

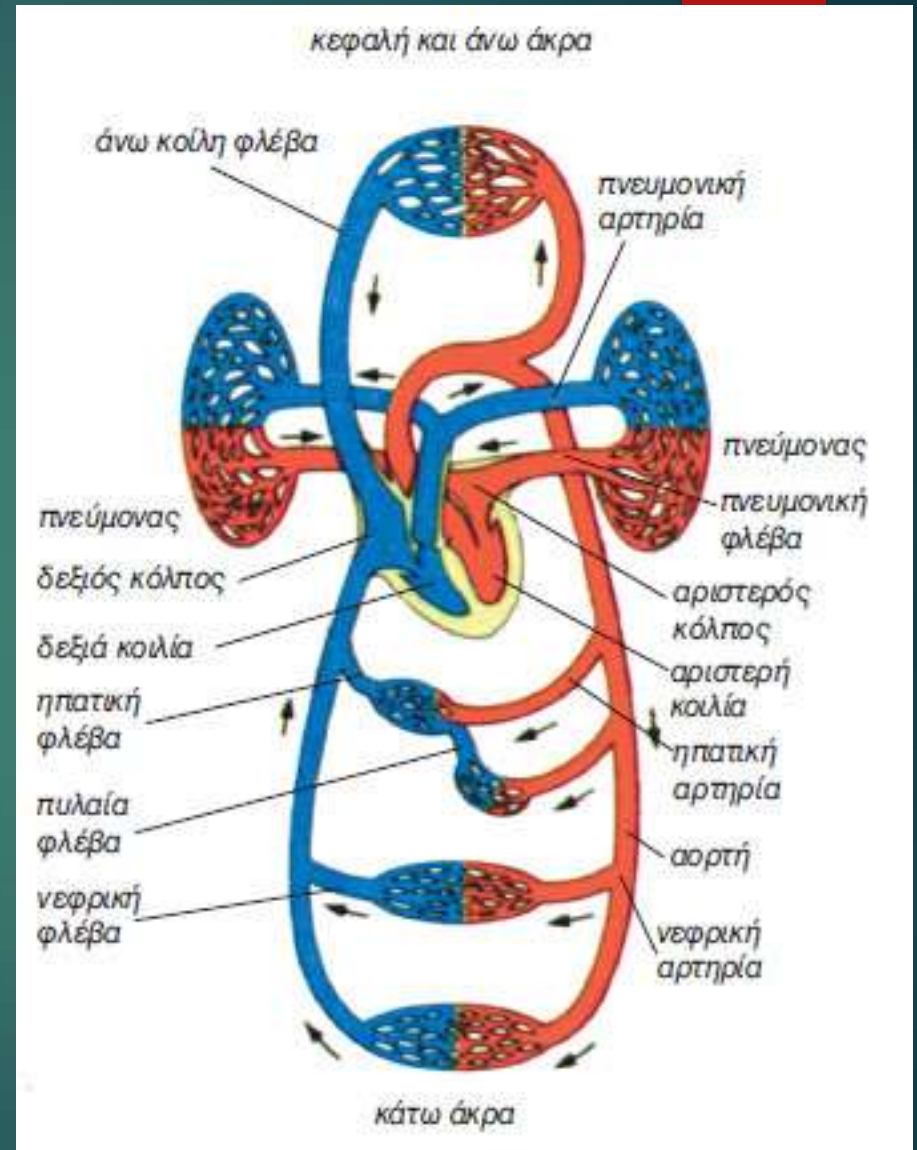


Αιμάτωση και ρύθμιση του αερισμού

- 
- ▶ Αιμάτωση του αναπνευστικού συστήματος
 - ▶ Ρύθμιση της αναπνοής και του αερισμού

Πνευμονική κυκλοφορία

- ▶ Μεταφορά φλεβικού αίματος από την καρδιά προς τους πνεύμονες
- ▶ Μεταφορά αρτηριακού αίματος από τους πνεύμονες πίσω στην καρδιά
- ▶ Η πνευμονική κυκλοφορία δέχεται όλη την καρδιακή παροχή
- ▶ Οι πνευμονικές αρτηρίες διακλαδίζονται μαζί με κάθε διακλάδωση των αεροφόρων οδών

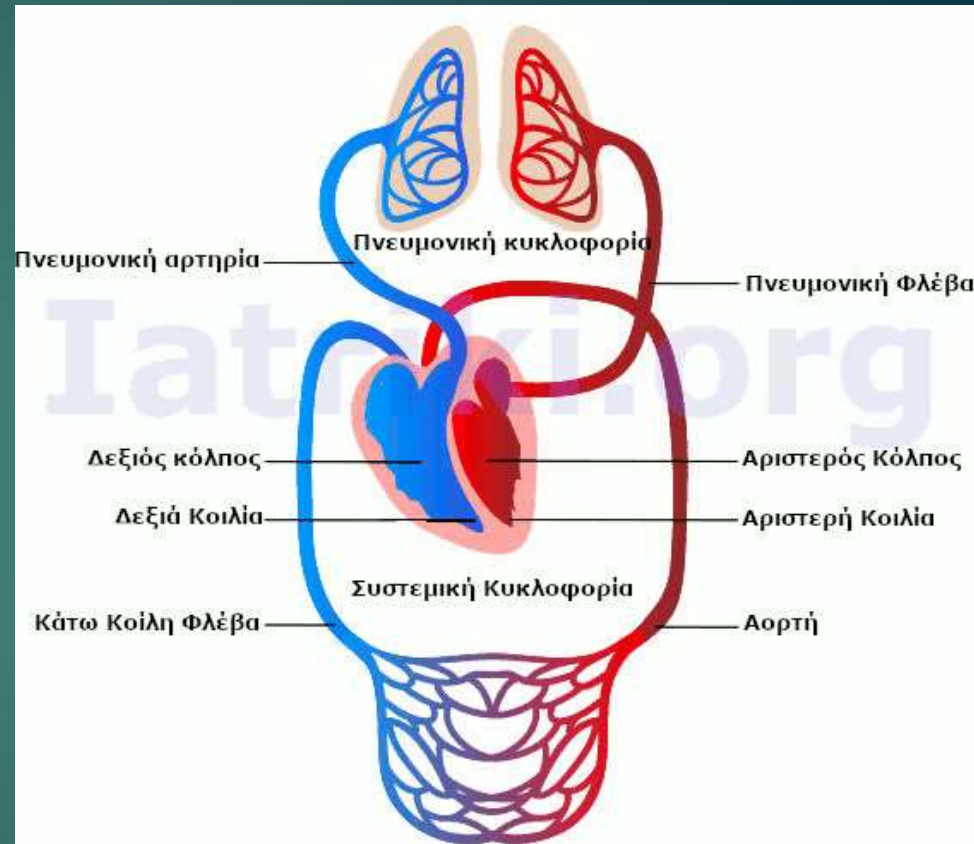


Πνευμονική κυκλοφορία

► Πρωταρχική λειτουργία είναι να φέρει το φλεβικό αίμα σε επαφή με τις κυψελίδες για να γίνει η ανταλλαγή αερίων, μέσω της **άνω και κάτω κοίλης φλέβας**

► Δευτερεύουσες λειτουργίες:

1) **Προστασία έναντι θρόμβων και εμβολών:** πνευμονικά αρτηριακά αγγεία και τριχοειδή διαλύουν τους θρόμβους και απορροφούν τα έμβολα και δεν τα αφήνουν να εισέλθουν σε αγγεία άλλων οργάνων

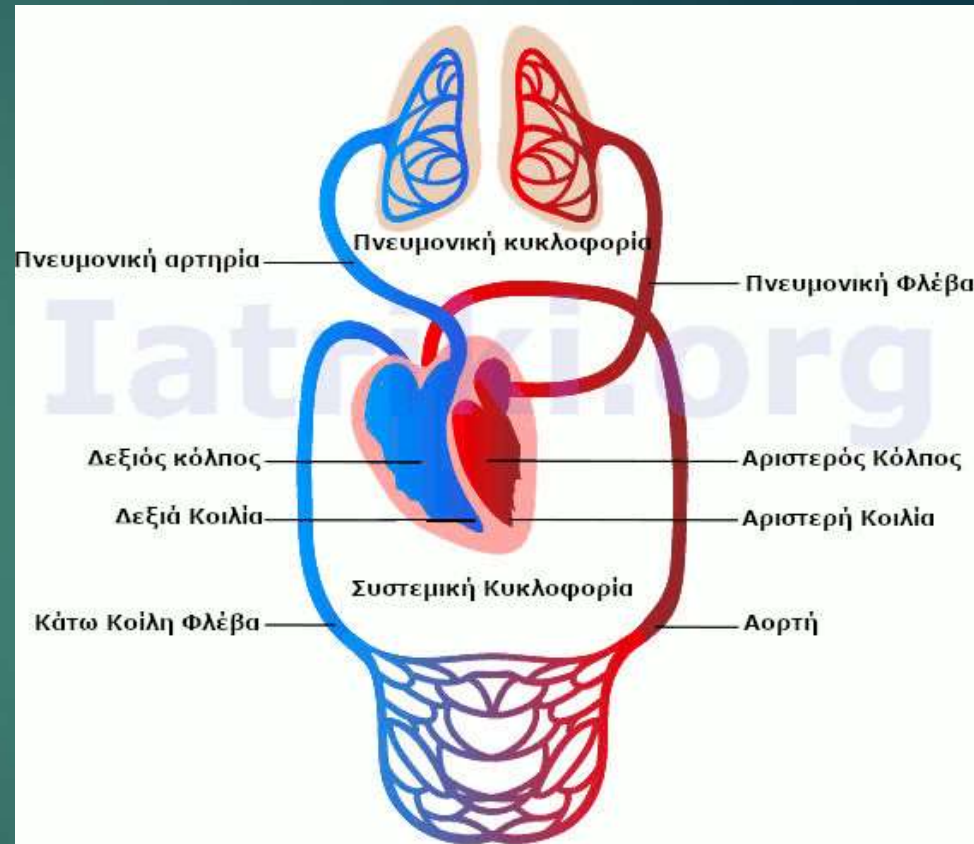


Πνευμονική κυκλοφορία

► Δευτερεύουσες λειτουργίες:

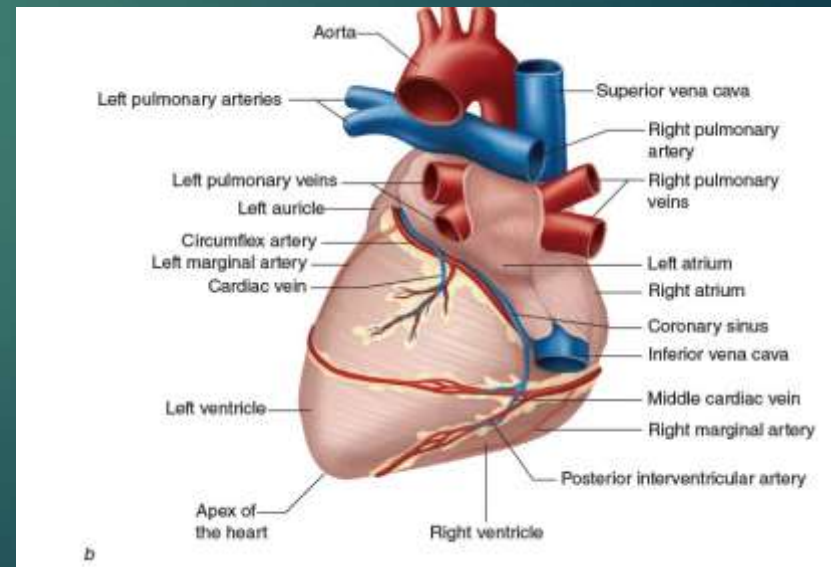
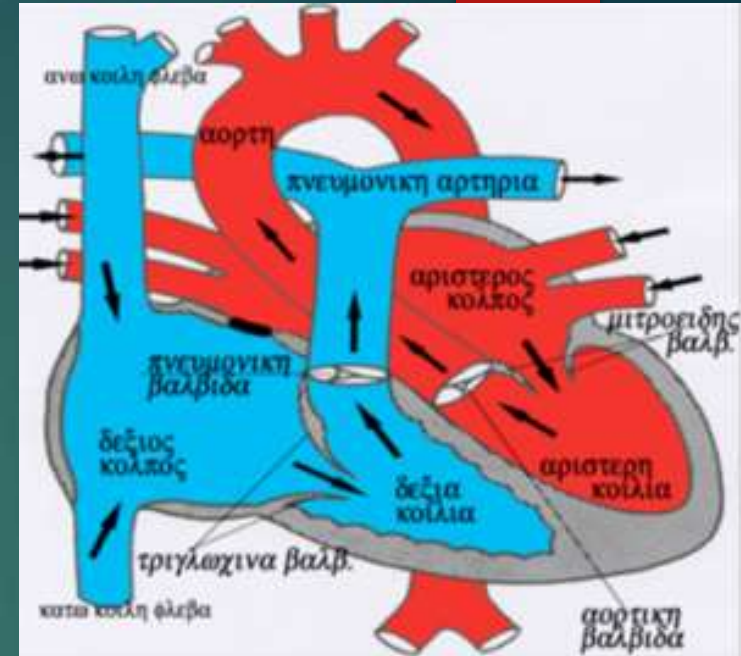
2) **Μεταβολισμός αγγειοδραστικών ορμονών:** μετατροπή αγγειοτενσίνης I σε II μέσω του μετατρεπτικού ενζύμου της αγγειοτενσίνης (ACE) το οποίο βρίσκεται στα πνευμονικά τριχοειδή

3) **Δεξαμενή αίματος:** περίπου ~500 ml αίματος (10%) βρίσκεται στην πνευμονική κυκλοφορία. Κατά τη διάρκεια μιας αιμορραγικής καταπληξίας μέρος του μπορεί να κινητοποιηθεί για να βελτιωθεί η καρδιακή παροχή



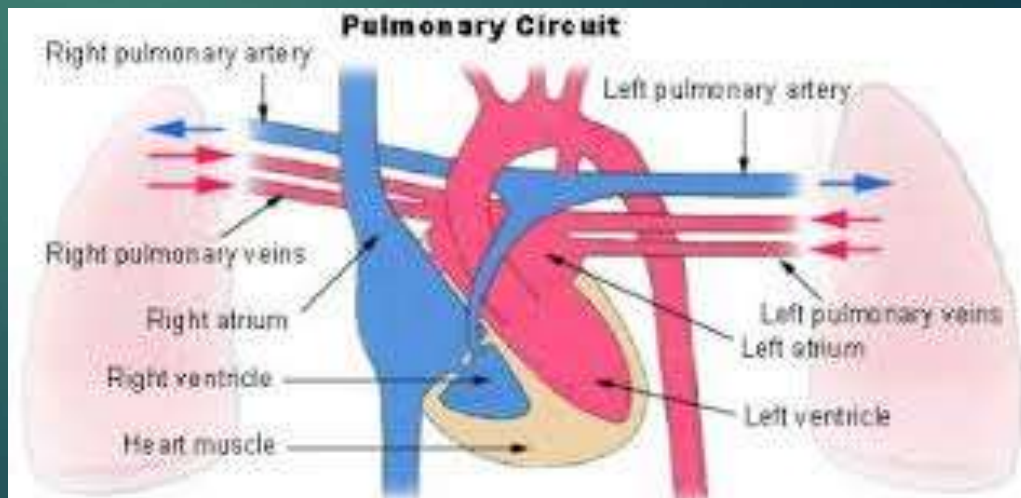
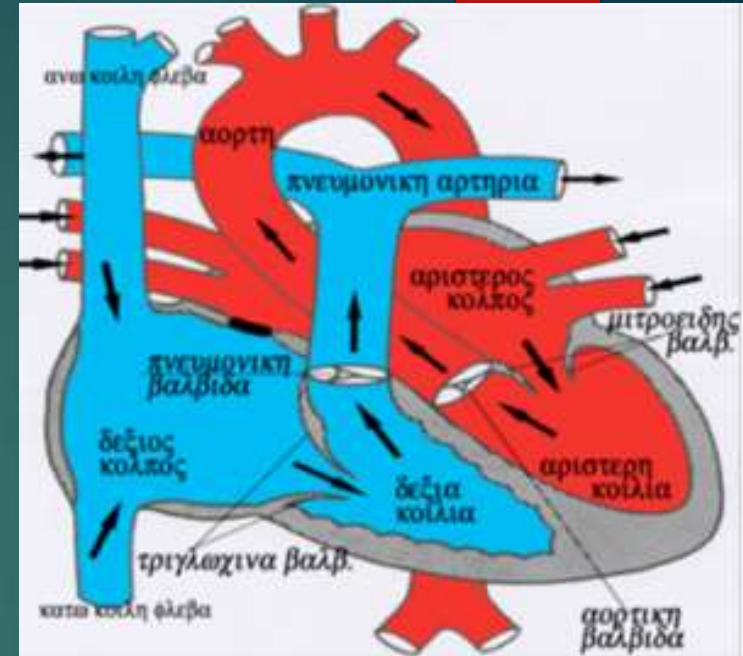
Πνευμονική κυκλοφορία

- ▶ Η **πνευμονική αρτηρία** ξεκινά από την δεξιά κοιλία και διακλαδίζεται (**αριστερή & δεξιά**) και μεταφέρει μη οξυγονωμένο αίμα μέχρι τα τριχοειδή γύρω από τις κυψελίδες
- ▶ Οι πνευμονικές αρτηρίες έχουν λεπτότερα τοιχώματα σε σχέση με τις συστηματικές αρτηρίες.
- ▶ Κάθε μία αρτηρία εισέρχεται στον αντίστοιχο πνεύμονα και διακλαδίζεται περαιτέρω στο βρογχικό δένδρο
- ▶ Μικρότερες διακλαδώσεις που συνδέουν τους κλάδους των βρόγχων μέχρι τα τελικά βρογχιόλια
- ▶ Ανταλλαγή αερίων



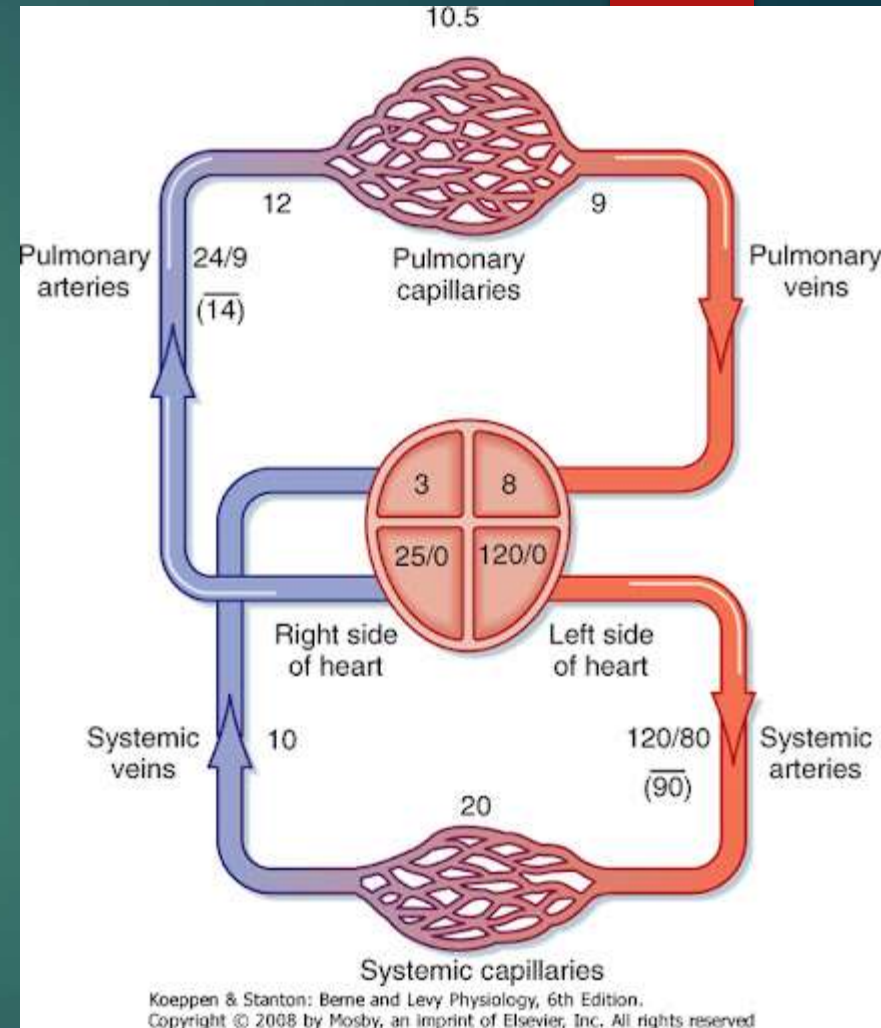
Πνευμονική κυκλοφορία

- ▶ Τα τριχοειδή μεταφέρουν οξυγονωμένο αίμα από τους πνεύμονες. Στην πορεία μετατρέπονται σε φλεβίδια και στην συνέχεια στις φλέβες μέσα στους λοβούς του πνεύμονα
- ▶ Από εκεί καταλήγουν σε 4 **πνευμονικές φλέβες** (2 από κάθε πνεύμονα) που εκβάλουν στον αριστερό κόλπο και στη συνέχεια στη συστηματική κυκλοφορία



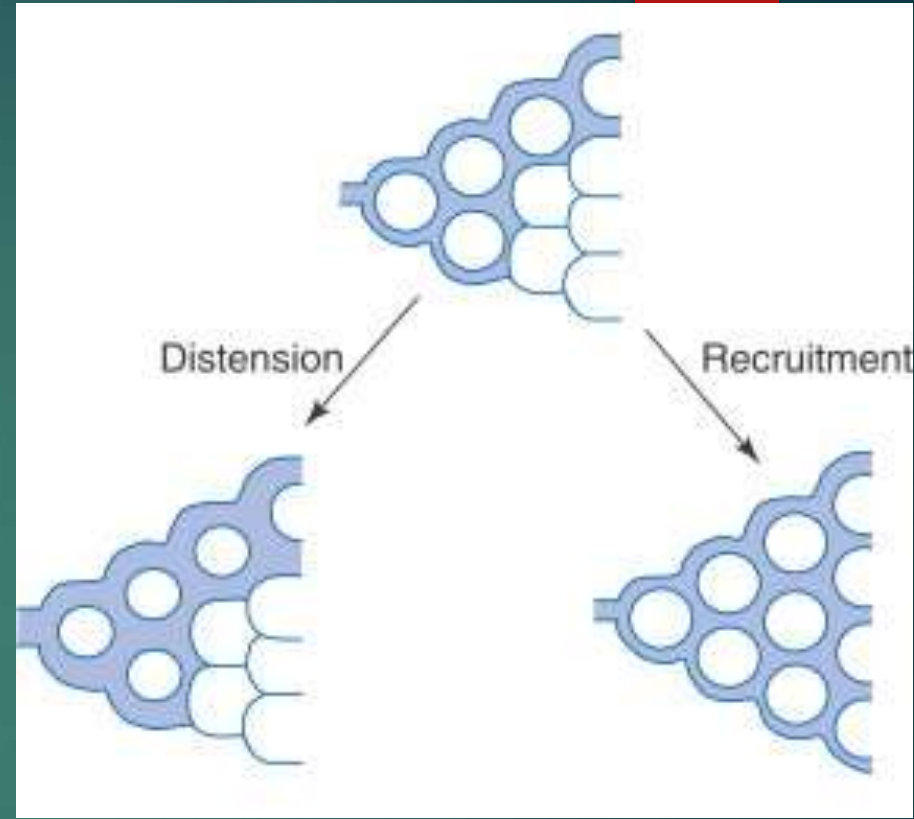
Σύστημα χαμηλής πίεσης

- ▶ Σε αντίθεση με την συστηματική κυκλοφορία, η πνευμονική κυκλοφορία αποτελεί ένα σύστημα υψηλής ροής, χαμηλής πίεσης και μειωμένης αντίστασης
- ▶ Μέση πνευμονική αρτηριακή πίεση ~ 15 mm Hg σε σύγκριση με τα ~ 90 mm Hg στην αορτή
- ▶ Η οδηγός πίεση για την πνευμονική ροή είναι η διαφορά μεταξύ της μέσης πίεσης στην πνευμονική αρτηρία και την πίεση που επικρατεί στον αριστερό κόλπο ($\sim 15 > \sim 5$ mm Hg)



Σύστημα μειωμένης αντίστασης

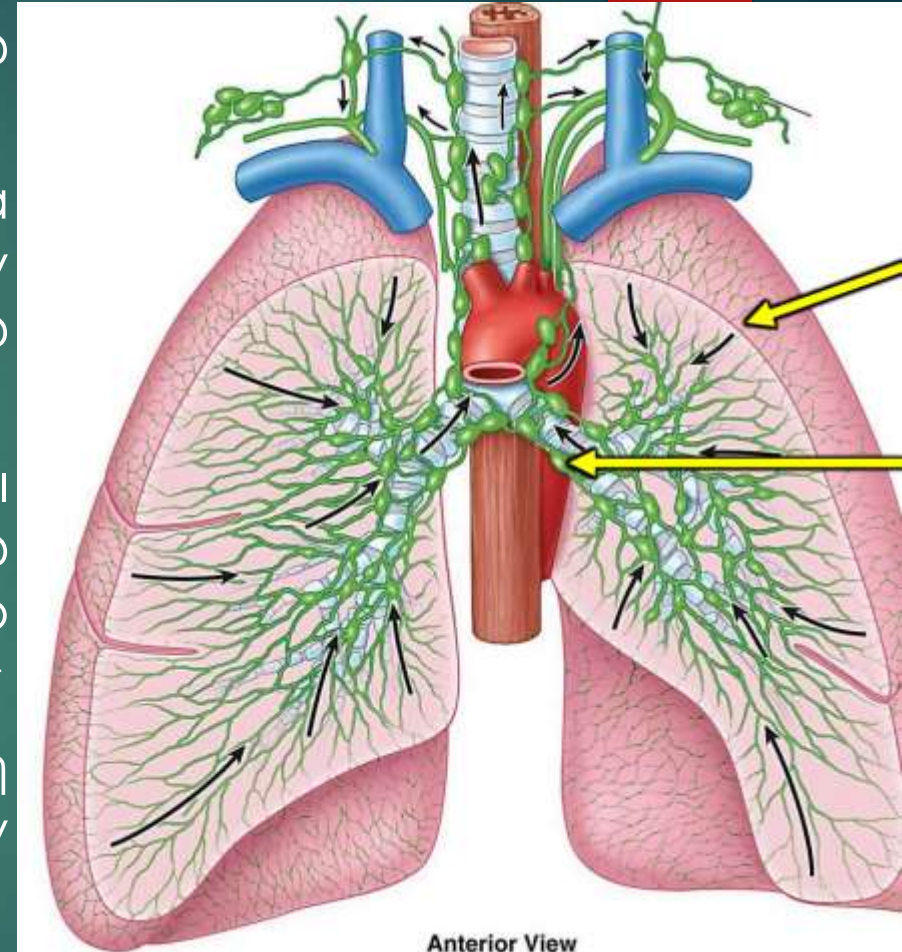
- ▶ Η πνευμονική κυκλοφορία μειώνει την αντίσταση όταν η πνευμονική αρτηριακή πίεση αυξάνεται όπως φαίνεται κατά την αύξηση της καρδιακής παροχής. Αυτές οι αντιδράσεις είναι σε αντίθεση με την συστηματική κυκλοφορία όπου αύξηση της πίεσης αυξάνει την αντίσταση ($R = \Delta P / Q$)
- ▶ **Τριχοειδική επιστράτευση:** κλειστά τριχοειδή λόγω χαμηλής πίεσης ανοίγουν όταν αυξηθεί η αιματική ροή μειώνοντας την συνολική αντίσταση
- ▶ **Διάταση:** αύξηση διαμέτρου (μεγάλη ευενδοτότητα των τριχοειδών)



1. Μειώνεται η ταχύτητα της ροής, ώστε να υπάρχει περισσότερος χρόνος για την ανταλλαγή αερίων
2. Αύξηση τριχοειδικής επιφάνειας που επιτρέπει μεγαλύτερη διάχυση
3. Διατηρεί την τριχοειδική πίεση χαμηλή εμποδίζοντας την δημιουργία οιδήματος

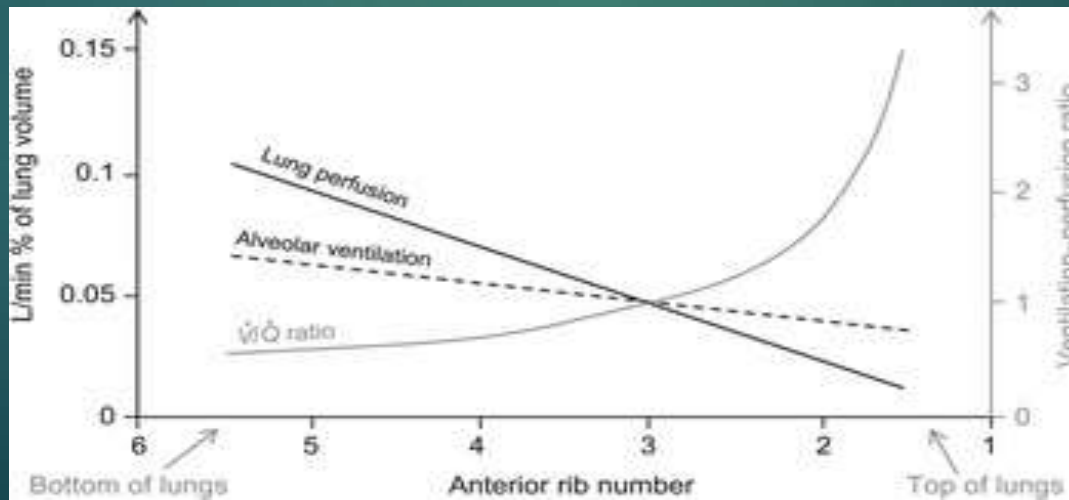
Λεμφικό σύστημα

- ▶ Οι πνεύμονες έχουν πολύ εκτεταμένο λεμφικό σύστημα
- ▶ Τα λεμφαγγεία βρίσκονται κοντά στα τελικά βρογχιόλια για την αποστράγγιση της περίσσειας του υγρού από τον ενδιάμεσο χώρο
- ▶ Πνευμονικό οίδημα εμφανίζεται όταν περίσσεια υγρού συσσωρεύεται στον διάμεσο πνευμονικό χώρο και στις κυψελίδες
- ▶ Προκύπτει επειδή η τριχοειδική διήθηση είναι περισσότερη από την απομάκρυνση



Αναλογία αερισμού αναπνοής

- ▶ V/Q : σε έναν υγιή ενήλικα περίπου 4L αέρα εισέρχονται και απομακρύνονται από τις κυψελίδες ενώ τα πνευμονικά τριχοειδή δέχονται όλη την καρδιακή παροχή ~5L ($V/Q=0.8$)
- ▶ Ο αερισμός και η ροή του αίματος εξαρτώνται από την βαρύτητα (αυξάνονται στα κατώτερα τμήματα του πνεύμονα, βάση)
- ▶ Q βάσης $\times 5$ Q κορυφής, V βάσης $\times 2$ V κορυφής $\Rightarrow$
 V/Q βάσης $< V/Q$ κορυφής ($\sim 0,6 < \sim 3$)
- ▶ Κορυφή-υπεραερισμός $\Rightarrow PaO_2$ υψηλή, $PaCO_2$ χαμηλή
- ▶ Βάση - υπεραιμάτωση $\Rightarrow PaO_2$ χαμηλότερη, $PaCO_2$ υψηλότερη



Βρογχική κυκλοφορία

- ▶ Ζώνη αγωγής των αεροφόρων οδών διαφορετική της πνευμονικής κυκλοφορίας. Ανήκει στην συστηματική κυκλοφορία
- ▶ Πρωταρχική λειτουργία είναι η θρέψη (οξυγονωμένο αίμα) της ζώνης αγωγής των αεροφόρων οδών (όχι για ανταλλαγή αερίων)
- ▶ Βρογχικές αρτηρίες προέρχονται απευθείας από την αορτή ή τις μεσοπλευρίες αρτηρίες και αιματώνουν την τραχεία, βρόγχους και βρογχιόλια, συνδετικό ιστό του πνεύμονα και τον υπεζοκότα
- ▶ Βρογχικές φλέβες εκβάλλουν στην άζυγο φλέβα αλλά και εν μέρει στις πνευμονικές φλέβες
- ▶ Βρογχική αιματική ροή είναι περίπου το 1% της καρδιακής παροχής αλλά σε συγκεκριμένες φλεγμονώδεις διαταραχές (π.χ. χρόνια βρογχίτιδα) μπορεί να φτάσει και το 10% της καρδιακής παροχής
- ▶ Το μόνο τμήμα της αιματικής κυκλοφορίας που υφίσταται αγγειογένεση (δημιουργία νέων αγγείων) -> πολύ σημαντικό στο να παρέχει παράπλευρη κυκλοφορία στο πνευμονικό παρέγχυμα όταν διαταράσσεται η πνευμονική κυκλοφορία (π.χ. περίπτωση θρόμβου ή εμβολής)

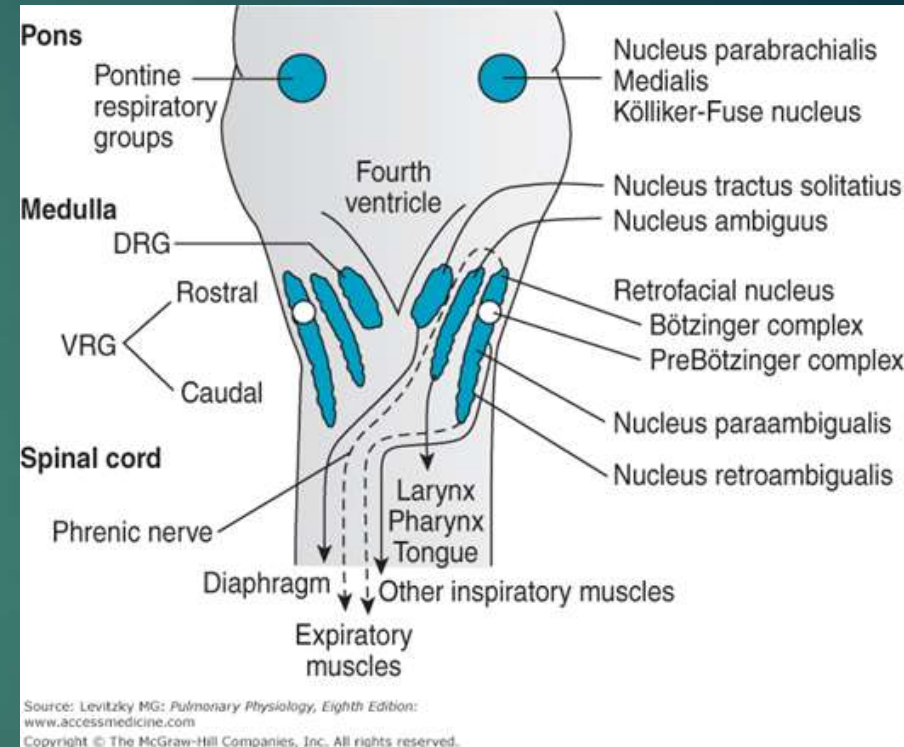
- 
- ▶ Αιμάτωση του αναπνευστικού συστήματος
 - ▶ Ρύθμιση της αναπνοής και του αερισμού

Ρύθμιση αερισμού

- ▶ Ελέγχεται από το ΑΝΣ
- ▶ Μπορούμε ωστόσο να ασκήσουμε και εκούσιο έλεγχο
- ▶ Βασικός ρυθμός της αναπνοής γεννάται στον προμήκη μυελό και τροποποιείται από σήματα που προέρχονται από το αίμα, τις ανώτερες φλοιϊκές περιοχές και από τασεοϋποδοχείς
- ▶ Αναπνοή εξαρτάται από την κυκλική διέγερση πολλών μυών που επηρεάζουν τον όγκο του θώρακα (σύζευξη μυών που ελέγχουν τις αεροφόρους οδούς με τους μυς που συμβάλλουν στην έναρξη της κίνησης για την αναπνοή)
- ▶ Εισπνοή -> αυξανόμενη ενεργοποίηση εισπνευστικών μυών (κυρίως του διαφράγματος)
- ▶ Εκπνοή -> ταχεία μείωση της διέγερσης των εισπνευστικών μυών με αποτέλεσμα την παθητική εκπνοή από την ελαστική επαναφορά των πνευμόνων και του θωρακικού τοιχώματος
- ▶ Σε καταστάσεις άσκησης απαιτείται η ενεργοποίηση επιπρόσθετων μυών

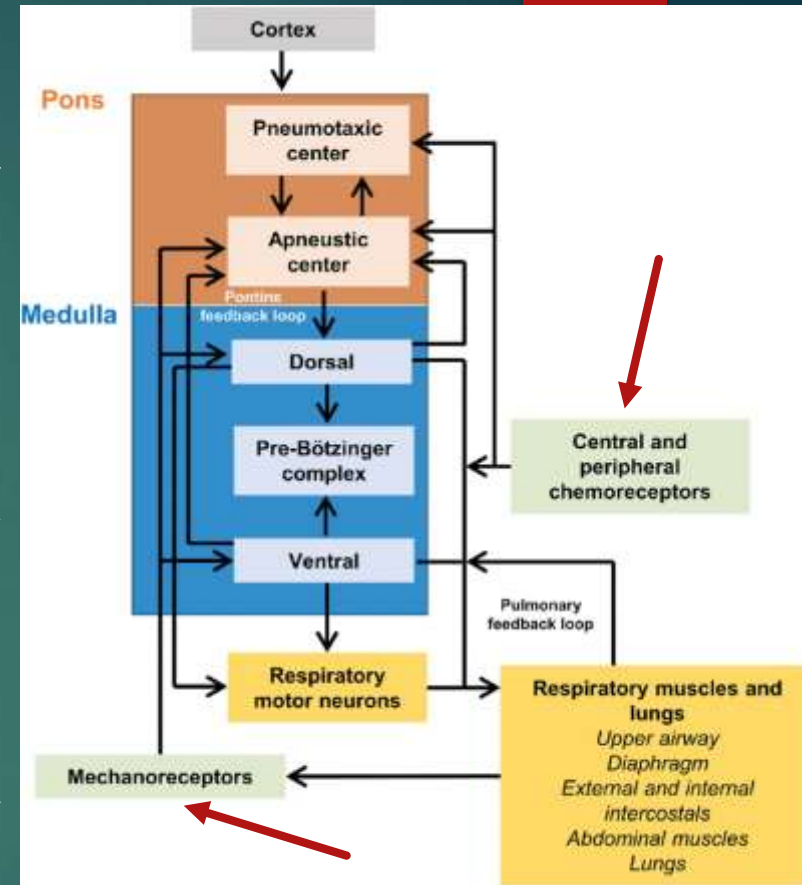
Έλεγχος βασικού ρυθμού

- ▶ Προμήκης μυελός
- ▶ Ραχιαία εισπνευστική ομάδα (DRG) και κοιλιακή εισπνευστική ομάδα (VRG) είναι οι δύο ομάδες νευρώνων που παράγουν $\Delta\Delta$ με ένα πρότυπο που συγχρονίζεται με την αναπνοή
- ▶ Νευρώνες DRG κατά κύριο λόγο είναι ενεργοί κατά την εισπνοή
- ▶ Νευρώνες VRG ενεργοί τόσο κατά την εκπνοή όσο και κατά την εισπνοή
- ▶ Διασύνδεση μεταξύ τους που τους δίνει την δυνατότητα να ανταποκρίνονται συγχρονισμένα



Έλεγχος βασικού ρυθμού

- ▶ Η ραχιαία εισπνευστική ομάδα (DRG) είναι η κύρια υπεύθυνη ομάδα για την εισπνοή, παράγοντας εισπνευστικές ώσεις και στέλνοντας ερεθίσματα στο διάφραγμα μέσω του φρενικού νεύρου
- ▶ Η ομάδα VRG ενεργοποιείται κυρίως σε έντονη αναπνοή, βίαιη εκπνοή
- ▶ Ο προμήκης μυελός είναι ο αυτόματος ρυθμιστής (βηματοδότης) με κύριο ερέθισμα τα επίπεδα CO_2 , pH καθώς και τη διάταση των πνευμόνων
- ▶ Ο προμήκης μυελός σε συνεργασία με την γέφυρα ρυθμίζουν την μετάβαση εισπνοής-εκπνοής ενώ ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα επιτρέπουν τον εκούσιο έλεγχο της αναπνοής



Μηχανοϋποδοχείς και χημειοϋποδοχείς είναι υπεύθυνοι για την αντίληψη των αλλαγών και την μετάδοση ερεθισμάτων προς τον προμήκη μυελό

Μηχανοϋποδοχείς



- ▶ Παλίνδρομες ώσεις που προέρχονται από την περιφέρεια για την προσαρμογή της συχνότητας και του αναπνεόμενου όγκου
- ▶ Δρουν επίσης ως αμυντικά αντανακλαστικά προστατεύοντας τους πνεύμονες από βλάβη
- ▶ Μηχανοϋποδοχείς του πνεύμονα και του θωρακικού τοιχώματος
- ▶ Βρίσκονται στις αεροφόρους οδούς και το πνευμονικό παρέγχυμα

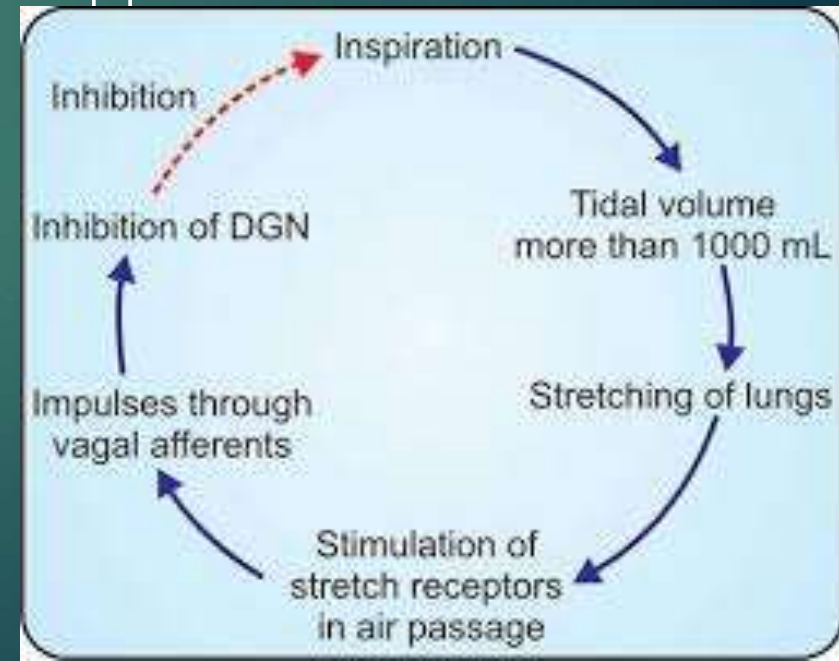
3 ομάδες

1. Πνευμονικοί τασεοϋποδοχείς
2. Υποδοχείς που διεγείρονται από ερεθιστικές ουσίες
3. J υποδοχείς

Προσαγωγές ίνες για την μεταφορά σημάτων μέσω του πνευμονογαστρικού νεύρου

Πνευμονικοί τασεοϋποδοχείς

- ▶ Εμμέλες προσαγωγές ίνες ανάμεσα στα στρώματα λείων μυϊκών ινών που περιβάλλουν τις αεροφόρες οδούς
- ▶ Διεγείρονται ανάλογα της πίεσης που ασκείται στο εσωτερικό των αγωγών
- ▶ **Αίσθηση όγκου πνεύμονα -> όσο συντηρείται η διάταση του πνεύμονα τόσο στέλνουν ώσεις**
- ▶ Αντακλαστικό έκπτυξης πνεύμονα (Hering-Breuer): σταματά την εισπνοή όταν οι πνεύμονες διαταθούν υπερβολικά
- ▶ Παλίνδρομη ανατροφοδότηση που μικραίνει τον χρόνο εισπνοής και οδηγεί σε χάλαση των λείων μυϊκών ινών όταν ο αναπνεόμενος όγκος είναι μεγαλύτερος του φυσιολογικού
- ▶ Πιο σημαντικό ρόλο στα **βρέφη**



Διέγερση από ερεθιστικές ουσίες

- ▶ Ειδικοί υποδοχείς (**irritant receptors**) εμμέλων προσαγωγών ινών που βρίσκονται στους μεγαλύτερους αεραγωγούς
- ▶ Ταχέως προσαρμοζόμενοι
- ▶ Αντιδρούν στον ερεθισμό τους με την επαφή ή με επιβλαβείς ουσίες όπως ο καπνός και η σκόνη
- ▶ Ερεθίζονται από ουσίες που απελευθερώνονται τοπικά ως απάντηση στην αλλεργία και τη φλεγμονή (ισταμίνη, σεροτονίνη, προσταγλανδίνες)
- ▶ **Η δραστηριότητα τους είναι αντιστρόφως ανάλογη της πνευμονικής ευενδοτότητας και θεωρείται ότι χρησιμεύουν ως αισθητήρες των μεταβολών της ευενδοτότητας**
- ▶ **Στην ουσία προάγουν την αίσθηση έναρξης παθολογικών συμβάντων**
- ▶ Ο ερεθισμός τους προκαλεί βήχα, ασθμαίνουσα αναπνοή, παρατεταμένη εισπνοή και βρογχοσυστολή

ΥΠΟΔΟΧΕΙΣ

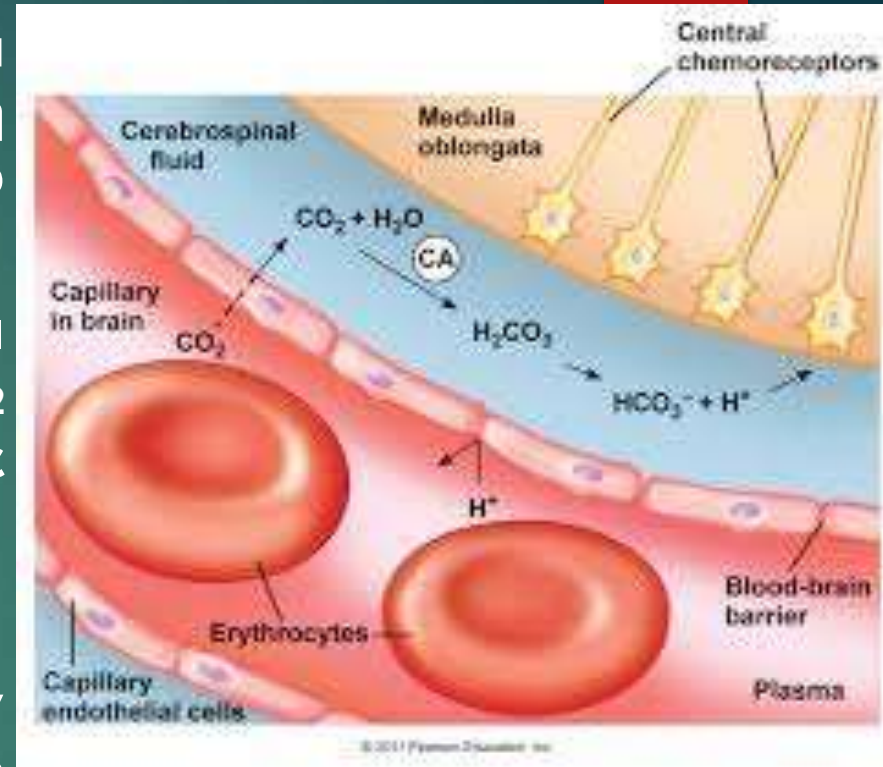
- ▶ Παραπνευμονικοί τριχοειδικοί υποδοχείς που βρίσκονται στον διάμεσο χώρο των πνευμόνων κοντά στα τριχοειδή
- ▶ Αμύελες νευρικές ίνες
- ▶ Δύο ομάδες: **πνευμονικές C ίνες**, παρακείμενα στις κυψελίδες και είναι προσβάσιμες από την πνευμονική κυκλοφορία και οι **βρογχικές C ίνες**, προσβάσιμες από την βρογχική κυκλοφορία και βρίσκονται στους αεραγωγούς
- ▶ Αντιδρούν στον ερεθισμό από **βλάβη του πνεύμονα (φλεγμονή), οξεία πνευμονική αγγειακή συμφόρηση και χημικούς παράγοντες**
- ▶ Ευαίσθητοι σε μηχανικές επιδράσεις (**οίδημα, πνευμονική εμβολή**)
- ▶ Η ενεργοποίηση τους διεγείρει την αναπνοή: σε **χαμηλό ερεθισμό** προκαλούν ταχεία ρηχή αναπνοή, βρογχόσπασμο, αύξηση εκκρίσεων και καταστολή του καρδιαγγειακού (βραδυκαρδία, υπόταση). Σε **οξύ ερεθισμό** προκαλούν άπνοια και στη συνέχεια ταχεία αναπνοή
- ▶ Λειτουργούν σαν **συναγερμός** σε περίπτωση βλάβης, ιδιαίτερα όταν υπάρχει συσσώρευση υγρού

Ιδιοδεκτικοί υποδοχείς

- ▶ Μυϊκές άτρακτοι στους μεσοπλευρίους μύες (θωρακικό τοίχωμα)
- ▶ Ανίχνευση διαφορών στην τάση μεταξύ των ενδοατράκτιων και εξωατράκτιων μυϊκών ινών
- ▶ Προσαρμογή αναπνευστικής προσπάθειας
- ▶ Πιθανώς συμμετέχουν στη διέγερση του πνευμονικού αερισμού κατά τη διάρκεια της σωματικής άσκησης

Κεντρικοί χημειοϋποδοχείς

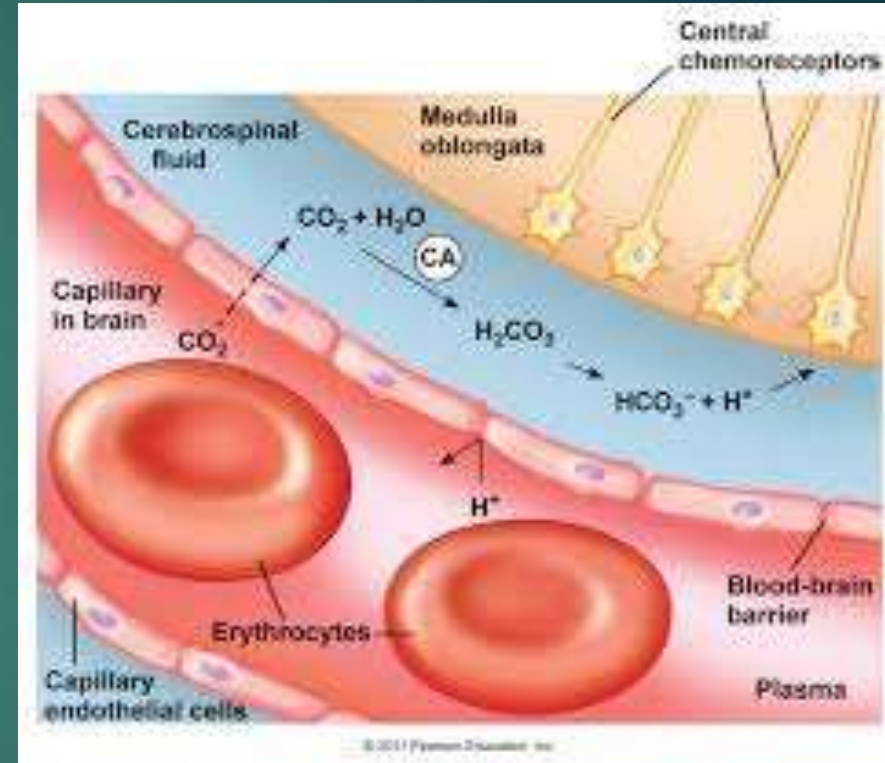
- ▶ Ενεργοποιούνται από τα **επίπεδα ιόντων υδρογόνου** και τη **σύσταση των αναπνευστικών αερίων** του αρτηριακού αίματος
- ▶ Η αναπνευστική δραστηριότητα είναι **αντιστρόφως ανάλογη με την P_{O_2}** στο αρτηριακό αίμα και **ανάλογη με την PCO_2 και την $[H^+]$** .
- ▶ **Κεντρικοί και περιφερικοί**
- ▶ Οι κεντρικοί βρίσκονται στον προμήκη μυελό και ανιχνεύουν το pH του εγκεφαλονωτιαίου υγρού (ΕΝΥ)
- ▶ Το ΕΝΥ διαχωρίζεται από το αίμα με τον αιματοεγκεφαλικό φραγμό: τα ιόντα H^+ δεν περνούν, το CO_2 τον διαπερνά σχετικά εύκολα



Ο αιματοεγκεφαλικός φραγμός περιορίζει την παθητική κίνηση μεγάλων ή φορτισμένων μορίων και λειτουργεί εκλεκτικά επάγοντας την ενεργητική μεταφορά διάφορων ουσιών που συμμετέχουν στον καθορισμό της σύστασης του ΕΝΥ

Κεντρικοί χημειοϋποδοχείς

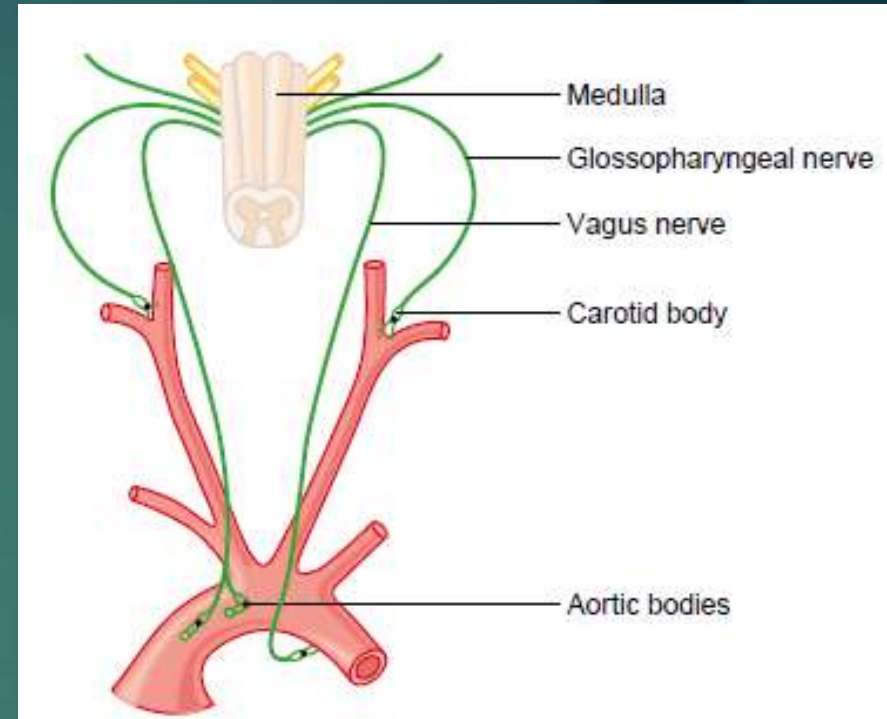
- ▶ Με αυτόν τον τρόπο το ΕΝΥ είναι ελεύθερο πρωτεϊνών, ενώ έχει χαμηλές συγκεντρώσεις διττανθρακικών (HCO_3^-)
- ▶ Εφόσον τα ιόντα H^+ δεν περνούν τον ΑΕΦ οι μεταβολές της συγκέντρωσης του στο αίμα δεν αντανakλώνται στο ΕΝΥ
- ▶ Ωστόσο, το CO_2 τον διαπερνά σχετικά εύκολα και προκαλεί αύξηση της $[\text{H}^+]$ προκαλώντας μείωση του pH.
- ▶ Η μείωση του pH οδηγεί στην ενεργοποίηση των κεντρικών χημειοϋποδοχέων
- ▶ Συνεπώς ανιχνεύουν έμμεσα την αύξηση της PCO_2



Αύξηση αερισμού

Περιφερικοί χημειοϋποδοχείς

- ▶ Βρίσκονται στα **καρωτιδικά** (πλησίον της βάσης του κρανίου και στέλνουν σήματα μέσω του γλωσσοφαρυγγικού νεύρου) και **αορτικά σωματίδια** (μέσω του πνευμονογαστρικού νεύρου)
- ▶ Ανιχνεύουν τις **αλλαγές στην PCO_2 , την PO_2 και στο pH στο πλάσμα του αρτηριακού αίματος**
- ▶ **Ενεργοποιούνται από την αύξηση της PCO_2 , την μείωση του pH (αύξηση H^+) και την μείωση της PO_2**



Αύξηση αερισμού

Περιφερικοί χημειοϋποδοχείς

- ▶ Γραμμική σχέση σε σχέση με την αύξηση του PCO_2
- ▶ Προοδευτική αύξηση όσο πέφτει το pH (λογαριθμική σχέση)

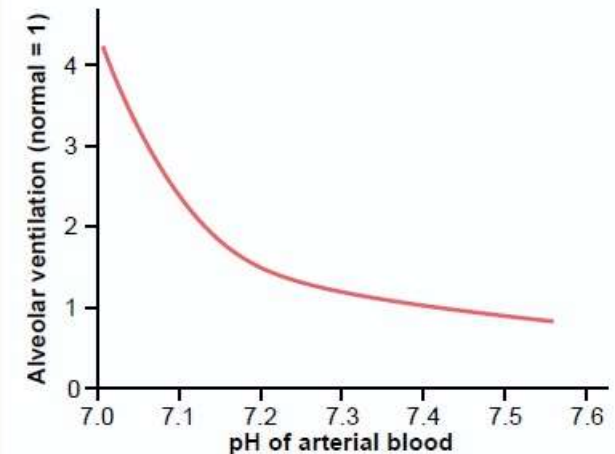
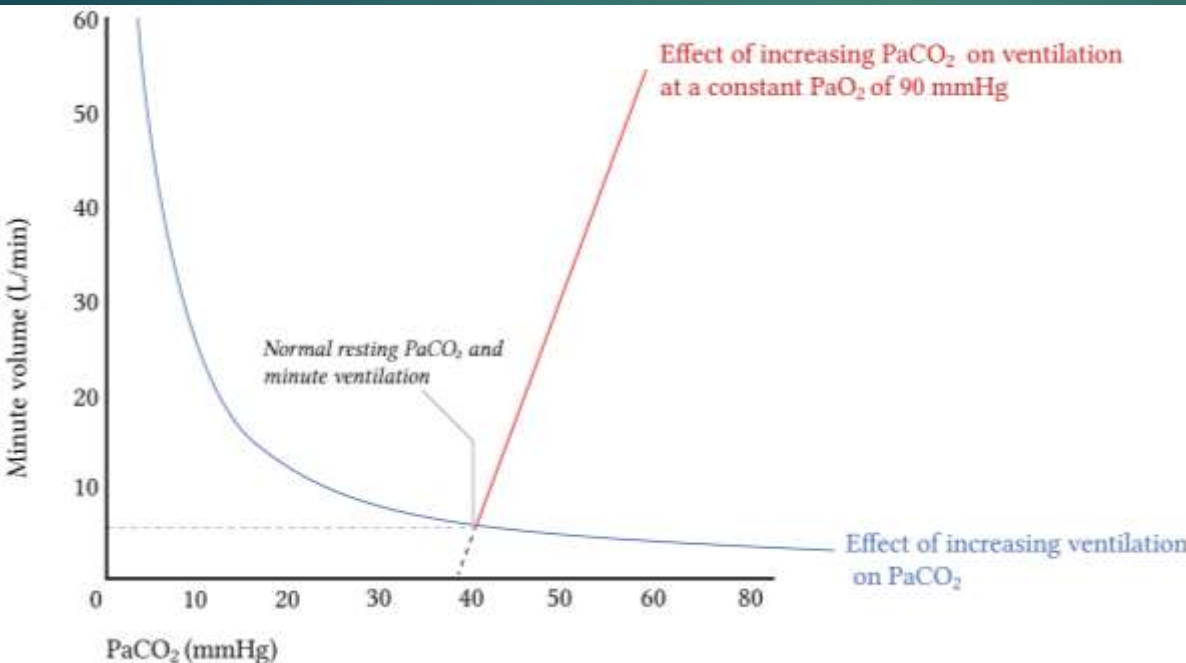


Figure 30-3

Effect of blood pH on the rate of alveolar ventilation.

Περιφερικοί χημειοϋποδοχείς

- ▶ Η απάντηση στην υποξία εξαρτάται από την PO_2
- ▶ Η επίδραση της υποξίας στην ενεργοποίηση των υποδοχέων **γίνεται ουσιαστική όταν η PO_2 πέσει κάτω από τα ~ 60 mm Hg**
- ▶ Οι μη γραμμικές σχέσεις του pH και της PO_2 με τον αερισμό, δείχνουν ότι αυτοί οι δύο παράγοντες ενεργοποιούν τους υποδοχείς σε περιπτώσεις που αποκλίνουν σημαντικά από το φυσιολογικό εύρος (ειδικά όταν προσεγγίζουν καταστάσεις όπως η υποξαιμία και η οξέωση). Ενώ η γραμμική σχέση με την PCO_2 υποδεικνύει ότι το CO_2 είναι ο κυρίαρχος ρυθμιστής του αερισμού

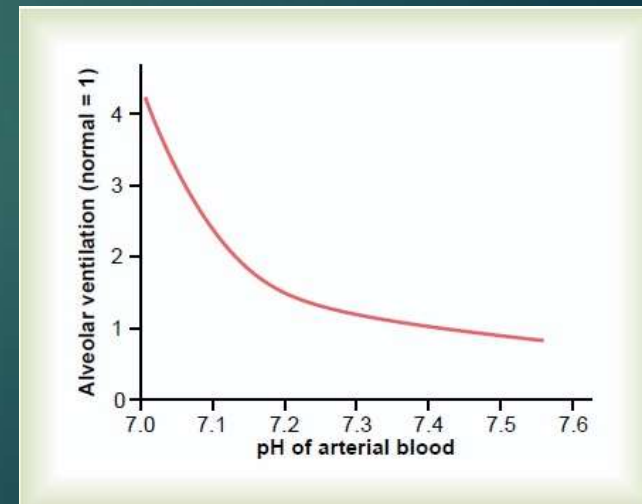
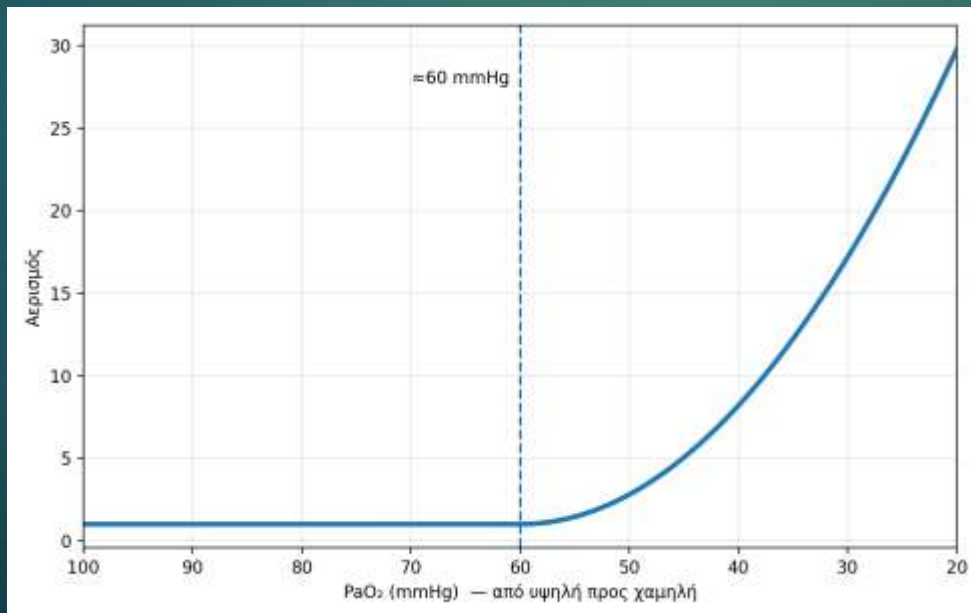


Figure 30-3

Effect of blood pH on the rate of alveolar ventilation.

Συνδεδεμένες χημειοαποκρίσεις

Υποξία



Υποξαιμία
($P_{aO_2} < \phi.τ.$)



Υπεραερισμός



Υποκαπνία λόγω
αυξημένης εκπνοής CO_2



Χαμηλή PCO_2 μειώνει $[H^+]$
συνεπώς αυξάνει το pH



Αναπνευστική αλκάλωση

Υποαερισμός



Υπερκαπνία λόγω
αυξημένης CO_2



Αυξημένη PCO_2 αυξάνει $[H^+]$
συνεπώς μειώνει το pH



Αναπνευστική οξέωση

Συνδεδεμένες χημειοαποκρίσεις

► Άμεση απόκριση σε υψόμετρο



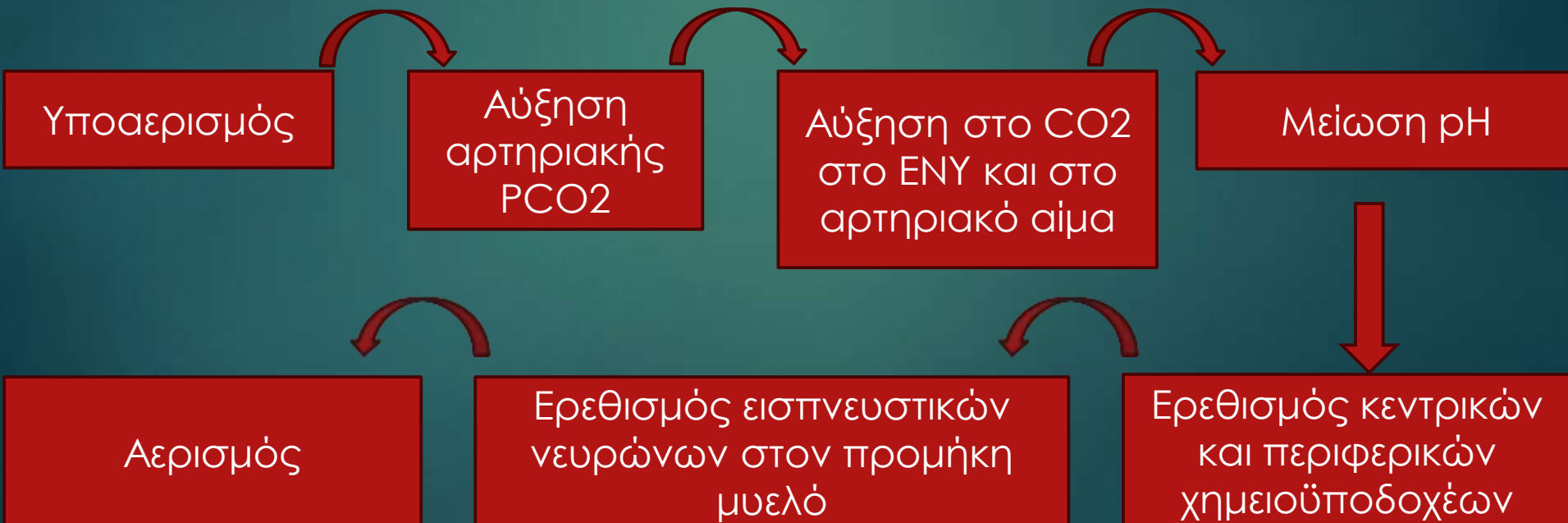
Ο υπεραερισμός οδηγεί σε μείωση της $PaCO_2$ και συνεπώς αύξηση του pH. Η αλκάλωση οδηγεί σε αναστολή των χημειοϋποδοχέων και αναστολή του αερισμού

► **Προσαρμογή:** Κατά τον εγκλιματισμό αποβάλλονται μόρια διττανθρακικού (HCO_3^- , **βάση**) από τους νεφρούς με αποτέλεσμα να μειώνεται το pH. Αυτό οδηγεί στο να επιτραπεί περαιτέρω αύξηση του αερισμού.

► Στην διαδικασία συμμετέχουν και άλλα φαινόμενα που συντελούν στην προσαρμογή σε περιβάλλοντα με χαμηλά επίπεδα οξυγόνου: αυξημένη πνευμονική ροή λόγω αύξησης καρδιακής παροχής αίματος, αυξημένη παραγωγή RBCs και βελτίωση μεταφοράς αερίων

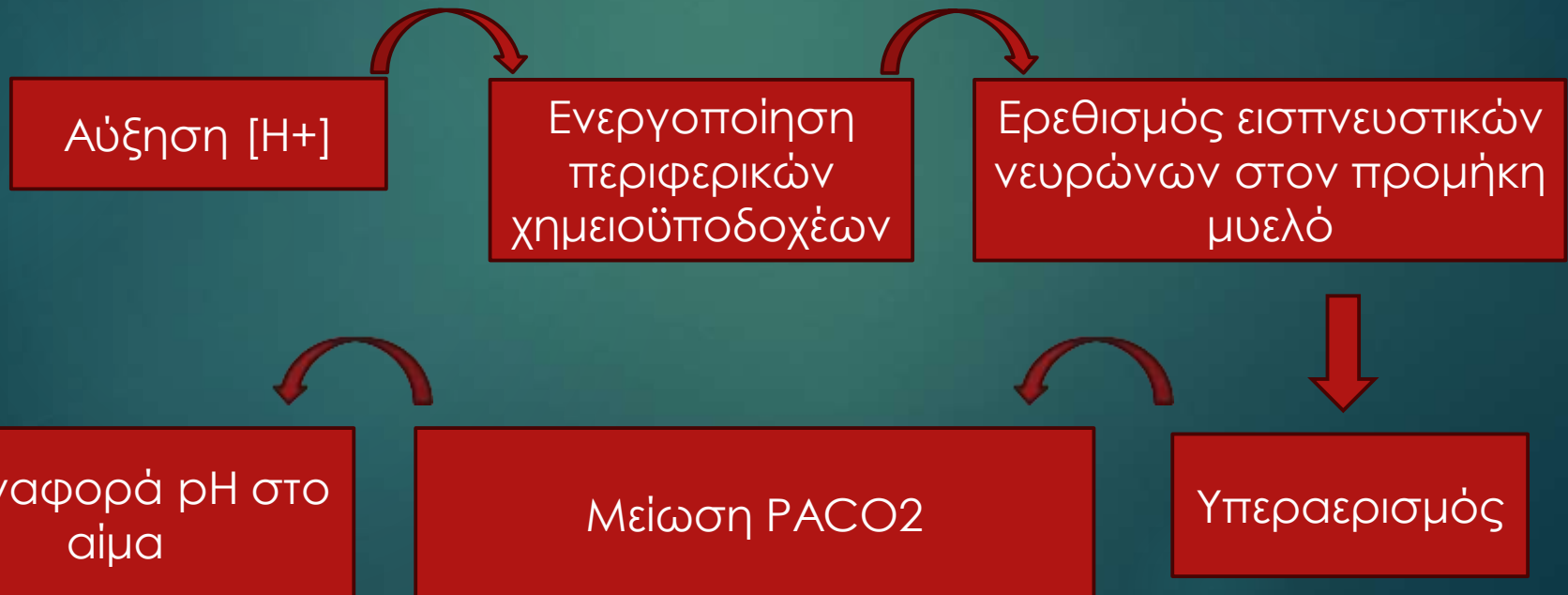
Συνδεδεμένες χημειοαποκρίσεις

- ▶ **Αναπνευστική οξέωση** λόγω περιβαλλοντικής αύξησης του CO_2 (π.χ. από ατυχήματα σε σπήλαια) -> οδηγεί σε υπεραερισμό
- ▶ Αν μια μέτρια υπερκαπνία συντηρείται ο υπεραερισμός σταδιακά μειώνεται λόγω αύξησης του pH
- ▶ Ο υποαερισμός είναι πιο συχνά πρόβλημα βλάβης του μηχανισμού ελέγχου (π.χ. κατά τη διάρκεια αναισθησίας, εγκεφαλική βλάβη, ασθενείς με ΧΑΠ)



Συνδεδεμένες χημειοαποκρίσεις

- ▶ **Μεταβολική οξέωση** λόγω αύξησης της $[H^+]$ προκαλεί υπεραερισμό
- ▶ Ο υπεραερισμός θα οδηγήσει μείωση του pH στο αίμα αλλά όχι στο ΕΝΥ καθώς τα H^+ δεν περνούν τον ΑΕΦ. Συνεπώς, στο ΕΝΥ σταδιακά επάγεται αλκάλωση (λόγω της μείωσης του CO_2 στο αίμα) προκαλώντας περιορισμό του υπεραερισμού (δεν στέλνεται σήμα)
- ▶ Με την πάροδο του χρόνου μειώνονται τα επίπεδα της HCO_3^- στο ΕΝΥ, μειώνοντας την αλκάλωση οδηγώντας σε αύξηση του αερισμού



Συνδεδεμένες χημειοαποκρίσεις

- ▶ Κατά την άσκηση σε φυσιολογικό άτομο δεν προκαλείται υποξαιμία ή υπερκαπνία (οι μεταβολές στις πιέσεις των αερίων και του pH δεν παίζουν ρόλο) αν και ο αερισμός αυξάνεται
- ▶ Ο έλεγχος της αναπνοής βασίζεται σε 3 φάσεις
- ▶ Στην φάση I (νευρολογική φάση) περιλαμβάνεται ενεργοποίηση του προμήκη μυελού με αποτέλεσμα ο ρυθμός της αναπνοής να αυξάνεται παράλληλα με τη διέγερση των μυών ή ως απάντηση στην αυξημένη δραστηριότητα των ιδιοδεκτικών αποδοχεών (αρθρώσεις)
- ▶ Στην φάση II (μεταβολική) εφόσον συνεχίζεται η άσκηση παράγεται CO₂ αυξάνοντας γραμμικά τον αερισμό (**υπέρπνοια**) ανάλογα με την παραγωγή του CO₂ (δεν υπάρχει αλλαγή στην PaCO₂) πιθανώς με ένα σύστημα θετικής ανατροφοδότησης
- ▶ Στην φάση III (αντιρροπούμενη) η ένταση της άσκησης αυξάνεται με αποτέλεσμα να παράγεται αυξημένο γαλακτικό οξύ στο αίμα (λόγω αναερόβιου μεταβολισμού των μυών) -> ανάπτυξη μεταβολικής οξέωσης -> ενεργοποίηση αερισμού

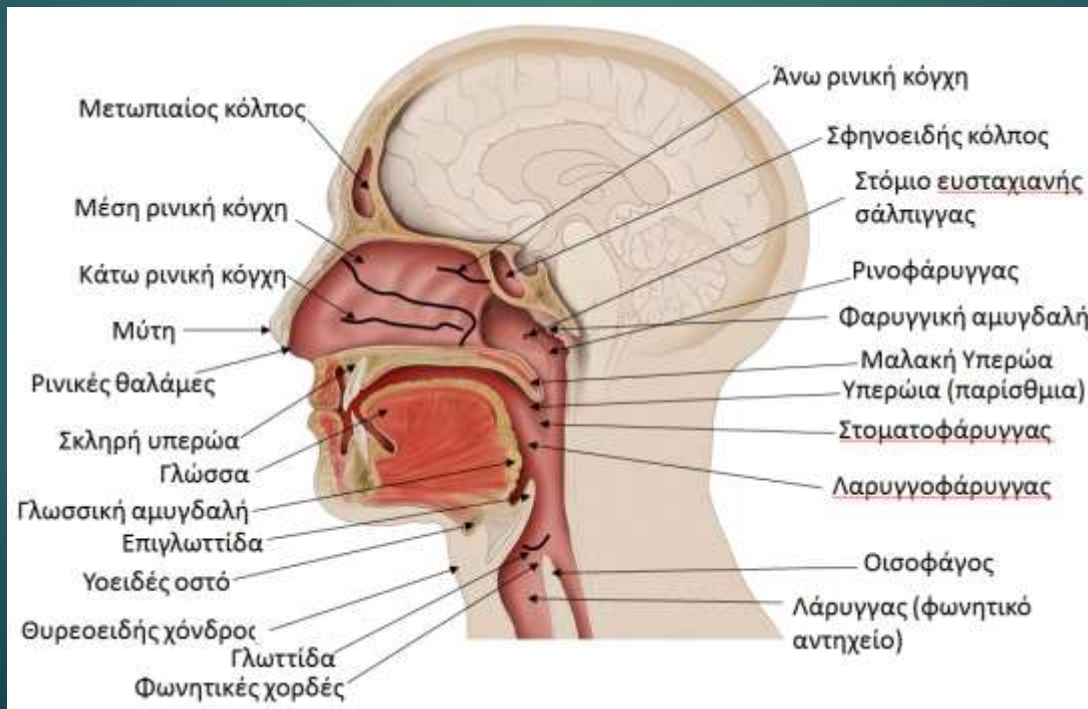
Ρυθμίσεις & αντανάκλαστικά



- ▶ **Η αύξηση της ΑΠ** μπορεί να προκαλέσει αντανάκλαστικό υποαερισμό ή άπνοια λόγω του ερεθισμού των υποδοχέων του αορτικού τόξου και του καρωτιδικού κόλπου. Αντίστροφα, η ελάττωση της ΑΠ μπορεί να οδηγήσει υποαερισμό σε 3 φάσεις
- ▶ Κατά τη διάρκεια του **ύπνου** η ρύθμιση γίνεται αυτόματα (προμήκης μυελός). Ωστόσο τα ερεθίσματα που ενεργούν στους υποδοχείς μειώνονται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ευαισθησία του οργανισμού στις μεταβολές της πίεσης των αερίων. Αν προκληθεί μια μικρή πτώση του PCO₂ μπορεί να προκαλέσει άπνοια ενώ η αναπνοή είναι πιο ασταθής κατά την φάση REM (μεσοδιαστήματα ταχύπνοιας εξισορροπούνται με μεσοδιαστήματα άπνοιας)
- ▶ Ο **λόξυγκας** είναι σπασμωδική σύσπαση του διαφράγματος ακολουθούμενη από κλείσιμο της γλωττίδας προκαλώντας στιγμιαία διακοπή του αέρα
- ▶ Ο **παρμός (φτέρνισμα)** είναι αντανάκλαστικό από τον ερεθισμό του ρινικού βλεννογόνου, όπου μια βίαια εκπνοή ακολουθείται από μια βίαια εισπνοή σε μια προσπάθεια καθαρισμού των βλεννογόνων

Ρυθμίσεις & αντανακλαστικά

- ▶ Το **χασμουρητό** συνοδεύεται από βαθιά παρατεταμένη εισπνοή με πιθανό ρόλο την αύξηση του αερισμού, την επαναφορά του αναπνευστικού ρυθμού, την αποφυγή ατελεκτασίας και την αύξηση επιστροφής αίματος στην καρδιά. Δεν είναι πλήρως κατανοητό!
- ▶ Ο **βήχας** αρχίζει με μια βαθιά εισπνοή ακολουθούμενη από βίαια εκπνοή με κλειστή γλωττίδα. Στην συνέχεια η γλωττίδα ανοίγει ξαφνικά παράγοντας βίαιη έξοδο του αέρα



Διαταραχές αναπνοής



- ▶ Στην **ασφυξία** που οφείλεται σε απόφραξη των αεραγωγών ή αναπνευστική ανεπάρκεια, η οξεία υπερκαπνία και η υποξία παρουσιάζονται μαζί. Η διέγερση της αναπνοής είναι έντονη, με βίαιες αναπνευστικές προσπάθειες. Η πίεση του αίματος και ο καρδιακός ρυθμός αυξάνονται απότομα, και το pH του αίματος μειώνεται.
- ▶ Ο **πνιγμός** είναι η ασφυξία που προκαλείται από τη βύθιση συνήθως σε νερό. Η γλωττίδα χαλαρώνει με αποτέλεσμα να εισέρχεται νερό στους πνεύμονες. Στην περίπτωση γλυκού νερού, αυτό απορροφάται γρήγορα διαστέλλοντας το πλάσμα και προκαλώντας ενδοαγγειακή αιμόλυση (μείωση των RBCs). Στην περίπτωση του αλμυρού νερού, αυτό είναι υπέρτονο και παρασύρει υγρό από τα αγγεία στους πνεύμονες, ελαττώνοντας τον όγκο πλάσματος. Μειώνεται η ανταλλαγή αερίων προκαλώντας υποξία.

Διαταραχές αναπνοής



- ▶ Το **άσθμα** είναι μια χρόνια αποφρακτική ασθένεια των αεραγωγών λόγω φλεγμονής (αλλεργιογόνα και μη αλλεργιογόνα ερεθίσματα). Κατά τη διάρκεια μιας οξείας προσβολής άσθματος, εμφανίζεται σοβαρή φλεγμονή, που οδηγεί σε στένωση των αεραγωγών, υπερβολική παραγωγή βλέννας και βρογχοσυστολή. Κατά τη διάρκεια μιας κρίσης η αντίσταση των αεραγωγών αυξάνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται ο αερισμός με αποτέλεσμα να παγιδεύεται ο αέρας μέσα.
- Ανάπτυξη υποξίας.** Η υποξία διεγείρει τους περιφερειακούς χημειοϋποδοχείς, οι οποίοι, με τη σειρά τους, μεταδίδουν το σήμα στο αναπνευστικό κέντρο ελέγχου στον εγκέφαλο. Το αναπνευστικό κέντρο αυξάνει τον ρυθμό πυροδότησης οδηγώντας σε **αυξημένο αναπνευστικό ρυθμό και προκαλούμενη υποκαπνία**. Σε σοβαρή κρίση παρατηρείται αύξηση ή ομαλοποίηση του επιπέδου CO₂ και είναι ένδειξη **μυϊκής κόπωσης και ότι η αναπνευστική ανεπάρκεια είναι επικείμενη**.

Διαταραχές αναπνοής



- ▶ Η **ΧΑΠ** είναι χρόνια αποφρακτική νόσος των αεραγωγών που εξελίσσεται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου, οδηγώντας τελικά σε χρόνια **παγίδευση αέρα και επίμονη υπερκαπνία**. Αρχικά, οι **κεντρικοί χημειοϋποδοχείς** αισθάνονται την υπερκαπνία και σηματοδοτούν το αναπνευστικό κέντρο να αυξήσει το **βάθος της αναπνοής**. Ως αποτέλεσμα, **βαθιά και αργή αναπνοή**. Με την πάροδο του χρόνου, **οι κεντρικοί χημειοϋποδοχείς απευαισθητοποιούνται στα επίπεδα CO₂ στο αίμα με αποτέλεσμα να μην ανταποκρίνονται στις αλλαγές pH**. Συνεπώς, ο αερισμός δεν κινητοποιείται από την υπερκαπνία παρά από την υποξία. Η απότομη χορήγηση **100% οξυγόνου** μπορεί να αυξήσει την PO₂ πάνω από 65 mm Hg στέλνοντας σήμα αναστολής της αναπνοής λόγω της ξαφνικής πτώσης της ενεργοποίησης των χημειοϋποδοχέων που μπορεί να προκαλέσει **αναπνευστική ανακοπή**.

Ηρεμιστικά/Ναρκωτικά



- ▶ Προκαλούν **αναπνευστική καταστολή**.
- ▶ Τα εισπνεόμενα αναισθητικά μειώνουν την ευαισθησία σε αυξημένα επίπεδα CO₂ συνεπώς μειωμένη συχνότητα αναπνοής και υποαερισμό.
- ▶ Οι βενζοδιαζεπίνες δρουν στους υποδοχείς GABA στο ΚΝΣ μειώνοντας την λειτουργία του συστήματος βηματοδότησης του βασικού ρυθμού αναπνοής.
- ▶ Τα οπιοειδή δρουν στους υποδοχείς μ-οπιοειδών στο ΚΝΣ (στοχεύουν κυρίως το σύμπλεγμα pre-Bötzing) μειώνοντας τον αυτόματο ρυθμό προκαλώντας αύξηση των επιπέδων CO₂