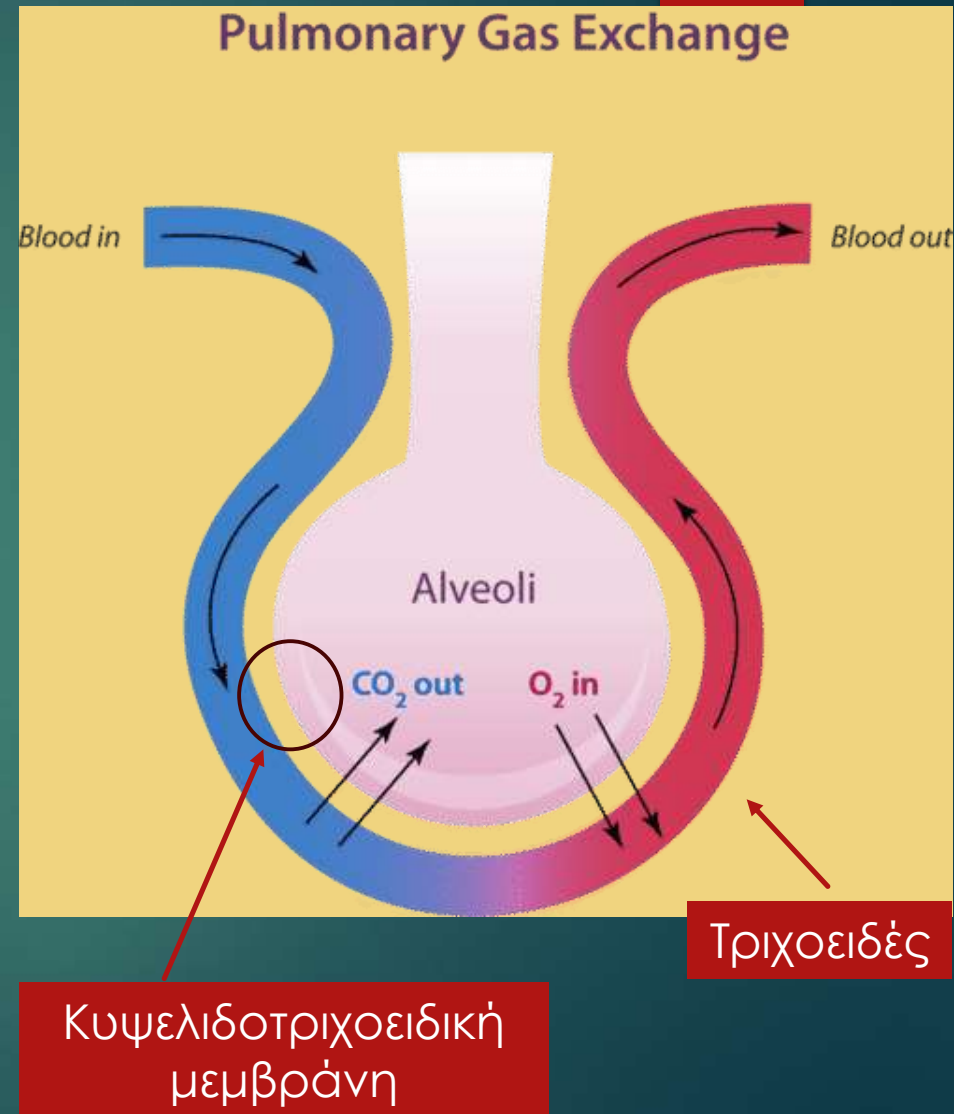




# Διακίνηση και μεταφορά αερίων

# 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
- ▶ Το  $O_2$  και το  $CO_2$  μετακινούνται με διάχυση κατά μήκος της μεμβράνης λόγω κλιμακωτής διαβάθμισης της μερικής πίεσης του κάθε αερίου (**διάχυση**)



# Πιέσεις εισπνεόμενων αερίων

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

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

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

- ▶ Η  $PO_2$  είναι μικρότερη στις κυψελίδες απ' ότι στον εισπνεόμενο αέρα γιατί αραιώνεται λόγω υδρατμών και του υπάρχοντος αέρα και κατευθύνεται προς το αίμα
- ▶ Η  $PCO_2$  αυξάνεται στις κυψελίδες γιατί εισέρχεται από τα τριχοειδή (~45 mm Hg) προς τις κυψελίδες για να φύγει με την εκπνοή

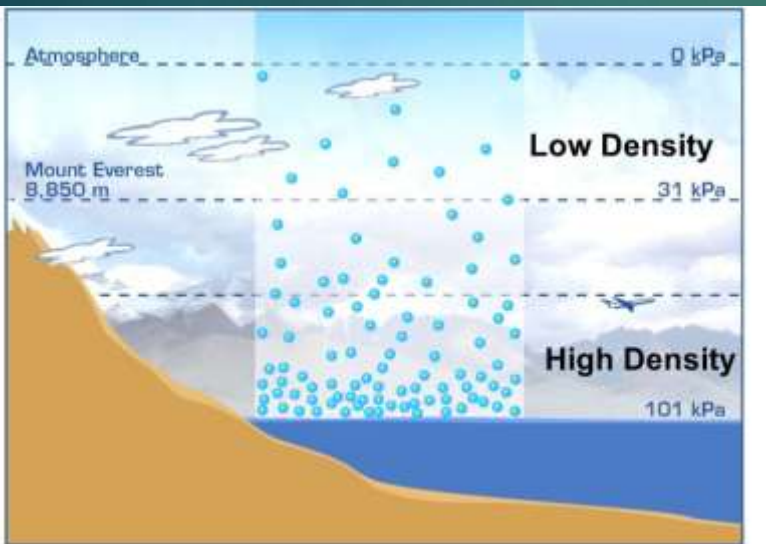
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display

Ξηρός αέρας

|                  | Inspired air | Alveolar air |
|------------------|--------------|--------------|
| H <sub>2</sub> O | Variable     | 47 mmHg      |
| CO <sub>2</sub>  | 000.3 mmHg   | 40 mmHg      |
| O <sub>2</sub>   | 159 mmHg     | 105 mmHg     |
| N <sub>2</sub>   | 601 mmHg     | 568 mmHg     |
| Total pressure   | 760 mmHg     | 760 mmHg     |

# Ατμοσφαιρική πίεση & πίεση O<sub>2</sub>

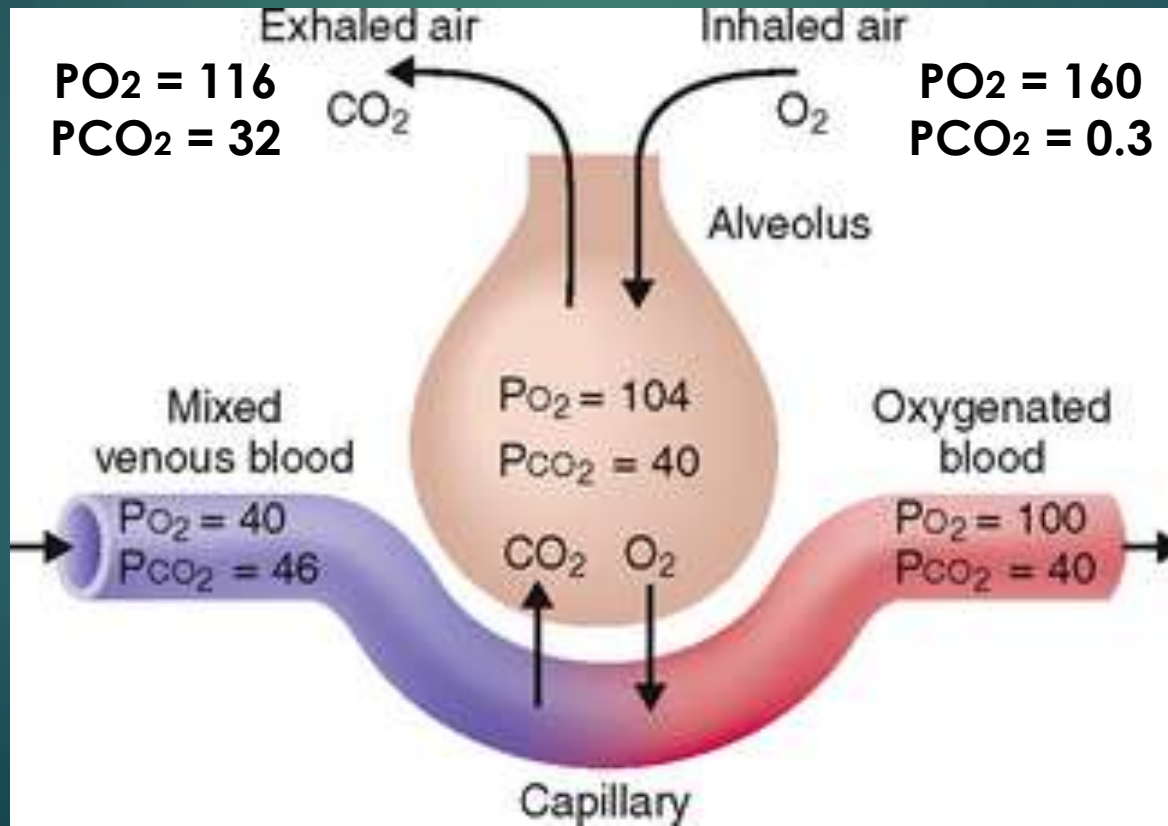
- ▶ Όσο μεγαλώνει το υψόμετρο η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πυκνότητα του αέρα (ο αέρας γίνεται πιο αραιός, ενώ η κλασμάτωση του οξυγόνου παραμένει ίδια ~21%) -> λιγότερο διαθέσιμο οξυγόνο σε κάθε εισπνοή
- ▶ Μειώνεται η πίεση και του οξυγόνου στους πνεύμονες με αποτέλεσμα να μειώνεται το οξυγόνο που φτάνει στους ιστούς
- ▶ Πιο γρήγορες αναπνοές, κόπωση - οργανισμός προσαρμόζεται αναπνέοντας πιο γρήγορα και βαθιά, αυξάνει παλμούς και παραγωγή ερυθρών



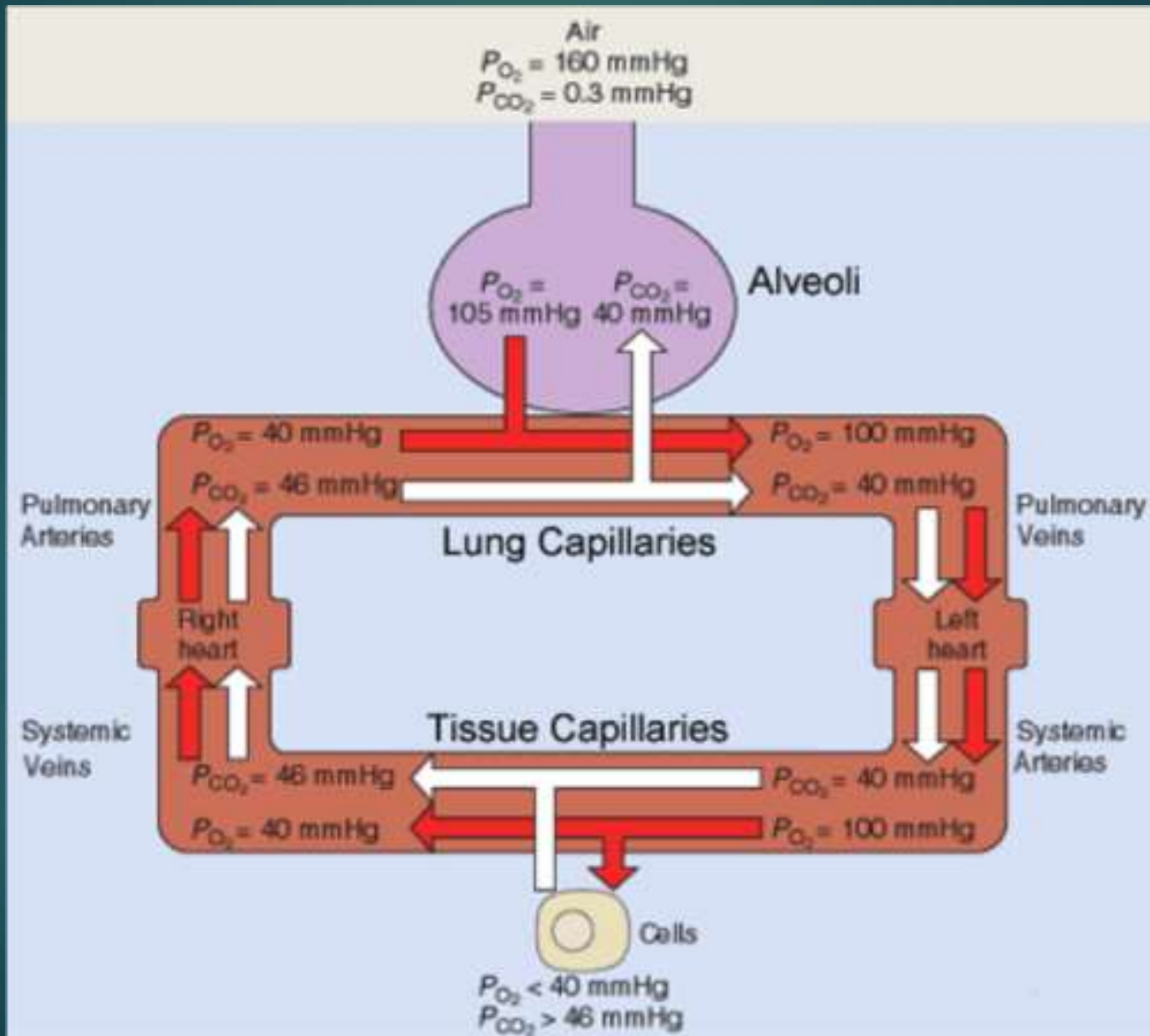
| υψόμετρο | Ατμοσφαιρική<br>πίεση | Μερική πίεση<br>οξυγόνου |
|----------|-----------------------|--------------------------|
| 0m       | 760 mm Hg             | 160 mm Hg                |
| 1000m    | 675 mm Hg             | 142 mm Hg                |
| 2000m    | 600 mm Hg             | 126 mm Hg                |
| 3000m    | 525 mm Hg             | 110 mm Hg                |
| 4000m    | 465 mm Hg             | 98 mm Hg                 |

# Διάχυση αερίων

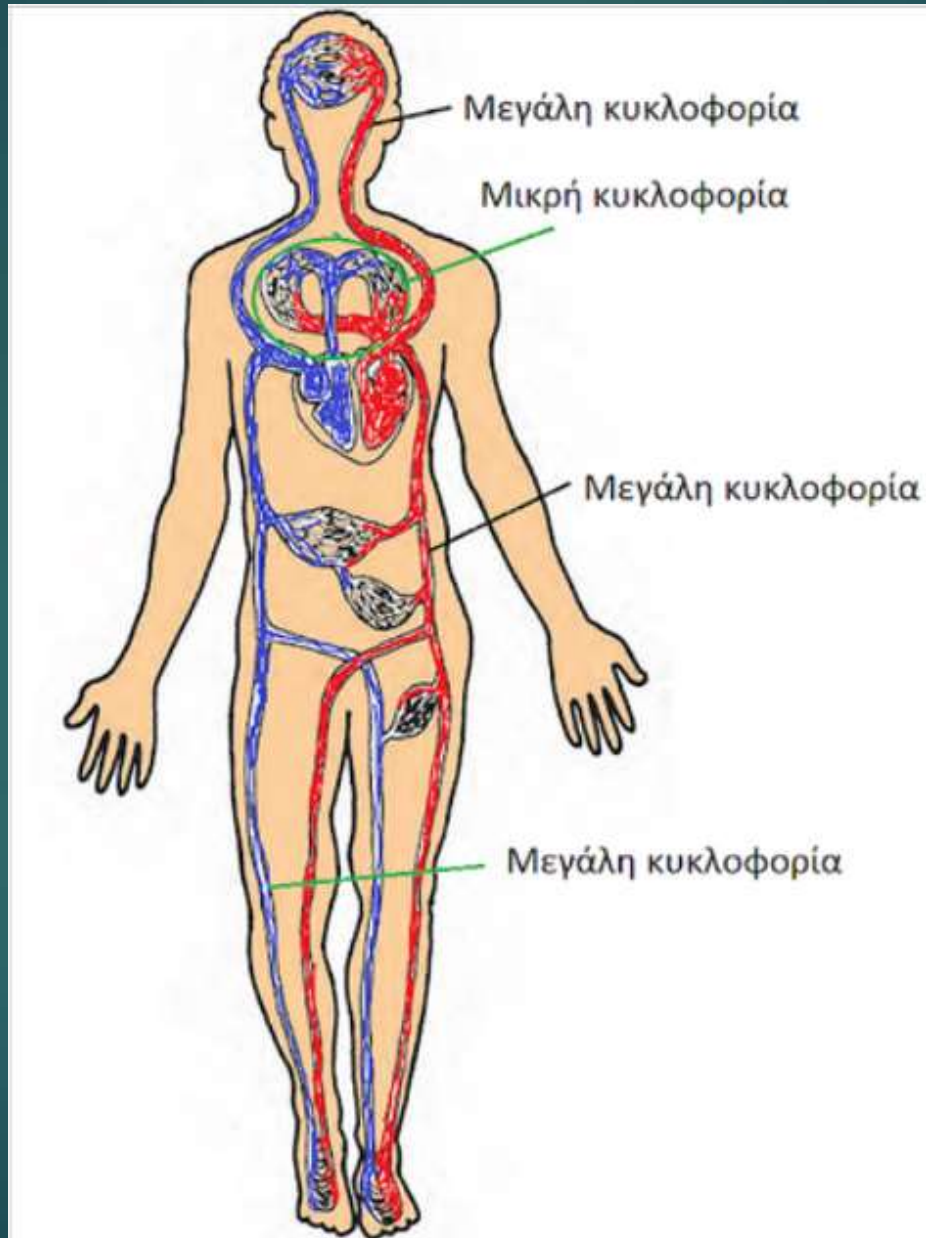
- ▶ Σχετίζεται με τη διαφορά των μερικών πιέσεων των μεμονωμένων αερίων
- ▶ Η  $\Delta P$  οδηγεί την παθητική μεταφορά αερίων μεταξύ των κυψελίδων και των πνευμονικών τριχοειδών



# Μερικές πιέσεις (συνολτικά)



# Μερικές πιέσεις (συνοπτικά)



# Νόμος του Fick

▶ Η διάχυση των  $O_2$  και  $CO_2$  μέσω της αναπνευστικής μεμβράνης ΥΠΟΚΕΙΤΑΙ ΣΤΟΝ **νόμο του Fick:  $V = A/T \times D \times \Delta P (P_1 - P_2)$**

▶ **V** (ή  $V_{gas}$ ): ο όγκος των αερίων που διαχέονται

▶ **A**: εμβαδόν επιφάνειας μεμβράνης

▶ **T**: πάχος μεμβράνης

▶ **D**: σταθερά διάχυσης

▶  **$\Delta P (P_1 - P_2)$** : διαφορά μερικών πιέσεων εκατέρωθεν της μεμβράνης

$D = \text{διαλυτότητα (sol)} / MW^{1/2}$

Μόρια με μικρό μοριακό βάρος

ή μεγαλύτερη διαλυτότητα

διαχέονται με μεγαλύτερο ρυθμό

$DCO_2 = 20 \times DO_2$

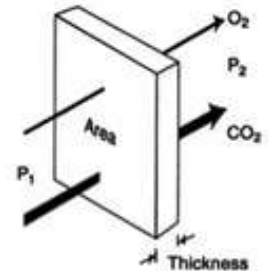
## 1. Fick's Law of diffusion

i. Factors determining the rate of gas diffusion across a biological membrane.

- Physical properties of the membrane.

- Physicochemical properties of the gas.

- Pressure gradient across the membrane.



$$\dot{V} \propto \frac{A}{T} \times \frac{\text{Sol}}{\sqrt{M.W.}} \times (P_1 - P_2)$$

# Νόμος του Fick

- ▶ Η διάχυση των  $O_2$  και  $CO_2$  μέσω της αναπνευστικής μεμβράνης υπόκειται στον **νόμο του Fick**:  $V = A/T \times D \times \Delta P (P_1 - P_2)$
- ▶ Η διάχυση είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους (T) ( $T \uparrow$  π.χ. πνευμονική ίνωση, πνευμονικό οίδημα, διάχυση  $\downarrow$ )
- ▶ Η διάχυση είναι άμεσα ανάλογη του εμβαδού επιφανείας (A) ( $A \uparrow$  π.χ. κατά τη σωματική άσκηση, διάχυση  $\uparrow$ )
- ▶ Ενώ όταν  $A \downarrow$  (π.χ. κατά το εμφύσημα όπου καταστρέφονται κυψελίδες, ατελεκτασία) διάχυση  $\downarrow$

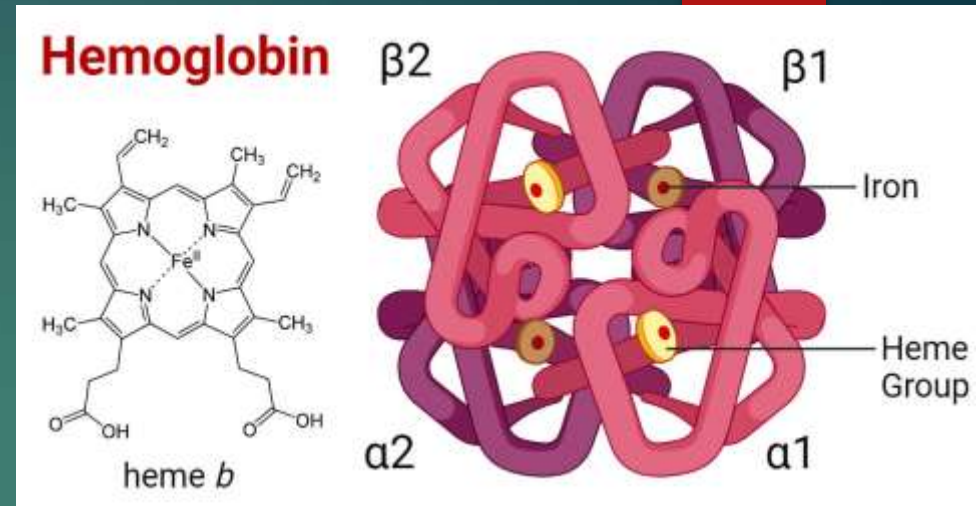
Σε κανονικές συνθήκες κυψελιδικού αερισμού (4L / min) περίπου 250 ml οξυγόνου εισέρχονται στην πνευμονική κυκλοφορία, ενώ 200 ml  $CO_2$  απομακρύνονται στην ατμόσφαιρα. Η αναλογία  $V_{CO_2}/V_{O_2}$  αποτελεί τον **λόγο αναπνευστικής ανταλλαγής, R** ( $R=0,8$  σε φυσιολογικές τιμές)

# Ικανότητα διάχυσης

- ▶ Απλοποιημένη μορφή του **νόμου του Fick:  $DL = V / \Delta P (P_1 - P_2)$**
- ▶  $DL =$  παρέχει ένα μέτρο του ρυθμού μεταφοράς αερίων στους πνεύμονες σε σχέση με τη διαφορά μερικών πιέσεων
- ▶ **Στην ουσία χρησιμοποιείται επειδή οι μετρήσεις των  $A$ ,  $T$  και  $D$  δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν σε ανέπαφους πνεύμονες**
- ▶ **Δοκιμασία μονήρους αναπνοής:** χρησιμοποιεί το  **$CO$**  επειδή η πρόσληψη του περιορίζεται από τη διάχυση και μόνο (όσο λαμβάνεται συνδέεται στην αιμοσφαιρίνη και μεταφέρεται στην κυκλοφορία), δεν υπάρχει  $CO$  στο φλεβικό αίμα ενώ η σχέση του  $CO$  με την αιμοσφαιρίνη (πρόσδεση) είναι 210 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του οξυγόνου
- ▶ Μια εισπνοή μίγματος  $CO$  και στην συνέχεια υπολογίζονται η συγκέντρωση του  $CO$  στα κυψελδικά αέρια και ο όγκος των πνευμόνων αποδίδοντας τον  $V_{co}$  ( $DL_{co}$  φυσιολογικές τιμές μεταξύ 20 και 30 ml/min/mm Hg)
- ▶ Αιματοκρίτης και όγκος παροχής αίματος επηρεάζουν αναλογικά τον  $DL$

# Μεταφορά οξυγόνου στο αίμα

- ▶ Συνδεδεμένο **αιμοσφαιρίνη (Hb)** στην **ερυθρά αιμοσφαίρια (98%)** στα
- ▶ Το υπόλοιπο (2%) ως φυσικά διαλυμένο στο αίμα (σε 100mm Hg αρτηριακής πίεσης του O<sub>2</sub> η συγκέντρωση του φυσικά διαλυμένου αίματος είναι 0.3 ml/dl (**πολύ μικρή ποσότητα που δεν επαρκεί για τις ανάγκες του οργανισμού**))
- ▶ Η αιμοσφαιρίνη περιλαμβάνει στα μόρια της αίμης 4 σημεία δέσμευσης οξυγόνου
- ▶ Συνδεδεμένη αιμοσφαιρίνη με O<sub>2</sub> -> **οξυαιμοσφαιρίνη (HbO<sub>2</sub>)**



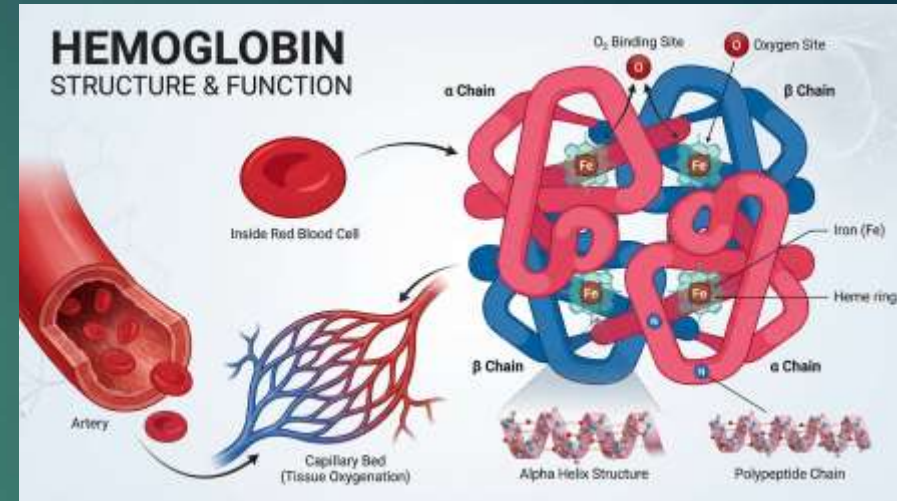
**Κάθε γραμμάριο αιμοσφαιρίνης μπορεί να δεσμεύσει 1,34 mL οξυγόνου**

# Μεταφορά οξυγόνου στο αίμα

- ▶ Η σύνδεση είναι αναστρέψιμη
- ▶ Στα πνευμονικά τριχοειδή που η  $PO_2$  είναι υψηλή, προωθείται η πρόσδεση και δημιουργείται οξυαιμοσφαιρίνη
- ▶ Στα τριχοειδή των ιστών που η  $PO_2$  είναι χαμηλή προωθείται η αποδέσμευση του  $O_2$
- ▶ Ποσοστό κορεσμού αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο υπολογίζεται ως εξής:

$So_2 = \frac{\text{περιεκτικότητα σε HbO}_2}{\text{ικανότητα μεταφοράς O}_2 \text{ της HbO}_2} \times 100$

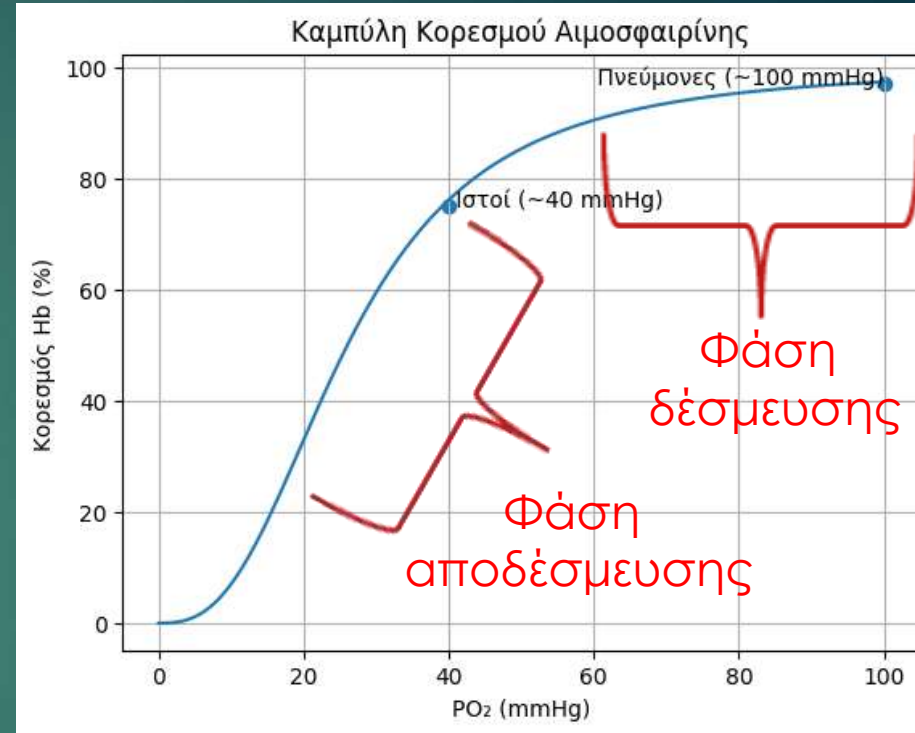
(αναλογία της ποσότητας του οξυγόνου που είναι πραγματικά δεσμευμένη προς την ποσότητα του οξυγόνου που μπορεί να είναι δυνητικά δεσμευμένο)



Το μέγιστο ποσό που μπορεί να μεταφερθεί με την αιμοσφαιρίνη καλείται **ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου** (~20 mL  $O_2$ /dL αίματος σε φ.τ.) (υποθέτοντας μια φυσιολογική συγκέντρωση 15 g Hb/dL αίματος τότε  $\times 1.34 \text{ mL } O_2 = 20,1 \text{ mL } O_2/\text{dL}$ )

# Ποσοστό κορεσμού

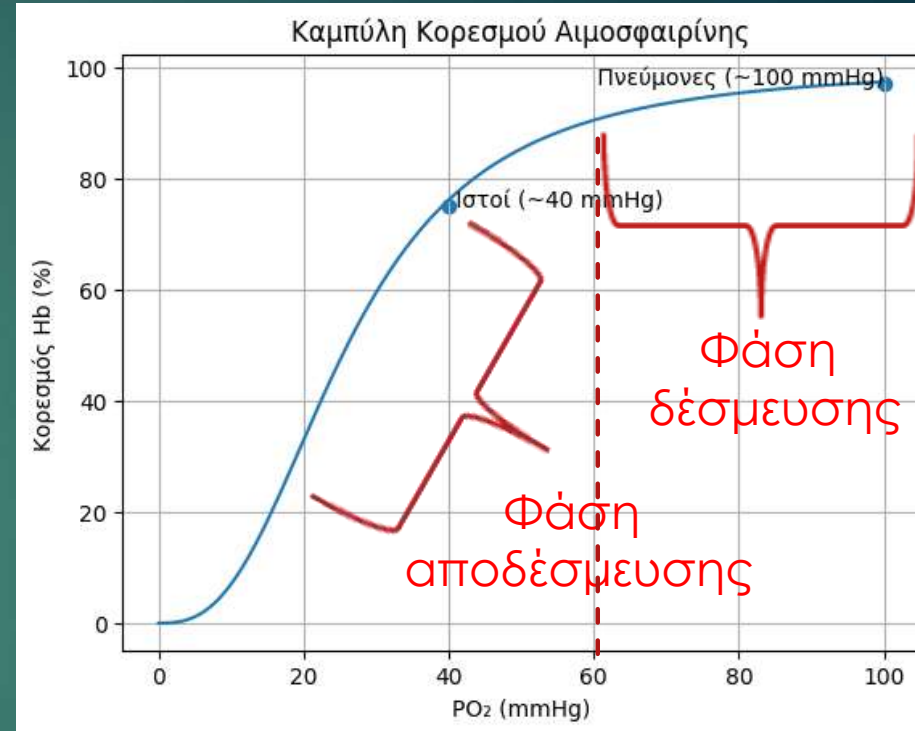
- ▶  $SO_2$  = περιεκτικότητα σε  $HbO_2$  X 100 / ικανότητα μεταφοράς  $O_2$  της  $HbO_2$
- ▶ Αν η περιεκτικότητα σε  $O_2$  είναι 16ml  $O_2$ /dL και η ικανότητα μεταφοράς 20 mL  $O_2$ /dL αίματος -> το αίμα είναι κατά 80% κορεσμένο σε οξυγόνο (φυσιολογικά περίπου 98%)
- ▶ **Καμπύλη αιμοσφαιρίνης** -> **κορεσμού** φορτωμένη είναι η αιμοσφαιρίνη με οξυγόνο
- ▶ **Φάση δέσμευσης:** το οξυγόνο δεσμεύεται στην αιμοσφαιρίνη (ακόμα και αν πέσει λίγο η  $PO_2$  π.χ. σε υψηλό υψόμετρο, η Hb παραμένει σχεδόν κορεσμένη)



- ▶ **Φάση αποδέσμευσης:** το οξυγόνο αποδεσμεύεται στην αιμοσφαιρίνη (μικρή πτώση  $PO_2$ , οδηγεί σε μεγάλη πτώση κορεσμού)

# Καμπύλη κορεσμού

- ▶ Φάση δέσμευσης (μεγαλύτερες  $PO_2$ ) στους πνεύμονες το  $O_2$  φορτώνεται/προσδένεται στην αιμοσφαιρίνη εύκολα
- ▶ Κλινική σημασία: το όριο επαρκούς οξυγόνωσης μπαίνει στα 60 mm Hg καθώς ο κορεσμός είναι περίπου στο 90%. Σε πιέσεις κάτω από 60 mm Hg, ο κορεσμός πέφτει γρήγορα (υποξία)
- ▶ Φάση αποδέσμευσης (μικρότερες  $PO_2$ ) στα τριχοειδή των ιστών απελευθερώνεται το  $O_2$  εύκολα

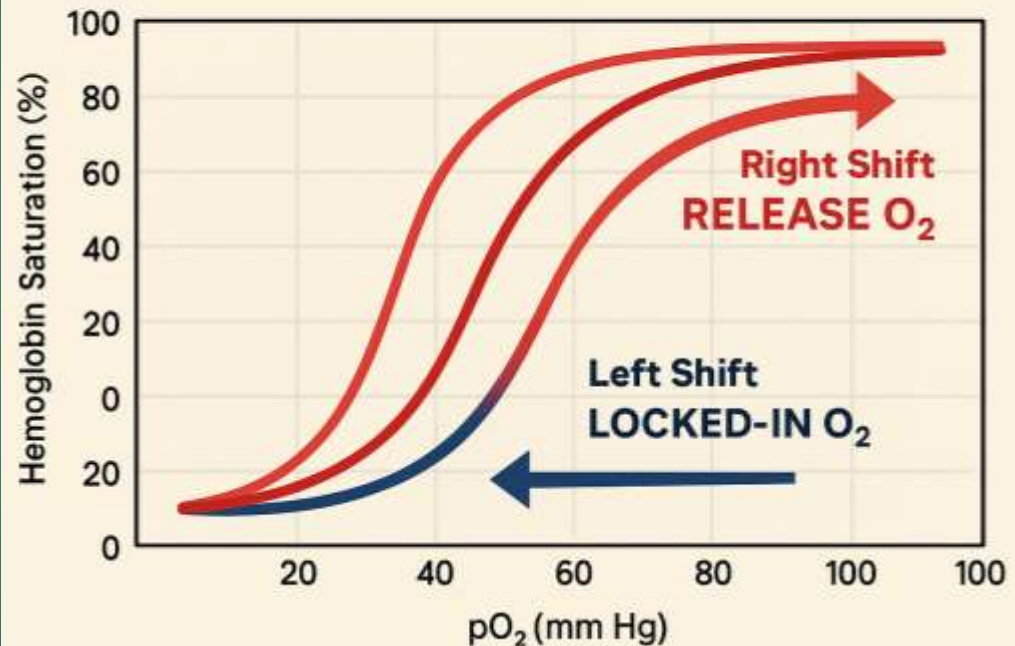


**P50:** το σημείο όπου η Hb είναι στο 50% κορεσμένη (~26 mm Hg) και δείχνει την συγγένεια της Hb για το  $O_2$

# Μετακίνηση καμπύλης κορεσμού

- ▶ Υψηλή P50 σημαίνει μείωση στη δεσμευτική ικανότητα της Hb και οδηγεί προς τα δεξιά την καμπύλη
- ▶ Χαμηλή P50 σημαίνει το αντίθετο και οδηγεί την μετακίνηση της καμπύλης προς τα αριστερά
- ▶ Η μετακίνηση προς οποιαδήποτε κατεύθυνση παρουσιάζει μεγαλύτερη επίδραση στην φάση αποδέσμευσης και πολύ μικρότερη στη φάση δέσμευση

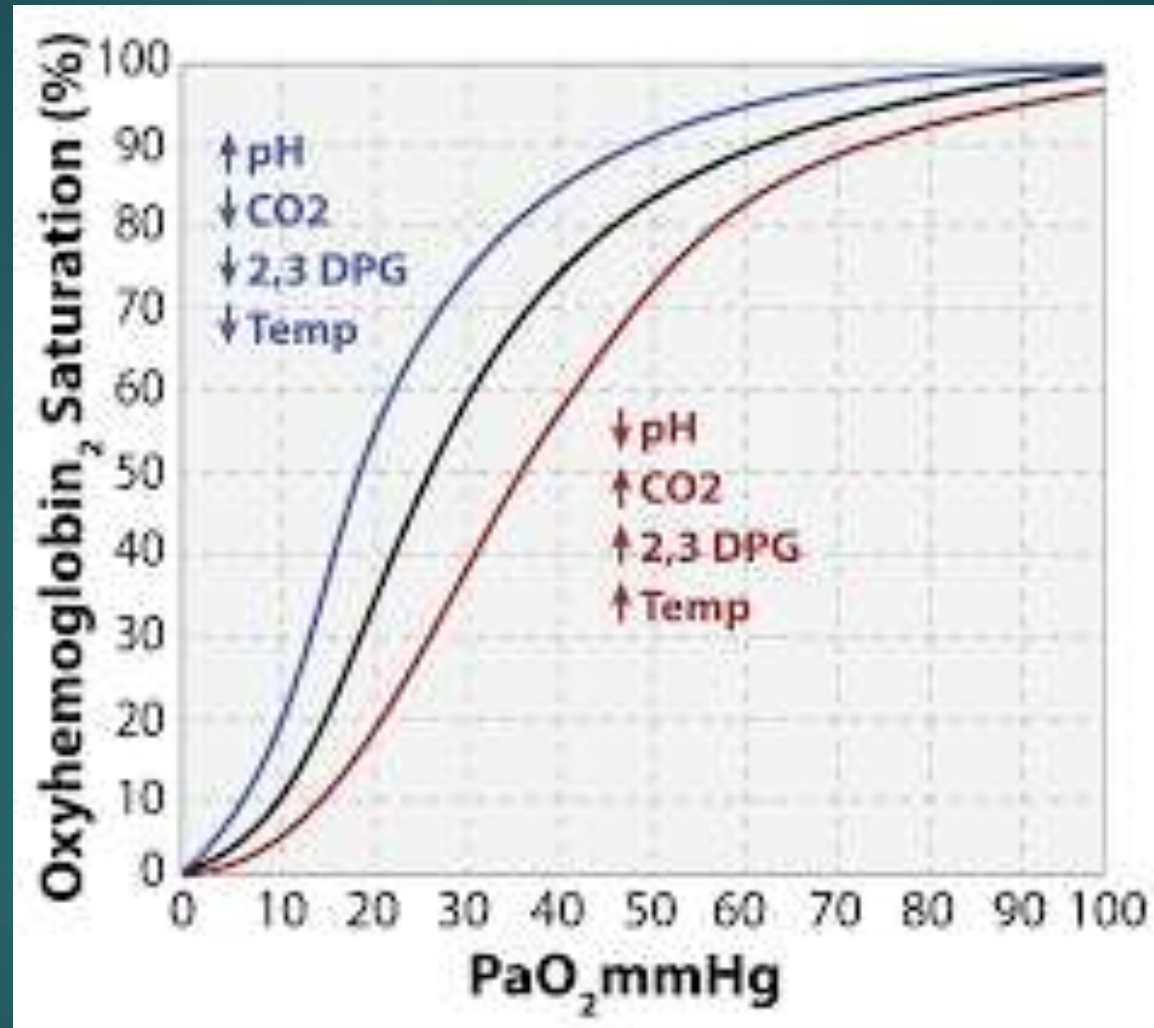
## MASTERING THE OXYGEN-HEMOGLOBIN DISSOCIATION CURVE FOR THE MCAT



# Μετακίνηση καμπύλης κορεσμού

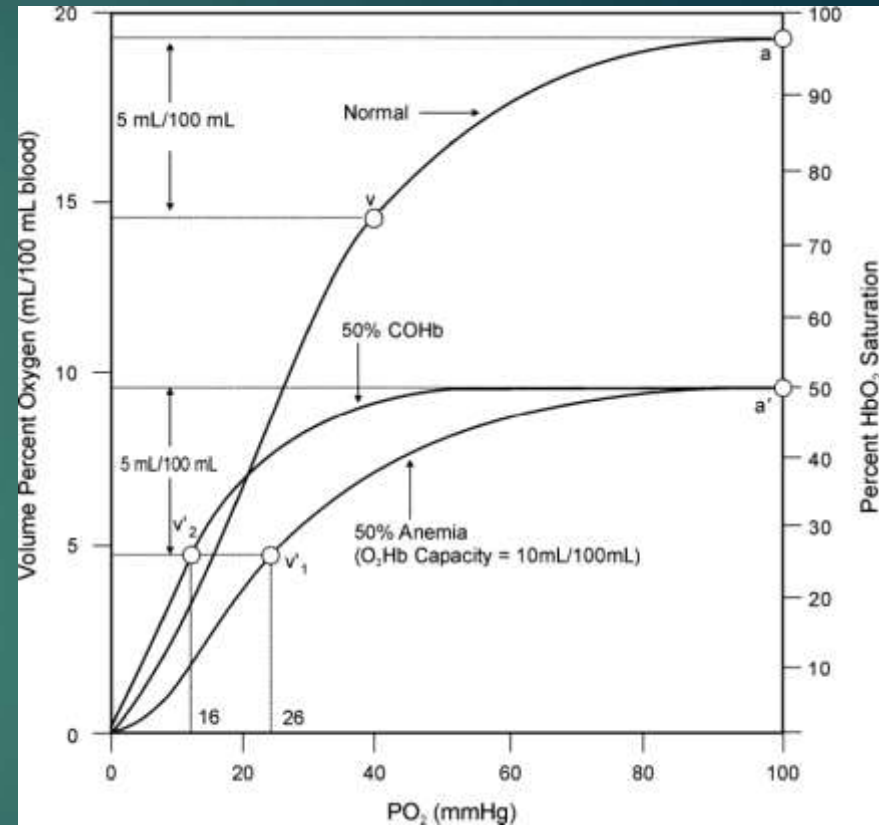
- ▶ Παράγοντες που επηρεάζουν την δεσμευτική ικανότητα της Hb για το O<sub>2</sub>
  - 1) Θερμοκρασία
  - 2) pH
  - 3) Αρτηριακή PCO<sub>2</sub>
  - 4) Συγκέντρωση του 2,3-διφωσφογλυκερινικού οξέος (DPG, μεταβολίτης της γλυκόλυσης, παράγεται από τα RBC)
- **Θερμοκρασία ↑ , PCO<sub>2</sub> ↑ , pH ↓ μετακινούν την καμπύλη προς τα δεξιά** π.χ. κατά την άσκηση όπου λαμβάνουν χώρα όλες αυτές οι προϋποθέσεις και ευνοούν την αποδέσμευση οξυγόνου στους ιστούς
- Τα επίπεδα της DPG είναι πολύ υψηλότερα στα RBCs σε σχέση με τα άλλα κύτταρα. DPG ↑ ευνοεί την αποδέσμευση του O<sub>2</sub> προς τους ιστούς από τα RBCs (προς τα δεξιά) (π.χ. άσκηση, υποξία στο μεγάλο υψόμετρο, ή σε χρόνιες παθήσεις των πνευμόνων)

# Μετακίνηση καμπύλης κορεσμού



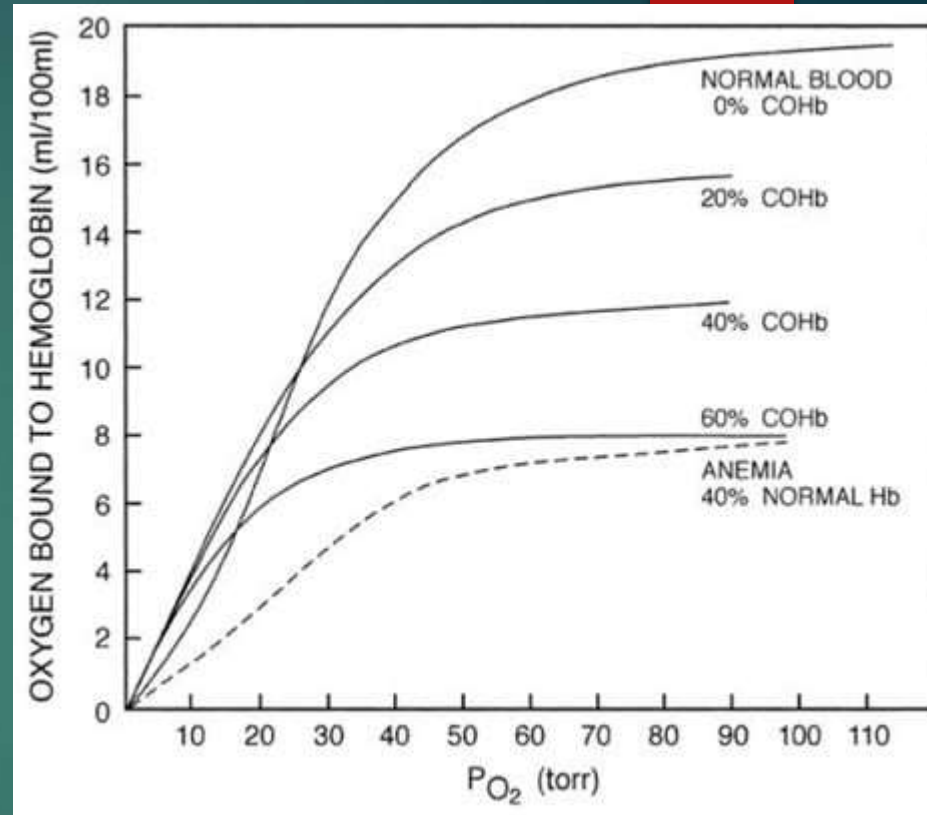
# Αναιμία

- ▶ Σε περιπτώσεις αναιμίας (ελαττωμένος αριθμός κυκλοφορούντων RBCs) η  $PO_2$  και η  $SaO_2$  είναι σε φυσιολογικά επίπεδα. Ωστόσο, η περιεκτικότητα του αίματος σε οξυγόνο δεν είναι!
- ▶ Η περιεκτικότητα μειώνεται στο μισό διότι κυκλοφορούν λιγότερα κύτταρα και όχι επειδή επηρεάζεται η δέσμευση
- ▶ Σε περιπτώσεις χρόνιας αναιμίας αυξάνεται η παραγωγή DPG για να αυξηθεί η αποδέσμευση στους ιστούς (δεξιά μετατόπιση)



# Δηλητηρίαση με CO

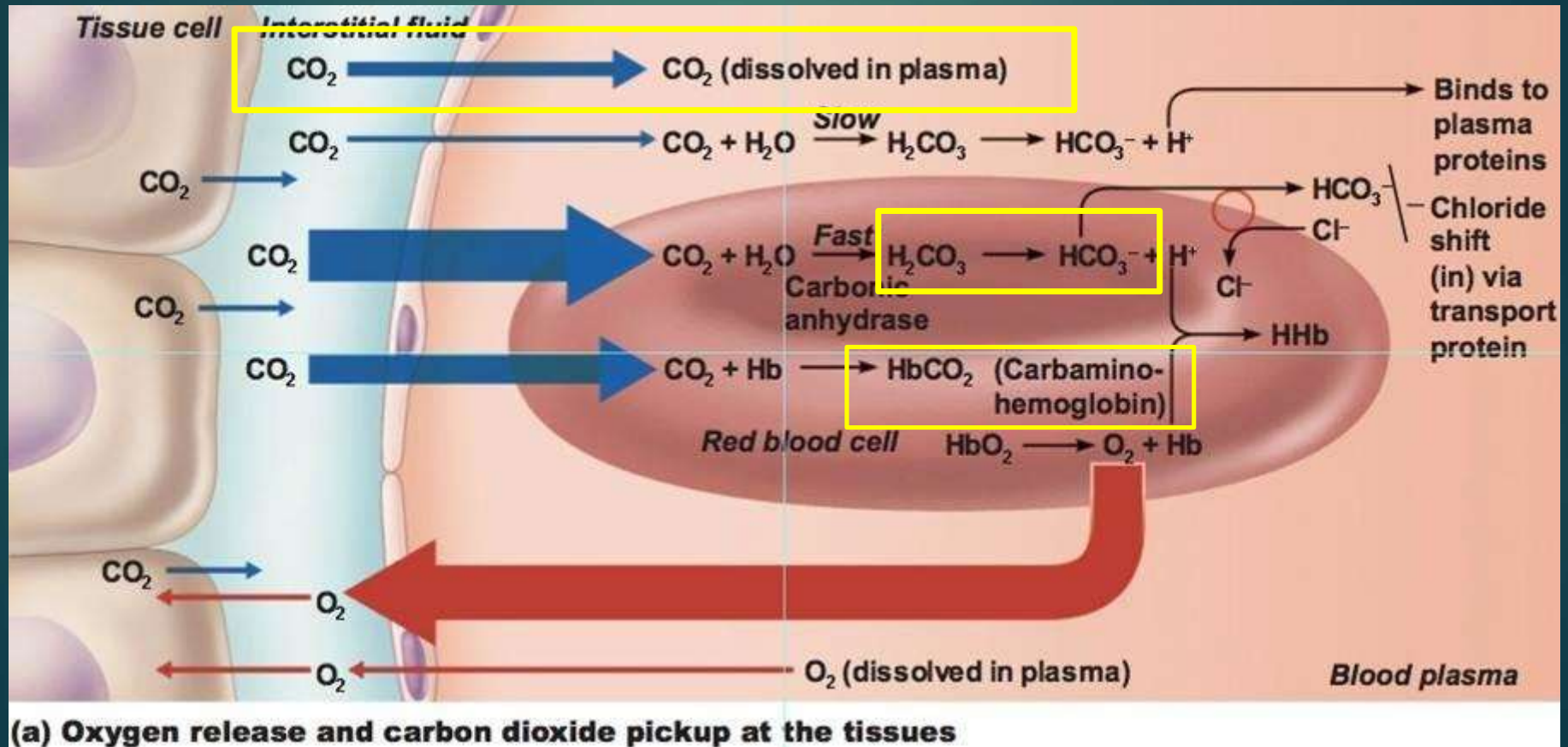
- ▶ Επειδή η εκλεκτική συγγένεια του CO είναι πολύ μεγαλύτερη του O<sub>2</sub> για την Hb, η εισπνοή ακόμα και πολύ μικρών ποσοτήτων θα οδηγήσει σε σχηματισμό μεγάλων ποσοτήτων HbCO -> **μείωση ποσοτήτων δεσμευμένου οξυγόνου**
- ▶ Επίσης η παρουσία CO προωθεί την μετακίνηση της καμπύλης προς τα αριστερά εμποδίζοντας την απελευθέρωση προς τους ιστούς
- ▶ Η θεραπεία δηλητηρίασης με CO είναι η χορήγηση 100% οξυγόνου.



**Δεν υπάρχουν χαρακτηριστικά φυσικά σημάδια υποξαιμίας καθώς το αίμα έχει ζωηρό ερυθρό χρώμα όταν δεσμεύεται το CO στην Hb**

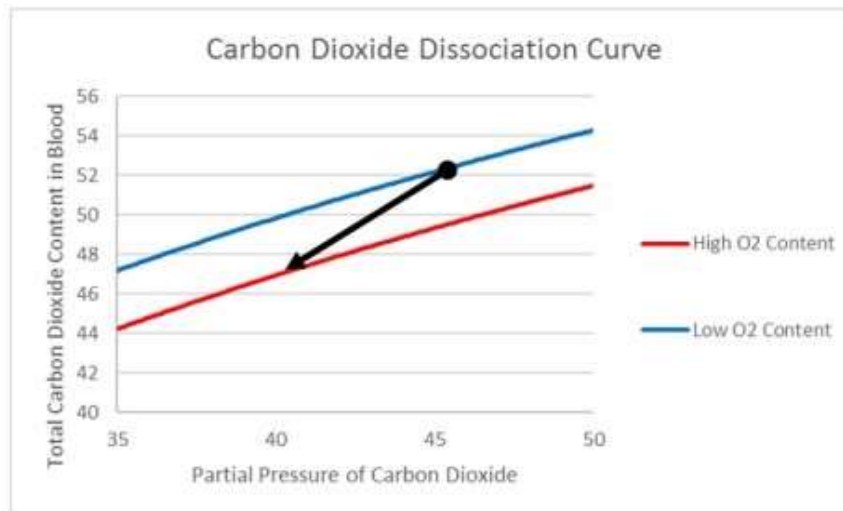
# Μεταφορά CO<sub>2</sub> στο αίμα

- ▶ Φυσικά διαλυμένο στο πλάσμα (10%)
- ▶ Ως ιόντα διττανθρακικού (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) στο πλάσμα και στα RBCs
- ▶ Σε μορφή καρβαμινοπρωτεϊνών



# Καμπύλη μεταφοράς CO<sub>2</sub>

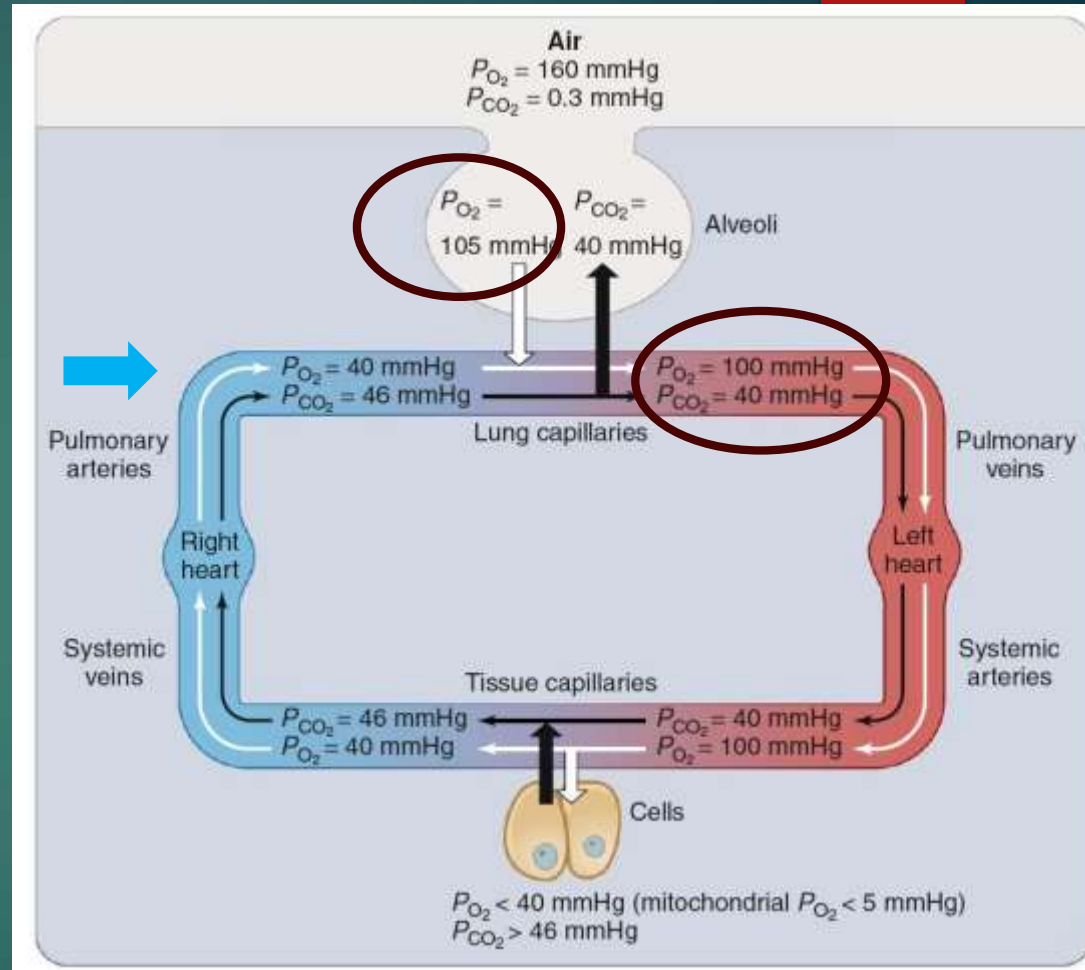
- ▶ Σχεδόν γραμμική, συνεπώς μικρές αλλαγές στην PCO<sub>2</sub> οδηγούν σε μεγάλα ποσά δέσμευσης ή αποδέσμευσης CO<sub>2</sub>
- ▶ Υψηλότερη PO<sub>2</sub> θα οδηγήσει την καμπύλη προς τα κάτω, καθώς προκαλεί την αποδέσμευση CO<sub>2</sub>
- ▶ Ρύθμιση οξεοβασικής ισορροπίας



The Haldane Effect causes increased offloading of carbon dioxide upon oxygenation of the blood, as displayed above. As blood passes through the lungs, an influx of oxygen causes a right shift of the carbon dioxide dissociation curve while the partial pressure of carbon dioxide drops from 45-46 down to about 40mmHg. This serves to release a greater amount of carbon dioxide into the alveolar spaces.

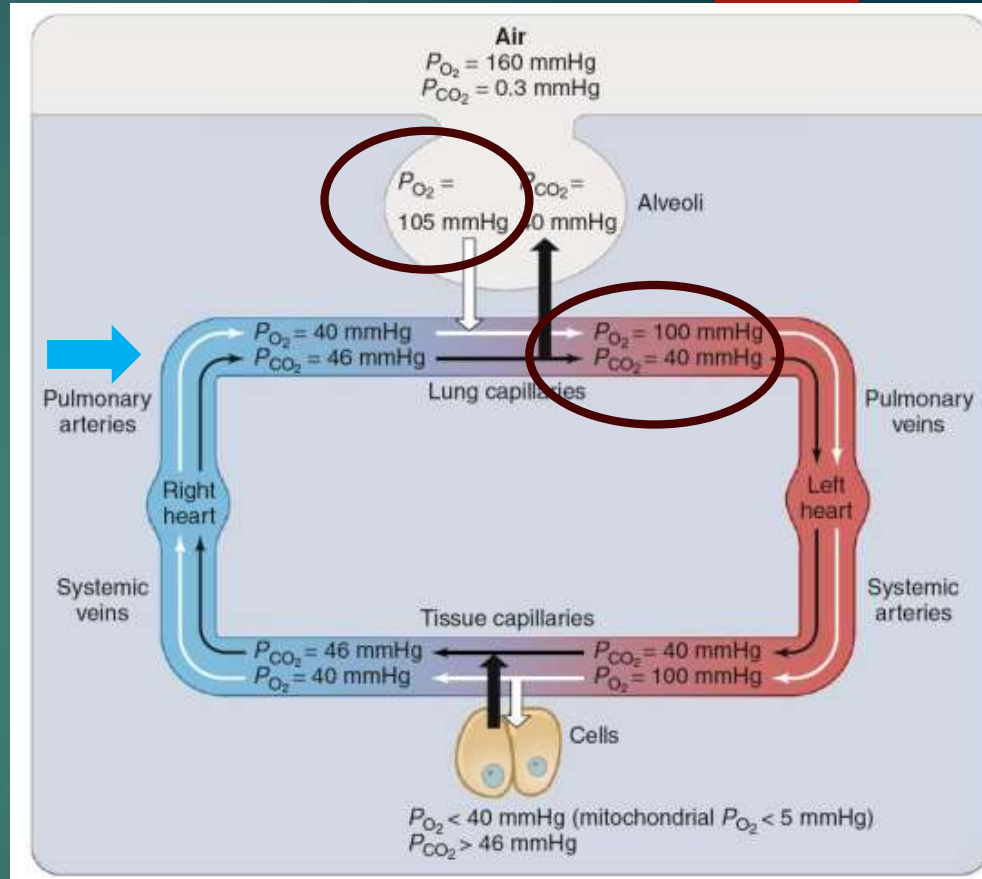
# Βαθμίδωση $PO_2$

- ▶ Όταν έχει γίνει η διάχυση του  $O_2$  από τις κυψελίδες στα τριχοειδή οι  $PO_2$  εξισώνονται
- ▶ Ωστόσο το αίμα που φθάνει στην αριστερή καρδιά έχει χαμηλότερη  $PO_2$ , ως αποτέλεσμα το αίμα της αρτηριακής κυκλοφορίας να έχει μια μέση τιμή  $PO_2 \sim 95 \text{ mmHg}$  και 98% κορεσμό
- ▶ Κυψελιδο-τριχοειδική βαθμίδωση οξυγόνου (A-a)
- ▶ Η διαφορά προκύπτει λόγω της **φλεβικής πρόσμιξης**



# Σχέση αερισμού-αιμάτωσης

- ▶ Η  $P_{O_2}$  εξαρτάται από την απομάκρυνση του οξυγόνου με το πνευμονικό τριχοειδικό αίμα
- ▶ Επηρεάζεται από την σχέση αερισμού αιμάτωσης  $V/Q$ , όπου  $V$  ο αερισμός κατά λεπτό και  $Q$  η πνευμονική αιματική ροή
- ▶ Φυσιολογικές βαθμιδώσεις είναι ίσες με 5-15 mm Hg. Διαφορές  $A-a > 15$  mm Hg είναι παθολογικές και οδηγούν σε χαμηλό ποσοστό οξυγόνου στο αίμα (**υποξαιμία ή υποξυγοναιμία**)

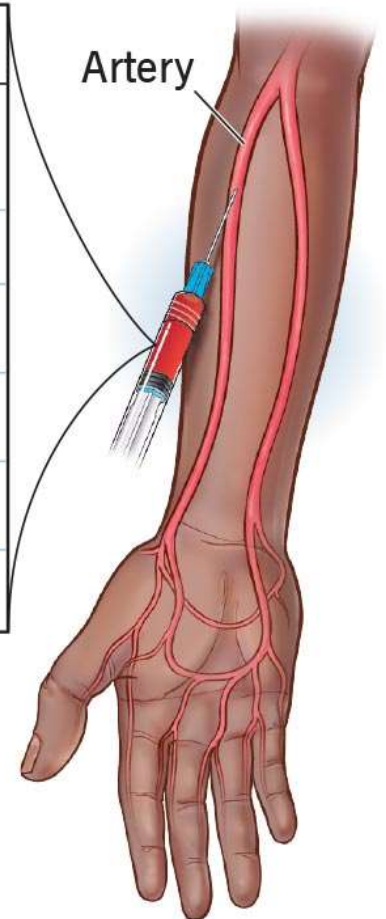


# Αέρια αίματος

- ▶ Τιμές  $\text{PaO}_2 < 80\text{-}85 \text{ mm Hg}$  είναι ενδεικτικές **υποξαιμίας**
- ▶ Τιμές  $\text{PaCO}_2 < 35 \text{ mm Hg}$  καλείται **υποκαπνία** και  $\text{PaCO}_2 > 45\text{-}48 \text{ mm Hg}$  **υπερκαπνία**
- ▶ Τιμές  $\text{pH} < 7,35$  ή  $> 7,45$  καλούνται **οξέωση** ή **αλκάλωση**, αντίστοιχα

## Arterial Blood Gas (ABG)

| ABG                    | Normal range               |
|------------------------|----------------------------|
| $\text{O}_2\text{CT}$  | 15-23% per 100 mL of blood |
| pH                     | 7.35-7.45                  |
| $\text{PaCO}_2$        | 35-45 mmHg                 |
| $\text{PaO}_2$         | 80-100 mmHg                |
| $\text{HCO}_3$         | 22-26 mEq/L                |
| $\text{O}_2\text{Sat}$ | 95-100%                    |



# Αιτίες υποξαιμίας

- ▶ Αναπνευστικές (αναπνευστική δυσλειτουργία)
- ▶ Περιοχικός υποαερισμός = τοπική ανισορροπία λόγου  $V/Q$ . Υγιείς άνθρωποι σε συνθήκες ηρεμία έχουν κυψελδικό αερισμό 4 L/min και  $Q=5$  L/min, η ιδανική αναλογία είναι 0,8. Μείωση του  $V$  ή και μηδενισμός του λόγω μιας απόφραξης οδηγεί σε μείωση του λόγου και συνεπώς σε μεγάλες A-a βαθμιδώσεις

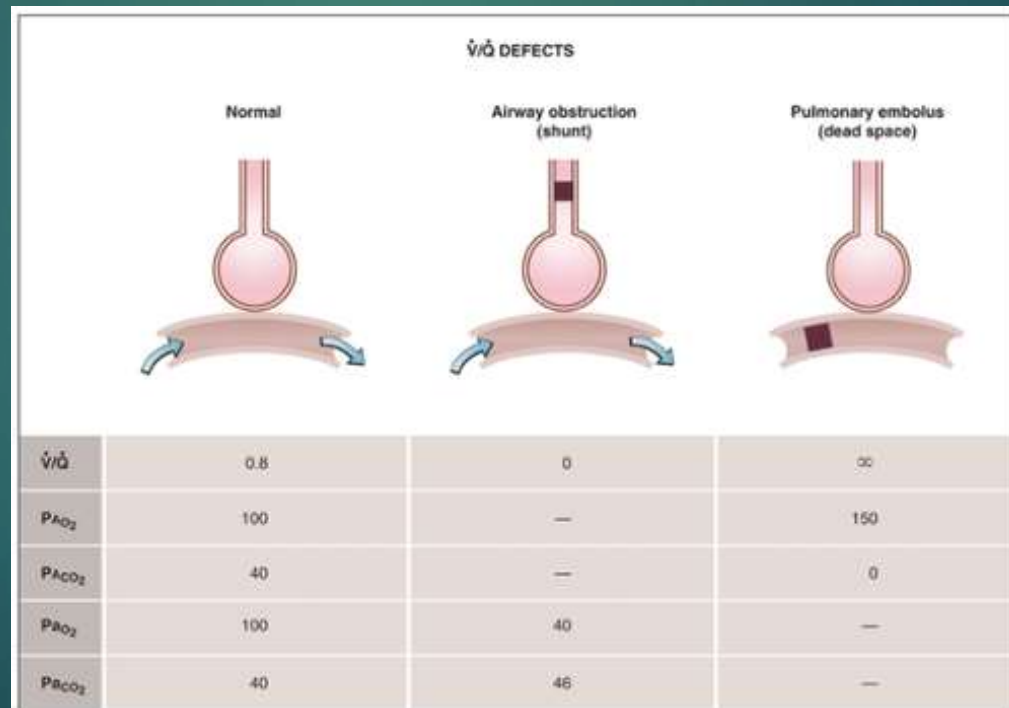
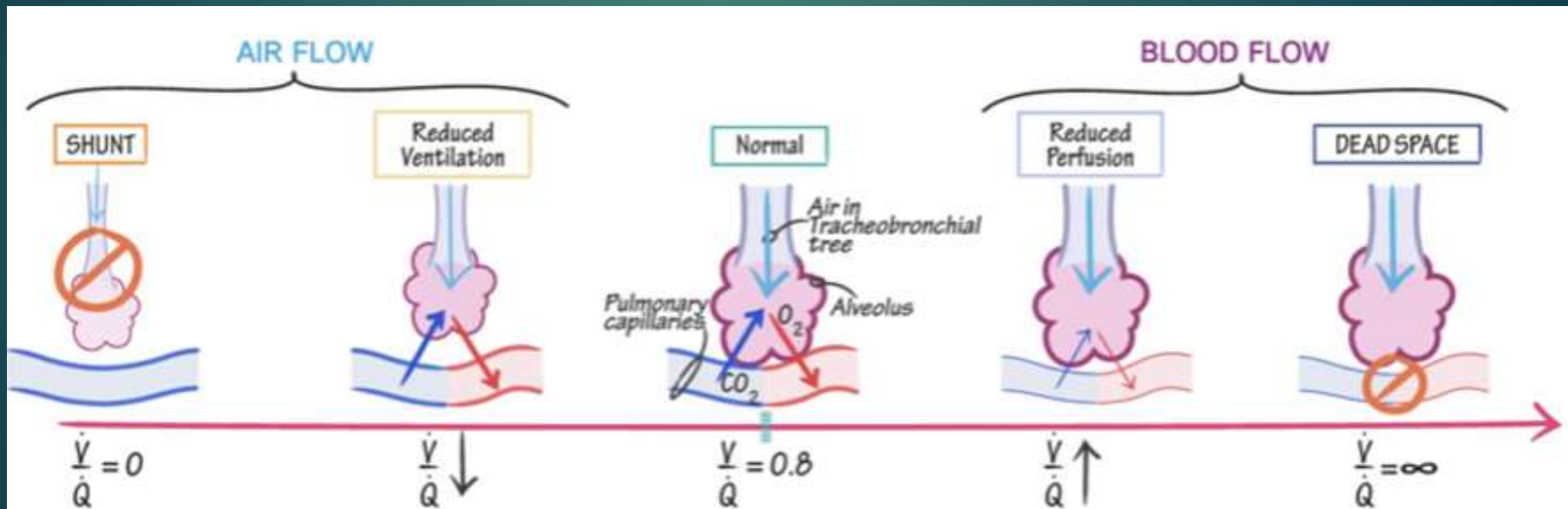


FIG. 5.31 Effect of ventilation/perfusion ( $\dot{V}/\dot{Q}$ ) defects on gas exchange in the lungs. ...

# Αιτίες υποξαιμίας

- ▶ Θρόμβος αίματος που φράσσει μια κύρια αρτηρία στους πνεύμονες εμποδίζει την παροχή αίματος άρα μειώνει το  $Q$ . Συνεπώς αυξάνεται ο λόγος
- ▶ Εξαιτίας παρακυκλώματος (shunt) που φράσσει τον αεραγωγό -> μεγάλη A-a βαθμίδωση



# Αιτίες υποξαιμίας

- ▶ Γενικός υποαερισμός οδηγεί σε αύξηση του  $\text{PaCO}_2$  (λόγω μείωσης του αναπνεόμενου όγκου  $\text{VA}$ ) (π.χ. ΧΑΠ, κρανιοεγκεφαλική κάκωση)
- ▶ Φυσιολογική A-a βαθμίδωση λόγω ισόποσης μείωσης της κυψελδικής και της αρτηριακής  $\text{PO}_2$

**$\text{PaCO}_2$  Equation:  $\text{PaCO}_2$  reflects ratio of metabolic  $\text{CO}_2$  production to alveolar ventilation**

$$\text{PaCO}_2 = \frac{\text{VCO}_2 \times 0.863}{\text{VA} = \text{VE} - \text{VD}}$$

$\text{VCO}_2$  =  $\text{CO}_2$  production

$\text{VE}$  = minute (total) ventilation = resp. rate x tidal volume

$\text{VD}$  = dead space ventilation = resp. rate x dead space volume

0.863 converts  $\text{VCO}_2$  and  $\text{VA}$  units to mm Hg

| $\text{PaCO}_2$ | Condition in Blood | State of Alveolar Ventilation |
|-----------------|--------------------|-------------------------------|
| > 45 mm Hg      | Hypercapnia        | Hypoventilation               |
| 35 - 45 mm Hg   | Eucapnia           | Normal ventilation            |
| < 35 mm Hg      | Hypocapnia         | Hyperventilation              |

# Αιτίες υποξαιμίας

- ▶ Κώλυμα διάχυσης: όταν η απόσταση διάχυσης κατά μήκος της κυψελιδο-τριχοειδικής μεμβράνης αυξηθεί ή ελαττωθεί η διαπερατότητα της κυψελιδο-τριχοειδικής μεμβράνης (τελευταία πιθανή αιτία)
- ▶ Υψηλή A-a βαθμίδωση, υψηλή  $PaCO_2$  και χαμηλή  $PaO_2$

## ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- ▶ Χαμηλή  $PaO_2$ , υψηλή  $PaCO_2$ , φυσιολογική A-a βαθμίδωση -> γενικευμένος υποαερισμός
- ▶ Χαμηλή  $PaO_2$ , υψηλή βαθμίδωση A-a -> shunt, περιοχικά χαμηλός λόγος V/Q ή κάποιο κώλυμα διάχυσης. Εισπνοή 100% οξυγόνου θα διαχωρίσει το αν ο λόγος είναι ο χαμηλός λόγος V/Q ή ένα shunt.

# Αιτίες υποξαιμίας

- ▶ Μη αναπνευστικές (αναιμία, δηλητηρίαση με CO, υψόμετρο)

| Altitude<br>(feet) | Atmospheric<br>Pressure<br>(mm/Hg) | PAO <sub>2</sub><br>(mm/<br>Hg) | PVO <sub>2</sub><br>(mm/<br>Hg) | Pressure<br>Differential<br>(mm/Hg) | Blood<br>Saturation (%) |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Sea Level          | 760                                | 100                             | 40                              | 60                                  | 98                      |
| 10,000             | 523                                | 60                              | 31                              | 29                                  | 87                      |
| 18,000             | 380                                | 38                              | 26                              | 12                                  | 72                      |
| 22,000             | 321                                | 30                              | 22                              | 8                                   | 60                      |
| 25,000             | 282                                | 7                               | 4                               | 3                                   | 9                       |
| 35,000             | 179                                | 0                               | 0                               | 0                                   | 0                       |