

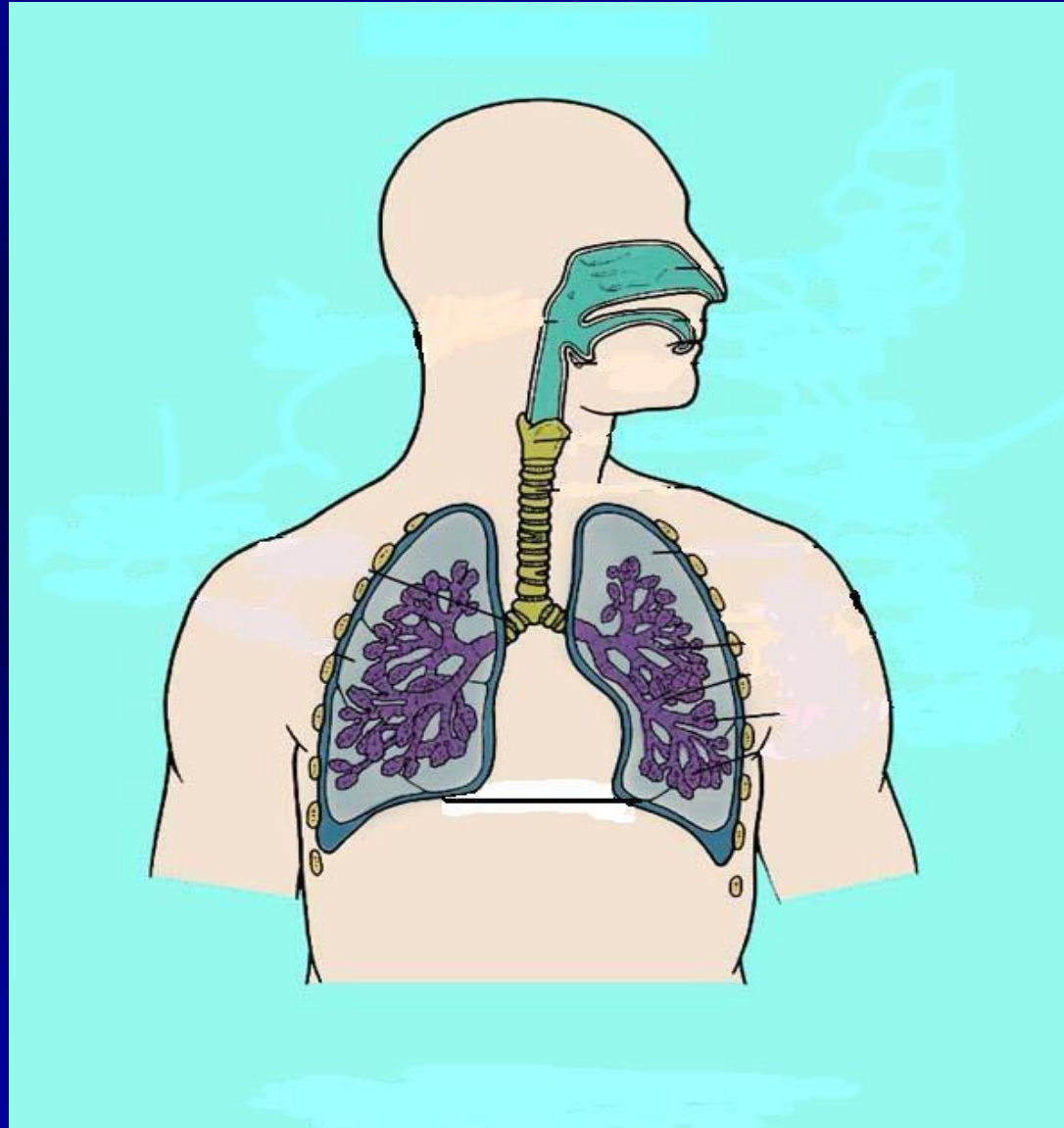
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ

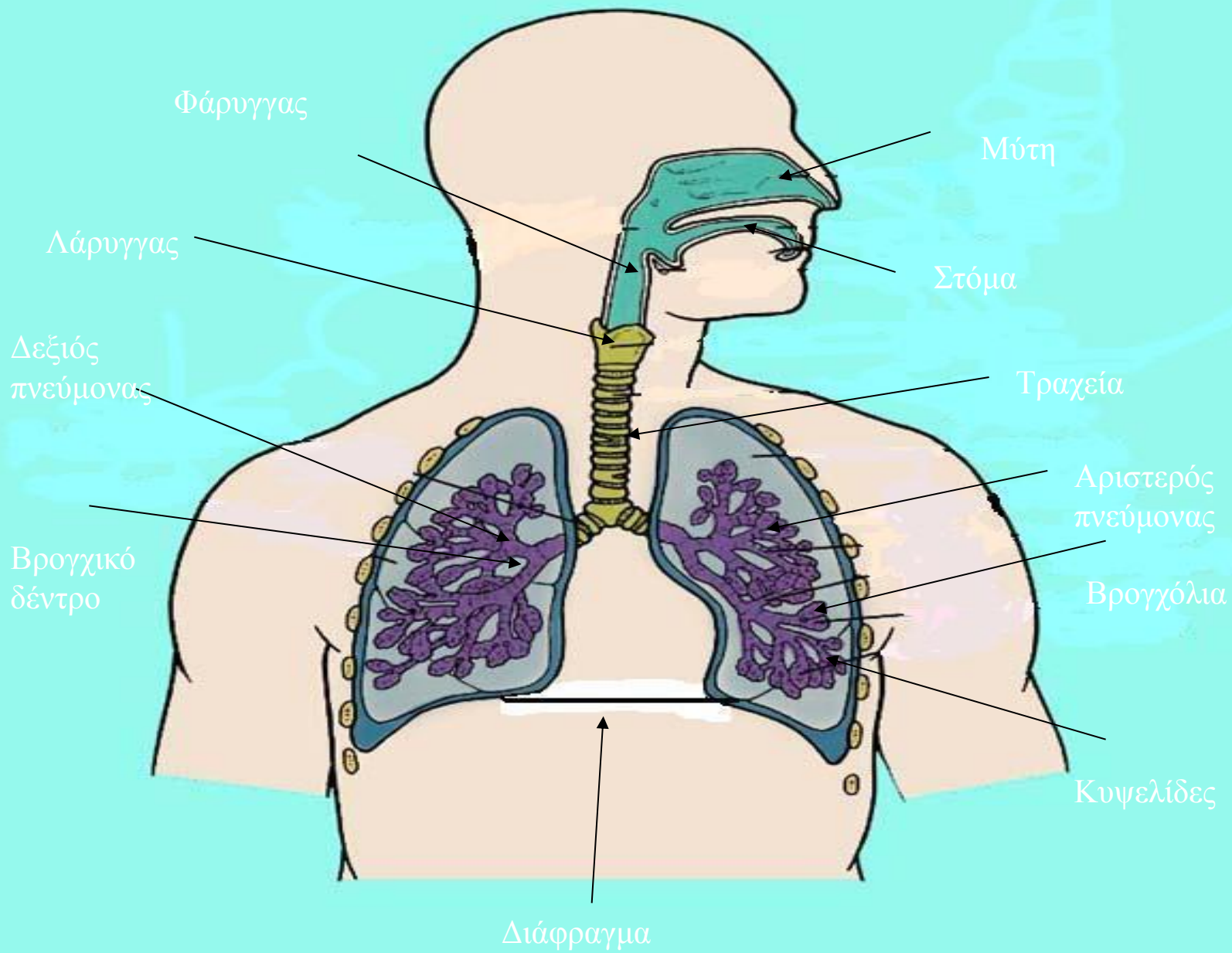
ΔΡΟΣΙΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΠΑΘΟΛΟΓΟΣ-ΟΓΚΟΛΟΓΟΣ
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΙΙ, ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ. 2020

Περιγραμματα

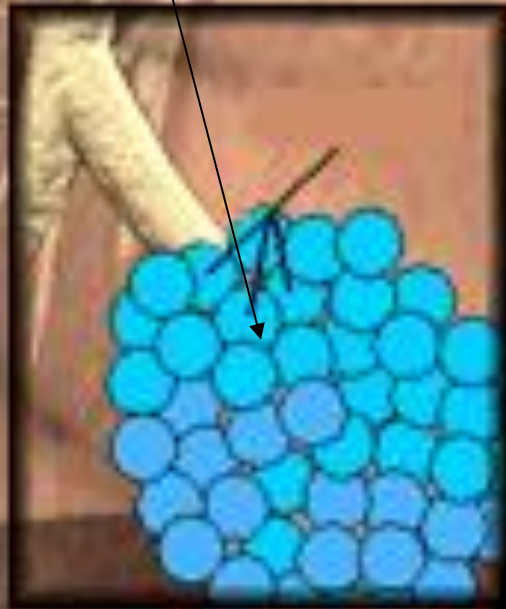
- Φυσιολογία της αναπνοής
- Ανταλλαγή των αερίων
- Μεταφορά των αερίων
- Αίτια αναπνευστικής οξέωσης

ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ -ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Ο ΔΡΟΜΟΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ



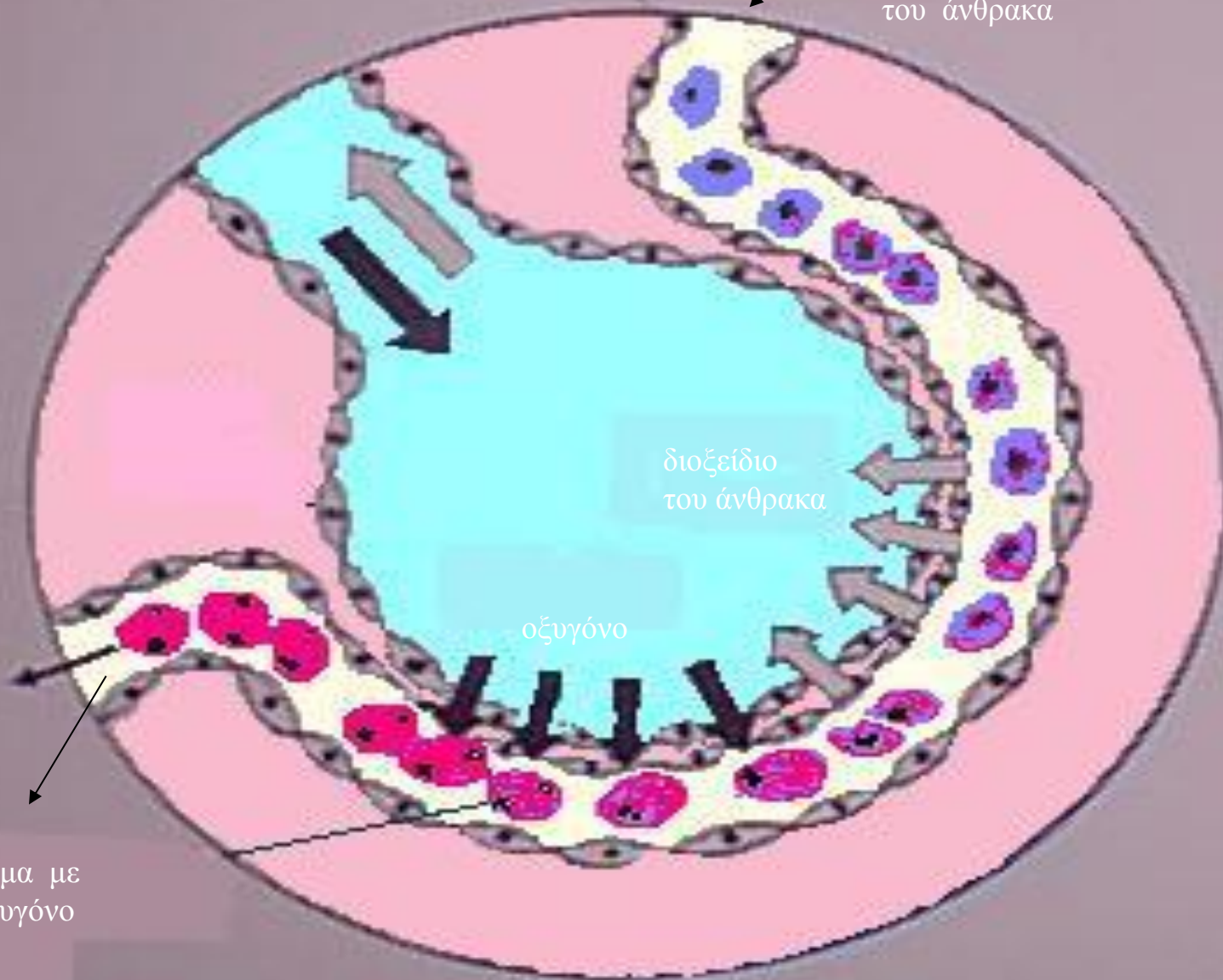


Ο αέρας καταλήγει
στις



Το οξυγόνο που μεταφέρει ο αέρας στις
κυψελίδες ανταλλάσσεται με το διοξείδιο του
άνθρακα των τριχοειδών αγγείων

Αίμα με
διοξείδιο
του άνθρακα

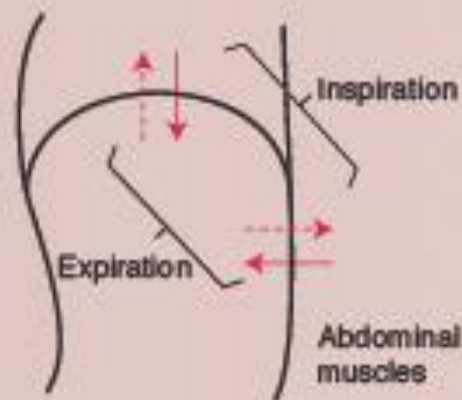
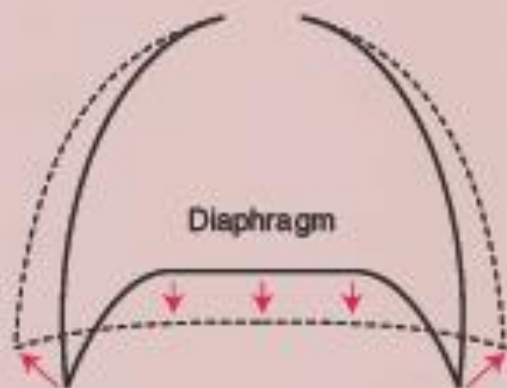


Αίμα με
οξυγόνο

Μύες

Εισπνοή

Διάφραγμα

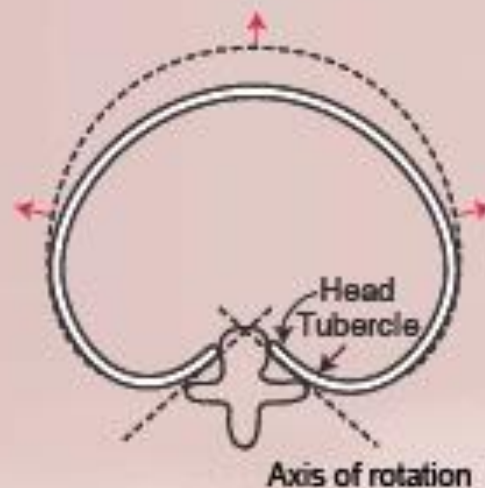
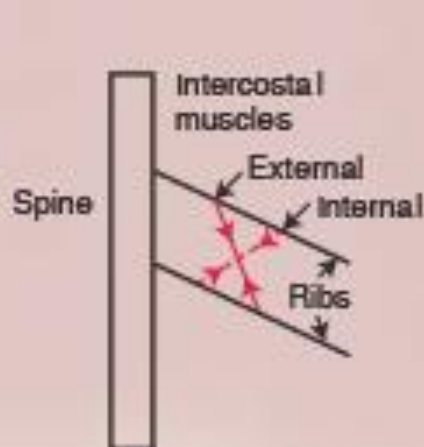


Εκπνοή

Κοιλιακοί
Ορθοί
Εσω & Εξω Λοξοί

Εξω
Μεσοπλεύριοι

Επικουρικοί
Εισπνευστικοί



Εσω
Μεσοπλεύριοι

Αναπνευστικά Κέντρα

- *ν Γεννούν τη ρυθμό εισπνοής - εκπνοής.*
- *ν Εντοπίζονται στον προμήκη και τη γέφυρα.*
- *ν Λαμβάνουν (μηνύματα) είσοδο από χημειοϋποδοχείς, τους πνεύμονες, άλλους υποδοχείς και το φλοιό.*
- *ν Δίνουν έξοδο στα φρενικά νεύρα αλλά και σε αναπνευστικούς μύες.*

Κεντρικοί Χημειοϋποδοχείς

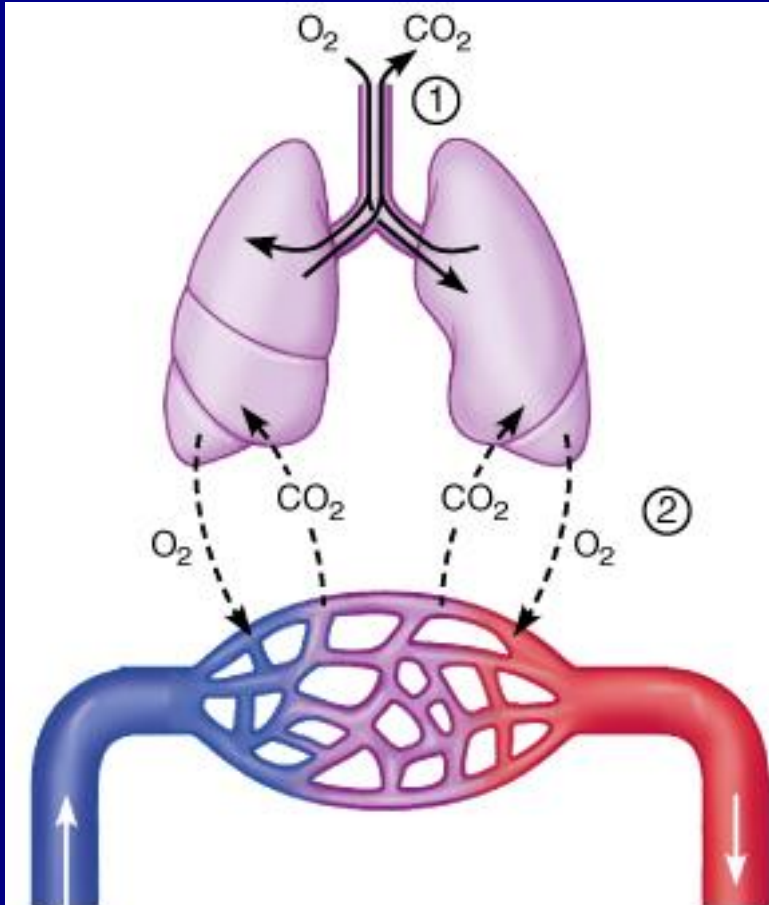
- *Εντοπίζονται στην κοιλιακή επιφάνεια της γέφυρας.*
- *Ευαίσθητοι σε PCO_2 αλλά όχι στην PO_2 του*
- *αίματος*
- *Ανταποκρίνονται σε αλλαγή του pH του $EΞΥ/ΕΝΥ$, προκαλούμενη από τη διάχυση του CO_2 , από τα τριχοειδή του εγκεφάλου.*

Περιφερικοί Χημειοϋποδοχείς

- Εντοπίζονται στα καρωτιδικά και αορτικά σωμάτια
- Ανταποκρίνονται (ταχύτατα) σε μειωμένη PO_2 και αυξημένη PCO_2 και H^+

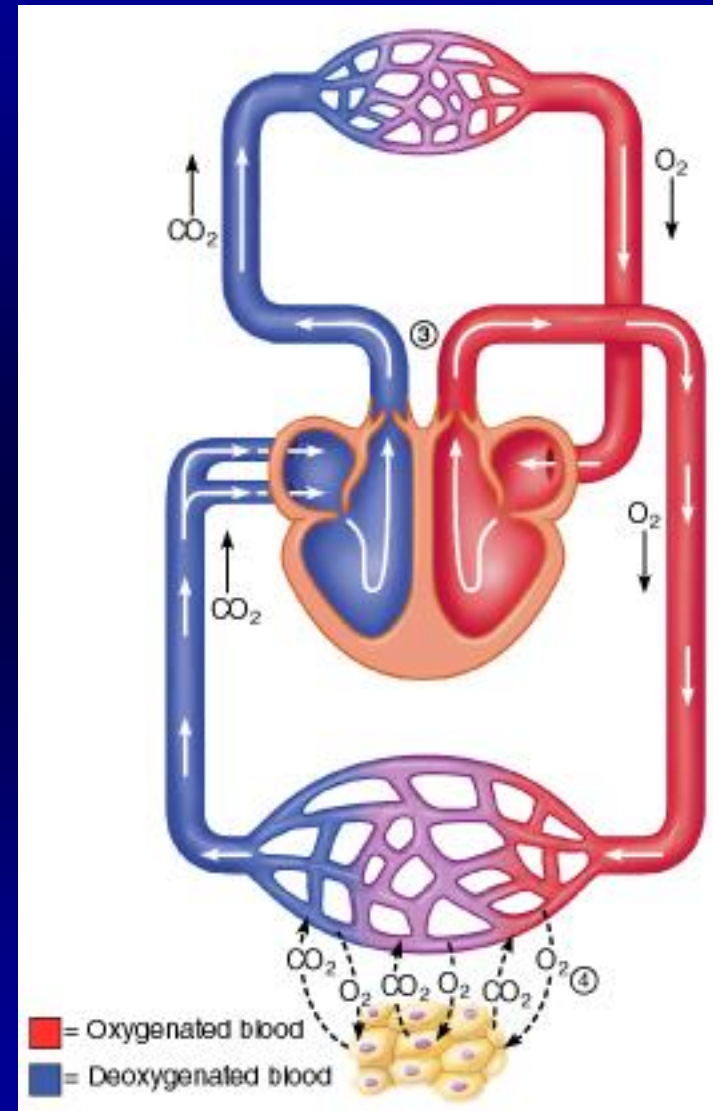
Λειτουργίες αναπνευστικού συστήματος

1. Αερισμός



2. Ανταλλαγή αερίων

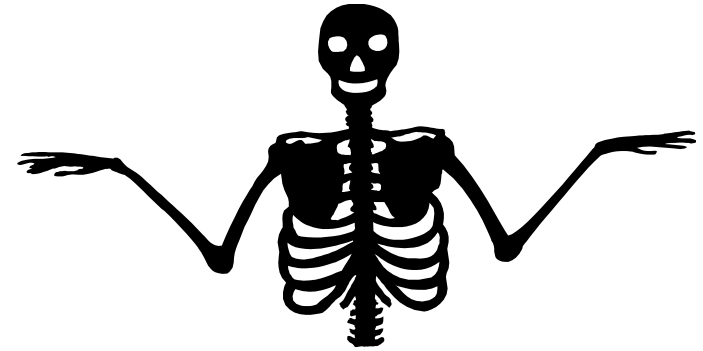
3. Μεταφορά αερίων



4. Ανταλλαγή αερίων

Γιατί χρειάζεται το O_2 ?

- Υποστηρίζει
 - τη ζωή
 - την καύση



Υποστήριξη της ζωής

- Απαραίτητο στους αερόβιους οργανισμούς για τον κυτταρικό μεταβολισμό
 - **80% οξειδωτική φωσφορυλίωση**
 - παραγωγή ενέργειας
 - **20% σε άλλες κυτταρικές λειτουργίες**
 - α. **οξειδάσες** μεταφοράς ηλεκτρονίου: π.χ οξειδάση c κυτοχρώματος μιτοχονδρίων, οξειδάση NADPH (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate oxidase)
 - β. **τρανσφεράσες** O₂: π.χ κυκλο-οξυγενάση, λιποξυγενάση.
 - γ. **οξειδάσες** μικτής λειτουργίας: π.χ υδροξυλάσες κυτοχρώματος P-450

Κλινική σημασία O₂

PaO ₂ mmHg	SaO ₂ %	Κλινική σημασία
150	99	PO ₂ σε επίπεδο θάλασσας
90-97	96-98	PaO ₂ νέου υγιούς ανθρώπου
80	95	PaO ₂ νέου υγιούς ανθρώπου στον ύπνο, υγιούς ηλικιωμένου σε εγρήγορση
70	93	Κατώτερο φυσιολογικό
60	90	Ήπια αναπνευστική ανεπάρκεια (AA)
50	85	AA-Εισαγωγή στο νοσοκομείο

Κλινική σημασία O₂

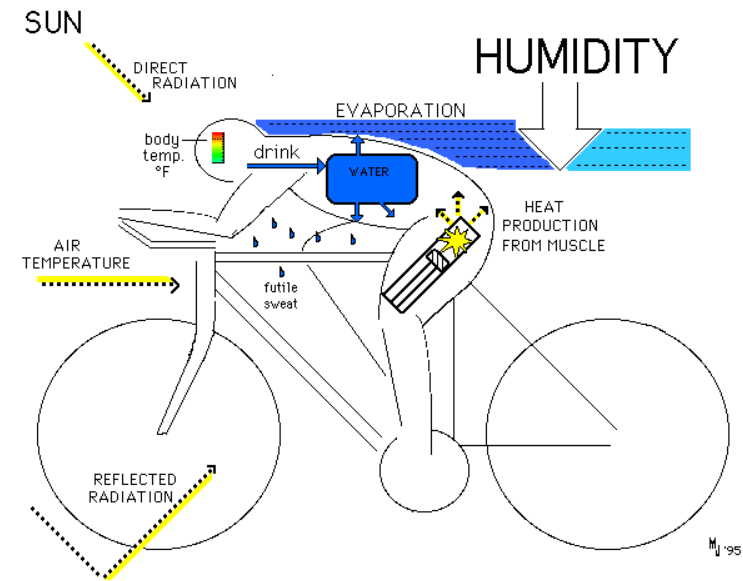
PaO ₂ mmHg	SaO ₂ %	Κλινική σημασία
40	75	Μικτό φλεβικό αίμα, αρτηριακό αίμα σε βαριά ΑΑ, εγκλιματισμένος άνθρωπος στα 5700 m σε ηρεμία
30	60	Απώλεια συνείδησης σε μη εγκλιματισμένο
26	50	Αναπνευστική Υποστήριξη, ΜΕΘ
20	36	Εγκλιματισμένος ορεισίβιος ασκούμενος στα 5700 m, υποξικός θάνατος

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

- Παράγεται από πολλές φυσικές διαδικασίες όπως ο **ζωικός μεταβολισμός**, η **καύση** και η **ζύμωση**
- Ως προϊόν του μεταβολισμού μεταφέρεται με το φλεβικό αίμα και αποβάλλεται με την εκπνοή
- Μικρή μείωση (υποκαπνία) δεν είναι επιβλαβής (αναπνευστική αλκάλωση)
- Μεγάλη αύξηση (υπερκαπνία) είναι επιβλαβής & προκαλεί σπασμούς, κώμα (αναπνευστική οξέωση)

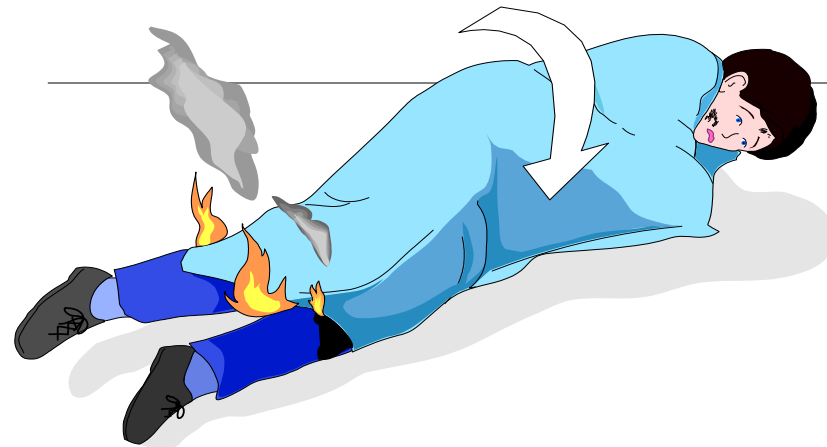
Παραγωγή CO₂ (VCO₂)

- VCO₂ σε νέους = 200 ml/min
- Αυξάνεται σε υπερθερμία (14% ανά 1° C) και μυϊκή άσκηση
- Σε βαριά άσκηση αθλητών παράγονται έως 2000 ml/min
- Σε παθολογικές καταστάσεις όπως **ρίγος** και **σπασμοί**, η VCO₂ αυξάνεται μέχρι και 3 φορές
- PaCO₂: 40 mmHg (30–45)

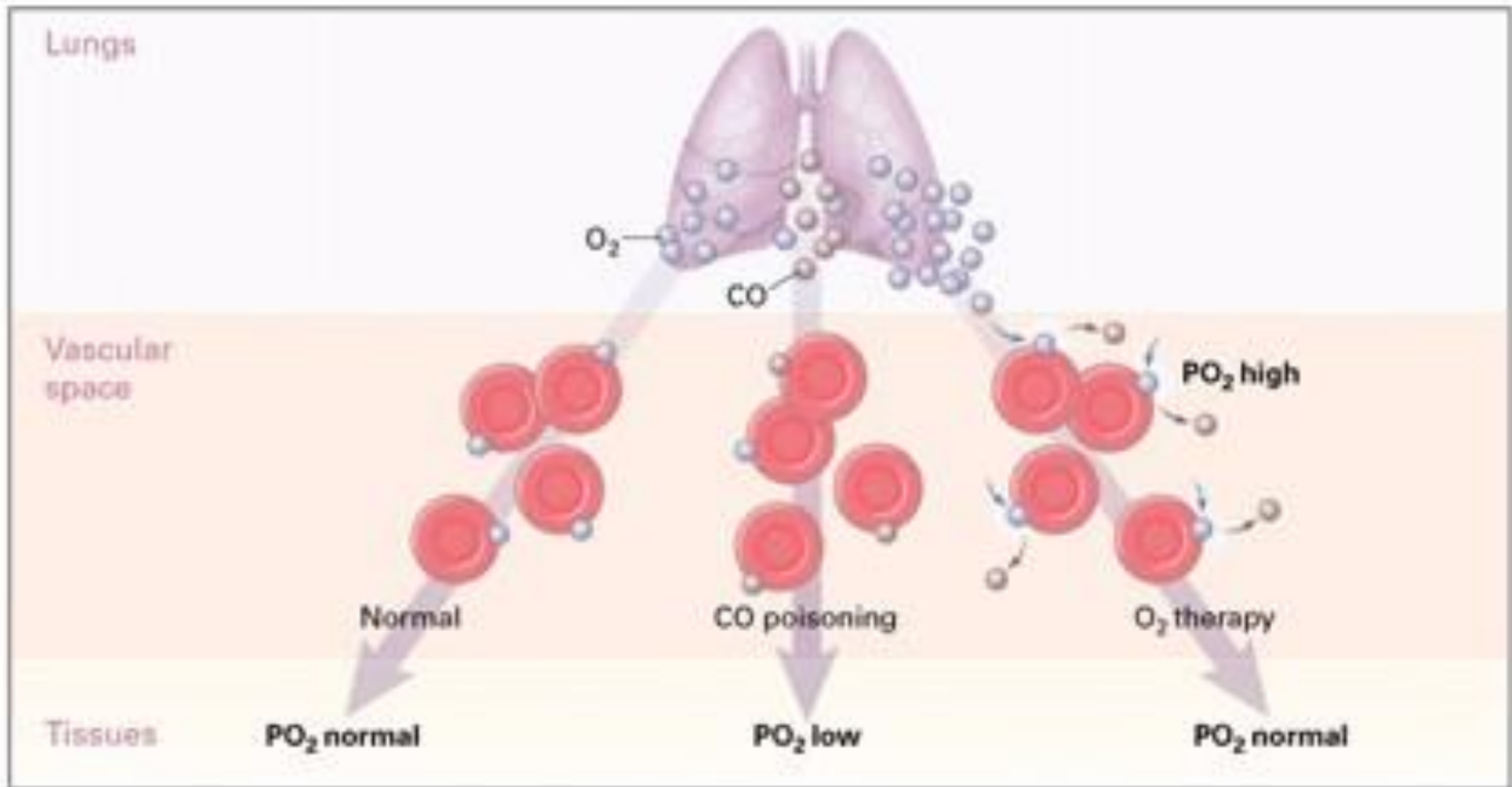


Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) Εισπνοή καπνού

- Αέριο, άχρωμο, άγευστο, άοσμο
- Δηλητηριώδες, ανιχνεύεται δύσκολα
- Παράγεται από την ατελή καύση υδρογονανθράκων

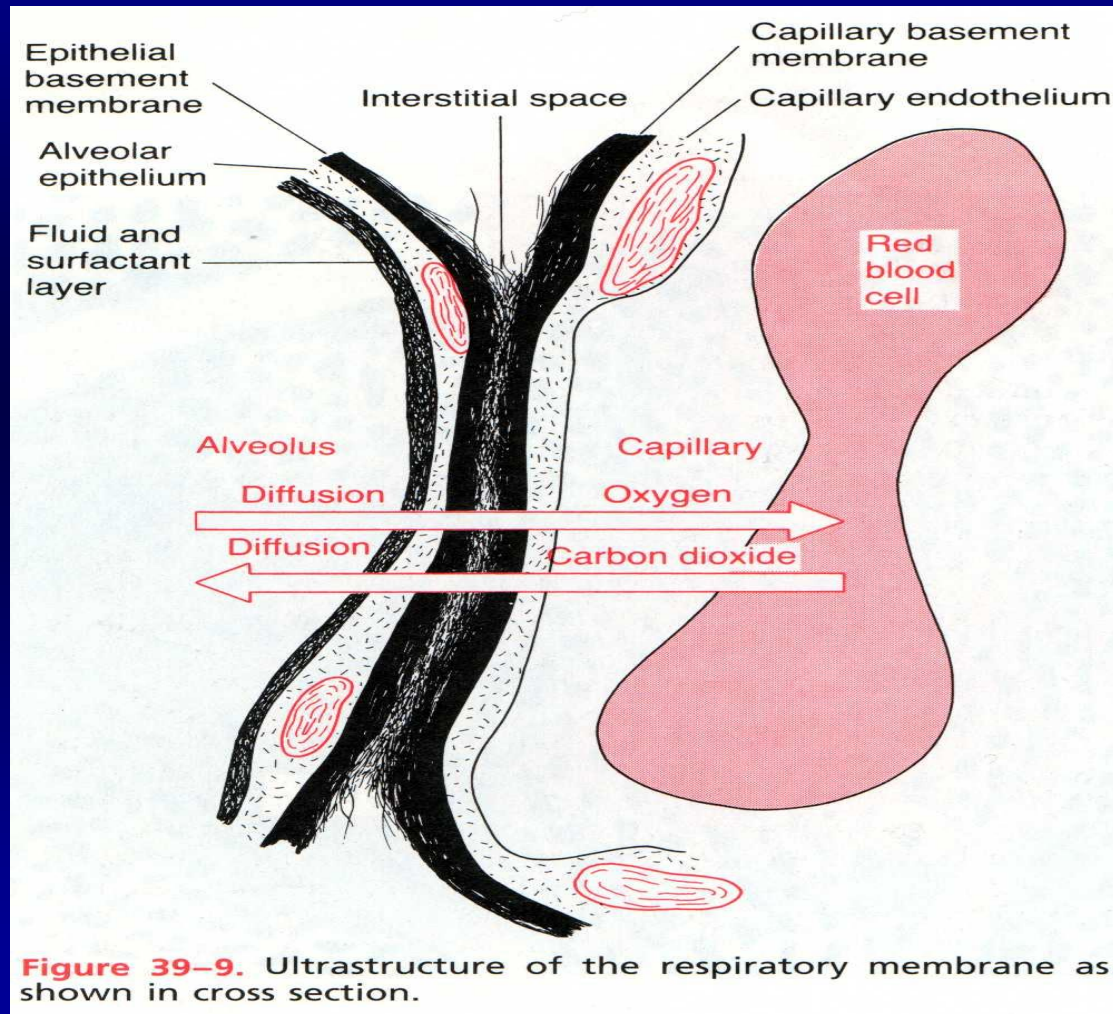


Συνδέεται με την Hb & σε καρβοξυαιμοσφαιρίνη (HbCO) - 200 φορές πιο ισχυρά από την HbO₂
Η HbCO εμποδίζει τη μεταφορά O₂ και προκαλεί ιστική υποξία



ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Διάχυση των αερίων μέσω της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης

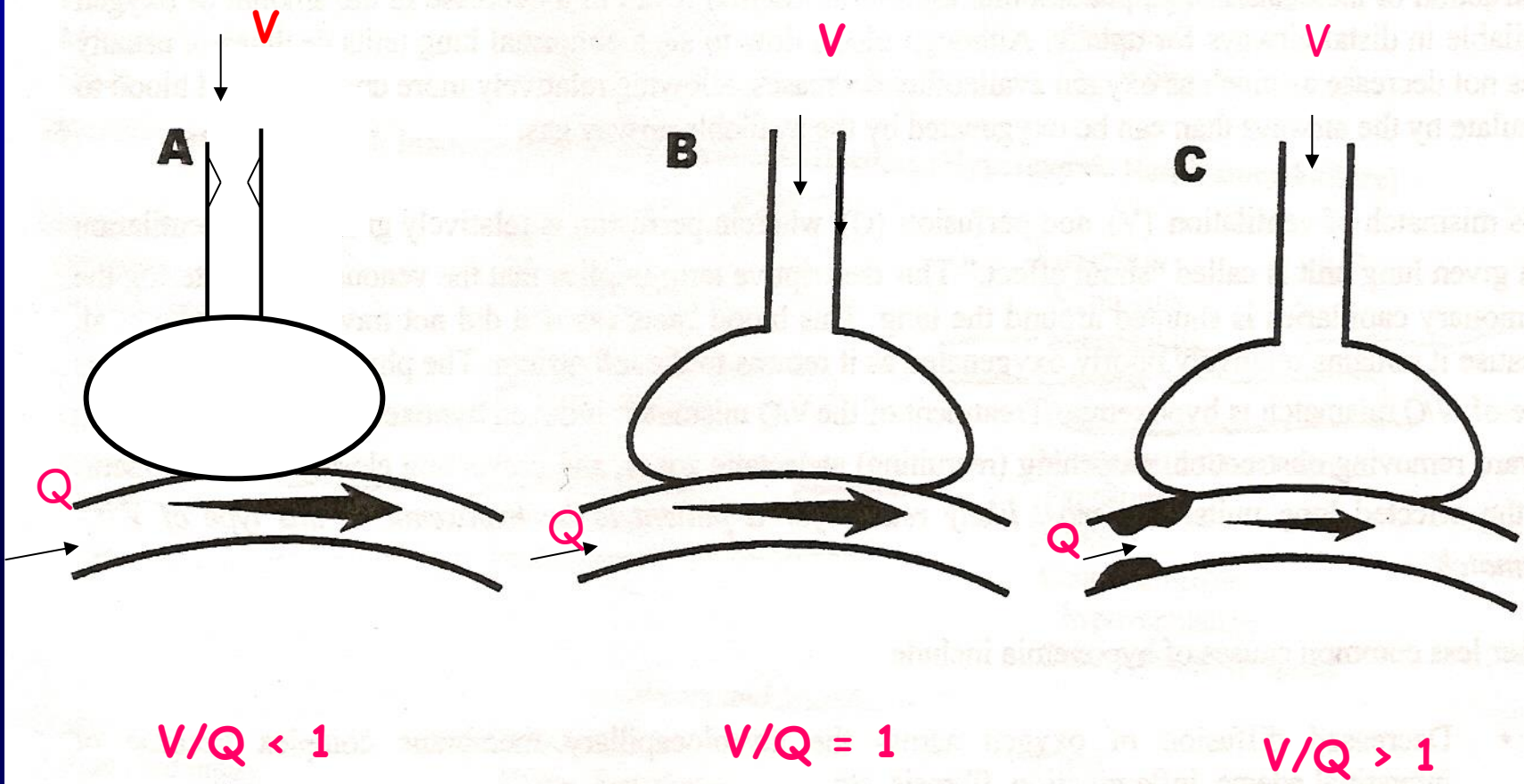


Παράγοντες που καθορίζουν τη διάχυση των αερίων

1. Πάχος της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης (L)
2. Επιφάνεια (A)
3. Διαλυτότητα του αερίου (D)
4. Διαφορά πίεσης

Εξίσωση της διάχυσης:

$$\dot{V}_{O_2} = \frac{DA(P_{A,O_2} - P_{c,O_2})}{L}$$



Σχέση αερισμού - αιμάτωσης στους πνεύμονες

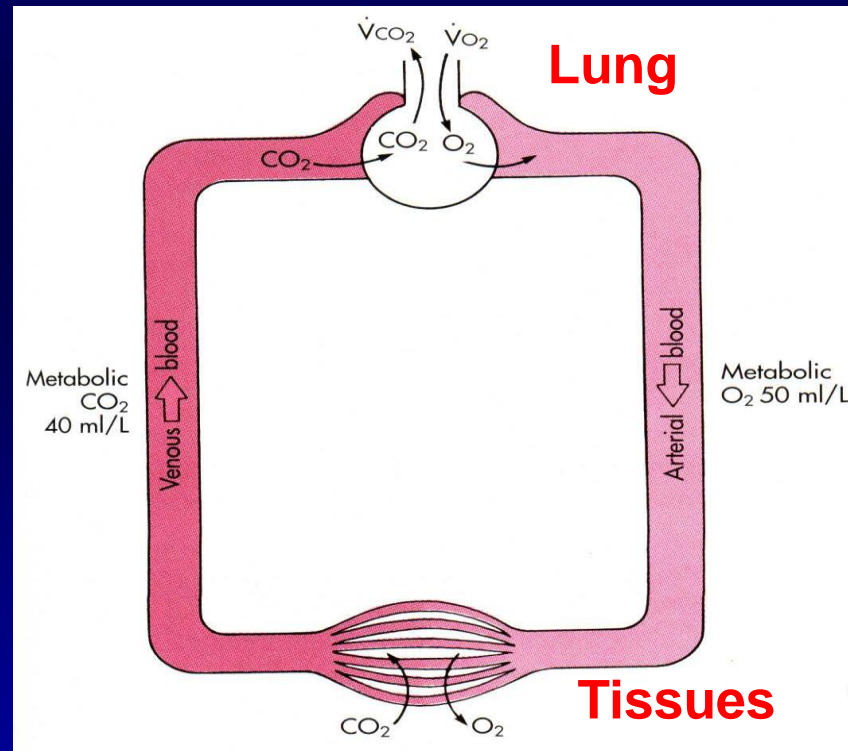
Figure 4-1. Ventilation and perfusion matching in the lung. Ventilation and perfusion are matched in the normal lung (B). The pathologic continuum ranges from areas of limited ventilation relative to perfusion (A) producing "shunt effect" and hypoxemia, to areas of better ventilation than perfusion (C) producing "dead-space" effect.

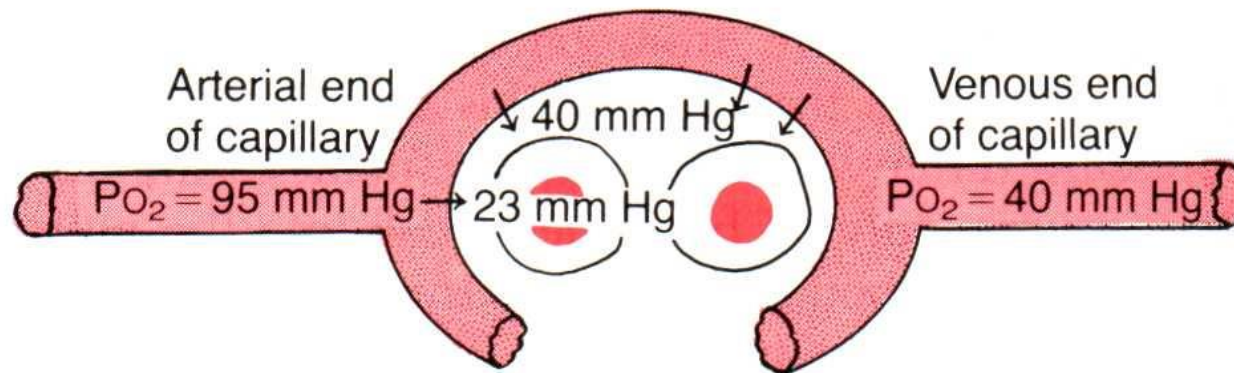
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Μεταφορά του O₂

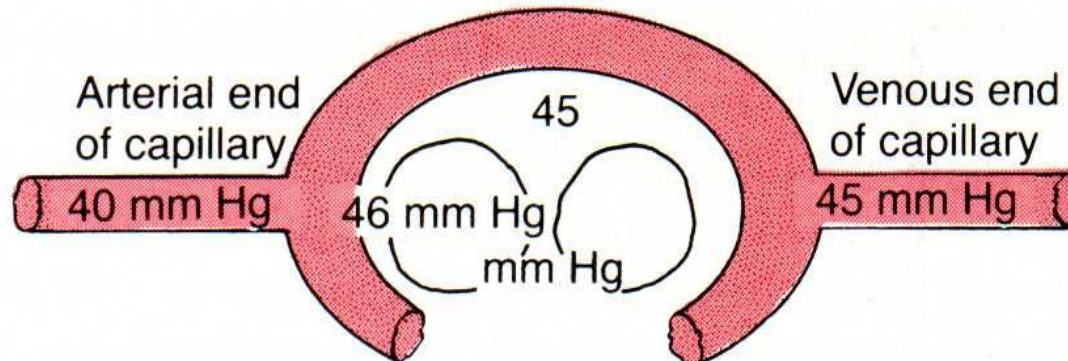
Δυο σημαντικά βήματα :

- Η διάχυση του O₂ από την κυψελίδα στα πνευμονικά τριχοειδή.
- Η διάχυση του O₂ από τα περιφερικά τριχοειδή στα μιτοχόνδρια των κυττάρων



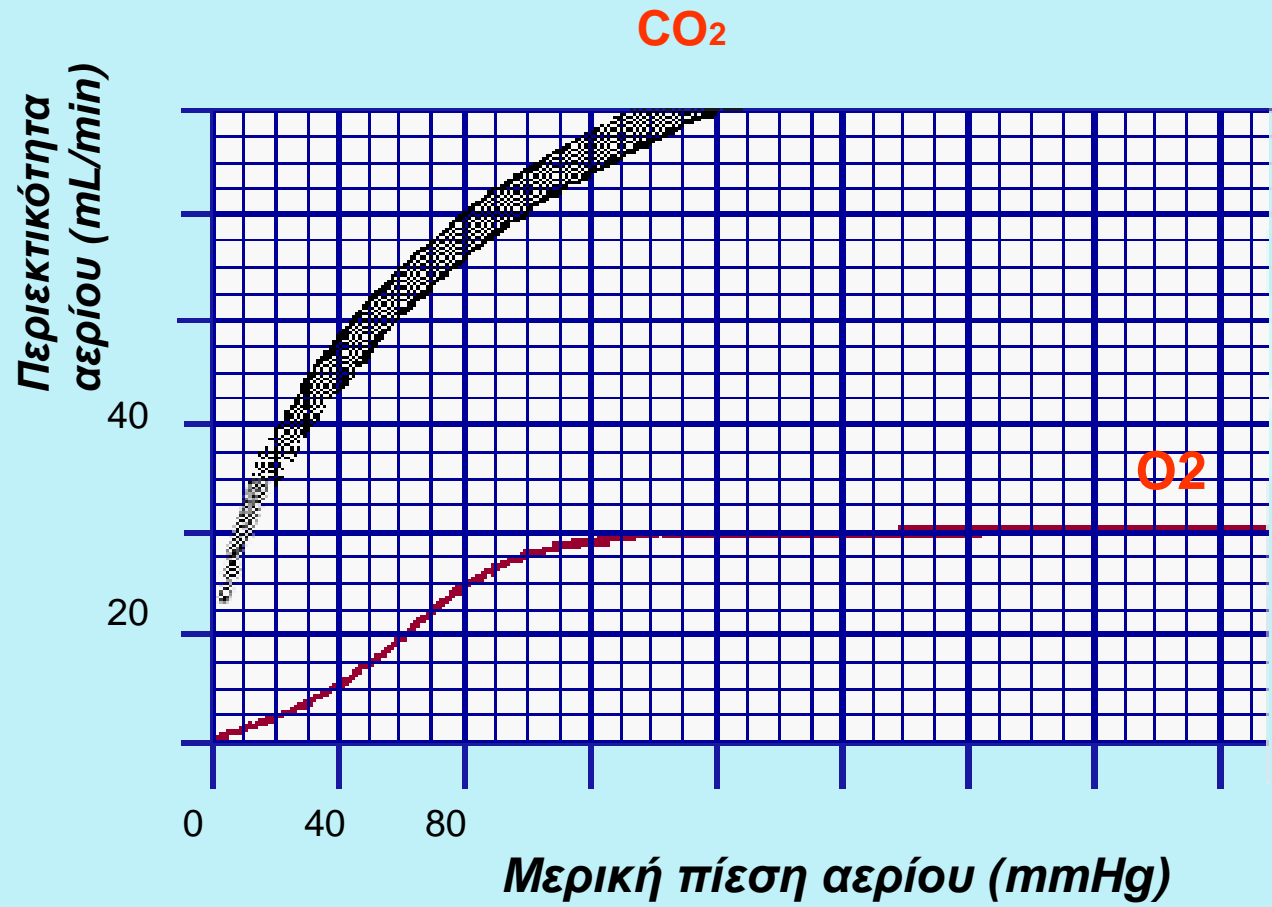


Διάχυση του O_2 από τα τριχοειδή στα κύτταρα

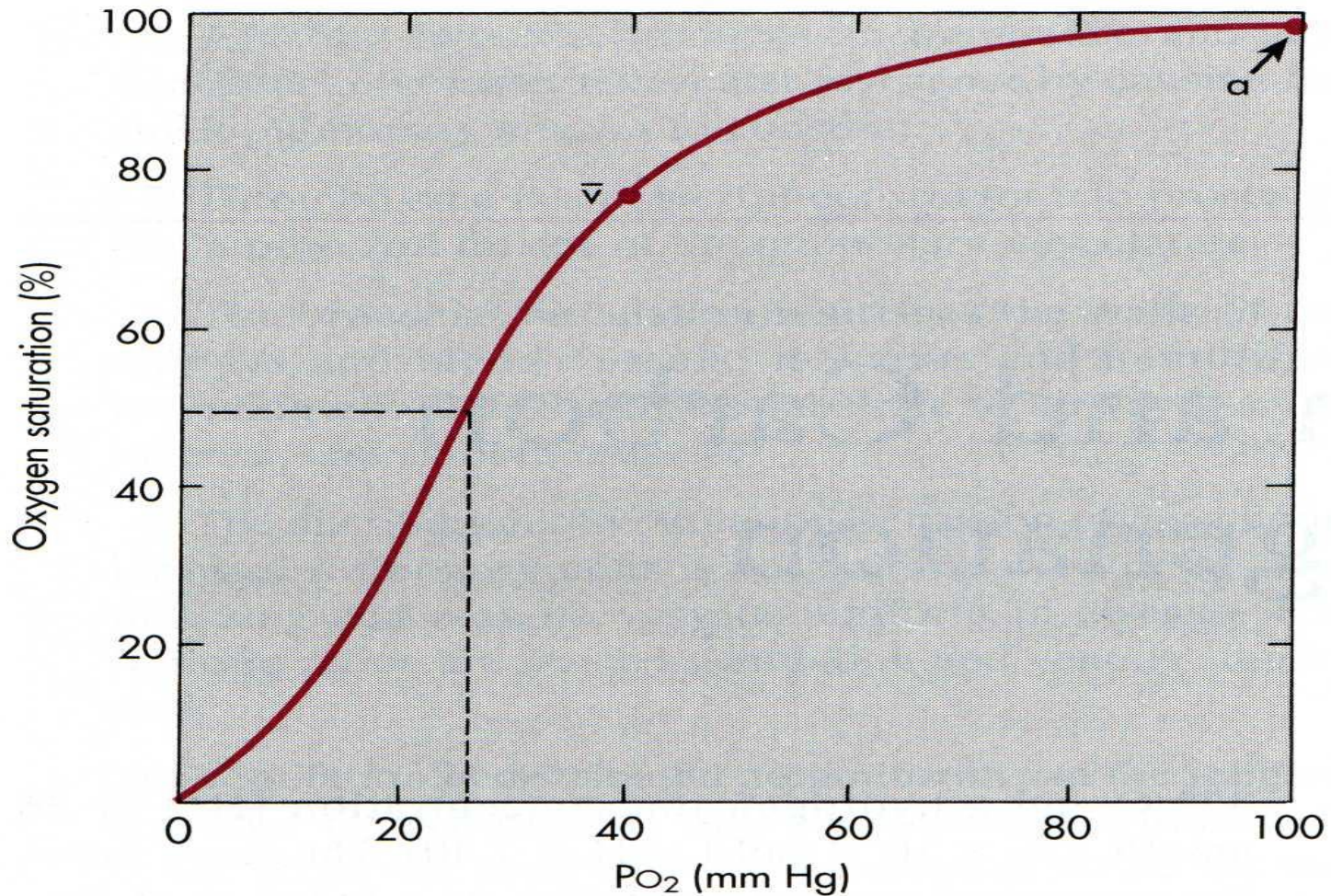


Μεταφορά του CO_2 από τους ιστούς στα τριχοειδή

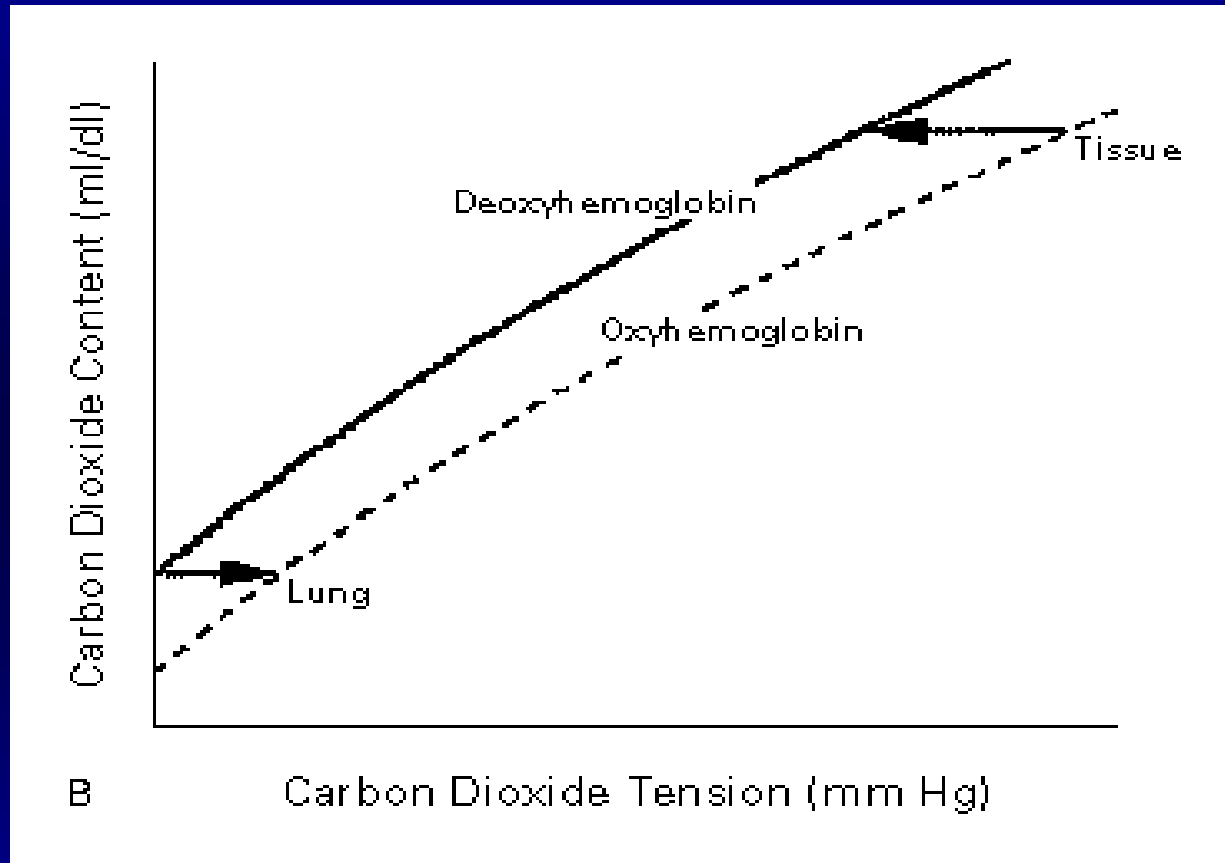
Η διάχυση του CO_2 είναι 20 φορές ταχύτερη
σε σύγκριση μ' εκείνη του O_2



Καμπύλη διασπάσεως της οξυαιμοσφαιρίνης (καμπύλη του Bohr)

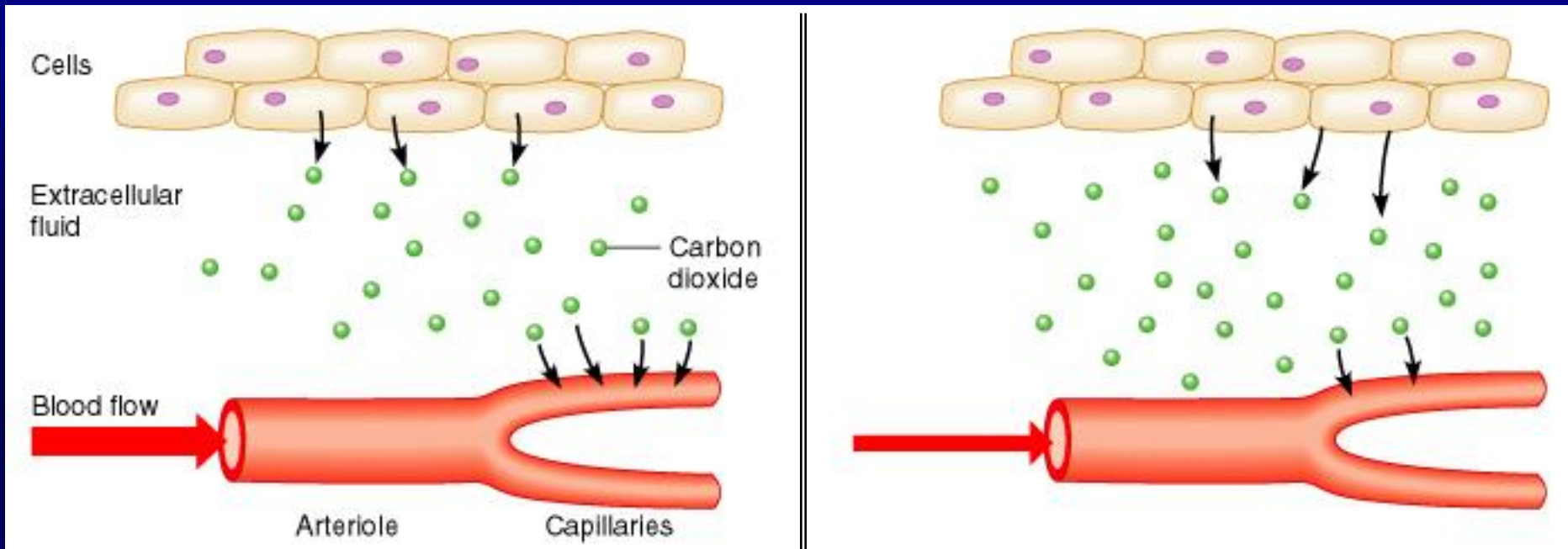


Το φαινόμενο Haldane



- $H^+ + HbO_2 \rightleftharpoons H^+ \cdot Hb + O_2$
- Haldane effect

Τοπικές Επιδράσεις του CO_2 στην αιματική ροή και στο μεταβολισμό



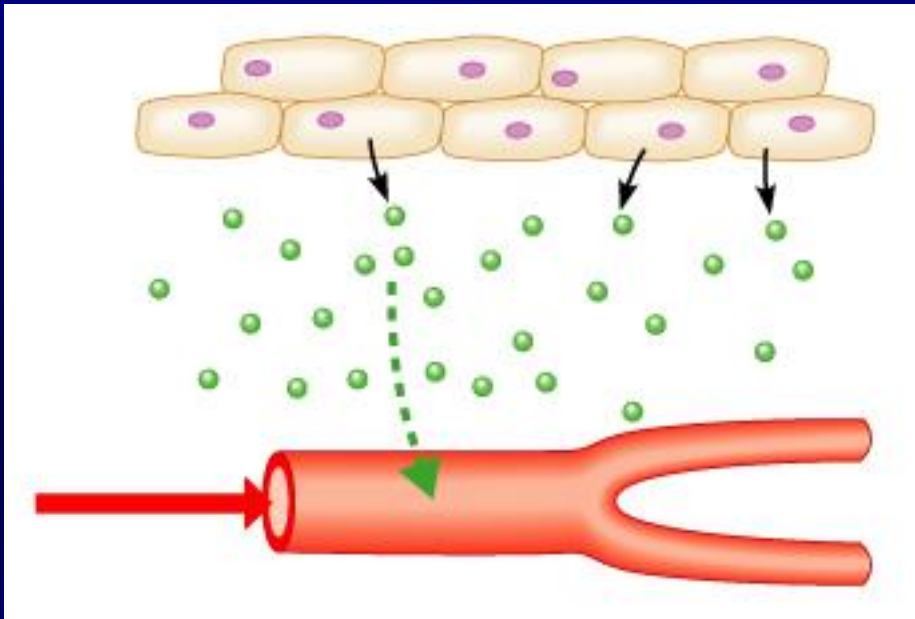
Σταθερή κατάσταση:

παραγωγή CO_2 = αποβολή CO_2

↑ Παραγωγή CO_2 ή ↓ αιματική ροή

παραγωγή CO_2 > αποβολή CO_2

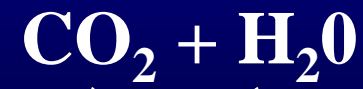
Τοπικές Επιδράσεις του CO_2 στην αιματική ροή και στο μεταβολισμό



$\uparrow [\text{CO}_2]$: αγγειοδιαστολή

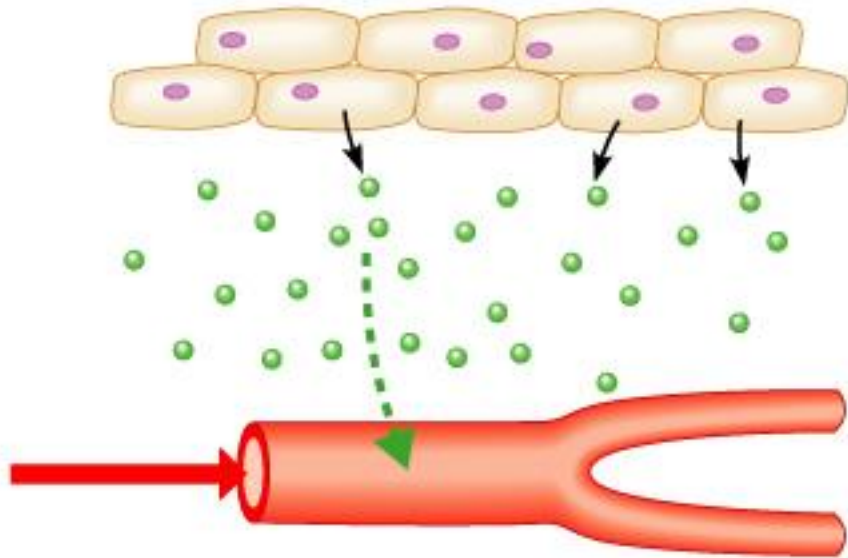
$\downarrow \text{pH}$; $\uparrow \text{K}^+$; \uparrow lactic acid

\rightarrow vasodilation



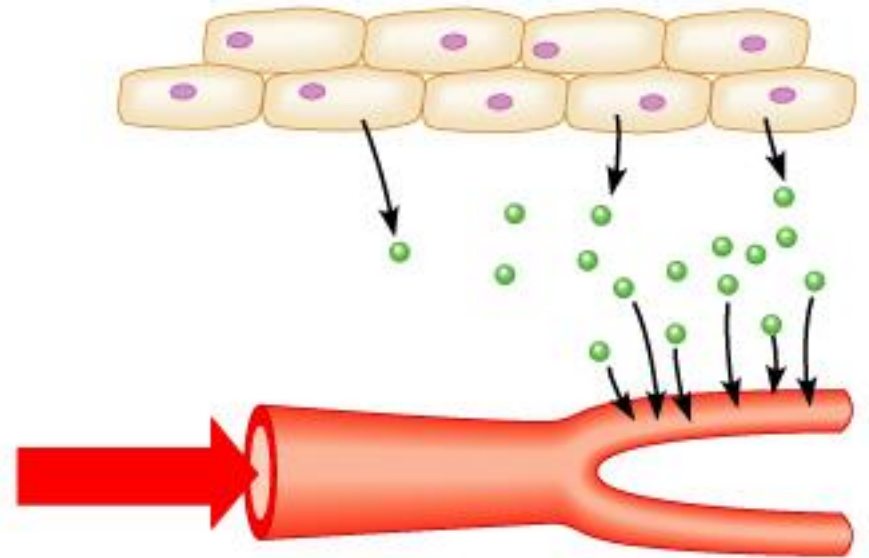
εάν $[\text{CO}_2] \uparrow$ τότε $\text{pH} \downarrow$

Τοπικές Επιδράσεις του CO_2 στην αιματική ροή και στο μεταβολισμό



↑ $[CO_2]$: αγγειοδιαστολή

↓ pH; ↑ K^+ ; ↑ lactic acid
→ αγγειοδιαστολή



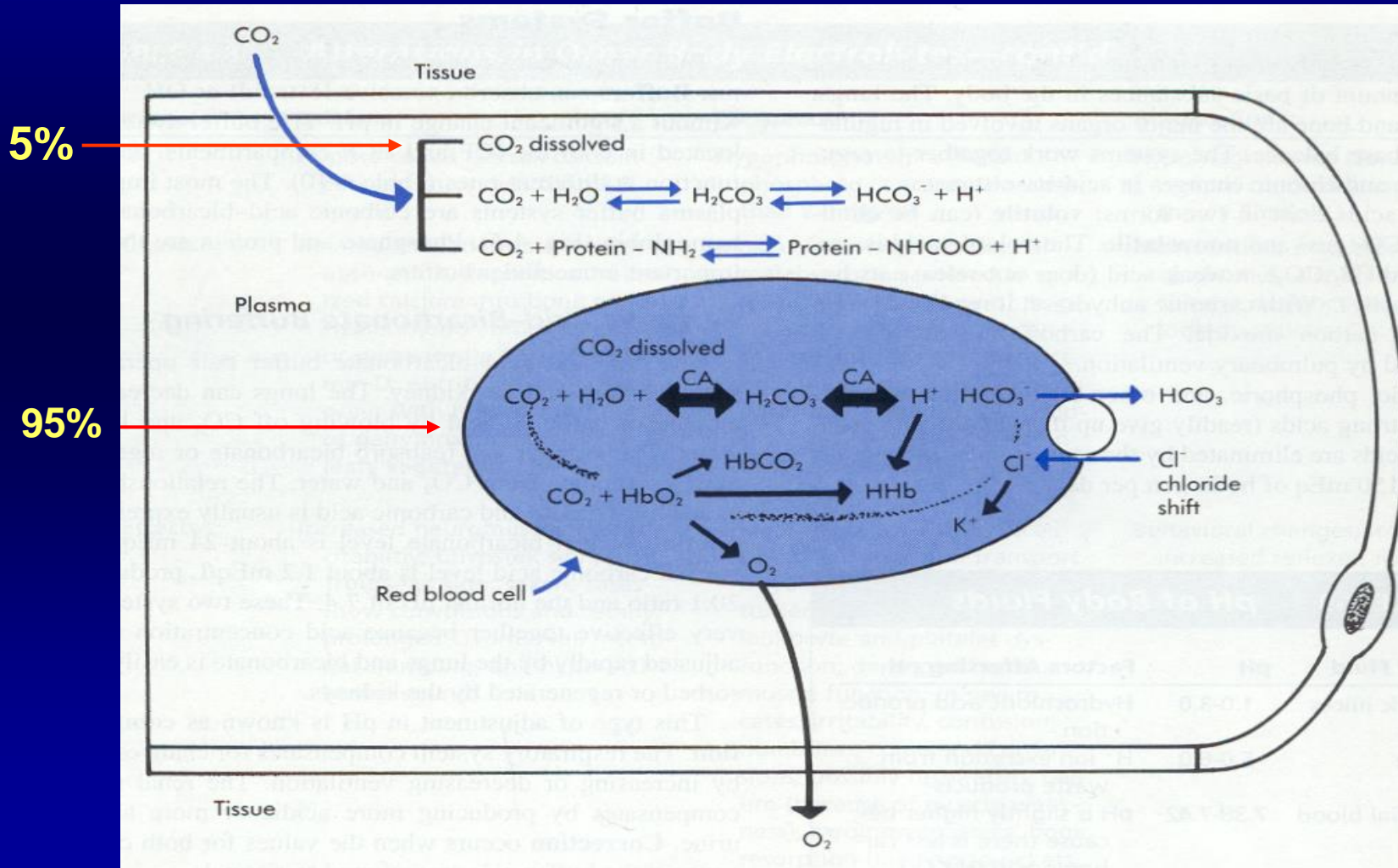
αύξηση αιματικής ροής:

↑ αποβολής του CO_2 με σκοπό να αντirroπήσει την ↑ παραγωγή του

- Το CO_2 είναι το σημαντικότερο προϊόν του κυτταρικού αερόβιου μεταβολισμού
- Παράγεται κυρίως στα μιτοχόνδρια, (με υψηλή PCO_2)
- Μεταφέρεται με την κυκλοφορία εν μέρει διαλυμένο (περίπου 10%),
- στο πλάσμα (6%) ή στα ερυθροκύτταρα (4%),
- Εν μέρει ενυδατωμένο ως HCO_3^- (55%)
- Και εν μέρει χημικώς συνδεδεμένο με πρωτεΐνες του πλάσματος ή και αιμοσφαιρίνη ως καρβαμινική ένωση (~33%)
- Οι κυτταρικές μεμβράνες είναι διαπερατές στο CO_2 , το οποίο διαχέεται από τη μιτοχονδριακή μεμβράνη, - το κυτόπλασμα, - την κυτταρική μεμβράνη, - το διάμεσο χώρο, - το τοίχωμα του τριχοειδούς - και το τοίχωμα των ερυθροκυττάρων
- Σχηματίζεται, έτσι, μια κλίση πίεσης CO_2 , μεταξύ ιστών και κυκλοφορίας

- Η μεγαλύτερη ποσότητα του CO₂ υπάρχει στο αίμα ως διττανθρακικό ιόν.
- Αυτό είναι προϊόν της αποδεσμεύσεως του καρβονικού οξέος, που σχηματίζεται από την ένωση του CO₂ με νερό.
- $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
(εξίσωση που καταλύεται από το ένζυμο καρβονική ανυδράση)
- Οι αντιδράσεις του CO₂ διαδραματίζουν αντιρροπιστικό ρόλο σε νοσήματα που συνεπάγονται μεταβολική οξέωση (Buffer)
- Τα H⁺ συνδέονται με τα διττανθρακικά ιόντα και μετατρέπονται σε CO₂, που ακολούθως εκπνέεται στους πνεύμονες, και νερό

Μεταφορά του CO₂ μεταξύ των ιστών και των ερυθροκυττάρων

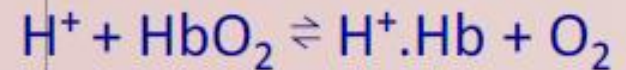
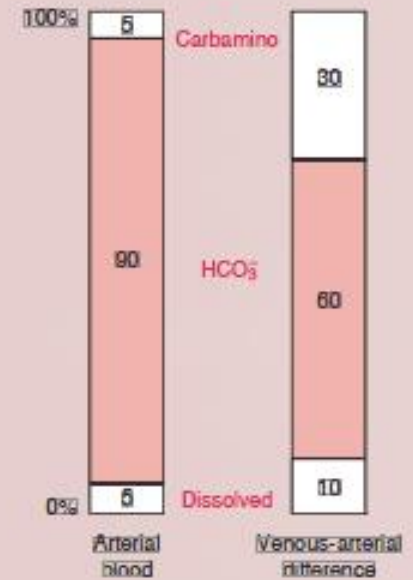
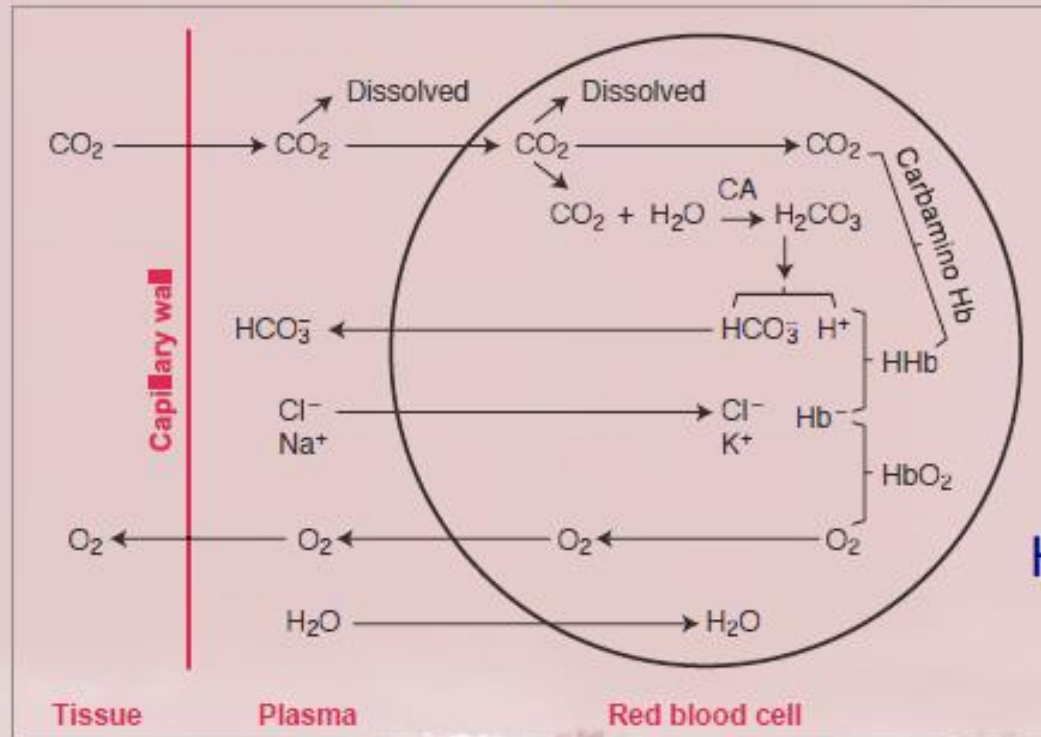


Διοξείδιο του Ανθρακα

Dissolved: 67μl/(dl blood·mm Hg)

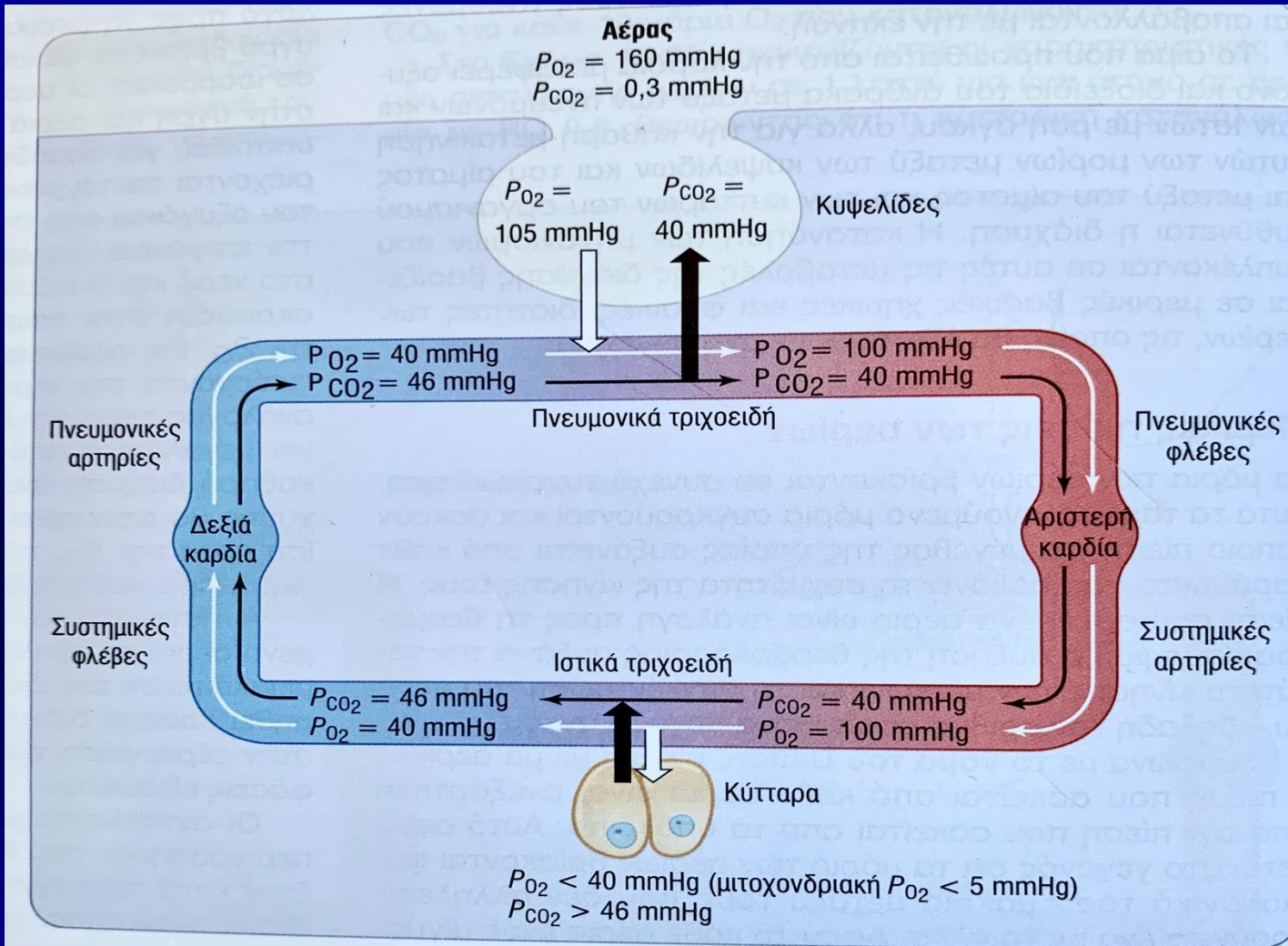
Bicarbonate: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

Carbamino: $\text{Hb.NH}_2 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Hb.NH.CO}_2\text{H}$



Haldane effect

Μερικές πιέσεις εισερχόμενου-εξερχόμενου O₂, CO₂



Σχήμα 13.21 Μερικές πιέσεις διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου στον εισπνεόμενο αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας και σε διάφορα σημεία του οργανισμού. Ο λόγος για τον οποίο η κυψελιδική P_{O_2} και η P_{O_2} στις πνευμονικές φλέβες δεν είναι ακριβώς ίσες, περιγράφεται στο κείμενο. Παρατηρήστε, επίσης, ότι η P_{O_2} στις αρτηρίες της συστηματικής κυκλοφορίας απεικονίζεται ως ίδια με εκείνη των πνευμονικών φλεβών. Για λόγους που σχετίζονται με την ανατομία της ροής αίματος στους πνεύμονες, η τιμή της συστηματικής αρτηριακής κυκλοφορίας είναι στην πραγματικότητα λίγο μικρότερη, αλλά αυτό αγνοήθηκε στο σχήμα για λόγους σαφήνειας.



Ορισμοί

Υποξαιμία

Χαμηλή P_{aO_2} στο αίμα

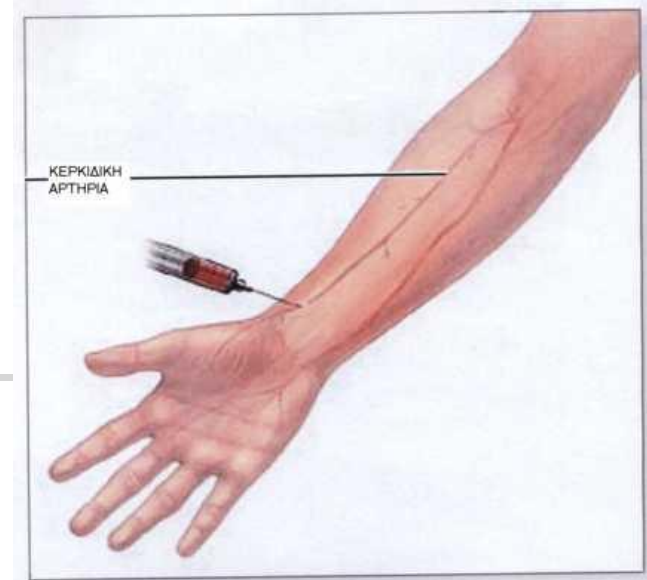
Υποξία

Ανεπαρκής οξυγόνωση των ιστών

Ανοξία

Καμία οξυγόνωση των ιστών

Υποξαιμία



- Ταξινομείται σε
 - Ήπια PaO_2 80-90 mm Hg
 - Μέτρια PaO_2 60-80 mm Hg
 - Βαριά $PaO_2 < 60$ mm Hg
- Προσεγγίζεται εύκολα με μέτρηση της PaO_2 στα αέρια αίματος

**Αναπνευστική
ανεπάρκεια**
 $P_{O_2} < 50-55 \text{ mmHg}$

**Υποξαιμική
αν. ανεπάρκεια**
 pCO_2 φυσ. ή ↓

**Υπερκαπνική
αν. ανεπάρκεια**
 $pCO_2 > 50 \text{ mmHg}$

Υποξαιμική
αναπνευστική ανεπάρκεια
(Τύπου I)

Παθοφυσιολογία υποξαιμίας

Εξίσωση κυψελιδικού αερισμού

$$P_{AO_2} = F_{IO_2} (P_B - 47) - (1,25 P_{aCO_2})$$

P_{AO_2} : κυψελιδικό οξυγόνο

F_{IO_2} : συγκέντρωση του εισπνεομένου οξυγόνου ως κλάσμα

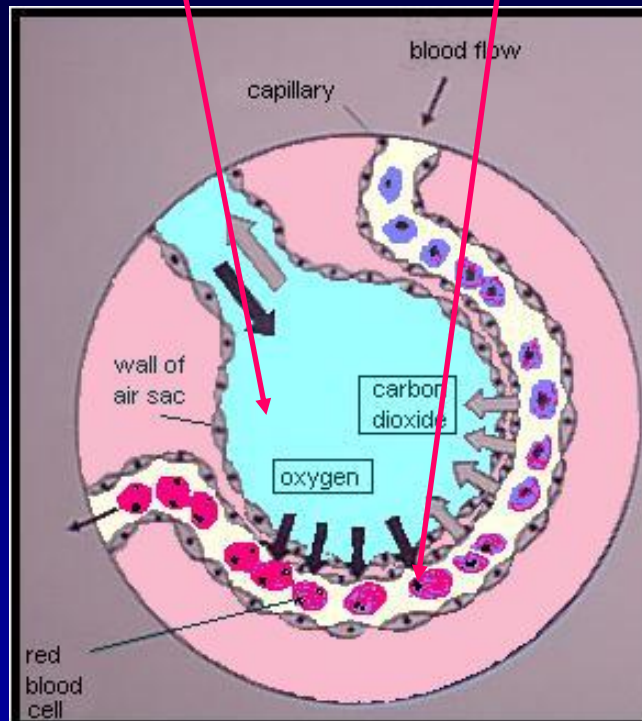
P_B : ατμοσφαιρική πίεση

P_{aCO_2} : συγκέντρωση του διοξειδίου

Παθοφυσιολογία υποξαιμίας

Κυψελιδο-τριχοειδική διαφορά O_2

$$(A-a)PO_2 = P_{AO_2} - P_{aO_2} < 15\text{mmHg}$$



Παθοφυσιολογία υποξαιμίας

1. Ελαττωμένη συγκέντρωση εισπνεόμενου O_2 (υψόμετρο)
2. Κυψελιδικός υποαερισμός
3. $\downarrow V/Q$ (αερισμού/αιμάτωσης)
4. Ανάπτυξη ενδοπνευμονικού (ή ενδοκαρδιακού) shunt
5. $\downarrow P_{vO_2}$ σ' έδαφος ενδοπνευμονικού shunt
6. \downarrow διάχυσης O_2 διαμέσου της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης

Υπερκαπνική
αναπνευστική ανεπάρκεια
(Τύπου ΙΙ)

Παθοφυσιολογία υπερκαπνίας

$$p_a\text{CO}_2 = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_E (1 - V_D/V_T)}$$

$$V_E = V_T \times F$$

V_E : κατά λεπτό αερισμός

V_T : αναπνεόμενος όγκος, F : αν. συχνότητα

V_{CO_2} παραγωγή CO_2 (ml/min)

V_D νεκρός χώρος

Παράγοντες που προκαλούν υπερκαπνία

Ενδοπνευμονικοί

- Κυψελιδικός υποαερισμός
- Αύξηση νεκρού χώρου

Εξωπνευμονικοί

- Αύξηση μεταβολισμού
- Φαινόμενο Haldane

Εξίσωση Henderson-Hasselbach

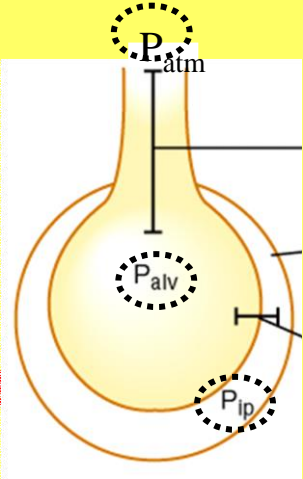
$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{\text{HCO}_3^-}{0,03 \text{ PaCO}_2}$$

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

↑ PaCO₂

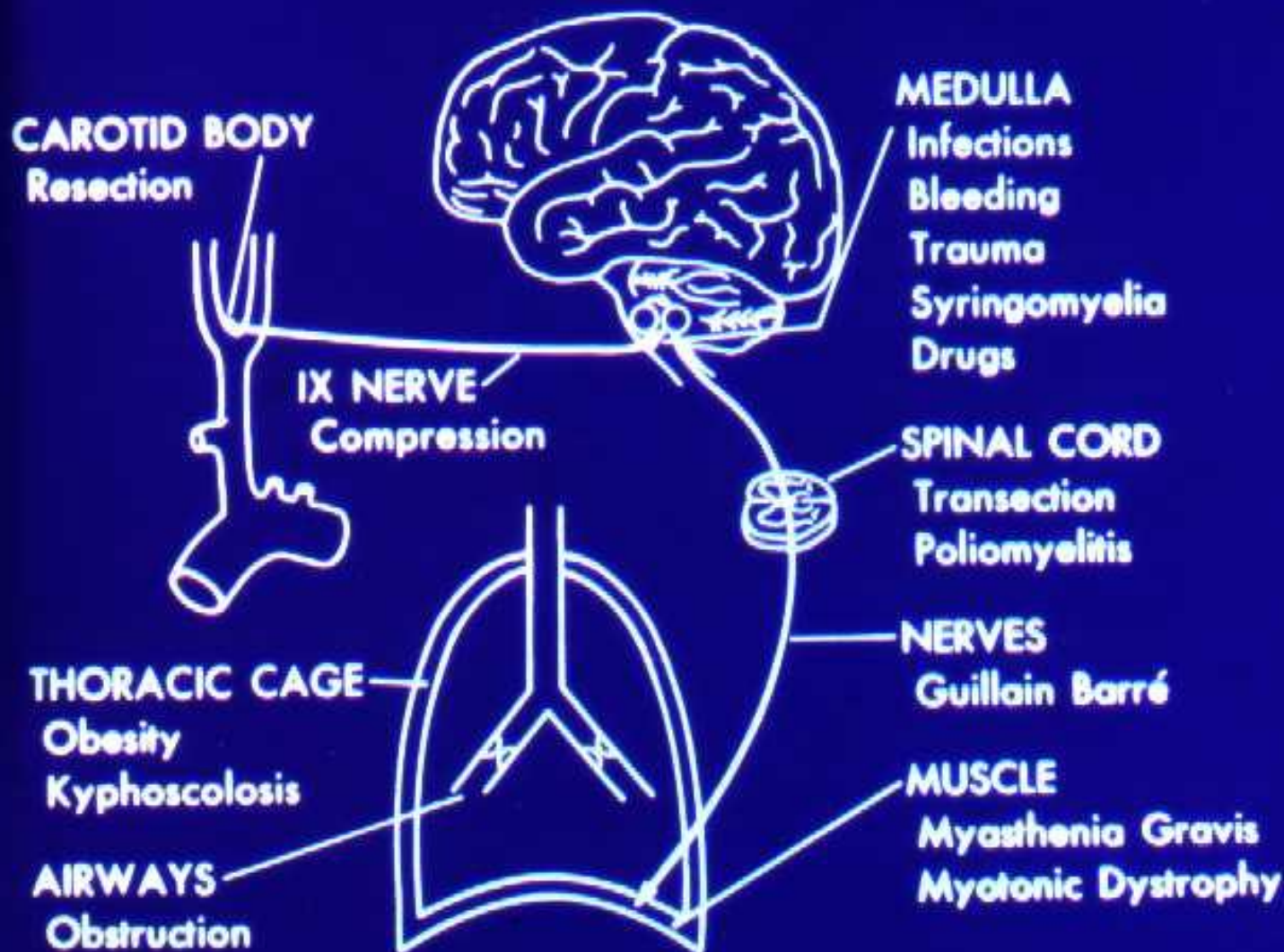
↓ pH

Η ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ

	<u>ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ</u>	<u>ΦΟΡΤΙΟ</u>
Ελεγκτικά όργανα	<ul style="list-style-type: none">-Εγκεφαλικά ημισφαίρια -Εγκεφαλικό στέλεχος -Νωτιαίος μυελός	<ul style="list-style-type: none">-Αναπνευστικές Ανάγκες (παραγωγή CO₂, κατανάλωση O₂) 
Εκτελεστικά όργανα	<ul style="list-style-type: none">- Φρενικό, Μεσοπλεύρια v. -Αναπνευστικοί μύες	<ul style="list-style-type: none">-Αντιστάσεις αεραγωγών -Ελαστικές δυνάμεις επαναφοράς πνευμόνων -Ελαστικές δυνάμεις επαναφοράς του θωρακικού κλωβού

ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ
ΣΕ ΥΠΕΡΚΑΤΗΝΙΑ ΚΑΙ
ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

Αίτια ανεπάρκειας της αναπνευστικής αντλίας



Συνοπτικά

- Η αναπνευστική οξέωση δεν είναι μία συγκεκριμένη πάθηση, αλλά μία παθολογική κατάσταση, που οφείλεται στην ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής του CO_2 και της αποβολής του
- Ο ανεπαρκής κατά λεπτόν αερισμός μπορεί να οφείλεται σε βλάβη σε οποιοδήποτε σημείο του αναπνευστικού συστήματος, ξεκινώντας από τον εγκέφαλο και το κέντρο της αναπνοής στον προμήκη και φτάνοντας μέχρι την κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη (ανεπάρκεια αναπνευστικής αντλίας)
- Είναι απαραίτητη η διευκρίνιση του αιτίου, που οδήγησε στην αναπνευστική οξέωση, ώστε να είναι δυνατή η αιτιολογική αντιμετώπισή της