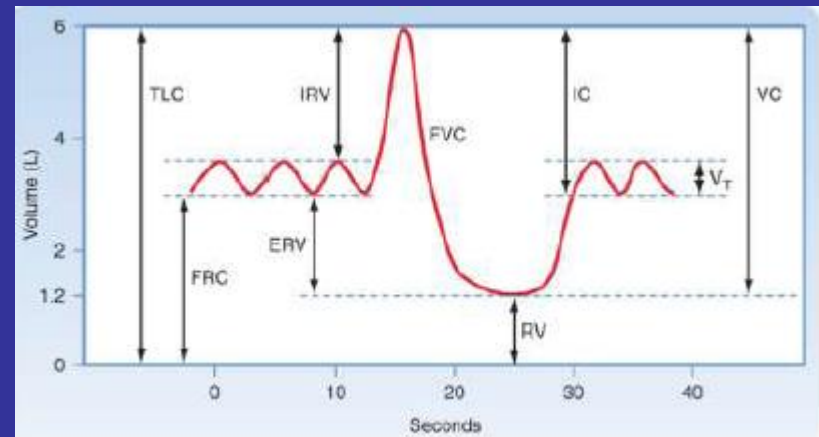


Στατικοί όγκοι και χωρητικότητες

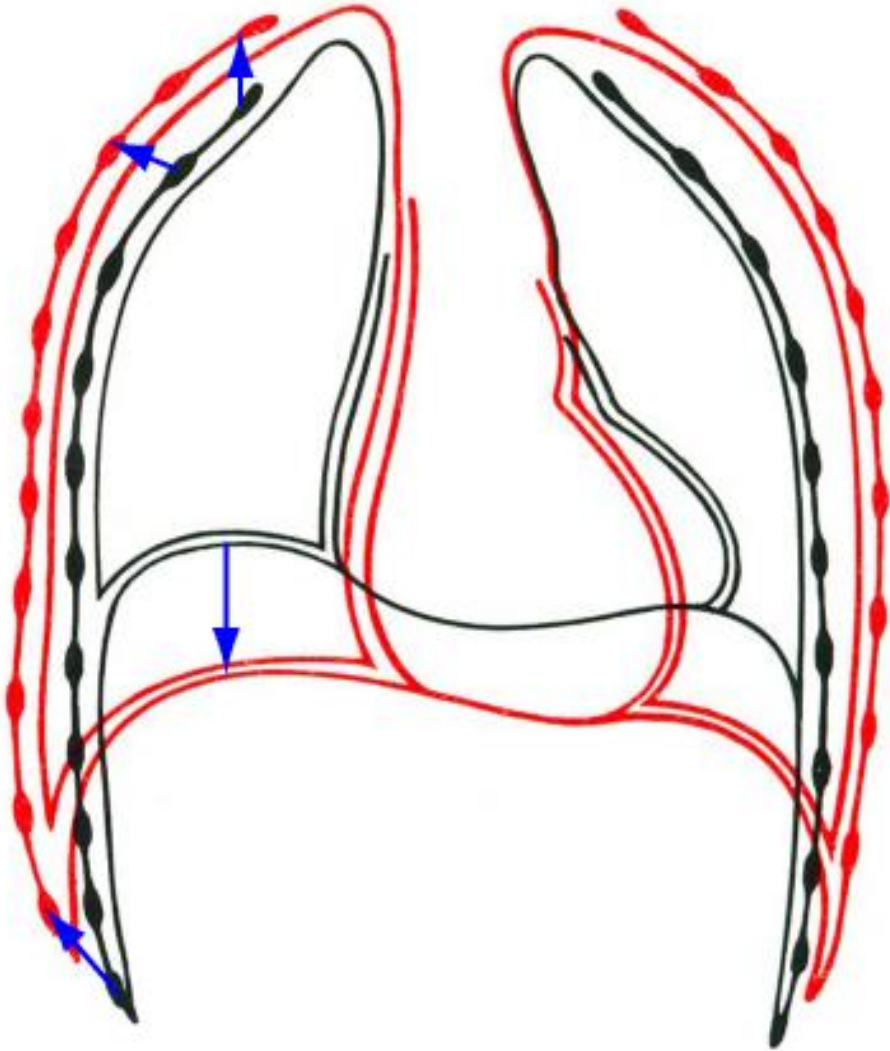


Ροβίνα Νικολέττα
Επίκουρη καθηγήτρια Πνευμονολογίας - Εντατικής Θεραπείας ΕΚΠΑ
Α Πανεπιστημιακή Πνευμονολογική Κλινική
ΝΝΘΑ «η Σωτηρία»



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ: ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ-ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Αναπνευστικό σύστημα: μια αέναη λειτουργία

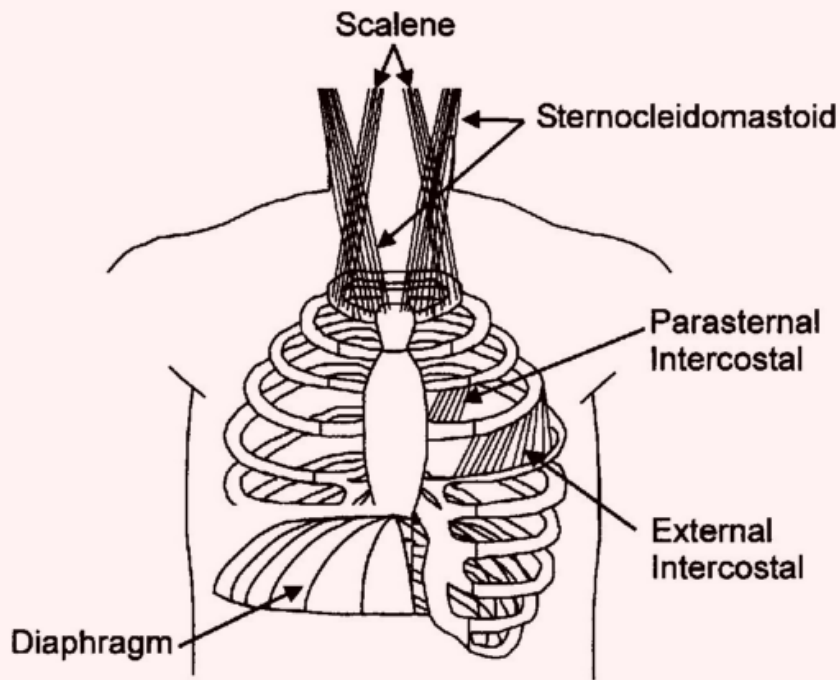


Modified from Schmidt/Thews 1977

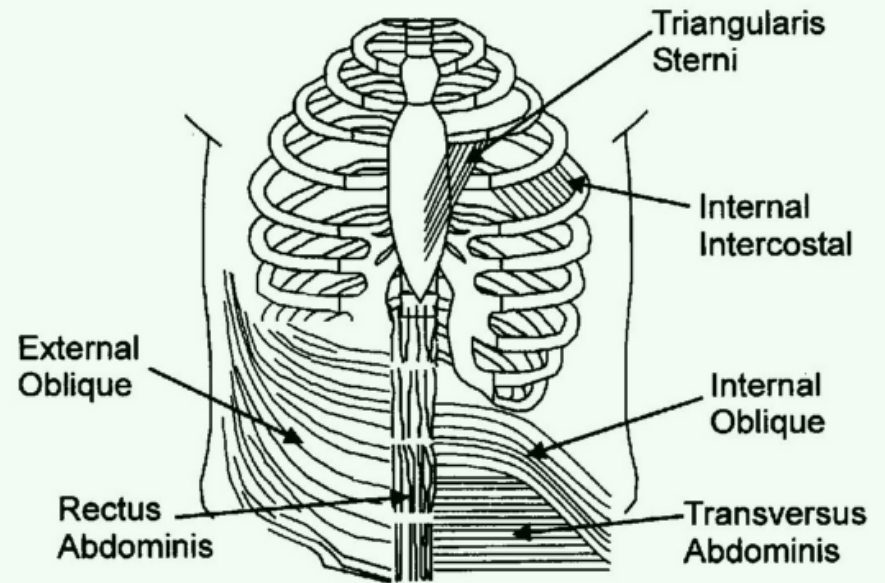
- Εισπνοή
 - Κάθοδος του διαφράγματος
 - Ανύψωση του θώρακα
 - Άνοιγμα του θώρακα
- Εκπνοή
 - Χαλάρωση του διαφράγματος
 - Κλείσιμο του θώρακα
 - Επαναφορά του θώρακα
- Διακίνηση 5 lt/min αέρα στην ήρεμη αναπνοή - πολύ περισσότερο σε καταστάσεις αυξημένου αερισμού
- Αλλαγή στον όγκο του πνεύμονα: ~4 L (vital capacity (VC) - ζωτική χωρητικότητα).

Αναπνευστικοί μύες

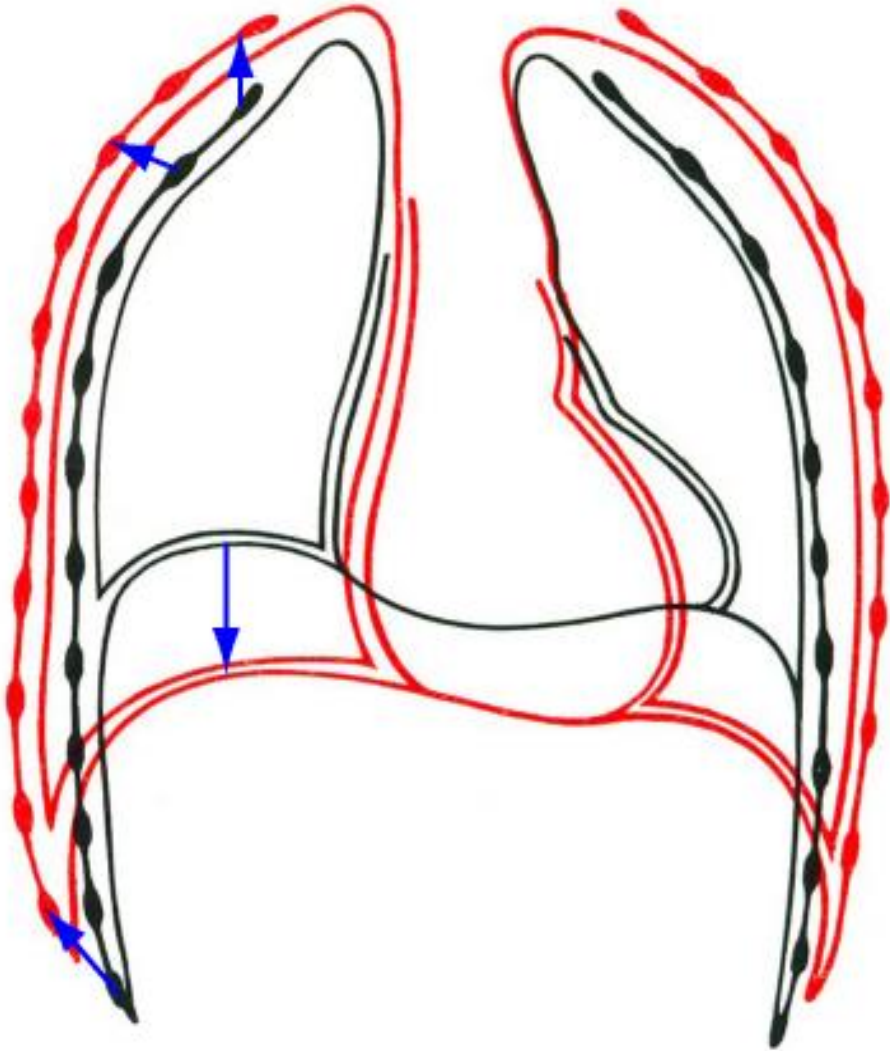
Inspiratory Muscles



Expiratory Muscles

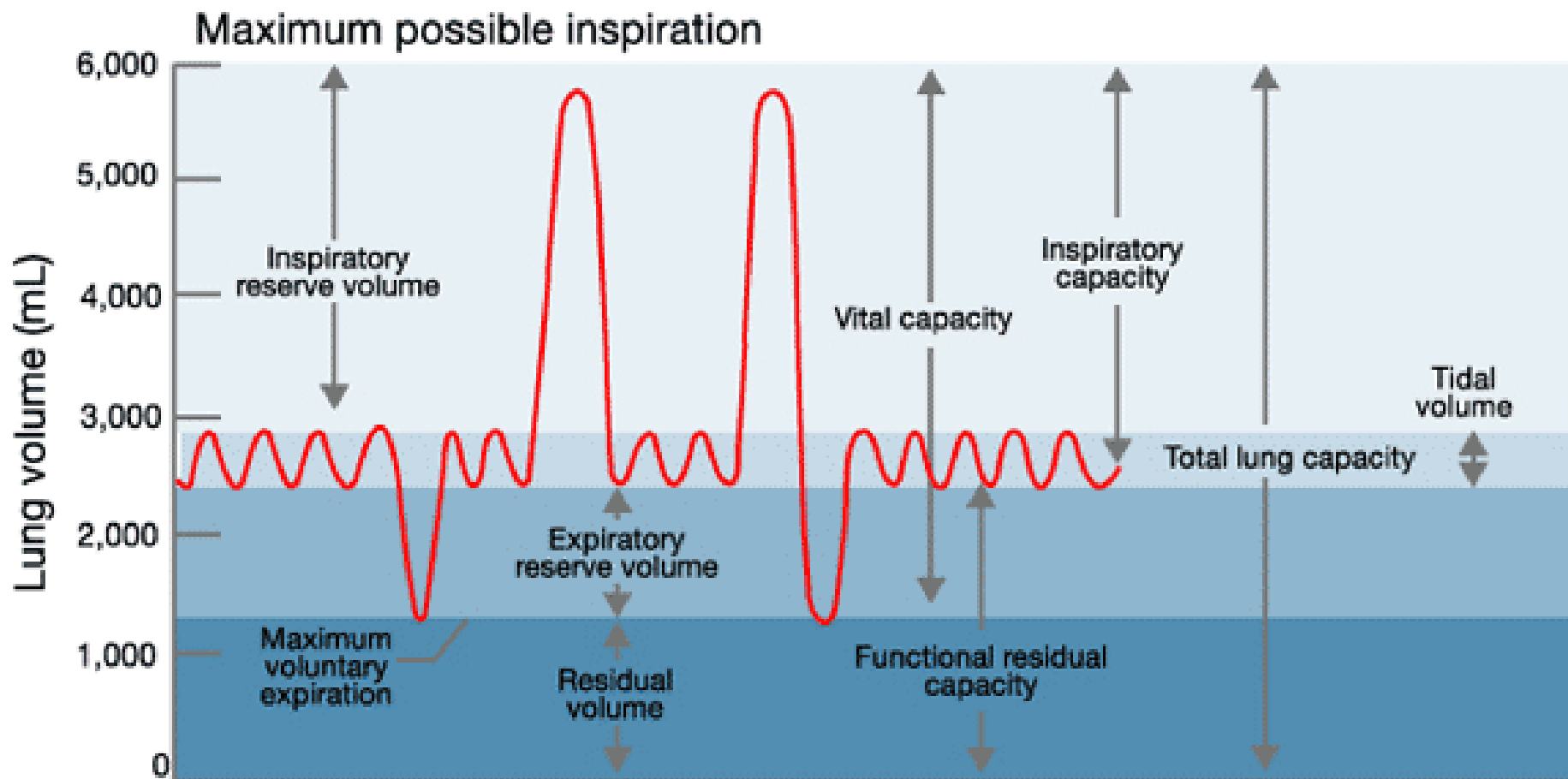


Αναπνοή: μια συντονισμένη δραστηριότητα θωρακικού τοιχώματος, υπεζωκότα και πνεύμονα



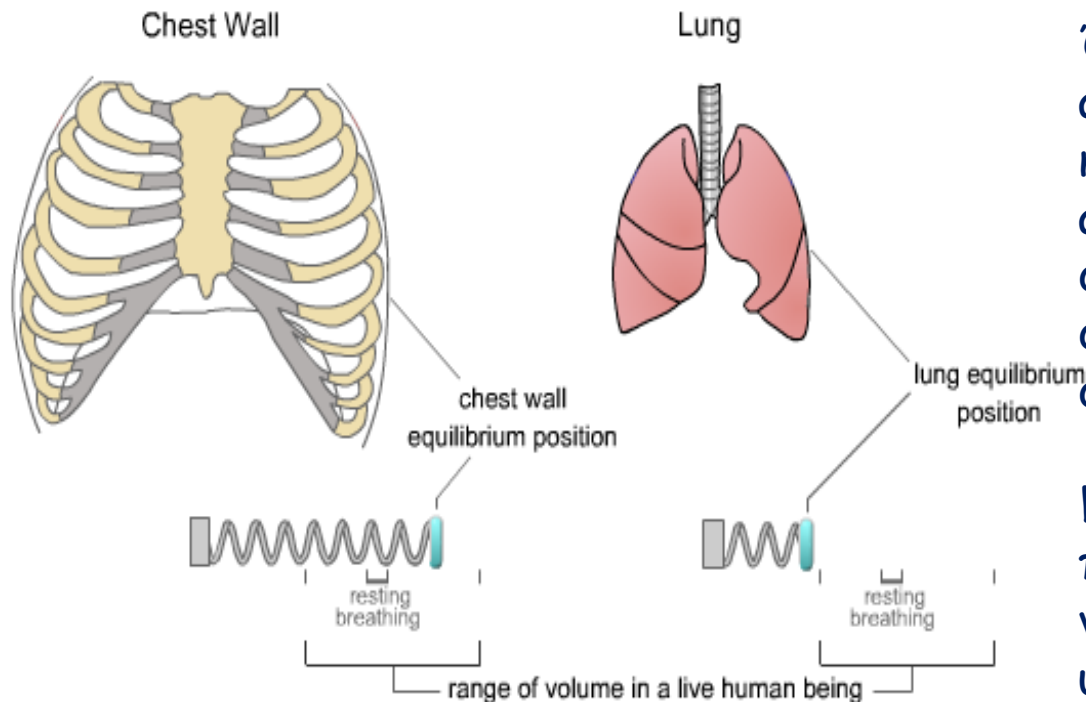
- Πώς καθορίζεται η ποσότητα του αέρα που μπορούμε να εισπνεύσουμε;
- Γιατί δεν μπορούμε να εκπνεύσουμε όλο τον αέρα από τους πνεύμονες;
- Τι καθορίζει το μέγεθος των πνευμόνων μας στο τέλος μιας ήρεμης εκπνοής;
- Η εξέταση των μηχανικών ιδιοτήτων της αναπνευστικής αντλίας σε ένα «στιγμιότυπο» ακινητοποίησής της (όταν δεν υπάρχει ροή αέρα) ονομάζεται στατική

Lung Volumes and Capacities



Θέση ηρεμίας θωρακικού τοιχώματος και πνευμόνων

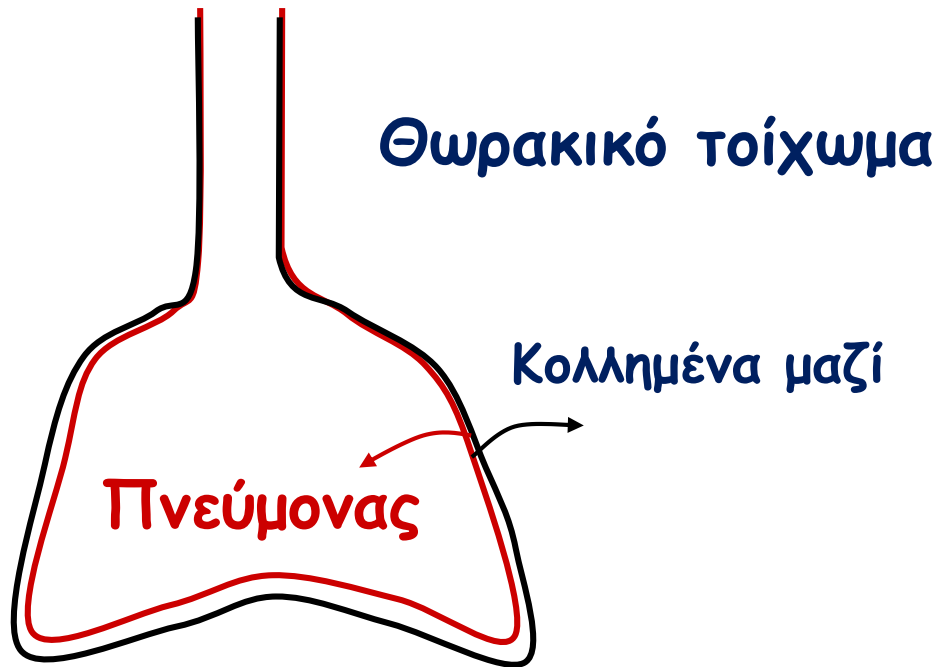
Το θωρακικό τοίχωμα και οι πνεύμονες διαθέτουν ελαστικές ιδιότητες.



Όταν ο όγκος του ενός ή του άλλου αυξάνει από τη θέση ηρεμίας τείνει να αντισταθεί σε αυτή τη μεταβολή του όγκου και όταν αρθεί η δύναμη που οδηγεί σε αυτή τη μεταβολή επιστρέφει στη θέση ηρεμίας

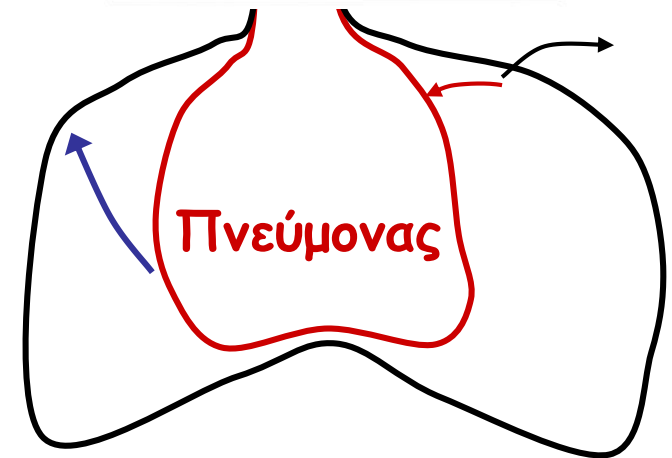
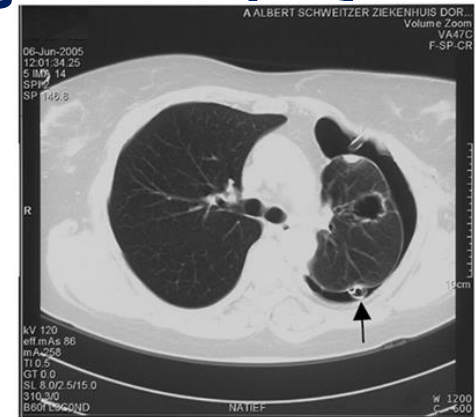
Για να διατείνει κανείς τους πνεύμονες (εισπνοή) θα πρέπει να εφαρμόσει δύναμη που να υπερνικήσει τη «δύναμη ελαστικής επαναφοράς» του πνεύμονα και της δυνάμεις επιφανειακής τάσης των κυψελίδων

Η λειτουργική διασύνδεση θωρακικού τοιχώματος και πνεύμονα γίνεται μέσω της υπεζωκοτικής κοιλότητας

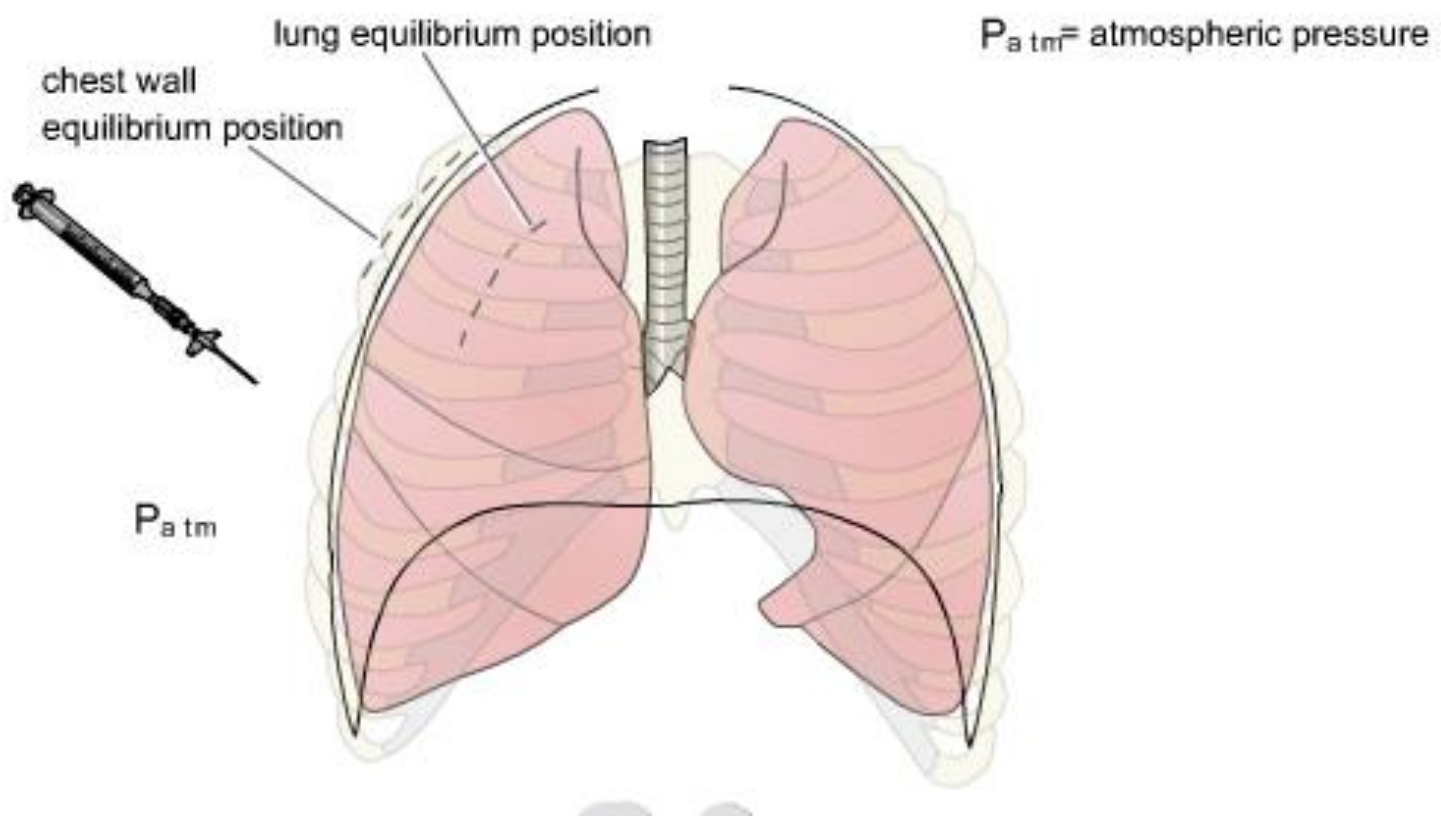


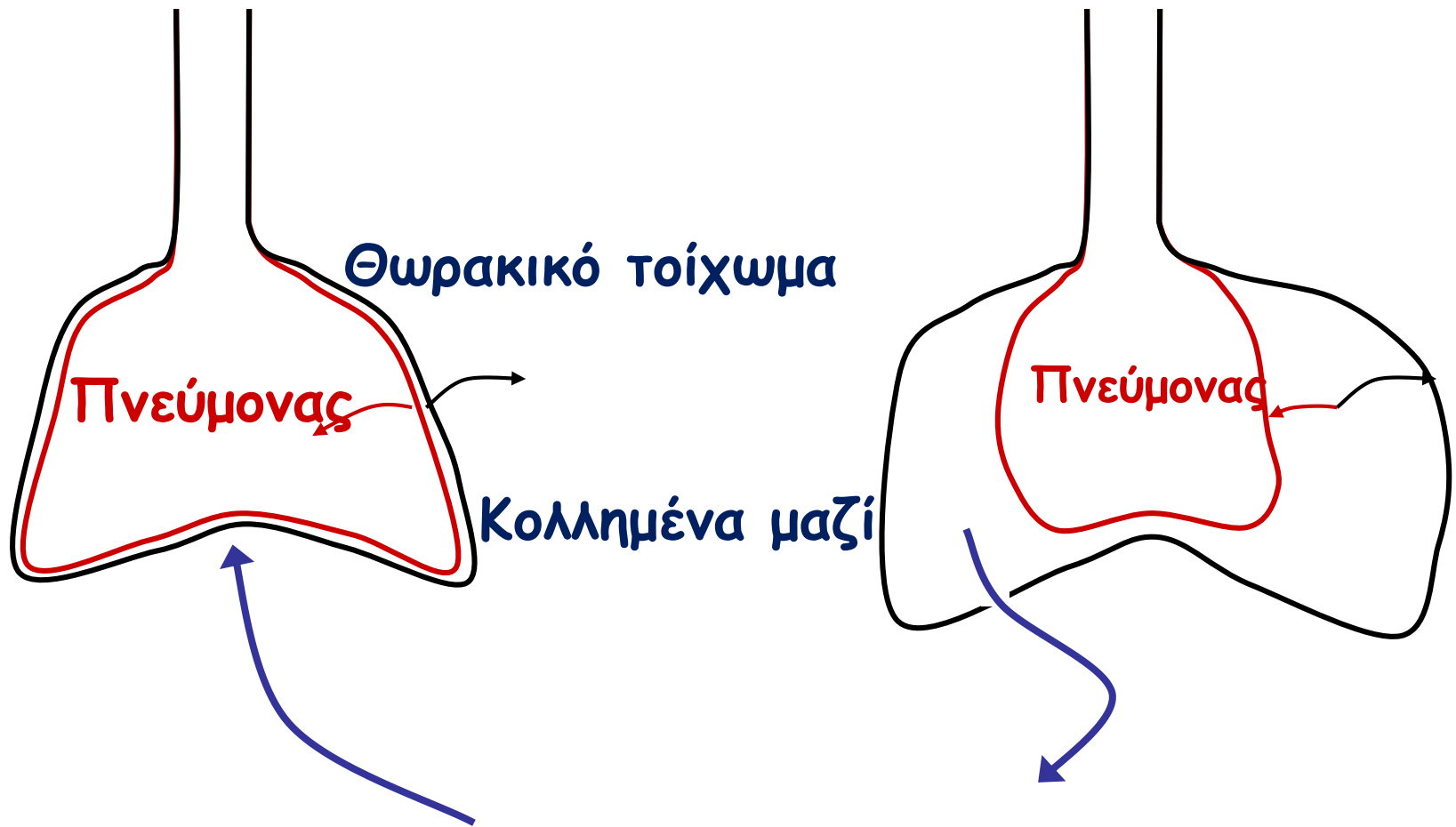
Fick's law

$$J = DA (\Delta C / \Delta X)$$



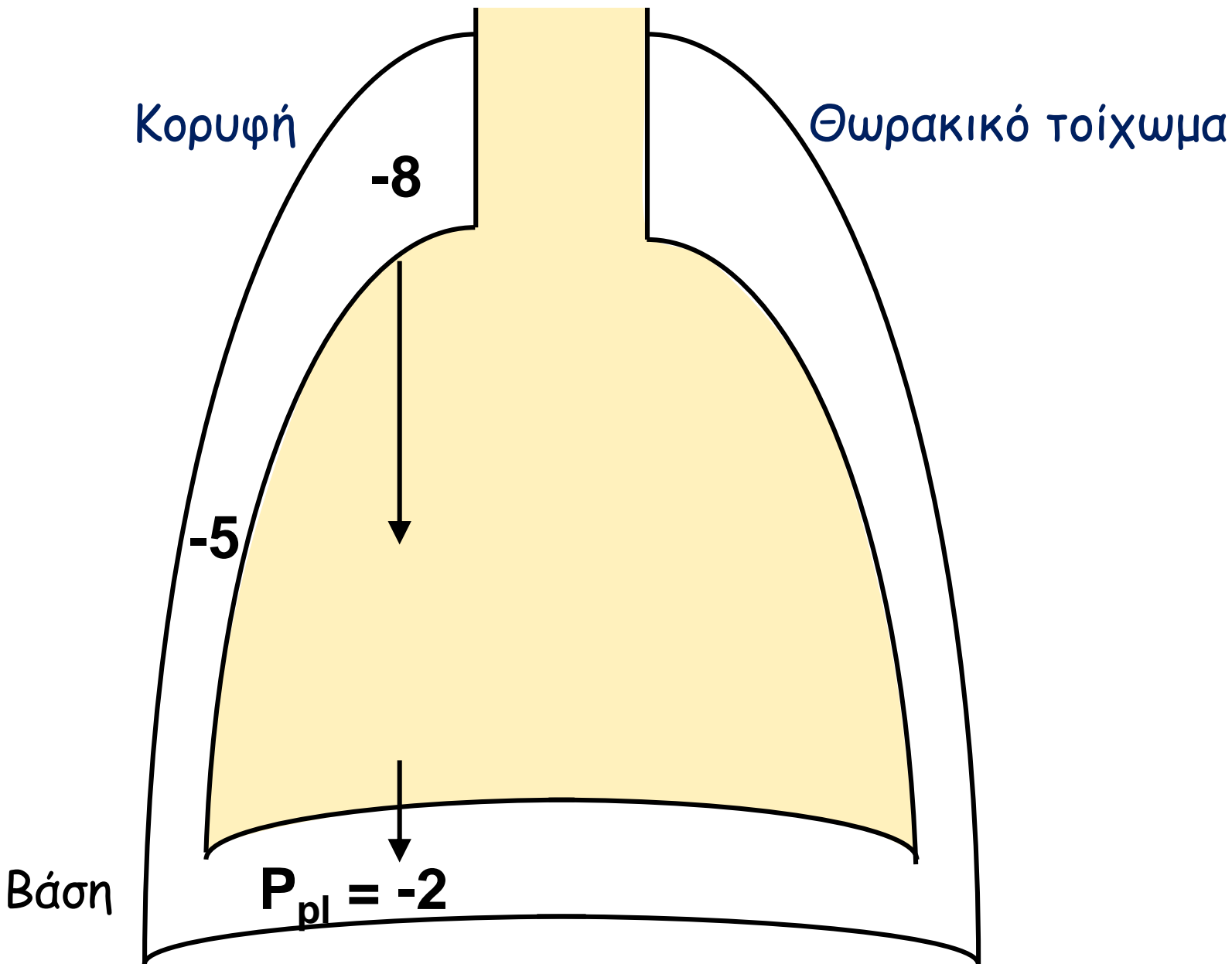
Πνευμοθώρακας
Ο πνεύμονας συμπιέεται
και το θωρακικό τοίχωμα
διατείνεται



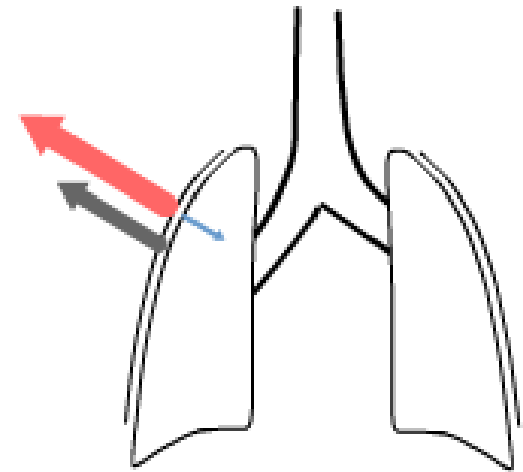
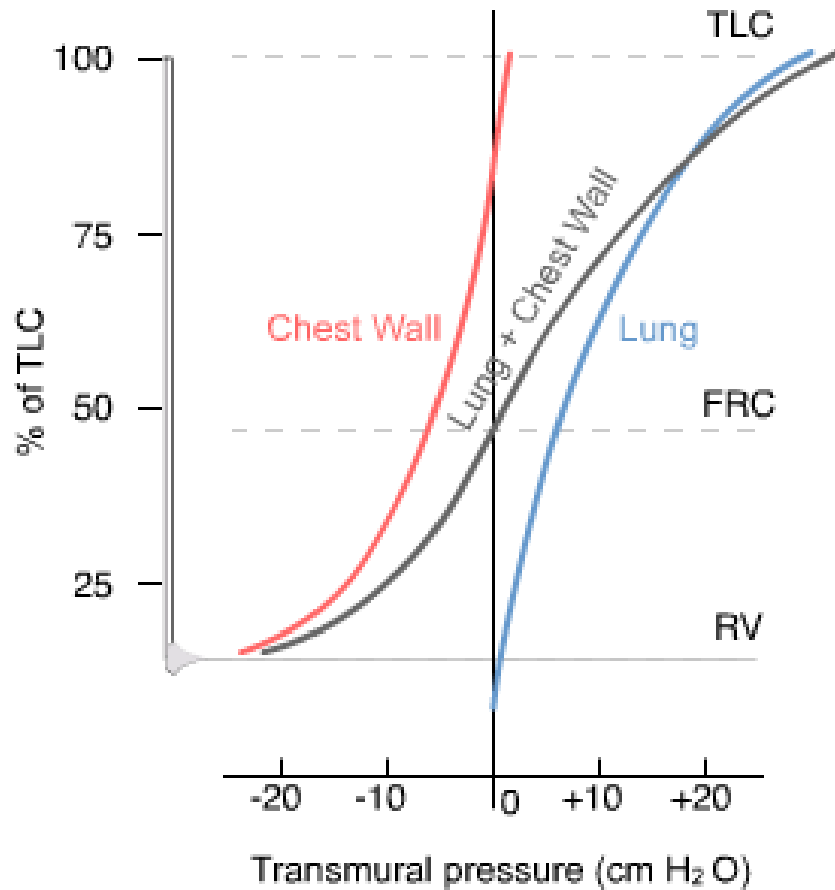





Καθώς αφαιρούμε αέρα από την υπεζωκοτική κοιλότητα ο πνεύμονας εκπύσσεται και το θωρακικό τοίχωμα επανέρχεται

Κατά τη φυσιολογική αναπνοή σε ηρεμία, κατά τη διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου η υπεζωκοτική πίεση κυμαίνεται μεταξύ $-8 \text{ cm H}_2\text{O}$ στο τέλος της εισπνοής και $-3 \text{ cm H}_2\text{O}$ στο τέλος της εκπνοής

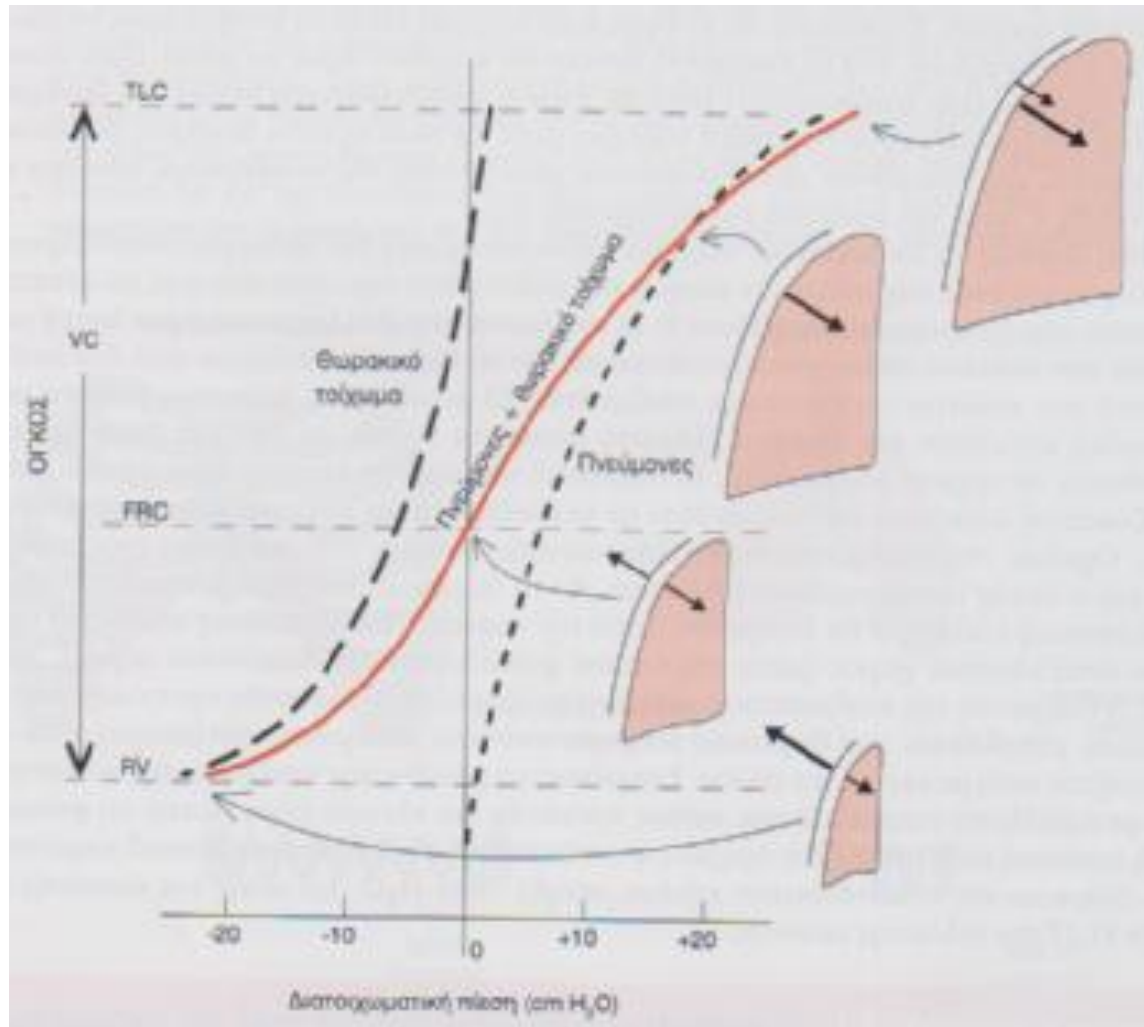


Καμπύλη πίεσης - όγκου



-  = Lung force vector
- +**
-  = Chest wall force vector
- ||**
-  = Net force vector

Καμπύλη πίεσης - όγκου

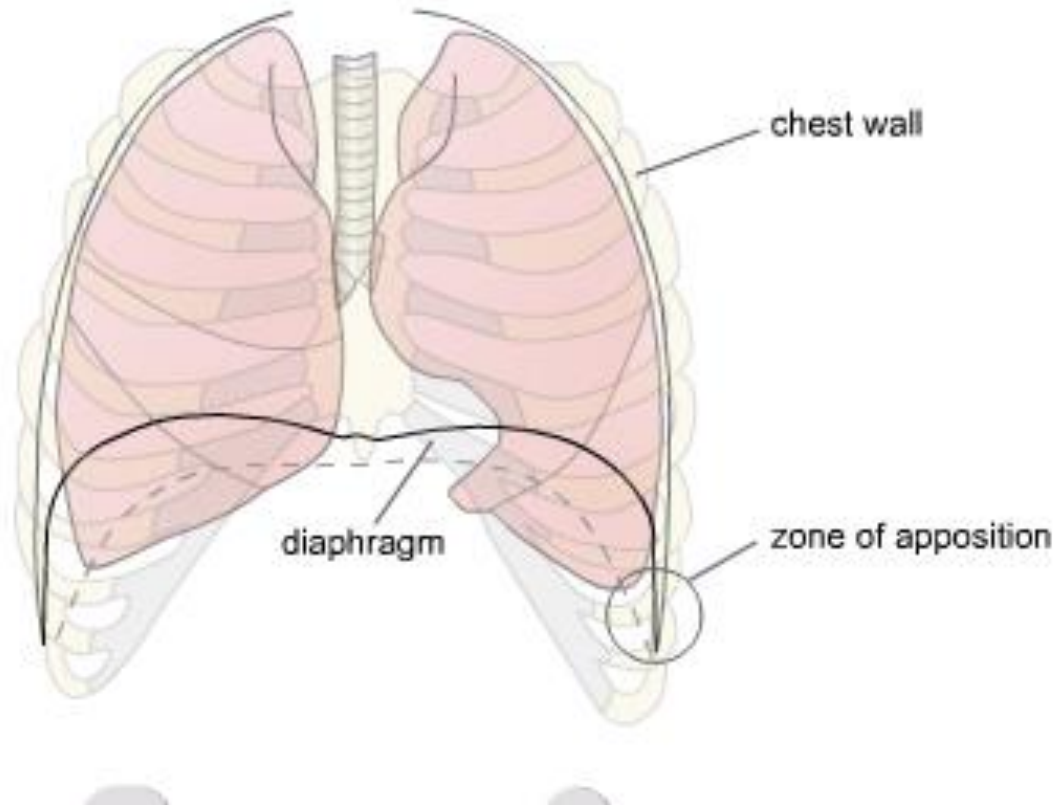


Διάφραγμα: ο κυριότερος εισπνευστικός μυς

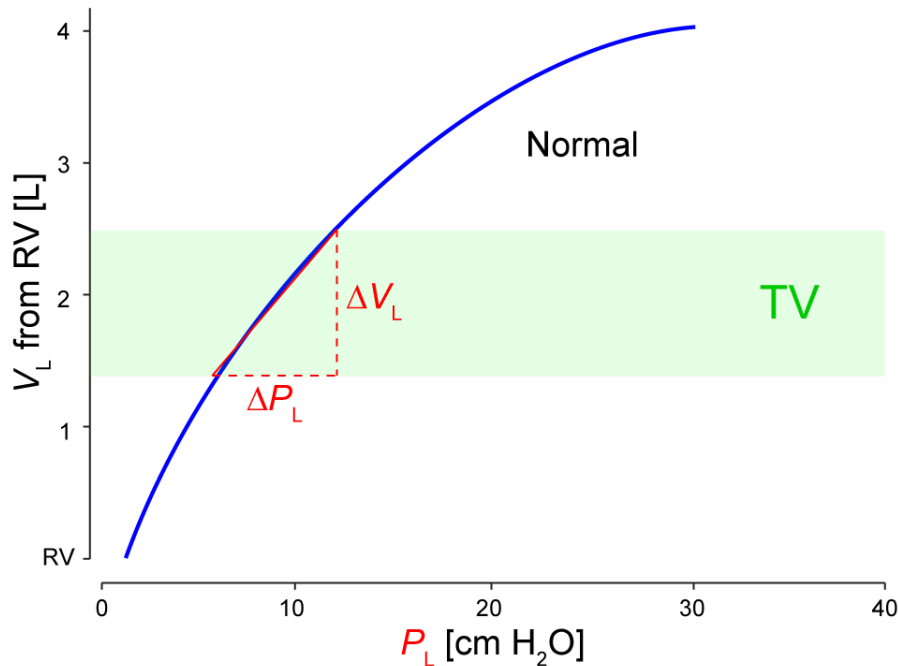
diaphragm longer at
end-expiration



diaphragm shorter at
end-inspiration



Διατασιμότητα

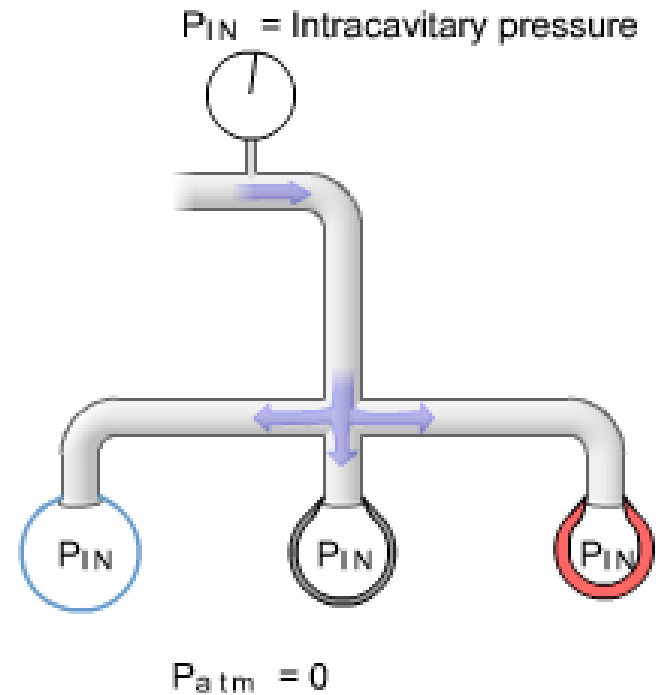
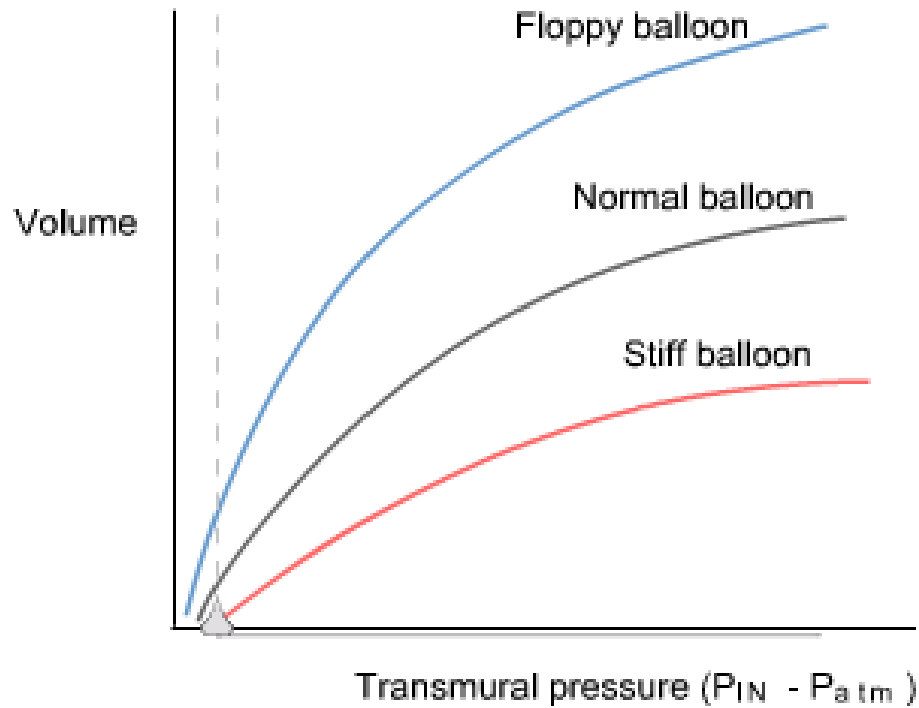
$$C = \Delta V / \Delta P$$


Modified from Boron & Boulpaep, 2003

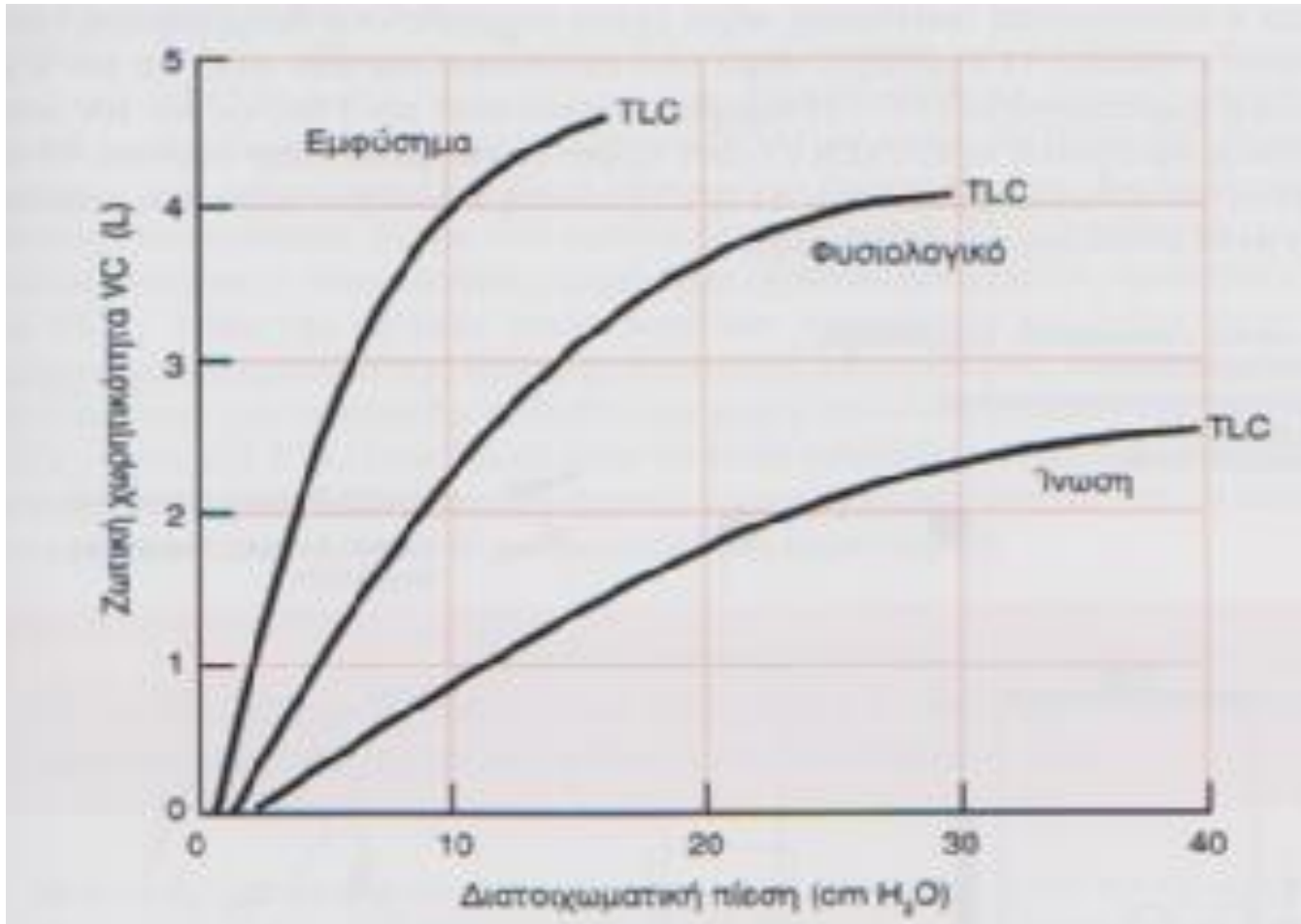
Όταν η ροή είναι 0: στατική διατασιμότητα

- Μέτρηση «ευκολίας» για έκπτυξη του πνεύμονα
- Γραμμική σχέση με τον TV
- Αντίστροφη της ελαστικότητας:
 $E = 1/C$.
- Οι πνεύμονες με αυξημένη διατασιμότητα έχουν χαμηλή ελαστικότητα (εμφύσημα) και *vice versa* (πνευμονική ίνωση).

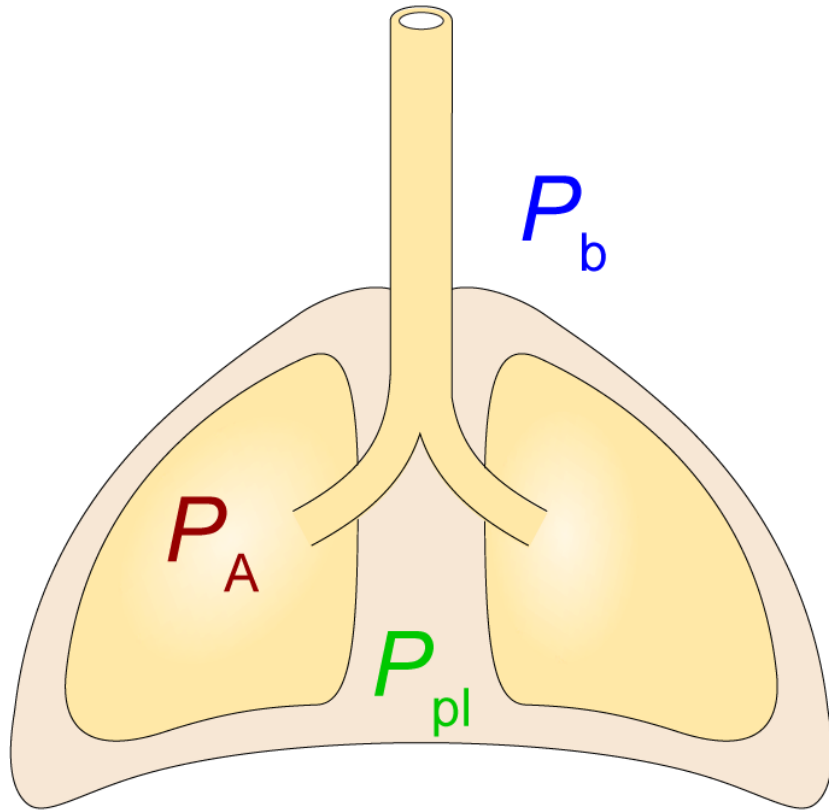
Διατασιμότητα

$$C = \Delta V / \Delta P$$


Διατασιμότητα πνευμόνων

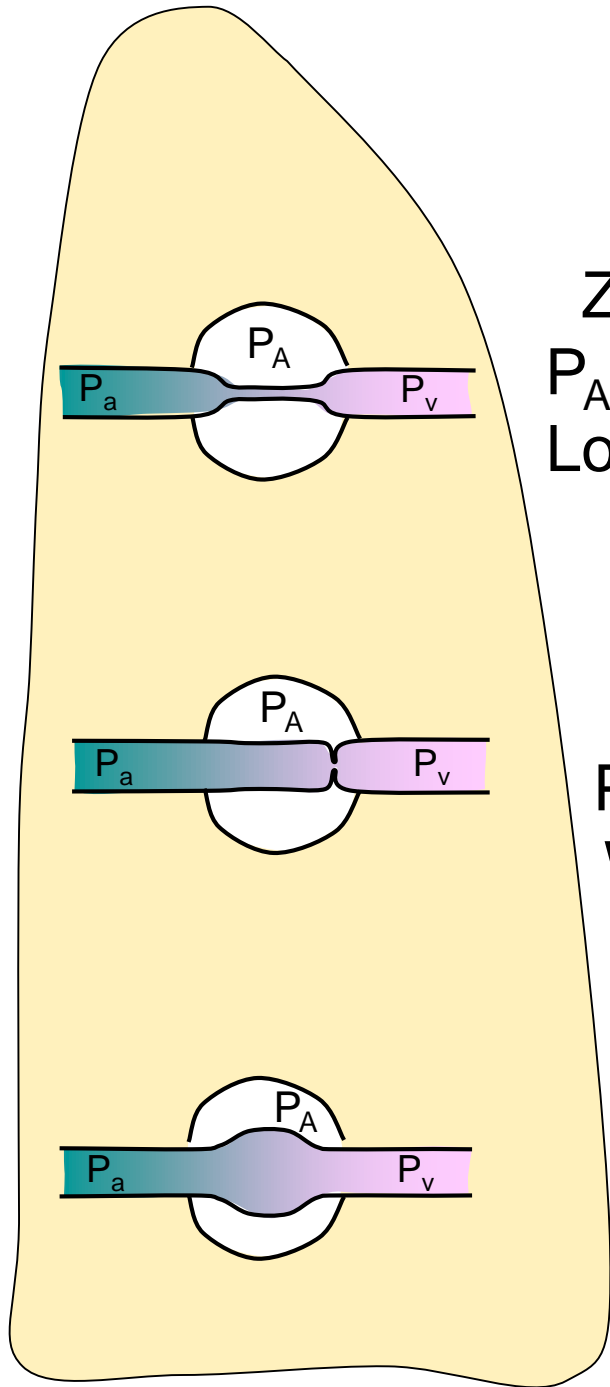


ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ



Modified from Boron & Boulpaep, 2003

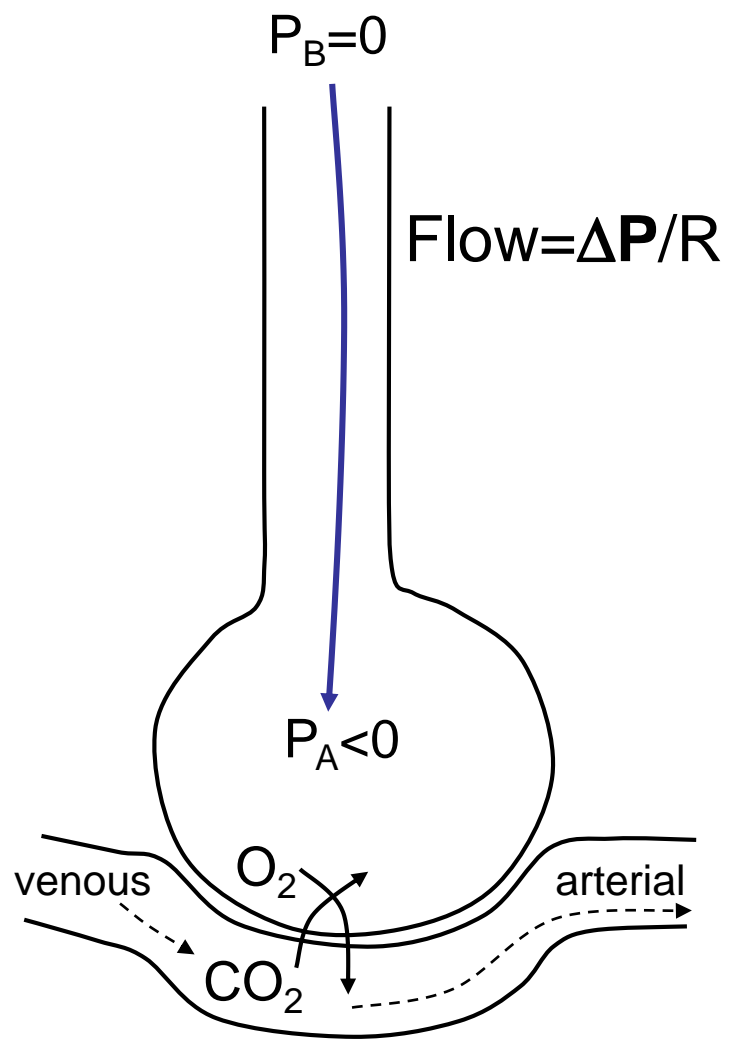
- P_b = βαρομετρική πίεση
= 101.3 kPa = 760 torr.
= πίεση αναφοράς (~ 0).
= σταθερή κατά τη διάρκεια I/E.
- P_A = κυψελιδική πίεση
= 0 = όταν δεν υπάρχει αέρας στους βρόγχους
= 0 στην έναρξη της εισπνοής
= @ FRC (mus. relaxed).
= 0 στην έναρξη της εκπνοής
= όταν οι μύες συσπώνονται
= ποικίλες τιμές στα ενδιάμεσα διαστήματα
- P_{pl} = διαπνευμονική πίεση
= ποικίλει κατά τον κύκλο I/E.



Zone 1
 $P_A > P_a > P_v$
 Low Flow

Zone 2
 $P_a > P_A > P_v$
 Waterfall

Zone 3
 $P_a > P_v > P_A$
 Hi Flow



$P_B = 0$

$\text{Flow} = \Delta P / R$

$P_A < 0$

venous

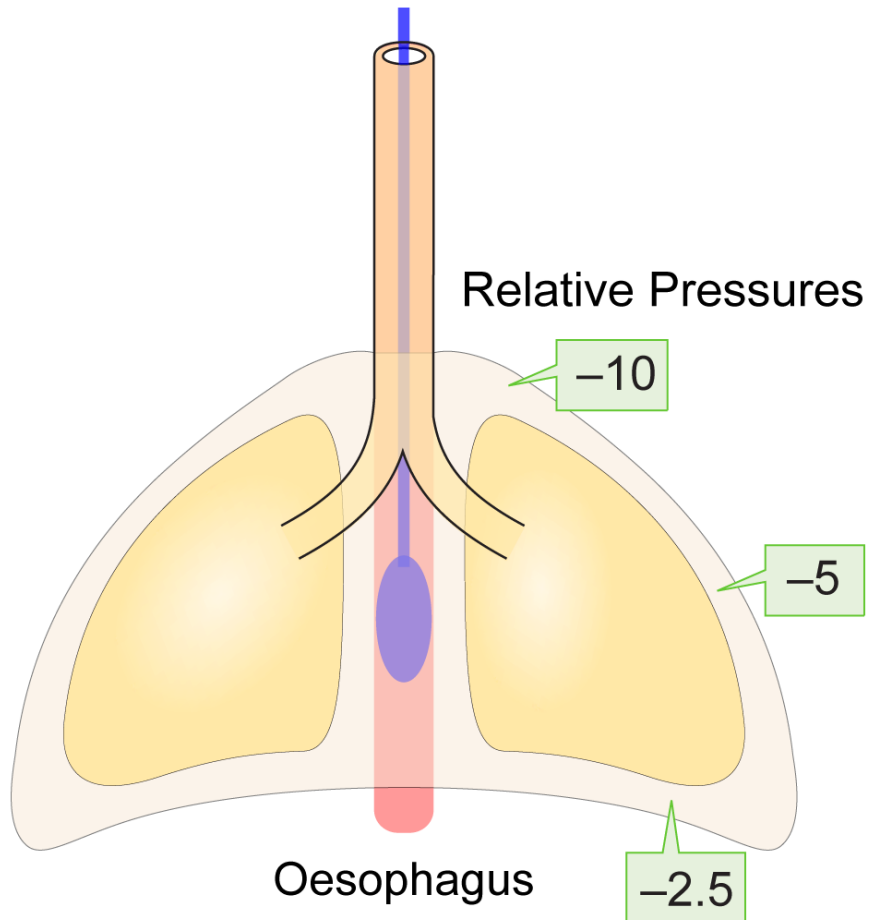
arterial

O_2

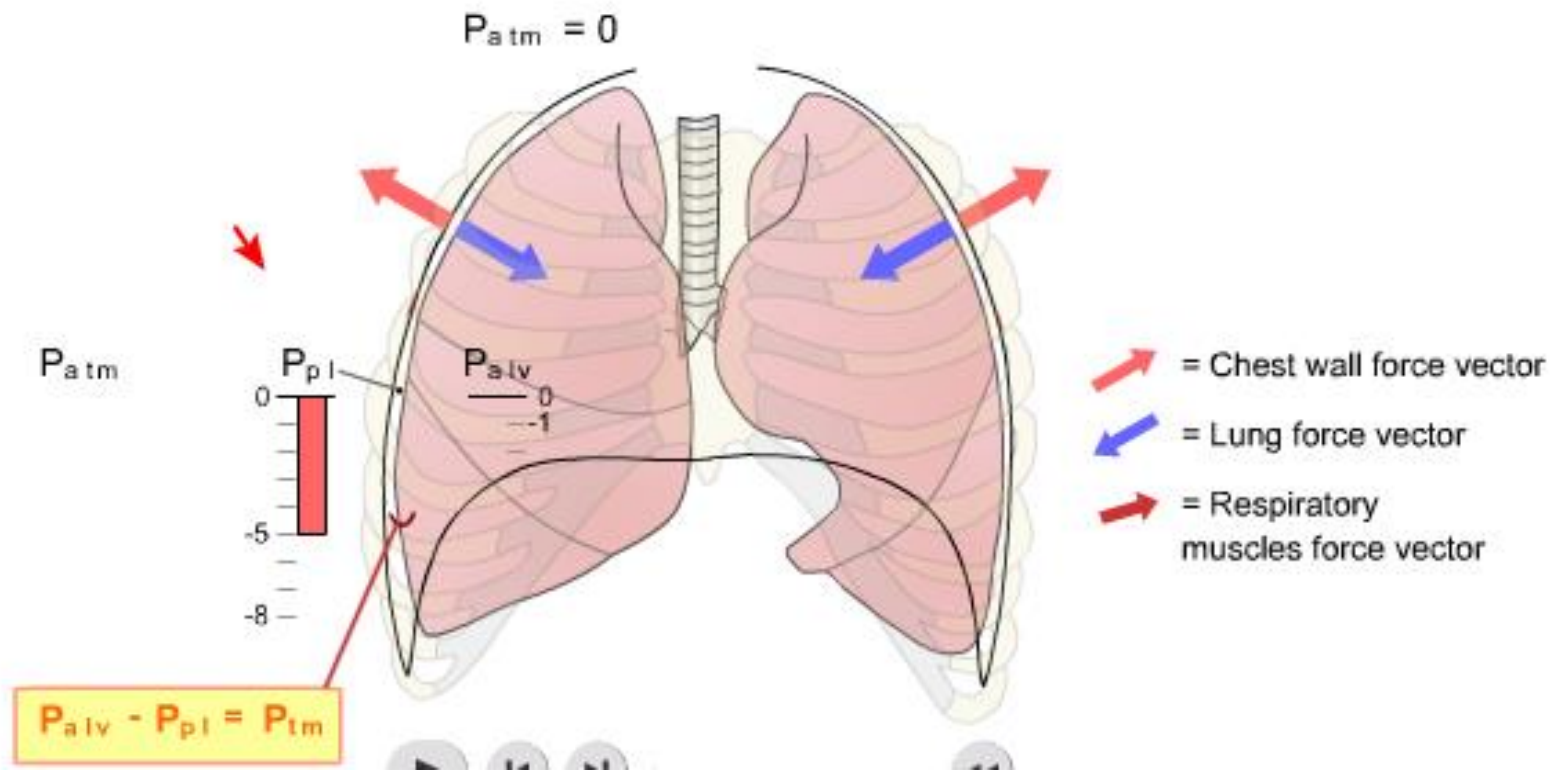
CO_2

Διαπνευμονική πίεση (P_{pl})

Intrapleural Pressures

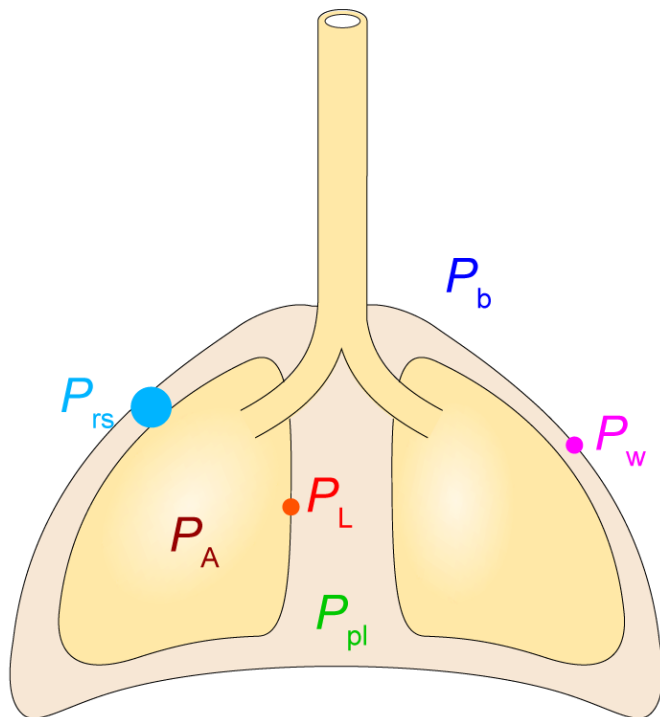


- P_{pl} καθορίζεται από τη
 - Θέση (όρθια θέση έναντι ύπτιας) και
 - Το μήκος του θώρακα
- Κλινικά ματράται στον οισοφάγο ($P_{oe} \geq P_{pl}$).
- Οι P_{oe} και P_{pl} εξαρτώνται από το ύψος της μέτρησης: κορυφή < βάση.
- Η P_{pl} παραμένει αρνητική στον TV, αλλά μπορεί να θετικοποιηθεί όταν φυσάμε με δύναμη τον αέρα ή όταν φτερνιζόμαστε



Σύνθετες στατικές πιέσεις

Breathing Pressures



Composite Pressures

$$P_L = P_A - P_{pl}$$

$$P_w = P_{pl} - P_b$$

$$P_{rs} = P_A - P_b = P_L + P_w$$

- P_L = διαπνευμονική πίεση

= διατοιχωματική πίεση

- Τυπικά θετική στην ήρεμη αναπνοή.
- Στην FRC: $P_L = 0 - P_{pl}$ (επαναφορά θώρακα).
- Καθορίζει τον πνευμονικό όγκο
- Μεγαλύτερη στην εισπνοή έναντι της εκπνοής

- P_w = διαθωρακική πίεση

= η πίεση του θωρακικού τοιχώματος

- P_{rs} = πίεση του αναπνευστικού συστήματος

= καθαρή επαναφορά του αναπνευστικού συστήματος όταν υπάρχει ροή στους αεραγωγούς (τέλος της εισπνοής και εκπνοής).

Δημιουργία πιέσεων

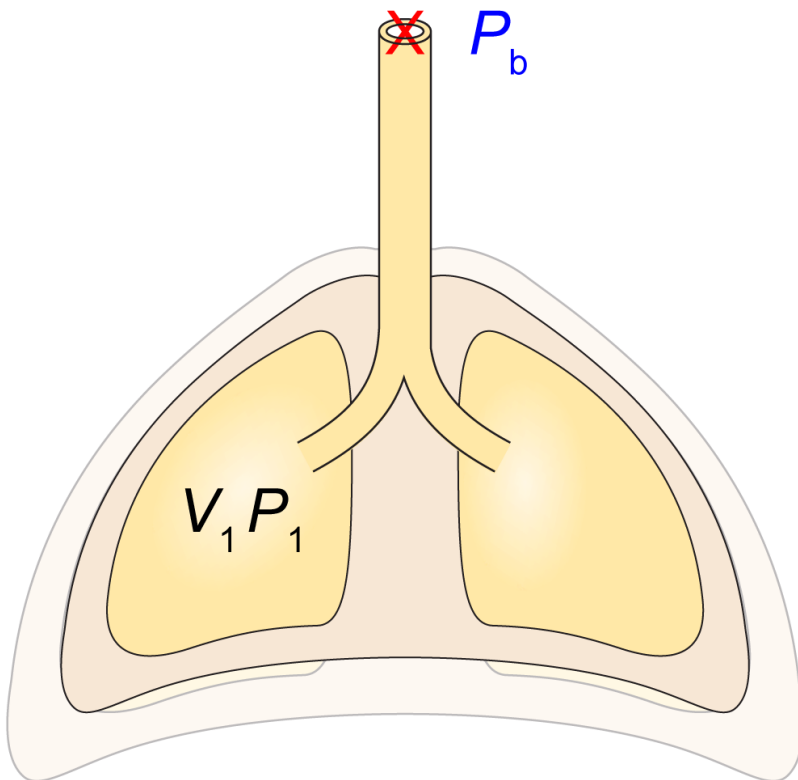
- Πώς διαμορφώνεται η P_A ?

$$P_{A1} V_1 = P_{A2} V_2$$

- Όταν κλείνει η γλωττίδα αυξάνεται ο θωρακικός όγκος και μειώνεται η P_A .

- $V_1(\text{FRC}) = 3 \text{ L}; P_{A1} = 101.3 \text{ kPa}$

- $V_2(\text{TV}) = 3.5 \text{ L}; P_{A2} = ?$



Modified from Boron & Boulpaep, 2003

- Όταν ανοίγει η γλωττίδα ρέει αέρας μέσα στους πνεύμονες αναλογικά με το χρόνο: η ροή εξαρτάται από τις αντιστάσεις των αεραγωγών (R_{AW}).

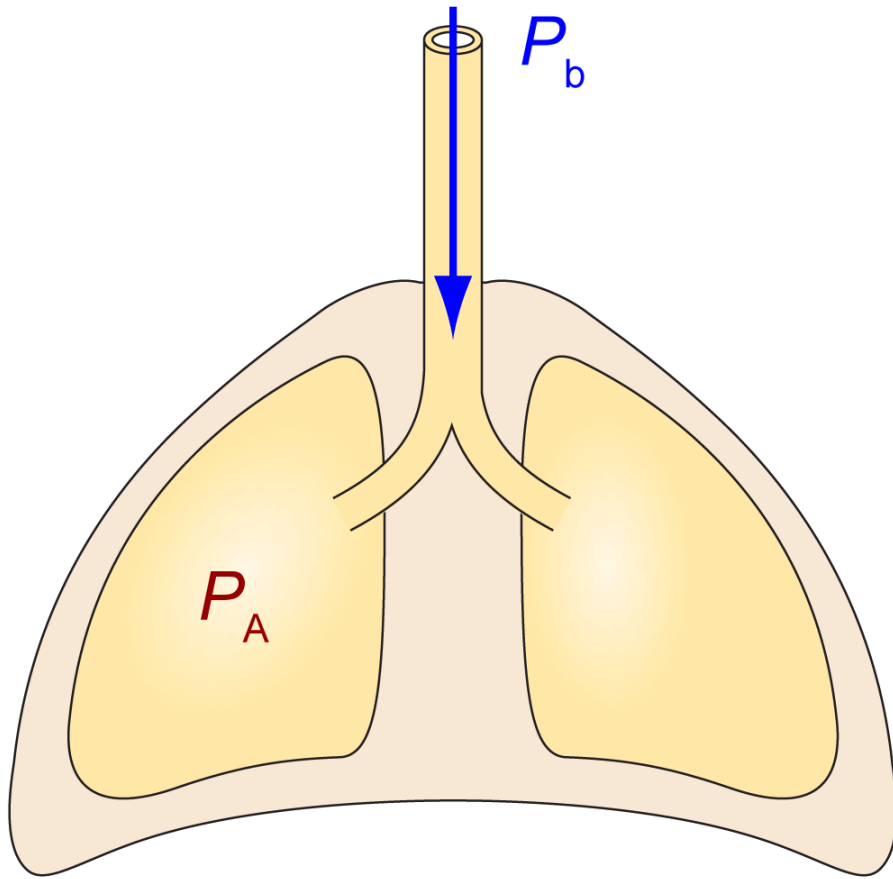
$$P_{A2} = \frac{P_{A1} V_1}{V_2} = \frac{3 \text{ L} \times 101.3 \text{ kPa}}{3.5 \text{ L}} = 86.8 \text{ kPa}$$

Ροή αέρα στους αεραγωγούς

- Η ροή στους αεραγωγούς καθορίζεται από το νόμο του f Ohm:

$$P_{AW} = R_{AW} \times \dot{V}.$$

$$\dot{V} = \frac{P_{AW}}{R_{AW}} \gg \frac{P_b - P_A}{R_{AW}} = \frac{-P_{rs}}{R_{AW}}.$$

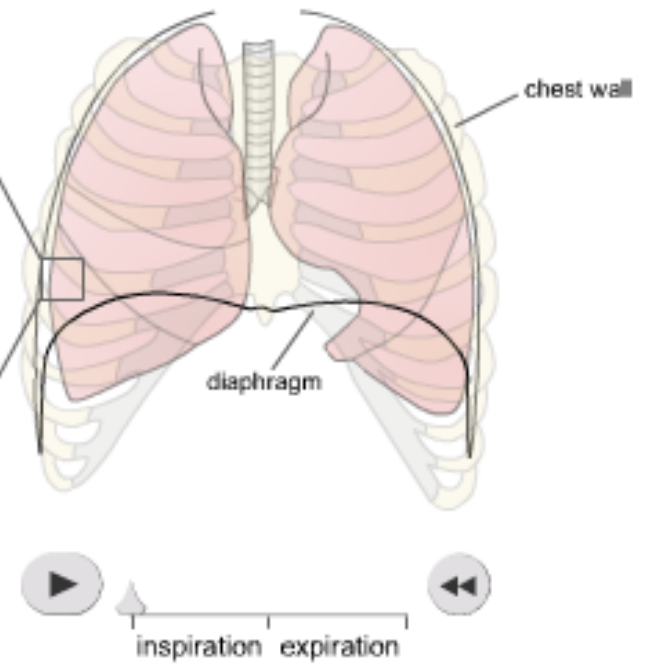
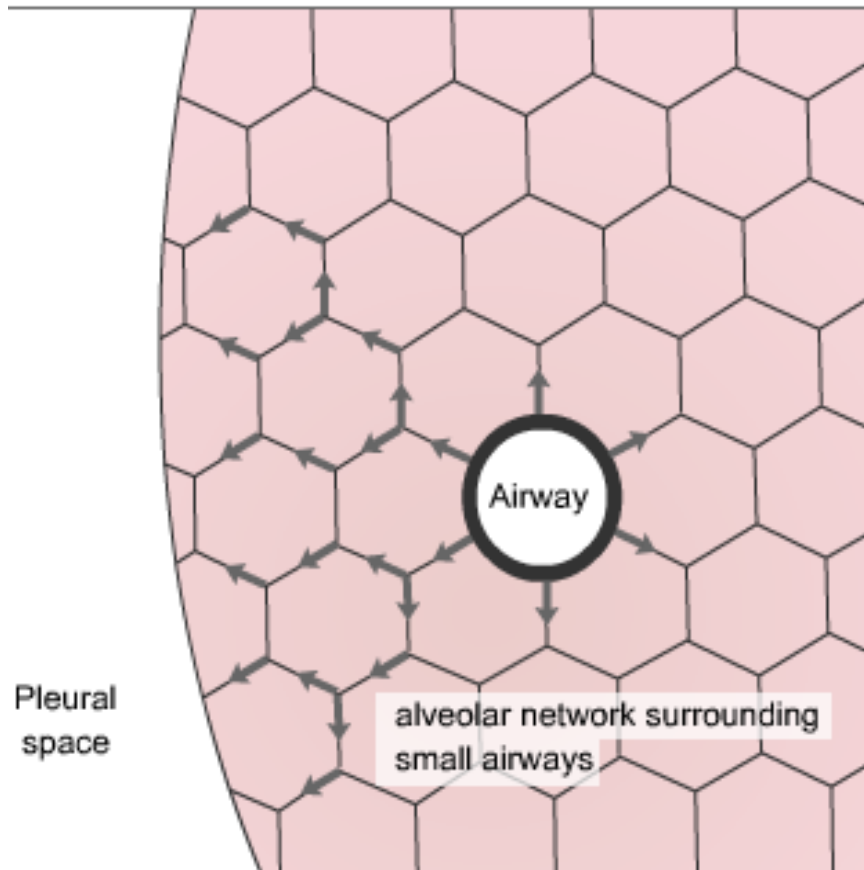


Modified from Boron & Boulpaep, 2003

- Τι καθορίζει τις R_{AW} ?
 - Οι μικροί αεραγωγοί (στενωμένοι ή με χαμηλή ροή)
 - Λάρυγγας.

↗ = tethering forces

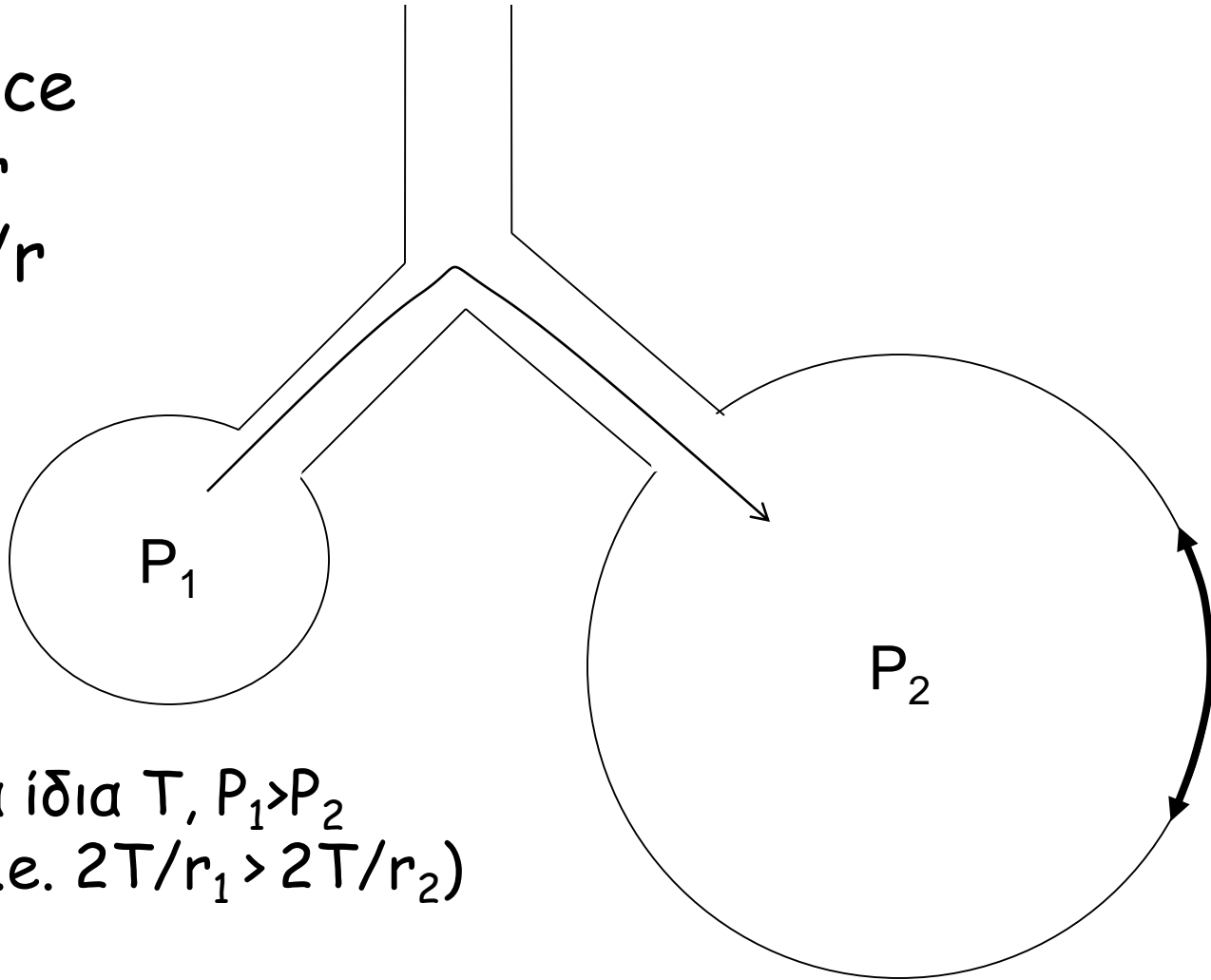
Cross-sectional cut of lung



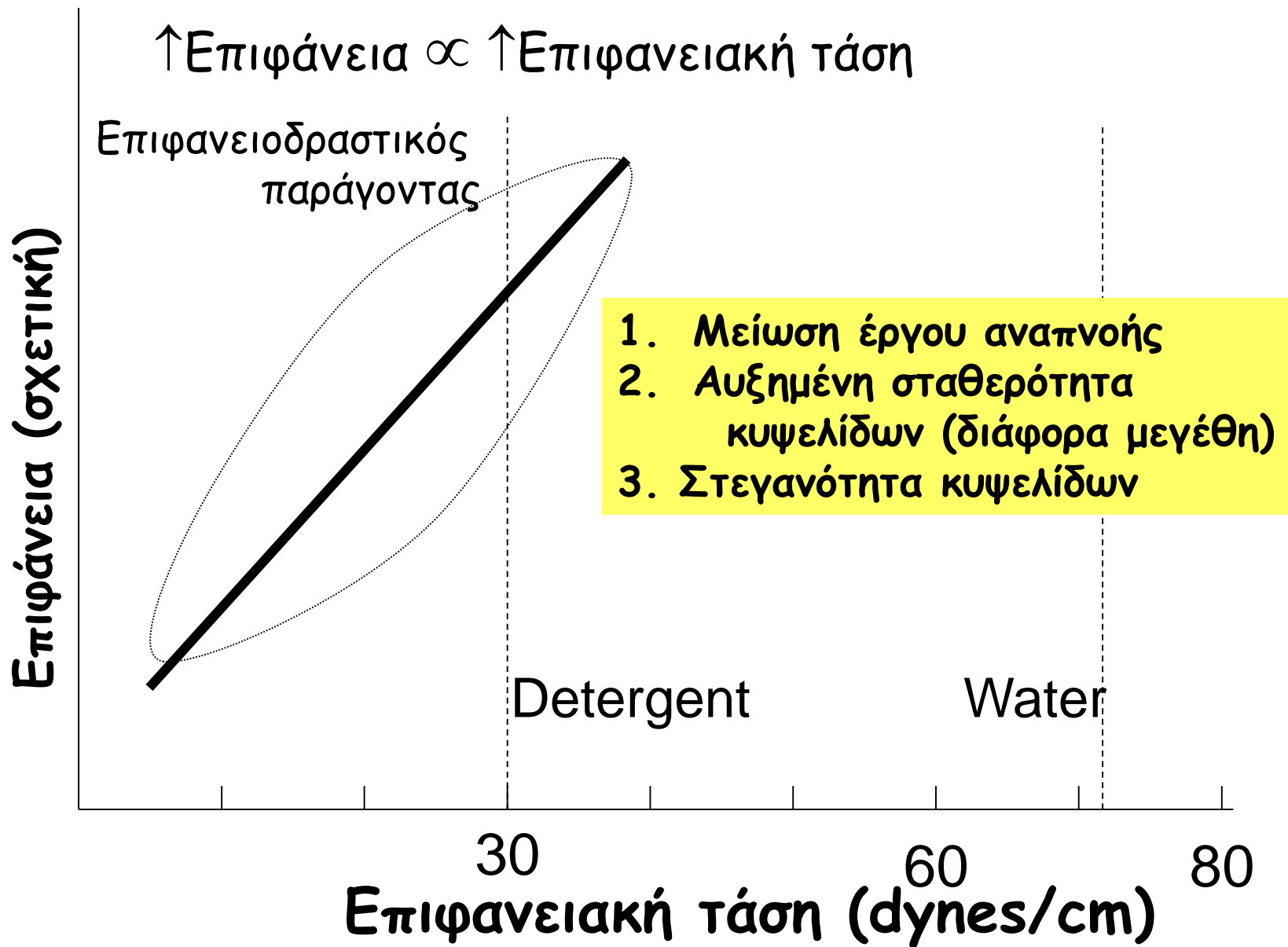
La Place

$$2T = Pr$$

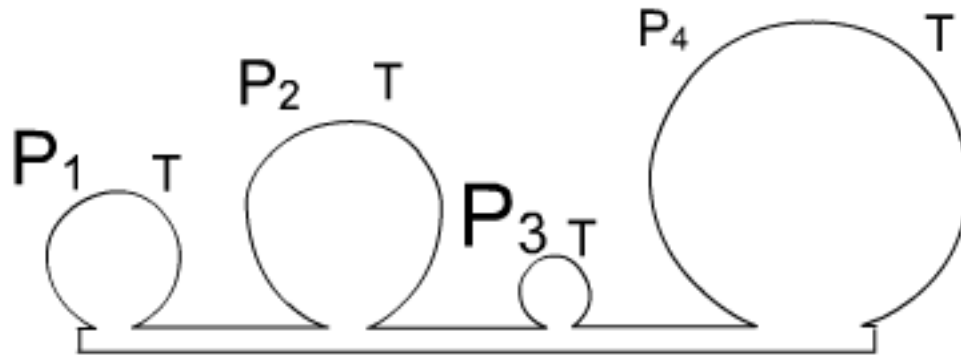
$$P = 2T/r$$



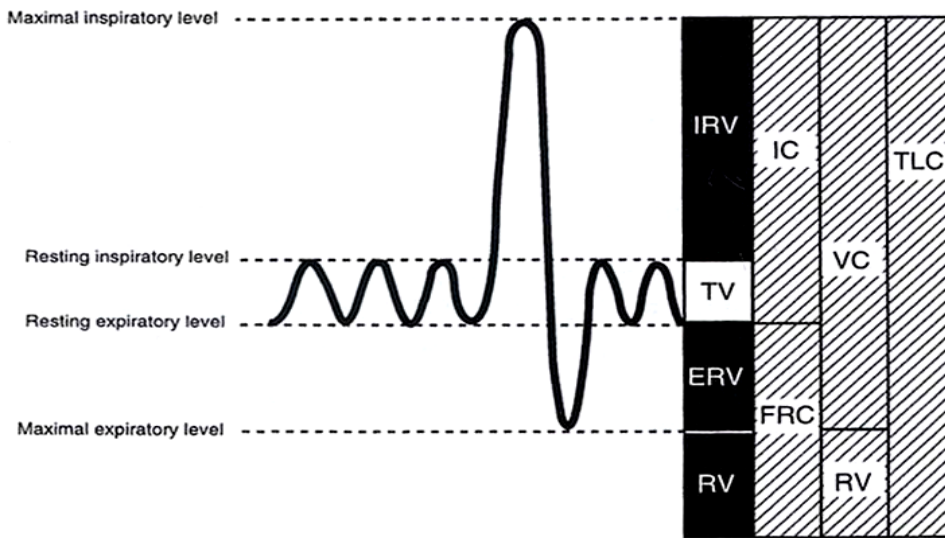
Για ίδια T , $P_1 > P_2$
(I.e. $2T/r_1 > 2T/r_2$)



Ο νόμος του Laplace

$$P=2T/r$$


Πνευμονικοί όγκοι και χωρητικότητες



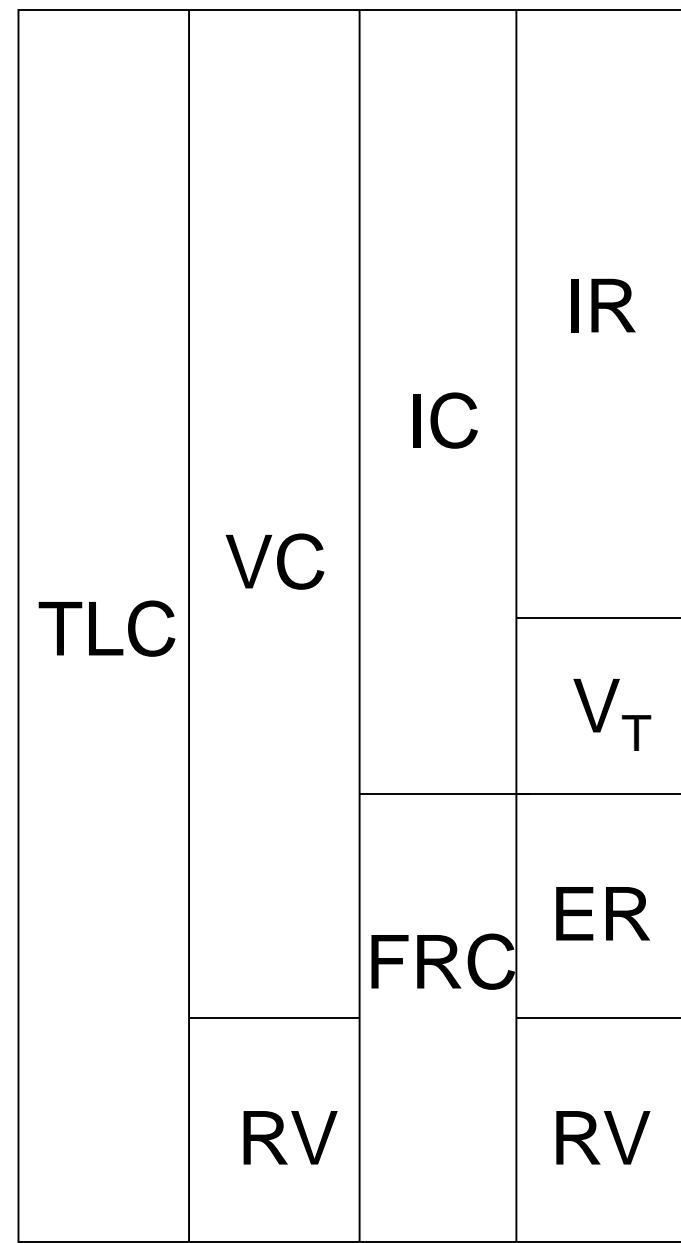
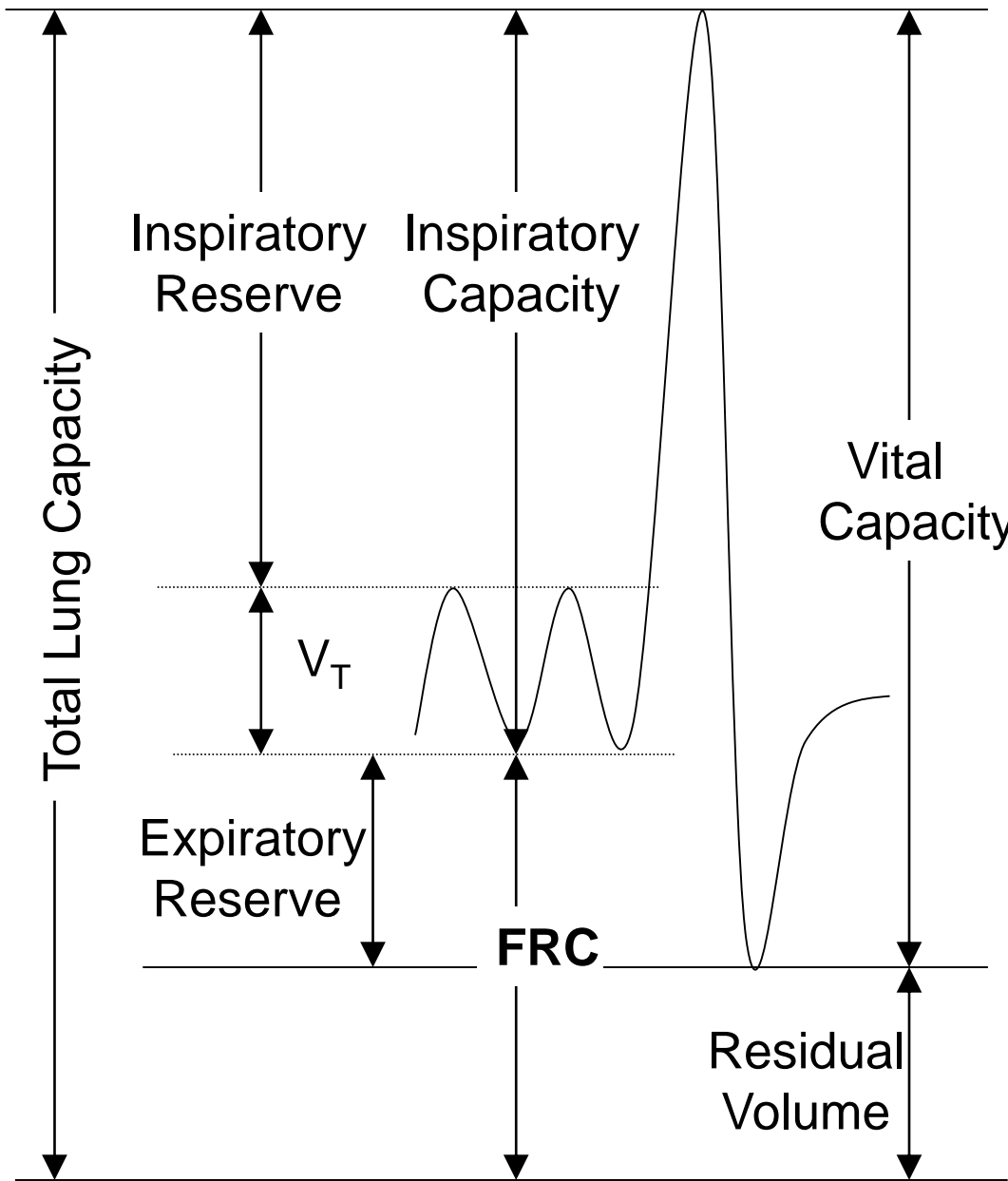
- Τέσσερις πνευμονικοί όγκοι: αναπνεόμενος όγκος, εισπνευστικός εφεδρικός όγκος, εκπνευστικός εφεδρικός όγκος και υπολειπόμενος όγκος
- Πέντε χωρητικότητες: εισπνευστική χωρητικότητα, εκπνευστική χωρητικότητα, ζωτική χωρητικότητα, λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα και ολική πνευμονική χωρητικότητα

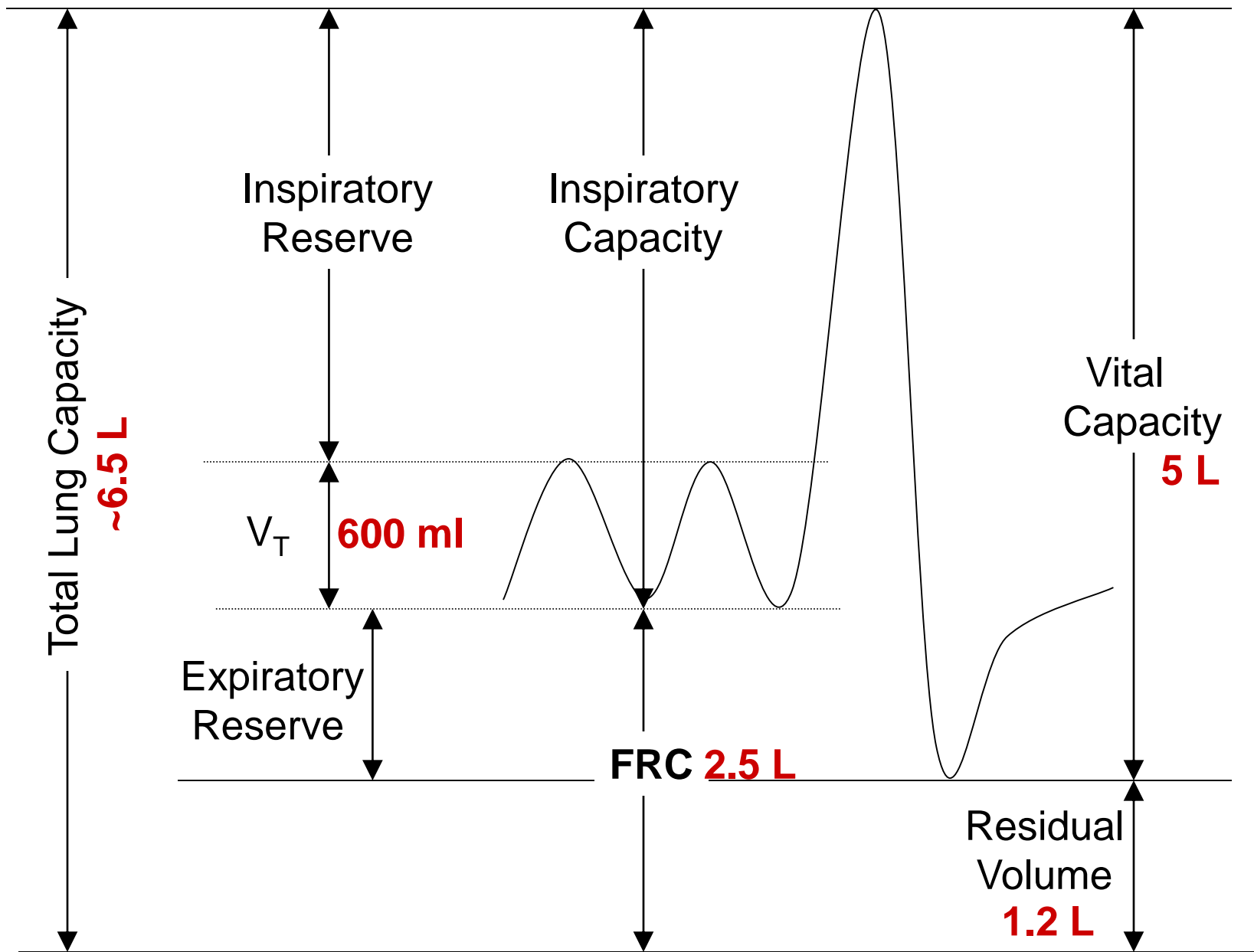


Πνευμονικοί όγκοι και χωρητικότητες

ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΟΙ ΟΓΚΟΙ	ΟΡΙΣΜΟΣ	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΕΚΦΡΑΣΗ
Όλικη Πνευμονική Χωρητικότητα	Όγκος στο τέλος μιας μέγιστης εισπνοής	$TLC = RV + VC$
Λειτουργική Υπολειπόμενη Χωρητικότητα	Όγκος στο τέλος μιας ήρεμης εκπνοής	
Υπολειπόμενος Όγκος	Όγκος στο τέλος μιας μέγιστης εκπνοής	$RV = TLC - VC$
Εισπνευστική Χωρητικότητα	Όγκος μεταξύ FRC και TLC	$IC = TLC - FRC$
Εκπνευστικός Εφεδρικός Όγκος	Όγκος μεταξύ FRC και RV	$ERV = FRC - RV$
Ζωτική Χωρητικότητα	Όγκος αέρα που εκπνέεται από την TLC ως τον RV	$VC = TLC - RV$

ERV: Εκπνευστικός Εφεδρικός Όγκος, IC: Εισπνευστική Χωρητικότητα, FRC: Λειτουργική Υπολειπόμενη Χωρητικότητα, RV: Υπολειπόμενος Όγκος, TLC: Όλικη Πνευμονική Χωρητικότητα, VC: Ζωτική Χωρητικότητα.





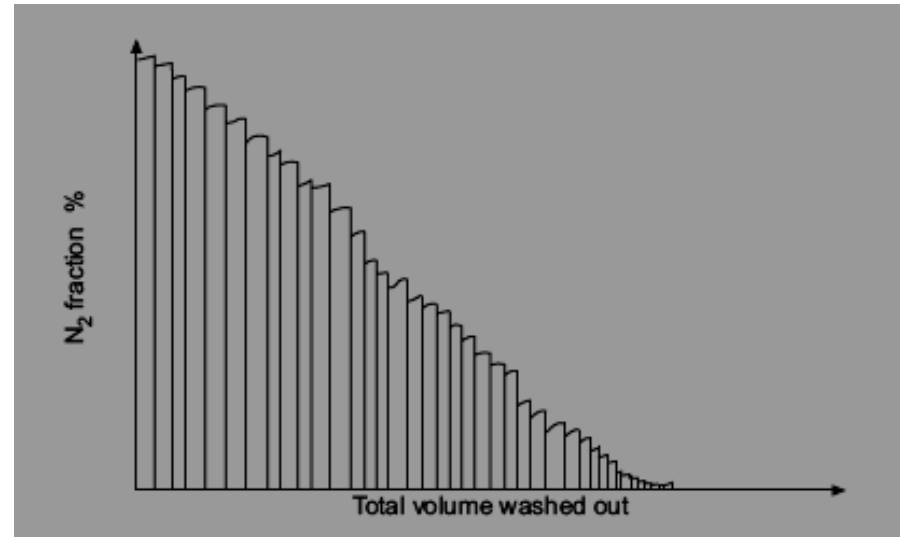
Γιατί μετράμε τους στατικούς πνευμονικούς όγκους;

- Για την πρόγνωση κάποιας πνευμονικής δυσλειτουργίας
- Για το χαρακτηρισμό της λειτουργικής αναπνευστικής διαταραχής (αποφρακτική ή περιοριστική)
- Για την αξιολόγηση της βαρύτητας της νόσου
- Για την εκτίμηση της εξέλιξης της νόσου
- Για την αξιολόγηση της ανταπόκρισης στη θεραπεία
- Για την ταυτοποίηση ασθενών αυξημένου κινδύνου για θνητότητα μετά από πνευμονεκτομή.

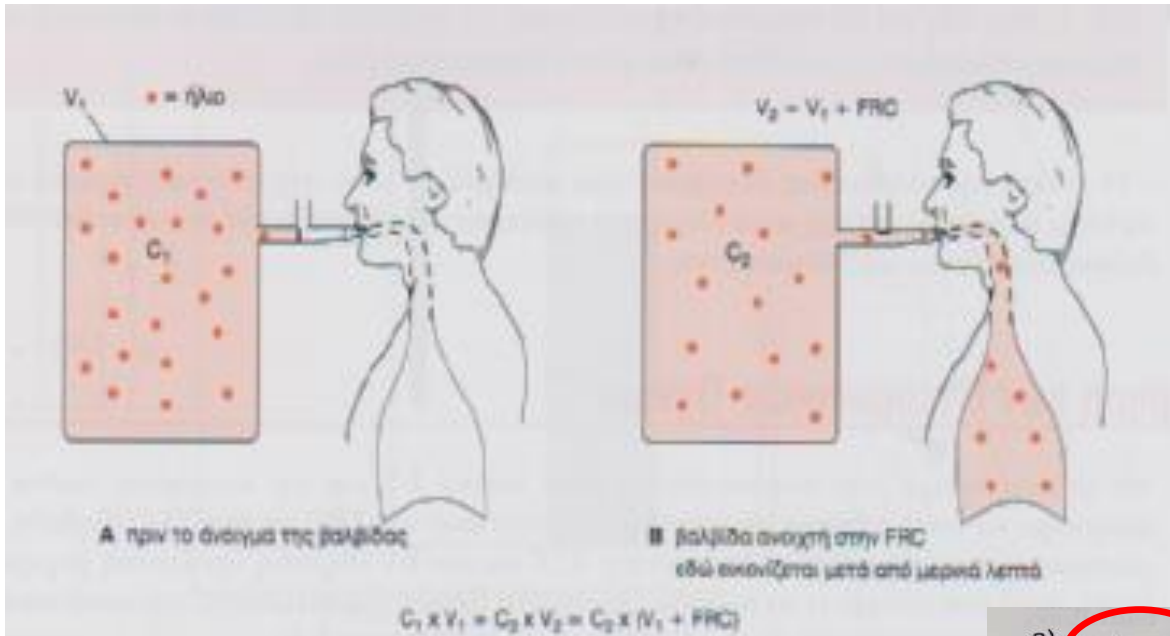
Πώς μετράμε τους στατικούς όγκους;

Μέθοδος έκπλυσης του N_2

- Ο ασθενής συνδέεται σε κλειστό κύκλωμα και **εισπνέει 100% O_2** ενώ ο εκπνεόμενος αέρας συλλέγεται και καταγράφεται συνεχώς η συγκέντρωση του **N_2 μέχρι να μηδενιστεί**
- $FRC \times 0,8 =$ όγκος αέρα που συλλέχθηκε \times μέση συγκέντρωση N_2

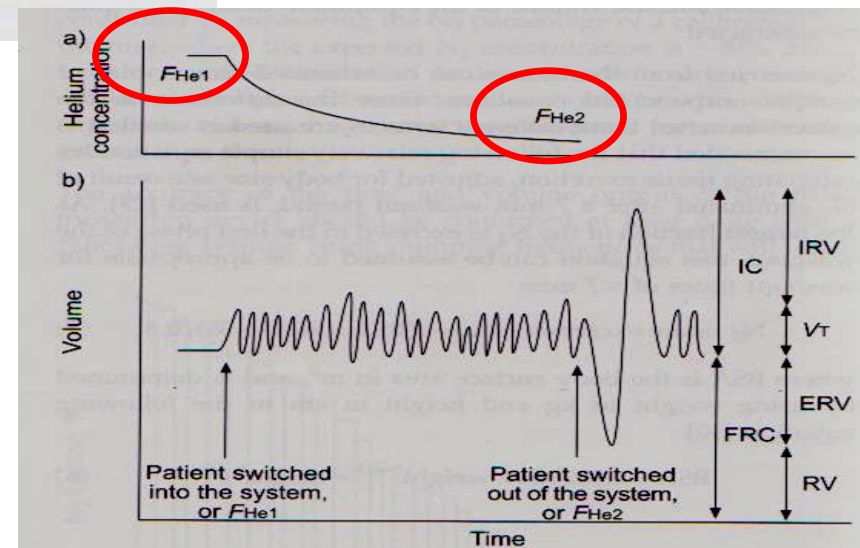


Μέτρηση της FRC με τη μέθοδο του ηλίου





10% He + 25-30% O₂ + N₂ + συνεχής απομάκρυνση H₂O και CO₂

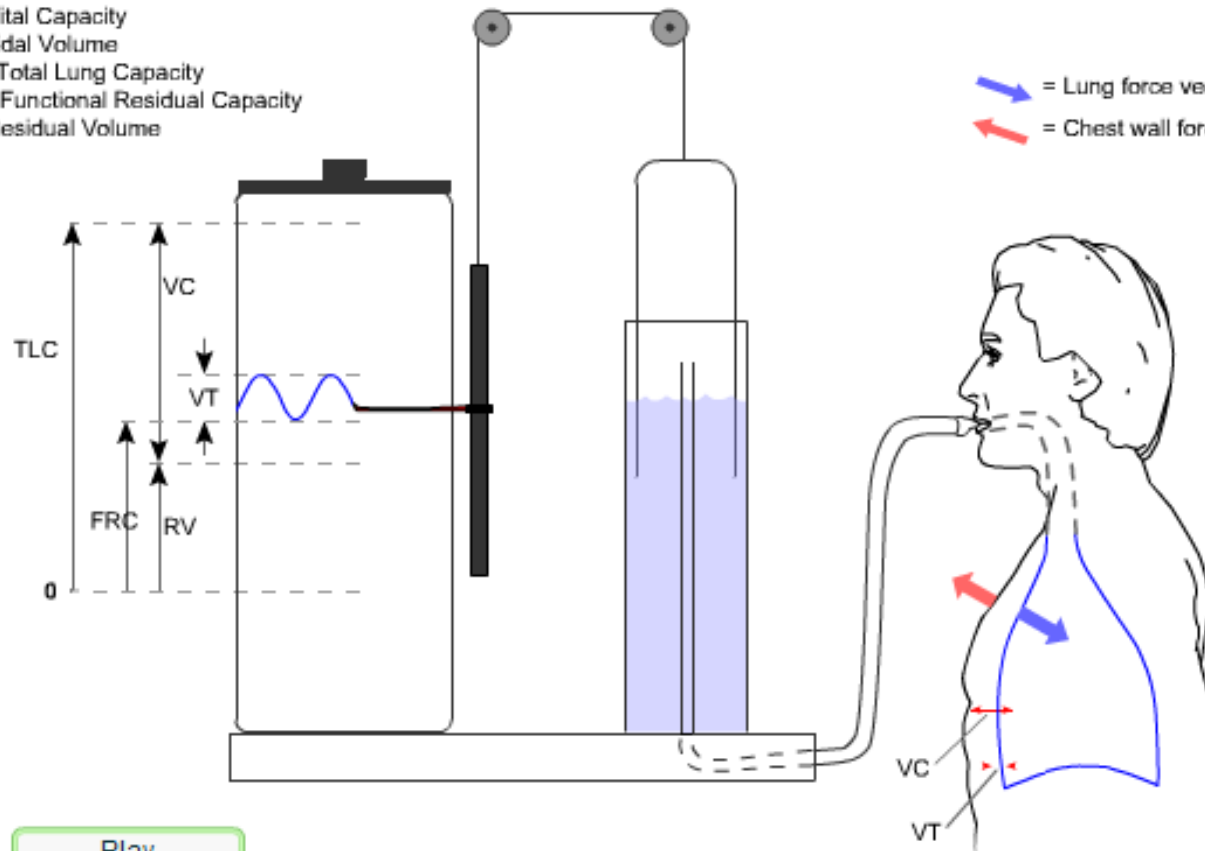
Συνεχής παροχή O₂ ώστε να έχουμε σταθερή συγκέντρωση



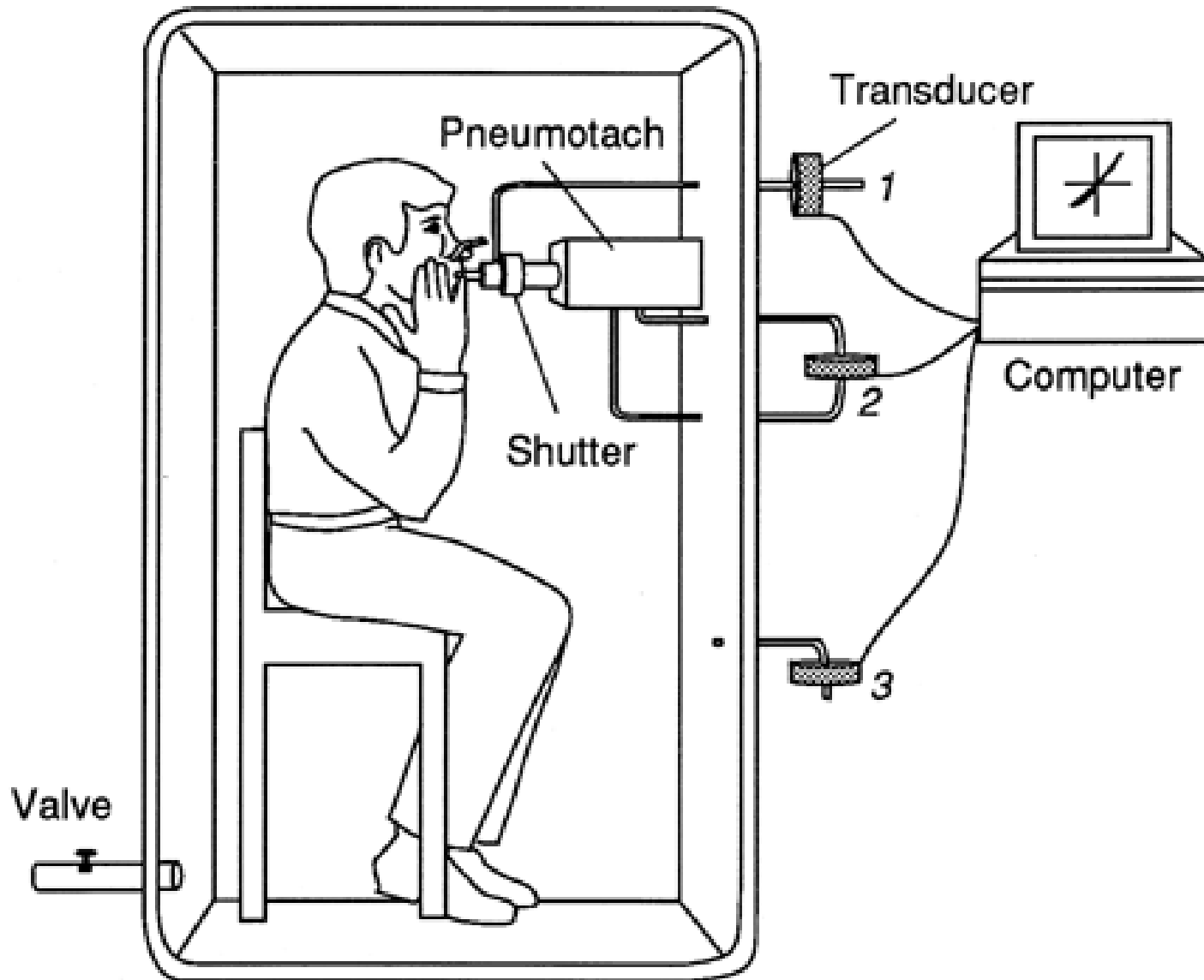
Spirometry and Lung Volumes

VC = Vital Capacity
VT = Tidal Volume
TLC = Total Lung Capacity
FRC = Functional Residual Capacity
RV = Residual Volume

 = Lung force vector
 = Chest wall force vector



Volume-constant body plethysmograph



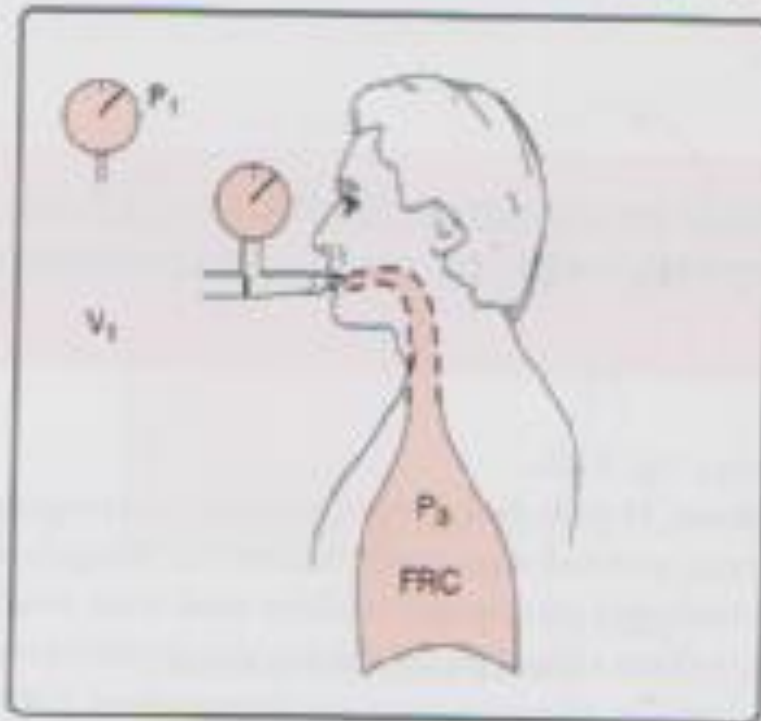
Σωματική πληθυσμογραφία

Ο νόμος του Boyle για τον θάλαμο

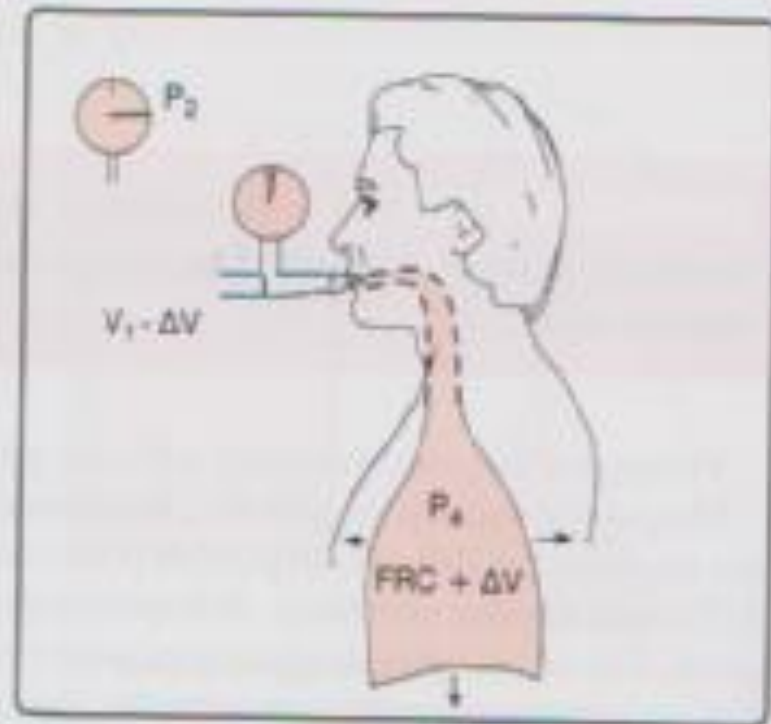
$P_1 V_1 = P_2 (V_1 - \Delta V)$ → μετρώντας τις P_1, P_2 , γνωρίζοντας τον V_1 (όγκο θαλάμου) → υπολογίζουμε τη ΔV

Νόμος του Boyle για τους πνεύμονες:

$P_3 (FRC) = P_4 (FRC + \Delta V)$ → μετρώντας τις P_3, P_4 , χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη τιμή ΔV → υπολογίζουμε στην FRC



Αεροστεγής θάλαμος με τον εξεταζόμενο
Κλειστή βαλβίδα επιστόμου στην FRC



Εισπνευστική προσπάθεια με κλειστή βαλβίδα
αύξηση όγκου πνεύμονα κατά ΔV ,
Μείωση όγκου θαλάμου κατά $-\Delta V$,
και αντίστοιχα μείωση ή αύξηση της πίεσης στους
πνεύμονες ή στο θάλαμο

Συγκριτικά μειονεκτήματα των μεθόδων

ΠΛΗΘΥΣΜΟΓΡΑΦΙΑ

- Κόστος
- Κλειστοφοβία
- Συνεργασία
- Εξίσωση στοματικής και κυψελιδικής πίεσης
- Εκούσια αναπνοή σε επίπεδο διαφορετικό από την FRC

ΑΖΩΤΟ ΚΑΙ ΗΛΙΟ

- Χαμηλότερο κόστος, ευρέως χρησιμοποιούμενες
- **Περιοχές που δεν επικοινωνούν** με τους αεραγωγούς ή έχουν υψηλές σταθερές χρόνου δεν εκπλένουν το N_2 / δεν φθάνει το He
- Απαιτούνται **10-20 min** για να επανέλθει ισορροπία αν απαιτηθεί

Παράγοντες που επηρεάζουν τη VC

Φυσιολογικά

- Σωματομετρικά στοιχεία (ύψος)
- Φύλο - μεγαλύτερη στους άντρες: μεγάλο θωρακικό κλωβό, ισχυρότερη μυϊκή δύναμη
- Ηλικία - μειώνεται με την ηλικία
- ΙΣΧΥΣ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ
- Θέση - μειώνεται στην ύπτια θέση
- Εγκυμοσύνη- χωρίς αλλαγή ή αύξηση κατά 10%

Παράγοντες που επηρεάζουν τη VC

Παθολογικά

- Μυοπάθεια (φάρμακα, κεντρικής αιτιολογίας μυική αδυναμία)
- Παθολογία από την κοιλιά (ασκίτης, όγκοι)
- Πνευμονικά νοσήματα (εμφύσημα, πνευμονική ίνωση, πνευμονικό οίδημα, πνευμονία, ARDS)
- Χωροκατακτητικές βλάβες (περικαρδιακή/υπεζωκοτική συλλογή, κυφοσκολίωση, πνευμονικοί όγκοι)

Παράγοντες που επηρεάζουν την FRC

- **Αυξάνεται:**
 - Ύψος
 - Όρθια θέση (30% περισσότερο από την ύπτια)
 - Μειωμένη επαναφορά (π.χ. εμφύσημα)
- **Μειώνεται**
 - Παχυσαρκία
 - Μυϊκή παράλυση (ειδικά στην ύπτια θέση)
 - Ύπτια θέση
 - Περιοριστική νόσος (π.χ. ίνωση, εγκυμοσύνη)
 - Αναισθησία

Δεν επηρεάζεται από την ηλικία

Ερμηνεία των στατικών όγκων

- Αμιγές περιοριστικό νόσημα (ενδο- ή εξωπνευμονικό) μείωση της TLC, μείωση FRC
- Αποφρακτικά νοσήματα (σοβαρή παρόξυνση άσθματος, ΧΑΠ, εμφύσημα)- υψηλή TLC, υψηλή FRC
- Υπερδιάταση - υψηλή TLC
 - Παγίδευση αέρα - Υψηλός RV, RV/TLC ratio
- Νευρομυϊκό νόσημα - ↓ TLC, διατήρηση ή αύξηση του RV

COPD PFT

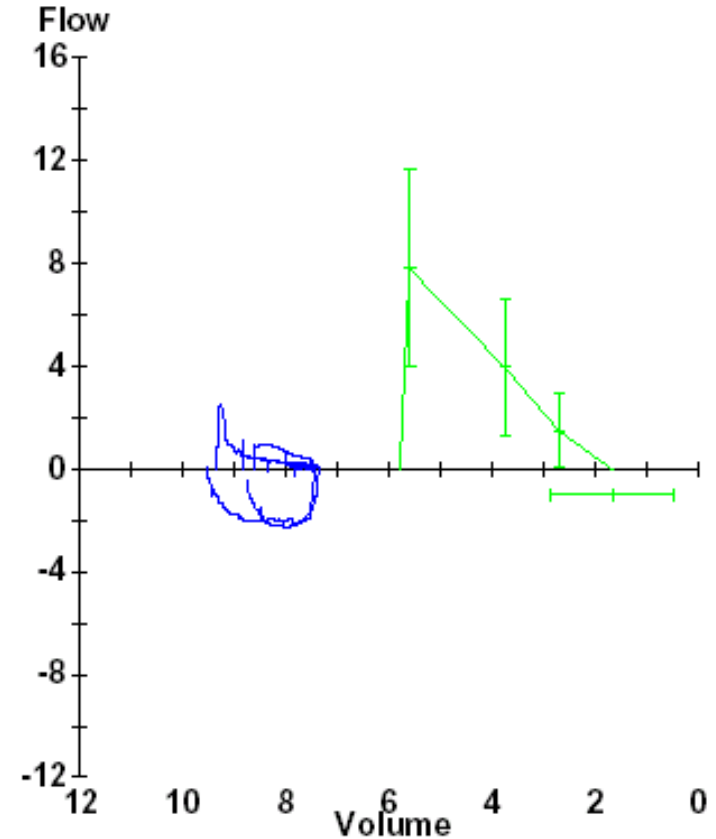
ID: BDD9943
 Weight(kg): 65.0
 PB: 754

Date: 23/06/04
 Height(cm): 168
 Temp: 21

Gender: Male
 Race:

Age: 55
 BMI: 23.03

	Pre	Pre	Post	Post	Post
	Meas	% Ref	Meas	% Ref	% Chg
Spirometry	Ref				
FVC	4.2	(2.0)	(48.0)		
FEV ₁	3.1	(.8)	(25.0)		
FEV ₁ /FVC	73.0	(37.0)			
FEF ₂₅₋₇₅ %	3.1	(.3)	(10.0)		
PEF	7.8	(2.6)	(33.0)		
Lung Volumes					
TLC	5.8	(9.3)	(162.0)		
RV	2.0	(7.0)	(346.0)		
RV/TLC	36.0	(75.0)			
FRC PL	3.4	(7.1)	(211.0)		
ERV	1.4	(.3)	(19.0)		
VC	4.2	(2.4)	(57.0)		
Resistance					
Raw	1.4	7.0	518.0		
sRaw	4.6	56.6	1243.0		
Diffusion					
D _{LCO}	20.6	14.7	71.0		
D _{LCO} /V _A	4.0	3.1	78.0		
V _A	6.3	(4.8)	(75.0)		



Comments: The patient could not fully expire during forced and slow expiration, therefore the results were not quite accurate, even though they were repeatable.

Interpretation: Stable lung function.