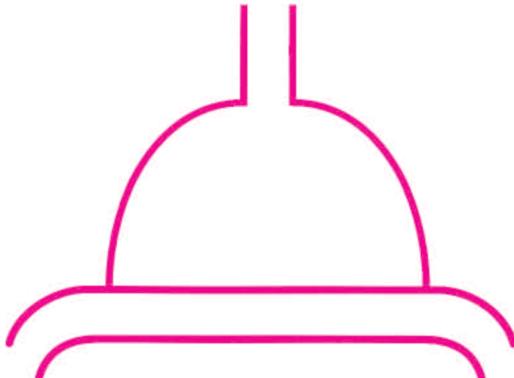


# 1



## Δομή και λειτουργία των πνευμόνων

Με ποιόν τρόπο η αρχιτεκτονική δομή των πνευμόνων ευνοεί τη λειτουργία τους

**Η διαχωριστική μεμβράνη αίματος –  
αερίων**

**Οι αεροφόροι οδοί και η ροή του αέρα**

**Τα αιμοφόρα αγγεία και η αιμάτωση  
των πνευμόνων**

**Η σταθερότητα των κυψελίδων**

**Η απομάκρυνση των εισπνεόμενων  
σωματιδίων**

Αναλύουμε κατ' αρχήν τη σχέση μεταξύ δομής και λειτουργίας των πνευμόνων. Εξετάζουμε τη διαχωριστική μεμβράνη αίματος-αερίων μέσω της οποίας πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων. Ακολουθεί η διαδικασία μεταφοράς του οξυγόνου μέσω των αεραγωγών προς την αναπνευστική μεμβράνη. Τέλος αναφέρονται δύο δυνητικά προβλήματα των πνευμόνων και η αντιμετώπισή τους: αφ' ενός οι μηχανισμοί που εξασφαλίζουν τη σταθερότητα των κυψελίδων και αφ' ετέρου οι μηχανισμοί που διατηρούν τους πνεύμονες καθαρούς σε ένα περιβάλλον ρύπων.

Οι πνεύμονες χρησιμεύουν για την ανταλλαγή των αερίων. Πρωταρχική λειτουργία της αναπνοής είναι η πρόσληψη του οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα και η αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα. Ταυτόχρονα, όμως, οι πνεύμονες επιτελούν και άλλες λειτουργίες, όπως είναι ο μεταβολισμός διαφόρων συστατικών και η απομάκρυνση των τοξικών ουσιών από την κυκλοφορία, ενώ παράλληλα χρησιμεύουν και ως αποθήκες αίματος. Κυριότερη όμως λειτουργία είναι η ανταλλαγή

των αερίων και για τον λόγο αυτόν θα ξεκινήσουμε την αναφορά μας με τη διαχωριστική μεμβράνη που παρεμβάλλεται μεταξύ του κυψελιδικού χώρου και του αίματος διά μέσου της οποίας επιτελείται αυτή η ανταλλαγή.

## ■ Η ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΑΙΜΑΤΟΣ-ΑΕΡΙΩΝ



Το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα διακινούνται μεταξύ του ατμοσφαιρικού αέρα και του αίματος με απλή διάχυση, μετακινούνται δηλαδή από μία περιοχή με υψηλή μερική πίεση προς μία περιοχή με χαμηλότερη μερική πίεση,\* όπως ακριβώς συμβαίνει και με το νερό που ρέει από την υψηλότερη στη χαμηλότερη στάθμη. Σύμφωνα με τον νόμο του Fick, το ποσό του αερίου που διακινείται μέσα από μια ιστική μεμβράνη είναι ανάλογο προς το εμβαδόν της επιφάνειας της μεμβράνης αυτής και αντιστρόφως ανάλογο προς το πάχος της. Η διαχωριστική μεμβράνη μεταξύ του αίματος και των αερίων είναι εξαιρετικά λεπτή (Σχήμα 1.1) και καταλαμβάνει εμβαδό 50 ως 100 τετραγωνικών μέτρων. Το γεγονός αυτό την καθιστά εξαιρετικά καταλληλη για τη λειτουργία της ανταλλαγής των αερίων.

Πώς καθίσταται δυνατή η παρουσία μιας τόσο μεγάλης επιφάνειας για τη διάχυση των αερίων μέσα στον περιορισμένο χώρο της θωρακικής κοιλότητας; Αυτό επιτυγχάνεται με τη δικτύωση πολλών μικρών αιμοφόρων αγγείων (τριχοειδών) γύρω από ένα τεράστιο αριθμό μικρών αερόσακκων που καλούνται κυψελίδες (Σχήμα 1.2). Οι πνεύμονες του ανθρώπου περιέχουν 500 εκατομμύρια κυψελίδες που η κάθε μία έχει διάμετρο περίπου ίση με 0,3 mm. Αν οι κυψελίδες είχαν σχήμα σφαιρικό\*\*, θα καταλάμβαναν συνολική επιφάνεια 85 τετραγωνικών μέτρων και θα είχαν ολικό όγκο 4 λίτρων. Συγκριτικά αναφέρεται ότι μία μόνο σφαίρα αυτού του όγκου θα είχε εσωτερική επιφάνεια με εμβαδόν ίσο μόνο με το 1/100 του τετραγωνικού μέτρου. Η ύπαρξη αυτής της μεγάλης επιφάνειας που διευκολύνει σημαντικά τη διάχυση οφείλεται στη διαίρεση του πνευμονικού παρεγχύματος σε εκατομμύρια μικρές λειτουργικές μονάδες (κυψελίδες).

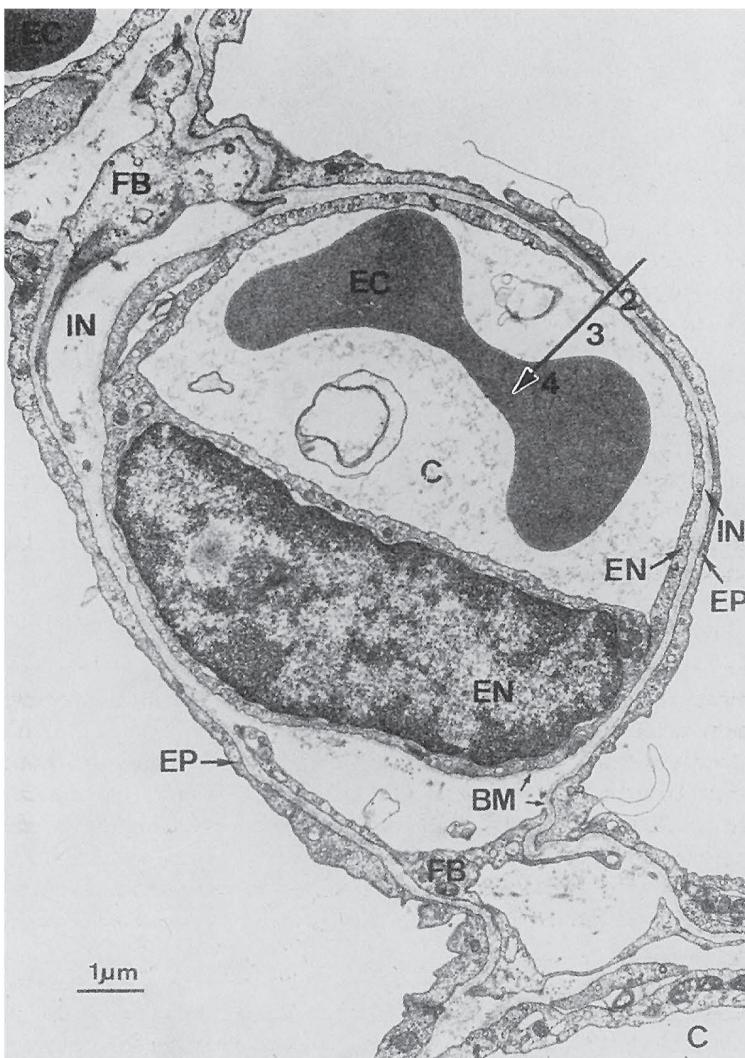
Τα αέρια μεταφέρονται προς τη μία επιφάνεια της διαχωριστικής μεμβράνης διά μέσου των αεραγωγών, ενώ το αίμα μεταφέρεται προς την απέναντι επιφάνεια με τα αιμοφόρα αγγεία.

## ■ ΟΙ ΑΕΡΟΦΟΡΟΙ ΟΔΟΙ ΚΑΙ Η ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Οι αεροφόροι οδοί αποτελούνται από μία σειρά διακλαδιζόμενων αγωγών, οι οποίοι όσο πιο βαθιά εισχωρούν μέσα στο πνευμονικό παρέγχυμα τόσο στενότεροι,

\* Μερική πίεση ενός αερίου είναι το γινόμενο της συγκέντρωσης του αερίου αυτού επί την ολική πίεση. Για παράδειγμα, ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας (χωρίς τους υδρατμούς) έχει περιεκτικότητα σε οξυγόνο 20,93%. Η μερική πίεση του οξυγόνου ( $P_{O_2}$ ) στο επίπεδο της θάλασσας (βαρομετρική πίεση 760 mm Hg) είναι ίση με  $20,93/100 \times 760 = 159$  mm Hg. Όταν ο εισπνεόμενος αέρας εισέρχεται μέσα στους ανώτερους αεραγωγούς, θερμαίνεται και υγραίνεται, οπότε η πίεση των υδρατμών ισούται με 47 mm Hg, συνεπώς η συνολική πίεση του αέρα (χωρίς τους υδρατμούς) ισούται με  $760 - 47 = 713$  mm Hg, ενώ η  $P_{O_2}$  του εισπνεόμενου αέρα είναι ίση με:  $20,93/100 \times 713 = 149$  mm Hg. Υγρό που έρχεται σε επαφή με αέριο μέχρι κορεσμού, περιέχει το αέριο σε κατάσταση φυσικής διάλυσης, υπό πίεση ίση με την πίεσή του στην αέρια φάση (για πληρέστερη περιγραφή των νόμων των αερίων βλέπε Παράρτημα A).

\*\* Οι κυψελίδες δεν είναι σφαιρικές αλλά πολυεδρικές. Επίσης δεν είναι διαθέσιμη για διάχυση όλη τους η επιφάνεια (βλέπε Εικόνα 1-1). Αυτοί οι αριθμοί συνεπώς είναι μόνο κατά προσέγγιση.



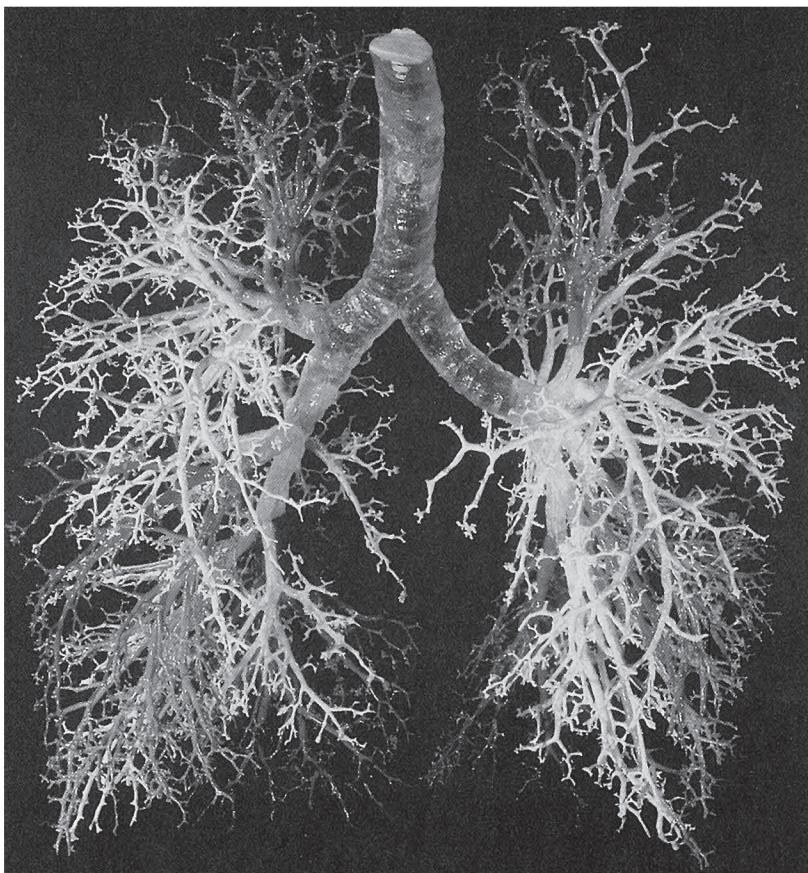
**ΣΧΗΜΑ 1.1.** Τριχοειδές (C) σε τοίχωμα κυψελίδας (Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο). Επισημαίνεται το εξαιρετικά λεπτό διαχωριστικό τοίχωμα μεταξύ αέρα και αίματος (πάχος μικρότερο από 0,3 μμ). Το μεγάλο βέλος καταδεικνύει την οδό διάχυσης του οξυγόνου από τον κυψελιδικό αέρα προς το εσωτερικό του ερυθροκυττάρου (EC) και περιλαμβάνει το στρώμα του επιφανειοδραστικού παράγοντα (surfactant) (που δεν διακρίνεται στο παρασκεύασμα), το κυψελιδικό επιθήλιο (EP), τον διάμεσο ιστό (IN), το ενδοθήλιο του τριχοειδούς (EN) και το πλάσμα. Διακρίνονται επίσης τμήματα από ινοβλάστες (FB), η βασική μεμβράνη (BM) και ο πυρήνας ενός ενδοθηλιακού κυττάρου.

βραχύτεροι και πολυυπληθέστεροι γίνονται (Σχήμα 1.3). Η τραχεία διχάζεται στον δεξιό και στον αριστερό κύριο βρόγχο, που ο καθένας στη συνέχεια διαιρείται στους λοβαίσιους βρόγχους, που με τη σειρά τους διαιρούνται στους τμηματικούς βρόγχους. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι τον σχηματισμό των τελικών βρογ-



**ΣΧΗΜΑ 1.2.** Διατομή πνεύμονα όπου διακρίνονται πολλές κυψελίδες και ένα μικρό βρογχιόλιο. Τα κυψελιδικά τριχοειδή φέρονται ανάμεσα στα τοιχώματα κυψελίδων (Σχήμα 1.1). Τα ανοίγματα που διακρίνονται στα τοιχώματα των κυψελίδων είναι οι πόροι του Κοήν.

χιολίων που αποτελούν τους μικρότερους αεραγωγούς πριν από τις κυψελίδες. Το σύνολο αυτών των βρόγχων σχηματίζει τις αεροφόρους οδούς που κατευθύνονται στον εισπνεόμενο αέρα στις περιοχές των πνευμόνων, όπου γίνεται η ανταλλαγή των αερίων (Σχήμα 1.4). Επειδή οι αεραγωγοί δεν περιέχουν κυψελίδες, και συνεπώς δεν συμμετέχουν στην ανταλλαγή των αερίων, θεωρείται ότι αποτελούν έναν



**ΣΧΗΜΑ 1.3.** Εκμαγείο των αεραγωγών από πνεύμονες ανθρώπου. Οι κυψελίδες δεν περιλαμβάνονται, διακρίνονται όμως οι αεραγωγοί από την τραχεία μέχρι και τα τελικά βρογχιόλια.

ιδιαίτερο χώρο που ονομάζεται ανατομικός νεκρός χώρος, του οποίου η συνολική χωρητικότητα είναι περίπου 150 ml.

Τα τελικά βρογχιόλια με την εμφάνιση των τοιχωματικών κυψελίδων μετατρέπονται σε αναπνευστικά βρογχιόλια, τα οποία στη συνέχεια μεταπίπτουν στους κυψελιδικούς πόρους και τους κυψελιδικούς σάκους που αποτελούνται πλήρως από κυψελίδες. Η κυψελιδική αυτή περιοχή, στην οποία πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αερίων, είναι γνωστή ως αναπνευστική ζώνη. Το τμήμα των πνευμονικού παρεγχύματος που βρίσκεται γύρω από ένα τελικό βρογχιόλιο αποτελεί μία ιδιαίτερη ανατομική μονάδα που ονομάζεται βοτρύδιο ή λοβίδιο. Η απόσταση ανάμεσα στο τελικό βρογχιόλιο και στην περιφερικότερη κυψελίδα είναι της τάξεως των λίγων mm. Εντούτοις, η αναπνευστική ζώνη καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του πνευμονικού όγκου περίπου 2,5 ώς 3 λίτρα.

Κατά τη διάρκεια της εισπνοής, ο όγκος της θωρακικής κοιλότητας αυξάνεται και ο αέρας εισέρχεται μέσα στους πνεύμονες. Η αύξηση αυτή του όγκου δημιουρ-