



ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΑΕΡΙΩΝ

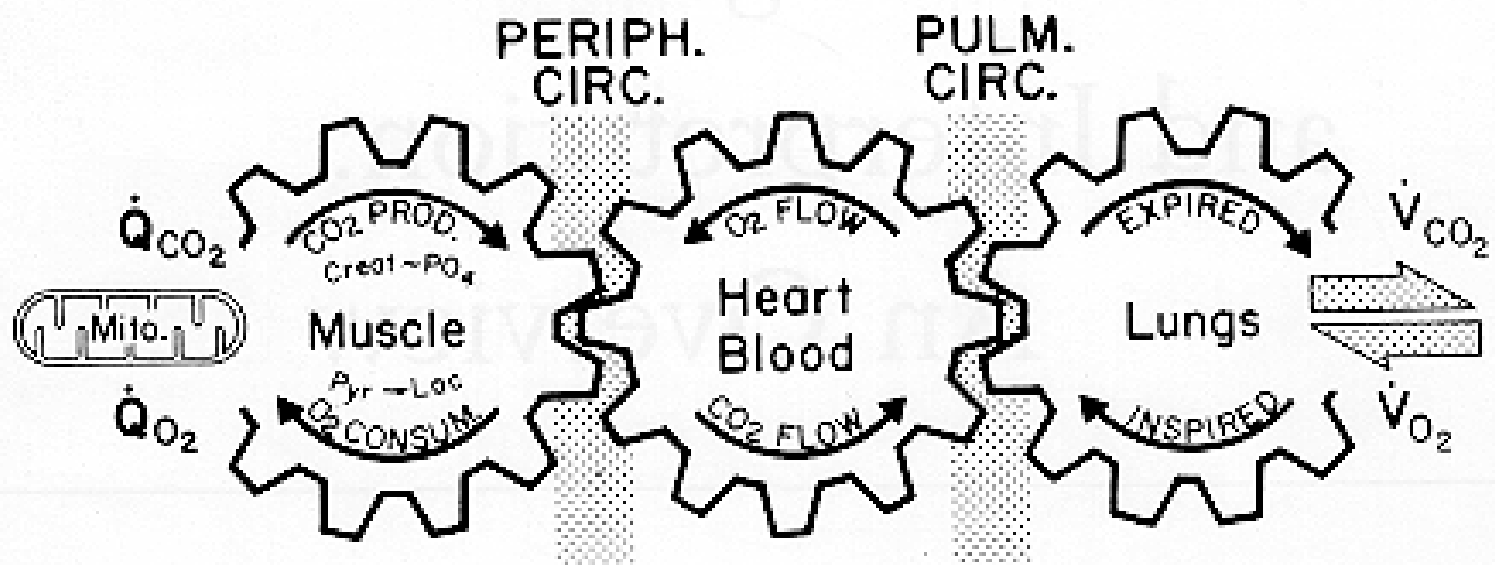
Επαμεινώνδας Κοσμάς

*Δ/ντής 3ης Πνευμον. Κλινικής
ΝΝΘΑ "Σωτηρία"*

MUSCLE
ACTIVITY

O₂ & CO₂
DELIVERY

VENTILATION
($\dot{V}_A + \dot{V}_D = \dot{V}_E$)



Physiological
Responses:

$\uparrow \dot{Q}_{CO_2}$

Dilate

$\uparrow SV$

Recruit

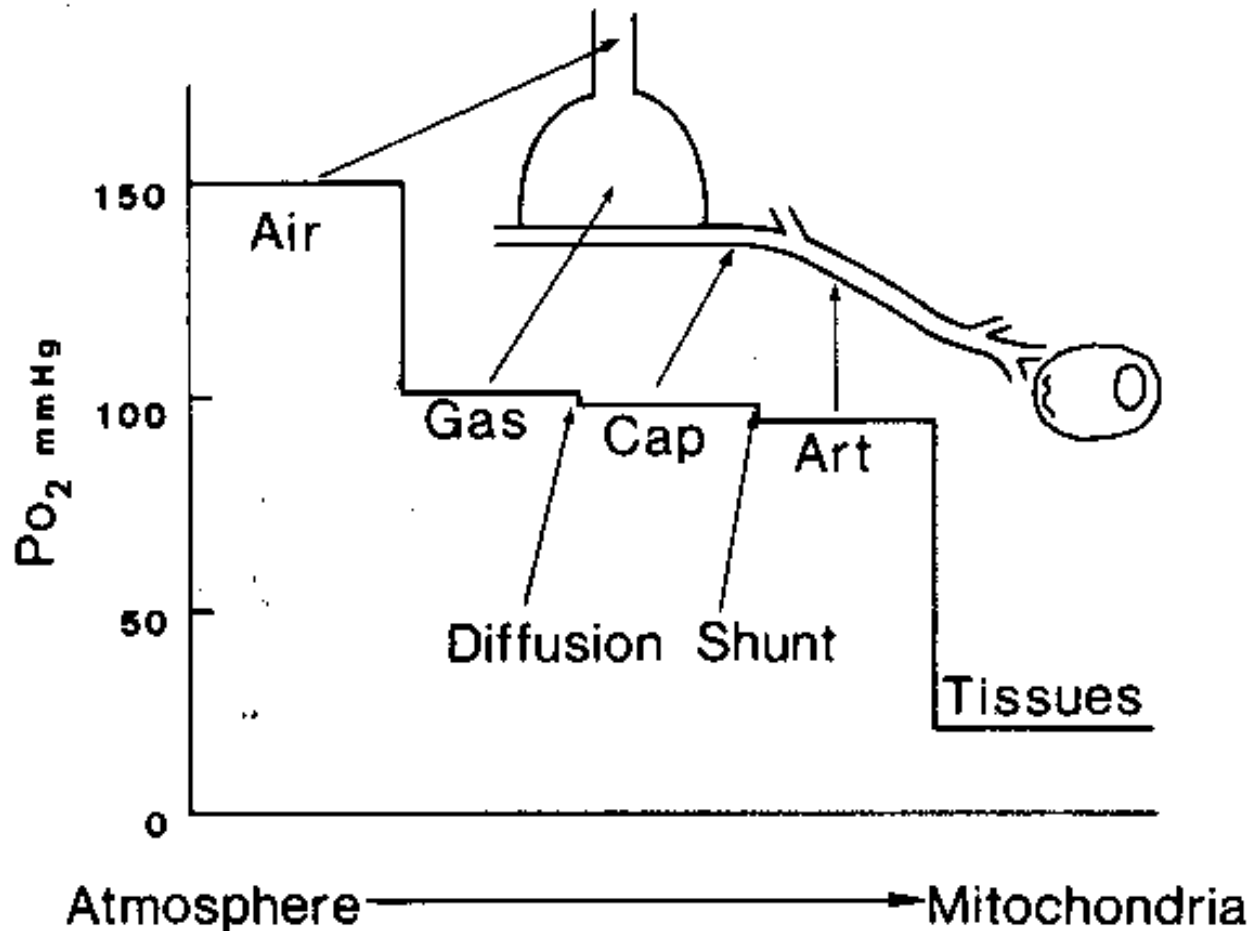
$\uparrow V_T$

$\uparrow \dot{Q}_{O_2}$

$\uparrow HR$

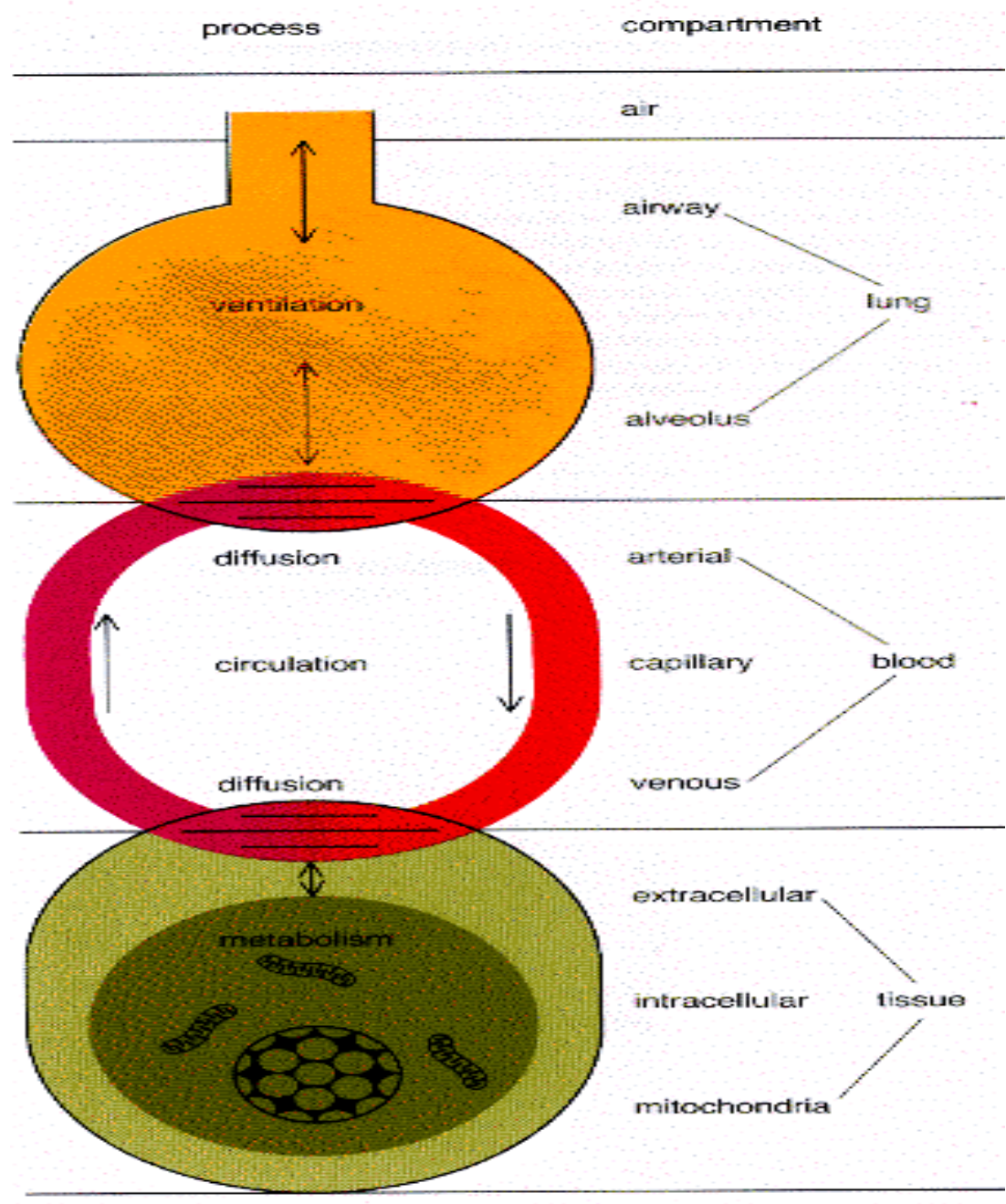
$\uparrow f$

Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ



Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΤΟΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

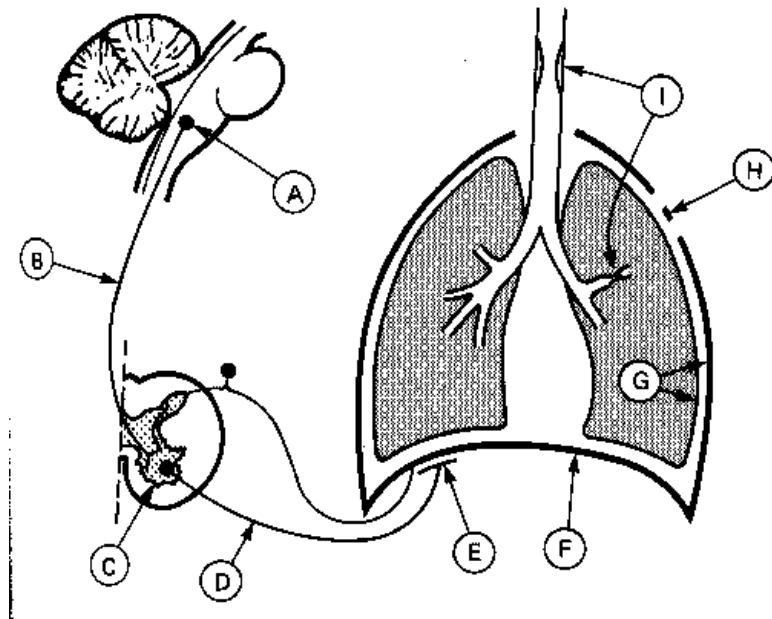
- Οξυγόνωση αρτηριακού αίματος σε πνεύμονες (πνευμονική ανταλλαγή αερίων)
 - $CaO_2 = 1.39 * Hb * SaO_2 + 0.003 * PaO_2 \approx 20 \text{ mlO}_2\%$
- Μεταφορά O₂ στην περιφέρεια
 - $DO_2 = CaO_2 * Q$
- Κατανάλωση O₂ στην περιφέρεια (ιστική ανταλλαγή αερίων)
 - $VO_2 = (CaO_2 - CvO_2) * Q$
- Φλεβική επιστροφή O₂ στους πνεύμονες
 - $VR_{O_2} = CvO_2 * Q$
- Οξυγόνωση μικτού φλεβικού αίματος
 - $CvO_2 = 1.39 * Hb * SvO_2 + 0.003 * PvO_2 \approx 15.5 \text{ mlO}_2\%$



ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

- **Βασική λειτουργία**
 - Ανταλλαγή αερίων (O₂, CO₂)
- **Τόπος**
 - Κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη
- **Μηχανισμοί ανταλλαγής αερίων**
 - Κυψελιδικός αερισμός
 - Πνευμονική (τριχοειδική) αιμάτωση
 - Παθητική διάχυση μορίων O₂ & CO₂ μεταξύ κυψελιδικού αέρα και μικτού φλεβικού αίματος του πνευμονικού τριχοειδούς

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



- **Αναπνευστική αντλία**
 - Οι δομές που συμβάλλουν στην αρνητικοποίηση της Ppl
- **Πνεύμονες (Βρόγχοι-Παρέγχυμα-Κυκλοφορία)**
 - Οι δομές που υφίστανται την αρνητικοποίηση της Ppl
 - Ανταλλαγή αερίων
 - Αερισμός
 - Αιμάτωση
 - Διάχυση

ΑΕΡΙΣΜΟΣ

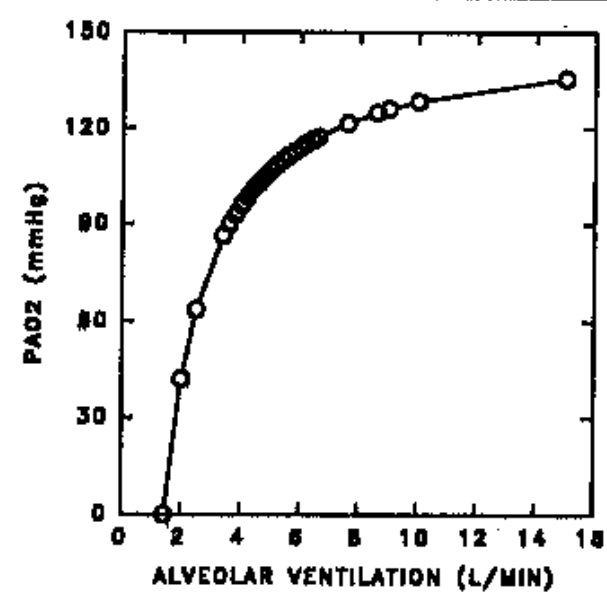
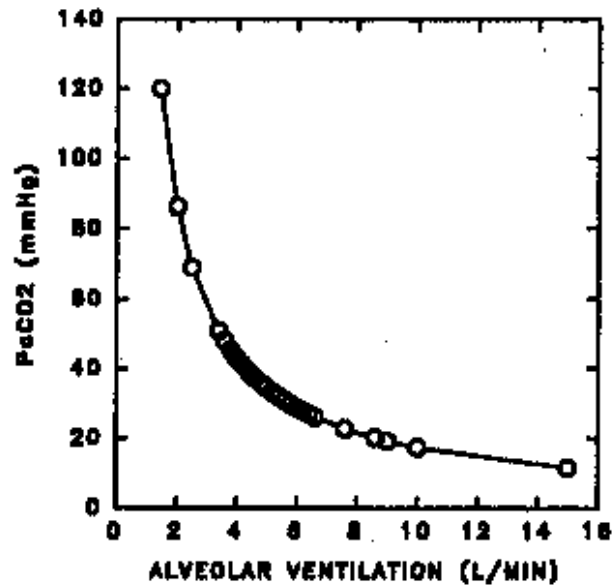
(V)

ΑΕΡΙΣΜΟΣ (V)

- Είναι η κρίσιμη μηχανική λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος
- **ΣΤΟΧΟΣ:** Η επίτευξη κυψελιδικού αερισμού (V_A) επαρκούς για την ανταλλαγή αερίων
- $P_A\text{CO}_2 = k \cdot V_{\text{CO}_2} / V_A$
- $P_A\text{O}_2 = P_i\text{O}_2 - (k \cdot V_{\text{O}_2} / V_A)$

ΣΧΕΣΗ V_A -ΚΥΨΕΛΙΔΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

- $P_{ACO2} = k \cdot VCO2 / V_A$
- $P_{AO2} = P_{iO2} - (P_{ACO2} / R)$
- $P_{AO2} = P_{iO2} - (k \cdot VO2 / V_A)$



ΠΩΣ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΕΤΑΙ Ο ΑΕΡΙΣΜΟΣ

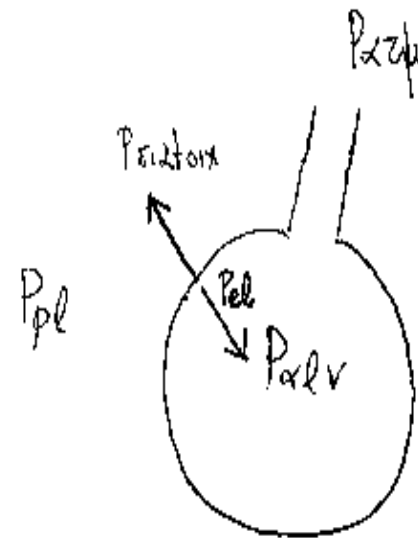
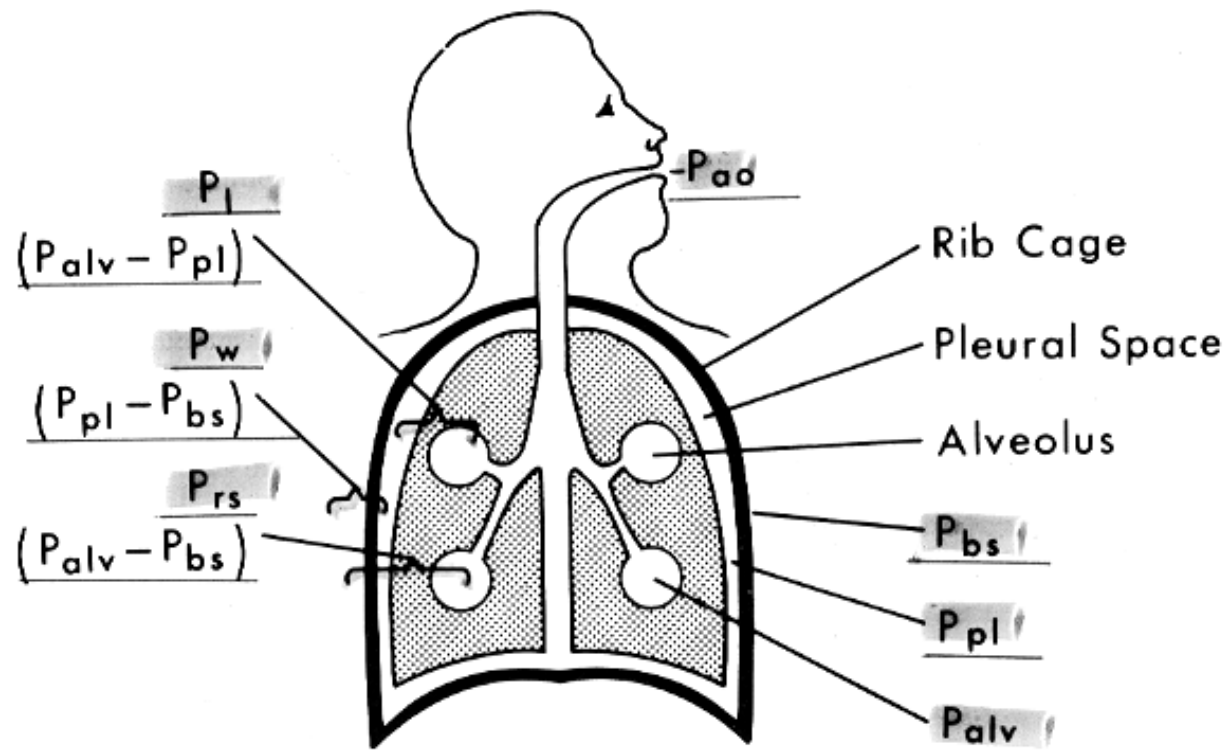
- **Ικανή & αναγκαία συνθήκη για ροή αέρα...**
 - Διαφορά P ικανή να υπερνικήσει τις αντιστάσεις
- **Ικανή & αναγκαία συνθήκη για εισπνοή...**
 - Αρνητικοποίηση P_{alv} , δημιουργία ΔP
- **Ικανή & αναγκαία συνθήκη για εκπνοή...**
 - Θετικοποίηση P_{alv} , δημιουργία ΔP

ΠΩΣ ΓΙΝΕΤΑΙ Η ΕΙΣΠΝΟΗ

- Σύσπαση αναπν. μυών
- Αρνητικοποίηση P_{pl}
 - Αντίθετη φορά ελαστικής επαναφοράς πνευμόνων & θωρακικού τοιχώματος
- Αύξηση διατοιχωματικής P κυψελίδων ($P_{διατ} = P_{alv} - P_{pl}$)
- Αύξηση V_{alv}
- Ελάττωση P_{alv} (Boyle $P \times V = ct$) $< P_{ατμ}$
- ΔP ικανή να υπερνικήσει τις R_{aw}

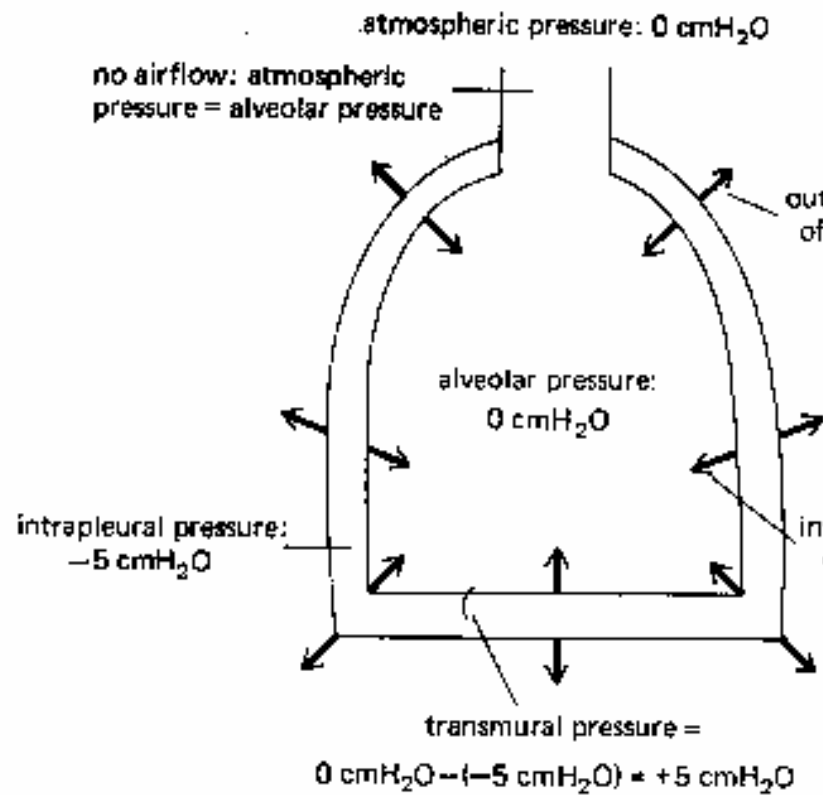
ΠΩΣ ΓΙΝΕΤΑΙ Η ΕΚΠΝΟΗ

- **Ήρεμη εκπνοή**
 - Αυξημένη ελαστική επαναφορά κυψελίδων στο τέλος εισπνοής
 - Παθητική σύμπτυξη κυψελίδων (μείωση V_{alv})
 - Αύξηση $P_{alv} > P_{ατμ}$ (Boyle)
 - ΔP ικανό να υπερνικήσει R_{aw}
- **Μέγιστη εκπνοή**
 - Αυξημένη ελαστική επαναφορά που δεν αρκεί
 - Σύσπασση εκπνευστικών μυών
 - Σύμπτυξη κυψελίδων (μείωση V_{alv})
 - Αύξηση $P_{alv} > P_{ατμ}$ (Boyle)
 - ΔP ικανό να υπερνικήσει R_{aw}

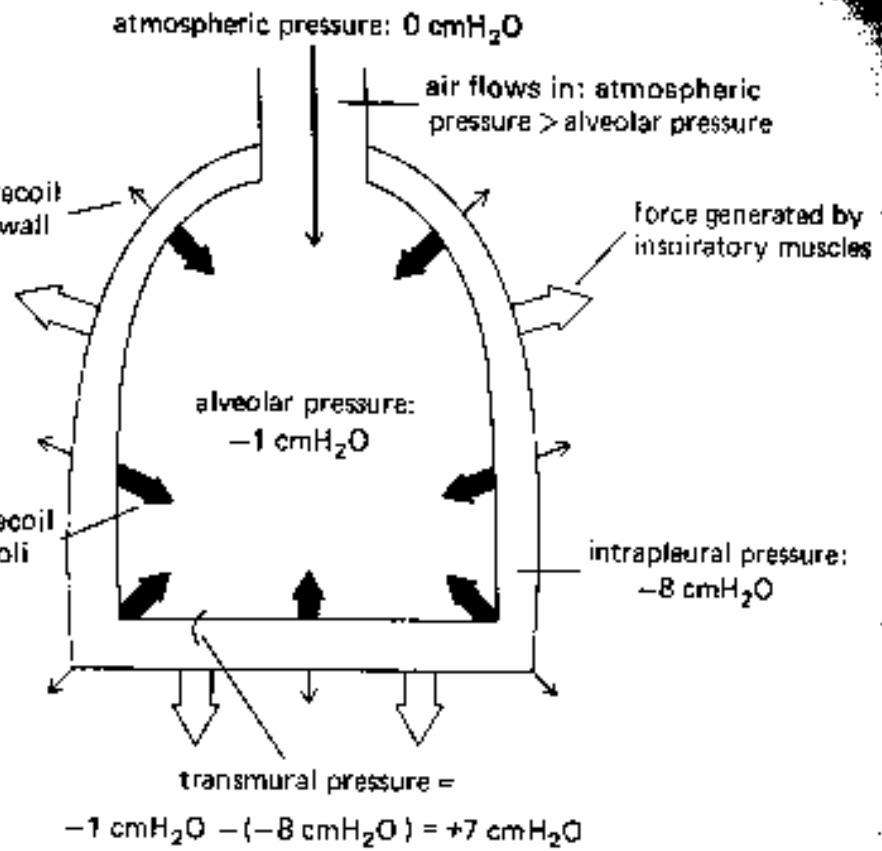


$$P_{\text{intox}} = P_{in} - P_{out} = P_{alv} - P_{pl}$$

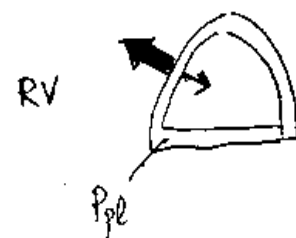
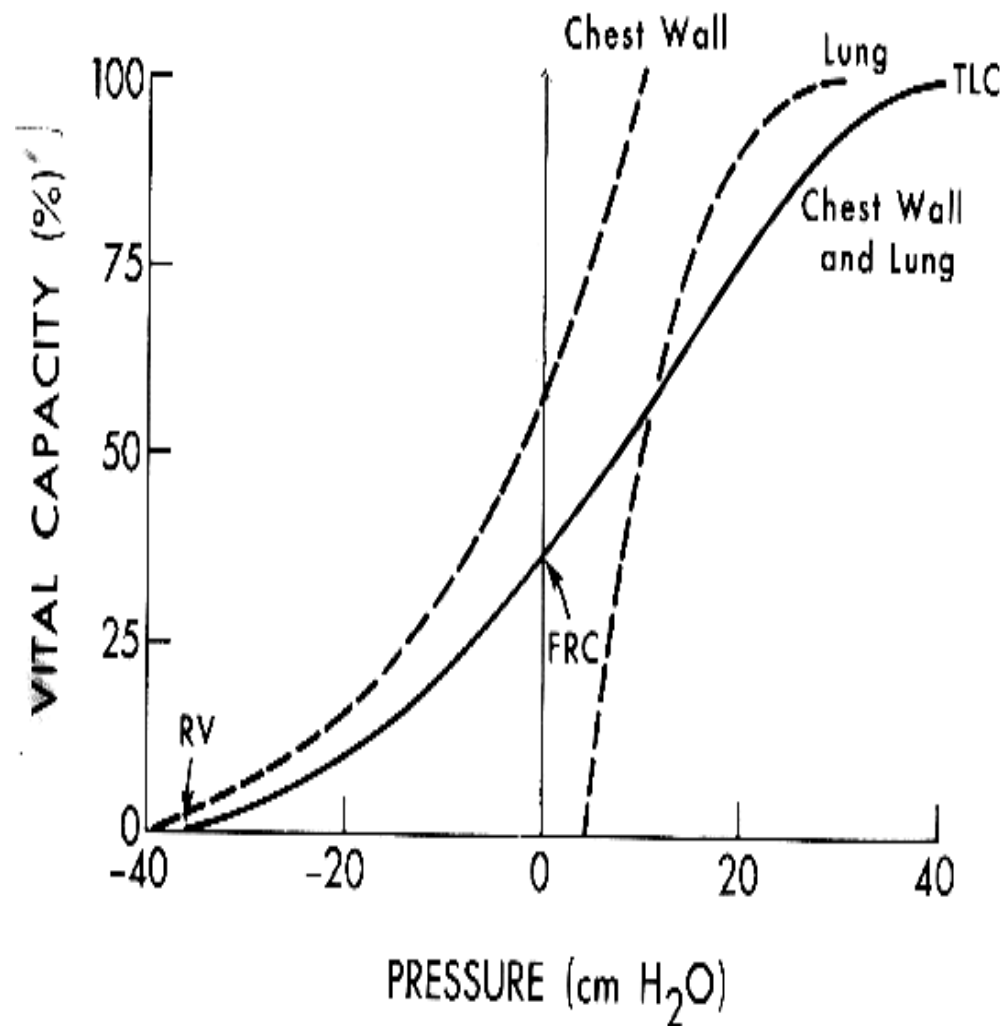
$$P_{\text{intox}} = P_{el} = P_{alv} - P_{pl}$$



END EXPIRATION



DURING INSPIRATION



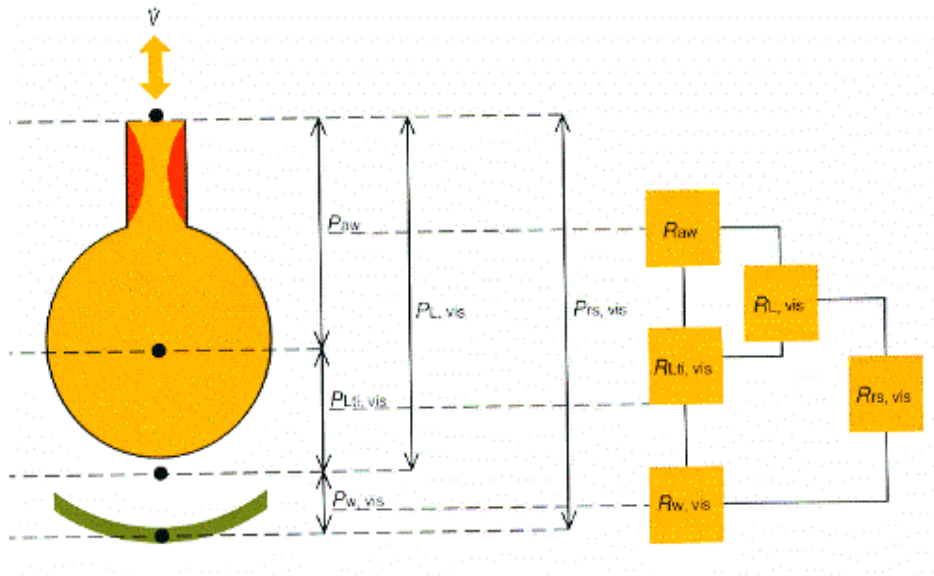
Elastic recoil

elastic recoil
 Duplex. to expansion.

elastic recoil
 over expansion.

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

- $R_{aw} = (P_{ao} - P_A) / \text{flow}$
- $R_{tis} = (P_A - P_{pl}) / \text{flow}$
- $R_{rs} = R_{aw} + R_{tis}$



ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

- ΕΥΘΩΝΕΤΑΙ

- Αναπν. Μύες

- (εισπνοή)

- Ελαστικότητα

- (εκπνοή)

- ΕΜΠΟΔΙΖΕΤΑΙ

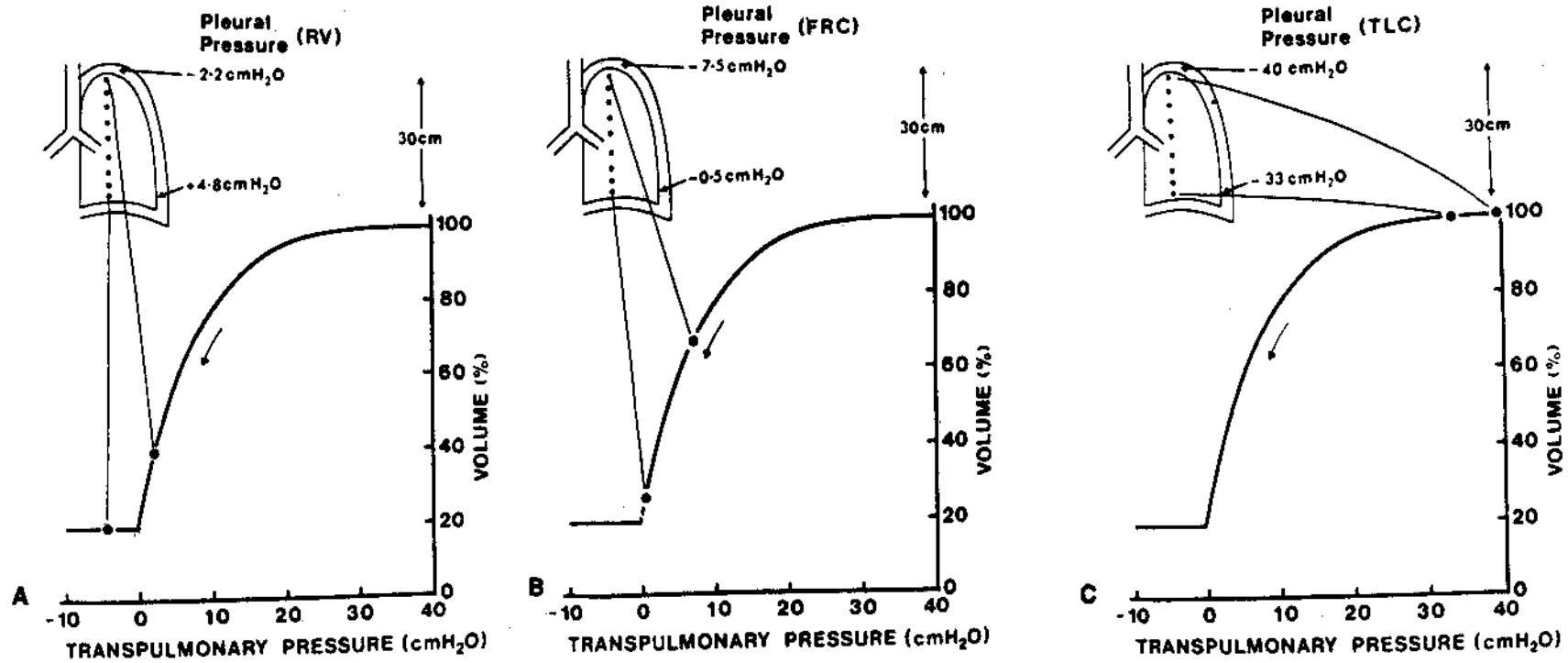
- Ελαστικότητα

- (εισπνοή)

- Αντιστάσεις

- (εκπνοή)

ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



DYNAMICS OF RESPIRATION – EQUATION OF MOTION

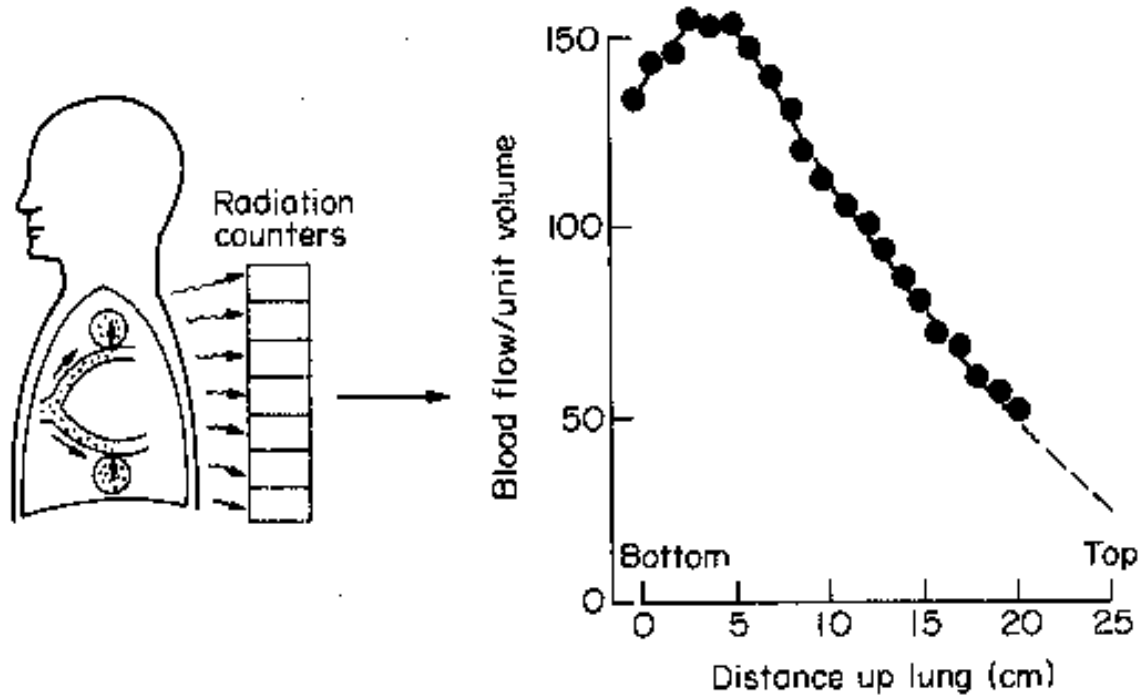
(Mead & Agostoni, 1964)

- Ventilation of the lungs involves motion of the respiratory system, which is produced by forces required to overcome the flow-resistive, inertial and elastic properties of the lungs & chest wall. In spontaneous breathing, these forces are produced by the respiratory muscles
- **$P_{mus} = E.V + R.dV/dt + I.(dV/dt)^2$**

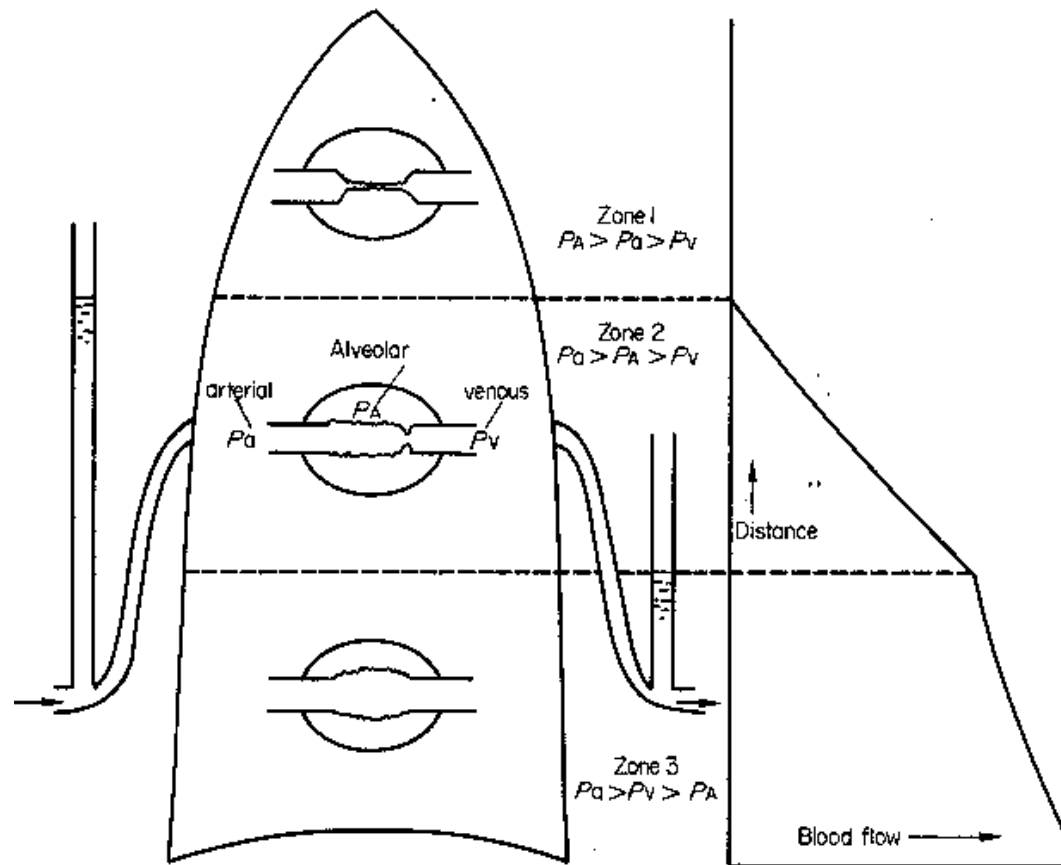
ΑΙΜΑΤΩΣΗ

(Q)

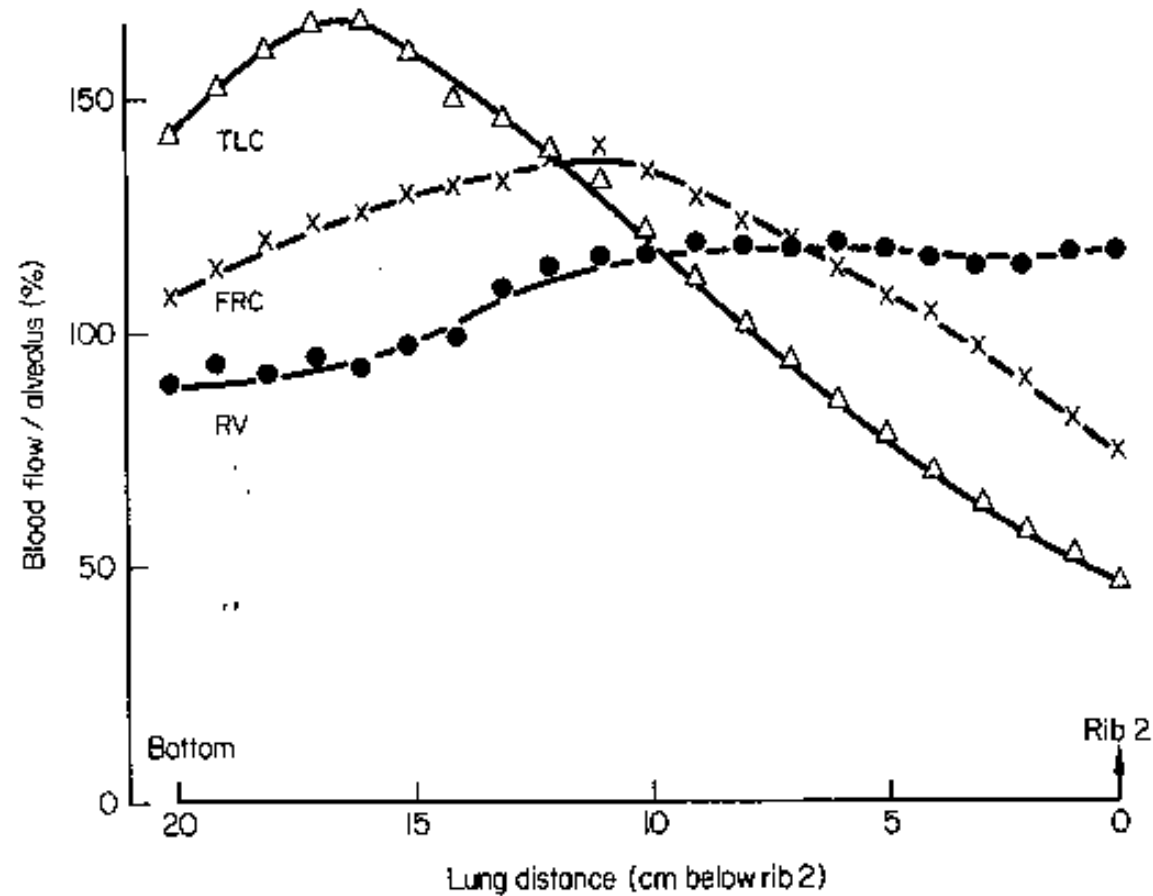
ΑΙΜΑΤΩΣΗ ΠΝΕΥΜΟΝΩΝ (Q)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΙΜΑΤΩΣΗΣ

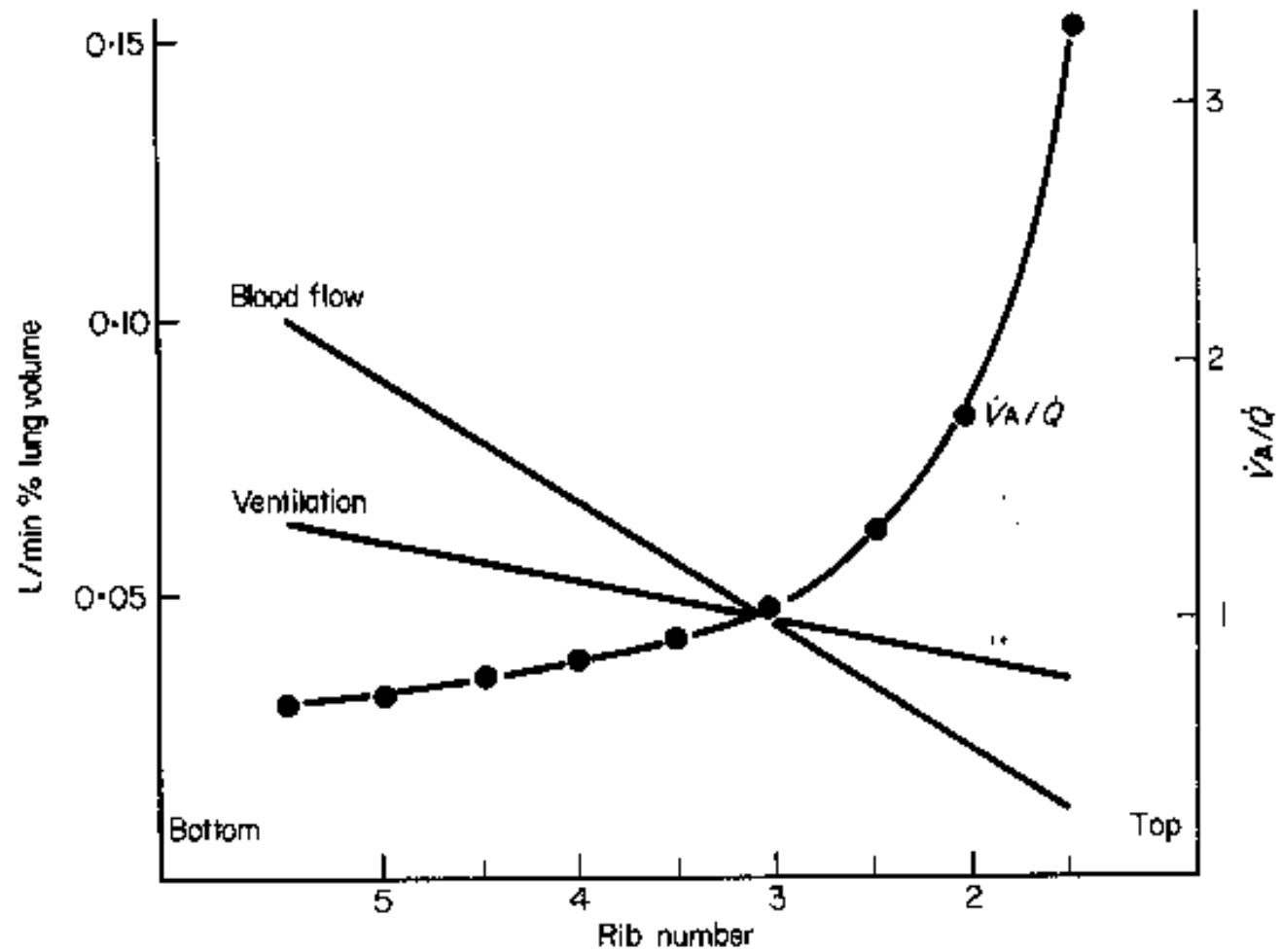


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΙΜΑΤΩΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΝΑΠΝΟΗ

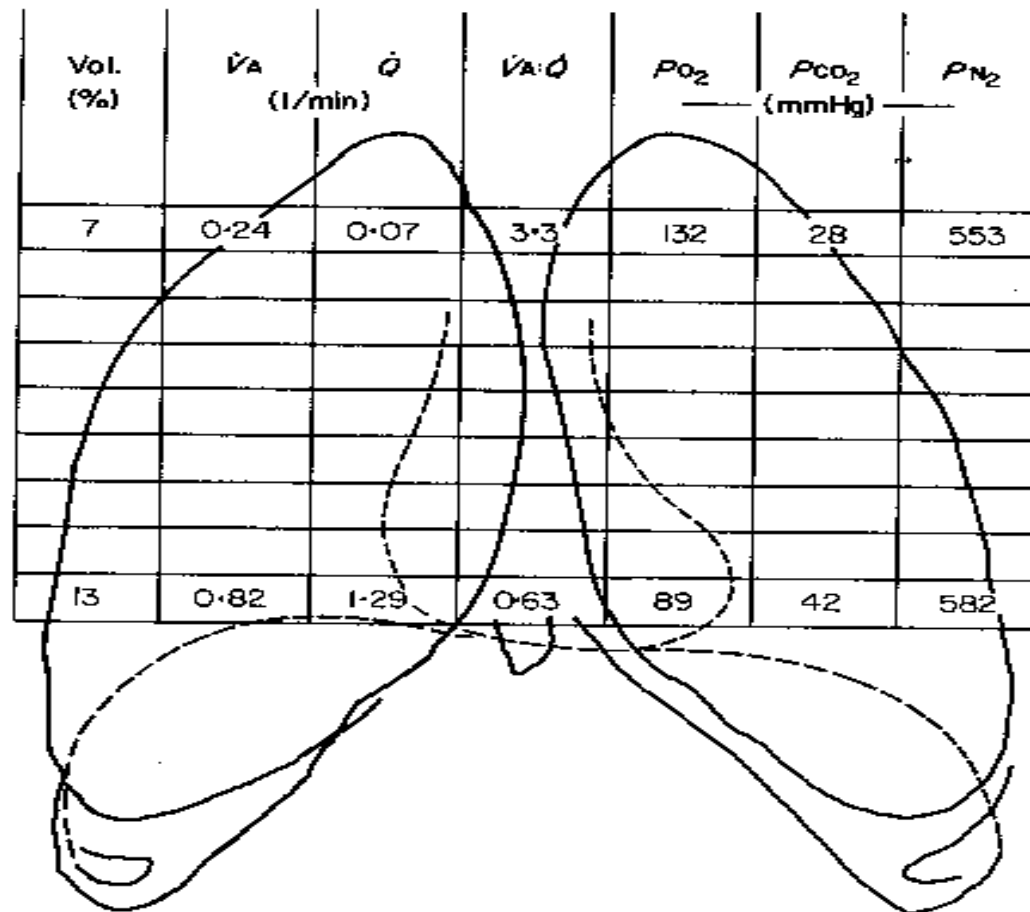


ΣΧΕΣΗ V/Q

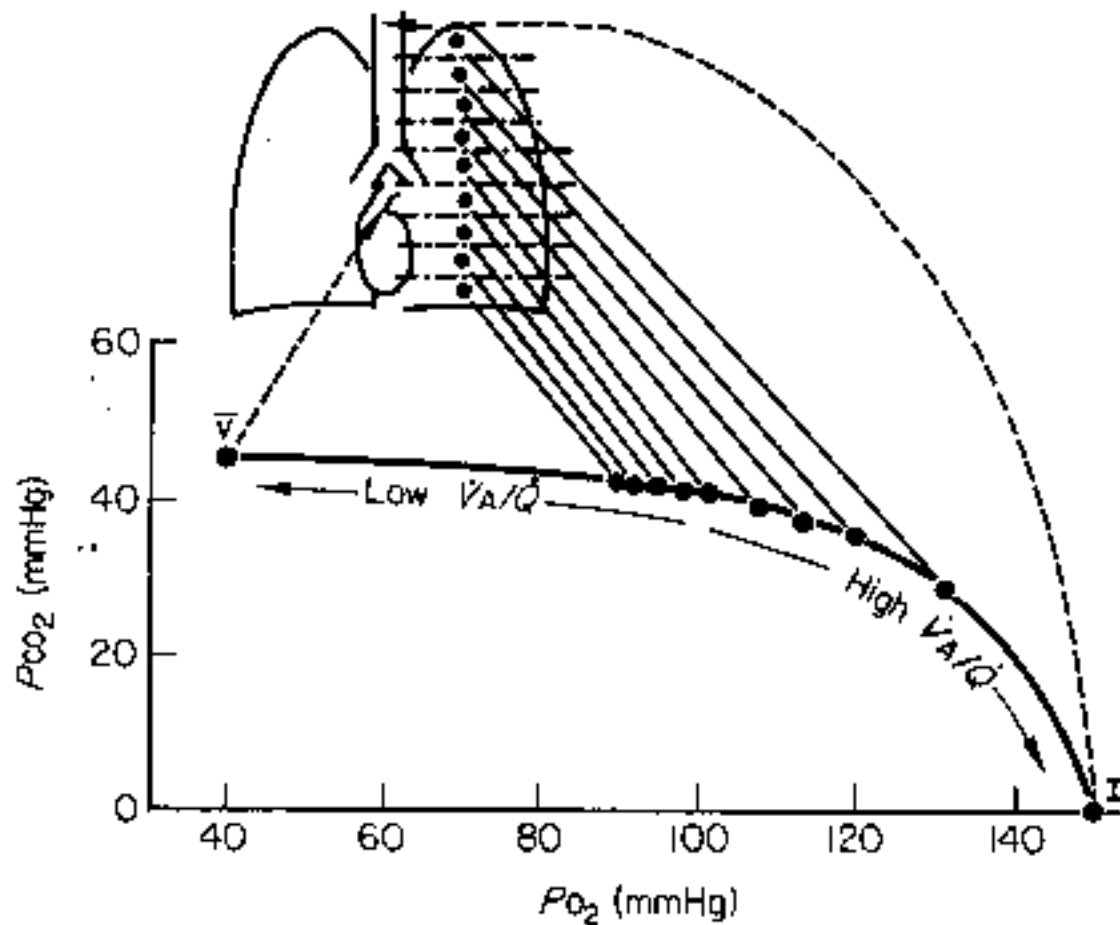
ΚΑΤΑΝΟΜΗ V, Q, ΣΧΕΣΗΣ V/Q



ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ V, Q, V/Q



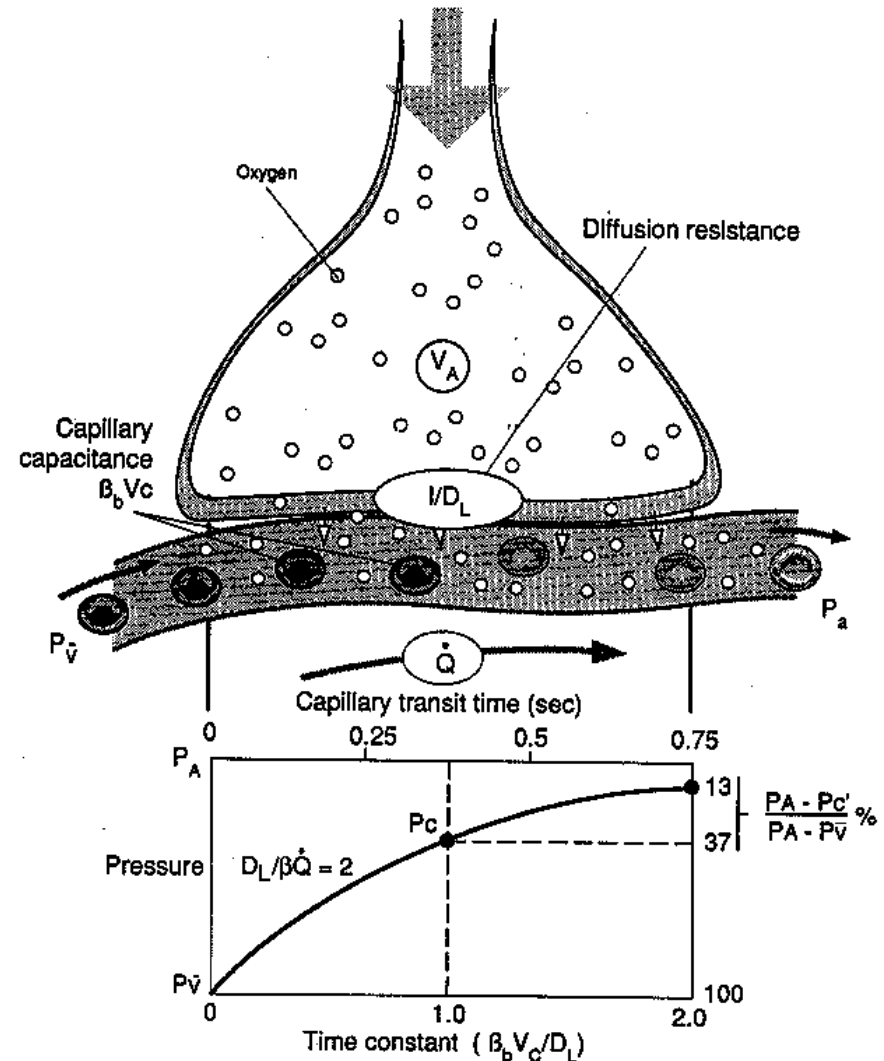
ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ V/Q ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ O₂-CO₂



ΔΙΑΧΥΣΗ

ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΑΕΡΑ

- **Τραχεία**
 - Μεγάλη ταχύτητα αέρα
 - Στροβιλώδης ροή
- **Βρογχικό δένδρο**
 - Μεταβατική ροή αέρα
- **Μικροί αεραγωγοί**
 - Μικρή ταχύτητα αέρα
 - Γραμμική ροή
- **Κυψελίδα**
 - Ταχύτητα αέρα = 0 (λόγω τεράστιας ↑ επιφάνειας διατομής)
 - Διάχυση μορίων αέρα (κίνηση Brown, τυχαίες κρούσεις με κυψελιδικά τοιχώματα)



ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΕΡΙΩΝ (FICK LAW)

- $V_{Lgas} = (A/T) * d_{gas} * (P_A - v_{gas})$
- $V_{Lgas} = f_1 (\text{μεμβράνη}) + f_2 (\text{αέριο}) + f_3(\Delta P)$
- **Μεμβράνη:** A (κφ 70-80 τμ), T(κφ 0.2-0.5 μ), μεταβολές τριχοειδικού όγκου αίματος & κυψελιδικού όγκου αέρα
- **Αέριο:** σταθερά διαχύσεως (διαλυτότητα αερίου, MW)
- **ΔP:** V_{O_2} , V_{CO_2} , V_A , Q

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ FICK ΓΙΑ O₂ & CO₂

Μεταφορά του O₂ (V_{LO₂}) από την κυψελίδα στο τριχοειδικό (μικτό φλεβικό) αίμα μέσω της μεμβράνης που έχει επιφάνεια A και πάχος T:

$$V_{LO_2} = (A/T) * dO_2 * (P_{AO_2} - P_{VO_2})$$

$dO_2 = \text{solubility } O_2 / \sqrt{MW_{O_2}}$ (=σταθερά διαχύσεως O₂)

Αντιστοίχως για CO₂:

$$V_{LCO_2} = (A/T) * dCO_2 * (P_{VCO_2} - P_{ACO_2})$$

$dCO_2 = \text{solub. } CO_2 / \sqrt{MW_{CO_2}}$ (=σταθερά διαχύσεως CO₂) $\approx 20 * dO_2$

Αρχές μέτρησης της διαχυτικής ικανότητας των πνευμόνων

$$\dot{V}_{L_{gas}} = (A/T) \cdot d_{gas} \cdot (P_A - \bar{v}_{gas})$$

$$DL_{gas} = \dot{V}_{L_{gas}} / (P_A - \bar{v}_{gas}) = (A/T) \cdot d_{gas}$$

(διαχυτική ικανότητα πνευμόνων)

(ποσότητα αερίου που διαχέεται μέσω της μεμβράνης στην μονάδα του χρόνου και για την μονάδα διαφορικής πίεσης, ml/min/mmHg ή mmol/min/kPa)

ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΥΣΗΣ O₂

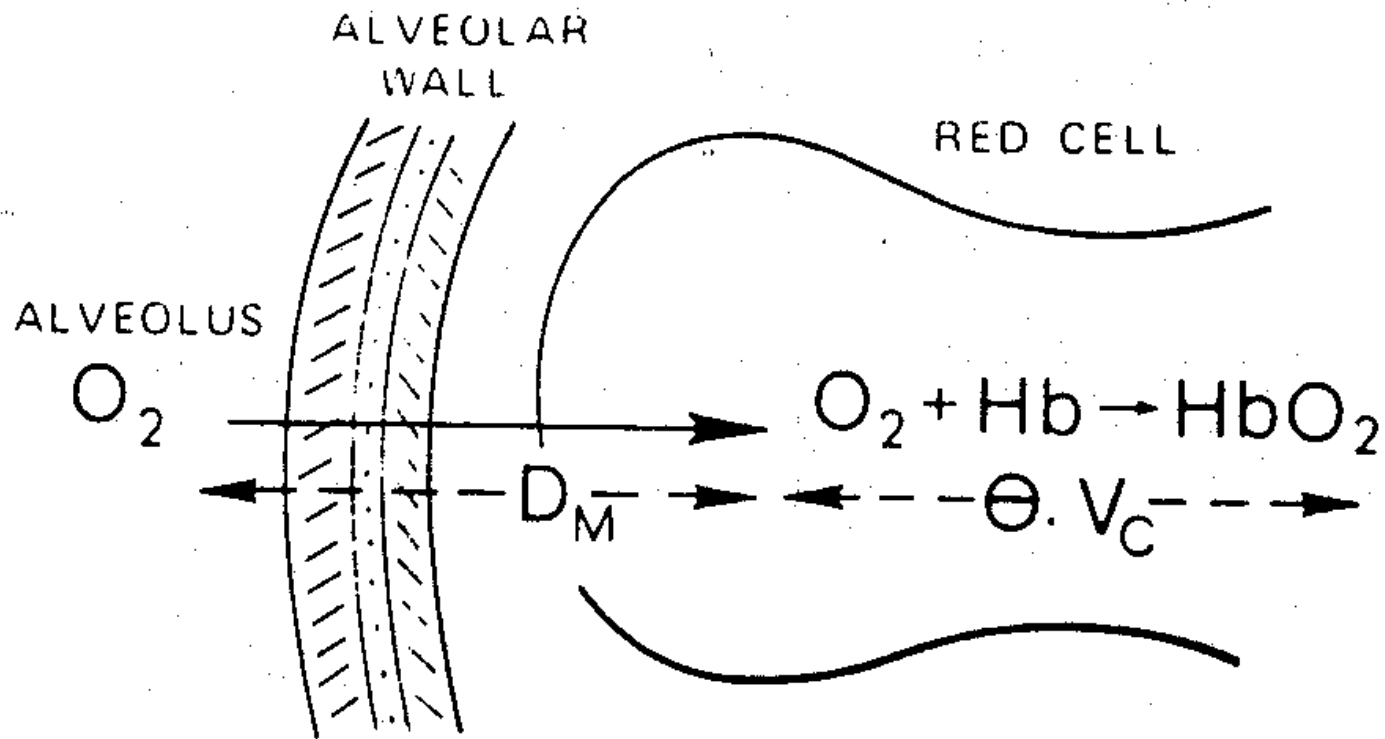
- **Διάχυση στη μεμβράνη (D_m)**
 - Στην αέριο φάση της κυψελίδας
 - Καθορίζεται από P_IO₂ – P_AO₂
 - Απόσταση κυψελ.πόρου – μεμβράνης < 1 mm
 - Στην υγρή φάση της κυψελίδας
 - Νόμος Henry: η ποσότητα αερίου (O₂) που απορροφάται από ένα υγρό (λεπτό film υγρού που καλύπτει το κυψελιδικό επιθήλιο, surfactant) με το οποίο δεν συνδέεται χημικά = k*solub.O₂*P_AO₂
 - Στο ιστικό τμήμα της μεμβράνης
 - Κυψελιδικό επιθήλιο – Βασική μεμβράνη - Διάμεσος ιστός
 - Τριχοειδικό ενδοθήλιο – Πλάσμα – Μεμβράνη ερυθρού
- **Πρόσληψη από αίμα**
 - Διάχυση στο εσωτερικό ερυθρού – Σύνδεση με Hb (HbO₂) (Θ)
 - Πνευμονικός τριχοειδικός όγκος αίματος (V_c)

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗ

(Roughton & Forster formula, JAP 1957)

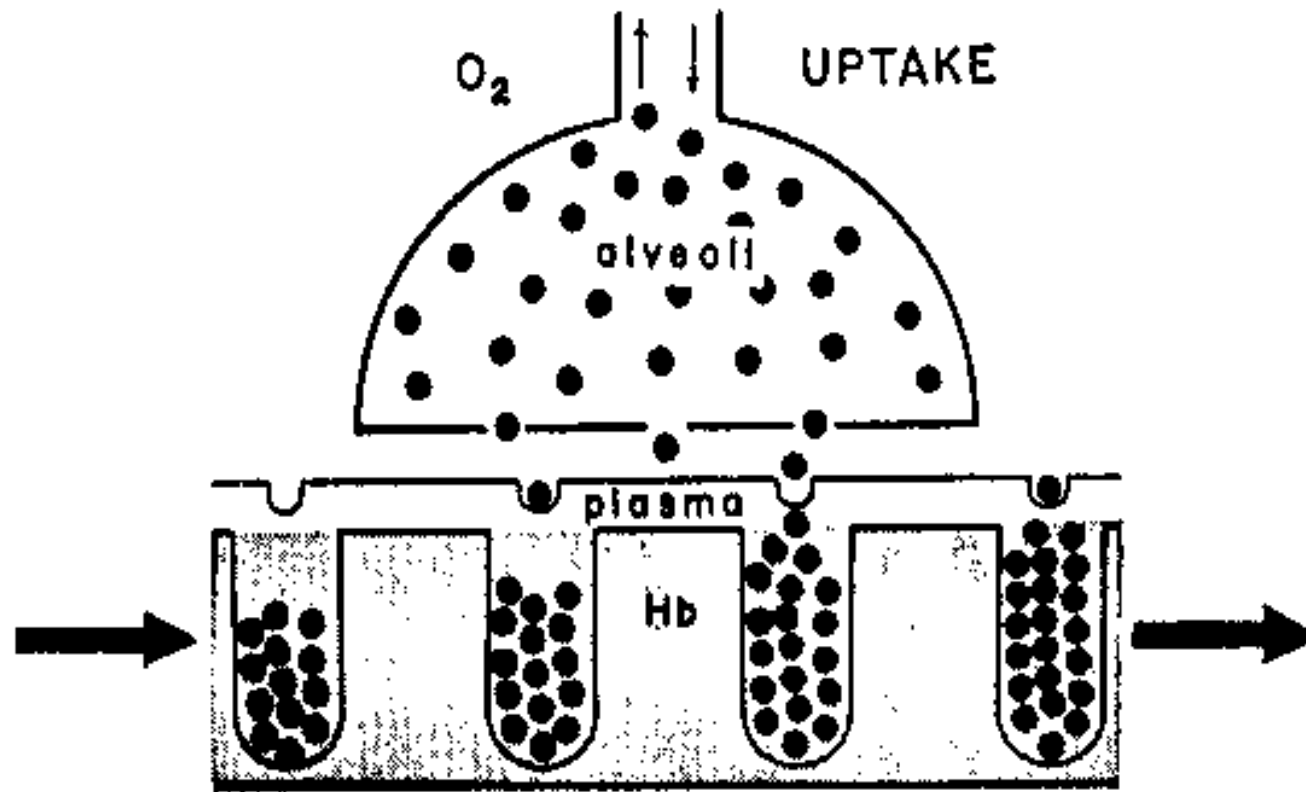
- D_L = διάχυση (αγωγιμότητα)
- $1/D_L$ = αντίσταση στη διάχυση
- Αντίσταση στη διάχυση = αντίσταση από τη μεμβράνη + αντίσταση από το αίμα
- $1/D_L = 1/D_M + 1/D(O_2-Hb)$
- **$1/D_L = 1/D_M + 1/\theta \cdot V_c$**

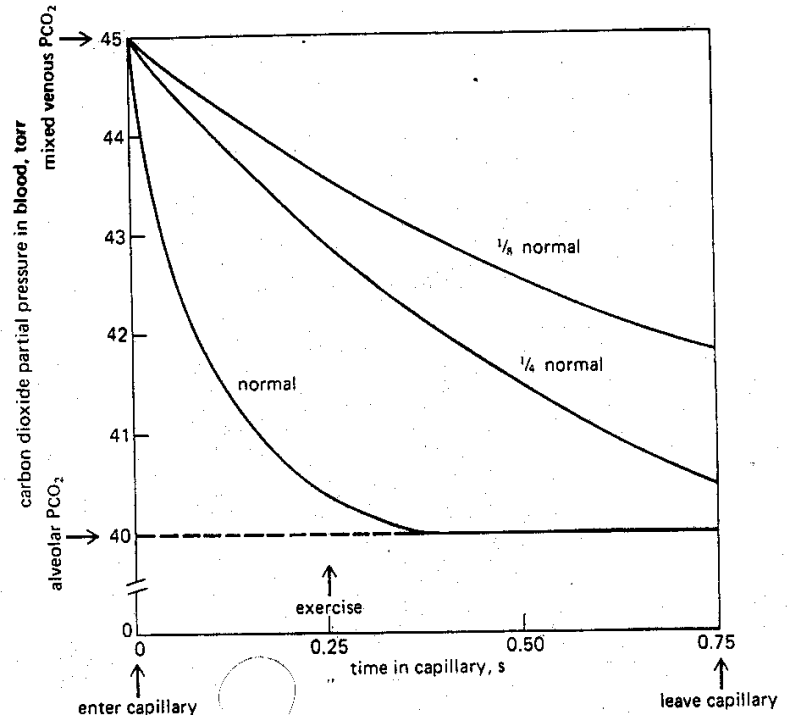
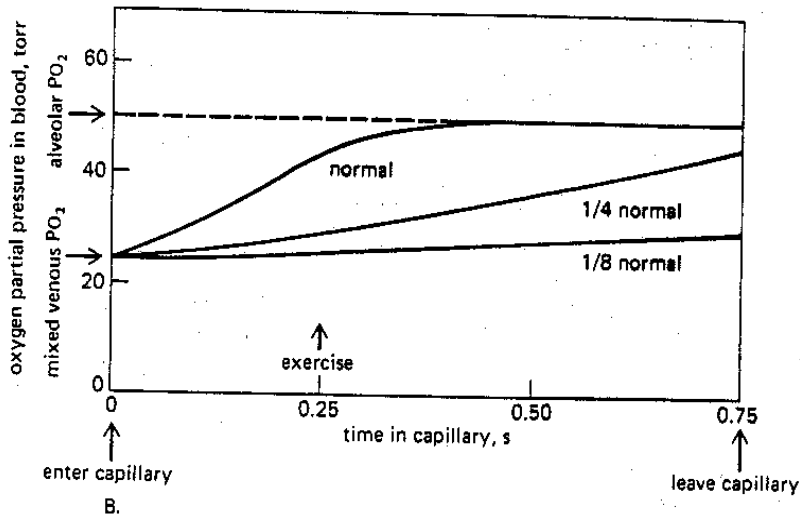
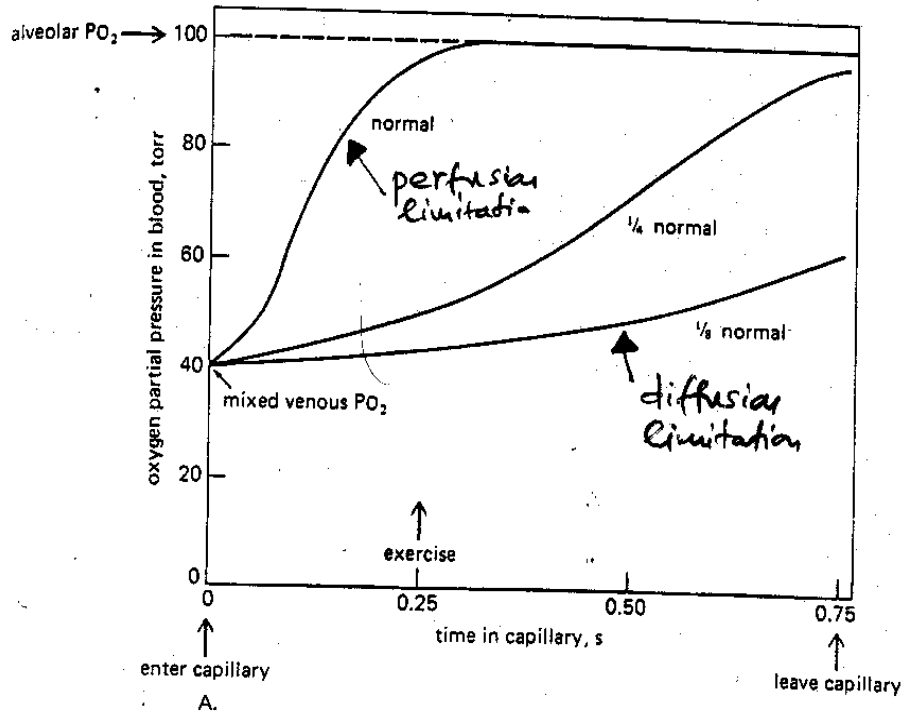
- θ = ο ρυθμός με τον οποίο 1 ml αίμα με κφ Hb προσλαμβάνει το αέριο (O_2 ή CO)
- V_c = πνευμονικός τριχοειδικός όγκος αίματος



$$\frac{1}{D_L} = \frac{1}{D_M} + \frac{1}{\theta \cdot V_C}$$

ΔΙΑΧΥΣΗ O₂





ΣΥΝΟΨΙΖΟΝΤΑΣ..

- Ανταλλαγή αερίων: ζωτικής σημασίας λειτουργίας
– επιτελείται σε όλο τον οργανισμό
- Αναπνευστικό σύστημα – Πνευμονική κυκλοφορία – Καρδιά – Αρτηριακό σκέλος συστηματικής κυκλοφορίας – Ιστοί & όργανα – Φλεβικό σκέλος συστηματικής κυκλοφορίας
- Η πνευμονική ανταλλαγή αερίων είναι η βασική λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος
 - Κυψελιδικός αερισμός
 - Πνευμονική αιμάτωση
 - Σχέση αερισμού/αιμάτωσης
 - Διάχυση