



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

Συσκευές Σπυρομέτρησης: Σύγχρονες Τεχνολογικές Εξελίξεις

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΦΑΚΙΤΣΑ
Αριθμός Μητρώου: 19388106

Επιβλέπων Καθηγητής
Ιωάννης Βαλαής, Καθηγητής

Αθήνα 15/06/2024

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Ιωάννης Βαλαής

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Νεκτάριος Καλύβας

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Χρήστος Μιχαήλ

Αναπληρωτής καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα Φακίτσα Αικατερίνη του Φωτίου, με αριθμό μητρώου 19388106 φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

15/06/2024

Η Δηλούσα

Φακίτσα Αικατερίνη



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη διαχείρισης της διαγνωστικής πληροφορίας της μεθόδου της σπιρομέτρησης. Συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση των παραμέτρων της πνευμονικής λειτουργίας, οι οποίες μετριοούνται σε μια εξέταση σπιρομετρίας. Παράλληλα, παρουσιάστηκε η ιστορική αναδρομή της εξέτασης και δόθηκε έμφαση στους διάφορους τύπους σπιρομέτρων και στην εξέλιξή τους, ενώ στη συνέχεια, μελετήθηκε η διαδικασία βαθμονόμησης μιας συσκευής σπιρομέτρησης. Τέλος, σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη συσκευή (αριθμητικές τιμές και καμπύλες) και συνάγεται εάν ο εξεταζόμενος είναι υγιής ή παθολογικό περιστατικό.

Με σκοπό την καλύτερη μελέτη της εξέτασης, εφαρμόσαμε την μέθοδο αυτή σε 10 υποκείμενα – εξεταζόμενους, με ένα φορητό σπιρόμετρο μικρού μεγέθους το οποίο ανήκει στο εργαστήριο ΑΚΤΥΒΑ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Τροποποιήθηκε και ακολουθήθηκε ένα πρωτόκολλο αερόβιων διατάσεων - ασκήσεων αναπνοής, για προθέρμανση πριν από μια καταδυτική δραστηριότητα και μελετήθηκαν οι διαφορές της παραμέτρου της ζωτικής χωρητικότητας του πνεύμονα αλλά και του κορεσμού του αίματος του υπό εξέταση ατόμου πριν και μετά το πρόγραμμα διατάσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση της ζωτικής χωρητικότητας των πνευμόνων κατά 10.33% με παράλληλη μείωση του κορεσμού του αίματος κατά -1.08%.

Λέξεις Κλειδιά: *Σπιρομέτρηση, Σπιρομέτρηση κλειστού τύπου, Κατάδυση, Ζωτική χωρητικότητα, κορεσμός οξυγόνου*

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to study the management of diagnostic information of the spirometry method. In particular, an analysis of the parameters of pulmonary function, that are measured in a spirometry examination, was performed. At the same time, the history of the test was presented and such the different types of spirometers as their evolution were emphasized, followed by a study of the calibration process of a spirometry device. Finally, the results obtained from the device (numerical values and curves) were commented and it was deduced whether the subject is a healthy or pathological case.

In order to better study the test, we applied this method to 10 persons – examinees, using a small portable spirometer located in the AKTYVA laboratory of the University of West Attica. A protocol of aerobic stretching – breathing exercises was modified and followed, for warming up before a diving activity, and the differences of the vital lung capacity parameter and blood saturation of the subject before and after the stretching program were studied. The results showed an increase in lung vital capacity of 10.33% with a parallel decrease in blood saturation of -1.08%.

Keywords: Spirometry, Close-Type Spirometry, Diving, Vital Capacity, Oxygen Saturation

Ευχαριστίες:

Για την εκπόνηση της παρούσης εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Ιωάννη Βαλαή για τη σημαντική βοήθεια του στην προσπάθειά μου, καθώς και τον κ. Χρήστο Μιχαήλ για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Σειρά στις ευχαριστίες έχει το εργαστήριο ΑΚΤΥΒΑ του τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την παραχώρηση του εξοπλισμού σπιρομέτρησης με σκοπό τη χρήση του κατά τη διάρκεια της εργασίας μου, καθώς και τα άτομα που συνέβαλαν εθελοντικά στην παροχή των αποτελεσμάτων και αφιέρωσαν κομμάτι από τον χρόνο τους για την ορθή ολοκλήρωση τους.

Τέλος, οφείλω με συγκίνηση να αφιερώσω την διπλωματική αυτή εργασία στην οικογένεια μου, που υπήρξαν στήριγμα όλα τα χρόνια φοίτησης μου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

Ευχαριστώ θερμά

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	11
1.1	Επιδράσεις της κατάδυσης	12
1.1.1	Επιδράσεις στην αναπνοή	12
1.1.2	Επιδράσεις πνευμονικών όγκων.....	12
1.1.3	Επιδράσεις κυκλοφορικού συστήματος	13
1.1.4	Επιπλοκές μετά την κατάδυση	13
1.2	Προθέρμανση	14
1.2.1	Προθέρμανση και πνευμονικοί όγκοι.....	14
2	Η Φυσιολογία της Αναπνοής	15
2.1	Αναπνευστικό σύστημα	15
2.1.1	Ανατομία – Φυσιολογία.....	15
2.2	Κυκλοφορικό σύστημα	17
2.2.1	Το αίμα.....	17
2.2.2	Τα αιμοφόρα αγγεία	17
2.2.3	Η καρδιά.....	18
2.2.4	Λειτουργία κυκλοφορικού συστήματος	19
2.2.5	Αιμοδυναμική του αίματος.....	20
2.3	Πνεύμονες.....	20
2.3.1	Ανατομία Πνεύμονα	20
2.3.2	Φυσικές ιδιότητες του πνεύμονα	22
2.3.3	Ελαστικές ιδιότητες του πνεύμονα.....	23
3	Τεχνικές αξιολόγησης αναπνοής	24
3.1	Ιστορική αναδρομή.....	24
3.1.1	Σπιρομέτρηση – Ιστορική Αναδρομή.....	24
3.1.2	Πληθυσμογραφία – Ιστορική Αναδρομή.....	26
3.2	Πληθυσμογραφία	26
3.3	Η Σπιρομέτρηση Αναλυτικά.....	27
3.3.1	Η εξέταση	27
3.3.2	Τεχνικές σπιρομέτρησης.....	28
3.3.3	Μετά την εξέταση	29
3.4	Ασθένειες που μπορούν να διαγνωστούν.....	29
3.4.1	Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ)	29
3.4.2	Άσθμα.....	30
4	Εξοπλισμός Σπιρομέτρησης	31

4.1	Ταξινόμηση σπιρομέτρων ανάλογα με τις ιδιότητες τους	31
4.1.1	Νερού / Ξηρό	31
4.1.2	Κλειστό / Ανοιχτό	32
4.1.3	Ογκομετρικό / Ροής	33
4.2	Ταξινόμηση σπιρομέτρων ανάλογα με τις εφαρμογές τους	35
4.2.1	Προσδιορισμός λειτουργίας πνευμόνων	35
4.3	Σύγχρονα σπιρόμετρα	35
5	Προδιαγραφές Σπιρομέτρησης	36
5.1	Αντενδείξεις – Προφυλάξεις	36
5.2	Προετοιμασία ατόμου για εφαρμογή της τεχνικής	37
5.2.1	Καταγραφή δεδομένων εξεταζόμενου – Ιστορικό	37
5.2.2	Τοποθέτηση εξεταζόμενου	37
5.2.3	Τερματισμός εξέτασης	38
6	Αξιολόγηση Σπιρομέτρησης	38
6.1	Βαθμονόμηση ανάλογα τον τύπο σπιρομέτρων	38
6.1.1	Βαθμονόμηση με σύριγγα	39
6.2	Αποτυχία βαθμονόμησης	39
6.2.1	Λόγοι αποτυχίας επαλήθευσης βαθμονόμησης	40
6.3	Διασφάλιση ποιότητας σπιρομέτρου	40
7	Αποτελέσματα σπιρομέτρησης	42
7.1	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	42
7.2	Χαρακτηριστικές τιμές	43
7.2.1	Peak Expiratory Flow (PEF)	43
7.2.2	Λόγος FEV1/FVC	44
7.2.3	Παράμετρος MVV	45
7.2.4	Φυσιολογικές τιμές	45
7.3	Ερμηνεία αποτελεσμάτων	46
7.3.1	Φυσιολογική λειτουργία πνεύμονα	46
7.3.2	Απόφραξη	47
7.3.3	Περιορισμός	48
7.3.4	Μικτά μοτίβα	50
8	Ερευνητικό μέρος	50
8.1	Μέθοδος	50
8.2	Πρωτόκολλο	50
8.3	Συσκευή	52

8.4	Λογισμικό	53
8.5	Σπιρομέτρηση	53
8.5.1	Η εξέταση	54
8.5.2	Αποτελέσματα.....	54
8.6	Οξυμετρία	55
8.6.1	Η εξέταση	55
8.6.2	Δοκιμές οξυμετρίας	55
9	Πειραματική διαδικασία.....	56
9.1	Συλλογή δεδομένων εξεταζόμενων.....	56
9.2	Μετρήσεις.....	57
9.2.1	Μέτρηση FVC	57
9.2.2	Μέτρηση VC	58
9.2.3	Μέτρηση MVV	58
9.3	Μέτρηση Οξυμετρίας.....	58
9.3.1	%SPO ₂	58
9.3.2	6MWT.....	58
9.3.3	SLEEP	58
10	Αποτελέσματα	59
11	Συζήτηση & Συμπεράσματα.....	64
11.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	64
	Ζωτική χωρητικότητα – VC	64
	Κορεσμός Οξυγόνου – SpO ₂	65
11.2	Σύνοψη.....	65
12	Κατάλογος Αναφορών	66

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1 - Πίνακας GOLD.....	30
Πίνακας 2 - Διασφάλιση Ποιότητας Σπιρομέτρων	41
Πίνακας 3 - Διασφάλιση Ποιότητας Σύριγγας Βαθμονόμησης	41
Πίνακας 4 - Τεκμηρίωση αποτελεσμάτων	41
Πίνακας 5 - Συνοπτικός Πίνακας Ποιοτικού Ελέγχου	41
Πίνακας 6 - Πίνακας z-score	43
Πίνακας 7 - Ερμηνεία Παραμέτρων FVC, FEV1.....	44
Πίνακας 8 - Παράγοντες επίδρασης όγκων και χωρητικότητας	44
Πίνακας 9 - Όρια παραμέτρων δοκιμών πνευμονικής λειτουργίας.....	46
Πίνακας 10 - Ερωτήσεις SPIRODOC	56
Πίνακας 11 - Καταγραφή συμπτωμάτων από τον ιατρό	56

Πίνακας 12 - Χαρακτηριστικά εξεταζόμενων	59
Πίνακας 13 - Mean Values	59
Πίνακας 14 - Best Values	60
Πίνακας 15 - Συνοπτικός Πίνακας Μετρήσεων VC	60
Πίνακας 16 - Συνοπτικός Πίνακας Μετρήσεων SpO ₂	60

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1- Αγωγήμη ζώνη αναπνευστικού συστήματος.....	16
Εικόνα 2 - Διακλαδώσεις των αεραγωγών	16
Εικόνα 3 - Διαγραμματική τομή της καρδιάς.	19
Εικόνα 4 - Διάγραμμα Πνεύμονα.....	21
Εικόνα 5- Μέτρηση FVC	28
Εικόνα 6 - Water Sealed Spirometer.....	31
Εικόνα 7 - Dry spirometer	32
Εικόνα 8 - Υπολογισμός PEF.....	43
Εικόνα 9 - Maximal Voluntary Ventilation	45
Εικόνα 10 - Συνοπτικά Διαγράμματα Ροής-Όγκου	50
Εικόνα 11 - Αρχική θέση	51
Εικόνα 12 - Πλευρική κάμψη	51
Εικόνα 13 - Δεξιά Κάμψη	52
Εικόνα 14 – SPIRODOC.....	53
Εικόνα 15 – Εισαγωγή βασικών στοιχείων ασθενή	57
Εικόνα 16 - Εισαγωγή συμπτωμάτων	57
Εικόνα 17 - Μέτρηση Χωρητικότητας Πνεύμονα.....	64

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 - Ρυθμός Πτώσης FEV1	44
Διάγραμμα 2 - Ροή - Όγκου: Κανονική λειτουργία πνεύμονα	47
Διάγραμμα 3 - Όγκου - χρόνου: Κανονική Λειτουργία Πνεύμονα	47
Διάγραμμα 4 - Ροής-Όγκου για Απόφραξη	48
Διάγραμμα 5 - Ροής-Χρόνου για Απόφραξη.....	48
Διάγραμμα 6 - Ροής-όγκου: Περιορισμός	49
Διάγραμμα 7 - Όγκου-Χρόνου: Περιορισμός.....	49
Διάγραμμα 8 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=1	61
Διάγραμμα 9 – Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=2	61
Διάγραμμα 10 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=3	61
Διάγραμμα 11 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=4	62
Διάγραμμα 12 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=5	62
Διάγραμμα 13 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=6	62
Διάγραμμα 14 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=7	63
Διάγραμμα 15 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=8.....	63
Διάγραμμα 16 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=9.....	63
Διάγραμμα 17 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο i=10.....	64

Πίνακας Εξισώσεων

Εξίσωση 1 - Νόμος του Boyle.....	13
Εξίσωση 2 - Νόμος του Henry.....	14

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατάδυση αποτελεί μια δραστηριότητα για τον άνθρωπο σε όλη την ιστορία για ψυχαγωγικούς και εμπορικούς σκοπούς, π.χ. συλλογή θαλασσινών τροφών ή υποβρύχια αλιεία [1]. Οι καταδύσεις ασκούνται είτε από δύτες αναψυχής, υποβρύχιους αλιείς, στρατιωτικούς δύτες και αγωνιζόμενους αθλητές [2]. Τα τελευταία χρόνια, ολοένα και αυξάνεται ο αριθμός των ατόμων που εντάσσονται σε αθλητικές δραστηριότητες όπως αυτή της ελεύθερης κατάδυσης. Παλαιότερα υπήρχε η θεωρία πως οι καταδύσεις προορίζονταν για άτομα νεαρής ηλικίας. Βέβαια σήμερα παρατηρείται πως ο πληθυσμός των καταδύσεων είναι σχετικά μεγαλύτερος σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας, όπου παραμένουν σε καλή φυσική κατάσταση [3]. Κατά τη διάρκεια της άπνοιας στην κατάδυση, μετά τη βύθιση του προσώπου, προκαλείται η «ανάγκη για αναπνοή». Το «φυσιολογικό σημείο διακοπής» θεωρείται ότι οφείλεται στις μεταβολές των αερίων του αίματος. Ωστόσο, παράγοντες όπως ο πνευμονικός όγκος των πνευμόνων, συμβάλλουν επίσης σημαντικά στον τερματισμό της αναπνοής κατά τη διάρκεια βύθισης του προσώπου [4]. Η παράταση της αναπνοής κάτω από την επιφάνεια του νερού, ή αλλιώς παράταση της άπνοιας, αποτελεί μία από τις κυριότερες ανησυχίες των δυτών. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές [5]. Μια από αυτές αποτελεί το πρόγραμμα ασκήσεων – διατάσεων που εκτελούν οι δύτες πριν από μια προσπάθεια κατάδυσης τους. Το πρόγραμμα, αυτό, περιλαμβάνει αερόβιες ασκήσεις, ασκήσεις του θώρακα και των μεσοπλεύριων μυών, ως επακόλουθο το «τέντωμα» των πνευμόνων και την αύξηση της χωρητικότητας του [6].

Η ζωτική χωρητικότητα αποτελεί κριτήριο για την καλή υγεία των πνευμόνων τόσο των αθλητών, όσο και του συνόλου του πληθυσμού γενικότερα. Ειδικότερα για τους δύτες, το χαρακτηριστικό των «μεγάλων πνευμόνων» αποτελεί προτέρημα για τη δραστηριότητα τους. Οι σπιρομετρικοί δείκτες, όπως ο δείκτης της ζωτικής χωρητικότητας, είναι κατάλληλοι για τον χαρακτηρισμό των πνευμόνων και τη δήλωση ή μη κάποιου περιορισμού ή απόφραξης [7].

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκει την αναλυτική περιγραφή της εξέτασης της σπιρομέτρησης και ειδικότερα των συσκευών που χρησιμοποιούνται και έχουν χρησιμοποιηθεί ανά καιρούς. Για τον σκοπό αυτό, έχει χρησιμοποιηθεί ένα σύγχρονο φορητό σπιρόμετρο μικρού μεγέθους, όπου μελετήθηκαν η παράμετρος της ζωτικής χωρητικότητας των πνευμόνων και ο κορεσμός του οξυγόνου του αίματος. Τροποποιήθηκε ένα πρωτόκολλο ασκήσεων αναπνοής, που αποτελείται από μερικά σετ διατάσεων θώρακα, μεσοπλεύριων μυών και ασκήσεις αναπνοών, όπου προορίζεται για εφαρμογή πριν από μια προσπάθεια κατάδυσης. Στόχος των μετρήσεων σπιρομέτρησης αποτελεί ο εντοπισμός των διαφορών της πνευμονικής παραμέτρου της ζωτικής χωρητικότητας και του κορεσμού οξυγόνου πριν και μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου.

Η σπιρομέτρηση, γενικότερα, περιλαμβάνει δυναμικές μετρήσεις της λειτουργίας του πνεύμονα, που αντικατοπτρίζει την ικανότητα του εξεταζόμενου να αναπνέει. Κριτήρια αποτελούν οι τέσσερις πνευμονικοί όγκοι και οι τέσσερις χωρητικότητες των πνευμόνων, αλλά και ο συνδυασμός αυτών, καθώς οι τιμές αναφοράς τους καθίστανται καθοριστικοί παράγοντες αξιολόγησης της κατάστασης των πνευμόνων. Από τα παλαιότερα χρόνια υπήρχαν προσπάθειες εφεύρεσης τεχνικών αξιολόγησης αναπνοής αλλά και δημιουργίας συσκευών μέτρησης των όγκων των πνευμόνων. Σήμερα, οι τεχνικές που υπερισχύουν είναι η σπιρομέτρηση και η πληθυσμογραφία. Τα σπιρόμετρα ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις ιδιότητες τους και τον προορισμό τους. Τα σύγχρονα σπιρόμετρα μπορεί να περιλαμβάνουν και επιπλέον μετρήσεις, εκτός των σπιρομετρικών, όπως μετρήσεις οξυμετρίας. Για να είναι επιτυχημένη η εξέταση της σπιρομέτρησης απαιτείται η ανάλογη βαθμονόμηση της συσκευής, αλλά και ο εξεταζόμενος να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές, ώστε να είναι κατάλληλα προετοιμασμένος για τη διαδικασία αυτή. Κύριες ασθένειες που μπορούν να διαγνωστούν ή να αξιολογηθεί η πορεία τους αποτελούν η χρόνια αποφρακτική ανεπάρκεια και το άσθμα. Οι καμπύλες και οι τιμές αναφοράς χαρακτηρίζονται ως βασικά κριτήρια εξαγωγής συμπερασμάτων. Τα

αποτελέσματα μπορεί να είναι είτε μια φυσιολογική σπιρομέτρηση – υγιής κατάσταση πνευμόνων, είτε απόφραξη, είτε περιορισμός ή κάποιο μεικτό μοτίβο [8].

1.1 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΔΥΣΗΣ

Η κατάδυση ενέχει κινδύνους όπως πνιγμό, σύνθλιψη των πνευμόνων, ασθένεια αποσυμπίεσης, αναισθησία με άζωτο, εμβολή αέρα και δηλητηρίαση από οξυγόνο. Με σκοπό την αποτροπή τέτοιων ατυχημάτων, πρέπει να ληφθεί ακριβής εκπαίδευση και να τηρούνται όλοι οι κανόνες ασφαλείας και πρόληψης ατυχημάτων [9]. Παρακάτω αναλύονται μερικές από τις κύριες επιδράσεις της κατάδυσης στον ανθρώπινο οργανισμό:

1.1.1 Επιδράσεις στην αναπνοή

Οι χρόνιοι δύτες που εκτελούν μεγάλες καταδύσεις συνηθίζουν να λαμβάνουν αναπνευστικούς μηχανισμούς, όπου συμβάλουν στην παράταση της άπνοιας και στη διατήρηση των αποθεμάτων οξυγόνου κατά τη διάρκεια των καταδύσεων. Η περιφερειακή αγγειοσύσπαση, η αυξημένη αρτηριακή πίεση, η βραδυκαρδία και η μειωμένη περιφερική αγγειοσύσπαση συνεπάγονται έντονα μια καταδυτική αντίδραση. Ορισμένες περιφερικές περιοχές τείνουν να αποκλείονται από την αιμάτωση, ως επακόλουθο την εξάρτηση από τον αναερόβιο μεταβολισμό. Επιπλέον, οι δύτες με ακραία αναπνοή παρουσιάζουν αμβλυμμένη αναπνευστική απόκριση στην αναπνοή διοξειδίου του άνθρακα, πιθανώς ως συνέπεια της συχνής έκθεσης σε υψηλές μερικές πιέσεις διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια των καταδύσεων. Αυτοί οι μηχανισμοί επιτρέπουν την επίτευξη ιδιαίτερα χαμηλών κυψελιδικών μερικών πιέσεων οξυγόνου (<30 mmHg) και υψηλών κυψελιδικών μερικών πιέσεων διοξειδίου του άνθρακα (>50 mmHg) στο τέλος των μέγιστων ξηρών αναπνοών και μειώνουν την κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διάρκεια της κατάδυσης [10].

Η καταδυτική αντίδραση συνδυάζει βραδυκαρδία, μειωμένη καρδιακή παροχή, αρτηριακή υπέρταση και ανακατανομή των περιφερειακών ροών αίματος, με επακόλουθη συσσώρευση γαλακτικού οξέος στους μη αιματούμενους μύες. Αυτό συμβάλει στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια της κατάδυσης και επομένως παρατείνει τη διάρκεια της [11]. Ακόμη, η υποξία και η υπερκαπνία επηρεάζουν το τελικό σημείο διακοπής πέρα από το οποίο η εκούσια άπνοια δεν μπορεί να διατηρηθεί. Το “blackout” λόγω υποξίας είναι ένας κίνδυνος κατά τη διάρκεια μακρών αναπνοών και έχει γίνει συχνή μεταξύ των αθλητών υψηλού επιπέδου που μπορούν να καταστείλουν την ανάγκη τους για αναπνοή [2].

Ο μέγιστος επιτεύξιμος χρόνος αναπνοής δεν καθορίζει το μέγιστο καταδυτικό βάθος, αλλά οι φυσιολογικοί παράγοντες (μέγεθος και συμμόρφωση πνευμόνων, καρδιακή κατάσταση), η ανακατανομή του αίματος, η οικονομία των κινήσεων, οι τεχνικές εξισορρόπησης, η ψυχική δύναμη και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν τον κίνδυνο σοβαρής υποξαιμίας κατά την ανάδυση και συνεπώς επηρεάζουν το μέγιστο καταδυτικό βάθος [1].

1.1.2 Επιδράσεις πνευμονικών όγκων

Αν και η ανατομία του ανθρώπινου πνεύμονα καθορίζει κατά κύριο λόγο τους μεμονωμένους όγκους αερίων, φυσιολογικοί παράγοντες όπως η δύναμη που ασκείται από τους αναπνευστικούς μύες, τα αντανakλαστικά των πνευμόνων, οι ιδιότητες των αεραγωγών κ.λ.π. θα επηρεάσουν τις αλλαγές του όγκου. Ο Residual Volume (RV) των πνευμόνων ποικίλλει σημαντικά με την πίεση και είναι μεγαλύτερη σε θετικές πιέσεις, ενώ σε αρνητικές παρουσιάζεται μικρότερη [1]. Σύμφωνα με τον νόμο του Boyle (Εξίσωση 1), είχε διατυπωθεί η παραπάνω υπόθεση: Η Total Lung Capacity (TLC) δεν μπορεί να συμπιεστεί κάτω από τον RV. Έτσι, ο λόγος TLC/RV θα έδειχνε πόσο θα μπορούσε να συμπιεστεί ο πνευμονικός όγκος κατά τη διάρκεια μιας κατάδυσης και συνεπώς το όριο βάθους [12]. Η υπόθεση

αυτή έπαψε να ισχύει κατά τη δεκαετία του 1960, όπου ο Bob Croft είχε ιδιαίτερα υψηλή ζωτική χωρητικότητα με τον λόγο TLC/RV να ξεπερνάει τον αριθμό 7, για βάθος κατάδυσης 70m. Έτσι, η υπόθεση καταρρίφθηκε και αποδείχθηκε ότι ο όγκος των πνευμόνων δεν επηρεάζει το μέγιστο καταδυτικό βάθος αναπνοής [14].

Παράλληλα, ευρέως γνωστό αποτελεί το γεγονός ότι οι αγωνιζόμενοι δύτες – αθλητές χρησιμοποιούν μια τεχνική υπερδιάταξης των πνευμόνων που αυξάνει αρχικά τον αρχικό όγκο και την πίεση των αεραγωγών για να διευκολύνει τους μεγαλύτερους χρόνους άπνοιας και τα μεγαλύτερα βάθη. Η πίεση των αγωγών μειώνεται με το βάθος και γίνεται αρνητική σε σχέση με το περιβάλλον λόγω της περιορισμένης συμμόρφωσης του θώρακα σε χαμηλούς πνευμονικούς όγκους, αυξάνοντας τον κίνδυνο πνευμονικής βλάβης που ονομάζεται «συμπίεση» και χαρακτηρίζεται από βήχα μετά την κατάδυση, συριγμό και αιμόπτυση [2].

Γενικά, είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι δύτες έχουν αυξημένη ζωτική χωρητικότητα (VC) σε σχέση με τον γενικό πληθυσμό, αλλά και αποφρακτική συνδρομή, η οποία αφορά τους μικρούς αεραγωγούς, σχετιζόμενη σημαντικά με τα χρόνια ενασχόλησης και το κάπνισμα [13]. Η αυξημένη χωρητικότητα στους πνεύμονες είναι επιθυμητή, καθώς συνάγει τη μεγιστοποίηση στα αποθέματα οξυγόνου και επιτρέπει τη μεταφορά περισσότερου CO₂ στους πνεύμονες κατά τη διάρκεια της άπνοιας μέσω του φαινομένου της αραιώσης. Επιπλέον, οι πνεύμονες με μεγάλη VC και μικρό RV βοηθούν επίσης τον δύτε να επιτύχει μεγαλύτερο βάθος, χωρίς να κινδυνεύει με «συμπίεση», εφόσον το βάθος στο οποίο επιτυγχάνεται συμπίεση στον RV είναι μεγαλύτερο [14].

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

Εξίσωση 1 - Νόμος του Boyle

όπου P_1 , V_1 η αρχική πίεση και όγκος του αερίου αντίστοιχα και P_2 , V_2 η πίεση και ο όγκος του αερίου που έχουν μεταβληθεί για σταθερή θερμοκρασία.

1.1.3 Επιδράσεις κυκλοφορικού συστήματος

Η βύθιση και οι καρδιαγγειακές προσαρμογές προάγουν τη μετατόπιση του αίματος στην καρδιά και τα αγγεία του θώρακα. Οι αυτόνομες αντιδράσεις περιλαμβάνουν την καταδυτική βραδυκαρδία, την περιφερική αγγειοσύσπαση και τη συστολή της σπλήνας, οι οποίες συμβάλλουν στη διατήρηση οξυγόνου [2]. Κατά τη διάρκεια μιας βαθιάς κατάδυσης έχει παρατηρηθεί μείωση του όγκου των πνευμόνων, ανύψωση του διαφραγματικού θόλου, διόγκωση των πνευμονικών αιμοφόρων αγγείων και αύξηση της εγκάρσιας διαμέτρου της καρδιάς. Ως επακόλουθο της μετατόπισης του αίματος, κατά τη διάρκεια μιας βαθιάς κατάδυσης, η περίμετρος του θώρακα μειώνεται λιγότερο πιο αργά από ότι της κοιλίας. Η μετατόπιση του αίματος, οι αλλαγές στο σχήμα του διαφράγματος και η πολύ υψηλή αντίσταση τριχοειδών αγγείων στη μηχανική καταπόνηση είναι πιθανό να αποτρέψουν τη διάσπαση του πνεύμονα και την κυψελιδική αιμορραγία [15].

1.1.4 Επιπλοκές μετά την κατάδυση

Οι επιπλοκές μετά την κατάδυση ολοένα και αυξάνονται, καθώς έχει παρατηρηθεί πως το 10% αυτών είναι θανατηφόρες. Οι βασικότερες επιπλοκές είναι το βαρότραυμα, συμπεριλαμβανόμενης της αρτηριακής εμβολής του αέρα, η νόσος αποσυμπίεσης (ή η νόσος των δυτών) και η νάρκωση αζώτου [13].

Βαρότραυμα & Αρτηριακή εμβολή

Το βαρότραυμα είναι η συχνότερη μορφή τραυματισμού κατά την κατάδυση και προκαλείται από την αποτυχία εξισορρόπησης μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής πίεσης των αεροφόρων κοιλοτήτων του σώματος. Μπορεί να προκληθεί είτε λόγω πίεσης κατά τη διάρκεια της καθόδου είτε λόγω υπερπίεσης κατά τη διάρκεια της ανόδου [16].

Η κατακράτηση της αναπνοής κατά την ανάδυση στο νερό είναι η κύρια αιτία που μπορεί να προκαλέσει το βαρότραυμα. Το αέριο μέσα στους αεραγωγούς των πνευμόνων διαστέλλεται κατά την αποσυμπίεση και αν παρεμποδιστεί κατά την εκπνοή μπορεί να προκαλέσει ρήξη των αεραγωγών. Η κυριότερη συνέπεια του πνευμονικού βαροτραύματος είναι η αρτηριακή εμβολή, η οποία μπορεί να εμφανιστεί ως εγκεφαλικό επεισόδιο [17].

Η νόσος αποσυμπίεσης

Η νόσος των δυτών ή αλλιώς νόσος αποσυμπίεσης προκαλείται από την αυξανόμενη πίεση κατά τη διάρκεια της κατάδυσης. Οι ιστοί προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου και αζώτου, σύμφωνα με τον νόμο του Henry (*Εξίσωση 2*) και παραμένουν «εγκλωβισμένες» στους ιστούς για το χρονικό διάστημα όπου δεν υπάρχουν έντονες μεταβολές πίεσης [18]. Κατά την ανάδυση προς την επιφάνεια, το άζωτο των ιστών παύει να είναι διαλυμένο, λόγω της μείωσης της πίεσης του περιβάλλοντος, και απελευθερώνεται με τη μορφή φυσαλίδων. Η νόσος αποσυμπίεσης προκύπτει όταν οι φυσαλίδες προκαλούν συμπτώματα απόφραξης ασκώντας μαζική επίδραση στους ιστούς ή παρεμποδίζοντας τη φλεβική ή αρτηριακή ροή [19].

$$P = K_H * C$$

Εξίσωση 2 - Νόμος του Henry

όπου P είναι η μερική πίεση του διαλυμένου αερίου, C είναι η συγκέντρωση του αερίου. και K_H είναι η σταθερά του Henry.

Νάρκωση του Αζώτου

Η νάρκωση του αζώτου προκαλείται από αυξημένη μερική πίεση του αζώτου στον νευρικό ιστό και εμφανίζεται συνήθως σε βάθη που ξεπερνούν τα 40 μέτρα. Τα συμπτώματα είναι παρόμοια με αυτά της μέθης από αλκοόλ ή της δηλητηρίασης από βενζοδιαζεπίνες. Οι δύτες μπορούν να βιώσουν μια ναρκωτική επίδραση από την αναπνοή αζώτου σε πεπιεσμένο αέρα, η οποία μπορεί να μειώσει τη γνωστική απόδοση και να συμβάλει στον κίνδυνο του θανάτου. Η περιοχή που επηρεάζεται σε πρωταρχικό βαθμό είναι ο μετωπιαίος λοβός του εγκεφάλου, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις εκτελεστικές λειτουργίες, όπως ο συλλογισμός, η μνήμη, η μάθηση, η αντίληψη, η λήψη αποφάσεων, η κρίση, η προσοχή και η συγκέντρωση[20].

1.2 ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗ

Οι τυπικές συστάσεις για καταδύσεις συνήθως συμβουλεύουν τους δύτες να απέχουν από κάθε είδους άσκησης, τόσο πριν όσο και μετά την κατάδυση [3]. Αυτή η πρακτική πιθανότατα να πηγάζει από το έργο των Van der Aue et al. [21] που απέδειξε την αρνητική επίδραση της άσκησης στο αποτέλεσμα της αποσυμπίεσης. Οι αναδυόμενες μελέτες καταδεικνύουν τον ευεργετικό ρόλο κάποιου πρωτοκόλλου άσκησης στον σχηματισμό φυσαλίδων φλεβικού αερίου και έτσι έχει αποδειχθεί πως η άσκηση αποτελεί έναν νέο τρόπο πρόληψης της σοβαρής ασθένειας αποσυμπίεσης [22].

1.2.1 Προθέρμανση και πνευμονικοί όγκοι

Η διάταση των πνευμόνων είναι η εκτέλεση ορισμένων ασκήσεων που βοηθούν τους δύτες στο τέντωμα των πνευμόνων και των μεσοπλευρίων μυών. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο υπολειπόμενος όγκος (RV) και αυξάνεται η ζωτική χωρητικότητα (VC). Ως επακόλουθο, να δίνεται περισσότερος χώρος για να εισπνέεται περισσότερο οξυγόνο.

Οι διατάσεις των πνευμόνων γίνονται με δύο τρόπους: διατάσεις εισπνοής και παθητικές διατάσεις εκπνοής. Συνιστάται να γίνονται διατάσεις εισπνοής μόνο όταν υπάρχει καθοδήγηση ενός έμπειρου

εκπαιδευτή. Οι διατάσεις εισπνοής είναι εξαιρετικές για την αύξηση της ευελιξίας της θωρακικής κοιλότητας και του θώρακα. Μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένο όγκο πνευμόνων και VC. Οι παθητικές διατάσεις εκπνοής μειώνουν το RV αυξάνοντας την ευελιξία του διαφράγματος και επιτρέποντας του να ανυψωθεί περισσότερο. Όμως, αν δεν υπάρχει κατάλληλη προπόνηση, μπορεί να προκληθεί βλάβη στους πνεύμονες [6].

2 Η ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ

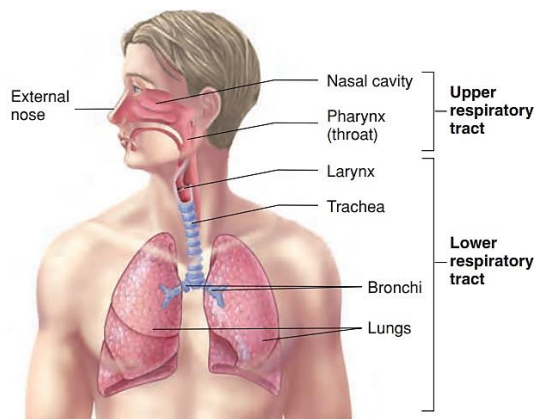
2.1 ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το αναπνευστικό σύστημα είναι το σύνολο των οργάνων του ανθρώπου με κύρια λειτουργία την αναπνοή. Για την ολοκλήρωση της αναπνοής απαιτείται η εισπνοή και η εκπνοή. Κατά την εισπνοή εισέρχεται στις κυψελίδες των πνευμόνων του ανθρώπινου οργανισμού ένας όγκος αέρα από το περιβάλλον, ο οποίος ανακατεύεται με το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στο αίμα. Έπειτα ακολουθεί η εκπνοή, όπου το διοξείδιο του άνθρακα αποχωρεί από τον οργανισμό. Μια εισπνοή και μια εκπνοή αποτελούν έναν αναπνευστικό κύκλο. Συνολικά, το αναπνευστικό σύστημα είναι υπεύθυνο για την πρόσληψη του οξυγόνου και αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα. Η αναπνοή στον ανθρώπινο οργανισμό συμβαίνει ασυνείδητα, χωρίς προσπάθεια και πίεση περιβάλλοντος ίση με μία ατμόσφαιρά και 21% συγκέντρωση οξυγόνου [23].

2.1.1 Ανατομία – Φυσιολογία

Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από την αγωγήμη ζώνη, ή αλλιώς την άνω και κάτω αεροφόρα οδό και την αναπνευστική ζώνη.

Η αγωγήμη ζώνη περιλαμβάνει τη ρινική κοιλότητα, τη στοματική κοιλότητα, τον λάρυγγα, την τραχεία, τους βρόγχους και τα βρογχιόλια. Συγκεκριμένα, στην άνω αεροφόρα οδό, ο αέρας που εισέρχεται είτε από τη στοματική ή τη ρινική κοιλότητα θερμαίνεται, υγραίνεται και φιλτράρεται με σκοπό την απομάκρυνση μικροσωματιδίων σκόνης και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών, ώστε να είναι συμβατός με τον αέρα των κυψελίδων της κάτω αεροφόρας οδού. Η κάτω αεροφόρα οδός ξεκινά από τον φάρυγγα, ο οποίος βρίσκεται πίσω από την αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης και συνδέεται με την ρινική και στοματική κοιλότητα αλλά και τον λάρυγγα. Ο λάρυγγας βρίσκεται στο ύψους του τέταρτου, πέμπτου και έκτου σπονδύλου της σπονδυλικής στήλης και είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της εισόδου αερίων της αναπνευστικής οδού αλλά και για την ομιλία του ανθρώπου, καθώς σε αυτόν βρίσκονται οι φωνητικές του χορδές. Από τη στοματική κοιλότητα, εκτός του αέρα, εισέρχεται και η τροφή. Στον λάρυγγα βρίσκεται και η επιγλωττίδα, όπου κατά τη διάρκεια που ο άνθρωπος τρέφεται, κλείνει την αναπνευστική οδό και έτσι η τροφή οδηγείται στον οισοφάγο, αντί για την τραχεία όπου περνά ο αέρας [24].



Εικόνα 1- Αγωγή ζώνη αναπνευστικού συστήματος [25]

Η τραχεία αποτελεί συνέχεια του λάρυγγα και χαρακτηρίζεται ως τον αναπνευστικό σωλήνα που καταλήγει στους πνεύμονες, όπου και διακλαδίζεται σε αυτούς, στον αριστερό και στον δεξιί βρόγχο των πνευμόνων και καταλήγει στα τελικά βρογχιόλια, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2 [25].

	Ονόματα κλάδων	Αριθμός σωληνώσεων ανά διακλάδωση
Ζώνη αγωγής	Τραχεία	1
	Βρόγχοι	2
		4
		8
	Βρογχιόλια	16
	Τελικά βρογχιόλια	32
Αναπνευστική ζώνη		6×10^4
	Αναπνευστικά βρογχιόλια	5×10^5
	Κυψελιδικοί πόροι	
	Κυψελιδικοί σάκοι	8×10^6

Εικόνα 2 - Διακλαδώσεις των αεραγωγών [25]

Η λειτουργία των αεροφόρων οδών είναι η μεταφορά των αερίων και η προστασία των πνευμόνων είτε από υγρές ή στερεές ουσίες. Οι αεραγωγοί φέρνουν σε επικοινωνία τις κυψελίδες με τον αέρα που εισέρχεται στον οργανισμό κατά την αναπνοή. Η ροή του αέρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μερικοί εκ των οποίων είναι οι αντιστάσεις των αεραγωγών αλλά και οι πιέσεις που ασκούνται μεταξύ των κυψελίδων και της ατμόσφαιρας. Οι αντιστάσεις των αεραγωγών είναι πολύ μικρές εφόσον με λίγη μόνο πίεση μπορεί να οδηγηθεί ο αέρας κατά την εισπνοή στα βρογχιόλια. Η αντίσταση εξαρτάται από διάφορες συσπάσεις και χαλαρώσεις των βρόγχων και των βρογχιόλιων. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνονται οι συσπάσεις, τότε μειώνεται η αντίσταση. Γενικότερα σε περιπτώσεις με μεγάλες αντιστάσεις στους

αεραγωγούς παρουσιάζονται διάφορες αποφρακτικές ασθένειες στον άνθρωπο, όπως παραδείγματος χάριν το άσθμα. Έτσι, η ροή του αέρα μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: την ομαλή ροή, την στροβιλώδη ροή και την ροή μετάπτωσης [26].

- Ομαλή Ροή: Η ομαλή ροή παρουσιάζεται όταν η κίνηση του αέρα πραγματοποιείται σε χαμηλές ταχύτητες και σε μικρούς αγωγούς. Η ομαλή ροή έχει άμεση σχέση με τη διάμετρο των αεραγωγών. Συγκεκριμένα, είναι ανάλογη με την διάμετρο υψωμένη στην τέταρτη δύναμη. Στην ομαλή ροή ακόμη, η διαφορά πίεσης κατά μήκος του αεραγωγού είναι ανάλογο του ρυθμού της ροής [27].
- Στροβιλώδης Ροή: Η στροβιλώδης ροή πραγματοποιείται σε υψηλούς ρυθμούς ροής του αέρα, που συμβαίνουν σε μεγάλους αεραγωγούς. Η στροβίλωση του αέρα στους μεγάλους αεραγωγούς αποτελεί την πρώτη πηγή δημιουργίας αντίστασης στην αναπνοή [27].
- Ροή Μετάπτωσης: Η ροή μετάπτωσης αποτελεί συνδυασμό της ομαλής και της στροβιλώδης ροής. Πραγματοποιείται σε χαμηλούς ρυθμούς ροής αέρα κατά την εκπνοή, αλλά και όταν η ροή ενώνεται και εκβάλλει σε κοινό αεραγωγό σε σημεία του βρογχικού δέντρου [28].

Η αναπνευστική ζώνη αποτελείται κατά κύριο λόγο από τους πνεύμονες, αλλά και από τα αναπνευστικά βρογχιόλια, τους κυψελιδικούς αγωγούς και σάκους. Το κάθε ένα από τα τελικά βρογχιόλια μεταπίπτει στο αναπνευστικό βρογχιόλιο και στη συνέχεια σχηματίζει τον κυψελιδικό πόρο και τον κυψελιδικό σάκο (Εικόνα 2). Ανάμεσα στα τοιχώματα αυτών των δύο υπάρχουν οι κυψελίδες. Οι κυψελίδες είναι υπεύθυνες για την ανταλλαγή αερίων μεταξύ των πνευμόνων. Η ανταλλαγή βασίζεται στον μηχανισμό της διαπίδυσης. Η διαπίδυση είναι μια μέθοδος διαχωρισμού αερίων βάσει της διαφοράς της πίεσης των αερίων [29].

2.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Όπως προαναφέρθηκε, το αναπνευστικό σύστημα είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή αερίων μεταξύ των πνευμόνων. Ακόμη, ευθύνεται και για την ανταλλαγή αερίων μεταξύ των πνευμόνων και του κυκλοφορικού συστήματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάχυση. Η διάχυση καθοδηγείται από τις κλίσεις πίεσης οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες επηρεάζονται από την αγωγιμότητα του φορέα και τη μεταφορική του ικανότητα. Οι θρεπτικές ουσίες και τα τελικά προϊόντα του μεταβολισμού διακινούνται μεταξύ του τριχοειδικού αίματος και του μεσοκυττάρου υγρού με διάχυση [25].

Τα βασικά μέρη του κυκλοφορικού συστήματος είναι η καρδιά, τα αιμοφόρα αγγεία και το αίμα.

2.2.1 Το αίμα

Το αίμα αποτελείται από έμμορφα συστατικά (κύτταρα και κομμάτια κυττάρων), τα οποία αιωρούνται μέσα σε ένα υγρό, που ονομάζεται πλάσμα. Μέσα σε αυτό υπάρχουν διάφορα είδη θρεπτικών συστατικών, ιόντων, πρωτεϊνών και μεταφορικών αποβλήτων που μεταφέρονται μέσω του κυκλοφορικού συστήματος σε ολόκληρο το σώμα. Η σύνθεση του πλάσματος ισοδυναμεί με εκείνη του διάμεσου υγρού στα τριχοειδή.

Τα κύτταρα αυτά είναι τα ερυθροκύτταρα (ερυθρά αιμοσφαίρια), λευκοκύτταρα (λευκά αιμοσφαίρια) και τα θραύσματα κυττάρων (αιμοπετάλια). Τα περισσότερα κύτταρα στο αίμα (99% και πάνω) είναι ερυθροκύτταρα. Σκοπός τους είναι να μεταφέρουν οξυγόνο στους ιστούς. Ακόμη, σε μικρότερα ποσοστά, τα λευκοκύτταρα και τα αιμοπετάλια έχουν ως σκοπό την προστασία του οργανισμού από μολύνσεις και από τον καρκίνο, αλλά και συμβάλλουν στην πήξη του αίματος αντίστοιχα [25].

2.2.2 Τα αιμοφόρα αγγεία

Τα αιμοφόρα αγγεία είναι οι αρτηρίες και οι φλέβες. Οι αρτηρίες είναι σωλήνες χαμηλής αντίστασης που μεταφέρουν το αίμα μακριά από την καρδιά με μια μικρή απώλεια στην πίεση. Ακόμη,

συμβάλλουν στην διατήρηση της πίεσης και την εξασφάλιση της ροής του αίματος κατά τη χαλάρωση των κοιλιών.

Οι φλέβες είναι σωλήνες χαμηλής πίεσης με σκοπό τη μεταφορά αίματος από τα όργανα και τους ιστούς του σώματος πίσω στην καρδιά. Η χωρητικότητα τους για αίμα προσαρμόζεται ανάλογα τη ροή που θέλει να εξυπηρετήσει [30].

Κατά το συστηματικό κύκλωμα, η μεγαλύτερη αρτηρία είναι η αορτή. Αυτή μεταφέρει οξυγονωμένο αίμα από την αριστερή κοιλία της καρδιάς σε ολόκληρο το σώμα. Οι αρτηρίες εκπορεύονται από την αορτή και σχηματίζουν μικρότερα αγγεία. Οι μικρές αρτηρίες διακλαδίζονται σε αρτηρίδια, τα οποία διακλαδίζονται στα τριχοειδή, που συνενώνονται και σχηματίζουν αγγεία μεγαλύτερης διαμέτρου, τα φλεβίδια. Τα φλεβίδια ενώνονται και σχηματίζουν τις φλέβες. Οι φλέβες ενώνονται με διάφορα περιφερειακά αγγεία και σχηματίζουν δύο μεγάλες φλέβες – την άνω κοίλη φλέβα και την κάτω κοίλη φλέβα, οι οποίες συλλέγουν το αίμα στο άνω και κάτω μέρος της καρδιάς αντίστοιχα. Μέσω αυτών των φλεβών, το αίμα επιστρέφει στο δεξιό κόλπο.

Κατά το πνευμονικό κύκλωμα, η μεγάλη αρτηρία – πνευμονικό στέλεχος – διαιρείται σε δύο μικρότερες αρτηρίες, η μια εκ των οποίων προμηθεύει στον δεξιό πνεύμονα και η άλλη στον αριστερό. Οι αρτηρίες εδώ συνεχίζουν να διακλαδίζονται έως ότου σχηματίζουν τα τριχοειδή, τα οποία συνενώνονται σε φλεβίδια και μετά φλέβες [25].

2.2.3 Η καρδιά

Η καρδιά βρίσκεται πίσω από το στέρνο, στο μεσοθώρακιο, μεταξύ των δύο πνευμόνων και πάνω στον θώρακα. Το μεγαλύτερο της τμήμα βρίσκεται αριστερά του μεσοθώρακα. Το μέγεθος της καρδιάς ισούται με το μέγεθος του άκρου χεριού σε σχήμα μπουνιάς. Αποτελείται από δύο τμήματα, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους από το μεσοκοιλιακό διάφραγμα. Κάθε τμήμα της καρδιάς (δεξί και αριστερό τμήμα) χωρίζονται σε δύο κοιλότητες. Η επάνω κοιλότητα ονομάζεται κόλπος και η κάτω κοιλότητα κοιλία. Ο κόλπος και η κοιλία συνδέονται με το κολλοκοιλιακό στόμιο. Άρα, συνολικά, η καρδιά αποτελείται από τον αριστερό κόλπο, την αριστερή κοιλία, τον δεξί κόλπο και τη δεξιά κοιλία.

Παρόλο που ο κόλπος και η κοιλία του ενός τμήματος επικοινωνούν μεταξύ τους, ο κόλπος και η κοιλία μεταξύ των τμημάτων δεν έχουν καμία επικοινωνία. Αυτό οφείλεται στην λειτουργία του κυκλοφορικού συστήματος [31].

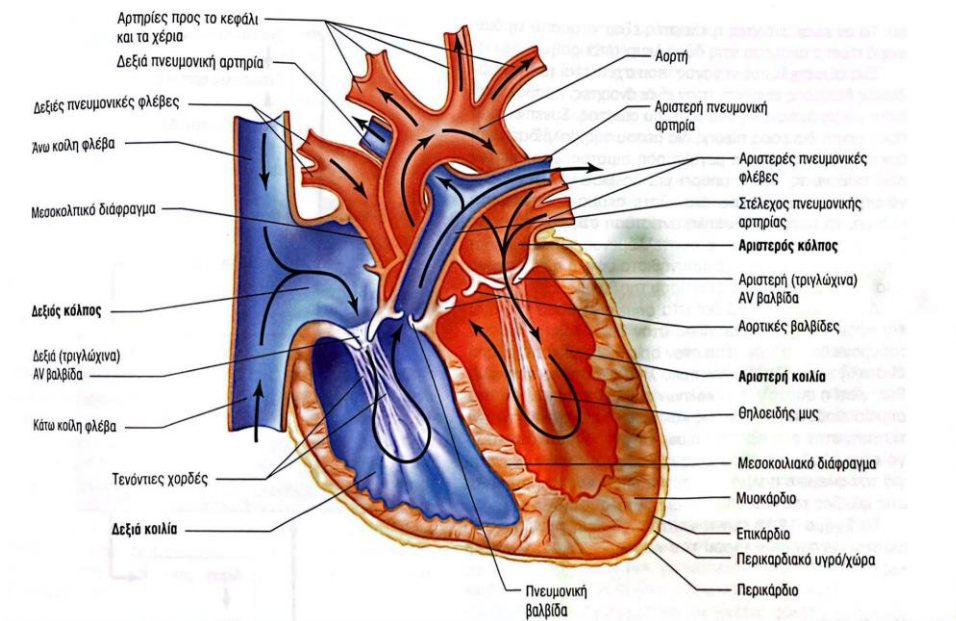
Η καρδιά περικλείεται από έναν ινώδη σάκο, το περικάρδιο, ενώ τα εσωτερικά μέρη της καρδιάς καλύπτονται από μια λεπτή μεμβράνη, το ενδοκάρδιο [32]. Επίσης, ένα ινώδες στρώμα τοποθετείται πολύ κοντά στην καρδιά και ονομάζεται επικάρδιο. Μεταξύ του περικαρδίου και του επικαρδίου υπάρχει ένα υδατώδες υγρό που βοηθάει στην κίνηση της καρδιάς μέσα στον σάκο.

Ανάμεσα στο περικάρδιο και το ενδοκάρδιο βρίσκεται ο μυς της καρδιάς, το μυοκάρδιο. Το μυοκάρδιο παρόλο που είναι γραμμωτός μυς δεν λειτουργεί εκούσια. Ακόμη, αποτελείται από πολλές συνενωμένες μυϊκές ίνες, γεγονός που αφήνει να εννοηθεί πως η καρδιά είναι ένας γραμμωτός μυς και δεν είναι ένα σύνολο πολλών μυϊκών ινών. Στο μυοκάρδιο βρίσκονται οι στεφανιαίες αρτηρίες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την παροχή του αίματος στην καρδιά. Είναι οι πρώτοι κλάδοι της αορτής δεξιά και αριστερά [27].

Μεταξύ των κόλπων και των κοιλιών κάθε τμήματος υπάρχουν βαλβίδες, χάρη των οποίων επιτυγχάνεται η μονόδρομη κυκλοφορία του αίματος. Αυτές είναι:

- Τριγωνίνα βαλβίδα: Η δεξιά βαλβίδα είναι η τριγωνίνα βαλβίδα. Βρίσκεται ανάμεσα στον δεξί κόλπο και τη δεξιά κοιλία. Το όνομα της προκύπτει, επειδή αποτελείται από τρία πτερύγια – ακμές, που μοιάζουν με γλώσσα.
- Διγλωχίνα βαλβίδα: Η αριστερή βαλβίδα είναι η διγλωχίνα, η οποία βρίσκεται ανάμεσα στον αριστερό κόλπο και την αριστερή κοιλία. Το όνομα της προκύπτει, επειδή αποτελείται από δύο πτερύγια – ακμές, που μοιάζουν με γλώσσα.

- Πνευμονική βαλβίδα: Η πνευμονική βαλβίδα βρίσκεται ανάμεσα στην δεξιά κοιλία και πνευμονική αρτηρία.
 - Αορτική βαλβίδα: η αορτική βαλβίδα βρίσκεται ανάμεσα στην αριστερή κοιλία και την αορτή.
- Το άνοιγμα και το κλείσιμο των κολποκοιλιακών βαλβίδων είναι μια παθητική διαδικασία, η οποία προκύπτει από τη διαφορά πιέσεων στις δύο πλευρές των βαλβίδων. Όταν η πίεση στον κόλπο είναι μεγαλύτερη από εκείνη της κοιλίας, τότε η βαλβίδα ανοίγει και το αίμα ρέει από τον κόλπο στην κοιλία. Αντίθετα, όταν η συστέλλομενη κοιλία δημιουργεί μια εσωτερική πίεση, η οποία είναι μεγαλύτερη του αντίστοιχου κόλπου, η βαλβίδα κλείνει. Η πνευμονική και αορτική βαλβίδα επιτρέπει το άνοιγμα κατά τη συστολή, αλλά εμποδίζει το αίμα να κινείται σε αντίθετη κατεύθυνση [33]. Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται η διαγραμματική τομή της καρδιάς, όπου τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση της ροής του αίματος [25].



Εικόνα 3 - Διαγραμματική τομή της καρδιάς [25]

2.2.4 Λειτουργία κυκλοφορικού συστήματος

Η κυκλοφορία ξεκινά όταν αποξυγονωμένο αίμα εισέρχεται από το σώμα στην καρδιά. Αυτό εισέρχεται μέσω του φλεβικού συστήματος στον δεξιό κόλπο & εν συνεχεία περνά στην δεξιά κοιλία μέσω της τριγλώχινας βαλβίδας. Όταν η κοιλία γεμίσει, το αίμα εισέρχεται στην πνευμονική αρτηρία μέσω της πνευμονικής βαλβίδας, η οποία μεταφέρει το φλεβικό αίμα στους πνεύμονες με σκοπό να οξυγονωθεί. Το οξυγονωμένο αίμα εισέρχεται στις πνευμονικές φλέβες & εισέρχεται πάλι στην καρδιά μέσω του αριστερού κόλπου & στη συνέχεια στην αριστερή κοιλία μέσω της διγλώχινης βαλβίδας. Όταν πάλι η κοιλία αυτή γεμίσει, μεταφέρεται στην αορτή μέσω της αορτικής βαλβίδας & στη συνέχεια στον κορμό του ανθρώπου, δηλαδή σε όλα τα όργανα του, θώρακα, κοιλία, κάτω άκρα, άνω άκρα, κεφαλή. Έτσι αργότερα περνά από την άνω κοίλη φλέβα στην κάτω κοίλη φλέβα, μετά στον δεξιό κόλπο & ξεκινά πάλι η ίδια διαδικασία [34].

Το κυκλοφορικό σύστημα αποτελείται από δύο κύκλους: την πνευμονική κυκλοφορία και τη συστηματική κυκλοφορία. Στην πνευμονική κυκλοφορία, το αίμα που προέρχεται από τη δεξιά κοιλία μεταφέρεται μέσω των πνευμόνων προς τον αριστερό κόλπο για να οξυγονωθεί. Στη συστηματική κυκλοφορία, το αίμα από την αριστερή κοιλία κυκλοφορεί προς όλα τα όργανα του σώματος, εκτός από τα πνεύμονα, και επιστρέφει στον δεξιό κόλπο.

Η μεταφορά του οξυγόνου στους ιστούς μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο ένας από αυτούς είναι ο φυσικός τρόπος, όπου το οξυγόνο απορροφάται στο πλάσμα του αίματος και γίνεται η μεταφορά με τον τρόπο που προαναφέρθηκε και ο χημικός τρόπος όπου ενώνεται με την αιμοσφαιρίνη. Η αιμοσφαιρίνη η οποία έχει ενωθεί με το οξυγόνο ονομάζεται οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη. Η κορεσμένη αιμοσφαιρίνη διασπάται και απελευθερώνεται οξυγόνο στους ιστούς [35].

2.2.5 Αιμοδυναμική του αίματος

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του κυκλοφορικού συστήματος είναι η σχέση ανάμεσα στη ροή, στην πίεση και στην αντίσταση του αίματος. Οι παράγοντες αυτοί ονομάζονται αιμοδυναμική. Παρουσιάζουν τη γενική αρχή της φυσιολογίας και υπακούν σε νόμους της φυσικής και της χημείας.

Ροή Όγκου

Η άμεση ροή του αίματος σε όλο το σώμα παράγεται από την πίεση που δημιουργείται λόγω της αντλητικής λειτουργίας της καρδιάς. Αυτός ο τύπος ροής γνωστοποιείται ως ροή όγκου, διότι όλα τα στοιχεία του αίματος κινούνται συγχρόνως. Η ροή του αίματος μετριέται σε L/min.

Πίεση

Σε κάθε περιοχή του σώματος, η μεταφορά του αίματος συμβαίνει από μια περιοχή με υψηλότερη πίεση προς μια περιοχή με χαμηλότερη πίεση. Η πίεση που ασκείται σε ένα υγρό ονομάζεται υδροστατική πίεση και αναδεικνύει τη δύναμη που ασκείται στο αίμα. Αυτή η πίεση προκύπτει από τη συστολή της καρδιάς. Η διαφορά στην πίεση μετριέται σε mmHg.

Αντίσταση

Γνωρίζοντας μόνο τη διαφορά της πίεσης μεταξύ δύο σημείων δεν μπορούμε να πάρουμε ακριβείς πληροφορίες για την ροή του αίματος. Σε αυτή την περίπτωση μελετάμε μια ακόμη παράμετρο, την αντίσταση. Η αντίσταση φανερώνει τη δυσκολία στην ροή του αίματος μεταξύ δύο σημείων με δεδομένη διαφορά πίεσης. Η αντίσταση είναι το μέτρο της τριβής που εμποδίζει τη ροή. Συνολικά, ο όγκος της ροής είναι ανάλογος της διαφοράς πιέσεων και αντιστρόφως ανάλογος της αντίστασης [25].

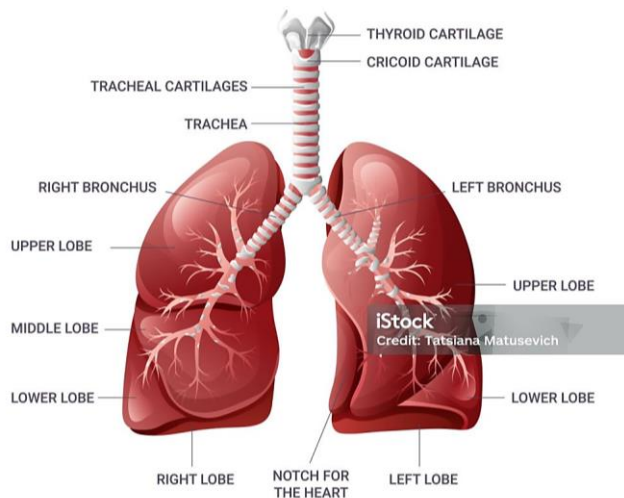
2.3 ΠΝΕΥΜΟΝΕΣ

Οι πνεύμονες είναι το σημαντικότερο κομμάτι της αναπνευστικής ζώνης του αναπνευστικού συστήματος και είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με το κυκλοφορικό σύστημα. Η δομή τους είναι σχεδιασμένη ειδικά για την αποτελεσματική ανταλλαγή αναπνευστικών αερίων. Μέσω των αεραγωγών και των αγγειακών δένδρων, το φρέσκο αέριο και το φλεβικό αίμα μεταφέρονται και εξάγονται από μια εκτεταμένη κυψελιδική τριχοειδή επιφάνεια. Σε ενήλικα, ο εισπνεόμενος αέρας εισέρχεται μέσω της τραχείας με μια επιφάνεια διατομής 3cm^2 και φτάνει στις κυψελίδες με επιφάνεια 140m^2 . Το πνευμονικό αγγειακό δένδρο, εξίσου, ξεκινά ως πρωταρχική πνευμονική αρτηρία και χωρίζεται επανειλημμένα σε αρτηρίδια και τριχοειδή αγγεία, καλύπτοντας το 85-95% της κυψελιδικής επιφάνειας [36]. Οι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος ενός φυσιολογικού πνεύμονα είναι η ηλικία, το φύλο, η σωματική μάζα, η στάση του σώματος, η σωματική διάπλαση, η εθνικότητα και η άσκηση [37].

2.3.1 Ανατομία Πνεύμονα

Η ανταλλαγή των αερίων εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ πνεύμονα και θωρακικού τοιχώματος. Παρά την αλληλεπίδραση τους οι δύο δομές, αυτές, διαχωρίζονται από τον σπλαχνικό υπεζωκότα και καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του θώρακα και βρίσκονται πάνω στο διάφραγμα. Ο υπεζωκότας είναι υμένος στο εσωτερικό τοίχωμα της κοιλότητας του θώρακα που καλύπτει το εσωτερικό του θώρακα (τοιχωματικός υπεζωκότας), αλλά περιβάλλει και τους πνεύμονες

(περισπλάχνιος ή σπλαχνικός υπεζωκότας). Οι πνεύμονες είναι ελαστικά όργανα και έχουν την ικανότητα να διαστέλλονται και να συστέλλονται, αλλά και να παρακολουθούν τις κινήσεις του θώρακα. Ανάμεσα τους βρίσκεται η καρδιά. Κάθε πνεύμονας περιλαμβάνει το βρογχικό δέντρο, κυψελίδες, πνευμονική ουσία, αγγεία και νεύρα, ενώ καλύπτεται εξωτερικά από τον περισπλάχνιο υπεζωκότα. Ο δεξιός πνεύμονας καταλαμβάνει μεγαλύτερη επιφάνεια από ότι ο αριστερός και είναι περισσότερο βαρύς. Έτσι, ο δεξιός πνεύμονας χωρίζεται σε τρεις λοβούς, τον άνω λοβό, τον μέσο λοβό και τον έξω λοβό, ενώ ο αριστερός σε δύο, τον άνω και κάτω. Κάθε λοβός χωρίζεται σε μικρότερες υποδιαιρέσεις, όπου σε αυτές περιέχονται οι κυψελίδες. Σε κάθε τέτοια υποδιαίρεση εισέρχεται ο βρόγχος, ο οποίος τελικά καταλήγει στα βρογχιόλια. Στα βρογχιόλια εμφανίζονται οι κυψελίδες, όπου είναι το τελικό σημείο όπου γίνεται η ανταλλαγή των αερίων [38].



Εικόνα 4 - Διάγραμμα Πνεύμονα [39]

Το τοίχωμα των κυψελίδων αποτελείται από τα επιθήλια. Σε συνεργασία με τους αεραγωγούς, οι πνευμονικές αρτηρίες και φλέβες διακλαδίζονται και τελικά σχηματίζουν το τριχοειδές δίκτυο μέσα στα κυψελιδικά διαφράγματα. Καθώς συμβαίνει αυτό, σχηματίζεται σταδιακά ένα λεπτό συνεκτικό ικρίωμα που εκτείνεται μέχρι τον σπλαχνικό υπεζωκότα, το οποίο διασχίζει τα κυψελιδικά διαφράγματα ως πλέγμα λεπτών ινών που υποστηρίζει το τριχοειδικό δίκτυο. Παρόλο που ο κυψελιδικός ιστός είναι πολύ λεπτός, είναι δομημένος από κύτταρα που εξυπηρετούν διάφορες λειτουργίες. Ο φραγμός αερα-αιμάτωσης διαμορφώνεται από δύο κύτταρα, ειδικότερα το ενδοθηλιακό κύτταρο που επικαλύπτει τα τριχοειδή αγγεία, και το κυψελιδικό επιθηλιακό κύτταρο τύπου I που σχηματίζει την επένδυση στον κυψελιδικό χώρο. Επιπλέον, το κυψελιδικό επιθήλιο περιλαμβάνει το κυβοειδές κύτταρο τύπου II, το οποίο λειτουργεί ως εκκριτικό κύτταρο και υπεύθυνο για τον σχηματισμό του επιφανειοδραστικού χιτώνα. Ο ενδιάμεσος χώρος μεταξύ των επιθηλιακών και ενδοθηλιακών κυττάρων, που οριοθετείται από τις βασικές τους μεμβράνες, περιλαμβάνει τους ινοβλάστες, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον σχηματισμό και τη διατήρηση του συστήματος ινών. Στον ανθρώπινο πνεύμονα έχουν παρατηρηθεί συνολικά 19 επιθηλιακά κύτταρα τύπου I, 37 επιθηλιακά κύτταρα τύπου II και 68 ενδοθηλιακά κύτταρα, που καλύπτουν όγκο περίπου $1769\mu\text{m}^3$, $889\mu\text{m}^3$, $632\mu\text{m}^3$ ο κάθε τύπος αντίστοιχα [40].

Το κυψελιδικό επιθηλιακό κύτταρο τύπου I έχει διπλάσιο όγκο από το κύτταρο τύπου II και το μεγαλύτερο μέρος αυτού του όγκου απλώνεται πάνω στη βασική μεμβράνη σε επιφάνεια $5100\mu\text{m}^2$, η οποία είναι σχεδόν τέσσερις φορές μεγαλύτερη από ένα ενδοθηλιακό κύτταρο.

Τα κυψελιδικά τριχοειδή επενδύονται από ένα συνεχές ενδοθήλιο με μορφή λεπτών φυλλαρίων που εκφύονται από το κεντρικό κυτταρικό σώμα. Κάθε κύτταρο έχει έκταση $1350\mu\text{m}^2$ στην επιφάνεια των τριχοειδών. Έτσι, σύμφωνα με τη γεωμετρία και τις διαστάσεις του κυψελιδικού δικτύου (διάμετρος

6μm και μήκος 8μm) εξάγεται το συμπέρασμα ότι δύο ενδοθηλιακά κύτταρα συμμετέχουν στην επένδυση ενός τριχοειδούς σωλήνα. Συνολικά, ο όγκος των πνευμόνων έχει υπολογιστεί στα 4340ml, ενώ η κυψελιδική επιφάνεια καλύπτει τα 130m² του, σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν σε ενήλικες ανθρώπους με μέσο βάρος τα 70kg και μέσο ύψος τα 175cm [41].

2.3.2 Φυσικές ιδιότητες του πνεύμονα

Όγκοι και Χωρητικότητα Πνεύμονα

Οι όγκοι των πνευμόνων – Lung Volume (**LV**) παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη συνολική πνευμονική λειτουργία που μπορεί να είναι θεμελιώδεις για την κατηγοριοποίηση και τη σταδιοποίηση των πνευμονικών ασθενειών. Εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση των πνευμόνων με το θωρακικό τοίχωμα.

- Ο αναπνεόμενος όγκος – Tidal Volume (**TV**), ο οποίος αναφέρεται στον όγκο του αέρα που εισπνέεται ή εκπνέεται κατά τη διάρκεια της αναπνοής σε κατάσταση ηρεμίας. Συνήθως μετριέται στο στόμα και ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες μέτρησης (ηρεμία, άσκηση, θέση). Πρέπει να χρησιμοποιείται η μέση τιμή τουλάχιστον για πέντε αναπνοές.
- Ο υπολειπόμενος όγκος – Residual Volume (**RV**), ο οποίος αναφέρεται στον όγκο του αέρα που παραμένει στους πνεύμονες μετά από τη μέγιστη εκπνοή. Υπολογίζεται αφαιρώντας τον εκπνευστικό αποθεματικό όγκο από τη λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα: $RV = FRC - ERV$ ή $RV = TLC - VC$. Ο συντελεστής διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων συνήθως δεν υπερβαίνει το 10%.
- Ο εκπνευστικός εφεδρικός όγκος – Expiratory Reserve Volume (**ERV**), ο οποίος αναφέρεται στον όγκο του αέρα που μπορεί να εκπνεύσει το άτομο μετά από τη φυσιολογική ήρεμη εκπνοή. Είναι μικρότερος σε κατακόρυφη θέση από ό,τι σε καθιστή θέση και μειώνεται σε περιπτώσεις παχυσαρκίας.
- Ο εισπνευστικός εφεδρικός όγκος – Inspiratory Reserve Volume (**IRV**), ο οποίος αναφέρεται στον επιπλέον όγκο αέρα που μπορεί να εισπνεύσει το άτομο μετά από φυσιολογική ήρεμη εισπνοή [42].

Οι χωρητικότητες των πνευμόνων απαρτίζονται από πνευμονικούς όγκους.

- Συνολική πνευμονική χωρητικότητα - Total Lung Capacity (**TLC**), είναι ο όγκος του αέρα στους πνεύμονες μετά από μέγιστη εισπνοή. Υπολογίζεται προσθέτοντας τον υπολειπόμενο όγκο με την εισπνευστική ζωτική χωρητικότητα: $TLC = RV + VC$.
- Ζωτική χωρητικότητα – Vital Capacity (**VC**), είναι ο μέγιστος όγκος αέρα που μπορεί να εκπνεύσει άτομο μετά από μια μέγιστη εισπνοή. Η ζωτική χωρητικότητα προσδιορίζεται ως άθροισμα της εισπνευστικής χωρητικότητας (IC) του όγκου αναπνευστικού αποθέματος (ERV).

Η μέτρηση μπορεί να γίνει με μία από τις ακόλουθες μεθόδους:

- i) Εισπνευστική ζωτική χωρητικότητα (Inspiratory Vital Capacity – **IVC**): Η μέτρηση γίνεται με χαλαρό τρόπο, χωρίς βιασύνη ή εσκεμμένη καθυστέρηση, από μια θέση πλήρους εκπνοής σε πλήρη εισπνοή.
 - ii) Εκπνευστική ζωτική χωρητικότητα (Expiratory Vital Capacity – **EVC**): Η μέτρηση γίνεται με παρόμοιο τρόπο από μια θέση πλήρους εισπνοής σε πλήρη εκπνοή.
 - iii) Εξαναγκαστική ζωτική χωρητικότητα (**FVC**): Αυτό αναφέρεται στον όγκο αέρα που εκπνέεται κατά τη διάρκεια μιας εξαναγκασμένης εκπνοής, ξεκινώντας από μια θέση πλήρους εκπνοής και καταλήγοντας σε πλήρη εκπνοή.
- Λειτουργική Υπολειπόμενη Χωρητικότητα – Functional Residual Capacity (**FRC**), όπου είναι ο όγκος του αέρα που παραμένει στους πνεύμονες μετά από μια εκπνοή σε φυσιολογική αναπνοή. Για τη μέτρηση του FRC χρησιμοποιούνται τεχνικές πληθυσμογραφίας και τεχνικές αραιώσης αερίου.
 - Εισπνευστική χωρητικότητα – Inspiratory Capacity (**IC**), όπου είναι ο μέγιστος όγκος αέρα που μπορεί να εισπνευστεί μετά από μια εκπνοή κατά τη διάρκεια φυσιολογικής, ήρεμης αναπνοής [43].

Οι πνευμονικοί όγκοι που παραμένουν σταθεροί (FRC, TLC, RV) συχνά θεωρούνται βασικοί παράγοντες στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης αξιολόγησης της λειτουργίας των πνευμόνων. Η σπιρομέτρηση επιτρέπει την καταγραφή της ζωτικής χωρητικότητας (VC), του εισπνευστικού εφεδρικού όγκου (ERV) και της εισπνευστικής ικανότητας (IC), ενώ σε συνδυασμό με το FRC επιτρέπει τον υπολογισμό των TLC και RV. Αν και οι στατικές μετρήσεις του όγκου των πνευμόνων δεν είναι διαγνωστικές από μόνες τους, παρέχουν ένα κανονικό υπόβαθρο που συνδυάζεται με τα αποτελέσματα της σπιρομέτρησης για μια πιο πλήρη και ακριβή αξιολόγηση της πνευμονικής λειτουργίας.

Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από ορισμένες τιμές αναφοράς, όπως είναι η ηλικία του ατόμου, το φύλο και το ύψος. Συγκεκριμένα, η σχέση του ύψους και της ηλικίας είναι πολλαπλασιαστική, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψιν περίοδοι γρήγορης ανάπτυξης και εξέλιξης (π.χ. εφηβεία). Σαφώς, τα φυσιολογικά όρια δεν είναι σταθερές τιμές αλλά εξαρτώνται από τους παραπάνω παράγοντες. Έχει παρατηρηθεί γενικά πως οι τιμές του FRC και TLC αλλάζουν μέχρι τα 20 έτη και μετά σταθεροποιούνται και για τους άντρες και για τις γυναίκες. Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν το εύρος των τιμών είναι το κάπνισμα, ο αθλητισμός, η παχυσαρκία και το ιστορικό του ασθενή ως προς κάποια πνευμονολογική ασθένεια που μπορεί να είχε περάσει. Η παχυσαρκία μπορεί να επηρεάσει τόσο τη λειτουργία των πνευμόνων αλλά και να είναι παράγοντας παρουσίας κάποιας ασθένειας των πνευμόνων [44].

2.3.3 Ελαστικές ιδιότητες του πνεύμονα

Η ελαστικότητα των πνευμόνων δίνει την δυνατότητα στους πνεύμονες να μεταβάλλουν τις διαστάσεις τους, σύμφωνα με τις πιέσεις που τους ασκούνται. Οι πιέσεις αυτές είναι η διατοίχωματική και η υπεζωκοτική. Κατά την αναπνοή, εισέρχεται ένας όγκος αέρα από την ρινική και στοματική κοιλότητα, ως επακόλουθο τη δημιουργία πιέσεων [45].

Πιέσεις πνεύμονα

- Διατοίχωματική πίεση του πνεύμονα (διαπνευμονική πίεση) προκύπτει από τη διαφορά της πίεσης ανάμεσα στις κυψελίδες και την υπεζωκοτική κοιλότητα. Λέγεται αλλιώς και κυψελιδική πίεση. Οι κυψελίδες περιέχουν αέρα και περιβάλλονται από υγρό. Άρα, οι πιέσεις στις κυψελίδες προκύπτουν από την διεπαφή μεταξύ του αέρα και του υγρού και είναι ανάλογες της επιφανειακής τάσης που ασκείται στις κυψελίδες και αντιστρόφως ανάλογες της ακτίνας τους. Επειδή οι κυψελίδες δεν είναι άκαμπτες, οποιαδήποτε θετική ή αρνητική μεταβολή στην πίεση μεταφέρεται μέσω του υπεζωκότα σε αυτές. Το γεγονός ότι η πίεση στις κυψελίδες είναι μεγαλύτερη στην κορυφή, από ότι στη βάση του φέρνει ως επακόλουθο ο όγκος στις κυψελίδες να είναι μεγαλύτερος σε εκείνη την περιοχή του πνεύμονα.

- Υπεζωκοτική πίεση είναι η πίεση που περιβάλλει τον πνεύμονα [21].

Το θωρακικό τοίχωμα είναι μια ελαστική επιφάνεια που τείνει να διογκώνεται σε μεγαλύτερες διαστάσεις από αυτές που έχει σε μια διάρκεια ήρεμης αναπνοής. Έτσι, σε αυτή την κατάσταση, η υπεζωκοτική πίεση είναι αρνητική σε σχέση με την ατμοσφαιρική. Η υπεζωκοτική είναι περισσότερο αρνητική στις περιοχές ψηλά στον πνεύμονα από ότι στο κέντρο, εφόσον δεν διαστέλλονται όλες οι περιοχές ταυτόχρονα για μια συγκεκριμένη τιμή της διατοίχωματικής πίεσης. Συγκεκριμένα, στην αρχή της εισπνοής, αυξάνεται ο όγκος του θώρακα και ελαττώνεται η υπεζωκοτική πίεση. Έτσι, μέσω του τοίχωματικού υπεζωκότα, η ελάττωση διαδίδεται στον χώρο των κυψελίδων και φέρνει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κυψελιδικής πίεσης. Έτσι, η κυψελιδική πίεση είναι μικρότερη από ότι η ατμοσφαιρική πίεση. Στα μέσα μιας εισπνοής, όπου η κυψελιδική πίεση παίρνει αρνητικές τιμές έχουμε μέγιστη ροή αέρα. Στο τέλος, η πίεση στις κυψελίδες ξεκινά να αυξάνεται έως να εξισωθεί με την ατμοσφαιρική πίεση και σταματάει η ροή του αέρα. Αντίστροφα πραγματοποιείται η διαδικασία της εκπνοής. Σε αυτή την περίπτωση, η πίεση στις κυψελίδες γίνεται μεγαλύτερη από ότι η ατμοσφαιρική πίεση. Ο όγκος του θώρακα ελαττώνεται και, έτσι, η πίεση στην υπεζωκοτική επιφάνεια αυξάνεται [45].

Ενδοτικότητα πνεύμονα

Η ενδοτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα του πνεύμονα να μπορεί να μεταβάλλει τον όγκο του σύμφωνα με τις αλλαγές στην πίεση. Εκφράζει τον λόγο της μεταβολής του όγκου ανά μονάδα πίεσης. Κατά τη μέτρηση της ενδοτικότητας του πνεύμονα, η πίεση αναφέρεται στη διατοιχωματική πίεση του πνεύμονα, δηλαδή την διαφορά της εσωτερικής μείον της εξωτερικής πίεσης. Για να μετρήσουμε την ενδοτικότητα του πνεύμονα αρκεί να αυξήσουμε τον όγκο του με θετική πίεση. Όταν ένας πνεύμονας έχει μεγάλη ενδοτικότητα εννοούμε ότι διατείνεται με μεγάλη ευκολία, δηλαδή οι μύες του τεντώνουν και διαστέλλονται με σκοπό την αντιμετώπιση των αλλαγών στην πίεση και έτσι, μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερους όγκους από ότι εκείνος με μικρότερη ενδοτικότητα. Έχει παρατηρηθεί πως οι πνεύμονες με χαμηλή ενδοτικότητα παρουσιάζουν δυσκολίες στην εισπνοή, καθώς χαρακτηρίζονται ως «άκαμπτοι», ενώ πνεύμονες με υψηλή ενδοτικότητα παρουσιάζουν δυσκολίες κατά την εκπνοή.

Μαθηματικά, η ελαστικότητα αποτελεί το αντίστροφο της ενδοτικότητας και εκφράζει τη μεταβολή της πίεσης ανά μονάδα όγκου. Μπορούμε να θεωρήσουμε πως ένας πνεύμονας με μεγάλη ελαστικότητα χαρακτηρίζεται με χαμηλή ενδοτικότητα [27].

Επιφανειακή τάση κυψελίδων

Η διαφορά μεταξύ υστέρησης και ενδοτικότητας του πνεύμονα οφείλεται στην επιφανειακή τάση των κυψελίδων. Η επιφανειακή τάση των κυψελίδων εξαρτάται από τον επιφανειοδραστικό παράγοντα. Γενικότερα, η επιφανειακή τάση είναι ένας παράγοντας που συμβάλει στην ελαστική επαναφορά του πνεύμονα για δεδομένο όγκο. Κατά την αναπνοή απαιτείται μια ποσότητα έργου για την διόγκωση των πνευμόνων, ενώ κατά την εκπνοή, το έργο ανακτάται για την αποδιάταση των πνευμόνων. Η διαφορά των δύο έργων μετατρέπεται σε θερμότητα. Το ½ αυτού του έργου καταναλώνεται για την επιφανειακή τάση, και το υπόλοιπο ½ στις ελαστικές δυνάμεις των ιστών [26].

3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η αναπνοή είναι το Α και το Ω στην ανθρώπινη ζωή. Αποτελεί μια αναπόφευκτη και απαραίτητη λειτουργία του οργανισμού, χωρίς την οποία ο άνθρωπος δεν μπορεί να επιβιώσει[46]. Η διαδικασία της αναπνοής σε πολλές περιπτώσεις δεν επιτυγχάνεται ομαλά. Το γεγονός αυτό φέρνει ως αποτέλεσμα κάποιες δυσλειτουργίες, που αποτελούν συμπτώματα γνωστών πλέον ασθενειών. Για την καλύτερη αντιμετώπιση των αναπνευστικών δυσλειτουργιών κρίθηκε αναγκαία η μελέτη των όγκων και των χωρητικότητων ενός πνεύμονα, βάση των οποίων μπορεί να καταλήξει σε εκτίμηση μιας πιθανής αναπνευστικής ασθένειας με την οποία ο εξεταζόμενος μπορεί να νοσήσει. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι μελέτης αναπνευστικής λειτουργίας, όπως η σπιρομέτρηση, η πληθυσμογραφία κ.λ.π. [47].

3.1.1 Σπιρομέτρηση – Ιστορική Αναδρομή

Από τα τέλη του 17^{ου} αιώνα και έπειτα ελήφθησαν οι πρώτες μετρήσεις. Συγκεκριμένα, το 1681, ο μαθηματικός Borelli έκανε χρήση ενός κυλινδρικού γυάλινου σωλήνα, ο οποίος αναρροφούσε υγρό, με τον όγκο να υπολογίζεται από το άνοιγμα του σωλήνα και το ύψος του μηνίσκου. Λόγω των μεταβολών της πίεσης εντός του σωλήνα, οι μετρήσεις για τους τότε αναπνεόμενους (TV) και εισπνεόμενους εφεδρικούς (ERV) ήταν σημαντικά υποεκτιμημένες. Η συγκεκριμένη διαδικασία μέτρησης των όγκων και των χωρητικότητων του πνεύμονα ονομάστηκε σπιρομέτρηση. Στις αρχές του 18^{ου} αιώνα ο Stephen Hales, βασισμένος στην αρχή του Αρχιμήδη, μέτρησε την ζωτική χωρητικότητα (VC) του πνεύμονα και

οι μετρήσεις του ήταν αρκετά πιο ρεαλιστικές. Ωστόσο, η συμβολή αυτή του Hales χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των προϊόντων της καύσης από μια σόμπα και δεν φαίνεται να χρησιμοποιήσει την τεχνική για αναπνευστικές μετρήσεις. Το κλασικό σπιρόμετρο στα τέλη του 18^{ου} αιώνα είχε εμπνευστεί το γκαζόμετρο, που χρησιμοποιούσαν οι χημικοί για διάφορες μετρήσεις αερίων [48]. Στη συνέχεια έγινε χρήση και στον άνθρωπο, όπου αρχικά χρησιμοποιούνταν με αέριο υδραργύρου και τελικά με νερό [24].

Παρά τις μετρήσεις εκείνων των χρόνων, ο John Hutchinson κατάφερε να καθιερώσει το σπιρόμετρο και κατ' επέκταση την σπιρομέτρηση, ως ένα πολύ σημαντικό κλινικό εργαλείο. Εκείνη την περίοδο (1830 – 1840), οι ασθενείς έπασχαν κυρίως από φυματίωση. Ο Hutchinson παρατήρησε πως οι τιμές που έπαιρνε για την VC ήταν εξαιρετικά πιο ευαίσθητες για τον εντοπισμό της φυματίωσης στον άνθρωπο, συγκριτικά με τον έλεγχο με το τότε εφευρούμενο στηθοσκόπιο. Πολλές θεωρίες θέλουν τον Hutchinson ως εφευρέτη του σπιρομέτρου ή ως τον πρώτο που μέτρησε την VC, αλλά όπως αναφέρουμε παραπάνω, αυτό δεν αληθεύει. Ωστόσο, βελτίωσε το σπιρόμετρο και το γέμισε με νερό, ώστε να το καταστήσει κατάλληλο για καθημερινή χρήση. Ακόμη, κατέγραψε τη φυσιολογική διακύμανση της VC συναρτήσει της ηλικίας, του φύλου, του ύψους και του βάρους και έδειξε την ξεκάθαρη μείωση της VC που μπορεί να διαπιστωθεί ακόμη και σε μια πρώιμη νόσο. Το 1846 δημοσίευσε εκτενώς το έργο του, το οποίο αποτελείται από περισσότερες από 120 σελίδες και περιέχει πλούσιες και χρήσιμες πληροφορίες και παρατηρήσεις που χρησιμοποιούνται έως και σήμερα [49].

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα υπήρξε ξανά μια αναβίωση του ενδιαφέροντος των ιατρών για τους όγκους του πνεύμονα. Αυτό προέκυψε λόγω των προβλημάτων που αντιμετώπιζαν οι αεροπόροι κατά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, της ανάγκης για αντικειμενικές μετρήσεις μετά την εισαγωγή των νομικών ρυθμίσεων αποζημιώσεων για εργαζομένους με βιομηχανική πνευμονική νόσο, την άνοδο της θωρακικής χειρουργικής ως ειδικότητα και την ανάγκη για αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης των ασθενών. Οι πνευμονολόγοι ανησυχούσαν ακόμη για τα προβλήματα της φυματίωσης. Το 1933 δημοσιεύτηκε ένα άρθρο όπου τόνιζε την ευαισθησία της VC για τον εντοπισμό της φυματίωσης, όπως είχε επιβεβαιώσει και ο Hutchinson. Τα δεδομένα αυτά μας δίνουν το συμπέρασμα ότι για έναν αιώνα αργότερα δεν υπήρχαν σπουδαιές αλλαγές. Ακόμη, το 1930 είχαν αυξηθεί οι περιπτώσεις ασθενών που πάσχουν από άσθμα και εμφύσημα στους πνεύμονες [50]. Μερικά χρόνια αργότερα, κοντά στην δεκαετία του 1940, οι Tiffeneau και Pinelli από τη Γαλλία, επανασχεδίασαν την σπιρομέτρηση, περιγράφοντας το χρονομετρημένο εκπνευστικό σπιρόμετρο και εισήγαγαν τον αποκλειστικό δείκτη FEV1/IVC, όπου χρησιμοποιείται έως και σήμερα, αν και τις περισσότερες φορές το IVC αντικαθίσταται από το FVC [51]. Το 1960 περιγράφηκαν για πρώτη φορά οι καμπύλες μέγιστης ροής – όγκου, από τους αμερικανούς φυσιολόγους Fry και Hyatt, σύμφωνα με τις οποίες μπορούν να διεξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για μια πιθανή νόσο. Οι μετρήσεις της σπιρομέτρησης έχουν αντέξει στον χρόνο και παραμένουν ένα εξαιρετικά οικονομικό και απλό μέσο αξιολόγησης της αναπνευστικής και γενικής υγείας [52].

Παρότι ο Hutchinson δεν ήταν ο πρωτοεφευρέτης του σπιρομέτρου ή ο πρώτος που αναγνώρισε τη σημασία του στις αναπνευστικές παθήσεις - πράγμα που προηγήθηκε από τον Julius Jeffreys το 1843 με τον προσδιορισμό των αναπνευστικών όγκων - η συνεισφορά του με τη σύνθεση και την επέκταση του έργου των προκατόχων, καθώς και οι εκτεταμένες δημοσιεύσεις και η προώθηση της αξίας της σπιρομέτρησης ως κλινικού εργαλείου, τον καθιστούν κεντρική προσωπικότητα στην ιστορία του [53].

Τα σύγχρονα σπιρόμετρα είναι φορητά και η διαδικασία καταγραφής μετρήσεων έχει διευκολυνθεί σημαντικά, συγκριτικά με τις αντλίες ή τις συσκευές που ήταν γεμάτες με νερό τα παλαιότερα χρόνια. Οι καμπύλες μέγιστης ροής – όγκου είναι οπτικά βέλτιστες, με μεγάλα πλεονεκτήματα στην αναγνώριση μοτίβων σε συγκεκριμένες καταστάσεις, όπως, η στένωση του κεντρικού αεραγωγού.

Η σπιρομέτρηση πλέον χρησιμοποιείται με σκοπό τη βοήθεια του ειδικευμένου ιατρού στη διάγνωση, στην εξακρίβωση του βαθμού της ασθένειας, στην παρακολούθηση της προόδου θεραπείας [48].

3.1.2 Πληθυσμογραφία – Ιστορική Αναδρομή

Η πληθυσμογραφία είναι μια εδραιωμένη τεχνική για την μέτρηση αναπνευστικών παραμέτρων, από τις οποίες μπορούμε να προσδιορίσουμε τη λειτουργία του πνεύμονα [54]. Η εναλλακτική της σπιρομέτρησης, αυτή, προσέγγιση ήταν του Boerhaave, ο οποίος "έβαλε έναν άνθρωπο μέσα σε μια μεγάλη μπανιέρα με νερό πάνω από τους ώμους του και του ζήτησε να κάνει μια δυνατή εισπνοή". Στη συνέχεια μέτρησε την άνοδο της στάθμης του υγρού μετά τη "διαστολή του θώρακα". Η διαδικασία αυτή αποτέλεσε την πρόδρομη πληθυσμογραφία [48]. Η μέθοδος αργότερα βασίστηκε σε ιδέες από τον Bert το 1878, τον Gad το 1881 και τον Eduard Pflunger το 1882. Στη συνέχεια υλοποιήθηκε ως ένα κιβώτιο με σταθερό όγκο από το 1950 και μετά, από τους DuBois, Matthys και Ulmer. Με το πέρασμα των χρόνων αξιοποιήθηκε η δύναμη της σύγχρονης διαδικτυακής επεξεργασίας δεδομένων και η τεχνική βελτιώθηκε σημαντικά [54]. Το 1956, πριν από σχεδόν 65 χρόνια, ο Arthur B. DuBois, ο Julius H. Comroe Jr και οι συνάδελφοί τους δημοσίευσαν δύο εργασίες σχετικά με τη χρήση της σωματικής πληθυσμογραφίας. Τα θεμέλια της τεχνικής είχαν τεθεί από τον Pflüger ο οποίος περιέγραψε ένα "πνευμονόμετρο" ήδη από το 1882 και στη συνέχεια από τον Jere Mead [55], ο οποίος επισήμανε ότι υπάρχουν τρεις σημαντικοί παράγοντες που μεταβάλλουν την πίεση όταν ένα άτομο αναπνέει μέσα σε κλειστό θάλαμο. Αυτοί είναι η αύξηση της θερμοκρασίας ως αποτέλεσμα της θερμότητας του σώματος, η μεταβολή του αριθμού των μορίων του αερίου καθώς προσλαμβάνεται οξυγόνο και αποβάλλεται διοξείδιο του άνθρακα, και οποιαδήποτε μεταβολή του όγκου κάποιου μέρους του αερίου. Η απλή αλλά λαμπρή συμβολή του DuBois ήταν να κάνει το άτομο να αναπνέει ρηχά και γρήγορα, καθιστώντας έτσι πρακτική την καταγραφή του όγκου των αερίων των πνευμόνων και της αντίστασης των αεραγωγών χωρίς συσχετικούς παράγοντες [56].

3.2 ΠΛΗΘΥΣΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η πληθυσμογραφία πραγματοποιείται σε έναν θάλαμο σταθερού όγκου (700 – 1000 λίτρα) κατασκευασμένος από plexiglass. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ο θάλαμος κλείνει αεροστεγώς. Η έξοδος αυτή είναι ελεγχόμενη για τον λόγο ότι θέλουμε να έχουμε σταθερή πίεση σε αλλαγές θερμότητας. Στον θάλαμο υπάρχουν δύο αισθητήρες πίεσης. Ο ένας χρησιμοποιείται για την μέτρηση της πίεσης του θαλάμου σε σχέση με την ατμοσφαιρική, ενώ ο δεύτερος τοποθετείται κοντά στο στόμα του εξεταζόμενου. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης, ο εξεταζόμενος παίρνει εισπνοές και εκπνοές σε ένα ειδικό σωληνάκι, όπου είναι συνδεδεμένο με έναν συμβατικό εξοπλισμό όπως ο πνευμοταχογράφος, το ανεμόμετρο, τα οποία συνδέονται σε οθόνη υπολογιστή και γίνεται η διεξαγωγή των μετρήσεων. Οι μετρήσεις παίρνονται στο τέλος μιας ήρεμης εκπνοής. Για τον λόγο αυτό γίνεται χρήση ενός κλείστρου, όπου βοηθά στην ολοκλήρωση και στιγμιαίας παύσης της αναπνοής, ώστε να μην υπάρχει σύγχυση των μετρήσεων. Η βασική αρχή της πληθυσμογραφίας βρίσκεται στις αρχές των αερίων και συγκεκριμένα στον νόμο του Boyle. Έτσι, συμπεραίνουμε πως η πίεση του αισθητήρα είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον όγκο των πνευμόνων και εξαρτάται από τη θερμοκρασία [54].

Οι τεχνικές πληθυσμογραφίας διατηρούν τη δημοτικότητα τους λόγω της ικανότητας τους να ποσοτικοποιούν αποτελεσματικά τις πληροφορίες για τη χρόνια φλεβική ανεπάρκεια, οι οποίες μπορούν να συγκριθούν σειριακά για την αξιολόγηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και της εξέλιξης της νόσου. Οι κυριότερες μορφές πληθυσμογραφίας που χρησιμοποιούνται κλινικά είναι η πληθυσμογραφία μετατόπισης αέρα (ADP), φωτοπληθυσμογραφία (PPG), πληθυσμογραφία με μετρητή τάσης και η πληθυσμογραφία εμπέδησης [31].

3.3 Η ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ

Αντικείμενο βαθύτερης μελέτης στην παρούσα εργασία είναι η μέθοδος της σπιρομέτρησης. Η σπιρομέτρηση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο μελέτης της λειτουργίας των πνευμόνων, σύμφωνα με την οποία μπορούν να διεξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα, τόσο στην αναπνευστική ιατρική αλλά και στην γενική ιατρική. Ουσιαστικά είναι μια τεχνική αξιολόγησης της ποιότητας της αναπνοής παίρνοντας μετρήσεις που αφορούν τον όγκο και την ροή του αναπνεόμενου αέρα [57].

Η σπιρομέτρηση παρέχει πληροφορίες σχετικά με:

- 1) •Τη διάγνωση – πρόγνωση ασθενειών
 - Αξιολόγηση συμπτωμάτων ή μη φυσιολογικών αποτελεσμάτων εργαστηριακών εξετάσεων
 - Μέτρηση της φυσιολογικής επίδρασης ασθένειας ή διαταραχής
 - Έλεγχο ατόμων που κινδυνεύουν από πνευμονική νόσο
 - Εκτίμηση προεγχειρητικού κινδύνου
 - Εμφάνιση καρκίνου
 - Εικόνα για την κατάσταση του πνεύμονα ενός καπνίζοντα ατόμου
 - Αιτίες εμφάνισης κάποιου καρδιαγγειακού νοσήματος
- 2) Την παρακολούθηση ασθενών
 - Αξιολόγηση στην ανταπόκριση θεραπευτικής παρέμβασης
 - Παρακολούθηση εξέλιξης της νόσου
 - Παρακολούθηση ασθενών για παροξύνσεις ασθενειών και ανάρρωση από παροξύνσεις
 - Παρακολούθηση ατόμων για δυσμενείς επιπτώσεις από την έκθεση σε βλαβερούς παράγοντες
 - Παρακολούθηση για ανεπιθύμητες ενέργειες σε φάρμακα με γνωστή πνευμονική τοξικότητα
- 3) Αξιολογήσεις αναπηρίας
 - Αξιολόγηση ασθενών ως μέρος ενός προγράμματος αποκατάστασης
 - Αξιολόγηση κινδύνων ως μέρος μιας αξιολόγησης ασφάλισης
 - Αξιολόγηση ατόμων για νομικούς λόγους
- 4) Επιπλέον λόγους, όπως:
 - Έρευνα και κλινικές δοκιμές
 - Επιδημιολογικές έρευνες
 - Παραγωγή εξισώσεων αναφοράς
 - Προαπασχόληση και παρακολούθηση της υγείας των πνευμόνων για επαγγέλματα σε κίνδυνο
 - Αξιολόγηση της κατάστασης της υγείας πριν ξεκινήσετε σωματικές δραστηριότητες σε κίνδυνο [19], [29].

Με τη σπιρομέτρηση μπορούμε να λάβουμε τιμές για τον: FEV1 (Forced Expiratory Volume in 1 sec – Εξαναγκασμένος εκπνευστικός όγκος σε 1 δευτερόλεπτο), FVC, VC, FEV1/VC, PEF (Peak Expiratory Flow) όπου αναφέρεται στην μέγιστη τιμή της ροής του αέρα κατά την εκπνοή. Δημιουργείται πριν αποβληθεί το 15% του FVC και μετριέται σε L/sec, IVC και FEF [57].

Στο κεφάλαιο 2 έχουμε αναφέρει ορισμένες επιπλέον παραμέτρους όγκων και χωρητικότητας του πνεύμονα όπως τον TLC, FRC, RV οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν με τη χρήση της σπιρομέτρησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις κάνουμε χρήση της σωματικής πληθυσμογραφίας.

3.3.1 Η εξέταση

Η διαδικασία είναι ανώδυνη, γρήγορη, αποτελεσματική και απαιτείται ελάχιστη προετοιμασία από τον ασθενή [58]. Ο εξεταστής ελέγχει τη βαθμονόμηση του εξοπλισμού για τη σπιρομέτρηση και έπειτα εξηγεί στον εξεταζόμενο τα στάδια της εξέτασης.

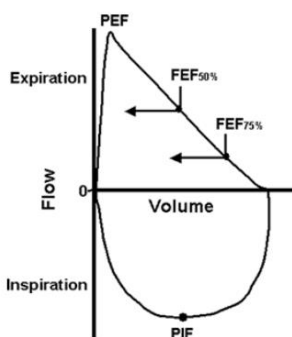
Η σπιρομέτρηση αποτελείται από τρία βήματα. Αρχικά έχουμε τη μέγιστη εισπνοή και στη συνέχεια έχουμε μια γρήγορη εκπνοή, η οποία παρατείνεται μέχρι το RV.

Για την έναρξη της εξέτασης, ο εξεταζόμενος πρέπει να καθίσει σε μια καρέκλα με μπράτσα και σταθερά πόδια. Τόσο ο εξεταστής, όσο και ο εξεταζόμενος οφείλουν να έχουν πλύνει και απολυμάνει τα χέρια τους. Ο εξεταστής θα του κλείσει τη μύτη με ένα πίεςτρο, ώστε να μην υπάρχει ανταλλαγή αέρα πουθενά αλλού εκτός του σπιρομέτρου. Ο εξεταζόμενος ακουμπάει σφιχτά με το στόμα του το επιστόμιο του σπιρομέτρου και ξεκινάει τις αναπνοές.

Αρχικά, ο εξεταζόμενος παίρνει ήρεμες αναπνοές. Στη συνέχεια, παίρνει μια γρήγορη και βαθιά εισπνοή. Τέλος, παίρνει μια ακόμα πιο βαθιά εκπνοή, η οποία παρατείνεται για τουλάχιστον 6 sec, με ενθάρρυνση του εξεταστή, ώστε να αδειάσουν τελείως οι πνεύμονες [59].

3.3.2 Τεχνικές σπιρομέτρησης

- i) Πριν την διεξαγωγή της εξαναγκασμένης εκπνοής, πραγματοποιείται μια κανονική αναπνοή και στη συνέχεια ακολουθεί μια βαθιά ανάσα στο στόμιο του σπιρομέτρου, ακολουθούμενη από μια περαιτέρω γρήγορη, πλήρη εισπνοή. Εναλλακτικά, ο ασθενής παίρνει μια βαθιά ανάσα και στη συνέχεια κάνει μια πλήρη εκπνοή στο στόμιο του σπιρομέτρου.
- ii) Ο ασθενής μπορεί να ζητηθεί να αδειάσει πλήρως τον αέρα των πνευμόνων του και στη συνέχεια να κάνει μια γρήγορη, πλήρη εισπνοή, ακολουθούμενη από πλήρη εκπνοή. Αυτή η τεχνική μπορεί να είναι χρήσιμη σε ασθενείς που μπορεί να πετύχουν μεγαλύτερη εισπνοή μετά την εκπνοή.
- iii) Για την δοκιμή FVC και FEV₁, αρχικά ο ασθενής παίρνει κανονικές αναπνοές. Έπειτα, παίρνει μια μεγάλη εισπνοή, η οποία συνοδεύεται από μια δυνατή και γρήγορη εκπνοή και στη συνέχεια μια δυνατή και γρήγορη εισπνοή. Αυτή η τελική εισπνοή μπορεί να παραλειφθεί εάν οι εισπνευστικοί παράμετροι (FVC, FIV₁, FIV₁%, PIF) δεν μας ενδιαφέρουν.
- iv) Η PEF υπολογίζεται από την ίδια διαδικασία για FVC και FEV₁, όπως απεικονίζεται στην *Εικόνα 5*.



Εικόνα 5- Μέτρηση FVC [60]

- v) Για την VC, ο ασθενής παίρνει μια βαθιά ανάσα, αργά, όσο μεγάλη είναι δυνατόν και εκπνέει αργά και σταθερά για όσο δυνατόν περισσότερο χρόνο, μέχρι να μην υπάρχει άλλος αέρας. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητο το κλείσιμο της μύτης, καθώς μπορεί να διαρρεύσει αέρας λόγω της χαμηλής ροής.
- vi) Η διαδικασία για την IVC γίνεται στο τέλος της FVC/VC (ανάλογα τον τύπο του σπιρομέτρου που χρησιμοποιείται) με τη λήψη μιας βαθιάς και γρήγορης εκπνοής και στη συνέχεια μια πλήρης εισπνοή. Σε αυτή την περίπτωση σημειώνεται πως ασθενείς με μια αποφρακτική νόσο μπορεί να δυσκολευτούν κατά τη διάρκεια μιας εξαναγκασμένης διαδικασίας, οπότε σε αυτή την περίπτωση της μέτρηση της VC μπορεί να μας επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα [57].

3.3.3 Μετά την εξέταση

Όπως προαναφέρθηκε, για τη σύνδεση ενός ασθενούς με το σπιρόμετρο απαιτείται ένα επιστόμιο. Τα επιστόμια αυτά είναι μίας χρήσης για λόγους υγιεινής. Προκειμένου να αποφευχθεί η έκθεση του ασθενούς στον κρίσιμο κίνδυνο διασταυρούμενης μόλυνσης, ο επαναχρησιμοποιήσιμος αισθητήρας ροής πρέπει πάντα να καθαρίζεται πριν από κάθε δοκιμή σπιρομέτρησης και ένα νέο επιστόμιο μίας χρήσης πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται για κάθε ασθενή. Μετά το τέλος της σπιρομέτρησης, ο γιατρός πρέπει να πετάει να αντιβακτηριδιακά φίλτρα που χρησιμοποιούνται για κάθε εξεταζόμενο ξεχωριστά. Αν ο εξεταζόμενος έπασχε από κάποια ασθένεια, όλα τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν από αυτόν θα πρέπει να αποστειρώνονται – απολυμαίνονται πριν από την επόμενη εξέταση [61].

3.4 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΟΥΝ

Οι κυριότερες ασθένειες που μπορούν να διαγνωστούν με τη μέθοδο της σπιρομέτρησης είναι η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και το άσθμα. Οι δύο αυτές ασθένειες χαρακτηρίζονται από μεγάλη συχνότητα εμφάνισης με κλιμακούμενα στάδια σοβαρότητας. Το τεστ της σπιρομέτρησης είναι γρήγορο και τα αποτελέσματα είναι άμεσα διαθέσιμα. Σε πολλές των περιπτώσεων ο ασθενής, έπειτα από καθοδήγηση του ιατρού μπορεί να κάνει την εξέταση από το σπίτι του και να παρατηρεί την εξέλιξη της νόσου για την οποία πάσχει. Άλλες ασθένειες που μπορούν να εκτιμηθούν είναι η ιδιοπαθής πνευμονική ίνωση, φυματίωση, το εμφύσημα και η κυστική ίνωση με μικρότερη συχνότητα εμφάνισης [62].

3.4.1 Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ)

Η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) είναι μια ασθένεια χωρίς θεραπεία που παρουσιάζει έντονα αναπνευστικά συμπτώματα. Τα άτομα που πάσχουν από αυτή τη νόσο παρουσιάζουν διαταραχές στις κυψελίδες και στους αεραγωγούς των πνευμόνων, ως επακόλουθο τον περιορισμό της εκπνευστικής ροής του αέρα. Η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια παρουσιάζεται στα άτομα που πάσχουν από χρόνια βρογχίτιδα, με συνεχόμενο βήχα, ή στα άτομα με εμφύσημα. Επιπλέον παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν την νόσο είναι το κάπνισμα, η ατμοσφαιρική ρύπανση και λοιμώξεις. Το κάπνισμα είναι ένα από τα σημαντικότερα αίτια. Κύρια συμπτώματα αποτελούν η δύσπνοια, ο χρόνιος βήχας και η υπερπαραγωγή πτυέλων. Ακόμα, σε μερικές περιπτώσεις οι ασθενείς αισθάνονται βάρος στην περιοχή του θώρακα. Η ΧΑΠ είναι μια πολύ συχνή ασθένεια και εκατοντάδες χιλιάδες πάσχοντες χάνουν τη ζωή τους ετησίως.

Η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια μπορεί να διαγνωστεί με σπιρομέτρηση σε συνδυασμό με άλλες διαγνωστικές τεχνικές θώρακα, όπως ακτινογραφίες και MRI. Σε πολλές περιπτώσεις και κυρίως στα αρχικά στάδια η ΧΑΠ δεν μπορεί να διαγνωστεί μόνο με σπιρομέτρηση, καθώς παρουσιάζονται πολύ μικρές αποκλείσεις στις τιμές των ασθενών σχετικά με τις φυσιολογικές. Γι' αυτό είναι απαραίτητη η παρακολούθηση των κυψελίδων με MRI [63].

Με σκοπό την εξακρίβωση της βαρύτητας της ασθένειας ελέγχουμε τις τιμές του FEV1 βάση των τιμών του GOLD (Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease) [59]. Ο πίνακας GOLD περιγράφει τα στάδια της ασθένειας, όπου στάδιο 1 ελαφριά μορφή και στάδιο 4 πολύ σοβαρή μορφή της ασθένειας. Συγκεκριμένα:

Πίνακας 1 - Πίνακας GOLD

ΣΤΑΔΙΟ	FEV1 (%)
1	≥80
2	79-50
3	49-30
4	<30

Γενικότερα έχει παρατηρηθεί πως η τιμή της FEV1 χαμηλώνει, όσο αυξάνεται η ηλικία του ατόμου. Ως επακόλουθο, ο ρυθμός όπου τιμή αυτή πέφτει αποτελεί έναν χαρακτηριστικό παράγοντα αναγνώρισης της προόδου της νόσου.

Τα παλαιότερα χρόνια, κοντά στην δεκαετία του 1990, τόσο η διάγνωση όσο και η κατηγοριοποίηση του βαθμού της ΧΑΠ με σπιρομέτρηση δεν ήταν ακριβής. Αργότερα, όπου έγινε η εκτίμηση των αιτιών, των παραγόντων κινδύνου για την ΧΑΠ (ηλικία και κάπνισμα) και των συμπτωμάτων, τα ποσοστά εύρεσης της ασθένειας αυξήθηκαν σημαντικά. Το γεγονός, αυτό, προκλήθηκε για τον λόγο ότι μειώθηκε η σπιρομέτρηση στις γενικές εξετάσεις των ατόμων, αλλά γινόταν ειδικά σε άτομα που φαινόταν να έχουν μια αναπνευστική πάθηση. Όμως, σε περιπτώσεις όπου τα συμπτώματα της ΧΑΠ είναι ήπια και επειδή αποτελούν συμπτώματα γενικού χαρακτήρα, οι ασθενείς τα αποδίδουν στην γήρανση τους ή άλλους παράγοντες όπου τα κρίνουν περαστικά. Έτσι, η διάγνωση της ΧΑΠ έχει περιοριστεί να πραγματοποιείται όταν έχει ήδη επιδεινωθεί η ασθένεια και όχι σε πρώιμο στάδιο, ως αποτέλεσμα την εισαγωγή των ασθενών στα νοσοκομεία. Η πρώιμη διάγνωση είναι ιδιαίτερα σημαντική και πολλοί ιατροί προτείνουν δίνουν έμφαση στην διακοπή του καπνίσματος, με σκοπό την αποτροπή της επιδείνωσης της ασθένειας. Ακόμη, έχει παρατηρηθεί η αύξηση των πιθανοτήτων της ανάπτυξης καρκίνου με άτομα που πάσχουν από ΧΑΠ, αλλά η μείωση της FEV1 με την αύξηση της θνησιμότητας [51].

3.4.2 Άσθμα

Το άσθμα αντιπροσωπεύει μια μακροχρόνια φλεγμονώδη νόσο των αεραγωγών, επηρεάζοντας περίπου 14 εκατομμύρια ανθρώπους στις Ηνωμένες Πολιτείες. Πρόκειται για την πιο κοινή ασθένεια στην παιδική ηλικία, προκαλώντας περίπου 500.000 νοσηλείες ετησίως. Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο περίπου 5.000 άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους λόγω άσθματος. Επιπλέον, πολλοί αντιμετωπίζουν οξεία αναπνευστική ανεπάρκεια και απαιτούν μηχανικό αερισμό. Παρά ταύτα, τα ποσοστά θανάτων από άσθμα παραμένουν σταθερά κατά την τελευταία δεκαετία [64]. Σε μικρές ηλικίες η διάγνωση του άσθματος γίνεται μέσω των συμπτωμάτων που το χαρακτηρίζουν όπως ο βήχας, η δύσπνοια και ο συριγμός. Ακόμη ελέγχεται το οικογενειακό ιστορικό πνευμονικής νόσου. Σε μεγαλύτερα παιδιά (ηλικίας 5 ετών και άνω), εφήβους και σε ενήλικες η διάγνωση γίνεται μέσω της σπιρομέτρησης [65].

Η διάγνωση του άσθματος με τη χρήση σπιρομέτρησης βασίζεται στην ανάλυση των τιμών του εξαναγκασμένου εκπνευστικού όγκου στο πρώτο δευτερόλεπτο της εκπνοής (FEV1), της εξαναγκασμένης ζωτικής χωρητικότητας (FVC) και του λόγου FEV προς FVC που προκύπτουν από το σπιρόμετρο. Η μείωση του FEV1 σε σχέση με την FVC οδηγεί σε χαμηλό FEV1/FVC, το οποίο είναι χαρακτηριστικό των αποφρακτικών αναπνευστικών διαταραχών, όπως το βρογχικό άσθμα, η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) και το εμφύσημα. Αν ο λόγος FEV1/FVC παραμένει φυσιολογικός ή υψηλός (συνήθως > 80%), με μείωση τόσο του FEV1 όσο και της FVC, υποδηλώνει περιοριστική βλάβη, όπως αδυναμία των αναπνευστικών μυών και παραμορφώσεις του θωρακικού κλωβού [65]. Μεταξύ των ασθματικών παιδιών ένας FEV1 <60% αποτελεί παράγοντα κινδύνου για παροξύνσεις και η μείωσή του σχετίζεται με την αύξηση της σοβαρότητας του άσθματος. Τα παιδιά με FEV1 <60% του προβλεπόμενου φαίνεται να έχουν διπλάσιο κίνδυνο παροξύνσης του άσθματος το επόμενο έτος σε σύγκριση με εκείνα με FEV1 > 80% [66]. Ακόμη, για τον λόγο ότι στο άσθμα παρατηρείται στένωση των

αεραγωγών, στο διάγραμμα μέγιστης ροής – όγκου παρατηρούμε μια αύξηση της κοιλότητας στον άξονα χ αναλογικά με την ηλικία του ατόμου και την αύξηση της σοβαρότητας της παθολογικής αποφρακτικής ασθένειας [48].

4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

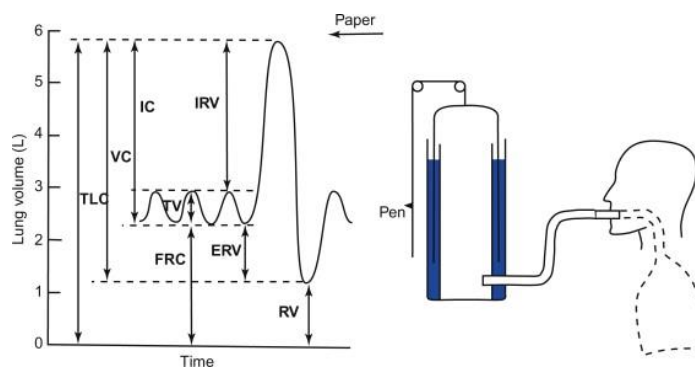
Σήμερα τα σπιρόμετρα είναι ευρέως διαδεδομένα και ποικίλουν σε κατηγορίες. Η επιλογή του κατάλληλου σπιρομέτρου εξαρτάται από τις υπηρεσίες που προσφέρει. Τα σπιρόμετρα μπορεί να είναι είτε σταθερά ή φορητά. Σε κάθε περίπτωση αν συνδεθούν με ηλεκτρονικό υπολογιστή, δίνεται η δυνατότητα από τον χρήστη για εκτύπωση των αποτελεσμάτων [57]. Η ταξινόμηση των σπιρομέτρων είναι η εξής:

4.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ

4.1.1 Νερού / Ξηρό

Νερού

Τα σπιρόμετρα νερού ήταν τα πρώτα σπιρόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν από τα χρόνια του Hutchinson με κάποιες παραλλαγές με το πέρασμα των ετών. Το σπιρόμετρο του Hutchinson αποτελούταν από μια αντισταθμισμένη καμπάνα ανεστραμμένη στο νερό, όπου η αναπνοή ήταν συνδεδεμένο σε ένα πνευματικό σωλήνα και έφερνε ως αποτέλεσμα τη μετρήσιμη κατακόρυφη κίνηση της καμπάνας. Τα σπιρόμετρα αυτά είναι μεγαλύτερα από τα ξηρού τύπου [67]. Στην *Εικόνα 6* παρουσιάζεται ένα σπιρόμετρο Collins μετατόπισης όγκου, στο οποίο ένα άτομο αναπνέει μέσω ενός μικρού σωλήνα που συνδέεται με έναν όγκο αέρα που βρίσκεται μέσα σε ένα βάζο καμπάνας που απομονώνεται από τον αέρα του περιβάλλοντος με ένα στρώμα νερού. Όταν ο αέρας εισέρχεται στους πνεύμονες, το βάζο καμπάνας εγκαταλείπει και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο όγκος του αέρα στο βάζο, ως προς τον όγκο αέρα που έχει εισπνεύσει. Αυτό μπορεί να μετρηθεί συνεχώς συνδέοντας την κίνηση του βάζου καμπάνας με ένα στυλό καταγραφής [68].



Εικόνα 6 - Water Sealed Spirometer [68]

Η συγκεκριμένη κατηγορία σπιρομέτρων μετρά άμεσα τον όγκο, ως επακόλουθο την ακρίβεια των παραμέτρων, όπως την VC και FEV1. Είναι απλά, κατανοητά και εύκολα για διδασκαλία καθώς δεν χρειάζονται ηλεκτρονικά και υπάρχει άμεση επισκόπηση μετρούμενων τιμών. Από την άλλη πλευρά, οι συσκευές αυτές δεν κατασκευάζονται πλέον, διότι έχουν περιορισμένο εύρος παραμέτρων (π.χ. η μέγιστη εκπνευστική ροή στο 25% της VC είναι πολύ δύσκολο να ληφθεί) και μπορεί να παρουσιάσουν

προβλήματα που οφείλονται στην αδράνεια του κινούμενου τυμπάνου, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην υπέρβαση των μετρούμενων όγκων [69].

Ξηρό

Τα ξηρά σπιρόμετρα είναι πιο βολικά στη χρήση, παράγουν λιγότερη αντίσταση στη ροή και είναι σχετικά εύκολα στη συντήρηση. Το κύριο μειονέκτημα των συγκεκριμένων σπιρομέτρων ήταν η αντίσταση στη ροή του αέρα που δημιουργείται από το σύστημα. Αργότερα, το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε καταλλήλως και πλέον οι μετρήσεις μπορούν να είναι αξιόπιστες με τη χρήση ενός τέτοιου σπιρομέτρου [70].

Χαρακτηριστικό παράδειγμα σπιρομέτρων ξηρού τύπου αποτελεί το σπιρόμετρο φουσητήρα. Τα σπιρόμετρα, αυτά, ήταν τα πιο διαδεδομένα σπιρόμετρα έως την εμφάνιση των πνευμονοταχόμετρων. Ο συγκεκριμένος τύπος σπιρομέτρων είναι υπεύθυνος για την καταγραφή της εξαναγκασμένης εκπνοής. Κατά την εκπνοή, ο φουσητήρας φουσκώνει, ως επακόλουθο την μετακίνηση του χαρτιού και της γραφίδας. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η καταγραφή της κίνησης [71].

Ένα παράδειγμα ξηρού σπιρομέτρου που βρίσκεται αυτή τη στιγμή στην αγορά απεικονίζεται στην *Εικόνα 7*. Το σπιρόμετρο αυτό είναι ίσο με το μέγεθος μιας παλάμης, είναι χαμηλού κόστους και μετρά την FVC από 1 έως 7 λίτρα [72].



Εικόνα 7 - Dry spirometer [72]

4.1.2 Κλειστό / Ανοιχτό

Σπιρόμετρα Κλειστού Κυκλώματος

Τα σπιρόμετρα κλειστού τύπου χρησιμοποιούν ένα συνδεδεμένο σώμα (που κλείνει) και εκεί το άτομο αναπνέει. Η συσκευή αυτή είναι συγκεκριμένου όγκου και ο όγκος του οξυγόνου που εισπνέει ο εξεταζόμενος είναι γνωστός. Χρησιμοποιούνται για μετρήσεις ροής αέρα, όγκου και ταχύτητας αναπνοής με μεγάλη ακρίβεια, οι οποίες βασίζονται στις αλλαγές της πίεσης του κλειστού χώρου κατά τη διάρκεια της αναπνοής. Τα σπιρόμετρα αυτά χρησιμοποιούνται περισσότερο από τα σπιρόμετρα ανοιχτού κυκλώματος για λόγους απλότητας [73].

Σπιρόμετρα Ανοιχτού Κυκλώματος

Τα σπιρόμετρα ανοιχτού τύπου χρησιμοποιούνται για μέτρηση αναπνοής σε έναν ανοιχτό χώρο, όπου ο εξεταζόμενος εισπνέει από τον χώρο αυτόν και εκπνέει στον σάκο. Τα σπιρόμετρα ανοιχτού τύπου είναι φορητά, συνδέονται με σύστημα συνεχούς δειγματοληψίας αέρα που μετρά, καταγράφει και αναλύει τα αέρια σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και κατάλληλα σχεδιασμένα για γρηγορότερα αποτελέσματα εξετάσεων, παρόλο που δεν προσφέρουν τις ίδιες λεπτομέρειες με τα σπιρόμετρα κλειστού τύπου [71].

4.1.3 Ογκομετρικό / Ροής

Όγκου

Τα σπιρόμετρα όγκου μετρούν τον όγκο του πνεύμονα από τον εκπνεόμενο όγκο αέρα ή τις μεταβολές του όγκου συναρτήσει του χρόνου. Με τη χρήση των συγκεκριμένων σπιρομέτρων, η ροή μπορεί να υπολογιστεί από τη χρονική παράγωγο του όγκου. Παραδείγματα ογκομετρικών σπιρομέτρων είναι τα σπιρόμετρα νερού και τα ξηρά σπιρόμετρα [69].

Όταν ένας εξεταζόμενος εκτελεί μια δοκιμή FVC, ο αέρας που εξέρχεται από τους πνεύμονες είναι περίπου μεταξύ 33 και 35°C και κορεσμένος με υδρατμούς. Τα περισσότερα σπιρόμετρα όγκου δέχονται μια στιγμιαία ψύξη του αέρα κατά την είσοδό του στο σπιρόμετρο [74].

Τεχνική αποβολής αζώτου

Ένα γνωστό σπιρόμετρο που χρησιμοποιείται με σκοπό την μέτρηση όγκου είναι το σπιρόμετρο Tissot στην τεχνική αποβολής αζώτου. Η τεχνική, αυτή, βασίζεται στο γεγονός ότι ο εισπνεόμενος ατμοσφαιρικός αέρας έχει γνωστή συγκέντρωση αζώτου (75%). Έτσι, ο εξεταζόμενος παίρνει μια εισπνοή, μετά από μια ήρεμη εκπνοή, όπου ο όγκος των πνευμόνων έχουν συγκέντρωση οξυγόνου 100%. Τα εκπνεόμενα αέρια συγκεντρώνονται στο προαναφερόμενο σπιρόμετρο και έτσι μετρίεται ο όγκος της εκπνοής. Η τεχνική αυτή είναι ανοιχτού κυκλώματος, εφόσον ο εξεταζόμενος εισπνέει από τον ατμοσφαιρικό αέρα και εκπνέει εντός του σπιρομέτρου. Όταν η συγκέντρωση του αζώτου γίνει περίπου ίση με 1% τότε μετράμε τον ακριβή τελικό όγκο της εκπνοής και υπολογίζουμε τον αρχικό όγκο των πνευμόνων [39].

Μέθοδος αραίωσης Ηλίου

Η μέθοδος αραίωσης ηλίου, ή αλλιώς Helium Dillution, είναι μια μέθοδος κλειστού κυκλώματος μέτρησης όγκου. Ο εξεταζόμενος εισπνέει από δοχείο συγκεκριμένου και γνωστού όγκου, όπου μέσα σε αυτό περιέχεται He και στη συνέχεια εκπνέει σε αυτό. Η εισπνοή γίνεται στο επίπεδο FRC. Ο όγκος που βρισκόταν στο δοχείο αναμειγνύεται με τον όγκο του σπιρομέτρου, γνωστής αρχικής συγκέντρωσης. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην παρατηρούμε επιπλέον αλλαγές στις συγκεντρώσεις. Έτσι, πραγματοποιούνται οι μετρήσεις των τελικών όγκων του σπιρομέτρου και της συγκέντρωσης του He, ως αποτέλεσμα την καταγραφή του όγκου FRC [75].

Μια επιπλέον τεχνική καταγραφής όγκου είναι η πληθυσμογραφία, όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 3.2. Η πληθυσμογραφία μπορεί να είναι είτε ανοιχτού ή κλειστού κυκλώματος.

Ροής - Πνευμονοταχύμετρο

Τα ροόμετρα είναι ένας απλός τύπου σπιρομέτρου που μετρά την αναπνευστική ροή των εξεταζόμενων μέσα από ένα διαχωριστικό όπου υπάρχει διαφορά πιέσεων. Το διαχωριστικό είναι κατασκευασμένο ώστε να εξασφαλίζεται η γραμμική απόκριση του συστήματος για ένα εύρος ταχυτήτων ροής έως 12L/s. Μετρά τη μέγιστη αναπνευστική ροή (PRF) σύμφωνα με το φαινόμενο Venturi. Το φαινόμενο Βεντούρη περιγράφει πως όταν το υγρό ή ο αέρας περνά σε μια στενότερη περιοχή αυξάνεται η ταχύτητα του, ενώ η πίεση μειώνεται. Έτσι, όταν ο εξεταζόμενος φυσάει στη συσκευή, τότε η ταχύτητα ροής αυξάνεται, άρα και η πτώση πίεσης μειώνεται. Τα σπιρόμετρα ροής χρησιμοποιούν πνευμοταχογράφο. Τα πιο κοινά σπιρόμετρα ροής είναι τα πνευμονοταχύμετρα. Οι πιο γνωστοί τύποι πνευμονοταχομέτρων είναι το σπιρόμετρο Lilly, Fleisch, Τουρμπίνας και Υπερήχων. Στον συγκεκριμένο τύπο σπιρομέτρων ο όγκος υπολογίζεται ως την χρονική ολοκλήρωση του σήματος ροής [76].

Οι διαφορετικοί τύποι των ροομέτρων δείχνουν την προσπάθεια για εξέλιξη της καταγραφής της ταχύτητας ροής των αερίων με ακρίβεια και γραμμικότητα. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν έχει

επιτευχθεί και παρουσιάζονται αρκετές δυσκολίες. Η γραμμικότητα μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα όταν η ροή δεν είναι ομαλή και οι συσκευές ενδέχεται να μολυνθούν από πτύελα ή υγρασία, η οποία μπορεί να συμπυκνωθεί στο πλέγμα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, το πλέγμα συνήθως θερμαίνεται και χρησιμοποιείται φίλτρο. Τα σπιρόμετρα που βασίζονται στην αρχή του περιστρεφόμενου πτερυγίου δεν απαιτούν θέρμανση, γεγονός που εξασφαλίζει βελτιωμένη γραμμικότητα και υψηλές ροές. Τέτοιες συσκευές χρησιμοποιούνται συχνά για τη σπιρομέτρηση σε ιατρικά γραφεία και κατά τη διάρκεια της μέγιστης εργομέτρησης. Ένα μειονέκτημα είναι η παρουσία κινούμενων μερών, όπως το περιστρεφόμενο πτερύγιο που αναφέρθηκε, τα οποία είναι ευαίσθητα και ευάλωτα σε φθορές. Τα χαρακτηριστικά χαμηλής ροής μπορεί να παρουσιάζουν αβεβαιότητα, ενώ σε υψηλές ροές το πτερύγιο μπορεί να συνεχίσει να περιστρέφεται λόγω αδράνειας ακόμη και μετά τη διακοπή της ροής [77], [78].

Lilly

Στα πνευμονοταχόμετρα τύπου Lilly η αντίσταση είναι γνωστή και μετριέται η διαφορά της πίεσης πριν και μετά τη μεμβράνη. Χρησιμοποιείται ένας περιοριστής ροής για να δημιουργήσει μια γραμμική σχέση ροής/διαφορικής πίεσης και στις δύο πλευρές του περιοριστή αμέσως όταν η ροή του αέρα διέρχεται από αυτόν. Η απόδοσή τους είναι καλά κατανοητή και σε σύγκριση με άλλους τύπους σπιρομέτρων. Είναι απλούστερα στην κατασκευή και φθηνότερα, ενώ δεν περιέχουν κινούμενα μέρη αλλά έχει ικανοποιητική ακρίβεια [79].

Fleisch

Στα πνευμονοταχόμετρα τύπου Fleisch χρησιμοποιείται μια κατασκευή που παρουσιάζει αντίσταση στη ροή, όπως μια σειρά παράλληλων μικροσκοπικών σωλήνων ή ένα συμμάτινο πλέγμα και στα άκρα τους μετριέται η πτώση πίεσης. Τα σπιρόμετρα τύπου Fleisch είναι πιο αξιόπιστα από τα Lilly και χρησιμοποιούνται περισσότερο, καθώς τα πνευμονοταχόμετρα Lilly παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε θερμοκρασία, υγρασία και ατμοσφαιρική πίεση, χρειάζονται θερμοστάτη και απαιτούν βαθμονόμηση ημερησίως και μετά από κάθε αλλαγή [74].

Τα σπιρόμετρα Fleisch αποτελούνται από μια πυκνή συστοιχία τριχοειδών αγγείων τοποθετημένων μέσα σε έναν αναπνευστικό σωλήνα μεγαλύτερης διαμέτρου. Η λειτουργία του βασίζεται σε μια σχέση που ανακάλυψε ο Poiseuille και η οποία είναι ότι "υπό τριχοειδείς συνθήκες, σε έναν ευθύ άκαμπτο σωλήνα, η παροχή είναι ανάλογη της απώλειας πίεσης ανά μονάδα μήκους". Με άλλα λόγια, η πτώση πίεσης μέσω των τριχοειδών σωλήνων, που μετράται με τη χρήση ενός μετατροπέα διαφορικής πίεσης, είναι ευθέως ανάλογη της ταχύτητας του αέρα που ρέει μέσω αυτών [80].

Τουρμπίνες

Τα πνευμονοταχόμετρα τουρμπίνες χρησιμοποιούν έναν στρόβιλο με σκοπό τη μέτρηση της ροής. Για μεγάλες ροές ο στρόβιλος περιστρέφεται πιο γρήγορα. Τα πτερύγια του διακόπτουν υπέρυθρη ακτινοβολία και η καταγραφή παλμών μετατρέπεται σε ψηφιακό ηλεκτρικό σήμα. Παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζονται από πίεση και υγρασία και δεν χρειάζονται βαθμονόμηση και θερμοστάτη σε περιπτώσεις όπου ο στρόβιλος είναι κατασκευασμένος από άνθρακα ή Kevlar [81].

Υπερήχων

Τα πνευμονοταχόμετρα υπερήχων είναι τα πιο σύγχρονα πνευμονοταχόμετρα και λειτουργούν βάση του φαινομένου Doppler και προσδιορίζουν τη ροή με τη χρήση υπερήχων. Δεν έχουν κινούμενα μέρη, άρα και καμία αντίσταση, και έτσι τίποτα δεν εμποδίζει τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση. Αυτό αποτελεί τόσο πλεονέκτημα όσο και μειονέκτημα. Το βασικό πλεονέκτημα είναι πως με τον ίδιο αισθητήρα μπορούν να πραγματοποιηθούν πολλές μετρήσεις, ενώ βασικό μειονέκτημα είναι ότι οι αισθητήρες είναι συχνά ακριβότεροι [69]. Χαρακτηρίζονται από υψηλή ευαισθησία και γραμμικότητα σε μεγάλο εύρος ροής. Ωστόσο, μέχρι και σήμερα, τα αποτελέσματά τους έχουν χαμηλή

επαναληψιμότητα, ενώ εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, την υγρασία και διάφορες εξωτερικές ροές [82].

4.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ

4.2.1 Προσδιορισμός λειτουργίας πνευμόνων

Τα σπιρόμετρα που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της πνευμονικής λειτουργίας είναι τα πνευμονοταχόμετρα, όπως αναλύθηκαν προηγουμένως, τα σύγχρονα – πλήρως ηλεκτρονικά σπιρόμετρα, τα σπιρόμετρα παρακίνησης και οι μετρητές μέγιστης ροής εκπνοής.

Σπιρόμετρα παρακίνησης

Τα σπιρόμετρα παρακίνησης είναι ιατρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της πνευμονικής λειτουργίας, με σκοπό τη βελτίωση της, κυρίως σε ασθενείς οι οποίοι έχουν υποβληθεί σε κάποια χειρουργική επέμβαση, αναρρώνουν από πνευμονία ή κάταγμα πλευρών. Τα αποτελέσματα της συσκευής προκύπτουν αφότου ο εξεταζόμενος έχει εισπνεύσει αργά και έχει διατηρήσει την αναπνοή του για μερικά δευτερόλεπτα. Η διατήρηση της αναπνοής αυξάνει την πίεση στους πνεύμονες. Ανάλογα την μεταβολή της πίεσης που προκύπτει κατά τη διαδικασία, η συσκευή εμφανίζει έναν δείκτη που υποδηλώνει αν οι πνεύμονες λειτουργούν καλά [83].

Μετρητές μέγιστης ροής εκπνοής

Οι μετρητές μέγιστης ροής εκπνοής, ή αλλιώς Peak Flow Meters, μετράνε την PEF δηλαδή την μέγιστη ταχύτητα εκπνοής του εξεταζόμενου. Η εξέταση με τον συγκεκριμένο μετρητή ελέγχει την ροή του αέρα των βρόγχων και εξετάζει πόσο μια αναπνοή μπορεί να παρεμποδιστεί [58].

4.3 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΑ

Σχεδόν όλα τα σύγχρονα σπιρόμετρα χρησιμοποιούν ένα ευαίσθητο αισθητήρα ροής πραγματικού χρόνου για άμεση μέτρηση της αναπνευστικής ροής και του αποκτώμενου όγκου. Τα σπιρόμετρα αντικατάστασης όγκου, πλέον χρησιμοποιούνται ελάχιστα, ιδιαίτερα στην πρωτοβάθμια φροντίδα, όπως το σπιρόμετρο με καμπάνα Vitalograph, το οποίο παρόλο που έπαιξε σημαντικό ρόλο στην δημοφιλοποίηση της σπιρομέτρησης, παρουσιάζει δυσκολίες στην μετακίνηση, στην καθαριότητα, στη βαθμονόμηση του και δεν παράγει την καμπύλη ροής – όγκου. Υπάρχουν πολλά σπιρόμετρα στην αγορά σήμερα, τα οποία είναι ανθεκτικά, φορητά, χωρίς εξωτερικούς σωλήνες, καλώδια και επιτραπέζιες κονσόλες, ακριβή, αξιόπιστα και έχουν σχεδιαστεί με σκοπό τη χρήση τους τόσο σε εργαστήρια αξιολόγησης της πνευμονικής λειτουργίας, όσο και στα ιδιωτικά ιατρεία των πνευμονολόγων [84]. Σχεδόν όλα τα σύγχρονα σπιρόμετρα, αν όχι όλα, πληρούν τα ελάχιστα διεθνή πρότυπα απόδοσης και διαδικασίες επικύρωσης που έχουν καθοριστεί από το ATS (American Thoracic Society) και την ERS (European Respiratory Society). Αυτά περιλαμβάνουν την ακριβή μέτρηση του όγκου, της ροής, των χρονικών σημάτων, καθώς και την εφαρμογή της τεχνικής, με τη δυνατότητα ανταπόκρισης σε ρυθμούς ροής που κυμαίνονται από 0 έως 14 L/s με ανάλυση καλύτερη από 25 ml/s. Επιπλέον, διαθέτουν ακρίβεια $\leq \pm 3\%$ για την FVC και $\pm 10\%$ για την PEF [85]. Τα σύγχρονα σπιρόμετρα παρέχουν επίσης τη δυνατότητα ελέγχου των λοιμώξεων, αυτόματου υπολογισμού όλων των δεικτών λειτουργίας των πνευμόνων, συμπεριλαμβανομένης της διόρθωσης των υπολογισμών βάση της θερμοκρασίας, πίεσης και συνθηκών κορεσμού του νερού. Πολλά από αυτά παρέχουν επίσης άμεση ανατροφοδότηση από τον υπολογιστή στον χειριστή σχετικά με την ποιότητα και την επαναληψιμότητα της εξέτασης, καθώς και γραφική απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο του σπιρογραφήματος και της καμπύλης ροής-όγκου, επιλέγουν τα καλύτερα αποτελέσματα για αναφορά, υπολογίζουν τις

φυσιολογικές τιμές αναφοράς, συμπεριλαμβανομένου του κατώτερου ορίου του φυσιολογικού, και μπορούν να μεταφορτώσουν αυτόματα τα αποτελέσματα στα ιατρικά αρχεία, [51] παρέχοντας τη δυνατότητα να εμφανίζει τα αποτελέσματα της εξέτασης, συμπεριλαμβανομένων τόσο των δεδομένων όσο και των γραφικών, αμέσως μετά την εξέταση και ταυτόχρονα να τα διαβιβάζει στους οικογενειακούς γιατρούς ή σε μια νοσοκομειακή μονάδα [79].

Τέλος, έχουν καταβληθεί προσπάθειες για την ανάπτυξη φορητών μετρητών ροής και σπιρομέτρων με την ίδια ή παρόμοια λειτουργικότητα με σταθερά κλινικά σπιρόμετρα, με στόχο τη διεύρυνση της προσβασιμότητας σε αυτόν τον τύπο παρακολούθησης. Αυτά τα συστήματα έχουν σχεδιαστεί για την πραγματοποίηση σπιρομετρικών μετρήσεων χωρίς την επίβλεψη ιατρών ή με την επίβλεψη ενός ιατρού με περιορισμένη εμπειρία, συμπεριλαμβανομένων των γενικών ιατρών. Επομένως, απαιτούν αυτόματους αλγόριθμους πραγματικού χρόνου που μπορούν να ανιχνεύουν τον βήχα με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα, προειδοποιώντας τον χρήστη σε περίπτωση εσφαλμένης μέτρησης [86].

Τα πιο σύγχρονα σπιρόμετρα συχνά περιλαμβάνουν κεφαλή ροής υπερήχων. Δεν περιέχουν κινούμενα μέρη, δεν έχουν αντίσταση, και διαθέτουν καλά χαρακτηριστικά συχνότητας. Το σήμα εξαρτάται κυρίως από το μείγμα αερίου, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ταυτόχρονα και μειονέκτημα και πλεονέκτημα, καθώς πολλές άλλες μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με τον ίδιο αισθητήρα. Ωστόσο, η ροή μπορεί να υπολογιστεί ανεξάρτητα από τη σύνθεση του αερίου, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση. Ένα μειονέκτημα είναι ότι αυτοί οι αισθητήρες συνήθως είναι ακριβότεροι [69].

5 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

5.1 ΑΝΤΕΝΔΕΙΞΕΙΣ – ΠΡΟΦΥΛΑΞΕΙΣ

Για να θεωρηθεί η εξέταση επιτυχημένη και να επιφέρει βάσιμα αποτελέσματα, ο ασθενής θα πρέπει να μην έχει αντιμετωπίσει το τελευταίο διάστημα ορισμένες βλαβερές καταστάσεις για την υγεία του. Σε περίπτωση που έχει συμβεί συνίσταται να περάσει ένα χρονικό διάστημα, ώστε ο ασθενής να αναρρώσει πλήρως, προτού γίνει η διαδικασία της σπιρομέτρησης. Αυτές είναι:

- Ενεργή αιμόπτυση
- Πνευμοθώρακας
- Ανεύρισμα θωρακικής αορτής, κοιλιακής αορτής ή εγκεφάλου
- Ασταθής καρδιακή κατάσταση, πρόσφατο καρδιακό έμφραγμα ή πνευμονική εμβολή
- Πρόσφατη χειρουργική επέμβαση στην περιοχή του οφθαλμού
- Αιφνίδιες διαταραχές που επηρεάζουν την απόδοση της εξέτασης, π.χ. εμετός, ναυτία
- Πρόσφατες χειρουργικές επεμβάσεις στο θώρακα ή την κοιλιακή περιοχή [57].
- Σοβαρή καρδιακή υπόταση ή υπέρταση / πνευμονική υπέρταση
- Σημαντική κολπική/κοιλιακή αρρυθμία
- Μη αντισταθμισμένη καρδιακή ανεπάρκεια
- Οξεία πνευμονική στεφανιαία νόσος [87].

Οι αντενδείξεις προκύπτουν λόγω της πίεσης που ασκείται για τη διαδικασία της σπιρομέτρησης, ως επακόλουθο την αλλαγή της ενδοπνευμονικής και ενδοκρανιακής πίεσης[59]. Η εκτέλεση της σπιρομέτρησης μπορεί να είναι σωματικά απαιτητική. Ο ελιγμός εξαναγκασμένης εκπνοής που χρησιμοποιείται στη σπιρομέτρηση αυξάνει τις ενδοθωρακικές, ενδοκοιλιακές και ενδοκρανιακές πιέσεις. Οι δυνητικοί κίνδυνοι της σπιρομέτρησης σχετίζονται κυρίως με τις μέγιστες πιέσεις που δημιουργούνται στο θώρακα και τις επιπτώσεις τους στα κοιλιακά και θωρακικά όργανα, τη φλεβική επιστροφή και τη συστηματική αρτηριακή πίεση, καθώς και τη διαστολή του θωρακικού τοιχώματος

και του πνεύμονα. Ασθενείς με πιθανές αντενδείξεις μπορούν να εξεταστούν σε εργαστήριο πνευμονικής λειτουργίας, όπου οι χειριστές είναι πιο έμπειροι και μπορεί να υπάρχει πρόσβαση σε επείγουσα περίθαλψη εάν χρειαστεί. Επειδή η σπιρομέτρηση απαιτεί την ενεργό συμμετοχή του ασθενούς, η αδυναμία κατανόησης των οδηγιών ή η απροθυμία να ακολουθήσει τις οδηγίες του χειριστή θα οδηγήσει συνήθως σε υπομέγιστα αποτελέσματα της εξέτασης. Οι πιθανές αντενδείξεις πρέπει να περιλαμβάνονται στο έντυπο αίτησης για σπιρομέτρηση [87].

5.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΑΤΟΜΟΥ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Η προετοιμασία του ασθενή για την πραγμάτωση της εξέτασης είναι πολύ απλή. Συγκεκριμένα, εκείνος δεν θα πρέπει για λίγες ώρες πριν την εξέταση:

- Να έχει καταναλώσει αλκοόλ (8 ώρες πριν)
- Να έχει καπνίσει (1 ώρα πριν)
- Να έχει φάει μεγάλη ποσότητα φαγητού (2 ώρες πριν)
- Να έχει έντονη σωματική δραστηριότητα (1 ώρα πριν) [87].

5.2.1 Καταγραφή δεδομένων εξεταζόμενου – Ιστορικό

Πριν τη διαδικασία της σπιρομέτρησης πρέπει να γίνεται καταγραφή δεδομένων του ασθενή. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν προσωπικά στοιχεία, βάρος, ύψος, φύλο, ηλικία, φυλή και τρόπο ζωής. Ακόμη, θα πρέπει να ρωτηθεί αν λαμβάνει κάποια φαρμακευτική αγωγή, ώστε να αξιολογηθεί αν επηρεάζει την αναπνευστική του λειτουργία. Ιδανικά προτιμότερο θα ήταν να μην έχει λάβει κάποιο φάρμακο πριν την εξέταση, αλλά σε περίπτωση αγωγής θα πρέπει να γίνει καταγραφή του φαρμάκου και της ώρας κατάποσης του [57]. Επιπλέον, ο ιατρός θα πρέπει να λάβει από τον εξεταζόμενο, ένα λεπτομερές κλινικό ιστορικό μαζί με τα αποτελέσματα άλλων εξετάσεων, ώστε να εξασφαλιστεί η ορθότητα της διάγνωσης.

Τα παραπάνω στοιχεία πρέπει να είναι αληθή και να μην έχει παραληφθεί κάποιο με σκοπό την ορθή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Το φύλο που έχει γεννηθεί ο εξεταζόμενος καθορίζει το μέγεθος των πνευμόνων. Η ανακριβής καταχώρηση του φύλου γέννησης μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένη διάγνωση και θεραπεία. Ακόμη, η εθνικότητα είναι απαραίτητο να αναφέρεται. Οι κατηγορίες εθνικότητας για τις τιμές αναφοράς της Παγκόσμιας Πρωτοβουλίας για τη Λειτουργία των Πνευμόνων (GLI), σύμφωνα με το πρότυπο NAHNES III είναι οι εξής: λευκός (δηλαδή ευρωπαϊκής καταγωγής), Αφροαμερικανός, Βορειοανατολική Ασία, Νοτιοανατολική Ασία και άλλος/μικτός. Για το ATS/ERS οι επιλογές είναι λευκός, Ανατολική Ασία, Κινέζοι του Hong Kong, Γιαπωνέζοι, νότιου και κεντρικού Ειρηνικού ωκεανού, βόρεια Ινδία, νότια Ινδία, Πακιστάν, Αφρικανοί απόγονοι και ιθαγενείς. Ανάλογα με τον τύπο σπιρομέτρου που χρησιμοποιείται επιτρέπεται η επιλογή του προτύπου [57].

5.2.2 Τοποθέτηση εξεταζόμενου

- Το άτομο θα πρέπει να βρίσκεται σε όρθια θέση, ώστε να μην υπάρχουν διαφορές με τον εκπνεόμενο όγκο αέρα σε καθούμενη θέση.
- Τα πόδια θα πρέπει να είναι επίπεδα στο πάτωμα, χωρίς να σταυρώνουν. Κατά την εξέταση δεν θα πρέπει να γίνεται χρήση κοιλιακών μυών για τη στήριξη του σώματος.
- Αν ο εξεταζόμενος φοράει σφιχτά ρούχα, θα πρέπει να τα χαλαρώσει, διαφορετικά μπορεί να μετρηθούν χαμηλότεροι όγκοι από τους πραγματικούς. (Π.χ. τη ζώνη)
- Καλό θα ήταν να μην υπάρχουν διάφορα οδοντιατρικά αντικείμενα στο στόμα του εξεταζόμενου, εκτός αν η οδοντοστοιχία του είναι πολύ χαλαρή.
- Θα πρέπει να υπάρχει μια καρέκλα με μπράτσα κοντά στην περιοχή που θα γίνει η διαδικασία της σπιρομέτρησης, καθώς ο εξεταζόμενος μπορεί να νιώσει κάποια ζάλη [57].

5.2.3 Τερματισμός εξέτασης

Η σπιρομέτρηση θα πρέπει να διακόπτεται εάν ο ασθενής αισθάνεται πόνο κατά τη διάρκεια του ελιγμού [87]. Στο τέλος της διάρκειας ενός ελιγμού, σε πολλές περιπτώσεις ασθενών παρατηρείται βήχας, ο οποίος μπορεί να διαστρεβλώσει τα αποτελέσματα της σπιρομέτρησης. Στις καμπύλες ροής – χρόνου για τη μέτρηση της FVC δεν παρατηρούνται διαφορές στην καμπύλη και επομένως, ορισμένοι γιατροί πιθανώς θα αποδέχονταν έναν τέτοιο ελιγμό ως χρησιμοποιήσιμο [86].

Ασθενείς με πιθανές αντενδείξεις που θα εμπόδιζαν την εξέταση στο πλαίσιο της πρωτοβάθμιας περίθαλψης μπορούν να εξεταστούν σε εργαστήριο πνευμονικής λειτουργίας, όπου οι χειριστές είναι πιο έμπειροι και μπορεί να υπάρχει πρόσβαση σε επείγουσα περίθαλψη εάν χρειαστεί. Επιπλέον, επειδή η σπιρομέτρηση απαιτεί την ενεργό συμμετοχή του ασθενούς, η αδυναμία κατανόησης των οδηγιών ή η απροθυμία να ακολουθήσει τις οδηγίες του χειριστή θα οδηγήσει συνήθως σε υπομέγιστα αποτελέσματα της εξέτασης [87].

6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι κατευθυντήριες γραμμές της ATS και της AARC (Αμερικανική Ένωση Αναπνευστικής Φροντίδας) παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της ποιότητας και της συνοχής στην εκτέλεση της σπιρομέτρησης. Οι συστάσεις αυτές αποσκοπούν στη μείωση της διεργαστηριακής διακύμανσης και στην εξασφάλιση ακριβών και αξιόπιστων μετρήσεων και περιλαμβάνουν ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές όπως την:

- Εκπαίδευση του ασθενούς σχετικά με τη σπιρομέτρηση και τη συμμόρφωση με τις οδηγίες.
- Βαθμονόμηση και συντήρηση των συσκευών σπιρομέτρησης.
- Προετοιμασία του ασθενούς για επαρκή έναρξη, επαρκή χρόνο εκπνοής και ικανοποιητικό τέλος της μέτρησης.
- Επικύρωση των αποτελεσμάτων και διασφάλιση της αναπαραγωγικότητας των μετρήσεων.

Με την τήρηση αυτών των συστάσεων είναι πιθανό να επιτευχθεί υψηλή ποιότητα στις μετρήσεις σπιρομέτρησης [88].

6.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΩΝ

Πριν από τη διενέργεια σπιρομέτρησης, ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός πρέπει να είναι βαθμονομημένος ή τουλάχιστον να ελέγχεται η βαθμονόμηση στην αρχή της συνεδρίας[57]. Η ATS/ERS υποδεικνύει τις βασικές απαιτήσεις ενός κατάλληλου σπιρομέτρου για τη σωστή λειτουργία του. Αναλυτικότερα, αυτές είναι:

1. Συσσώρευση όγκου για $\geq 15s$: Αυτό είναι σημαντικό για να επιτραπεί η εκτέλεση αξιόπιστων μετρήσεων κατά τη διάρκεια της εκπνοής.
2. Όγκος μέτρησης $\geq 8L$: Ένας επαρκώς μεγάλος όγκος είναι απαραίτητος για να καλύψει ένα ευρύ φάσμα αναπνευστικών προσπαθειών.
3. Ακρίβεια μέτρησης $\pm 3\%$ (ή $\pm 0.05L$) με ροές από $0-14L/s$: Αυτή η ακρίβεια καθορίζει το πόσο καλά το σπιροόμετρο μπορεί να μετρήσει τον όγκο και τη ροή.
4. Συνολική αντίσταση στη ροή στα $14L/s < 1.5cmH_2O/L/s$: Αυτό μετρά τη συνολική αντίσταση στη ροή και έχει σημασία για την αξιολόγηση του αναπνευστικού συστήματος.

Όσον αφορά τη βαθμονόμηση, ορισμένα σπιροόμετρα είναι προ-βαθμονομημένα από τον κατασκευαστή, ενώ άλλα επιτρέπουν βαθμονόμηση μηδενικής ροής ή χρησιμοποιούν γνωστό όγκο για τη βαθμονόμηση. Η βαθμονόμηση είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση τα ακρίβειας των μετρήσεων.

Γενικότερα, η πληροφορία αυτή είναι σημαντική για την αξιολόγηση της ποιότητας των σπιρομέτρων και τη διασφάλιση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των μετρήσεων [69].

Σε πολλούς μετρητές, η διαδικασία βαθμονόμησης αποτελεί μια λειτουργία ελέγχου, και σε περίπτωση που η βαθμονόμηση είναι εκτός προδιαγραφών, ο μετρητής πρέπει να επιστραφεί στον κατασκευαστή για επισκευή. Υπάρχει μία εξαίρεση σε αυτό: ορισμένα από τα πιο εξελιγμένα μηχανήματα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε εργαστήρια πνευμονικής λειτουργίας, είναι σε θέση να ενημερώνουν την έξοδο τους βασιζόμενα στη βαθμονόμηση. Οι τιμές των σπιρομέτρων πρέπει επίσης να υφίστανται εβδομαδιαίο έλεγχο μέσω βιολογικού ελέγχου (με χρήση υγιούς ατόμου που εργάζεται στο εργαστήριο) [57].

6.1.1 Βαθμονόμηση με σύριγγα

Η βαθμονόμηση της ροής είναι μία προκλητική διαδικασία και δεν εκτελείται συστηματικά. Για τον σκοπό αυτό, απαιτείται μια εξελιγμένη σύριγγα με υπολογιστή προκειμένου να αναπαραχθεί η εξαναγκασμένη εκπνοή[57]. Ανάλογα με τον τύπο του εξοπλισμού, η βαθμονόμηση επιτυγχάνεται με τη χρήση είτε μιας σύριγγας 3 L, η οποία αντλείται προκειμένου να ελεγχθεί η σωστή λειτουργία του μετρητή με ακρίβεια εντός των ορίων του 3%, είτε με τη χρήση μιας σύριγγας 1 L, η οποία αντλεί ένα λίτρο κάθε φορά, φτάνοντας έως το μέγιστο των 7 L, προκειμένου να ελεγχθεί η γραμμικότητα και το κεντρικό σημείο της μέτρησης του όγκου [87]. Οι σύριγγες βαθμονόμησης σπιρομέτρου διατηρούν σταθερό όγκο διαδρομής ακόμη και μετά από πολλά χρόνια χρήσης και αποθήκευσης, αλλά απαιτείται ετήσια βαθμονόμηση προκειμένου να συμμορφώνονται με το διεθνές πρότυπο [89].

Η σύριγγα 3 L, που χρησιμοποιείται για την επαναβαθμονόμηση και την επαλήθευση της βαθμονόμησης των σπιρομέτρων, πρέπει να έχει ακρίβεια ± 0.015 L ή $\pm 0.5\%$ της πλήρους κλίμακας. Επιπλέον, ο κατασκευαστής θα πρέπει να παρέχει οδηγίες για τα κατάλληλα χρονικά διαστήματα μεταξύ των ελέγχων ακρίβειας της σύριγγας. Η σύριγγα πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία δωματίου, καθώς το κράτημα του σώματος της σύριγγας κατά τη διάρκεια της επαλήθευσης βαθμονόμησης μπορεί να επηρεάσει τη θερμοκρασία της, πιθανώς οδηγώντας σε σφάλματα μέτρησης. Οι χειριστές πρέπει να γνωρίζουν ότι μια σύριγγα με ρυθμιζόμενο ή μεταβλητό στοπ μπορεί να είναι εκτός βαθμονόμησης, εάν το στοπ ρυθμιστεί ξανά ή μετακινηθεί κατά λάθος. Επιπλέον, οι σύριγγες βαθμονόμησης πρέπει να υποβάλλονται σε μηνιαία δοκιμή διαρροής σε περισσότερους από έναν όγκους μέχρι το μέγιστο όριο τους, είτε με προσπάθεια εκκένωσης είτε με πλήρωσή τους με φελλό στην έξοδο. Η επαλήθευση της βαθμονόμησης πρέπει να γίνεται τουλάχιστον καθημερινά, χρησιμοποιώντας σύριγγα 3-L που ανακυκλώνεται τουλάχιστον τρεις φορές, προσφέροντας ένα εύρος ροών μεταξύ 0.5 και 12 L/s, με χρόνους έγχυσης 3-L μεταξύ 0.5 και 6s [87].

6.2 ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Η διαδικασία βαθμονόμησης καθορίζει τη σχέση μεταξύ των σημάτων του μετατροπέα ροής ή όγκου που μετράει ο αισθητήρας και της πραγματικής ροής ή όγκου. Σε αντίθεση, η επαλήθευση βαθμονόμησης χρησιμοποιείται για να επιβεβαιωθεί ότι η συσκευή λειτουργεί εντός των ορίων βαθμονόμησης (π.χ. $\pm 3\%$ για ακρίβεια, $\pm 2.5\%$ για σπιρόμετρα συν $\pm 0.5\%$ για σύριγγες βαθμονόμησης) [90]. Τα συστήματα σπιρομέτρησης πρέπει να προσφέρουν επιλογή επαλήθευσης βαθμονόμησης με χρήση αέρα δωματίου σε συνθήκες περιβάλλοντος. Εάν μια συσκευή αποτύχει στην επαλήθευση βαθμονόμησης, απαιτείται νέα διαδικασία βαθμονόμησης ή συντήρηση του εξοπλισμού. Οι κατασκευαστές πρέπει να προειδοποιούν εάν ο νέος συντελεστής βαθμονόμησης διαφέρει περισσότερο από ± 2 SDs από τον μέσο συντελεστή βαθμονόμησης ή αν μεταβάλλεται περισσότερο από 6% από τον προηγούμενο συντελεστή βαθμονόμησης, καθώς αυτό μπορεί να υποδεικνύει την ανάγκη καθαρισμού, συντήρησης ή επισκευής του σπιρομέτρου. Οι επαληθεύσεις βαθμονόμησης πρέπει να

πραγματοποιούνται καθημερινά ή συχνότερα, αν ορίζεται από τον κατασκευαστή. Τα προβαθμονομημένα σπιρομέτρα δεν μπορούν να επαναβαθμονομηθούν από τον χειριστή, αλλά υπόκεινται σε επαλήθευση βαθμονόμησης. Οι κατασκευαστές πρέπει να καθορίζουν την ενέργεια που πρέπει να αναληφθεί εάν μια προβαθμονομημένη συσκευή αποτύχει στην επαλήθευση βαθμονόμησης [91]. Το λογισμικό σπιρομέτρησης πρέπει να περιλαμβάνει δυνατότητα δημιουργίας έκθεσης βαθμονόμησης με τα αποτελέσματα όλων των επαληθεύσεων, τον αριθμό των αποτυχημένων επαληθεύσεων βαθμονόμησης σε κάθε συνεδρία, και τις αλλαγές στους συντελεστές βαθμονόμησης. Εκδίδεται προειδοποίηση εάν το σφάλμα επαλήθευσης βαθμονόμησης διαφέρει από το ιστορικό μέσο σφάλματος επαλήθευσης βαθμονόμησης κατά περισσότερο από ± 2 SD [87].

6.2.1 Λόγοι αποτυχίας επαλήθευσης βαθμονόμησης

Πιθανοί λόγοι αποτυχίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν οι παρακάτω:

- Μικρή αλλαγή στη λειτουργία του σπιρομέτρου που απαιτεί επακόλουθη διαδικασία επαναβαθμονόμησης για την προσαρμογή του συντελεστή βαθμονόμησης
- Διαρροή στη σύνδεση του σπιρομέτρου με τη σύριγγα βαθμονόμησης
- Ροή αέρα μέσω του σπιρομέτρου κατά τη διαδικασία ρύθμισης μηδενικής ροής
- Αποτυχία πλήρους πλήρωσης και εκκένωσης της σύριγγας βαθμονόμησης με μία ομαλή κίνηση
- Δυσλειτουργία της σύριγγας βαθμονόμησης (π.χ. διαρροή εμβόλου ή μετατόπιση του πώματος εμβόλου ή σύριγγα που έχει υποστεί ζημιά από πτώση)
- Μπλοκάρισμα του σπιρομέτρου είτε από συντρίμια στον αισθητήρα του σπιρομέτρου είτε από το χέρι του χειριστή ενώ κρατά το σπιρόμετρο στη θέση του
- Λανθασμένη συναρμολόγηση του αισθητήρα, του επιστόμιου, του φίλτρου και/ή του αναπνευστικού σωλήνα
- Διαφορές μεταξύ της θερμοκρασίας δωματίου και της θερμοκρασίας της σύριγγας βαθμονόμησης
- Σφάλματα καταχώρησης δεδομένων στη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή/και στην πίεση [57].

6.3 ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΟΥ

Η προσοχή στη διασφάλιση της ποιότητας του εξοπλισμού και στη βαθμονόμηση αποτελεί σημαντικό μέρος της ορθής εργαστηριακής πρακτικής. Τρέχουσες δηλώσεις της ATS/ERS2 για την τυποποίηση της σπιρομέτρησης τονίζουν την ανάγκη για ποιοτικό έλεγχο, ώστε να διασφαλίζεται η βέλτιστη απόδοση του εξοπλισμού [92]. Οι ελάχιστες απαιτήσεις έχουν ως εξής:

- Τήρηση ημερολογίου των αποτελεσμάτων βαθμονόμησης
- Τεκμηρίωση των επισκευών ή άλλων τροποποιήσεων που επαναφέρουν τον εξοπλισμό σε αποδεκτή λειτουργία
- Καταγραφή των ημερομηνιών των ενημερώσεων ή αλλαγών στο λογισμικό και το υλικό των υπολογιστών και
- Καταγραφή των ημερομηνιών αλλαγής ή μετεγκατάστασης του εξοπλισμού (π.χ. βιομηχανικές έρευνες).

Οι επαληθεύσεις βαθμονόμησης και οι διαδικασίες ελέγχου ποιότητας πρέπει να επαναλαμβάνονται μετά από κάθε τέτοια αλλαγή πριν από την έναρξη περαιτέρω δοκιμών.

Οι βασικές πτυχές της διασφάλισης ποιότητας του εξοπλισμού φαίνονται στους Πίνακες 2-4 [87]. Στον Πίνακα 5 παρατηρείται ένας συνοπτικός προτεινόμενος ποιοτικός έλεγχος για κλασσικούς τύπους σπιρομέτρων [69].

Πίνακας 2 - Διασφάλιση Ποιότητας Σπιρομέτρων

Διασφάλιση ποιότητας εξοπλισμού για σπιρόμετρα ροής και όγκου
Καθημερινή επαλήθευση βαθμονόμησης σε χαμηλή, μεσαία και υψηλή ροή: Εάν η επαλήθευση βαθμονόμησης αποτύχει, ελέγχεται για προβλήματα και αποκαταστήστε τα και επαναλάβετε την επαλήθευση βαθμονόμησης.
Εάν ένα φίλτρο in-line χρησιμοποιείται στις δοκιμές σπιρομέτρησης, τότε πρέπει επίσης να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των επαναβαθμονομήσεων και των επαληθεύσεων.
Επαναβαθμονόμηση του σπιρομέτρου τόσο μετά την αποτυχημένη επαλήθευση της βαθμονόμησης όσο και σε χρονικά διαστήματα που καθορίζονται από τον κατασκευαστή.
Εάν η μεταβολή του συντελεστή βαθμονόμησης είναι $\geq 6\%$ ή διαφέρει περισσότερο από ± 2 SD από το μέσο όρο, γίνεται επιθεώρηση και, εάν είναι απαραίτητο, το σπιρόμετρο καθαρίζεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή- ελέγχεται για σφάλματα και επαναβαθμονομείται.
Εκτελούνται έλεγχοι ρουτίνας και συντήρησης σε διαστήματα που καθορίζονται από τον κατασκευαστή.

Πίνακας 3 - Διασφάλιση Ποιότητας Σύριγγας Βαθμονόμησης

Σύριγγα βαθμονόμησης 3-L
Καθημερινή επιθεώρηση για μετατόπιση του πώματος του εμβόλου
Καθημερινός έλεγχος για την ομαλή λειτουργία της σύριγγας χωρίς κολλήματα ή πιασίματα
Ακρίβεια ± 0.015 L επαληθεύεται από τον κατασκευαστή κατά την παράδοση και σε διαστήματα που συνιστά ο κατασκευαστής
Μηνιαία δοκιμή διαρροής της σύριγγας

Πίνακας 4 - Τεκμηρίωση αποτελεσμάτων

Τεκμηρίωση
Ημερολόγιο όλων των ευρημάτων του ποιοτικού ελέγχου, των επισκευών και προσαρμογών και των ενημερώσεων υλικού και λογισμικού
Επαλήθευση των υπολογισμών τιμών αναφοράς μετά από ενημερώσεις λογισμικού

Πίνακας 5 - Συνοπτικός Πίνακας Ποιοτικού Ελέγχου

Δοκιμή	Ελάχιστο Διάστημα	Μέθοδος
Όγκος	Καθημερινά	3-L σύριγγα
Ροή	Καθημερινά	0.3kPa σταθερή πίεση για 1 λεπτό
Γραμμικότητα Όγκου	3 μήνες	1-L σύριγγα που μετράει σε ολόκληρο το εύρος του όγκου
Γραμμικότητα Ροής	Εβδομαδιαία	Δοκιμή σε minimum 3 διαφορετικά εύρη ροής
Χρόνος	3 μήνες	Έλεγχος μηχανικού καταγραφέα με χρονόμετρο
Λογισμικό	Κάθε νέα έκδοση	Καταγραφή ημερομηνίας εγκατάστασης & πραγματοποίηση δοκιμής με γνωστό θέμα

Είναι ευθύνη του χειριστή να παρατηρεί και να ασχολείται με τον ασθενή για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων, γεγονός που απαιτεί συνδυασμό εκπαίδευσης και εμπειρίας. Σε πολλές χώρες διατίθενται μαθήματα κατάρτισης για τη διενέργεια ποιοτικών εξετάσεων σπιρομέτρησης, γεγονός που έχει οδηγήσει τους χειριστές να ακολουθούν τα πρότυπα ATS/ERS, αλλά η βραχυπρόθεσμη παρακολούθηση και η συμπληρωματική κατάρτιση είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ποιότητας. Η εκπαίδευση των χειριστών και η απόκτηση και διατήρηση της επάρκειας πρέπει να ενσωματώνονται σε κάθε υπηρεσία σπιρομετρικού ελέγχου [87].

Η έλλειψη συντήρησης και βαθμονόμησης και η φθορά του εξοπλισμού με την πάροδο του χρόνου είναι πιθανό να επηρεάσουν αρνητικά το επίπεδο απόδοσης των σπιρομέτρων, γεγονός που μπορεί να έχει συνέπειες για τις ερμηνείες που βασίζονται στα αποτελέσματα μιας σπιρομετρικής εξέτασης και τη μετέπειτα διαχείριση των ασθενών[93].

7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

Μετά το τέλος της εξέτασης της σπιρομέτρησης προκύπτουν κάποια διαγράμματα. Αυτά απεικονίζουν τον όγκο συναρτήσει του χρόνου ή τη ροή συναρτήσει του όγκου, ανάλογα τον τύπο του σπιρομέτρου που χρησιμοποιούμε. Το πρώτο διάγραμμα προκύπτει απευθείας από το σπιρόμετρο χωρίς κάποια επιπλέον επεξεργασία. Ωστόσο, το δεύτερο διάγραμμα, ροής – όγκου μας παρέχει περισσότερες πληροφορίες για την κατανόηση πιθανού νοσήματος του ασθενή [59].

7.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για να κριθεί ορθή η διαδικασία της σπιρομέτρησης θα πρέπει κατά τη διάρκεια της εξέτασης να μην συμβούν τα παρακάτω από τον εξεταζόμενο:

- Βήχας
- Κλείσιμο της γλωττίδας ώστε να ολοκληρωθεί η εκπνοή
- Πρόωρη διακοπή της εκπνοής
- Η μη καταβολή της μέγιστης προσπάθειας
- Κακή εφαρμογή του στομίου, λόγω επαφής με τη γλώσσα [59].

Η σπιρομέτρηση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί τρεις φορές ώστε να επιτευχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Όταν ολοκληρωθεί και η τρίτη εξέταση, πρέπει να ελεγχθεί και να επιβεβαιωθεί η διαφορά των δύο μεγαλύτερων τιμών των FVC, VC και αντίστοιχα των FEV1 είναι μικρότερη των 150ml. Παράλληλα, να ελεγχθεί αν η διαφορά των δύο μεγαλύτερων PEF είναι μικρότερη των 0.67L/s. Αν αυτό δεν ισχύει, η σπιρομέτρηση συνεχίζεται για τέταρτη φορά κ.ο.κ. Να σημειωθεί, όμως, πως ο αριθμός των επαναλήψεων της εξέτασης δεν μπορεί να ξεπεράσει τις 8. Για τον λόγο ότι η αναπνοή είναι μια εξαιρετικά κουραστική διαδικασία, ο ασθενής μετά την ολοκλήρωση 8 δοκιμών πιθανώς να μην επιτυγχάνει ρεαλιστικά ορθές τιμές. Υπάρχει η πιθανότητα να προκληθούν προβλήματα με την αναπαραγωγικότητα, καθώς η εξαναγκασμένη εκπνοή μπορεί να προκαλέσει βρογχοσπασμό και επομένως πρέπει να μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 30 δευτερολέπτων μεταξύ των διαδικασιών. Για ορισμένους ασθενείς, ιδιαίτερα εκείνους που πάσχουν από άσθμα, ενδέχεται να χρειάζονται αρκετά λεπτά ώστε να προβούν από την μία διαδικασία στην επόμενη [57].

Γενικότερα, ανάλογα τα χαρακτηριστικά του ατόμου, για κάθε μέτρηση έχει οριστεί μια θεωρητική τιμή. Μετά την ολοκλήρωση των τριών σπιρομετρικών μετρήσεων γίνεται έλεγχος των μετρούμενων τιμών συγκριτικά με τις θεωρητικές. Οι θεωρητικές τιμές υπολογίζονται είτε από τα ανθρωπομετρικά στοιχεία του ασθενούς, είτε με τις προσωπικές καλύτερες τιμές από το κλινικό ιστορικό του

υποκειμένου. Αν το ποσοστό της μετρούμενης από τη θεωρητική τιμή είναι κάτω του 80%, τότε ο εξεταζόμενος πάσχει από πιθανή αναπνευστική νόσο. Ακόμη χρησιμοποιείται ο πίνακας z-score, όπου μας αποκαλύπτει τη σοβαρότητα της νόσου. Ο πίνακας z-score αφορά τις τυπικές αποκλίσεις της μέσης τιμής της παραμέτρου [59].

Πίνακας 6 - Πίνακας z-score

Τυπικές αποκλίσεις	Σοβαρότητα
1.64 ή μεγαλύτερη	Φυσιολογική
1.65 έως - 2.5	Ήπια
2.5 έως - 3.5	Μέτρια
Μικρότερη του -3.5	Σοβαρή

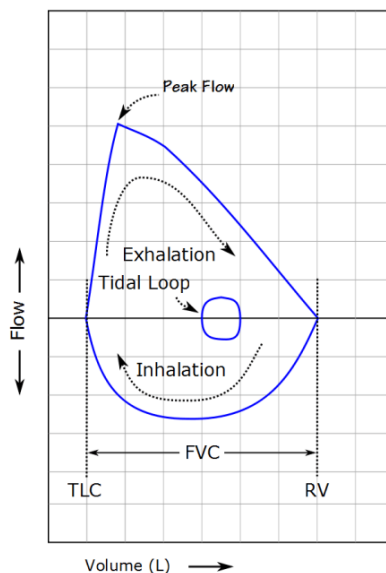
Η ποιότητα των εξετάσεων σπιρομέτρησης εξαρτάται καθοριστικά από τον χειριστή και τη συνεργασία του ασθενή. Για τον λόγο αυτό, η σπιρομέτρηση που πραγματοποιείται στην πρωτοβάθμια περίθαλψη είναι συχνά χαμηλής ποιότητας. Αν και το κλειδί για την απόκτηση ποιοτικής σπιρομέτρησης είναι η παρακολούθηση ενός ολοκληρωμένου εκπαιδευτικού προγράμματος, η σημασία της εμπειρίας στις εξετάσεις δεν μπορεί να υπερτιμηθεί και ίσως είναι ο σημαντικότερος παράγοντας [51].

7.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

Τα δεδομένα αναφοράς είναι σημαντικά για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των τεστ πνευμονικής λειτουργίας και μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση αναπνευστικών παθήσεων. Καθώς οι τεχνικές μέτρησης, ο εξοπλισμός και τα χαρακτηριστικά πληθυσμού εξελίσσονται, υπάρχει ταυτόχρονα ανάγκη να διατηρούνται ενημερωμένα τα δεδομένα αναφοράς για να αντικατοπτρίζουν αυτές τις αλλαγές [94].

7.2.1 Peak Expiratory Flow (PEF)

Η PEF υπολογίζεται από την μέγιστη τιμή στο διάγραμμα ροής – όγκου. Η τιμή της προκύπτει από τη μέγιστη εκπνοή, ύστερα από μια μέγιστη εισπνοή που έχει φτάσει το TLC. Υπολογίζεται σε 1/sec [59], όπως απεικονίζεται στην *Εικόνα 8* [95].



Εικόνα 8 - Υπολογισμός PEF [95]

7.2.2 Λόγος FEV1/FVC

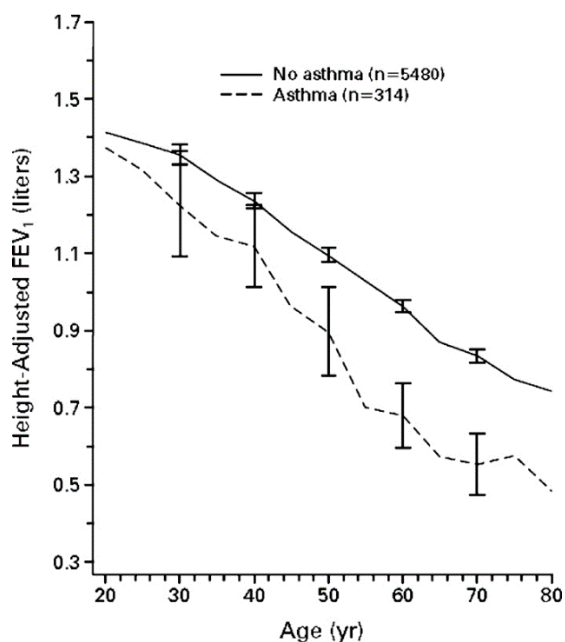
Η μέτρηση της FEV1 προκύπτει από το διάγραμμα όγκου χρόνου, καθώς αφορά την ροή του αέρα κατά το πρώτο δευτερόλεπτο. Ο λόγος FEV1/FVC υπολογίζεται από το διάγραμμα ροής όγκου. Για τον λόγο αυτό έχει οριστεί ως φυσιολογική τιμή το 0.7. Οποιαδήποτε τιμή κάτω του 0.7 δηλώνει απόφραξη, (Πίνακας 7 [96]). Ο βαθμός της απόφραξης καθορίζεται από τις τιμές του συστήματος GOLD. Παράλληλα, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, ο ρυθμός πτώσης της FEV1 αυξάνεται, όσο αυξάνεται η ηλικία του ατόμου περίπου 30 – 50ml/τον χρόνο (Διάγραμμα 1 [97]), ανάλογα με την υγεία του ασθενή [51] (Πίνακας 8 [98]).

Πίνακας 7 - Ερμηνεία Παραμέτρων FVC, FEV1

Παράμετρος	Φυσιολογικό	Απόφραξη	Περιορισμός	Μικτό μοτίβο
FVC	N	N	↓	↓
FEV1	N	↓	↓	↓
FEV1/FVC	N	↓	N	↓

Πίνακας 8 - Παράγοντες επίδρασης όγκων και χωρητικότητας

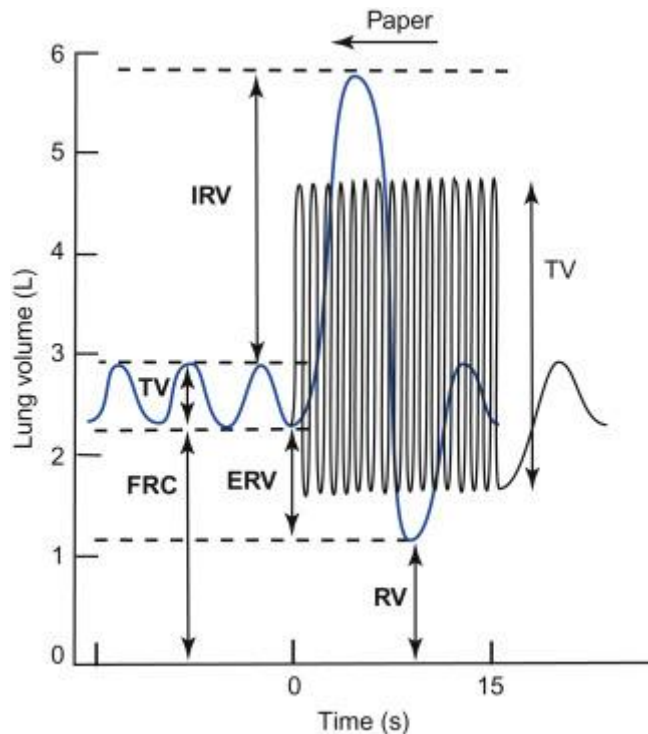
	Φυσιολογικοί Παράγοντες
Ηλικία	↑ RV, FRC ↓ VC
Φύλο	Γυναίκες: 20-25% VC < άντρες
Βάρος	Παχυσαρκία ↓ VC, FRC
Αθλητές	↑ VC



Διάγραμμα 1 - Ρυθμός Πτώσης FEV1 [97]

7.2.3 Παράμετρος MVV

Ο μέγιστος εφεδρικός αερισμός – Maximum Voluntary Ventilation (MVV) αναφέρεται στο ποσό των λίτρων αέρα που το άτομο μπορεί να εισπνεύσει σε ανά min κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης αναπνευστικής προσπάθειας (λίτρα / λεπτό). Συνήθως μετρείται σε διάρκεια 12 με 15 δευτερόλεπτα, *Εικόνα 9* [68]. Ο MVV εκτιμά διάφορα φυσιολογικά φαινόμενα της αναπνοής που περιλαμβάνουν την ενδοτικότητα του θωρακικού κλωβού και του πνεύμονα, την αντίσταση των αεραγωγών και τη μυϊκή ισχύ [99]. Ο MVV έχει καλή συσχέτιση με τον FEV1 ($MVV = 35/FEV1$) και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της εξέτασης [100]. Ο μέγιστος εκούσιος αερισμός (MVV) αποτελεί αξιόπιστο δείκτη της επίδρασης των μεταβολών της πίεσης και της πυκνότητας του εισπνεόμενου αέρα στο αναπνευστικό σύστημα [54].



Εικόνα 9 - Maximal Voluntary Ventilation [68]

7.2.4 Φυσιολογικές τιμές

Οι φυσιολογικές τιμές των παραμέτρων είναι χαρακτηριστικές για κάθε ομάδα χαρακτηριστικών του ατόμου, που ζητούνται στην αρχή της εξέτασης, όπως έχει ήδη προαναφερθεί. Σε πολλά σπιρόμετρα, οι τιμές αναφοράς ενσωματώνονται στο λογισμικό των σύγχρονων σπιρομέτρων. Το LLN (Lower Limit of Normal) υιοθετήθηκε από τις ATS/ERS και αφορά την έννοια του «Κατώτερου ορίου του φυσιολογικού». Για μια κανονική κατανομή, οι τιμές μεταξύ δύο τυπικών αποκλίσεων της μέσης τιμής, αντιπροσωπεύουν το 95% του πληθυσμού και θεωρούνται φυσιολογικές. Το LLN ορίζεται ως το 5^ο εκατοστημόριο, δηλαδή η τιμή που σηματοδοτεί το χαμηλότερο 5% του φυσιολογικού πληθυσμού. Σύμφωνα με αυτά, οι φυσιολογικοί δείκτες της αναπνευστικής λειτουργίας απεικονίζονται στον *Πίνακα 9* [101]:

Πίνακας 9 - Όρια παραμέτρων δοκιμών πνευμονικής λειτουργίας

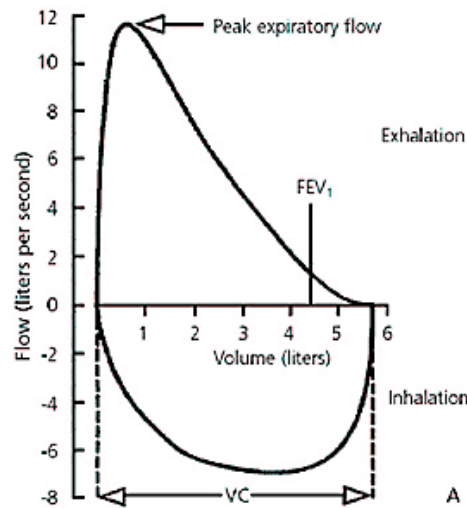
Παράμετροι πνευμονικής λειτουργίας	Φυσιολογικές Τιμές
FEV1	80% - 120%
FVC	80% - 120%
FEV1/FVC	+/- 5% ή >0.7
TLC	80% - 120%
FRC	75% - 120%
RV	75% - 120%

7.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

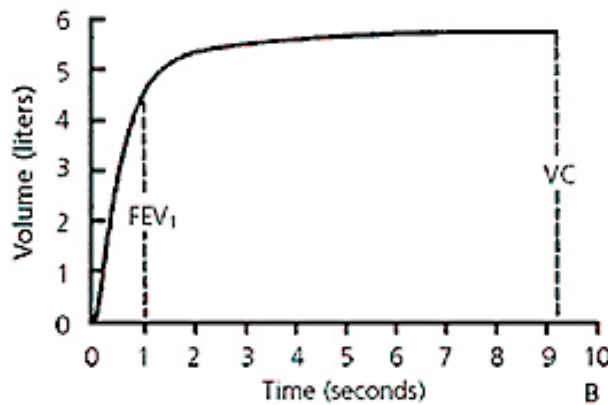
Με βάση τους δείκτες FVC, FEV1 και τον λόγο μεταξύ αυτών, η εξέταση μπορεί να αξιολογηθεί ως φυσιολογική ή παθολογική. Με τον όρο παθολογική αναφερόμαστε σε περιορισμό, απόφραξη ή μικτό πρότυπο.

7.3.1 Φυσιολογική λειτουργία πνεύμονα

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από δοκιμές πνευμονικής λειτουργίας δεν έχουν κανένα νόημα, εάν αυτές δεν συγκριθούν με τις τιμές αναφοράς ή τις προβλεπόμενες τιμές. Υπάρχει ένας αριθμός διαθέσιμων τιμών αναφοράς που έχουν εξισωθεί με ελαφρώς διαφορετικούς τρόπους, αλλά για μελέτες που συγκρίνουν διαφορετικές ευρωπαϊκές κοινότητες, χρησιμοποιούνται συχνά οι εξισώσεις από την European Community for Coal and Steel (ECCS). Οι τιμές αναφοράς προέρχονται από δεδομένα ερευνών του πληθυσμού. Ο πληθυσμός στην έρευνα είναι ιδανικά πολύ μεγάλος και συλλέγονται και τα απαραίτητα δεδομένα όπως το ύψος, το βάρος, η ηλικία, το φύλο, η εθνική καταγωγή, καπνιστικές συνήθειες, περιβάλλον ζωής και εργασίας και φυσική κατάσταση. Τα κριτήρια αυτά είναι απαραίτητα να ζητούνται, ώστε η σύγκριση των τιμών που παίρνουμε κατά τη διάρκεια της εξέτασης με τις τιμές αναφοράς να φέρει ακριβή αποτελέσματα. Έχει παρατηρηθεί πως τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζουν τη λειτουργία των πνευμόνων. Για παράδειγμα, ορισμένες εξισώσεις χρησιμοποιούν το βάρος. Αυτό προκύπτει για τον λόγο ότι η αύξηση του βάρους προκαλεί αύξηση της πνευμονικής λειτουργίας έως ότου επιτευχθεί η παχυσαρκία, μετά την οποία έχει το αντίθετο αποτέλεσμα. Αντίστοιχα για το ύψος για τον λόγο ότι όσο πιο ψηλός είναι ο εξεταζόμενος, τόσο πιο μεγάλοι είναι οι πνεύμονες του, η εθνικότητα, διότι διαφοροποιείται το σχήμα του σώματος, παραδείγματος χάρη παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές FVC και FEV1 στους λευκούς συγκριτικά με τους μαύρους και τους Ασιάτες, το κάπνισμα, καθώς προκαλεί ταχύτερη μείωση της πνευμονικής λειτουργίας σε σύγκριση με τους μη καπνιστές με την πάροδο του χρόνου κ.ο.κ. Στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 2, Διάγραμμα 3 [101]) απεικονίζονται ένα διάγραμμα ροής – όγκου και ροής – χρόνου για τη φυσιολογική λειτουργία των πνευμόνων. Όπως παρατηρούμε οι φυσιολογικοί πνεύμονες, γενικά, μπορούν να αδειάσουν γενικά περισσότερο από το 80% του όγκου τους σε 6 δευτερόλεπτα ή λιγότερο [57],[101].



Διάγραμμα 2 - Ροή - Όγκου: Κανονική λειτουργία πνεύμονα [101]



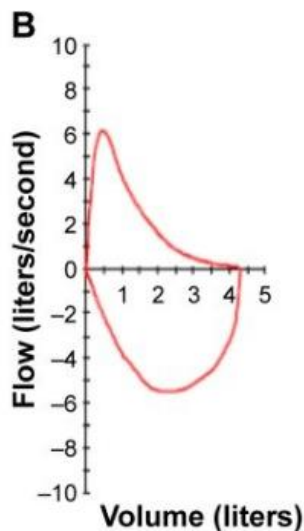
Διάγραμμα 3 - Όγκου - χρόνου: Κανονική λειτουργία Πνεύμονα [101]

7.3.2 Απόφραξη

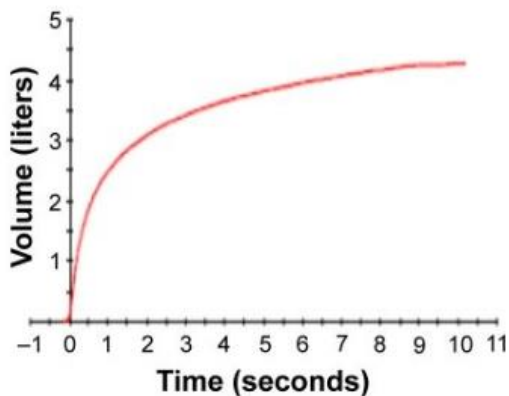
Η απόφραξη χαρακτηρίζεται από περιορισμό της ροής του αέρα. Παρατηρείται μειωμένη διάμετρος στους αεραγωγούς είτε μέσω συστολής λείων μυών, φλεγμονής, απόφραξης βλέννας ή κατάρρευσης των αεραγωγών στο εμφύσημα. Η απόφραξη χαρακτηρίζεται από:

- Μειωμένο FEV1
- Κανονικό ή μειωμένο VC
- Κανονική ή μειωμένη FVC
- Μειωμένη αναλογία FEV1/FVC
- Κοίλη στο διάγραμμα ροής – όγκου

Το άσθμα είναι μια αποφρακτική νόσος, αλλά επειδή είναι αναστρέψιμη, η σπιρομέτρηση μπορεί να είναι φυσιολογική, όταν το άτομο δεν παρουσιάζει έξαρση. Η ΧΑΠ είναι επίσης μια αποφρακτική διαταραχή, αλλά τείνει να μην είναι αναστρέψιμη στις περισσότερες περιπτώσεις. Υπάρχουν βαθμοί για το μέγεθος της απόφραξης, όπως αναφέρθηκαν στον Πίνακα 1 [57],[102]. Στα παρακάτω σχήματα. Εικόνες – Διαγράμματα, απεικονίζονται οι τυπικές καμπύλες όγκου-ροής και όγκου χρόνου για άτομα με αποφρακτικές παθήσεις στους πνεύμονες.



Διάγραμμα 4 - Ροής-Όγκου για Απόφραξη [102]

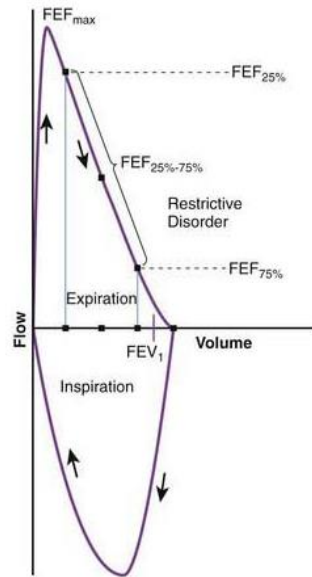


Διάγραμμα 5 - Ροής-Χρόνου για Απόφραξη [102]

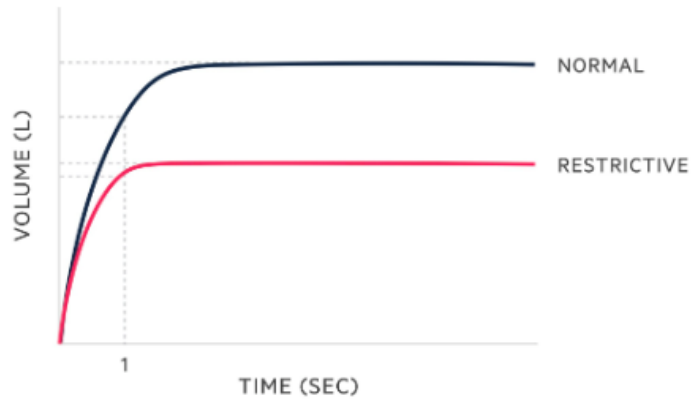
7.3.3 Περιορισμός

Οι περιοριστικές διαταραχές χαρακτηρίζονται από απώλεια όγκου των πνευμόνων και είναι πολύ πιο σπάνιες. Αυτό συμβαίνει στην πνευμονική ίνωση, υπεζωκοτική νόσο, διαταραχές του θωρακικού τοιχώματος (κυφοσκολίωση), νευρομυϊκές διαταραχές, πνευμονεκτομή, πνευμονικό οίδημα, παχυσαρκία κλπ. Πολλά αποκαλούμενα ίχνη περιοριστικής σπιρομέτρησης οφείλονται σε αδυναμία επίτευξης στο τέλος της εκπνοής, μειώνονται λανθασμένα το FVC. Ο περιορισμός χαρακτηρίζεται από:

- Μειωμένο FVC
- Κανονική προς υψηλή αναλογία FEV1/FVC
- Κανονικό σχήμα (Διάγραμμα 2)
- Πιθανώς ένα σχετικά υψηλό PEF [57], [103].

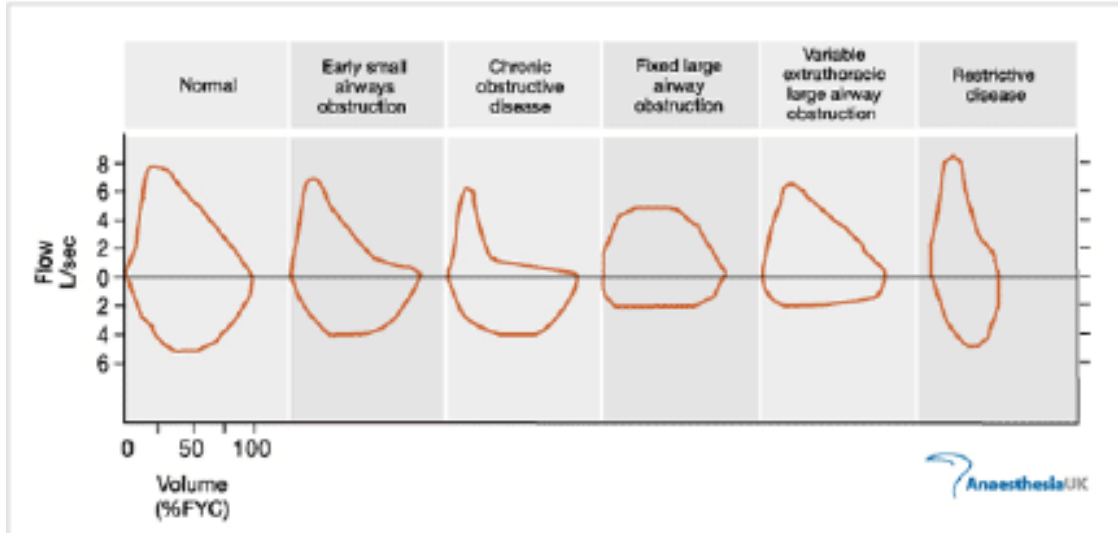


Διάγραμμα 6 - Ροής-όγκου: Περιορισμός [103]



Διάγραμμα 7 - Όγκου-Χρόνου: Περιορισμός [103]

Συνολικά, στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται τα διαγράμματα ροής – όγκου για τα διάφορα στάδια μιας παθολογικής κατάστασης[104] .



Εικόνα 10 - Συνοπτικά Διαγράμματα Ροής-Όγκου[104]

7.3.4 Μικτά μοτίβα

Εάν ένα άτομο είναι βαρύς καπνιστής και πάσχει πνευμονική ίνωση, για παράδειγμα, μπορεί να δείξει μια μικτή εικόνα στη σπιρομέτρηση, η οποία είναι δύσκολο να ερμηνευτεί. Για τον σκοπό αυτό, λαμβάνονται επιπλέον δοκιμές για την ανάλυση των στατικών όγκων των πνευμόνων και την μεταφορά αερίων. Η μικτή διαταραχή χαρακτηρίζεται από FEV1/VC και TLC <LLN [57].

8 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

8.1 ΜΕΘΟΔΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εξετάσαμε τις παραμέτρους VC (ζωτικής χωρητικότητας) και SpO₂ (κορεσμού οξυγόνου) 10 εξεταζόμενων. Τα υποκείμενα ήταν 10 εθελοντές – εξεταζόμενοι, 7 γυναίκες και 3 άντρες με μέσο όρο ύψους 169.8cm, βάρους 63.4kg, ηλικίας 20 – 56 ετών και καυκασιανής προέλευσης. Τροποποιήθηκε ένα πρωτόκολλο προθέρμανσης για τους δύο, όπου σύμφωνα με αυτό επιτυγχάνεται η ελαστικότητα του διαφράγματος και περιλαμβάνει ασκήσεις αναπνοής και ασκήσεις διάτασης του θώρακα και των μεσοπλευρίων μυών. Πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις για την VC και μια πεντάλεπτη μέτρηση του SpO₂, πριν και μετά την εφαρμογή του πρωτόκολλου.

8.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Το πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία περιλαμβάνει προθέρμανση των ελεύθερων δυτών, που αποτελείται από διατάσεις στους μεσοπλευρίους μυς, τον θώρακα – διάφραγμα, αλλά και επιπλέον ασκήσεις αναπνοής.

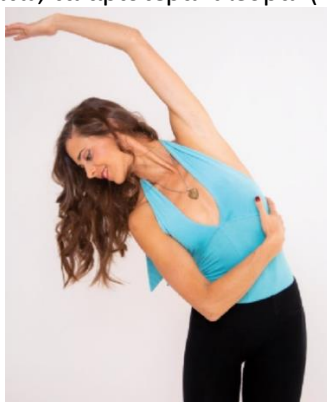
Συγκεκριμένα, οι ασκήσεις που ακολουθήθηκαν ήταν οι εξής:

- 1) Ο εξεταζόμενος στέκεται σε όρθια θέση, με τα πόδια του να βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους. Ξεκινά με τη διάταση της αριστερής πλευράς του διαφράγματος. Σηκώνει το αριστερό χέρι πάνω από το κεφάλι και το δεξί στα κάτω πλευρά των πλευρών της αριστερής πλευράς, όπως στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 11 - Αρχική θέση [105]

Καθώς γίνεται η εκπνοή, λυγίζει πλευρικά η σπονδυλική προς τα δεξιά, όπως φαίνεται και στην εικόνα Ψ. Τα χέρια πιέζουν απαλά προς τα κάτω, τα αριστερά πλευρά. (7° – 12° πλευρό)



Εικόνα 12 - Πλευρική κάμψη [105]

Στη συνέχεια, εισπνέει, καθώς επιστρέφει στην όρθια θέση. Επαναλαμβάνει την κίνηση για πέντε κύκλους αναπνοής. Εκπνέει καθώς κινείται προς τα δεξιά και εισπνέει καθώς επιστρέφει στην όρθια θέση.

Ο εξεταζόμενος εκτελεί την ίδια άσκηση και από την άλλη πλευρά. Σηκώνει το δεξί χέρι πάνω από το κεφάλι, τοποθετεί το αριστερό χέρι στη δεξιά πλευρά του θώρακα και λυγίζει τη σπονδυλική στήλη προς τα αριστερά ενώ εκπνέει. Επαναλαμβάνει για 5 κύκλους αναπνοής. Καθώς κινείται προς τα αριστερά, εκπνέει και καθώς επιστρέφει στην όρθια θέση εισπνέει.

Τέλος, για να ολοκληρώσει την άσκηση, σηκώνεται ψηλά και με τα δύο χέρια του αγκαλιάζει τα χέρια του. Λυγίζει πλευρικά τη σπονδυλική του στήλη προς τα δεξιά και προς τα αριστερά, όπως την εικόνα Z. Κατά τη διάρκεια της πλευρικής κάμψης, εκπνέει όταν επιστρέφει στο κέντρο και εισπνέει. Κινείται προς τα δεξιά και προς τα αριστερά, πέντε φορές.



Εικόνα 13 - Δεξιά Κάμψη [105]

Αφήνει τα χέρια του και ξεκουράζεται στην όρθια θέση[105].

- 2) Ο εξεταζόμενος κάθεται ή στέκεται με τα πόδια του σε απόσταση μεταξύ τους. Μπλέκει τα χέρια του μπροστά, με τις παλάμες του προς τα έξω, και πιέζει τις παλάμες του μακριά. Κρατά το κάτω μέρος της πλάτης του ίσιο και τους ώμους του να κινούνται προς τα κάτω. Καθώς εισπνέει, σηκώνει τα χέρια του πάνω από το κεφάλι. Στη συνέχεια, εκπνέει και χαμηλώνει τα χέρια του. Επαναλαμβάνει για πέντε αναπνοές.
- 3) Ο εξεταζόμενος κάθεται σε μια καρέκλα και τοποθετεί τα χέρια του στα γόνατα του. Καθώς εισπνέει, σπρώχνει το μπροστινό μέρος του στήθους του προς τα εμπρός, καμπυλώνοντας την πλάτη του και κοιτά προς τα πάνω. Μπορείτε επίσης να ανοίξει το στόμα του, καθώς κοιτάει προς τα πάνω. Καθώς εκπνέει, στρογγυλοποιεί την πλάτη του και φέρνει το πηγούνι του προς το στήθος του. Επαναλαμβάνεται για πέντε αναπνοές.
- 4) Ο εξεταζόμενος κάθεται ή στέκεται με τα πόδια του σε απόσταση μεταξύ τους. Φέρνει το αριστερό του χέρι κατά μήκος του σώματος του, ίσιο και παράλληλο στο πάτωμα. Χρησιμοποιεί το δεξί του χέρι για να συμπιέσει το αριστερό του χέρι προς το σώμα του, φροντίζοντας να τοποθετηθεί είτε πάνω είτε κάτω από την άρθρωση του αγκώνα. Η διάταση αυτή, διαρκεί 30 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια επαναλαμβάνεται από την άλλη πλευρά [106].

8.3 ΣΥΣΚΕΥΗ

Το σπιρόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν μοντέλου «SPIRODOC» της εταιρείας MIR (Medical International Research). Αποτελεί ένα σπιρόμετρο μικρού μεγέθους και διαθέτει δυνατότητα οξυμετρίας. Μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα, αλλά έχει και την ικανότητα σύνδεσης τόσο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όσο και σε κινητό τηλέφωνο, είτε με USB ή με Bluetooth. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο από το ιατρικό προσωπικό, όσο και από τους ίδιους τους ασθενείς σύμφωνα με την καθοδήγηση του ιατρού. Η χρήση του μπορεί να γίνει είτε σε ιατρείο, είτε σε σπίτι, καθώς στην οθόνη του εμφανίζονται αναλυτικές οδηγίες για τη χρήση του. Η συσκευή δεν προορίζεται για χρήση σε χειρουργείο, ούτε σε παρουσία εύφλεκτων υγρών ή απορρυπαντικών, ούτε σε παρουσία εύφλεκτων αναισθητικών αερίων (οξυγόνο ή άζωτο), ούτε σε άμεσο ρεύμα αέρα (π.χ. άνεμο), σε πηγές θερμότητας ή ψύχους, σε άμεσο ηλιακό φως ή άλλες πηγές φωτός ή ενέργειας, σκόνη, άμμο ή οποιεσδήποτε χημικές ουσίες.

Το SPIRODOC έχει εξεταστεί σε ανεξάρτητο εργαστήριο, το οποίο πιστοποίησε τη συμμόρφωση της συσκευής με τα ευρωπαϊκά πρότυπα ασφαλείας EN 60601-1 και εγγυάται τις απαιτήσεις EMC εντός των ορίων που καθορίζονται στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 60601-1-2. Ελέγχεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της κατασκευής και, ως εκ τούτου, το προϊόν συμμορφώνεται με τα καθορισμένα επίπεδα

ασφαλείας και πρότυπα ποιότητας που καθορίζονται από την οδηγία 93/42/ΕΟΚ του Συμβουλίου για τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα.

Το SPIRODOC λειτουργεί με επαναφορτιζόμενη μπαταρία, η οποία παρακολουθείται κατά τη διάρκεια χρήσης της και σε περίπτωση εξάντλησης της εμφανίζεται ανάλογο μήνυμα στην οθόνη. Η φόρτιση γίνεται με τη χρήση USB, με τον ίδιο τρόπο που συνδέεται και με τον υπολογιστή. Ακόμη, η συσκευή επιτρέπεται να χρησιμοποιείται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το οποίο έχει δηλωθεί από τον κατασκευαστή και για κανονικές συνθήκες χρήσης, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10 έτη. Η οθόνη είναι αφής και οποιαδήποτε λειτουργία επιλέγεται με το άγγιγμα του αντίστοιχου εικονιδίου στην οθόνη.

Η συσκευή που χρησιμοποιούμε μπορεί να υπολογίσει μια σειρά παραμέτρων που σχετίζονται με την αναπνευστική λειτουργία του ανθρώπου, την παρακολούθηση του κορεσμού του οξυγόνου και του καρδιακού παλμού. Η συσκευή έχει μνήμη για περίπου 10.000 σπιρομετρικές δοκιμές ή τουλάχιστον 300 ώρες παρακολούθησης οξυμετρίας. Ειδικότερα, μπορεί να υπολογίσει τουλάχιστον 30 λειτουργικές παραμέτρους συμπεριλαμβάνοντας τις φαρμακοδυναμικές επιδράσεις, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που θα υπήρχαν πριν και μετά τη χορήγηση του φαρμάκου. Η εξέταση της σπιρομέτρησης και της οξυμετρίας πρέπει να πραγματοποιηθούν εντός 20 λεπτών για τη συγκεκριμένη συσκευή.

Συνήθως ο γιατρός "συνταγογραφεί" μια σπιρομετρική εξέταση και είναι υπεύθυνος για την ανάλυση και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται.



Εικόνα 14 – SPIRODOC

8.4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Προτού γίνει η σύνδεση του στον υπολογιστή, απαιτείται η εγκατάσταση ενός λογισμικού, με σκοπό την αναγνώριση του σπιρομέτρου. Το λογισμικό αυτό καλείται winspiroPRO. Στη συσκευασία του SPIRODOC περιλαμβάνεται ένα CD, όπου εισάγεται στον Η/Υ που πρόκειται να χρησιμοποιήσει ο χειριστής της συσκευής για την εγκατάσταση του λογισμικού. Η συσκευή λειτουργεί είτε αυτόνομα, ή με τη χρήση του λογισμικού. Στην πρώτη περίπτωση, ο χειριστής περνά για τον εξεταζόμενο όλες τις απαραίτητες πληροφορίες μέσω του μενού επιλογών από την οθόνη αφής και τα αποτελέσματα που εμφανίζονται μπορούν να μεταφερθούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ή στο κινητό τηλέφωνο μέσω της λειτουργίας Bluetooth. Στην δεύτερη περίπτωση, ενεργοποιείται το σπιρόμετρο και τίθεται σε εκκίνηση η εφαρμογή winspiroPRO που έχουμε ήδη εγκατασταθεί. Η συσκευή σπιρομέτρησης συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω του USB και η εισαγωγή και η εξαγωγή πληροφοριών πραγματοποιείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, καθώς το σπιρόμετρο χρησιμοποιείται μόνο για την εισπνοή και την εκπνοή μέσω της τουρμπίνας.

8.5 ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

Βασική λειτουργία του SPIRODOC είναι η σπιρομέτρηση, η οποία αφορά άτομα όλων των ηλικιών εξαιρουμένων των βρεφών και των νεογνών.

Το SPIRODOC αποτελείται από δύο είδη τουρμπίνων, ένα επαναχρησιμοποιούμενο και ένα μιας χρήσης. Η τουρμπίνα μιας χρήσης κατασκευάζεται από πλαστικό και πρέπει να απορρίπτεται για λόγους υγιεινής μετά από κάθε χρήση σύμφωνα με ορισμένους κανονισμούς. Από την άλλη πλευρά, η επαναχρησιμοποιούμενη τουρμπίνα πρέπει να καθαρίζεται μετά από κάθε εξέταση με σκοπό την αποφυγή μετάδοσης πιθανών μολύνσεων. Ακόμη, τα επιστόμια που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι και αυτά μιας χρήσης είτε από χαρτί ή πλαστικό. Κατά τη χρήση του SPIRODOC γίνεται επιλογή της τουρμπίνας που θα χρησιμοποιηθεί.

8.5.1 Η εξέταση

Σύμφωνα με το datasheet της συσκευής, η μέτρηση της ροής και του όγκου πραγματοποιείται από μια ψηφιακή τουρμπίνα, η οποία μπορεί να είναι είτε επαναχρησιμοποιούμενη ή να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για έναν ασθενή. Η τουρμπίνα αυτή εξασφαλίζει την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα των μετρήσεων, χωρίς να απαιτείται συνεχής βαθμονόμηση του σπιρομέτρου.

Κατά τη διάρκεια της εξέτασης με το SPIRODOC:

- Γίνεται τοποθέτηση της τουρμπίνας στο κατάλληλο περίβλημα μέχρι να φτάσει στο μηχανικό στοπ, περιστρέφοντας τη δεξιόστροφα μέχρι να σταματήσει.
- Εισάγεται το επιστόμιο τουλάχιστον 0.5cm μέσα στην αυλάκωση της τουρμπίνας.
- Πραγματοποιείται η τοποθέτηση των κλιπ μύτης στη μύτη, ώστε να μην βγαίνει ο αέρας από τα ρουθούνια του ασθενούς.
- Το SPIRODOC κρατείται και από τα δύο άκρα με τα δύο χέρια ή όπως κρατείται ένα κινητό τηλέφωνο. Η οθόνη αφής πρέπει να είναι πάντα στραμμένη προς τον ασθενή που κάνει την εξέταση.
- Τοποθετήστε το επάνω μέρος του επιστόμιου στο στόμα του ασθενούς, φροντίζοντας να μην διαρρέει αέρας από τις πλευρές του στόματος.

Η εξέταση αφορά τεστ τύπου FVC, VC, MVV ή με βρογχοδιασταλτικό. Τα τεστ μπορούν να πραγματοποιηθούν αρκετές φορές. Το SPIRODOC αναγνωρίζει τη καλύτερη προσπάθεια και κρατάει τις μεγαλύτερες τιμές των δοκιμών. Σε περιπτώσεις που έχει γίνει λήψη κάποιου φαρμάκου, συνήθως βρογχοδιασταλτικού, γίνεται μια δοκιμή πριν τη λήψη και μια δοκιμή λίγο μετά τη λήψη. Σε κάθε περίπτωση, οι δύο δοκιμές θα πρέπει να γίνουν την ίδια ημέρα για τον ίδιο ασθενή.

8.5.2 Αποτελέσματα

Σύμφωνα με το datasheet της συσκευής, μετά από μια δοκιμή FVC, εμφανίζονται τα αποτελέσματα της σπιρομέτρησης. Η πρώτη οθόνη εμφανίζει μια γραφική παράσταση ροής/όγκου της εξαναγκασμένης ζωτικής χωρητικότητας και όλες τις επιλεγμένες παραμέτρους (με την ποσοστιαία μεταβολή σε σύγκριση με τις προβλεπόμενες τιμές) σε ένα μενού ρυθμίσεων.

Η ερμηνεία της δοκιμασίας σπιρομέτρησης βασίζεται στη δοκιμασία εξαναγκασμένης ζωτικής χωρητικότητας (FVC). Η ερμηνεία της εξέτασης υποδεικνύεται με ένα από τα ακόλουθα μηνύματα:

- Κανονική σπιρομέτρηση
- Ήπια απόφραξη
- Μέτρια απόφραξη
- Μέτρια - σοβαρή απόφραξη.
- Σοβαρή απόφραξη
- Πολύ σοβαρή απόφραξη
- Ήπιος περιορισμός
- Μέτριος περιορισμός
- Μέτριος - σοβαρός περιορισμός
- Σοβαρός περιορισμός
- Πολύ σοβαρός περιορισμός

- Απόφραξη + Περιορισμός

8.6 ΟΞΥΜΕΤΡΙΑ

Σύμφωνα με το datasheet της συσκευής, μια επιπλέον λειτουργία του SPIRODOC είναι η οξυμετρία, η οποία αφορά άτομα όλων των ηλικιών. Οι δοκιμές οξυμετρίας με SPIRODOC είναι τρεις και μη επεμβατικές. Το SPIRODOC προορίζεται για επιτόπιο έλεγχο της συγκέντρωσης του κορεσμού του οξυγόνου και των παλμών ανά λεπτό (BPM – Beats Per Minute), ολονύκτιο έλεγχο ύπνου και/ή συνεχή παρακολούθηση κατά τη διάρκεια βάρδιας έξι λεπτών.

Για την οξυμετρία είναι απαραίτητο η χρήση του κατάλληλου αισθητήρα ανάλογα με την ηλικία του εξεταζόμενου και τη χρήση για την οποία προορίζεται. Ο αισθητήρας οξυμετρίας διαθέτει δύο διόδους εκπομπής φωτός (LED), η μία εκπέμπει στο ορατό φάσμα και η άλλη στο υπέρυθρο. Στη συνέχεια και οι δύο φωτεινές ενδείξεις περνούν μέσα από το δάχτυλο και "διαβάζονται" από τον δέκτη. Καθώς αυτά τα φώτα περνούν μέσα από το δάχτυλο, ένα μέρος του φωτός απορροφάται από το αίμα και από τους μαλακούς ιστούς, σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης. Η ποσότητα του φωτός που απορροφάται, σε κάθε συχνότητα, εξαρτάται από τον βαθμό οξυγόνωσης της αιμοσφαιρίνης στο εσωτερικό του μαλακού ιστού. Αυτή η αρχή μέτρησης εξασφαλίζει ακρίβεια και επαναληψιμότητα, χωρίς να απαιτείται συνεχή βαθμονόμηση. Οι λανθασμένα τοποθετημένοι αισθητήρες οξυμετρίας ή τα κατεστραμμένα καλώδια μπορεί να προκαλέσουν ανακριβείς ενδείξεις, με πιθανό αποτέλεσμα τον τραυματισμό ή τον θάνατο του ασθενούς. Οι αισθητήρες είναι καθαροί, αλλά δεν έχουν απολυμανθεί. Η απολύμανση των αισθητήρων δεν είναι επιτρεπτή, διότι προκαλούν βλάβες στον αισθητήρα. Η MIR δεν συνιστά κάποιον συγκεκριμένο αισθητήρα. Ο γιατρός θα επιλέγει τον αισθητήρα που θεωρεί ότι είναι καταλληλότερος. Η μέτρηση του κορεσμού του οξυγόνου και του ρυθμού παλμών του αίματος γίνεται μέσω του επαναχρησιμοποιούμενου αισθητήρα. Η μέτρηση κατ' αυτόν τον τρόπο γίνεται σε άτομα που ζυγίζουν περισσότερο από 20kg και παραμένουν ακίνητοι σε όλη τη διάρκεια της περιόδου.

8.6.1 Η εξέταση

Σύμφωνα με το datasheet της συσκευής, η επιτόπια εξέταση της οξυμετρίας με SPIRODOC πραγματοποιείται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Ο αισθητήρας συνδέεται με τη συσκευή. Στο βύσμα είναι τυπωμένο ένα βέλος, το οποίο πρέπει να βρίσκεται στην πάνω πλευρά της όψης.
- Επιλέγεται ένα σημείο υψηλής αιμάτωσης, εύκολα προσβάσιμο στον αισθητήρα.
- Εισάγεται το δάχτυλο στον αισθητήρα μέχρι να έρθουν σε επαφή. Ο ανιχνευτής που βρίσκεται στο κάτω μέρος πρέπει να καλύπτεται από το δάχτυλο. Τα δάχτυλα αυτά μπορεί να είναι ο δείκτης ή, διαφορετικά, ο αντίχειρας.
- Ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος με τέτοιο τρόπο ώστε το καλώδιο να ακουμπά το πίσω μέρος του χεριού, ώστε να είναι σταθερή η πηγή φωτός.

8.6.2 Δοκιμές οξυμετρίας

Σύμφωνα με το datasheet της συσκευής, οι δοκιμές οξυμετρίας είναι τρεις. Η μέτρηση %SPO₂, η οξυμετρία κατά τη διάρκεια βάρδιας 6 λεπτών και η οξυμετρία κατά τη διάρκεια του ύπνου.

Η πρώτη μέτρηση - %SPO₂ – ο εξεταζόμενος τοποθετεί τον δείκτη του δαχτύλου στον αισθητήρα οξυμετρίας. Η συσκευή μετρά τη χρονική διάρκεια της εξέτασης, αλλά και το BPM και SpO₂% για κάθε χρονική στιγμή.

Η οξυμετρία κατά τη διάρκεια βάρδιας 6 λεπτών (6MWT – 6 Minutes Walking Test) αποτελείται από τρία στάδια: την ανάπαυση, το περπάτημα και την ξεκούραση. Το οξύμετρο τοποθετείται στο στήθος του ασθενή, προαιρετικά σε κατάλληλη θέση, όπου γίνεται η καταμέτρηση των βημάτων. Στο πρώτο στάδιο, στάδιο της ανάπαυσης, το οποίο πραγματοποιείται για τουλάχιστον δύο λεπτά, παίρνουμε

τιμές για τη διάρκεια χρόνου δοκιμής, την ένδειξη της ποιότητας του σήματος, το ποσοστό του κορεσμού του οξυγόνου και τον καρδιακό παλμό. Στο δεύτερο στάδιο, στάδιο βάδισης, το χρονόμετρο μηδενίζεται και οι μετρήσεις που λαμβάνονται είναι οι ίδιες με του πρώτου σταδίου. Το στάδιο αυτό διαρκεί 6 λεπτά και στη συνέχεια γίνεται μετάβαση στο επόμενο και τελευταίο στάδιο. Το χρονόμετρο μηδενίζεται ξανά και στο στάδιο αυτό συμμετέχει αποκλειστικά ο γιατρός και γίνεται καταγραφή δεδομένων για την κατάσταση υγείας του ασθενή. Από αυτή τη δοκιμή μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για δύσπνοια ή κόπωση του ασθενή, η σοβαρότητα των οποίων εξαρτάται από τον πίνακα Borg.

Ο ολονύκτιος έλεγχος ύπνου χρησιμοποιώντας το SPIRODOC, εκτός από τις μετρήσεις της SPO₂% και BPM, ο γιατρός παίρνει πληροφορίες και για τη θέση του ασθενή κατά τη διάρκεια του ύπνου, τον τύπο κίνησης και τον δείκτη αιμάτωσης της οξυμετρίας σε γραφική μορφή, την εκτίμηση βημάτων σε περίπτωση κίνησης και VMU (Virgin Mobile Unit - αριθμός κινήσεων που πραγματοποίησε ο ασθενής κατά τη διάρκεια της δοκιμής).

9 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

9.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ

Κατά την έναρξη της εξέτασης, όπως έχει προαναφερθεί και στο θεωρητικό μέρος της εργασίας, καταγράφονται κάποιες πληροφορίες για τους εξεταζόμενους, όπως το ονοματεπώνυμο τους, την ημερομηνία γέννησης τους, ύψος, βάρος, φύλο, εθνικότητα. Επιπλέον, πραγματοποιείται μια σειρά ερωτήσεων και στη συνέχεια γίνεται καταγραφή των συμπτωμάτων στη μνήμη του SPIRODOC που τους οδήγησαν να πραγματοποιήσουν αυτή την εξέταση. Συγκεκριμένα:

Πίνακας 10 - Ερωτήσεις SPIRODOC

Ερωτήσεις	Πιθανές απαντήσεις
Φαρμακευτική αγωγή;	ΌΧΙ ΝΑΙ
Παροχή οξυγόνου;	ΌΧΙ ΝΑΙ
Εργάζεσαι;	ΌΧΙ ΝΑΙ
Διάθεση:	ΚΑΚΗ ΚΑΛΗ

Πίνακας 11 - Καταγραφή συμπτωμάτων από τον ιατρό

Συμπτώματα	Απαντήσεις
Κούραση κατά το βάδισμα	ΌΧΙ ΜΕΤΡΙΟ ΠΟΛΥ
Υπνηλία κατά τη διάρκεια της ημέρας	ΌΧΙ ΜΕΤΡΙΟ ΠΟΛΥ
Δυσκολία στην αναπνοή κατά το βάδισμα	ΌΧΙ ΜΕΤΡΙΟ ΠΟΛΥ
Αναστατωμένος ύπνος	ΌΧΙ ΜΕΤΡΙΟ ΠΟΛΥ
Αναφιλητά	ΌΧΙ ΜΕΤΡΙΟ ΠΟΛΥ
Βήχας	ΌΧΙ ΜΕΤΡΙΟ ΠΟΛΥ
Παραγωγή πτυελών	ΌΧΙ ΚΑΘΑΡΑ ΣΚΟΥΡΑ
Αύξηση της ποσότητας πτυελών	ΌΧΙ ΝΑΙ
Δυσφορία στην αναπνοή	ΌΧΙ ΣΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΣΕ ΗΡΕΜΙΑ

Κόπωση	ΌΧΙ ΜΕΤΡΙΟ ΠΟΛΥ
Σφύξιμο στον θώρακα	ΌΧΙ ΜΕΤΡΙΟ ΠΟΛΥ

Σε περίπτωση όπου γίνεται χρήση του λογισμικού μέσω Η/Υ εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή τα ακόλουθα πλαίσια εισαγωγής δεδομένων ασθενή.

The screenshot shows a form titled "Edit / Add patient". It contains several input fields and buttons. The fields are:

- * ID (with an "Auto number" icon)
- * Last name and * First name
- * Date of birth (with a date picker showing 1/15/2024) and Birth place
- * Gender (with male and female icons)
- * Ethnic group (with a dropdown menu showing "Caucasian")
- File path of the patient picture (with a folder icon)

 There are also buttons for "Go to visit" (with a person icon) and "Show additional information" (with a right arrow icon). A red asterisk indicates "Obligatory fields".

Εικόνα 15 – Εισαγωγή βασικών στοιχείων ασθενή

The screenshot shows a form for entering patient symptoms and risks. It includes:

- Smoking status: Radio buttons for "No smoker", "Smoker", and "Ex-smoker".
- Input fields for "Years", "P/Y", and "Qty / Day".
- Buttons for "Symptoms" and "Risks" (with folder icons).
- A "Prescriptions" section with a scrollable list.
- "Other general information" section with sub-sections for "Lung diseases" and "Other diseases" (both with scrollable lists).
- A "Notes" section with a scrollable list.

 The "Updated on" field shows the date 1/15/2024.

Εικόνα 16 - Εισαγωγή συμπτωμάτων

9.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Κατά την επιλογή "SPIRO" από το menu της συσκευής ακολουθούνται οι επόμενες επιλογές: DATA, FVC, VC, MVV, POST.

Με την επιλογή DATA για συγκεκριμένο ασθενή εμφανίζονται τα αποτελέσματα των τριών προηγούμενων μετρήσεων χρονολογικά.

Η επιλογή POST είναι μια εξέταση σπιρομέτρησης μετά την χορήγηση κάποιου φαρμάκου, συνήθως ενός βρογχοδιασταλτικού. Ως αποτελέσματα εμφανίζονται: οι τιμές που σχετίζονται με τη διαδικασία, οι τιμές που σχετίζονται με την καλύτερη δοκιμή PRE που πραγματοποιήθηκε από τον ασθενή την ίδια μέρα και την ποσοστιαία διακύμανση μεταξύ των τιμών PRE και POST.

Οι υπόλοιπες τρεις επιλογές, FVC, VC, MVV αναλύονται παρακάτω.

9.2.1 Μέτρηση FVC

Κατά την επιλογή για μέτρηση της FVC εμφανίζονται στην οθόνη οδηγίες προς τον εξεταζόμενο.

«INSPIRE QUICKLY – EXPIRE FORCEFULLY – INSPIRE FORCEFULLY»

Συνίσταται ο εξεταζόμενος να πάρει μερικές κανονικές αναπνοές πριν ακουμπήσει το επιστόμιο. Στη συνέχεια και αφότου ακουμπήσει, παίρνει μια βαθιά εισπνοή και πρέπει εκπνέει όλον τον αέρα στην τουρμπίνα. Η δοκιμή ολοκληρώνεται μετά από μια ακόμη όσον τον δυνατόν γρηγορότερη εισπνοή γίνεται. Μετά τα 6 δευτερόλεπτα της εκπνοής, η συσκευή κάνει έναν επαναλαμβανόμενο ήχο «beep». Ο ήχος αυτός ενημερώνει τον εξεταζόμενο πως ο ελάχιστος χρόνος εκπνοής έχει επιτευχθεί, όπως συνιστάται από τα κύρια διεθνή αναπνευστικά ιδρύματα.

9.2.2 Μέτρηση VC

Κατά την επιλογή για μέτρηση της VC εμφανίζονται στην οθόνη οδηγίες προς τον εξεταζόμενο.

«BREATH at rest (beep) EXPIRE-INSPIRE slowly all the air»

Για την μέτρηση της VC ο εξεταζόμενος εκτελεί συνεχόμενες ήρεμες αναπνοές. Τη χρονική στιγμή όπου θα ακούσει τον χαρακτηριστικό ήχο «beep» θα πρέπει να εκτελέσει μια πλήρη εκπνοή και στη συνέχεια μια πλήρη εισπνοή.

9.2.3 Μέτρηση MVV

Κατά την επιλογή για μέτρηση της MVV εμφανίζονται στην οθόνη οδηγίες προς τον εξεταζόμενο.

«INSPIRE – EXPIRE for 12s all the air at maximum speed»

Κατά τη μέτρηση αυτή, ο εξεταζόμενος εκτελεί μια σειρά από εξαναγκασμένες εισπνοές και εκπνοές με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Η συνιστώμενη συχνότητα είναι 30 αναπνοές το λεπτό. Μετά τα 12 δευτερόλεπτα η δοκιμή σταματάει.

9.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΞΥΜΕΤΡΙΑΣ

Κατά την επιλογή «OXY» από το menu της συσκευής ακολουθούνται οι επόμενες επιλογές: DATA, %SPO₂, 6MWT και SLEEP.

Με την επιλογή DATA για συγκεκριμένο ασθενή εμφανίζονται τα αποτελέσματα των τριών προηγούμενων μετρήσεων χρονολογικά.

9.3.1 %SPO₂

Κατά την επιλογή %SpO₂ γίνεται μέτρηση του %SpO₂ και του BPM. Στην οθόνη εμφανίζονται οι τιμές των δύο μετρήσεων. Δίνεται η επιλογή για εμφάνιση των διαγραμμάτων αυτών, καθώς και υπολογίζεται και η Baseline SpO₂, Mean SpO₂, Min SpO₂, Max SpO₂, Baseline Pulse Rate, Mean Pulse Rate, Min Pulse Rate, Max Pulse Rate.

9.3.2 6MWT

Κατά την επιλογή 6MWT γίνεται μέτρηση του %SpO₂ και του BPM, καθώς ο εξεταζόμενος βρίσκεται σε κίνηση για 6 συνεχόμενα λεπτά. Στην οθόνη εμφανίζονται οι τιμές των δύο μετρήσεων. Δίνεται η επιλογή για εμφάνιση των διαγραμμάτων αυτών, καθώς και υπολογίζεται και η Baseline SpO₂, Mean SpO₂, Min SpO₂, Max SpO₂, Baseline Pulse Rate, Mean Pulse Rate, Min Pulse Rate, Max Pulse Rate.

9.3.3 SLEEP

Κατά την επιλογή SLEEP γίνεται μέτρηση του %SpO₂ και του BPM, καθώς ο εξεταζόμενος κοιμάται. Στην οθόνη εμφανίζονται οι τιμές των δύο μετρήσεων.

10 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι μετρήσεις αφορούσαν εξεταζόμενους με χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον πίνακα 9. Τα άτομα αυτά, σε αναλογία 9/10, γυμνάζονται εβδομαδιαία, με μέσο όρο προπονήσεων 4 φορές την εβδομάδα.

Πίνακας 12 - Χαρακτηριστικά εξεταζόμενων

i/i	Ηλικιακή Κατάταξη	Ύψος (m)	Βάρος (kg)	Φυλή
1	Νέος	1.74	65	Καυκασιανός
2	Νέος	1.67	62	Καυκασιανός
3	Νέος	1.65	52	Καυκασιανός
4	Νέος	1.63	54	Καυκασιανός
5	Νέος	1.81	75	Καυκασιανός
6	Νέος	1.69	65	Καυκασιανός
7	Νέος	1.68	50	Καυκασιανός
8	Νέος	1.64	55	Καυκασιανός
9	Μεσήλικας	1.76	83	Καυκασιανός
10	Μεσήλικας	1.71	73	Καυκασιανός

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέτρηση της VC και SpO₂ παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες. Για την VC λήφθηκαν τρεις μετρήσεις πριν και μετά την δοκιμή της σπιρομέτρησης, όπου υπολογίστηκε η μέση τιμή – Πίνακας 13 – αλλά και ο μέσος κορεσμός του οξυγόνου της διάρκειας των 5 λεπτών. Επίσης, σημειώθηκε η καλύτερη τιμή των μετρήσεων για κάθε εξεταζόμενο – Πίνακας 14 – και η μέγιστη τιμή του SpO₂ που έφτασε.

Πίνακας 13 - Mean Values

i/l	VC	Πριν		Μετά		
		SpO ₂	VC	SpO ₂	Π% VC	%Π SpO ₂
1	3.65	97.1	3.73	93.6	2.192	-3.60
2	4.85	95.2	5.54	95.3	14.23	0.11
3	3.88	94.3	4.15	94.4	6.959	0.11
4	3.7	98	3.78	95.4	2.162	-2.65
5	4.53	99	5	97.3	10.38	-1.71
6	5.16	93.4	5.38	93.6	4.196	0.21
7	3.14	98.1	3.19	96.1	1.485	-2.03
8	3.97	97	4.02	93.1	1.345	-4.02
9	4.5	94	6.72	96.4	49.44	2.55
10	4.01	97.3	4.1533	97.8	3.661	0.51

Πίνακας 14 - Best Values

i/l	Πριν		Μετά		Π% VC	%Π SpO ₂
	VC	SpO ₂	VC	SpO ₂		
1	3.88	98	4.18	99	7.73	1.02
2	5.74	97	5.75	99	0.17	2.06
3	4.5	97	4.59	99	2.0	2.06
4	3.7	99	3.83	97	3.51	-2.02
5	4.8	99	5.17	99	7.71	0
6	5.29	95	5.43	97	2.65	2.11
7	3.28	99	3.22	99	-1.83	0
8	3.98	99	4.08	97	2.51	-2.02
9	4.78	95	6.96	98	45.61	3.16
10	4.14	99	4.17	98	0.72	-1.01

Ακολούθως, υπολογίστηκε στον Πίνακα 15, η μέση τιμή της παραμέτρου VC, πριν και μετά την προθέρμανση των δυτών, η τυπική απόκλιση, η μέση τιμή των μέγιστων μετρήσεων των ατόμων, αλλά και το ποσοστό αλλαγής της VC μετά την προθέρμανση. Στον Πίνακα 16 υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες τιμές για τον SpO₂.

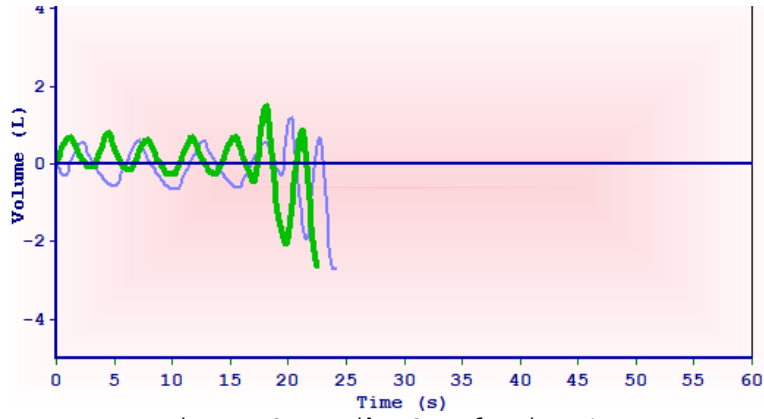
Πίνακας 15 - Συνοπτικός Πίνακας Μετρήσεων VC

VC	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Καλύτερη Τιμή	Π%
Πριν την προθέρμανση	4.14	0.58	4.41	10.33
Μετά την προθέρμανση	4.57	1.01	4.74	

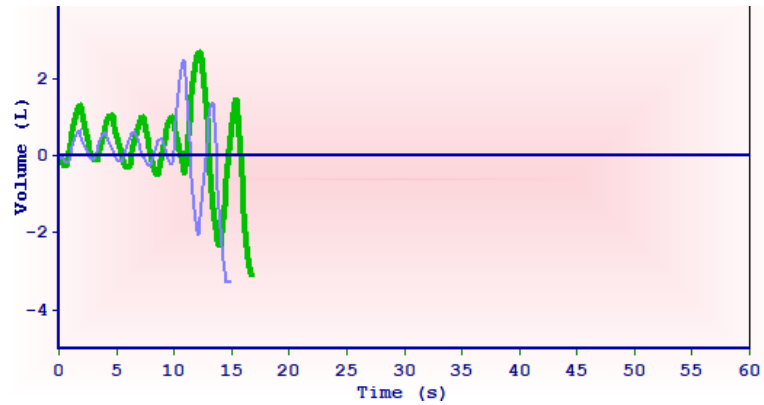
Πίνακας 16 - Συνοπτικός Πίνακας Μετρήσεων SpO₂

SpO ₂	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Μέγιστη Τιμή	Π%
Πριν την προθέρμανση	96.34	1.86	97.7	-1.08
Μετά την προθέρμανση	95.3	1.53	98.2	

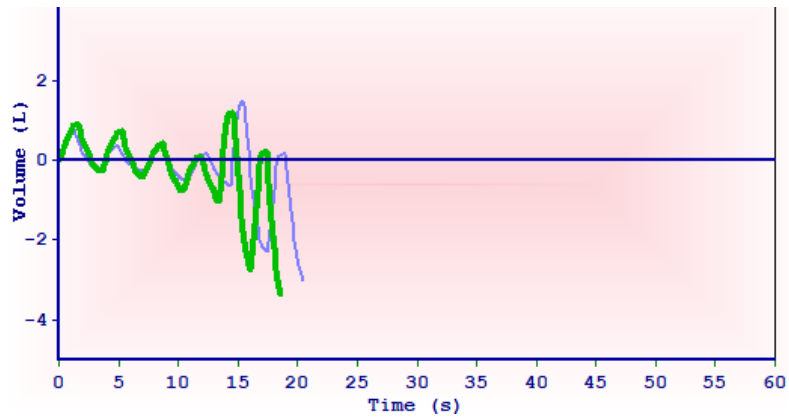
Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται η καμπύλη της VC για κάθε εξεταζόμενο με i=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 αντίστοιχα. Με πράσινο χρώμα, σε κάθε περίπτωση, απεικονίζεται η καμπύλη μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου, ενώ με τα υπόλοιπα χρώματα η αρχική καμπύλη.



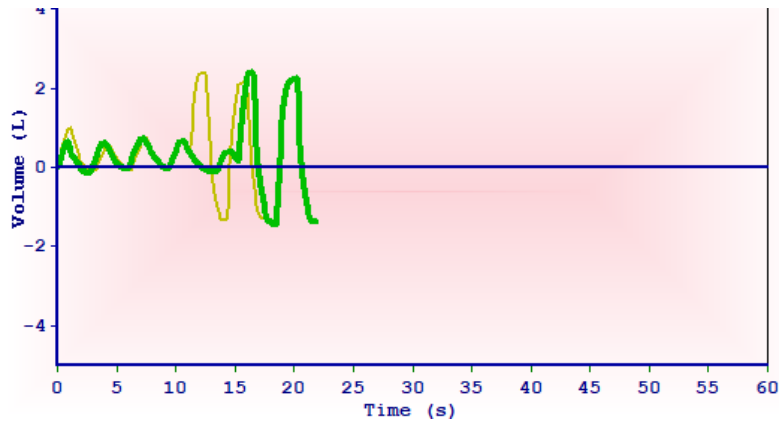
Διάγραμμα 8 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=1$



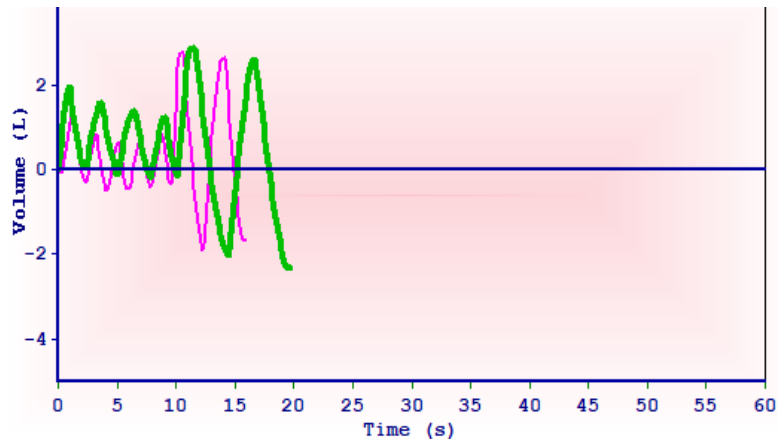
Διάγραμμα 9 – Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=2$



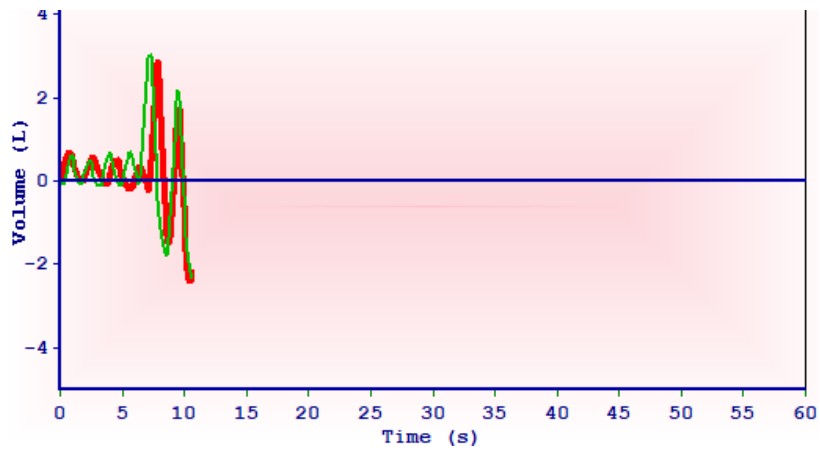
Διάγραμμα 10 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=3$



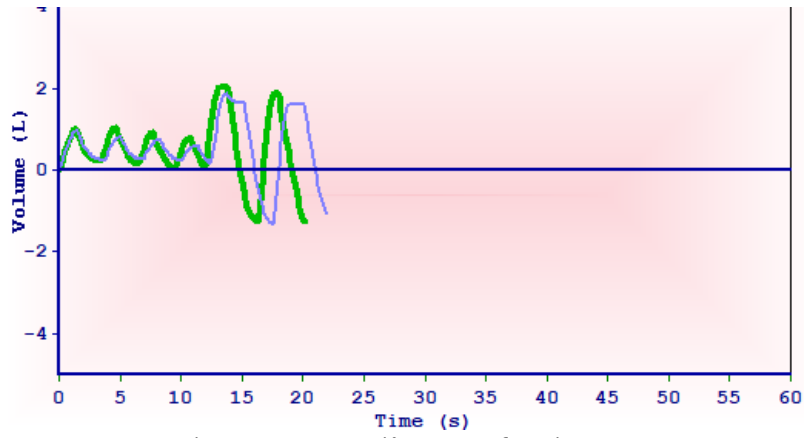
Διάγραμμα 11 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=4$



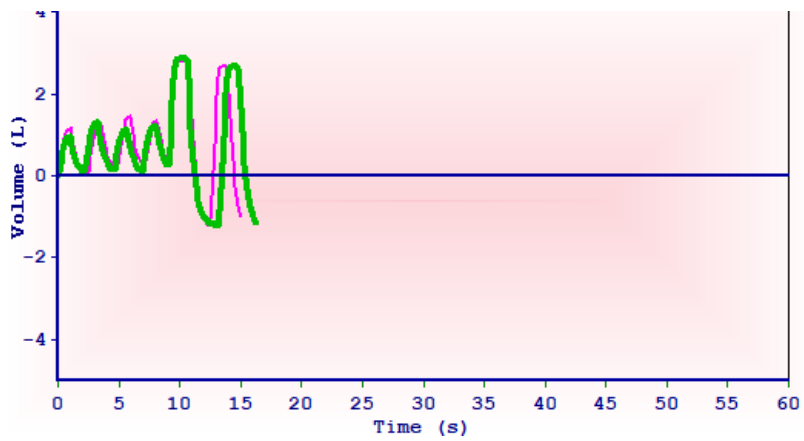
Διάγραμμα 12 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=5$



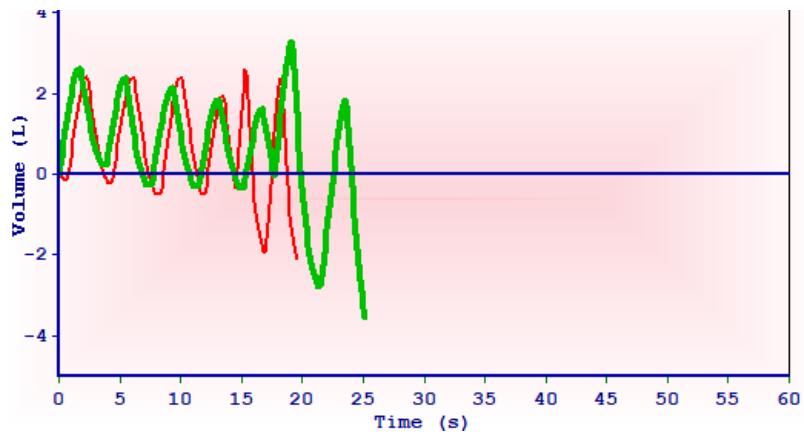
Διάγραμμα 13 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=6$



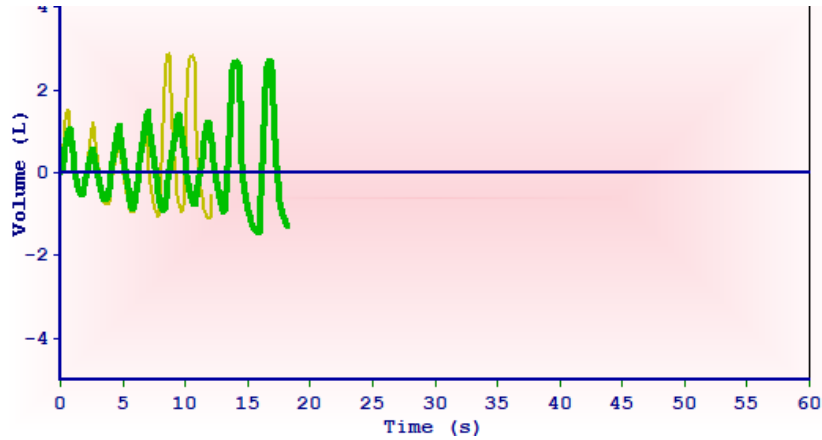
Διάγραμμα 14 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=7$



Διάγραμμα 15 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=8$



Διάγραμμα 16 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=9$



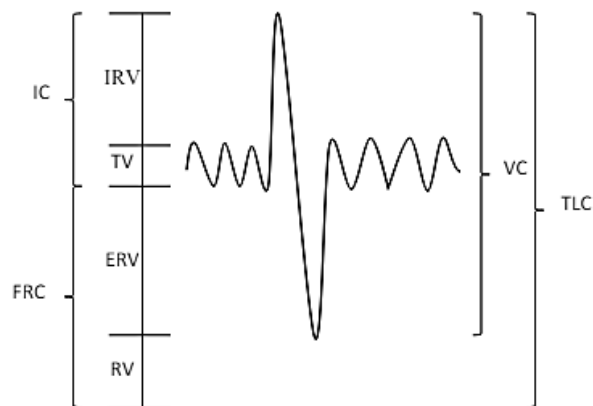
Διάγραμμα 17 - Καμπύλη VC για εξεταζόμενο $i=10$

11 ΣΥΖΗΤΗΣΗ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

11.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ζωτική χωρητικότητα – VC

Σκοπός της εργασίας είναι να διαπιστωθούν οι αλλαγές στην VC και τον SpO_2 πριν και μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου προθέρμανσης που κατασκευάστηκε. Η αρχική υπόθεση (παράγραφος 8.5) αφορά την αύξηση της VC και κατά συνέπεια την μείωση της RV με την προθέρμανση των ελεύθερων δυτών με αερόβιες ασκήσεις [6]. Πρακτικά η VC, όπως έχουμε ήδη προαναφερθεί, αποτελεί τη μεταβολή του όγκου στο στόμα μεταξύ των θέσεων της πλήρους εισπνοής και της πλήρους εκπνοής. Η VC αθροιστικά με τον RV υπολογίζουν την TLC [107]. Η TLC είναι σταθερή για κάθε εξεταζόμενο. Ως επακόλουθο, ο RV και η VC να είναι αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη. Από την καμπύλη της VC υπολογίζεται ο RV, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 17 [59].



Εικόνα 17 - Μέτρηση Χωρητικότητας Πνεύμονα

Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις (Διάγραμμα 8 έως Διάγραμμα 17) παρατηρείται πως η πράσινη καμπύλη (καμπύλη μετά τις αερόβιες διατάσεις) βρίσκεται πιο χαμηλά συγκριτικά με την δεύτερη καμπύλη. Συνεπώς, ο όγκος RV μειώνεται σε κάθε περίπτωση. Καθώς $VC+RV$ ισούται με ένα

σταθερό μέγεθος (την TLC) και ο RV σε κάθε περίπτωση μειώνεται, έχουμε αύξηση της VC σε κάθε περίπτωση. Άρα, η υπόθεση επαληθεύεται.

Εκτός από ποιοτικά, η υπόθεση που τέθηκε επαληθεύεται και ποσοτικά βάση των τιμών της καμπύλης. Συγκεκριμένα, σε πληθυσμό των 10 ατόμων υπολογίστηκε μια μέση τιμή για την VC 4.14 ± 0.58 . Μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου προθέρμανσης, για τα ίδια άτομα υπολογίστηκε η VC 4.56 ± 1.01 . Βάση των τιμών αυτών παρατηρείται μια αύξηση στην VC σε ποσοστό 10.3%. Αναλυτικότερα, για όλους τους εξεταζόμενους, εκτός του ατόμου με $i=9$, παρατηρείται αύξηση της VC που κυμαίνεται από 1.35% έως 14.23% με μέσο ποσοστό 5.178%. Όμως, για τον εξεταζόμενο $i=9$ παρατηρείται σημαντική αύξηση της VC με ποσοστό 49.44%. Σε αυτή την περίπτωση, η τιμή μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο εξεταζόμενος $i=9$ έχει χρόνια ενασχόληση με την ελεύθερη κατάδυση, συγκριτικά με τα υπόλοιπα μέλη, οπότε οι ασκήσεις αναπνοής του κατά την προθέρμανση να ήταν περισσότερο αποτελεσματικές. Παράλληλα, στον Πίνακα 12, όπου παρουσιάζονται οι βέλτιστες τιμές της VC ανά το άτομο παρατηρείται πως συνολικά η βέλτιστη τιμή της VC ανά εξεταζόμενο βρίσκεται σε κάθε περίπτωση, εκτός του ατόμου με $i=7$, μετά την προθέρμανση που εκτελέστηκε. Ωστόσο, οι δύο τιμές, πριν και μετά την προθέρμανση ήταν κοντά σχετικά με ποσοστό απόκλισης -1.829%. Βέβαια, για τον κάθε εξεταζόμενο πάρθηκαν τρεις μετρήσεις VC πριν και μετά και έτσι για το αναφερόμενο άτομο παρατηρείται πως συνολικά και οι 3 τιμές ήταν υψηλότερες από τις 3 τιμές πριν την προθέρμανση, καθώς η μέση τιμή τους παρουσιάζει αύξηση +1.485%.

Κορεσμός Οξυγόνου – SpO₂

Στην παρούσα έρευνα, όσον αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον κορεσμό του οξυγόνου πριν και μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου παρατηρήθηκε μια μέση μείωση κατά -1.08%. Αναλυτικότερα σε 5/10 άτομα ο SpO₂ μειώθηκε κατά -2.81%, 3/10 άτομα δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά και σε 2/10 άτομα αύξηση κατά 1.5%.

Σε προηγούμενες μελέτες έχει αποδειχθεί πως η αερόβια άσκηση στους αθλητές προκαλεί μείωση του κορεσμού του οξυγόνου. Παραδείγματος χάριν, συγκεκριμένα σε μελέτη 36 υγιών αθλητών παρατηρήθηκε μείωση σε ποσοστό κοντά στο -2.7% στο μεγαλύτερο αριθμό των συμμετεχόντων [108]. Παράλληλα υπάρχουν δημοσιεύσεις όπου αποδεικνύεται ότι η αερόβια άσκηση δεν αλλάζει ιδιαίτερα τον ποσοστό του κορεσμού το οξυγόνου. Σε μια έρευνα όπου συμμετείχαν 23 άτομα αποδείχθηκε ότι ο κορεσμός του οξυγόνου έπειτα από αερόβια άσκηση παρέμεινε σχετικά σταθερός. Συγκεκριμένα, πριν την προθέρμανση η μέση τιμή του κορεσμού ήταν 97.52 και μετά την προθέρμανση ήταν στα 97.22, συνεπώς υπήρχε μια μείωση -0.003%, σχεδόν αμελητέα [109].

Συνεπώς, τα αποτελέσματα που προκύπτουν στην παρούσα εργασία, για τον κορεσμό του οξυγόνου, μετά την προθέρμανση συμφωνούν με έρευνες που υποστηρίζουν τη μείωση του SpO₂ μετά την αερόβια άσκηση, καθώς στο μεγαλύτερο μέρος του πλήθους που εξετάστηκε υπήρχε μείωση και συνολικά η μέση τιμή διαφοράς του κορεσμού ανέρχεται σε ποσοστό -1.08%.

11.2 ΣΥΝΟΨΗ

Συμπερασματικά, η σπιρομέτρηση και οι σπιρομετρικοί συντελεστές αποτελούν σημαντικό εργαλείο εξέτασης, διάγνωσης και γενικότερης μελέτης λειτουργιών του πνεύμονα. Ειδικότερα εξετάστηκε η σημασία της προθέρμανσης των δυτών πριν από μια εφαρμογή καταδυτικής δραστηριότητας. Έτσι, σύμφωνα με ένα πρωτόκολλο προθέρμανσης που τροποποιήθηκε ανάλογα το ερευνητικό μας ενδιαφέρον, όπου περιέλαβε αερόβιες ασκήσεις και ασκήσεις αναπνοής, για τους ελεύθερους δύτες και την εφαρμογή του, ενισχύεται η υπόθεση: Η αερόβια άσκηση διατείνει τον θώρακα και παρουσιάζεται αύξηση της ζωτικής χωρητικότητας. Σύμφωνα με τον κορεσμό του οξυγόνου υπάρχουν

διάφορες μελέτες που υποστηρίζουν τόσο τη μείωση του μετά την άσκηση, όσο και τη διατήρηση του σε σταθερό επίπεδο. Η εργασία αυτή τεκμηριώνει την ελαφριά μείωση του.

Εν κατακλείδι, η παρουσία της αερόβιας άσκησης πριν την εφαρμογή μιας καταδυτικής δραστηριότητας επιδρά επωφελώς στην ομαλή ολοκλήρωση της και την αποφυγή παρουσίας διάφορων επιπλοκών.

12 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ

- [1] K. Tetzlaff, F. Lemaître, C. Burgstahler, J. A. Luetkens, and L. Eichhorn, “Going to Extremes of Lung Physiology—Deep Breath-Hold Diving,” *Front. Physiol.*, vol. 12, Jul. 2021, doi: 10.3389/fphys.2021.710429.
- [2] J. R. Fitz-Clarke, “Breath-Hold Diving,” *Compr. Physiol.*, vol. 8, no. 2, pp. 585–630, Mar. 2018, doi: 10.1002/cphy.c160008.
- [3] Z. Dujic, Z. Valic, and A. O. Brubakk, “Beneficial Role of Exercise on SCUBA Diving,” *Exerc. Sport Sci. Rev.*, vol. 36, no. 1, p. 38, Jan. 2008, doi: 10.1097/jes.0b013e31815ddb02.
- [4] P. F. McCulloch, B. W. Gebhart, and J. A. Schroer, “Large Lung Volumes Delay the Onset of the Physiological Breaking Point During Simulated Diving,” *Front. Physiol.*, vol. 12, p. 731633, 2021, doi: 10.3389/fphys.2021.731633.
- [5] S. Zurak, I. Belcic, and A. Marosevic, “Differences in Vital Capacity and Length of a Dive in Dynamics with and without Glossopharyngeal Insufflation in Breath-hold Divers,” *J. Anthropol. Sport Phys. Educ.*, vol. 3, no. 2, pp. 3–7, 2019.
- [6] L. B. Villegas, “Increase Lung Capacity for Freediving with Breathwork.” Accessed: Apr. 18, 2024. [Online]. Available: <https://breathlessexpeditions.com/5-tips-to-increase-breath-hold-and-lung-flexibility/>
- [7] M. Konarski, R. Klos, A. Nitsch-Osuch, K. Korzeniewski, and E. Prokop, “Lung Function in Divers,” in *Neurobiology of Respiration*, M. Pokorski, Ed., Dordrecht: Springer Netherlands, 2013, pp. 221–227. doi: 10.1007/978-94-007-6627-3_32.
- [8] T. G. Liou and R. E. Kanner, “Spirometry,” *Clin. Rev. Allergy Immunol.*, vol. 37, no. 3, pp. 137–152, Dec. 2009, doi: 10.1007/s12016-009-8128-z.
- [9] H.-C. Park, J.-Y. Hwang, and K.-J. Cho, “A Study on Actual Condition of Diving Safety before Scuba Diving and during Scuba Diving According to Scuba Diver’s Characteristics,” *J. Korea Acad.-Ind. Coop. Soc.*, vol. 16, no. 2, pp. 1216–1226, 2015, doi: 10.5762/KAIS.2015.16.2.1216.
- [10] G. Ferretti, “Extreme human breath-hold diving,” *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 84, no. 4, pp. 254–271, Apr. 2001, doi: 10.1007/s004210000377.
- [11] G. Bosco *et al.*, “Arterial Blood Gas Analysis in Breath-Hold Divers at Depth,” *Front. Physiol.*, vol. 9, Nov. 2018, doi: 10.3389/fphys.2018.01558.
- [12] I. de Mir Messa, O. Sardón Prado, H. Larramona, A. Salcedo Posadas, and J. R. Villa Asensi, “Body plethysmography (i): Standardisation and quality criteria,” *An. Pediatria Engl. Ed.*, vol. 83, no. 2, p. 136.e1-136.e7, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.anpede.2015.06.013.
- [13] Π. Παναγιώτου, “Διαφραγματικές Αναπνοές,” *ortsa.gr*, 2017. [Online]. Available: <https://www.ortsa.gr/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%80%CE%BD%CE%BF%CE%AD%CF%82/>
- [14] E. Schagatay, “Size Matters: Spleen and Lung Volumes Predict Performance in Human Apneic Divers,” *Front. Physiol.*, vol. 3, Jun. 2012, doi: 10.3389/fphys.2012.00173.

- [15] M. H. Linér, “Cardiovascular and pulmonary responses to breath-hold diving in humans,” *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, vol. 620, pp. 1–32, Jan. 1994.
- [16] A. A. Bove, “Diving Medicine,” *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, vol. 189, no. 12, pp. 1479–1486, Jun. 2014, doi: 10.1164/rccm.201309-1662CI.
- [17] M. Hamilton-Farrell and A. Bhattacharyya, “Barotrauma,” *Injury*, vol. 35, no. 4, pp. 359–370, Apr. 2004, doi: 10.1016/j.injury.2003.08.020.
- [18] C. E. Efthymiou Christos, “dive-corner: Η διαλυτότητα των αερίων (νόμος του Henry),” dive-corner. Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://christos-efthymiou.blogspot.com/2012/03/henry.html>
- [19] D. M. Barratt, P. G. Harch, and K. V. Meter, “Decompression Illness in Divers: A Review of the Literature,” *The Neurologist*, vol. 8, no. 3, p. 186, May 2002.
- [20] H. Karakaya, S. Aksu, S. M. Egi, S. Aydin, and A. Uslu, “Effects of Hyperbaric Nitrogen Narcosis on Cognitive Performance in Recreational air SCUBA Divers: An Auditory Event-related Brain Potentials Study,” *Ann. Work Expo. Health*, vol. 65, no. 5, pp. 505–515, Jun. 2021, doi: 10.1093/annweh/wxaa132.
- [21] O. E. Van Der Aur, R. J. Kellar, and E. S. Brinton, “The effect of exercise during decompression from increased barometric pressures on the incidence of decompression sickness in man.” Accessed: May 28, 2024. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD0627907>
- [22] Ž. Dujčić *et al.*, “Aerobic exercise before diving reduces venous gas bubble formation in humans,” *J. Physiol.*, vol. 555, no. 3, pp. 637–642, 2004, doi: 10.1113/jphysiol.2003.059360.
- [23] J. D. Pleil, M. A. G. Wallace, M. D. Davis, and C. M. Matty, “The physics of human breathing: flow, timing, volume, and pressure parameters for normal, on-demand, and ventilator respiration,” *J. Breath Res.*, vol. 15, no. 4, p. 042002, Jun. 2021, doi: 10.1088/1752-7163/ac2589.
- [24] nijole, “PPT - The Respiratory System PowerPoint Presentation, free download - ID:3291389,” SlideServe. Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.slideserve.com/nijole/the-respiratory-system>
- [25] E. P. Wildmaier, H. Raff, and K. T. Strang, *Vander’s Φυσιολογία του ανθρώπου: Οι μηχανισμοί του σώματος*, 2η ελληνική έκδοση. McGraw-Hill Companies, Inc, 2014.
- [26] Ι. Δημητρούλης, *Φυσιολογία του Αναπνευστικού Συστήματος*, Ελληνική Πνευμονολογική Εταιρεία. Αθήνα, 2006. [Online]. Available: https://www.hts.org.gr/assets/files/biblia_epe/Fysiologia_Anapneystikou.pdf
- [27] Σ. Παπαζέκου, “Η νοσηλευτική στη φροντίδα μετεγχειρητικών επιπλοκών στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα,” 2015, Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/handle/123456789/4238>
- [28] Ε. Γάτσου, “Διφασική ροή σε κεκλιμένο κλειστό αγωγό,” Thesis, Γάτσου Ευαγγελία, 2018. Accessed: Jun. 01, 2024. [Online]. Available: <https://dspace.uowm.gr/xmlui/handle/123456789/1017>
- [29] Τ. Κουλίδου, *Η Φυσιολογία του Αναπνευστικού Συστήματος στην Ηρεμία και Κατά τη Διάρκεια της Άσκησης*. 2014.
- [30] Χ. Λενης and Α. Μαυρομιχαλης, “Πειραματική Παραμετρική Μελέτη Ρευστοδυναμικού Πεδίου εντός Λαγόνιας αρτηρίας, υγειούς και παθολογικής.,” Dec. 2020, Accessed: Jun. 01, 2024. [Online]. Available: <http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/handle/123456789/8887>
- [31] Α. Πανσεληνάς, “Κατασκευή συστήματος ηλεκτροκαρδιογράφου με τη χρήση προγραμματιζόμενου μικροελεγκτή,” *Creation of an electrocardiograph system using a programmable microcontroller*, Oct. 2022, doi: 10.26265/polynoe-3050.
- [32] Δ. Αγναντής, “Μηχανική Υποστήριξη Καρδιάς,” bachelorThesis, 2010. Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/3310>

- [33] J. G. Betts *et al.*, “19.1 Heart Anatomy - Anatomy and Physiology | OpenStax.” Accessed: Jun. 01, 2024. [Online]. Available: <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology-2e/pages/19-1-heart-anatomy>
- [34] J. G. Betts *et al.*, “19.3 Cardiac Cycle - Anatomy and Physiology | OpenStax.” Accessed: Jun. 01, 2024. [Online]. Available: <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology-2e/pages/19-3-cardiac-cycle>
- [35] Γ. Η. Χειλάρης, “Συστήματα παρακολούθησης ασθενών,” bachelorThesis, 2011. Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/4578>
- [36] J. Petersson and R. W. Glenny, “Gas exchange and ventilation–perfusion relationships in the lung | European Respiratory Society.” Accessed: Jul. 13, 2023. [Online]. Available: <https://erj.ersjournals.com/content/44/4/1023.long>
- [37] P. H. Quanjer, G. J. Tammeling, J. E. Cotes, O. F. Pedersen, R. Peslin, and J.-C. Yernault, “Lung volumes and forced ventilatory flows,” *Eur. Respir. J.*, vol. 6, no. Suppl 16, pp. 5–40, Mar. 1993, doi: 10.1183/09041950.005s1693.
- [38] Α. Γ. Αντωνίου and Ι. Γ. Σιώζιος, “Υπολογισμός πτώσης πίεσης στον πνεύμονα,” bachelorThesis, 2017. Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <http://ir.lib.uth.gr/xmlui/handle/11615/47165>
- [39] T. Matusевич, “Lungs anatomy. Medical educational diagram isolated on white...,” iStock. Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.istockphoto.com/vector/lungs-anatomy-medical-educational-diagram-isolated-gm1849775350-551857626>
- [40] E. N. Marieb and K. Hoehn, *Human Anatomy & Physiology*. Pearson Education, 2007.
- [41] E. R. Weibel, “Lung morphometry: the link between structure and function,” *Cell Tissue Res.*, vol. 367, no. 3, Art. no. 3, Mar. 2017.
- [42] B. Delgado and Bajaj T, “Physiology, Lung Capacity,” *Europe PMC*, 2019. [Online]. Available: <https://europepmc.org/article/nbk/nbk541029>
- [43] J. e. Cotes, “Lung Volumes,” in *Cotes’ Lung Function*, John Wiley & Sons, Ltd, 2020, pp. 177–185. doi: 10.1002/9781118597309.ch11.
- [44] G. L. Hall *et al.*, “Official ERS technical standard: Global Lung Function Initiative reference values for static lung volumes in individuals of European ancestry,” *Eur. Respir. J.*, vol. 57, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.1183/13993003.00289-2020.
- [45] Δ. Μακρής *et al.*, “Βασικές αρχές και παράμετροι του μηχανικού αερισμού,” Nov. 2023, Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/11360>
- [46] L. Škof and P. Berndtson, *Atmospheres of Breathing*. SUNY Press, 2018.
- [47] B. M. Borg and B. R. Thompson, “The measurement of lung volumes using body plethysmography: a comparison of methodologies,” *Respir. Care*, vol. 57, no. 7, pp. 1076–1083, Jul. 2012, doi: 10.4187/respcare.01444.
- [48] G. J. Gibson, “Spirometry: then and now,” *Breathe*, vol. 1, no. 3, pp. 206–216, Mar. 2005, doi: 10.1183/18106838.0103.206.
- [49] T. L. Petty, “John Hutchinson’s Mysterious Machine Revisited,” *Chest*, vol. 121, no. 5, Supplement, pp. 219S–223S, May 2002, doi: 10.1378/chest.121.5_suppl.219S.
- [50] E. A. Spriggs, “The history of spirometry,” *Br. J. Dis. Chest*, vol. 72, pp. 165–180, Jan. 1978, doi: 10.1016/0007-0971(78)90038-4.
- [51] D. P. Johns, J. A. E. Walters, and E. H. Walters, “Diagnosis and early detection of COPD using spirometry,” *J. Thorac. Dis.*, vol. 6, no. 11, pp. 1557–1569, Nov. 2014, doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.08.18.
- [52] P. J. Bishop, “A bibliography of John Hutchinson,” *Med. Hist.*, vol. 21, no. 4, pp. 384–396, Oct. 1977, doi: 10.1017/S0025727300039028.

- [53] A. Kouri, R. J. Dandurand, O. S. Usmani, and C.-W. Chow, “Exploring the 175-year history of spirometry and the vital lessons it can teach us today,” *Eur. Respir. Rev.*, vol. 30, no. 162, Dec. 2021, doi: 10.1183/16000617.0081-2021.
- [54] C. P. Criée *et al.*, “Body plethysmography – Its principles and clinical use,” *Respir. Med.*, vol. 105, no. 7, pp. 959–971, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.rmed.2011.02.006.
- [55] L. Mirchandani, “Body Plethysmography,” vol. 90, 65 vols., India: National College of Chest Physicians, 2022, p. 90. [Online]. Available: <https://storage.unitedwebnetwork.com/files/714/1a9a31bdb4b571b3f64af3d3fc34a3c7.pdf#page=65>
- [56] A. B. DuBois, S. Y. Botelho, and J. H. Comroe, “A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: Values in normal subjects and in patients with respiratory disease 1,” *J. Clin. Invest.*, vol. 35, no. 3, pp. 327–335, Mar. 1956.
- [57] V. C. Moore, “Spirometry: step by step,” *Breathe*, vol. 8, no. 3, pp. 232–240, Mar. 2012, doi: 10.1183/20734735.0021711.
- [58] Ν. Σιώπης, “Ανάπτυξη συστήματος μέτρησης λειτουργίας των πνευμόνων,” Thesis, Σιώπης Νικόλαος, 2018. Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: <https://dspace.uowm.gr/xmlui/handle/123456789/2306>
- [59] Δ. Λυκούρας and Ό. Λάγιου, “Λειτουργικός έλεγχος αναπνοής - Σπιρομέτρηση,” Jan. 2023, Accessed: Oct. 03, 2023. [Online]. Available: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/9019>
- [60] J. David P. and R. Pierce, “Spirometry: The measurement and Interpretation of Ventilatory in Clinical Practice,” presented at the The Thoracic Society of Australia and New Zealand, 2008. [Online]. Available: <http://www.docstars-doctors.com/2.%20SPIROMETRY%20GUIDE%20-%20VERY%20GOOD.pdf>
- [61] D. R. Rutala, W. A. Rutala, D. J. Weber, and C. A. Thomann, “Infection Risks Associated with Spirometry,” *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, vol. 12, no. 2, pp. 89–92, Feb. 1991, doi: 10.2307/30147050.
- [62] M. E. Valentinuzzi and R. Johnston, “Spirometry: A Historical Gallery Up to 1905 [Retrospectroscope],” *IEEE Pulse*, vol. 5, no. 1, pp. 73–76, Jan. 2014, doi: 10.1109/MPUL.2013.2289511.
- [63] Ι. Χρήστου, “Σύγκριση αναπνευστικών τεχνικών στην χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια.,” *Comparison of Respiratory Techniques in chronic obstructive pulmonary disease*, 2021, Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: <http://repository.library.teimes.gr/xmlui/handle/123456789/9025>
- [64] B. R. Celli, “The Importance of Spirometry in COPD and Asthma: Effect on Approach to Management,” *Chest*, vol. 117, no. 2, Supplement, pp. 15S-19S, Feb. 2000, doi: 10.1378/chest.117.2_suppl.15S.
- [65] A. C. Ayuk, S. N. Uwaezuoke, C. I. Ndukwu, I. K. Ndu, K. K. Iloh, and C. V. Okoli, “Spirometry in Asthma Care: A Review of the Trends and Challenges in Pediatric Practice,” *Clin. Med. Insights Pediatr.*, vol. 11, p. 1179556517720675, 2017, doi: 10.1177/1179556517720675.
- [66] M. Gallucci, P. Carbonara, A. M. G. Pacilli, E. di Palmo, G. Ricci, and S. Nava, “Use of Symptoms Scores, Spirometry, and Other Pulmonary Function Testing for Asthma Monitoring,” *Front. Pediatr.*, vol. 7, 2019, Accessed: Oct. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fped.2019.00054>
- [67] R. Booker, “Best practice in the use of spirometry,” *Nurs. Stand.*, vol. 19, no. 48, pp. 49–55, Aug. 2005.
- [68] J. Feher, “6.2 - Lung Volumes and Airway Resistance,” in *Quantitative Human Physiology*, J. Feher, Ed., Boston: Academic Press, 2012, pp. 563–571. doi: 10.1016/B978-0-12-382163-8.00061-X.
- [69] F. de Jongh, “Spirometers,” *Breathe*, vol. 4, no. 3, pp. 251–254, Mar. 2008.

- [70] C. D. M. Drew and D. T. D. Hughes, "Characteristics of the Vitalograph spirometer," *Thorax*, vol. 24, no. 6, pp. 703–706, Nov. 1969, doi: 10.1136/thx.24.6.703.
- [71] Σ. Μπακιρτζή, "Η σχέση μυϊκής μάζας, μυϊκής δύναμης, ταχύτητας βάδισης και φυσικής δραστηριότητας: έρευνα σε φοιτητικό πληθυσμό," *The relationship between muscle mass, muscle strength, gait speed and physical activity: a research among students*, 2019, Accessed: Dec. 21, 2023. [Online]. Available: <http://repository.library.teimes.gr/xmlui/handle/123456789/7949>
- [72] S. Fisher, "Fitness Mart Dry Spirometer Spiralpette," Fisher Scientific part of Thermo Fisher Scientific. Accessed: May 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.fishersci.com/shop/products/dry-spirometer-spiralpette/NC0370556>
- [73] R. E. Nye, "Closed circuit method for measuring uneven ventilation," *J. Appl. Physiol.*, vol. 16, no. 6, pp. 1109–1115, Nov. 1961, doi: 10.1152/jappl.1961.16.6.1109.
- [74] M. R. Miller, O. F. Pedersen, and T. Sigsgaard, "Spirometry with a Fleisch pneumotachograph: upstream heat exchanger replaces heating requirement," *J. Appl. Physiol.*, vol. 82, no. 4, pp. 1053–1057, Apr. 1997, doi: 10.1152/jappl.1997.82.4.1053.
- [75] R. H. Brown and W. Mitzner, "Effect of lung inflation and airway muscle tone on airway diameter in vivo," *J. Appl. Physiol.*, vol. 80, no. 5, pp. 1581–1588, May 1996, doi: 10.1152/jappl.1996.80.5.1581.
- [76] N. F. Macia, "Pneumotachometers," in *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*, John Wiley & Sons, Ltd, 2006. doi: 10.1002/0471732877.emd207.
- [77] A. B. Lumb and C. R. Thomas, *Nunn's Applied Respiratory Physiology eBook: Nunn's Applied Respiratory Physiology eBook*. Elsevier Health Sciences, 2020.
- [78] E. M. Sivieri, K. Dysart, and S. Abbasi, "74 - Evaluation of Pulmonary Function in the Neonate," in *Fetal and Neonatal Physiology (Fifth Edition)*, R. A. Polin, S. H. Abman, D. H. Rowitch, W. E. Benitz, and W. W. Fox, Eds., Elsevier, 2017, pp. 754-765.e3. doi: 10.1016/B978-0-323-35214-7.00074-3.
- [79] P. Zhou, L. Yang, and Y.-X. Huang, "A Smart Phone Based Handheld Wireless Spirometer with Functions and Precision Comparable to Laboratory Spirometers," *Sensors*, vol. 19, no. 11, Art. no. 11, Jan. 2019, doi: 10.3390/s19112487.
- [80] G. Brooker, "A Telespirometer for the Developing World," *Electronics*, vol. 9, p. 275, Feb. 2020, doi: 10.3390/electronics9020275.
- [81] S. Al-Rjoub, H. Arar, and M. Tarayrah, "Designing spirometer using turbine sensing devices," Jun. 2007, Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: <http://scholar.ppu.edu/handle/123456789/7091>
- [82] D. Trachsel, T. O. Erb, F. J. Frei, and J. Hammer, "Use of continuous positive airway pressure during flexible bronchoscopy in young children," *Eur. Respir. J.*, vol. 26, no. 5, pp. 773–777, Nov. 2005, doi: 10.1183/09031936.05.00029405.
- [83] H. K. Sah, E. F. Akcil, Y. Tunali, H. Vehid, and O. K. Dilmen, "Efficacy of continuous positive airway pressure and incentive spirometry on respiratory functions during the postoperative period following supratentorial craniotomy: A prospective randomized controlled study," *J. Clin. Anesth.*, vol. 42, pp. 31–35, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jclinane.2017.08.010.
- [84] A. L. Coates *et al.*, "Spirometry in primary care," *Can. Respir. J. J. Can. Thorac. Soc.*, vol. 20, no. 1, pp. 13–22, 2013.
- [85] R. Pellegrino, G. Viegi, and Brusasco, "ATS/ERS Task Force: Standardisation of lung function testing - Interpretative strategies for lung function tests." Accessed: Jun. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.ers-education.org/lr/show-details/?idP=37463>
- [86] M. Soliński, M. Łepek, and L. Koltowski, "Automatic cough detection based on airflow signals for portable spirometry system," *Inform. Med. Unlocked*, vol. 18, p. 100313, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.imu.2020.100313.
- [87] B. L. Graham *et al.*, "Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement," *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, vol. 200, no. 8, pp. e70–e88, Oct. 2019, doi: 10.1164/rccm.201908-1590ST.

- [88] J. Wanger and C. G. Irvin, "Office Spirometry: Equipment Selection and Training of Staff in the Private Practice Setting," *J. Asthma*, Jan. 1997, doi: 10.3109/02770909709075653.
- [89] F. Madsen, "Validation of spirometer calibration syringes," *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, vol. 72, no. 8, pp. 608–613, Dec. 2012, doi: 10.3109/00365513.2012.723739.
- [90] M. R. Miller, J. Hankinson, and V. Brusasco, "ATS/ERS Task Force: Standardisation of lung function testing - Standardisation of spirometry." Accessed: Jun. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.ers-education.org/lr/show-details/?idP=37466>
- [91] R. Pellegrino *et al.*, "Interpretative strategies for lung function tests," *Eur. Respir. J.*, vol. 26, no. 5, pp. 948–968, Nov. 2005, doi: 10.1183/09031936.05.00035205.
- [92] M. C. McCormack, D. Shade, and R. A. Wise, "Spirometer Calibration Checks: Is 3.5% Good Enough?," *Chest*, vol. 131, no. 5, pp. 1486–1493, May 2007, doi: 10.1378/chest.06-1522.
- [93] T. R. J. Schermer, E. H. A. Verweij, R. Cretier, A. Pellegrino, A. J. Crockett, and P. J. P. Poels, "Accuracy and Precision of Desktop Spirometers in General Practices," *Respiration*, vol. 83, no. 4, pp. 344–352, Jan. 2012, doi: 10.1159/000334320.
- [94] S. Stanojevic *et al.*, "Reference Ranges for Spirometry Across All Ages," *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, vol. 177, no. 3, pp. 253–260, Feb. 2008, doi: 10.1164/rccm.200708-1248OC.
- [95] "Assessing Flow-Volume Loops," PFT Interpretation. Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://pftforum.com/review/tutorials/spirometry-tutorials/assessing-flow-volume-loops/>
- [96] J. Monaghan, "How to interpret spirometry results," Amplivox. Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.amplivox.com/education/knowledge-hub/how-to-interpret-spirometry-results>
- [97] S. Mathur, "Allergy and Asthma in the Elderly," *Semin. Respir. Crit. Care Med.*, vol. 31, pp. 587–95, Oct. 2010, doi: 10.1055/s-0030-1265899.
- [98] E. Almusahel and O. Alsenawy, "Spirometry." *Physio Respiratory Block*, 2018.
- [99] E. Τσίγκου and E. Μπουτζούκα, *Φυσικοθεραπευτικές Τεχνικές και Μέθοδοι Αξιολόγησης στις Αναπνευστικές Παθήσεις*. Κωνσταντάρας, 2017.
- [100] P. Harber, K. SooHoo, and D. P. Tashkin, "Is the MVV:FEV1 ratio useful for assessing spirometry validity?," *Chest*, vol. 88, no. 1, pp. 52–57, Jul. 1985, doi: 10.1378/chest.88.1.52.
- [101] T. J. Barreiro and I. Perillo, "An approach to interpreting spirometry," *Am. Fam. Physician*, vol. 69, no. 5, pp. 1107–1114, Mar. 2004.
- [102] B. Mahboub *et al.*, "Joint statement for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease for Gulf Cooperation Council countries and Middle East–North Africa region, 2017," *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.*, vol. Volume 12, pp. 2869–2890, Oct. 2017, doi: 10.2147/COPD.S136245.
- [103] The Pulsenotes Team, "Lung function tests notes," Pulsenotes. Accessed: Jun. 06, 2024. [Online]. Available: <https://app.pulsenotes.com/medicine/respiratory/notes/lung-function-tests>
- [104] A. Mirceska, "Uloga umjetne neuronske mreze u detekciji abnormalnosti u funkciji rada pluca," Jun. 2009.
- [105] E. Franklin, "Strengthening and Stretching Routine for the Diaphragm," *Human Kinetics*. Accessed: Apr. 17, 2024. [Online]. Available: <https://us.humankinetics.com/blogs/excerpt/strengthening-and-stretching-routine-for-the-diaphragm>
- [106] E. Farrell, "Stretching For Freediving - DeeperBlue.com." Accessed: Apr. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.deeperblue.com/stretching-for-freediving/>
- [107] J. Wanger *et al.*, "Standardisation of the measurement of lung volumes," *Eur. Respir. J.*, vol. 26, no. 3, pp. 511–522, Sep. 2005, doi: 10.1183/09031936.05.00035005.
- [108] H. Eroglu, B. Okyaz, and Ü. Türkçapar, "The Effect of Acute Aerobic Exercise on Arterial Blood Oxygen Saturation of Athletes," *J. Educ. Train. Stud.*, vol. 6, pp. 74–79, Sep. 2018.

- [109] A. M. A. A. Tahhan, M. Özdal, M. Vural, and Z. Pancar, "Influence of aerobic and anaerobic exercise on oxygen saturation," *Eur. J. Phys. Educ. Sport Sci.*, vol. 4, no. 2, Nov. 2018, doi: 10.5281/zenodo.1210600.