



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Λειτουργικές δοκιμασίες αναπνευστικού

Ενότητα 3: Διαγνωστικές εξετάσεις

Κωνσταντίνος Σπυρόπουλος, Καθηγητής
Κυριάκος Καρκούλιας, Επίκουρος Καθηγητής
Σχολή Επιστημών Υγείας
Τμήμα Ιατρικής

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ

- Ο λειτουργικός έλεγχος της αναπνοής πραγματοποιείται για την ανίχνευση διαταραχών του αναπνευστικού συστήματος.
- Τα αποτελέσματα από τις λειτουργικές αυτές δοκιμασίες μαζί με το ιστορικό και τα συμπτώματα του ασθενούς μπορούν, στις περισσότερες περιπτώσεις, να θέσουν **τη διάγνωση**.



Σπιρομέτρηση



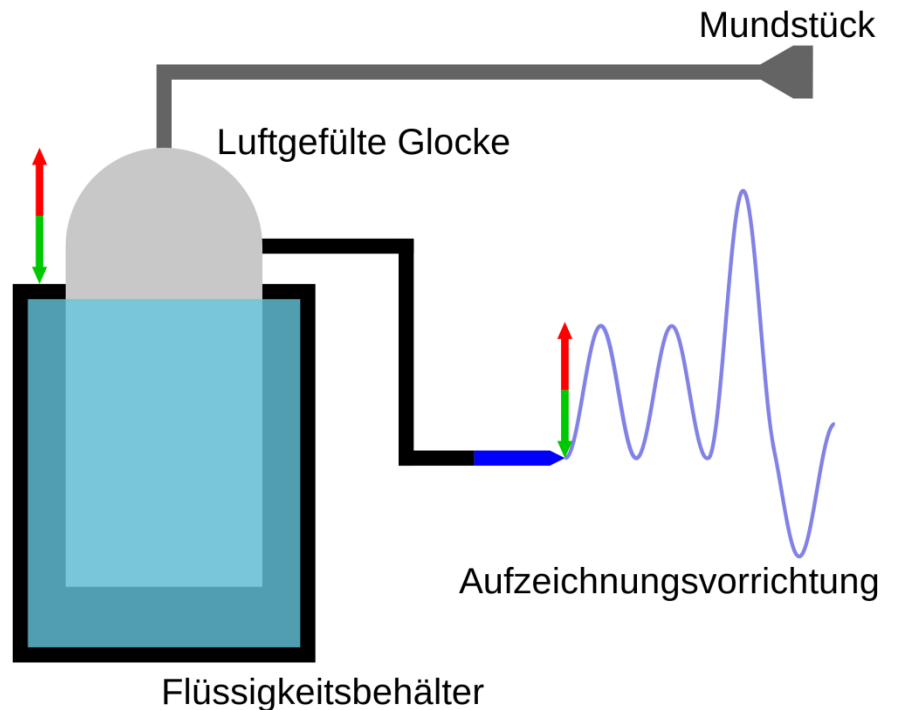
ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

- Αποτελεί μία ιατρική πράξη η οποία καταγράφει τον **όγκο του αέρα** που εκπνέει ή εισπνέει ο εξεταζόμενος σε συνάρτηση προς το χρόνο.
- Σημαντικό διαγνωστικό εργαλείο.
- Τα αποτελέσματα της σπироμέτρησης συνδέονται επαρκώς με τη νοσηρότητα και την επιβίωση του ασθενούς.



ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΟ

- Το σπιρόμετρο μετράει τον όγκο του αέρα που εισπνέεται και εκπνέεται και κατά συνέπεια μετράει και τις μεταβολές του πνευμονικού όγκου.
- Διαθέτει:
- Μετακινούμενο ανεστραμμένο **κώδωνα**, ο οποίος είναι μερικώς εμβυθισμένος σε νερό.
- **Σωλήνας αέρα** που ξεκινά από το στόμα του εξεταζόμενου, διέρχεται από το ύδωρ και αναδύεται μέσα στον κώδωνα.
- **Γραφίδα** και καταγραφικό **χαρτί**.



<https://de.wikipedia.org/wiki/Spirometrie>

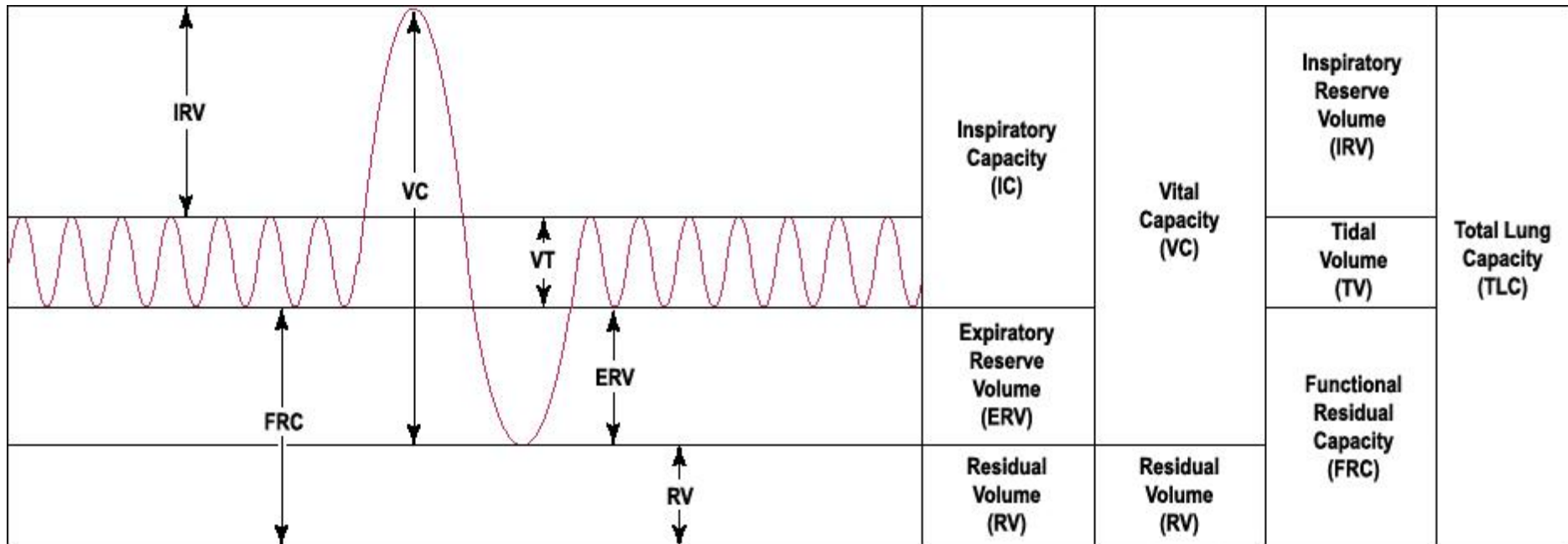


ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΟ

- Όταν ο εξεταζόμενος εκπνέει, ο αέρας εισέρχεται μέσα στον κώδωνα και τον ανασηκώνει.
- Η μεταβολή που προκαλείται από την ανύψωση του κώδωνα καταγράφεται σε μετακινούμενο χαρτί και αντιστοιχεί στον **όγκο του αέρα** που εξέπνευσε ο εξεταζόμενος.



ΣΠΙΡΟΓΡΑΦΗΜΑ



<https://en.wikipedia.org/wiki/Spirometry>



ΠΝΕΥΜΟΤΑΧΟΓΡΑΦΟΣ

- Στα ροόμετρα αυτού του τύπου, ο εξεταζόμενος φυσάει ενάντια σε μια **προκαθορισμένη αντίσταση**.
- Όλες οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί γίνονται ηλεκτρονικά.
- Πολλοί τύποι πνευμοταχογράφων, π.χ. *Fleisch*, *Screen*, *οπής*, *καυτού νήματος* κ.λ.π.
- Αρχή λειτουργίας πνευμοταχογράφου ***Fleisch***:
 - Αποτελείται από έναν κεντρικό αγωγό μέσα στον οποίο βρίσκονται εν παραλλήλω πολλαπλά τριχοειδικά σωληνάκια, τα οποία προβάλλουν μία σταθερή αντίσταση στη ροή του αέρα.
 - Εκατέρωθεν των άκρων των σωληνίσκων βρίσκεται μια θυρίδα, η κάθε μια από τις οποίες οδηγεί, μέσω μικρού αγωγού σε έναν από τους 2 θαλάμους ενός διαφορετικού μετατροπέα πίεσης.
 - Στον μετατροπέα πίεσης δημιουργείται ένα ηλεκτρικό σήμα που είναι ανάλογο με την πτώση της πίεσης που ανιχνεύεται μεταξύ των 2 θυρίδων.
 - Το ηλεκτρικό σήμα με τη σειρά του είναι ανάλογο με την τρέχουσα ροή του αέρα διαμέσου των τριχοειδικών σωληνίσκων.



ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

1. ΔΙΑΓΝΩΣΗ

- Για την εκτίμηση συμπτωμάτων, κλινικών σημείων ή παθολογικών εργαστηριακών ευρημάτων
- Για την εκτίμηση της λειτουργικής βλάβης του αναπνευστικού που προκαλεί μία νόσος
- Για τη διαλογή των ατόμων εκείνων που έχουν αυξημένο κίνδυνο να αναπτύξουν αναπνευστική πάθηση
- Για την εκτίμηση του προεγχειρητικού κινδύνου
- Για την εκτίμηση της πρόγνωσης
- Για την εκτίμηση της φυσικής κατάστασης πριν την έναρξη προγραμμάτων έντονης φυσικής δραστηριότητας

2. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

- Για την εκτίμηση θεραπευτικών παρεμβάσεων
- Για την εκτίμηση της βαρύτητας μίας νόσου που προσβάλλει την αναπνευστική λειτουργία
- Για την παρακολούθηση ασθενών που έχουν εκτεθεί σε βλαπτικούς παράγοντες
- Για την παρακολούθηση παρενεργειών από το αναπνευστικό λόγω λήψης φαρμάκων με τοξική δράση

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΑΠΗΡΙΑΣ

- Για την εκτίμηση ασθενών που συμμετέχουν σε πρόγραμμα αποκατάστασης

4. ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

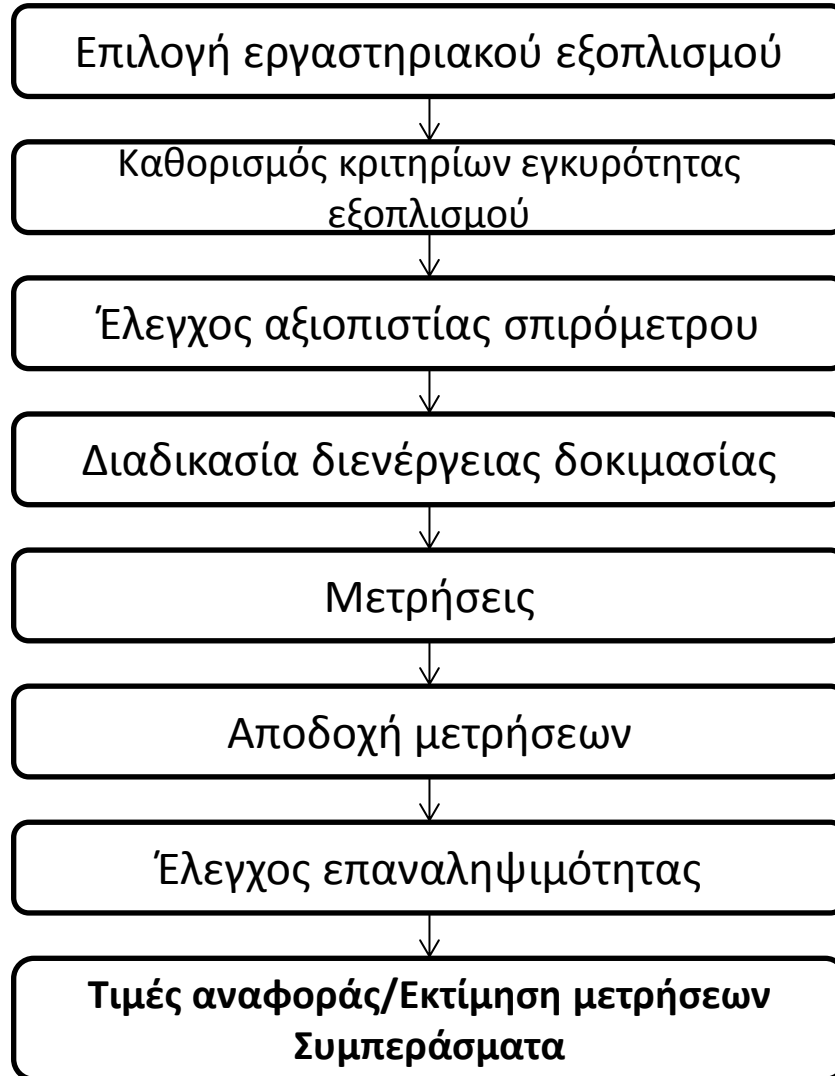


ΑΝΤΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

- Δεν υπάρχουν απόλυτες αντενδείξεις.
- Παρ'όλα αυτά, επειδή η δοκιμασία της FVC αυξάνει την ενδοκράνια, ενδοθωρακική και ενδοκοιλιακή πίεση υπάρχουν οι εξής **σχετικές αντενδείξεις**:
 - 1) Πρόσφατη οφθαλμολογική, θωρακική ή κοιλιακή εγχείρηση,
 - 2) Πρόσφατο έμφραγμα (τελευταίοι 3 μήνες),
 - 3) Μη ελεγχόμενη υπέρταση, πνευμονική εμβολή.



ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ



ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

- Η εφαρμογή αυτών των συστάσεων επιτρέπει τη λήψη αποτελεσμάτων τα οποία δίνουν τη δυνατότητα **σύγκρισης τιμών** του ίδιου ή διαφορετικού ατόμου, στον ίδιο ή διαφορετικό χρόνο και στον ίδιο ή διαφορετικό τόπο.



ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ	FVC ΚΑΙ FEV ₁ (BTPS)	PEF (BTPS)
Εύρος μετρήσεων	0,5 - 8 lit	0,6 - 850 lit/sec
Ακρίβεια	±5% ή 0,100 lit	±10% ή 20 lit/sec
Αντίσταση	<2,5 cm H ₂ O/lit/sec	
Ευαισθησία	±3% ή ±0,050 lit	

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ
Όγκος	Καθημερινά	Έλεγχος με σύριγγα 3 lit
Διαφυγή αέρα	Καθημερινά	Εφαρμογή σταθερής πίεσης 3cm H ₂ O για 1min
Ακρίβεια	Τρίμηνο	Ειδική διαδικασία
Χρόνος	Τρίμηνο	Ειδική διαδικασία

STANDARDISATION OF SPIROMETRY



ΠΡΟΛΗΨΗ ΛΟΙΜΩΞΕΩΝ

- Ιδιαίτερη προσπάθεια καταβάλλεται για την πρόληψη μετάδοσης διάφορων λοιμώξεων.
- Εξεταζόμενος: Επιστόμια **μίας χρήσης** με φίλτρο αέρα.
- Εξεταστής: Πλύσιμο χεριών, χρήση γαντιών.
- Μεγάλη προσοχή σε ασθενείς με αιμόπτυση, έλκη βλεννογόνου στόματος ή αιμορραγούντα ούλα.



ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ FVC

- Στη δοκιμασία της δυναμικά εκπνεόμενης ζωτικής χωρητικότητας (forced vital capacity, **FVC**) ο εξεταζόμενος πραγματοποιεί:
 - 1) Μέγιστη εισπνοή,
 - 2) Δυναμική εκπνοή,
 - 3) Συνέχιση της εκπνοής μέχρι το τέλος της εξέτασης (πλήρης εκπνοή).



ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ FVC

- Ο εξεταστής θα πρέπει να **επιδείξει** στον εξεταζόμενο την κατάλληλη τεχνική για την πραγματοποίηση της εξέτασης.
- Ο εξεταζόμενος θα πρέπει να εισάγει το σωλήνα στο στόμα του, βεβαιώνοντας πως τα χείλη του **σφραγίζουν** γύρω από το επιστόμιο και πως η γλώσσα του δεν αποφράσσει τον αυλό του σωλήνα.
- Έπειτα, ο εξεταζόμενος πρέπει να εισπνεύσει ταχέως και πλήρως και στη συνέχεια να εκπνεύσει βίαια και συνεχόμενα.
- Η εξέταση τελειώνει με μέγιστη εισπνοή από τον εξεταζόμενο.



ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ FVC

- **Έλεγχος σπιρομέτρου**
- **Επεξήγηση εξέτασης**
- **Προετοιμασία εξεταζόμενου:**
 - Ερωτάται για την καπνιστική συνήθεια, πρόσφατες ασθένειες, χρησιμοποιούμενα φάρμακα
 - Μέτρηση ύψους και βάρους
- **Πλύσιμο χεριών**
- **Επίδειξη εξέτασης, που συμπεριλαμβάνει:**
 - Σωστή θέση κορμού και κεφαλής
 - Απότομη και πλήρης εισπνοή
 - Βίαιη και πλήρης εκπνοή
- **Διενέργεια εξέτασης:**
 - Τοποθέτηση ρινοπίεστρου
 - Καλή εφαρμογή επιστομίου στον ασθενή
 - Μέγιστη αναπνευστική προσπάθεια με τα χείλη να εφαρμόζουν καλά γύρω από το επιστόμιο
 - Αν είναι αναγκαίο, επανάληψη των οδηγιών ή επίδειξης
 - Διενέργεια τουλάχιστον 3 προσπαθειών (ανώτατο όριο 8 προσπάθειες)
 - Έλεγχος αναπαραγωγικότητας της δοκιμασίας και διενέργεια συμπληρωματικών προσπαθειών αν κριθεί απαραίτητο



ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ (ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ FVC)

- **Κριτήρια αποδοχής:**

1. Απουσία παρασίτων
2. Εκπνοή χωρίς βήχα ή σύγκλιση γλωττίδας κυρίως κατά το πρώτο δευτερόλεπτο της εκπνοής
3. Επαρκής χρόνος εκπνοής(>6δευτερόλεπτα)
4. Ομοιόμορφες προσπάθειες
5. Απουσία διαρροής αέρα
6. Απουσία κωλύματος στοματικής κοιλότητας(οδοντοστοιχία κλπ)
7. Πρώιμη διακοπή της προσπάθειας
8. Έγκαιρη έναρξη εκπνευστικής προσπάθειας
9. Διαφορά FVC<5% ή <150mL

- **Κριτήρια αναπαραγωγιμότητας:**

Μετά την εκτέλεση 3 αποδεκτών δοκιμασιών πρέπει να υπάρχουν:

- 2 καλύτερες τιμές FVC με αποδεκτές διαφορές ($\pm 3\%$)
- 2 καλύτερες τιμές FEV₁ με αποδεκτές διαφορές ($\pm 3\%$)
 - Αν πληρούνται τα κριτήρια η δοκιμασία τερματίζεται
 - Αν όχι, συνεχίζεται μέχρι να εκπληρωθούν τα κριτήρια
 - Διενεργούνται μέχρι 8 δοκιμασίες για αποδεκτή καμπύλη
 - Αν δε γίνει αυτό κατορθωτό, τότε υπολογίζονται οι 3 καλύτερες προσπάθειες



FVC

- Ως FVC ορίζεται ο **ολικός όγκος** του αέρα που εκπνέεται κατά την πραγματοποίηση της σπυρομέτρησης.
- Φυσιολογικά: **FVC \geq 80%**.
- Οι φυσιολογικές προβλεπόμενες τιμές υπολογίζονται με βάση μετρήσεις που έγιναν σε ασυμπτωματικούς και υγιείς μη καπνιστές.
- Οι σημαντικότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται οι τιμές αυτές είναι τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά, η ηλικία και το φύλο του εξεταζόμενου.



FVC

- Όσον αφορά τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά, το **ύψος** διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο.
- Όσο ψηλότερο είναι το άτομο, τόσο μεγαλύτεροι είναι οι πνεύμονές του και επομένως τόσο υψηλότερες είναι οι τιμές των ροών.
- Με την αύξηση της ηλικίας, η ελαστικότητα του πνεύμονα μειώνεται και επομένως οι αεραγωγοί γίνονται μικρότεροι και οι ροές χαμηλότερες.
- Η **φυλή** έχει μικρότερη σπουδαιότητα, αλλά οι Αφροαμερικανοί και οι Ασιάτες απαιτούν ειδικές προβλεπόμενες τιμές.



FEV1

- Δυναμικά εκπνεόμενος όγκος στο πρώτο δευτερόλεπτο (forced expiratory volume in 1 second, FEV1).
- Πρόκειται για τον όγκο αέρα που εκπνέεται στο **1^ο δευτερόλεπτο** κατά την πραγματοποίηση της δοκιμασίας της FVC.
- Φυσιολογικά: **FEV1 ≥80%**.
- Οι φυσιολογικές τιμές εξαρτώνται από τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά, την ηλικία και το φύλο του εξεταζόμενου όπως συμβαίνει και με την FVC.



FEV1/FVC

- Ο λόγος FEV1/FVC εκφράζεται ως ποσοστό.
- Η ποσότητα του αέρα που εκπνέεται στο πρώτο δευτερόλεπτο είναι ένα **σταθερό κλάσμα** της FVC και δε σχετίζεται με το μέγεθος του πνεύμονα.
- Φυσιολογικά, ο λόγος αυτός κυμαίνεται μεταξύ **75%-85%** αλλά μειώνεται αρκετά με την ηλικία.
- Στα παιδιά μπορεί να φτάσει και το 90%.



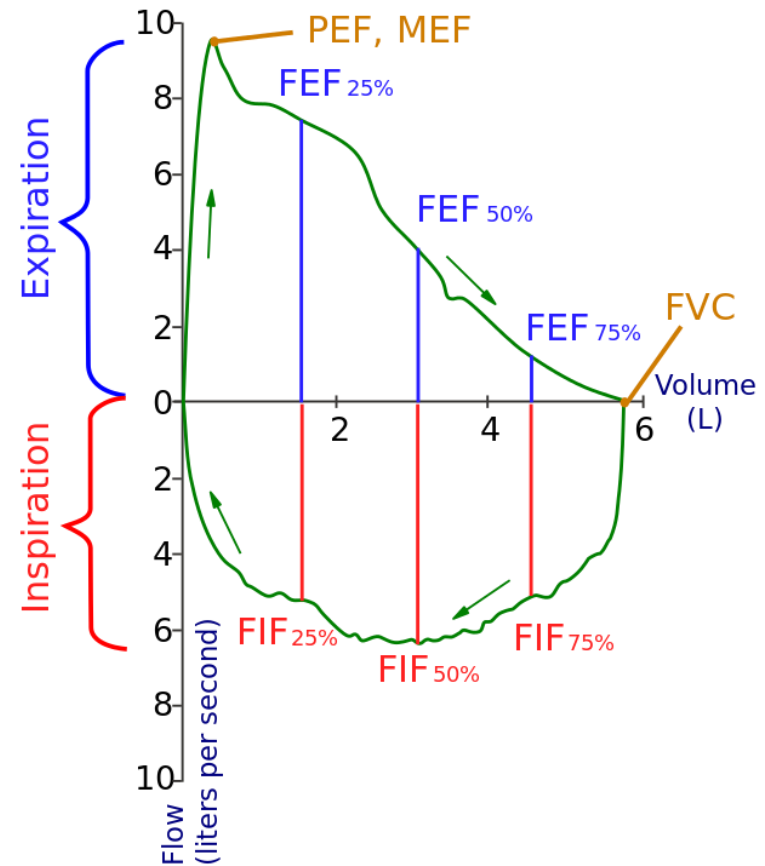
FEV1/FVC

- Η σημασία του λόγου FEV1/FVC είναι διττή.
 1. Βοηθάει στη γρήγορη αναγνώριση ατόμων με **απόφραξη αεραγωγών**.
 2. Είναι πολύτιμος προκειμένου να διαπιστωθεί η **αιτία** ενός πολύ χαμηλού FEV1.



ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΡΟΗΣ-ΟΓΚΟΥ

- Κάθε άτομο έχει μια και **μοναδική** εκπνευστική καμπύλη, η οποία προσδιορίζεται από το μέγεθος της ροής.
- Η μέγιστη εκπνευστική ροή και συνεπώς η μορφολογία της καμπύλης ροής-όγκου για δεδομένο όγκο πνεύμονα καθορίζεται κυρίως από:
 1. Τις ελαστικές ιδιότητες του πνεύμονα,
 2. Το μέγεθος των αεραγωγών,
 3. Την αντίσταση των αεραγωγών.



ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΝΔΡΟΜΑ

- Με βάση τα δεδομένα της σπυρομέτρησης, αλλά και την καμπύλη ροής-όγκου διακρίνονται 3 λειτουργικά σύνδρομα:
 1. Το **αποφρακτικό** σύνδρομο,
 2. Το **περιοριστικό** σύνδρομο,
 3. Το **μικτό** σύνδρομο.



ΑΠΟΦΡΑΚΤΙΚΟ ΣΥΝΔΡΟΜΟ

- Στο σύνδρομο αυτό, η πνευμονική βλάβη οδηγεί σε μείωση της μέγιστης εκπνευστικής ροής, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η γρήγορη εκκένωση του πνεύμονα.
- Υπάρχει δυσανάλογη **μείωση της μέγιστης ροής** αέρα του πνεύμονα σε σχέση με το μέγιστο όγκο.
- Υποδηλώνει στένωση των αεραγωγών κατά την εκπνοή.
- Χαρακτηρίζεται από μειωμένο λόγο **FEV1/FVC (<70%)**.
- Στην καμπύλη ροής-όγκου παρατηρείται **κοίλανση** της καμπύλης κυρίως στο τελικό τμήμα της καμπύλης ακόμα και όταν το αρχικό τμήμα δεν έχει επηρεαστεί.
- Καταστάσεις οι οποίες αντιστοιχούν στο πρότυπο αυτό είναι το εμφύσημα, η χρόνια βρογχίτιδα και το άσθμα.



ΑΠΟΦΡΑΚΤΙΚΟ ΣΥΝΔΡΟΜΟ

- **FEV1:** Μειωμένος.
- **FVC:** Μειωμένη ή φυσιολογική.
- **FEV1/FVC:** Μειωμένος.



ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟ ΣΥΝΔΡΟΜΟ

- Κυρίαρχο χαρακτηριστικό είναι η **ελάττωση** των αναπνευστικών όγκων.
- Η απότομη κλίση της καμπύλης ροής-όγκου και η μειωμένη FVC αποτελούν χαρακτηριστικά περιοριστικού προτύπου.
- FEV1/FVC: Φυσιολογικός ή αυξημένος.
- Τα διάμεσα νοσήματα, η παχυσαρκία και η κυφοσκλίωση αποτελούν μερικά παραδείγματα νόσων με περιοριστικό πρότυπο.



ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

- **FEV1:** Μειωμένος ή φυσιολογικός.
- **FVC:** Μειωμένη.
- **FEV1/FVC:** Φυσιολογικός ή αυξημένος.



ΜΙΚΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

- Το μικτό πρότυπο χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη απόφραξης και περιορισμού ταυτόχρονα.
- **FEV1:** Μειωμένος.
- **FVC:** Μειωμένη.
- **FEV1/FVC:** Μειωμένος.



ΧΡΗΣΗ ΒΡΟΓΧΟΔΙΑΣΤΟΛΗΣ

- Η διενέργεια σπυρομέτρησης μετά τη χρήση βρογχοδιασταλτικών φαρμάκων βοηθάει στην εκτίμηση της αναστρεψιμότητας της απόφραξης των αεραγωγών.



ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΕΝΟΣ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΣΤΗ ΒΡΟΓΧΟΔΙΑΣΤΟΛΗ

1. Η σημαντικότερη πληροφορία που παρέχεται κατά τον έλεγχο ανταπόκρισης στη βρογχοδιαστολή είναι η διάγνωση του **άσθματος**.
2. Σε ασθενείς με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, διότι έχει διαπιστωθεί πως οι ασθενείς εκείνοι που εμφανίζουν σημαντική ανταπόκριση στη βρογχοδιαστολή παρουσιάζουν γρήγορη έκπτωση της πνευμονικής τους λειτουργίας και επομένως πρέπει να υπάρχει **επιθετική θεραπεία**.



ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΣΘΕΝΗ

- Ο ασθενής **δεν πρέπει** να έχει λάβει αγωγή πριν την πραγματοποίηση της εξέτασης.
- Συγκεκριμένα:
 1. Βραχείας δράσης εισπνεόμενα (π.χ. σαλβουταμόλη ή ιπρατρόπιο) **4 ώρες** πριν την εξέταση.
 2. Μακράς δράσης εισπνεόμενα (π.χ. σαλμετερόλη, φορμοτερόλη) ή από του στόματος αμινοφυλλίνη πρέπει να έχουν διακοπεί **12 ώρες** πριν την πραγματοποίηση της εξέτασης.
 3. Το κάπνισμα δεν επιτρέπεται **μία ώρα** πριν ή κατά τη διάρκεια της εξέτασης.



ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

1. Ο εξεταζόμενος πραγματοποιεί 3 αποδεκτές σπυρομετρήσεις (καταγραφή FEV₁, FVC όπως περιγράφηκε προηγουμένως),
2. Χορηγείται βρογχοδιασταλτικό φάρμακο(β₂-αγωνιστής ή αντιχολινεργικός παράγοντας).
3. Πραγματοποιούνται 3 επιπλέον αποδεκτές σπυρομετρήσεις μετά από **10 λεπτά** για χρήση β₂-αγωνιστή ή μετά από **30 λεπτά** για τη χρήση αντιχολινεργικού παράγοντα.



ΒΡΟΓΧΟΔΙΑΣΤΑΛΤΙΚΑ ΦΑΡΜΑΚΑ

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν:
 1. **Σαλβουταμόλη**, 4 εισπνοές από 100μg (συνολικά 400μg).
 2. **Βρωμιούχο ιπρατρόπιο**, 4 εισπνοές από 40μg (συνολικά 160μg).



ΕΙΣΠΝΟΗ ΒΡΟΓΧΟΔΙΑΣΤΑΛΤΙΚΟΥ ΦΑΡΜΑΚΟΥ

- Ο ασθενής αναπνέει μέσα από μία συσκευή με αεροθάλαμο.
- Εκτελεί μία μικρή εκπνοή και στη συνέχεια πραγματοποιεί μία μέγιστη εισπνοή με το χορηγούμενο βρογχοδιασταλτικό φάρμακο.
- Στη συνέχεια κρατάει την ανάσα του για 5-10 δευτερόλεπτα και κατόπιν εκπνέει ήρεμα.
- Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται 4 φορές(ανά 30 δευτερόλεπτα).



ΘΕΤΙΚΗ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΗ ΒΡΟΓΧΟΔΙΑΣΤΟΛΗ

- Η ανταπόκριση στη βρογχοδιαστολή θεωρείται σημαντική όταν υπάρχει αύξηση του δυναμικά εκπνεόμενου όγκου στο πρώτο δευτερόλεπτο (FEV1) ή της δυναμικά εκπνεόμενης ζωτικής χωρητικότητας (FVC) κατά **12%** ή κατά **200mL**.



Πληθυσμογραφία



ΣΩΜΑΤΙΚΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΓΡΑΦΙΑ



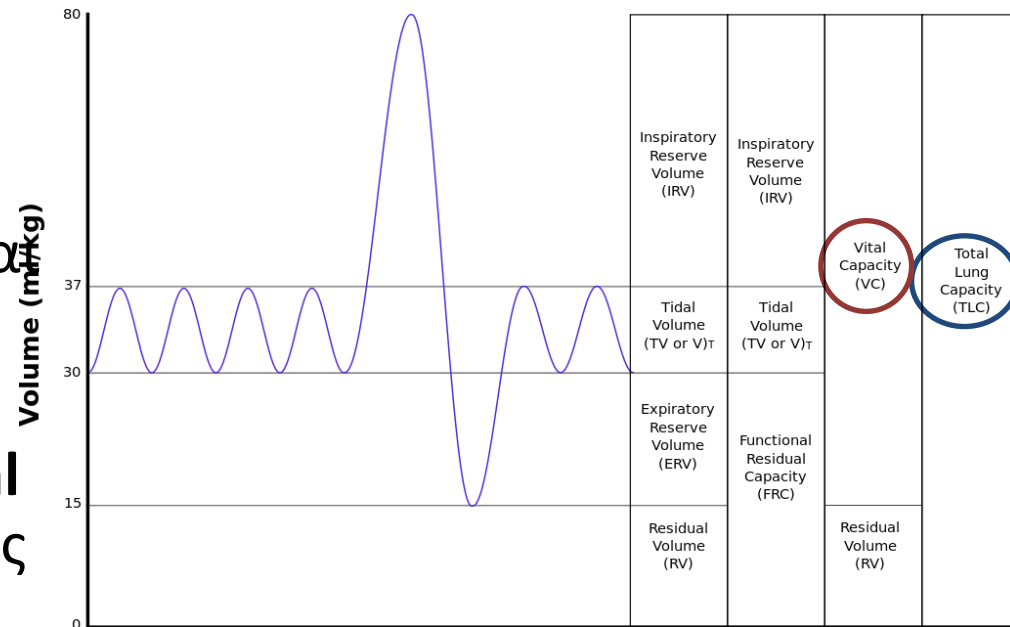
Πρώτη
επίσημη χρήση
σωματικού
πληθυσμογράφ
ου από τον
Dubois A. και
συν. το **1954**

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Body_Plethysmography_chamber_01.jpg



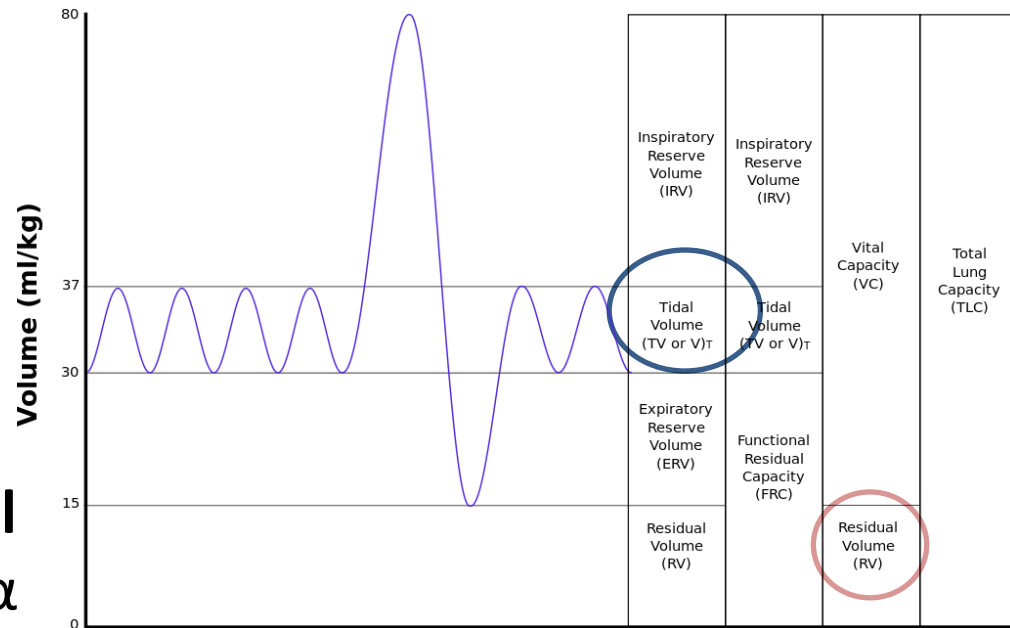
ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΙ ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΕΣ

- **Ολική πνευμονική χωρητικότητα (Total Lung Capacity, TLC):** Είναι ο όγκος αέρος που περιέχεται εντός των πνευμόνων στο τέλος βαθιάς εισπνοής.
- **Ζωτική χωρητικότητα (Vital Capacity, VC):** Είναι ο όγκος αέρος που εξέρχεται των πνευμόνων μετά από μία βαθύτατη εκπνοή όταν η εκπνοή αρχίζει από το επίπεδο της TLC.



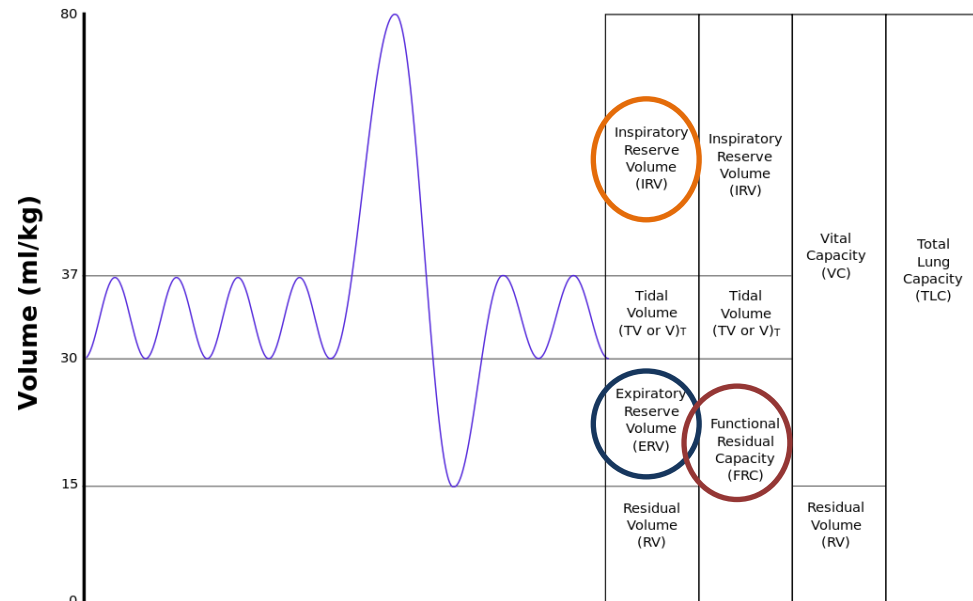
ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΙ ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΕΣ

- **Υπολειπόμενος όγκος αέρος (Residual Volume, RV):** Ο όγκος αέρος που παραμένει εντός των πνευμόνων μετά το τέλος της βαθύτατης εκπνοής.
- **Αναπνεόμενος όγκος (Tidal Volume, TV):** Ο όγκος αέρα που εισέρχεται εντός των πνευμόνων μετά από μία ήρεμη εισπνοή.



ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΙ ΟΓΚΟΙ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΕΣ

- **Λειτουργικώς υπολειπόμενη χωρητικότητα (Functional Residual Capacity, FRC):** Ο όγκος του αέρα στο τέλος μίας ήρεμης εκπνοής.
- **Εισπνευστικός εφεδρικός όγκος (Inspiratory Reserve Volume, IRV):** Είναι ο όγκος, ο επιπλέον του αναπνεόμενου, που εισέρχεται στους πνεύμονες κατά τη βαθύτατη εισπνοή.
- **Εκπνεόμενος εφεδρικός όγκος (Expiratory Reserve Volume, ERV):** Είναι ο όγκος του αέρος, επιπλέον του αναπνεόμενου, που εξέρχεται κατά τη βαθύτατη εκπνοή.



ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΟΓΚΩΝ

- Η TLC, η FRC και ο RV **δεν** μπορούν να προσδιοριστούν με το απλό σπιδόμετρο.
- Απαιτείται η πραγματοποίηση της μέτρησης με διαφορετικές τεχνικές.



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΟΓΚΩΝ ΠΝΕΥΜΟΝΑ

1. Μέθοδος έκπλυσης αζώτου,
2. Μέθοδος διάλυσης αδρανούς αερίου,
3. Ακτινολογική μέθοδος και
4. Σωματική πληθυσμογραφία.



ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΑΖΩΤΟΥ

- Οι πνεύμονες του εξεταζόμενου (με άγνωστο όγκο V_x), πριν την έναρξη της εξέτασης, στο τέλος μίας ήρεμης εκπνοής περιέχουν αέρα με 80% άζωτο.
- Ο εξεταζόμενος συνδέεται με ένα σύστημα από το οποίο εισπνέει 100% οξυγόνο.
- Με την εισπνοή καθαρού οξυγόνου και εκπνοή σε ξεχωριστό ασκό, μπορεί να πραγματοποιηθεί έκπλυση όλου του αζώτου από τους πνεύμονες.
- Ο όγκος του ασκού εκπνοής και η συγκέντρωση του αζώτου σε αυτόν προσδιορίζονται και ο άγνωστος όγκος V_x μπορεί να υπολογιστεί με μία απλή εξίσωση διατήρησης της μάζας (αναλύεται αργότερα).
- Συνολική διάρκεια εξέτασης: **7 λεπτά.**



ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΛΥΣΗΣ ΑΔΡΑΝΟΥΣ ΑΕΡΙΟΥ

- Για την πραγματοποίηση της εξέτασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί αέριο όπως το ήλιο, το αργό ή το νέον.
- Το σύστημα σπυρομέτρησης περιλαμβάνει γνωστό όγκο αερίου, (V_1) στη συγκεκριμένη περίπτωση **ήλιο** σε γνωστή συγκέντρωση (C_1).
- Στο επίπεδο της FRC, ο εξεταζόμενος συνδέεται με το σύστημα και πραγματοποιεί διαδοχικούς αναπνευστικούς κύκλους μέχρις ότου η συγκέντρωση του ηλίου να φτάσει σε ένα σταθερό επίπεδο (plateau), στο οποίο ίσες συγκεντρώσεις ηλίου (C_2) θα περιέχονται στο σπυρόμετρο και στο τον πνεύμονα.
- Επειδή ουσιαστικά καμία ποσότητα ηλίου δεν απορροφάται, ο όγκος του ηλίου παραμένει σταθερός.



ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

- Η TLC μπορεί να εκτιμηθεί αρκετά ικανοποιητικά με τη βοήθεια ακτινολογικών μεθόδων.
- Για το σκοπό αυτό πραγματοποιούνται οπισθοπρόσθιες και πλάγιες ακτινογραφίες με τον εξεταζόμενο να κρατάει την αναπνοή του στο επίπεδο της TLC.
- Η τιμή της TLC στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται είτε με πλανημετρία είτε με τη λεγόμενη ελλειπτική μέθοδο.



ΣΩΜΑΤΙΚΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΓΡΑΦΙΑ

- Η αρχή λειτουργίας του πληθυσμογράφου στηρίζεται στο νόμο του Boyle.
- Σύμφωνα με το **νόμο του Boyle**: *< Το γινόμενο της πίεσης (P) και του όγκου (V) (PV) ενός αερίου παραμένει σταθερό όταν η θερμοκρασία παραμένει σταθερή (ισοθερμικές συνθήκες)>.*

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$



ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΓΡΑΦΟΥ

- Ο προσδιορισμός της πραγματοποιείται με τον εξής τρόπο:
 - Ο εξεταζόμενος εισέρχεται στο θάλαμο του πληθυσμογράφου και συνδέεται με το σύστημα.
 - Στο τέλος μίας ήρεμης εκπνοής (FRC), ενεργοποιείται μία βαλβίδα, με αποτέλεσμα να κλείσει το επιστόμιο το οποίο επικοινωνεί με ένα μανόμετρο.
 - Ο εξεταζόμενος πραγματοποιεί μικρές και γρήγορες αναπνευστικές προσπάθειες (“λαχάνιασμα”) και, καθώς προσπαθεί να εισπνεύσει και να εκπνεύσει, ο όγκος του πνεύμονα μεταβάλλεται λίγο κατά ΔV και αναλόγως μεταβάλλεται και η πίεση που καταγράφει το μανόμετρο.
 - Εφαρμόζοντας το νόμο του Boyle:

$$FRC * P_1 = (FRC + \Delta V) * P_2$$

- Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να μετρηθεί και ο TLC καθώς και ο RV, αρκεί η ενεργοποίηση της βαλβίδας να γίνει όταν ο εξεταζόμενος αναπνέει σε αυτούς τους όγκους.



ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

- Για τη διάγνωση περιοριστικών αναπνευστικών νοσημάτων.
- Για τη διάκριση μεταξύ αποφρακτικού από περιοριστικού λειτουργικού συνδρόμου σε διάφορα νοσήματα του αναπνευστικού.
- Για την εκτίμηση εκείνων των αποφρακτικών πνευμονικών νοσημάτων που μπορούν να δώσουν χαμηλές τιμές όταν οι μετρήσεις γίνονται με τις άλλες μεθόδους (π.χ. κυστική ίνωση).
- Για τη μέτρηση των αντιστάσεων ροής αέρα.
- Για τη παρακολούθηση είτε της φυσικής πορείας της νόσου είτε της πορείας και της ανταπόκρισής της σε θεραπεία.

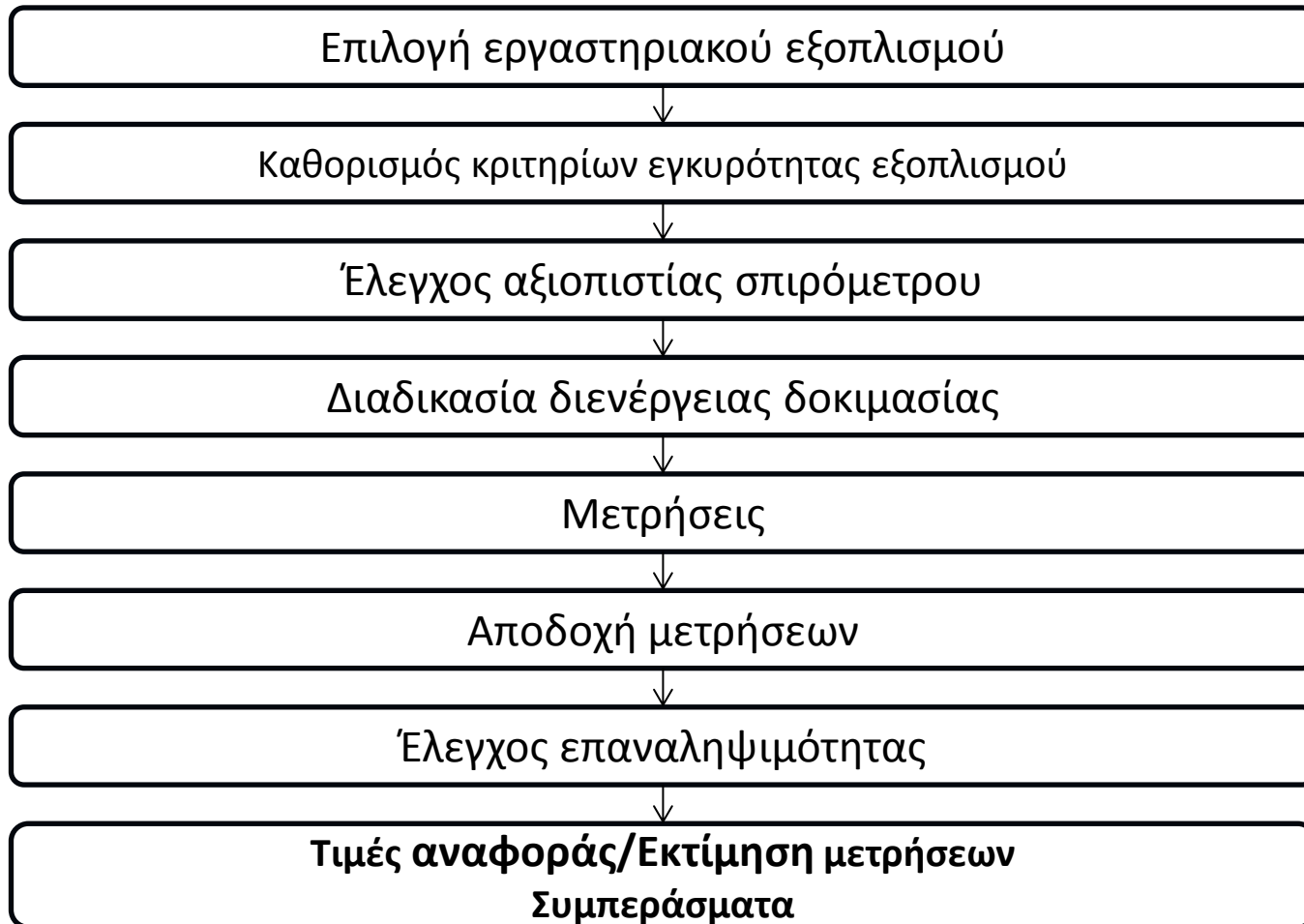


ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΑΝΤΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

- Διανοητική σύγχυση, έλλειψη μυϊκού συντονισμού ή άλλες καταστάσεις που παρεμποδίζουν ή δεν επιτρέπουν είτε την είσοδο του ατόμου στην καμπίνα του πληθυσμογράφου είτε την επαρκή εκτέλεση των απαραίτητων χειρισμών.
- Η κλειστοφοβία του ατόμου που μπορεί να ενισχυθεί και να εκδηλωθεί με την είσοδο στην καμπίνα του πληθυσμογράφου.
- Η παρουσία συσκευών ή άλλων καταστάσεων, όπως συνεχείς ενδοφλέβιες εγχύσεις με αντλίες ή άλλες συσκευές που δεν είναι δυνατόν να τεθούν μέσα στον πληθυσμογράφο και που δεν επιτρέπεται η διακοπή της χρήσης τους ή που θα μπορούσε να προκαλέσουν παρεμβολές στις μετρήσεις των μεταβολών πιέσεων (π.χ. ενδοϋπεζωκοτικός σωλήνας).
Συνεχής χρήση οξυγόνου που δεν μπορεί να διακοπεί.



ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ



ΠΡΟΛΗΨΗ ΛΟΙΜΩΞΕΩΝ

- Ιδιαίτερη προσπάθεια καταβάλλεται για την πρόληψη μετάδοσης διάφορων λοιμώξεων.
- Εξεταζόμενος: Επιστόμια **μίας χρήσης** με φίλτρο αέρα.
- Εξεταστής: Πλύσιμο χεριών, χρήση γαντιών.
- Μεγάλη προσοχή σε ασθενείς με αιμόπτυση, έλκη βλεννογόνου στόματος ή αιμορραγούντα ούλα.



ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ

- Ο εξεταζόμενος **δεν πρέπει να έχει καπνίσει** τουλάχιστον 1 ώρα πριν την πραγματοποίηση της εξέτασης.
- Επίσης, θα πρέπει **να αποφύγει την κατανάλωση αλκοόλ 4 ώρες** πριν την εξέταση καθώς και την **κατανάλωση βαρέος γεύματος 2 ώρες** πριν την εξέταση.
- Τέλος, η **έντονη άσκηση 30 λεπτά** πριν την εξέταση και η ένδυση με ρούχα που εμποδίζουν την έκπτυξη τόσο του θωρακικού όσο και του κοιλιακού τοιχώματος είναι χρήσιμο να αποφεύγονται.



ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

- Έλεγχος και βαθμονόμηση οργάνου.
- Επεξήγηση εξέτασης.
- Προετοιμασία εξεταζόμενου:
 - Ερωτάται για την καπνιστική συνήθεια, πρόσφατες ασθένειες, χρησιμοποιούμενα φάρμακα
 - Μέτρηση ύψους και βάρους
- Πλύσιμο χεριών.
- Επίδειξη εξέτασης.
- Διενέργεια εξέτασης που περιλαμβάνει:
 - Τοποθέτηση ρινοπίεστρου
 - Καλή εφαρμογή επιστομίου στον ασθενή
 - Κράτημα των παρειών με τα χέρια του ασθενούς
 - Κλείσιμο πόρτας της καμπίνας του πληθυσμογράφου
 - Πραγματοποίηση 3-10 αναπνευστικών κύκλων
 - Όταν ο ασθενής βρίσκεται στη FRC, ενεργοποίηση βαλβίδας για 2-3 δευτερόλεπτα
 - Πραγματοποίηση δοκιμασίας "λαχανιάσματος"
 - Πραγματοποίηση βαθιάς εισπνοής ακολουθούμενη από πραγματοποίηση βαθύτατης εκπνοής



ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

- Η πληθυσμογραφία χρησιμοποιείται κυρίως για τη μέτρηση των όγκων εκείνων που δεν μπορούν να μετρηθούν από την απλή σπυρομέτρηση (RV, TLC, FRC).
- Χρησιμεύει όμως και στη μέτρηση άλλων παραμέτρων, όπως:
 1. Των αντιστάσεων των αεραγωγών (airways resistance, R_{aw}),
 2. Την αγωγιμότητα των αεραγωγών (airways conductance, G_{aw}) που υπολογίζεται ως το αντίστροφο των αντιστάσεων ($G_{aw} = 1 / R_{aw}$).



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

- Από τις μετρήσεις της σωματικής πληθυσμογραφίας μπορούν να προκύψουν τα εξής συμπεράσματα:
 1. Για τη διάγνωση των περιοριστικών νοσημάτων, απαραίτητο είναι να διαπιστωθεί μειωμένη τιμή της TLC, δηλαδή η μετρούμενη να είναι **κατώτερη του 80%** της προβλεπόμενης τιμής για το άτομο.
 2. Οι αυξημένες τιμές των RV, RV/TLC, FRC θέτουν τη διάγνωση της παγίδευσης αέρα στο θώρακα, δηλαδή αποφρακτικού τύπου διαταραχής.
 3. Οι αυξημένες αντιστάσεις ροής αέρα στους αεραγωγούς (R_{aw}) θέτουν τη διάγνωση αποφρακτικού τύπου διαταραχής του αερισμού, αλλά και μείωση του όγκου.



ΑΠΟΦΡΑΚΤΙΚΟ ΣΥΝΔΡΟΜΟ

- **Αυξημένες αντιστάσεις**, οι οποίες αυξάνονται περαιτέρω στην πορεία της νόσου.
- Χαρακτηριστικά **αυξάνει ο RV** και μάλιστα πρώιμα.
- Η **TLC** είναι αρχικά φυσιολογική, αλλά σταδιακά αρχίζει να αυξάνεται.



ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΟ ΣΥΝΔΡΟΜΟ

- Με την πρόοδο της νόσου, οι στατικοί όγκοι και οι χωρητικότητες **μειώνονται**.
- **TLC < 80%** της προβλεπόμενης.
- Όμως δεν ακολουθούν όλες οι περιοριστικές νόσοι το ίδιο πρότυπο.
- Μπορεί να συνυπάρχει απόφραξη των αεραγωγών.



Διαχυτική ικανότητα



ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ

- Ο λειτουργικός έλεγχος της αναπνοής πραγματοποιείται για την ανίχνευση διαταραχών του αναπνευστικού συστήματος.
- Τα αποτελέσματα από τις λειτουργικές αυτές δοκιμασίες μαζί με το ιστορικό και τα συμπτώματα του ασθενούς μπορούν, στις περισσότερες περιπτώσεις, να θέσουν **τη διάγνωση**.



ΔΙΑΧΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

- Η μετακίνηση τόσο του O_2 όσο και του CO_2 μέσω του κυψελιδικού φραγμού προς την κυκλοφορία πραγματοποιείται με **απλή διάχυση**.
- Η τυχαία κίνηση των μορίων προκαλεί τη μετακίνησή τους από μία περιοχή **υψηλής** συγκέντρωσης προς μία περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης.
- Η διαδικασία αυτή είναι ένα παθητικό φαινόμενο και επομένως **δεν απαιτεί** την κατανάλωση ενέργειας.



ΔΙΑΧΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

- Οι πνεύμονες έχουν μεγάλη σε έκταση και με ελάχιστο πάχος αναπνευστική μεμβράνη.
- Ο σχηματισμός αυτός αποτελεί εργαλείο που διευκολύνει τη μετακίνηση των αναπνευστικών αερίων εκατέρωθεν αυτού.
- Πάχος μεμβράνης: **0,3μm.**
- Έκταση μεμβράνης: **80-100m².**



ΔΙΑΧΥΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

- Η διάχυση του O_2 και του CO_2 εκατέρωθεν της αναπνευστικής μεμβράνης υπόκεινται στο **νόμο του Fick**:
 - Το ποσό του αερίου που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου, μέσω διάχυσης, μέσω λεπτής μεμβράνης, είναι ανάλογο της **έκτασης** της μεμβράνης και της **διαφοράς μερικής πίεσης** του αερίου εκατέρωθεν αυτής και αντιστρόφως ανάλογο του **πάχους** της μεμβράνης.



ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ FICK

- Νόμος του Fick (απλοποιημένη μορφή):

$$V = D_L * (P_1 - P_2)$$

όπου:

- V : ροή του αερίου,
- D_L : ικανότητα διάχυσης
- $P_1 - P_2$: διαφορά μερικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης



ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ FICK

- D_L : ικανότητα διάχυσης.
- Επηρεάζεται από τα:
 1. Τα φυσικά χαρακτηριστικά του αερίου,
 2. Τα φυσικά χαρακτηριστικά της μεμβράνης.



D_L : ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

- Δύο ιδιότητες των αερίων συμβάλλουν στην D_L :
 1. Το μοριακό βάρος του αερίου (**MW**),
 2. Η διαλυτότητα του αερίου στο νερό(s).
- Η κινητικότητα του αερίου ελαττώνεται καθώς αυξάνει το μοριακό του βάρος.
- Αέρια με πτωχή διαλυτότητα έχουν επίσης πτωχή διάχυση μέσω του κυψελιδικού τοιχώματος.



D_L : ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

- Δύο ιδιότητες της μεμβράνης συνεισφέρουν στην D_L :
 1. Η επιφάνεια της μεμβράνης (**A**).
 2. Το πάχος της μεμβράνης (**a**).
- Η καθαρή ροή του αερίου είναι ανάλογη με την επιφάνεια του φραγμού και περιγράφει την πιθανότητα να συγκρουστεί ένα μόριο του αερίου με τη μεμβράνη.
- Όσο πιο παχύ είναι το τοίχωμα της μεμβράνης, τόσο μικρότερη είναι η διαβάθμιση της μερικής πίεσης του αερίου κατά μήκος της μεμβράνης.



ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ FICK

- Νόμος του Fick:

$$V = \left[k \frac{A * s}{a * \sqrt{MW}} \right] (P_1 - P_2)$$

όπου:

- V: ροή του αερίου,
- k: σταθερά αναλογίας,
- A: επιφάνεια μεμβράνης,
- s: διαλυτότητα αερίου στο νερό,
- a: πάχος μεμβράνης,
- MW: μοριακό βάρος αερίου,
- $P_1 - P_2$: διαφορά μερικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης.



ΠΡΟΣΛΗΨΗ O_2 ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΟΥ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ

- Η μεταφορά του O_2 από τον κυψελιδικό αέρα στην κυκλοφορία απαιτεί τη διάχυση του O_2 κατά μήκος ή μέσω:
 1. Των δύο μεμβρανών και του κυτταροπλάσματος των κυψελιδικών πνευμονοκυττάρων τύπου I,
 2. Του διάμεσου ιστού (συμπεριλαμβανομένων των βασικών μεμβρανών κυψελίδων και τριχοειδών),
 3. Των δύο μεμβρανών και του κυτταροπλάσματος των τριχοειδικών ενδοθηλιακών κυττάρων,
 4. Του πλάσματος και
 5. Της μεμβράνης και του κυτταροπλάσματος του ερυθροκυττάρου και τέλος
 6. Τη σύνδεση με την αιμοσφαιρίνη.



ΠΡΟΣΛΗΨΗ O_2 ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΟΥ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ

- Ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθούν οι παραπάνω διεργασίες είναι **0,25 δευτερόλεπτα**.
- Αναλυτικότερα, ο χρόνος που απαιτείται για τη δίοδο του O_2 δια της τριχοειδικής μεμβράνης είναι 0,05 δευτερόλεπτα, ενώ απαιτούνται 0,20 δευτερόλεπτα για την ένωση του O_2 με την αιμοσφαιρίνη.



ΔΙΑΧΥΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΝΕΥΜΟΝΩΝ

- Αρχικά, για τη μέτρηση της διαχυτικής ικανότητας χρησιμοποιήθηκε το O_2 .
- Η πραγματοποίηση μίας τέτοιας μέτρησης ήταν εξαιρετικά **δύσκολη από τεχνική άποψη** (η τριχοειδική πίεση αλλάζει καθώς το αίμα μετακινείται από τη φλεβική προς την αρτηριακή ροή, ο ρυθμός της ανταλλαγής ποικίλει μεταξύ των διάφορων περιοχών του πνεύμονα λόγω των τοπικών αναλογιών αερισμού/αιμάτωσης).



ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

- Οι παραπάνω δυσκολίες μπορούν να αντιμετωπισθούν με την αντικατάσταση του οξυγόνου από **μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**.
- Η μέτρηση της ικανότητας διάχυσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι πολύ πιο εύκολη και παρουσιάζει μεγάλη αντιστοιχία με τη διάχυση του οξυγόνου.
- Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι το αέριο που κυρίως χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διαχυτικής ικανότητας γιατί η μέση μερική πίεσή του στα πνευμονικά τριχοειδή είναι πρακτικά **μηδέν** (προσοχή στους καπνιστές).



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

- 1. Μέθοδος σταθερής κατάστασης (steady-state method, DL_{CO}^{SS}):** Σε αυτή τη μέθοδο οι μετρήσεις γίνονται μετά την επίτευξη σταθερής κατάστασης αφού ο εξεταζόμενος αναπνεύσει CO. Ανακριβής μέθοδος κατά την ηρεμία στη μέτρηση του μέσου κυψελιδικού CO από μικρά κυψελιδικά δείγματα κατά την ήρεμη αναπνοή.
- 2. Μέθοδος επαναεισπνοής (rebreathing method, DL_{CO}^{RB}):** Σε αυτή τη μέθοδο ο εξεταζόμενος εισπνέει και εκπνέει γρήγορα σε κλειστό σύστημα που περιέχει CO. Η μέθοδος αυτή δεν έχει γίνει ευρέως αποδεκτή, γιατί ασθενείς με χρόνια περιορισμό της ροής έχουν δυσκολία στο να υποβληθούν στη δοκιμασία.



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

- 3. Μέθοδος 'ενδοαναπνοής' ή εκπνευστική μέθοδος (Intrabreath or exhaled method, $DL_{CO}^{exhaled}$):** Η μέθοδος της ενδοαναπνοής μετράει την κλίση της καμπύλης της απομάκρυνσης του CO από την ολική ζωτική χωρητικότητα στον υπολειπόμενο όγκο. Υπάρχουν περιορισμένες ενδείξεις για τη χρησιμότητα της μεθόδου (π.χ. πνευμονική εμβολή). Δε συνιστάται στην κλινική πράξη.
- 4. Μέθοδος μονής εισπνοής (Single breath method, DL_{CO}^{SB}):** Παραμένει η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος.



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

5. **Μέθοδος των τριών εξισώσεων (Three-equation method, DL_{CO}^{SB} -3EQ):** Κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας χρησιμοποιούνται τρεις ξεχωριστές εξισώσεις, μία για την εισπνοή, μία για το κράτημα της αναπνοής και μία για την εκπνοή προς υπολογισμό της στιγμιαίας μεταβολής του CO στον κυψελιδικό χώρο.



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

- Οι διάφορες μέθοδοι έχουν πολλά ευαίσθητα σημεία τα οποία ο εξεταστής θα πρέπει να τηρήσει προκειμένου να μη μειωθούν η αξιοπιστία και ακρίβεια της δοκιμασίας.
- Παρακάτω θα αναλυθεί η μέθοδος της **μονής εισπνοής** διότι είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος.



ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΑΕΡΙΩΝ

- Ο **υπέρυθρος αναλυτής** του CO είναι ο αναλυτής εκλογής για τη DL_{CO} και βασίζεται στην αρχή της υπέρυθρης ανάλυσης.
- Στον αναλυτή αυτό, δύο ίδιες υπέρυθρες ακτίνες κατευθύνονται σε δύο παράλληλους θαλάμους.
- Ο ένας θάλαμος περιέχει γνωστό αέριο και αποκαλείται **‘θάλαμος αναφοράς’**.
- Ο άλλος περιέχει το δείγμα του αγνώστου αερίου.
- Οι υπέρυθρες ακτίνες περνούν διαμέσου των θαλάμων και κατευθύνονται σ'έναν ανιχνευτή που τις μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα.



ΑΕΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

- Το αέριο αναφοράς πρέπει να περιέχει:
 1. 0,3% **CO**.
 2. 17% **O₂**.
 3. Ήλιο (**He**) ή μεθάνιο (**CH₄**), σε διάφορες συγκεντρώσεις.
 4. Ισοζύγιο **N₂**.



ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΜΕ ΜΟΝΗ ΕΙΣΠΝΟΗ CO

- Έλεγχος και βαθμονόμηση οργάνου.
- Επεξήγηση εξέτασης.
- Προετοιμασία εξεταζόμενου:
 - Ερωτάται για την καπνιστική συνήθεια, πρόσφατες ασθένειες, χρησιμοποιούμενα φάρμακα
 - Μέτρηση ύψους και βάρους
- Πλύσιμο χεριών.
- Επίδειξη εξέτασης.
- Διενέργεια εξέτασης που περιλαμβάνει:
 - Τοποθέτηση ρινοπίεστρου
 - Καλή εφαρμογή επιστομίου στον ασθενή
 - Εκπνοή μέχρι το επίπεδο του υπολειπόμενου όγκου (RV)
 - Γρήγορη εισπνοή του αερίου αναφοράς μέχρι το επίπεδο της ολικής πνευμονικής χωρητικότητας (TLC)
 - Κράτημα της αναπνοής για δέκα δευτερόλεπτα
 - Εκπνοή με μέτριο ρυθμό
 - Συνέχιση της εκπνοής ενώ συλλέγεται το δείγμα του εκπνεόμενου αερίου



ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ

- Ο εξεταζόμενος **δεν** πρέπει να έχει εισπνεύσει συμπληρωματικό **οξυγόνο** τουλάχιστον δέκα λεπτά πριν την εξέταση(εάν είναι κλινικά αποδεκτό).
- Επίσης, πρέπει να απέχει από το **κάπνισμα** (ή από οποιοδήποτε άλλο παράγοντα έκθεσης σε CO) την ημέρα της εξέτασης.



ΠΡΟΛΗΨΗ ΛΟΙΜΩΞΕΩΝ

- Ιδιαίτερη προσπάθεια καταβάλλεται για την πρόληψη μετάδοσης διάφορων λοιμώξεων.
- Εξεταζόμενος: Επιστόμια **μίας χρήσης** με φίλτρο αέρα.
- Εξεταστής: Πλύσιμο χεριών, χρήση γαντιών.
- Μεγάλη προσοχή σε ασθενείς με αιμόπτυση, έλκη βλεννογόνου στόματος ή αιμορραγούντα ούλα.



ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΙΑΧΥΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

- Η εισπνοή του αερίου αναφοράς θα πρέπει να γίνει σε λιγότερο από **4 δευτερόλεπτα**.
- Ο εισπνευστικός όγκος θα πρέπει να είναι από το επίπεδο του υπολειπόμενου όγκου μέχρι την ολική πνευμονική χωρητικότητα.
- Η εισπνοή θα πρέπει να είναι **συνεχής και ομαλή**, χωρίς διακυμάνσεις.
- Ο εξεταζόμενος δε θα πρέπει να αναπτύσσει υπερβολική θετική ή αρνητική πίεση κατά το κράτημα της αναπνοής.
- Το κράτημα της αναπνοής θα πρέπει να διαρκέσει **10±2 δευτερόλεπτα**.
- Μετά το κράτημα, η εκπνοή πρέπει να είναι ομαλή με διάρκεια λιγότερο από 4 δευτερόλεπτα.



ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΙΑΧΥΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

- Πρέπει να επιτελούνται τουλάχιστον **2** αποδεκτές προσπάθειες, οι οποίες να διαφέρουν μεταξύ τους το πολύ κατά $\pm 10\%$ ή 3mL/min/mmHg, οποιοδήποτε είναι μεγαλύτερο.
- Μεταξύ των προσπαθειών θα πρέπει να υπάρχει διάστημα **τουλάχιστον 4 λεπτών**.
- Δε συνιστάται να πραγματοποιούνται πάνω από **5** προσπάθειες.



DL_{CO} Ή TL_{CO}

- Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται κυρίως ο όρος παράγων διάχυσης (transfer factor), ενώ στην Αμερική χρησιμοποιείται ο όρος διαχυτική ικανότητα (diffusing capacity).
- Εκφράζει τη συνολική διαχυτική ικανότητα του πνεύμονα.
- **TL_{CO} = ρυθμός πρόσληψης αερίου/κλίση πίεσης κατά τη μεταφορά του**



K_{CO}

- Ο συντελεστής διάχυσης (K_{CO}) εκφράζει τη διαχυτική ικανότητα ανά μονάδα πνευμονικού όγκου.
- Η μέτρηση αυτή είναι αναλογισμένη για τον κυψελιδικό όγκο.

- $K_{CO} = TL_{CO} / V_A$

όπου V_A : κυψελιδικός όγκος (δηλαδή η ολική πνευμονική χωρητικότητα μείον τον ανατομικό νεκρό χώρο).



TL_{CO} ΚΑΙ K_{CO}

- Ο TL_{CO} και ο K_{CO} είναι δείκτες της ικανότητας του πνεύμονα για την ανταλλαγή των αερίων.
- Είναι ευαίσθητοι δείκτες της ακεραιότητας της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης.



ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ TL_{CO} ΚΑΙ K_{CO}

- **Η διάχυση εξαρτάται από:**

- 1) Τη θέση του σώματος, λόγω της επίδρασης της βαρύτητας στο λόγο αερισμού/αιμάτωσης.
 - Στην ύπτια θέση η αιμάτωση των άνω λοβών αυξάνεται.
- 2) Το φύλο, τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά και την ηλικία.
 - Μειώνεται με την ηλικία, με τη μείωση αυτή να είναι μεγαλύτερη στους άνδρες.
 - Οι γυναίκες έχουν χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τους άνδρες.
- 3) Τη φυλή.
 - Μικρότερη στη μαύρη φυλή.
- 4) Τη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης του αίματος.
- 5) Τη μερική πίεση του CO στο αίμα.

- Η διημερήσια μεταβολή της διάχυσης είναι σχετικά **μικρή(1,2-2,2%)**, μειούμενης από το πρωί προς το βράδυ.
 - Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τις μικρές μεταβολές στη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης και του CO κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Η διάχυση μεταβάλλεται κατά **13%** κατά τη διάρκεια του έμμηνου κύκλου.
 - Η μεταβολή αυτή δεν είναι ξεκάθαρο αν οφείλεται σε μεταβολές της αιμοσφαιρίνης ή αν εμπλέκονται και άλλοι μηχανισμοί (ορμονικές αλλαγές που επηρεάζουν τον πνευμονικό αγγειακό τόνο).



ΑΙΤΙΑ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ TL_{CO}

- **Άσκηση**
 - Αύξηση του όγκου αίματος στους πνεύμονες.
- **Άσθμα**
 - Μεγαλύτερη ομοιογένεια στην αιματική ροή που κατανέμεται στους πνεύμονες.
- **Παχυσαρκία**
 - Αύξηση του όγκου αίματος στους πνεύμονες.
- **Πολυερυθραιμία**
 - Αύξηση του αριθμού των ερυθροκυττάρων στα τριχοειδή.
- **Κυψελιδική αιμορραγία**
 - Η αιμοσφαιρίνη στις κυψελίδες συνδέεται με το CO, γεγονός που προκαλεί αύξηση της υπολογιζόμενης TL_{CO} .
- **Διαφυγή αίματος από τις αριστερές προς τις δεξιές καρδιακές κοιλότητες**
 - Αυξημένος πνευμονικός τριχοειδικός όγκος.



ΑΙΤΙΑ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ TL_{CO} ΛΟΓΩ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

- **Εμφύσημα**
 - Κυψελιδικό τοίχωμα και τριχοειδή είναι κατεστραμμένα.
- **Εκτομή πνεύμονα**
 - Απώλεια μεγάλης επιφάνειας της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης.
- **Απόφραξη βρόγχου**
 - Μείωση επιφάνειας της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης καθώς και πνευμονικού όγκου.
- **Πολλαπλά πνευμονικά έμβολα**
 - Τα έμβολα προκαλούν μεγάλη μείωση της επιφάνειας λόγω μείωσης της αιμάτωσης των κυψελιδικών τριχοειδών.
- **Αναιμία**
 - Μείωση της περιεκτικότητας των κυψελιδικών τριχοειδών σε αιμοσφαιρίνη.



ΑΙΤΙΑ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ TL_{CO} ΛΟΓΩ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

- **Ιδιοπαθής πνευμονική ίνωση**
 - Πάχυνση κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης και μείωση του πνευμονικού όγκου.
- **Συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια**
 - Είσοδος υγρού στο διάμεσο χώρο ή στο εσωτερικό των κυψελίδων.
- **Ιδιοπαθείς και αγγειακές νόσοι κολλαγόνου**
 - Μεταβολή ή καταστροφή των τοιχωμάτων των τριχοειδών, γεγονός που αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την αντίσταση στη διάχυση.
 - Π.χ. ΣΕΛ, σκληρόδερμα, σαρκοείδωση, κυψελιδίτιδα προκαλούμενη από φάρμακα, κ.λπ.
- **Κυψελιδική πρωτεΐνωση**
 - Οι κυψελίδες γεμίζουν με υλικό πλούσιο σε φωσφολιπίδια.



ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ

- 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.



ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΕΡΓΟΥ

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.1.



ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Κωνσταντίνος Σπυρόπουλος, Κυριάκος Καρκούλιας. «Λειτουργικές δοκιμασίες αναπνευστικού. Διαγνωστικές εξετάσεις». Έκδοση: 1.1. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/MED1040/>



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

Δεν περιέχει.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Πίνακες

Δεν περιέχει.

