

ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Κ. ΚΑΤΣΟΥΛΗΣ – Λ. ΓΚΑΝΑΒΙΑΣ

1

Οι συνιστώσες του αναπνευστικού συστήματος είναι το θωρακικό τοίχωμα, οι αεροφόρες οδοί, το πνευμονικό παρέγχυμα καθώς και η πνευμονική, βρογχική και λεμφική κυκλοφορία.

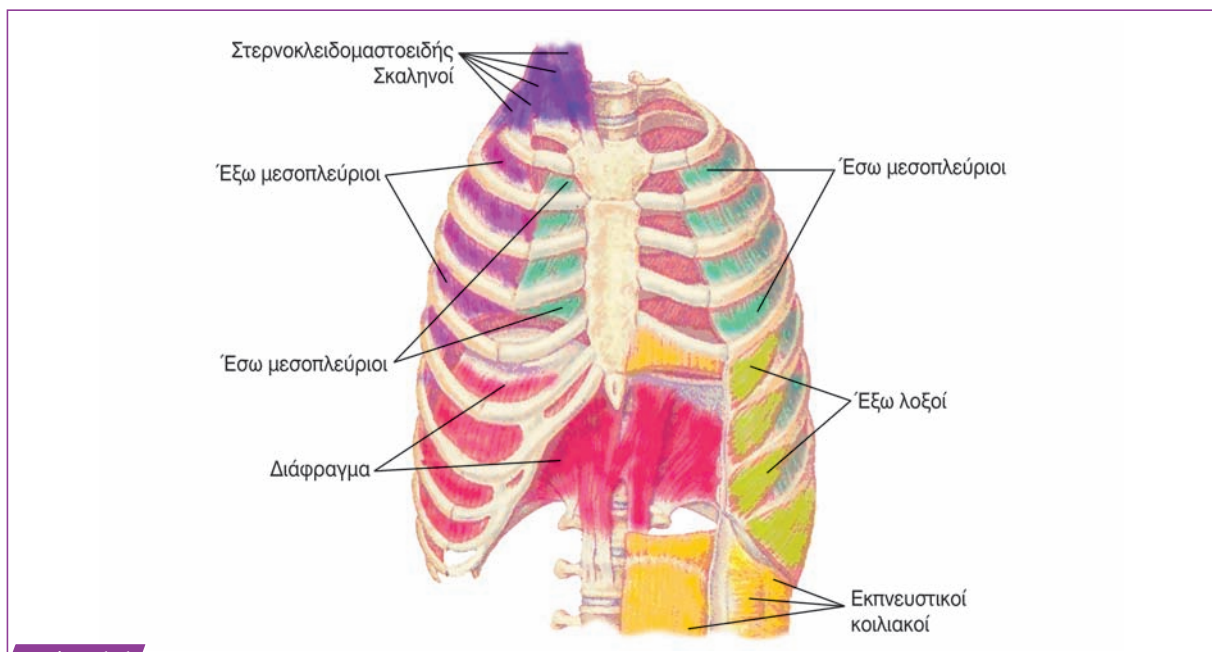
ΘΩΡΑΚΙΚΟ ΤΟΙΧΩΜΑ

Αποτελείται από οστά και μυς. Τα οστά του θωρακικού τοιχώματος είναι οι θωρακικοί σπόνδυλοι, τα 12 ζεύγη των πλευρών και το στέρνο, ενώ οι μύες του θωρακικού τοιχώματος είναι το διάφραγμα και οι μεσοπλεύριοι μύες (εικ. 1.1).

Το **διάφραγμα** αποτελείται από δύο κυρίως μυικά τμήματα, το πλευρικό και τα σκέλη του οσ-

φυικού, τα οποία ενώνονται με τον κεντρικό τένοντα του διαφράγματος. Αποτελεί το βασικό μυ της αναπνοής στο υγιές άτομο. Η συστολή του μετατοπίζει το περιεχόμενο της κοιλιακής κοιλότητας προς τα έξω, ανυψώνει και εκτείνει το θωρακικό τοίχωμα.

Οι **μεσοπλεύριοι μύες** διακρίνονται σε έξω και έσω. Εκφύονται από το κατώτερο χείλος των πλευρών και οι έξω κατευθύνονται πλαγίως εμπρός, οι δε έσω κατευθύνονται πλαγίως προς τα πίσω. Η κατεύθυνση των μυικών ινών των έξω και έσω μεσοπλευρίων σχηματίζει ορθή γωνία. Οι έξω μεσοπλεύριοι είναι εισπνευστικοί ενώ οι έσω είναι εκπνευστικοί μύες.



Εικόνα 1.1

Οι αναπνευστικοί μύες.

ΑΕΡΟΦΟΡΕΣ ΟΔΟΙ

Είναι η ρινική κοιλότητα, ο λάρυγγας και το τραχειοβρογχικό δέντρο.

Η **ρινική κοιλότητα** απαρτίζεται από τις ρινικές κόγχες και το ρινικό διάφραγμα. Λειτουργικός σκοπός της, πλην της λειτουργίας της όσφρησης και του αντανακλαστικού του παρμού, είναι η διόδος, εφύγραση, θέρμανση και κάθαρση του εισπνεόμενου αέρα, χάρη στο πυκνό δίκτυο αιμοφόρων αγγείων το οποίο έχει και στο επιθήλιο της, το οποίο μπορεί να συγκρατεί εισπνεόμενα σωματίδια. Οι αδενοειδείς εκβλαστήσεις και οι αμυγδαλές αποτελούν συγκεντρώσεις λεμφικού ιστού με ουσιαστική συμβολή στο αμυντικό σύστημα του αναπνευστικού συστήματος.

Οι **φωνητικές χορδές** του λάρυγγα αποτελούν την είσοδο της τραχείας και σηματοδοτούν τη μετάπτωση από το **ανώτερο** στο **κατώτερο** αναπνευστικό σύστημα.

ΤΡΑΧΕΙΟΒΡΟΓΧΙΚΟ ΔΕΝΔΡΟ

Αποτελείται από σειρά διακλαδιζόμενων σωλήνων (βρόγχοι), οι οποίοι σταδιακά γίνονται στενότεροι και πιο πολυάριθμοι καθώς εισχωρούν στους πνεύμονες. Σε αυτό συμπεριλαμβάνονται η **τραχεία**, οι δύο **στελεχιαίοι** βρόγχοι, οι **λοβαίοι**, οι **τμηματικοί** και **υποτμηματικοί** βρόγχοι, τα **βρογχιόλια** και τα **τελικά βρογχιόλια**.

Το τοίχωμα των αεραγωγών αποτελείται από τρεις χιτώνες: α) το βλεννογόνο, β) τον υποβλεννογόνο και γ) το συνδετικό. Ο **βλεννογόνος** είναι σε άμεση επαφή με τα εισπνεόμενα αέρια και σωματίδια και αποτελείται από κροσσωτό επιθήλιο. Οι ρυθμικές κινήσεις των κροσσών μετατοπίζουν συνεχώς τη βλέννη που τους καλύπτει προς την τραχεία και το φάρυγγα, όπου και αποβάλλεται ή καταπίνεται. Σε φυσιολογικά άτομα υπολογίζεται ότι αποβάλλονται και καταπίνονται κάθε μέρα 80 με 100 ml βλέννης. Με τον τρόπο αυτό απομακρύνονται μηχανικά και διάφορα σωματίδια.

Ο **υποβλεννογόνιος χιτώνας** αποτελείται από βλεννογόνους αδένες, λείες μυικές ίνες και λεμφοκύτταρα. Εδώ ανευρίσκονται και συναθροίσεις λεμφοκυττάρων (Bronchial Associated Lymphoid Tissue – BALT), οι οποίες μοιάζουν ιστολογικά

με τις πλάκες του Peyer του εντέρου. Τα λεμφοκύτταρα αυτά συμμετέχουν στην άμυνα του πνεύμονα, παράγοντας ανοσοσφαιρίνες που εκκρίνονται στον αυλό των βρόγχων, αλλά και αντιδρώντας σε εισπνεόμενα παθογόνα και σωματίδια.

Ο **συνδετικός χιτώνας** παρέχει δομική υποστήριξη στους αεραγωγούς. Στην τραχεία και τους βρόγχους αποτελείται τόσο από χόνδρινο, όσο και από ελαστικό συνδετικό ιστό. Οι χόνδροι γίνονται όλο και λιγότεροι περιφερικότερα, μέχρι να εξαφανιστούν πλήρως από τα βρογχιόλια και μετά.

ΤΡΑΧΕΙΑ

Εκτείνεται μετά τον κρικοειδή χόνδρο του λάρυγγα και για 10 με 11 εκατοστά, οπότε διχάζεται στους **στελεχιαίους** (κύριους) βρόγχους. Σε φυσιολογικούς ενήλικες, το ήμισυ της τραχείας βρίσκεται εξωθωρακικά και το άλλο ενδοθωρακικά.

Ο διχασμός της τραχείας γίνεται στο ύψος του πέμπτου θωρακικού σπονδύλου οπισθίως και στο ύψος της λαβής του στέρνου προσθίως. Η θέση της τραχείας μεταβάλλεται κατά την αναπνοή, ώστε το κατώτερο άκρο να μετακινείται κατά ένα με δύο εκατοστά προς τα κάτω και πρόσω κατά την ήρεμη εισπνοή.

Το πρόσθιο και τα πλάγια τοιχώματα της τραχείας αποτελούνται από περίπου είκοσι χόνδρινους δίσκους σχήματος ημικυκλίου, ενώ το οπίσθιο τοίχωμα της τραχείας είναι μεμβρανώδες και χωρίς χόνδρους. Στο οπίσθιο όμως τοίχωμα βρίσκονται δεσμίδες μυικών ινών, οι οποίες εισέρχονται εντός των οπισθίων άκρων των χόνδρων.

Ακριβώς στο σημείο της εισόδου του στελεχιαίου βρόγχου στο πνευμονικό παρέγχυμα, οι χόνδροι περιβάλλουν πλήρως τους βρόγχους. Τα οπίσθια άκρα δηλαδή των χόνδρων συνενώνονται πλήρως και η μεμβρανώδης μοίρα εξαφανίζεται.

Στο σημείο στο οποίο ο χόνδρος περιβάλλει πλήρως τον αεραγωγό, η μυική στοιβάδα αναδιατάσσεται πλήρως. Δεν εισέρχεται πλέον κατά δεσμίδες εντός του χόνδρου όπως στην τραχεία, αλλά σχηματίζει χωριστή στιβάδα επί τα εντός του χόνδρου, με αποτέλεσμα ο αεραγωγός να μπορεί να αποφραχθεί πλήρως μετά από σύσπαση του μυός, γεγονός που δεν συμβαίνει στην τραχεία.

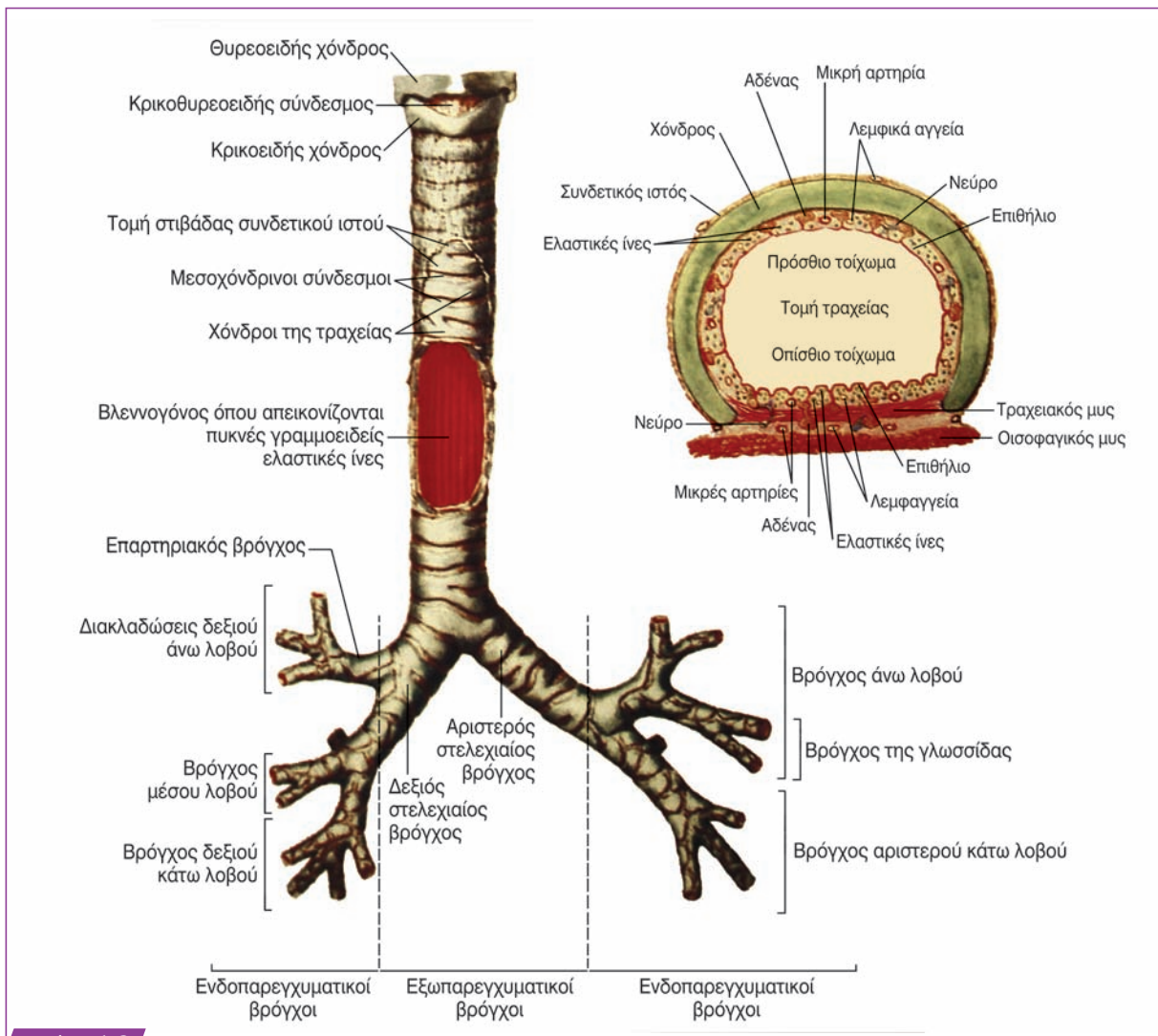
ΣΤΕΛΕΧΙΑΙΟΙ (ΚΥΡΙΟΙ) ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΙΚΟΙ ΒΡΟΓΧΟΙ

Η συχνότερα απαντούμενη διακλάδωση του τραχειοβρογχικού δέντρου είναι αυτή που απεικονίζεται στην εικόνα 1.2.

Ο δεξιός στελεχιαίος βρόγχος είναι βραχύτερος (2,5 cm περίπου) του αριστερού (5 cm περίπου) και φαίνεται να αποτελεί τη φυσιολογική συνέχεια της τραχείας, ενώ η έκφυση του αριστερού στελεχιαίου γίνεται υπό οξεία γωνία. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα εισροφούμενα ξένα σώματα να ενσφηνώνονται συχνότερα δεξιά.

Ο δεξιός στελεχιαίος βρόγχος, αφού δώσει τη διακλάδωση για τον **άνω λοβό** (δεξιός άνω βρόγχος), πορεύεται προς τα κάτω, καλούμενος στη συνέχεια **διάμεσος** βρόγχος. Ο διάμεσος βρόγχος δίνει διακλαδώσεις για το **μέσο λοβό** (ο οποίος υπάρχει μόνο στο δεξιό πνεύμονα) και το **δεξιό κάτω λοβό**. Ο αριστερός στελεχιαίος βρόγχος διέρχεται κάτω του αορτικού τόξου και διαιρείται σε βρόγχο για τον **αριστερό άνω** και βρόγχο για τον **αριστερό κάτω** λοβό.

Ο βρόγχος για τον άνω λοβό αριστερά, δίνει τη διακλάδωση για τη γλωσσίδα (lingula) και το βρόγχο του ιδίως άνω λοβού.



Εικόνα 1.2

Δομή της τραχείας και των κύριων βρόγχων.

ΒΡΟΓΧΙΟΛΙΑ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΟ ΠΑΡΕΓΧΥΜΑ

Καθώς η διακλάδωση των τμηματικών βρόγχων συνεχίζεται, το χόνδρινο στοιχείο στο τοίχωμά τους γίνεται όλο και υποπλαστικότερο όσο η διάμετρος των βρόγχων μικραίνει, μέχρι πλήρους εξαφανίσεώς του στους βρόγχους με διάμετρο 1 mm, οι οποίοι ονομάζονται **βρογχιόλια**.

Στο ύψος όπου ο διχασμός των βρογχιολίων αρχίζει να παρουσιάζει **κυψελίδες**, αυτά ονομάζονται **αναπνευστικά βρογχιόλια**, ενώ το αμέσως προηγούμενο βρογχιόλιο πριν από το αναπνευστικό ονομάζεται **τελικό βρογχιόλιο**.

Η διάμετρος του τελικού βρογχιολίου είναι περίπου 0,5 χιλιοστά και καθένα από αυτά τροφοδοτεί με αέρα τη δική του περιφερειακή μονάδα του πνεύμονα που ονομάζεται **λοβίδιο**. Το λοβίδιο αποτελεί τη βασική ανατομική μονάδα του πνευμονικού παρεγχύματος.

Στο επίπεδο του λοβιδίου, τα αναπνευστικά βρογχιόλια υποδιαιρούνται περαιτέρω σε αναπνευστικά βρογχιόλια 1ης, 2ης και 3ης τάξης. Επιτελούν διπλό ρόλο, τόσο ως αεραγωγοί, όσο και ως το πρώτο μέρος του συστήματος ανταλλαγής των αερίων στον πνεύμονα.

Τα αναπνευστικά βρογχιόλια όσο προχωρούν περιφερικότερα περιβάλλονται όλο και περισσότερο από **κυψελιδικούς σάκκους** και **κυψελίδες**. Οι κυψελίδες είναι το σημείο όπου επιτελείται η κύρια λειτουργία των πνευμόνων, η **ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων**, δηλαδή η πρόσληψη οξυγόνου και η αποβολή διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 1.3

Επιφάνεια ανταλλαγής αερίων.

Το τοίχωμα των κυψελίδων είναι πολύ λεπτό και αποτελείται από δύο κύριους τύπους κυττάρων, τα πνευμονοκύτταρα τύπου I και II (εικ. 1.3).

Τα **πνευμονοκύτταρα τύπου I** είναι μεγάλα επίπεδα κύτταρα που καλύπτουν πάνω από 90% της επιφάνειας των κυψελίδων. Είναι κύτταρα υψηλής διαφοροποίησης, μεταβολικώς ανενεργά, που δεν πολλαπλασιάζονται και λόγω της μεγάλης επιφάνειας και του μικρού τους πάχους είναι τρωτά και καταστρέφονται από διάφορα παθογόνα αιτία που τα προσβάλλουν από το αίμα ή τον αέρα. Η κύρια λειτουργία τους είναι η ανταλλαγή των αερίων, που επιτυγχάνεται μέσω παθητικής διάχυσης.

Τα **πνευμονοκύτταρα τύπου II** είναι μικρά κυβοειδή κύτταρα τα οποία εμφανίζουν σημαντική μεταβολική δραστηριότητα και παράγουν την επιφανειοδραστική ουσία (surfactant). Η **επιφανειοδραστική ουσία** είναι ένα πολύπλοκο μείγμα από πρωτεΐνες και λιπίδια, το οποίο ελαττώνει την επιφανειακή τάση των κυψελίδων και εμποδίζει τη δημιουργία ατελεκτασιών.

Η ανταλλαγή των αερίων γίνεται στην **κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη**, το τμήμα του πνεύμονα όπου οι κυψελίδες και τα πνευμονικά τριχοειδή έρχονται σε ανατομική επαφή μεταξύ τους.

Οι τελικές αναπνευστικές μονάδες επικοινωνούν μεταξύ τους με τους κυψελιδικούς πόρους του Kohn και τις διόδους του Lambert. Οι πρώτοι συνδέουν μεταξύ τους κυψελίδες, ενώ οι δίοδοι του Lambert συνδέουν τελικά και αναπνευστικά βρογχιόλια ή και μεγαλύτερους βρόγχους. Οι επικοινωνίες αυτές αποτελούν οδούς παράπλευρου αερισμού.

Η διακλάδωση του βρογχικού δέντρου μοιάζει με εκείνη του δέντρου. Σε κάθε σημείο διακλάδωσης εκφύονται συνήθως δύο κλάδοι, οι οποίοι όμως δεν είναι ακριβώς ίδιοι ούτε στο μήκος, ούτε στο εύρος. Ο αριθμός των διακλάδωσεων των αεραγωγών από το σημείο της κυρίας τρόπιδας μέχρι του τελικού βρογχιολίου, δεν είναι καθόλου σταθερός για όλους τους βρόγχους και ποικίλλει από 7 έως 24, ανάλογα με το πόσο απέχει ο βρόγχος από την πύλη του πνεύμονα. Ο αριθμός των τελικών βρογχιολίων και επομένως και των αναπνευστικών μονάδων, υπολογίζεται σε 20-30.000.

Η επιφάνεια διατομής των αγωγών των αναπνευστικού συστήματος, ξεκινάει από την τραχεία στα 2 cm² και μπορεί να φτάσει συνολικά τις μερικές χιλιάδες τετραγωνικά εκατοστά. Αποτέλεσμα όλων αυτών των διακλαδώσεων είναι η ταχύτητα του ρεύματος του αέρα η οποία είναι αρκετά σημαντική στην τραχεία, να μηδενίζεται στο επίπεδο της κυψελίδας, διότι εκεί δεν χρειάζεται μετακίνηση αέρα, αλλά αντίθετα μάλλον ακινησία, ώστε να επιτυγχάνεται μέσω διάχυσης η ανταλλαγή των αερίων.

ΝΕΥΡΩΣΗ ΤΟΥ ΠΝΕΥΜΟΝΑ

Γίνεται τόσο από τη συμπαθητική (μέσω της συμπαθητικής αλύσου) όσο και από την παρασυμπαθητική οδό (μέσω του πνευμονογαστρικού νεύρου). Σημειώνεται ότι οι λείες μυϊκές ίνες των αεραγωγών φαίνεται να λαμβάνουν άμεση νύρωση μόνο από το παρασυμπαθητικό.

ΛΕΜΦΑΔΕΝΕΣ

Σχηματισμένοι λεμφαδένες, με βλαστικά κέντρα και καθορισμένη κολποειδή κατασκευή, εμφανίζονται εντός των πνευμόνων κατά τη γέννηση και αυξάνουν αρκετά κατά το πρώτο έτος της ζωής.

Στους ενήλικες, οι λεμφαδένες βρίσκονται κυρίως εντός των πυλών στον περιβρογχικό ιστό και δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το αναπνευστικό επιθήλιο.

Οι ομάδες των λεμφαδένων, οι οποίες παρεμβάλλονται στη ροή της λέμφου από τους πνεύμο-

νες στη φλεβική κυκλοφορία μέσω των θωρακικών πόρων είναι (εικ. 1.4):

- Οι **πνευμονικοί** (ενδοπνευμονικοί) λεμφαδένες, οι οποίοι εντοπίζονται κυρίως στις διακλαδώσεις των μεγάλων (λοβαίων) βρόγχων
- Οι **πυλαιοί** λεμφαδένες, οι οποίοι βρίσκονται στη θέση εισόδου στους πνεύμονες των στελεχιαίων βρόγχων και των αγγείων
- Οι **τραχειοβρογχικοί** λεμφαδένες
- Οι **λεμφαδένες του αορτικού τόξου**, οι οποίοι είναι μόνο αριστερά και εντοπίζονται κάτω από το αορτικό τόξο
- Οι **παρατραχειακοί** λεμφαδένες
- Οι **κατώτεροι εν τω βάθει τραχηλικοί (σκαληνοί)** λεμφαδένες.

ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

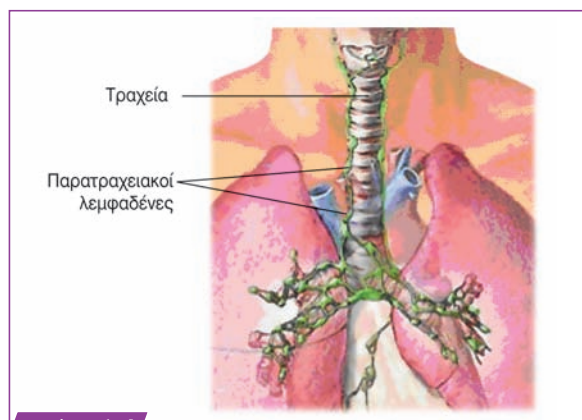
Η πνευμονική κυκλοφορία (η οποία κλασικά αποκαλείται “μικρή” κυκλοφορία) παρεμβάλλεται μεταξύ της δεξιάς και της αριστερής κοιλίας. Ξεκινάει από την πνευμονική βαλβίδα, η οποία είναι η έξοδος της δεξιάς κοιλίας και εκτείνεται έως τα στόμια εισόδου των τεσσάρων πνευμονικών φλεβών στον αριστερό κόλπο. Η κύρια λειτουργία της είναι η μεταφορά ολόκληρης της καρδιακής παροχής με χαμηλή πίεση στην κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη, ώστε να επιτευχθεί η ανταλλαγή των αερίων.

Η πνευμονική κυκλοφορία περιλαμβάνει το **στέλεχος της πνευμονικής αρτηρίας** (pulmonary trunk), την αριστερή και δεξιά **κύρια πνευμονική αρτηρία** και τους **λοβαίους** κλάδους τους, τις **ενδοπνευμονικές** αρτηρίες, τα **αρτηρίδια**, τα **τριχοειδή**, τα **φλεβίδια** και τις **μεγάλες πνευμονικές φλέβες**.

Λόγω σημαντικών διαφορών στην επιμέρους φυσιολογία τους, η πνευμονική κυκλοφορία μπορεί να διαχωριστεί λειτουργικά σε **εξωκυψελιδικά** και **κυψελιδικά** αγγεία. Τα μικρά αγγεία που συμμετέχουν στην ανταλλαγή υγρών και διαλυτών συστατικών αποκαλούνται συνολικά **πνευμονική μικροκυκλοφορία**.

ΒΡΟΓΧΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

Ξεκινάει απευθείας από τη συστηματική κυκλοφορία και αρδεύει κυρίως την τραχεία, τους βρόγ-



Εικόνα 1.4

Λεμφαδένες τραχειοβρογχικού δένδρου.

χους και τα βρογχιόλια, τα τοιχώματα των ενδοπνευμονικών αρτηριών και φλεβών και τους λεμφαδένες. Σε μικρότερο βαθμό παρέχει αιμάτωση και στις κυψελίδες. Επικοινωνεί με την πνευμονι-

κή κυκλοφορία, ώστε ένα μέρος του αίματος που διέρχεται από τις βρογχικές αρτηρίες, επιστρέφει στην αριστερή κοιλία μέσω των πνευμονικών φλεβών.

Βιβλιογραφία

- Albertine KH, Williams MC, Hyde DM.* Anatomy of the Lungs. In: Textbook of Respiratory Medicine. Murray-Nadel, 4th ed. Elsevier Saunders, 2005, pp 3-29.
- Current Diagnosis and treatment in Pulmonary Medicine, Lange Medical books, McGraw-Hill, 2003, pp 3-4.
- Fraser RG, Pare PAG.* Diagnosis of Diseases of the Chest. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders, 1978, p 52.
- Netter F.* The Ciba Collection of Medical Illustrations. Vol. 7. Respiratory System, 1979.