

Σπιρομέτρηση Διάχυση

Τσαούσης Βασίλης
Πνευμονολόγος



ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΑΕΡΑ

- Τραχεία

- μεγάλη ταχύτητα αέρα
- στροβιλώδης ροή

- Βρογχικό δέντρο

- μεταβατική ροή αέρα

- Μικροί αεραγωγοί

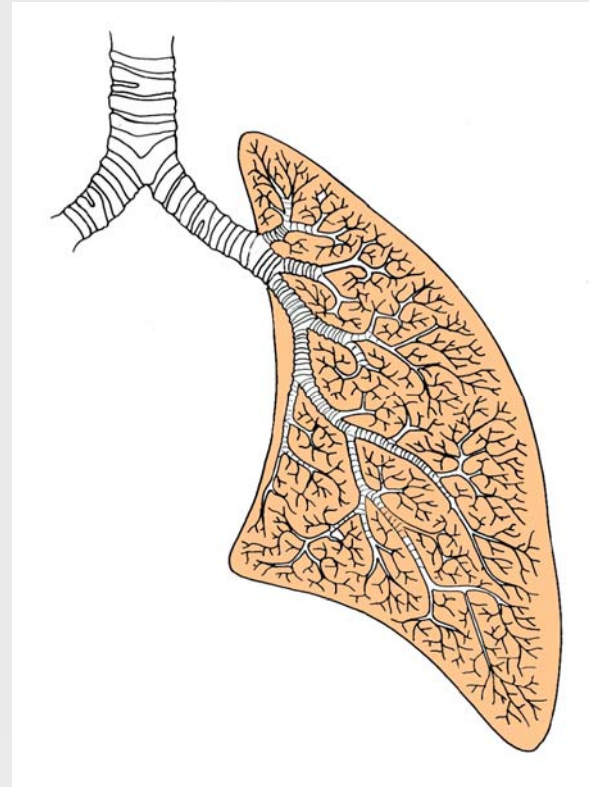
- μικρή ταχύτητα αέρα
- γραμμική ροή

- Κυψελίδα

- ταχύτητα αέρα = μηδέν (λόγω τεράστιας \uparrow της επιφάνειας διατομής)

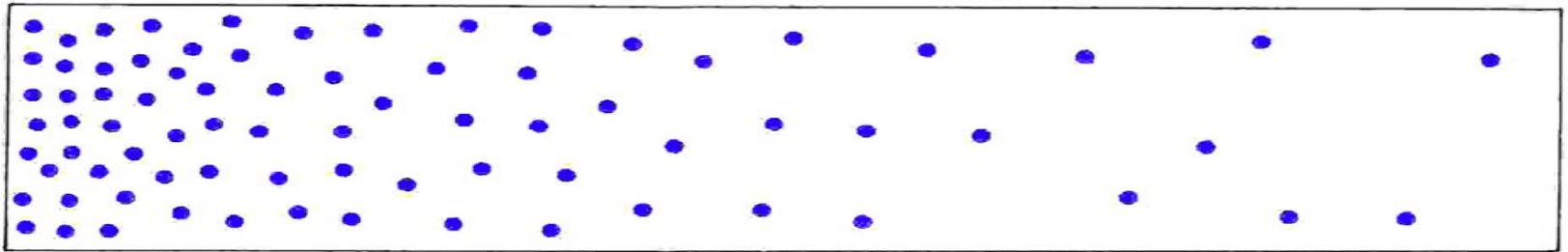
- διάχυση μορίων αέρα (κίνηση Brown, τυχαίες κρούσεις με κυψελιδικά τοιχώματα)

Με τον όρο κίνηση Brown χαρακτηρίζουμε το φαινόμενο της αδιάκοπης και άτακτης κίνησης σωματίων μέσα σε ένα μέσον. Σύμφωνα με την εξήγηση του Einstein (1905) τα σωματίδια πραγματοποιούν μια χασοτική κίνηση που οφείλεται στον αδιάκοπο βομβαρδισμό τους από όλες τις μεριές από μυριάδες μικρότερα σωματίνα



ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΑΕΡΑ

Διαχυτική ικανότητα ενός αερίου είναι η ικανότητά του να μεταφέρει τα μόρια του από μία ζώνη υψηλής μερικής πίεσης σε μία ζώνη χαμηλής μερικής πίεσης

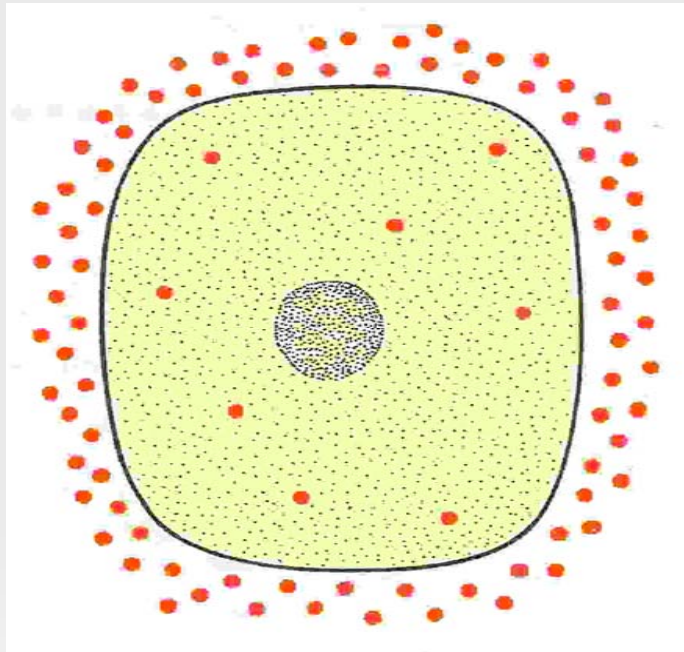


A diffusion gradient

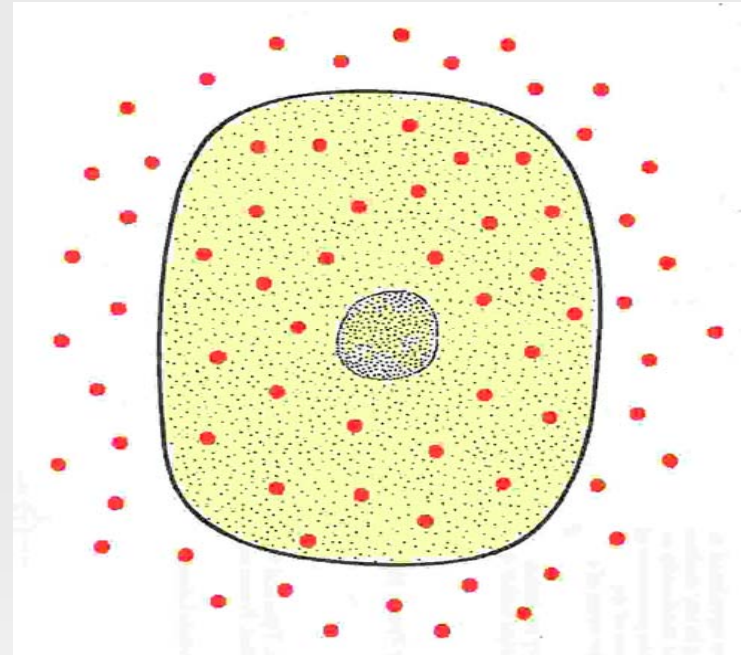


ΔΙΑΧΥΣΗ O_2 ΣΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

Η συγκέντρωση μορίων O_2 είναι μεγαλύτερη έξω από το κύτταρο παρά μέσα σε αυτό

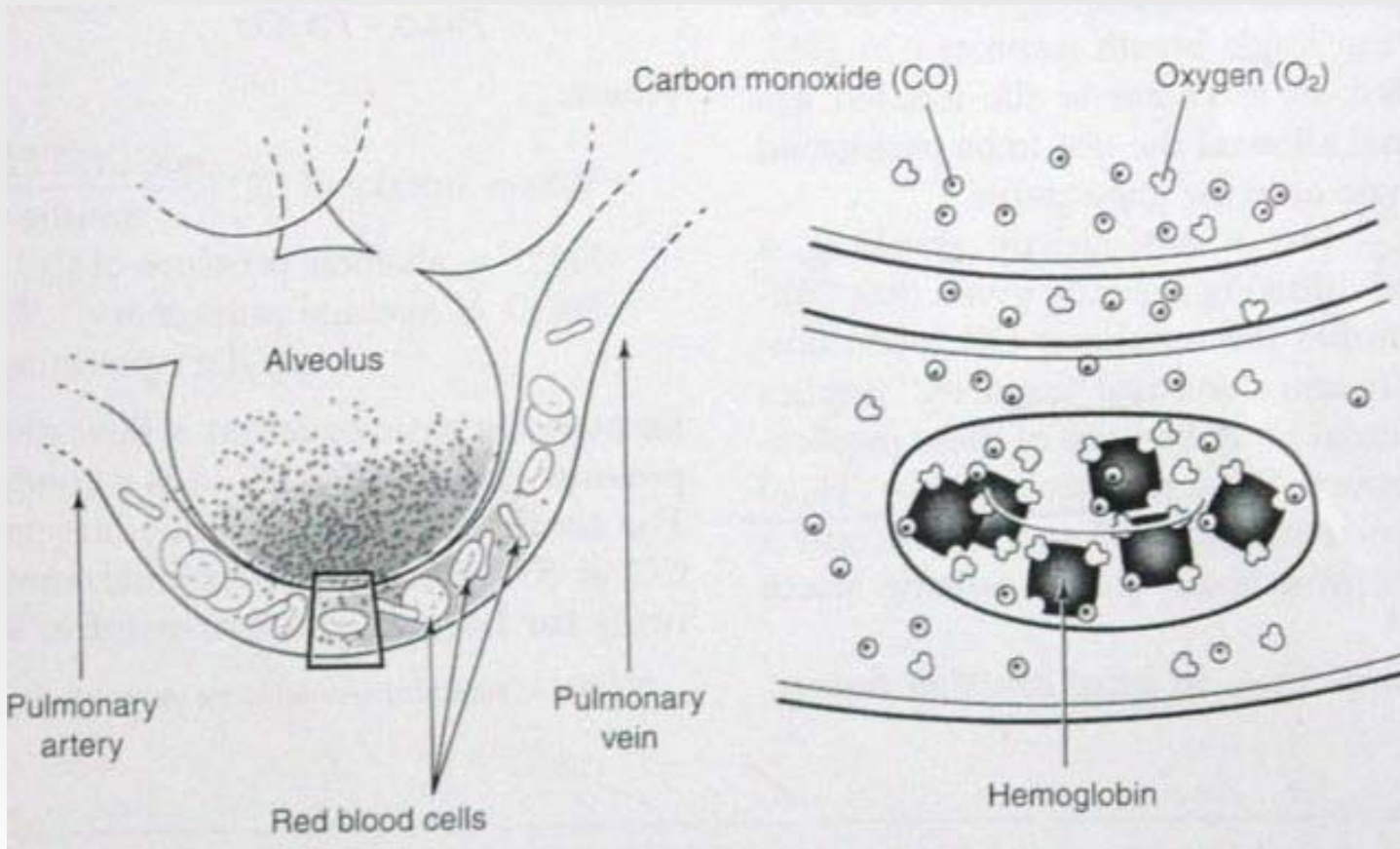


Έτσι τα μόρια O_2 διαχέονται μέσα στο κύτταρο



Επειδή το κύτταρο χρησιμοποιεί O_2 , η συγκέντρωσή του μέσα στο κύτταρο είναι πάντα μικρότερη απ' ό,τι έξω από αυτό, με τελικό αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα **diffusion gradient**, και συνεπώς το O_2 συνεχίζει να διαχέεται

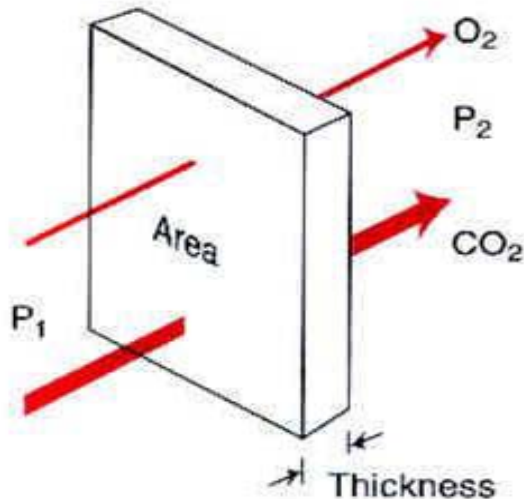
ΔΙΑΧΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΣΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ



ΔΙΑΧΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΠΝΕΥΜΟΝΑ

Η διάχυση των αερίων δια της τριχοειδοκυψελιδικής μεμβράνης είναι παθητική και διέπεται από το νόμο του Fick

Σύμφωνα με αυτόν, η ταχύτητα μεταφοράς ενός αερίου μέσα από ένα στρώμα ιστού είναι ανάλογη προς την έκταση της επιφάνειας του στρώματος και τη διαφορά των μερικών πιέσεων του αερίου που υπάρχει στις δύο πλευρές της επιφάνειας και αντιστρόφως ανάλογη προς το πάχος του ιστού



$$V = A/T \times d \times (P_1 - P_2)$$

V=όγκος αερίου που περνά από τη μεμβράνη στη μονάδα του χρόνου

A=έκταση μεμβράνης

T=πάχος μεμβράνης

d=συντελεστής διαλυτότητας

NOMOS TOY Fick

$$V=A/T \times d \times (P_1-P_2)$$

Επειδή το πάχος και η έκταση της τριχοειδοκυψελιδικής μεμβράνης δεν μπορούν να μετρηθούν, η εξίσωση μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$V=D_L \times (P_1-P_2)$$

Όπου D_L η ικανότητα διαχύσεως (diffusion capacity) του πνεύμονα, που εξαρτάται από την έκταση, το πάχος, και τις φυσικές ιδιότητες της τριχοειδοκυψελιδικής μεμβράνης

Έτσι η ικανότητα διαχύσεως του πνεύμονα θα είναι:

$$D_L=V/P_1-P_2$$



ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗ

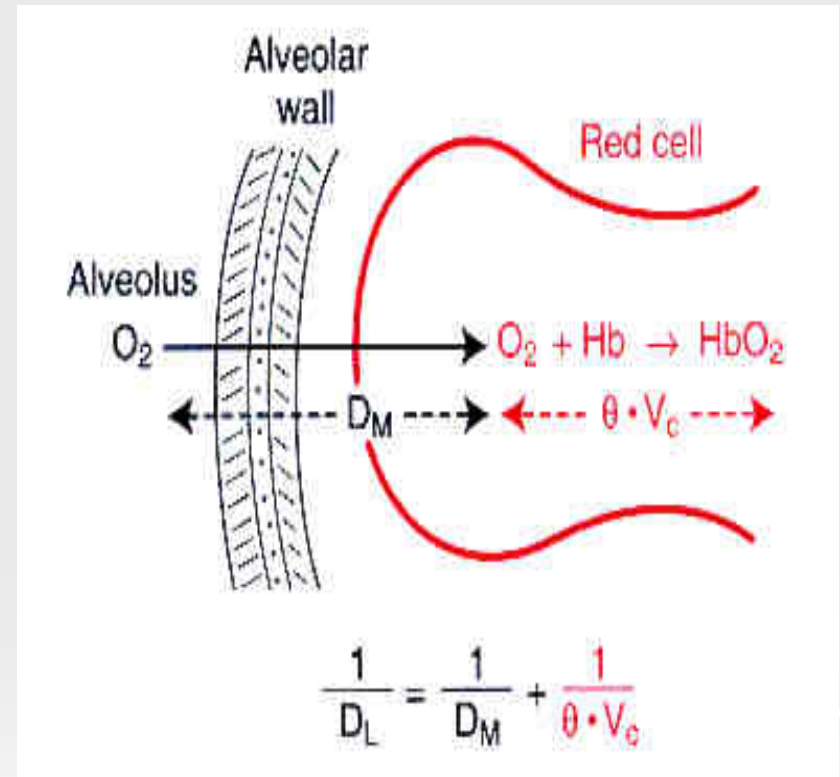
- Η D_LCO εξαρτάται από
- 1) Το πάχος της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης (D_M)
 - 2) Από το επίπεδο της Hb (θ)
 - 3) Από τον όγκο του τριχοειδικού πνευμονικού δικτύου (V_C)

και δίνεται από τον τύπο:

$$1/D_LCO = 1/D_M + 1/\theta \times V_C$$

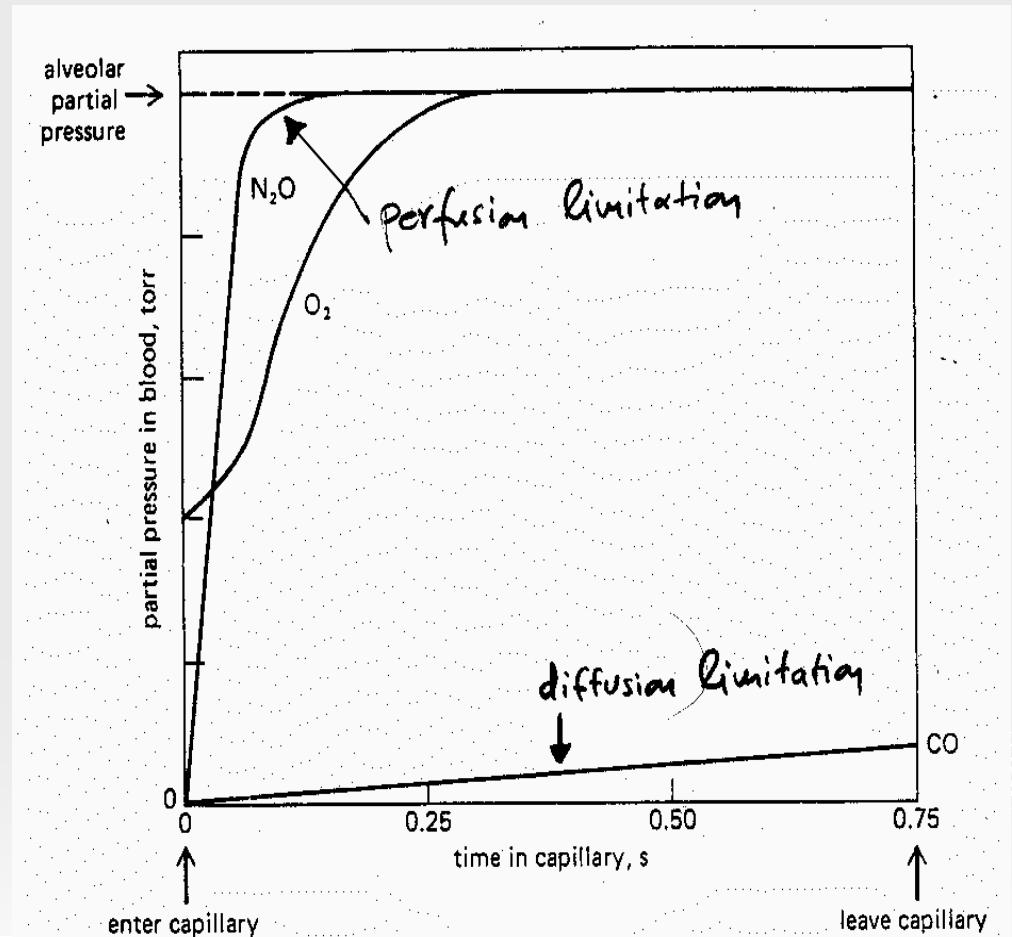
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗ

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



ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

- Περιορισμός μεταφοράς αερίου από μεμβράνη & ιδιότητες αερίου (**Diffusion limitation**, CO)
- Περιορισμός μεταφοράς αερίου από ΔP_{A-V} gas (**Perfusion limitation**, N_2O)



ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Πλεονεκτήματα χρήσης CO:

1. μεγάλη χημική συγγένεια με την Hb ($\sim 200 \times O_2$)
2. Δεν χρειάζεται μέτρηση της $PVCO_2$ (~ 0)
3. Η διάχυση του CO περιορίζεται μόνο από τις ιδιότητες της μεμβράνης (**diffusion limitation**)

(άμεση στην ουσία εξίσωση των πιέσεων λόγω της μεγάλης συγγένειας με τελικό αποτέλεσμα τη μηδενική διαφορά πίεσης από τις δύο πλευρές της μεμβράνης)



ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

- Μέθοδος single breath, breath-holding technique (D_L COSB)
 1. Αποχή από κάπνισμα για 24 ώρες πριν από μέτρηση (πτώση CO αίματος)
 2. Μίγμα 0,3% CO – 10% He – 21% O₂ – N₂
 3. Ταχεία εισπνοή Vc (RV → TLC) σε 2,5 – 4 sec
 4. VI > 90% IC
 5. Κράτημα αναπνοής για 10 sec
 6. Εκπνοή
 7. Πρώτα 750 – 1000 ml (washout volume)
 8. Κυψελιδικό δείγμα αέρα (500 – 1000 ml)

ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ D_L COSB

Πλεονεκτήματα D_L COSB

- Η πιο διαδεδομένη μέθοδος παγκοσμίως
- Εύκολη
- Τα αποτελέσματα δεν επηρεάζονται πολύ από τις V/Q διαταραχές
- Προτύπωση – Computerized

Μειονεκτήματα D_L COSB

- Κόστος εξοπλισμού
- Πολύπλοκες μαθηματικές φόρμουλες υπολογισμού
- Ταχύτητα εισπνοής (μεγάλη)
- Πρέπει $V_c > 1,3 \text{ lt}$
- Χρόνος κρατήματος αναπνοής $> 10 \text{ sec}$
- Όχι σε άσκηση



ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ D_LCO

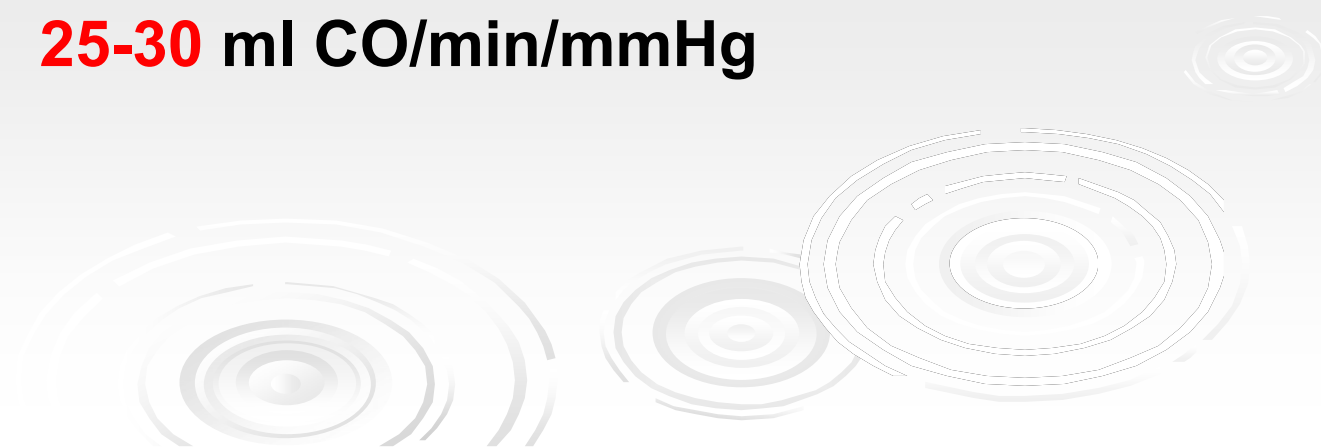
- Ηλικία
- Ύψος, βάρος (εάν $\Sigma B/Y > 1$)
- Πνευμονικός όγκος αέρα
- Επίπεδα Hb (αυξημένη D_LCO σε πολυερυθραιμία, μειωμένη σε αναιμία)
- PO_2 – υψόμετρο (αύξηση D_LCO σε υψόμετρο όπου πέφτει η PO_2)
- COHb
- Κάπνισμα (μειώνεται)
- Άσκηση (αυξάνεται x 2-3 φορές)
- Θέση σώματος (όρθια προς καθιστή = αύξηση κατά 10-15%, καθιστή προς ύπτια = αύξηση κατά 15-20%)
- Ημερήσια διακύμανση (κιρκάδιος ρυθμός)
- Εμμηνορρυσία (μειώνεται κατά 9% την 3η μέρα)
- Εγκυμοσύνη (αύξηση σε 1ο 3μηνο, μείωση σε 2ο 3μηνο)

ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

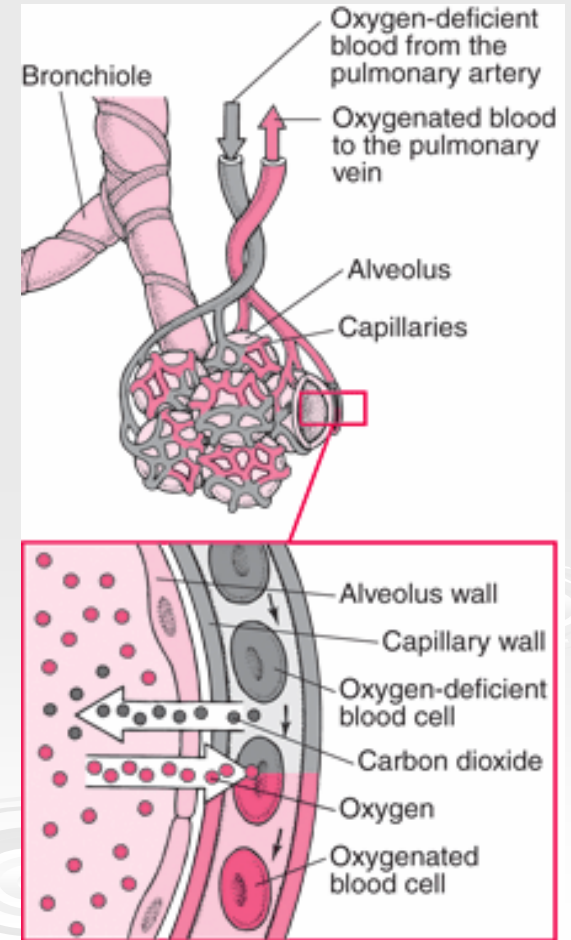
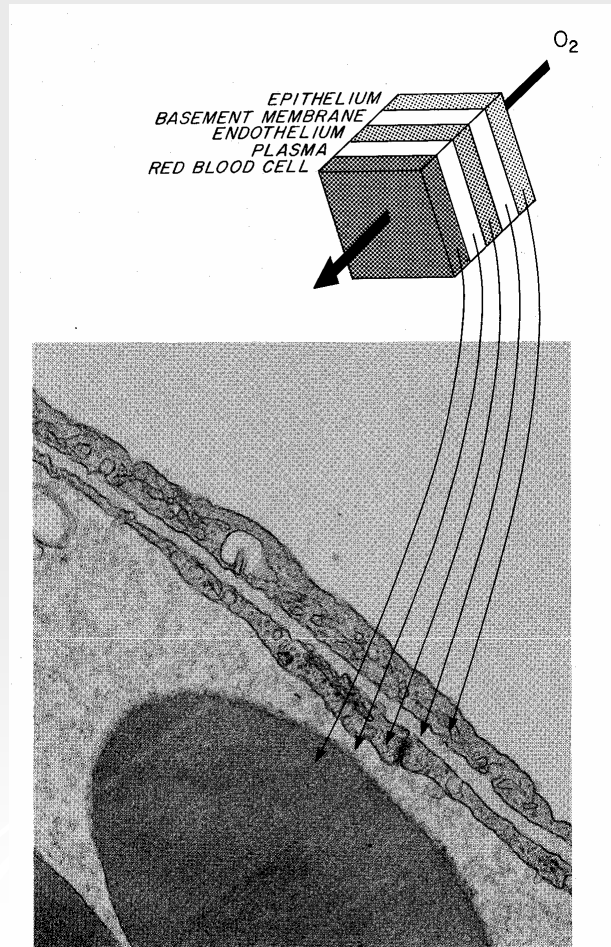
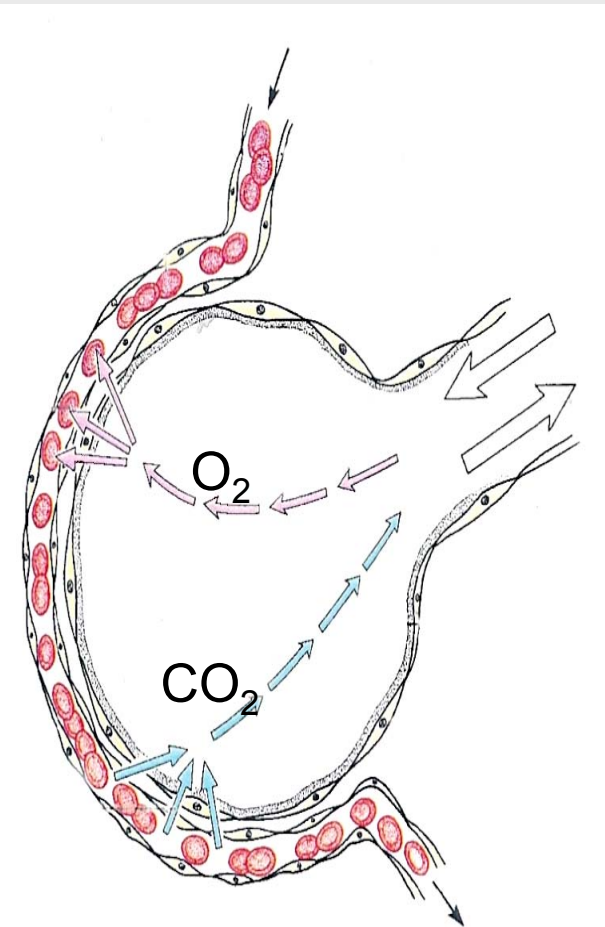
- • Crapo & Morris. Am Rev Respir Dis 1981; 123: 185-189
- • Paoletti et al. Am Rev Respir Dis 1985; 132: 806-813
- • Roca et al. Am Rev Respir Dis 1990; 141: 1026-1032
- • ECSC-ERS. Eur Respir J 1993; 6 (suppl.16): 41-52

Φυσιολογική τιμή DLCO_{SB}:

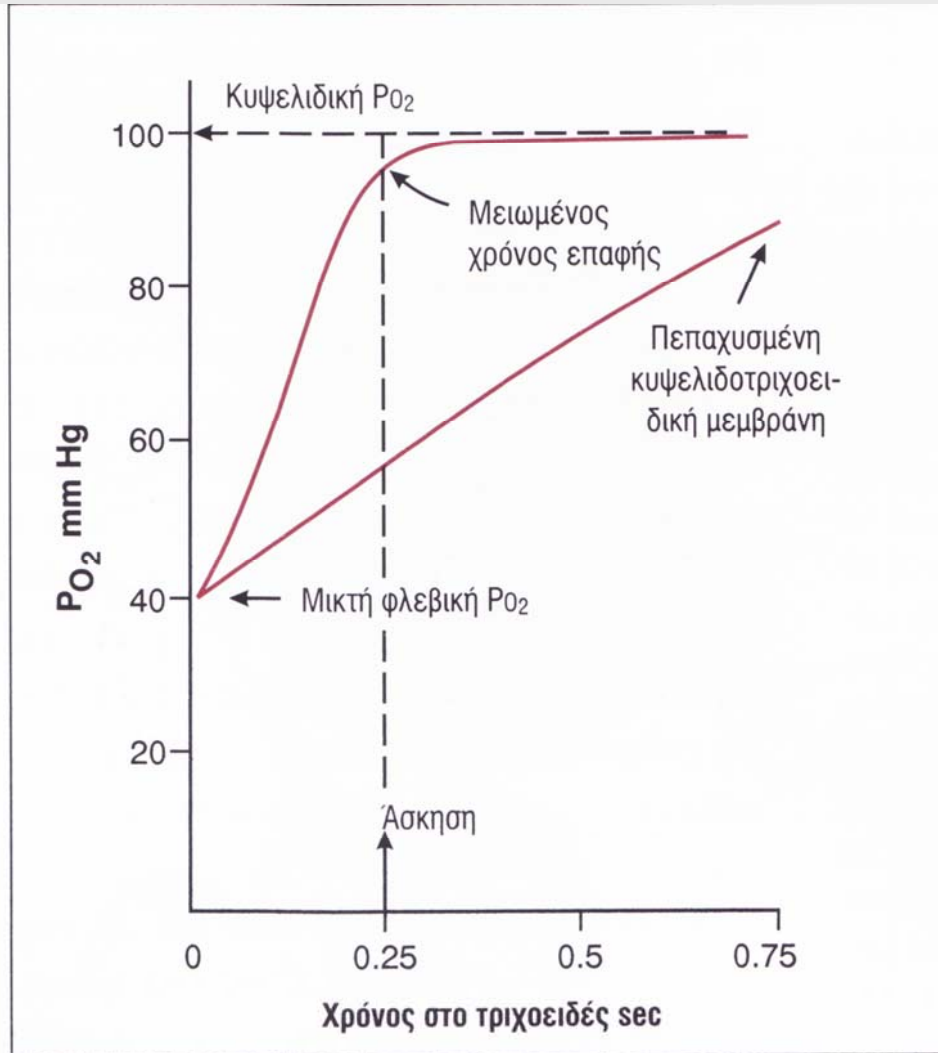
25-30 ml CO/min/mmHg



ΔΙΑΧΥΣΗ O₂ ΚΑΙ CO₂

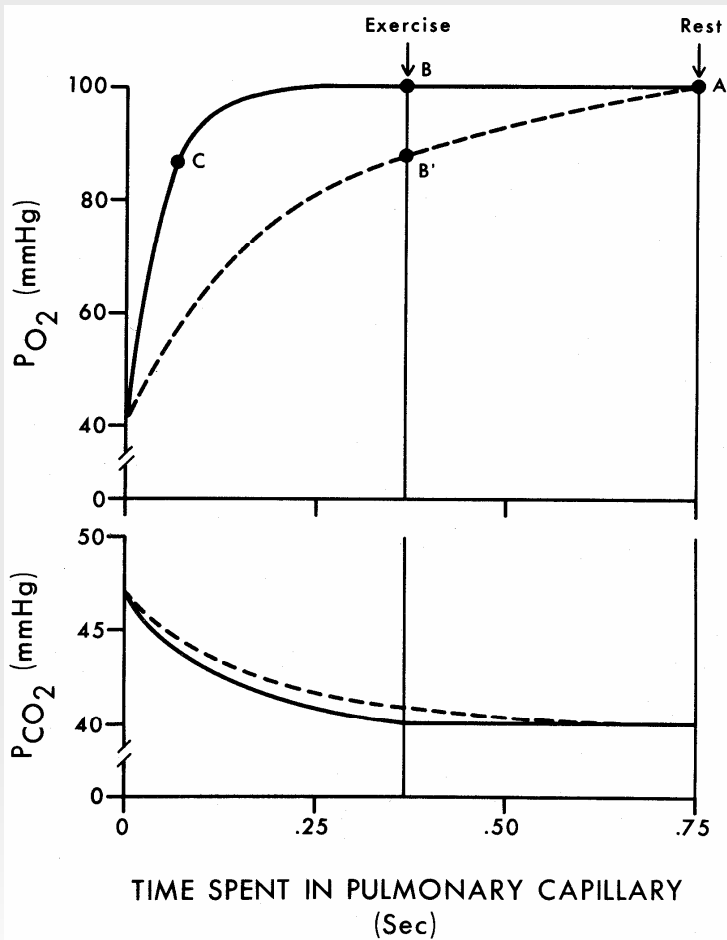


ΔΙΑΧΥΣΗ O₂ ΚΑΙ CO₂



ΕΙΚΟΝΑ 1-9. Μεταβολή της P_{O_2} σε συνάρτηση με το χρόνο κατά μήκος του πνευμονικού τριχοειδούς καθώς παρέχεται O_2 . Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, η P_{O_2} του αίματος των πνευμονικών τριχοειδών σχεδόν φτάνει εκείνη των κυψελιδικών αερίων, στο 1/3 του διαθέσιμου χρόνου. Ωστόσο, κατά την άσκηση που αυξάνεται σημαντικά η αιματική ροή των πνευμόνων, μειώνεται κατά πολύ ο χρόνος για την παροχή του οξυγόνου. Όταν παχυνθεί η κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη, η κυψελιδική P_{O_2} αυξάνεται με βραδύτερο ρυθμό επειδή επιβραδύνεται ο ρυθμός διάχυσης του O_2 .

ΔΙΑΧΥΣΗ O₂ ΚΑΙ CO₂



Η ανταλλαγή στο αίμα PO₂ και PCO₂ κατά την αναπνοή. Σε φυσιολογικούς πνεύμονες (συνεχόμενη γραμμή), και το PO₂ και το PCO₂ εξισορροπούν σε περίπου 0.25 sec. Ο χρόνος διάχυσης είναι ικανοποιητικός ακόμα και στην περίπτωση της άσκησης. (Ηρεμία-σημείο A, άσκηση- σημείο B). Σε περίπτωση μείωσης της διάχυσης (διακεκομμένη γραμμή), εξισορρόπηση θα συμβεί όταν επέλθει ηρεμία, αλλά κατά την φάση της άσκησης θα παρουσιαστεί υποξυγοναιμία.

Αντίθετα υπερκαπνία δύσκολα μπορεί να επέλθει και αυτό γιατί η διαλυτότητα του CO₂ είναι 24 φορές μεγαλύτερη από του O₂, ενώ το MB του μόνο 1,17 φορές μεγαλύτερο. Έτσι από τον τύπο

$$D = \alpha \frac{\text{solubility}}{\sqrt{MW}}$$

Προκύπτει ότι η διαχυτική ικανότητα του CO₂ είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερη από αυτή του O₂

ΔΙΑΧΥΣΗ O₂ ΚΑΙ CO₂

Ανακεφαλαιώνοντας:

- Perfusion limited υπό κφ συνθήκες
- Diffusion limited σε νόσους με διαταραχή διάχυσης (↓ A, ↑ T)
- Μεγάλες χρονικές εφεδρείες
- Επίδραση άσκησης – υψομέτρου – χαμηλής P_AO₂
- Σπάνια η διαταραχή της διάχυσης είναι αίτιο υποξυγοναιμίας σε ηρεμία
- Συνηθέστερα η διαταραχή διάχυσης δημιουργεί υποξυγοναιμία σε άσκηση
- Ποτέ δεν αποτελεί μηχανισμό υπερκαπνίας



ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Καταστάσεις που μειώνουν την διάχυση:

- Εμφύσημα (μείωση V_C)
- Αναιμία (μείωση θ)
- Διάμεσα πνευμονικά νοσήματα (αύξηση D_M)
- Πνευμονική υπέρταση (μείωση V_C)
- Πολλαπλά πνευμονικά έμβολα (μείωση V_C)
- Πνευμονεκτομή (μείωση V_C)
- Πνευμονία από PCP
- Κυψελιδική πρωτεΐνωση

D_M = πάχος τριχοειδοκυψελιδικής
μεμβράνης

V_C = όγκος τριχοειδικού πνευμονικού
δικτύου

ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Καταστάσεις που αυξάνουν την διάχυση:

- Κυψελιδική αιμορραγία (αύξηση θ)
- Δεξιόστροφο shunt (αύξηση V_C)
- Παχυσαρκία (αύξηση V_C)
- Πολυερυθραιμία (αύξηση θ)
- Άσκηση (αύξηση V_C)
- Κατακακλιμένη θέση (αύξηση V_C)

θ = ο ρυθμός με τον οποίο 1 ml αίμα με κφ Hb προσλαμβάνει το αέριο (O_2 ή CO)

V_C = όγκος τριχοειδικού πνευμονικού δικτύου

Ευχαριστώ

