

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Φυσιολογία

PT_103

Γενικές Πληροφορίες

- Η κύρια λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος είναι να επιτρέπει την ανταλλαγή αναπνευστικών αερίων μεταξύ της ατμόσφαιρας και των κυττάρων του σώματος. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **εξωτερική αναπνοή**.
- Εκτός από την πρωταρχική λειτουργία ανταλλαγής αερίων, οι πνεύμονες έχουν και άλλες σημαντικές μεταβολικές και μη μεταβολικές λειτουργίες.

Μη μεταβολική λειτουργίες

- Η κύρια μη μεταβολική λειτουργία των πνευμόνων είναι να δρουν ως δεξαμενή αίματος, χάρη στην ικανότητα αποθήκευσης και διάτασης του αγγειακού τους συστήματος: οι ίδιοι μηχανισμοί που ρυθμίζουν την αντίσταση και την πίεση στην πνευμονική κυκλοφορία επιτρέπουν στον πνεύμονα να αυξάνει την εσωτερική του περιεκτικότητα σε αίμα με αμελητέα αύξηση της πίεσης της πνευμονικής κυκλοφορίας. Στην καθημερινή ζωή, αυτό συμβαίνει συνήθως κατά τη μετάβαση από την όρθια στην οριζόντια θέση.
- Μια άλλη μη μεταβολική λειτουργία είναι η **διήθηση του αίματος** για την εξάλειψη των μικρών κυκλοφορούντων θρόμβων αίματος, προτού φτάσουν στη συστηματική κυκλοφορία και από εκεί στην καρδιά, τον εγκέφαλο και άλλα ζωτικά όργανα.

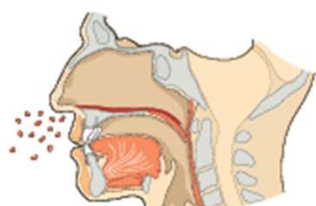
Μεταβολικές λειτουργίες

- Μεταξύ των μεταβολικών λειτουργιών, η δράση του ενδοθηλίου των πνευμονικών αγγείων στις ενζυμικές και ορμονικές ουσίες του αίματος είναι σημαντικό να είναι αποτελεσματική, δεδομένου ότι ο πνεύμονας είναι το μόνο όργανο που δέχεται το σύνολο του κυκλοφορούντος αίματος.
- Από όλες αυτές τις ουσίες, πρωταρχικής σημασίας είναι η μετατροπή ενός πολυπεπτιδίου (αγγειοτασίνη I) σε αγγειοτασίνη II από το μετατρεπτικό ένζυμο της αγγειοτασίνης (ACE), το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια των ενδοθηλιακών κυττάρων των πνευμονικών τριχοειδών αγγείων.
- Η αγγειοτασίνη II είναι ένας ισχυρός αγγειοσυσπαστικός παράγοντας, ο οποίος τείνει να επαναφέρει την αρτηριακή πίεση σε φυσιολογικά επίπεδα και δεν επηρεάζεται από την επακόλουθη διέλευση μέσω της πνευμονικής κυκλοφορίας.

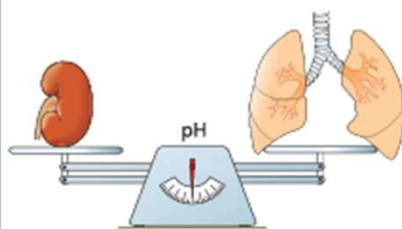
Επιπροσθετες λειτουργίες του Αναπνευστικού συστήματος

- αλλαγή της περιεκτικότητας σε υδρατμούς και της θερμοκρασίας του αέρα κατά τη διέλευση από τους αεραγωγούς.
- προστασία από ξένες ουσίες και εισπνεόμενους παθογόνους παράγοντες.
- διατήρηση της ομοιόστασης του pH των οργανικών υγρών μέσω αλληλεπίδρασης με το νεφρικό σύστημα.
- θεμελιώδη ρόλο στη διαδικασία της φωνητικής άρθρωσης

Προστασία από εισπνεόμενες ξένες ουσίες και παθογόνα



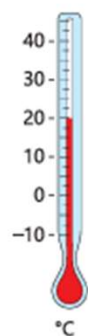
Διατήρηση της ομοιόστασης του pH



Φωνητική άρθρωση (εκφορά ήχου)

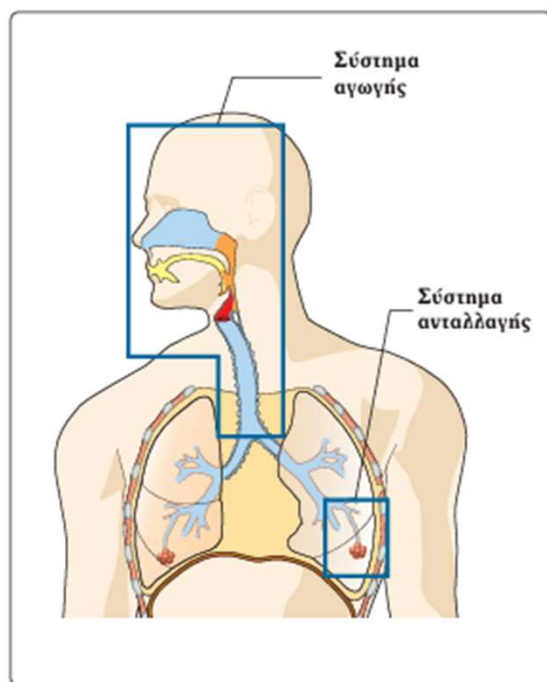


Αλλαγή της θερμοκρασίας του αέρα

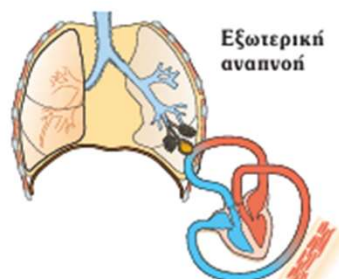


Αλλαγή της περιεκτικότητας του αέρα σε υδατμούς

↑ H₂O

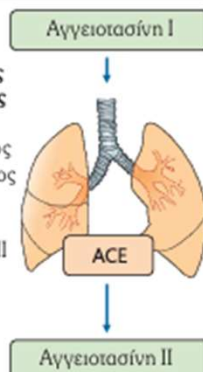


Εξωτερική αναπνοή



Άλλες μεταβολικές και μη μεταβολικές λειτουργίες

- διήθηση του αίματος
- αποθήκευση αίματος
- μετατροπή της αγγειοτασίνης I σε αγγειοτασίνη II



Αναπνευστικό σύστημα: οργάνωση και λειτουργίες.

Δομή και λειτουργία

- Η κύρια λειτουργία των πνευμόνων είναι να επιτρέπουν τη διπλή ανταλλαγή οξυγόνου (O_2) από τον αέρα προς το αίμα και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από το αίμα προς τον αέρα. Αυτό συμβαίνει μέσω της **διάχυσης**, χάρη σε έναν τεράστιο αριθμό μικροσκοπικών κοιλοτήτων αέρα (πνευμονικές κυψελίδες) όπου ο αέρας και το αίμα φθάνουν μέσω των αεραγωγών και της πνευμονικής κυκλοφορίας.
- Οι **αεραγωγοί (αεροφόρες οδοί)** ξεκινούν από τη μύτη και το στόμα και διακλαδίζονται σε δύο τμήματα από την τραχεία. Μέχρι τη γενεά 16 (τελικά βρογχιόλια), η κύρια λειτουργία των αεραγωγών είναι να μεταφέρουν τον εισπνεόμενο αέρα στην αναπνευστική ζώνη (σύστημα αγωγής, όγκος 150 ml).
- Το σύστημα ανταλλαγής, ή **αναπνευστική ζώνη**, ξεκινά από τα αναπνευστικά βρογχιόλια (γενεά 17) και καταλήγει στους κυψελιδικούς σάκους (γενεά 23), με όγκο περίπου 3 L.

Δομή και λειτουργία

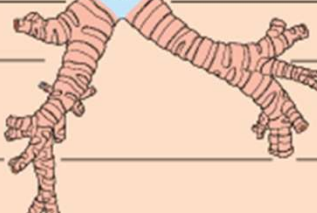
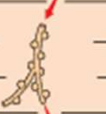
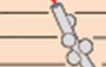
- Η **πνευμονική κυκλοφορία** (ή μικρή κυκλοφορία) χαρακτηρίζεται από χαμηλή αντίσταση ροής, έτσι ώστε μια συστολική/διαστολική πίεση αίματος περίπου 25/11 mmHg να είναι αρκετή για να δημιουργήσει μια ροή αίματος (περίπου 5 L min⁻¹ υπό φυσιολογικές συνθήκες), η οποία είναι αυστηρά ίση με τη ροή της συστημικής κυκλοφορίας (ή μεγάλη κυκλοφορία), όπου η συστολική/διαστολική πίεση αίματος είναι 120/80 mmHg.
- Στις κυψελίδες, ο φραγμός αίματος-αέρα είναι πολύ λεπτός (περίπου 0,5 μm), αλλά έχει εξαιρετικά μεγάλη επιφάνεια (περίπου 70 m²).

Η εξωτερική αναπνοή

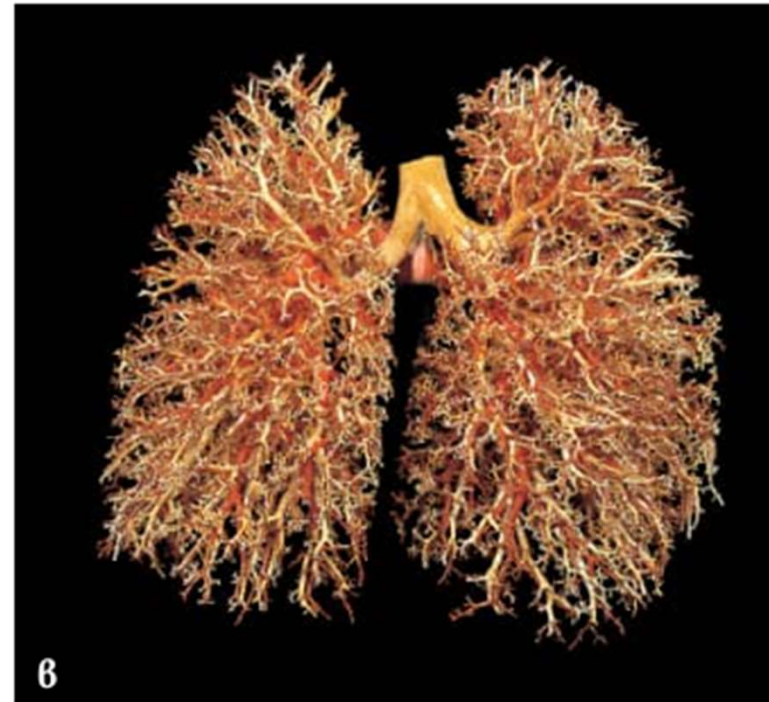
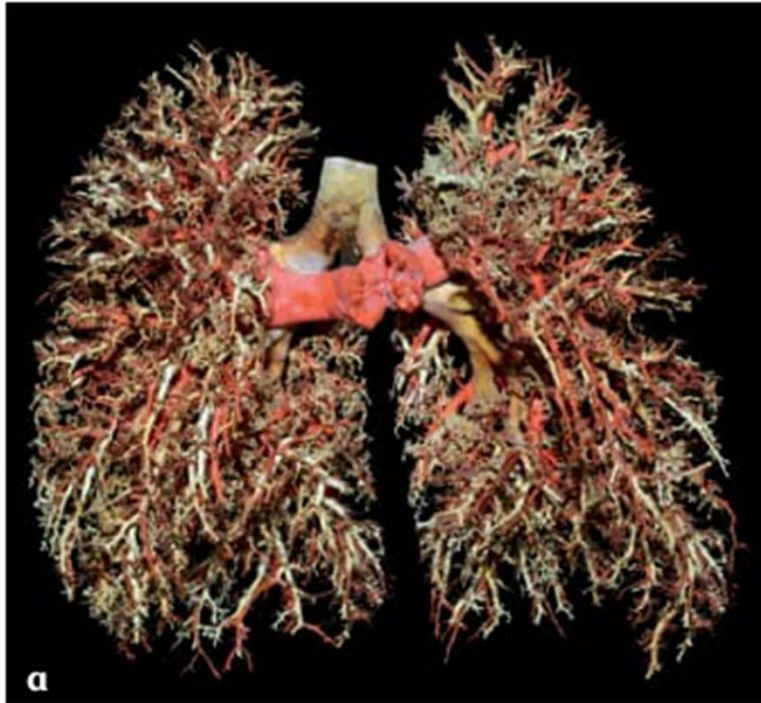
- πραγματοποιείται σε τέσσερις φάσεις, οι οποίες απαιτούν τη συντονισμένη και ολοκληρωμένη δράση του αναπνευστικού και του καρδιαγγειακού συστήματος:
- **αερισμός**: επιτρέπει την ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων μεταξύ της ατμόσφαιρας και των πνευμονικών κυψελίδων
- **διέλευση των αερίων** από τους πνεύμονες στο αίμα και αντίστροφα στις κυψελίδες
- **μεταφορά των αναπνευστικών αερίων** στο αίμα μέσω της πνευμονικής και της συστημικής κυκλοφορίας
- **ανταλλαγή αναπνευστικών αερίων** μεταξύ του αίματος και των κυττάρων του σώματος εντός των συστημικών τριχοειδών αγγείων.
- Από ανατομική άποψη, το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από ένα σύστημα αγωγής, ένα σύστημα ανταλλαγής και ένα μυοσκελετικό σύστημα.

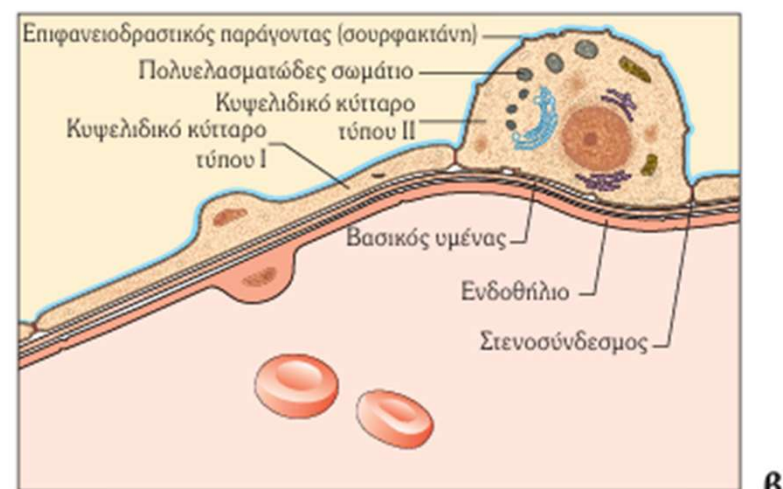
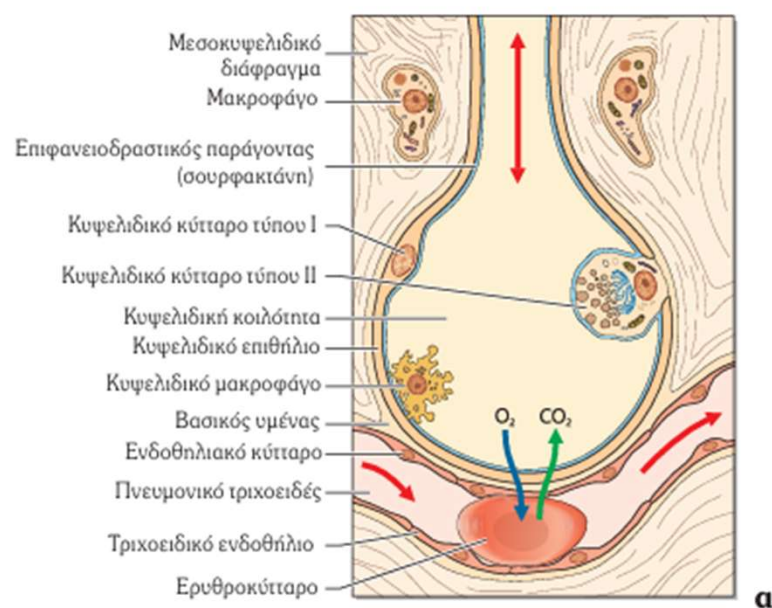
Αερισμός

- Ο συνολικός πνευμονικός αερισμός είναι ο συνολικός όγκος αέρα που εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα ανά μονάδα χρόνου (περίπου $7,5 \text{ L min}^{-1}$ κατά την ήρεμη αναπνοή), δηλαδή το γινόμενο του αναπνεόμενου όγκου (περίπου $0,50 \text{ L}$) και της αναπνευστικής συχνότητας (περίπου 15 αναπνοές ανά λεπτό).
- Ένα μέρος του εισπνεόμενου αέρα δεν φτάνει ποτέ στην αναπνευστική ζώνη και παραμένει στον **νεκρό χώρο** (περίπου $0,15 \text{ L}$), δηλαδή στο τμήμα των αεραγωγών όπου δεν γίνεται ανταλλαγή αερίων.
- Ως εκ τούτου, η **κυψελιδική αναπνοή**, δηλαδή ο όγκος του αερίου που πραγματικά συμμετέχει στην ανταλλαγή αερίων ανά μονάδα χρόνου, καθορίζεται από το γινόμενο της αναπνευστικής συχνότητας και της διαφοράς μεταξύ του αναπνεόμενου όγκου και του νεκρού χώρου.

	Γενεά			Διάμετρος (cm)	Μήκος (cm)	Αριθμός	Συνολική εγκάρσια διατομή (cm ²)
			Z				
Ζώνη αγωγής	Τραχεία		0	1.80	12.0	1	2.54
	Βρόγχοι		1	1.22	4.8	2	2.33
			2	0.83	1.9	4	2.13
			3	0.56	0.8	8	2.00
	Βρογχιόλια		4	0.45	1.3	16	2.48
Ζώνη μετάβασης και αναπνευστική ζώνη	Τελικά βρογχιόλια		5 ↓ 16	0.35 ↓ 0.06	1.07 ↓ 0.17	32 ↓ 6×10 ⁴	3.11 ↓ 180.0
	Αναπνευστικά βρογχιόλια		17	↓	↓	↓	↓
			18	↓	↓	↓	↓
			19	0.05	0.10	5×10 ⁵	10 ³
	Κυψελιδικοί πόροι		20	↓	↓	↓	↓
			21	↓	↓	↓	↓
			22	↓	↓	↓	↓
	Κυψελιδικοί σάκοι		23	0.04	0.05	8×10 ⁶	10 ⁴

Εικόνα 13.2 Ανθρώπινοι αεραγωγοί. Οι βρόγχοι χωρίζονται σε διάφορες γενεές μέχρι τις κυψελίδες. Για κάθε γενεά αναφέρονται τα εξής: διάμετρος, μήκος, συνολικός αριθμός αγωγών και επιφάνεια της συνολικής εγκάρσιας διατομής.





Αναπνευστική ζώνη στο τέλος ενός τελικού βρογχιολίου: πνευμονική κυψελίδα (**α**) και κυψελι-
δικός-τριχοειδικός φραγμός (**β**).

Παράγοντες που καθορίζουν τη διάχυση των αερίων

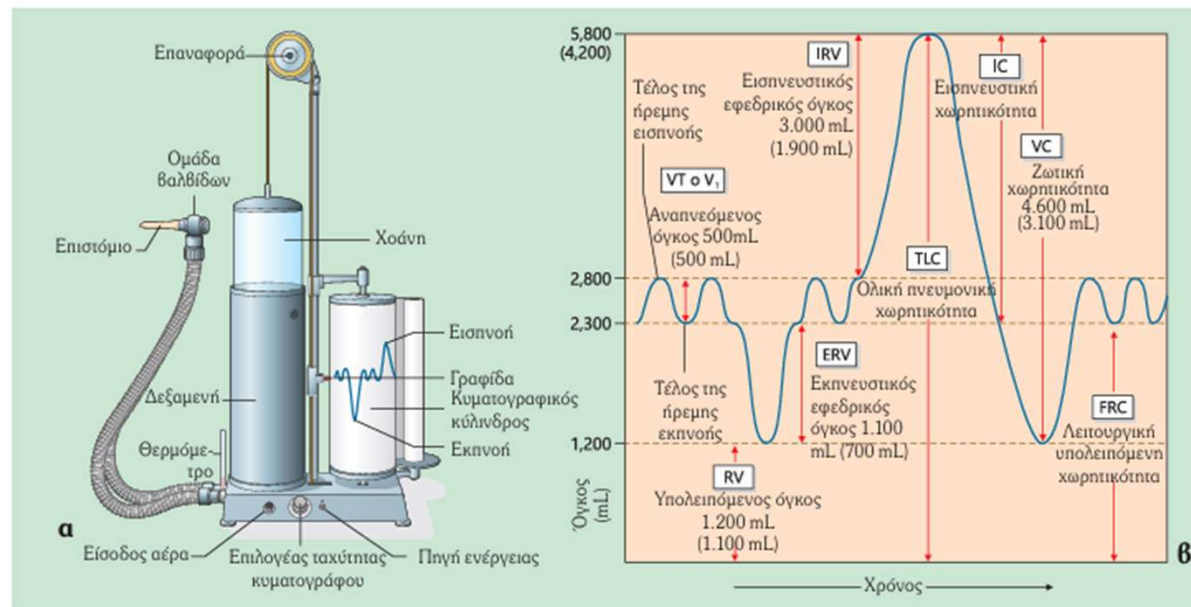
1. Πάχος της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης (L)
2. Επιφάνεια (A)
3. Διαλυτότητα του αερίου (D)
4. Διαφορά πίεσης

Εξίσωση της διάχυσης:

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

ΟΓΚΟΙ ΤΩΝ ΠΝΕΥΜΟΝΩΝ

- Ο όγκος του αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται από το αναπνευστικό σύστημα μπορεί να μετρηθεί με ένα παραδοσιακό εργαλείο της αναπνευστικής φυσιολογίας, το **σπιρόμετρο**.
- Χάρη στην κίνηση μιας γραφίδας που συνδέεται με έναν κύλινδρο, το όργανο αυτό μετρά και καταγράφει τους πνευμονικούς όγκους ενός ατόμου, το οποίο συνδέεται στο σπιρόμετρο μέσω ενός επιστόμιου ή μιας μάσκας.



ΟΓΚΟΙ ΤΩΝ ΠΝΕΥΜΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΕΣ: ΟΡΙΣΜΟΙ

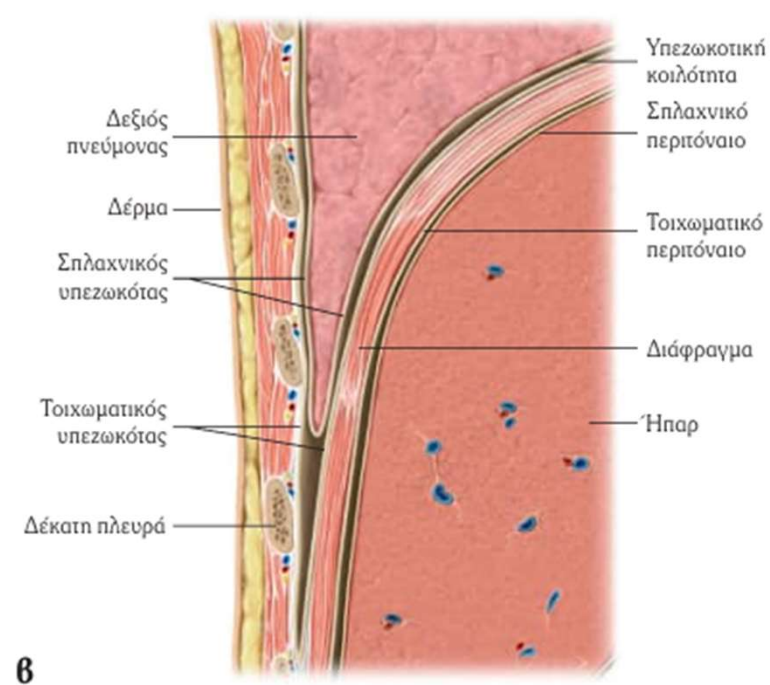
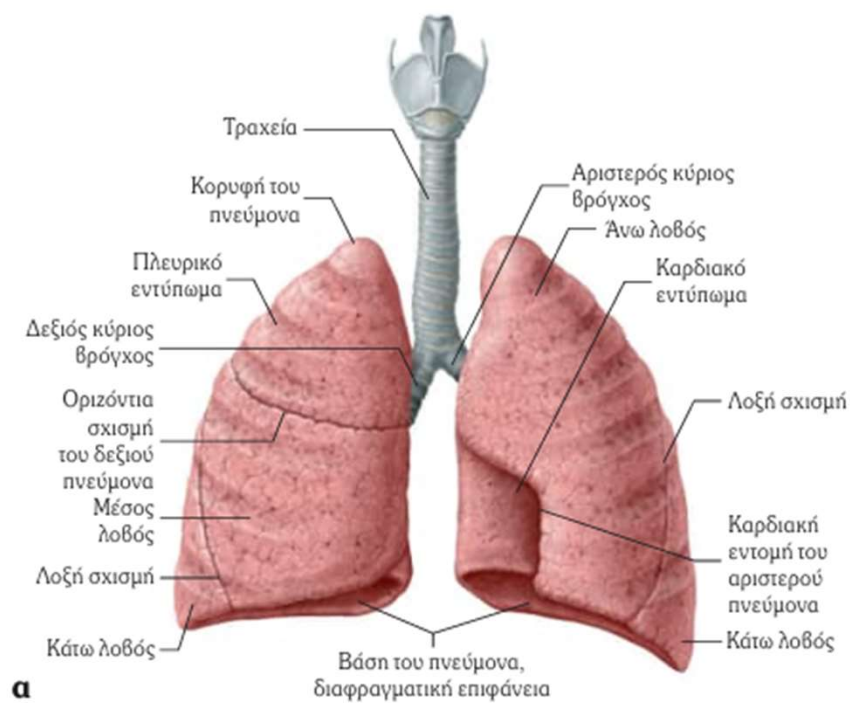
- Ο **αναπνεόμενος όγκος** (Tidal Volume, TV ή VT) είναι ο όγκος του αέρα που εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα κατά τη διάρκεια μιας αναπνοής σε συνθήκες ηρεμίας - σε έναν ενήλικα άνδρα είναι περίπου 500 ml.
- Ο **εισπνευστικός εφεδρικός όγκος** (Inspiratory Reserve Volume, IRV) είναι ο μέγιστος όγκος αέρα που μπορεί να εισπνευστεί μέσω μιας βίαιης εισπνοής μετά από μια φυσιολογική εισπνοή. Είναι περίπου 2.500-3.000 mL.
- Ο **εκπνευστικός εφεδρικός όγκος** (Expiratory Reserve Volume, ERV) είναι ο μέγιστος όγκος αέρα που μπορεί να εκπνευστεί μέσω μιας βίαιης εκπνοής μετά από μια φυσιολογική εκπνοή - είναι περίπου 1.500-2.000 ml.
- Ο **υπολειπόμενος όγκος** (Residual Volume, RV) είναι ο όγκος του αέρα που παραμένει στο αναπνευστικό σύστημα μετά από μια βίαιη εκπνοή και είναι περίπου 1.500 ml.
- Η **αναπνευστική χωρητικότητα** (Inspiratory capacity, IC) είναι ο μέγιστος όγκος που μπορεί να εισπνευστεί μετά από μια φυσιολογική εκπνοή - ισούται με το άθροισμα του αναπνεόμενου όγκου και του εισπνευστικού εφεδρικού όγκου.

ΟΓΚΟΙ ΤΩΝ ΠΝΕΥΜΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΕΣ: ΟΡΙΣΜΟΙ

- Η **λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα** (Functional Residual Capacity, FRC) είναι ο όγκος του αέρα που παραμένει στο αναπνευστικό σύστημα στο τέλος μιας φυσιολογικής εκπνοής - ισούται με το άθροισμα του εκπνευστικού εφεδρικού όγκου και του υπολειπόμενου όγκου και αντιστοιχεί στον όγκο ισορροπίας του θωρακοπνευμονικού συστήματος.
- Η **ζωτική χωρητικότητα** (Vital Capacity, VC) είναι ο μέγιστος όγκος αέρα που μπορεί να εκπνευστεί με βίαιη εκπνοή μετά από βίαιη εισπνοή - είναι το άθροισμα του αναπνεόμενου όγκου, του εισπνευστικού εφεδρικού όγκου και του εκπνευστικού εφεδρικού όγκου.
- Η **ολική πνευμονική χωρητικότητα** (Total Lung Capacity, TLC) είναι η μέγιστη ποσότητα αέρα που μπορεί να συγκρατηθεί στο αναπνευστικό σύστημα. Είναι το άθροισμα των τεσσάρων πνευμονικών όγκων και, επομένως, ισούται με το άθροισμα της ζωτικής χωρητικότητας και του υπολειπόμενου όγκου.

Αναπνευστικό Σύστημα

- Για να κατανοήσουμε πώς τα αναπνευστικά αέρια φτάνουν στις κυψελίδες και ανταλλάσσονται με το αίμα, είναι απαραίτητη η κατανόηση της ανατομίας των δομών που αποτελούν το αναπνευστικό σύστημα.
- Μακροσκοπικά, ο δεξιός πνεύμονας χωρίζεται σε τρεις λοβούς και ο αριστερός σε δύο λοβούς. Ο αριστερός πνεύμονας έχει μια κοιλότητα που βρίσκεται στη μεσαία πλευρά, η οποία αναφέρεται ως κορυφαία εντομή της καρδιάς, μέσα στην οποία εισέρχεται ένα τμήμα της καρδιάς.
- Οι πνεύμονες περιβάλλονται από δύο μεμβρανώδεις δομές, τους **υπεζωκότες**, που αποτελούνται από τον σπλαχνικό υπεζωκότα, ο οποίος συνδέεται με τον πνεύμονα, και τον τοιχωματικό υπεζωκότα, ο οποίος συνδέεται με το θωρακικό τοίχωμα.
- Οι δύο υπεζωκότες συνδέονται μηχανικά μεταξύ τους μέσω του υπεζωκοτικού υγρού, το οποίο παράγεται στον τοιχωματικό υπεζωκότα. Το υπεζωκοτικό υγρό περιέχει λιπαντικές ουσίες, οι οποίες διευκολύνουν την αμοιβαία κίνηση των δύο υπεζωκότων κατά την αναπνευστική διαδικασία. Ο χώρος μεταξύ των δύο υπεζωκότων ονομάζεται υπεζωκοτική κοιλότητα και έχει πολύ μικρό συνολικό όγκο, περίπου 3 ml, γι' αυτό και θεωρείται δυνητικός ή εικονικός χώρος.



Εικόνα 13.8 Πνεύμονες: μακροσκοπική μορφολογία. **α**, Πρόσθια όψη. **β**, Τομή, όπου φαίνονται τα υπεζωκοτικά στρώματα που καλύπτουν τους πνεύμονες, τα οποία συνδέονται μηχανικά μεταξύ τους μέσω του υπεζωκοτικού υγρού.

Αναπνευστική Μηχανική

Κατά τη διάρκεια της ήρεμης αναπνοής, η εισπνοή είναι ενεργητική, ενώ η εκπνοή είναι **παθητική**, λόγω της ελαστικής επαναφοράς του θωρακοπνευμονικού συστήματος. Ο σημαντικότερος εισπνευστικός μυς είναι το **διάφραγμα**.

Η καμπύλη όγκου-πίεσης, είναι η σχέση μεταξύ της αύξησης του όγκου και της αύξησης της πίεσης, ονομάζεται **ενδοτικότητα**. Πρόκειται για έναν δείκτη ενδοτικότητας της δομής, ο οποίος αυξάνεται όσο πιο ενδοτική είναι η δομή.

Στη **λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα (FRC)**, η τάση των πνευμόνων να συστέλλονται είναι ίση και αντίθετη με την τάση του θωρακικού τοιχώματος να διαστέλλεται, πράγμα που σημαίνει ότι το θωρακοπνευμονικό σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία.

Αναπνευστική Μηχανική

- Ο επιφανειοδραστικός παράγοντας (σουρφακτάνη) είναι ένα φωσφολιπίδιο που παράγεται από τα κυψελιδικά κύτταρα τύπου II, η λειτουργία του οποίου είναι να μειώνει την επιφανειακή τάση του λεπτού στρώματος υγρού που καλύπτει την εσωτερική επιφάνεια των κυψελίδων. Η συγκέντρωση του επιφανειοδραστικού παράγοντα είναι υψηλότερη στις μικρές κυψελίδες από ό,τι στις μεγαλύτερες κυψελίδες, γεγονός που καθιστά την ανταλλαγή αερίων ομοιόμορφη.
- Η αντίσταση των αεραγωγών μειώνεται καθώς αυξάνεται ο όγκος των πνευμόνων και αυξάνεται εάν οι λείοι μύες των αεραγωγών συστέλλονται, όπως στο **άσθμα**, ή στην περίπτωση εξαιρετικά **χαμηλού όγκου πνευμόνων**.
- Το έργο της αναπνοής είναι το μηχανικό έργο που εκτελείται από τους αναπνευστικούς μύες προκειμένου να εξασφαλιστεί ο κατάλληλος αερισμός των πνευμόνων. Το έργο της αναπνοής εξαρτάται από τρεις παράγοντες:
 - την ελαστικότητα του θωρακοπνευμονικού συστήματος (ελαστικό έργο της αναπνοής ή έργο ενδοτικότητας),
 - την αντίσταση των αεραγωγών στη διέλευση του αέρα και
 - το ιξώδες της δομής που εμπλέκεται στη διαδικασία της αναπνοής.

Αναπνευστικοί μύες

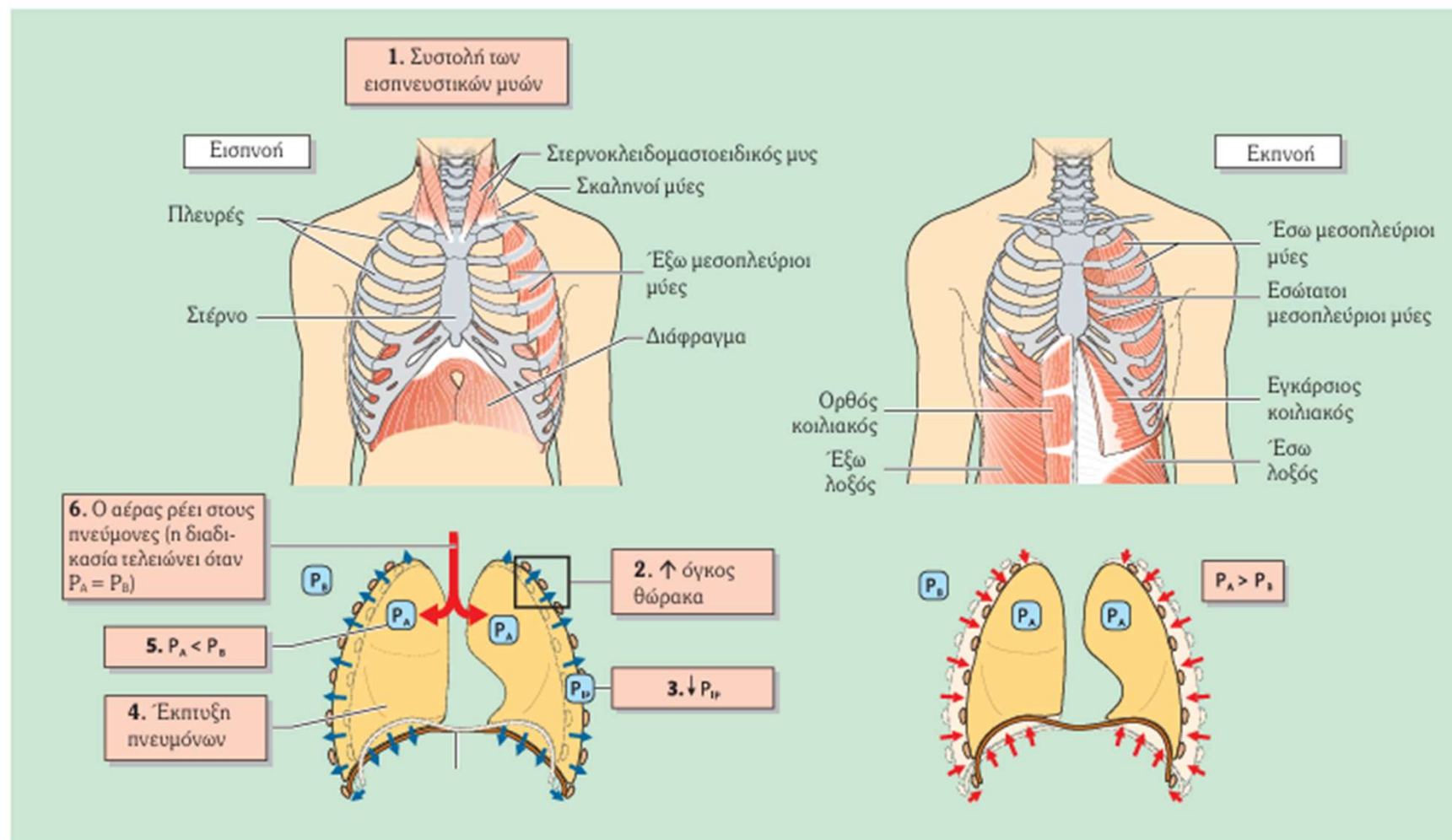
- Οι πνεύμονες δεν διαθέτουν δικούς τους μύες και οι μεταβολές του πνευμονικού όγκου οφείλονται στη δραστηριότητα των εισπνευστικών και εκπνευστικών αναπνευστικών μυών.

Εισπνευστικοί μύες

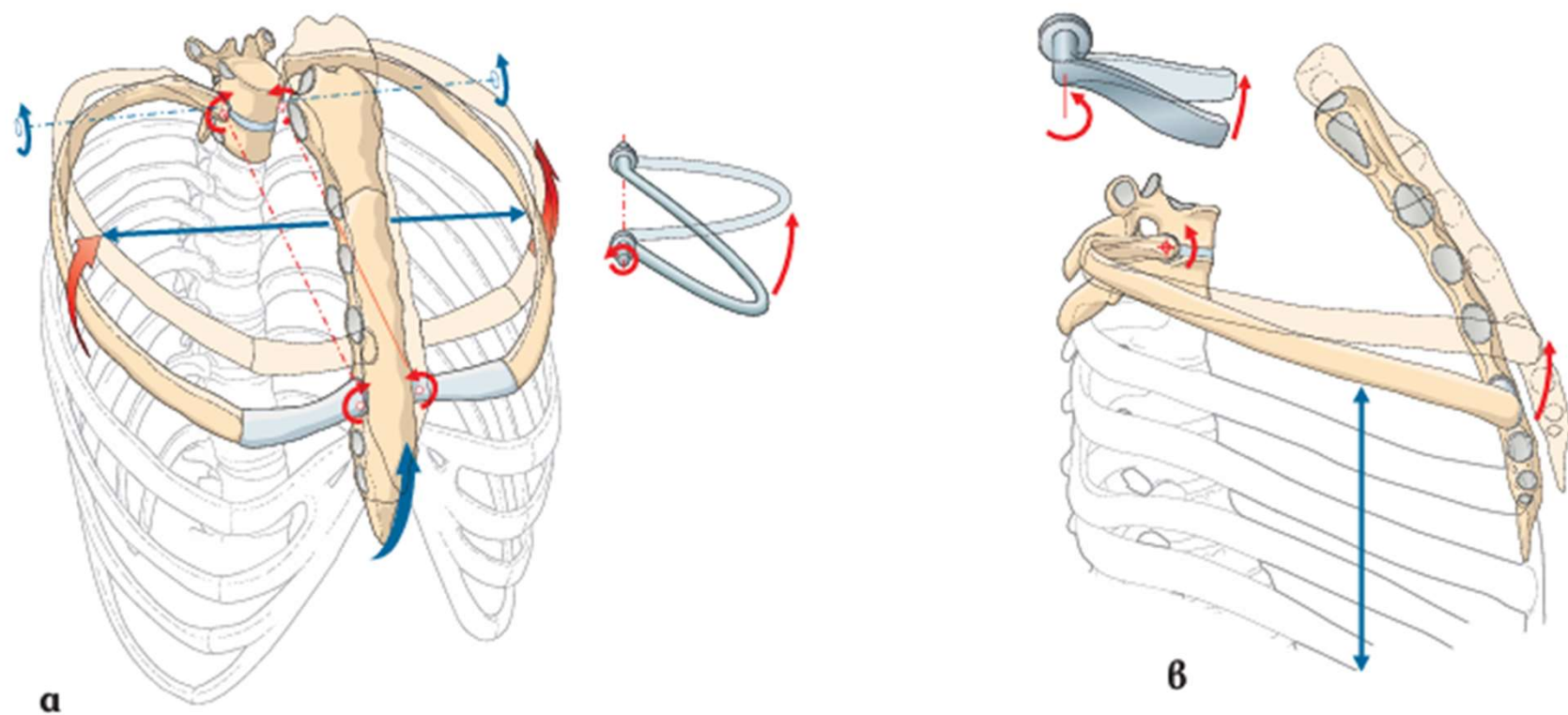
- Διάφραγμα
- Έξω μεσοπλεύριοι μύες
- Σκαληνοί μύες
- Στερνοκλειδομαστοειδής

Εκπνευστικοί μύες

- Έσω μεσοπλεύριοι μύες
- Ορθός κοιλιακός
- Εγκάρσιος κοιλιακός
- Έσω και έξω λοξός μυς

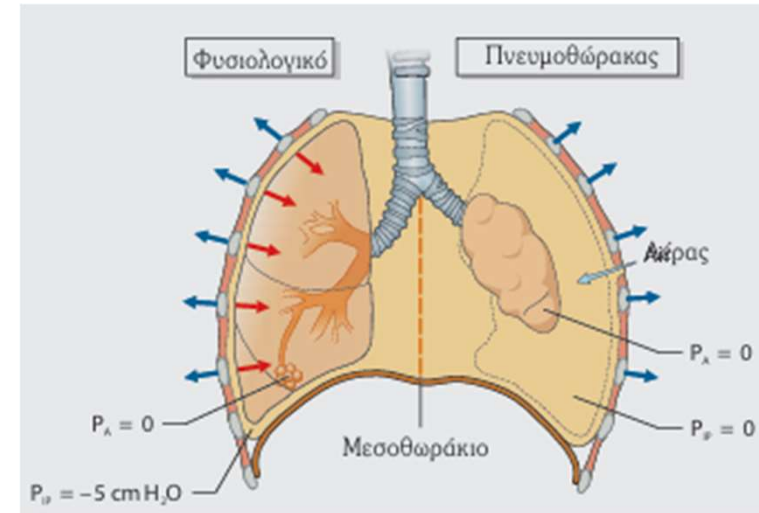


Εικόνα 13.7 Αναπνευστικό σύστημα: εισπνευστικοί και εκπνευστικοί μύες και οστικές δομές. 1-6 Ακολουθία γεγονότων κατά τη διάρκεια μιας εισπνοής. $\uparrow$: αύξηση, $\downarrow$: μείωση, P_A : κυψελιδική πίεση, P_B : ατμοσφαιρική πίεση, P_{IP} : ενδοθωρακική (ή ενδοϋπεζωκοτική) πίεση.



Εικόνα 13.9 Δράση των αναπνευστικών μυών και αύξηση της εγκάρσιας (**α**) και της οβελιαίας (**β**) διάστασης.

Πνευμοθώρακας



Η ύπαρξη αρνητικής ενδοθωρακικής πίεσης (πίεση Donders) γίνεται εμφανής όταν η θωρακική κοιλότητα ανοίγεται κατά τη διάρκεια μιας αυτοψίας ή σε περίπτωση τραυμάτων από πυροβολισμό ή μαχαίρι ή από αμβλύ τραύμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η καταρρευση του πνεύμονα στην πνευμονική πύλη και η διαστολή (έκπτυξη) του θώρακα στον όγκο ηρεμίας του, με τη ροή αέρα στην υπεζωκοτική κοιλότητα (πνευμοθώρακας), θα είναι εμφανής στην πλευρά που έχει υποστεί βλάβη.

Από λειτουργική άποψη, αυτό αποσυνδέει τις κινήσεις του θωρακικού τοιχώματος και των πνευμόνων, έτσι ώστε κατά τη διάρκεια κάθε αναπνοής, ο αέρας δεν θα εισέρχεται στους πνεύμονες, αλλά θα εισέρχεται και θα εξέρχεται από την υπεζωκοτική κοιλότητα, ακυρώνοντας έτσι την ανταλλαγή αερίων στην πλευρά που έχει υποστεί βλάβη. Γίνεται εμφανές ότι μια τέτοια κατάσταση, αν είναι αμφίπλευρη, είναι θανατηφόρα.

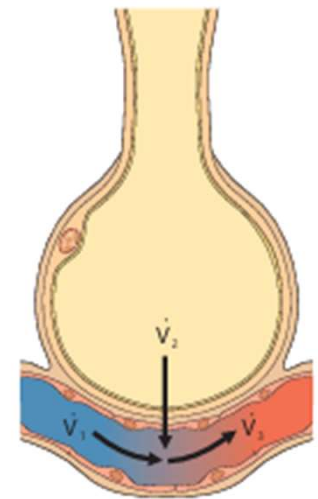
ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

- Στην πνευμονική κυκλοφορία, οι αρτηριακές πιέσεις είναι πολύ χαμηλότερες (περίπου το ένα έκτο) από εκείνες της συστημικής κυκλοφορίας.
- Η **ροή αίματος** μέσω της πνευμονικής κυκλοφορίας είναι ίση με την καρδιακή παροχή και μπορεί να προσδιοριστεί με τη μέτρηση της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα ή της κατανάλωσης οξυγόνου, όταν είναι γνωστές οι συγκεντρώσεις των δύο αερίων στο μικτό φλεβικό αίμα και στο αρτηριακό αίμα (**αρχή του Fick**). Σε όρθια θέση και ως αποτέλεσμα της υδροστατικής συνιστώσας της αρτηριακής πίεσης, η ροή του αίματος τείνει να κατανέμεται στις βάσεις των πνευμόνων.
- Η **αιμοδυναμική αντίσταση** της πνευμονικής κυκλοφορίας είναι πολύ χαμηλή και μειώνεται περαιτέρω καθώς αυξάνεται η καρδιακή παροχή λόγω της επιστράτευσης και της διάτασης των πνευμονικών τριχοειδών αγγείων.

Αρχή του Fick

- Η αρχή του Fick είναι ίσως η πιο γνωστή εφαρμογή του νόμου διατήρησης της μάζας στη φυσιολογία. Δηλώνει ότι η ποσότητα O_2 στο αρτηριακό αίμα (V_3) που ρέει από τους πνεύμονες δίνεται από την ποσότητα O_2 , η οποία βρίσκεται στο φλεβικό αίμα (V_1) που ρέει στους πνεύμονες συν την ποσότητα O_2 που μεταφέρεται από τις κυψελίδες στο περικυψελιδικό τριχοειδικό αίμα (V_2)

$$V_3 = V_1 + V_2$$



Μεταφορά Οξυγόνου

- Το O₂ μεταφέρεται στο αίμα σε δύο μορφές: διαλυμένο στο πλάσμα (1-2%) και δεσμευμένο στην αιμοσφαιρίνη (98-99%).
- Η ποσότητα O₂ που μπορεί να μεταφέρει η αιμοσφαιρίνη κορυφώνεται όταν όλες οι ομάδες αίμης του μορίου είναι συνδεδεμένες με O₂ : υπό αυτές τις συνθήκες, 1 g αιμοσφαιρίνης δεσμεύει 1,39 mL O₂ .
- Επομένως, η μέγιστη χωρητικότητα του αίματος σε O₂ εξαρτάται από τη συγκέντρωση αιμοσφαιρίνης: σε υγιείς ενήλικες, αυτή είναι περίπου 150 g L⁻¹ στους άνδρες και ελαφρώς χαμηλότερη (περίπου 130 g L⁻¹) στις γυναίκες. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η μέγιστη χωρητικότητα του αίματος για O₂ είναι περίπου $1,39 \text{ ml} \times 150 \text{ g L}^{-1} = 200 \text{ ml L}^{-1}$, με μικρές ατομικές διαφορές που εξαρτώνται από το φύλο, την ηλικία και τη διατροφή.

Παράγοντες που προκαλούν υπερκαπνία

Ενδοπνευμονικοί

- **Κυψελιδικός υποαερισμός**
- **Αύξηση νεκρού χώρου**

Εξωπνευμονικοί

- **Αύξηση μεταβολισμού**
- **Φαινόμενο Haldane**

Εξίσωση Henderson-Hasselbach

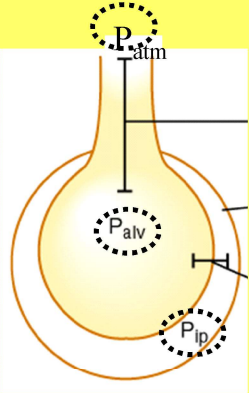
$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{\text{HCO}_3^-}{0,03 \text{ PaCO}_2}$$

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

↑ PaCO_2

↓ pH

Η ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ

	<u>ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ</u>	<u>ΦΟΡΤΙΟ</u>
<i>Ελεγκτικά όργανα</i>	-Εγκεφαλικά ημισφαίρια -Εγκεφαλικό στέλεχος -Νωτιαίος μυελός	-Αναπνευστικές Ανάγκες (παραγωγή CO₂, κατανάλωση O₂) 
<i>Εκτελεστικά όργανα</i>	- Φρενικό, Μεσοπλεύρια ν. -Αναπνευστικοί μύες	-Αντιστάσεις αεραγωγών -Ελαστικές δυνάμεις επαναφοράς πνευμόνων -Ελαστικές δυνάμεις επαναφοράς του θωρακικού κλωβού

ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

- Βλάβες σε κεντρικές δομές του εγκεφάλου
- Λειτουργικές διαταραχές
- Πρωτοπαθής κυψελιδικός υποαερισμός

ΝΕΥΡΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

Νευρο-μυικές

- Νοσήματα που έχουν σχέση με τις κατιούσες νωτιαίες δέσμες
- Νοσήματα που έχουν σχέση με τον κατώτερο κινητικό νευρώνα
- Νοσήματα των περιφερικών ν.
- Νοσήματα της νευρομυικής σύναψ.
- Νοσήματα των μυών

Μηχανικές διαταραχές

- Θώρακος
- Πνευμόνων

ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΑ και ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

- Βλάβες σε κεντρικές δομές του εγκεφάλου
 - τραυματικές
 - αγγειακές
 - φλεγμονώδεις
- Λειτουργικές διαταραχές
 - Φάρμακα
 - Μεταβολική αλκάλωση
 - Υποαερισμός που σχετίζεται με τον ύπνο
- Πρωτοπαθής κυψελιδικός υποαερισμός
- αδυναμία του αναπνευστικού κέντρου στην επαρκή ενεργοποίηση των κατώτερων κινητικών ν.
- ημερήσια $\uparrow$ pCO₂ παρά τις φυσ. τιμές στη σπироμέτρηση
- αδυναμία αποδέσμευσης από τον αναπνευστήρα, λόγω $\uparrow$ pCO₂, παρά τις φυσ. τιμές στις αντιστάσεις και στην ευενδοτότητα
- Υποαερισμός κατά τον ύπνο
- Πολυκυθαιμία, $\uparrow$ HCO₃⁻, πνευμονική υπέρταση

Νευρο-μυικές παθήσεις

ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΑ και ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

- **Νοσήματα που έχουν σχέση με τις κατιούσες νωτιαίες δέσμες**
 - Τραύματα, απομυελίνωση
- **Νοσήματα που έχουν σχέση με τον κατώτερο κινητικό νευρώνα**
 - Νοσήματα των κινητικών πυρήνων στο νωτ. Μυελό
- **Νοσήματα των περιφερικών ν.**
- **Νοσήματα της νευρομυικής σύναψης**
 - βαριά μυασθένεια, μυοχαλαρωτικά, αμινογλυκοσίδες
- **Νοσήματα των μυών**
- αδυναμία στη μετατροπή των νευρικών ώσεων σε παραγωγή επαρκούς πίεσης εκ μέρους των αναπνευστικών μυών
- σοβαρότερες είναι οι διαταραχές στους εισπνευστικούς μύες και κυρίως του διαφράγματος
- επιβαρυντικοί παράγοντες :
 - ↓ ευενδοτότητας πνευμόνων/θωρ. κλωβού
 - ↑ αντιστάσεις αεραγωγών
 - εισροφήσεις, αποφρακτικές άπνοιες στον ύπνο

Μηχανικές διαταραχές

ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΑ και ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

- **Θώρακος** Κυφοσκολίωση,
θωρακοπλαστική, ινοθώραξ
αγκ. σπονδυλίτις, παχυσαρκία



- ↓ ευενδοτότητας θωρ.κλωβού
↓ ευενδοτότητας πνευμόνων
- Αδυναμία αναπνευστικών μυών
(διαφράγματος)

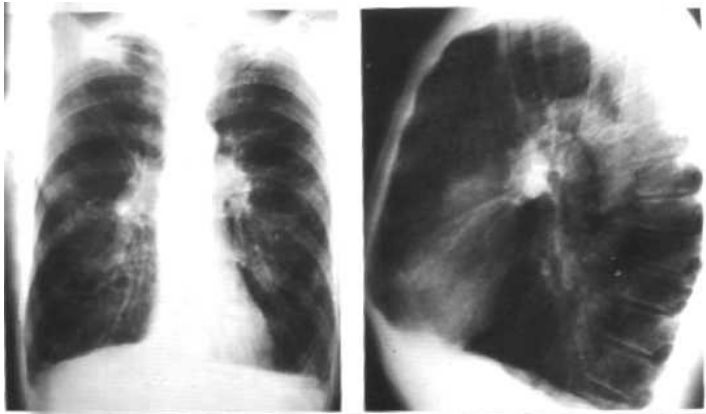
Μηχανικές διαταραχές

ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΑ και ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

- **Αποφρακτικές διαταραχές των πνευμόνων:**

ΧΑΠ, κυστική ν.

- ↑ αντιστάσεις αεραγωγών
- Δυναμική υπερδιάταση
- Μειονεκτική λειτουργικότητα διαφράγματος
- Αυξημένο έργο αναπνοής
- Κόπωση αναπνευστικών μυών



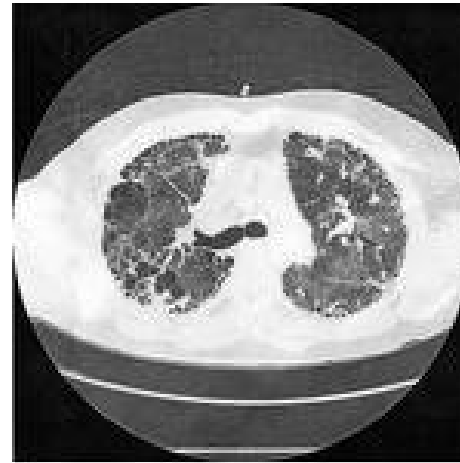
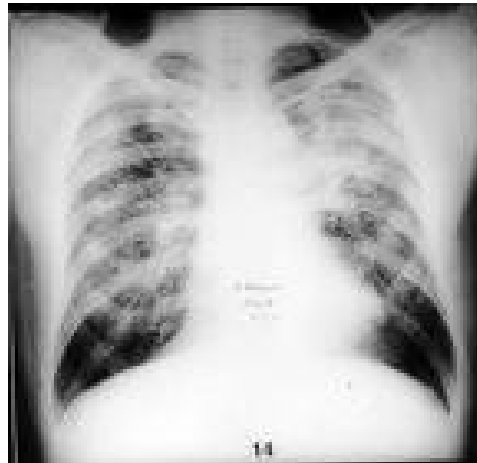
Μηχανικές διαταραχές

ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΥΠΕΡΚΑΠΝΙΑ και ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΟΞΕΩΣΗ

- Περιοριστικές διαταραχές των πνευμόνων:

πνευμονική ίνωση,
λοβεκτομές

- ↓ ευενδοτότητας πνευμόνων



Συμπεράσματα

- Η αναπνευστική οξέωση δεν είναι μία συγκεκριμένη πάθηση, αλλά μία παθολογική κατάσταση, που οφείλεται στην ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής του CO₂ 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)
- Σίγουρα είναι απαραίτητη η διευκρίνιση του αιτίου, που οδήγησε στην αναπνευστική οξέωση, ώστε να είναι δυνατή η αιτιολογική αντιμετώπισή της