



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ροή αέρα και σύγκλιση

Ενότητα 3: Ροή αέρα

Κωνσταντίνος Σπυρόπουλος, Καθηγητής
Σχολή Επιστημών Υγείας
Τμήμα Ιατρικής

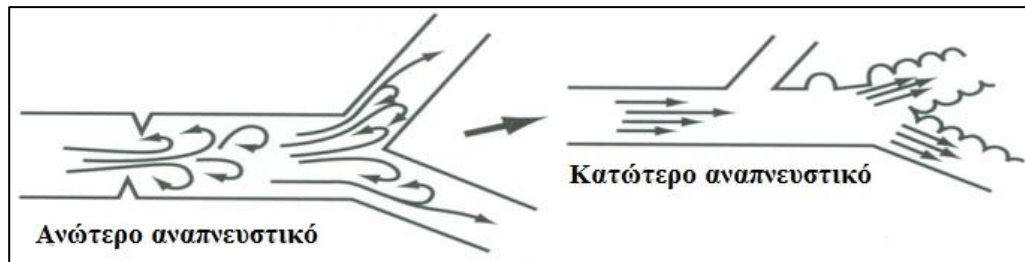
Ροή αέρα

- Η ροή του αέρος εντός των αεραγωγών είναι χαρακτηριστική και εξαρτάται από την συνολική διατομή των αεραγωγών στα διάφορα επίπεδα διακλάδωσής τους.
 - Στους κεντρικότερους αεραγωγούς η ροή είναι στροβιλώδης και εξαρτάται από την πυκνότητα του εισπνεόμενου αερίου.
 - Στους περιφερικότερους αεραγωγούς η ροή είναι γραμμική και εξαρτάται από το ιξώδες (εσωτερική τριβή) του εισπνεόμενου αερίου. Στους ενδιάμεσους είναι μεικτή
- Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η αντίσταση των αεραγωγών που εκφράζεται ως πηλίκο διαφοράς πίεσης και ροής. Η ροή εκφράζεται και ως πηλίκο διαφοράς πίεσης προς αντιστάσεις και ως πηλίκο διαφοράς πίεσης και πυκνότητας (στροβιλώδης ροή) και ως πηλίκο διαφορά πίεσης ιξώδους (γραμμική ροή).
- Ο τρόπος διακίνησης του αέρος στον πνεύμονα μελετάται με τον προσδιορισμό διαφόρων μεγεθών όταν ο ασθενής αναπνέει αέρα ή ήλιο. Κατά την εκπνοή γίνεται σύγκλιση των αεραγωγών φυσιολογικά κάτω από το επίπεδο της λειτουργικής υπολειπομένης χωρητικότητας. Κάθε αναπνευστική μονάδα χαρακτηρίζεται από την σταθερά χρόνου που δείχνει τον χρόνο που απαιτείται ώστε να διακινήσει τον αέρα.
- Όταν υπάρχει βλάβη η σταθερά χρόνου μεγαλώνει ή μικραίνει και η διατασιμότητα του πνεύμονα εξαρτάται από την συχνότητα της αναπνευστικής λειτουργίας.



Ροή αέρα

- Στροβιλώδης ροή
 - $\Delta P = d \cdot Q^2$
- Γραμμική ροή
 - Στην γραμμική ροή η πτώση πίεσης ΔP είναι ανάλογη με την επιτυγχανόμενη ροή και την εσωτερική τριβή (viscosity, μ) του αερίου
 - $\Delta P = \mu \cdot Q^2$
- Στους περιφερικούς αεραγωγούς η ταχύτητα των μορίων του αέρος είναι μικρή, λόγω της συνολικά μεγάλης διατομής τους, οι δυναμικές γραμμές είναι παράλληλες (δυναμική ροή) και η πτώση της πίεσης είναι ανάλογη προς την ροή Q και την εσωτερική τριβή του αερίου (μ).

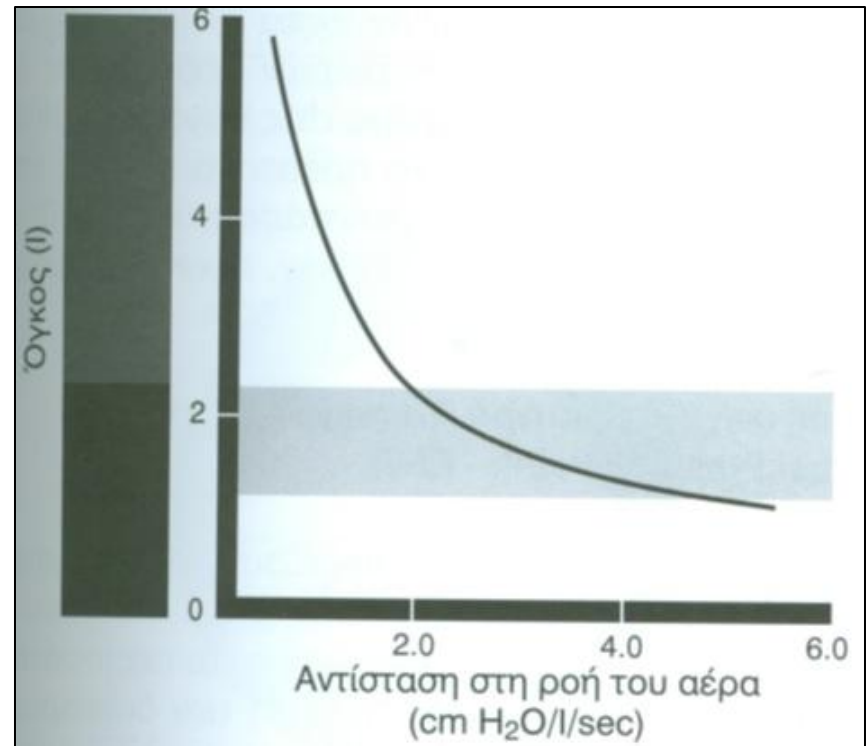


Ροή αέρα

- Επί ζώντος η ολική αντίσταση των αεραγωγών (R_{aw}) εκφράζεται από το πηλίκο της διαφοράς πίεσης μεταξύ αρχής και τέλους των αεραγωγών και της επιτυγχανόμενης ροής.

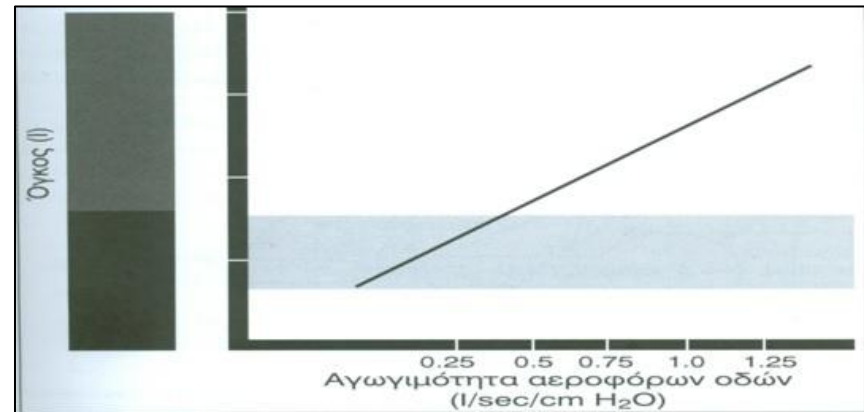
- $R_{aw} = \frac{\Delta P}{\dot{Q}}$

- όπου $\Delta P = P_{a0} - P_{alv}$



Ροή αέρα

- Αγωγιμότητα
- $G_{aw} = \frac{1}{R_{aw}}$
- Αν διαιρεθεί η αγωγιμότητα προς τον όγκο του πνεύμονα (G_{aw}/V) τότε προκύπτει η ειδική αγωγιμότητα.
- Κατά την αναπνοή η αντίσταση των αεραγωγών κάτωθεν του λάρυγγα προσδιορίζεται συνήθως από την αντίσταση των μεγαλύτερων κεντρικότερων αεραγωγών όπου η ροή είναι στροβιλώδης. Αντιθέτως η αντίσταση των περιφερικών μικρών αεραγωγών (<2mm) όπου η ροή είναι γραμμική συνεισφέρει ελάχιστα στη συνολική τιμή των ολικών αντιστάσεων. Το 80% των ολικών αντιστάσεων οφείλεται στην αντίσταση των κεντρικών αεραγωγών (τραχεία και οι έξι πρώτες γενεές βρόγχων) και το 20% στην αντίσταση των περιφερικών αεραγωγών.



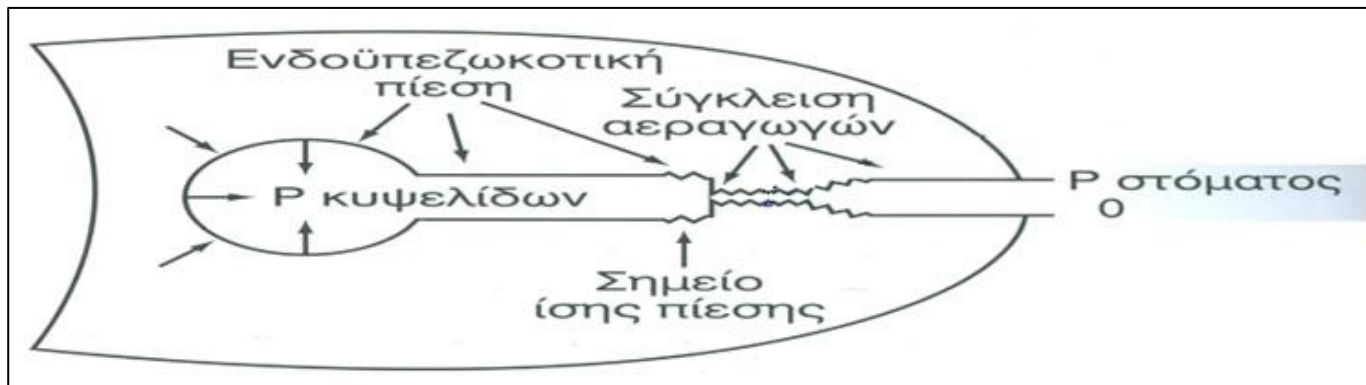
Η κατανομή της αντίστασης των αεραγωγών

- Η διάμετρος της διατομής των ανώτερων αεραγωγών είναι μικρή. Αναφέρθη προηγουμένως ότι η μικρότερη διατομή αντιστοιχεί στην σχισμή της γλωτίδας.
- Ολόκληρος ο αναπνεόμενος όγκος διέρχεται από τις στενές ανώτερες αεραγωγούς γι' αυτό η ταχύτητα κίνησης των μορίων του αέρος είναι μεγάλη, η ροή γίνεται μη κανονική και σχηματίζονται στρόβιλοι. Η ροή δηλαδή σ' αυτό το επίπεδο είναι στροβιλώδης. Στην στροβιλώδη ροή τα μόρια συγκρούονται μεταξύ τους αλλά και με το τοίχωμα του αεραγωγού και έτσι αυξάνει η τριβή μεταξύ των μορίων και του τοιχώματος των αεραγωγών με αποτέλεσμα σημαντικό ποσό της ενέργειας, της απαραίτητης για την ροή, να χάνεται μετατρεπόμενη σε θερμότητα. Γι' αυτό το μέγεθος της στροβιλώδους ροής εξαρτάται από την πυκνότητα του αναπνεόμενου αερίου. Στην περίπτωση αυτή η αντίσταση στην ροή μειώνεται όταν αναπνέεται αέριο χαμηλής πυκνότητας όπως π.χ το ήλιο (He). Οπότε όταν μία αποφρακτική νόσος των περιφερικών αεραγωγών προκαλέσει αύξηση κατά 500% των αντιστάσεων τους τότε η αύξηση των συνολικών αντιστάσεων θα είναι μόλις κατά 50%.

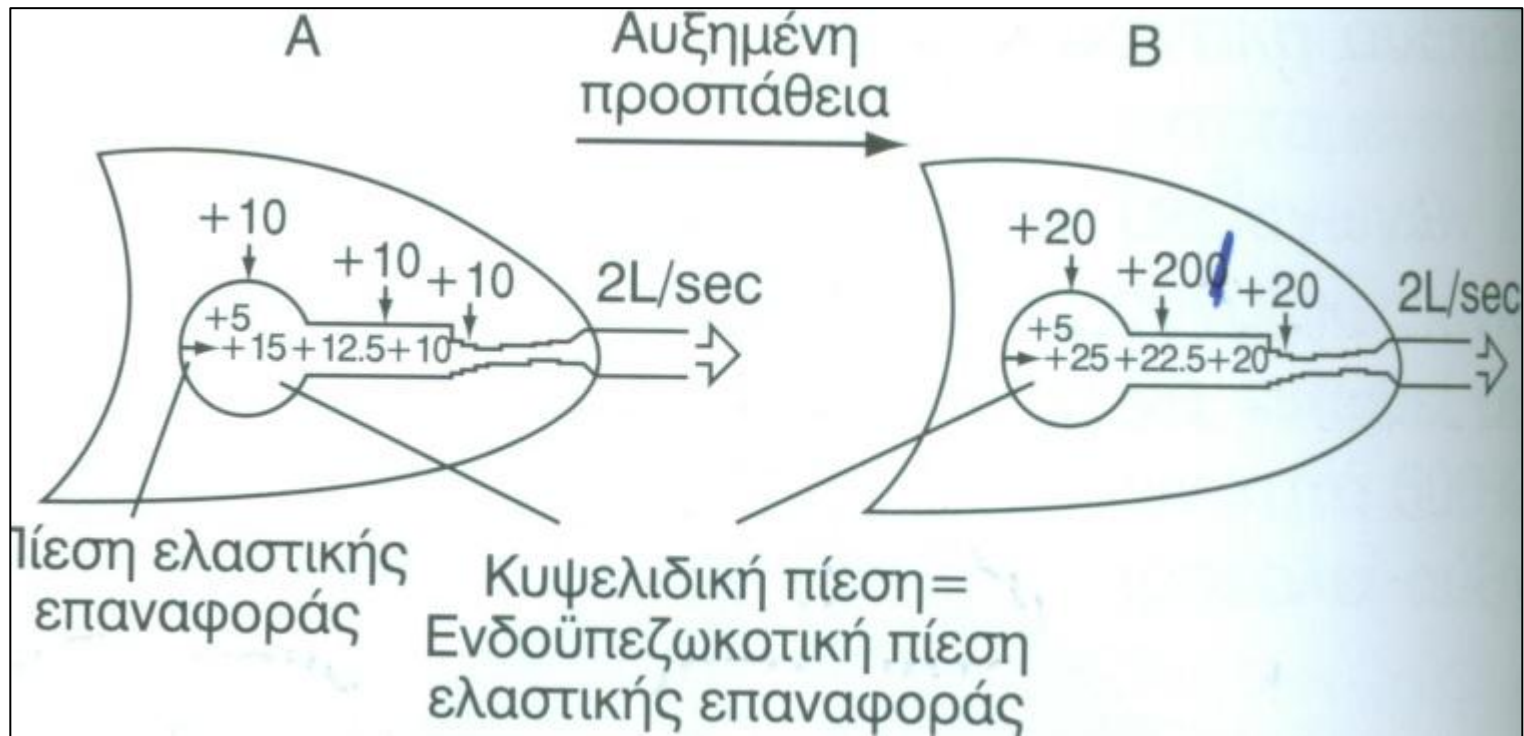


Η ροή κατά την βαθύτατη και βιαϊότατη εκπνοή

- Το σημείο ίσης πίεσης είναι το σημείο όπου η ενδοαυλική πίεση εξισούται με την εξωαυλική λέγεται σημείο ίσης πίεσης (equal pressure point EEP).

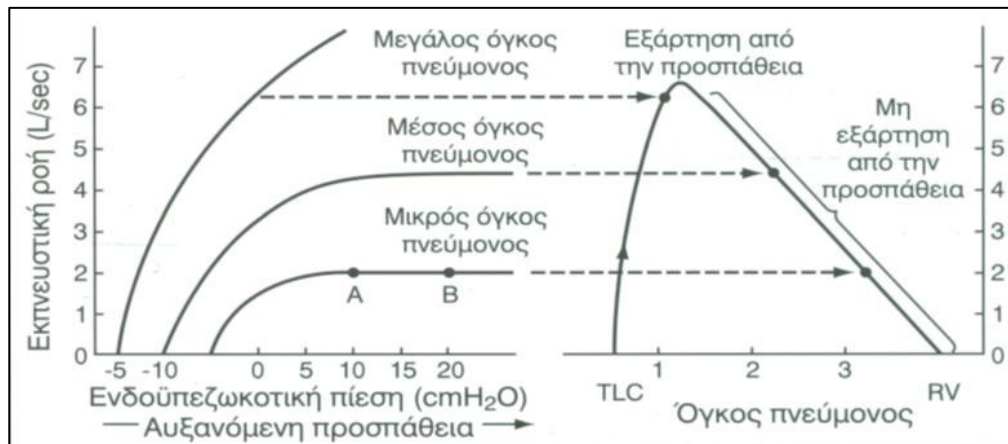


Η επίδραση της προσπάθειας κατά την βίαη εκπνοή



Η επίδραση της προσπάθειας κατά την βίαιη εκπνοή

- Κατά την βαθύτατη και βιαιότατη εκπνοή η ροή που επιτυγχάνεται, μετρώμενη δια του αναλόγου οργάνου στο στόμα, είναι μεγαλύτερη στους μεγάλους αναπνευστικούς όγκους
- Στο επίπεδο των μεγάλων αναπνευστικών όγκων οι αεραγωγοί είναι διατεταμένοι και ανοικτοί επειδή στο επίπεδο αυτό η δύναμη ελαστικής επαναφοράς του πνευμονικού παρεγχύματος είναι μεγάλη. Επειδή οι αεραγωγοί είναι ανοικτοί πλήρως, οι ροές που επιτυγχάνονται εξαρτώνται από την προσπάθεια. Στους χαμηλότερους πνευμονικούς όγκους, η επιτυγχανόμενη ροή κατά την βαθύτατη και βιαιότατη εκπνοή αυξάνει μέχρις ενός βαθμού πέραν του οποίου η αύξηση της προσπάθειας δεν προκαλεί αύξηση της ροής. Στο επίπεδο αυτό των πνευμονικών όγκων η ροή είναι ανεξάρτητη της προσπάθειας. Οι ροές στο 50% και στο 75% της ζωτικής χωρητικότητας είναι ανεξάρτητες από την ένταση της εκπνευστικής προσπάθειας (effort independent).



Η επίδραση της προσπάθειας κατά την βίαη εκπνοή

- Ο μηχανισμός που είναι υπεύθυνος για το πιο πάνω περιγραφέν φαινόμενο σχετίζεται με ποικίλους παράγοντες. Οι πιέσεις που ισορροπούν και οι αεραγωγοί παραμένουν ανοικτοί είναι οι πιο κάτω.
 - α) Η πίεση του αέρος εντός του αυλού του αεραγωγού που έχει διεύθυνση προς τα έξω και τείνει να διανοίξει τον αυλό των αεραγωγών.
 - β) Η πίεση της ελαστικής επαναφοράς του πνεύμονα που ασκείται δια του πνευμονικού ιστού που περιβάλλει τους αεραγωγούς και έχει φορά προς τα έξω και τείνει να διανοίξει τον αυλό.
 - γ) Επίσης ρόλο παίζει και η ποιότητα του τοιχώματος των αεραγωγών δηλ. η σταθερότητα του που εν πολλοίς σχετίζεται με την περιεκτικότητα του σε χόνδρους οι οποίοι τους προσδίδουν σταθερότητα και δεν συμπιέζονται εύκολα.



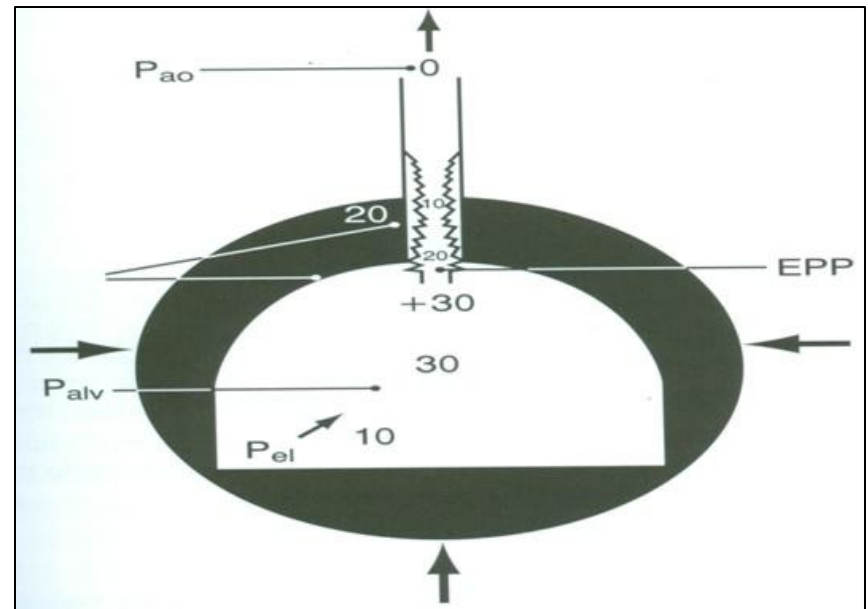
Σύγκλειση των αεραγωγών (Airway closure)

- Γίνεται κατά την εκπνευστική φάση του αναπνευστικού κύκλου. Κατά την εισπνοή η πίεση γύρο από τους αεραγωγούς (η ενδοϋπεζωκοτική πίεση) έχει φορά προς τα έσω αλλά είναι μικρότερη από την ενδοαυλική πίεση που έχει φορά προς τα έξω με αποτέλεσμα το εύρος των αεραγωγών να αυξάνει. Επιπλέον οι κυψελίδες και ο ελαστικός πνευμονικός ιστός που περιβάλλουν τους μικρούς, περισσότερο ευένδοτους αεραγωγούς, αυξάνουν το εύρος αυτών των αεραγωγών όσο ο όγκος του πνεύμονα αυξάνει κατά την εισπνοή (tethering effect).



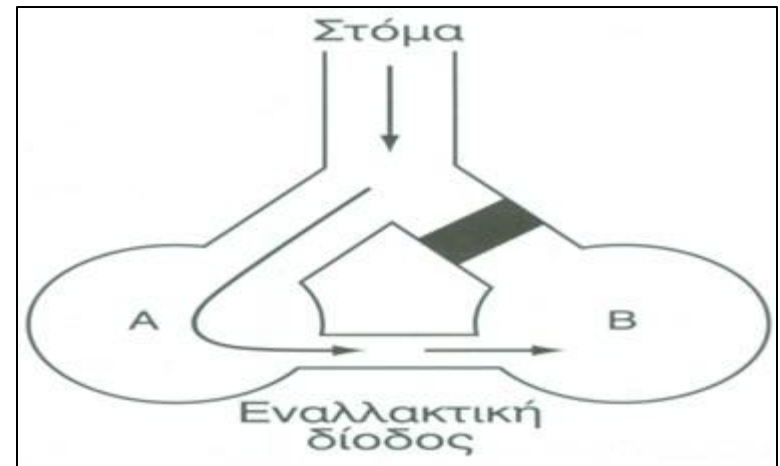
Σύγκλειση των αεραγωγών (Airway closure)

- Γίνεται κατά την εκπνευστική φάση του αναπνευστικού κύκλου. Κατά την εισπνοή η πίεση γύρω από τους αεραγωγούς (η ενδοϋπεζωκοτική πίεση) έχει φορά προς τα έσω αλλά είναι μικρότερη από την ενδοαυλική πίεση που έχει φορά προς τα έξω με αποτέλεσμα το εύρος των αεραγωγών να αυξάνει. Επιπλέον οι κυψελίδες και ο ελαστικός πνευμονικός ιστός που περιβάλλουν τους μικρούς, περισσότερο ευένδοτους αεραγωγούς, αυξάνουν το εύρος αυτών των αεραγωγών όσο ο όγκος του πνεύμονα αυξάνει κατά την εισπνοή (tethering effect).



Εφεδρικός αερισμός

- Υπάρχουν δίοδοι, κανάλια, που συνδέουν αναπνευστικές μονάδες μεταξύ τους δίχως να παρεμβάλλεται αεραγωγός. Γι' αυτό αεροφόροι χώροι που βρίσκονται περιφερικότερα κλειστών αεραγωγών δύναται να αερίζονται.
- Κατανομή του Αερισμού :
 - Η ικανότητα με την οποία μια αναπνευστική μονάδα αερίζεται εξαρτάται από την αντίσταση ροής (R) και από την διατασιμότητα της (C). Το γινόμενο της αντίστασης (R) επί την διατασιμότητα (C) έχει διαστάσεις χρόνου και λέγεται σταθερά χρόνου (time constant).
 - Όσο μεγαλύτερη είναι η σταθερά χρόνου της αναπνευστικής μονάδας τόσο μικρότερος θα είναι ο αερισμός της.



Δοκιμασίες ελέγχου αναπνευστικής λειτουργίας

- Από τις πολλές υπάρχοντες λειτουργικές δοκιμασίες του πνεύμονα καμία δεν περιγράφει απολύτως την λειτουργική του κατάσταση. Κάθε μία δίνει συγκεκριμένες πληροφορίες οι οποίες συνδυαζόμενες μεταξύ τους δίνουν αξιόπιστες πληροφορίες για πιθανή παθοφυσιολογική εκτροπή. Οι συνηθέστερα χρησιμοποιημένες εξετάσεις είναι η στατική σπιρομέτρηση που προσδιορίζονται οι στατικοί όγκοι και χωρητικότητες, η δυναμική σπιρομέτρηση που προσδιορίζονται οι δυναμικοί όγκοι και οι εισπνευστικές και εκπνευστικές ροές, η σωματική πληθυσμογραφία που προσδιορίζονται οι πνευμονικές αντιστάσεις και αγωγιμότητα καθώς και οι διάφοροι αναπνευστικοί όγκοι μεταξύ των οποίων και ο RV και ο TLC, η δοκιμασία διαλύσεως He που προσδιορίζει την FRC, η διαχυτική ικανότητα του πνεύμονα το αζωτογράφημα (όγκος σύγκλισης), η εργοσπιρομετρία, η πολυσωματοκαταγραφική μελέτη ύπνου και μερικές άλλες που αναφέρονται στο κείμενο αλλά χρησιμοποιούνται σπανιότερα.
- Σπιρομέτρηση Καμπύλη Ροής – Όγκου
- Πνευμονική διατασιμότητα (C)
- Εκ της Συχνότητας εξαρτώμενη Διατασιμότης (Cdyn)
- Όγκος σύγκλισης (closing Volume)
- Αζωτογράφημα
- Καταγραφή καμπύλης μεγίστης εκπνευστικής ροής
- (Maximum Expiratory Flow – volume curves) Αντίσταση των Αεραγωγών



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.1.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Κωνσταντίνος Σπυρόπουλος, Κυριάκος Καρκούλιας 2015. «Ροή αέρα και σύγκλιση. Ροή αέρα». Έκδοση: 1.1. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://eclass.upatras.gr/courses/MED1041/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνες 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8: Πνευμονολογία (Παθοφυσιολογία των αναπνευστικών νόσων), Σπυρόπουλος, Κωνσταντίνος, Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης, 1996 (τροποποιημένες)



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Πίνακες

Δεν περιέχει.

