

ΜΕΡΟΣ Α **ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Κεφάλαιο 1 **ΑΝΑΤΟΜΙΑ – ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ**

Κεφάλαιο 2 **ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΑΙ
ΚΥΡΙΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ
ΤΟΥ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ**

ΑΝΑΤΟΜΙΑ – ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ



Εισαγωγή

Η βασική λειτουργία του πνεύμονα είναι η ανταλλαγή αερίων μεταξύ αίματος και ατμόσφαιρας, δηλαδή η πρόσληψη οξυγόνου (O_2) και η αποβολή διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Επιτελείται με τη βοήθεια του φαινομένου της μοριακής διάχυσης διαμέσου της τριχοειδοκυψελιδικής μεμβράνης που έχει έκταση περίπου $60m^2$. Η ανατομία και η φυσιολογία του αναπνευστικού συστήματος είναι σχεδιασμένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε να φέρουν αέρα από την ατμόσφαιρα και αίμα από την κυκλοφορία σε στενή επαφή μέσω της τριχοειδοκυψελιδικής μεμβράνης. Η σύσπαση του διαφράγματος και των μεσοπλευρίων μυών προκαλεί αύξηση των διαμέτρων του θωρακικού τοιχώματος και πτώση της ενδιθωρακικής πίεσης η οποία με τη σειρά της συνεπάγεται είσοδο φρέσκου ατμοσφαιρικού αέρα περιέχοντος 21% οξυγόνου (O_2) στον πνεύμονα (**αερισμός; $V'A$**). Ο αερισμός δε των κυψελίδων εξαρτάται από το μέγεθος του αναπνεόμενου όγκου αέρα σε κάθε

ήρεμη αναπνοή (tidal volume; V_t), τη συχνότητα αναπνοών (f), τη δυσκολία διακίνησης του αέρα εντός των αεραγωγών (αντίσταση αεραγωγών; Raw), και την ελαστικότητα των πνευμόνων (E). Περίπου το 25-35% του εισπνεόμενου αέρα παραμένει στους αεραγωγούς όπου δεν λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της ανταλλαγής των αερίων: ο όγκος που καταλαμβάνει ο αέρας αυτός είναι γνωστός στη φυσιολογία με τον όρο **ανατομικός νεκρός χώρος** (VD_{anat}). Οι πνεύμονες δέχονται όλη σχεδόν την ποσότητα αίματος από τη δεξιά κοιλία (**αιμάτωση; $V'Q$**). Υπάρχει πολύπλοκη και δυναμική αλληλεξάρτηση μεταξύ αερισμού και αιμάτωσης ($V'A/V'Q$) προκειμένου να διατηρηθεί σε φυσιολογικά επίπεδα η ανταλλαγή των αερίων, ενώ η απορρύθμιση αυτών των ισορροπιών είναι το κλειδί παθοφυσιολογικών διαταραχών στις αναπνευστικές νόσους. **Αερισμός κυψελίδων** που δεν αιματούνται αυξάνει τον όγκο αέρα που δεν συμμετέχει στην ανταλλαγή των αερίων (\uparrow νεκρού χώρου), ενώ το αίμα που διέρχεται από μη αεριζόμενες κυψελίδες επίσης δεν

συμβάλλει στο φαινόμενο της ανταλλαγής (↑ μη οξυγονωμένο αίματος = shunt).

Βρογχικό δένδρο

Η τραχεία αποτελείται από χόνδρινους πεταλοειδής (ατελείς) δακτυλίους που στηρίζουν το πρόσθιο και τα πλάγια τοιχώματά της. Το οπίσθιο τοιχώματα της είναι ευένδοτο και εισέρχεται στον αυλό της κατά το βήχα. Η τραχεία διαιρείται στο δεξιό και αριστερό κύριο βρόγχο στο επίπεδο της στερνικής γωνίας (Λουδοβίκειος γωνία). Ο **αριστερός κύριος βρόγχος** είναι επιμηκέστερος του δεξιού και εξικνείται της τραχείας με οξεία γωνία. Ο δεξιός κύριος βρόγχος ευρίσκεται στην προέκταση της τραχείας, συνεπώς εισπνεόμενα υλικά εισέρχονται ευκολότερα στο δεξιό παρά στον αριστερό πνεύμονα. Οι κύριοι βρόγχοι διαιρούνται σε λοβαίους: **άνω (ΑΛ), μέσος (ΜΛ), κάτω (ΚΛ)** **δεξιά-άνω (ΑΛ) και κάτω (ΚΛ) αριστερά** και τμηματικούς βρόγχους (Εικόνα A1-1).

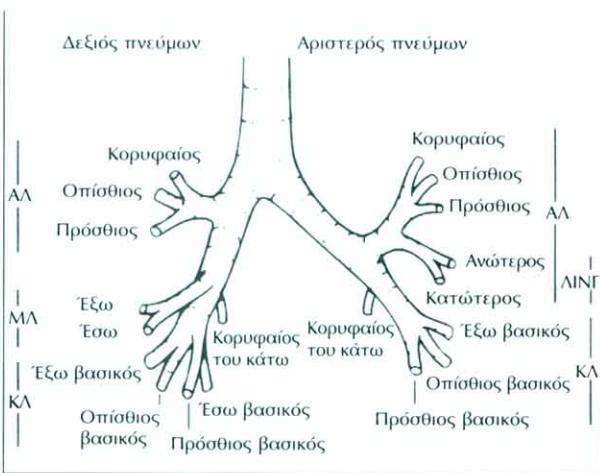
Η θέση των πνευμόνων σε σχέση με εξωτερικά ανατομικά στοιχεία αναδεικνύεται στην Εικόνα A1-2. **Βρόγχοι** αποκαλούνται οι αεραγωγοί με χόνδρους στο τοιχώμα τους. Υπάρχουν 10 περίπου γενεές βρόγχων μετά το διχασμό της τραχείας. Οι μικρότεροι αεραγωγοί που δεν διαθέτουν χόνδρους στο τοιχώμα τους αποκαλούνται **βρογχιόλια**. **Αναπνευστικά βρογχιόλια** είναι τα περιφερικότερα βρογχιόλια που διαθέτουν κυψελίδες στο τοιχώμα τους. Τα δε βρογχιόλια ακριβώς πριν από τις

κυψελίδες ονομάζονται **τελικά βρογχιόλια**. Στο τοίχωμα των βρόγχων, λείες μυϊκές ίνες ευρίσκονται διευθετημένες σπειροειδώς, κάτω ακριβώς από τις χόνδρινες πλάκες. Οι λείες μυϊκές ίνες πυκνώνουν περιφερικότερα ενώ οι χόνδρινες πλάκες αραιώνουν. Το επιθήλιο των βρόγχων είναι **κροσσωτό** και περιλαμβάνει **κυπελοειδή κύτταρα**. Ο κάθε κροσσός κινείται μαστιγοειδώς, και όλοι οι κροσσοί ως οργανωμένο σύνολο επικαλυπτόμενο από βλέννη κινούνται κυματοειδώς, ως στάχυα στον αέρα, προς την τραχεία. Η κινούμενη αυτή κλίμαξ είναι σημαντική για την άμυνα του αναπνευστικού συστήματος διότι κάθε ξένη εισερχόμενη ουσία που παγιδεύεται σε αυτήν οδεύει προς την έξοδο. Οι μεγαλύτεροι βρόγχοι διαθέτουν βοτρυοειδής βλεννοεκκριτικούς αδένες στον υποβλεννογόνιο χιτώνα οι οποίοι υπερτρέφονται στη χρόνια βρογχίτιδα. **Οι κυψελίδες** έχουν διάμετρο 0.1-0.2 mm και επικαλύπτονται από λεπτή στιβάδα δύο ειδών κυττάρων: **πνευμονούτταρα τύπου I** τα οποία είναι επιπεδωμένα και καλύπτουν τη μεγαλύτερη επιφάνεια του εσωτερικού των κυψελίδων, **πνευμονούτταρα τύπου II** τα οποία είναι μεν λιγότερα αλλά περιέχουν **ελασματοειδή σωμάτια**. Τα τελευταία παράγουν τον **επιφανειοδραστικό παράγοντα** (Εικόνα A1-3).

Μεταξύ των κυψελιδικών κυττάρων και της βασικής μεμβράνης των τριχοειδών του πνεύμονος υπάρχει δυνητικός χώρος ο οποίος καθίσταται ορατός σε περίπτωση νόσου οπότε πληρούται με υγρό, ινώδη ιστό ή/και κύτταρα.

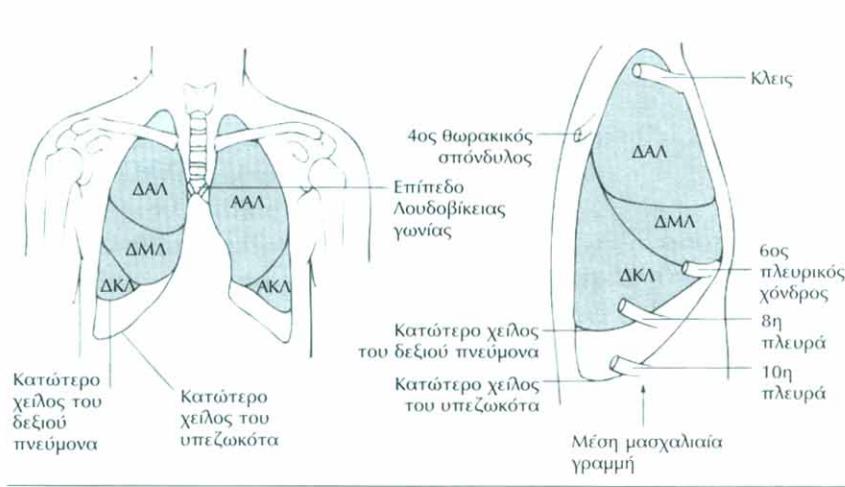
Κυψελιδικός αερισμός

Κατά την **εισπνοή** το διάφραγμα κατέρχεται, οι κατώτερες πλευρές κινούνται προς τα άνω και έξω, ενώ οι ανώτερες με το στέρνο προς τα άνω και έμπροσθεν. Η έκταση του θωρακικού τοιχώματος συνεπάγεται την πτώση της πίεσης (αρνητική πίεση) εντός του θώρακα με αποτέλεσμα την είσοδο αέρα στους πνεύμονες. Η **εκπνοή** είναι σχετικά παθητικό φαινόμενο (μόνο στην ήρεμο αναπνοή) εξαιτίας της βαθμιαίας χάλασης των εισπνευστικών μυών. Περίπου 7-8 λίτρα/μίν αέρα διακινούνται από το αναπνευστικό σε ηρεμία αλλά μόνο μέρος αυτού φθάνει τις κυψελίδες. Περίπου το 1/4 αυτής της ποσότητας παραμένει στους αεραγωγούς όπου δεν γίνεται **ανταλλαγή αερίων**



Εικόνα A1-1

Βρογχοπνευμονικά τμήματα.



Εικόνα A1-2

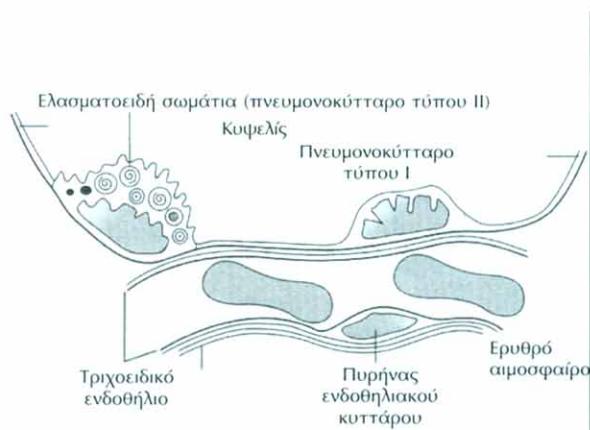
Ανατομική των πνευμόνων.

(πρόσληψη οξυγόνου και αποβολή διοξειδίου του άνθρακος). Ο όγκος του αέρα που δεν συμμετέχει στην ανταλλαγή των αερίων ονομάζεται **ανατομικός νεκρός χώρος (VD_{anat})**. Η κατανομή του αέρα εντός των πνευμόνων είναι ανομοιογενής διότι η αντίσταση των αεραγωγών αλλά και η ελαστικότης του πνεύμονα είναι διαφορετική σε διαφορετικές περιοχές των πνευμόνων. Το μεγαλύτερο ποσοστό της αντίστασης των αεραγωγών σε φυσιολογικά άτομα οφείλεται στην αντίσταση των μεγάλων αεραγωγών όπως λάρυγγας, τραχεία, κυρίως βρόγχοι. Σε ασθενείς όμως η αντίσταση των αεραγωγών οφείλεται κυρίως σε βλάβες που εντοπίζονται σε περιφερικότερους αεραγωγούς. Δέον να σημειωθεί ότι κατά την εισπνοή η διάμετρος των ενδιθωρακικών αεραγωγών μεγαλώνει, ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατά την εκπνοή. Συνεπώς, όταν οι ενδιθωρακικοί αεραγωγοί πάσχουν τείνουν να συμπέσουν κατά την εκπνοή. **Διατασιμότης (compliance; C)** ή το αντίστροφο αυτής η **ελαστικότης (Elasticity = $1/C$)** είναι όρος που περιγράφει τη δυνατότητα διατάσσεως του πνεύμονος. Είναι δε αυτή η ιδιότης του θωρακικού τοιχώματος που προκαλεί την αρνητική πίεση εντός του θώρακα. Η διατασιμότης εκφράζεται ως η μεταβολή του όγκου των πνευμόνων ανά μονάδα μεταβολής της **διαπνευμονικής πίεσης ($C = \Delta V / \Delta P$)**. Η αρνητική ενδιθωρακική πίεση εξισορροπείται από τις ελαστικές ιδιότητες των πνευμόνων στο τέλος μιας ηρέμου εκπνοής (FRC). Η επίδραση της βαρύτητας στον πνεύμονα συνεπάγεται τη διάταση των ανωτέρων τμημάτων των

πνευμόνων εν σχέση με τα κατώτερα τμήματα. Συνεπώς, τα κατώτερα τμήματα αερίζονται καλύτερα από τα ανώτερα. Υπάρχουν, ως αναφέρθη, περιοχικές διαφορές στην αντίσταση των αεραγωγών και τη διατασιμότητα του πνεύμονος, μικρές μεν στα φυσιολογικά άτομα, μεγαλύτερες δε σε ασθενείς με πνευμονικό νόσημα.

Αιμάτωση των πνευμόνων

Οι πνεύμονες δέχονται αιματική ροή από την πνευμονική και από τη συστηματική κυκλοφορία. Η **πνευμονική αρτηρία** εκφύεται από την δεξιά κοιλία και χωρίζεται στη **δεξιά** και **αριστερή πνευμονική αρτηρία**, οι οποίες διαχωρίζονται περαιτέρω σε κλάδους που ακολου-



Εικόνα A1-3

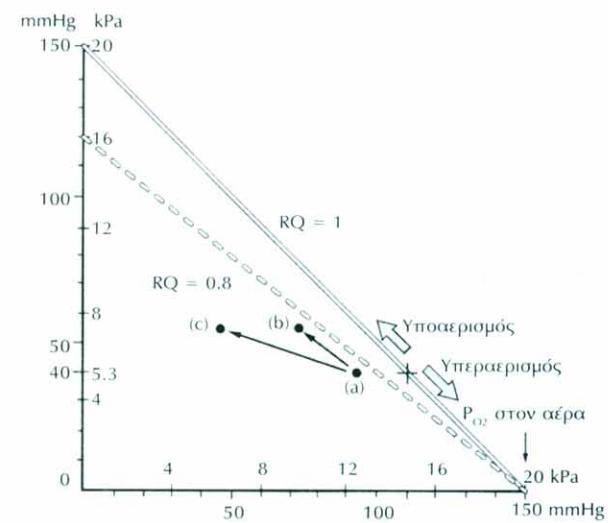
Δομή κυψελιδικού τοιχώματος.

θούν την πορεία του βρογχικού δένδρου. Το δίκτυο των πνευμονικών τριχοειδών είναι πολύ πυκνό προσφέροντας κατ' αυτόν τον τρόπο την αναγκαία επιφάνεια προς ανταλλαγή των αερίων. Τα πνευμονικά φλεβίδια διαδράμουν αρχικά εξωτερικώς στην περιφέρεια των λοβιδίων και μέσω των διαλοβιδιακών και διατμηματικών διαφραγμάτων, συνενούνται προς σχηματισμό των 4 κυρίων πνευμονικών φλεβών που εκβάλλουν στον αριστερό καρδιακό κόλπο. Διάφορες μικρές βρογχικές αρτηρίες εκκινούν από την κατιούσα αορτή και πορεύονται στο έξω τοίχωμα των βρόγχων και βρογχιολίων αιματώνοντας όλους τους ιστούς μέχρι το επίπεδο των αναπνευστικών βρογχιολίων. Το αίμα αυτό κυρίως παροχετεύεται μέσω κλάδων των πνευμονικών φλεβών συνεισφέροντας τοιουτοτρόπως μικρή ποσότητα ακόρεστου αιμάτος η οποία είναι υπεύθυνη για μέρος του «**φυσιολογικού βραχυκυκλώματος**» (physiological shunt) που παρατηρείται στα φυσιολογικά άτομα. Οι βρογχικές αρτηρίες υπερτρέφονται εξ' αιτίας χρόνιας πνευμονικής φλεγμονής, και μεγάλη αιμόπτυση δυνατόν να προκύψει σε νοσήματα όπως οι βρογχιεκτασίες ή το ασπεργίλλωμα από τις βρογχικές παρά τις πνευμονικές αρτηρίες. Συνεπώς, η θεραπεία της αιμόπτυσης έγκειται στον εμβολισμό των βρογχικών αρτηριών. Η πνευμονική κυκλοφορία έχοντας χαμηλότερες αντιστάσεις από τη συστηματική κυκλοφορία λειτουργεί με χαμηλότερες πιέσεις. Σε ηρεμία και σε όρθια θέση, η βαρύτης ασκεί μεγάλη επιδραση στην κατανομή του αιμάτος, με τρόπο ώστε η αιμάτωση να είναι καλύτερη στις πνευμονικές βάσεις. Η υποξία αποτελεί ισχυρό ερέθισμα σύσπασης των πνευμονικών αρτηριών διότι επιδρά ευθέως στις λείες μυϊκές ίνες του τοιχώματος των. Το αντανακλαστικό αυτό αποτελεί μηχανισμό αυτορρύθμισης, παροχετεύοντας αίμα μακράν των υποαεριζομένων περιοχών του πνεύμονα. Τα δε πνευμονικά τριχοειδή είναι δυνατόν να στραγγαλίζονται εάν η κυψελιδική υπερβαίνει την τριχοειδική πίεση.

Ανταλλαγή αερίων

Σε σταθερές συνθήκες, η σχέση μεταξύ της ποσότητας διοξειδίου του άνθρακος που παράγεται από το μεταβολισμό του σώματος και της ποσότητας του προσλαμβανομένου οξυγό-

νου εξαρτάται από τη σωματική μεταβολική δραστηριότητα και είναι γνωστή ως **αναπνευστικό πηλίκο** (respiratory quotient; RQ). Οι τιμές του πηλίκου κυμαίνονται από 0.7 (καθαρός μεταβολισμός από λιπίδια) μέχρι το 1.0 (καθαρός μεταβολισμός από υδατάνθρακες). Το πηλίκο λαμβάνει τιμές συνήθως περί το 0.8 αλλά για λόγους ευκολίας λογίζεται ως 1. Εάν το διοξείδιο του άνθρακος παράγεται με σταθερό ρυθμό, τότε το κυψελιδικό διοξείδιο (PaCO_2) εξαρτάται από τον κυψελιδικό αερισμό, το δε αρτηριακό διοξείδιο (PaCO_2) αντανακλά συνήθως τον κυψελιδικό αερισμό. Εάν ο αερισμός μειωθεί, το διοξείδιο ανέρχεται. Το επίπεδο το κυψελιδικό οξυγόνου (PaO_2) μεταβάλλεται με τον κυψελιδικό αερισμό αλλά η μέτρηση του αρτηριακού οξυγόνου (PaO_2) δεν είναι αξιόπιστος δείκτης κυψελιδικού αερισμού διότι επηρεάζεται σημαντικά από περιοχικές μεταβολές του πηλίκου αερισμού/αιμάτωσης ($V'\text{A}/V'\text{Q}$). Οι πιθανοί συνδυασμοί μεταξύ PaCO_2 και PaO_2 παρουσιάζονται στην Εικόνα A1-4. Ατμοσφαιρικός αέρας με υδρατμούς σε 37°C έχει $\text{PO}_2 = 150 \text{ mmHg}$. Η Εικόνα A1-4 περιγράφει κάθε δυνατό συνδυασμό όταν το RQ είναι 1 (διπλή γραμμή) και 0.8 (στικτή γραμμή). Η θέση του σταυρού παριστά τη σύσταση του κυψελιδικού αέρα σε ένα υποθετικό δείγμα. Μείωση του κυψελιδικού αερισμού συνεπάγεται ανοδική πορεία του σταυρού, ενώ αύξηση του αερισμού αντίθετη πορεία προς τα κάτω. Το σημείο (a) παριστά το PaCO_2 και PaO_2 στο αρτηριακό αίμα. Το σημείο (b) παριστά το



Εικόνα A1-4