



ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΕΥΡΩΣΤΙΑ & ΥΓΕΙΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΤΟ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΟ ΤΕΣΤ:
ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΙΣΗ ΜΕ ΦΟΡΗΤΟ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΟ»**

**Παπαγεωργίου Σταματίνα
Παρασκευοπούλου Πανωραία Αντωνία**

Επιβλέπων Καθηγητής: Πασχάλης Βασίλης

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2022

© Copyright
Παπαγεωργίου Σταματίνα, Παρασκευοπούλου Πανωραία Αντωνία
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

«ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΤΟ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΟ ΤΕΣΤ: ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΙΣΗ ΜΕ ΦΟΡΗΤΟ ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΟ»

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να προσδιοριστεί η αξιοπιστία μιας μέτρησης μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου με έναν φορητό αναλυτή αερίου ($k4b^2$). Δόθηκε έμφαση στην βαθμονόμηση και τη συνδεσιμότητα του σπυρομέτρου, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται λεπτομερείς πληροφορίες για την διαδικασία της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και τις επιδράσεις της άσκησης τόσο στο καρδιαγγειακό όσο και στο αναπνευστικό σύστημα των δοκιμαζόμενων. Στην έρευνα συμμετείχαν 4 γυναίκες ηλικίας 23 ± 1 ετών με μέτρια αθλητική εμπειρία. Κατά τη συμμετοχή τους στην έρευνα επισκέφθηκαν 2 φορές το εργαστήριο Εργοφυσιολογίας της ΣΕΦΑΑ – ΕΚΠΑ. Μεταξύ των 2 επισκέψεων μεσολάβησε 1 εβδομάδα. Στις δύο επισκέψεις οι δοκιμαζόμενες πραγματοποίησαν παλίνδρομο τεστ 20 μέτρων μέχρι εξάντλησης χρησιμοποιώντας φορητό αναλυτή αερίων ($k4b^2$, Cosmed, Albano Laziale, Italy). Μετρήθηκαν, η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σε σχετικές και απόλυτες τιμές, ο πνευμονικός αερισμός και η καρδιακή συχνότητα. Η ανάλυση των δεδομένων των παραμέτρων εμφάνισε υψηλή συσχέτιση μεταξύ των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σε σχετική τιμή ($r=0,726$) και σε απόλυτη τιμή ($r=0,875$). Επίσης υψηλή συσχέτιση υπήρχε και στην μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($r=0,836$) και στον μέγιστο πνευμονικό αερισμό ($r=0,98$). Η διαφορά μεταξύ των προσπαθειών ήταν στατιστικά μη σημαντική ($p>0,05$). Αυτό αντανακλά την αξιοπιστία του φορητού αναλυτή αερίων $k4b^2$ που διαθέτει η ΣΕΦΑΑ – ΕΚΠΑ σε απλές μετρήσεις προσδιορισμού της πρόσληψης οξυγόνου.

Λέξεις κλειδιά: φορητό σπυρόμετρο, βαθμονόμηση, εργοσπυρομέτρηση, μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, παλίνδρομο τεστ

Abstract

The purpose of this thesis is to determine the reliability of a measurement of maximum oxygen uptake with a portable gas analyzer (K4b²). Emphasis was placed on the calibration and connectivity of the spirometer, while at the same time presenting detailed information on the process of maximal oxygen uptake and the effects of exercise on both the cardiovascular and respiratory systems of the subjects. The study involved four women at the age of 23±1 with moderate athletic experience. During the participation in the research, they visited twice the Physiology laboratory of SEFAA-EKPA. One week elapsed between the two visits. In both visits the subjects performed a shuttle run test until exhaustion using a portable gas analyzer (K4b², Cosmed, Albano Laziale, Italy). Maximum oxygen uptake at relative and absolute values, pulmonary ventilation and heart rate were measured. The analysis of the parameter data showed a high correlation between the two attempts of the subjects in the maximum oxygen uptake at a relative value ($r=0,726$) and at an absolute value ($r=0,875$). There was also a high correlation between the maximum heart rate ($r=0,836$) and the maximum pulmonary ventilation ($r=0,98$). The difference between the attempts was statistically insignificant ($p>0,05$). This reflects the reliability of the portable gas analyzer K4b² available to SEFAA-EKPA in simple measurements to determine oxygen uptake.

Key words: portable gas analyzer, calibration, spirometer, maximum oxygen uptake, shuttle run test

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έλαβε χώρο στο Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον αρμόδιο καθηγητή της εργασίας και επόπτη μας κ. Βασίλη Πασχάλη για την υποστήριξη και καθοδήγηση του μέχρι το τέλος της περάτωσης της πτυχιακής μας εργασίας.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την καθηγήτρια κ. Βασιλική Μάλλιου για την συμβολή και πολύτιμη βοήθειά της κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν για την πτυχιακή μας εργασία.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Δημήτρη Στεργιοπούλου που μας βοήθησε να κατανοήσουμε τη λειτουργία του μηχανήματος και ήταν δίπλα μας να μας καθοδηγήσει καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις δοκιμαζόμενες για την συμμετοχή τους στις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	3
Πίνακας Περιεχομένων	5
Κατάλογος Σχημάτων	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
Ορισμός και διατύπωση του θέματος της εργασίας.....	8
Σημασία του θέματος	8
Ερωτήματα και υποθέσεις.....	8
Διευκρίνιση όρων	9
Σκοπός.....	9
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	9
ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	9
2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά.....	9
2.2 Ερεθισματοαγωγό Σύστημα Καρδιάς.....	10
2.3 Καρδιακός Κύκλος.....	11
2.4 Φυσιολογία Καρδιαγγειακού Συστήματος.....	12
2.5 Επίδραση της άσκησης στην καρδιά.....	13
ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	14
2.6 Γενικά Χαρακτηριστικά.....	14
2.7 Δεξιός Πνεύμονας	14
2.8 Αριστερός Πνεύμονας	14
2.9 Τραχειοβρογχικό Δέντρο	15
2.10 Αγγεία και Νεύρα.....	16
2.11 Μηχανική της Αναπνοής	17
2.12 Άσκηση και Αναπνοή.....	19
2.13 Λειτουργική Ανατομία Αναπνευστικών Μυών	19
2.14 Αναπνευστικοί Μυς.....	20
2.15 Ιδιότητες Αναπνευστικών Μυών	22
ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (VO ₂ max)	22
2.16 Άσκηση και VO ₂ max	23
2.17 Περιορισμοί – Ιδιαιτερότητες.....	25
2.18 Μέτρηση VO ₂ max.....	25
2.19 Μεταβλητότητα VO ₂ max.....	26

ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ.....	26
2.20 Γενικά Στοιχεία και ιστορική αναδρομή.....	26
2.21 Φορητός Αναλυτής Αερίων	27
2.22 Μέθοδος Douglas Bags.....	28
2.23 Σπιρομετρικές Παράμετροι	28
2.24 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί του Φορητού Σπιρομέτρου	29
2.25 COSMED K4B2.....	29
2.26 Βαθμονόμηση Σπιρομέτρου	30
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	30
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	35
5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	38
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	43

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (σχετική τιμή) των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων και μέσος όρος αυτών.....	38
Γράφημα 2: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (απόλυτη τιμή) των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων και μέσος όρος αυτών.....	39
Γράφημα 3: Μέγιστη καρδιακή συχνότητα (bpm) των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων και μέσος όρος αυτών.....	40
Γράφημα 4: Μέγιστος πνευμονικός αερισμός (L) των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων και μέσος όρος αυτών.....	41

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ορισμός και διατύπωση του θέματος της εργασίας

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον από την επιστημονική κι ερευνητική κοινότητα της ιατρικής και του αθλητισμού, σχετικά με τη μελέτη συσκευών ανάλυσης αερίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο φορητός αναλυτής αερίων, όπου μέσα από τη μέθοδο της σπιρομέτρησης, η οποία με την εξέταση της καρδιαναπνευστικής ικανότητας του ατόμου, μπορεί να προσδιορίσει την κατανάλωση οξυγόνου και αποβολή διοξειδίου του άνθρακα, την καρδιακή συχνότητα σε κατάσταση ηρεμίας και άσκησης, τον πνευμονικό αερισμό και άλλες παραμέτρους σημαντικές για την αναπνευστική και καρδιακή λειτουργία. Η μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, δηλαδή της ποσότητας οξυγόνου που καταναλώνει ο οργανισμός ενός αθλούμενου, κατά της διάρκεια έντονης άσκησης, αποτελεί βασικό στοιχείο αξιολόγησης, ιδίως για έναν αθλητή, καθώς εντοπίζεται η καρδιαγγειακή καταλληλότητα του.

Ο ταχέως αναπτυσσόμενος τεχνολογικός κόσμος έχει προσφέρει στον τομέα του αθλητισμού αναβαθμίζοντας σε σημαντικό βαθμό τους αναλυτές αερίων. Η εμφάνιση τους που χρονολογείται τουλάχιστον 2 αιώνες πριν, με σταθερές συσκευές μεγάλες σε μέγεθος και όγκο, έφεραν με δίολου εύκολες διαδικασίες αποτελέσματα, συχνά ελλιπή. Από την εμφάνιση των πρώτων αναλυτών αερίων, ο τύπος και το μέγεθός τους έχει διαφοροποιηθεί, με τους σταθερούς αναλυτές, να δίνουν τη θέση τους σε φορητούς, οι οποίοι σήμερα έχουν αυτοματοποιημένο σύστημα ανάλυσης αποτελεσμάτων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Σημασία του θέματος

Η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στη διερεύνηση της αξιοπιστίας των δεδομένων/αποτελεσμάτων του φορητού αναλυτή αερίων K4b2, συμβάλλοντας σε παρεμφερείς μετρήσεις της επιστημονικής κοινότητας. Με ένασμα την μεγάλη ποικιλία ερευνών και μελετών για τον αριθμό σφαλμάτων και την αξιοπιστία φορητών αναλυτών αερίων τα ερωτήματα που θα θέταμε όσων αφορά την έρευνα είναι εάν μπορεί να πραγματοποιηθεί μια μέτρηση μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου με ένα φορητό σπιρόμετρο και το πόσο αξιόπιστη μπορεί να είναι αυτή. Μπορούμε άραγε να έχουμε έγκυρα αποτελέσματα από τις μετρήσεις μας έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί ένας τέτοιος αναλυτής αερίων και σε μια έρευνα μεγαλύτερου εύρους.

Ερωτήματα και υποθέσεις

Υποθέτουμε πως θα υπάρξει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των δυο μετρήσεων στα τεστ που κλήθηκαν να πραγματοποιήσουν οι δοκιμαζόμενοί μας. Βασικό αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτελεί ο φορητός αναλυτής k4b2 μέσω του οποίου έχουμε σκοπό να απαντηθούν τα ερωτήματα σχετικά με την αξιοπιστία και την εγκυρότητα του συγκεκριμένου μηχανήματος, λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα της βαθμονόμησης.

Διευκρίνιση όρων

Σπιρομέτρηση: Αποτελεί την απλούστερη και ταυτόχρονα την πιο χρήσιμη δοκιμασία ελέγχου της πνευμονικής λειτουργίας, μέσω μια συσκευής, του σπιρομέτρου οποία καταγράφει διάφορες παραμέτρους της ροής του αέρα και των πνευμονικών όγκων.

Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO₂max): Ορίζεται ως μέγιστος όγκος οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά την άσκηση μέγιστης έντασης στη μονάδα του χρόνου.

Παλίνδρομο τεστ: Αφορά μια δοκιμασία κατά την οποία ο δοκιμαζόμενος τρέχει σε μια προκαθορισμένη απόσταση επαναλαμβανόμενα μέχρι εξάντλησης, με ρυθμό που αυξάνει προοδευτικά κάθε λεπτό και καθορίζεται από ηχητικά σήματα που δίνονται από ένα κασετόφωνο. Το χρονικό στάδιο στο οποίο ο δοκιμαζόμενος θα σταματήσει το τρέξιμο αποτελεί το δείκτη καρδιαναπνευστικής του αντοχής.

Σκοπός

Σκοπός της έρευνας είναι να καθοριστεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία μιας μέτρησης μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου με έναν φορητό αναλυτή αερίου (k4b²), κατά τη διάρκεια ενός παλίνδρομου τεστ.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Τα σπλάχνα του θώρακα περιλαμβάνουν τα κύρια όργανα του αναπνευστικού και του καρδιαγγειακού συστήματος, καθώς και στοιχεία του γαστρεντερικού, του ενδοκρινικού και του λεμφικού συστήματος, τα οποία όμως δεν θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία. Ο θώρακας χωρίζεται από δυο πλάγια διαμερίσματα: 1) τις πνευμονικές κοιλότητες που περιέχουν του πνεύμονες και τους υπεζωκοτικούς σάκους και 2) το μεσοθωράκιο, το οποίο περιέχει την καρδιά, τον περικαρδιακό σάκο, την τραχεία, τους βρόγχους, τον οισοφάγο, το θύμο, καθώς και αγγεία και νευρά (Gilroy, 2017).

Η καρδιά είναι ένα μυώδες όργανο του οποίου η κύρια λειτουργία είναι να προωθεί αίμα στο υπόλοιπο σώμα λειτουργώντας ως διπλή αντλία. Κάθε αντλία αποτελείται από δυο κοιλότητες: ένα κόλπο με λεπτά τοιχώματα και μια κοιλία, ένα τοίχωμα μεγαλύτερου πάχους. Οι πνεύμονες είναι τα όργανα της αναπνοής και επικοινωνούν με το τραχειοβρογχικό δέντρο¹ και την καρδιά. Η καρδιά περιβάλλεται από τον περικαρδιακό σάκο, ενώ ο υπεζωκοτικός σάκος είναι αυτός που περιβάλλει τους πνεύμονες. Σε αυτούς τους υμενώδεις σάκους περιέχεται ένα λεπτό στρώμα ορώδους υγρού που διασφαλίζει την κίνηση αποφεύγοντας τις τριβές, κάτι πολύ σημαντικό για την λειτουργία των 2 αυτών οργάνων.

Η καρδιά όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω είναι ένα κοίλο μυώδες όργανο, κωνικού σχήματος, που εντοπίζεται στο μέσο μεσοθωράκιο, εντός του περικαρδικού σάκου. Κείται πάνω στον κεντρικό τένοντα του διαφράγματος και περιβάλλεται σε κάθε πλευρά από τη δεξιά και την

¹ Αγωγοί μεταφοράς του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον προς τους πνεύμονες και αντίστροφα

αριστερή πνευμονική κοιλότητα. Η *βάση*, η οποία αναρτάται από τα μεγάλα αγγεία, βρίσκεται στην άνω και οπίσθια επιφάνεια. Η *κορυφή*, η οποία συναντάται στο 5ο μεσοπλευρίο διάστημα, προβάλλει προς τα εμπρός, κάτω και αριστερά και κινείται ελεύθερα μέσα στον περικαρδικό σάκο. Σκόπιμο είναι να αναφέρουμε ότι οι 4 κοιλότητες από τις οποίες αποτελείται η καρδιά έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Ο δεξιός και ο αριστερός κόλπος χωρίζονται από το *μεσοκοιλιακό διάφραγμα* και θεωρούνται οι κοιλότητες εισροής της καρδιάς. Η δεξιά και η αριστερή κοιλιά, οι οποίες χωρίζονται από το *μεσοκοιλιακό διάφραγμα*, θεωρούνται οι κοιλότητες εκροής της καρδιάς (Gilroy, 2017). Επίσης υπάρχουν και δυο μικρά προσαρτήματα, το δεξί και το αριστερό ωτίο, τα οποία αποτελούν προεκτάσεις των κόλπων και είναι ορατά εξωτερικά.

Στην καρδιά επίσης συναντάμε τον *σταυρό*, ο οποίος είναι ένα σημείο της οπίσθιας επιφάνειάς της όπου διασταυρώνονται η στεφανιαία (κολποκοιλιακή) και η οπίσθια μεσοκοιλιακή αύλακα. Οριοθετεί τη συμβολή των τεσσάρων θαλάμων της καρδιάς. Επιπλέον το τοίχωμα της καρδιάς αποτελείται από τις εξής στιβάδες: Το *επικάρδιο*, το *μυοκάρδιο* και το *ενδοκάρδιο*. Η πρώτη είναι μια λεπτή εξώτατη στιβάδα που σχηματίζεται από τη σπλαχνική στιβάδα του ορογόνου περικαρδίου. Η δεύτερη είναι μια παχιά στιβάδα του καρδιακού μυός που έχει μεγαλύτερο πάχος στα τοιχώματα των κοιλιών και η τρίτη είναι μια λεπτή έσω στιβάδα που καλύπτει τις κοιλότητες και τις βαλβίδες της καρδιάς. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της είναι το *καρδιακό στέλεχος*, το οποίο αποτελείται από πυκνό ινώδη συνδετικό ιστό σχηματίζοντας 4 ινώδεις δακτυλίους και παρεμβαλλόμενα τρίγωνα που διαχωρίζουν τους θαλάμους της. Παρέχουν σημεία πρόσφυσης για τις καρδιακές μυϊκές ίνες και τις βαλβίδες, ενώ μονώνουν τους ηλεκτρικούς παλμούς του ερεθισματογωγού συστήματος της καρδιάς (Gilroy, 2017).

Επίσης αξίζει να αναφέρουμε επιγραμματικά ότι η καρδιά αποτελείται από 3 επιφάνειες: την στερνοπλευρική επιφάνεια, την βάση στην οπίσθια και άνω πλευρά της καρδιάς και την διαφραγματική επιφάνεια ενώ εντοπίζουμε και της αύλακες όπως η στεφανιαία, η πρόσθια μεσοκοιλιακή και η οπίσθια μεσοκοιλιακή αύλακα. Επιπροσθέτως υπάρχουν οι κόλποι, (ο δεξιός και ο αριστερός) οι οποίοι είναι οι κοιλότητες εισροής της καρδιάς, έχουν λεπτά τοιχώματα και οι κοιλίες οι οποίες είναι κοιλότητες με τοιχώματα μεγάλου πάχους που συνδέονται με τα αγγεία εκροής της καρδιάς: η δεξιά κοιλιά με τη πνευμονική αρτηρία και η αριστερή με την αορτή. Όσον αφορά τις βαλβίδες της καρδιάς υπάρχουν δύο τύποι: οι κολποκοιλιακές και οι μηννοειδείς.

2.2 Ερεθισματογωγό Σύστημα Καρδιάς

Το ερεθισματογωγό σύστημα της καρδιάς παράγει και μεταδίδει ηλεκτρικές ώσεις που ρυθμίζουν τη συστολή του καρδιακού μυός. Αποτελείται από κόμβους, οι οποίοι με τη σειρά του δημιουργούν τις ώσεις, και από ερεθισματογωγούς ίνες, που τις κατανέμουν στον καρδιακό μυ για να επιτευχθεί η συντονισμένη συστολή των καρδιακών κοιλοτήτων. Ο *φλεβόκομβος*², παράγει και συγχρονίζει τη συστολή και διαστολή των καρδιακών κοιλοτήτων. Με συχνότητα 60-70 κτύπων ανά λεπτό, ο φλεβόκομβος μεταβιβάζει ηλεκτρικές ώσεις προς τους δυο κόλπους και προς τον κολποκοιλιακό κόμβο. Ο *κολποκοιλιακός κόμβος*³ διεγείρεται από τον φλεβόκομβο και μεταβιβάζει τις ηλεκτρικές ώσεις προς το κολποκοιλιακό δεμάτιο. Η αρτηρία του, η οποία συνήθως αποτελεί κλάδο της δεξιάς στεφανιαίας αρτηρίας, εκφύεται κοντά στην έκφυση της

² Βρίσκεται κάτω από το επικάρδιο, επί της εξωτερικής επιφάνειας του μυοκαρδίου του δεξιού κόλπου στη συμβολή του με την άνω κοίλη φλέβα. Αρδεύεται συνήθως από έναν κλάδο της δεξιάς στεφανιαίας αρτηρίας.

³ Βρίσκεται κάτω από το ενδοκάρδιο, στη βάση του μεσοκοιλιακού διαφράγματος πάνω στη διαφραγματική γλωχίνα της τριγλώχινας βαλβίδας.

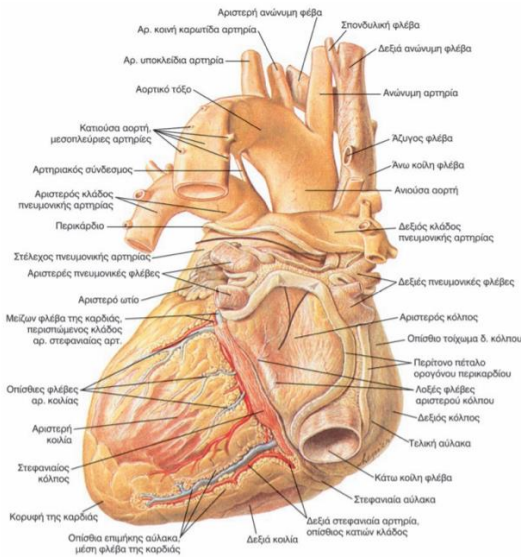
οπίσθιας μεσοκοιλιακής αρτηρίας, στο σταυρό της καρδιάς. Το *κολποκοιλιακό δεμάτιο* προέρχεται από κύτταρα του κολποκοιλιακού κόμβου και μεταβιβάζει τις ηλεκτρικές ώσεις στα τοιχώματα των κοιλιών. Πορεύεται στην αρχή κατά μήκος της υμενώδους μοίρας του μεσοκοιλιακού διαφράγματος και κατόπιν χωρίζεται σε δεξιό και αριστερό σκέλος που κατέρχονται μέχρι την κορυφή της καρδιάς σε κάθε πλευρά της μυώδους μοίρας του διαφράγματος. Τα σκέλη καταλήγουν ως ίνες του Purkinje, δηλαδή τροποποιημένες καρδιακές ίνες που ανέρχονται εντός των μυϊκών τοιχωμάτων των κοιλιών.

2.3 Καρδιακός Κύκλος

Το ερεθισματογωγό σύστημα της καρδιάς είναι αυτό που ρυθμίζει τον καρδιακό κύκλο, δηλαδή τη συντονισμένη συστολή και διαστολή των κόλπων και των κοιλιών. Κατά την πραγματοποίηση ενός καρδιακού κύκλου, η δεξιά αντλία δέχεται αποξυγονωμένο αίμα από τη συστηματική κυκλοφορία⁴ και το κατευθύνει προς την πνευμονική κυκλοφορία. Η αριστερή αντλία δέχεται οξυγονωμένο αίμα από την πνευμονική κυκλοφορία και το επιστρέφει στη συστηματική, για την κατανομή του οξυγόνου (O₂) και των θρεπτικών ουσιών. Η συντονισμένη αυτή κίνηση των κόλπων και των κοιλιών, ονομάζεται καρδιακός κύκλος και ρυθμίζεται από έναν εξειδικευμένο ιστό που εντοπίζεται μέσα στον καρδιακό μυ και αποτελεί το ερεθισματογωγό σύστημα της καρδιάς. Αρχικά στη φάση της διαστολής, οι κολποκοιλιακές και μηνοειδείς βαλβίδες είναι κλειστές ενώ οι κόλποι και οι κοιλίες είναι σε χάλαση. Στη συνέχεια, στην όψιμη διαστολή, οι κόλποι γεμίζουν με αίμα, οι κολποκοιλιακές βαλβίδες ανοίγουν και το αίμα ρέει παθητικά προς τις κοιλίες. Η διέγερση από το φλεβόκομβο (βηματοδότης καρδιάς) προκαλεί την έναρξη της συστολής των κόλπων, η οποία εξωθεί το υπόλοιπο όγκο του αίματος από τους κόλπους στις κοιλίες. Καθώς η πίεση στις κοιλίες ξεπερνά την πίεση των κόλπων, οι κολποκοιλιακές βαλβίδες κλείνουν. Έπειτα η διέγερση από τον κολποκοιλιακό κόμβο και τα σκέλη του κολποκοιλιακού δεματίου προκαλεί την έναρξη της συστολής των κοιλιών. Η αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης προκαλεί την διάνοιξη των μηνοειδών βαλβίδων. Το αίμα εξωθείται από την δεξιά κοιλία προς το στέλεχος της πνευμονικής αρτηρίας και από την αριστερή κοιλία προς την αορτή. Τέλος η διαστολή (χαλάρωση) των κοιλιών προκαλεί την παλίνδρομη ροή στο στέλεχος της πνευμονικής αρτηρίας και στην αορτή και τη σύγκλιση της πνευμονικής και της αορτικής βαλβίδας.

⁴ Η κυκλοφορία του αίματος σε όλες τις περιοχές του σώματος εκτός των πνευμόνων

Εικόνα 2.1: Ανατομία Καρδιάς: Η διαφραγματική επιφάνεια
Vasiladis Medical Books, Στοιχεία Χειρουργικής Ανατομίας Της Καρδιάς



2.4 Φυσιολογία Καρδιαγγειακού Συστήματος

2.4.1.1 Βασικά Στοιχεία

Τα κύρια μέρη του κυκλοφορικού συστήματος είναι τρία: η καρδιά, τα αιμοφόρα αγγεία και το αίμα. Το καρδιαγγειακό σύστημα αποτελείται από δύο κυκλώματα την πνευμονική κυκλοφορία και την συστηματική κυκλοφορία. Η πορεία του πρώτου είναι από τη δεξιά κοιλία προς τους πνεύμονες και στη συνέχεια στον αριστερό κόλπο, ενώ του δεύτερου από την αριστερή κοιλία προς όλα τα περιφερικά όργανα και τους ιστούς, εκτός από τους πνεύμονες, και στη συνέχεια προς τον δεξιό κόλπο. Οι αρτηρίες είναι αυτές που μεταφέρουν αίμα μακριά από την καρδιά, ενώ επίσης οι φλέβες μεταφέρουν αίμα προς την καρδιά, όπως θα δούμε και στη συνέχεια (Verhoeff and Mitchell, 2017). Στο συστηματικό κύκλωμα, η μεγάλη αρτηρία που φεύγει από την αριστερή καρδιά είναι η αορτή, και οι μεγάλες φλέβες που αδειάζουν αίμα στη δεξιά καρδιά είναι η άνω και η κάτω κοίλη φλέβα ενώ επιπροσθέτως τα αντίστοιχα αγγεία στην πνευμονική κυκλοφορία είναι το πνευμονικό στέλεχος και οι τέσσερις πνευμονικές φλέβες. Τα αγγεία ανάμεσα στις αρτηρίες και τις φλέβες (αρτηρίδια, τριχοειδή και φλεβίδια) αποτελούν την μικροκυκλοφορία.

2.4.1.2 Καρδιακή Παροχή

Η καρδιακή παροχή ορίζεται ως ο όγκος του αίματος που αντλείται από κάθε κοιλία σε ένα λεπτό και ισούται με το γινόμενο του όγκου παλμού επί της καρδιακής συχνότητας. Ο πρώτος αυξάνεται κυρίως πρώτον από την αύξηση του τελοδιαστολικού όγκου (μηχανισμός Frank-Starling) και δεύτερον από την αύξηση της συσταλτότητας των κοιλιών λόγω συμπαθητικής διέγερσης ή λόγω της επινεφρίνης (Verhoeff and Mitchell, 2017). Το αυξημένο μεταφορτίο μπορεί να μειώσει τον όγκο παλμού σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Η δεύτερη αυξάνεται από τη διέγερση των συμπαθητικών νεύρων της καρδιάς και από την επινεφρίνη, ενώ η μείωση της οφείλεται στη διέγερση των παρασυμπαθητικών νεύρων της καρδιάς.

2.5 Επίδραση της άσκησης στην καρδιά

Αν και όλα τα συστήματα (π.χ. πνευμονικό, αναπνευστικό, σκελετικός μυς και καρδιαγγειακό) που εμπλέκονται στην ενορχήστρωση της κατάλληλης απόκρισης στην αερόβια άσκηση είναι σημαντικά, το καρδιαγγειακό σύστημα, ιδιαίτερα η καρδιακή συστολική και η διαστολική λειτουργία, μπορεί να θεωρηθεί ως ο κεντρικός κόμβος (Lavie et al, 2015). Οι ευεργετικές καρδιαγγειακές προσαρμογές που σχετίζονται με τη συνήθη σωματική δραστηριότητα, είναι κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάρρωσης στην οποία λαμβάνουν χώρα αυτές οι προσαρμογές. Η περίοδος αποκατάστασης είναι εξίσου σημαντική με το ερέθισμα της άσκησης (Romero et al, 2017). Ορισμένες από αυτές τις αλλαγές κατά την ανάκαμψη από την άσκηση μπορεί να παρέχουν μια εικόνα για το πότε το καρδιαγγειακό σύστημα έχει ανακάμψει από την προηγούμενη προπόνηση και είναι φυσιολογικά έτοιμο για την επόμενη. Η ανάκτηση από την άσκηση αναφέρεται στη χρονική περίοδο μεταξύ του τέλους μιας περιόδου άσκησης και της επακόλουθης επιστροφής σε κατάσταση ηρεμίας. Αναφέρεται επίσης σε συγκεκριμένες φυσιολογικές διεργασίες ή καταστάσεις οι οποίες συμβαίνουν μετά την άσκηση και διαφέρουν από τη φυσιολογία είτε της κατάστασης άσκησης είτε της κατάστασης ηρεμίας. Σε αυτό το πλαίσιο, η αποκατάσταση του καρδιαγγειακού συστήματος μετά την άσκηση λαμβάνει χώρα σε μια περίοδο λεπτών έως ωρών, κατά την οποία πολλά χαρακτηριστικά του συστήματος, αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου (Romero et al, 2017).

Η αρτηριακή πίεση είναι αναμφισβήτητα η πιο ρυθμιζόμενη καρδιαγγειακή μεταβλητή, ωστόσο υπάρχει μια σταθερή μείωση της αρτηριακής πίεσης μετά από αερόβια άσκηση όλου του σώματος μέτριας διάρκειας και έντασης. Αυτή η αιμοδυναμική αλλαγή έχει αναφερθεί ως υπόταση μετά την άσκηση και έχει παρατηρηθεί μετά από αερόβια άσκηση αλλά και άσκηση με αντιστάσεις. Αυτό δεν σημαίνει ότι και οι δύο τρόποι άσκησης παράγουν την ίδια καρδιαγγειακή απόκριση.

Μια κατάλληλη απάντηση σε ένα οξύ ερέθισμα αερόβιας άσκησης απαιτεί ισχυρή και ολοκληρωμένη φυσιολογική αύξηση από το πνευμονικό, το αναπνευστικό, τους σκελετικούς μυς και το καρδιαγγειακό σύστημα. Η ηλικία, το φύλο και οι γενετικές προδιαθέσεις επηρεάζουν τη φυσιολογική απόκριση και συνεπώς την απόδοση κατά τη διάρκεια της αερόβιας άσκησης (Lavie et al, 2015). Κατά την αερόβια άσκηση το μέγεθος της αύξησης της αγγειακής αγωγιμότητας (ή της μείωσης της αγγειακής αντίστασης) είναι μεγαλύτερο από τις αυξήσεις της καρδιακής παροχής, που σημαίνει ότι η αγγειοδιαστολή είναι ο οδηγός της μειωμένης πίεσης. Η επίμονη αγγειοδιαστολή που αποτελεί τη βάση της υπερέντασης μετά την άσκηση διαρκεί αρκετές ώρες και είναι γνωστή ως παρατεταμένη αγγειοδιαστολή μετά την άσκηση. Η ισταμίνη είναι αυτή στην οποία οφείλεται αυτή η παρατεταμένη αγγειοδιαστολή μετά την άσκηση⁵ (Romero et al, 2017). Οι πιο κοινές αναφερόμενες μορφολογικές προσαρμογές που σχετίζονται με τη χρόνια αερόβια είναι η διάταση της LV (δηλαδή, η αυξημένη τελοδιαστολική διάμετρος) και η υπερτροφία (δηλ. αυξημένο πάχος τοιχώματος), που αναφέρεται ως καρδιακή αναδιαμόρφωση (Lavie et al, 2015). Όσων αφορά την άσκηση με αντιστάσεις η αρτηριακή πίεση μειώνεται για έως και αρκετές ώρες μετά την άσκηση με αντίσταση, αν και αυτό δεν είναι ένα καθολικό εύρημα. Η συστηματική αγγειακή αγωγιμότητα μειώνεται, υποστηρίζοντας περαιτέρω την ιδέα ότι η υπόταση μετά από άσκηση με αντίσταση οφείλεται σε κεντρική (δηλαδή,

⁵ Η παρατεταμένη αγγειοδιαστολή μετά την άσκηση μετά από 60 λεπτά κύκλου μέτριας έντασης αναστέλλεται κατά 80% όταν οι υποδοχείς ισταμίνης είναι αποκλεισμένοι.

καρδιακή αιμοδυναμική) και όχι περιφερική αγγειοδιαστολή, σε αντίθεση με την υπόταση μετά από αερόβια άσκηση (Romero et al, 2017).

ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

2.6 Γενικά Χαρακτηριστικά

Οι πνεύμονες είναι τα κύρια όργανα που συμβάλλουν στην αναπνοή. Υπάρχουν 2 πνεύμονες, ο δεξιός και ο αριστερός, ο καθένας από τους οποίους διαιρείται σε λοβούς. Αποτελούνται κατά κύριο λόγο από τους μικρούς σάκους που περιέχουν αέρα και ονομάζονται κυψελίδες και κάθε άνθρωπος διαθέτει περίπου 300 εκατομμύρια. Στις κυψελίδες εντοπίζεται η ανταλλαγή των αερίων με το αίμα.

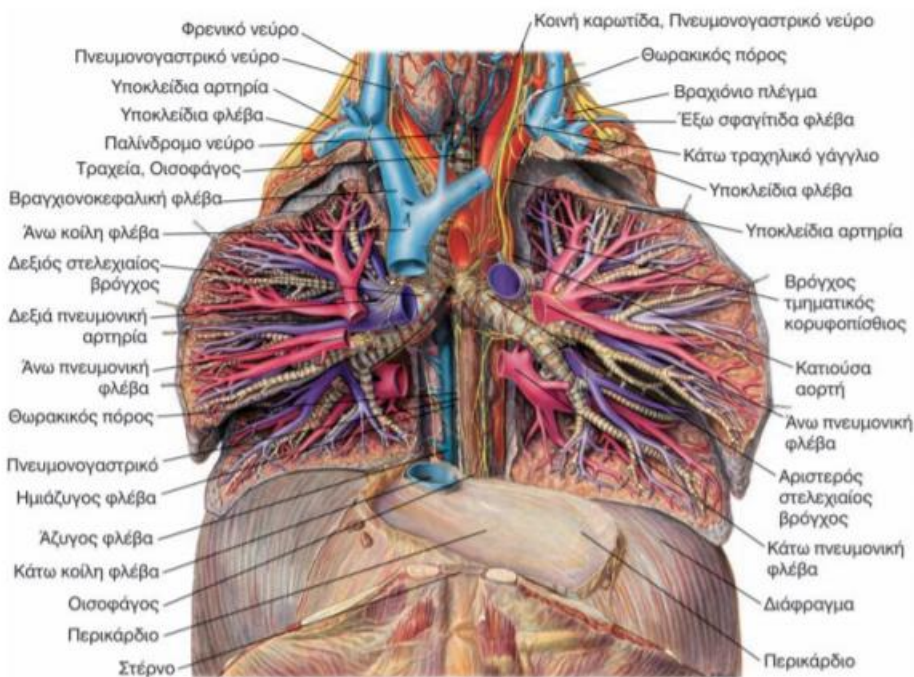
Κάθε πνεύμονας διαθέτει πλευρική, μεσοθωρακική και διαφραγματική επιφάνεια. Η *κορυφή* κάθε πνεύμονα προβάλλει στον τράχηλο πάνω από τον πρώτο πλευρικό χόνδρο. Η *βάση* κάθε πνεύμονα κείται πάνω στο διάφραγμα. Επίσης υπάρχει η *ρίζα* του πνεύμονα, που τον συνδέει με το μεσοθωράκιο και περιέχει τα πνευμονικά αγγεία, τα νεύρα και του βρόγχους. Η ρίζα εισέρχεται στον πνεύμονα αντίστοιχα προς την *πύλη*, η οποία είναι μια εισολκή της διαφραγματικής επιφάνειας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των πνευμόνων είναι τα βρογχοπνευμονικά τμήματα, τα οποία είναι λεπτά διαφράγματα από συνδετικό ιστό, που βρίσκονται σε συνέχεια με το σπλαχνικό υπεζωκότα και υποδιαιρούν τους λοβούς των πνευμόνων σε διακριτές μονάδες με πυραμοειδές σχήμα. Υπάρχουν συνολικά 10 βρογχοπνευμονικά τμήματα στο δεξιό πνεύμονα και 8-10 στον αριστερό. Καθ' ένα από αυτά αποτελεί μια ανατομικά και λειτουργικά ανεξάρτητη αναπνευστική μονάδα (Gilroy, 2017).

2.7 Δεξιός Πνεύμονας

- Ο θόλος του διαφράγματος είναι υψηλότερος από τη δεξιά πλευρά, έτσι ο δεξιός πνεύμονας είναι βραχύτερος και ευρύτερος από τον αριστερό.
- Χωρίζεται σε άνω μέσω και κάτω λοβό, μέσω μιας οριζόντιας και μια λοξής σχισμής
- Η ρίζα του διέρχεται κάτω από το αορτικό τόξο, πίσω από το δεξιό κόλπο και κάτω από το τόξο της αζύγου φλέβας
- Ο δεξιός κύριος βρόγχος και οι κλάδοι του αποτελούν τις πιο οπίσθιες δομές στη ρίζα του πνεύμονα. Η πνευμονική αρτηρία διέρχεται μπροστά από τον κύριο βρόγχο, ενώ οι πνευμονικές φλέβες βρίσκονται μπροστά και κάτω από την αρτηρία

2.8 Αριστερός Πνεύμονας

- Χωρίζεται σε άνω και κάτω λοβό, μέσω μιας λοξής μεσολόβιας σχισμής
- Η καρδιακή εντομή, ένα βαθύ εντύπωμα κατά μήκος του κάτω ορίου του άνω λοβού, υποδέχεται την κορυφή της καρδιάς που προβάλλει προς τα αριστερά
- Η γλωσσίδα, μια λεπτή γλώσσα πνευμονικού ιστού από τον άνω λοβό, σχηματίζει το κάτω όριο της καρδιακής εντομής και μετακινείται εντός και εκτός του πνευρομεσοπνευμόνιου κολπώματος κατά την αναπνοή
- Το αορτικό τόξο διέρχεται πάνω από τον αριστερό κύριο βρόγχο, ενώ η κατιούσα αορτή διέρχεται πίσω από τη ρίζα του πνεύμονα
- Η αριστερή πνευμονική αρτηρία σχηματίζει ένα τόξο πάνω από το αριστερό κύριο βρόγχο αποτελώντας την υψηλότερη δομή της ρίζας του πνεύμονα. Οι πνευμονικές φλέβες διέρχονται μπροστά και κάτω από τον κύριο βρόγχο.

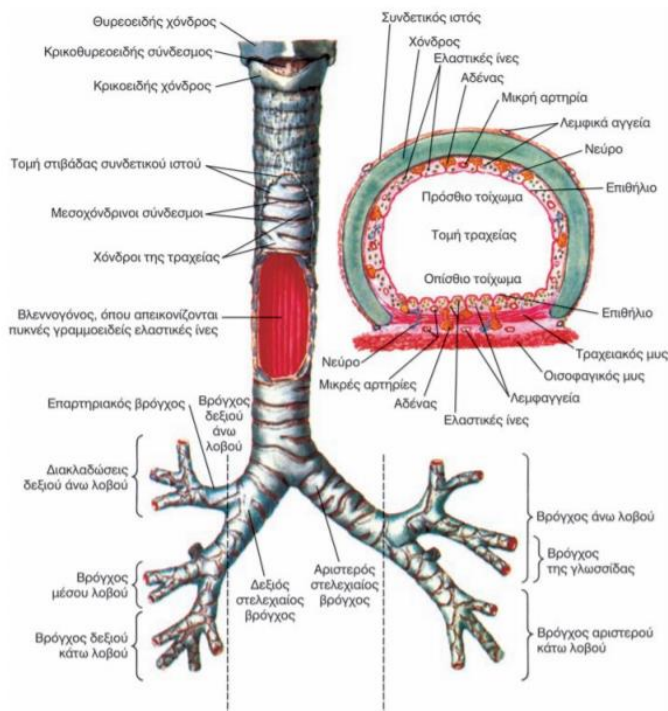


Εικόνα 2.2:
 Ανατομία Πνευμόνων: Μεσοθωρακικές δομές μετά την απομάκρυνση της καρδιάς
 πηγή: Vasiliadis Medical Books, Ανατομία του Αναπνευστικού Συστήματος

2.9 Τραχειοβρογχικό Δέντρο

Το τραχειοβρογχικό δέντρο αποτελείται από την τραχεία, τους κύριους βρόγχους στο μεσοθωράκιο και από το βρογχικό δέντρο⁶, ενώ διαθέτει αεραγωγούς και αναπνευστικά στοιχεία. Η τραχεία και οι μεγαλύτεροι κεντρικοί της κλάδοι σχηματίζουν τους αεραγωγούς, ένα σύστημα αγωγών για την μετακίνηση του αέρα μεταξύ περιβάλλοντος- πνευμόνων και αντίστροφα. Εκτός από τους κλάδους που βρίσκονται περιφερικά, οι κλάδοι διαθέτουν στα τοιχώματά τους χόνδρινους δακτυλίους ή πλάκες (Gilroy, 2017). Οι κλάδοι αυτοί περιλαμβάνουν: 1) το δεξιό και τον αριστερό κύριο βρόγχο, που σχηματίζονται από τον διχασμό της τραχείας στο άνω μεσοθωράκιο, ενώ στην πύλη κάθε πνεύμονα εισέρχεται ένας και μόνο κύριος βρόγχος, 2) τους λοβαίους βρόγχους ή δευτερεύοντες, οι οποίοι διακλαδίζονται από τους κύριους, 3) τους τμηματικούς βρόγχους ή τριτεύοντες, οι οποίοι διακλαδίζονται από τους λοβαίους, 4) τα βρογχόλια αγωγής, ένα δίκτυο αεραγωγών χωρίς χόνδρο που σχηματίζονται καθώς οι τμηματικοί χόνδροι υποδιαίρονται και μειώνονται σε μέγεθος και τέλος 5) στα τελικά βρογχόλια, τα οποία είναι οι τελικοί κλάδοι των βρογχολίων αγωγής και το τελευταίο τμήμα τον αεραγωγών. Οι δομές στο τμήμα αυτού του βρογχικού δέντρου περιλαμβάνουν τα αναπνευστικά βρογχόλια, τους κυψελιδικούς σάκους και τις κυψελίδες. Τα τοιχώματα των κυψελίδων, είναι σχεδιασμένα για την αποτελεσματική ανταλλαγή των αερίων.

⁶ Γενεές βρόγχων που σχηματίζονται από διαδοχικές διακλαδώσεις.



Εικόνα 2.3:
Ανατομία Τραχειοβρογχικού Δέντρου: Δομική κατασκευή της τραχείας και των κύριων βρόγχων
 Vasiliadis Medical Books, Ανατομία του Αναπνευστικού Συστήματος

2.10 Αγγεία και Νεύρα

2.10.1.1 Αρτηρίες, Φλέβες και Λεμφαγγεία

Το πνευμονικό πλέγμα είναι ένα αυτόνομο νευρικό πλέγμα που βρίσκεται μπροστά και πίσω από τη ρίζα του πνεύμονα και νευρώνει τον πνεύμονα, το βρογχικό δέντρο και το σπλαχνικό υπεζωκότα. Υπάρχουν και οι σπλαγχνοαισθητικές ίνες που μεταφέρουν πληροφορίες για την αίσθηση του πόνου από τους βρόγχους και το σπλαχνικό υπεζωκότα, ενώ πορεύονται μαζί με τα συμπαθητικά σπλαχνικά νεύρα. Αυτές οι ίνες μπορούν να πορευθούν και με το πνευμονογαστρικό νεύρο, εάν προέρχονται από υποδοχείς που σχετίζονται με τα αντανακλαστικά του βήχα και της διάτασης, καθώς και από τους τασεοϋποδοχείς και τους χημειοϋποδοχείς. Επιπλέον συνυπάρχει ο τοιχωματικός υπεζωκότας⁷, ο οποίος νευρώνεται από σωματικά νεύρα του θωρακικού τοιχώματος και είναι πολύ ευαίσθητος στον πόνο. Τα μεσοπλευρία νεύρα νευρώνουν την πλευρική επιφάνεια, ενώ τα φρενικά νεύρα (A3-A5) νευρώνουν τη μεσοθωρακική και τη διαφραγματική επιφάνεια. Οι αρτηρίες επίσης παίζουν σπουδαίο ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος και τις χωρίζουμε σε δυο είδη αρτηριών, τις πνευμονικές αρτηρίες και τις βρογχικές. Οι πνευμονικές είναι κλάδοι του στελέχους της πνευμονικής αρτηρίας, μεταφέρουν αποξυγονωμένο αίμα προς το τριχοειδικό δίκτυο που περιβάλλει μέσα τις κυψελίδες. Οι κλάδοι τους ακολουθούν τους κλάδους του βρογχικού δέντρου και διαιρούνται στους λοβούς και στα βρογχοπνευμονικά τμήματα. Οι βρογχικές (ένας κλάδος στο δεξιό πνεύμονα και δυο στον αριστερό) είναι κλάδοι της θωρακικής αορτής, αρδεύουν το βρογχικό δέντρο, το σπλαχνικό υπεζωκότα και το συνδετικό ιστό των πνευμόνων

⁷ Ο ερεθισμός του στις περιοχές που νευρώνεται από το φρενικό νεύρο, αντανακλά στα δερμοτόμια A3-A5 του τραχήλου και του ώμου

(Gilroy, 2017). Πορεύονται κατά μήκος της οπίσθιας επιφάνειας των κύριων βρόγχων και τελικά αναστομώνονται με περιφερικούς κλάδους των πνευμονικών αρτηριών.

Όσον αφορά τις φλέβες, κατηγοριοποιούνται και αυτές σε πνευμονικές και βρογχικές. Οι πρώτες πηγάζουν από τις τριχοειδικές κοίτες που περιβάλλουν τις κυψελίδες, έχουν την μορφή μικρών φλεβών μεταφέροντας οξυγονωμένο αίμα, ενώ ενώνονται με φλέβες παρακείμενων βρογχοπνευμονικών τμημάτων και του σπλαγγχνικού υπεζωκότα. Οι δεύτερες παροχετεύουν μόνο το εγγύς τμήμα της ρίζας και καταλήγουν στην άζυγο και στην επικουρική ημιάζυγο φλέβα, ενώ γνωρίζουμε ότι πηγάζει μόνο μια από κάθε πνεύμονα. Χρήσιμο επίσης είναι να αναφέρουμε τα λεμφαγγεία του συστήματος, τα οποία είναι: το *επιπολής λεμφικό πλέγμα*, το οποίο παροχετεύει τον υπεζωκότα και τον πνευμονικό ιστό και το *εν τω βάθει λεμφικό πλέγμα*, το οποίο παροχετεύει τις δομές που σχετίζονται με τη ρίζα του πνεύμονα. Το δεύτερο πλέγμα παροχετεύει αρχικά στους βρογχοπνευμονικούς λεμφαδένες, ενώ και τα δυο μαζί παροχετεύουν τελικά στους άνω και κάτω τραχειοβρογχικούς λεμφαδένες. Η λέμφος παροχετεύεται από τους τραχειοβρογχικούς λεμφαδένες στους παρατραχειακούς λεμφαδένες και στη συνέχεια στα βρογχομεσοπνευμόνια λεμφικά στελέχη σε κάθε πλευρά, καταλήγοντας στη συμβολή της υποκλείδιου και της έσω σφραγίτιδας φλέβας.

2.11 Μηχανική της Αναπνοής

Η αναπνοή είναι η ανταλλαγή οξυγόνου (O_2) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), η οποία απαιτεί μια συνεχή ροή αέρα μεταξύ των πνευμόνων και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επιτυγχάνεται μέσω της ρυθμικής μεταβολής του θωρακικού όγκου και της αντίστοιχης έκπτυξης (κατά την εισπνοή) και σύμπτυξης (κατά την εκπνοή) των πνευμόνων. Μια εισπνοή και μια εκπνοή αποτελούν έναν αναπνευστικό κύκλο. Κατά τη διάρκεια ενός αναπνευστικού κύκλου, η δεξιά κοιλία της καρδιάς προωθεί αίμα διαμέσου των πνευμονικών αρτηριών και αρτηριδίων προς τα τριχοειδή που περιβάλλουν κάθε κυψελίδα. Σε ένα φυσιολογικό άνθρωπο κατά την ηρεμία, εισέρχονται και απομακρύνονται 4 L καθαρού αέρα από τις κυψελίδες κάθε λεπτό. Ταυτόχρονα διέρχεται από τα πνευμονικά τριχοειδή 5 L αίματος, ολόκληρη η καρδιακή παροχή.⁸ Κατά τη διάρκεια έντονης δραστηριότητας, η ροή αέρα μπορεί να αυξηθεί κατά 20 φορές και η αιματική ροή κατά 5-6 φορές.

Είναι δηλαδή μια ρυθμιστική διεργασία και μοιάζει με τον ρυθμικό παλμό της καρδιάς. Η διέγερση των αναπνευστικών μυών γίνεται με κινητικά νεύρα, τα οποία ελέγχονται από το κεντρικό νευρικό σύστημα, ενώ αντιθέτως η συστολή του καρδιακού μυός είναι αυτογενής και διεγείρεται αυτόματα από τον φλεβόκομβο της καρδιάς (Κλεισούρας, 2011).

⁸ Σύμφωνα με τα πολυπαραγοντικά μοντέλα περιορισμού της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, η μεταφορά O_2 από τον αέρα του περιβάλλοντος στα μιτοχόνδρια ρυθμίζεται από μια αλληλουχία αντιστάσεων η οποία βρίσκεται σε σειρά, ενώ παράλληλα κάθε αντίσταση μπορεί να ξεπεραστεί με μια συγκεκριμένη βαθμίδα μερικής πίεσης οξυγόνου. Τέσσερις σημαντικές αντιστάσεις έχουν εντοπιστεί σε κάποιες μελέτες:

- (1) Η αναπνευστική (RV) μεταξύ περιβάλλοντος και κυψελίδων ·
- (2) Η πνευμονική (RL) μεταξύ κυψελίδων και αρτηριακού αίματος.
- (3) Η κυκλοφορική (RQ) μεταξύ αρτηριακού αίματος και μυϊκών τριχοειδών αγγείων.
- (4) και η περιφερειακή (Rp) μεταξύ των τριχοειδών μυών και των μιτοχονδρίων (Eproposito et al, 2010).

Το οξυγόνο διαδραματίζει βασικό ρόλο στον δείκτη της καρδιοαναπνευστικής λειτουργίας, καθώς είναι απαραίτητο για τη μετατροπή της τριφωσφορικού αδενοσίνης σε ενέργεια «προσφέροντάς την» στα μυϊκά κύτταρα. Κατά συνέπεια, όσο μεγαλύτερη είναι η πρόσληψη οξυγόνου, στην οποία θα αναφερθούμε αναλυτικότερα παρά κάτω, τόσο περισσότερη ενέργεια μπορεί να παραχθεί. Η ίδια αντιπροσωπεύει τον υψηλότερο ρυθμό με τον οποίο το οξυγόνο μπορεί να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της αερόβιας άσκησης. Δηλώνει τον μέγιστο όγκο οξυγόνου που μπορεί να επεξεργαστεί ένα άτομο ανά λεπτό (Nowak et al, 2018).

Κατά την εισπνοή, εισέρχεται αέρας μέσω της μύτης ή του στόματος στο **φάρυγγα** (κοινή οδός διέλευσης του αέρα και της τροφής). Στη συνέχεια ο φάρυγγας συνεχίζεται με δυο οδούς: τον οισοφάγο μέσω του οποίου η τροφή καταλήγει στο στομάχο και μέσω του **λάρυγγα** που αποτελεί τμήμα των αεραγωγών. Στο λάρυγγα βρίσκονται οι **φωνητικές χορδές**, δυο όψεις ελαστικού ιστού που επιμηκύνονται οριζόντια κατά μήκος του αυλού αυτού. Η ροή του αέρα κατά μέσω των φωνητικών χορδών προκαλεί τη δόνησή τους, με αποτέλεσμα την παραγωγή ήχων. Η μύτη, το στόμα, ο φάρυγγας και ο λάρυγγας αποτελούν τους **ανώτερους αεραγωγούς**. Ο λάρυγγας καταλήγει σε έναν επιμήκη σωλήνα, την **τραχεία** η οποία με τη σειρά της διαχωρίζεται σε 2 βρόγχους ο καθένας από τους οποίους εισέρχεται σε κάθε πνεύμονα. Εντός του κάθε πνεύμονα υπάρχουν περισσότερες από 20 γενεές διακλαδώσεων του βρογχικού δέντρου, η κάθε μια που καταλήγει σε άλλους αεραγωγούς. Τα τοιχώματα της τραχείας και των βρόγχων περιέχουν δακτυλίδια από χόνδρο, που τους παρέχει το κυλινδρικό στους σχήμα και στήριξη. Οι πρώτες διακλαδώσεις των αεραγωγών που δεν περιέχουν χόνδρο λέγονται **βρογχιόλια**, τα οποία περιβάλλονται από λείους μυς, το οποία συστέλλονται και χαλαρώνουν. Αυτά διακλαδίζονται σε μικρότερα, τελικά βρογχιόλια. Οι **κυψελίδες** αρχίζουν να εμφανίζονται στα αναπνευστικά βρογχιόλια, προσκολλημένες στα τοιχώματα των αναπνευστικών βρογχιολίων. Ο αριθμός των κυψελίδων αυξάνεται στους κυψελιδικούς πόρους και οι αεραγωγοί καταλήγουν τελικά σε κάποιες συναθροίσεις που ονομάζονται κυψελιδικοί σάκοι.

Η εισπνοή απαιτεί την έκπτυξη των πνευμονικών κοιλοτήτων και τη μείωση της ενδοϋπεζωκοτικής πίεσης. Είναι ουσιαστικά η μετακίνηση αέρα διαμέσου των αεραγωγών από το εξωτερικό περιβάλλον μέχρι τις κυψελίδες κατά τη διάρκεια της αναπνοής (Widmaier et al, 2014). Οι εισπνευστικοί μυς δηλαδή διεγείρουν το διάφραγμα και τους έξω μεσοπλευρίους μυς, διεγείροντας το θωρακικό τοίχωμα. Η εισπνοή διαρκεί 2 δευτερόλεπτα, κατά τα οποία οι εισπνευστικοί νευρώνες παύουν ξαφνικά να πυροδοτούν ενώ οι αναπνευστικοί μυς χαλαρώνουν. Στη συνέχεια η εκπνοή διαρκεί 3 δευτερόλεπτα και λόγω της ελαστικής σύμπτυξης των πνευμόνων γίνεται παθητικά (Κλεισούρας, 2011).

- Κατά την ήρεμη αναπνοή το διάφραγμα συσπάται και επιπεδώνεται αυξάνοντας την κάθετη διάμετρο της κοιλότητας.
- Κατά τη βίαιη εισπνοή επιστρατεύονται και οι υπόλοιποι αναπνευστικοί μύες, που ανυψώνουν τις πλευρές και το στέρνο και επεκτείνουν τις κοιλότητες οριζόντια

Η εκπνοή απαιτεί τη σύμπτυξη των πνευμονικών κοιλοτήτων και την αύξηση της ενδοϋπεζωκοτικής πίεσης. Είναι ουσιαστικά η κίνηση κατά την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της αναπνοής.

- Η ήρεμη εκπνοή δεν είναι μια ενεργητική διαδικασία. Με τη χαλάρωση του διαφράγματος, παρατηρείται πτώση του θωρακικού όγκου και αντίστοιχη σύμπτυξη των πνευμόνων. Καθώς αυξάνεται η ενδοϋπεζωκοτική πίεση, ο αέρας αποβάλλεται.

- Η βίαιη εκπνοή απαιτεί τη σύσπαση των πρόσθιων κοιλιακών και των μεσοπλεύριων μυών για τη μείωση του θωρακικού όγκου (Gilroy, 2017).

2.12 Άσκηση και Αναπνοή

Η κύρια λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος είναι να διατηρεί τον κυψελιδικό αερισμό, κάτι που είναι ανάλογο με τις μεταβολικές ανάγκες. Σε ασκήσεις υψηλής έντασης, η προετοιμασία των αναπνευστικών μυών μειώνεται σε απόκριση αυξάνοντας την εργασία των αναπνευστικών μυών και τη δύσπνοια, συμβάλλοντας στην κόπωση των αναπνευστικών μυών και στη μείωση της απόδοσης, που διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα (Hartz et al, 2018). Σε άσκηση της ίδιας κατηγορίας, διεγείρονται και οι επικουρικοί μύες (σκαληνοί και στερνοκλειδομαστοειδείς) εκτείνοντας το άνοιγμα του θώρακα, όσο και οι εκπνευστικοί (έσω μεσοπλεύριοι και κοιλιακοί μύες) κάνοντας πιο εύκολη την εκπνοή (Κλεισούρας, 2011).

Όσον αφορά την άσκηση αντοχής, έχει αποδειχθεί σύμφωνα με τους Scott K. Powers et al, ότι η τακτική άσκηση αντοχής σε ολόκληρο το σώμα οδηγεί σε βελτιωμένη αντοχή των αναπνευστικών μυών, όπως αποδεικνύεται από την αύξηση του μέγιστου συνεχή και εκούσιου αερισμού. Προς το παρόν δεν είναι σαφές εάν ένας περιορισμός του αναπνευστικού συστήματος ενδέχεται να περιορίσει την απόδοση της άσκησης κατά τη μέγιστη στοιχειώδη άσκηση μειώνοντας την παράδοση του κινητήρα O_2 μυών και συνεπώς αν θα μπορούσε να επηρεάσει τον προσδιορισμό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max}$) ή του μέγιστου ρυθμού αερόβιας εργασίας (Oueslati et al, 2018). Σύμφωνα με Yannick Molgat-Seon et al, οι δομικές και λειτουργικές αλλαγές στο αναπνευστικό σύστημα που συνοδεύουν την υγιή γήρανση αλλάζουν τους μηχανισμούς της αναπνοής κατά τη διάρκεια της άσκησης⁹. Η εργασία της αναπνοής αυξάνεται εκθετικά ως συνάρτηση του λεπτού εξαερισμού. Επίσης φαίνεται ότι οι γυναίκες κατά τη διάρκεια της άσκησης έχουν υψηλότερη αναπνοή σε σύγκριση με τους άντρες, καθώς αυτό οφείλεται στους στενότερους αεραγωγούς των γυναικών ενώ αυξάνεται η αντίσταση σε μια δεδομένη ροή.

2.13 Λειτουργική Ανατομία Αναπνευστικών Μυών

Η ήρεμη αναπνοή μπορεί να επιτευχθεί, σε υγιή άτομα, με ενεργητική εισπνοή μέσω της σύσπασης των αναπνευστικών μυών και παθητική εκπνοή μέσω της επαναφοράς του συστήματος στη θέση ηρεμίας. Κύριος αναπνευστικός μυς είναι το διάφραγμα, για το οποίο θα ασχοληθούμε διεξοδικότερα στη συνέχεια, αποτελεί μια ιδιαίτερη δομή μεταξύ των σκελετικών μυών, διότι οι μυϊκές ίνες φέρονται ακτινοειδώς από το κεντρικό τενοντώδες τμήμα προς την περιφέρεια, όπου προσφύονται σε στερεά ερείσματα. Οι πλευρικές ίνες πορεύονται προς τα άνω και κατά τρόπο που παρατίθενται άμεσα στην έσω επιφάνεια του κατώτερου τμήματος της θωρακικής κοιλότητας, σχηματίζοντας τη λεγόμενη ζώνη παραθέσεως του διαφράγματος έναντι του θωρακικού τοιχώματος. Κατά την εισπνοή, αυξάνεται η ενδοκοιλιακή πίεση και μεταφέρεται δια της ζώνης παραθέσεως, εκπύσσοντας το κατώτερο τμήμα της θωρακικής κοιλότητας. Σε καταστάσεις υπερδιάτασης, λόγω πλήρους επιπέδωσης του διαφράγματος, αναπτύσσεται τάση που τείνει να έλξει τις πλευρές προς τα μέσα κατά την εκπνοή πάρα κατά την εισπνοή. Για τον λόγο αυτόν, η οξεία υπερδιάταση αποτελεί σημαντικό φραγμό για την παροχή αποτελεσματικού αερισμού. Η κινητική νεύρωση του διαφράγματος γίνεται από τις

⁹ Οι πνεύμονες και οι αεραγωγοί είναι λιγότερο επιρρεπείς σε δομικές και λειτουργικές προσαρμογές σε σύγκριση με το καρδιαγγειακό και μυϊκό σύστημα (Oueslati et al, 2018).

κινητικές ίνες των φρενικών νεύρων, οι οποίες εκφύονται από την 3η έως την 5η αυχενική ρίζα. Η φυσιολογική εκπνευστική μυϊκή δραστηριότητα απαιτείται σε εξωθητική προσπάθεια (βήχας, φτάρνισμα, αφόδευση), σε ανάγκες υψηλών επιπέδων αερισμού (> 15 L/min), καθώς και σε αναπνοή υπό συνθήκες αυξημένων αντιστάσεων (όπως κατά τη διάρκεια μιας έξαρσης άσθματος ή ΧΑΠ). Αυξημένο έργο και διαταραχή της λειτουργίας της αναπνευστικής αντλίας συχνά συνυπάρχουν σε ασθενείς που παρουσιάζουν αναπνευστική ανεπάρκεια (Νάκος κ.α., 2015). Στους εισπνευστικούς μύες περιλαμβάνονται: το **διάφραγμα**, τους **μεσοπλεύριους μύς**, οι **σκαληνοί** και ο **οπίσθιος οδοντωτός** και στους εκπνευστικούς: τους **κοιλιακούς μύς** (Powers et al, 1997).

2.14 Αναπνευστικοί Μύς

2.14.1.1 Εισπνευστικοί μύς

Διάφραγμα: Είναι ένα μυοτενόντιο πέταλο που διαχωρίζει το θώρακα από την κοιλιά, βασικότερος μύς της αναπνοής. Έχει σχήμα θόλου με δύο θολωτά τμήματα δεξιά και αριστερά, τα ημιδιαφράγματα (Σηφάκη, 2019). Σχηματίζει το έδαφος του θώρακα, την οροφή της κοιλίας και ένα τμήμα του οπίσθιου κοιλιακού τοιχώματος (Gilroy, 2017). Αυτός ο μύς είναι εν τω βάθει μύς και δεν είναι προσιτός στην ψηλάφηση. Σε επίπεδο μηχανικής πρόκειται για τον κύριο εισπνευστικό μύ (Dufour, 2002).

Οι σκελετικές μυϊκές ίνες του διαφράγματος εκφύονται από το πλευρικό τόξο, τα σπονδυλικά σώματα O1-O3 σπονδύλων, τον έσω και στον έξω τοξοειδή σύνδεσμο και την ξιφοειδή απόφυση, ενώ καταφύονται στον κεντρικό τένοντα του διαφράγματος. Το δεξί και το αριστερό σκέλος, τα οποία είναι οι προεκτάσεις του οπίσθιου τμήματος του διαφράγματος, προσφύονται στα σώματα των οσφυϊκών σπονδύλων, με το δεξί σκέλος να εκτείνεται ελαφρώς χαμηλότερα συγκριτικά με το αριστερό. Οι θόλοι της δεξιάς και της αριστερής πλευράς του διαφράγματος είναι ασύμμετροι, ενώ παράλληλα το δεξί ημιδιάφραγμα βρίσκεται γενικά ψηλότερα από το αριστερό (Νάκος κ.α., 2015). Όταν το τενόντιο κέντρο είναι σταθεροποιημένο από την κοιλιακή πίεση, η δράση ανύψωσης των πλευρών προσφέρει μια συνιστώσα απομάκρυνσης όσον αφορά τον προσανατολισμό των πλευροσπονδυλικών αρθρώσεων (πραγματοποιείται αύξηση των θωρακικών διαμέτρων) (Dufour, 2002). Κατά την πλήρη εκπνοή, το διάφραγμα βρίσκεται 4-6 εκατοστά ψηλότερα απ' ό τι κατά μια ολοκληρωμένη εισπνοή. Κατά την εκπνοή ανέρχεται μέχρι το επίπεδο της 4^{ης}-5^{ης} πλευράς στα δεξιά και ελαφρώς χαμηλότερα στα αριστερά (βέβαια εξαρτάται και από τον σωματότυπο του καθενός, την αναπνοή κλπ).

Το διάφραγμα διαθέτει 3 στόμια για τη διέλευση των δομών από τον θώρακα στην κοιλιά και αντίστροφα: 1) το τρήμα της κάτω κοίλης φλέβας, 2) το οισοφαγικό τρήμα και 3) το αορτικό τρήμα. Το 1^ο αποτελεί την δίοδο για την ομώνυμη φλέβα διαμέσου του κεντρικού τένοντα στο σπονδυλικό επίπεδο Θ8. Το 2^ο αποτελεί την δίοδο στο επίπεδο Θ10 για τον οισοφάγο, το πρόσθιο και το οπίσθιο στέλεχος του πνευμονογαστρικού και την αριστερή γαστρική αρτηρία και φλέβα. Το 3^ο αποτελεί δίοδο για την αορτή μεταξύ του δεξιού και του αριστερού σκέλους, καθώς διέρχεται πίσω από το διάφραγμα στο επίπεδο του Θ12 σπονδύλου. Το διάφραγμα αιματώνεται από τη φρενική αρτηρία, την έσω μαστική αρτηρία και τις μεσοπλεύριες αρτηρίες, καθώς επίσης τα αγγεία αυτά προσφέρουν πλούσια αιμάτωση και σχηματίζουν ένα πυκνό αναστομοτικό δίκτυο. Η φλεβική παροχέτευση του διαφράγματος πραγματοποιείται μέσω των κατώτερων φρενικών φλεβών και της κάτω κοίλης φλέβας (Δάσιος, 2012). Η νεύρωση του από την μια πλευρά είναι ζωτικής σημασίας και από την άλλη μεριά,

είναι υποτελής στην επαναφορά που προκαλείται από τον τόνο των κοιλιακών μυών. Το φρενικό νεύρο (A3-A5) είναι αυτό που παρέχει το σύνολο της κινητικής νευρώσεως στην περιφέρεια του διαφράγματος.

Μεσοπλεύριοι μύες: καταλαμβάνουν τα μεσοπλεύρια διαστήματα. Εκτείνονται από το κάτω χείλος της μια πλευράς μέχρι το άνω χείλος της αμέσως υποκείμενης. Οι μεσοπλεύριοι μύες κινούν τις πλευρές κυρίως κατά τη βίαια αναπνοή. Κατά την ήρεμη αναπνοή, δουλειά τους είναι να σταθεροποιούν το θωρακικό τοίχωμα. Σε αυτούς τους μύες κατατάσσουμε τους έξω μεσοπλεύριους μύες και τους έσω και τους εσώτατους μεσοπλεύριους μύες. Οι πρώτοι έχουν ως χαρακτηριστικό τους ότι οι ίνες τους κατευθύνονται προς τα κάτω και εμπρός και σχηματίζουν την πιο επιπολής ομάδα. Οι δεύτεροι καταλαμβάνουν τη μέση και την εν τω βάθει στιβάδα του θωρακικού τοιχώματος αντίστοιχα, με τις ίνες τους να έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω και πίσω (Gilroy, 2017).

Οπίσθιος οδοντωτός: Διακρίνεται σε άνω-οπίσθιο και σε κάτω οπίσθιο οδοντωτό, διαχωρίζοντάς τους μια απονεύρωση. Ο άνω εκφύεται από τον A7 έως τον Θ3 και καταφύεται στην 2^η έως την 5^η πλευρά και η δρα ανυψώνοντας τις πρώτες πλευρές καθώς και σταθεροποιεί την αυχενοθωρακική μοίρας. Ο κάτω εκφύεται από τον Θ11 έως τον Ο3 και καταφύεται στην 9^η έως την 12^η πλευρά και δράση του είναι το κατέβασμα των τελευταίων πλευρών και η σταθεροποίηση της θωρακο-οσφυϊκής μοίρας. Λόγω των πλευρικών τους αποφύσεων αυτοί οι μύες παρουσιάζονται με τη μορφή δακτυλιοειδών αποφύσεων, ενώ η νευρώσή τους γίνεται από τα μεσοπλεύρια νεύρα (Dufour, 2002).

Σκαληνοί μύες:

- Πρόσθιος σκαληνός: Εκφύεται από την 1^η πλευρά και καταφύεται στους αυχενικούς σπονδύλους 3 έως 6. Η πορεία του είναι προς τα άνω, έσω και πίσω
- Μέσος σκαληνός: Εκφύεται από την 1^η πλευρά και καταφύεται στους αυχενικούς σπονδύλους 2 έως 7. Η πορεία του είναι προς τα άνω έσω και ελαφρώς πίσω
- Οπίσθιος σκαληνός: Εκφύεται από την 2^η πλευρά και καταφύεται στους αυχενικούς σπονδύλους 5 και 6. Η πορεία του είναι προς τα άνω και έσω.

Οι σκαληνοί μύες δρουν στις πλευρές, συμμετέχοντας στην αναπνοή (επικουρικός μύς) και στην σπονδυλική στήλη. Στην σπονδυλική στήλη έχουν στατικό ρόλο, δρώντας ως σταθεροποιητής της τραχήλου, αλλά και δυναμικό ρόλο, συμμετέχοντας στην ομοπλάγια κλίση της τραχήλου και την ετεροπλάγια στροφή (Dufour, 2002).

2.14.1.2 Εκπνευστικοί μύες

Οι πιο σημαντικοί μύες που συμμετέχουν στην εκπνοή είναι ο **ορθός κοιλιακός**, οι **έσω και έξω λοξοί κοιλιακοί** και οι **ενδιάμεσοι** κοιλιακοί. Οι μύες της κοιλιάς ανάλογα με την θέση τους διακρίνονται στους πρόσθιους, τους πλάγιους και τους οπίσθιους. Το πρόσθιο και το οπίσθιο κοιλιακό τοίχωμα σχηματίζεται από πέντε μύες από κάθε πλευρά. Στους πρόσθιους μύες κατατάσσονται ο ορθός κοιλιακός και ο πυραμοειδής, στους πλάγιους κοιλιακούς ο έσω λοξός, ο έξω λοξός καθώς και ο εγκάρσιος κοιλιακός ενώ στους οπίσθιους κοιλιακούς μύες κατατάσσεται μόνο ένας μύς ο τετράγωνος οσφυϊκός. Οι κοιλιακοί μύες προφυλάσσουν τα κοιλιακά σπλάχνα, πιέζουν με τη σύσπασή τους τα σπλάχνα συμβάλλοντας έτσι στην αφόδευση, στην κίνηση και στην έντονη εκπνοή, συμβάλλουν στις κινήσεις του θώρακα και όταν συσπώνται μονόπλευρα βοηθούν στην πλάγια κλίση του θώρακα (Σηφάκη, 2019). Επιπλέον η διέγερση των κοιλιακών

μυών μπορεί να συμβάλλει στον ελάχιστο όγκο αερισμού, όπως μπορεί να χρειαστεί κατά τη διάρκεια αναπνευστικής δυσχέρειας. Αυτή η συμβολή έρχεται μετά το τέλος της διέγερσης όταν η ελαστική ανάκρουση του θωρακικού και του κοιλιακού τοιχώματος παράγει ένα εμπνευσμένο αποτέλεσμα (Walter et al, 2015).

2.15 Ιδιότητες Αναπνευστικών Μυών

Οι ιδιότητες συστολής, χαλάρωσης και βράχυνσης των αναπνευστικών μυών είναι παρόμοια με αυτή των γραμμωτών. Οι παράγοντες που καθορίζουν την παραγωγή δύναμης των αναπνευστικών μυών είναι: 1) το μήκος των μυϊκών ινών, 2) η συχνότητα των ερεθισμάτων, 3) η κόπωση των μυών και 4) το εφαρμοζόμενο φορτίο. Η δύναμη που αναπτύσσεται από τους γραμμωτούς μύες εξαρτάται από το ποσοστό των ινών που ενεργοποιούνται κατά τη συστολή του μυός. Ο γραμμωτός μυς με την κατάλληλη άσκηση μπορεί να υπερτραφεί και να αυξήσει την ισχύ και την αντοχή του. Αντίθετα, η λειτουργικότητα των γραμμωτών μυών μπορεί να ελαττωθεί έχοντας κακή διατροφική κατάσταση, αυξανόμενη ηλικία και λόγω διαταραχών των μυών. Επιπλέον η δύναμη που παράγεται σχετίζεται με τη συχνότητα διέγερσης, το μήκος του μυός, τη στιγμή της διέγερσης και την ταχύτητα της μυϊκής σύσπασης. Άρα η μυϊκή σύσπαση εξαρτάται από το συσχετίση μήκους - τάσης και τη συσχέτιση συχνότητας -δύναμης και τη συσχέτιση δύναμης-ταχύτητας (Δάσιος, 2012).

Επιπρόσθετα η ανάπτυξη αναπνευστικής κόπωσης¹⁰ είναι καλά τεκμηριωμένη όχι μόνο σε παθολογικούς ασθενείς αλλά και σε αθλούμενους κατά τη διάρκεια υψηλής έντασης άσκησης (πχ κατά τη διάρκεια τρεξίματος, κολύμβησης, τριάθλου, ποδηλασίας κα). Έχει αποδειχθεί ότι η κόπωση των αναπνευστικών μυών μπορεί να προκαλέσει μια συμπαθητικά μεσολαβούμενη αγγειοσυστολή στους κινητικούς μύες (ροή του αίματος των άκρων και, συνεπώς, η παροχή O₂ υπέρ των αναπνευστικών μυών μπορεί να διεγείρουν την ανάπτυξη κινητικής μυϊκής κόπωσης και έτσι περιορίζεται η ανοχή στην άσκηση) (Oueslati et al, 2018). Όλη αυτή η μεταβολή μπορεί να επιφέρει αλλαγές και στην VO₂max, όπως θα δούμε και παρά κάτω (2.3 ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ). Η παρατήρηση ότι η εκπαίδευση των αναπνευστικών μυών μπορεί να αυξήσει το χρόνο έως την εξάντληση κατά τη διάρκεια συνεχούς άσκησης φορτίου > 80% VO₂max, υποστηρίζει την ιδέα ότι η λειτουργία του αναπνευστικού μυός πρέπει να θεωρείται ως πιθανός καθοριστικός παράγοντας της απόδοσης της άσκησης (Oueslati et al, 2018).

ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (VO₂max)

Ανάλογα με την ένταση της μυϊκής προσπάθειας αυξάνεται και η πρόσληψη ή κατανάλωση οξυγόνου, με αποτέλεσμα να ορίζουμε ως μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO₂max) τον ανώτατο αυτό όγκο οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά τη μέγιστη προσπάθεια στη μονάδα του χρόνου. Με άλλα λόγια είναι η διαφορά του συνολικού όγκου μεταξύ εισπνεόμενου και εκπνεόμενου οξυγόνου, στη μονάδα του χρόνου, πάλι κατά τη μέγιστη μυϊκή προσπάθεια, ενώ η απαίτηση οξυγόνου των μυών που δραστηριοποιούνται είναι ένας αντικειμενικός δείκτης της καρδιοαναπνευστικής λειτουργίας που σχετίζεται με τη συνήθη σωματική δραστηριότητα (Stanislaw et al, 2018). Υποδηλώνει τη μεγαλύτερη ταχύτητα παροχής μυϊκής ενέργειας από τον αερόβιο μηχανισμό και αποτελεί μετρήσιμη ποσότητα της αερόβιας ικανότητας. Ως μονάδα

¹⁰ Αναπνευστική μυϊκή κόπωση ορίζεται ως απώλεια της ικανότητας ανάπτυξης δύναμης ή / και ταχύτητας που προκύπτει από μυϊκή δραστηριότητα υπό φορτίο που αντιστρέφεται με ανάπαυση.

μέτρησης ορίζεται το λίτρο (l) ή το χιλιοστόλιτρο (ml), ενώ συνήθως η μονάδα χρόνου είναι το λεπτό (Κλεισούρας, 2011). Η μέτρηση της VO_2max γίνεται με ανοιχτό κύκλωμα σπιρομέτρησης καθώς ο δοκιμαζόμενος υποβάλλεται σε προοδευτική αυξανόμενη εργομετρική επιβάρυνση έως ότου εξαντληθεί και είναι μοναδική για κάθε άτομο. Πληροφορίες για την σπιρομέτρηση θα παρουσιαστούν διεξοδικότερα στη συνέχεια.

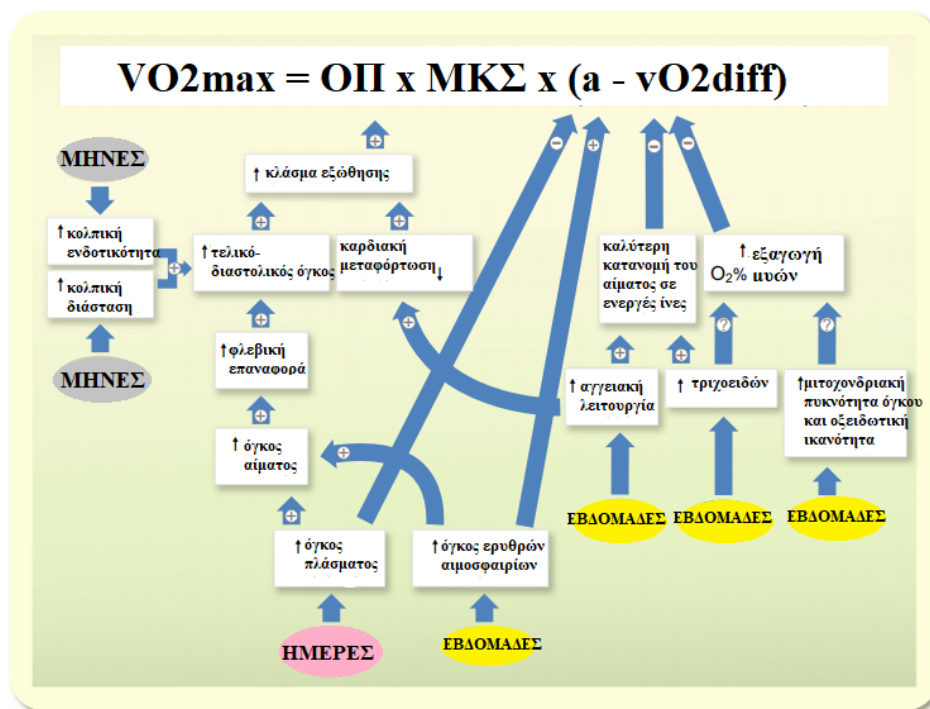
Είναι ουσιαστικά το κοινό διάνυσμα μεταξύ πολλών βιολογικών λειτουργιών και εκφράζει τα μέγιστα όρια προσαρμογής τους κατά την έντονη μυϊκή προσπάθεια, κάνοντάς τον δείκτη λειτουργικής προσαρμοστικότητας ενός ατόμου (Stanisław et al, 2018). Θα λέγαμε ότι επιδρά σε ολόκληρο τον οργανισμό καθώς επιφέρει προσαρμογές στο αναπνευστικό, το καρδιαγγειακό, το κυκλοφορικό σύστημα αλλά και το μυϊκό. Πιο συγκεκριμένα αντανακλά την ικανότητα του αναπνευστικού συστήματος να προσλαμβάνει αέρα και να τροφοδοτεί το αίμα με οξυγόνο μια ικανότητα η οποία εξαρτάται από τους αναπνευστικούς μύες, την οξεοβασική ισορροπία, την πνευμονική χωρητικότητα κ.α. (Κλεισούρας, 2011). Όσον αφορά το κυκλοφορικό σύστημα αντικατοπτρίζει την ικανότητά του να μεταφέρει επαρκείς ποσότητες αίματος σε αυτό και να διοχετεύει την καρδιά αίμα, ενώ οι μυς είναι αυτοί που συμμετέχουν στην ανταλλαγή αναπνευστικών αερίων μεταξύ αίματος και μυών με τη συμβολή των μυϊκών κυττάρων να μεταφέρουν ενέργεια αποτελεσματικά.

2.16 Άσκηση και VO_2max

Η τακτική άσκηση ιδιαίτερα η προπόνηση αντοχής, φαίνεται ότι μπορεί να επηρεάσει την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, καθώς σχετίζεται με πολλές φαινοτυπικές τροποποιήσεις του. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να υποστεί μεταβολή στην ενίσχυση της μεταφοράς O_2 , περιλαμβάνοντας κυρίως αύξηση του όγκου του αίματος, ικανότητα μεταφοράς αίματος από το οξυγόνο και καρδιακή έξοδο. Μια άλλη τροποποίηση είναι και η εξαγωγή οξυγόνου η οποία περιλαμβάνει προσαρμογές στους σκελετικούς μυς, όπως αυξημένη αποπλήρωση και μιτοχονδριακό περιεχόμενο (Lundby et al, 2017).

Η τακτική φυσική δραστηριότητα αυξάνει τις τιμές του VO_2max όντας ο κύριος δείκτης της φυσικής κατάστασης (Chatterjee et al, 2005) (Katch et al, 2006), ενώ επίσης αντιπροσωπεύει το όριο στο οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η παροχή οξυγόνου και η πρόσληψη αυτού από τους μυς που ενεργοποιούνται κατά την άσκηση (Kirkeberg et al, 2010). Σύμφωνα με τα δεδομένα της βιβλιογραφίας, η τιμή του VO_2max μπορεί να αυξηθεί κατά 20-30% κατά τη διάρκεια 8-10 εβδομάδων προπόνησης και ακόμη και κατά 40-50% κατά την περίοδο 1-4 ετών έντονης σωματικής άσκησης. Σε πολλά αθλήματα, μια πολύ ανεπτυγμένη VO_2max αποτελεί προϋπόθεση για υψηλή απόδοση (Basset et Howley, 2000). Οι βελτιώσεις στο VO_2max συνήθως εκδηλώνονται μόλις 2-4 εβδομάδες μετά την έναρξη της προπόνησης, αλλά το VO_2max μπορεί να αυξηθεί μετά από μόλις 1 εβδομάδα. Μια μελέτη ανέφερε τη μεγαλύτερη μέση αύξηση του VO_2max στον άνθρωπο, η οποία ήταν 44% σε διάστημα 10 εβδομάδων ως απόκριση σε υψηλό όγκο έντονης ενδοεπικοινωνίας και συνεχούς εκπαίδευσης. Η αύξηση της μέγιστης καρδιακής απόδοσης που παρατηρήθηκε μετά από αρκετές εβδομάδες προπόνησης αντοχής σχετιζόταν με αιματολογικές προσαρμογές που προκλήθηκαν από άσκηση. Αν και ο όγκος του πλάσματος και του αίματος αυξάνεται μετά από σχετικά λίγες συνεδρίες άσκησης, συμβάλλοντας στην αύξηση του όγκου εγκεφαλικού επεισοδίου και στη μείωση του καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια της μέγιστης άσκησης, οι αλλαγές στον μέγιστο όγκο εγκεφαλικού επεισοδίου και την καρδιακή έξοδο φαίνεται να απαιτούν περισσότερο χρόνο για να εκδηλωθούν. Έχουν αναφερθεί

βελτιώσεις στον μέγιστο όγκο εγκεφαλικού επεισοδίου μετά από 2-6 εβδομάδες εκπαίδευσης σε ορισμένα αλλά όχι σε όλα τα πρωτόκολλα προπόνησης (Gibala et al, 2017).



Εικόνα 2.4: Φυσιολογικές προσαρμογές που βασίζονται σε βελτιώσεις στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) με προπόνηση σε άσκηση (Lundby et al, 2017).

Σύμφωνα με την εικόνα 2.4, η αύξηση του όγκου του πλάσματος παρατηρείται μέσα σε λίγες ώρες μετά την άσκηση σε όλο το σώμα και παραμένει αυξημένη με τακτική προπόνηση. Αύξηση του όγκου των ερυθρών αιμοσφαιρίων και της συνολικής ικανότητας μεταφοράς οξυγόνου ακολουθούν μετά από λίγες εβδομάδες προπόνησης. Η επακόλουθη αύξηση του όγκου του αίματος διευκολύνει την φλεβική επιστροφή οδηγώντας σε υψηλότερο όγκο τελικού διαστολικού και όγκου εγκεφαλικού επεισοδίου (OΠ) μέσω του μηχανισμού Frank-Starling. Οι αλλαγές στον όγκο του πλάσματος και των ερυθρών αιμοσφαιρίων θα επηρεάσουν επίσης το $a-vO_{2diff}$. Μήνες προπόνησης μπορεί να οδηγήσουν σε καρδιακή εκκεντρική υπερτροφία, μέτρια ενισχυμένη κοιλιακή συμμόρφωση και μειωμένη μεταφόρτωση, διευκολύνοντας πιθανώς υψηλότερο τελικό διαστολικό όγκο. Ο μέγιστος καρδιακός ρυθμός (MKΣ) συνήθως δεν επηρεάζεται από την άσκηση. Οι προσαρμογές των σκελετικών μυών που συμβάλλουν ενδεχομένως στην εκχύλιση O_2 και ως εκ τούτου η αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου ($a-vO_{2diff}$) περιλαμβάνουν κυρίως αυξήσεις στην μιτοχονδριακή πυκνότητα όγκου / οξειδωτική ικανότητα και τριχοειδή. Αυτά παρατηρούνται ξεκάθαρα στις πρώτες εβδομάδες της προπόνησης, αλλά δεν έχουν καμία επίδραση $a-vO_{2diff}$, λογικά αποδίδεται στο διπλό λειτουργικό αποθεματικό στην εκχύλιση των μυών O_2 στο VO_{2max} σε μη εκπαιδευμένη κατάσταση. Το βελτιωμένο $a-vO_{2diff}$ είναι εμφανές μετά από περίπου 12 εβδομάδες προπόνησης. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στη βελτιωμένη κατανομή της ροής του αίματος που καθορίζεται κυρίως από συνδυασμένες προσαρμογές στη λειτουργία του αγγειακού διαστολέα/συστολέα και της μικροαγγειακής δομής. Τελικά, υπάρχει λίγο «περιθώριο» για

αύξηση του $a-vO_2\text{diff}$, και έτσι, οι βελτιώσεις του $VO_2\text{max}$ καθορίζονται ουσιαστικά από τις αυξήσεις του SV μαζί με τη σχετικά διατηρημένη ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου στο αίμα.

2.17 Περιορισμοί – Ιδιαιτερότητες

Υπάρχουν όμως και φυσιολογικοί παράγοντες οι οποίοι θα μπορούσαν να περιορίσουν τη $VO_2\text{max}$. Αυτοί είναι η ικανότητα αναπνευστικής διάχυσης, ο μέγιστος λεπτός όγκος της καρδιάς, η ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου του αίματος και οι ιδιότητες των σκελετικών μυών (Racoval et al, 2018), ενώ παράλληλα, είναι γνωστό ότι οι παράμετροι της αναπνευστικής λειτουργίας ποικίλλουν ανάλογα με την ηλικία, το ύψος, το βάρος, το φύλο και την εθνικότητα (Quanjer et al, 2012). Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, οι αναπνευστικοί όγκοι μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με τον τύπο, την ένταση, τη διάρκεια και τη συχνότητα των αθλητικών δραστηριοτήτων (Twisk et al, 1998) (Meylan et al, 2014).

Επίσης θα πρέπει να αναφέρουμε το γεγονός ότι κυριαρχεί στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές των αναπνευστικών παραμέτρων μεταξύ αθλητών και μη αθλητών¹¹, καθώς και μεταξύ διαφορετικών τύπων αθλημάτων, όπως προαναφέρθηκε, και αυτό οφείλεται στη διαφορά σύνθεσης του σώματος των αθλουμένων (Racoval et al, 2018). Η μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου απαιτεί άσκηση έως και το στάδιο της εξάντλησης, γεγονός το οποίο δεν συνιστάται για άτομα που περιορίζονται από πόνο, κόπωση, ανώμαλο βάδισμα ή εξασθενημένη ισορροπία (Dean et Noonan, 2000), ενώ επίσης δοκιμές μέγιστης προσπάθειας αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα ανεπιθύμητων καρδιακών επεισοδίων σε ηλικιωμένους και καρδιακούς ασθενείς (Arena et al, 2007).

2.18 Μέτρηση $VO_2\text{max}$

Τα πρώτα χρόνια εφαρμογής των μετρήσεων $VO_2\text{max}$ οι διαδικασίες ήταν επίπονες, χρονοβόρες και εν μέρη ακατάλληλες για κλινικές αξιολογήσεις. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου μετριούνταν χρησιμοποιώντας μια ασυνεχή σειρά προοδευτικά υψηλότερων σταδίων σταθερής ταχύτητας ή σταθερού ρυθμού εργασίας βαθμολογώντας βήματα. Το καθένα συνεχιζόταν για αρκετά λεπτά μέχρι μια σχεδόν σταθερή κατάσταση (εάν είναι εφικτή) ή μέχρι εξάντλησης. Από το 1970 και έπειτα, με την έλευση ταχέως ανταποκρινόμενων αναλυτών O_2 και CO_2 σε συνδυασμό με στιγμιαίες μετρήσεις ροής αερίου, χρησιμοποιήθηκαν πνευμοτοταγράφοι ή μεταγενέστερες τουρμπίνες και τεχνολογίες υπερήχων, κάνοντας δημοφιλές το πρωτόκολλο μέγιστης αύξησης ή δοκιμής ράμπας. Αυτό το τεστ αποτελεί αύξηση της ταχύτητας ή του ρυθμού εργασίας σταδιακά, ιδανικά κατά τη διάρκεια των 8-12 λεπτών, στο όριο της αντοχής (Jones et al, 2017). Πλέον με την έλευση των ταχέως ανταποκρινόμενων αναλυτών αερίου και των πνευμονικών μετρήσεων ανταλλαγής αερίων αναπνοής οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε λιγότερο χρόνο ενώ φαίνεται να είναι και πιο αξιόπιστες παρά την μεταβλητότητα που μπορεί να υπάρξει όπως θα δούμε και παρακάτω.

Η μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου αποτελεί θεμελιώδη βάση για την κατανόηση της φυσιολογικής λειτουργίας και της άσκησης στην υγεία. Η αξιολόγησή της έχει σημαντική κλινική χρησιμότητα για τη μέτρηση και την κατανόηση της δυσλειτουργίας στη γήρανση και σε

¹¹ Υπάρχει τουλάχιστον 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο εκπαιδευμένο έναντι του μη εκπαιδευμένου ατόμου (Suttun, 1992).

μια σειρά από παθολογικές καταστάσεις που επηρεάζουν το πνευμονικό, καρδιαγγειακό και μυϊκό σύστημα από χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια και διαβήτη έως HIV-AIDS (Jones et al, 2017). Κατά την μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου, παρουσιάζεται υψηλή μεταβλητότητα ακόμη και σε συνθήκες σταθερής κατάστασης, ενώ επίσης αντιπροσωπεύει πιστά την κατανάλωση οξυγόνου ολόκληρου του οργανισμού. Ένας από τους κύριους λόγους για τη μεταβλητότητα στην πρόσληψη οξυγόνου κατά την αναπνοή είναι η διακύμανση του όγκου του εμπνευσμένου και του εμπνεόμενου αέρα (Wüst et al, 2008), παρ' όλα αυτά είναι ένας καλός δείκτης αποτελεσματικότητας των προγραμμάτων άσκησης (Jones et al, 2017).

2.19 Μεταβλητότητα $\dot{V}O_2\max$

Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να οφείλεται σε δύο πηγές: φυσιολογικές πηγές και πειραματικό σφάλμα. Ας πάρουμε για παράδειγμα ότι στην αρχή της άσκησης, η πρόσληψη αναπνευστικών μυών θα οδηγήσει σε ξαφνική μείωση του όγκου των πνευμόνων στο τέλος του εκπνευστικού, η οποία με τη σειρά της θα προκαλέσει μείωση των τελικών αποθηκών αναπνευστικών αερίων και έτσι σε υποεκτίμηση της κυψελιδικής πρόσληψης O_2 . Αυτό το πρόβλημα έχει αναγνωριστεί στο παρελθόν και αρκετές μελέτες προσπάθησαν να λάβουν υπόψη τις εκτιμήσεις του αλλαγές στις αποθήκες πνευμονικών αερίων.

Κατά την έναρξη της άσκησης, η επίδραση της μυϊκής αντλίας των μυών στην πρόσφυση θα αυξήσει τη φλεβική επιστροφή προς τον θώρακα με αποτέλεσμα αυξημένο όγκο αίματος του θώρακα. Ταυτόχρονα, είναι πιθανό ένας συνδυασμός αυξημένου εξαερισμού και καρδιακής απόδοσης να έχει οδηγήσει σε αυξημένη πρόσληψη κυψελιδικών τριχοειδών και αυξημένη κυκλοφορία των πνευμόνων (Wüst et al, 2008).

Όσων αφορά την πρόβλεψη της $\dot{V}O_2\max$, η χρήση μεθόδων βασιζόμενων στο RPE¹² πλεονεκτούν και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το RPE παρέχει έναν γρήγορο, απλό και μη επεμβατικό τρόπο για την εκτίμηση και συνταγογράφηση της έντασης της άσκησης. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των πρωτοκόλλων που βασίζονται σε RPE είναι ότι απαιτούν από τα άτομα να ασκούνται εντός ενός ορατού αντιληπτικού πλαισίου (RPE 6–20), το οποίο επιτρέπει μια απλή παρέκταση σε μια θεωρητική μέγιστη (RPE 20) ή σχεδόν μέγιστη (RPE 19) τιμή (Evans et al, 2014).

ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

2.20 Γενικά Στοιχεία και ιστορική αναδρομή

Οι μετρήσεις του όγκου των οργάνων χρονολογούνται από τον 2^ο αιώνα, όταν ο Claudius Galenus μέτρησε τις διακυμάνσεις στον όγκο της ουροδόχου κύστης ενός αγοριού πριν και μετά την διόγκωσή του. Η μέτρηση της πνευμονικής λειτουργίας αναπτύχθηκε αργότερα από φυσιολόγους, συμπεριλαμβανομένων του Giovanni Borelli (1608-1679), του Humphry Davy (1778-1829) και του Nestor Grehant (1838-1910), των οποίων τα σκίτσα των αερόμετρων τους είναι ακόμα διαθέσιμα. Το πρώτο γνωστό σπιρόμετρο αναπτύχθηκε από τον Άγγλο ιατρό John Hutchinson το 1846 (Lopes, 2019).

Υπήρξαν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις στα σπιρόμετρα τις τελευταίες δεκαετίες, ειδικά όσων αφορά τις φορητές συσκευές. Έχουν προταθεί νέοι δείκτες και τρόποι ανάλυσης των αποτελεσμάτων, οι οποίοι μπορεί να είναι χρήσιμοι για άτομα με οριακή ή ήπια πνευμονοπάθεια βάσει παραδοσιακών σπιρομετρικών κριτηρίων (Piorunek et al, 2017). Υπάρχει δυνατότητα

δοκιμασίας πολλών μεταβλητών καθώς μπορούν να ληφθούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Τα υπερβολικά δεδομένα όμως μπορεί να οδηγήσουν σε ατελή κατανόηση ανάλυσης. Το ζήτημα αυτό μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας μια πιο περιεκτική μορφή αναφοράς και παρουσιάζοντας δεδομένα σε τυπική μορφή (Lopes, 2019). Το 1998 δημιουργήθηκαν και οι πρώτοι φορητοί αναλυτές αερίων με το σύστημα breath-by-breath όπου ο όγκος και η σύσταση του εκπνεόμενου αέρα αξιολογούνται ανά αναπνοή και επιτρέπουν μεγαλύτερη ακρίβεια και ευαισθησία στην αξιολόγηση.

Η σπιρομέτρηση είναι η συνηθέστερη και η πιο απλή διαδικασία που διεξάγεται με σκοπό τον έλεγχο της αναπνευστικής λειτουργίας ενώ παράλληλα χρησιμεύει τόσο στη διάγνωση όσο και στην παρακολούθηση αρκετών παθήσεων του αναπνευστικού. Πιο συγκεκριμένα η σπιρομέτρηση είναι η διαδικασία μέτρησης της ροής του αέρα κατά τη διάρκεια της βίαιης εκπνοής του από τη θέση μέγιστης εισπνοής, ή διαφορετικά, μέτρησης της ταχύτητας μεταβολής του εκπνεόμενου όγκου αέρα από την ίδια θέση. Η σπιρομέτρηση είναι μία αναίμακτη, μη επεμβατική εξέταση, η οποία διενεργείται με το σπιρόμετρο. Το σπιρόμετρο είναι η ιατρική συσκευή η οποία μέτρα το συνολικό όγκο που μπορεί να εκπνεύσει και να εισπνεύσει από τους πνεύμονες του ο εξεταζόμενος. Βασίζεται σε ένα διαφορικό μετατροπέα πίεσης, υψηλής ακριβείας, με σκοπό την μέτρηση της εξερχόμενης ροής του εκπνεόμενου αέρα. (Γιαννακούλα, 2014). Ένας καταλληλότερος όρος για τη <σπιρομετρία> είναι η <αναπνευστική ανταλλαγή αερίων> (RGE) όπου ξεκίνησε να χρησιμοποιείται για τον έμμεσο προσδιορισμό θερμότητας που παράγεται σε ζώα και ανθρώπους (έμμεση θερμιδομετρία) (Ramos-Alvarez et al, 2020).

2.21 Φορητός Αναλυτής Αερίων

Για πάνω από 1 αιώνα επιστήμονες και γιατροί ενδιαφέρθηκαν για την παρακολούθηση της αναπνευστικής ανταλλαγής αερίων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα κατά την μεμονωμένη άσκηση. Αυτός όμως που κατάφερε πρώτος να αναπτύξει την ιδέα αυτή ήταν ο Douglas, το 1911, με την μέθοδό του < Douglas Bags> για τη μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου και την αποβολή διοξειδίου του άνθρακα (Macfarlane, 2001). Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1970 για τις μετρήσεις μεταβολικών και αναπνευστικών μεταβλητών κατά τη διάρκεια της άσκησης αρκούσε ένα σπιρόμετρο Douglas Bags ή τύπου Tissot μαζί με έναν μετρητή αερίων για τη συλλογή και μέτρηση της έντασης της εκπνοής. Αν και ο βαθμός ακριβείας των μεθόδων αυτών ήταν πολύ μεγάλος (και μέχρι και σήμερα ακόμα χρησιμοποιούνται σαν κριτήρια εγκυρότητας σε μελέτες) μια ανάλυση έπαιρνε πολύ χρόνο και εξαρτιόταν πολύ από τις τεχνικές ικανότητες του χειριστή αλλά και την ποιότητα των χημικών που χρειαζόντουσαν για την έρευνα. Τα νέα σπιρόμετρα κατάφεραν με την εξέλιξη τους να μπορούν να μετρούν τα αέρια ξεχωριστά αλλά και ταυτόχρονα με γρήγορα και ακριβή αποτελέσματα. Το κόστος όμως, το μέγεθος και η συντήρηση των μηχανημάτων αυτών δεν βοήθησε τα εργαστήρια άσκησης να τα αποκτήσουν (Macfarlane, 2001). Έχουμε δει μεγάλη εξέλιξη στην ανάπτυξη φορητών αναλυτών αερίου τα τελευταία χρόνια. Μέχρι και το 1998 χειροκίνητοι φορητές αναλυτές αερίων έκαναν το πέρασμά τους με ικανοποιητικά αποτελέσματα συνήθως όμως με περιορισμούς και δυσκολίες. Το 1906 η μέθοδος Zuntz (του Nathan zuntz) ήταν αρκετά ακριβές αλλά το βάρος του και η περιορισμένη δειγματοληψία αερίου δεν διευκόλυναν την υιοθεσία του. Κι άλλες μέθοδοι όπως εκείνες των Kofranyt Michaelis (1940) και Heinz Wolff (1956) έκαναν την εμφάνιση τους αλλά δεν κατάφεραν να εντυπωσιάσουν. Η μέθοδος που θεωρήθηκε η πιο επιτυχημένη και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα έστω και συμβουλευτικά είναι η μέθοδος Douglas Bags (1911). Ο υπολογισμός της κατανάλωσης O₂ και παραγωγής CO₂ γίνεται με βάση των παρακάτω εξισώσεις :

- $VO_2 : VO_2 = V_i * \% O_{2i} - V_e * \% O_{2e}$
- $VCO_2 : VCO_2 = V_e (\% CO_{2e} - \% CO_{2i})$

Όπου :

- V_i : όγκος εισπνεόμενου αέρα
- V_e : όγκος εκπνεόμενου αέρα
- $\%O_{2i}$: ποσοστό εισπνεόμενου O_2 (κανονικά 20.93%)
- $\%O_{2e}$: ποσοστό εκπνεόμενου O_2
- $\%CO_{2i}$: ποσοστό εισπνεόμενου CO_2 (κανονικά 0.003%)
- $\%CO_{2e}$: ποσοστό εκπνεόμενου CO_2

Υπολογισμός αναπνευστικού πηλίκου (respiratory quotient): $RQ = VCO_2/VO_2$

2.22 Μέθοδος Douglas Bags

Η μέθοδος Douglas bags εφευρέθηκε το 1911 και είναι μία τεχνική μέτρησης του μεταβολικού ρυθμού όλου του σώματος που γίνεται με την ανάλυση χημικών αερίων. Την ίδια χρονιά ο Douglas ισχυρίστηκε ότι «με την κατάλληλη τεχνική κανένα αξιόλογο σφάλμα δεν θα προκύψει» και η μέθοδος του γρήγορα κέρδισε τη φήμη ως πολύ ακριβής μέτρηση (Shephard, 2017). Στην αρχή των μελετών υπήρχε αυξημένη εκτίμηση των σφαλμάτων στη μέτρηση των όγκων και της σύνθεσης των αερίων, τα περισσότερα όμως σφάλματα της μεθόδου έχουν επιλυθεί μέσω συνδυασμού προσεκτικής τεχνικής και την εξέλιξη της τεχνολογίας. Η μέθοδος αυτή τα πρώτα 70 χρόνια βοήθησε στη λήψη πολλών δεδομένων για τις έννοιες της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και βοήθησε επίσης στον προσδιορισμό βασικών εννοιών στη φυσιολογία της άσκησης. Διατηρήθηκε ως πρότυπο για την αξιολόγηση άλλων προσεγγίσεων στην αναπνευστομετρία ανοιχτού κύκλου (Shephard, 2017). Μέσα από μία έρευνα που σύγκρινε 3 αυτοματοποιημένα συστήματα (9000 IV Ergometric System, MM-Horizon, EOS-Sprint) με τη μέθοδο Douglas Bags για τη μέτρηση της πρόσληψης O_2 μέσα από ασκήσεις βηματισμού αλλά και έντονη άσκηση, παρατηρήθηκε ότι τα αυτοματοποιημένα συστήματα ήταν βολικά και αποτελεσματικά για τη μέτρηση της πρόσληψης O_2 παρόλα αυτά οι σταθερές χρόνου της συνάρτησης που περιγράφει την κινητική οξυγόνου κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων αλλαγών στο βήμα ήταν διαφορετική και για τα τρία συστήματα. Για το λόγο αυτό όταν η κινητική πρόσληψης οξυγόνου είναι απαραίτητη πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος απόκρισης του συστήματος μέτρησης (Versteeg and Kippersluis, 1989).

2.23 Σπυρομετρικές Παράμετροι

Η σπυρομετρία απαιτεί την ακριβή κατανόηση και συνεργασία του δοκιμαζόμενου, τον εξειδικευμένο εξοπλισμό και την εφαρμογή τυποποιημένων τεχνικών από ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό (Lopes, 2019).

Οι σπυρομετρικές παράμετροι χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση λειτουργικών ελαττωμάτων. Οι κύριοι παράμετροι σπυρομετρίας είναι:

- VC : Ζωτική χωρητικότητα
- FVC : Βίαια ή αναγκαστική (εκπνεόμενη ζωτική χωρητικότητα). Με αυτό τον όρο αναφερόμαστε στην δυναμική ζωτική χωρητικότητα, δηλαδή στον ολικό όγκο αέρα που μπορεί να εκπνευστεί μετά από μία πλήρη εισπνοή, η οποία μετριέται κατά την δυναμική εκπνοή του ασθενή (Γιαννακούλα, 2014).
- FEV : (υπολικός όγκος εκπνοής κατά το πρώτο δευτερόλεπτο. Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στον δυναμικά εκπνεόμενο όγκο, δηλαδή στον όγκο αέρα που εκπνέεται

σε ένα δευτερόλεπτο στην διάρκεια δυναμικής εκπνοής από το σημείο της πλήρους εισπνοής (Γιαννακούλα, 2014).

- FEV₁/VC ή FEV₁/FVC: σχέση μεταξύ αυτών των παραμέτρων (Lopes, 2019).
- PEF: Μέγιστη ροή αέρα κατά την εκπνοή: Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στη μέγιστη ροή του αέρα κατά την εκπνοή, δηλαδή στο σύνολο της ροής του βρογχικού δένδρου (Γιαννακούλα, 2014).
- MEFV: Καμπύλη μέγιστου εκπνεόμενου όγκου ροής. Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στη μέγιστη ροή στην αρχή της λήξης και μειώνεται καθώς ο όγκος των πνευμόνων πλησιάζει τον υπολοιπόμενο όγκο (RV) (Lopes, 2019).
- MMEF: Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στην μέγιστη μεσοεκπνευστική ροή.

2.24 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί του Φορητού Σπιρομέτρου

Τα ηλεκτρονικά φορητά σπιρόμετρα φαίνεται να είναι συγκρίσιμα με τη συμβατική εργαστηριακή σπιρομέτρηση σε αρκετές χρόνιες αναπνευστικές καταστάσεις, όπως άσθμα και ΧΑΠ, κυστική ίνωση, ιδιοπαθή πνευμονική ίνωση, μεταμοσχεύσεις πνευμόνων κ.α. (Carpenter et al, 2018). Πράγματι, η ικανότητα των ασθενών να παρακολουθούν την σπιρομετρία εβδομαδιαίως, συχνότερα από ό, τι είναι εφικτό χρησιμοποιώντας εργαστηριακές μετρήσεις, προσφέρει πλεονεκτήματα σε ορισμένες ρυθμίσεις όπου η έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων είναι σημαντική (π.χ. η παρακολούθηση της πνευμονικής ίνωσης, παρακολούθηση της μεταμόσχευσης πνευμόνων) (Vegesna et al, 2016). Οι πιο συνηθισμένοι περιορισμοί όσων αφορά τα φορητά σπιρόμετρα είναι αυτοί του κόστους, θα το εξετάσουμε και αναλυτικότερα παρά κάτω, της έλλειψη σχολίων σχετικά με την ποιότητα των αναπνευστικών ελιγμών, η μεταβλητή αναφορά των επιπέδων ακρίβειας. Αν αναφερόμαστε σε καταστάσεις υγείας, και όχι σε μέτρηση Vo₂max, οι συσκευές είναι σε θέση να παρέχουν μόνο αναγνώσεις σπιρομετρίας και δεν μπορούν να βοηθήσουν στη μέτρηση του όγκου των πνευμόνων ή της ικανότητας διάχυσης (Kouri et al, 2020). Τα παραδοσιακά σπιρόμετρα έχουν αρκετά μειονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένων των κινδύνων που σχετίζονται με τη διασταυρούμενη μόλυνση, δυσκολία στον καθαρισμό της συσκευής και προκλήσεις στη χρήση σε άτομα με αναπηρία (Zhang et al, 2020). Φαίνεται ότι η σπιρομέτρηση είναι υπο-εκμετάλλευση λόγω έλλειψης συνειδητοποίησης της σημασίας του σπιρομέτρου, περιορισμένης πρόσβασης στη δοκιμή και ακατάλληλων τεχνικών και ερμηνειών, παρά την κλινική του σημασία (Lopes, 2019).

Υπάρχουν σπιρόμετρα φορητά και σταθερά, με και χωρίς φίλτρο. Όσων αφορά το σταθερό σπιρόμετρο, η προσάρτηση σε αυτό αντιμικροβιακού φίλτρου έχει αποδειχθεί ότι δεν αλλοιώνει τα αποτελέσματα των παραμέτρων, ενώ αντίθετα το φορητό μετά την τοποθέτηση αντιμικροβιακού φίλτρου φαίνεται να παρουσιάζει κάποια αδυναμία ειδικότερα της παραμέτρους που σχετίζονται με την ροή. Επιπροσθέτως τα φορητά σπιρόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αξιόπιστα σε περιφερικές δομές υγείας, αποτελώντας χρήσιμο εργαλείο για τον περιφερειακό ιατρό στην ταχεία εκτίμηση του απομακρυσμένου αναπνευστικού ασθενή επιτρέποντας έτσι άμεσες παρεμβάσεις (Γιαννακούλα, 2014). Άλλα παραδείγματα σπιρομέτρων είναι: το σπιρόμετρο με οξύμετρο spirolab iii, το σπιρόμετρο spirobank, το σπιρόμετρο spirodoc, το φορητό σπιρόμετρο SP10 (mediva.gr/σπιρόμετρα).

2.25 COSMED K4B2

Το COSMED K4B2 όπου κυκλοφόρησε το 1998 ήταν και το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο φορητό σύστημα breath-by-breath. Το σύστημα αυτό μετράει τη ροή κατά την εισπνοή και

εκπνοή μέσω μιας αμφίδρομης ψηφιακής τουρμπίνας. Παρά την πολυπλοκότητά του ζυγίζει περίπου 1 κιλό και έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς (>600 δημοσιεύσεις συνολικά). Από τότε έχουν παρατηρηθεί άλλες σταδιακές εξελίξεις με ασύρματες τεχνολογίες, GPS και νέους μικροσκοπικούς αισθητήρες που επιτρέπουν ένα ευρύ φάσμα επιλογών για περιβαλλοντικές και φυσιολογικές μετρήσεις προς καταγραφή και μετάδοση.

Το μηχάνημα της b2 είναι ένας φορητός αναλυτής αερίων που κυκλοφόρησε το 1998 και με μεγάλη επιτυχία στα αποτελέσματά του είναι από τα καλύτερα σπιρόμετρα για τη μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κατά την άσκηση.



Εικόνα 2.5: Cosmed K4b²

2.26 Βαθμονόμηση Σπιρομέτρου

Οι οδηγίες κλινικής πρακτικής προτείνουν ημερήσιους ελέγχους βαθμονόμησης σπιρομέτρου και εβδομαδιαίους ελέγχους γραμμικότητας. Η μακροπρόθεσμη σταθερότητα του όγκου και της ακρίβειας ροής ενός συγκεκριμένου μοντέλου σπιρομέτρου πρέπει να χαρακτηρίζεται προσεκτικά πριν από την τροποποίηση της συχνότητας των ελέγχων βαθμονόμησης για αυτό το μοντέλο σπιρομέτρου (Skloot et al, 2010). Για μοντέλα σπιρομέτρων που έχουν αποδειχθεί ότι παραμένουν σταθερά για μεγάλα χρονικά διαστήματα, οι ημερήσιοι έλεγχοι βαθμονόμησης είναι λιγότερο σημαντικοί από την έντονη καθοδήγηση των ασθενών ή τους συμμετέχοντες στη μελέτη για μέγιστες προσπάθειες αναπνοής.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Δοκιμαζόμενοι

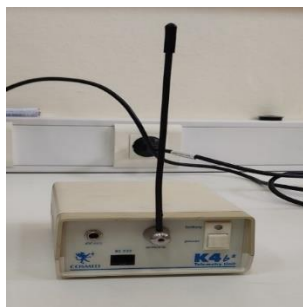
Στην έρευνα συμμετείχαν 4 γυναίκες ηλικίας 22 ± 2 έτη, μάζα 48 ± 12 κιλά, ύψος $1,65 \pm 0,05$ μέτρα, με μικρή αθλητική εμπειρία. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Τμήμα Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και είχαν διάρκεια δύο μη διαδοχικές ημέρες. Υποχρέωση τους ήταν να πραγματοποιήσουν ένα παλίνδρομο τεστ μέχρι εξάντλησης, με δύο προσπάθειες η κάθε μία. Σε πρώτη φάση οι δοκιμαζόμενες υποβλήθηκαν σε κάποιες ερωτήσεις σωματομετρικών χαρακτηριστικών. Μετρήθηκαν το ύψος και το βάρος στο εργαστήριο και έπειτα υπογράψανε συναίνεση για τη συμμετοχή στην έρευνα. Η έρευνα πήρε έγκριση από την επιτροπή βιοηθικής του ΤΕΦΑΑ – ΕΚΠΑ (Αριθμός πρωτοκόλλου 1238/18-11-2020). Τις δύο φορές που επισκέφθηκαν οι δοκιμαζόμενες το εργαστήριο τους ζητήθηκε το πρωινό των μετρήσεων να είχε καταναλωθεί ένα καλό πρωινό γεύμα, πολλά υγρά και να είχε προηγηθεί ένα ξεκούραστο βράδυ με τουλάχιστον 8 ώρες ύπνου.

Βαθμονόμηση εργοσπιρόμετρου

Ο φορητός αναλυτής αερίων K4b² που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα αποτελείται από τα παρακάτω :



Εικόνα 2.6: Συσκευή φόρτισης μπαταρίας και μπαταρίες (1)



Εικόνα 2.7: Τηλεμετρητής (2)



Εικόνα 2.8: Φορητός αναλυτής K4b² (3)

(4) Μάσκα

(5) Καλώδια σύνδεσης

Προθέρμανση k4b²

Το μηχάνημα διαθέτει δύο αισθητήρες θέρμανσης, ένα για το οξυγόνο και ένα για το διοξείδιο του άνθρακα. Πριν ξεκινήσει η βαθμονόμηση απαιτείται το ζέσταμα του μηχανήματος για 45' με θερμοκρασία περιβάλλοντος στους 20°C. Για να γίνει αυτό συνδέουμε το καλώδιο με το κόκκινο χρώμα στο φορητό αναλυτή με μία μπαταρία ή με τη συσκευή φόρτισης.

Συνδεσιμότητα k4b²



Εικόνα 2.9: Βύσματα σύνδεσης στον φορητό αναλυτή K4B²

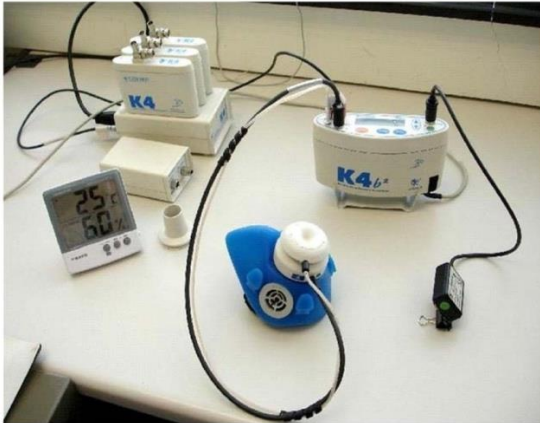
Για τη συνδεσιμότητα του μηχανήματος και την καλή του λειτουργία χρειάζεται να το έχουμε τοποθετημένο σε χώρο σταθερό και να προσέχουμε πολύ τις εγκοπές στις οποίες θα γίνονται οι συνδέσεις.

1. Για τη σύνδεση με τον υπολογιστή παίρνουμε το καλώδιο USB και το τοποθετούμε στην ειδική θύρα του υπολογιστή και την άλλη άκρη στο K4 στο κάτω μέρος του
2. Για να συνδέσουμε το K4 με την μπαταρία παίρνουμε το καλώδιο ρεύματος (με την κόκκινη άκρη) και το τοποθετούμε στο βύσμα που αναγράφει power cable και στην μπαταρία. Άμα οι μπαταρία φορτίζει μέχρι να γίνουν οι μετρήσεις μπορούμε να το συνδέσουμε και με τη συσκευή φόρτισης των μπαταριών.
3. Στη θύρα πάνω στο K4 που αναγράφεται η λέξη «antenna» τοποθετούμε την κεραία, της οποίας η αντίστοιχη τοποθετείται πάνω στην μπαταρία κατά τη διάρκεια της μέτρησης.
4. Στο sampling (δειγματοληψία) τοποθετούμε το λεπτό καλώδιο με το οποίο γίνεται η συλλογή αερίων για αυτό και την άλλη του άκρη τη συνδέουμε με τη μάσκα στο μπροστινό κάλυμμα. Το καλώδιο αυτό είναι κολλημένο με ένα άλλο μαύρο καλώδιο το

οποίο το τοποθετούμε στο βύσμα που λέει turbine το οποίο συνδέεται με την τουρμπίνα στη μάσκα.

5. Στην άλλη μεριά του K4 υπάρχει άλλο ένα βύσμα με την ονομασία temp & heart rate probe. Εκεί τοποθετούμε ένα καλώδιο το οποίο συνδέεται με ένα μικρό μηχανήμα που ακουμπάμε στον δοκιμαζόμενο κατά τη διάρκεια της μέτρησης για να καταγράψει την καρδιακή συχνότητα.

ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ



Εικόνα 2.10: Συνδεδεμένο σύστημα σπιρομέτρου

Αφού έχει ολοκληρωθεί το κομμάτι της συνδεσιμότητας περνάμε στη βαθμονόμηση του μηχανήματος. Αφού έχουμε συνδέσει το k4b2 με τον υπολογιστή, στην αρχική οθόνη θα βρούμε το πρόγραμμα βαθμονόμησης και το ανοίγουμε :

1. Βαθμονόμηση αέρα δωματίου (Room Air): Αφαιρούμε από το μπροστινό κάλυμμα της μάσκας το λεπτό καλώδιο δειγματοληψίας και το κρατάμε ψηλά. Στο πρόγραμμα βαθμονόμησης του υπολογιστή πηγαίνουμε στο Calibration και πατάμε room air. Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης προσέχουμε να μην αναπνέουμε κοντά στο καλώδιο για να μην αλλοιωθούν τα αποτελέσματα. Όταν τελειώσει η βαθμονόμηση κοιτάμε εάν τα νούμερα είναι εντός ορίων (μαύρα) και να μην είναι κανένα κοκκινισμένο. Αν είναι όλα εντάξει πατάμε «done».
2. Βαθμονόμηση αερίου (Gas): Για τη βαθμονόμηση αερίου θα χρειαστούμε τη φιάλη αερίου και τη συσκευή βαθμονόμησης αερίου. Συνδέουμε το λεπτό σωλήνα που έχει πάνω ένα διακόπτη (on-off) με τη φιάλη και τη συσκευή. Παράλληλα βγάζουμε και το λεπτό καλώδιο δειγματοληψίας από το κάλυμμα της μάσκας. Προσέχουμε πολύ να έχουμε συνδέσει καλά το σωλήνα και να μην περνάει καθόλου αέριο έξω. Στρέφουμε το διακόπτη στο on για να περάσει αέριο στη συσκευή και μετά περιστρέφοντας το στρογγυλό μαύρο πόμολο της φιάλης ανεβάζουμε την πίεση, η οποία θα πρέπει να δείχνει στο μανόμετρο 3 έως 5 bar. Μόλις φτάσει εκεί στρέφουμε το διακόπτη στο off και έπειτα περιστρέφουμε το καπάκι της φιάλης 90° ώστε ο δείκτης στο δεύτερο μανόμετρο να φτάσει κάπου στη μέση. Έπειτα πάμε στο πρόγραμμα του υπολογιστή και στο calibration πατάμε gas. Η βαθμονόμηση ξεκινάει με room air calibration οπότε όπως

στην προηγούμενη βαθμονόμηση κρατάμε ψιλά το καλώδιο δειγματοληψίας και δεν αναπνέουμε κοντά του. Μόλις τελειώσει η βαθμονόμηση αυτή βγαίνει ένδειξη ότι ξεκινάει η βαθμονόμηση αερίου. Εκείνη τη στιγμή γρήγορα τοποθετούμε το καλώδιο στη συσκευή βαθμονόμησης αερίου και στρέφουμε το διακόπτη στο σωλήνα στο on. Όταν τελειώσει η βαθμονόμηση τσεκάρουμε πάλι τα νούμερα να μην είναι κοκκινισμένα και να είναι εντός ορίων και πατάμε done. Κλείνουμε το διακόπτη, τη φιάλη και αφαιρούμε το καλώδιο από τη συσκευή βαθμονόμησης.



Εικόνα 2.11: Φιάλη και συσκευή βαθμονόμησης αερίου

3. **Βαθμονόμηση Turbine :** Για τη βαθμονόμηση αυτή παίρνουμε τη σύριγγα των 3 λίτρων αέρα και με τον ειδικό αντάπτορα τη συνδέουμε με την τουρμπίνα και το κάλυμμα της μάσκας. Αφαιρούμε το καλώδιο δειγματοληψίας από τη μάσκα. Αφού έχουμε συνδέσει τη σύριγγα με τη τουρμπίνα και έχουμε σιγουρευτεί ότι δεν βγαίνει αέρας από πουθενά πάμε πάλι στο calibration και πατάμε turbine. Με το που ξεκινήσει να μετράει ο υπολογιστής, με τη λαβή της σύριγγας βάζουμε και βγάζουμε αέρα ρυθμικά μέχρι να βγει η ένδειξη στον υπολογιστή ότι έχει τελειώσει η βαθμονόμηση. Ελέγχουμε τους αριθμούς να μην είναι κοκκινισμένοι και να είναι εντός ορίων.



Εικόνα 2.12: Σύνδεση σύριγγας με τουρμπίνα

1. **Βαθμονόμηση Delay :** Είναι η μόνη από τις βαθμονομήσεις που δεν απαιτείται να γίνεται σε κάθε μέτρηση αλλά μόνο μία φορά στην αρχή των μετρήσεων. Εδώ χρειάζεται η συμμετοχή ενός από τους δοκιμαζόμενου. Συνδέουμε τη μάσκα με την τουρμπίνα και το γκρι κάλυμμα. Τα καλώδια της δειγματοληψίας και της τουρμπίνας είναι συνδεδεμένα με τη μάσκα. Στο calibration πατάμε delay και αφαιρούμε το καλώδιο δειγματοληψίας ώστε να εκτελεστεί πρώτα η βαθμονόμηση room air. Όταν τελειώσει συνδέουμε το καλώδιο με τη μάσκα και τοποθετούμε προσεχτικά τη μάσκα στο πρόσωπο του δοκιμαζόμενου, ο οποίος εισπνέει και εκπνέει ρυθμικά μέσα στη μάσκα μέχρι να εμφανιστεί η ένδειξη στον υπολογιστή ότι έχει τελειώσει η βαθμονόμηση. Τσεκάρουμε τα νούμερα να είναι όλα μαύρα και να μην υπάρχει κόκκινη ένδειξη και έπειτα πατάμε «done».

Προετοιμασία πριν την μέτρηση

Πριν από κάθε μέτρηση θα πρέπει να φτιάχνεται φάκελος στο πρόγραμμα του υπολογιστή με τα δεδομένα του κάθε δοκιμαζόμενου ενώ παράλληλα τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να περαστούν στο K4 και ο υπολογιστής να είναι συνδεδεμένος με τον αναλυτή. Στον υπολογιστή ανοίγουμε το πρόγραμμα, πηγαίνουμε στο *file* και έπειτα πατάμε *patient*. Άμα κάποιος δοκιμαζόμενος είναι ήδη καταχωρημένος θα τον βγάλει στη λίστα, άμα θέλουμε να φτιάξουμε έγγραφο για κάποιον καινούργιο πατάμε *new* και εμφανίζεται ένας μικρός πίνακας με τα στοιχεία του δοκιμαζόμενου που πρέπει να συμπληρώσουμε. Είτε φτιάχνουμε φάκελο για έναν νέο δοκιμαζόμενο, είτε επιλέγουμε μία νέα μέτρηση για έναν ήδη υπάρχον, καθώς στο τέλος πατάμε *execute test*.

Στο k4b², αφού το ενεργοποιήσουμε, κινούμαστε με τα βελάκια πάνω-κάτω για να βρούμε το *subject's data* όπου πατάμε *enter* και πάλι με τα βελάκια συμπληρώνουμε τα στοιχεία του δοκιμαζόμενου που ζητάει (αριθμό δοκιμαζόμενου, ύψος, βάρος).

Μέτρηση

Παλίνδρομο τεστ

Κατά το παλίνδρομο τεστ, οι δοκιμαζόμενοι τρέχουν παλίνδρομα (πήγαινε-έλα) μέχρι εξάντλησης, σε μια απόσταση 20 μέτρων που ορίζεται από δυο κώνους, ο ένας στην αρχή και ο άλλος στο τέλος των προκαθορισμένων μέτρων. Οι δοκιμαζόμενοι φορούν τον απαιτούμενο εξοπλισμό του φορητού σπυρομέτρου. Ο ρυθμός τρεξίματος αυξάνει προοδευτικά κάθε λεπτό και καθορίζεται από ηχητικά σήματα που δίνονται από ένα *tablet* στο οποίο έχουμε κατεβάσει ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα, το *team bleep test*.

Εργοσπιρόμετρο

Ο δοκιμαζόμενος φοράει σφιχτά κάτω από το στήθος του την ειδική ζώνη που μετράει τους παλμούς και το αντίστοιχο ρολόι στο χέρι του, το οποίο δείχνει την καρδιακή συχνότητα. Έπειτα βάζει τον ειδικό εξοπλισμό στον κορμό του, ο οποίος περιλαμβάνει κάποιους ειδικούς ιμάντες που μπαίνουν στο μπροστινό και πίσω μέρος του σώματός του. Στο μπροστινό μέρος υπάρχει μια θήκη που τοποθετείται το k4b², το οποίο είναι συνδεδεμένο με τα καλώδια ρεύματος, δειγματοληψίας και τουρμπίνας, η κεραία και ο αισθητήρας καρδιακής συχνότητας. Στην πίσω μεριά υπάρχει και εκεί μια θήκη που τοποθετείται η μπαταρία συνδεδεμένη με την άλλη άκρη του καλωδίου ρεύματος και μία κεραία.

Στη συνέχεια ο δοκιμαζόμενος φοράει υποστηρικτικά στο κεφάλι του ένα ύφασμα με κλιπ στο οποίο συνδέεται η ειδική μάσκα αναπνοής. Η ίδια συνδέεται με τα καλώδια δειγματοληψίας και τουρμπίνας και έπειτα με το μηχάνημα k4b². Απαραίτητο είναι να μπει καλά η μάσκα στο πρόσωπο του ώστε να μην υπάρχουν κενά. Όταν πλέον είμαστε έτοιμοι ξεκινάμε την μέτρηση με το παλίνδρομο τεστ.



Εικόνα 2.13: Τοποθέτηση K4B²

Αφού γίνει η προετοιμασία πάμε στο κ4 και με τα βελάκια ψάχνουμε το *start test*. Μόλις το βρούμε πατάμε *enter* και περιμένουμε 10 λεπτά να ζεσταθεί. Όταν περάσουν πατάμε το *enter* και όταν είναι έτοιμο θα μας δείξει την ένδειξη για *room air calibration*. Εκείνη τη στιγμή βγάζουμε από τη μάσκα το καλώδιο δειγματοληψίας και περιμένουμε μέχρι να τελειώσει η βαθμονόμηση. Όταν τελειώσει τοποθετούμε ξανά το καλώδιο στη μάσκα και το μηχάνημα ξεκινάει τη μέτρηση. Σε περίπτωση που θελήσουμε να βλέπουμε τα δεδομένα ζωντανά στον υπολογιστή κατά τη διάρκεια της μέτρησης συνδέουμε τον τηλεμετρητή με τον υπολογιστή και το ειδικό καλώδιο ενώ προσέχουμε η μέτρηση να γίνει εντός 900 μέτρων ώστε να μπορεί να συνδεθεί ο αναλυτής κ4 με τον τηλεμετρητή για να μεταφέρονται τα δεδομένα.

Μετά την μέτρηση

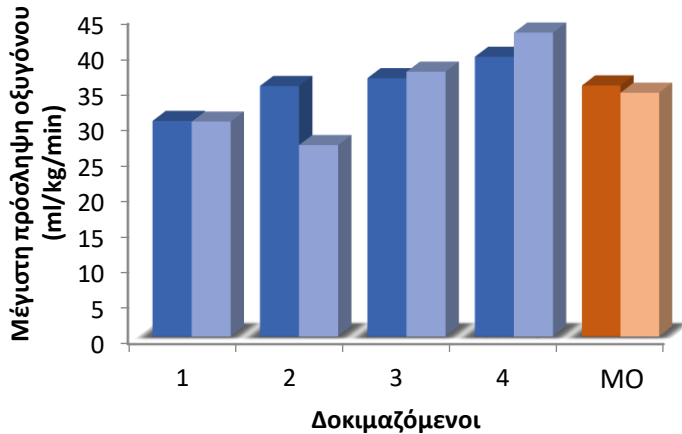
Όταν τελειώσει η διαδικασία της μέτρησης πατάμε στο κ4 το *marker* και έπειτα το *enter* ώστε να σταματήσει να μετράει. Σταματάμε και το ρολόι και αφαιρούμε τις συσκευές και τη μάσκα από το δοκιμαζόμενο. Συνδέουμε τον αναλυτή με τον υπολογιστή και ανοίγουμε το πρόγραμμα. Πηγαίνουμε στο *patient data* και ψάχνουμε τον δοκιμαζόμενο που θέλουμε. Πατάμε πάνω στο αρχείο και έπειτα πατάμε *download*. Αφού κατεβάσουμε το αρχείο ανοίγει ο πίνακας με τα δεδομένα του.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο παλίνδρομο τεστ εξετάσαμε τέσσερις παραμέτρους : τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σε σχετική και απόλυτη τιμή, την καρδιακή συχνότητα και τον πνευμονικό αερισμό. Μέσω της μεθόδου Pearson εντοπίσαμε και αναλύσαμε την **τιμή r** που μας δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ των δύο προσπαθειών και το **p value** ώστε να δούμε άμα υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Όπως φαίνεται παρακάτω (γραφήματα 1-4) στη δεύτερη δοκιμαζόμενη διακρίνεται μία αισθητή απόκλιση τιμών ανάμεσα στις προσπάθειές της και αυτό οφείλεται σε ξαφνικό αναπνευστικό πρόβλημα που την ανάγκασε να σταματήσει απότομα. Παρόλα αυτά η προσπάθειά της δεν έμεινε εκτός έρευνας καθώς οι τιμές αυτές δεν αλλοίωσαν τα αποτελέσματα στα οποία φαίνεται η συσχέτιση των μετρήσεων πολύ υψηλή και δεν υπήρχε κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Πιο αναλυτικά :

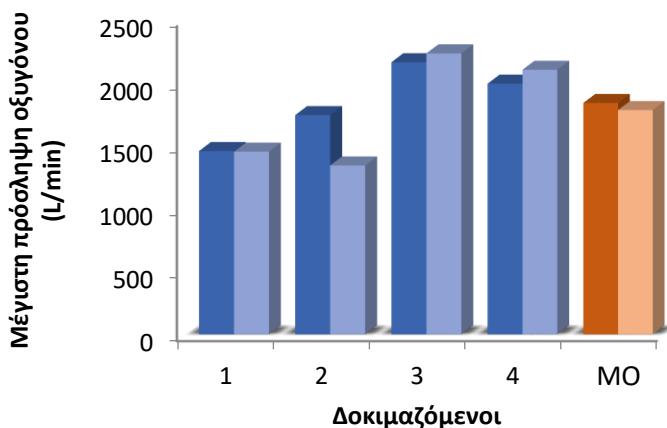
Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στη σχετική της τιμή (vo_{2max} ml/kg/min) παρουσίασε υψηλή συσχέτιση ($r=0,726$) χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά ($p>0,05$) (Γράφημα 1). Η πρώτη δοκιμαζόμενη στην αρχική της προσπάθεια έδειξε τιμή vo_{2max} 30,3ml/kg/min και τη δεύτερη φορά 30,2ml/kg/min. Η δεύτερη δοκιμαζόμενη την πρώτη φορά είχε τιμή 35,2ml/kg/min, ενώ τη δεύτερη φορά 26,9ml/kg/min. Η τρίτη δοκιμαζόμενη είχε τιμή 36,3ml/kg/min την πρώτη φορά

και 37,2ml/kg/min τη δεύτερη φορά. Η τέταρτη δοκιμαζόμενη είχε τιμή 39,3ml/kg/min στην πρώτη προσπάθεια και 42,7ml/kg/min στη δεύτερη. Με μέσο όρο 35,27ml/kg/min των πρώτων μετρήσεων και 34,25ml/kg/min των δεύτερων παρατηρούμε ελάχιστη απόκλιση ($1\pm$ μονάδα) μεταξύ τους.



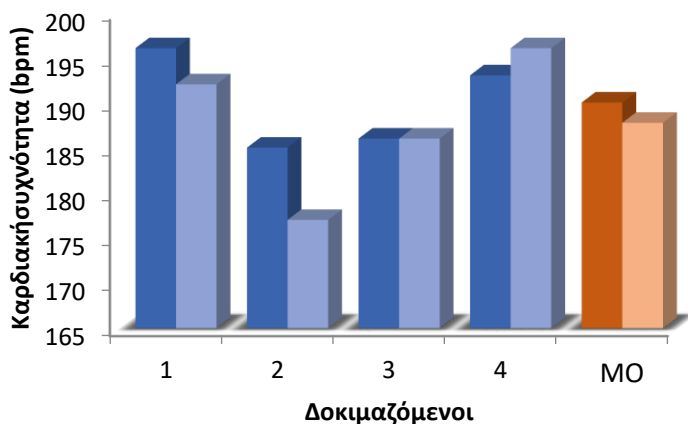
Γράφημα 4.1: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (σχετική τιμή) των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων και μέσος όρος αυτών

Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στην απόλυτη τιμή της (vo_{2max} L/min) παρουσίασε υψηλή επίσης συσχέτιση μεταξύ των δύο προσπαθειών ($r=0,875$) και δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p>0,05$) (Γράφημα 2). Η πρώτη δοκιμαζόμενη είχε τιμές vo_{2max} 1455l/min στην πρώτη και 1450l/min στη δεύτερη προσπάθεια. Η δεύτερη δοκιμαζόμενη είχε 1740l/min την πρώτη φορά και 1340l/min τη δεύτερη. Η τρίτη δοκιμαζόμενη σημείωσε 2160l/min στην πρώτη προσπάθεια και 2230l/min στη δεύτερη. Η τέταρτη δοκιμαζόμενη είχε τιμή 1990l/min την πρώτη φορά και 2100l/min τη δεύτερη φορά. Από τις τιμές αυτές ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων στις πρώτες μετρήσεις ήταν 1836l/min και στις ακόλουθες 1780l/min. Βλέπουμε λοιπόν και εδώ μικρή απόκλιση μεταξύ των δύο μετρήσεων.



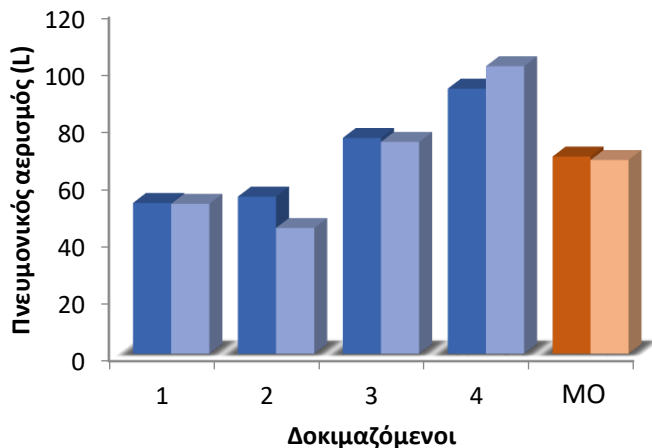
Γράφημα 4.2: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (απόλυτη τιμή) των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων και μέσος όρος αυτών

Η καρδιακή συχνότητα (hr/bpm) παρουσίασε συσχέτιση υψηλή ($r=0,836$) ανάμεσα στις δύο προσπάθειες και δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ τους ($p>0,05$) (Γράφημα 3). Παρατηρούμε ότι η πρώτη δοκιμαζόμενη έφτασε τους 196bpm την πρώτη φορά και τους 192bpm τη δεύτερη φορά. Η δεύτερη δοκιμαζόμενη στην πρώτη της προσπάθεια έφτασε τους 185bpm ενώ στη δεύτερη τους 177bpm. Η τρίτη δοκιμαζόμενη και στις δύο προσπάθειες της έφτασε τους 186bpm. Η τέταρτη δοκιμαζόμενη την πρώτη φορά έφτασε τους 193bpm ενώ τη δεύτερη φορά τους 196bpm. Όπως και στις άλλες παραμέτρους έτσι και στην καρδιακή συχνότητα ο μέσος όρος έχει μικρή απόκλιση ($3\pm$ μονάδες), με 190bpm μέσο όρο των πρώτων μετρήσεων και 187,7bpm μέσο όρο των δεύτερων μετρήσεων.



Γράφημα 4.3: Μέγιστη καρδιακή συχνότητα (bpm) των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων και μέσος όρος αυτών

Ο πνευμονικός αερισμός (ve/L) έδειξε συσχέτιση υψηλή ($r=0,98$) και δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο μετρήσεις ($p>0,05$) (Γράφημα 4). Η πρώτη δοκιμαζόμενη συγκέντρωσε 53L στην πρώτη προσπάθεια και 52,7L στη δεύτερη. Η δεύτερη δοκιμαζόμενη την πρώτη φορά είχε τιμή 55,2L ενώ τη δεύτερη φορά 44,3L. Η τρίτη δοκιμαζόμενη είχε 75,6L στην πρώτη της προσπάθεια και 74,2L στη δεύτερη. Η τέταρτη δοκιμαζόμενη συγκέντρωσε 92,7L την πρώτη φορά και 100,5 τη δεύτερη φορά. Ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων για αυτή την παράμετρο ήταν 69,1L στις αρχικές μετρήσεις και 67,9L στις ακόλουθες. Παρατηρείται λοιπόν μικρή απόκλιση ($2\pm$ μονάδες) μεταξύ των δύο μετρήσεων και στις τιμές του πνευμονικού αερισμού.



Γράφημα 4.4: Μέγιστος πνευμονικός αερισμός(L) των δύο προσπαθειών των δοκιμαζόμενων και μέσος όρος αυτών

5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από το 1911 με το πρώτο διάσημο φορητό αναλυτή αερίων Douglas Bags μέχρι και σήμερα υπάρχουν πολλά διαφορετικά μοντέλα που έχουν κάνει το πέρασμα τους. Με την πάροδο του χρόνου έχουμε διαπιστώσει ότι η διαδικασία γίνεται ολοένα και πιο απλή, με αυτοματοποιημένα συστήματα και λιγότερα σφάλματα. Σήμερα ο καθένας με βασικές γνώσεις φυσιολογίας μπορεί ακολουθώντας προσεχτικά τις οδηγίες να υλοποιήσει μία έρευνα με την συμμετοχή ενός αναλυτή αερίων. Η πιο βασική παράμετρος που μπορεί να ερευνηθεί μέσα από ένα τέτοιο έργο είναι η πρόσληψη οξυγόνου και η αξιολόγηση στο μέγιστο βαθμό της που είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας ο οποίος αντικατοπτρίζει την ιδιότητα του καρδιαναπνευστικού συστήματος ενός ατόμου αλλά και την επιρροή του στην άσκηση.

Στην έρευνα αυτή παρουσιάστηκε αναλυτικά η βαθμονόμηση του φορητού αναλυτή αερίων K4b² και η χρήση του στη μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και άλλων στο παλίνδρομο τεστ. Μέσα από τα αποτελέσματα υπάρχει η επιβεβαίωση της υπόθεσής μας. Συγκεκριμένα παρατηρείται μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων των δοκιμαζόμενων με στατιστικά μη σημαντική διαφορά ανάμεσά τους, όπου είναι η απόδειξη της αξιοπιστίας και εγκυρότητας του μηχανήματος. Έτσι λοιπόν διαπιστώνεται, από τις θετικές τιμές των αποτελεσμάτων, ότι φυσικά γίνεται μία αξιόπιστη μέτρηση με αυτόν.

Η χρήση του φορητού αναλυτή αερίων K4b² είναι από τις πιο αναγνωρισμένες μεθόδους και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ακόμα περισσότερο σε κάθε σχετική αθλητική έρευνα. Το πλήθος πληροφοριών που διαθέτει μία συσκευή ανάλυσης αερίων μπορεί να βοηθήσει σε πολλά πράγματα όπως για παράδειγμα το σχεδιασμό μιας προπόνησης σύμφωνα με τις ζώνες προπόνησης. Η ζώνη προπόνησης ορίζεται από την ηλικία του ασκούμενου και την καρδιακή συχνότητα στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της, ώστε ο ίδιος να επωφεληθεί τα καλύτερα αποτελέσματα. Μέσα από μία μέτρηση μπορεί λοιπόν κάποιος να προσδιορίσει με ακρίβεια τη ζώνη προπόνησης του σύμφωνα με τα αποτελέσματά του. Σημαντικό είναι να τονίσουμε τη χρησιμότητα της αξιολόγησης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Μέσα από αυτή μπορούμε να υποδείξουμε και την καρδιαναπνευστική καταλληλότητα του ασκούμενου (David R. et al, 2000)

και είναι και ένας από τους παράγοντες που προσδιορίζουν την αερόβια και αναερόβια ικανότητα. Αυτοί και άλλοι πολλοί παράμετροι που προκύπτουν από τα αποτελέσματα έχουν σημαντική προσφορά σε αθλητές αλλά και απλούς ασκούμενους για την υγεία τους, τον τρόπο που προπονούνται, τα οφέλη και μη από κάθε είδους προπόνηση και τα θετικά ή αρνητικά αποτελέσματα αυτής.

Η διαδικασία βαθμονόμησης του μηχανήματος είχε μεγάλη διάρκεια και χρειάστηκε προσοχή. Πριν γίνει η βαθμονόμηση θα πρέπει να έχει κατανοηθεί πλήρως από τους χειριστές η διαδικασία ώστε να μην προκύψει κάποιο λάθος που θα αλλοιώσει τα αποτελέσματα. Υπάρχουν δυσκολίες όπως τα πολλά «βήματα» που απαιτούνται να γίνουν πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις, ο χρόνος ώστε να ζεσταθεί η συσκευή, η δυσκολία αναγνώρισης των αερίων και η επανάληψη ορισμένων βαθμονομήσεων πριν από κάθε μέτρηση. Η συμμετοχή του υπολογιστή ήταν μεγάλο πλεονέκτημα καθώς τα αποτελέσματα αυτόματα μεταφέρονταν και αποθηκεύονταν εκεί αναλυτικά.

Σημαντικό ρόλο έπαιξαν οι περιορισμοί με τους οποίους βρεθήκαμε αντιμέτωποι στην έρευνα. Αρχικά υπήρχε περιορισμός των δειγμάτων καθώς υπήρχαν μόνο 4 δοκιμαζόμενοι γεγονός που δεν μας άφησε να ελέγξουμε τη χρήση του αναλυτή σε μία πιο μεγάλου μήκους έρευνα. Έτσι λοιπόν δεν μπορούμε να γνωρίζουμε κατά πόσο ο αναλυτής K4b² έχει έγκυρα αποτελέσματα σε μία έρευνα μεγαλύτερη από τη συγκεκριμένη αν και μέσα από μελέτες οι αποκλίσεις και τα σφάλματα υπάρχουν αποδεδειγμένα σε μικρό βαθμό. Ένας ακόμα περιορισμός ήταν το μεγάλο κόστος των απαραίτητων υλικών για την υλοποίηση της έρευνας όπου δεν μας επέτρεψε μία πιο μακρόχρονη προσπάθεια στη διαδικασία των μετρήσεων.

Συμπεραίνουμε λοιπόν από τα παραπάνω ότι μπορούμε να κάνουμε μία αξιόπιστη μέτρηση με φορητό αναλυτή αερίων εφόσον έχει προηγηθεί μία προσεχτική και σωστή βαθμονόμηση. Η αυτοματοποιημένη ανάλυση των αποτελεσμάτων έχει κάνει τη δουλειά ευκολότερη και με λιγότερα πιθανά σφάλματα. Υπάρχουν πολλές επιλογές για τις οποίες θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί φορητός αναλυτής αερίων όπως για σχεδιασμούς προπόνησης, για επιδράσεις διάφορων ασκήσεων πάνω στους αθλούμενους και πολλά άλλα καθώς η αθλητική επιστήμη δε σταματά να εξελίσσεται. Το κόστος του μηχανήματος και των επιμέρους υλικών και τα πολλά στάδια προετοιμασίας πριν από μία μέτρηση είναι αυτά που δυσκολεύουν ακόμα τη χρήση του σε μεγαλύτερο εύρος και αυτά που θα μπορούσαν να διορθωθούν μέσα από την τέχνη της επιστήμης και της τεχνολογίας, ώστε να γίνει στο μέλλον πιο εύκολη η πρόσβαση σε αυτό και στη χρήση του για εκπαιδευτικές και επιστημονικές μελέτες.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arena, R., Myers, J., Williams, M., Gulati, M., Kligfield, P., Balady, G., Collins, E. and Fletcher, G., 2007. Assessment of Functional Capacity in Clinical and Research Settings. *Circulation*, 116(3), pp.329-343.
- BASSETT, D., 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, p.70.
- Betik, A. and Hepple, R., 2008. Determinants of VO₂max decline with aging: an integrated perspective. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(1), pp.130-140.
- Carpenter, D., Jurdi, R., Roberts, C., Hernandez, M., Horne, R. and Chan, A., 2018. A Review of Portable Electronic Spirometers: Implications for Asthma Self-Management. *Current Allergy and Asthma Reports*, 18(10).
- Chatterjee S, C. P. (2005). andyopadhyay A. Cardiorespiratory fitness of obese boy. *Indian J Physiol Pharmacol*, 49(3):353-7.
- Dufour, M. (2002). *Anatomie de L' appareil Locomoteur* (Τόμ. Tome 3, Tete et Tronc). Masson, Paris: Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης.
- Eric P. Widmaier, H. R. (2014). *Vander's Human Physiology: The Mechanisms of Body Function*. Π.Χ. Πασχαλίδης .
- Esposito, F., Limonta, E., Alberti, G., Veicsteinas, A. and Ferretti, G., 2010. Effect of respiratory muscle training on maximum aerobic power in normoxia and hypoxia. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 170(3), pp.268-272.
- Evans, H., Ferrar, K., Smith, A., Parfitt, G. and Eston, R., 2015. A systematic review of methods to predict maximal oxygen uptake from submaximal, open circuit spirometry in healthy adults. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(2), pp.183-188.
- Gilroy, A. M. (2017). *Anatomy: an essential textbook*. New York: Κωσταντάρας Ιατρικές εκδόσεις.
- Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A. and Chamari, K., 2017. Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in Neuroscience*, 11.
- Hartz, C., Sindorf, M., Lopes, C., Batista, J. and Moreno, M., 2018. Effect of Inspiratory Muscle Training on Performance of Handball Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 63(1), pp.43-51.
- Kirkeberg, J., Dalleck, L., Kamphoff, C. and Pettitt, R., 2011. Validity of 3 Protocols for Verifying VO₂max. *International Journal of Sports Medicine*, 32(04), pp.266-270.
- Kouri, A., Gupta, S., Yadollahi, A., Ryan, C., Gershon, A., To, T., Tarlo, S., Goldstein, R., Chapman, K. and Chow, C., 2020. Addressing Reduced Laboratory-Based Pulmonary Function Testing During a Pandemic. *Chest*, 158(6), pp.2502-2510.
- Lavie, C., Arena, R., Swift, D., Johannsen, N., Sui, X., Lee, D., Earnest, C., Church, T., O'Keefe, J., Milani, R. and Blair, S., 2015. Exercise and the Cardiovascular System. *Circulation Research*, 117(2), pp.207-219.
- Lopes, A., 2019. Advances in spirometry testing for lung function analysis. *Expert Review of Respiratory Medicine*, 13(6), pp.559-569.
- Luczak, E. and Leinwand, L., 2009. Sex-Based Cardiac Physiology. *Annual Review of Physiology*, 71(1), pp.1-18.
- Lundby, C., Montero, D. and Joyner, M., 2016. Biology of VO₂max: looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica*, 220(2), pp.218-228.

- Macfarlane, D., 2001. Automated Metabolic Gas Analysis Systems. *Sports Medicine*, 31(12), pp.841-861.
- MacInnis, M. and Gibala, M., 2016. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*, 595(9), pp.2915-2930.
- McArdle WD, K. F. (2006). *Essentials of exercise physiology*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins
- Mesquita Montes, A., Baptista, J., Crasto, C., de Melo, C., Santos, R. and Vilas-Boas, J., 2016. Abdominal muscle activity during breathing with and without inspiratory and expiratory loads in healthy subjects. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 30, pp.143-150.
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., Hopkins, W. and Contreras, B., 2013. The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(3), pp.e156-e164.
- Molgat-Seon, Y., Dominelli, P., Guenette, J. and Sheel, A., 2019. Modelling the effects of age and sex on the resistive and viscoelastic components of the work of breathing during exercise. *Experimental Physiology*, 104(11), pp.1737-1745.
- Mori, S., Tretter, J., Spicer, D., Bolender, D. and Anderson, R., 2019. What is the real cardiac anatomy?. *Clinical Anatomy*, 32(3), pp.288-309.
- Nerbonne, J. and Kass, R., 2005. Molecular Physiology of Cardiac Repolarization. *Physiological Reviews*, 85(4), pp.1205-1253.
- Noonan, V. and Dean, E., 2000. Submaximal Exercise Testing: Clinical Application and Interpretation. *Physical Therapy*, 80(8), pp.782-807.
- Nowak, S., Jopkiewicz, A. and Tomaszewski, P., 2018. Biological and Social Determinants of Maximum Oxygen Uptake in Adult Men. *Advances in Medicine and Medical Research*, pp.105-114.
- Oueslati, F., Berriri, A., Boone, J. and Ahmaidi, S., 2018. Respiratory muscle strength is decreased after maximal incremental exercise in trained runners and cyclists. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 248, pp.25-30.
- Piorunek, T., Kostrzewska, M., Stelmach-Mardas, M., Mardas, M., Michalak, S., Goździk-Spychalska, J. and Batura-Gabryel, H., 2017. Small Airway Obstruction in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Potential Parameters for Early Detection. *Respiratory System Diseases*, pp.75-82.
- Poole, D. and Jones, A., 2017. Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2max}$: $\dot{V}O_{2peak}$ is no longer acceptable. *Journal of Applied Physiology*, 122(4), pp.997-1002.
- Powers, S., Coombes, J. and Demirel, H., 1997. Exercise Training-Induced Changes in Respiratory Muscles. *Sports Medicine*, 24(2), pp.120-131.
- Quanjer, P., Stanojevic, S., Cole, T., Baur, X., Hall, G., Culver, B., Enright, P., Hankinson, J., Ip, M., Zheng, J. and Stocks, J., 2012. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *European Respiratory Journal*, 40(6), pp.1324-1343.
- Rakovac, A., Andric, L., Karan, V., Bogdan, M., Slavic, D. and Klasnja, A., 2018. Evaluation of spirometric parameters and maximum oxygen consumption in athletes and non-athletes. *Medical review*, 71(5-6), pp.157-161.
- Ramos-Álvarez, J., Lorenzo-Capellá, I. and Calderón-Montero, F., 2020. Disadvantages of Automated Respiratory Gas Exchange Analyzers. *Frontiers in Physiology*, 11.
- Romero, S., Minson, C. and Halliwill, J., 2017. The cardiovascular system after exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(4), pp.925-932.

- Shephard, R., 2017. Open-circuit respirometry: a brief historical review of the use of Douglas bags and chemical analyzers. *European Journal of Applied Physiology*, 117(3), pp.381-387.
- Skloot S, N. T. (2010). Four-Year Calibration Stability of the EasyOne Portable Spirometer. *RESPIRATORY CARE*, NO 7.
- Sutton, J., 1992. Limitations to Maximal Oxygen Uptake1. *Sports Medicine*, 13(2), pp.127-133.
- Twisk, J., Staal, B., Brinkman, M., Kemper, H. and van Mechelen, W., 1998. Tracking of lung function parameters and the longitudinal relationship with lifestyle. *European Respiratory Journal*, 12(3), pp.627-634.
- Vaithyanadane V, S. G. (2012). Pulmonary function test in swimmers and non-swimmers a comparative study. *Int J Biol Med Res.*, ;3(2):1735-8.
- Vegesna, A., Tran, M., Angelaccio, M. and Arcona, S., 2017. Remote Patient Monitoring via Non-Invasive Digital Technologies: A Systematic Review. *Telemedicine and e-Health*, 23(1), pp.3-17.
- Verhoeff, K. and Mitchell, J., 2017. Cardiopulmonary physiology: why the heart and lungs are inextricably linked. *Advances in Physiology Education*, 41(3), pp.348-353.
- Versteeg, P. and Kippersluis, G., 1989. Automated Systems for Measurement of Oxygen Uptake During Exercise Testing. *International Journal of Sports Medicine*, 10(02), pp.107-112.
- Walter, J., Thomas, D., Sayers, S., Perez-Tamayo, R., Crish, T. and Singh, S., 2015. Respiratory responses to stimulation of abdominal and upper-thorax intercostal muscles using multiple Permaloc®electrodes. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 52(1), pp.85-96.
- Weston, T. *Ατλας Ανατομίας*.
- Wüst, R., Aliverti, A., Capelli, C. and Kayser, B., 2008. Breath-by-breath changes of lung oxygen stores at rest and during exercise in humans. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 164(3), pp.291-299.
- Zhang, H., Li, L., Jiao, D., Yang, Y., Pan, C., Ye, L., Wei, S. and Jin, M., 2020. An Interrater Reliability Study of Pulmonary Function Assessment with a Portable Spirometer. *Respiratory Care*, 65(5), pp.665-672.
- Γεώργιος Νάκος, Α. Κ. (2015). *Υπερκαπνική Αναπνευστική Ανεπάρκεια (τύπου II)*. Κάλλιπος.
- Γιαννακούλα, Ε. (2014). Διακύμανση στην καμπύλη ροής-όγκου και των σπιρομετρικών παραμέτρων από την παρεμβολή (αντιμικροβιακού) φίλτρου σε φορητό και σταθερό σπιρόμετρο με πνευμοταχογράφο σε ενήλικα ασυμπτωματικό πληθυσμό και σε πληθυσμό με αποφρακτική ή περιοριστική συνδρομή. *Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Βιοιατρικής με εφαρμογές στην πληροφορική*.
- Δάσιος, Θ. (2012). Μυική ισχύς και κόπωση των αναπνευστικών μυών σε παιδιά με κυστική ίνωση. *Διδακτορική διατριβή* 92-93, 100-103.
- Κλεισούρας, Β. (2011). *Εργοφυσιολογία*.
- Σηφάκη, Μ. (2019;). Στ. Ανατομίας - Φυσιολογίας 1., (σ. Κεφάλαιο 4ο: Μυικό σύστημα).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ – ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ K4b²

* Το μηχάνημα διαθέτει δύο αισθητήρες θέρμανσης, ένα για το οξυγόνο και ένα για το διοξείδιο του άνθρακα. Πριν ξεκινήσει η βαθμονόμηση απαιτείται το ζέσταμα του μηχανήματος για 45' με θερμοκρασία περιβάλλοντος στους 20°C. Για να γίνει αυτό συνδέουμε το καλώδιο ρεύματος (με το κόκκινο χρώμα) στο φορητό αναλυτή με μία μπαταρία ή με τη συσκευή φόρτισης.

Σύνδεση καλωδίων με το K4b²:

***Προσοχή! στις εγκοπές κατά τη σύνδεση των καλωδίων. Να τοποθετηθούν προσεχτικά και να μην υπάρχουν κενά.**

- Τοποθετούμε την κεραία στο βύσμα όπου αναγράφεται η λέξη *antenna*.
- Τοποθετούμε το λεπτό ανοιχτόχρωμο καλώδιο δειγματοληψίας στο βύσμα όπου αναγράφεται η λέξη *sampling*. Το καλώδιο αυτό είναι δεμένο μαζί με ένα μαύρο καλώδιο, το καλώδιο τουρμπίνας, το οποίο το τοποθετούμε στο βύσμα όπου αναγράφεται η λέξη *turbine*. Οι άλλες άκρες των δύο καλωδίων τοποθετούνται στο γκρι κάλυμμα της μάσκας.
- Τοποθετούμε το καλώδιο ρεύματος με το κόκκινο χρώμα στο βύσμα που αναγράφεται η λέξη *6V power cable*. Η άλλη μεριά του καλωδίου τοποθετείται στην κάτω πλευρά της μπαταρίας ή εάν φορτίζεται η μπαταρία στην συσκευή φόρτισης.
- Τοποθετούμε το καλώδιο που είναι συνδεδεμένο με το μηχάνημα που μετράει την καρδιακή συχνότητα στο βύσμα που αναγράφεται η λέξη *temperature & HR probe*. Το μηχάνημα θα γαντζωθεί στην μπλούζα του δοκιμαζόμενου κατά τη διάρκεια της μέτρησης.



Σύνδεση K4b² με τον υπολογιστή :

- Ο υπολογιστής συνδέεται με τον φορητό αναλυτή μέσω του USB καλωδίου το οποίο τοποθετείται στην ειδική θύρα του υπολογιστή και στην κάτω μεριά του K4b².

Εφόσον έχουμε τελειώσει με την συνδεσιμότητα ξεκινάει η βαθμονόμηση :

Βαθμονόμηση αέρα δωματίου (room air calibration) :

- Αφαιρούμε το καλώδιο δειγματοληψίας από τη μάσκα και το κρατάμε σταθερά και ψηλά.
- Ανοίγουμε το πρόγραμμα στην οθόνη του υπολογιστή.
- Πηγαίνουμε στο *calibration* και πατάμε *room air*. Εκείνη τη στιγμή βγαίνει ένδειξη στον υπολογιστή ότι ξεκινάει η βαθμονόμηση.
- Όσο γίνεται η βαθμονόμηση προσέχουμε να μην αναπνέουμε κοντά στο καλώδιο για να μην αλλοιωθούν τα αποτελέσματα.
- Περιμένουμε μέχρι να εμφανιστεί η ένδειξη στον υπολογιστή ότι τελείωσε η βαθμονόμηση.
- Όταν τελειώσει η βαθμονόμηση θα εμφανιστεί στην οθόνη ένας πίνακας με τιμές. Άμα είναι όλες οι τιμές μαυρισμένες και εντός ορίων πατάμε *done*. Σε περίπτωση που κάποια τιμή εμφανιστεί με κόκκινο χρώμα επαναλαμβάνουμε τη βαθμονόμηση.
- Όταν τελειώσει η βαθμονόμηση συνδέουμε ξανά το καλώδιο με τη μάσκα.

Βαθμονόμηση αερίου (gas calibration) :

- Τοποθετούμε μπροστά μας τη φιάλη αερίου και την συσκευή βαθμονόμησης αερίου.
- Τα συνδέουμε μεταξύ τους με το λεπτό σωληνάριο που έχει πάνω τον διακόπτη (on-off).
- Προσέχουμε να έχει συνδεθεί καλά το σωληνάριο με τη φιάλη χωρίς κενά.
- Αφαιρούμε το καλώδιο δειγματοληψίας από τη μάσκα.
- Στρέφουμε τον διακόπτη που είναι στο σωληνάριο στο *on* ώστε να περάσει το αέριο στην συσκευή βαθμονόμησης.
- Περιστρέφουμε το μαύρο πόμολο της φιάλης μέχρι η ένδειξη στο πρώτο μανόμετρο να φτάσει μεταξύ στις μπάρες 3 έως 5.
- Στρέφουμε τον διακόπτη στο σωληνάριο στο *off*.
- Περιστρέφουμε το γκρι σιδερένιο καπάκι της φιάλης περίπου 90° μέχρι η ένδειξη στο δεύτερο μανόμετρο να φτάσει κάπου στη μέση (το βέλος να δείχνει ευθεία επάνω).
- Πηγαίνουμε στο πρόγραμμα του υπολογιστή στο *calibration* και πατάμε *gas*.
- Θα βγει ένδειξη στην οθόνη του υπολογιστή ότι θα γίνει πρώτα *room air calibration*. Όταν δούμε την ένδειξη κρατάμε το καλώδιο δειγματοληψίας ψηλά και προσέχουμε να μην αναπνέουμε κοντά του.
- Όταν τελειώσει το *room air calibration* θα βγει ένδειξη στον υπολογιστή ότι ξεκινάει το *gas calibration*.
- Όταν βγει ένδειξη ότι ξεκινάει το *gas calibration* τοποθετούμε γρήγορα το καλώδιο δειγματοληψίας στη συσκευή βαθμονόμησης αερίου και στρέφουμε το διακόπτη στο σωληνάριο στο *on*.
- Όταν τελειώσει η βαθμονόμηση θα εμφανιστεί στην οθόνη του υπολογιστή ένας πίνακας με τιμές. Εάν οι τιμές είναι μαυρισμένες και εντός ορίων πατάμε το *done*. Εάν υπάρχει κάποια τιμή με κόκκινο χρώμα επαναλαμβάνουμε τη βαθμονόμηση.
- Όταν τελειώσει η βαθμονόμηση αφαιρούμε το καλώδιο δειγματοληψίας από τη συσκευή βαθμονόμησης αερίου, στρέφουμε το διακόπτη στο σωληνάριο στο *off* και κλείνουμε και τη ροή του αερίου από τη φιάλη.



Βαθμονόμηση Τουρμπίνας (turbine calibration) :

- Τοποθετούμε μπροστά μας τη σύριγγα των 3 λίτρων αέρα.
- Συνδέουμε τη σύριγγα μέσω του ειδικού αντάπτορα με τη τουρμπίνα και το κάλυμμα της μάσκας.

***Προσοχή! Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης κρατάμε σταθερά το σημείο που συνδέεται η σύριγγα με τον αντάπτορα καθώς δεν είναι ο πρωτότυπος και μπορεί να υπάρχουν κενά.**

- Αφαιρούμε το καλώδιο δειγματοληψίας από το κάλυμμα της μάσκας.
- Στο πρόγραμμα στον υπολογιστή πηγαίνουμε στο *calibration* και πατάμε *turbine*.
- Όταν εμφανιστεί η ένδειξη ότι ξεκινάει η βαθμονόμηση, με τη λαβή της σύριγγας βάζουμε και βγάζουμε αέρα ρυθμικά μέχρι να βγει η ένδειξη στον υπολογιστή ότι έχει τελειώσει η βαθμονόμηση.
- Με το τέλος της βαθμονόμησης εμφανίζεται ένας πίνακας με τιμές στην οθόνη του υπολογιστή. Εάν οι τιμές είναι μαυρισμένες και εντός ορίων πατάμε *done*. Εάν υπάρχει τιμή με κόκκινο χρώμα επαναλαμβάνουμε τη βαθμονόμηση.



Βαθμονόμηση Delay :

***Προσοχή! Είναι η μοναδική βαθμονόμηση που γίνεται μόνο μία φορά. Μία φορά πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις.**

- Παίρνουμε τη μπλε μάσκα μπροστά μας.
- Ζητάμε σε έναν από τους δοκιμαζόμενους/ασκούμενος να κάτσουν σε μία καρέκλα μπροστά από τη μάσκα.
- Συνδέουμε με τη μάσκα τη τουρμπίνα και το γκρι κάλυμμα.
- Τα καλώδια δειγματοληψίας και τουρμπίνας είναι συνδεδεμένα με τη μάσκα.

- Στο πρόγραμμα στον υπολογιστή πατάμε *calibration* και μετά *delay*.
- Πρώτα θα εμφανιστεί ένδειξη για *room air calibration*.
- Αφαιρούμε το καλώδιο δειγματοληψίας από τη μάσκα και το κρατάμε ψηλά και σταθερά κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης.
- Όταν τελειώσει το *room air calibration* θα εμφανιστεί άλλη ένδειξη για να ξεκινήσει το *delay calibration*.
- Τοποθετούμε το καλώδιο δειγματοληψίας ξανά στη μάσκα και τοποθετούμε τη μάσκα στο πρόσωπο του δοκιμαζόμενου/ασκούμενου λέγοντας του να εισπνέει και να εκπνέει ρυθμικά μέσα στη μάσκα.
- Προσέχουμε τοποθετώντας τα μάσκα στο πρόσωπο του ασκούμενου να μην υπάρχουν κενά.
- Όταν εμφανιστεί η ένδειξη ότι τελείωσε η βαθμονόμηση αφαιρούμε τη μάσκα από το πρόσωπο του ασκούμενου.
- Όταν τελειώσει η βαθμονόμηση θα εμφανιστεί στην οθόνη του υπολογιστή ένας πίνακας με τιμές. Ελέγχουμε να είναι όλες οι τιμές μαυρισμένες και εντός ορίων και πατάμε *done*. Εάν κάποια τιμή εμφανιστεί με κόκκινο χρώμα επαναλαμβάνουμε τη βαθμονόμηση.

Εισαγωγή στοιχείων ασκούμενου στον υπολογιστή :

- Ανοίγουμε το πρόγραμμα στον υπολογιστή πηγαίνουμε στο file και πατάμε *patient*.
- Θα εμφανιστεί στην οθόνη ένας μικρός πίνακας.
- Για καταχώρηση ενός νέου ασκούμενου πατάμε *new patient*.
- Θα εμφανιστεί άλλος πίνακας με στοιχεία του ασκούμενου που πρέπει να συμπληρώσουμε (όνομα, ηλικία, βάρος, αριθμός ασκούμενου κτλ).
- Αφού συμπληρώσουμε τα στοιχεία πατάμε *execute test*.

Εισαγωγή στοιχείων ασκούμενου στο K4b² :

- Κινούμαστε με τα βελάκια (πάνω - κάτω) μέχρι να βρούμε το *subject's data*.
- Πατάμε *enter*.
- Κινούμαστε πάλι με τα βελάκια ώστε να συμπληρώσουμε και εκεί τα χαρακτηριστικά του ασκούμενου που μας ζητάει (αριθμός ασκούμενου, βάρος, ηλικία κτλ). Σε κάθε χαρακτηριστικό που συμπληρώνουμε πατάμε *enter*.

Τοποθέτηση K4b² στον ασκούμενο :

- Ο ασκούμενος τοποθετεί τη ζώνη μέτρησης καρδιακής συχνότητας μέσα από την μπλούζα του (πρέπει να υπάρχει επαφή με το δέρμα) κάτω από το στήθος.
- Ο ασκούμενος φοράει στο χέρι του το ρολόι που μετράει την καρδιακή συχνότητα.
- Βοηθάμε τον ασκούμενο να φορέσει τον ειδικό εξοπλισμό που θα τοποθετηθεί το μηχάνημα.
- Εφόσον έχουμε συνδέσει όλα τα καλώδια με το K4b² το τοποθετούμε προσεχτικά στο μπροστινό μέρος του εξοπλισμού που φοράει ο ασκούμενος.
- Στο πίσω μέρος του εξοπλισμού τοποθετούμε την μπαταρία.
- Παίρνουμε το κάλλυμα της κεφαλής με τους μιάντες και το τοποθετούμε στο κεφάλι του ασκούμενου.
- Προσεχτικά το συνδέουμε με τη μάσκα με τα 4 κλιπ όσο ταυτόχρονα τοποθετούμε την μάσκα στο πρόσωπο του ασκούμενου.
- Σφίγγουμε τη μάσκα άμα χρειαστεί ώστε να μην υπάρχει κενό.



Έναρξη Τεστ :

- Κινούμαστε με τα βελάκια στο K4b² μέχρι να βρούμε το *start test* και πατάμε *enter*.
- Περιμένουμε 10' να ζεσταθεί (εμφανίζεται ένδειξη ότι πρέπει να περάσουν τα 10')
- Όταν περάσει ο απαραίτητος χρόνος πατάμε ξανά *enter*.
- Θα εμφανιστεί ένδειξη για *room air calibration*. Αφαιρούμε το καλώδιο δειγματοληψίας από τη μάσκα και το κρατάμε ψηλά σταθερά μέχρι να μας εμφανιστεί η ένδειξη ότι τελείωσε η βαθμονόμηση.
- Τοποθετούμε ξανά το καλώδιο δειγματοληψίας στη μάσκα.
- Το K4b² ξεκινάει αυτόματα τη μέτρηση.
- Πατάμε στο ρολόι το *start* για να ξεκινήσει και αυτό να μετράει.

Παύση Τεστ :

- Πατάμε στο K4b² το *marker* και έπειτα το *enter*.
- Σταματάμε το ρολόι.
- Μπορούμε να αφαιρέσουμε τον εξοπλισμό προσεχτικά από τον ασκούμενο.

Καταχώρηση και αποθήκευση δεδομένων στον υπολογιστή :

- Συνδέουμε το K4b² με τον υπολογιστή μέσω του ειδικού καλωδίου.
- Ανοίγουμε το πρόγραμμα.
- Πηγαίνουμε στο *patient's data* και όταν το ανοίξουμε εμφανίζεται μία λίστα με ονόματα. Πατάμε κλικ στο τεστ με το όνομα και την ημερομηνία που θέλουμε.
- Πατάμε *download*.
- Το αρχείο κατεβαίνει και έπειτα ανοίγει αυτόματα ο πίνακας με όλα τα δεδομένα του τεστ.

***Η βαθμονομήσεις *room air* και *turbine* πρέπει να γίνονται πριν από κάθε τεστ.**

***Η βαθμονόμηση *gas* πρέπει να γίνεται μία φορά κάθε ημέρα που θα γίνονται μετρήσεις**

***Η βαθμονόμηση *delay* πρέπει να γίνεται μόνο μια φορά καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.**