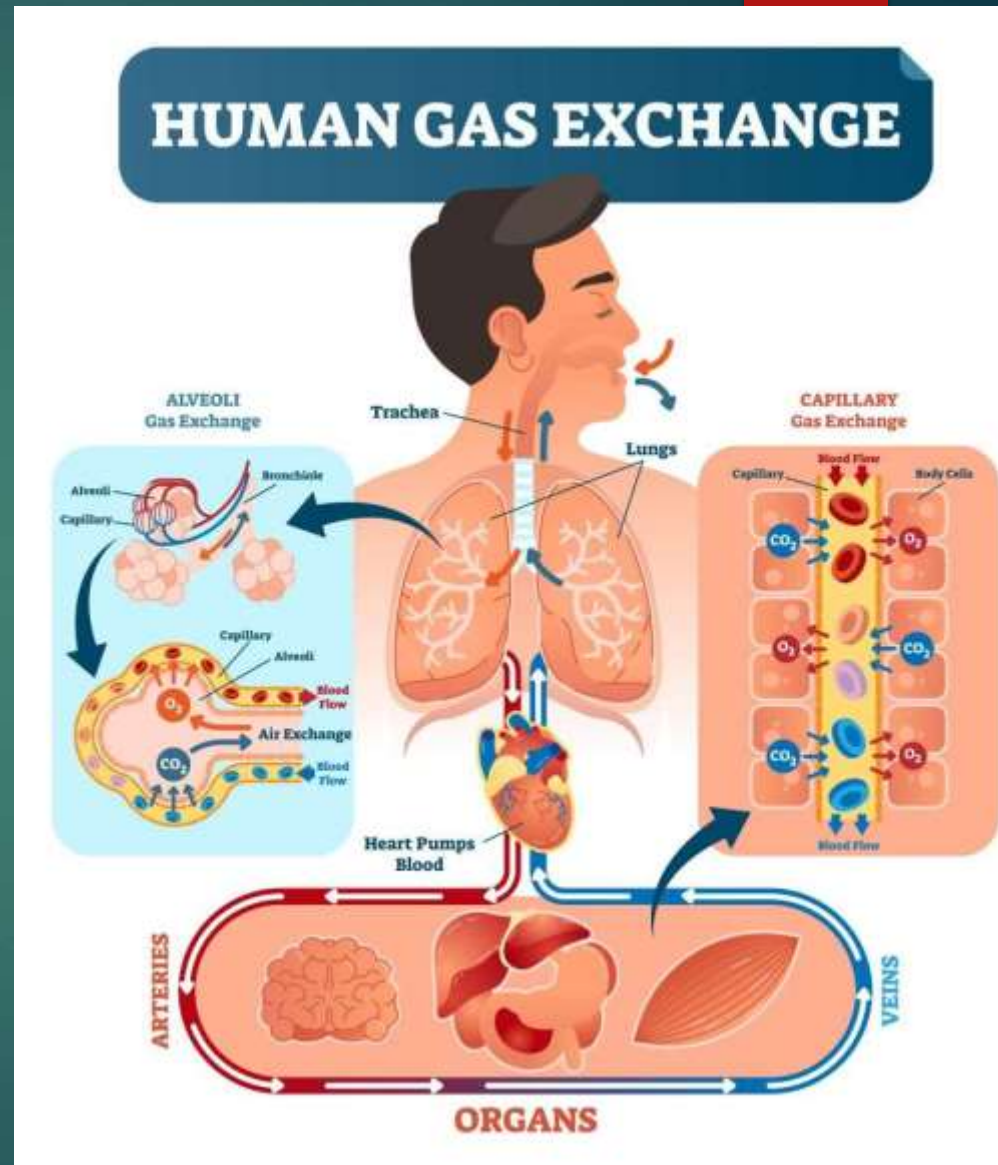




# Αερισμός και μηχανική της αναπνοής

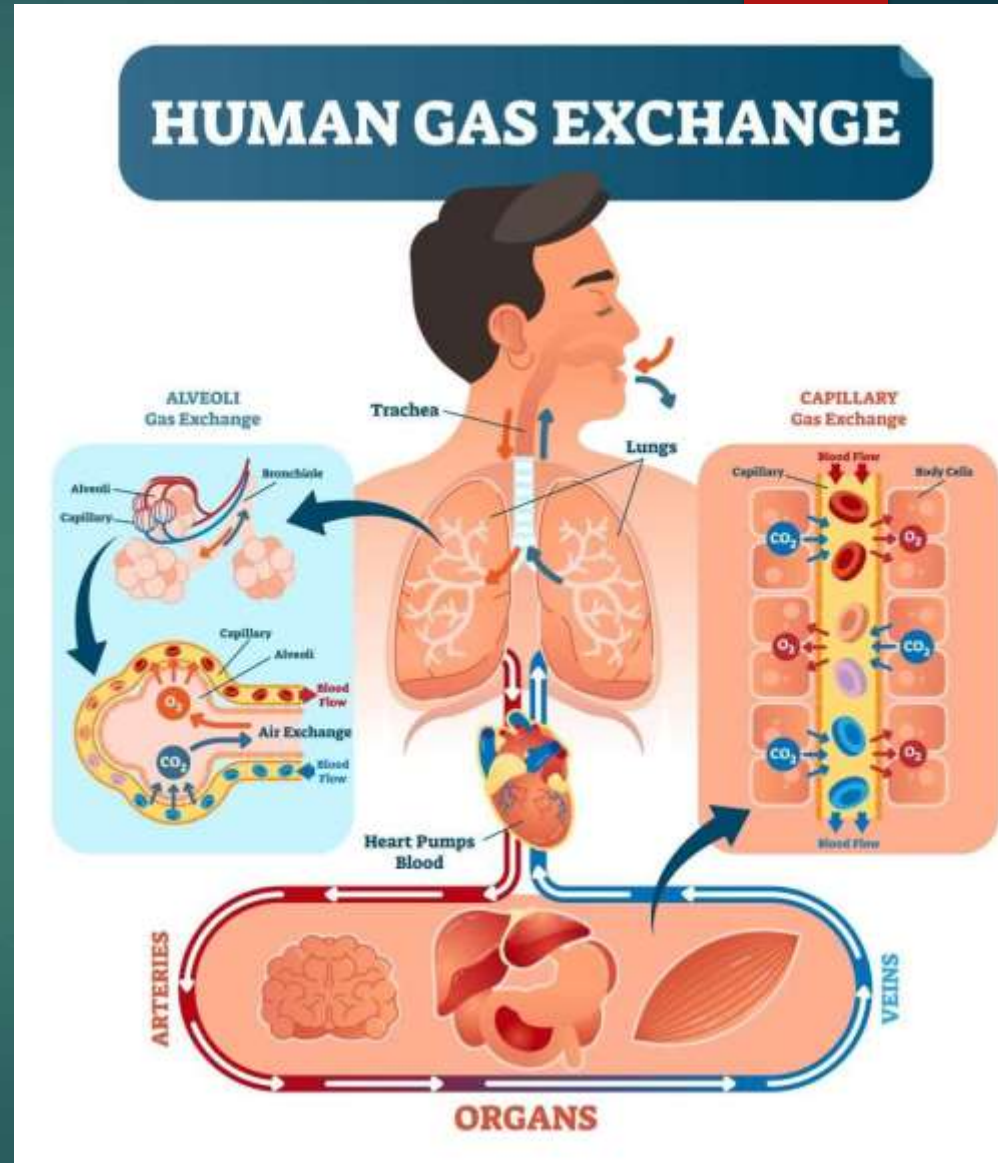
# Αναπνοή

- ▶ Πρόσληψη οξυγόνου και απομάκρυνσης διοξειδίου του άνθρακα
- ▶ 1<sup>ο</sup> στάδιο: **ανταλλαγή αερίων** – μεταφορά οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ της ατμόσφαιρας και των πνευμόνων
- ▶ 2<sup>ο</sup> στάδιο: **κυτταρική αναπνοή** – ανταλλαγή οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ αίματος της συστηματικής κυκλοφορίας και των ιστών (απλή διάχυση)



# Λειτουργίες αναπνευστικού

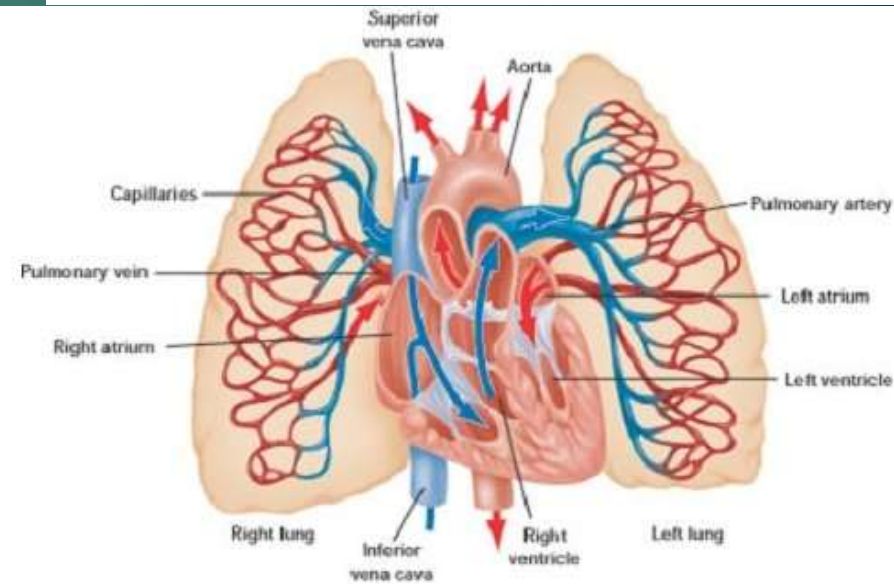
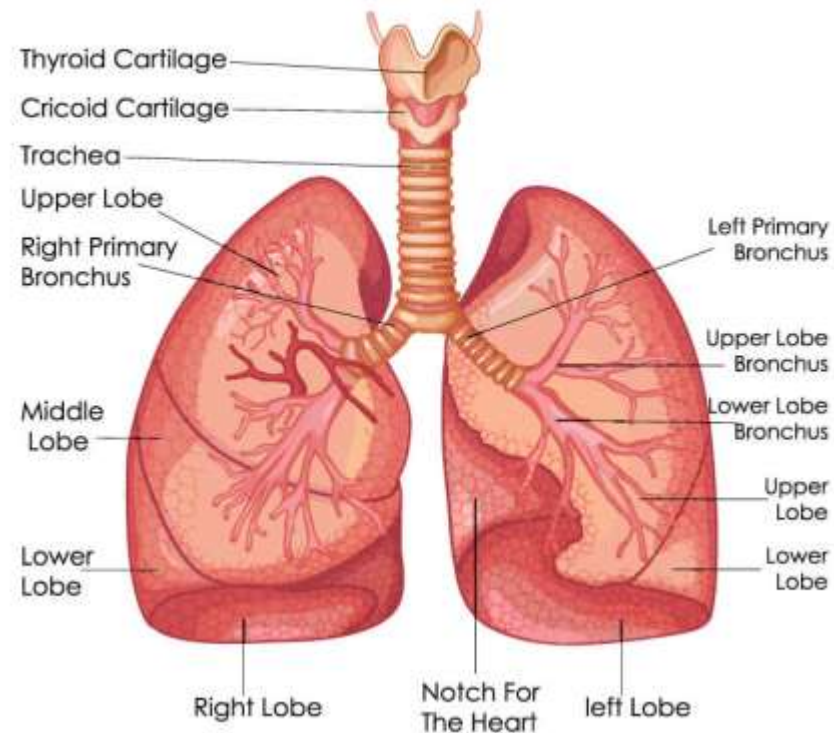
- ▶ Αερισμός και μηχανική της αναπνοής
- ▶ Μεταφορά και διακίνηση αερίων
- ▶ Ροή αίματος στους πνεύμονες
- ▶ Έλεγχος αναπνοής



# Δομή πνευμόνων

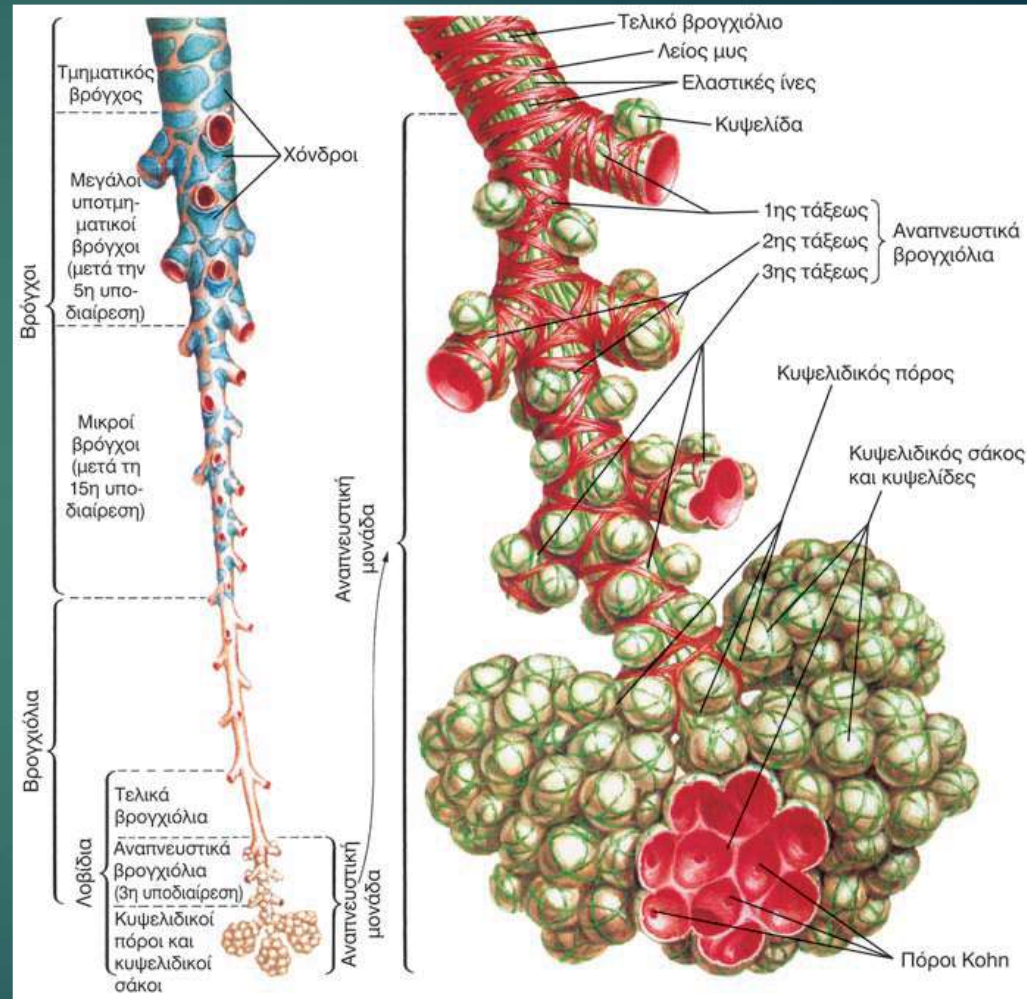
- ▶ Αγγειακό δένδρο περιλαμβάνει αρτηρίες & φλέβες που συνδέονται με τα τριχοειδή
- ▶ Δένδρο αεραγωγών
  - 1) Κύριος αεραγωγός: **τραχεία**
  - 2) Τραχεία διακλαδίζεται σε δύο **βρόγχους**
  - 3) Κάθε βρόγχος εισέρχεται στο πνεύμονα και διακλαδίζονται σε **βρογχιόλια**
- Θέρμανση και υγραποίηση εισπνεόμενου αέρος
- Ομοιογενής κατανομή αέρος στα βαθύτερα τμήματα
- Άμυνα του οργανισμού (π.χ. απομάκρυνση σκόνης)

Lungs Diagram



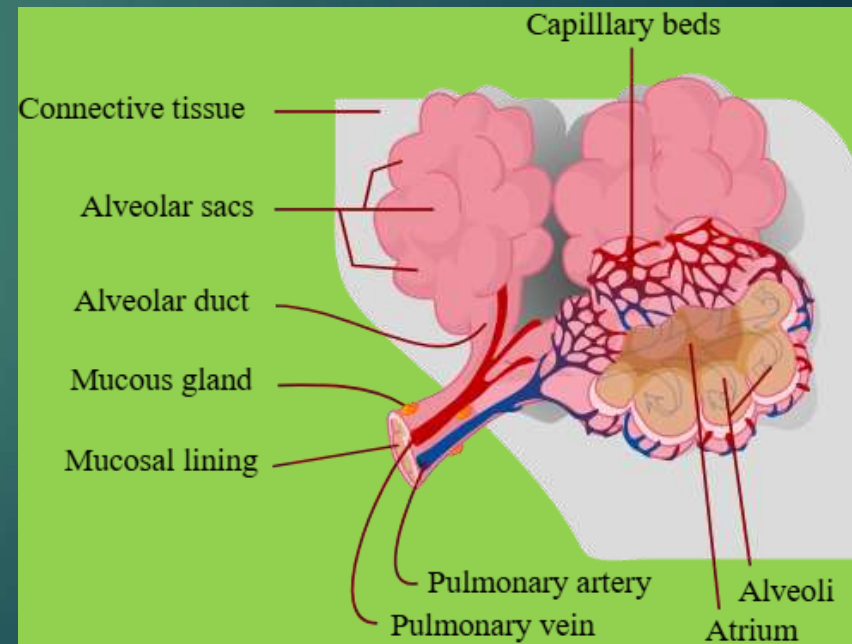
# Δομή πνευμόνων

- ▶ Οι πρώτοι αεραγωγοί (τραχεία, βρόγχοι) αποτελούνται από σημαντική ποσότητα χόνδρου ώστε να αποτρέπεται η σύγκλειση τους
- ▶ Υπόκεινται σε αρνητικές και θετικές μεταβολές της πίεσης
- ▶ Οι μικρότερες αεροφόρες οδοί είναι τα τελικά βρογχιόλια
- ▶ Οι τελικές περιοχές αποτελούν την αναπνευστική ζώνη όπου γίνεται η ανταλλαγή των αερίων μέσα από εξειδικευμένα κύτταρα που σχηματίζουν σάκους αέρα (**κυψελίδες**)



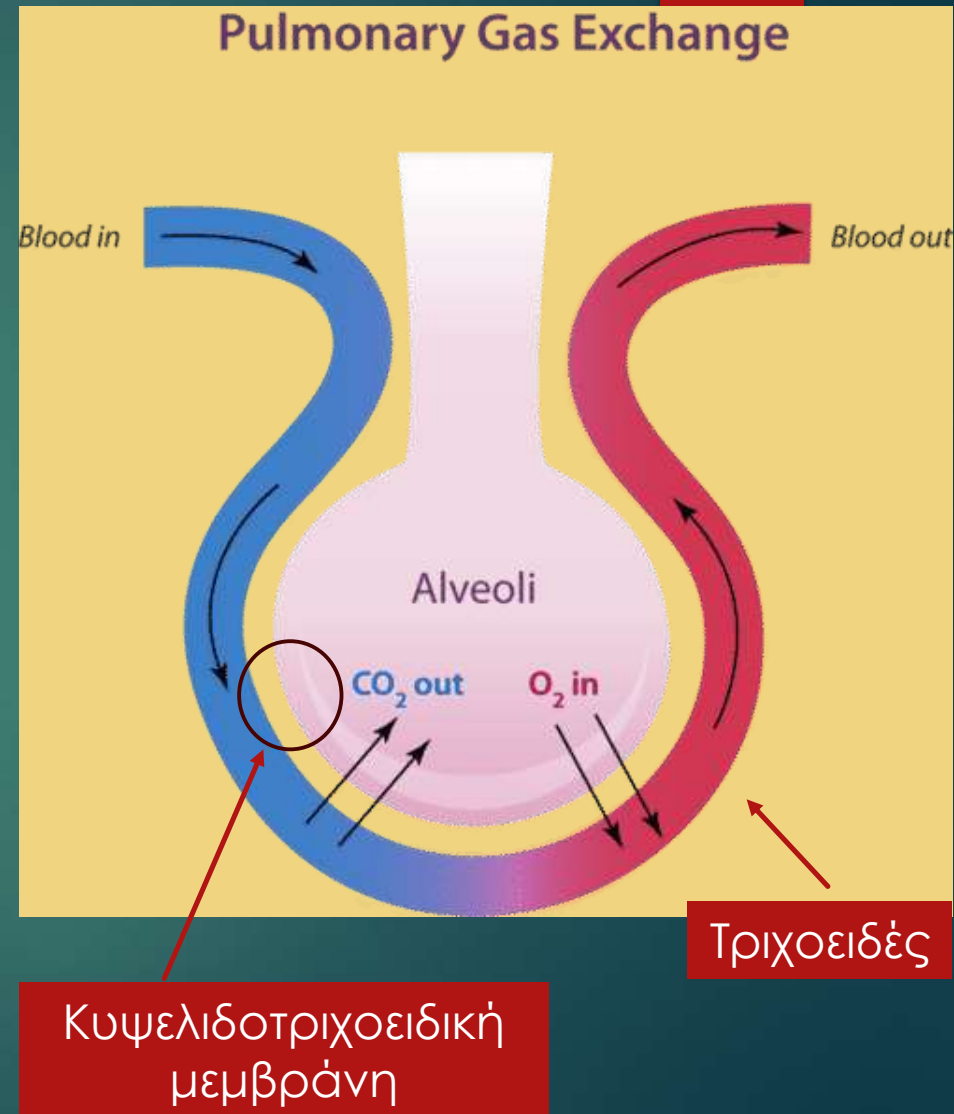
# Δομή πνευμόνων

- ▶ Το πιο εκτεταμένο δίκτυο τριχοειδών σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο όργανο του σώματος
- ▶ Πνευμονικά τριχοειδή καταλαμβάνουν το 70-80% της επιφάνειας των κυψελίδων
- ▶ Πνευμονική κυκλοφορία δέχεται όλο τον εξερχόμενο όγκο από την καρδιά με αποτέλεσμα η ροή του αίματος να είναι αυξημένη
- ▶ Τα τριχοειδή φέρνουν το αίμα κοντά στον αέρα που βρίσκεται στις κυψελίδες
- ▶ Μεταφορά οξυγόνου και  $\text{CO}_2$  μέσω διάχυσης



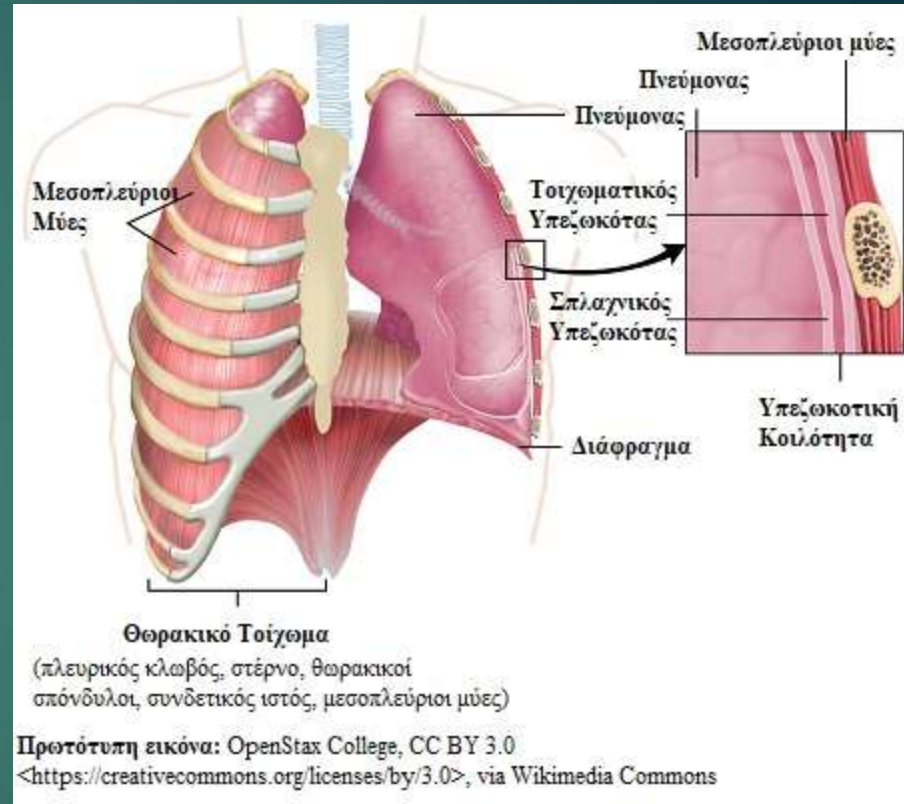
# Αναπνευστική μονάδα

- ▶ Σύνδεση κυψελίδων με τα τριχοειδή (~60.000 μονάδες)
- ▶ Κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη ξεχωρίζει το αίμα στα πνευμονικά τριχοειδή από τον αέρα στις κυψελίδες
- ▶ Αυτός ο φραγμός παρέχει μεγάλη επιφάνεια διάχυσης αερίων και επίσης αποτρέπει τον σχηματισμό φυμαλίδων στο αίμα και την είσοδο του αίματος στις κυψελίδες



# Αναπνευστική αντλία

- ▶ Πνεύμονες, θωρακικό τοίχωμα, μεσοπλεύριοι μύς, υπεζωκότας, διάφραγμα
- ▶ **Διάφραγμα:** σκελετικός μύς που χωρίζει την αεροστεγή θωρακική κοιλότητα που βρίσκονται οι πνεύμονες με την κοιλιά
- ▶ **Θωρακική κοιλότητα:** 12 ζεύγη πλευρών, στήρνο, έσω και έξω μεσοπλεύριοι μύες
- ▶ Χώρος μεταξύ πνευμόνων και του θωρακικού τοιχώματος είναι ο **πλευριτικός ή ενδοθωρακικός χώρος** (περιέχει υγρό που επιτρέπει την μετακίνηση των πνευμόνων έναντι του θωρακικού τοιχώματος)



# Πορεία αναπνεόμενου αέρα

▶ Ρινική κοιλότητα

▶ Φάρυγγας

▶ Λάρυγγας

▶ Τραχεία

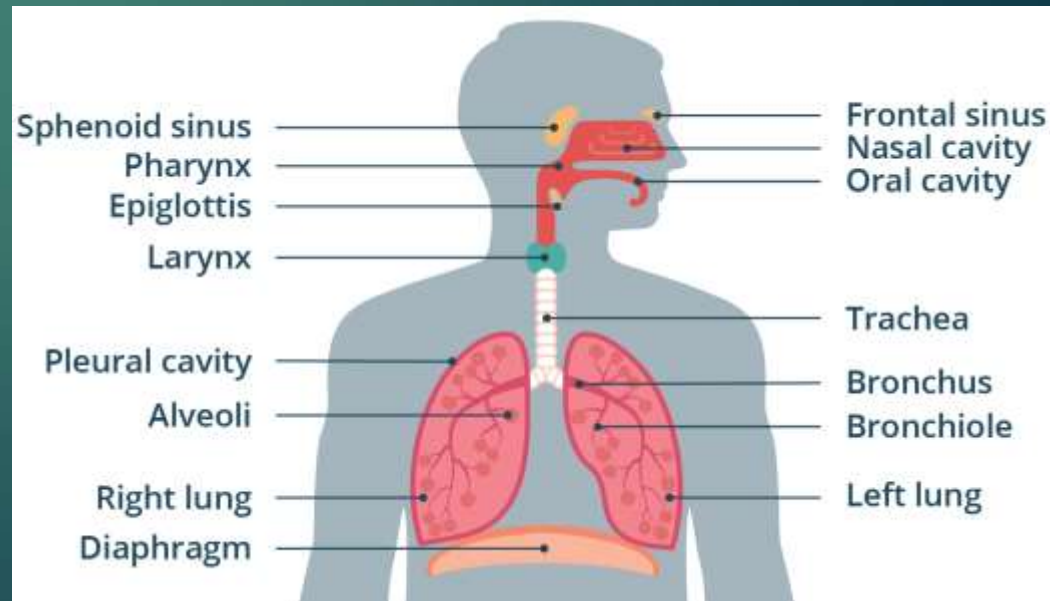
▶ Βρόγχοι

▶ Βρογχιόλια

▶ Κυψελίδες

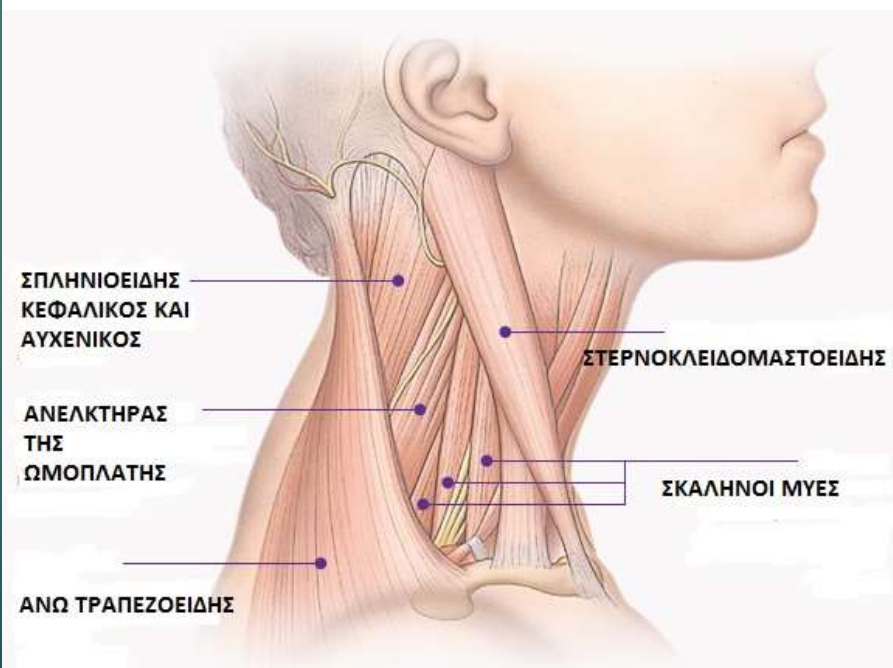
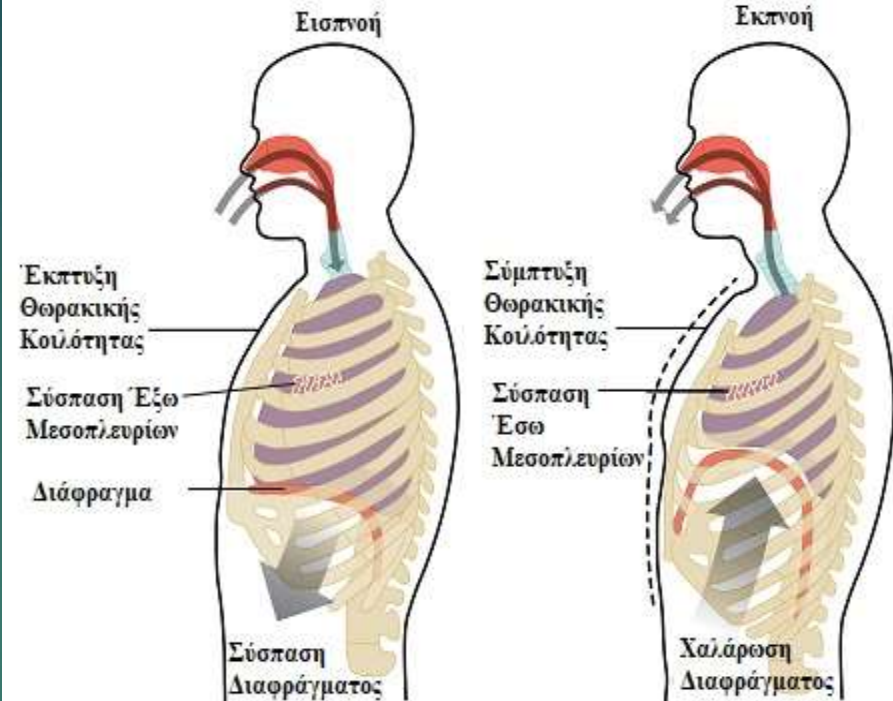
Ανώτεροι αεραγωγοί

Κατώτεροι αεραγωγοί



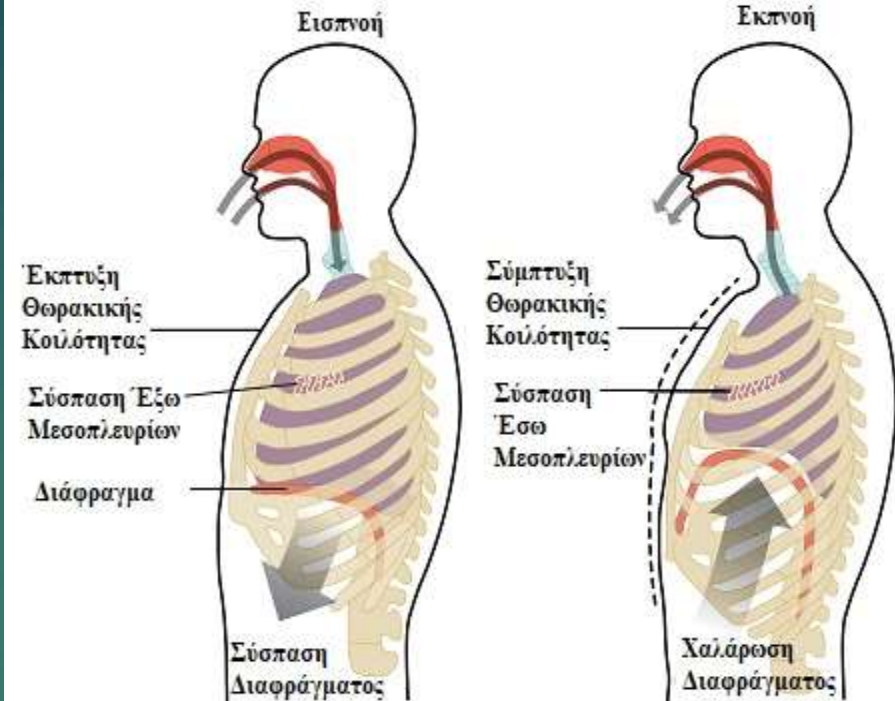
# ΕΙΣΠΝΟΗ

- ▶ Σύσπαση του διαφράγματος αυξάνει το μέγεθος της θωρακικής κοιλότητας καθώς πιέζει προς τα κάτω την κοιλιακή χώρα και εκπτύσσει τον θωρακικό κλωβό προς τα έξω
- ▶ Αύξηση όγκου πνευμόνων -> μείωση ενδοπνευμονικής πίεσης -> εισαγωγή αέρα μέσα στους αεραγωγούς
- ▶ Κατά την βίαιη εισπνοή ενεργοποιούνται επίσης οι έξω μεσοπλεύριοι μύες (ανύψωση του κλωβού προς τα πάνω και έξω)
- ▶ Σκαληνοί και στερνοκλειδομαστοειδείς μύες συμμετέχουν για την περαιτέρω ανύψωση κατά την διάρκεια εξαντλητικής δραστηριότητας

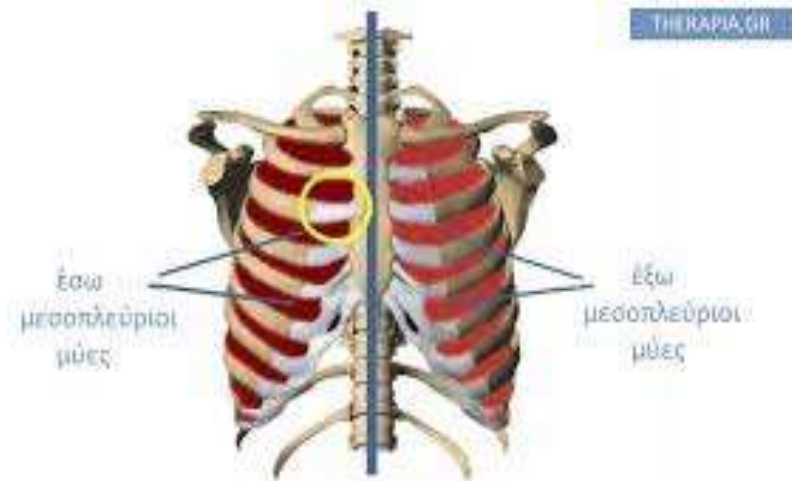


# Εκπνοή

- ▶ Παθητική διαδικασία χωρίς σύσπαση μυός
- ▶ Στο τέλος της εκπνοής το διάφραγμα χαλαρώνει, ο κλωβός χαμηλώνει, μειώνεται ο όγκος του θώρακα και αυξάνεται η πνευμονική πίεση
- ▶ Κατά την βίαιη εκπνοή ενεργοποιούνται οι έσω μεσοπλευριοί μύες, οι μύες του κοιλιακού τοιχώματος και το διάφραγμα
- ▶ Σύσπαση του κοιλιακού τοιχώματος σπρώχνει το διάφραγμα προς τα πάνω και οι έσω μεσοπλευριοί συσπώνται για να μειώσουν τον όγκο του θώρακα
- ▶ Απαραίτητοι κατά τον βήχα, τον έμετο και συνθήκες που απαιτούν την βίαιη εκπνοή



Πρωτότυπη εικόνα: OpenStax College, CC BY 3.0  
<<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>>, via Wikimedia Commons



# Μεταβολές πίεσης

- ▶ Οι μεταβολές πίεσης της θωρακικής κοιλότητας και των πνευμόνων μεταβάλλουν τους όγκους των πνευμόνων και την μετακίνηση του αέρα
- ▶ Ατμόσφαιρα ασκεί βαρομετρική πίεση ( $P_B$ ) ίση με 760 mm Hg στο επίπεδο της θάλασσας και ισούται με το άθροισμα των επιμέρους μερικών πιέσεων των αερίων της ατμόσφαιρας (**Νόμος του Dalton**)

$$P_B = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + P_{CO_2}$$

- ▶ Μερικές πιέσεις (**τάσεις αερίου**) σε ξηρό αέρα:

$P_{O_2} = (P_B) 760 \text{ mm Hg} \times (F_{O_2}, \text{κλασματική συγκέντρωση}) 0,21 \text{ (το 21\% του αέρα αποτελείται από } O_2) \Rightarrow 160 \text{ mm Hg}$

$P_{N_2} = 760 \text{ mm Hg} \times 0,79 \Rightarrow 600 \text{ mm Hg}$

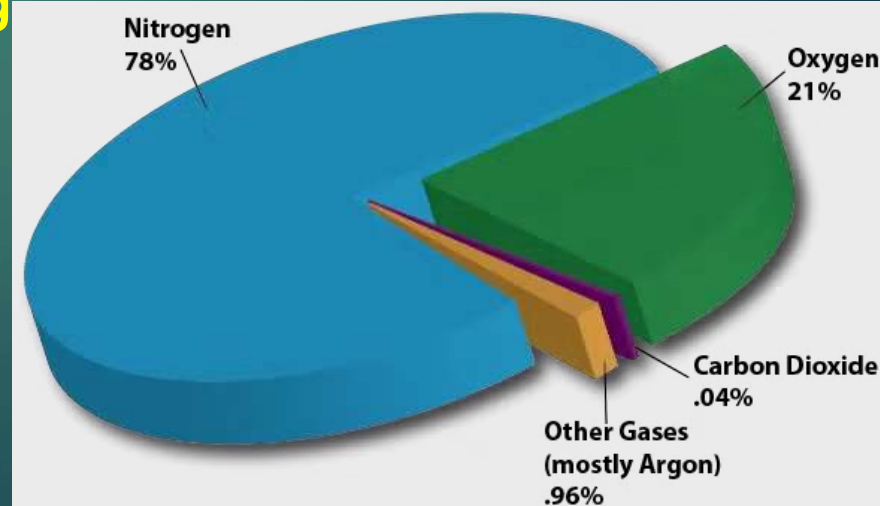
# Μεταβολές πίεσης

- ▶ Όταν ο αέρας εισπνέεται, θερμαίνεται και υγροποιείται μέσω της πίεσης που ασκείται από τους υδρατμούς η οποία είναι συνάρτηση της **θερμοκρασίας του σώματος και όχι της βαρομετρικής πίεσης**
- ▶ Στους 37° C η  $P_{H_2O} = 47 \text{ mm Hg}$ , η οποία ελαττώνει την πίεση των αερίων μέσα στους πνεύμονες
- ▶ Συνεπώς οι **τάσεις μέσα στην τραχεία κατά την εισπνοή γίνονται:**

$$PO_2 = 0,21 \times (760 - 47) = 150 \text{ mm Hg}$$

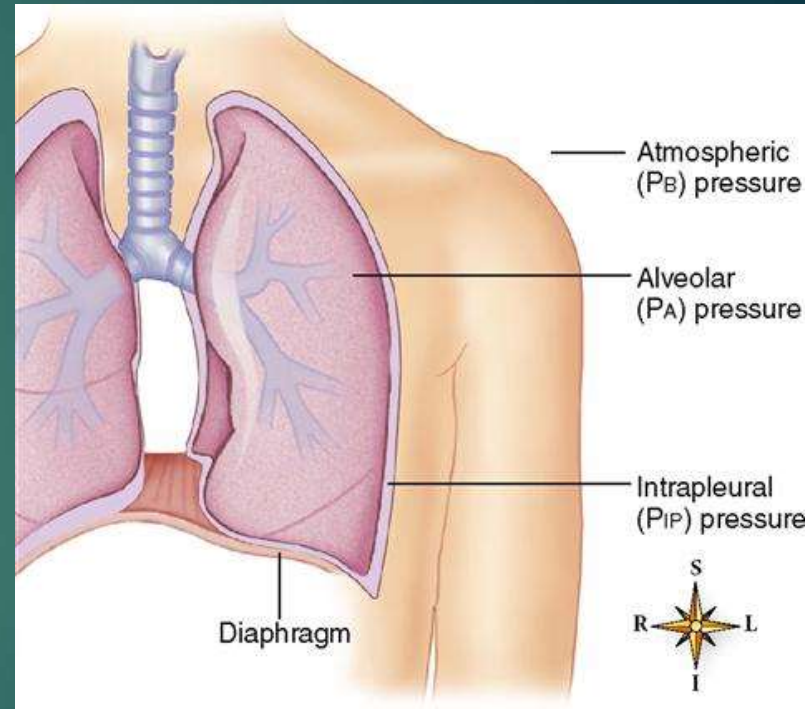
$$PN_2 = 0,79 \times (760 - 47) = 563 \text{ mm Hg}$$

$$PCO_2 = 0,0004 \times (760 - 47) = 0,29 \text{ mm Hg}$$



# Μεταβολές πίεσης (αναπνοή)

- ▶ Καθώς η θωρακική κοιλότητα είναι αεροστεγής, **αύξηση του όγκου του θώρακα προκαλεί πτώση της ενδοθωρακικής (ή ενδοπλευρικής) πίεσης ( $P_{pl}$ )** δηλαδή της πίεσης στο υπεζωκοτικό υγρό μεταξύ των πνευμόνων και του θωρακικού τοιχώματος (**Νόμος του Boyle:  $P=1/V$** )
- ▶ **Μείωση  $P_{pl}$  -> έκπτυξη πνευμόνων και πλήρωση τους με αέρα**
- ▶ Σε κατάσταση ηρεμίας είναι στα -5 cm H<sub>2</sub>O (**υποατμοσφαιρική**) και γίνεται περισσότερο αρνητική κατά την βαθιά εισπνοή



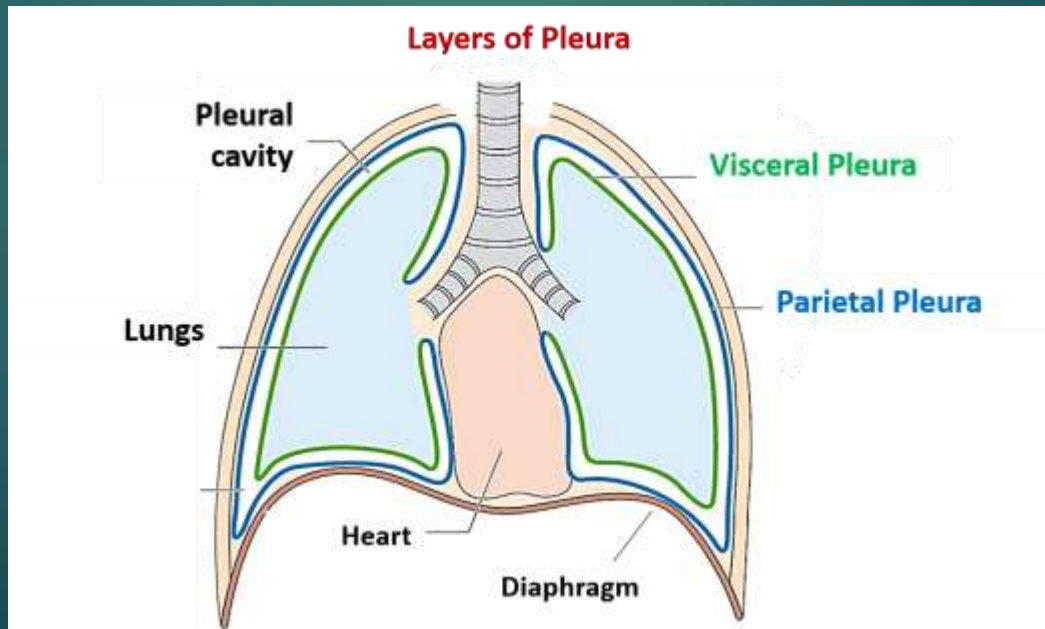
# Υπεζωκώτας

- ▶ Ο **υπεζωκώτας** είναι μια λεπτή, διπλή μεμβράνη που περιβάλλει τους πνεύμονες και παίζει βασικό ρόλο στην αναπνοή
- ▶ Αποτελείται από δύο στρώματα:

**Σπλαχνικός υπεζωκώτας:** καλύπτει άμεσα τους πνεύμονες

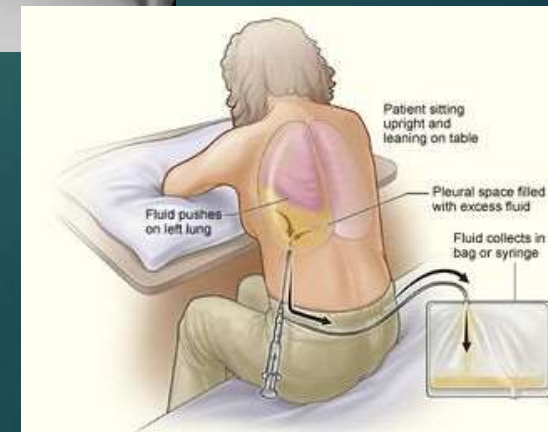
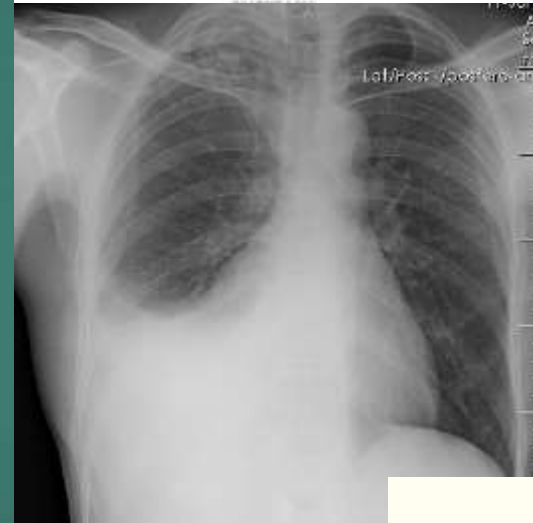
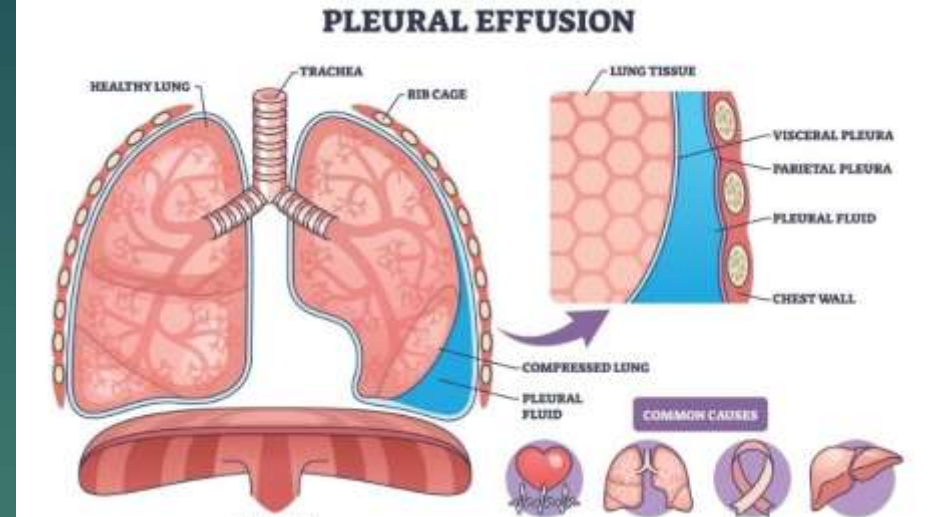
**Τοιχωματικός υπεζωκώτας:** καλύπτει το εσωτερικό του θωρακικού τοιχώματος

**Ανάμεσα τους υπάρχει ποσότητα υγρού**



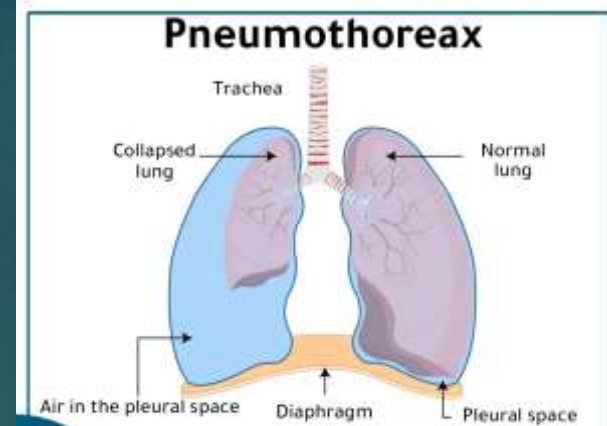
# Υπεζοκώτας

- ▶ Το υγρό αυτό λειτουργεί σαν λιπαντικό ώστε να επιτρέπει την κίνηση των πνευμόνων και να αποτρέπει την τριβή τους όταν μεταβαίνουν από εισπνοή σε εκπνοή
- ▶ Υπερβολική συσσώρευση υγρού προκαλεί την πλευριτική συλλογή που θα προκαλέσει δύσπνοια και απαιτεί παροχέτευση του υγρού



# ΥΠΕΖΟΚΩΤΑΣ

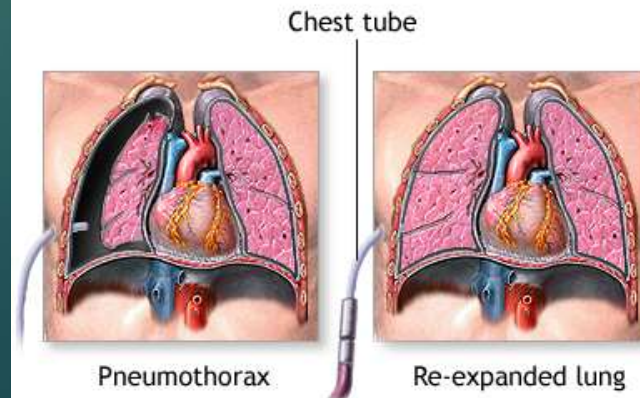
- ▶ Σε κατάσταση ηρεμίας η πίεση (Ppl) είναι υποατμοσφαιρική (αρνητική) και κρατά τον πνεύμονα ανοιχτό
- ▶ Όταν μπει αέρας (λόγω τραυματισμού ή πνευμονοπάθειας), η πίεση εξισώνεται με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η δύναμη που τον κρατάει ανοιχτό και ο πνεύμονας συρρικνώνεται (**πνευμοθώρακας**)
- ▶ Προκαλεί πόνο στο στήθος, δύσπνοια και μπορεί να απορροφηθεί από μόνος του ή να αφαιρεθεί ο αέρας με θωρακική παροχέτευση



a) Normal

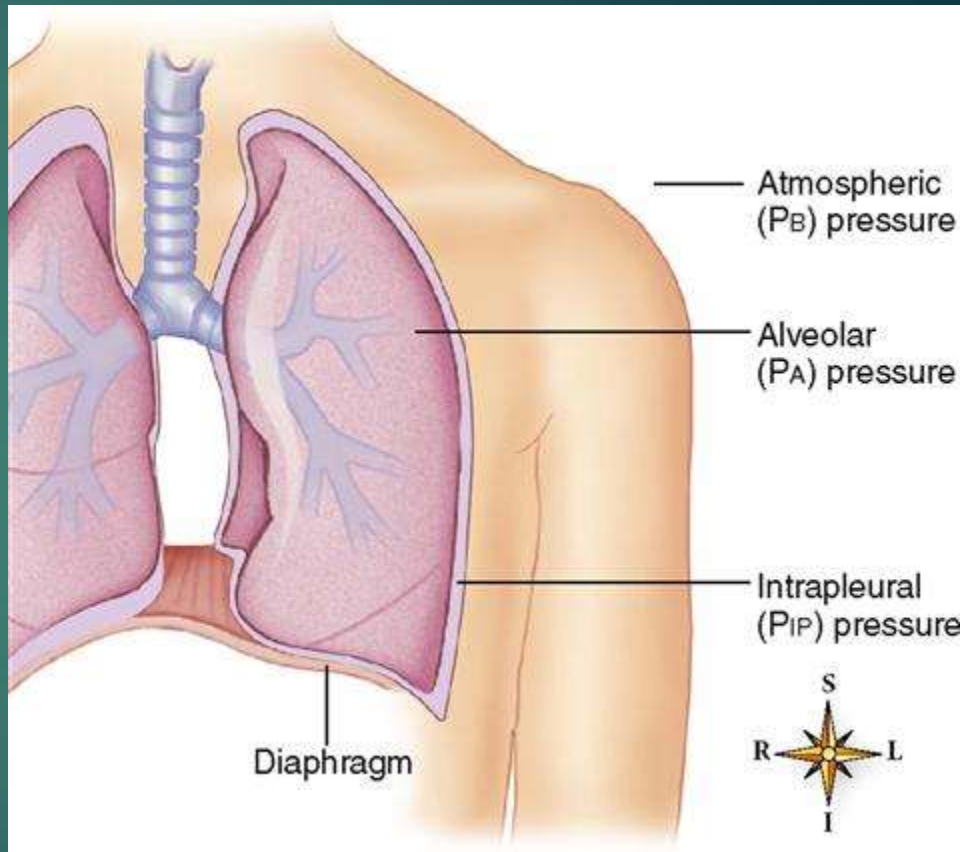


b) Pneumothorax



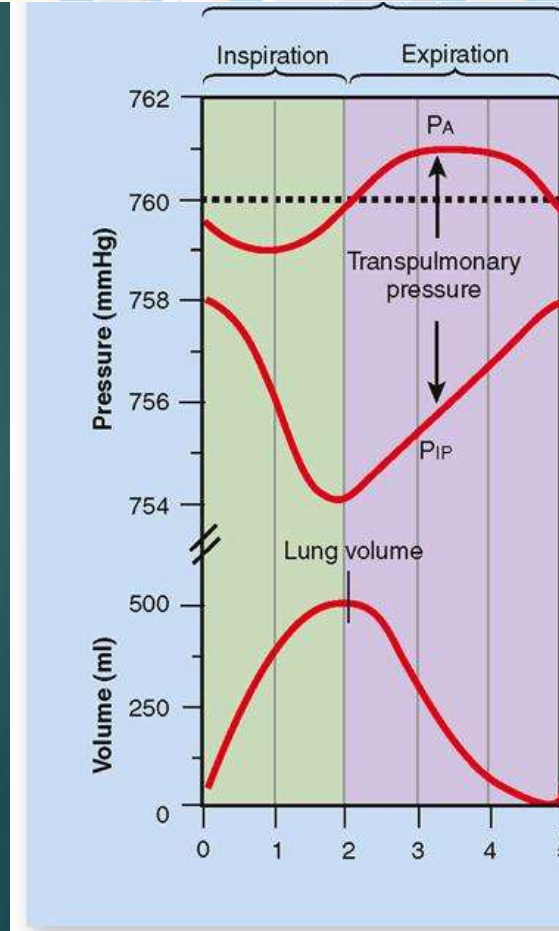
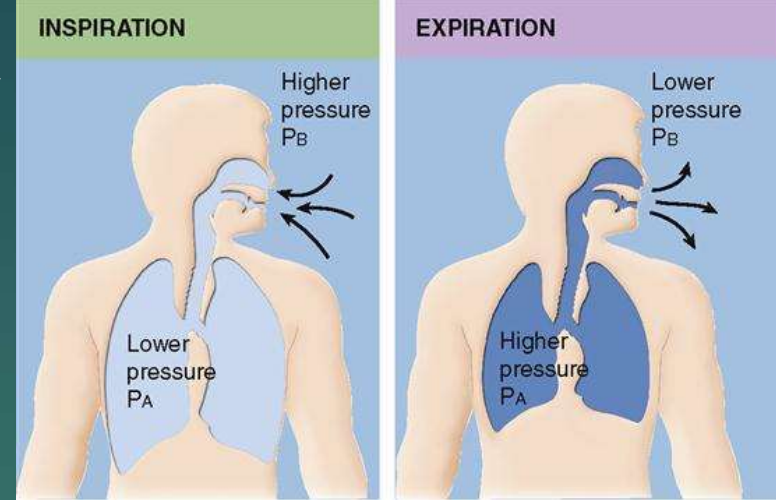
# Μεταβολές πίεσης (αναπνοή)

- ▶ Διαφορά πίεσης μεταξύ της κυψελιδικής και της ενδοθωρακικής πίεσης (**διαπνευμονική πίεση**,  $P_L = P_A - P_{pl}$ ). Σε κατάσταση ηρεμίας η  $P_A$  είναι ίση με την ατμοσφαιρική (θεωρείται ίση με 0). Άρα η  $P_L$  είναι θετική ( $P_A=0$ ,  $P_{pl}=-5$ , συνεπώς  $P_L = 0 - (-5) = 5 \text{ cm H}_2\text{O}$ ).
- ▶ Όσο περισσότερο αυξάνεται η διαπνευμονική πίεση τόσο περισσότερο μπορούν να εκπτύσσονται οι πνεύμονες (αντισταθμίζει την τάση τους να μικρύνουν λόγω ελαστικής επαναφοράς)

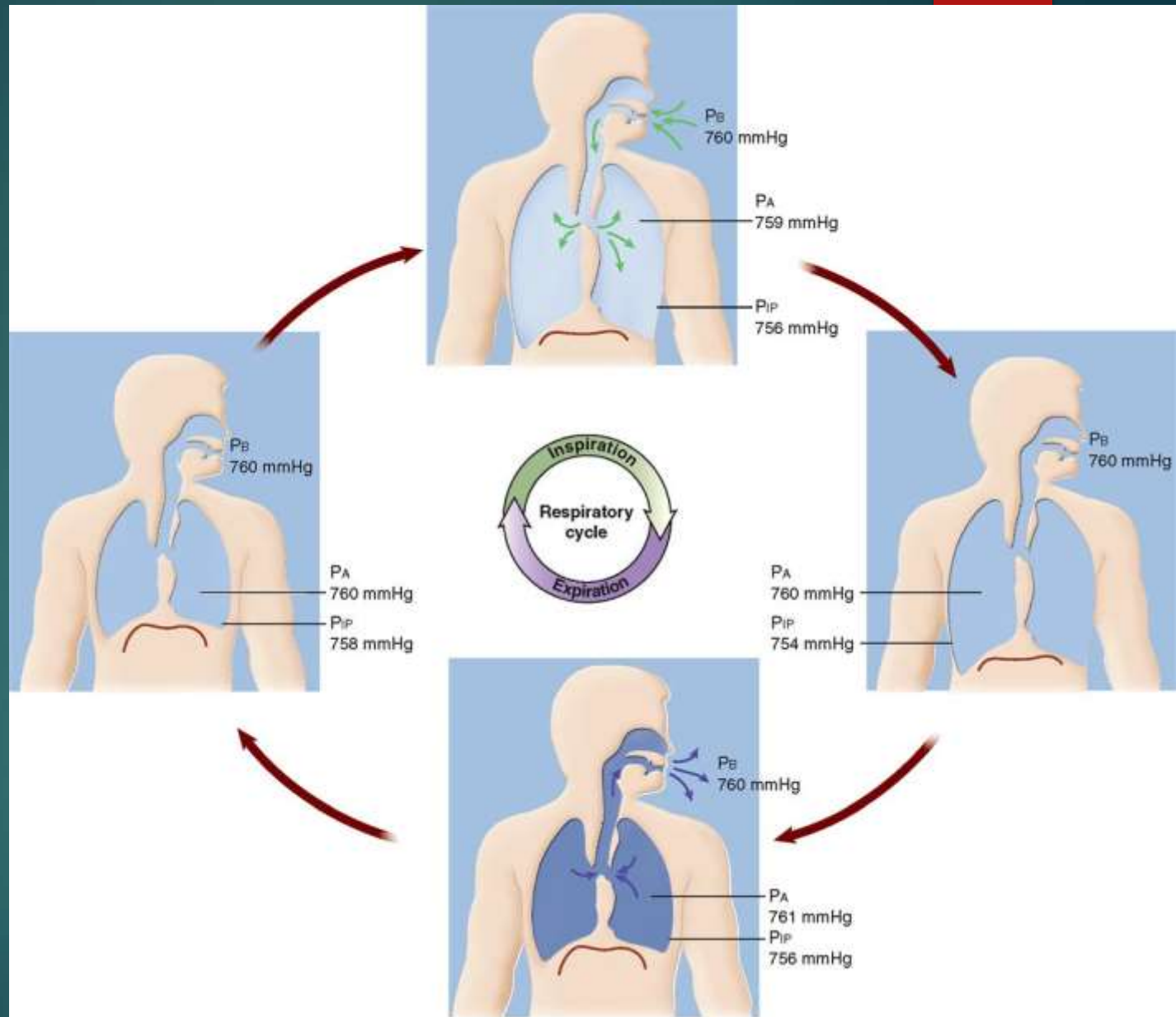


# Μηχανική αναπνοής

- ▶ Η ύπαρξη μιας διαφοράς πίεσης (βαθμίδωση πίεσης) οδηγεί τον αέρα να κινηθεί από τα έξω (υψηλότερη πίεση) προς τα μέσα (χαμηλότερη πίεση). Έτσι προκαλείται η ροή του αέρα (**αερισμός**) και η **εισπνοή**.
- ▶ Η εισροή αέρα οδηγεί στην πληρότητα και συνεπακόλουθη χαλάρωση των μυών -> οι πνεύμονες και το θωρακικό τοίχωμα έχουν την τάση να επιστρέψουν στο αρχικό τους μέγεθος λόγω ελαστικότητας (**σαν ένα ελατήριο**)
- ▶ Ο όγκος μειώνεται, συνεπώς αυξάνεται η πνευμονική πίεση (Νόμος του Boyle) και συνεπακόλουθα μείωση της ενδοπνευμονικής πίεσης) η οποία οδηγεί σε αλλαγή της βαθμίδωσης (υψηλότερη μέσα και χαμηλότερη έξω) με αποτέλεσμα ο αέρας να κινείται προς τα έξω (**εκπνοή**)



- ▶ Στο τέλος της εκπνοής, η πίεση του αέρα στην ατμόσφαιρα = πίεση αέρα στις κυψελίδες (760 mm Hg) -> **δεν υπάρχει είσοδος ή έξοδος αέρα από τους πνεύμονες**



# Μεταβολές πιέσεων (σύνοψη)

| Φάση                    | PIP<br>(ενδοθωρακική) | PA<br>(κυψελιδική) | PB<br>(ατμοσφαιρική) | Περιγραφή                                                                                                                           |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Εισπνοή (αρχή)</b>   | 758                   | 760                | 760                  | Το διάφραγμα είναι χαλαρό → μικρός θωρακικός όγκος. $PIP < PA$ κρατά τις κυψελίδες ανοιχτές. Εφόσον $PA = PB$ δεν υπάρχει ροή αέρα. |
| <b>Εισπνοή (ενεργή)</b> | 756                   | 759                | 760                  | Το διάφραγμα συσπάζεται → ↑ όγκος → ↓ PIP → ↓ PA. Τώρα $PA < PB$ → ο αέρας εισέρχεται στους πνεύμονες.                              |
| <b>Εισπνοή (τέλος)</b>  | 754                   | 760                | 760                  | Οι κυψελίδες γεμίζουν → $PA = PB$ → σταματά η ροή αέρα. Το σύστημα ετοιμάζεται για εκπνοή.                                          |
| <b>Εκπνοή (αρχή)</b>    | 754                   | 760                | 760                  | Το διάφραγμα είναι ακόμα σε μέγιστη σύσπαση. $PA = PB$ → δεν υπάρχει ροή.                                                           |
| <b>Εκπνοή (ενεργή)</b>  | 756                   | 761                | 760                  | Το διάφραγμα χαλαρώνει → ελαστική επαναφορά → ↑ PIP και ↑ PA. Τώρα $PA > PB$ → ο αέρας εξέρχεται.                                   |
| <b>Εκπνοή (τέλος)</b>   | 758                   | 760                | 760                  | Πλήρης χαλάρωση → σταθερός όγκος → $PA = PB$ → σταματά η ροή. Έτοιμο για νέα εισπνοή.                                               |

# Συνοπτικά βήματα

## ► Μηχανισμός του αερισμού

Συστολή αναπνευστικών μυών



Θωρακική κοιλότητα εκπτύσσεται



Ενδοθωρακική πίεση γίνεται πιο αρνητική



Αύξηση της διαπνευμονικής πίεσης



Οι πνεύμονες εκπτύσσονται



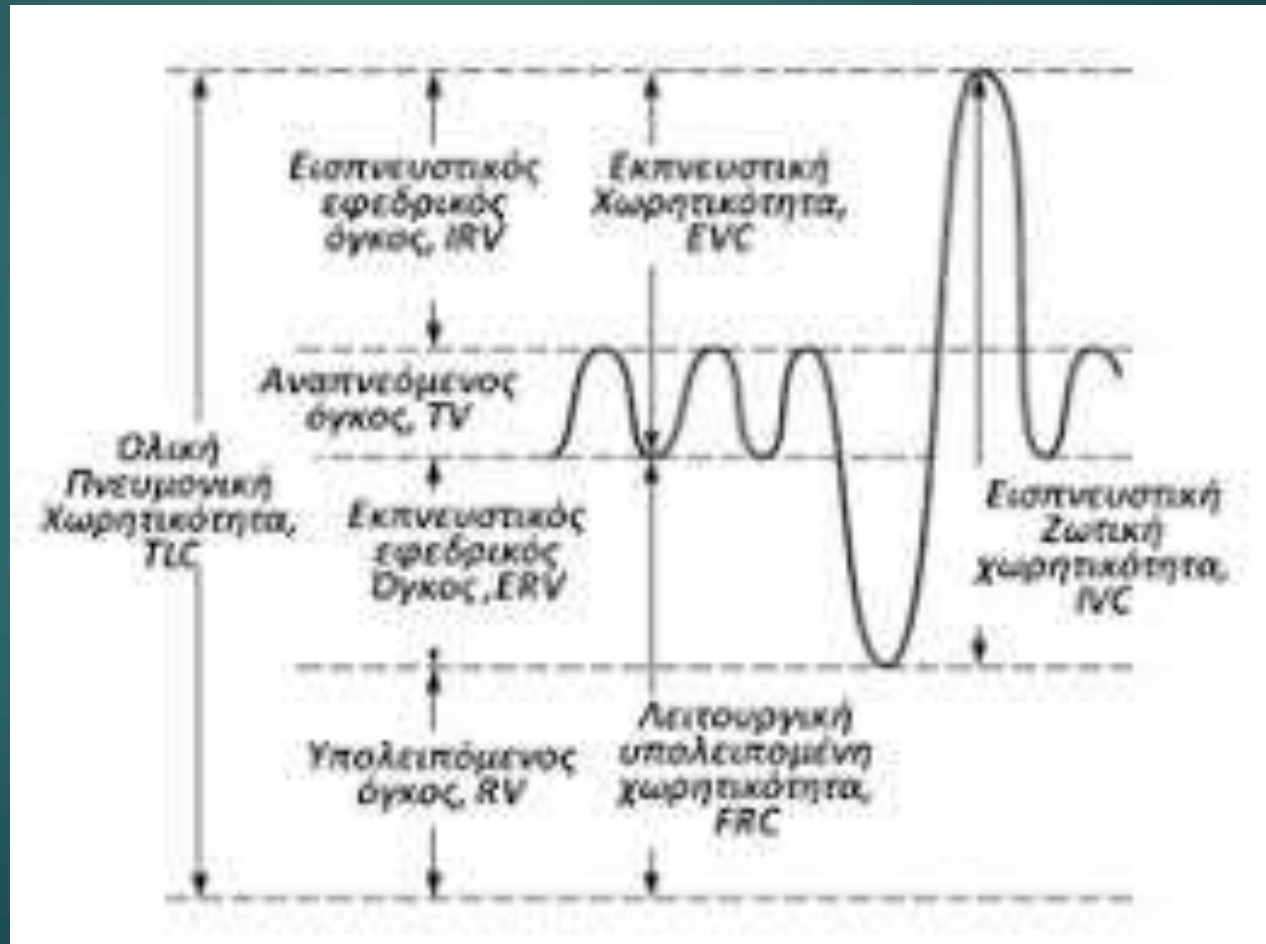
Κυψελιδική πίεση μειώνεται (υποατμοσφαιρική)



Εισροή αέρα μέχρι η κυψελιδική πίεση να υπερβεί την ατμοσφαιρική και στη συνέχεια να εξισορροπήσουν

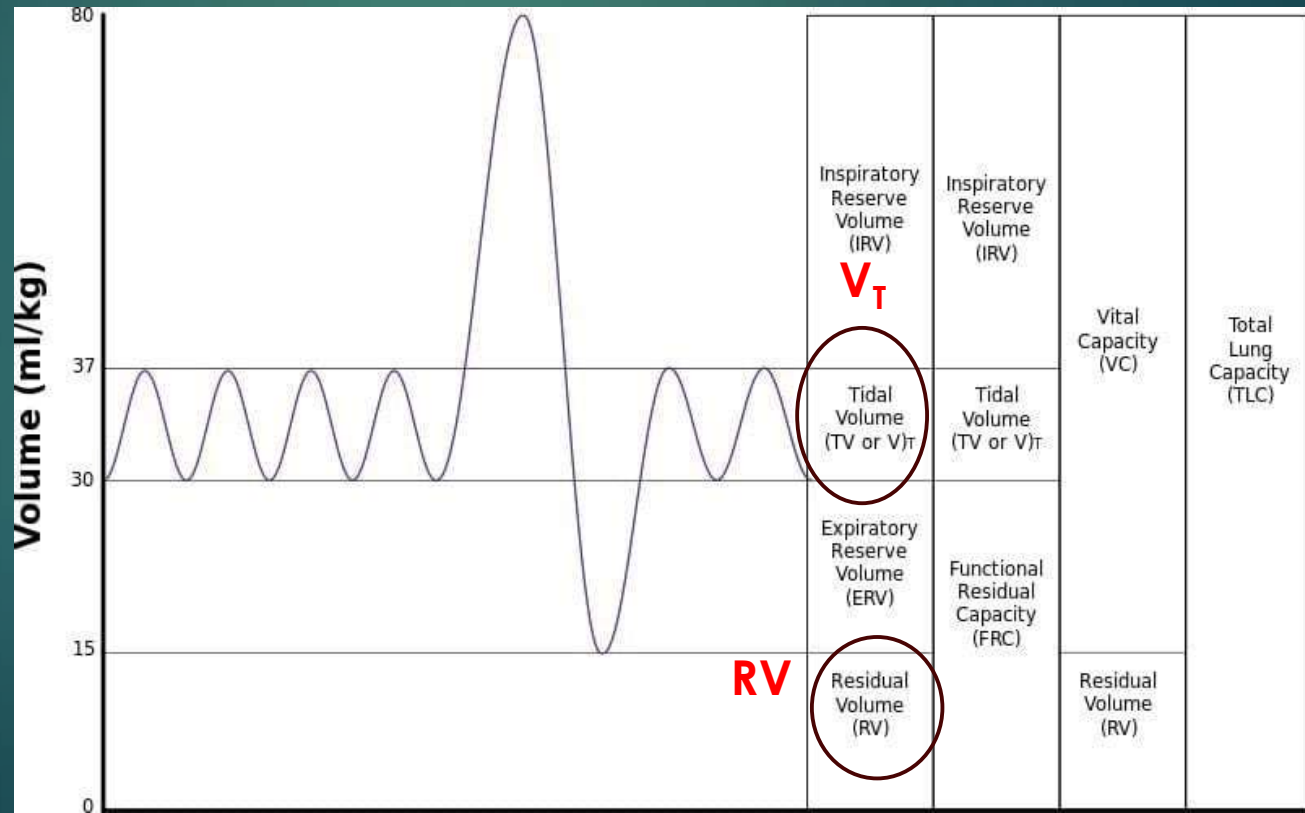
# Όγκοι πνευμόνων – χωρητικότητα

- **Σπироμετρία:** συνηθέστερη πνευμονική λειτουργική δοκιμασία η οποία μετράει τον **όγκο και την ταχύτητα του αέρα** που εισπνέεται και εκπνέεται.



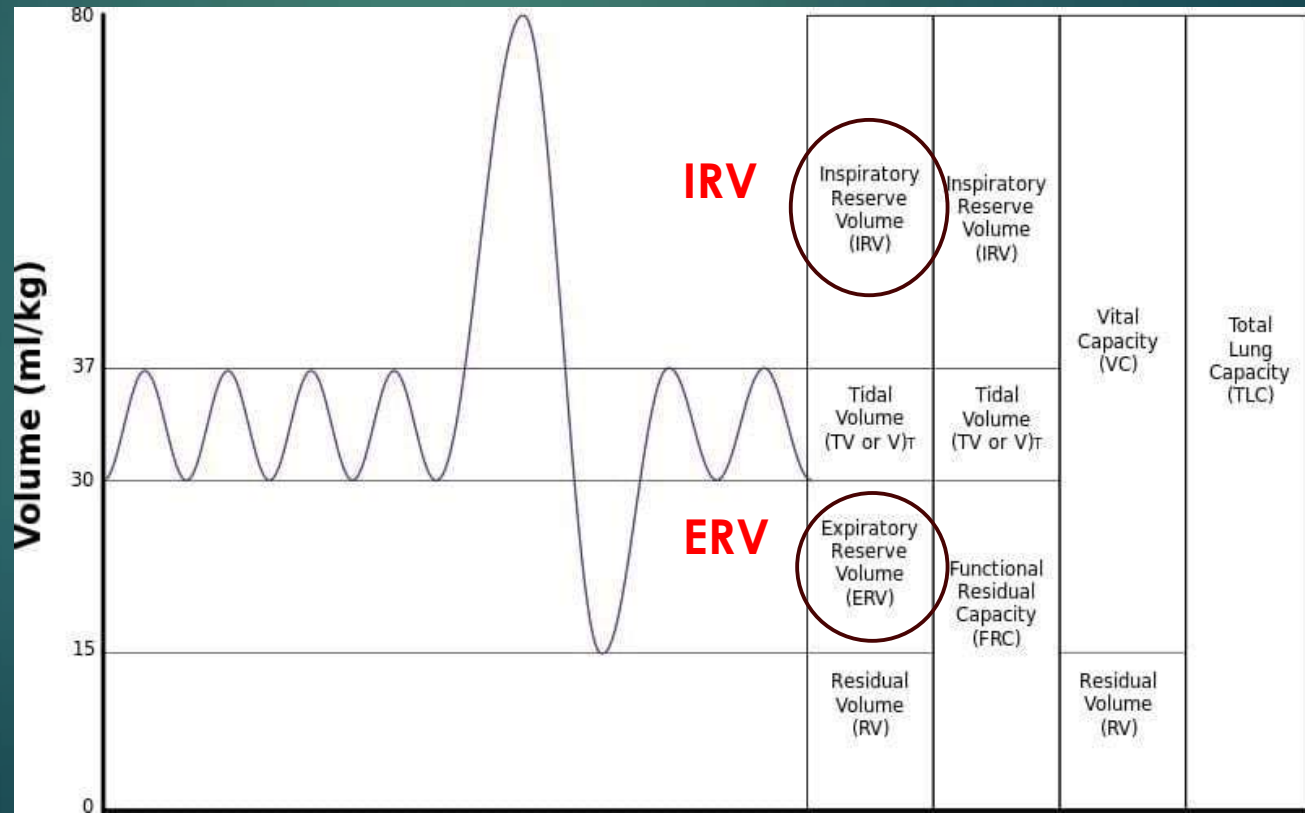
# Όγκοι πνευμόνων – χωρητικότητα

- ▶ **4 όγκοι + 4 χωρητικότητες (άθροισμα πολλαπλών όγκων)**
- ▶ **Αναπνεόμενος όγκος ( $V_T$ ):** υπό συνθήκες ηρεμίας ο όγκος του αέρα που εξέρχεται (~500ml)
- ▶ **Υπολειπόμενος όγκος (RV):** όγκος αέρα που παραμένει στους πνεύμονες μετά το τέλος της μέγιστης εκπνοής (~1,3 L)



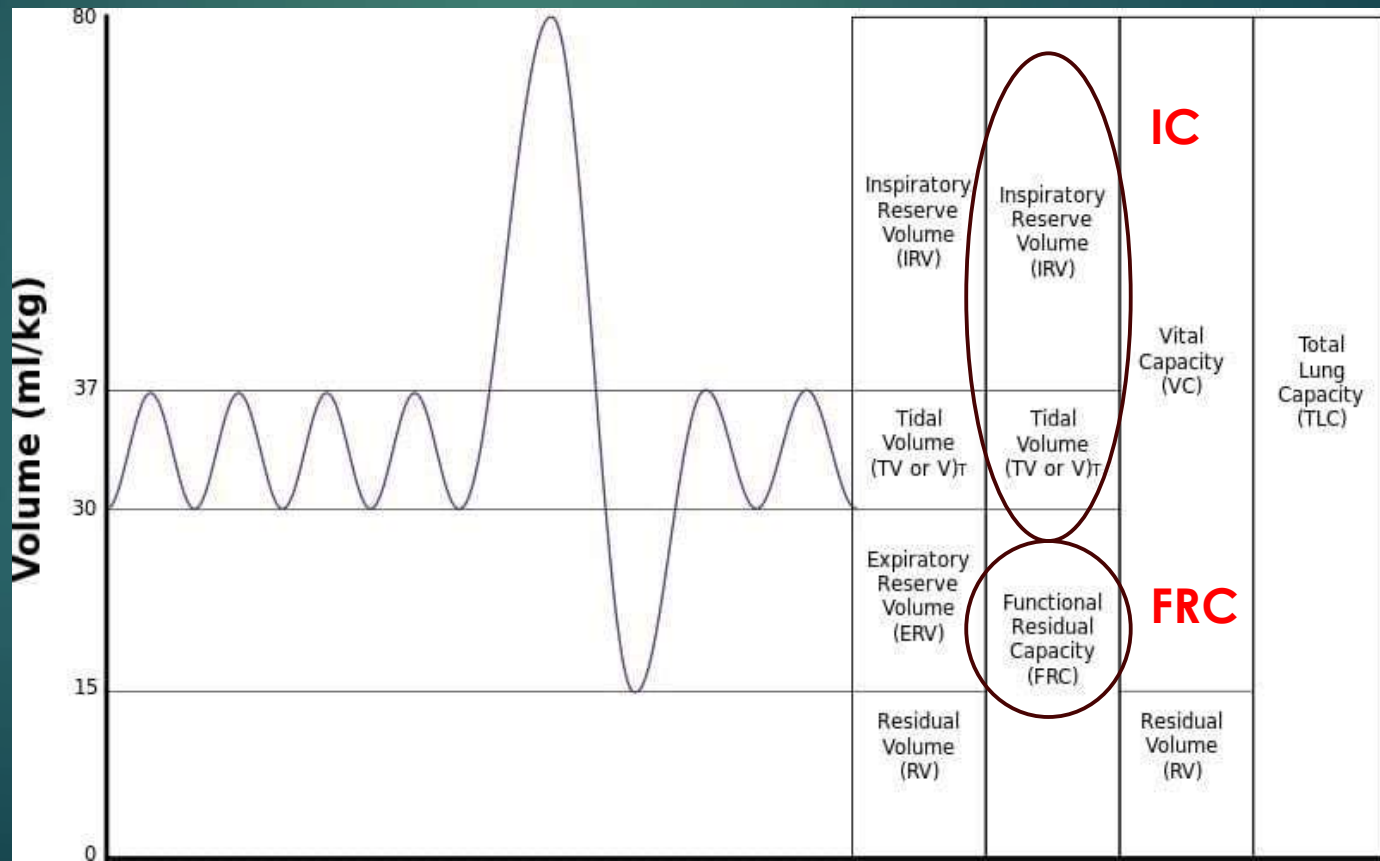
# Όγκοι πνευμόνων – χωρητικότητα

- ▶ **Εισπνευστικός εφεδρικός όγκος (IRV):** μέγιστο ποσό αέρα που μπορεί να εισπνεύσει ένα άτομο πάνω από την λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα και τον αναπνεόμενο όγκο (~2 L)
- ▶ **Εφεδρικός εκπνευστικός όγκος (ERV):** μέγιστο ποσό αέρα που μπορεί να εκπνεύσει ένα άτομο από το επίπεδο ηρεμίας (~1 L)



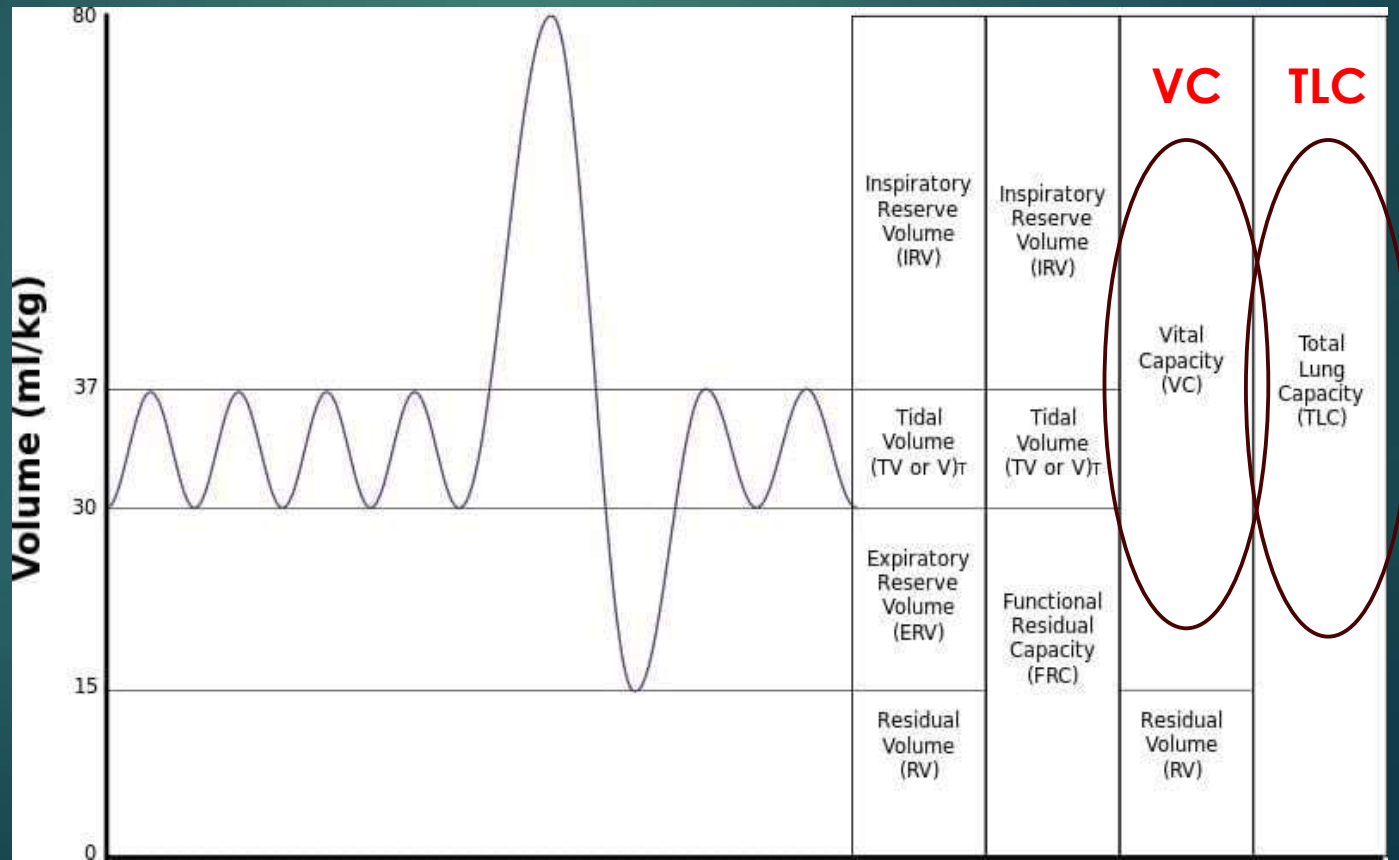
# Όγκοι πνευμόνων – χωρητικότητα

- ▶ **Λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα (FRC):** όγκος του αέρα που παραμένει στους πνεύμονες στο τέλος της εκπνοής (ERV+RV) (~2,5L)
- ▶ **Εισπνευστική χωρητικότητα (IC):** υπό συνθήκες ηρεμίας ο όγκος του αέρα που εξέρχεται (IRV+V<sub>T</sub>) (~500ml)



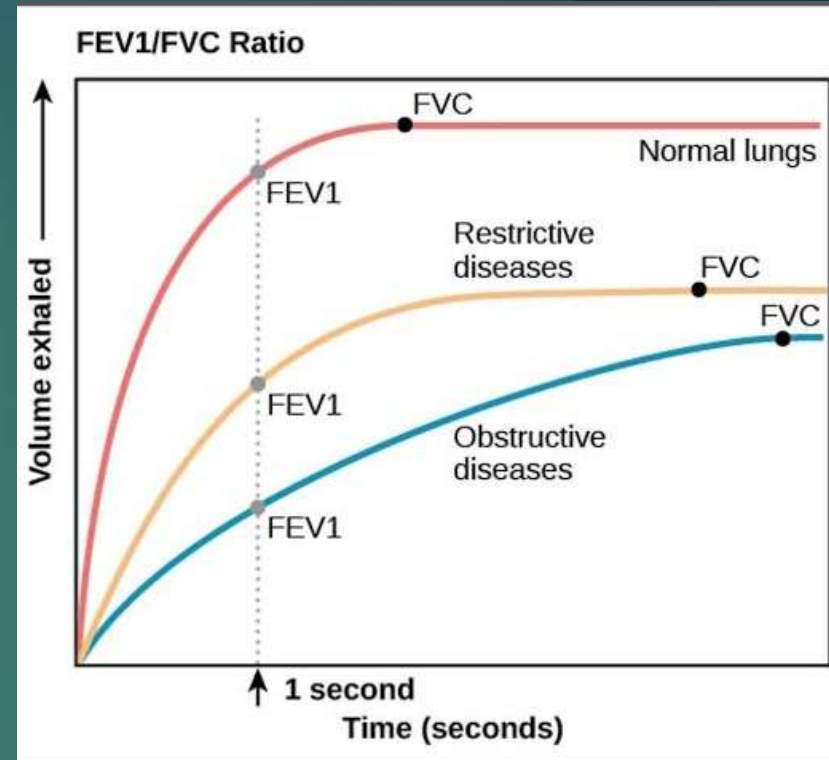
# Όγκοι πνευμόνων – χωρητικότητα

- ▶ **Ζωτική χωρητικότητα (VC):** μέγιστο ποσό αέρα που μπορεί να εκπνεύσει ένα άτομο μετά από πλήρη διάταση του πνεύμονα ή μετά από μια μέγιστη εισπνευστική προσπάθεια ( $V_T + IRV + ERV$ )
- ▶ **Ολική χωρητικότητα (TLC):** μέγιστο ποσό αέρα στους πνεύμονες στο τέλος της εισπνοής (~5 L) (υγιής ενήλικος άνδρας)

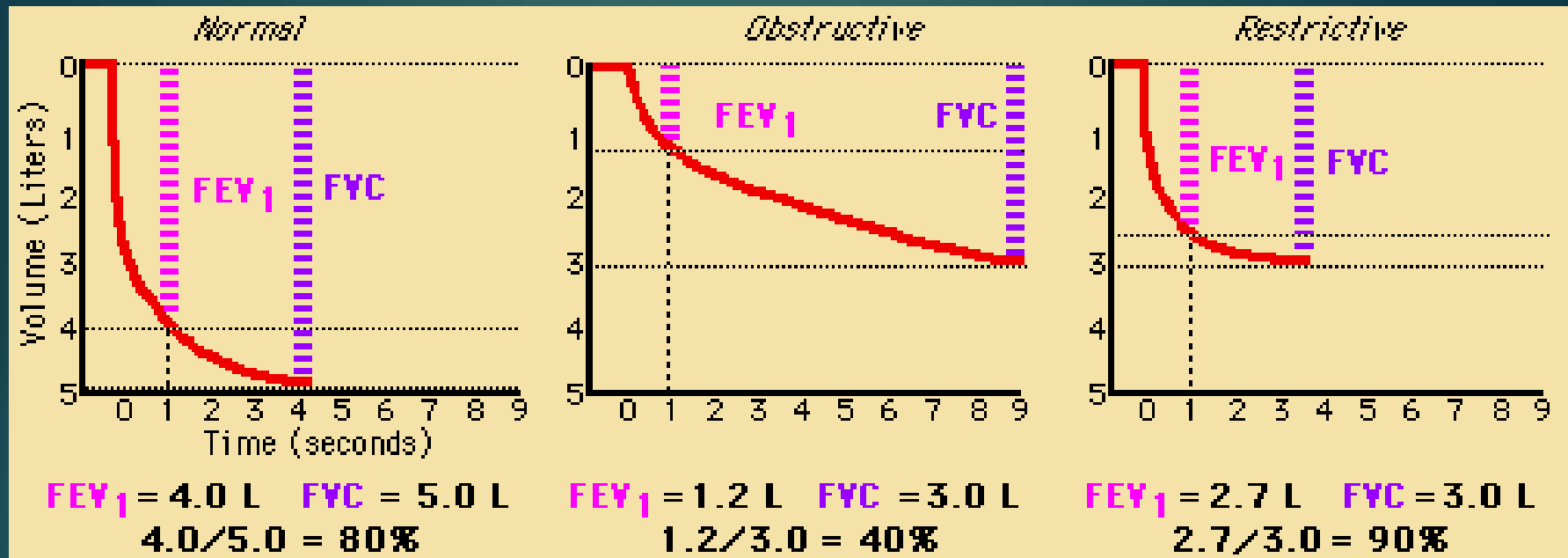


# Δυναμική ζωτική χωρητικότητα

- ▶ **FVC (δυναμική ζωτική χωρητικότητα)**: το άτομο μετά από μια δυνατή εισπνοή, εκπνέει στο σπιρόμετρο όσο πιο δυνατά, γρήγορα και ολοκληρωτικά μπορεί (~5 L, ισούται με την VC)
- ▶ Άμεση μέτρηση όγκου χωρητικότητας – δείκτης πνευμονικής λειτουργίας
- ▶ **FEV1 (ποσοστό ζωτικής χωρητικότητας που εκπνέεται κατά την διάρκεια του 1<sup>ου</sup> δευτερολέπτου μιας βίαιης εκπνοής)**
- ▶ Εκτιμάται ως % FVC ( $FEV1/FVC = 0.8$  φυσιολογικά)



# Δυναμική ζωτική χωρητικότητα



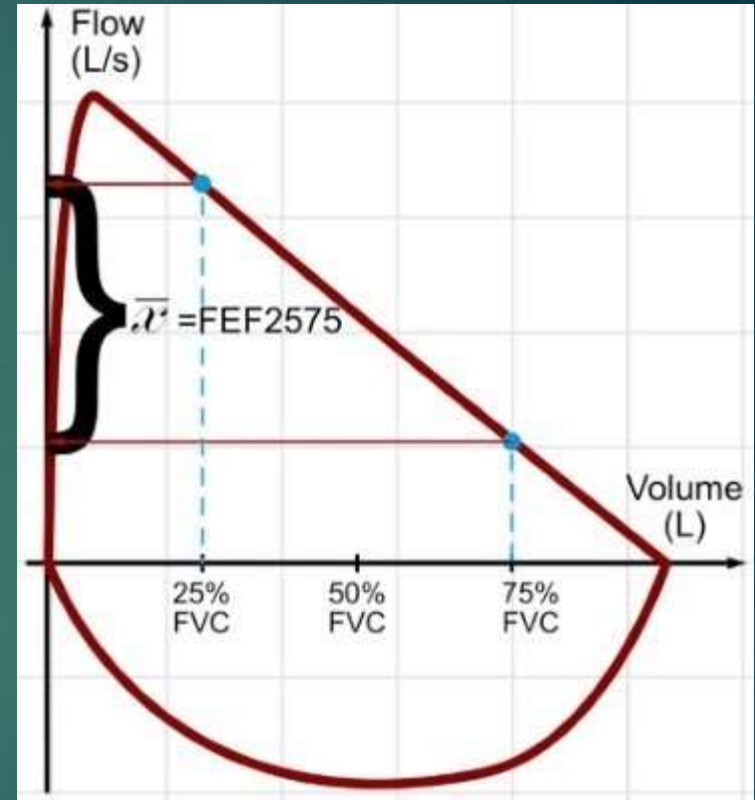
Φυσιολογική εικόνα

Απόφραξη στην εκπνοή (αεραγωγοί στενωμένοι) ο ρυθμός ροής βίαιας εκπνοής μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα και ο λόγος να είναι μειωμένος (π.χ. άσθμα, ΧΑΠ)

Περιορισμός στην εισπνοή (μειωμένος συνολικός όγκος) όπου μειώνεται η έκπτυξη των πνευμόνων (μειωμένα TLC, RV) (π.χ. πνευμονική ίνωση)

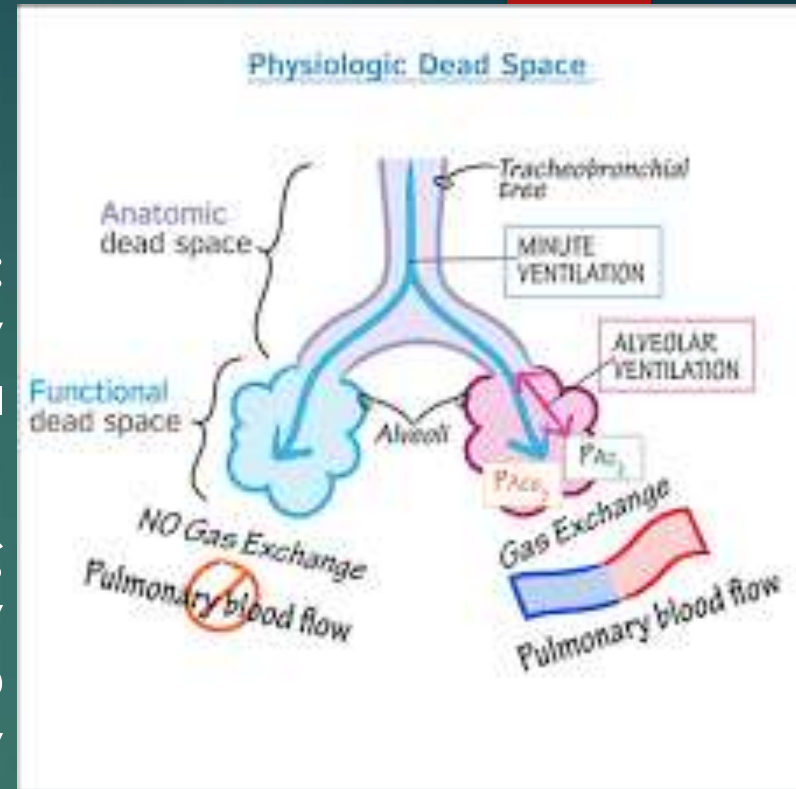
# Δυναμική ζωτική χωρητικότητα

- ▶ **FEV<sub>25-75</sub>** (ρυθμός ροής βίαιης εκπνοής): ρυθμός της εκπνευστικής ροής στο μέσο της FVC (μεταξύ 25% και 75%)
- ▶ Υπολογίζονται τα σημεία της FVC που αντιστοιχούν στο 25% και 75% του όγκου (μέτρηση όγκου, χρονικού διαστήματος μεταξύ των δύο σημείων, και εκφράζεται σε L/s)



# Νεκρός χώρος

- ▶ **Ανατομικός νεκρός χώρος ( $V_D$ ):** περίπου το 30% δεν συμμετέχει στην διαδικασία ανταλλαγής αερίων και εγκλωβίζεται στους αεραγωγούς
- ▶ **Κυψελιδικός νεκρός χώρος:** ο αέρας που διανέμεται σε κυψελίδες που έχουν μειωμένη αιματική ροή ή αυτός που βρίσκεται σε περίσσεια (υπερβαίνει τον αέρα που χρειάζεται για να γίνει η ανταλλαγή αερίων)
- ▶ Το άθροισμα τους δίνει τον **λειτουργικό νεκρό χώρο**
- ▶ Φυσιολογικές τιμές  $V_D/V_T = 0,2-0,35$
- ▶ Μια εισπνοή αποφέρει περίπου 500 ml συνεπώς, ο  $V_D$  είναι περί τα 175 ml ( $500 \times 0,35$ )



**Κυψελιδικός αερισμός (πόσος αέρας φθάνει στις κυψελίδες):**  
 $V_A = (V_T - V_D) \times f$  (συχνότητα αναπνοών ~14/λεπτό)

**Οι πιο βαθιές αναπνοές οδηγούν σε καλύτερο κυψελιδικό αερισμό επειδή μειώνεται η ποσότητα που εγκλωβίζεται στον νεκρό χώρο**

# Σχέση αερισμού και $P_{aCO_2}$

**$P_{aCO_2}$  Equation:  $P_{aCO_2}$  reflects ratio of metabolic  $CO_2$  production to alveolar ventilation**

$$P_{aCO_2} = \frac{VCO_2 \times 0.863}{VA = VE - VD}$$

$VCO_2$  =  $CO_2$  production

$VE$  = minute (total) ventilation = resp. rate x tidal volume

$VD$  = dead space ventilation = resp. rate x dead space volume

0.863 converts  $VCO_2$  and  $VA$  units to mm Hg

| $P_{aCO_2}$   | Κατάσταση στο αίμα | Κατάσταση αερισμού |
|---------------|--------------------|--------------------|
| > 45 mm Hg    | υπερκαπνία         | υποαερισμός        |
| 35 - 45 mm Hg | ευκαπνία           | φυσιολογικός       |
| < 35 mm Hg    | υπόκαπνία          | υπεραερισμός       |

$P_{aCO_2}$ : πίεση  $CO_2$  στο αρτηριακό αίμα

$VA$  = κυψελιδικός αερισμός

$VE = VT$  = αναπνεόμενος όγκος

$VD$  = λειτουργικός νεκρός χώρος

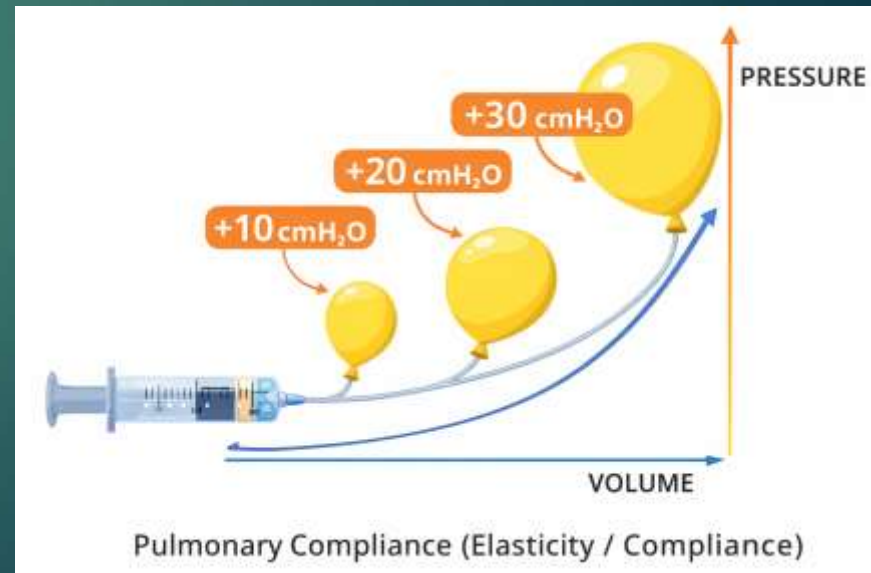
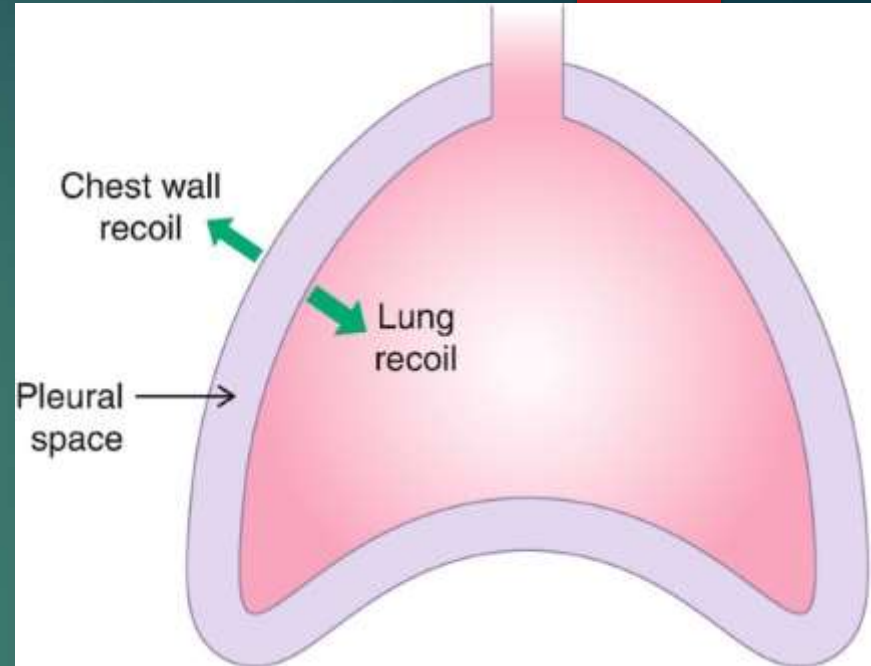
$V_{CO_2}$  = εκπνεόμενο  $CO_2$

# Μηχανική του πνεύμονα

- ▶ Το πόσο καλά ένας πνεύμονας εκπνύσσεται ή συμπνύσσεται σε μια μεταβολή της διαπνευμονικής πίεσης, **εξαρτάται από τις ελαστικές του ιδιότητες που επιτρέπουν στον πνεύμονα να επανέρχεται αφού διαταθεί**
- ▶ **Διατατότητα**, είναι η ευκολία με την οποία οι πνεύμονες εκπνύσσονται ή συμπνύσσονται
- ▶ **Αντίσταση** (δυσκαμψία) στην διάταση ή στην έκπτυξη
- ▶ **Ελαστικότητα**, η ιδιότητα του πνεύμονα να επανέλθει στον όγκο ηρεμίας
- ▶ Όσο μεγαλύτερη η αντίσταση του πνεύμονα τόσο μεγαλύτερη η ικανότητα του να επανέλθει στην αρχική του θέση (μεγαλύτερη ελαστική επαναφορά)
- ▶ Η διατατότητα και η ελαστικότητα έχουν αντίστροφη σχέση: ένας πνεύμονας που εκπνύσσεται εύκολα (μεγαλύτερη διατατότητα), έχει μικρότερη ελαστική επαναφορά

# Μηχανική του πνεύμονα

- ▶ Η διατατότητα και ελαστικότητα οφείλονται στις ελαστικές ίνες και στις ίνες κολλαγόνου: οι ελαστικές ίνες επιτρέπουν την μεγαλύτερη διατατότητα, ενώ οι ίνες κολλαγόνου αντιστέκονται στην διάταση και περιορίζουν την έκπτυξη των πνευμόνων πάνω από ορισμένο όγκο
- ▶ Όσο μεγαλύτερη μεταβολή όγκου προκαλείται από μια δεδομένη μεταβολή πίεσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η **ευενδοτότητα** ( $C = \Delta V / \Delta P$ ). Η **ευενδοτότητα** δείχνει πόσο εύκολα διατείνονται οι πνεύμονες

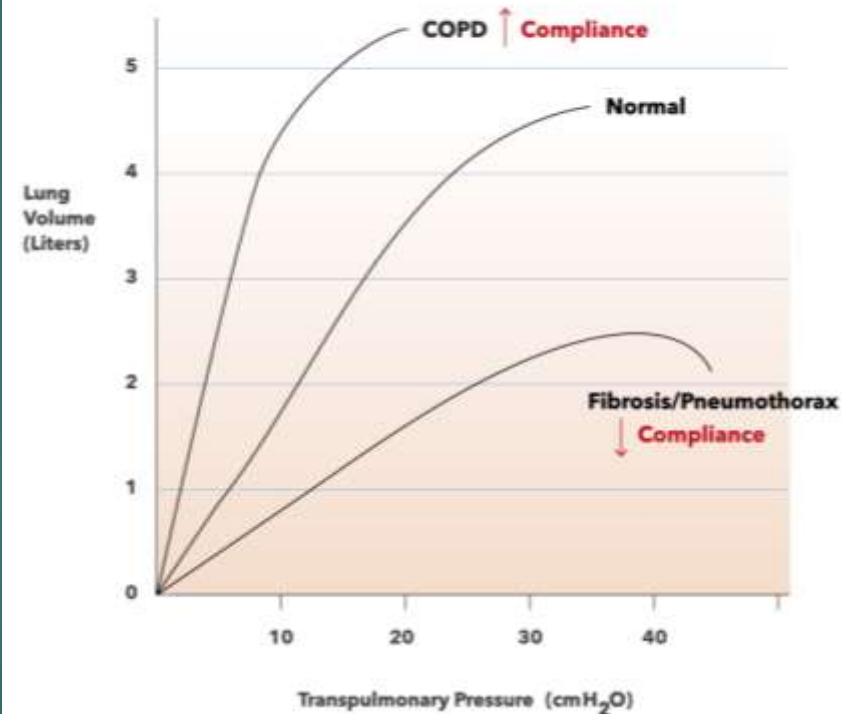


# Ευενδοτότητα

- ▶ Η ευενδοτότητα εξαρτάται από τον όγκο και το μέγεθος των πνευμόνων και την επιφανειακή τάση στο εσωτερικό των κυψελίδων
- ▶ Αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης
- ▶ Χαμηλή ευενδοτότητα σημαίνει ότι ο πνεύμονας είναι **δύσκαμπτος** -> **απαιτείται περισσότερη προσπάθεια για την έκπτυξη σε έναν φυσιολογικό όγκο αέρα (ίνωση)**
- ▶ Υψηλή ευενδοτότητα σημαίνει ότι ο πνεύμονας είναι **υπερβολικά εύκαμπτος** άρα **χαμηλότερη ελαστικότητα** -> **απαιτείται περισσότερη προσπάθεια για να φύγει ο αέρας από τους πνεύμονες (εμφύσημα, ΧΑΠ) και γι'αυτό οι ασθενείς παρουσιάζουν υψηλούς πνευμονικούς όγκους και υψηλό υπολοιπόμενο όγκο αέρα**

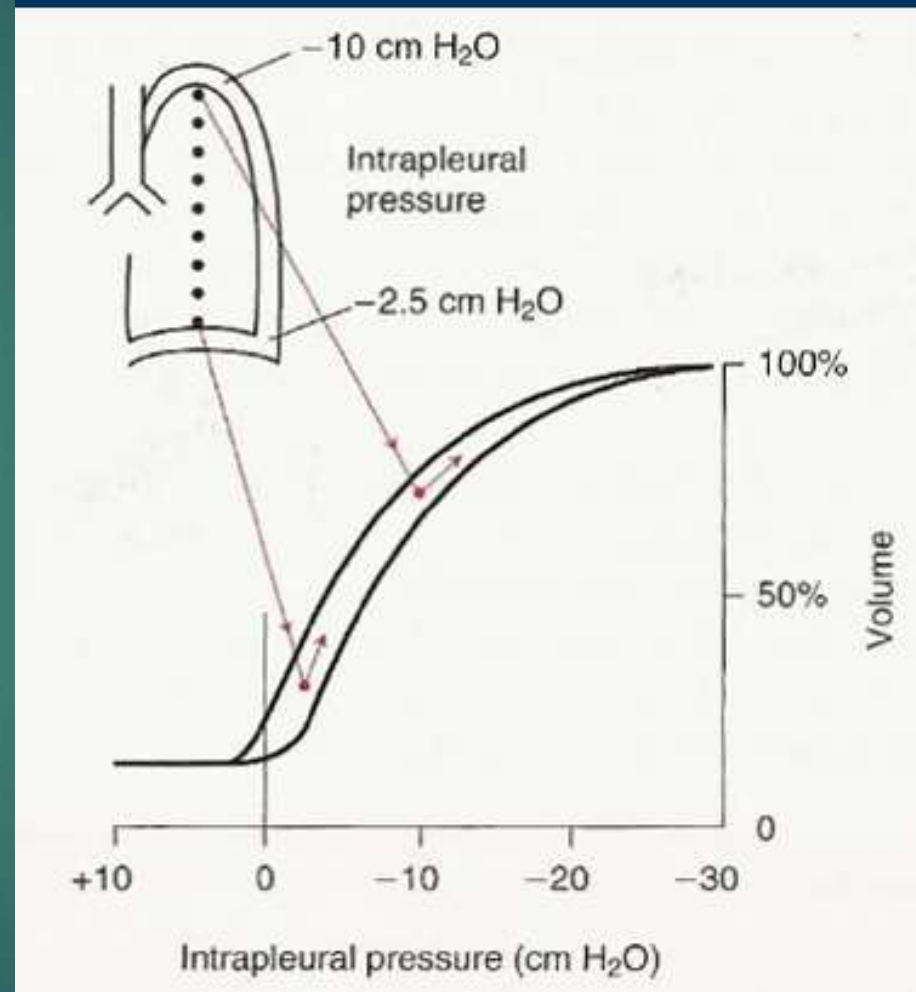
## Lung Compliance

This chart shows the expiration compliance curves for COPD/chronic obstructive pulmonary disease, normal and Fibrosis/Pneumothorax.



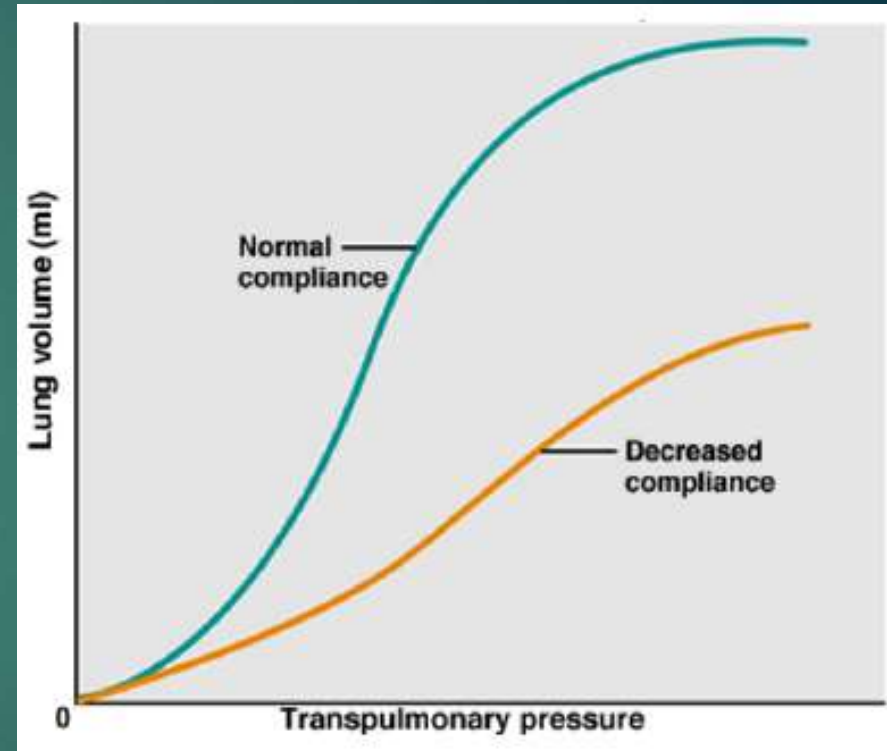
# Περιοχική ευενδοτότητα

- ▶ Ανομοιογενής κατανομή στους πνεύμονες
- ▶ Στα κορυφαία τμήματα σε όρθια θέση η ευενδοτότητα είναι μικρότερη από την βάση λόγω της χαμηλότερης ενδοθωρακικής πίεσης εξαιτίας της μικρότερης επίδρασης της βαρύτητας
- ▶ Κατά την εισπνοή ο μεγαλύτερος όγκος αέρα θα πάει προς την βάση του πνεύμονα (περισσότερο διατατή) οδηγώντας τελικά σε μεγαλύτερο αερισμό της



# Επιφανειακή τάση κυψελίδων

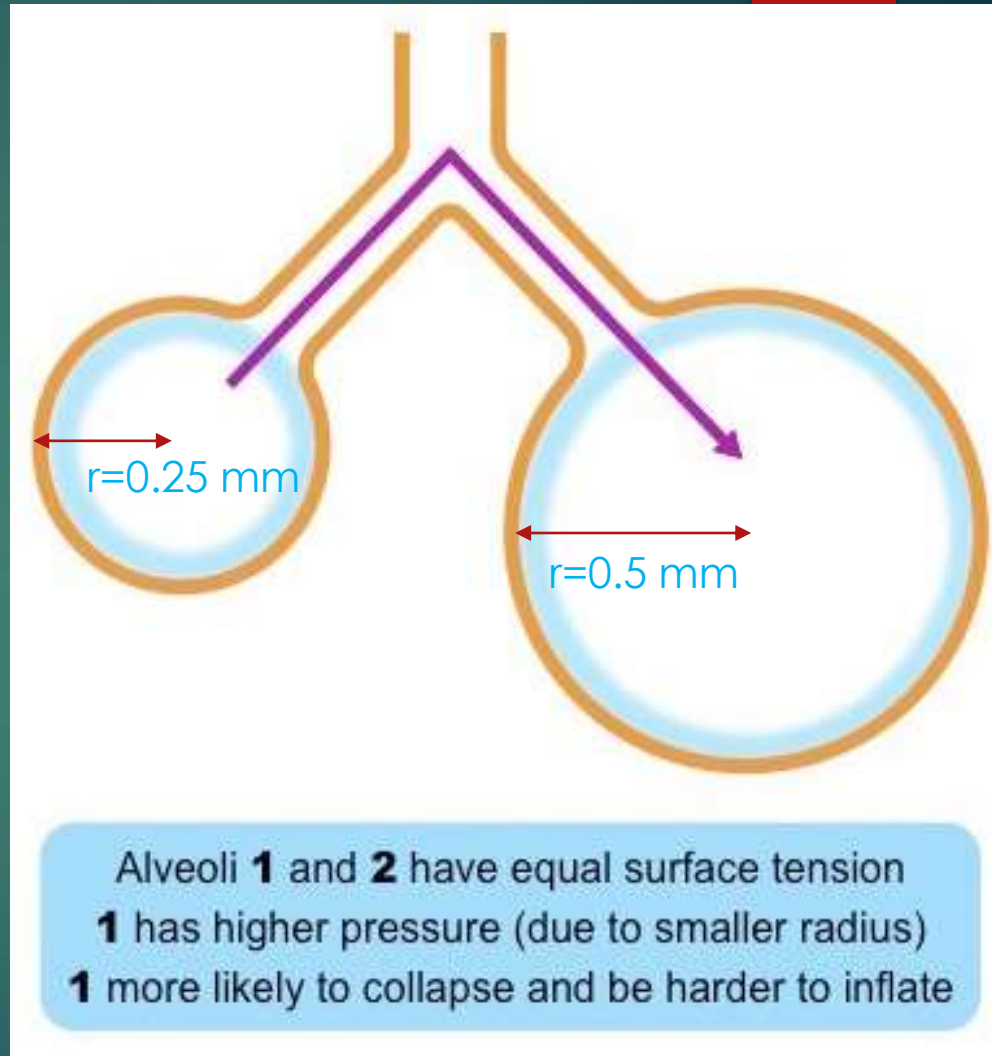
- ▶ Επηρεάζει την πνευμονική ευενδοτότητα
- ▶ Επιφάνεια κυψελίδων είναι υγρή και βρίσκεται σε επαφή με τον αέρα. Η ισχυρότερη έλξη των μορίων του νερού σε σχέση με αυτών του αέρα προκαλεί την επιφανειακή τάση (τραβάει τα τοιχώματα προς τα μέσα και προσπαθεί να μικρύνει τις κυψελίδες)
- ▶ Άρα, όσο μεγαλώνει η επιφανειακή τάση τόσο μικραίνει η ευενδοτότητα οπότε γίνεται πιο δύσκολη η έκπτυξη του πνεύμονα



# Επιφανειακή τάση κυψελίδων

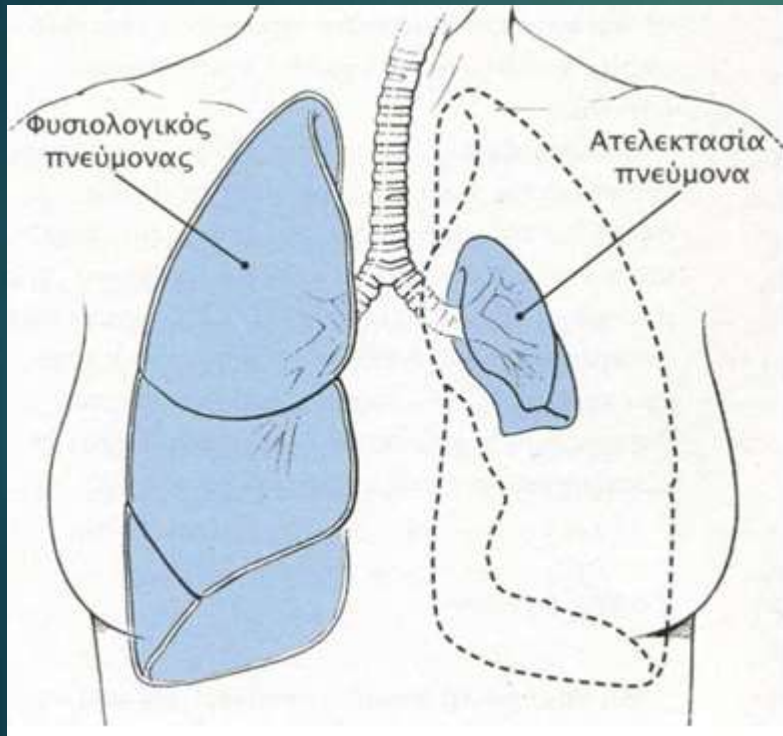
## Νόμος Laplace $P = 2T/r$

- ▶ Όπου  $T$  η επιφανειακή τάση (dyne/cm) και  $r$  η ακτίνα
- ▶ Η τάση παραμένει σταθερή ανάμεσα σε γειτονικές κυψελίδες
- ▶ Προκαλείται αστάθεια γιατί οι μικρότερες κυψελίδες έχουν μεγαλύτερη πίεση από τις μεγαλύτερες
- ▶ Αυτή η διαφορά οδηγεί τον αέρα στις μεγαλύτερες που υπερδιατείνονται ενώ οι μικρότερες συμπιπτούν ειδικά σε μικρούς όγκους πνευμόνων (**ατελεκτασία**)



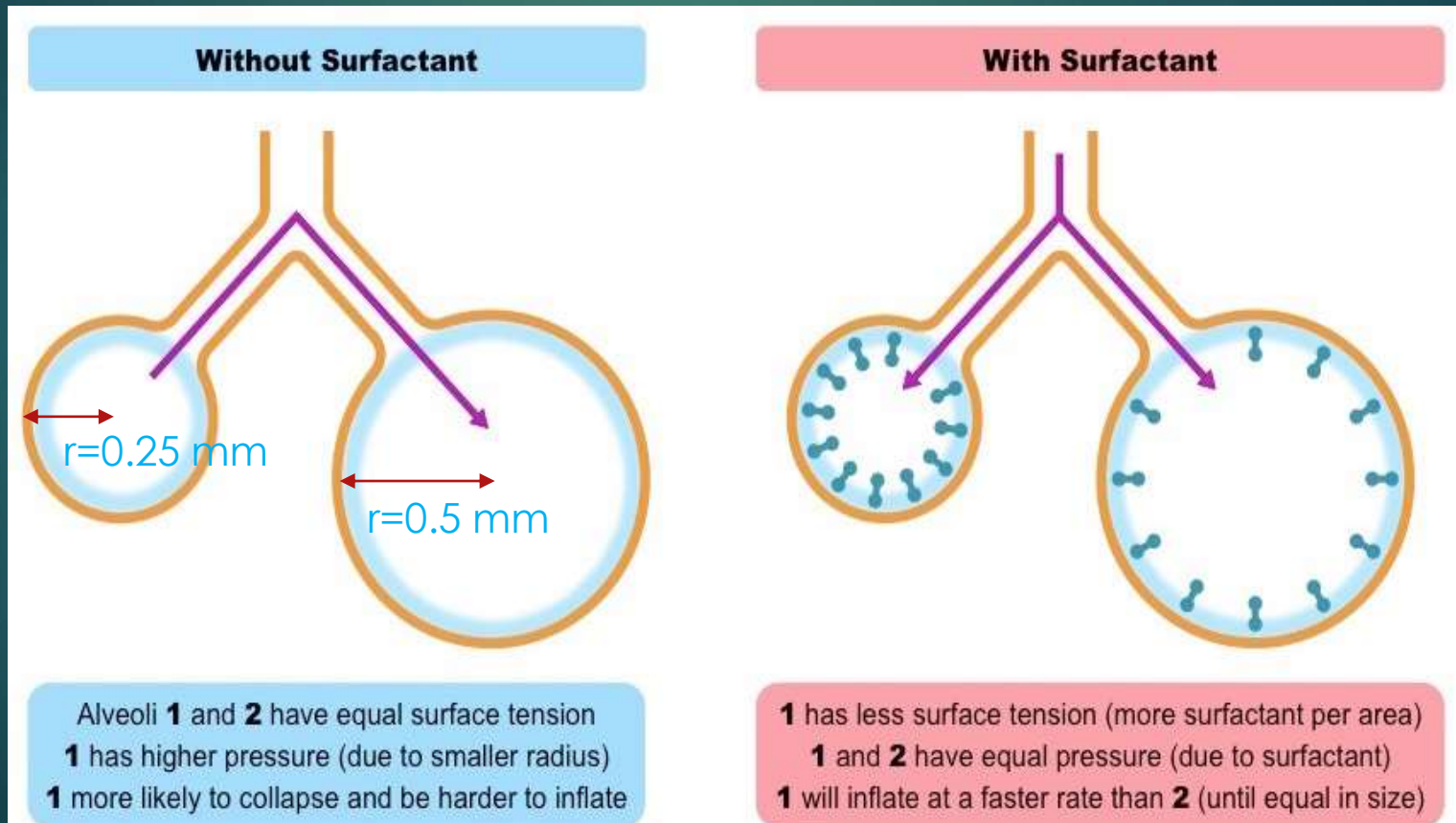
# Επιφανειακή τάση κυψελίδων

- ▶ Πως οι κυψελίδες διαφορετικού μεγέθους συνυπάρχουν;
- ▶ Πως αποτρέπεται η ατελεκτασία;



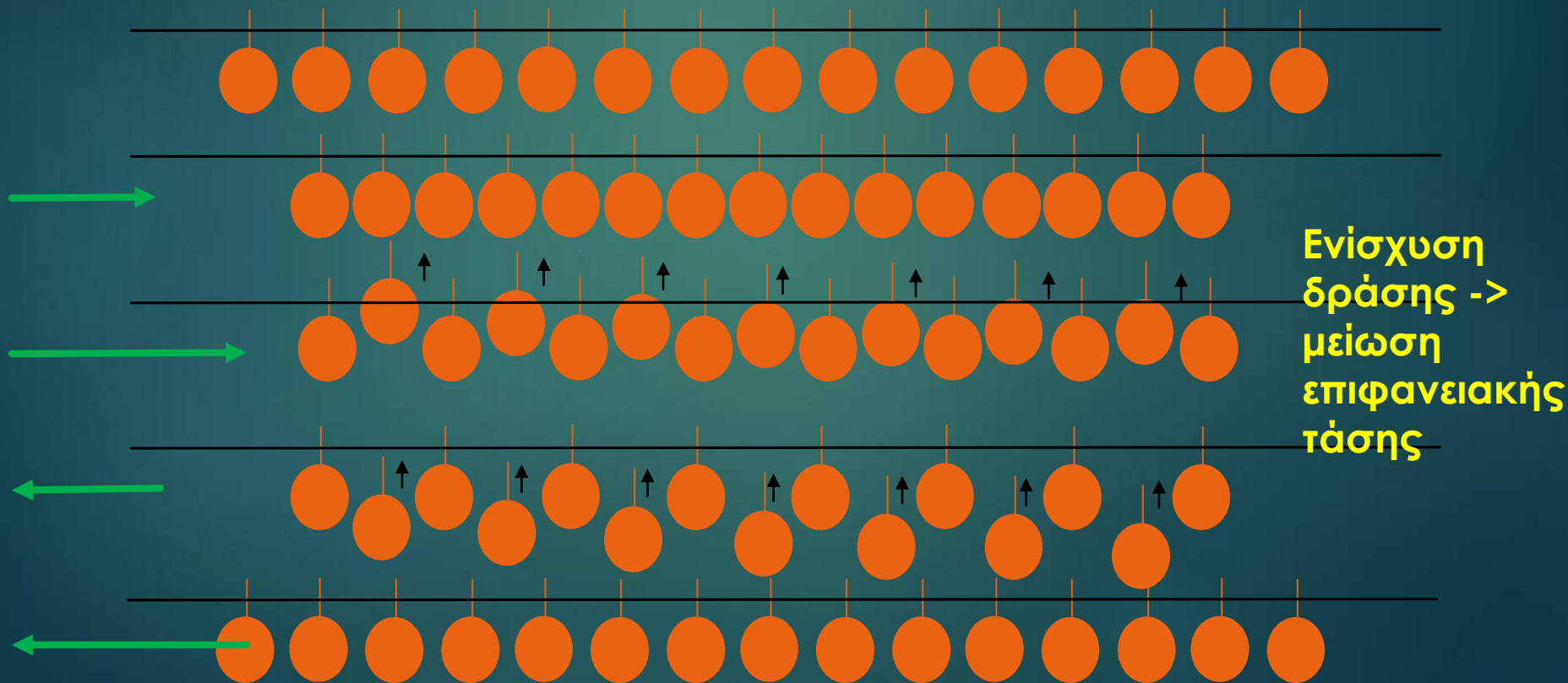
# Επιφανειοδραστικός παράγοντας

- ▶ Λιποπρωτεΐνη πλούσια σε φωσfolιπίδια (DPPC)
- ▶ Επενδύει το εσωτερικό των κυψελίδων και μειώνει την επιφανειακή τάση του υγρού στο τοίχωμα των κυψελίδων



# Επιφανειοδραστικός παράγοντας

- ▶ Μεταβάλλει την επιφανειακή τάση λόγω της αλλαγής της κυψελιδικής διαμέτρου (**πρόληψη της κυψελιδικής κατάρρευσης κατά την εκπνοή**)
- ▶ Κατά την σύμπτυξη των πνευμόνων, μόρια του επιφανειοδραστικού παράγοντα ωθείται προς τα έξω. Κατά την επόμενη εισπνοή (διάταση του πνεύμονα) νέα μόρια επενδύουν τις κυψελίδες



# Επιφανειοδραστικός παράγοντας

- ▶ Τύπου II κύτταρα (πνευμονοκύτταρα) στο κυψελιδικό επιθήλιο συσσωρεύονται γύρω από τα κυψελιδικά διαφράγματα και συνθέτουν τον επιφανειακό παράγοντα
- ▶ Στους ανθρώπους ο επιφανειακός παράγοντας εμφανίζεται αργά (34<sup>η</sup> εβδομάδα κύησης): περιπτώσεις ανώριμων πνευμόνων κατά την γέννηση όπου δεν έχει παραχθεί επαρκής ποσότητα οδηγούν σε **σύνδρομο αναπνευστικής δυσχέρειας** (κυψελίδες υψηλή επιφανειακή τάση -> εργώδης αναπνοή -> πνευμονικό οίδημα και ατελεκτασία -> ανάγκη για οξυγόνο)
- ▶ Σχετίζεται και με το πνευμονικό οίδημα (συσσώρευση υγρού από τα πνευμονικά τριχοειδή στις κυψελίδες που οδηγεί σε διαταραχή ανταλλαγής αερίων): ο επιφανειοδραστικός παράγοντας μειώνει την τάση με αποτέλεσμα να διατηρεί τις κυψελίδες ανοιχτές (αποτρέπει την κατάρρευση τους)
- ▶ ARDS (σύνδρομο οξείας αναπνευστικής δυσχέρειας): Καταστροφή επιθηλιακών & ενδοθηλιακών κυττάρων, δυσλειτουργία του επιφανειοδραστικού παράγοντα -> μείωση πνευμονικής ευενδοτότητας

# Έργο της αναπνοής



- ▶ Η αντίσταση των αεραγωγών είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου των πνευμόνων: όσο εκπνύσσεται ο πνεύμονας, τόσο μεγαλώνει η διάμετρος των αεροφόρων οδών (βρόγχοι, βρογχιόλια) που οδηγεί σε μείωση της αντίστασης στους αεραγωγούς κατά τη φάση της εισπνοής
- ▶ Μεταβολή του τόνου των λείων μυϊκών ινών οδηγεί σε μεταβολή διαμέτρου των αεροφόρων οδών, ο οποίος ελέγχεται από το ANS
- ▶ Επινεφρίνη (συμπαθητικό) προκαλεί διάταση οδών και χρησιμοποιούνται για την θεραπεία ασθματικών κρίσεων (επαγωγή βρογχοδιαστολής)

