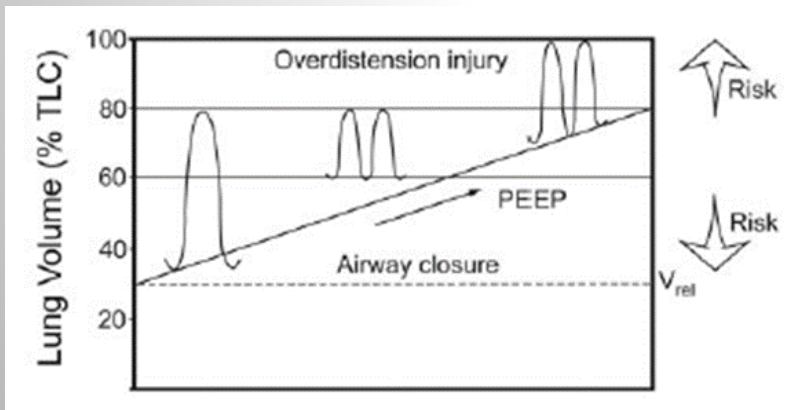
Ελαστικό έργο: Ελαστικότητα του πνεύμονα, μετακίνηση του θωρακικού τοιχώματος

Έργο αντιστάσεων: αντιστάσεις ροής ιστικές αντιστάσεις

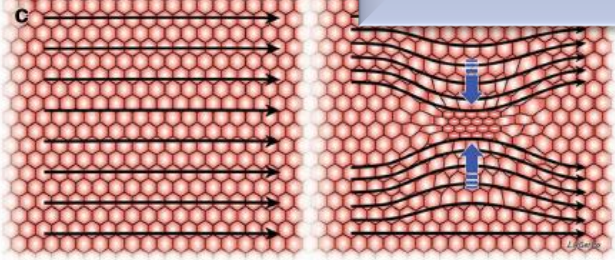
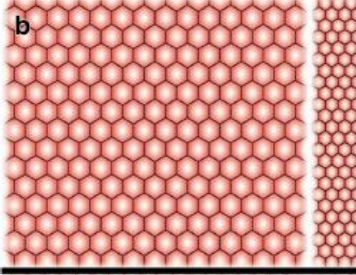
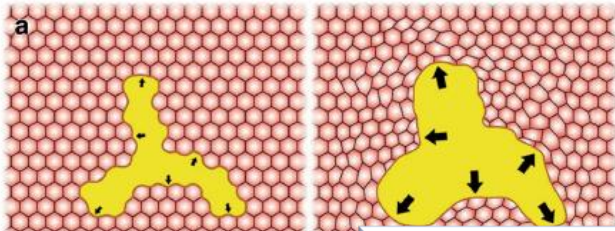
Μεταβολές στο έργο της αναπνοής αντανακλούν μεταβολές στις μηχανικές ιδιότητες του αν. συστήματος

Respiratory monitoring

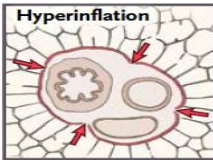
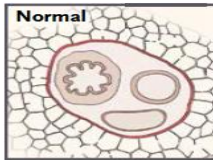
- Επιλογή των ρυθμίσεων του αναπνευστήρα
- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου VILI



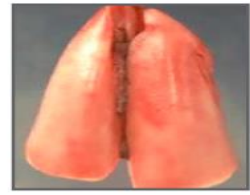
Ventilation Induced Lung Injury



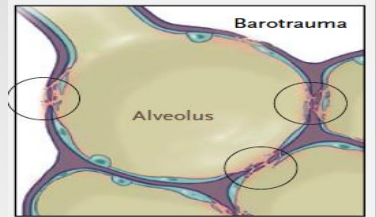
B Ventilation at high lung volume



Air leaks



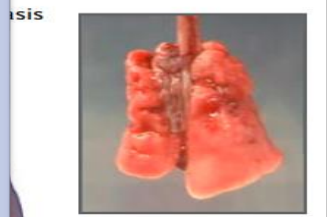
Overdistention



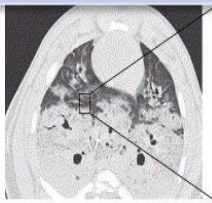
Barotrauma

Alveolus

- **Stress** $\sigma = \Delta F / \Delta S$
- Lung stress = Transpulmonary pressure, (P_L)
- **Strain** $\epsilon = \Delta L / L_0 (V_T / EELV)$
- Lung Strain = V_T / FRC



Lung inhomogeneity



Zone of atelectasis



Stress raisers or concentrators

(Πολλαπλασιαστικές εφαπτόμενες δυνάμεις)

Lung protective ventilation

Avoiding high pressures:

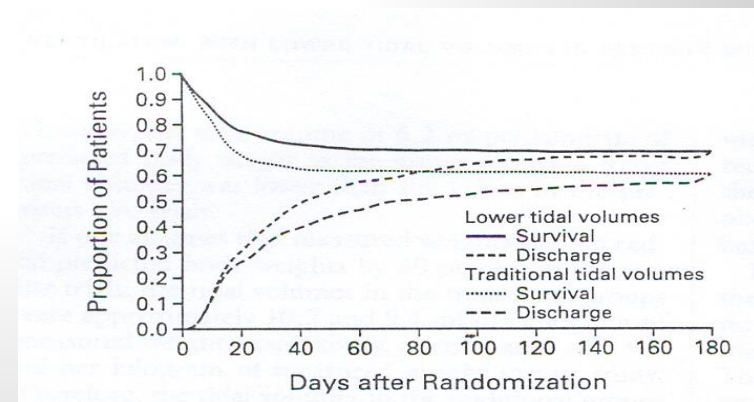
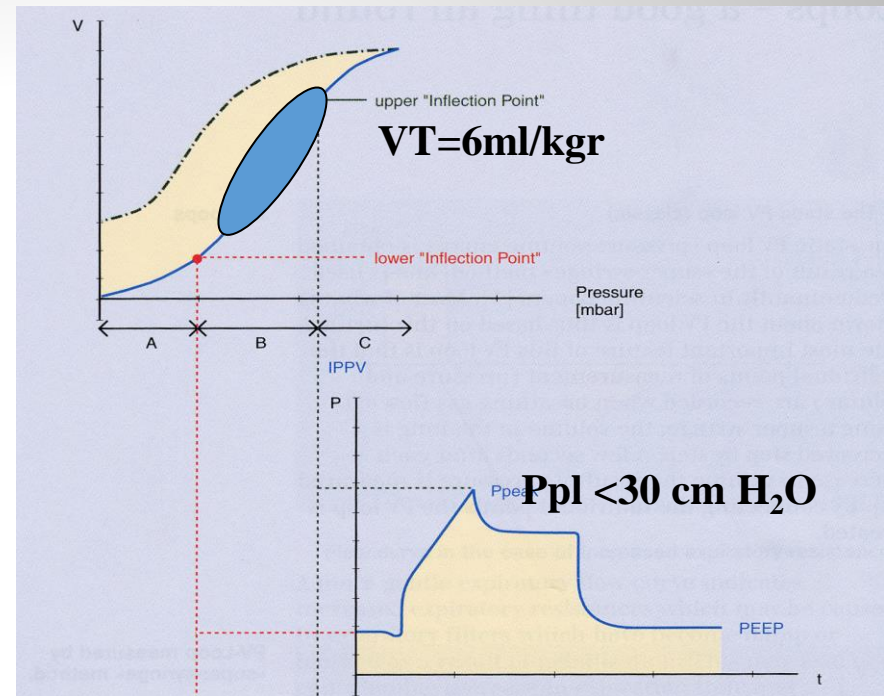
$$V_T = 6 \text{ mL/Kg PBW}$$

$$P_{\text{plat}} < 30 \text{ cm H}_2\text{O}$$

Avoiding intratidal opening and closing: PEEP

- T_v : 6mL/kgPBW
- P_{plat} : $\leq 30 \text{ cm H}_2\text{O}$
- RR: 6-35/min
- pH: 7.30-7.45
- FiO_2 -PEEP \Rightarrow PaO_2 :55-80 mm Hg or SaO_2 : 88-92%

ARDSnet, N Engl J Med 2000

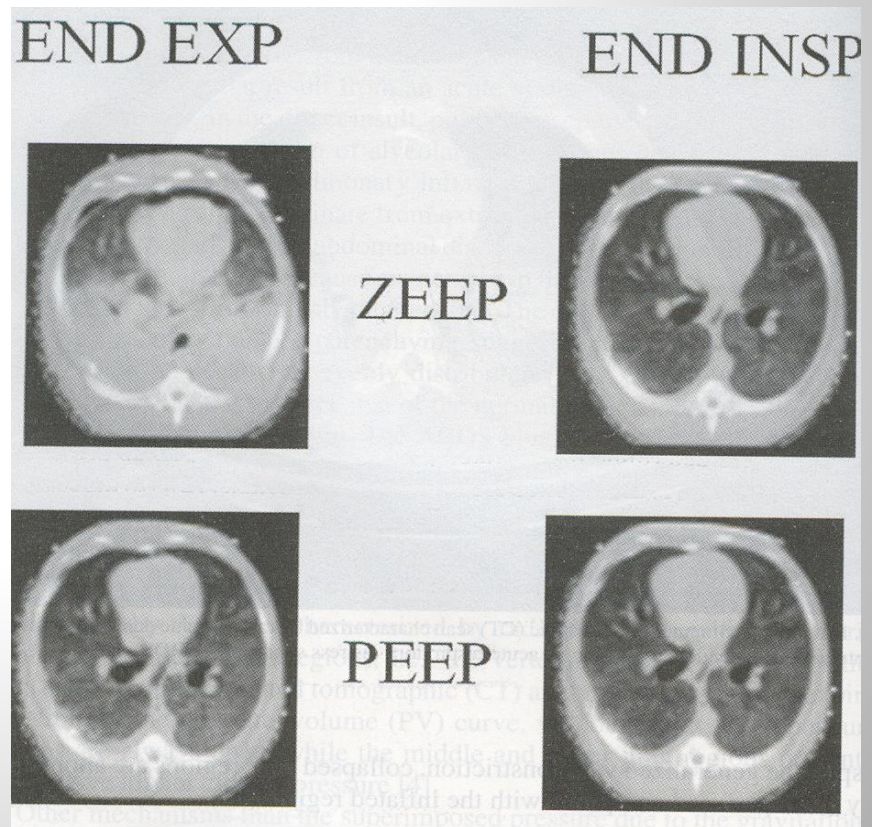


Mortality rate: 20% reduction

Επιλογή των ρυθμίσεων του αναπνευστήρα

Πως θα επιλέξουμε τη PEEP

- Πίνακες αντιστοίχισης
- Recruited volume
- PaO_2/FiO_2
- CT imaging
- P-V curves



Επιλογή της PEEP: Πίνακες αντιστοίχισης



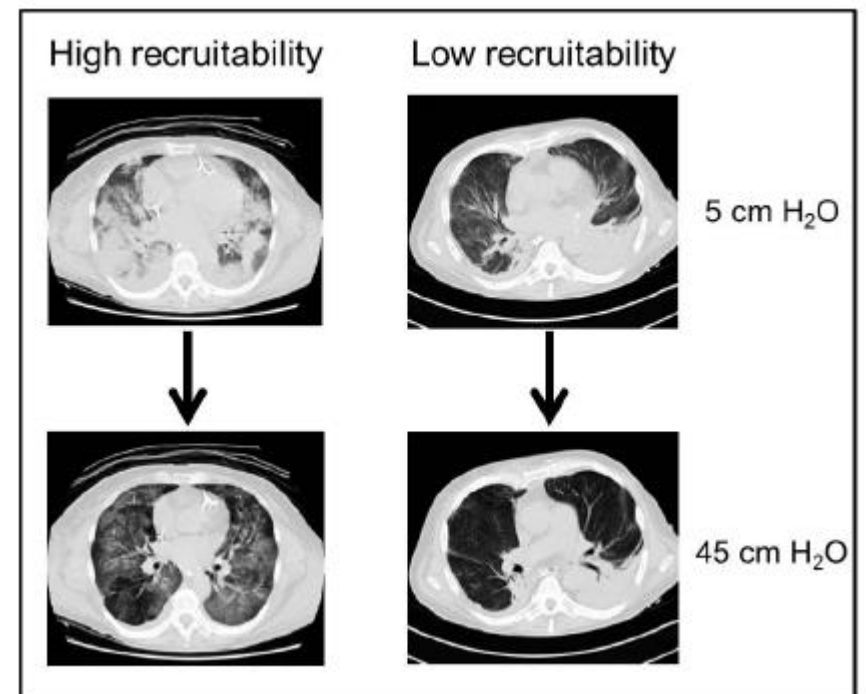
Table 1. Settings for Positive End-Expiratory Pressure (PEEP), According to the Required Fraction of Inspired Oxygen (FiO₂).*

FiO ₂	PEEP
0.3	5
0.4	5–8
0.5	8–10
0.6	10
0.7	10–14
0.8	14
0.9	14–18
1.0	18–24

* Settings are from the ARDSNet trial.¹⁹ The required FiO₂ is the lowest value that maintains arterial oxyhemoglobin saturation above 90%. After the corresponding level of PEEP is selected, arterial oxyhemoglobin saturation and plateau airway pressure should be monitored in the patient.

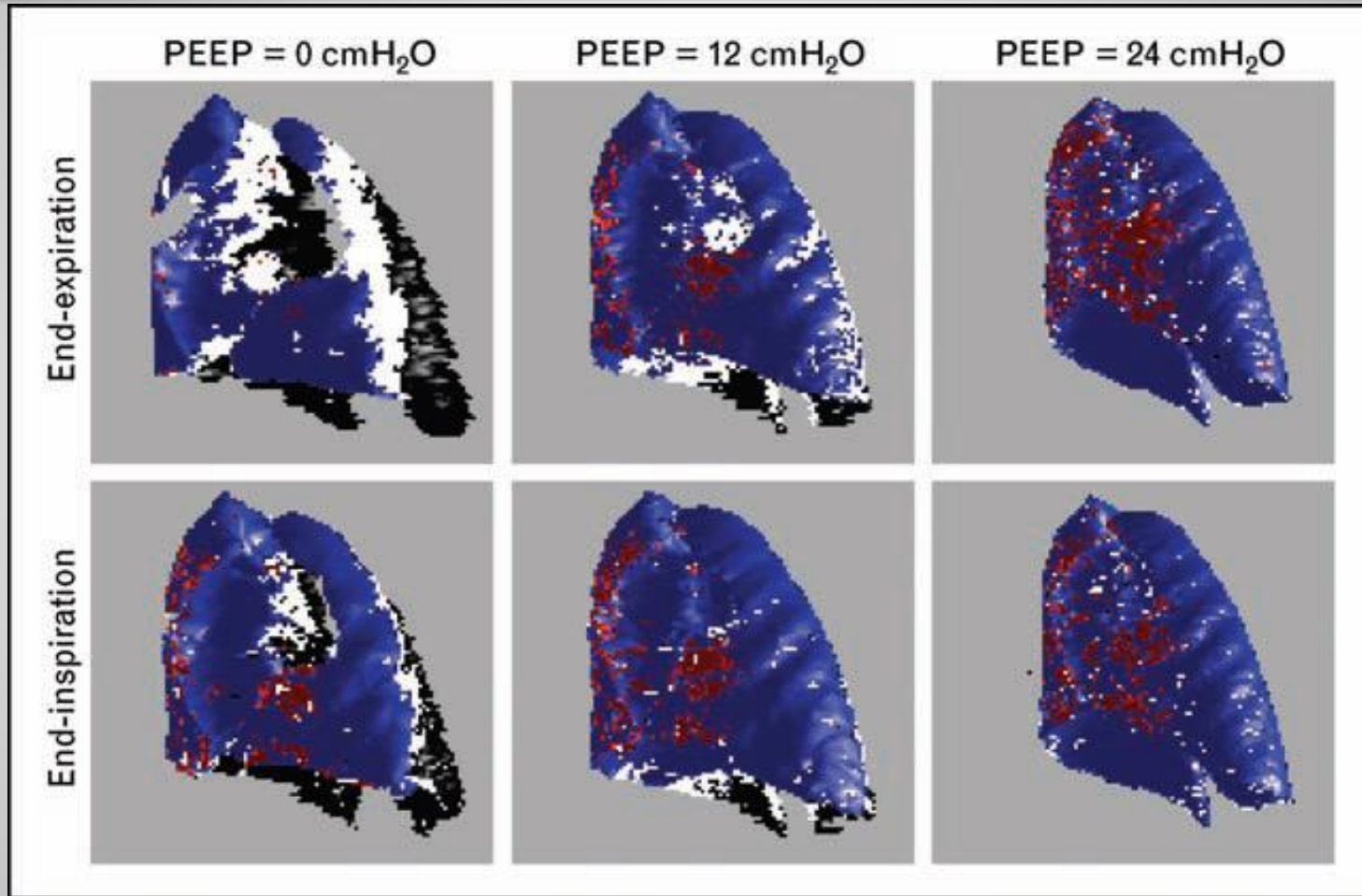
Δυνητική στρατευσιμότητα του πνεύμονα

Αποφυγή υπερδιάτασης



Ανομοιογένεια

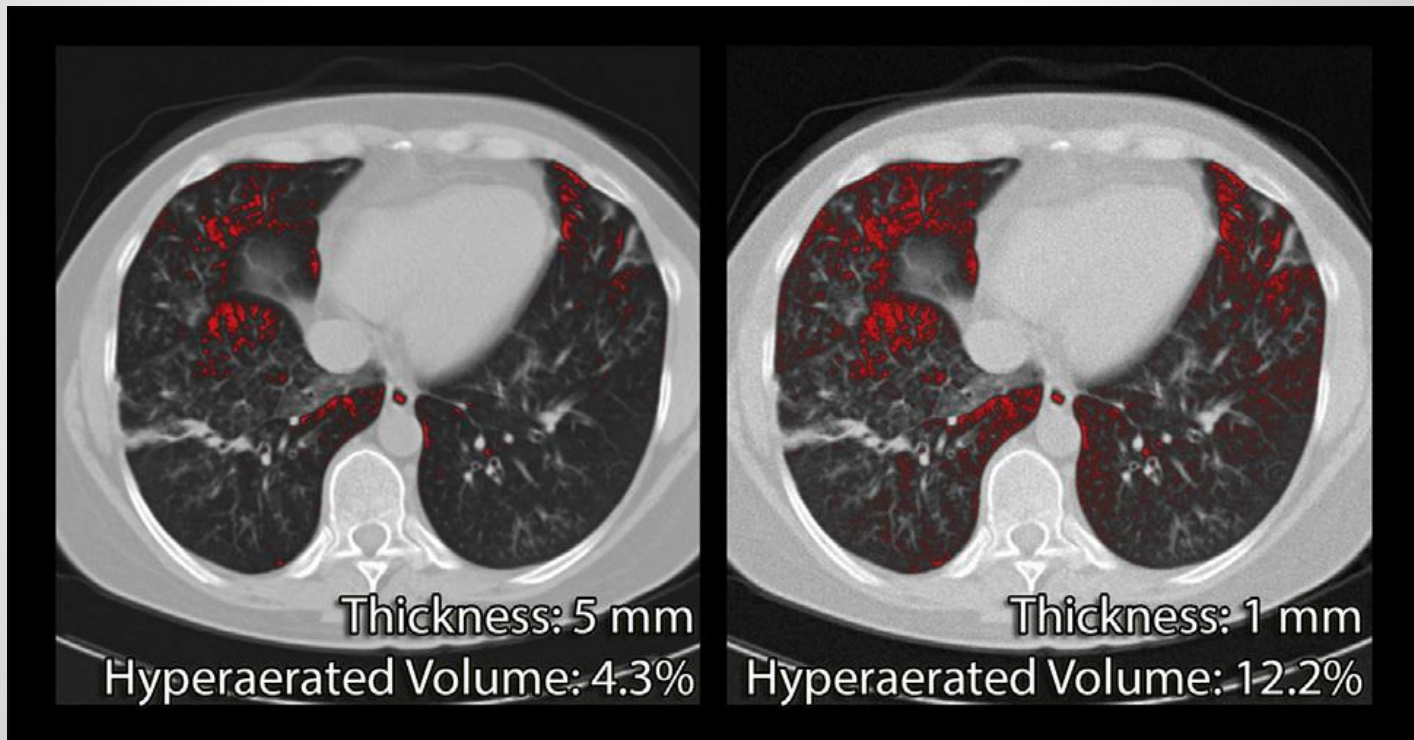
Επιλογή της PEEP: CT



Περιοδική σύγκλιση-επανάπτυξη μικρών αεραγωγών και κυψελίδων

Περιοχική Υπερδιάταση

Επιλογή της PEEP: CT



Επιλογή της PEEP

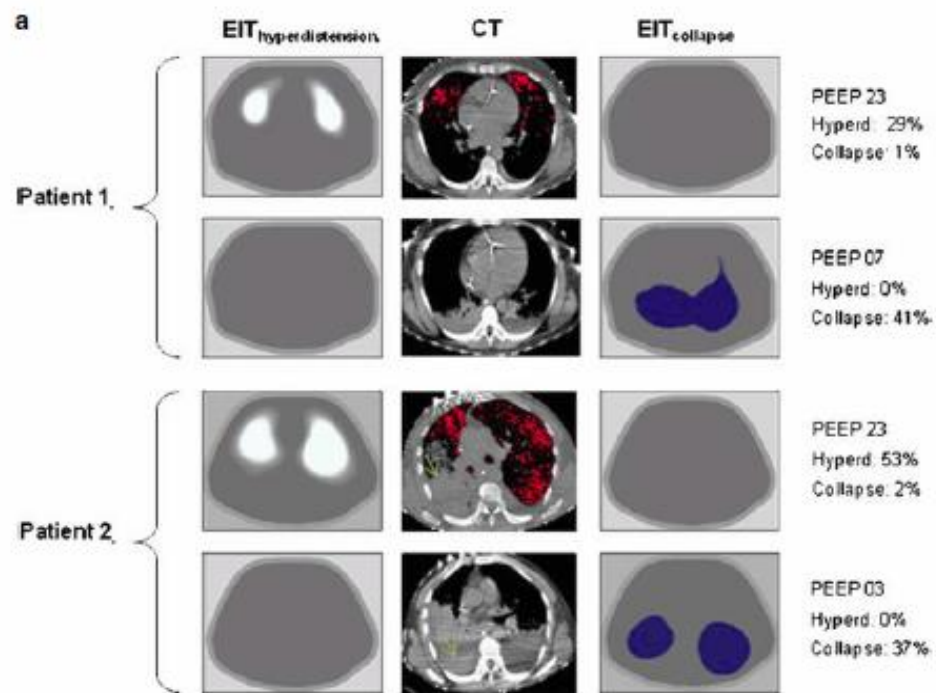
Electrical Impedance Tomography

$$\text{Impedance (Z)} = \frac{\text{Voltage (V)}}{\text{Current (I)}}$$

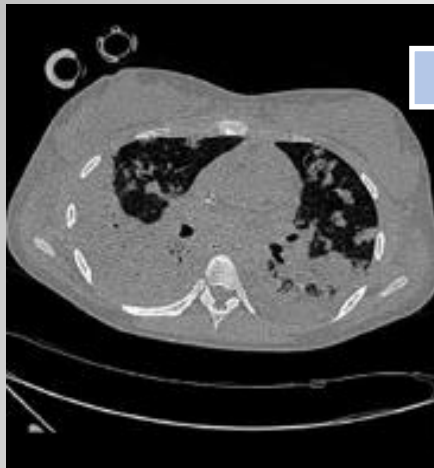
Δυνητική στρατευσιμότητα του πνεύμονα

Αποφυγή υπερδιάτασης

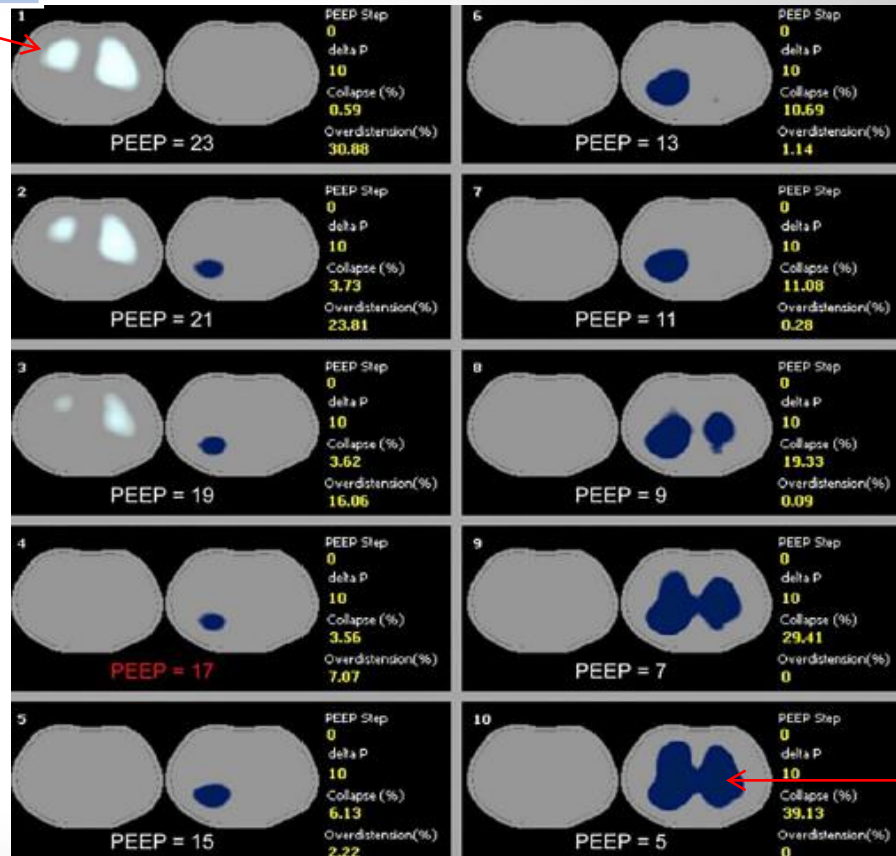
Bedside estimation of recruitable alveolar collapse and hyperdistension by electrical impedance tomography



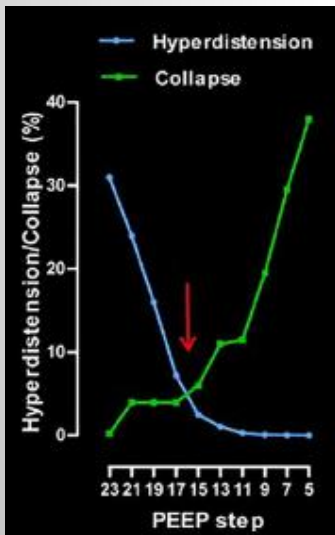
Costa et al, Intens Care Med 2009;
35



hyperdistension

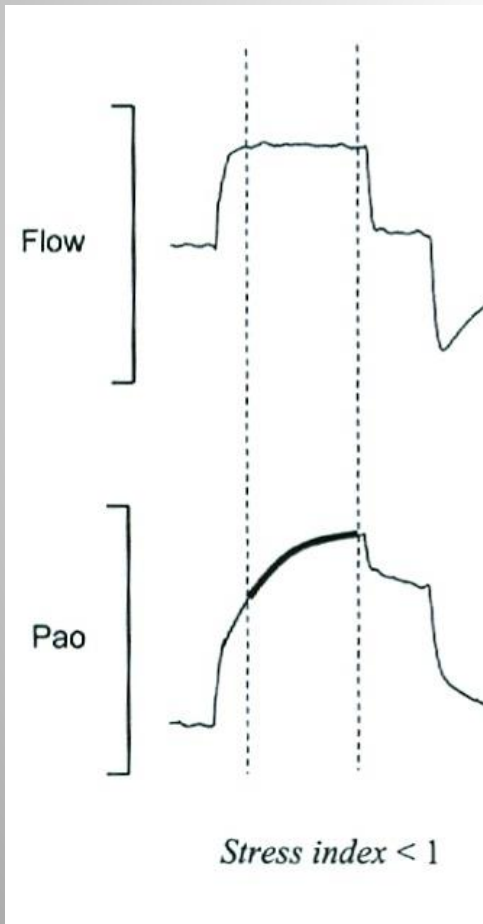


Collapsed



Ελαχιστοποίηση του κινδύνου VILI

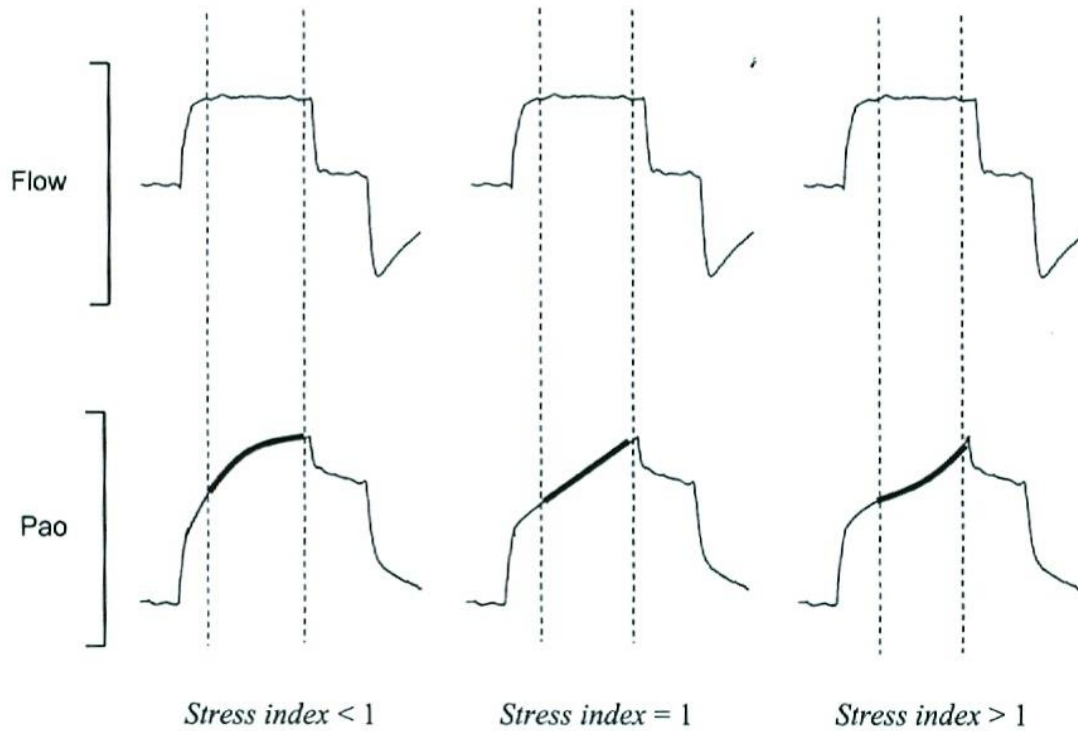
Ασθενής με ARDS σε μηχανικό αερισμό με VCV, $\gamma=1,70$, $B=82$ Kg
 $FiO_2=0.65$, $V_t=420$ mL, $PEEP=8$ cm H₂O, $P_{plat}=28$ cm H₂O, $F=25$ /min
 $PaO_2=67$ mm Hg, $PaCO_2=55$ mm Hg, $pH=7,34$,



- A. Πρέπει να αυξήσω τη PEEP
- B. Πρέπει να μειώσω το V_t
- Γ. Πρέπει να αυξήσω τις αναπνοές
- Δ. Πρέπει να μειώσω τη PEEP
- Ε. Δεν πρέπει να κάνω τίποτα

‘Pressure-Time’ index (Stress Index)

Ελαχιστοποίηση του κινδύνου VILI: 'Pressure-Time' index (Stress Index)



Υπο σταθερή, τετράγωνη ροή η μεταβολή της πίεσης προς το χρόνο αντανακλά τη μεταβολή της ελαστικότητας προς το χρόνο

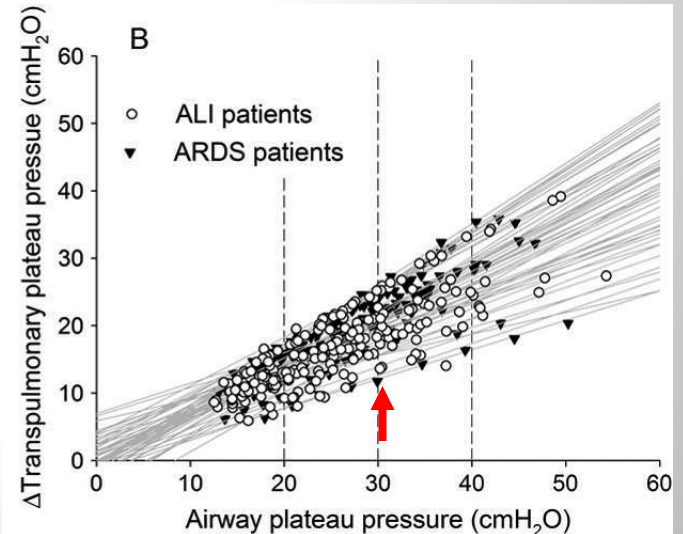
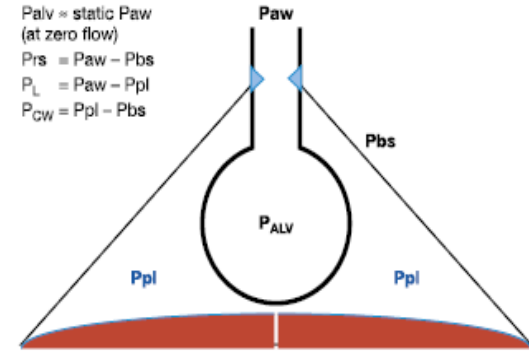
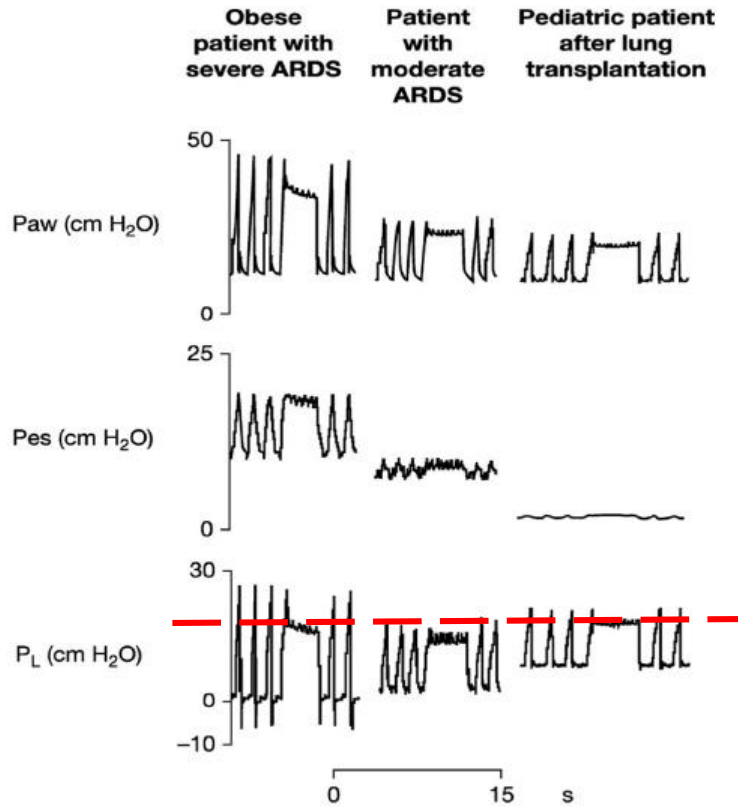
Ranieri AJRCCM 1994

Grasso CCM 2004

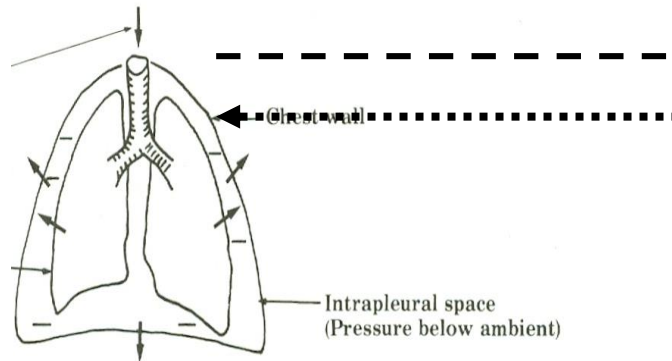
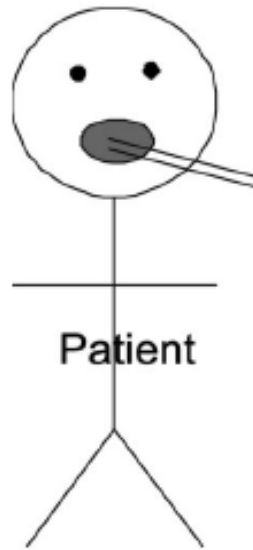
Ελαστοποίηση του κινδύνου VILI:

Chest wall mechanics!! $PTP = P_{aw} - P_{es}$

Αποφυγή υπερδιάτασης



Αλληλεπίδραση ασθενούς αναπνευστήρα



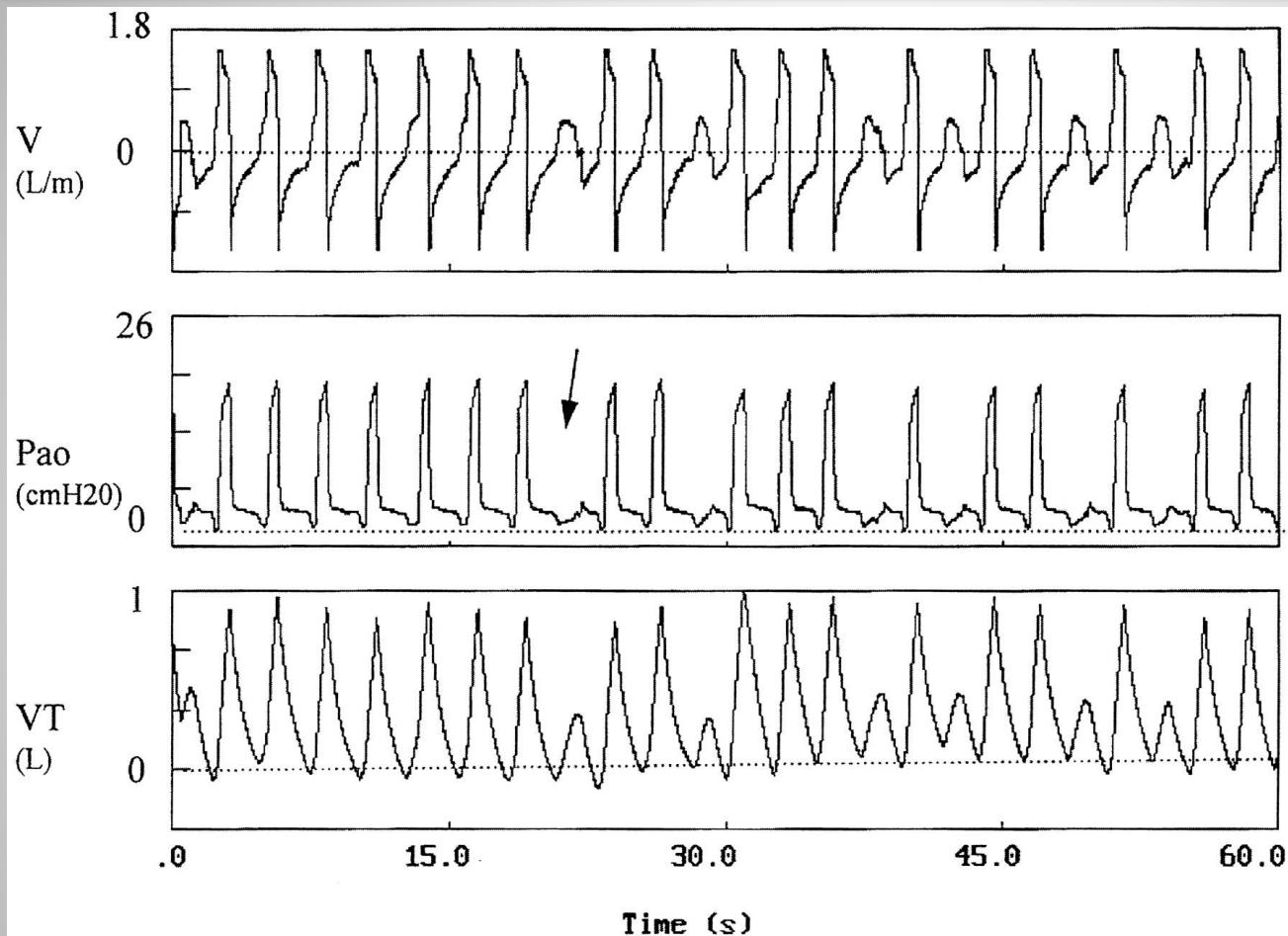
Ελέγχεται από το νευρομυϊκό σύστημα

Επηρεάζεται από τις μηχανικές ιδιότητες του αν. συστήματος

Ελέγχεται από τις ρυθμίσεις που επιλέγουμε και τη λειτουργία της βαλβίδας ροής

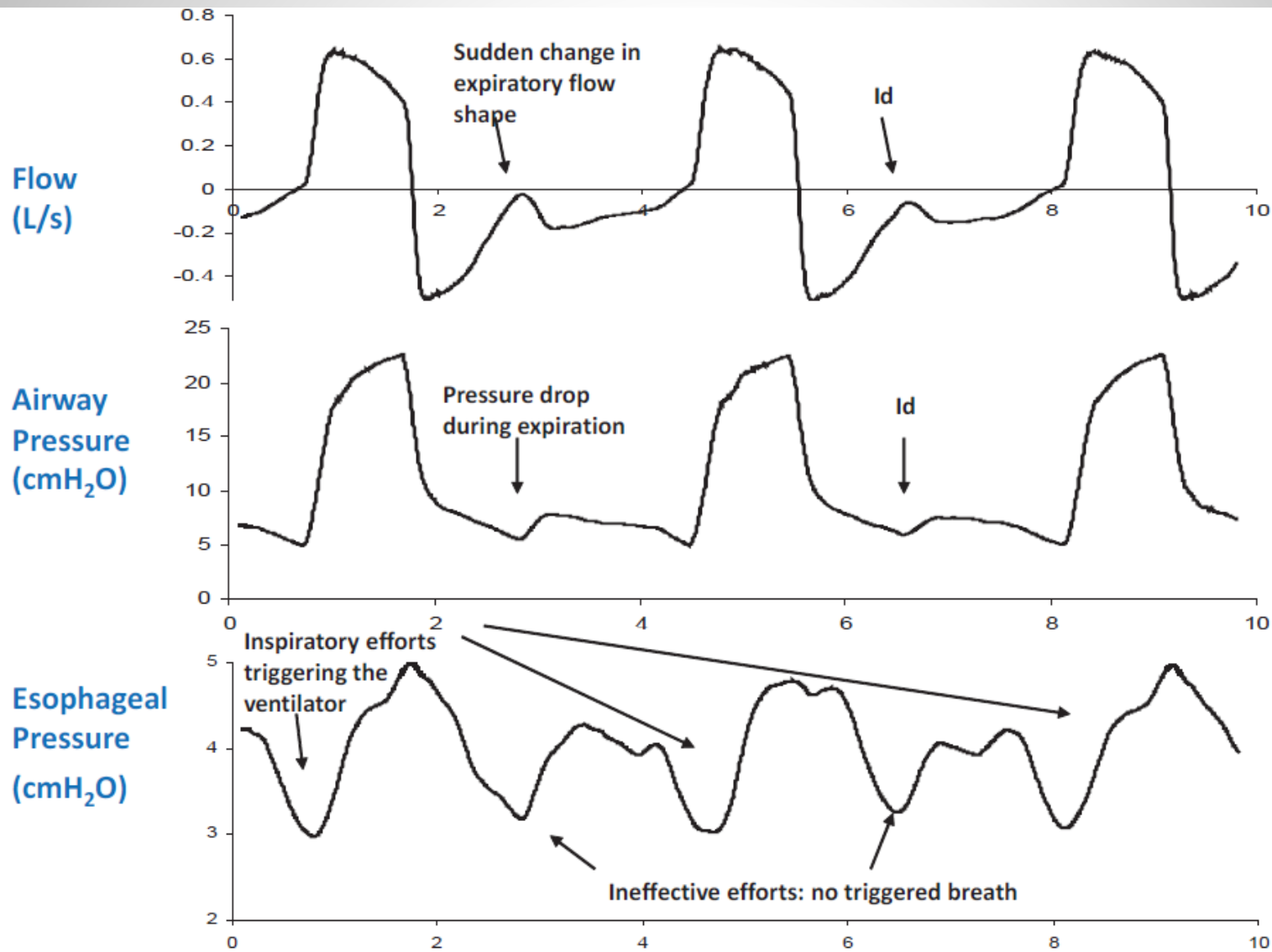
Kondili, Br J Anaesth 2003

Αλληλεπίδραση ασθενούς αναπνευστήρα



- A. Η αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς είναι 18 b/min
- B. Η αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς είναι 25 b/min
- Γ. Η αναπνευστική συχνότητα του ασθενούς είναι 7 b/min

Ανεπιτυχείς προσπάθειες



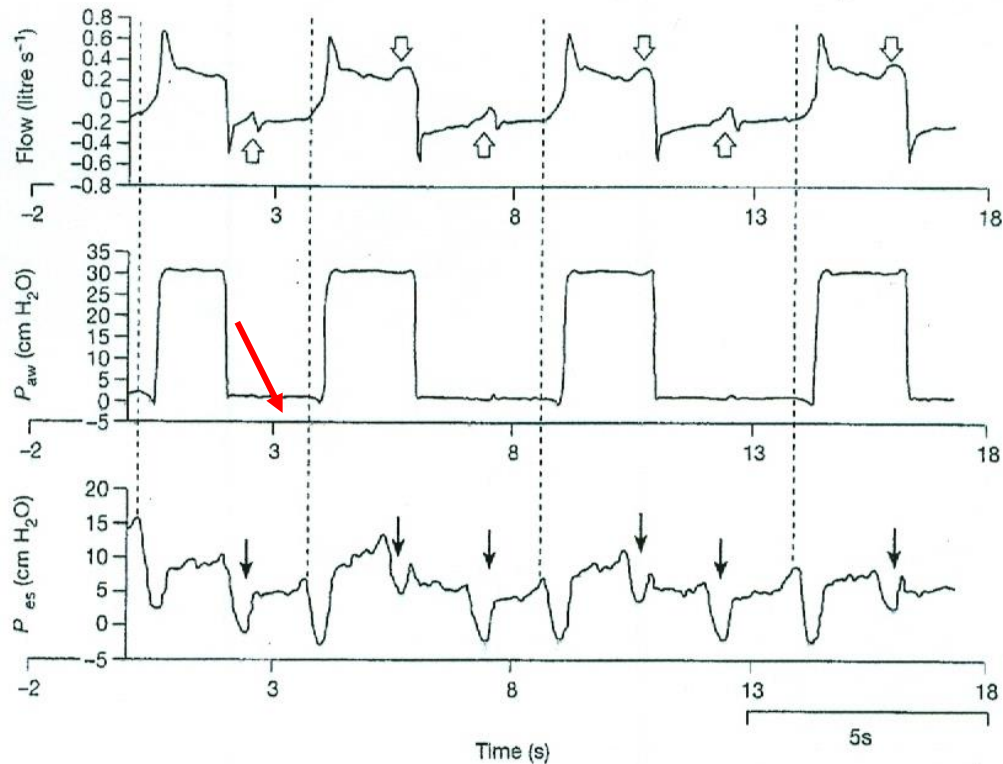
Αλληλεπίδραση ασθενούς αναπνευστήρα

Ανεπιτυχείς προσπάθειες:

- Μη συγχρονισμός ασθενούς αναπνευστήρα
- Δυσφορία του ασθενούς
- Αυξημένο έργο της αναπνοής
- Ενδεχομένως βλάβη των αναπνευστικών μυών
- Παράταση του χρόνου μηχανικής αναπνοής

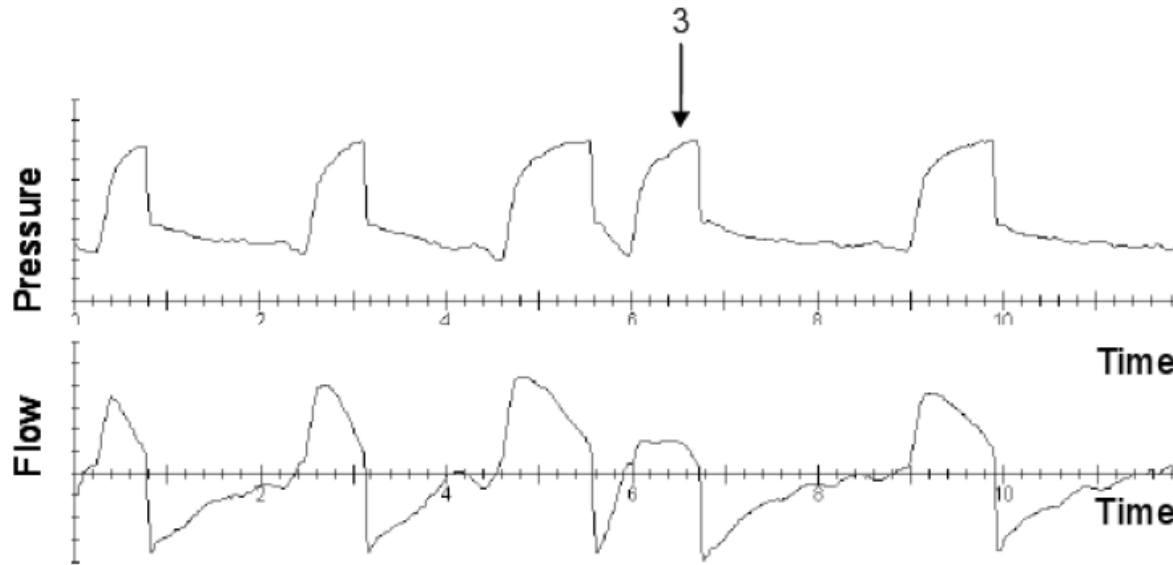
Αλληλεπίδραση ασθενούς αναπνευστήρα

USING VENTILATOR GRAPHICS TO IDENTIFY PATIENT-VENTILATOR ASYNCHRONY



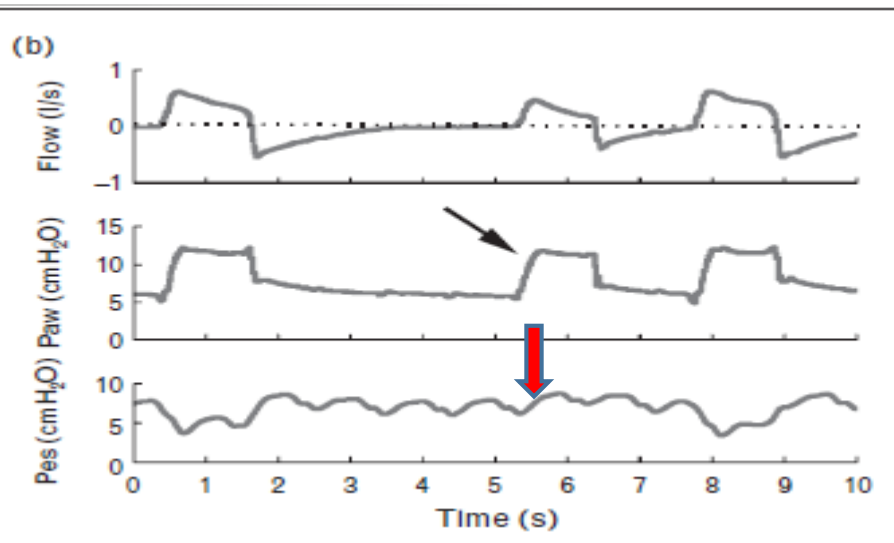
Συχνότερο αίτιο η ύπαρξη PEEP_i

Αλληλεπίδραση ασθενούς αναπνευστήρα

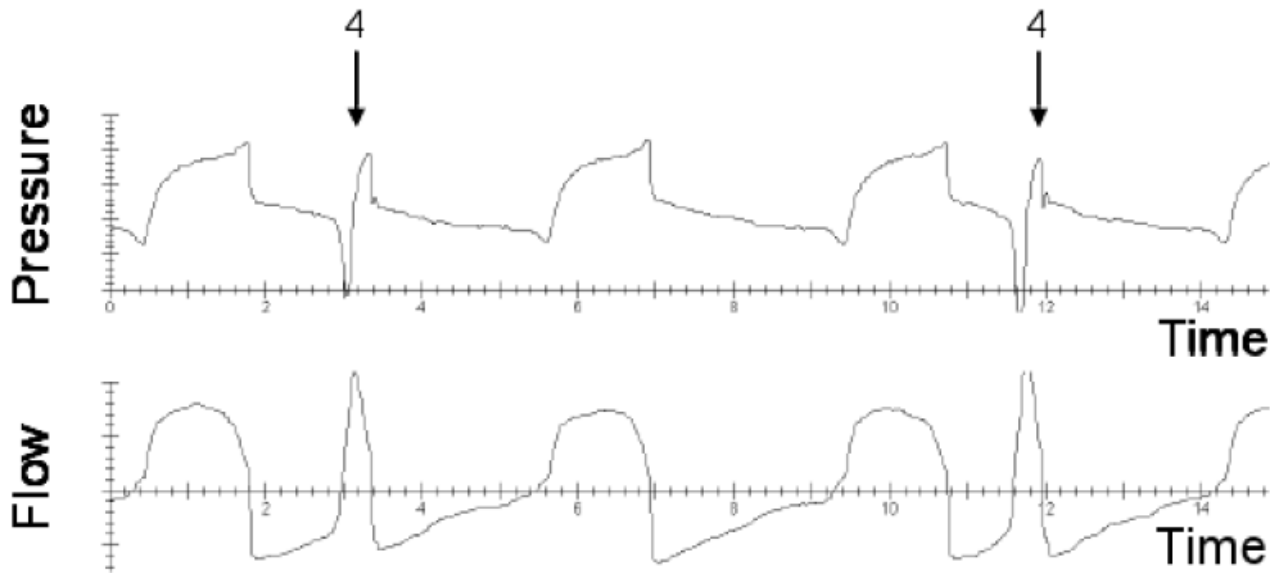


- A. Ανεπιτυχείς προσπάθειες
- B. Double triggering
- Γ. Short cycle

Double triggering is present when 2 cycles are separated by an expiratory time less than half the mean inspiratory time

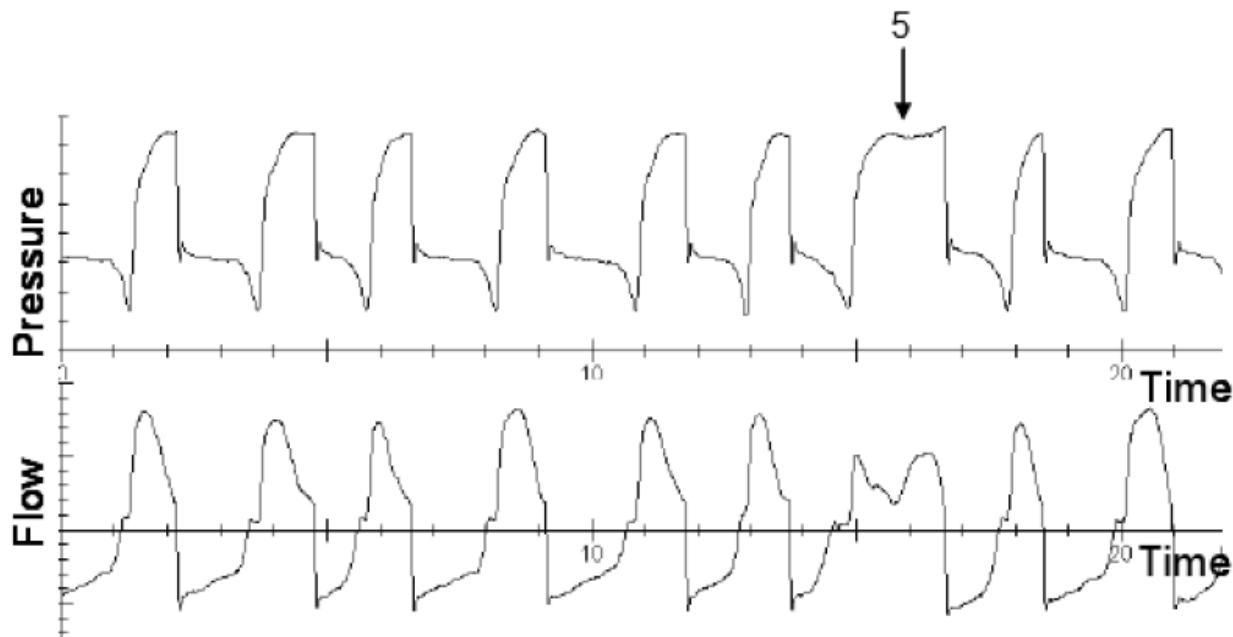


- A. Ανεπιτυχείς προσπάθειες
- B. Double triggering
- Γ. Auto-triggering



- A. Double triggering
- B. Short cycle
- C. Prolonged cycle

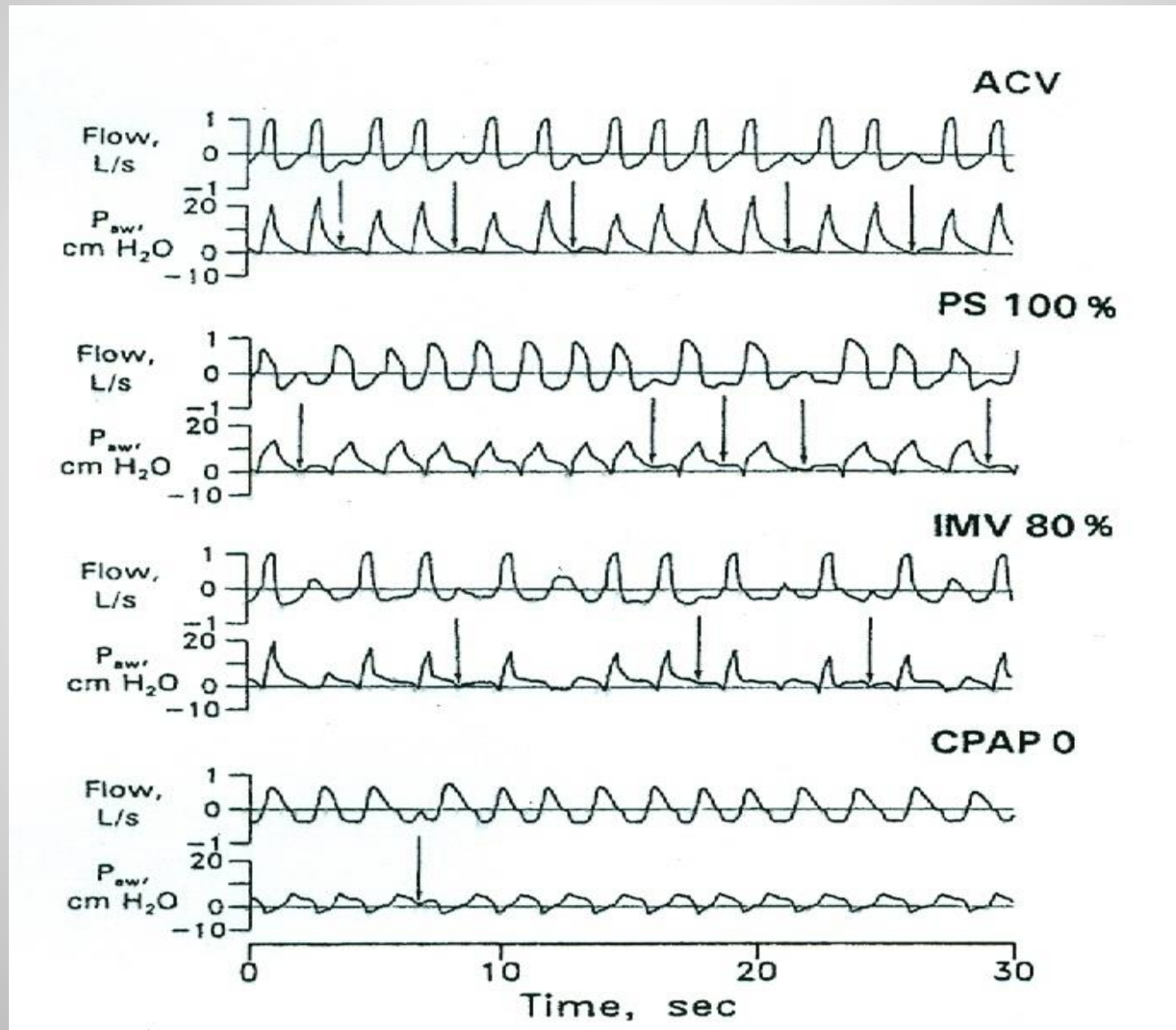
Short cycle is a cycle in which the T_i is less than half the mean T_i



- A. Double triggering
- B. Short cycle
- C. Prolonged cycle

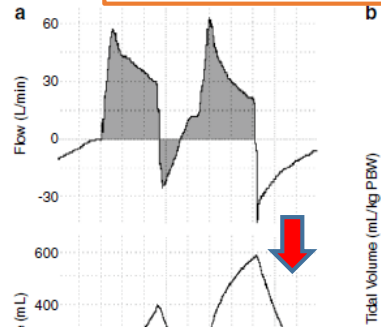
Prolonged cycle is a cycle in which the T_i is more than twice the mean T_i

Αλληλεπίδραση ασθενούς αναπνευστήρα



Asynchronies during mechanical ventilation

Beitler, ICM 2016

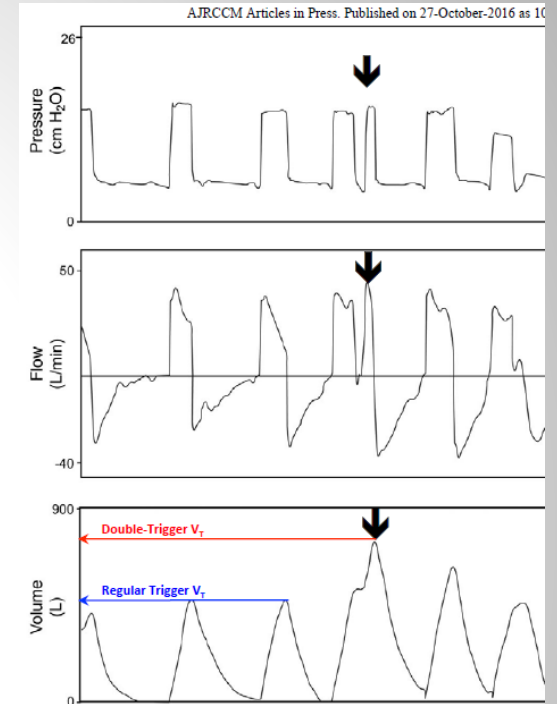


Intensive Care Med (2015) 41:633–641
DOI 10.1007/s00134-015-3692-6

ORIGINAL

Lluís Blanch
Ana Villagra
Bernat Sales
Jaume Montanya
Umberto Lucangelo
Manel Luján

**Asynchronies during mechanical ventilation
are associated with mortality**



Yoshiba et al, AJRCCM in Press

Table 2 Relationship between AI and duration of MV, reintubation, tracheostomy, and ICU and hospital mortality by comparing patients AI ≤ 10 vs AI > 10 %

	AI ≤ 10 % (n = 44)	AI > 10 % (n = 6)	p value
Length of MV (days)	6 [5.0; 15.0]	16 [9.7; 20.0]	0.061
Reintubation	9 (20 %)	0 (0 %)	0.57
Tracheostomy	14 (32 %)	2 (33 %)	0.999
ICU mortality	6 (14 %)	4 (67 %)	0.011*
Hospital mortality	10 (23 %)	4 (67 %)	0.044*

Weaning



Κλινικά κριτήρια

- Η αιτία της αναπνευστικής ανεπάρκειας έχει αναστραφεί μερικώς τουλάχιστον.
- Επαρκής οξυγόνωση (PaO_2/FiO_2) ≥ 150 mmHg ή $SpO_2 \geq 90\%$ με $FiO_2 \leq 0.4$ και $PEEP \leq 5$ cmH₂O.
- pH > 7.25 .
- Αιμοδυναμική σταθερότητα
- Ικανοποιητικό επίπεδο επικοινωνίας
- Ο ασθενής έχει εισπνευστικές προσπάθειες
- Hb ≥ 7 to 10 g/L.
- Θερμοκρασία ≤ 38 to 38.5 °C.
- Ικανοποιητικό βήχα

Weaning

Εκτίμηση της νευρομυικής επάρκειας

Μέγιστη εισπνευστική πίεση (MIP, P_{imax}): Συνολική εκτίμηση της ισχύος των εισπνευστικών μυών 30 cmH₂O ή περισσότερο αρνητική

P0.1 Εκτίμηση της νευρικής ώσης: Τιμές P0.1 πιο αρνητικές απο 4 cmH₂O αντανakλούν αυξημένο αναπνευστικό φορτίο και έχουν συσχετισθεί με αποτυχία

Vital capacity

Weaning

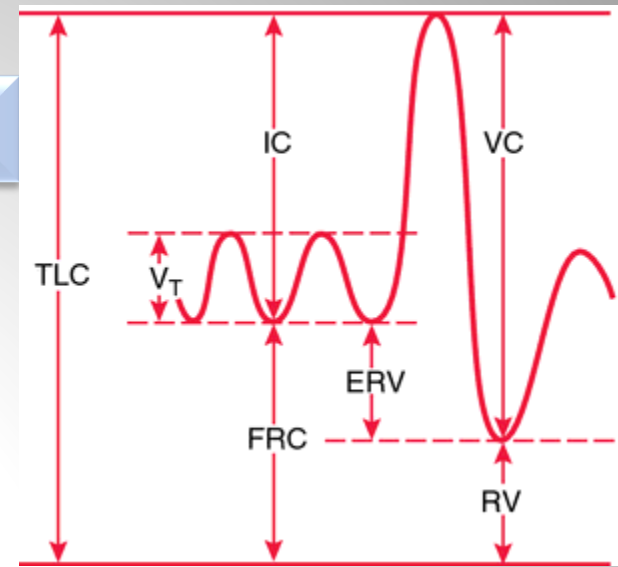
FVC

FVC >50 mls/kg φυσιολογική

FVC 15–20 mls/kg Αυτόματη αναπνοή για κάποια διαστήματα
Μπορεί να απαιτείται υποβοήθηση για παροχέτευση των εκκρίσεων

FVC 7–15 mls/kg Πιο πιθανό να απαιτείται μηχανική υποστήριξη για
το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας, και υποβοήθηση για παροχέτευση
των εκκρίσεων

FVC <7 mls/kg Μάλλον απαιτείται μηχανική υποστήριξη για το
μεγαλύτερο μέρος της ημέρας, και υποβοήθηση για παροχέτευση των
εκκρίσεων



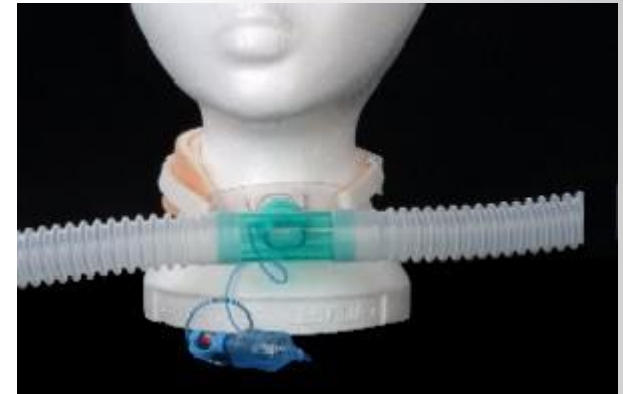
Weaning

Εκτίμηση του αναπνευστικού φορτίου:

Minute volume (V_m): RR <35/min; V_t >5 mL/Kg; V_m <10–15 L/min

Respiratory compliance

Airway resistance



$$RSBI = \frac{f}{V_T}$$

Rapid Shallow Breathing Index

(RSBI) = f/V_t

Τιμές <105 breaths/min/L

προβλέπουν επιτυχία του weaning.

Spontaneous breathing trials (SBT):

PSV: PSV 5 cmH₂O and PEEP 5 cmH₂O

ή

T-tube trial

30-60 min

Προβλέπει με επιτυχία το 60–80% των ασθενών της ΜΕΘ

Respiratory monitoring



Δυσλειτουργία του
συστήματος

Επικίνδυνος
εφησυχασμός

Λανθασμένη εκτίμηση
των πληροφοριών