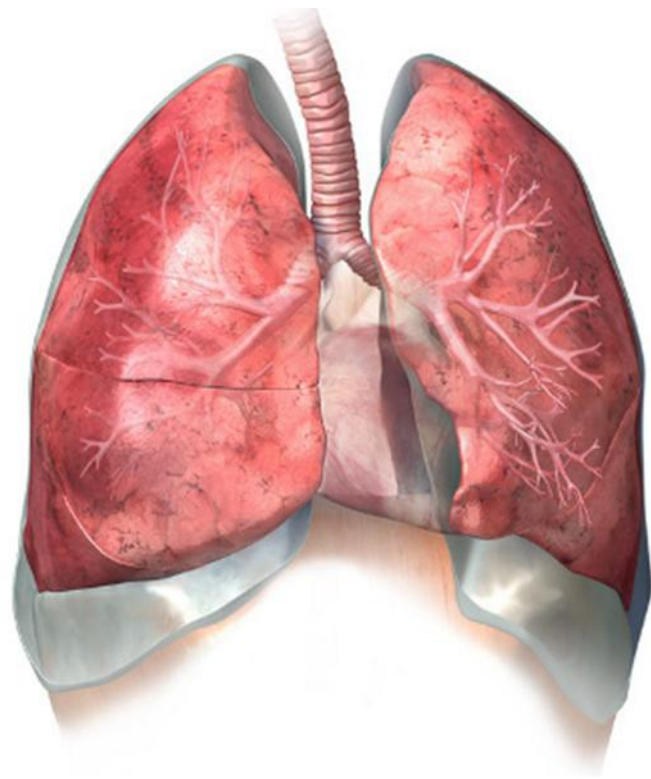


ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ

Α ΜΕΡΟΣ : ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ-ΠΑΘΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ-ΤΥΠΟΙ Α.Α.



ΓΙΩΡΓΟΣ ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΣΥ
Β' ΠΡΟΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΝ ΑΤΤΙΚΟΝ





Ορισμός Αναπνευστικής Ανεπάρκειας

αδυναμία του αναπνευστικού συστήματος να επιτελέσει τη μία ή και τις δύο λειτουργίες της ανταλλαγής των αερίων, δηλαδή την **οξυγόνωση του μεικτού φλεβικού αίματος** ή/και την **αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)**



- Βασική λειτουργία
 - Ανταλλαγή αερίων (O₂, CO₂)
- Τόπος
 - Κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη



ΡΥΘΜΙΣΗ pH

**εργαστηριακή
διάγνωση**

Αναπνευστική Ανεπάρκεια



$PaO_2 < 60 \text{ mm Hg}$

ΥΠΟΞΑΙΜΙΑ

ή



$PaCO_2 > 45 \text{ mm Hg}$

ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΑ



ή και τα δύο

Fraction of inspired oxygen

ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΕ ΕΙΣΠΝΟΗ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ O₂ 21%

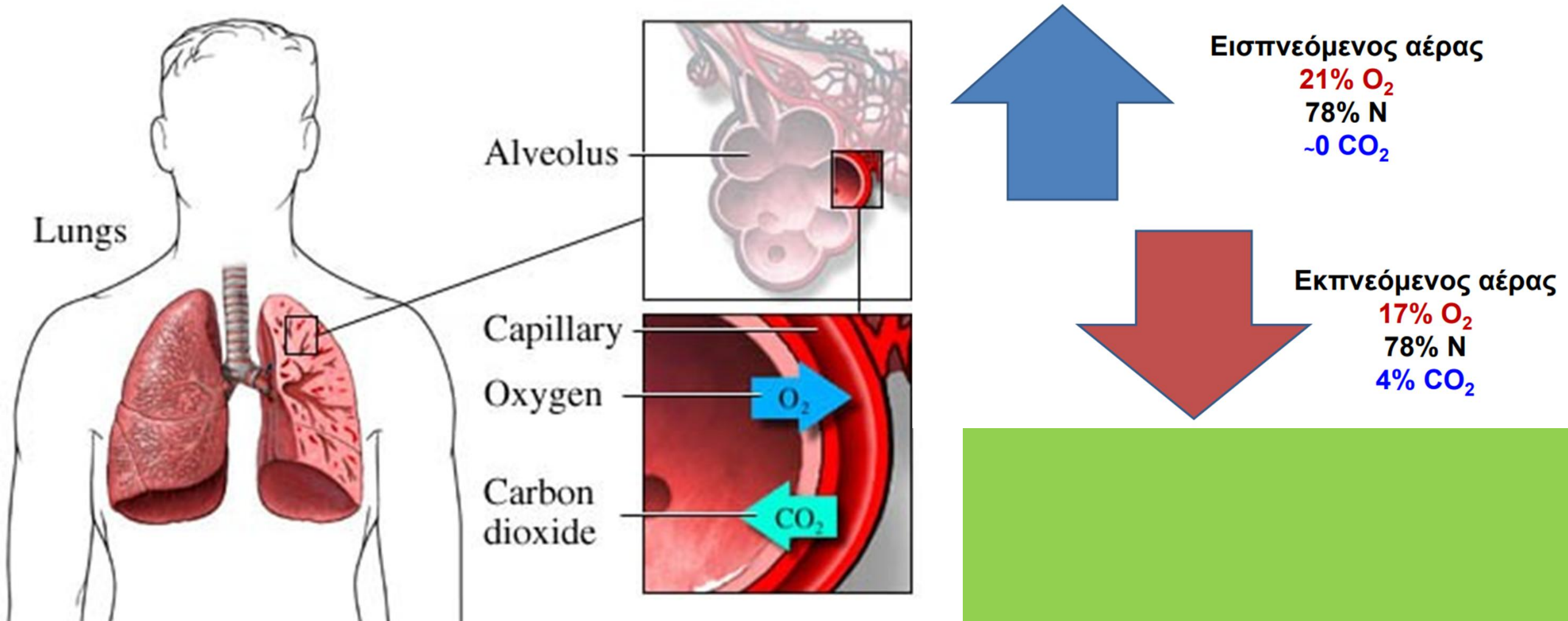
FiO₂=0.21

PaO₂ <50 mmHg υποδηλώνει πολύ σοβαρή υποξαιμία, που συνοδεύεται από μείωση πρόσληψης οξυγόνου από τα μιτοχόνδρια των κυττάρων, ανάπτυξη αναερόβιου μεταβολισμού

Σοβαρή υποξαιμία PaO₂ 50-60 mmHg

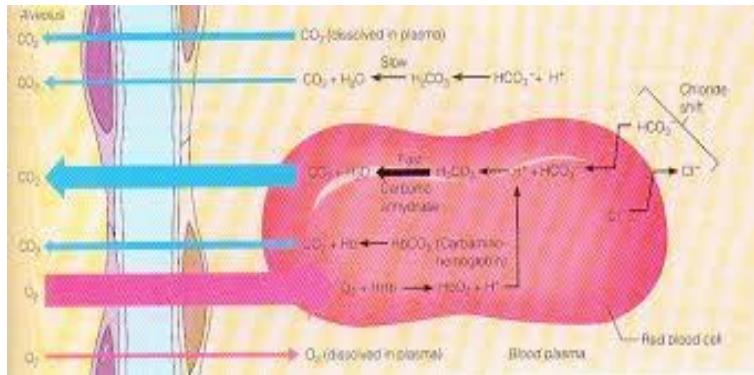
Μέτρια υποξαιμία PaO₂ >60 mmHg (εδώ η Hb είναι κορεσμένη με οξυγόνο κατά 90%)

Μεταφορά O_2 και CO_2 ΠΡΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ



Μεταφορά O_2 και CO_2

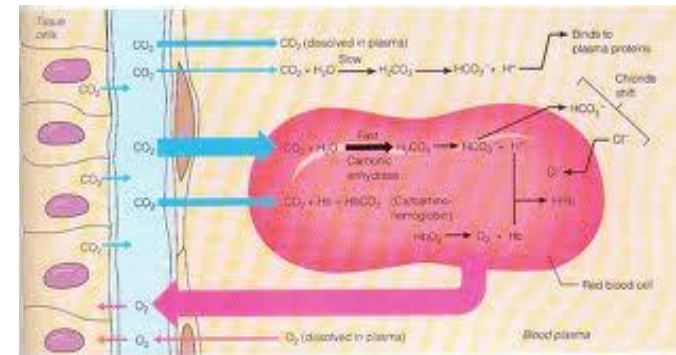
*Από τους πνεύμονες στα
ερυθρά αιμοσφαίρια*



O_2

- 98% συνδεδεμένο με την αιμοσφαιρίνη

*Από τα ερυθρά αιμοσφαίρια
στους ιστούς*



CO_2

- 95% μέσω των ερυθρών αιμοσφαιρίων, κυρίως με τη μορφή διττανθρακικών ριζών (HCO_3^-), και ελάχιστο σε σύνδεση με την αιμοσφαιρίνη
- 5% είναι διαλυμένο στο πλάσμα

Φαινόμενο Haldane

Σύμφωνα με το φαινόμενο Haldane, η Hb μεταφέρει ταυτόχρονα O_2 και CO_2 , αλλά η παρουσία του ενός αερίου μειώνει τη δύναμη σύνδεσης με το άλλο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

• ο εισπνεόμενος αέρας υγραίνεται

• στον αέρα των κυψελίδων εισέρχεται και το CO_2 που έχει καταφθάσει μέσω της κυκλοφορίας, από τους μεταβολικά ενεργούς ιστούς, κι έχει διαχυθεί στις κυψελίδες.

Έτσι, το CO_2 ασκεί μερική πίεση στον κυψελιδικό αέρα, που προκαλεί μείωση της μερικής πίεσεως των άλλων αερίων που υπάρχουν εκεί.

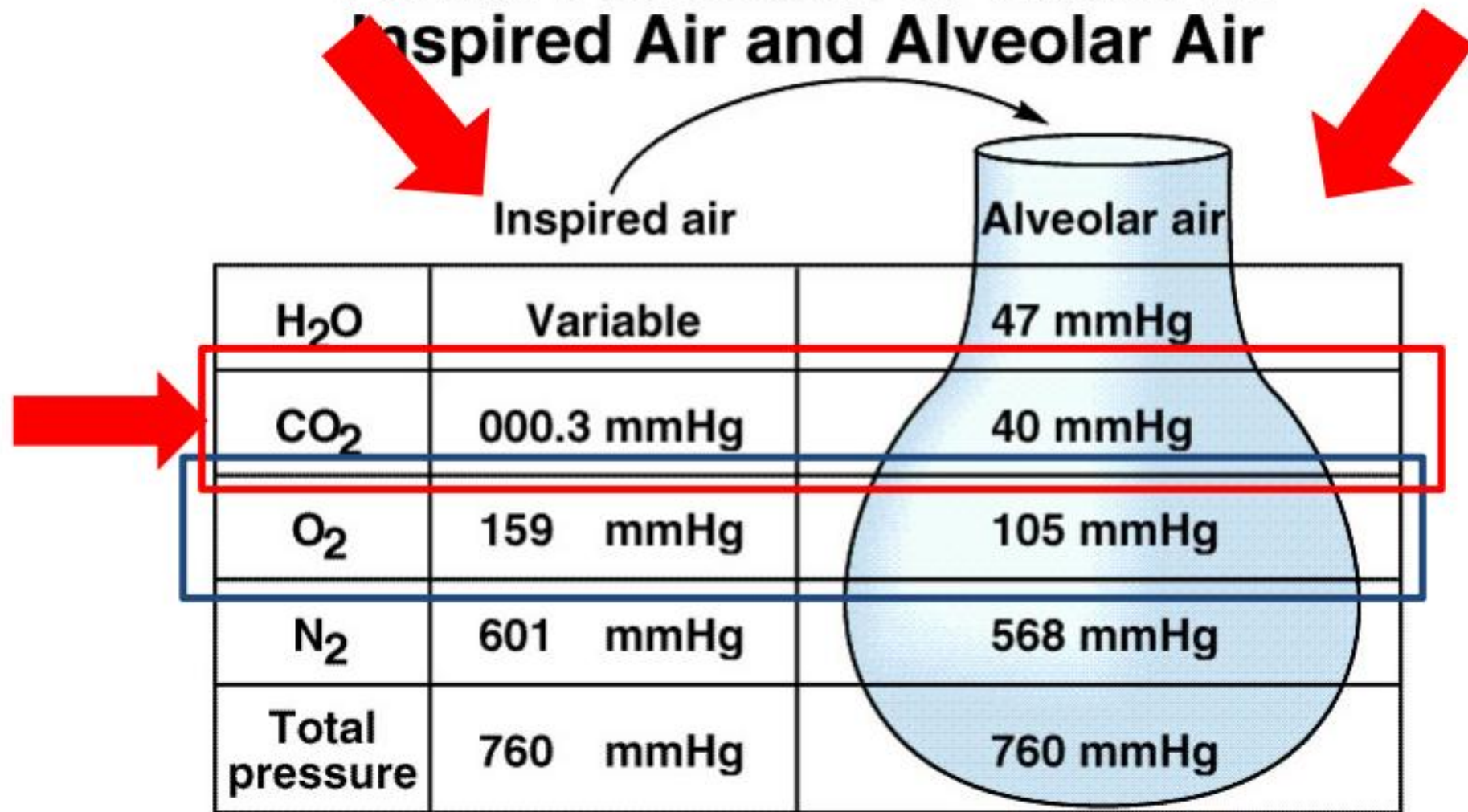
Η μερική πίεση των υδρατμών παραμένει σταθερή επειδή εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία.

Έτσι, στο στόμα, ο εισπνεόμενος αέρας, ξηρός, εμπεριέχει O_2 υπό υψηλότερη μερική πίεση, από τον αέρα στις κυψελίδες, επειδή εκεί έχει κορεστεί με υδρατμούς.

αναπτύσσεται μια κλίση μερικής πίεσεως του O_2 , ως εξής:

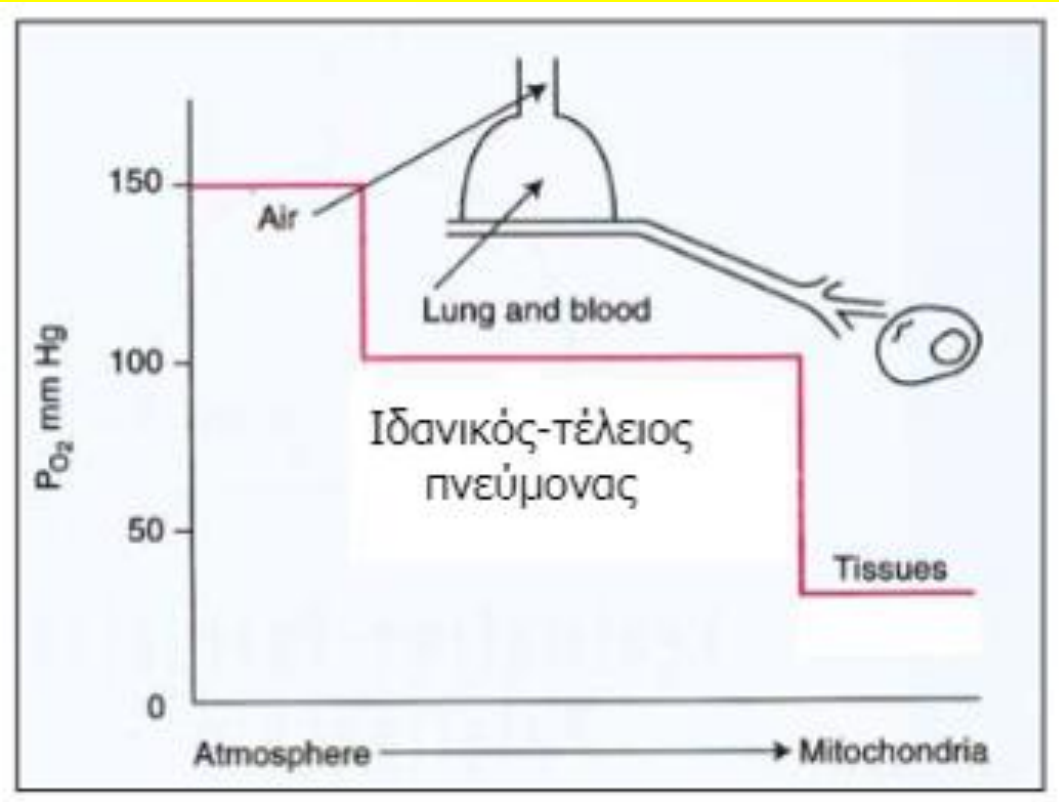
- εισπνεόμενος αέρας: P_{O_2} 160 mmHg
- κυψελιδικός αέρας: $P_{\text{A}}\text{O}_2 \approx 120$ mmHg
- O_2 στο αρτηριακό αίμα: $P_{\text{a}}\text{O}_2 \approx 100$ mmHg
- O_2 ιστικό: \approx -20 mmHg

Partial Pressures of Gases in Inspired Air and Alveolar Air

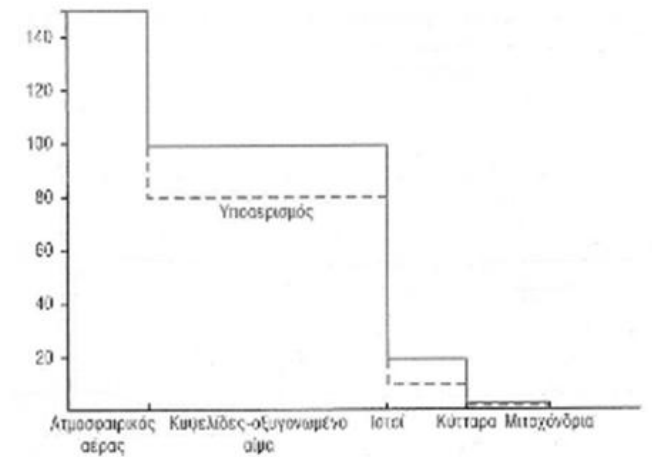


Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Από την ατμόσφαιρα στα μιτοχόνδρια

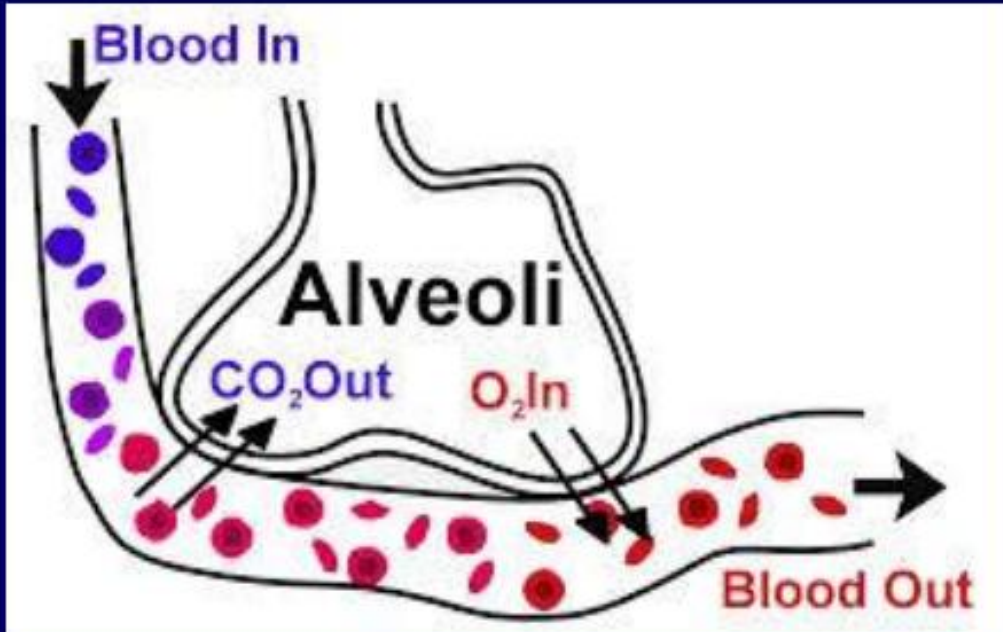


- Το διάγραμμα δείχνει τις διαδοχικές μερικές τάσεις του O_2 από τον ατμοσφαιρικό αέρα μέχρι τα μιτοχόνδρια.
- Όταν υπάρχει υποαερισμός η P_{O_2} των κυψελίδων και του οξυγονωμένου αίματος μειώνεται. Η μείωση αυτή προκαλεί και μείωση της P_{O_2} των ιστών.



FiO₂

Το κυψελιδικό O₂ αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με τη μεταβολή του FiO₂. Η αύξηση του FiO₂ είναι ο σημαντικότερος παράγοντας διόρθωσης της υποξαιμίας.

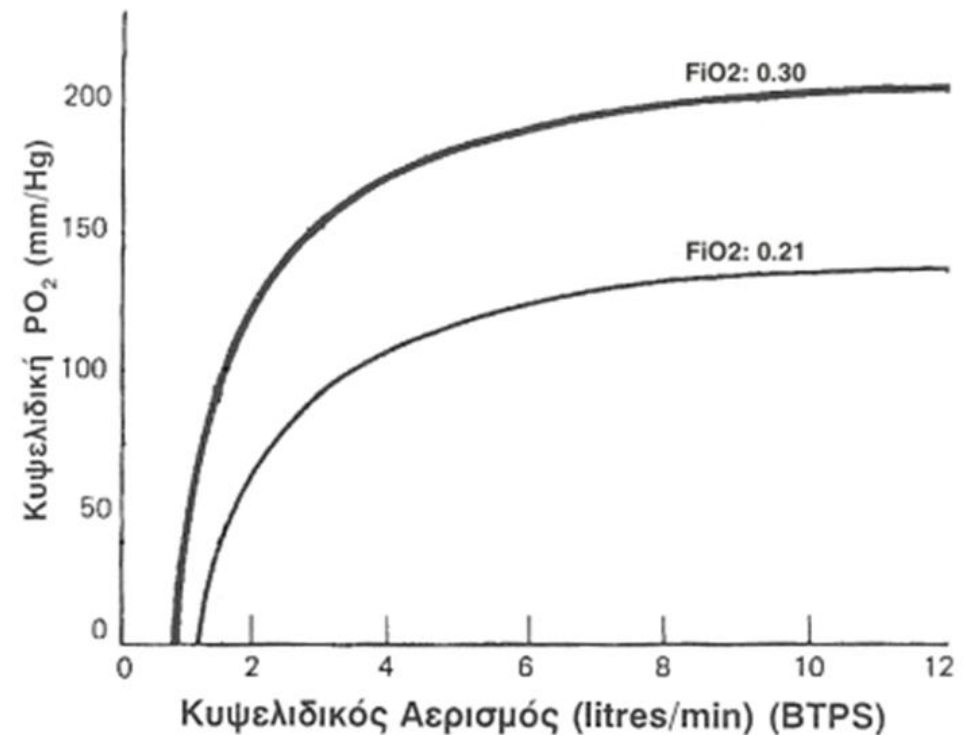


FiO₂

21%

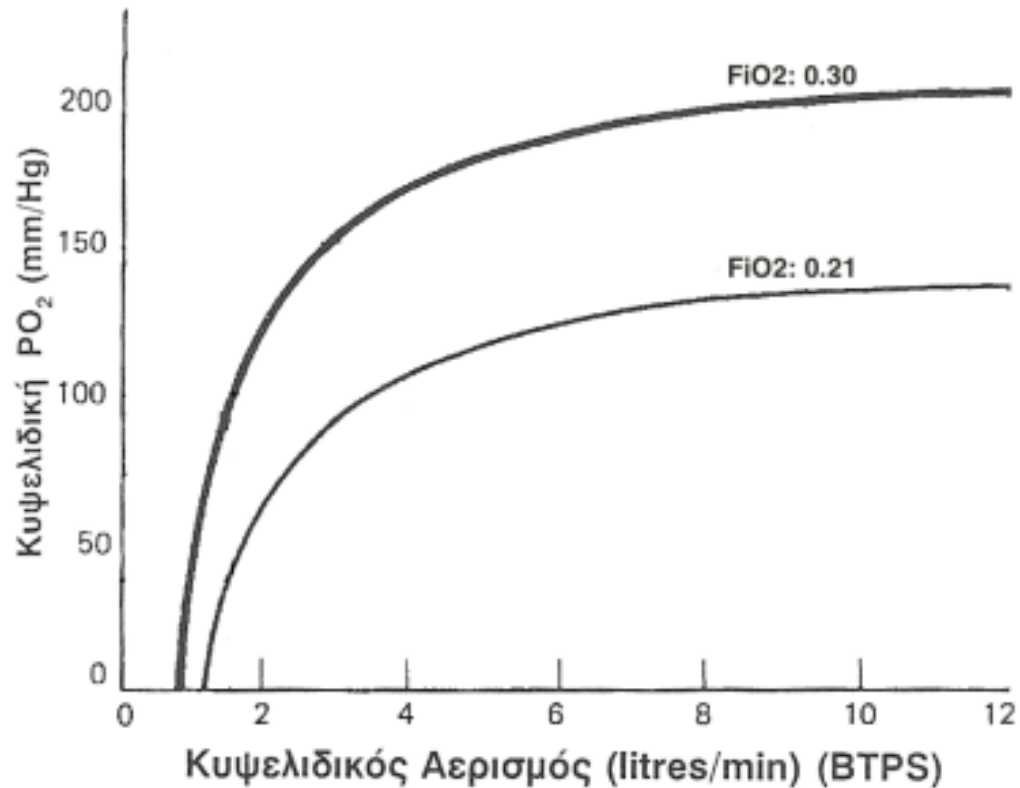
Κυψελιδικό Οξυγόνο

100mmHg



FiO₂
η εκατοστιαία αναλογία του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα 21%

εισπνεόμενος αέρας: PO₂ 160 mmHg



Η μεταβολές του κυψελιδικού O₂ κατά την αύξηση του FiO₂ από 0,21 σε 0,30.

Η κατανάλωση του O₂ είναι 200 ml/min και ο φυσιολογικός αερισμός περίπου στα 4 L/min.

Με τη χορήγηση οξυγόνου σε συγκέντρωση 30 %, η PAO₂ αυξάνει κατά 64 mm Hg.

Το κάθε σημείο της καμπύλης του FiO₂:0,3 έχει σταθερή απόσταση από την καμπύλη FiO₂:0,21 που αντιστοιχεί σε 64 mm Hg.

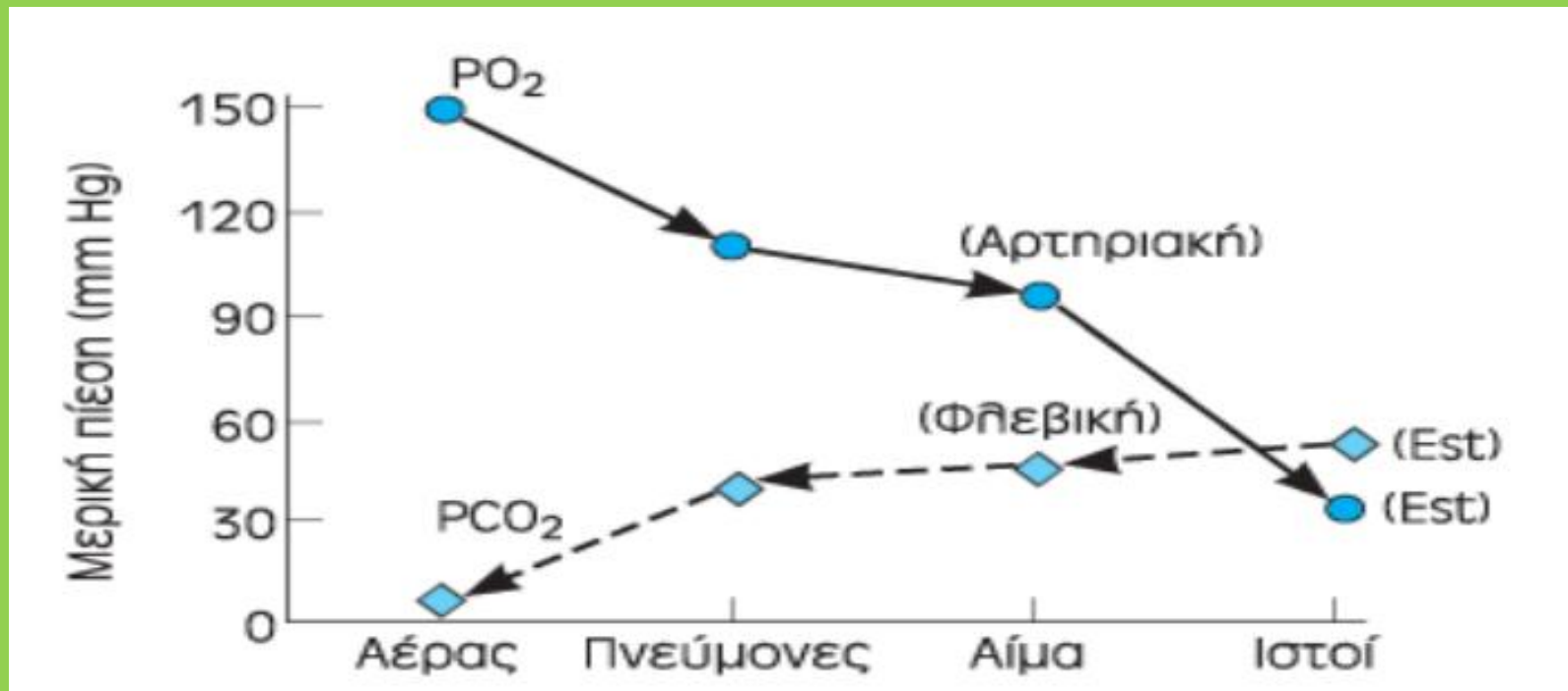
Πολλαπλασιάζοντας τον FiO_2 x 5 λαμβάνεται η αναμενόμενη PaO_2 για τον δεδομένο FiO_2 (θεωρώντας ότι οι πνεύμονες είναι φυσιολογικοί) λ.χ.:

- ✓ Αν $FiO_2=21\%$ (αναπνοή σε αέρα δωματίου) η αναμενόμενη $PaO_2 = 5 \times 21 = 105 \text{ mmHg}$
- ✓ Όταν εισπνέεται αέρας με 50% O_2 ($FiO_2=50\%$), τότε η αναμενόμενη $PaO_2 = 5 \times 50 = 250 \text{ mmHg}$

Αν η μετρούμενη PaO_2 είναι σημαντικά κατώτερη από την αναμενόμενη, υπάρχει πρόβλημα στην ανταλλαγή των αερίων

- Μεταφορά οξυγόνου (O_2) από τον αέρα μέσω κυψελίδων στο αίμα και ιστούς
- Μεταφορά διοξειδίου άνθρακα (CO_2) από ιστούς σε κυψελίδες

Οι κλίσεις των μερικών πιέσεων του O_2 και του CO_2 είναι το κλειδί για τη μεταφορά αερίων



**ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΞΥΓΟΝΟΥ
ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΟΡΕΣΜΟΥ**



ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΠΝΕΥΜΟΝΕΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

1. **Σύνδεση με αιμοσφαιρίνη**
2. Διαλυμένο στο πλάσμα

Μόλις το Οξυγόνο διαχυθεί από τις κυψελίδες στην πνευμονική κυκλοφορία, μεταφέρεται κατά κύριο λόγο δεσμευμένο από την αιμοσφαιρίνη στα τριχοειδή των ιστών, όπου και αποδίδεται για να χρησιμοποιηθεί από τα κύτταρα. Η παρουσία της αιμοσφαιρίνης στα ερυθρά αιμοσφαίρια παρέχει τη δυνατότητα στο αίμα να μεταφέρει 30 έως 100 φορές περισσότερο Οξυγόνο από αυτό που θα μπορούσε να μεταφερθεί απλώς με τη μορφή αιματικού διαλύματος Οξυγόνου.

Στα κύτταρα των ιστών το Οξυγόνο αντιδρά με διάφορες ουσίες που προέρχονται από την τροφή, για να σχηματίσει μεγάλες ποσότητες CO₂, το οποίο με τη σειρά του εισέρχεται στα τριχοειδή των ιστών και μεταφέρεται πίσω στους πνεύμονες. Το CO₂ και αυτό θα συνδεθεί με διάφορες ουσίες που υπάρχουν στο αίμα και οι οποίες αυξάνουν τη μεταφορική του ικανότητα για το CO₂ κατά 15 έως 20 φορές.

- Η ποσότητα του O₂ που μεταφέρεται στη συστηματική κυκλοφορία ανά λεπτό είναι το προϊόν της καρδιακής παροχής και της αρτηριακής συγκέντρωσης O₂.
- Η ικανότητα μεταφοράς του οξυγόνου στο σώμα εξαρτάται τόσο από το αναπνευστικό όσο και από το καρδιαγγειακό σύστημα.

- **Το οξυγόνο που μεταφέρεται σε ένα συγκεκριμένο ιστό** εξαρτάται από την ποσότητα του οξυγόνου που εισέρχεται στους πνεύμονες, την επάρκεια του μηχανισμού της ανταλλαγής αερίων στον πνεύμονα, την αιματική ροή στον ιστό και την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει το οξυγόνο.
- Η αιματική ροή εξαρτάται από το βαθμό της αγγειοσύσπασης του δικτύου του ιστού και την καρδιακή παροχή

Το ποσό του οξυγόνου στο αίμα καθορίζεται από την

- ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου,
- την ποσότητα της αιμοσφαιρίνης στο αίμα
- και τη συγγένεια της αιμοσφαιρίνης με το οξυγόνο

Κάθε Hb μεταφέρει 4 μόρια οξυγόνου

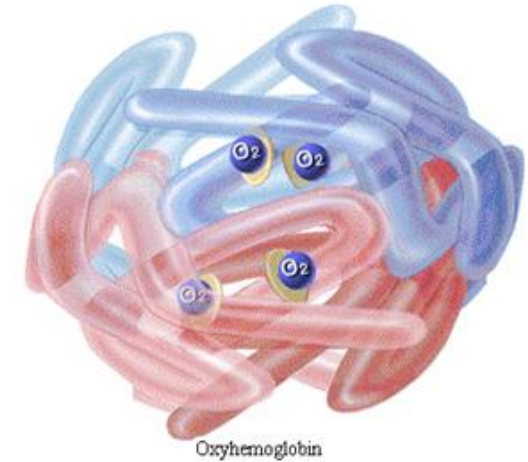
Το οξυγόνο μεταφέρεται στο αίμα κυρίως συνδεδεμένο με την Hb. Ένα μόριο Hb μπορεί να μεταφέρει μέχρι 4 μόρια O₂, που είναι τότε, 100% κορεσμένη σε O₂.

Μέγιστη ποσότητα οξυγόνου που μπορεί να συνδεθεί με αιμοσφαιρίνη αίματος

Το αίμα ενός φυσιολογικού ατόμου περιέχει 15 g Hb ανά 100 ml αίματος.

Κάθε g Hb μπορεί να συνδέεται με ένα μέγιστο ποσό οξυγόνου 1.34 ml περίπου.

Αρα, η Hb 100 ml αίματος συνδέεται με συνολική ποσότητα οξυγόνου της τάξης των **20 ml** όταν η Hb είναι κορεσμένη 100%. ($15 \times 1.34 = 20$)





Καμπύλη αποδέσμευσης O_2 ή καμπύλη του Bohr

Εργαλείο στο να κατανοήσουμε πως το αίμα (η Hb) μεταφέρει και απελευθερώνει το **οξυγόνο στους ιστούς**

Η σχέση μεταξύ της αρτηριακής μερικής πίεσεως οξυγόνου, P_{aO_2} , και του ποσοστού κορεσμού της Hb, S_{HbO_2} %, παρέχεται από την καμπύλη συνδέσεως Hb
Εργαλείο στο να κατανοήσουμε πως το αίμα (η Hb) μεταφέρει και απελευθερώνει το οξυγόνο στους ιστούς

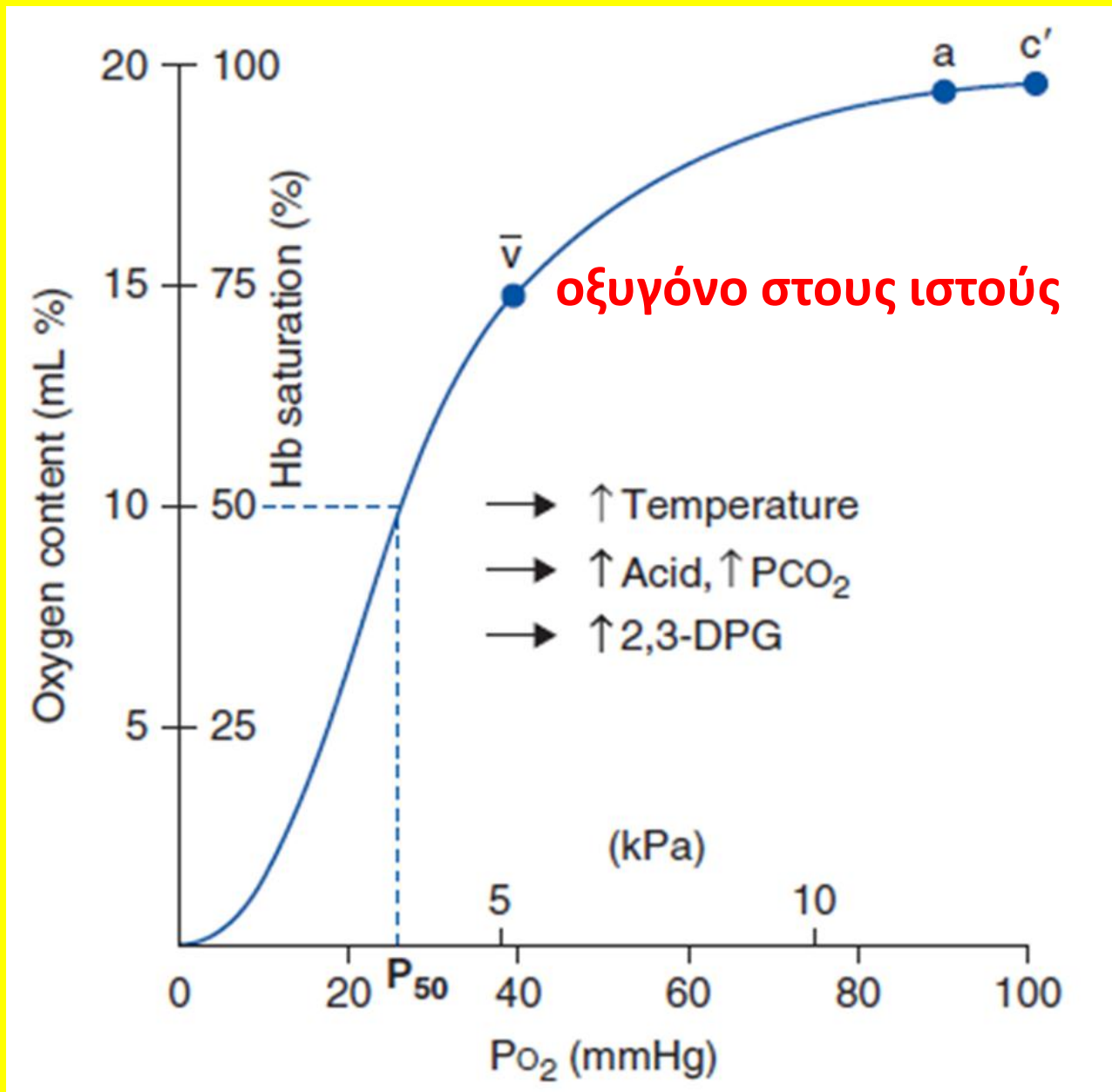
Το σιγμοειδές σχήμα της καμπύλης διευκολύνει την αποδέσμευση O_2 στους περιφερικούς ιστούς, όπου η P_{aO_2} είναι πολύ χαμηλή, και το O_2 είναι αναγκαίο για τη μικρή αναπνοή.



η καμπύλη κορεσμού της Hb περιγράφει τη σχέση μεταξύ της μερικής πίεσης του O₂ (τετμημένη-οριζόντιος άξονας) και του κορεσμού της Hb (τεταγμένη) όπου προβάλλεται και η περιεκτικότητα O₂ (έχει μια χαρακτηριστική σιγμοειδή μορφή)

Το ανώτερο οριζόντιο τμήμα της απαντάται στα πνευμονικά τριχοειδή όπου η Hb είναι κορεσμένη σχεδόν πλήρως (98 %) επειδή η PO₂ είναι 100 mmHg

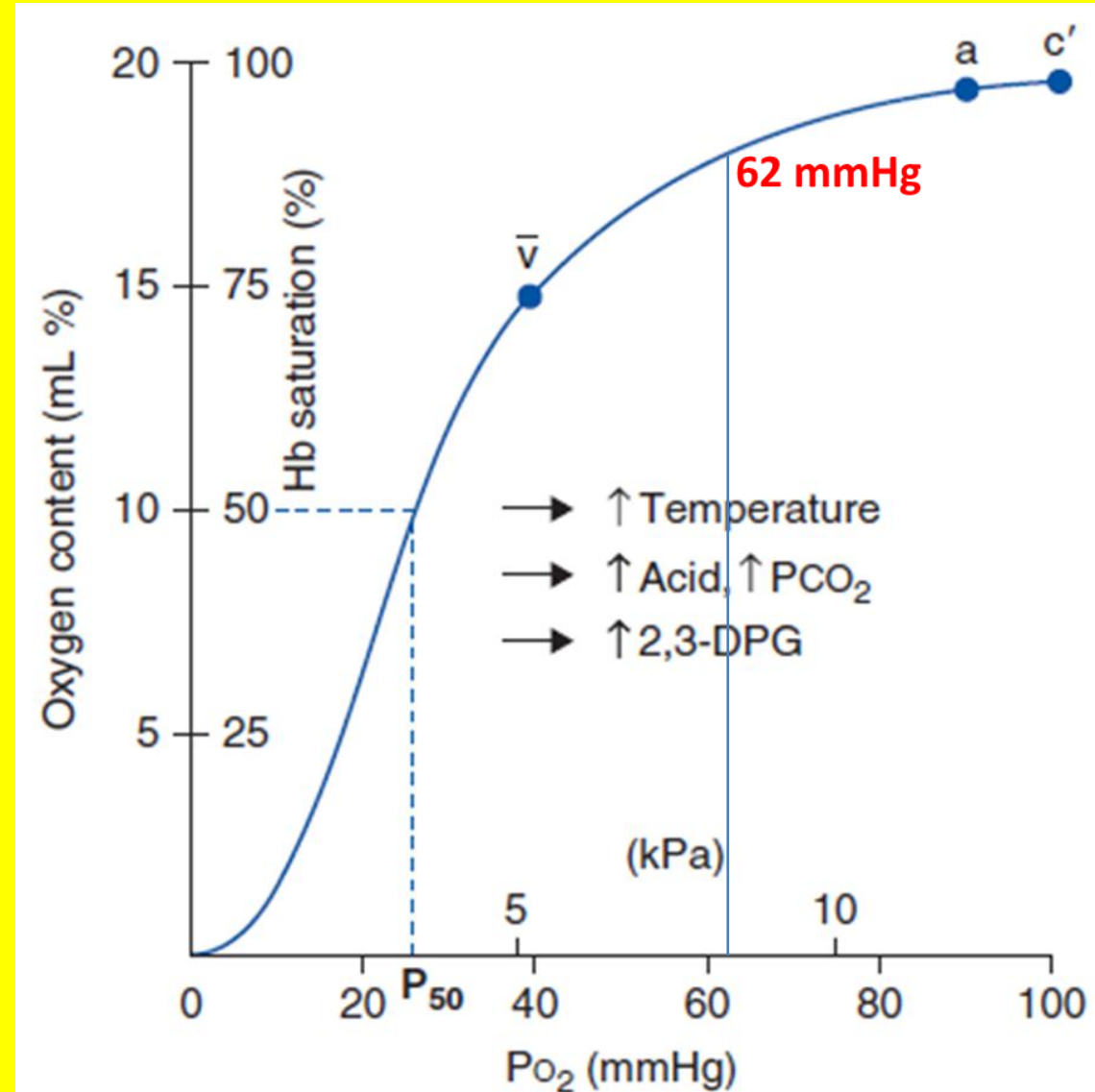
Ακόμα και σε παθολογικές καταστάσεις (PO₂ μέχρι και 60 mmHg), ο κορεσμός θα παραμείνει σε σχετικά υψηλά επίπεδα



Η συγγένεια της Hb αυξάνεται καθώς συνδέονται διαδοχικά μόρια O₂. Όσο η P_{O2} αυξάνεται, τόσα περισσότερα μόρια O₂ συνδέονται, μέχρις προσεγγίσεως της δεσμευτικής ικανότητας, οπότε η καμπύλη κορεσμού επιπεδώνεται.

Καθώς η αιμοσφαιρίνη κορέννυται με O₂, πολύ λιγότερα μόρια O₂ δεσμεύονται, πλέον. Επομένως, η καμπύλη έχει ένα σιγμοειδές σχήμα, που αναπαριστά τη μεταβαλλόμενη συγγένεια της αιμοσφαιρίνης με το O₂

Με πιέσεις μεγαλύτερες των 62 mmHg, η καμπύλη κορεσμού γίνεται περίπου επίπεδη, που σημαίνει ότι η περιεκτικότητα του αίματος σε O₂ δεν μεταβάλλεται περαιτέρω, ακόμη και με μεγάλη αύξηση της P_{O2}

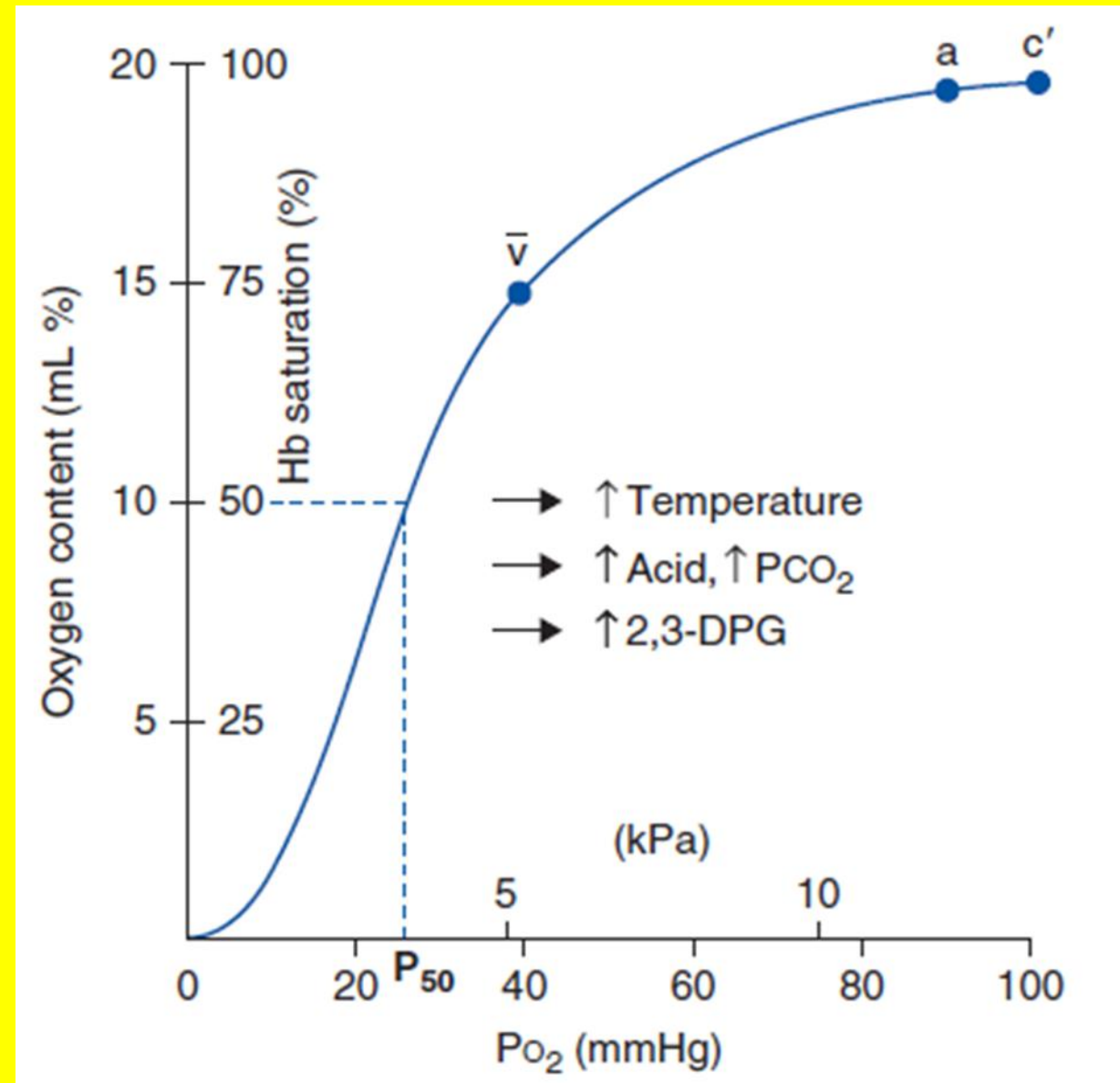


- Η καμπύλη σχηματίζεται πειραματικά, με ανθρώπειο αίμα και διάφορες συγκεντρώσεις O₂ σε θερμοκρασία 37°C και pH = 7.40 και προσομοιώνεται μαθηματικά με ειδική εξίσωση

Το ανώτερο οριζόντιο τμήμα της απαντάται στα πνευμονικά τριχοειδή όπου η Hb είναι κορεσμένη σχεδόν πλήρως (98 %) επειδή η PO_2 είναι 100 mmHg

Ακόμα και σε παθολογικές καταστάσεις (PO_2 μέχρι και 60 mmHg), ο κορεσμός θα παραμείνει σε σχετικά υψηλά επίπεδα

Στο κατακόρυφο τμήμα της καμπύλης και όταν το $PO_2 < 50$ mmHg, η συγγένεια της Hb με το O_2 ελαττώνεται δραματικά και το O_2 απελευθερώνεται στους ιστούς.



Καμπύλη αποδέσμευσης O₂ από την Hb

100

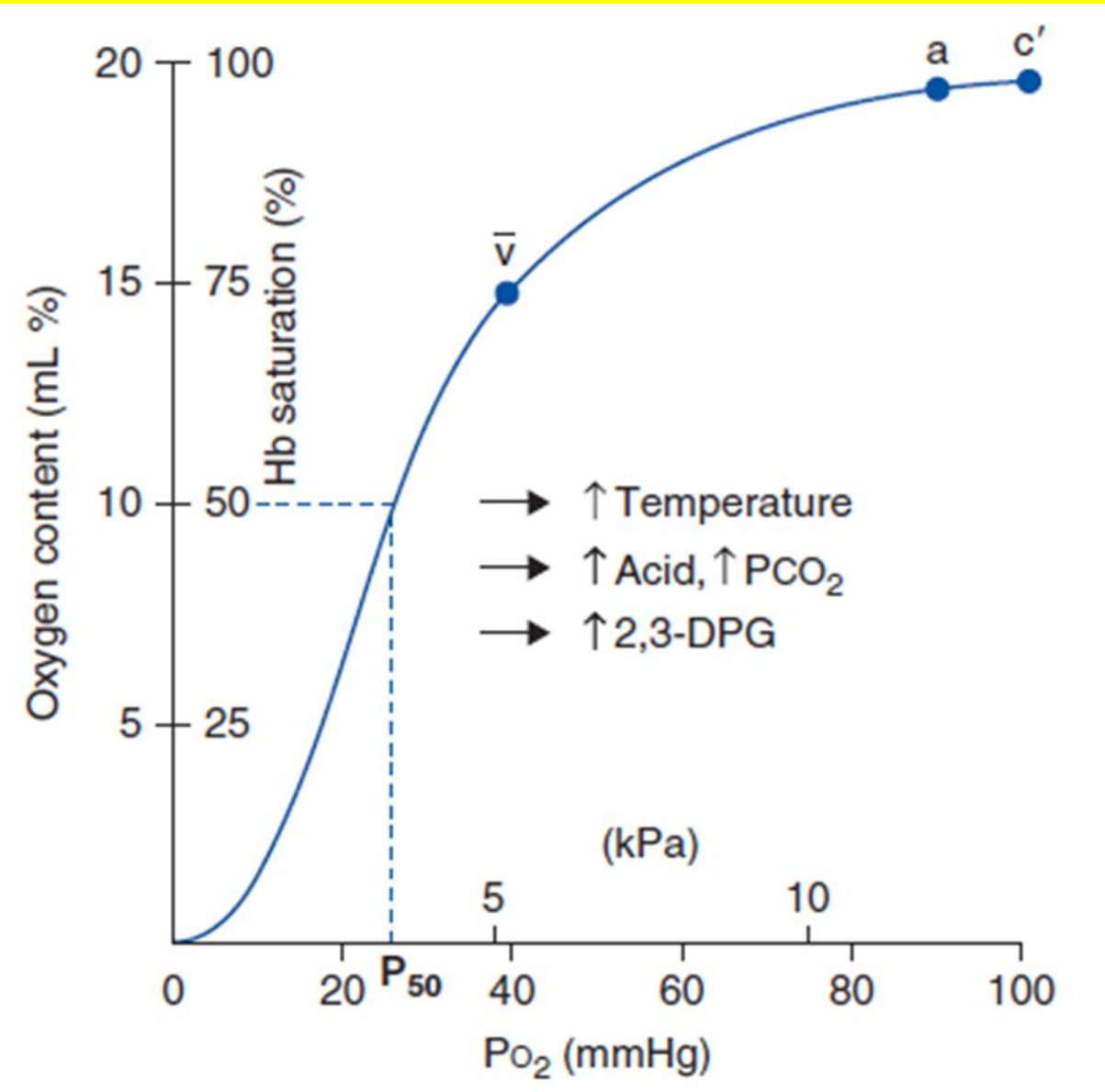
Σύμφωνα με την καμπύλη αποδέσμευσης του O₂ από την Hb, ο SaO₂ μπορεί να μειωθεί μέχρι το 90% και η PaO₂ να είναι ακόμη σε ανεκτά επίπεδα (60 mmHg), όμως σε χαμηλότερο κορεσμό (λ.χ. έως 75%) η μείωση της PaO₂ είναι σημαντική (από 60-40) και χτυπά

καμπανάκι

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110

PaO₂

PaO ₂	αντιστοιχεί σε:	SaO ₂
60 mmHg		90%
50 mmHg		80%
40 mmHg		70%
30 mmHg		60%



Παρατηρώντας την ΚΔΑ διαπιστώνουμε ότι με $P_{aO_2} = 100$ και 60 mmHg, η αιμοσφαιρίνη ευρίσκεται κορεσμένη σε ποσοστό 97.5% και 90.9%, αντίστοιχα.

Τιμές P_{aO_2} κάτω από το επίπεδο των 60 mmHg, που εμπίπτουν στο επικλινές τμήμα της καμπύλης, συνεπάγονται δραστική ελάττωση του ποσοστού κορεσμού.

Έτσι, η ικανότητα της αιμοσφαιρίνης να μεταβάλλει τη χημική της συγγένεια με το O_2 κατά τρόπο, ώστε να δεσμεύει O_2 σε περιβάλλον πλούσιο σε O_2 , όπως τα πνευμονικά τριχοειδή και να το αποδεσμεύει, σε περιβάλλον με χαμηλή P_{O_2} , όπως τα ιστικά τριχοειδή, την αναδεικνύει ως ιδανικό μεταφορέα O_2

τι σημαίνει P50

Η μερική πίεση του οξυγόνου στο αίμα (περίπου 27 mmHg για την αιμοσφαιρίνη A) κατά την οποία η Hb είναι κορεσμένη κατά 50%, ονομάζεται P50.

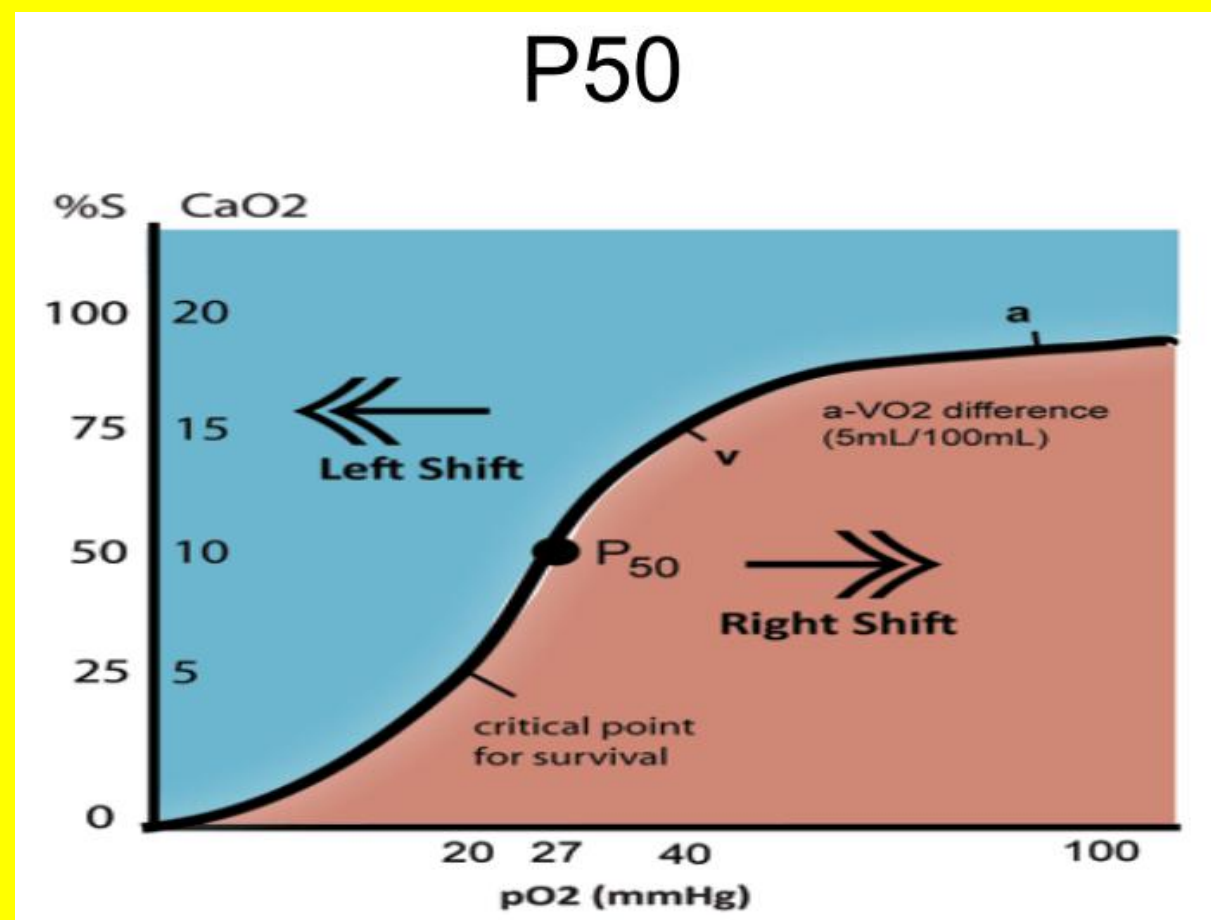
Αποτελεί δείκτη της συγγένειας της Hb με οξυγόνο.

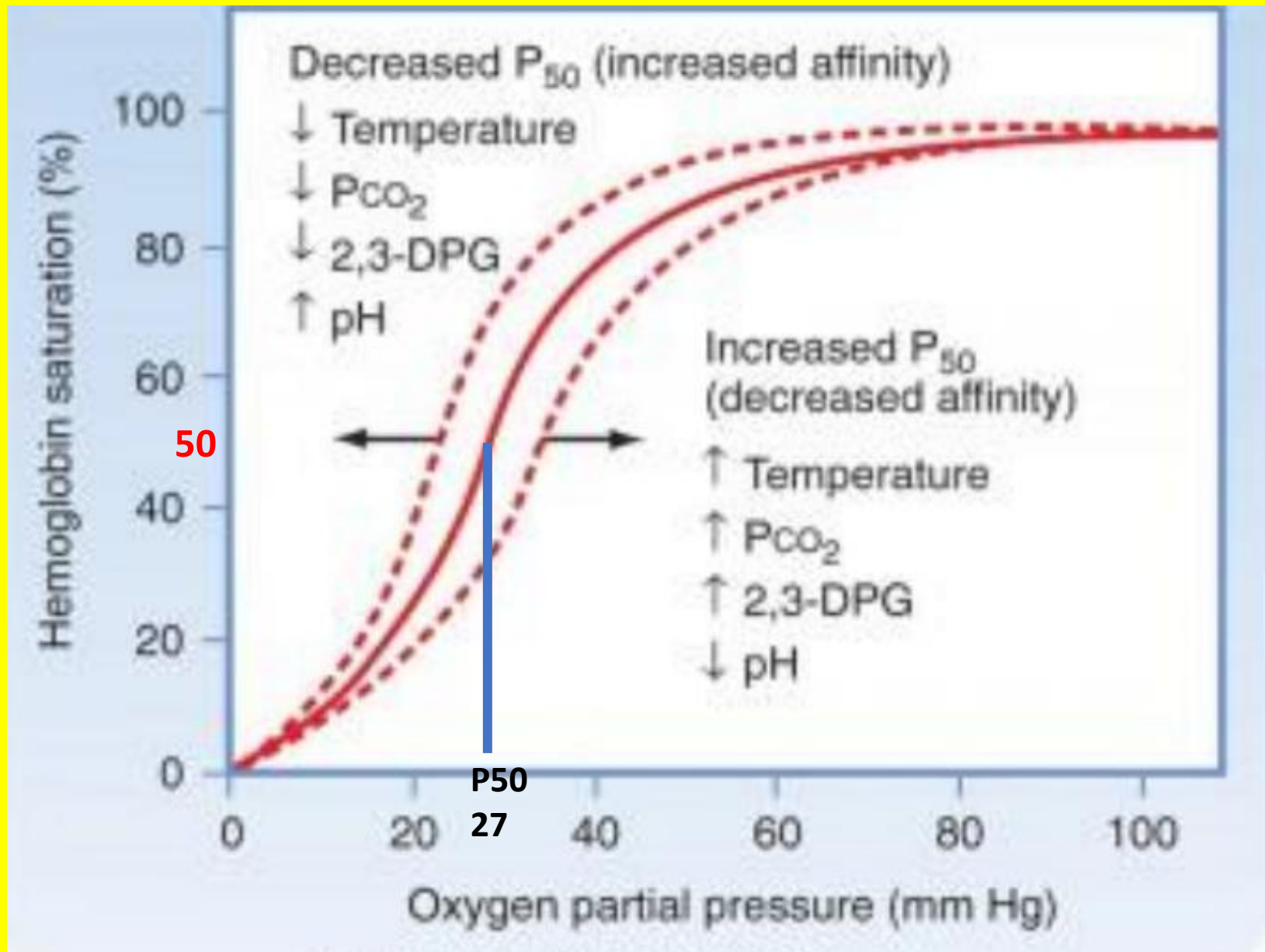
Η αιμοσφαιρίνη S, επί δρεπανοκυτταρικής αναιμίας, έχει P50 34 mmHg

Μετατόπιση προς δεξιά ή αριστερά του P50.

Μικρότερη του φυσιολογικού τιμή P50 (μετατόπιση αριστερά) δείχνει ότι η Hb δεσμεύει O₂, ευχερέστερα, αλλά το αποδίδει δυσχερέστερα, στους περιφερικούς ιστούς.

Αυξημένο P50 (μετατόπιση δεξιά) δείχνει το αντίθετο: Το O₂ προσελκύεται δυσχερέστερα από την Hb, αλλά στο ιστικό επίπεδο, απελευθερώνεται ευχερέστερα.





Η μερική πίεση του οξυγόνου στο αίμα (περίπου 27mmHg) κατά την οποία η Hb είναι κορεσμένη κατά 50%, ονομάζεται **P50**.

Αυξημένο P50

Μετατόπιση της καμπύλης προς τα δεξιά :

Απαιτείται περισσότερο PO₂ για να έχουμε 50% κορεσμό της Hb

Χαμηλό P50

Μετατόπιση της καμπύλης προς τα αριστερά:

Απαιτείται λιγότερο PO₂ για να έχουμε 50% κορεσμό της Hb

Όσο μεγαλύτερη είναι η P50, τόσο μικρότερη είναι η συγγένεια της αιμοσφαιρίνης με O₂



Η καμπύλη μπορεί να κινηθεί δεξιά ή αριστερά, ανάλογα με χαρακτηριστικά του ασθενούς,.

Τρεις καταστάσεις επηρεάζουν την καμπύλη αποδέσμευσης οξυγόνου – αιμοσφαιρίνης

- pH
- Θερμοκρασία
- συγκέντρωση του 2,3-διφωσφογλυκερινικού (DPG·2,3-DPG)

Το 2,3 διφωσφογλυκερικό οξύ είναι οργανοφωσφορική ένωση που παράγεται στα ερυθροκύτταρα, κατά τη γλυκόλυση. Η παραγωγή 2,3 DPG είναι προσαρμοστικός μηχανισμός, εφόσον αυξάνεται σε διάφορες καταστάσεις, παρουσία μειωμένης διαθεσιμότητας O₂, όπως η υποξαιμία, η αναιμία, η συμφορητική καρδιοπάθεια, διάφορες πνευμονοπάθειες. Υψηλά επίπεδα 2,3 DPG εκτρέπει τη καμπύλη διαστάσεως Hb προς τα δεξιά, ενώ η μείωσή του, προς τα αριστερά, όπως φαίνεται σε καταστάσεις, όπως το σηπτικό shock και υποφωσφαταιμία.

Η δεξια απόκλιση της ΚΚΑ (μεγαλύτερο P50) **διεκολύνει την εκφόρτωση O₂ στους ιστούς και συνεπάγεται βελτίωση της ιστικής οξυγονώσεως**, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις με κυψελιδική υποξία, εκτός της υποξαιμίας, λόγω παραμονής σε μεγάλο υψόμετρο.

A. υπερθερμία

B. αύξηση του 2-3 DPG Το 2-3 DPG αποτελεί παραπροϊόν της αναερόβιας γλυκολυτικής διαδικασίας στα ερυθροκύτταρα, στα οποία ευρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις (περίπου 15 mmol/g Hb).

Ενισχύει την αποδέσμευση του O₂ από την Hb, ανταγωνιζόμενο το O₂ στις θέσεις δεσμεύσεώς του

C. αύξηση της συγκεντρώσεως [H⁺], της PaCO₂ και **μείωση του pH**. Η δεξιά απόκλιση της ΚΚΑ, σε περιβάλλον με χαμηλό pH, υψηλή συγκέντρωση H⁺ ή υψηλή PaCO₂, διευκολύνει την απόδοση O₂ στους ιστούς

➤ **μικρότερη συγγένεια της αιμοσφαιρίνης με το O₂, μεγαλύτερη απελευθέρωση οξυγόνου από Hb**

αριστερή απόκλιση (μικρότερη P50)

διευκολύνεται μεν η φόρτιση της Hb με O₂ στους πνεύμονες (μεγαλύτερη συγγένεια της αιμοσφαιρίνης με το O₂), σε περιβάλλον με χαμηλό PaO₂, αλλά μπορεί να επιβραδύνει την αποφόρτιση της στους ιστούς.

Όπως είναι ευδιάκριτο, η αριστερή απόκλιση συνεπάγεται μείωση της PaO₂ .

➤ παρατηρείται στις εξής καταστάσεις:

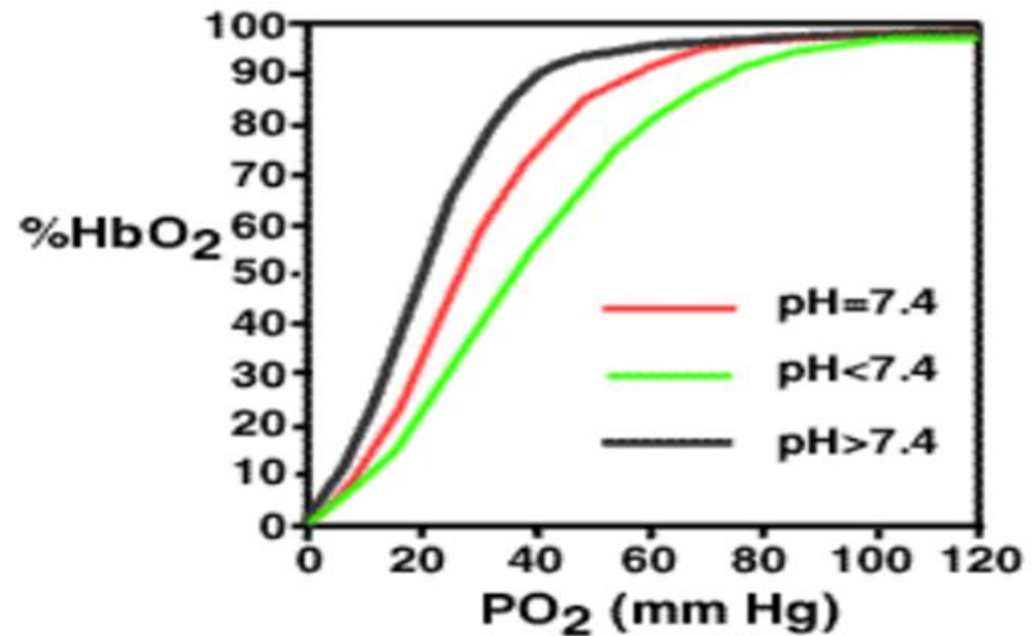
A. υποθερμία

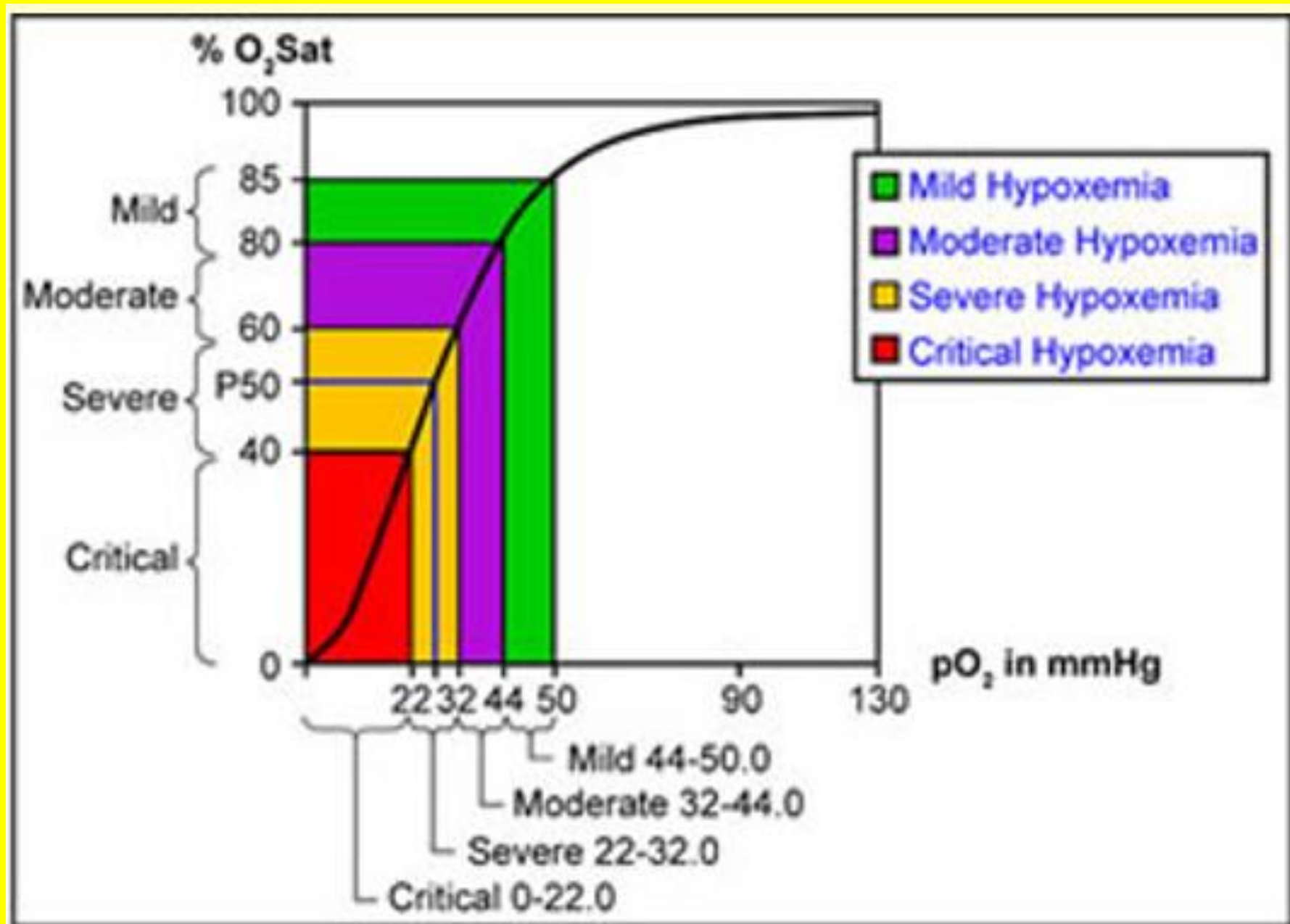
B. εμβρυϊκή αιμοσφαιρίνη Ποσοστό περίπου 85% της συνολικής αιμοσφαιρίνης στα νεογνά (μέχρις ηλικίας περίπου 1 έτους) είναι εμβρυϊκή αιμοσφαιρίνη (HbF), η οποία αποτελείται από δύο α- και δύο γ- πολυπεπτιδικές αλυσίδες. Η αυξημένη συγγένεια της HbF προς το O₂ οφείλεται στις γ- πολυπεπτιδικές αλυσίδες και αποσκοπεί στη δέσμευση O₂, από το υπό χαμηλή PaO₂ περιφερικό αίμα της μητέρας, κατά την ενδομήτρια ζωή.

C. ανθρακυλαιμοσφαιριναιμία Το CO, εκτός του ότι απωθεί το O₂ από την Hb (φυσιολογική αναιμία), εφ' όσον εμφανίζει 200 φορές μεγαλύτερη συγγένεια με την Hb, εκτρέπει, επίσης, την ΚΚΑ προς τα αριστερά

ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ pH

pH και καμπύλη





**Μεταφορά διοξειδίου άνθρακα
(CO₂) από ιστούς σε κυψελίδες**



Υπενθύμιση: Το CO₂ διαχέεται 20 φορές ταχύτερα από το O₂

PaCO₂

Κάθε συζήτηση για την ανταλλαγή των αερίων και τα αέρια του αρτηριακού αίματος, πρέπει να αρχίζει από την PaCO₂

Η PaCO₂ ΔΕΝ ΠΑΡΕΧΕΙ πληροφορίες για την κλινική εικόνα

(δεν υπάρχει καμία συσχέτιση επιπέδων PaCO₂ και κλινικής εικόνας). Οποιοσδήποτε συνδυασμός συχνότητας αναπνοών, βάθους και αναπνευστικής προσπάθειας μπορεί να σχετίζεται με οποιαδήποτε τιμή PaCO₂

Η PaCO₂ όμως είναι η μόνη που παρέχει

πληροφορίες για:

- ✓ Τον **αερισμό**
- ✓ Την **οξυγόνωση** και
- ✓ Την **οξεοβασική ισορροπία**

Η σημασία της PaCO₂

Υψηλή PaCO₂

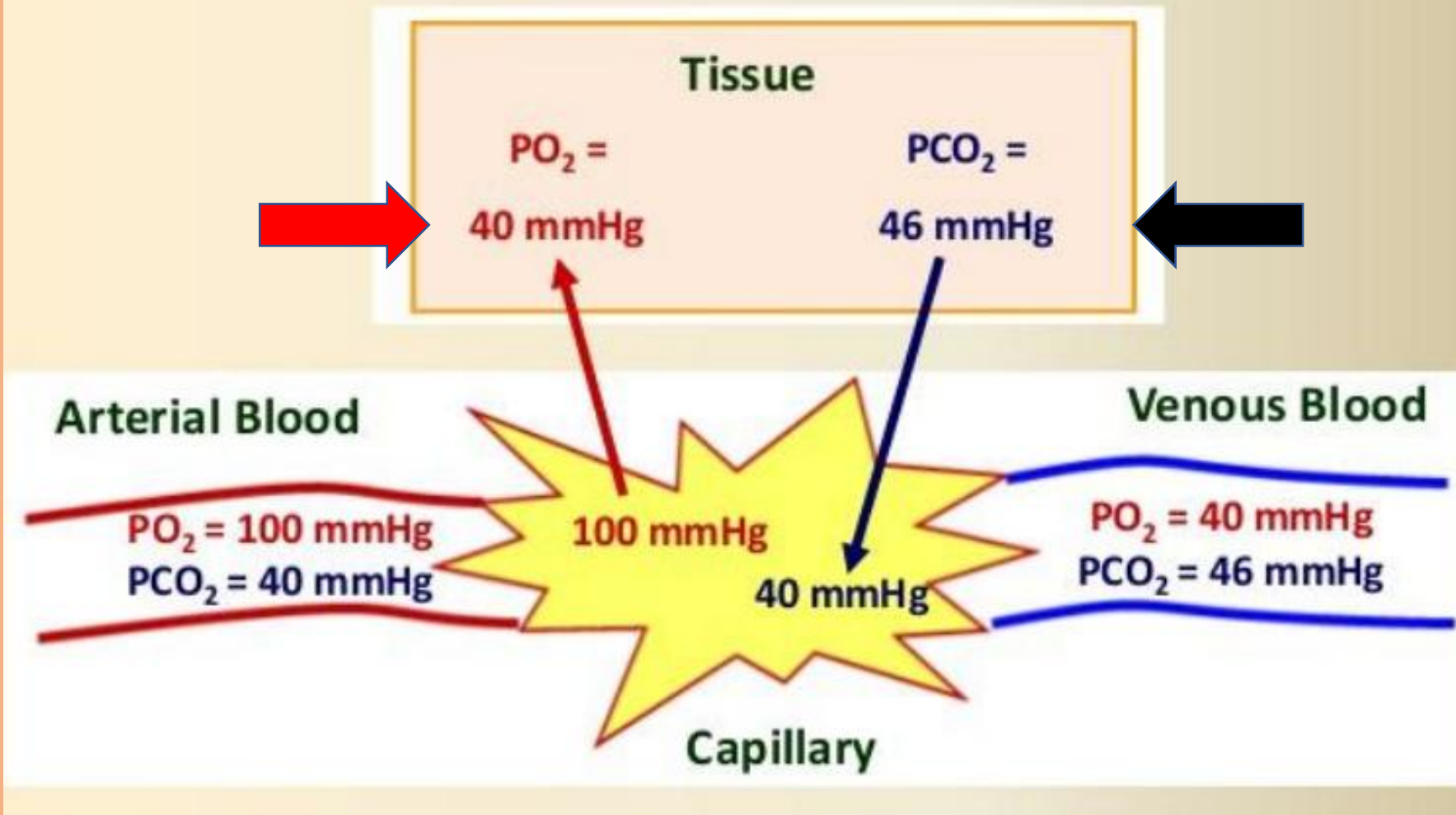
(>45 mmHg) υποδηλώνει την ύπαρξη κυψελιδικού **υποαερισμού**

Χαμηλή PaCO₂

(<35 mmHg) υποδηλώνει κυψελιδικό **υπεραερισμό**

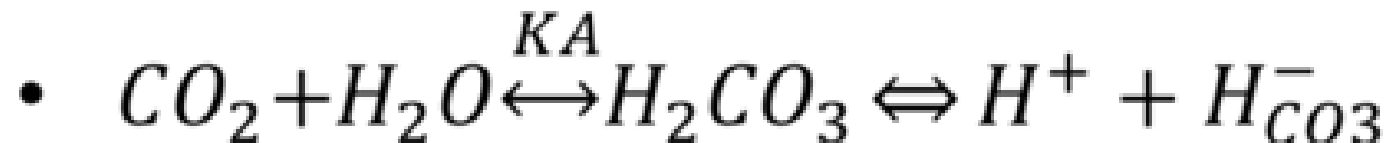


Gas Exchange At Tissue Level



Διοξείδιο του άνθρακα

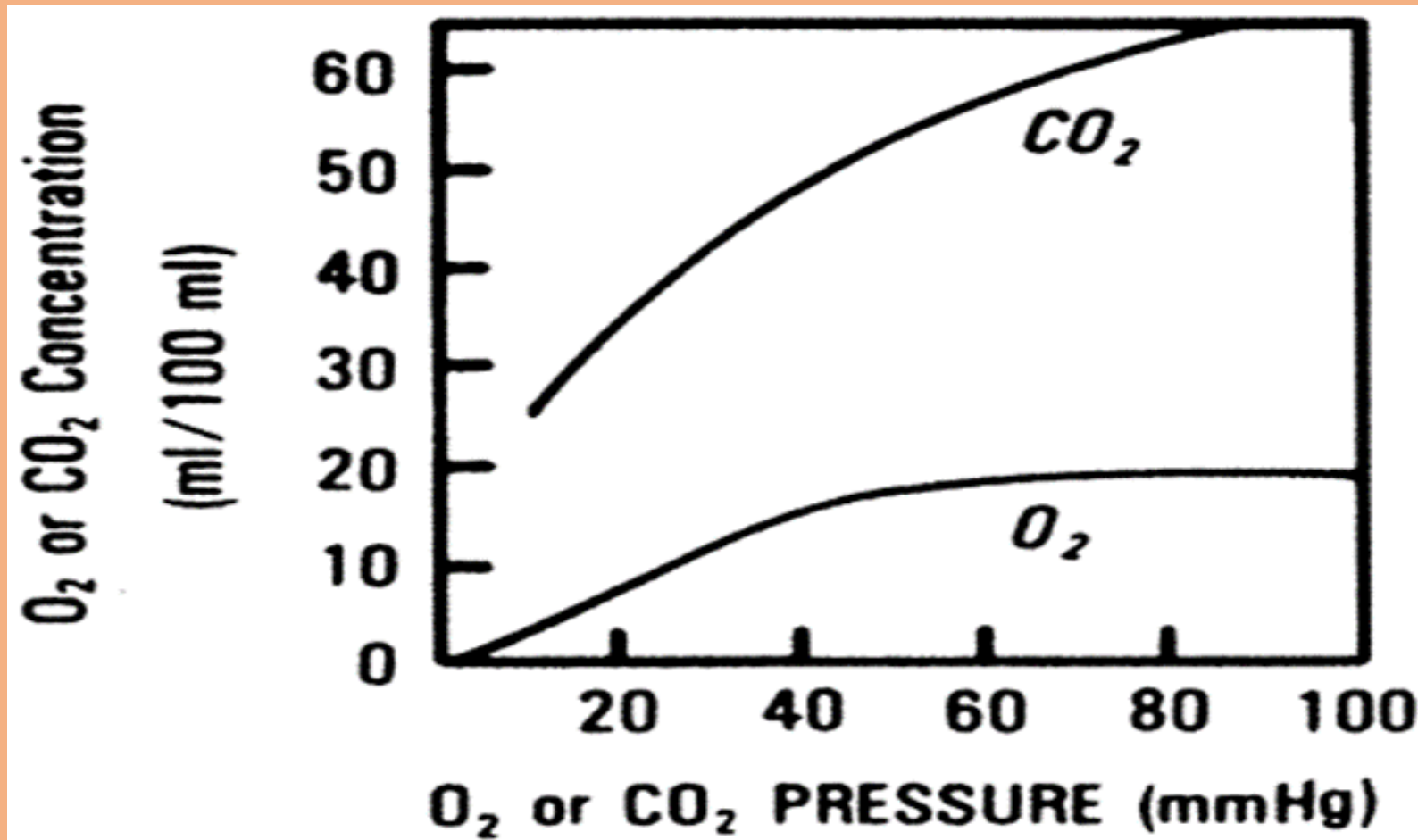
- Το CO₂ μεταφέρεται στο αίμα υπό τρεις μορφές: διαλυμένο(5%), συνδεδεμένο με πρωτεΐνες υπό την μορφή καρβαμινικών οξέων(5%) και ως ανθρακικό οξύ(90%).
- Το ανθρακικό οξύ σχηματίζεται εντός του αίματος με τη βοήθεια της καρβονικής ανυδράσης βάσει της παρακάτω εξίσωσης:



• Επειδή η αναθείσα αιμοσφαιρίνη είναι καλύτερος υποδοχέας πρωτονίων από ότι η οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη, το μη οξυγονωμένο αίμα μπορεί να μεταφέρει περισσότερο CO₂ για δεδομένο P_{co2} από ότι το οξυγονωμένο

Αυτό συμβαίνει διότι εντός των ερυθρών η πιο πάνω αντίδραση μετατοπίζεται προς τα δεξιά, επειδή τα H⁺ δεσμεύονται από την αιμοσφαιρίνη, οπότε περισσότερο CO₂ υπό τη μορφή Hco₃⁻ μεταφέρεται εντός των ερυθρών. Το παραπάνω φαινόμενο λέγεται φαινόμενο Haldane.

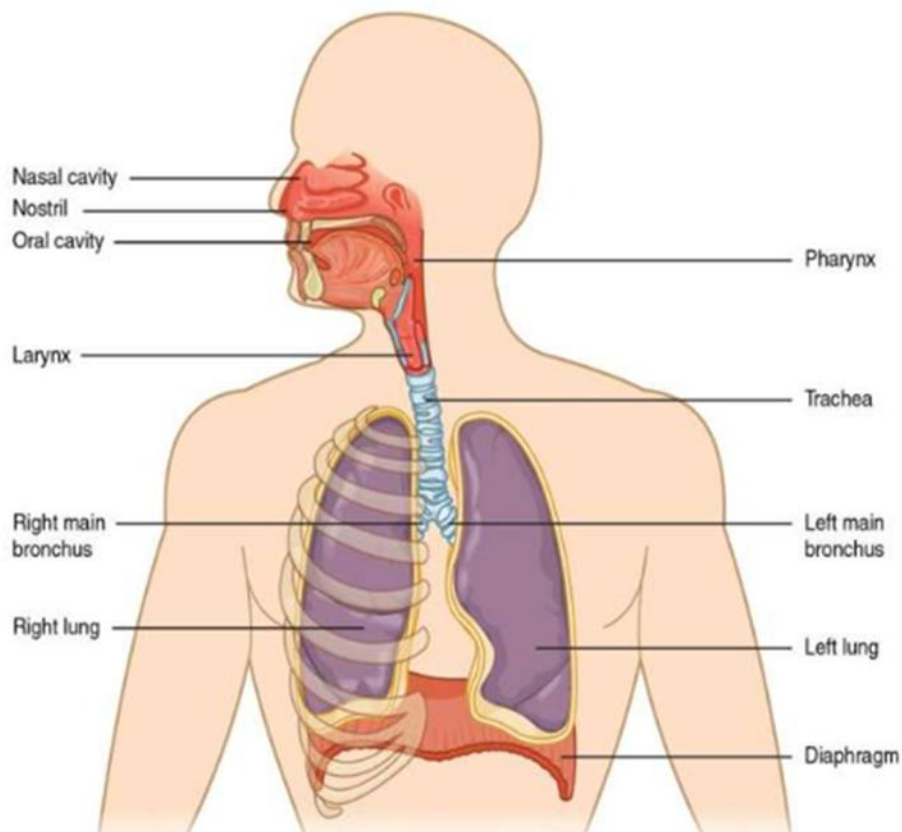
Η καμπύλη που δείχνει τη σχέση μεταξύ της P_{CO_2} και της ολικής συγκέντρωσης CO_2 στο αίμα είναι σχεδόν γραμμική σε αντίθεση με τη σιγμοειδή καμπύλη κορεσμού της αιμοσφαιρίνης.





Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Από την ατμόσφαιρα στα μιτοχόνδρια



ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

Arterial Blood Gases & pH	Normal range
Arterial pH	7.35 – 7.45
Arterial PO ₂	81 – 100 mm Hg
Arterial PCO ₂	35 – 45 mm Hg

Επιδημιολογία

- Ετήσια επίπτωση AA:
100-150 περιπτώσεις / 100.000 πληθυσμού

- Incidence: about 360,000 cases per year in the United States
- 36% die during hospitalization
- Morbidity and mortality rates increase with age and presence of comorbidities

ΑΡΧΕΣ ΑΝΑΤΟΜΙΑΣ-ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ

Α. Ανώτερο Αναπνευστικό

- Ρις (Μύτη)
- Στοματική Κοιλότητα
- Φάρυγγας (ρινική και στοματική μοίρα μέχρι το φαρυγγικό στόμιο του λάρυγγα)

Β. Κατώτερο Αναπνευστικό

- Λάρυγγας
- Τραχεία – Βρόγχοι
- Πνεύμονες

Βρογχικό Δέντρο

- Λοβαίοι βρόγχοι
- Τμηματικοί βρόγχοι
- Υποτμηματικοί βρόγχοι
- Τελικά βρογχιόλια



Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΑΠΑΙΤΕΙ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ

ΝΕΥΡΑ

ΘΩΡΑΚΙΚΟ ΤΟΙΧΩΜΑ

ΠΝΕΥΜΟΝΕΣ

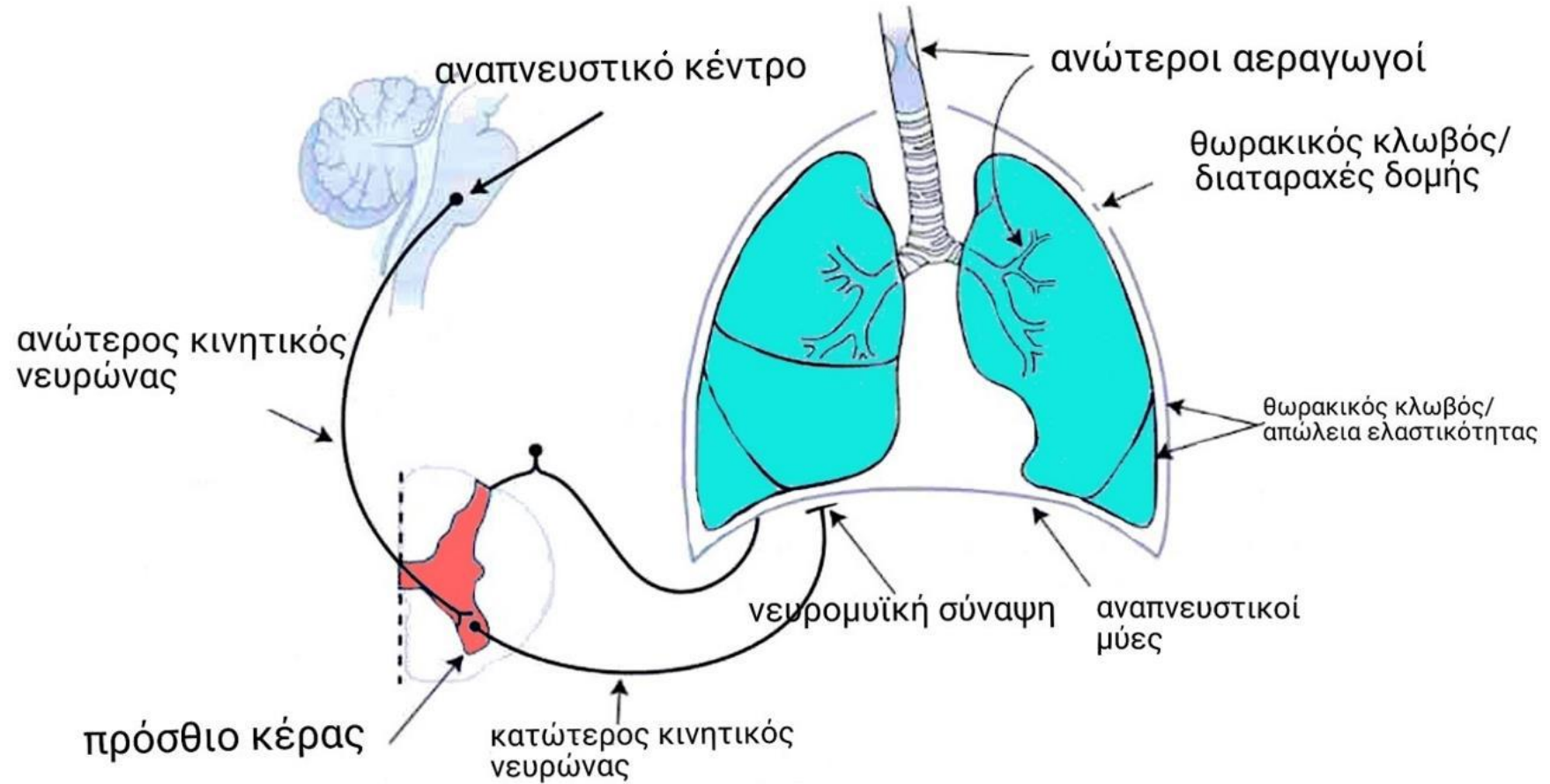
ΚΑΡΔΙΑ

Διαδικασία της αναπνοής

- ✘ Πνευμονικός αερισμός
- ✘ Διάχυση αερίων μεταξύ κυψελίδων και αίματος
- ✘ Μεταφορά Οξυγόνου στους ιστούς
- ✘ Ρύθμιση αερισμού

Αναπνευστικό σύστημα

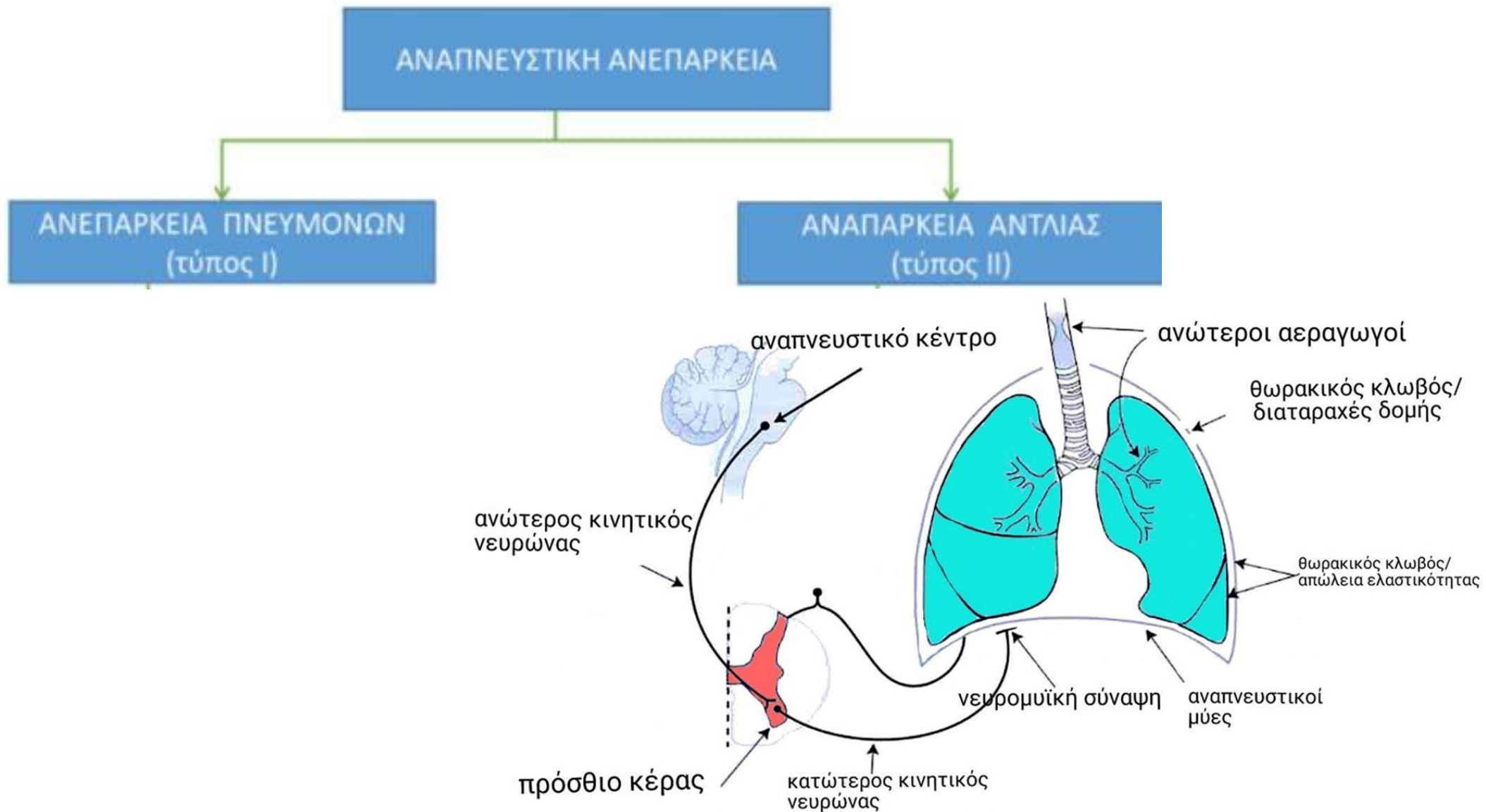
- Περιλαμβάνει
 - ΚΝΣ (γέφυρα)
 - ΠΝΣ (φρενικό)
 - Αν μύες
 - Θωρακικό τοίχωμα
 - Πνεύμονες
 - Ανώτερος αεραγωγός
 - Βρογχικό δένδρο
 - Κυψελίδες
 - Πνευμονική αγγείωση



Ανατομικές δομές της αναπνευστικής αντλίας.

Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται

- από τους πνεύμονες, το όργανο που είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή των αερίων,
- και την αναπνευστική αντλία, που αερίζει τους πνεύμονες



Ανατομικές δομές της αναπνευστικής αντλίας

θωρακικό τοίχωμα, αναπνευστικοί μυς, νεύρα κέντρα της αναπνοής

Ρύθμιση της Αναπνοής

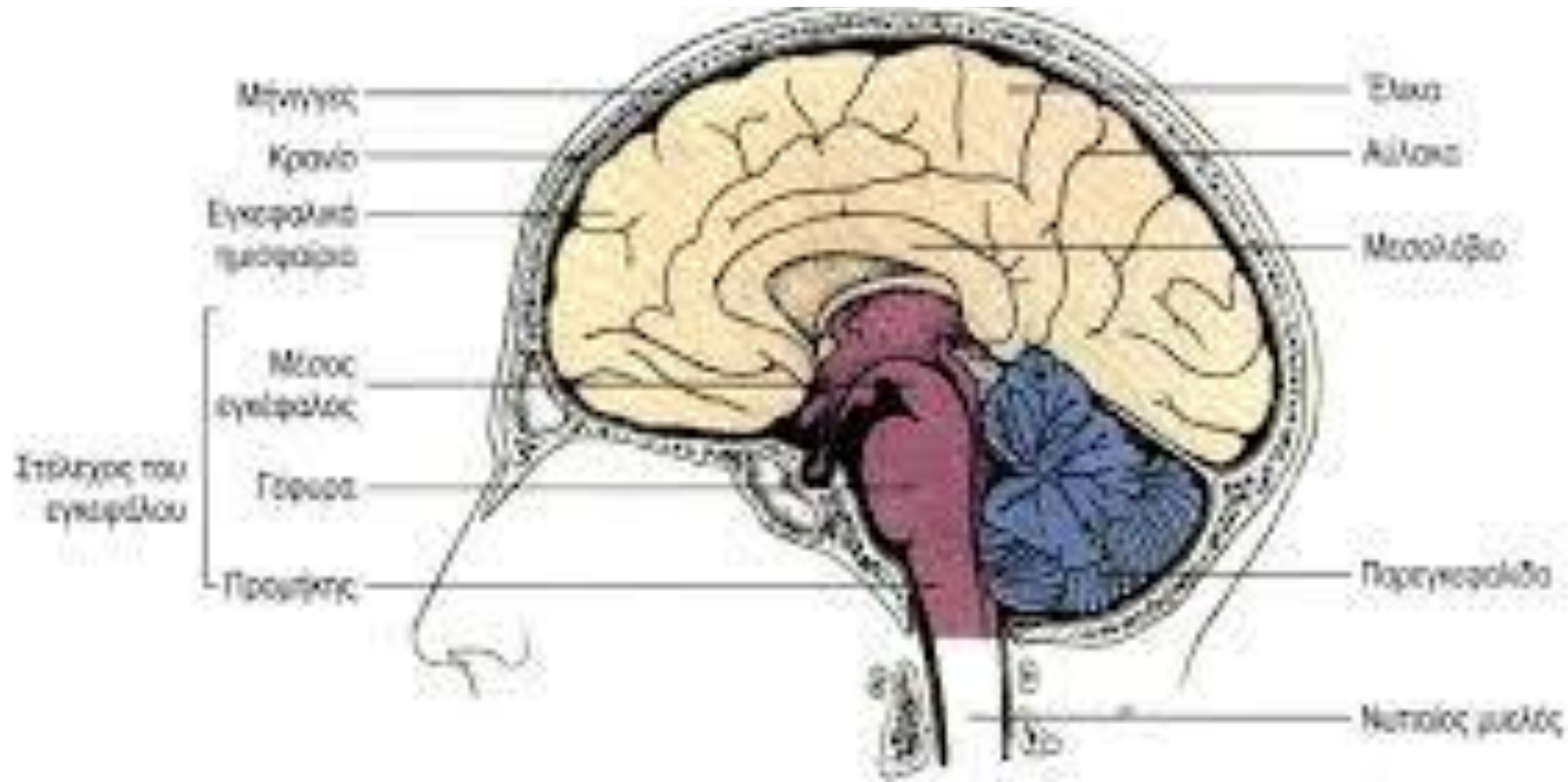
Δύο διακριτοί μηχανισμοί νεύρωσης ρυθμίζουν την αναπνοή

- Το **εκούσιο σύστημα** εδράζεται στον εγκεφαλικό φλοιό και αποστέλλει ώσεις στους αναπνευστικούς κινητικούς νευρώνες μέσω φλοιονωτιαίων οδών
- Το **αυτόματο σύστημα** καθοδηγείται από μια ομάδα βηματοδοτικών κυττάρων του προμήκη.

Ώσεις από αυτά τα κύτταρα ενεργοποιούν τους κινητικούς νευρώνες στην αυχενική και θωρακική μοίρα του νωτιαίου μυελού, οι οποίοι νευρώνουν τους εισπνευστικούς μύες.

- Οι νευρώνες της αυχενικής μοίρας του ΝΜ ενεργοποιούν το διάφραγμα μέσω του φρενικού νεύρου και οι νευρώνες της θωρακικής μοίρας του ΝΜ τους έξω και έσω μεσοπλεύριους (και άλλους εκπνευστικούς μύες)
- Οι κινητικοί νευρώνες που καταλήγουν στους εκπνευστικούς μύες αναστέλλονται όταν είναι ενεργοί οι νευρώνες που νευρώνουν τους εισπνευστικούς και αντίστροφα.

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ προμήκης



Ο προμήκης μυελός, η γέφυρα και ο μέσος εγκέφαλος αποτελούν το **εγκεφαλικό στέλεχος**

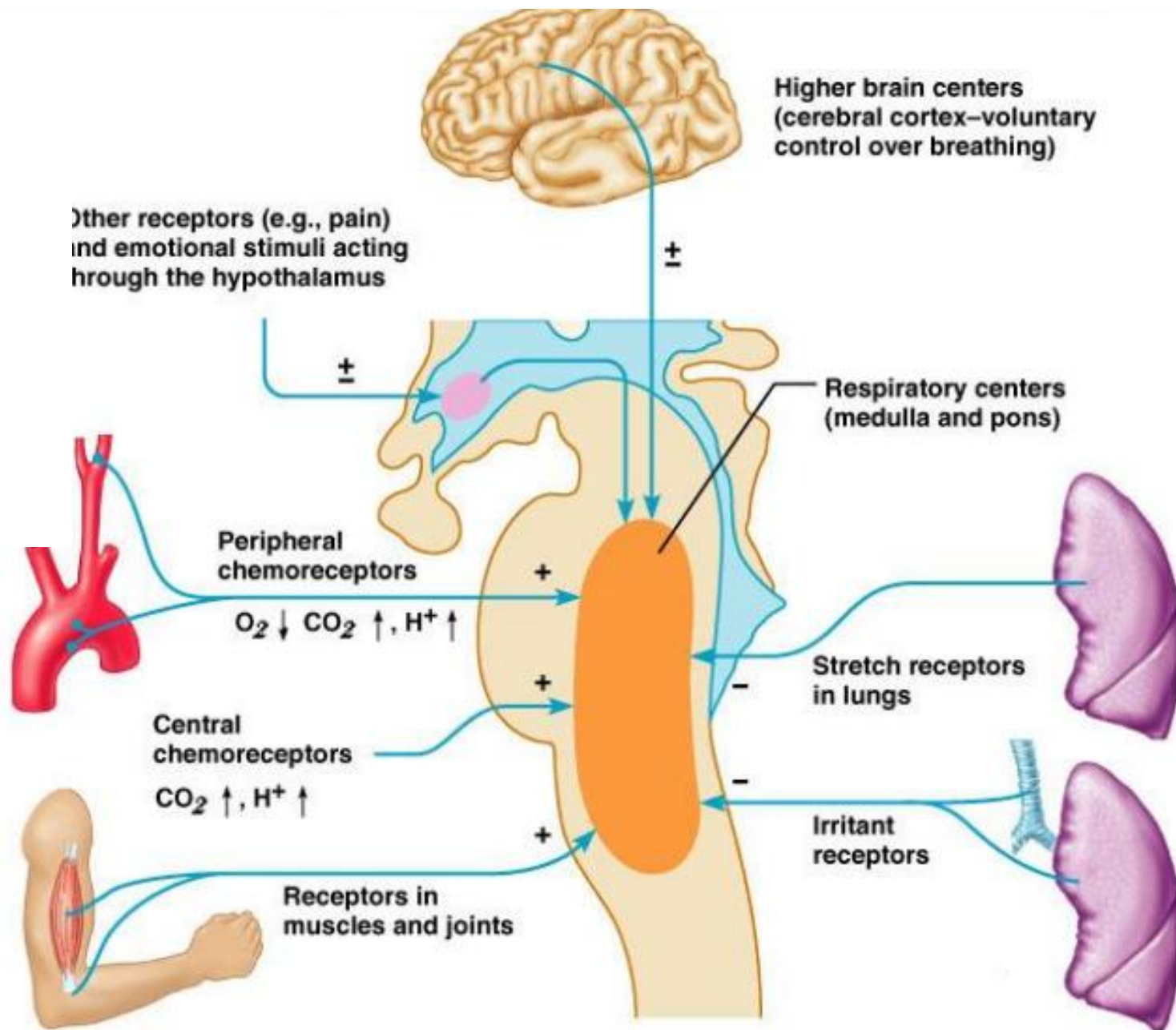
ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ προμήκης

ΕΔΡΑΖΕΤΑΙ ΣΤΟΝ ΠΡΟΜΗΚΗ

(1) Ραχιαία ομάδα (dorsal)
ΕΙΣΠΝΕΥΣΤΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

(2) Κοιλιακή πρόσθια ομάδα (ventral)
ΕΚΠΝΕΥΣΤΙΚΕΣ (έντονες) ΚΙΝΗΣΕΙΣ

Προμήκης μυελός: εμφανίζει σχήμα αποπεπλατυσμένου κώνου, προς τα άνω συνδέεται με την γέφυρα και προς τα κάτω με τον νωτιαίο μυελό.



ΑΛΛΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΝΣ ΠΟΥ ΡΥΘΜΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΠΝΟΗ

(1) Φλοιός

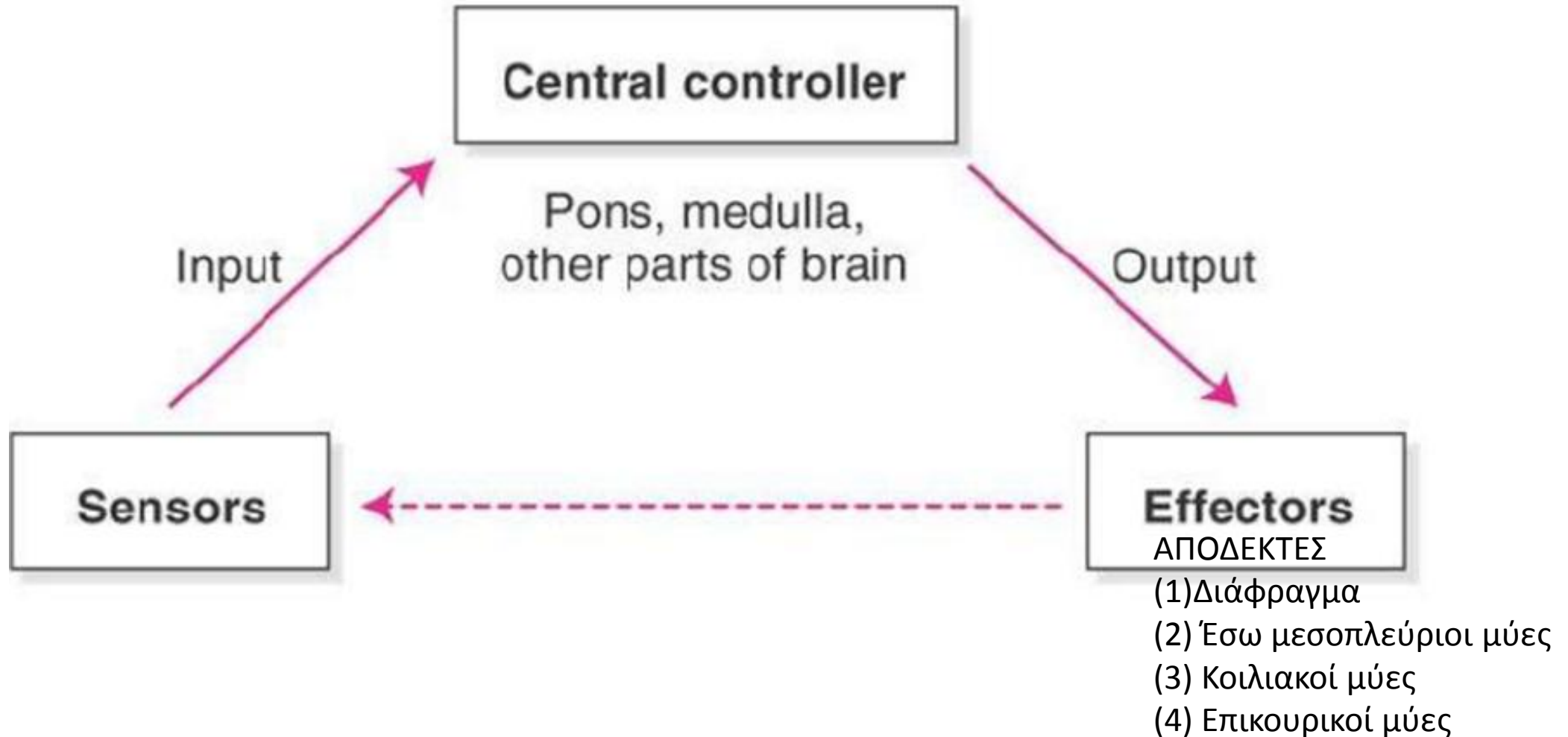
εκούσιος έλεγχος αναπνοής

(2) Μεταιχμιακό σύστημα – υποθάλαμος

συναισθηματικές καταστάσεις



Ρύθμιση της Αναπνοής





ΡΥΘΜΙΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

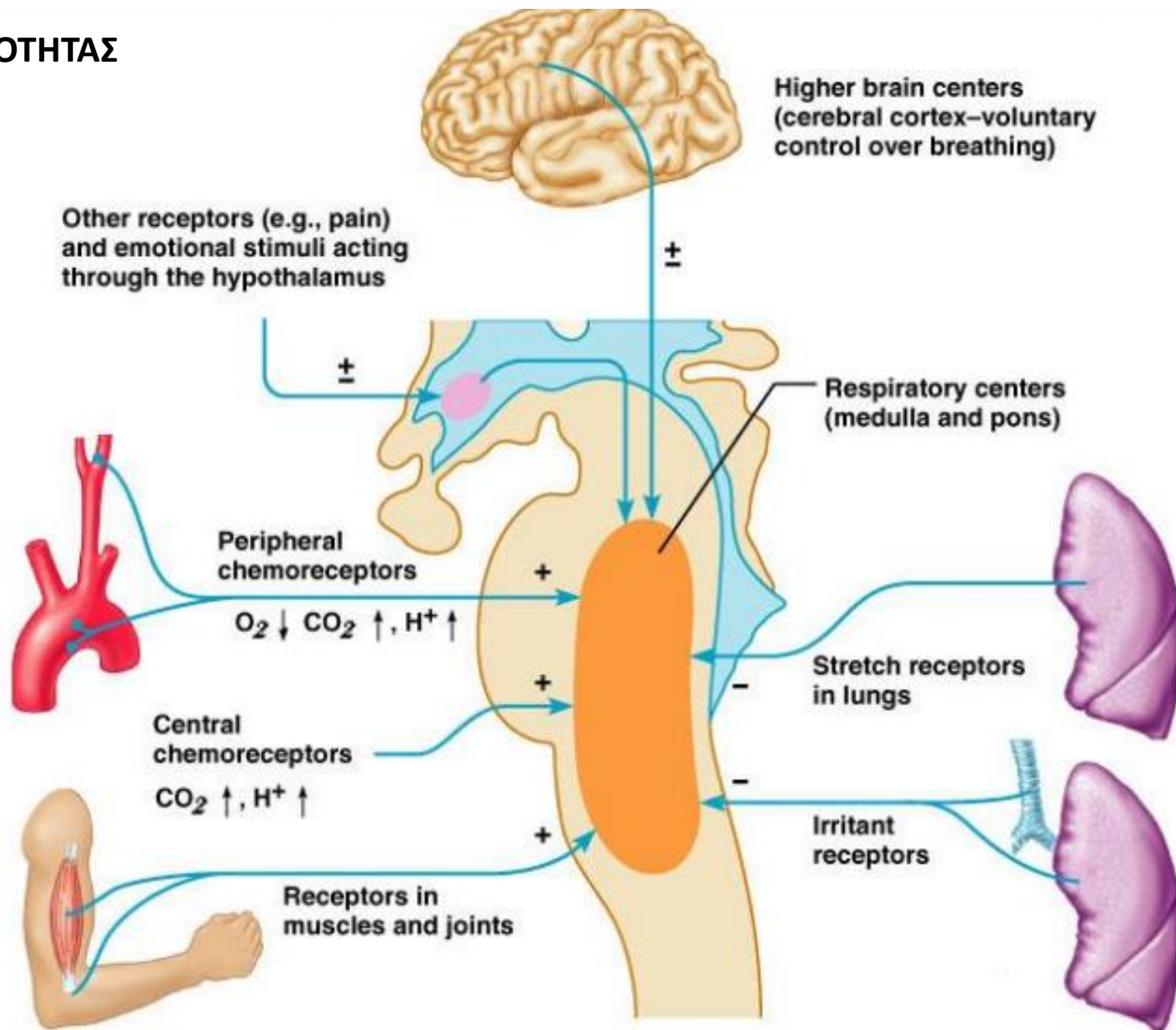
Αύξηση PCO_2
μείωση PO_2
μεταβολές pH

ΥΠΟΔΟΧΕΙΣ

- (1) Κεντρικοί χημειο-υποδοχείς
- (2) Περιφερικοί χημειο-υποδοχείς
- (3) Ενδο-πνευμονικοί
- (4) Άλλοι

ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ

- (1) Διάφραγμα
- (2) Έσω μεσοπλεύριοι μύες
- (3) Κοιλιακοί μύες
- (4) Επικουρικοί μύες



1

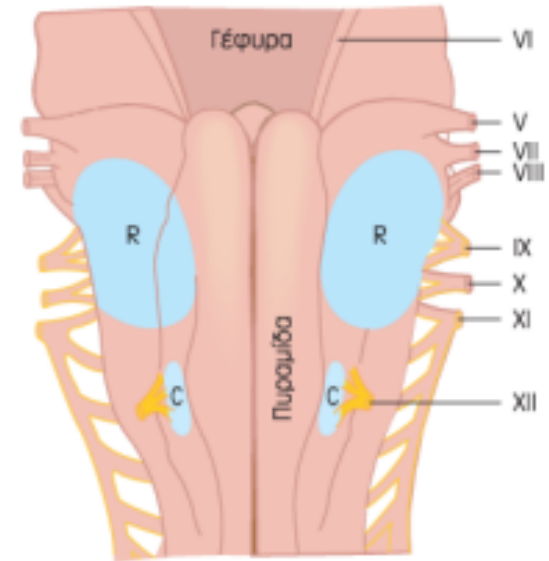
Κεντρικοί χημειο-υποδοχείς

Οι χημειοϋποδοχείς παρακολουθούν τη **συγκέντρωση των H^+** στο ΕΝΥ συμπεριλαμβανομένου και του διάμεσου υγρού του εγκεφάλου.

Το CO_2 εύκολα διέρχεται από τον αιματο-εγκεφαλικό φραγμό, ενώ τα H^+ και τα HCO_3^- διέρχονται δύσκολα.

Το CO_2 που εισέρχεται στον εγκέφαλο και στο ΕΝΥ ενυδατώνεται αμέσως. Το H_2CO_3 δίσταται, έτσι ώστε η τοπική συγκέντρωση H^+ αυξάνεται.

Κάθε αύξηση στο ΕΝΥ και στο διάμεσο υγρό του εγκεφάλου στη συγκέντρωση H^+ διεγείρει την τους κεντρικούς χημειο-υποδοχείς του προμήκου (εισπνευστική ραχιαία ομάδα) με αποτέλεσμα την αύξηση του κατά λεπτό αερισμού.



ΕΙΚΟΝΑ 36-7 Κεφαλικές (R) και ουραίες (C) χημειοευαίσθητες περιοχές στην κοιλιακή επιφάνεια του προμήκου μυελού. Σημειώνονται αναφορικά τα κρανιακά νεύρα, η πυραμίδα και η γέφυρα.

2 Περιφερικοί χημειο-υποδοχείς Καρωτιδικά - αορτικά σωμάτια

Απαντούν στις εξής μεταβολές:

Ελάττωση αρτηριακού PO_2 (ευαισθησία σε O_2 μόνο εδώ)

Αύξηση αρτηριακού PCO_2

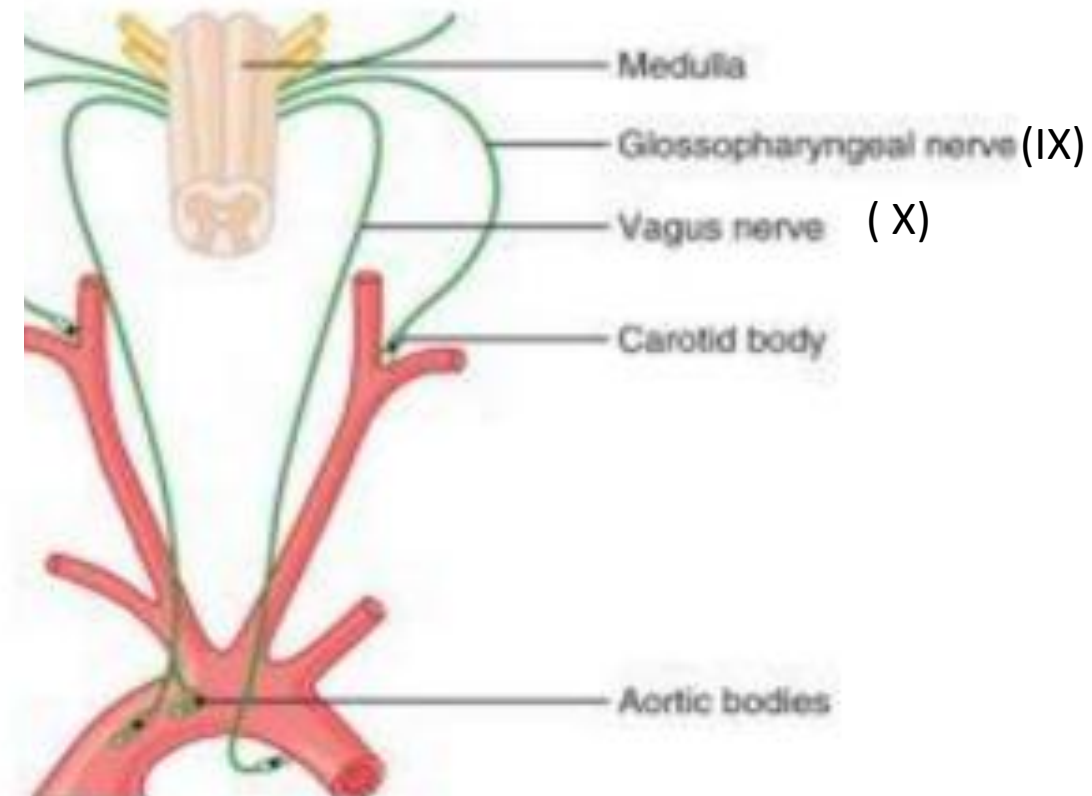
Ελάττωση αρτηριακού pH

Καρωτιδικά > ευαισθησία από αορτικά

Μεγάλη αιματική ροή

Γρήγορη απάντηση

Δεν απαντούν στις μεταβολές του φλεβικού αίματος



3 ΜΗ- ΧΗΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ Ενδο-πνευμονικοί υποδοχείς

- (1) Υποδοχείς τάσης
- (2) Διεγερτικοί υποδοχείς
- (3) Υποδοχείς J
- (4) Βρογχικές ίνες τύπου C

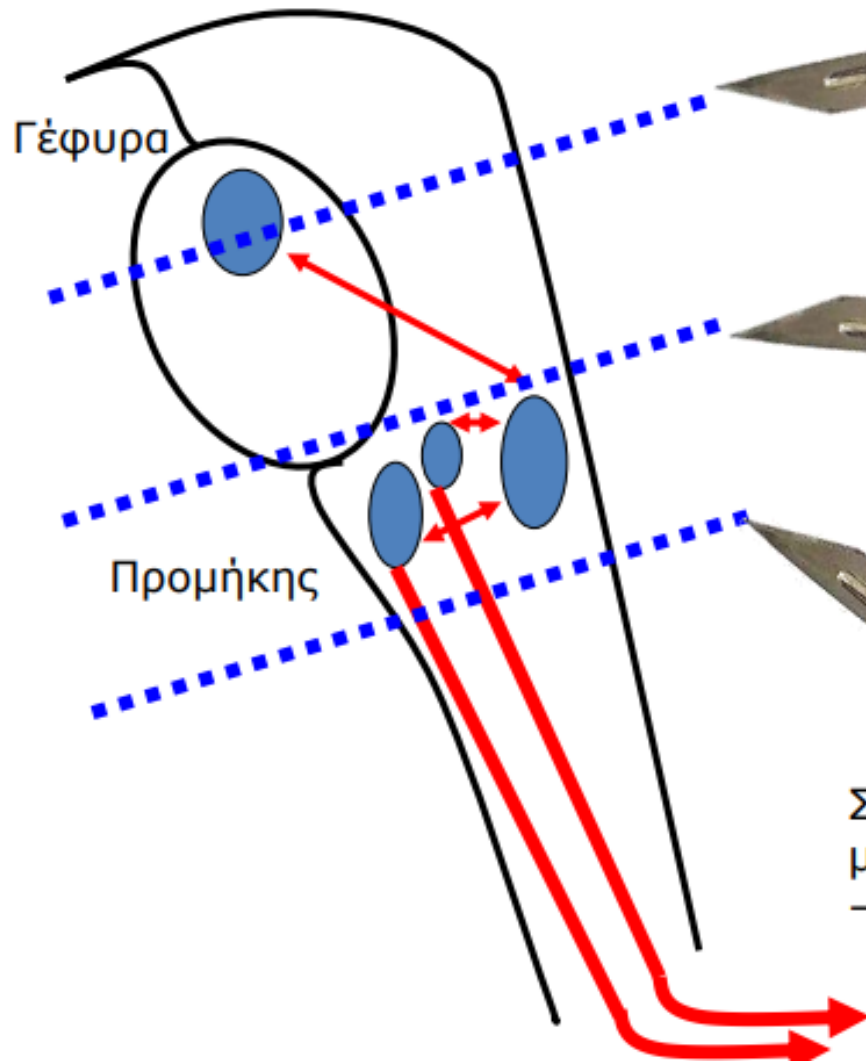
4 ΜΗ- ΧΗΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ Άλλοι υποδοχείς

- (1) Μύτη, ανώτερο αναπνευστικό
- (2) Αρθρώσεις, μύες
- (3) Σύστημα γάμμα
- (4) Πόνος, θερμοκρασία

ΜΗ- ΧΗΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ
Οι υποδοχείς αεραγωγών/πνευμόνων
νευρώνονται από **πνευμονογαστρικό**

Ερεθίσματα - απαντήσεις
Υπερδιάταση πνευμόνων- βράχυνση
χρόνου εισπνοής, αντ/κο Hering-
Breuer (αύξηση διάρκειας εκπνοής)
Εξωγενή ή ενδογενή χημικά συστατικά
βήχας, πταρμός, βρογχόσπασμος

Διατομή



Γέφυρα

Προμήκης



Παράγεται απνευστικό αποτέλεσμα – παρατεταμένες βαθιές εισπνοές



Ακανόνιστη αλλά ρυθμική αναπνοή



∴ Ο προμήκης είναι το κύριο κέντρο παραγωγής του ρυθμού της αναπνοής

Σταματάει η αναπνοή αφού δεν μετατίθεται κανένα απαγωγό ερέθισμα – αίτιο θανάτου στο κρέμασμα



Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΑΠΑΙΤΕΙ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ

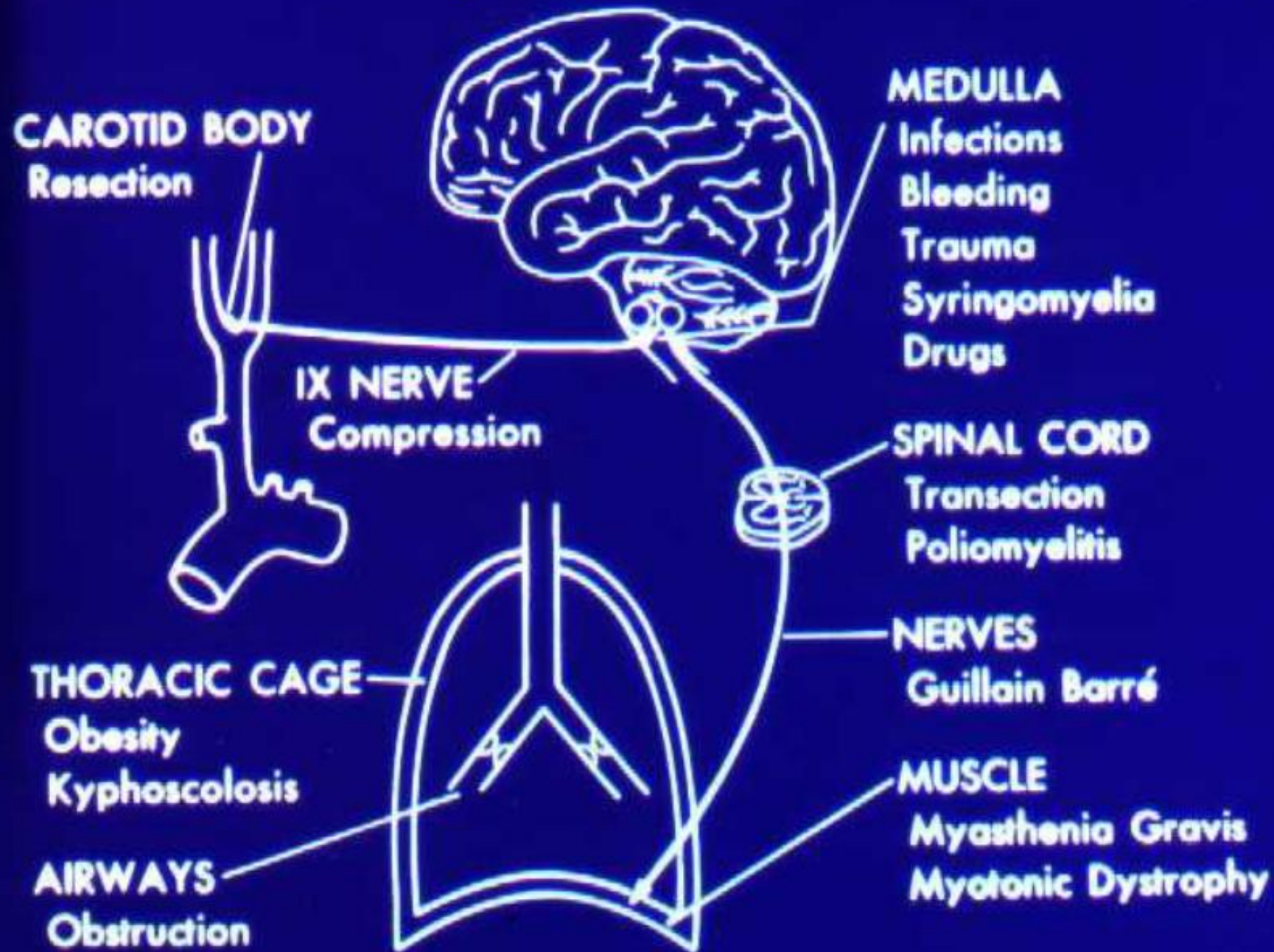
ΝΕΥΡΑ

ΘΩΡΑΚΙΚΟ ΤΟΙΧΩΜΑ

ΠΝΕΥΜΟΝΕΣ

ΚΑΡΔΙΑ

Potential causes of Respiratory Failure





ΑΙΤΙΑ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

- ✘ **Νοσήματα που αφορούν το αναπνευστικό κέντρο** (πρωτοπαθής κυψελιδικός υποαερισμός, λήψη ναρκωτικών και ηρεμιστικών ουσιών, αναισθησία, οργανικές βλάβες)
- ✘ **Νοσήματα που ελαττώνουν τη δράση των στοιχείων που κινούν το θώρακα** (Αλλαντίαση, υποκαλιαιμική αλκάλωση, σκλήρυνση κατά πλάκας, μυασθένεια, βλάβη του νωτιαίου μυελού, πολιομυελίτιδα, ασκίτης, παχυσαρκία, πλευρίτιδα)
- ✘ **Νοσήματα των πνευμόνων και των αεροφόρων οδών**
(Σύνδρομο αναπνευστικής δυσχέρειας των ενηλίκων, ατελεκτασία, βρογχικό άσθμα, χρόνια βρογχίτιδα, εμφύσημα, πνευμονία, πνευμονικό οίδημα, πνευμονική εμβολή)
- ✘ **Νοσήματα των αγγείων** (Πνευμονική εμβολή, πνευμονική υπερταση, Αρτηριοφλεβική δυσπλασία)



Οξεία και Χρονία ΑΑ οξεία επί χρονίας

Οξεία: Ξαφνική αναπνευστική δυσλειτουργία λόγω ενός οξέος συμβάντος (π.χ. Πνευμονική εμβολή, πνευμονία)

Χρονία: Προοδευτική επιδείνωση της αναπνευστικής λειτουργίας λόγω γνωστού εξελισσόμενου αναπνευστικού νοσήματος (π.χ. ΧΑΠ)

Οξεία επί χρονίας: πάσχων από ΧΑΠ να πάθει λοίμωξη αναπνευστικού



ΟΡΙΣΜΟΙ

Η **υποξαιμία** είναι μια κατάσταση κατά την οποία η μερική πίεση του οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα είναι χαμηλή

υποξία είναι παθολογική κατάσταση κατά την οποία, ολόκληρο το σώμα (γενικευμένη υποξία-υψόμετρο) ή ένα μέρος του, στερείται επαρκούς οξυγόνωσης.

υποξία στην οποία υπάρχει ολική στέρηση οξυγόνου ονομάζεται **ανοξία**

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις ένδειας οξυγόνου στους ιστούς με φυσιολογική συγκέντρωση οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα

- 1 **ΥΠΟΞΑΙΜΙΚΗ ΥΠΟΞΙΑ** = Αδυναμία του αίματος να οξυγονωθεί
- 2 **ΑΝΑΙΜΙΚΗ ΥΠΟΞΙΑ** = Αδυναμία του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο
- 3 **ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΗ ΥΠΟΞΙΑ** = Λίμναση του αίματος από μείωση της καρδιακής παροχής
- 4 **ΚΥΤΤΑΡΟΞΙΚΗ ΥΠΟΞΙΑ** = Αδυναμία των ιστών να χρησιμοποιήσουν οξυγόνο

1 ΥΠΟΞΑΙΜΙΚΗ ΥΠΟΞΙΑ

- χαμηλή συγκέντρωση εισπνεόμενου οξυγόνου (υψόμετρα)
- διαταραχές αερισμού-αιμάτωσης
- ανωμαλίες διάχυσης
- αυξημένο ανατομικό shunt
- καρδιακές ανωμαλίες (Παρακάμψεις στην πνευμονική κυκλοφορία ή οπή στο μεσοκοιλιακό διάφραγμα που επιτρέπει την μετακίνηση αίματος μεταξύ των κοιλιών)

Πίνακας 4. Ανοχή των ιστών στην υποξία.

Ιστός	Χρόνος επιβίωσης
Εγκέφαλος	<3'
Νεφρός και ήπαρ	15'-20'
Σκελετικός μυς	60'-90'
Λείες μυϊκές ίνες αγγείων	24h-72h
Τρίχες-Νύχια	Μερικές ημέρες

2 **ΑΝΑΙΜΙΚΗ ΥΠΟΞΙΑ**

- αναιμία
- δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα
- μεθαιμοσφαιριναιμία

Μεθαιμοσφαιρίνη, η οποία μεταφέρει οξυγόνο σε όλο το σώμα, αλλά δεν το απελευθερώνει στα κύτταρα

Συνήθη αίτια μεθαιμοσφαιρίναιμίας αποτελούν η έλλειψη αναγωγάσης του κυτοχρώματος b5 και ορισμένα φάρμακα (νιτρώδη, σουλφοναμίδες, ξυλοκαΐνη κ.α.).

3 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΗ ΥΠΟΞΙΑ

καταπληξία (shock)

καρδιοκυκλοφορική ανεπάρκεια

τοπική αγγειοσύσπαση

4 ΚΥΤΤΑΡΟΤΟΞΙΚΗ ΥΠΟΞΙΑ

δηλητηρίαση με κυανούχα



Αναπνευστική Ανεπάρκεια

✘ Αδυναμία του αναπνευστικού συστήματος να εκπληρώσει τη λειτουργία της ανταλλαγής των αερίων κατά την ηρεμία και κατά την άσκηση





Η οξεία αναπνευστική ανεπάρκεια δεν είναι νόσος! (Είναι συνέπεια μιας υποκείμενης κατάστασης, πχ. Τραύμα, σήψη, πνευμονία)

ΑΝΑΠΝ.ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ & ΤΥΠΟΙ

(αέρια αίματος σε ηρεμία & FiO₂ 21%)

ΤΥΠΟΣ 1 ή ΥΠΟΞΑΙΜΙΚΗ

- **PO₂ < 60**
- **Νορμο- ή υποκαπνία**
- Οξεία: ↓PCO₂, ↑pH
- Χρονία: κ.φ. PCO₂, pH

ΤΥΠΟΣ 2 ή ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΚΗ

- **PCO₂ > 45**
- **Υποξαιμία**
- Οξεία: ↓pH, HCO₃ κφ ή λίγο ↑
- Χρονία: pH κφ ή λίγο όξινο, ↑↑ HCO₃
- Οξεία επί χρονίας



Συνηθέστερα αίτια ΑΑ Ι

- Χρόνια βρογχίτιδα και εμφύσημα
- Πνευμονία
- Πνευμονικό οίδημα
- Πνευμονική ίνωση
- Άσθμα
- Πνευμοθώρακας
- Πνευμονική εμβολή
- Θρομβοεμβολική πνευμονική υπέρταση
- Συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια
- **ARDS**
- Πνευμονική αρτηριοφλεβλώδης επικοινωνία →

Συνηθέστερα αίτια ΑΑ ΙΙ

- Χρόνια βρογχίτιδα και εμφύσημα
- Άσθμα
- Υπερδοσολογία φαρμάκων
- Δηλητηρίαση
- Μυασθένεια gravis
- Πολυνευροπάθεια
- Πολυομυελίτιδα
- Κυψελιδικός υποαερισμός
- Νευρομυικά νοσήματα
- ΣΑΥ (Σύνδρομο Απνοιών Ύπνου)
- Πνευμονικό οίδημα
- **ARDS**
- Οίδημα λάρυγγα
- Ξένο σώμα

ΤΥΠΟΙ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Υποξαιμική Αναπνευστική Ανεπάρκεια Παθοφυσιολογία

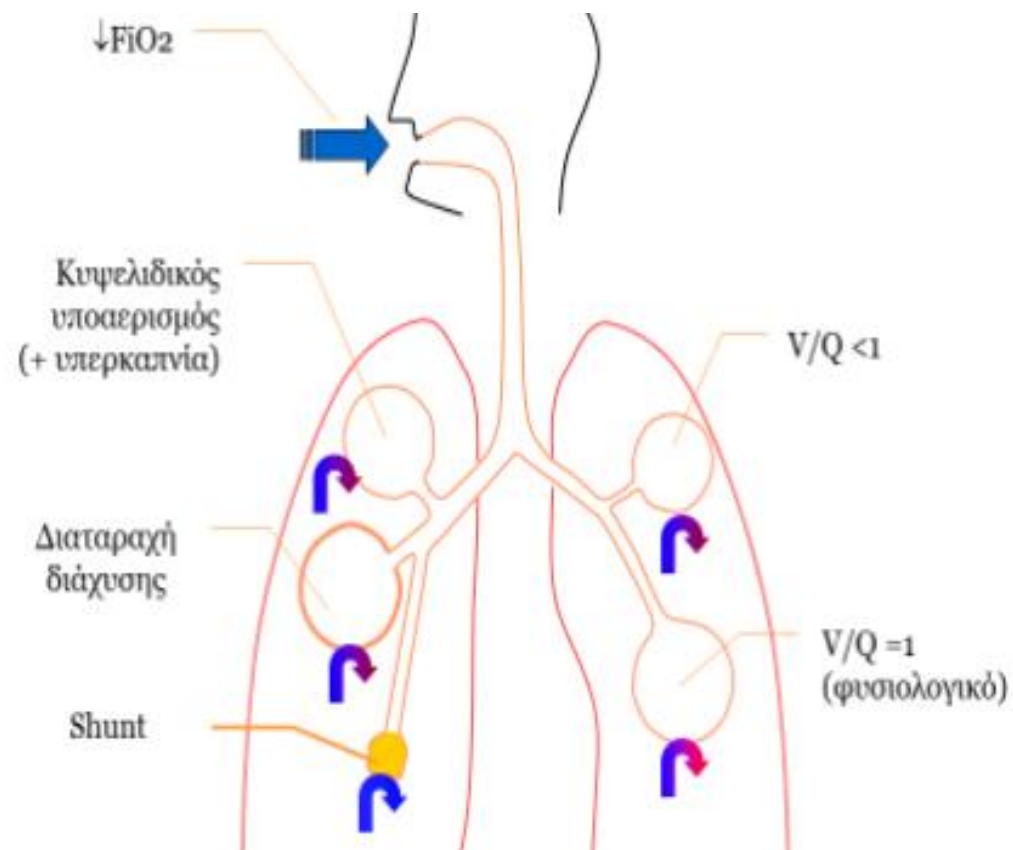


Πνευμονική ανταλλαγή των αερίων

(τύπος I)

- $PaO_2 < 60\text{mmHg}$ w nl or $\downarrow PaCO_2 \rightarrow$ nl or $\uparrow pH$
- Πιο συχνή μορφή
- Σοβαρή πνευμονική νόσος – επηρεάζει ανταλλαγή O_2 – συνολικά ο αερισμός διατηρείται

- 1 • Διαταραχές διαχύσεως
- 2 • Διαταραχές σχέσεως αερισμού/αιματώσεως (V/Q)
- 3 • Shunt
- 4 • Υποαερισμός
- 5 • Εισπνοή μίγματος χαμηλού σε O_2



- Διαταραχές διαχύσεως

- Διαταραχές αερισμού/αιματώσεως (V/Q) (Ventilation/Perfusion, VA/Q),

- Shunt

Κυκλοφορική παράκαμψη ή αρτηριοφλεβική ανάμιξη

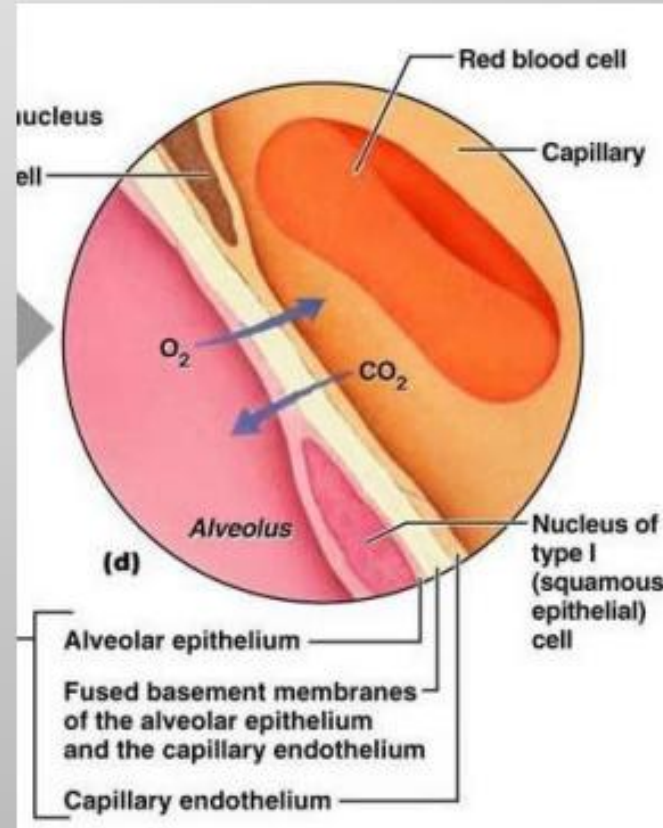
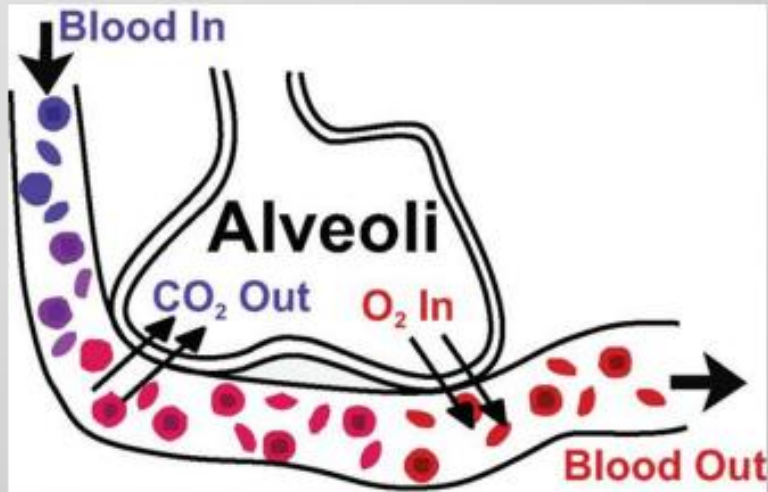
- Υποαερισμός

- Εισπνοή μίγματος χαμηλού σε O_2

Υποξαιμική Αναπνευστική Ανεπάρκεια

1. Διαταραχές διαχύσεως:

Δεν επέρχεται εξίσωση της P_{O_2} των κυψελίδων ($P_{A_{O_2}}$) και των πνευμονικών φλεβιδίων



Η μετακίνηση τόσο του O₂ όσο και του CO₂ μέσω του κυψελιδικού φραγμού προς την κυκλοφορία πραγματοποιείται με απλή διάχυση.

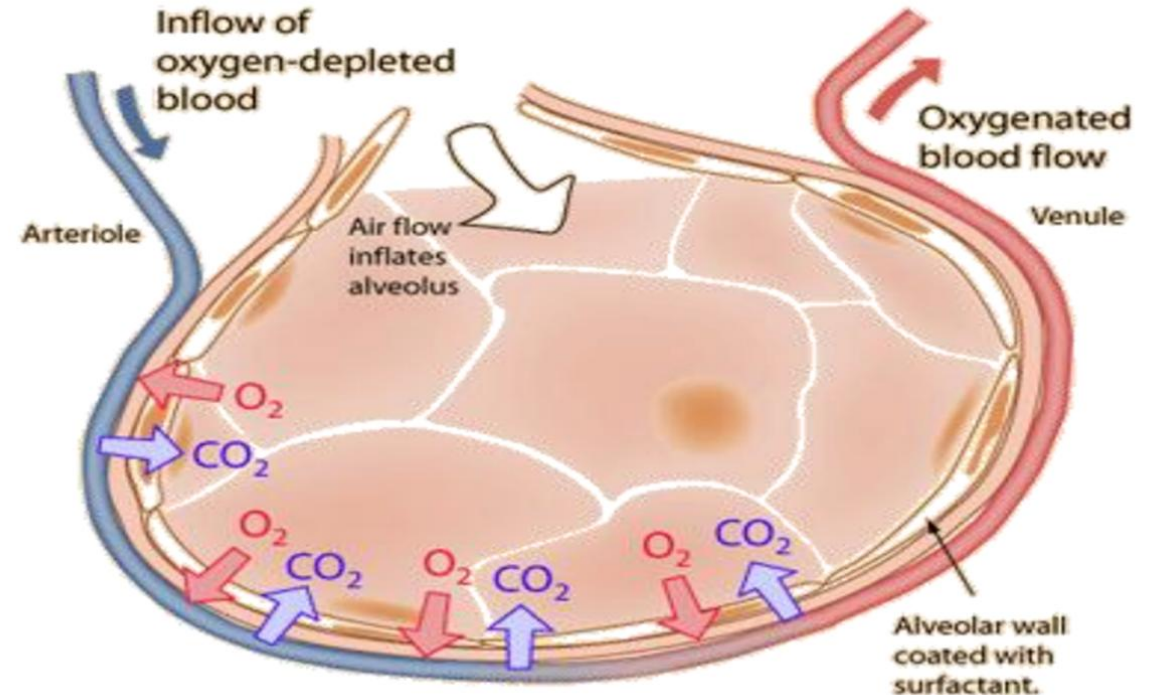
ΔΙΑΧΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

- Η τυχαία κίνηση των μορίων προκαλεί τη μετακίνησή τους από μία περιοχή υψηλής συγκέντρωσης προς μία περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης.
- Η διαδικασία αυτή είναι ένα παθητικό φαινόμενο και επομένως δεν απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας.

Οι πνεύμονες έχουν μεγάλη σε έκταση και με ελάχιστο πάχος αναπνευστική μεμβράνη

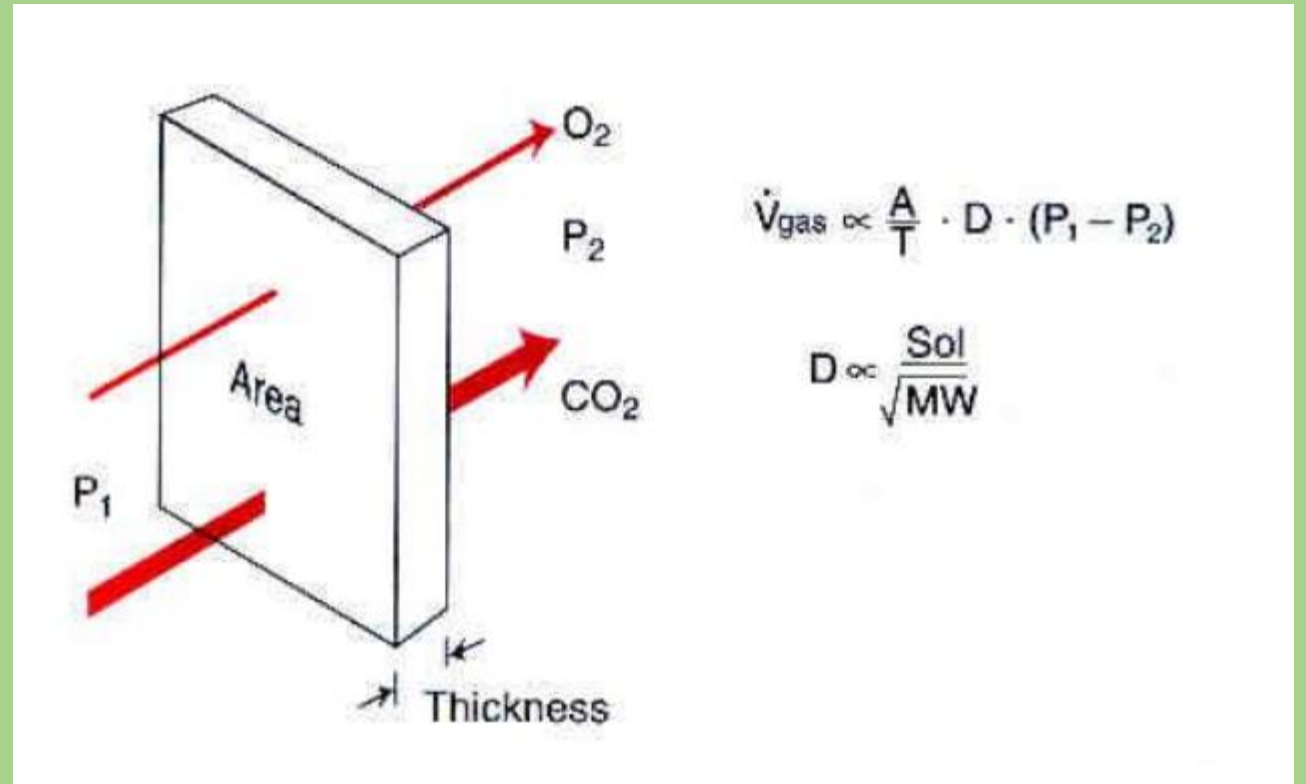
Ο σχηματισμός αυτός αποτελεί εργαλείο που διευκολύνει τη μετακίνηση των αναπνευστικών αερίων εκατέρωθεν

- Πάχος μεμβράνης: 0,3μm.
- Έκταση μεμβράνης: 80-100m².



- Η διάχυση του O₂ και του CO₂ εκατέρωθεν της αναπνευστικής μεμβράνης υπόκεινται στο νόμο του Fick:

Το ποσό του αερίου που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου, μέσω διάχυσης, μέσω λεπτής μεμβράνης, είναι ανάλογο της έκτασης της μεμβράνης και της διαφοράς μερικής πίεσης του αερίου εκατέρωθεν αυτής και αντιστρόφως ανάλογο του πάχους της μεμβράνης.



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

V=όγκος αερίου που περνά από μεμβράνη
στη μονάδα χρόνου

A=έκταση μεμβράνης

T=πάχος μεμβράνης

d=συντελεστής διαλυτότητας



Αίτια Μειωμένης Διαχυτικής Ικανότητας

-

Μείωση της επιφάνειας διάχυσης

(εμφύσημα, πνευμονεκτομή, πνευμονική εμβολή, αναιμία)

-

Πάχυνση της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης

(πνευμονική ίνωση, συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια)

-

Λοιπές (δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα)

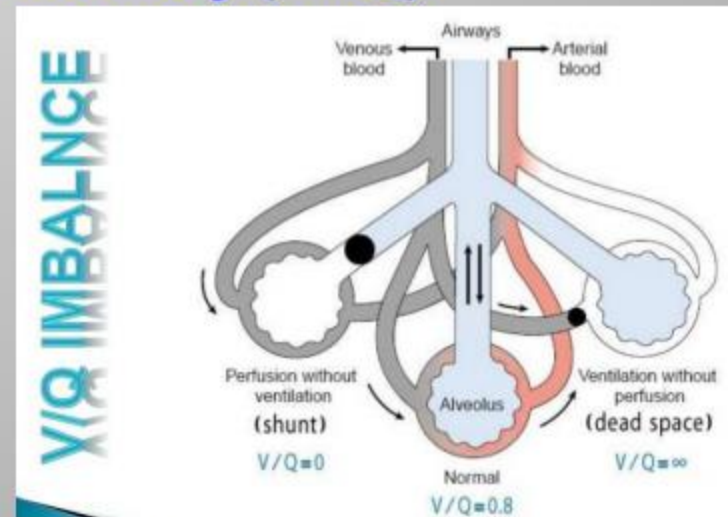
Υποξαιμική Αναπνευστική Ανεπάρκεια Παθοφυσιολογία

- Διαταραχές διαχύσεως
- Διαταραχές αερισμού/αιματώσεως (V/Q)

- Shunt

- Υποαερισμός

- Εισπνοή μίγματος χαμηλού σε O_2

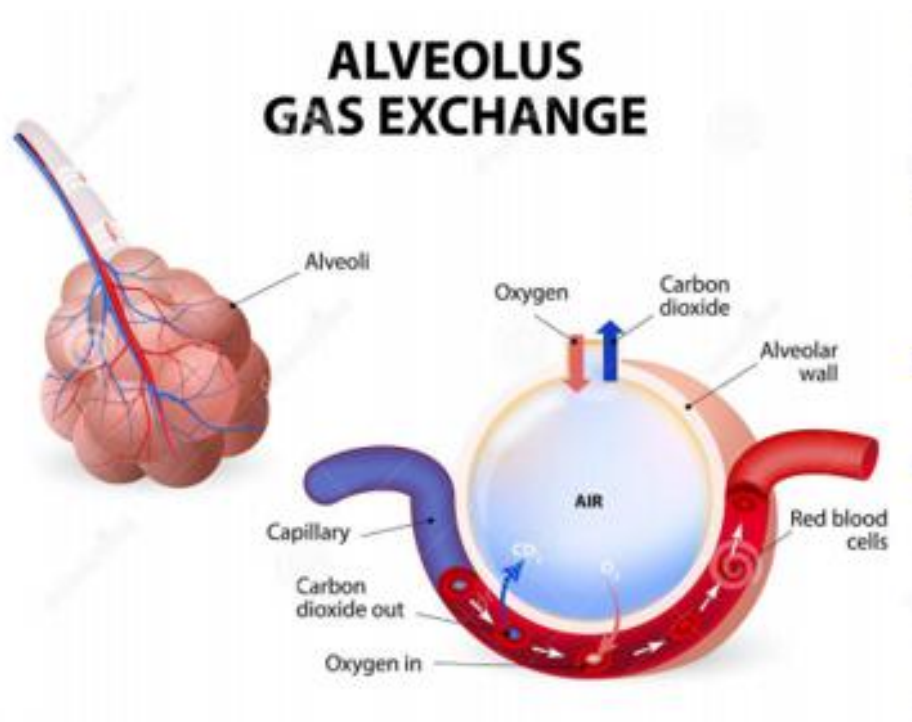


2. Διαταραχές αερισμού/αιματώσεως (V/Q)

είναι ο συχνότερος παθοφυσιολογικός μηχανισμός αναπτύσσεται όταν υπάρχει

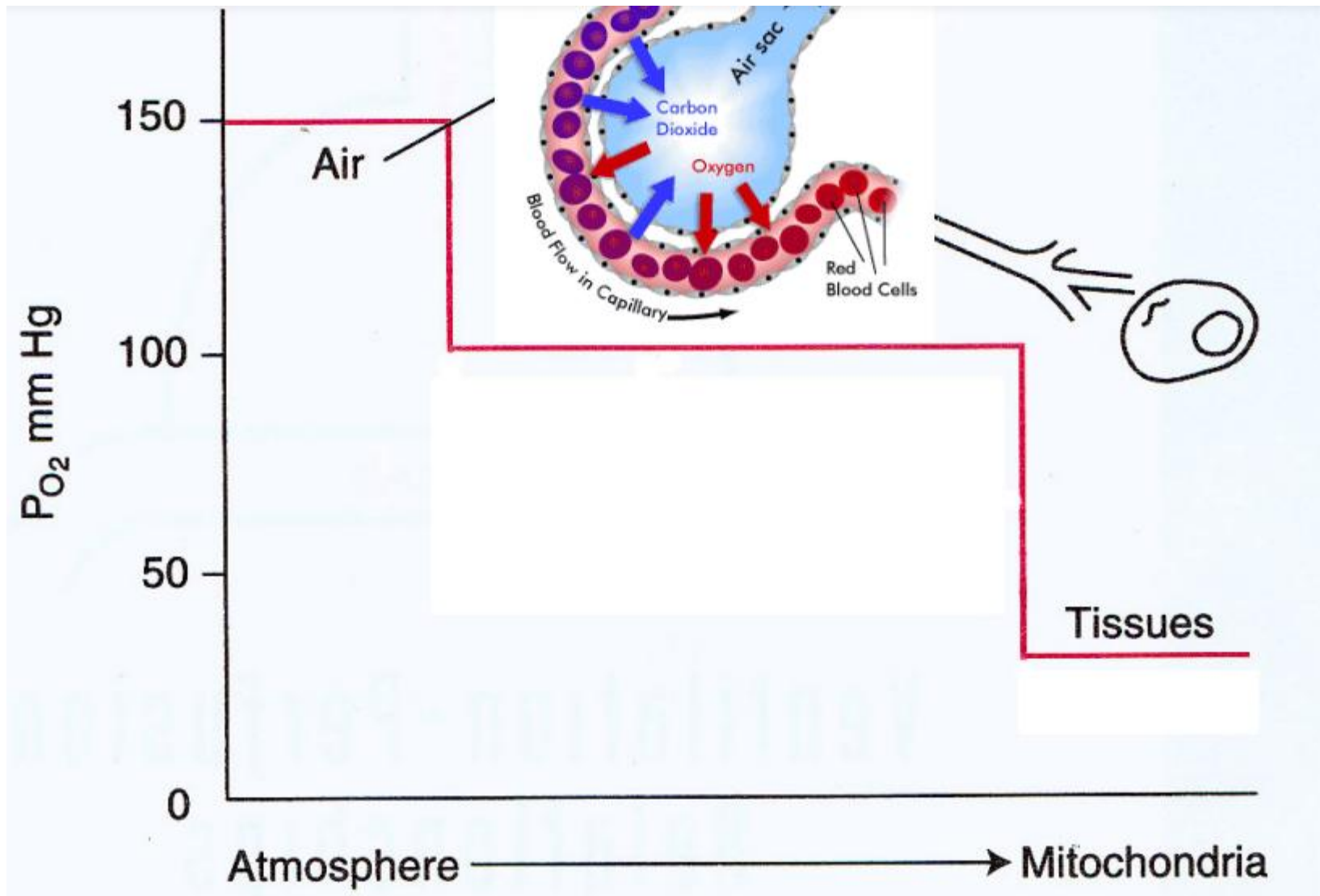
1. μειωμένος αερισμός σε φυσιολογικά αιματούμενες περιοχές ή όταν υπάρχουν περιοχές

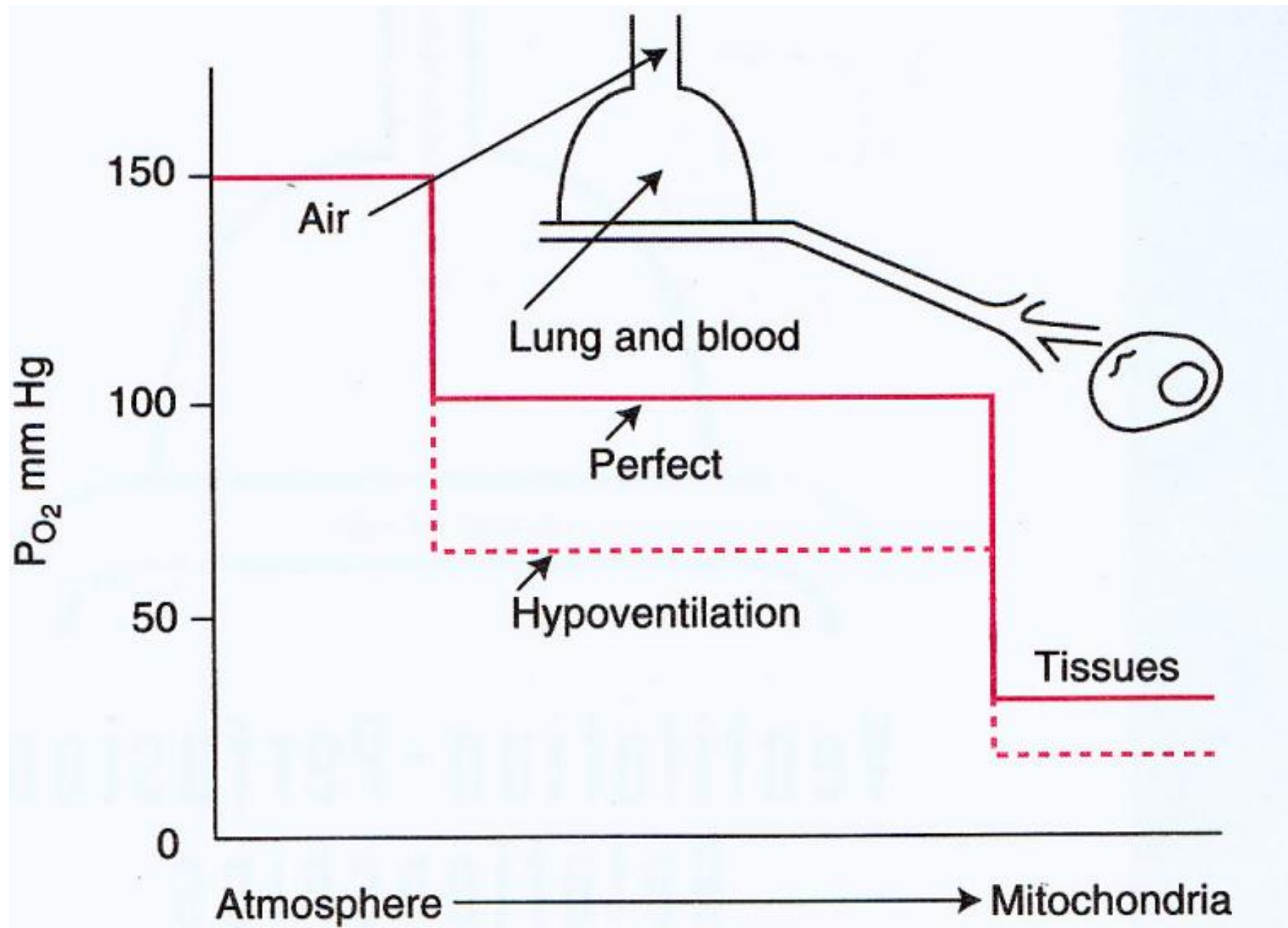
2. με μείωση του αερισμού αναλογικά μεγαλύτερη από τη μείωση της αιμάτωσης.



Αερισμός:
όγκος αέρα εισερχομένου
στο αναπνευστικό
ANA μονάδα χρόνου

Αιμάτωση:
Ογκος αίματος
εισερχομένου στα
κυψελιδικά τριχοειδή
ANA μονάδα χρόνου





Αερισμός

- ❑ Με κάθε εισπνοή εισέρχονται **500 ml αέρα** (αναπνεόμενος όγκος- **Tidal Volume**)
- ❑ **150 ml αέρα** παραμένουν στους οδηγούς αεραγωγούς οι οποίοι δε συμβάλουν στην ανταλλαγή των αερίων (**ανατομικός νεκρός χώρος**)
 - 2-3ml/kg ideal body weight
- ❑ Τα υπόλοιπα **350 ml αέρα** φτάνουν στις **κυψελίδες** και **συμβάλλουν στην ανταλλαγή των αερίων.**

□ Ολικός πνευμονικός αερισμός (ανά λεπτό) –V:

αναπνεόμενος όγκος (V_T) x αναπν. συχνότητα (n)

Αν $V_T = 500\text{ml}$ και $n = 15$ αναπνοές /λεπτό

$$V = 500 \times 15 = 7500\text{ml/min}$$

□ Κυψελιδικός αερισμός - V_A

$$V_A = (500 - 150) \times 15 = 5250\text{ml/min}$$

□ Αερισμός νεκρού χώρου - V_D [wasted ventilation]

$$V_D = 150 \times 15 = 2250\text{ml/min}$$

(Anatomic Dead Space, VD)

$$V = V_A + V_D$$

▪ **Ανατομικός νεκρός χώρος:**
οδηγοί αεραγωγοί –δεν έρχονται σε επαφή με κυψελίδες.

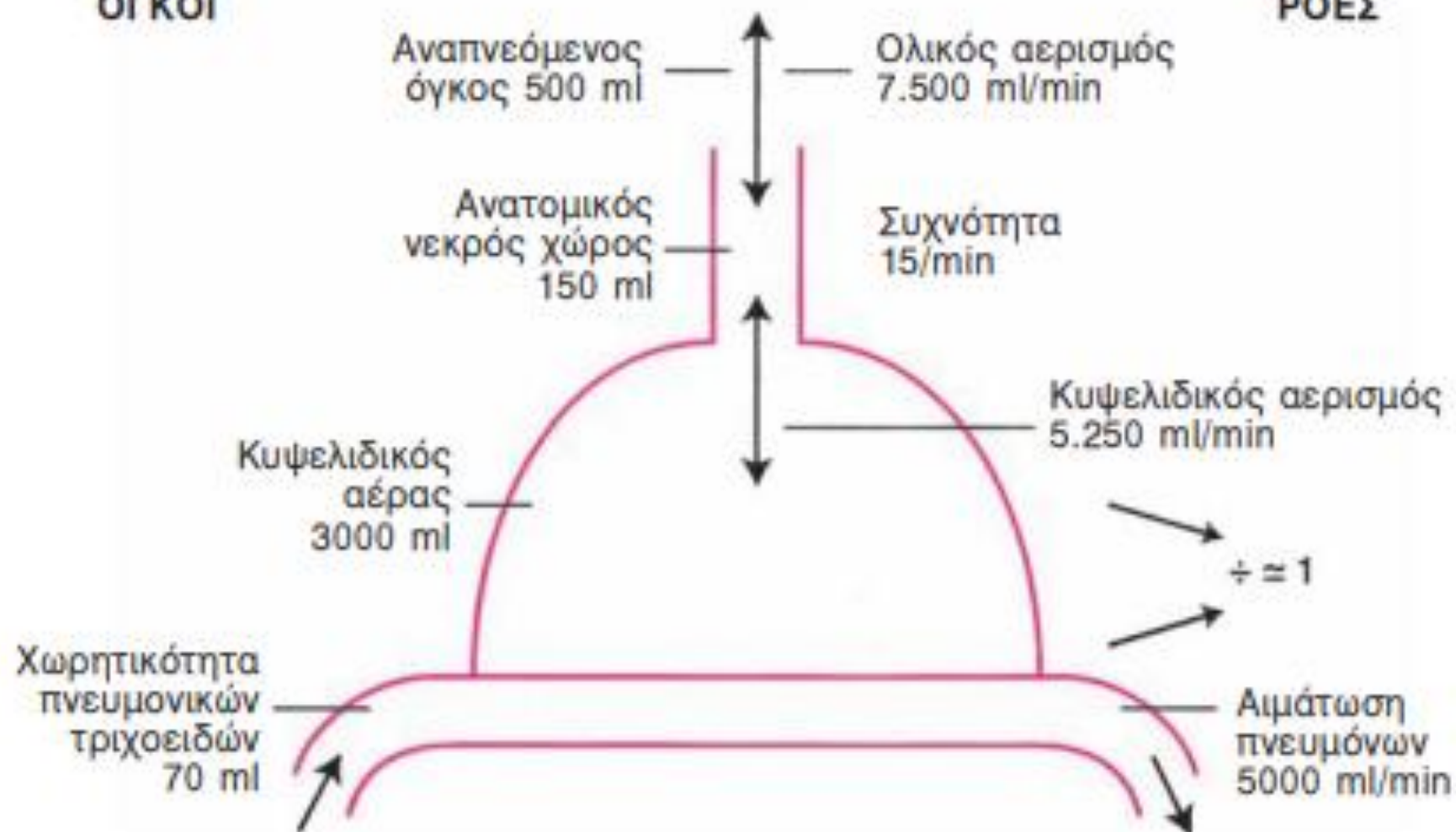
▪ **Κυψελιδικός νεκρός χώρος:**
κυψελίδες χωρίς επαρκή αιμάτωση-δε συμβάλλουν στην ανταλλαγή αερίων.

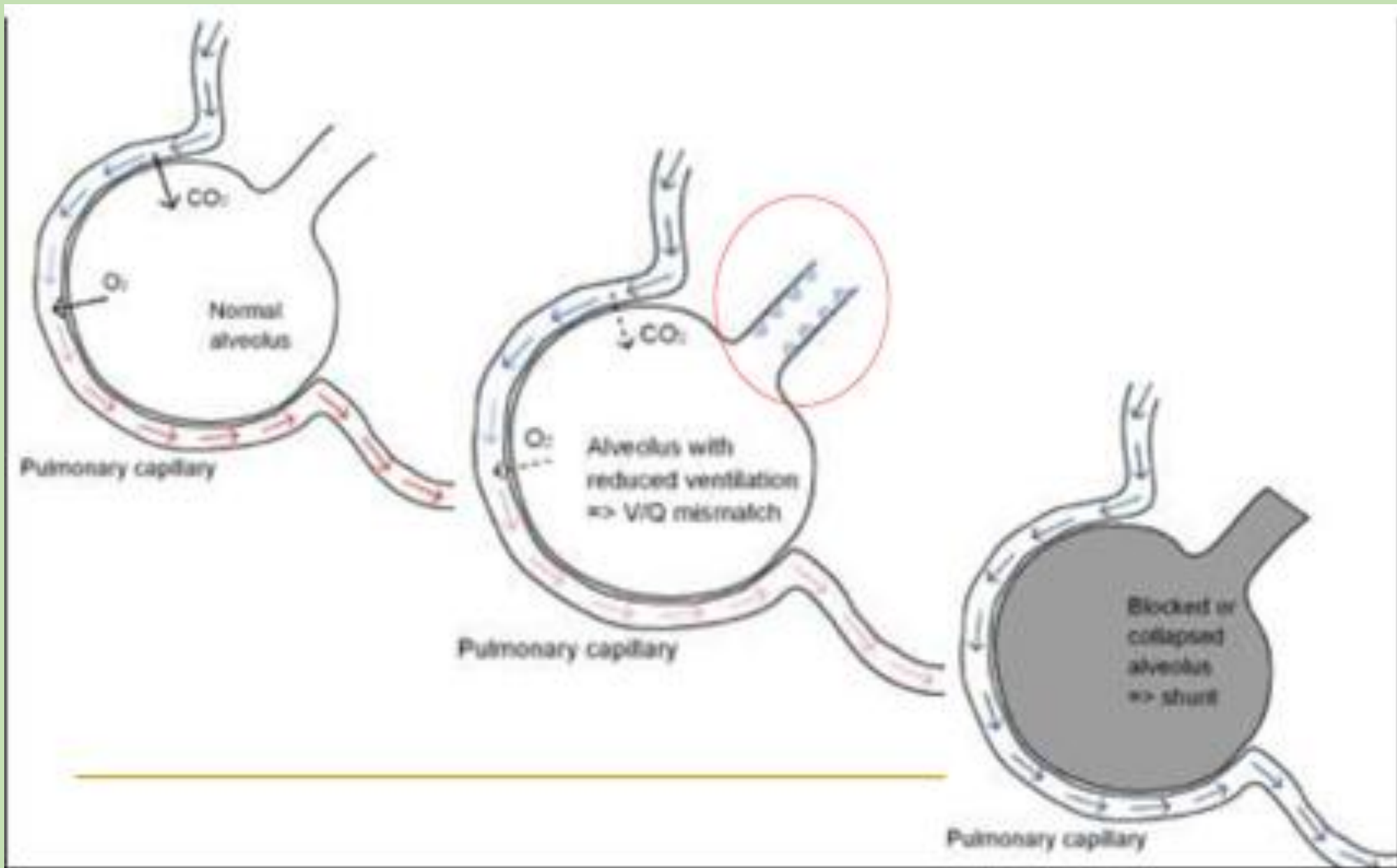
Ολικός νεκρός χώρος:

Το άθροισμα του ανατομικού και του κυψελιδικού νεκρού χώρου.

ΟΓΚΟΙ

ΡΟΕΣ





Η εκτίμηση της ανισοτιμίας αερισμού και αιμάτωσης μπορεί να γίνει με τον υπολογισμό της κυψελιδο-αρτηριακής διαφοράς οξυγόνου (Alveolar-Arterial Oxygen Difference, DA-aO₂).

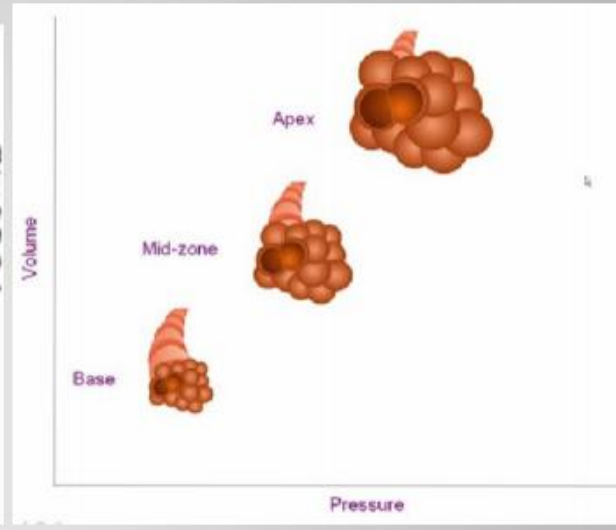
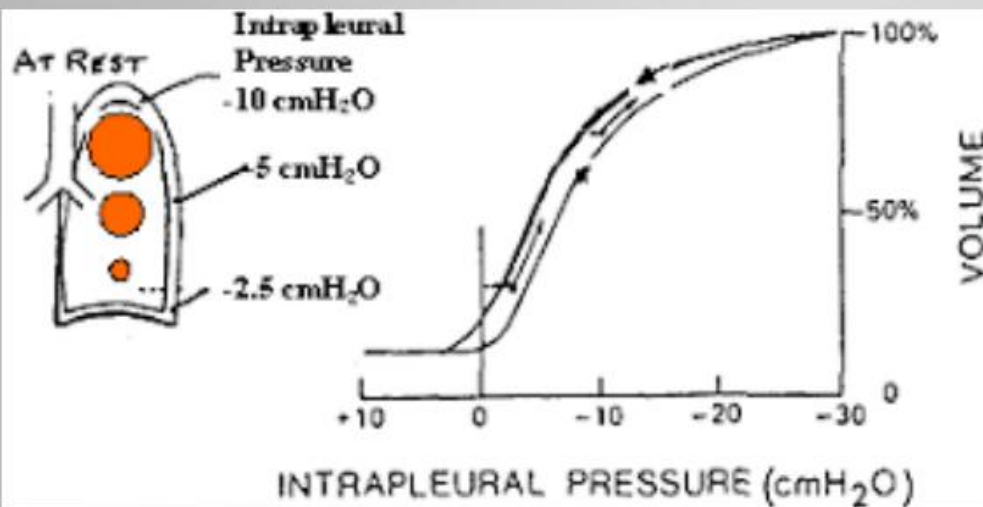
Η DA-aO₂ υπολογίζεται από τη διαφορά της PaO₂ από την ιδανική τιμή της μερικής πίεσης του οξυγόνου στον κυψελιδικό αέρα (PAO₂):

$$PAO_2 = (P_{ATM} - P_{H_2O}) \times FiO_2 - \frac{PACO_2}{R}$$

- P_{ATM} είναι η ατμοσφαιρική πίεση (760 mm Hg στο επίπεδο της θάλασσας),
- P_{H₂O} είναι η πίεση των υδρατμών (47 mm Hg),
- FiO₂ είναι το κλάσμα του εισπνεόμενου O₂,
- P_{ACO₂} η μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα στην κυψελίδα, η οποία σχεδόν ταυτίζεται με την PaCO₂, και
- R είναι το αναπνευστικό πηλίκιο, που παριστάνει τον λόγο της παραγωγής διοξειδίου προς την κατανάλωση οξυγόνου ($\dot{V} CO_2 / \dot{V} O_2$) και υπό φυσιολογικές συνθήκες ισούται με 0,8.

Περιοχική κατανομή αερισμού

$$P_{tsp} = P_{alv} - P_{pl}$$

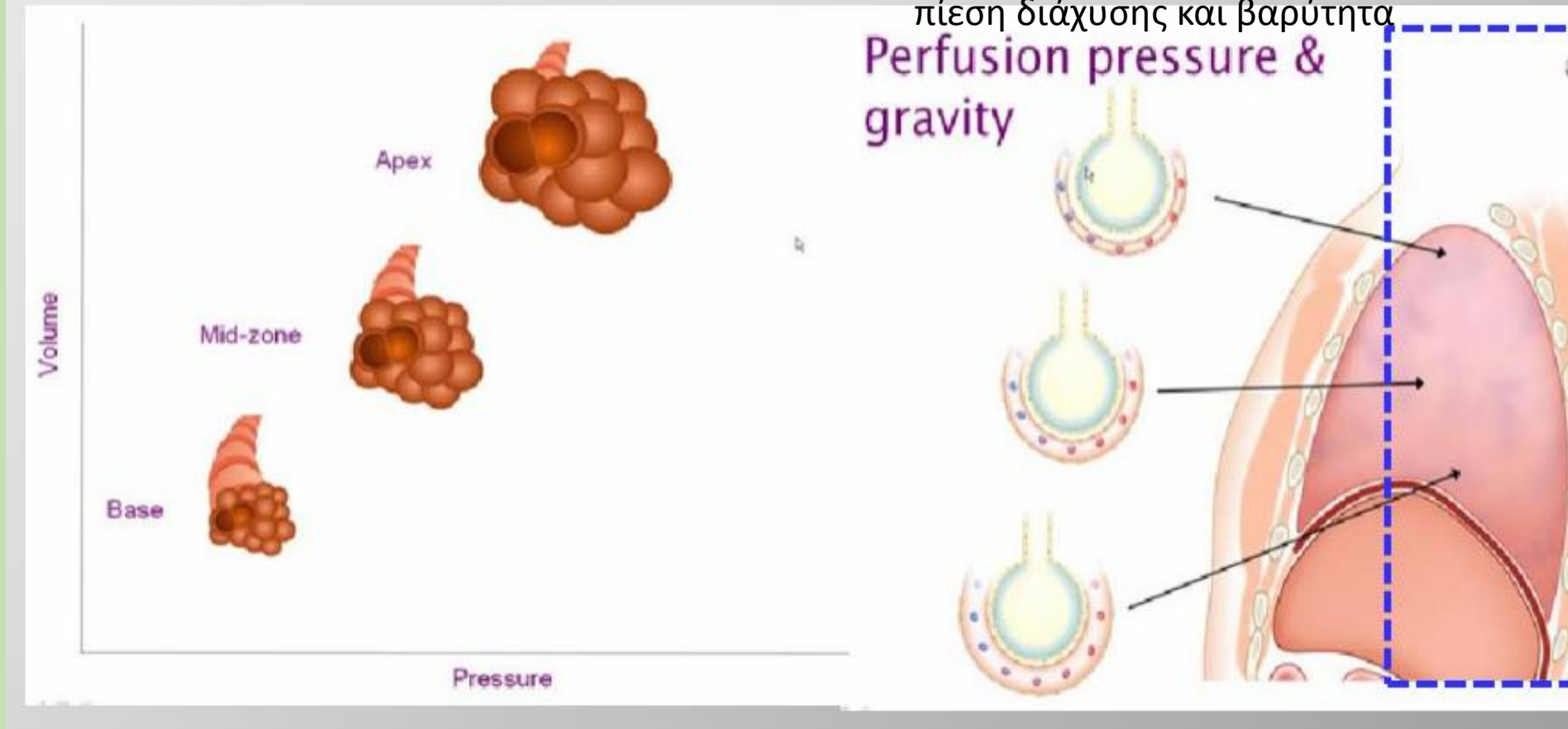


Εξαρτάται από τις συνέπειες της κατακόρυφης διαβάθμισης της υπεζωκοτικής πίεσης

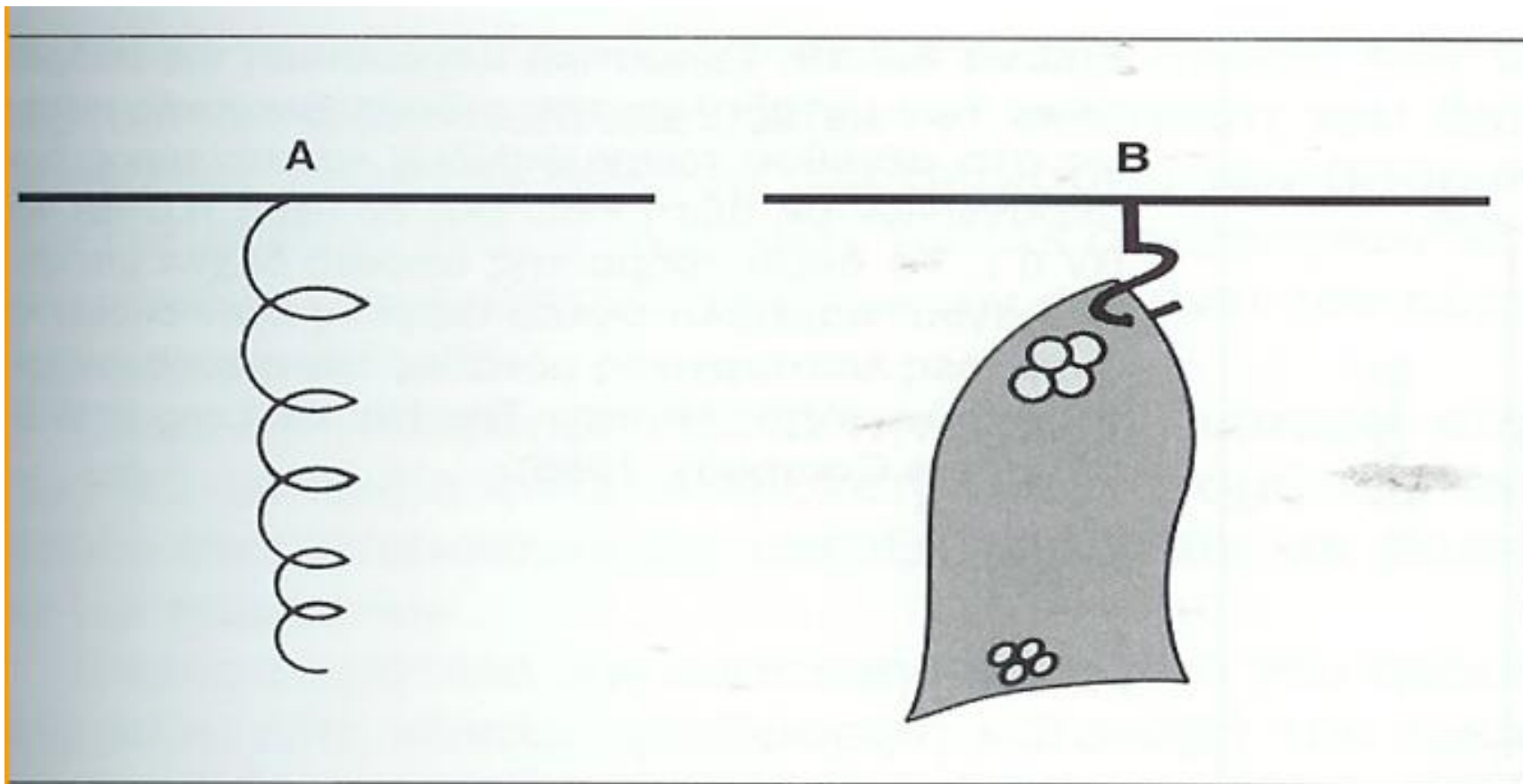
μικρότερου όγκου κυψελίδες στην βάση, που όμως ΠΛΕΟΝΕΚΤΟΥΝ ΣΤΟΝ αερισμό

Κατανομή αερισμού
Ο πνεύμονας υπόκειται στις αρχές της βαρύτητας και, γι αυτό, μέσα στο θώρακα, τα ανώτερα τμήματά του διατείνονται περισσότερο από τα κατώτερα, επειδή από τα ανώτερα κρέμονται τα κατώτερα, έτσι που τα ανώτερα τμήματα συγκρατούν το βάρος των κατωτέρων, που ασκούν τάση στα προηγούμενα (εξαρτημένα). Οι κυψελίδες των ανωτέρων μοιρών είναι, επομένως, ευρύτερες από εκείνες των κατωτέρων τμημάτων, ακόμη και όταν ο πνεύμονας ευρίσκεται στο επίπεδο της ήρεμης εκπνοής. **Κατά την ήρεμη εισπνοή, οι κυψελίδες των βάσεων έχουν περισσότερα περιθώρια εκπτώξεως και γι αυτό ο εισπνεόμενος αέρας οδηγείται σε αυτές.** Προς τα κάτω πνευμονικά πεδία κατευθύνεται και η περισσότερη αναλογία αίματος.

2. Διαταραχές αερισμού/αιματώσεως (V/Q)

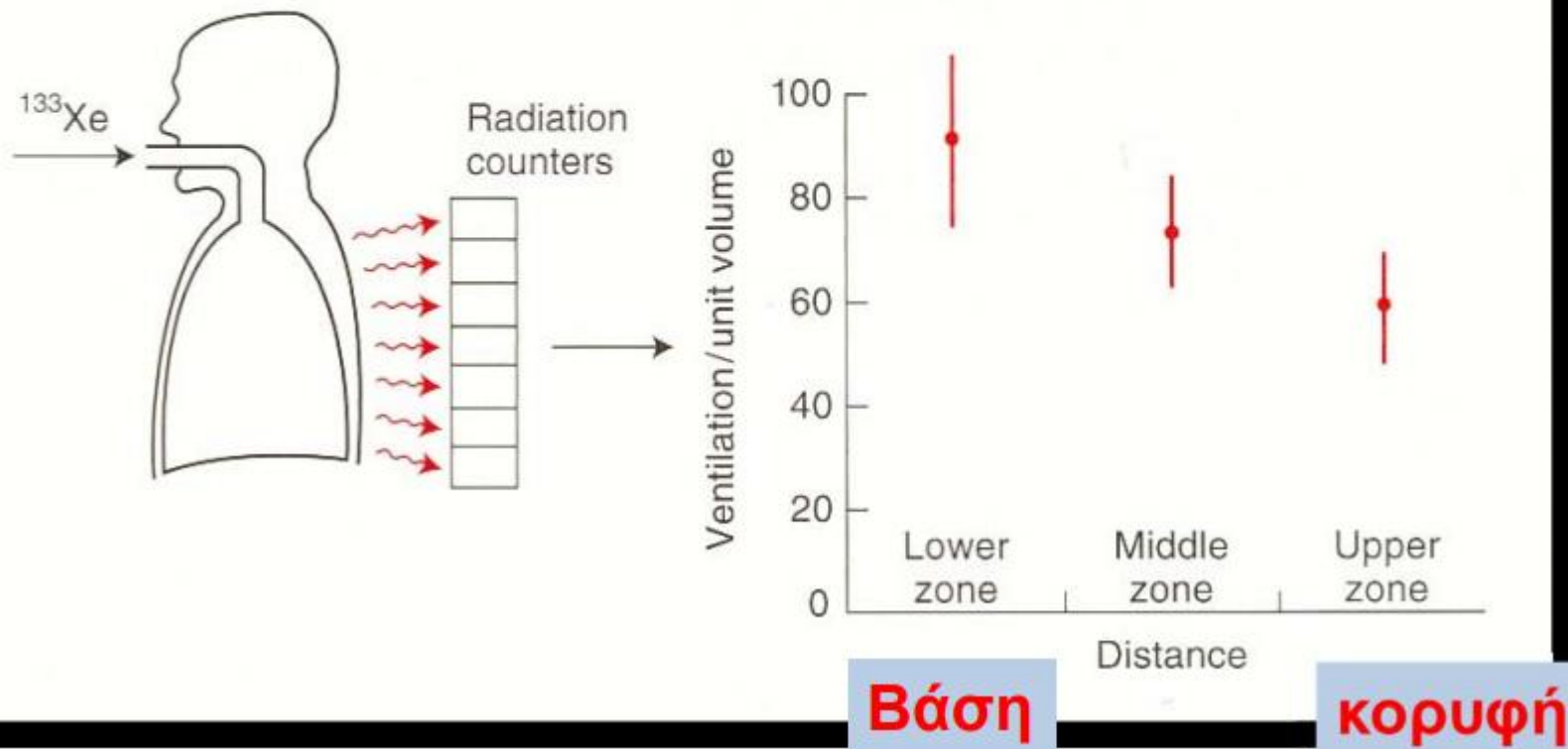


Συμπερασματικά, οι αναπνευστικές, λειτουργικές μονάδες στα βασικά τμήματα των πνευμόνων περιέχουν **λιγότερο αέρα, αλλά λαμβάνουν περισσότερο αερισμό**, ενόσω παραμένουν ανοικτά. Εν τούτοις, είναι επιρρεπέστερα στην σύγκλειση των αεραγωγών τους, και απώλειας του αερισμού σε χαμηλούς όγκους.



Εικόνα 6,2.17. Μηχανικό ανάλογο μεταξύ ενός αναρτημένου ελατηρίου (A), όπου οι ανώτερες σπείρες στηρίζουν περισσότερο βάρος και επομένως εκτείνονται (τεντώνονται) περισσότερο και ενός αναρτημένου πνεύμονος (B), όπου οι ανώτεροι αεροχώροι θα είναι περισσότερο διατεταμένοι από τους κατώτερους, λόγω της επιδράσεως της βαρύτητας. (Από: Kenneth B. Saunders: Clinical Physiology of the Lung Blackwell Scientific Publications, 1977).

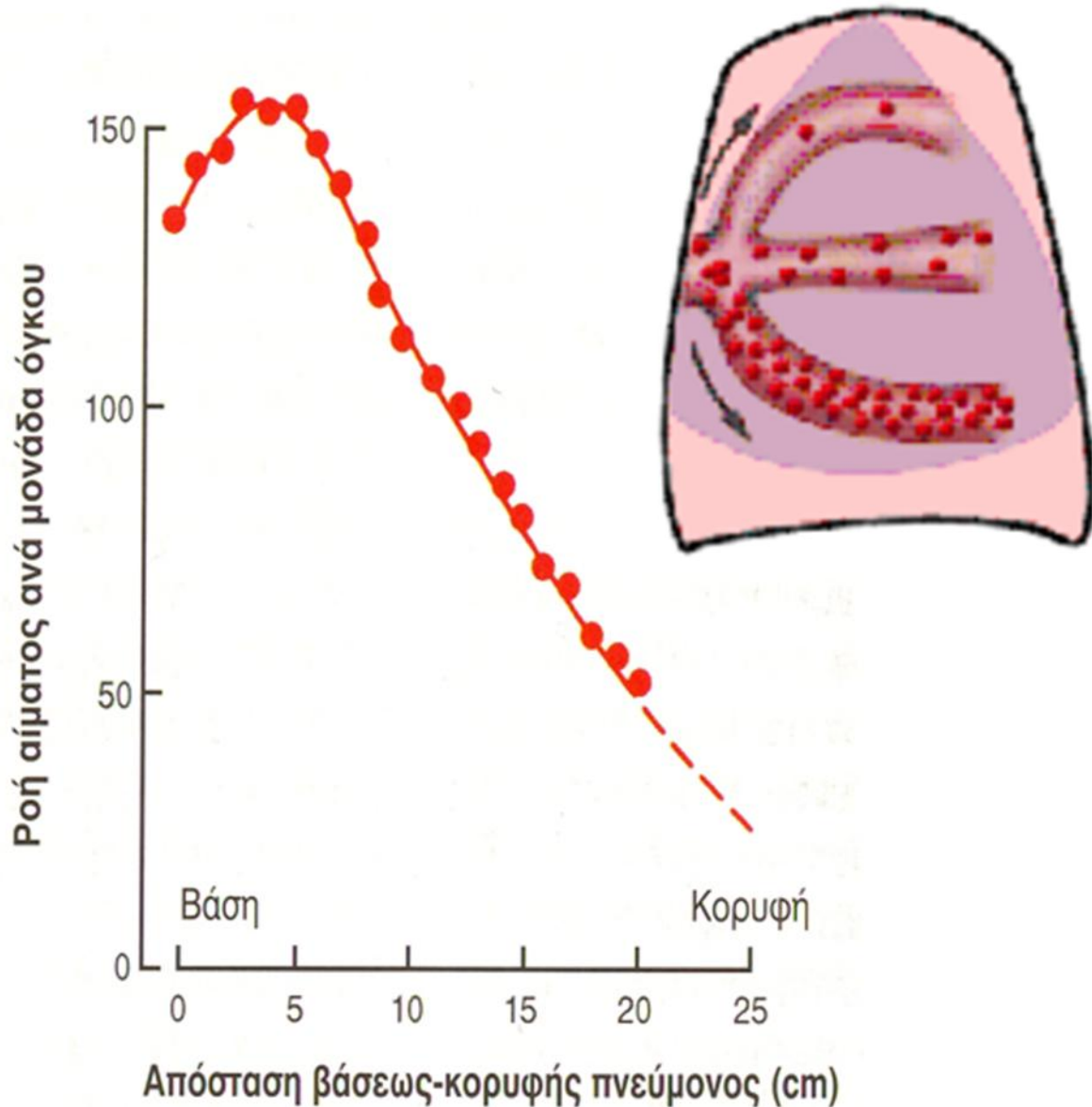
Κατανομή του αερισμού των πνευμόνων



Ανεξάρτητα από τη στάση του σώματος, **οι κατώτερες περιοχές του πνεύμονα αερίζονται καλύτερα από τις ανώτερες** εξαιτίας της ενδοπλευρικής κλίσης πίεσης που δημιουργείται από τη βαρύτητα

- Η πίεση στον πλευριτικό χώρο μειώνεται (γίνεται λιγότερο αρνητική) κατά $1\text{cmH}_2\text{O}$ περίπου για κάθε 3cm μείωσης του ύψους του πνεύμονα
- Αυτή η διαφορά τοποθετεί τις κυψελίδες από διαφορετικές περιοχές του πνεύμονα σε διαφορετικά σημεία της καμπύλης πίεσης - όγκου

Κατανομή της αιμάτωσης των πνευμόνων



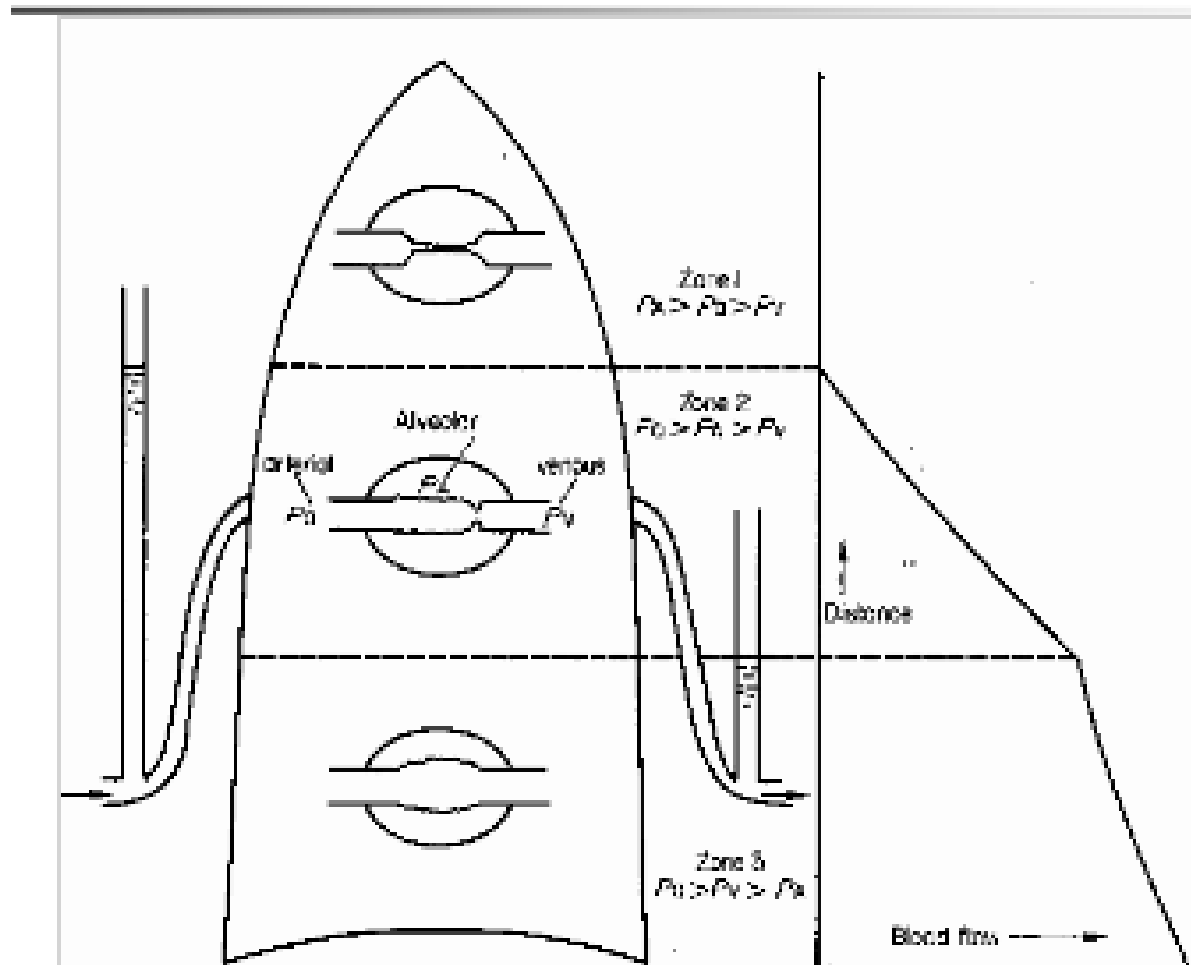
Ελαττώνεται από την βάση προς την κορυφή

Η άνιση κατανομή της αιμάτωσης οφείλεται στη διαφορά της υδροστατικής πίεσης εντός των πνευμονικών αγγείων

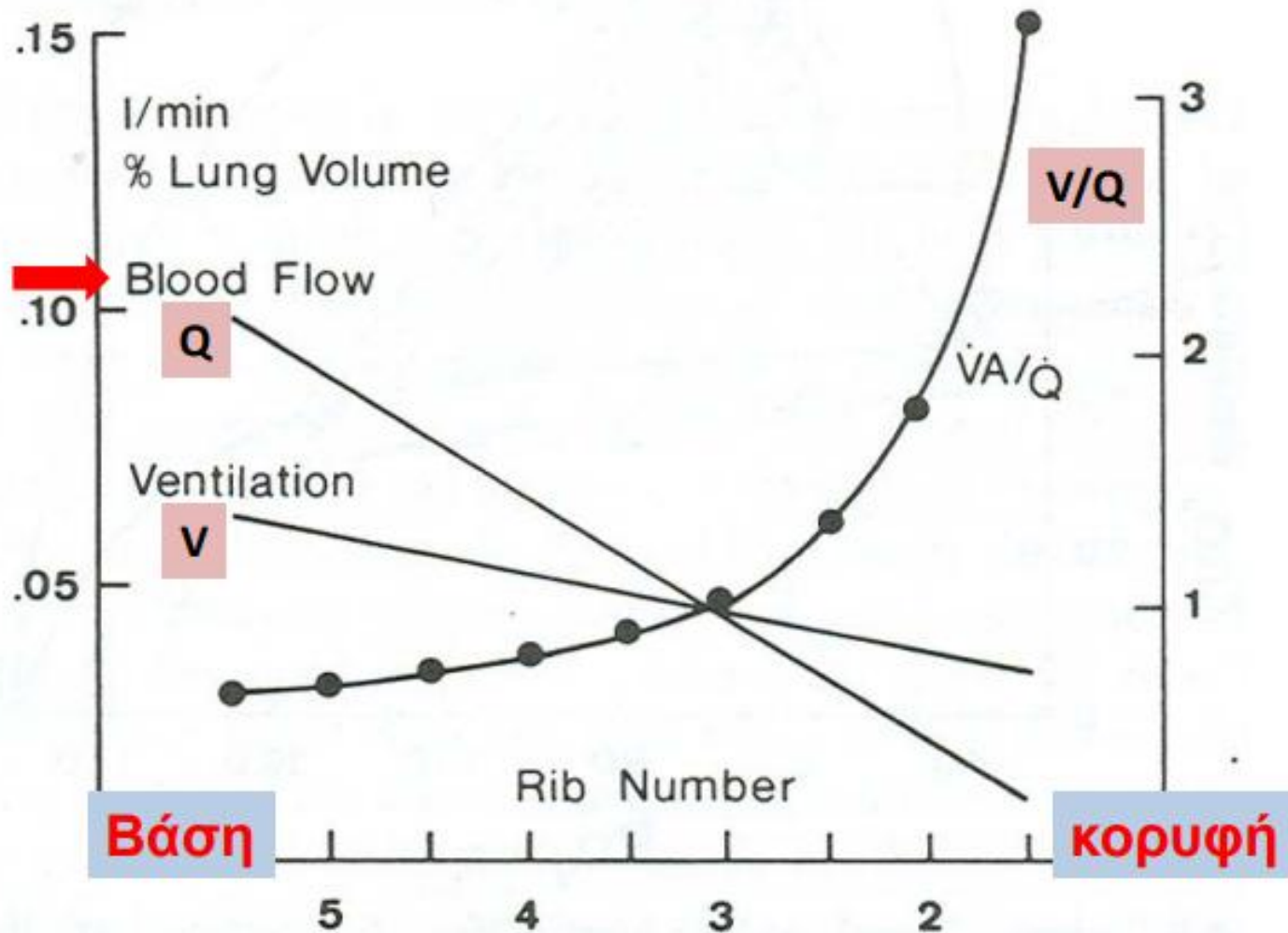
Για τον ανθρώπινο πνεύμονα, αυτή η διαφορά είναι της τάξης των 30cmH₂O ή 23mmHg και η επίδρασή της στην περιοχική αιμάτωση του περιγράφεται από τις ζώνες West

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΙΜΑΤΩΣΗΣ

Ζώνες West



Σχέση αερισμού(V) αιμάτωσης (Q) στον κατακόρυφο πνεύμονα – V/Q



Τοπογραφική σχέση μεταξύ αερισμού και αιμάτωσης από τις βάσεις προς τις κορυφές των πνευμόνων.

Ο αερισμός και η αιμάτωση είναι σχετικά υψηλότερες στις βάσεις σε σύγκριση με τις κορυφές.

Αντίθετα, το V/Q αυξάνει εκθετικά από τις βάσεις προς τις κορυφές

Επομένως, ο λόγος V/Q είναι χαμηλός στις βάσεις και υψηλότερος στις κορυφές των πνευμόνων.

Όλοι οι φυσιολογικοί πνεύμονες έχουν διαταραχές αερισμού/αιματώσεως με μείωση του λόγου V/Q από την κορυφή προς τις βάσεις του πνεύμονα

**Αερισμός κορυφών < αερ.βάσεων,
Αιμάτωση κορυφ << αιμ. βάσεων**

ΑΡΑ: ΒΑΣΕΙΣ: ΚΑΛΥΤΕΡΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ
ΑΛΛΑ
ΠΟΛΥ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΑΙΜΑΤΩΣΗ

- ΧΑΠ
- Άσθμα
- Ίνωση
- Πνευμονική εμβολή
- Πνευμοθώραξ

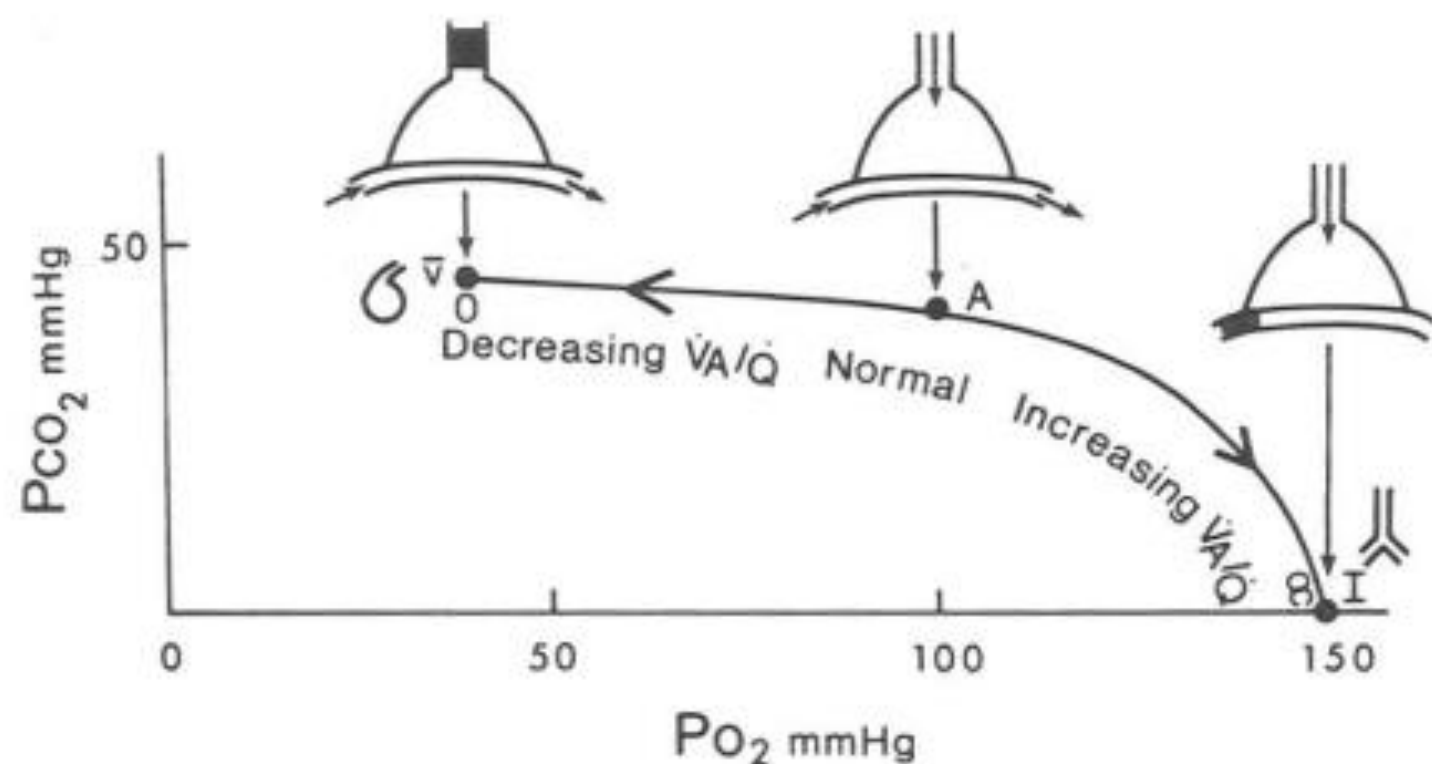


Στις φυσιολογικές συνθήκες:

Για την καλύτερη μεταφορά αερίων στους πνεύμονες, πρέπει να εξασφαλίζεται εξισορρόπηση "αερισμού προς αιμάτωση, \dot{V}/\dot{Q} ". Ο αερισμός και η αιμάτωση του πνεύμονος, ως συνόλου, είναι περίπου 5 l/min. Επομένως, για ολόκληρο τον πνεύμονα, η **σχέση \dot{V}/\dot{Q} κυμαίνεται γύρω από 1**

χαμηλή σχέση \dot{V}/\dot{Q} σε ακραία περίπτωση, κυψελιδικής περιοχής που **λαμβάνει αιμάτωση, αλλά όχι αερισμό**, δηλαδή, $\dot{V}/\dot{Q} = 0$, όπως επί πλήρους αποφράξεως των αεραγωγών

υψηλή σχέση \dot{V}/\dot{Q} Σε ακραία περίπτωση κυψελιδικής περιοχής, η οποία **λαμβάνει αερισμό, αλλά καθόλου αιμάτωση**, όπως είναι ο αερισμός κυψελιδικού νεκρού χώρου.
Αποτέλεσμα: PA O₂ = 150 mmHg, PA CO₂ = 0 mmHg.
Δεν διενεργείται ανταλλαγή αερίων



Εικόνα 6.4 Σχέση αερισμού/αιμάτωσης (\dot{V}_A/\dot{Q}) σε φυσιολογικό πνεύμονα, PO_2 και PCO_2 . Σε περιοχές με υψηλό λόγο \dot{V}_A/\dot{Q} , η PO_2 είναι υψηλή και η PCO_2 χαμηλή στον κυψελιδικό αέρα. Αυτό συμβαίνει στις κορυφές των πνευμόνων στην όρθια θέση. Σε περιοχές με χαμηλό λόγο \dot{V}_A/\dot{Q} , η PO_2 είναι χαμηλή και η PCO_2 υψηλή στον κυψελιδικό αέρα. Αυτό συμβαίνει στις βάσεις των πνευμόνων στην όρθια θέση.

V/Q MISMATCH (σχέση αερισμού-αιμάτωσης <1)

Ο συχνότερος μηχανισμός υποξαιμίας

Υποξαιμία

(δυσνητικά Υπερκαπνία)

Αύξηση κυψελιδοτριχοειδικής διαφοράς οξυγόνου

Ασθμα, χρόνια βρογχίτις, εμφύσημα, κυστική ίνωση, πνευμονία, ατελεκτασία, πνευμονική εμβολή

- Μονάδες **υψηλού V/Q** (αερισμός /αιμάτωση), δρουν ως νεκρός χώρος.
- Μονάδες **χαμηλού V/Q** δρουν ως shunt. (βέλτιστη αιμάτωση αλλά όχι επαρκής αερισμός).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η επίδραση της αύξησης της καρδιακής παροχής στη σχέση αερισμού/αιμάτωσης και κατά συνέπεια στην ανταλλαγή αερίων, είναι λιγότερο σημαντική σε σύγκριση μ' εκείνη της αύξησης του κατά λεπτό αερισμού.

Χαρακτηριστικό πάντως είναι, ότι όταν δεν υπάρχουν διαταραχές στη σχέση V/Q, οποιαδήποτε αύξηση της καρδιακής παροχής δεν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στην ανταλλαγή των αερίων, ενώ όταν υπάρχουν, λαμβάνει χώρα ήπια αύξηση της PaO₂ με παράλληλη ελάττωση της PaCO₂

Διόρθωση με χορήγηση O₂

Διαταραχές αερισμού/αιματώσεως (V/Q)

Χρόνια Αποφρακτική πνευμονοπάθεια

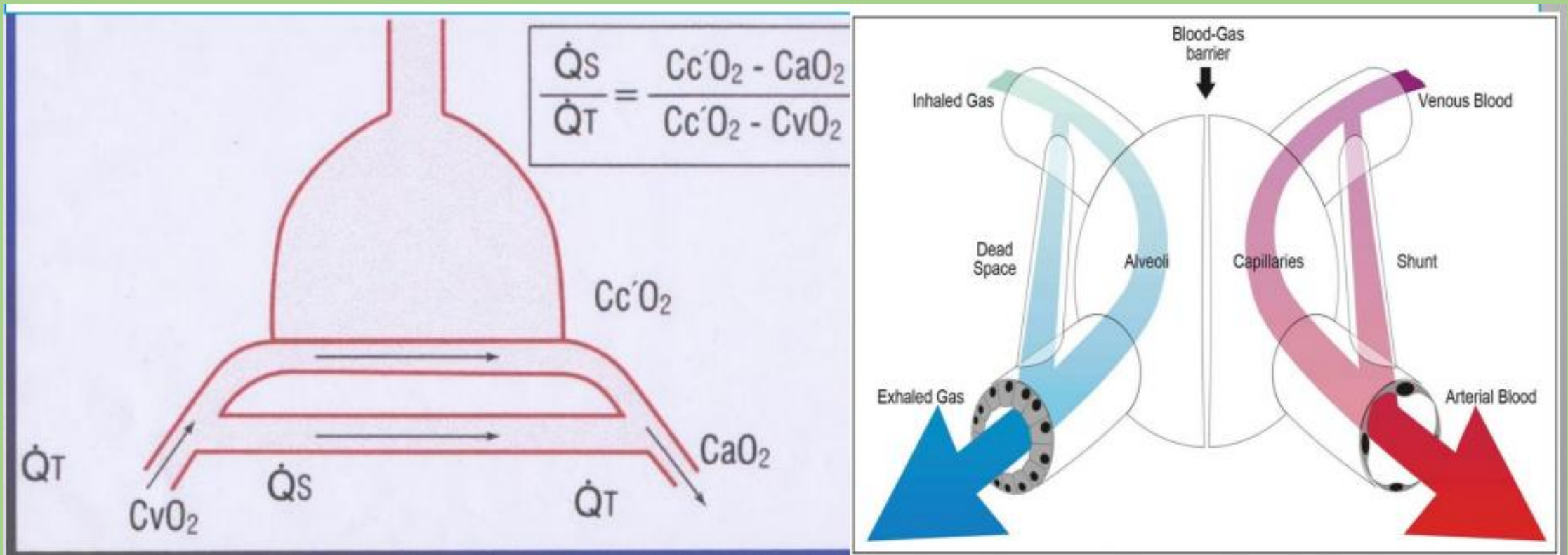


Υποξαιμική Αναπνευστική Ανεπάρκεια Παθοφυσιολογία

- Διαταραχές διαχύσεως
- Διαταραχές αερισμού/αιματώσεως (V/Q)
- Κυκλοφορική διαφυγή (Shunt)
- Υποαερισμός
- Εισπνοή μίγματος χαμηλού σε O₂

3. Κυκλοφορική διαφυγή ή παράκαμψη (shunt)

Παρουσία παρακαμπτηρίων αγγείων, δηλαδή αίματος που διοχετεύεται στο αρτηριακό σύστημα χωρίς προηγουμένως να διέλθει μέσα από τριχοειδή που βρίσκονται σε αεριζόμενες περιοχές του πνεύμονα



δεν διορθώνεται η υποξαιμία
με χορήγηση οξυγόνου



Ενδοπνευμονικό shunt

Πνευμονία

Πνευμονικό οίδημα

Ατελεκτασία

Πνευμονική αιμορραγία

Ενδοκαρδιακό shunt

Επικοινωνία από δεξιά προς τα αριστερά (τετραλογία Fallot's, Eisenmenger)

Πνευμονική υπέρταση με ανοικτό Foramen ovale

- Διαταραχές διαχύσεως
- Διαταραχές αερισμού/αιματώσεως (V/Q)
- Κυκλοφορική διαφυγή (Shunt)
- **Κυψελιδικός Υποαερισμός**
- Εισπνοή μίγματος χαμηλού σε O₂

Ο υποαερισμός των κυψελίδων έχει συνέπεια την αδυναμία αποβολής του CO₂ και οδηγεί στην αύξηση της PaCO₂ και, επομένως, στη μείωση της PAO₂

Π.χ. οξύ πνευμονικό οίδημα

Αναπνευστική ανεπάρκεια : Βαρύτητα

PO₂/FiO₂

Σε περίπτωση υποξυγοναιμίας, η βαρύτητά της εκτιμάται με τη βοήθεια του πηλίκου PaO₂/FiO₂

Η αναλογία μερικής πίεσης αρτηριακού οξυγόνου και κλάσματος εμπνευσμένου οξυγόνου, γνωστή ως **δείκτης Horowitz ή δείκτης Carrico**, είναι μια σύγκριση μεταξύ του επιπέδου οξυγόνου στο αίμα και της συγκέντρωσης οξυγόνου που αναπνέει.

Αυτό βοηθά στον προσδιορισμό του βαθμού τυχόν προβλημάτων σχετικά με το πώς οι πνεύμονες μεταφέρουν οξυγόνο στο αίμα.

Για αυτό το τεστ συλλέγεται **δείγμα αρτηριακού αίματος**.

Τα πιο πρόσφατα κριτήρια του Βερολίνου καθορίζουν το ήπιο ARDS σε αναλογία <300.

Φυσιολογικά PO₂ 100 mmHg/ 0,21 = 476 (400-450)

PO₂ 100 mmHg/ 0,50 = 200

PO₂ 68 mmHg/ 0,50 = 136 = σοβαρή υποξαιμική αναπνευστική ανεπάρκεια

<300

<200

<100

Κυψελιδικός Υποαερισμός

$$P_{AO_2} = P_{iO_2} - P_{aCO_2}/R$$

$$P_{AO_2} = (760-47) \times F_{iO_2} - P_{aCO_2}/0.8$$

Εάν $P_{aCO_2}=40$ mmHg

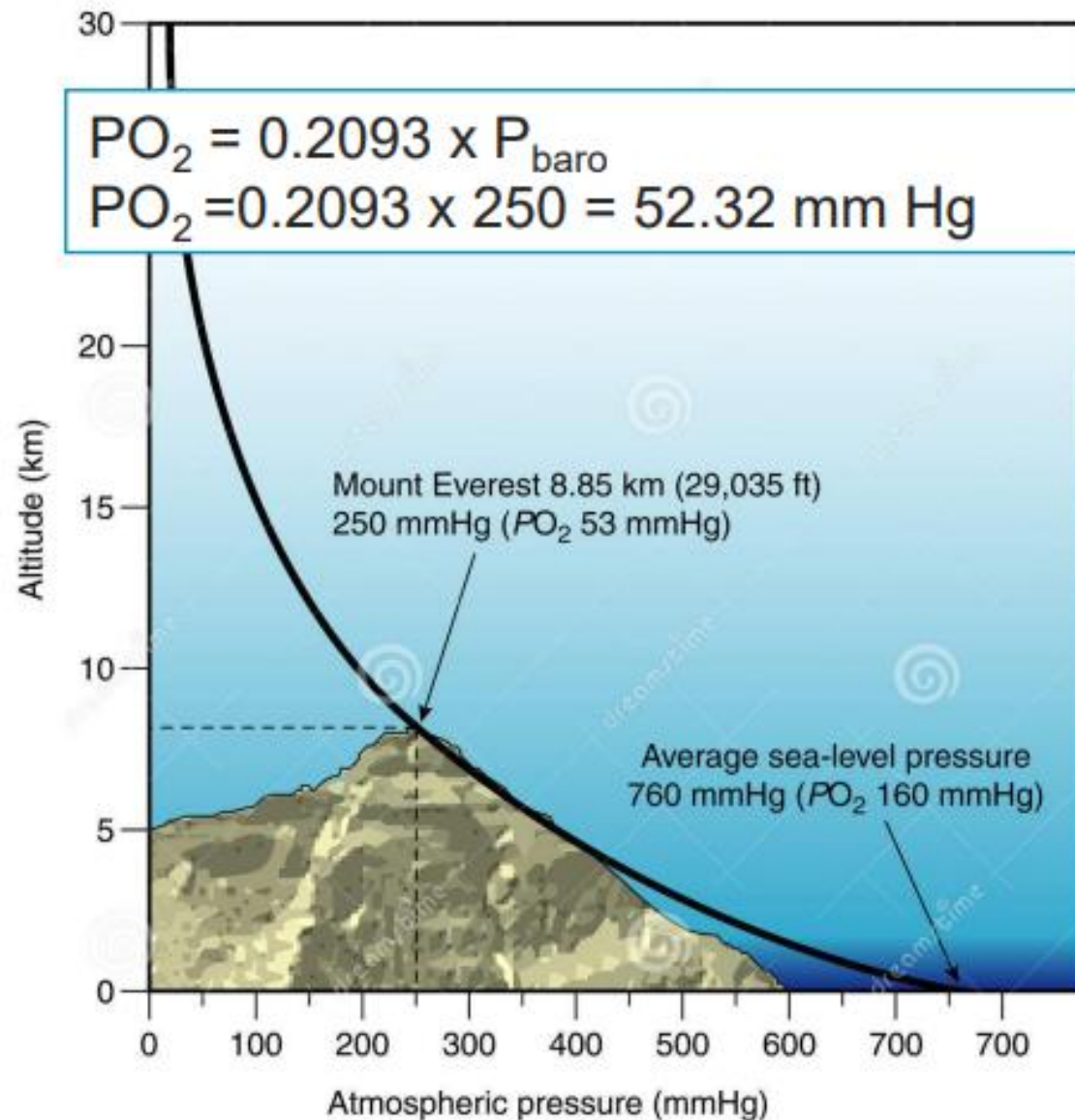
→ $P_{AO_2}=100$ → $P_{aO_2}=95$ ($S_{aO_2}=99\%$)

Εάν $P_{aCO_2}=80$ mmHg

→ $P_{AO_2}=50$ → $P_{aO_2}=45$ ($S_{aO_2}=80\%$)

- Διαταραχές διαχύσεως
- Διαταραχές αερισμού/αιματώσεως (V/Q)
- Κυκλοφορική διαφυγή (Shunt)
- Κυψελιδικός Υποαερισμός
- Εισπνοή μίγματος χαμηλού σε O₂

Η εισπνοή μίγματος χαμηλού σε οξυγόνο



- **Air = 79.04% N₂ + 20.93% O₂ + 0.03% CO₂**
 - Total air P: atmospheric pressure
 - Individual P: partial pressures
- **Standard atmospheric P = 760 mmHg**
 - Dalton's Law: total air P = PN₂ + PO₂ + PCO₂
 - PN₂ = 760 x 79.04% = 600.7 mmHg
 - PO₂ = 760 x 20.93% = 159.1 mmHg
 - PCO₂ = 760 x 0.04% = 0.2 mmHg

Υπερκαπνική Αναπνευστική Ανεπάρκεια

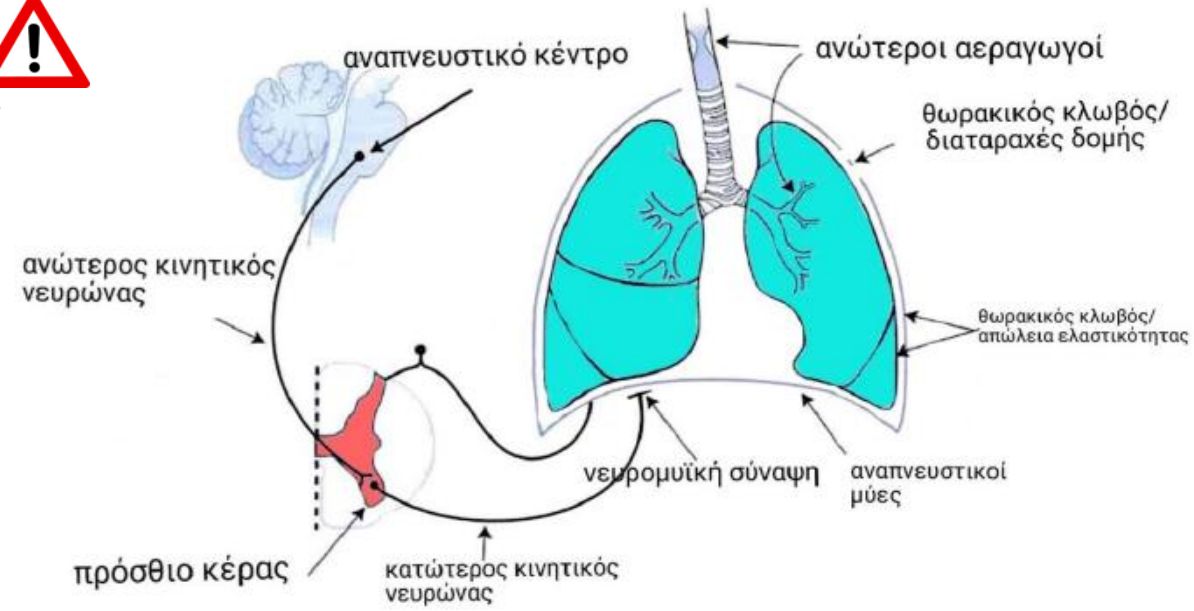
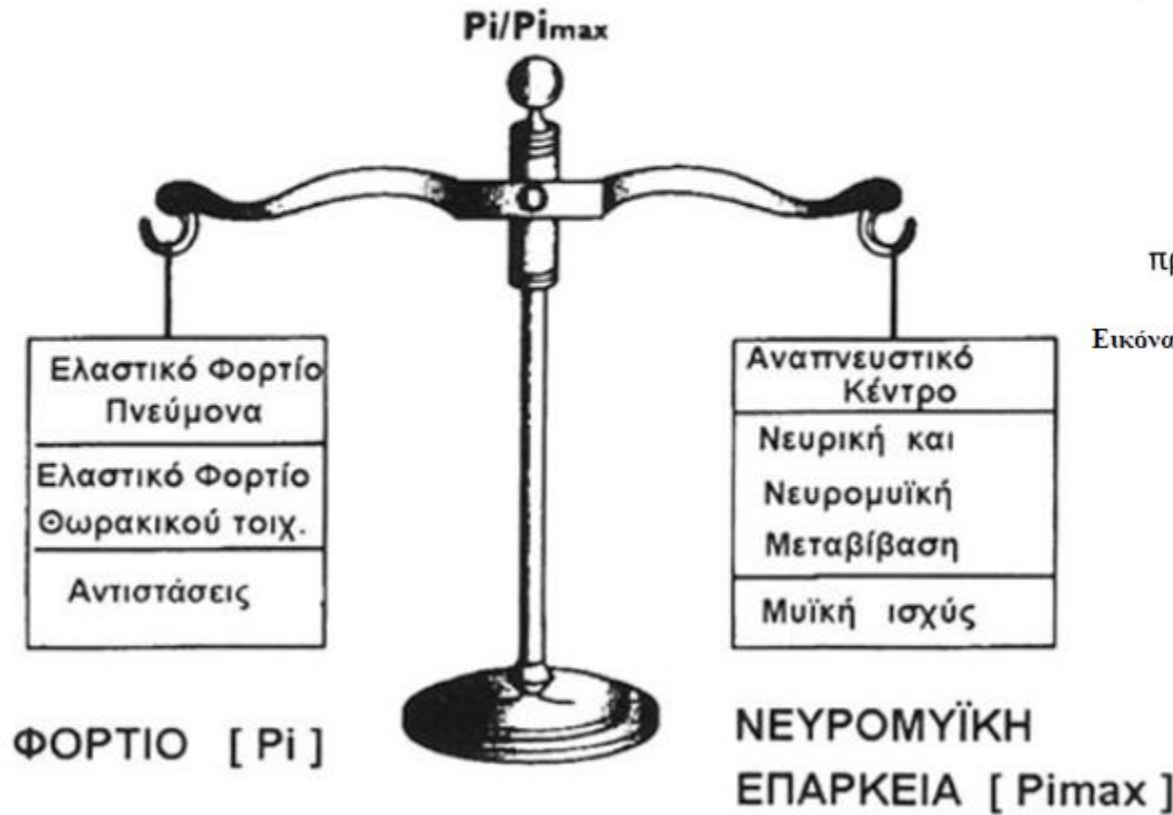


(τύπου II)

- $P_aCO_2 > 50\text{mmHg}$
- Υποξαιμία πάντα παρούσα
- pH εξαρτάται από επίπεδα HCO_3
- HCO_3 εξαρτάται από χρονιότητα υπερκαπνίας
- Νεφρική αντιρρόπηση από ημέρες έως εβδομάδες

ΑΝ.ΑΝΕΠ. ΤΥΠΟΥ II

ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΚΗ ΑΝ. ΑΝΕΠ. $PCO_2 > 45\text{mmHg}$



Εικόνα 2.1 Ανατομικές δομές της αναπνευστικής αντλίας.

Υπερκαπνία

$$PaCO_2 = k \frac{VCO_2}{V_A}$$

- k είναι σταθερά,
- $\dot{V}CO_2$ είναι η κατά λεπτόν παραγωγή CO_2 ,
- \dot{V}_A είναι ο κυψελιδικός κατά λεπτόν αερισμός,

Η ανάλυση της εξίσωσης μας δείχνει ότι η υπερκαπνία μπορεί να προκύψει από : 1) από την αύξηση της παραγωγής του CO_2 ,
2) από τη μείωση του κατά λεπτό αερισμού

Αυξημένη παραγωγή CO_2

- Πυρετός (15% / 1 βαθμό C
- Άσκηση
- Υπερκατανάλωση υδατανθράκων
- Ρίγος
- Τέτανος

Για ένα νεαρό ενήλικα, η παραγωγή CO_2 υπολογίζεται σε 200 mL/min περίπου.



Ο κύριος παθοφυσιολογικός μηχανισμός της υπερκαπνικής αναπνευστικής ανεπάρκειας (τ.ΙΙ) είναι η **μείωση του κυψελιδικού αερισμού**, με την προϋπόθεση ότι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα είναι σταθερή

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η αυξημένη παραγωγή CO₂ αντιρροπείται από την αύξηση του κατά λεπτόν αερισμού, με αποτέλεσμα φυσιολογική PaCO₂.

Εάν όμως η αναπνευστική επάρκεια είναι περιορισμένη, τότε η αυξημένη παραγωγή CO₂ θα οδηγήσει σε αύξηση της PaCO₂



Υπερκαπνική Αναπνευστική ανεπάρκεια (τύπου II)

- **Αίτια**

- Δυσλειτουργία αναπνευστικού κέντρου (γέφυρα)
 - Υπερδοσολογία φαρμάκων, ΑΕΕ, όγκος, υποθυρεοειδισμός, κεντρικού τύπου υποαερισμός
- Νευρομυϊκή νόσος
 - Guillain-Barre, Myasthenia Gravis, polio, βλάβες NM



- Θωρακικό τοίχωμα/Υπεζωκότητας
 - κυφοσκολίωση, πνευμοθώρακας, μαζική πλευριτική συλλογή
- Απόφραξη ανωτέρω αεραγωγών
 - όγκος, ξένο σώμα, οίδημα λάρυγγος
- Νόσος περιφερικών αεραγωγών
 - Άσθμα, ΧΑΠ

Υπερκαπνική Αναπνευστική ανεπάρκεια (τύπου II)

- Οξεία

- ↓ Αρτηριακού pH

- Αίτια

- Οξεία λήψη κατασταλτικών φαρμάκων

- Οξεία μυϊκή αδυναμία π.χ. Μυασθένεια gravis

- Σοβαρή νόσος των πνευμόνων με μη διατήρηση κυψελιδικού αερισμού

- Π.χ. άσθμα ή πνευμονία

Υπερκαπνική Αναπνευστική ανεπάρκεια (τύπου II)

- Οξεία επί χρονίας

- Χρόνια κατακράτηση CO_2 που χειροτερεύει με \uparrow
 PaCO_2 και \downarrow pH

- Μηχανισμός

- Κόπωση αναπνευστικών μυών

Για να επιτευχθεί ικανοποιητική αυτόματη αναπνοή, οι αναπνευστικοί μύες πρέπει να αναπτύσσουν πίεση ικανή να υπερνικήσει το ελαστικό φορτίο και το φορτίο αντιστάσεων του αναπνευστικού συστήματος. Επιπλέον, θα πρέπει να προσαρμόζουν τον \dot{V}_E στις ενεργειακές απαιτήσεις του οργανισμού, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική ανταλλαγή αερίων. Κόπωση είναι η αδυναμία των αναπνευστικών μυών να παράγουν συνεχώς πιέσεις ικανές να διατηρούν τον απαραίτητο \dot{V}_A (κυψελιδικός κατά λεπτόν αερισμός).



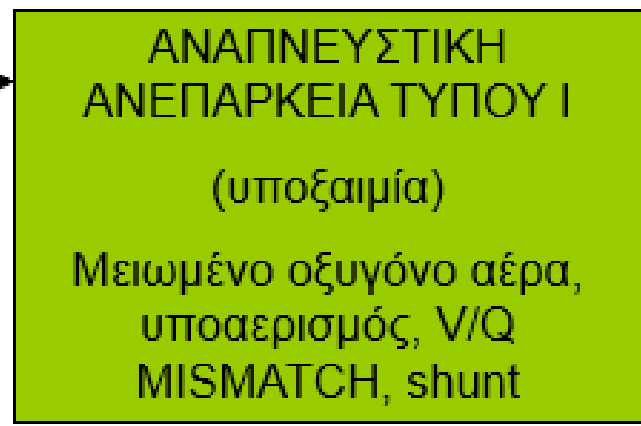
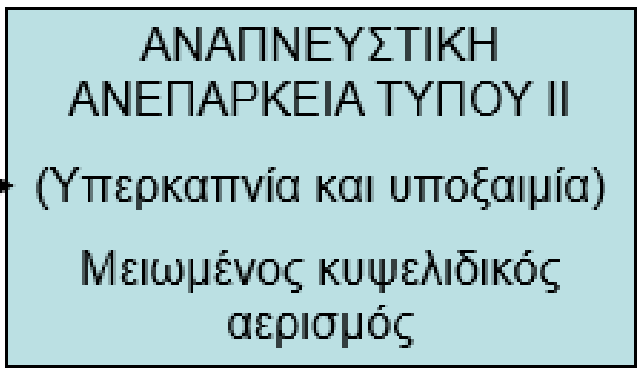
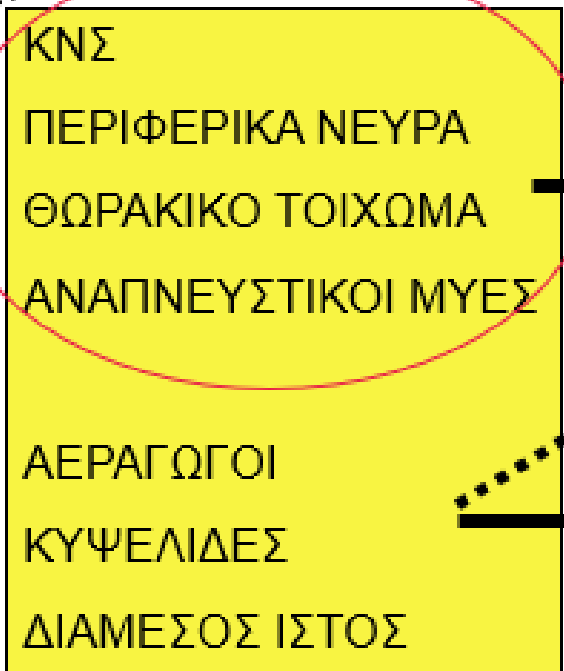
**Η ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑ ΚΑΝΟΝΑ
ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΗ**

ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΑ –ΥΠΟΞΥΓΟΝΑΙΜΙΑ ΣΥΝΥΠΑΡΧΟΥΝ



Αναπνευστική ανεπάρκεια

Αναπνευστική αντλία





Υπεριαπνία (αντλία) Επιπλεγόμενη από Υποξαιμία (πνεύμονας)

Οξεία

- Απόφραξη ανωτέρων αεραγωγών
- Νευρομυικές διαταραχές
- Παύση κέντρου αναπνοής

Χρονία

- Νευρομυικές διαταραχές
- Παχυσαρκία
- Κυφοσκλίωση



Υποξαιμία (πνεύμονας) Επιπλεγόμενη από Υπερκαπνία (αντλία)

Οξεία

- Άσθμα
- Πνευμονικό οίδημα
- Πνευμονία
- Πνευμονική εμβολή
- ARDS

Χρονία

- ΧΑΠ
- Βρογχεκτασία
- ΣΕΛ
- Σκληρόδερμα
- Πολυμυοσίτιδα

ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

- • Αναπνευστική ανεπάρκεια (ΑΑ) είναι η αδυναμία του αναπνευστικού συστήματος να επιτελέσει τη μία ή και τις δύο λειτουργίες της ανταλλαγής των αερίων, δηλαδή την οξυγόνωση του μεικτού φλεβικού αίματος ή/και την αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Ορίζεται ως η μείωση της μερικής πίεσης του οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα (PaO_2) < 60 mm Hg με ή χωρίς αύξηση της μερικής πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα (PaCO_2) > 45 mm Hg.
- • Η ΑΑ διακρίνεται σε υποξυγοναιμική ή τύπου I και σε υπερκαπνική ή τύπου II. Η βασική παθοφυσιολογική διαταραχή στον τύπο I αναφέρεται στη διαταραχή αερισμού-αιμάτωσης (V/Q - ανεπάρκεια των πνευμόνων), ενώ στο τύπο II η βασική διαταραχή αφορά τη μείωση του κυψελιδικού αερισμού (VA- ανεπάρκεια της αναπνευστικής αντλίας). Στην πραγματικότητα, και στους δύο τύπους αναπνευστικής ανεπάρκειας συμμετέχουν και οι δύο παθοφυσιολογικές διαταραχές αλλά σε διαφορετικό βαθμό η καθεμία.
- • Η βαρύτητα της ΑΑ εκτιμάται με το πηλίκο $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ

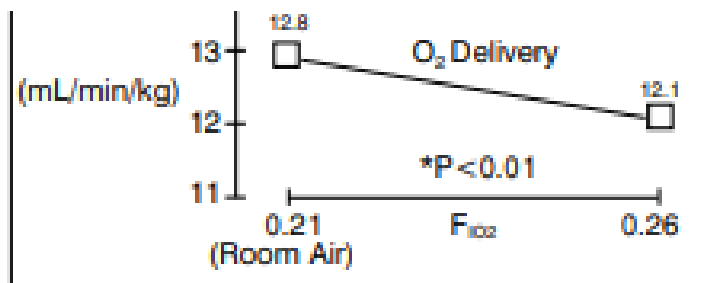


ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑ-ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

Πίνακας 1. Περιεκτικότητα CO₂ στο αίμα

	ΑΡΤΗΡΙΑ	ΦΛΕΒΑ
pCO ₂	40 mmHg	45 mmHg

αντιστοιχεί αποτελεσματικά, η μερική πίεση του οξυγόνου του αρτηριακού αίματος (PaO₂) πρέπει να μειωθεί στα 55mmHg. Έτσι, λοιπόν, το αναπνευστικό κέντρο επιβλέπει άμεσα το PaCO₂, σε αντίθεση με τον κλινικό ιατρό που ανησυχεί συχνότερα για το PaO₂. Το CO₂ είναι διαλυτό στο νερό κι έτσι κατανέμεται ελεύθερα στα υγρά του οργανισμού. Ο όγκος κατανομής του είναι 130 L, πολύ μεγαλύτερος από τον όγκο κατανομής του οξυγόνου που είναι 40 L. Το περιεχόμενο οξυγόνου στον



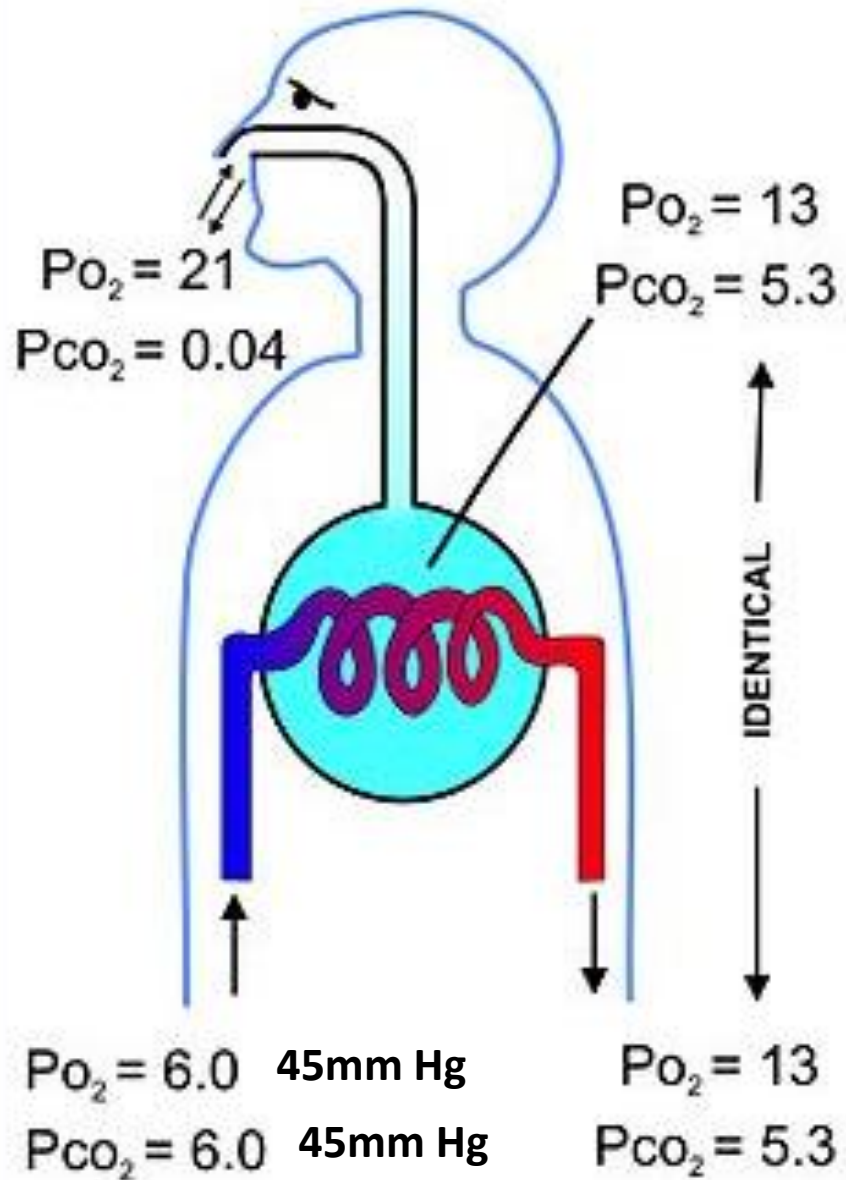
Σχήμα 7. Επίδραση της οξυγονοθεραπείας στην PO_2 και την παροχή οξυγόνου (*Am Rev Respir Dis 1981;124:26*).

σης, ανάλογα με την πρωτοπαθή διαταραχή. Το χαρακτηριστικό της διεγερσιμότητας του αναπνευστικού κέντρου είναι η ανάπτυξη ανοχής. Για παράδειγμα, μετά πάροδο δύο ή τριών ημερών το αναπνευστικό κέντρο χάνει το 80% της ευαισθησίας του στις μεταβολές της PCO_2 και του pH. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στη διαδικασία του εγκλιματισμού σε χαμηλό



ατμοσφαιρικό PO_2 , όπως συμβαίνει κατά την προσαρμογή σε υψηλό υψόμετρο. Στο ύψος της κορυφής του Έβερεστ η ατμοσφαιρική πίεση είναι λίγο πάνω από 200 mmHg με συνέπεια η μερική πίεση του εισπνεόμενου οξυγόνου να είναι 43 mmHg. Χωρίς υπεραερισμό η μερική πίεση του O_2 στις κυψελίδες θα ανερχόταν μόλις σε $P_AO_2 = P_I O_2 - PCO_2 / R = 43 - 40 / 1 = 3$ mmHg στην καλύτερη περίπτωση. Με τη διέγερση των χημειοϋποδοχέων πενταπλασιάζεται ο κυψελιδικός αερισμός και έτσι υποπενταπλασιάζεται η PCO_2 (εξίσωση του κυψελιδικού αερισμού $PCO_2 \propto 1/V_A$) η οποία κατέρχεται στα $40 / 5 = 8$ mmHg επιτρέποντας στην P_AO_2 να ανέλθει στα $P_AO_2 = P_I O_2 - PCO_2 / R = 43 - 8 / 1 = 35$ mmHg. Παράλληλα, η ανάπτυξη ανοχής από το αναπνευστικό κέντρο σε αυτή την υποκαπνία, δηλαδή η μη πρόκληση υποαερισμού εξαιτίας αυτής, και η αντιροπιστική μεταβολική οξέωση με αποβολή διττανθρακικών από τους νεφρούς μετά πάροδο 2-3 ημερών, ολοκληρώνει τη διαδικασία του εγκλιματισμού σε

Mechanism of gas exchange



Μια εξαιρετικά διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας ανταλλαγής αερίων στους πνεύμονες των θηλαστικών, με έμφαση στις διαφορές μεταξύ των συνθέσεων αερίου του ατμοσφαιρικού αέρα, του κυψελιδικού αέρα (γαλάζιο) με τον οποίο ισορροπείται το πνευμονικό τριχοειδές αίμα και των εντάσεων αερίων αίματος στον πνευμονικό αρτηριακό (μπλε αίμα που εισέρχεται στον πνεύμονα στα αριστερά) και φλεβικό αίμα (ερυθρό αίμα που αφήνει τον πνεύμονα στα δεξιά). Όλες οι εντάσεις αερίου είναι σε kPa. Για μετατροπή σε mm Hg, πολλαπλασιάστε επί 7,5

97,5mm Hg
39,75mm Hg

Η Ατμοσφαιρική πίεση ποικίλλει ανάλογα με το υψόμετρο και είναι υψηλότερη στο επίπεδο της θάλασσας, αν και η διαφορά των συγκεντρώσεων των διαφόρων συστατικών της παραμένει σταθερή.

Συνήθως διατυπώνουμε πρότυπες συνθήκες, ώστε οι διάφορες μετρήσεις να είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους. Έτσι, επί ξηρού αέρα, πρότυπης θερμοκρασίας ίσης με 273 °K και πίεση 760 mmHg:

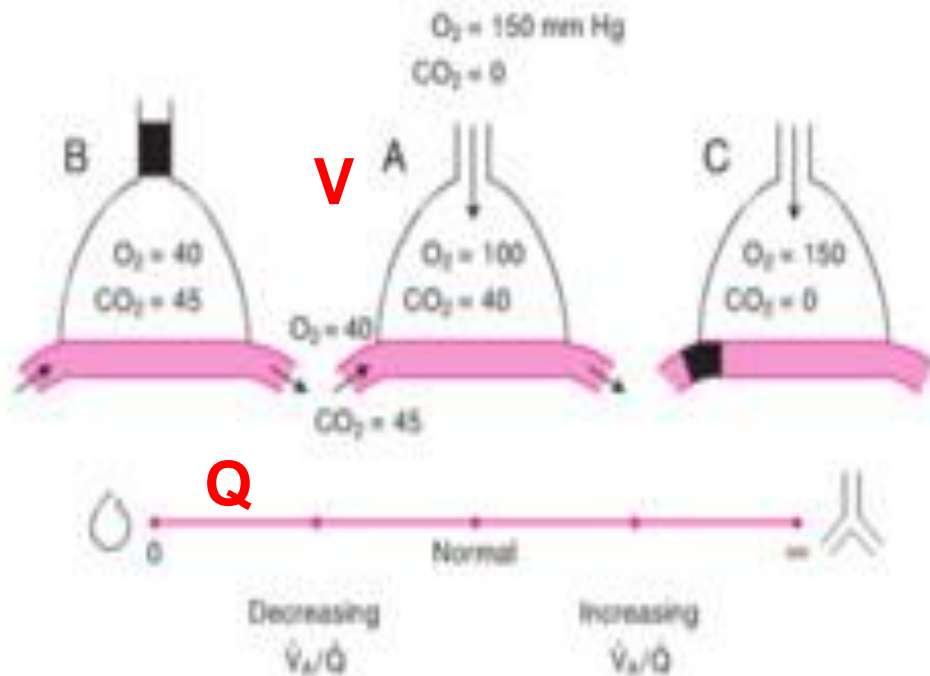
Σε ηρεμία, ένα άτομο καταναλώνει περίπου 250ml O₂ και παράγει 200 ml CO₂ ανά λεπτό, σε συνθήκες STPD (D για το "ξηρό, dry") επομένως το αναπνευστικό ισοδύναμο είναι 0.8.

Εν τούτοις, ο αέρας σχεδόν ποτέ δεν είναι ξηρός, αλλά εμπεριέχει άλλοτε άλλη ποσότητα υδρατμών, που έχουν μερική πίεση, ενδιάμεση μεταξύ αερίου και υγρού και εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία. Στους 37°C η μερική πίεση των υδρατμών είναι, ~ 47 mmHg.

Οι υδρατμοί, αναμιγνυόμενοι στο εισπνεόμενο ή εκπνεόμενο μίγμα, ασκούν μερική πίεση, ώστε η μερική πίεση των άλλων αερίων μειώνεται αναλόγως, αφού πρέπει το άθροισμά τους να παραμείνει σταθερό, 760 mmHg.

Η λειτουργική μονάδα του πνεύμονα

- 300×10^6 λειτουργικές μονάδες
- Εκφράζουν τη σχέση αερισμού (V) και αιμάτωσης (Q)
- Σε φυσ. συνθήκες σχεδόν απόλυτη σύζευξη
δηλ. $V/Q=1$



Η ανταλλαγή O₂ και CO₂ εξαρτάται από:

- Την περιεκτικότητα ατμ. αέρα σε O₂
- Τον αερισμό (V) και αιμάτωση (Q)
- Την επάρκεια του πνεύμονα να πετυχαίνει τη σύζευξη V/Q
- Την περιεκτικότητα του φλεβικού αίματος σε O₂ και CO₂

Αναπνευστική ανεπάρκεια - αίτια

ΤΥΠΟΥ ΙΙ (πνευμονική αντλία)

- Σύνδρομο Pickwick, υπνοαπνοϊκό σύνδρομο
- Μεταβολική αλκάλωση
- Λήψη ναρκωτικών/ηρεμιστικών
- Αναισθησία
- Αλλαντίαση
- Ουσίες με δράση κουραρίου
- Guillain Barre
- Μυϊκή δυστροφία
- Βαριά μυασθένεια
- Τέτανος
- Βλάβη νωτιαίου μυελού
- Ασκίτης, μυξοίδημα, πλευρίτιδα, τραύμα, κυφοσκωλίωση

ΤΥΠΟΥ Ι ή ΙΙ

- ARDS
- Ατελεκτασία
- ΧΑΠ
- Βρογχικό ασθμα
- Βρογχεκτασίες
- Βρογχιολίτις
- Ινοκυστική νόσος
- Διάμεση ίνωση
- Πνευμονία
- Πνευμοθώρακας
- Πνευμονικό οίδημα
- Πνευμονική εμβολή
- Απόφραξη ανωτέρων αναπν. οδών

Η βασική παθοφυσιολογική διαταραχή στον τύπο I αναφέρεται στη διαταραχή αερισμού-αιμάτωσης (V/Q), ενώ στο τύπο II η βασική διαταραχή αφορά τη μείωση του κυψελιδικού αερισμού (VA).

Στην πραγματικότητα, και στους δύο τύπους αναπνευστικής ανεπάρκειας συμμετέχουν και οι δύο παθοφυσιολογικές διαταραχές αλλά σε διαφορετικό βαθμό η καθεμία. Τόσο ο τύπος I όσο και ο τύπος II μπορεί να εμφανιστούν κατά την πορεία μίας και της αυτής νόσου, δεδομένου ότι η διαταραχή V/Q συνυπάρχει και στους δύο τύπους (π.χ., ασθενείς με ΧΑΠ αρχικά μπορεί να εμφανίσουν υποξαιμία και, καθώς η νόσος εξελίσσεται, να εμφανίσουν και υπερκαπνία).