

Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης

Κατεύθυνση Κλινικής Εργοφυσιολογίας και Φυσιολογίας της Άσκησης

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

Σάββας Τοκμακίδης
Καθηγητής



Κομοτηνή 2012

Πρόλογος

Τα *Εργαστηριακά Μαθήματα Εργοφυσιολογίας* αποτελούν έναν οδηγό ο οποίος μέσω της εργαστηριακής πράξης κατευθύνει τους φοιτητές με σαφή και κατανοητό τρόπο στα μονοπάτια της γνώσης σχετικά με τους φυσιολογικούς μηχανισμούς που διέπουν τις λειτουργίες του οργανισμού κατά την διάρκεια της άσκησης. Το ανθρώπινο σώμα αντιδρά σε κάθε μορφή φυσικής δραστηριότητας και άσκησης. Το μυοσκελετικό σύστημα μαζί με το νευρομυϊκό εκτελεί, οι πνεύμονες, η καρδιά και η κυκλοφορία του αίματος τροφοδοτούν με οξυγόνο τα μυϊκά κύτταρα, ο μεταβολισμός αυξάνεται για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της μυϊκής προσπάθειας και γενικά πολλές λειτουργίες του οργανισμού μεταβάλλονται και προσαρμόζονται. Οι προσαρμογές αυτές, είτε είναι άμεσες κατά τη διάρκεια της άσκησης είτε μακροπρόθεσμες μετά την εφαρμογή ειδικών προπονητικών προγραμμάτων, μπορούν να μελετηθούν και να αξιολογηθούν εργαστηριακά δίνοντας πολύτιμες πληροφορίες για το επίπεδο της λειτουργικής κατάστασης του οργανισμού των αθλητών, των ατόμων με χρόνιες παθήσεις καθώς και του ευρύτερου πληθυσμού κάθε ηλικίας εφαρμόζοντας κατάλληλα και εξειδικευμένα πρωτόκολλα μέτρησης.

Πιο συγκεκριμένα, τα *Εργαστηριακά Μαθήματα Εργοφυσιολογίας* παρουσιάζουν με μια ενιαία δομή το σκοπό, τη χρησιμότητα, τις βασικές θεωρητικές έννοιες, τη μεθοδολογία και την πρακτική διαδικασία που εφαρμόζεται, σε 6 θεματικές ενότητες που περιλαμβάνουν κατά σειρά τα παρακάτω εργαστήρια: No1 - *Ενεργειακό ισοζύγιο και Θερμιδομετρία*, No2 - *Μεταβολισμός ηρεμίας*, No3 - *Ενεργειακό κόστος φυσικών δραστηριοτήτων*, No4 - *Δοκιμασίες αερόβιας ικανότητας*, No5 - *Δοκιμασίες αναερόβιας ικανότητας*, No6 - *Κινανθρωπομετρία και σύσταση σώματος*.

Οι τεχνικές και η μεθοδολογία των εργαστηρίων στην Εργοφυσιολογία έχουν να επιδείξουν τη μεγαλύτερη και μακροβιότερη παράδοση στο χώρο της αθλητικής επιστήμης. Παράλληλα, και τα *Εργαστηριακά Μαθήματα Εργοφυσιολογίας* υπήρξαν από τα πρώτα που διδάχθηκαν στο Τμήμα μας και έχουν να παρουσιάσουν πλούσιο υλικό το οποίο χρόνο με το χρόνο εμπλουτίζεται και βελτιώνεται σύμφωνα με τις εξελίξεις της αθλητικής επιστήμης.

Σάββας Τοκμακίδης
Καθηγητής Εργοφυσιολογίας



ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΑ

Εργαστήριο	Ενεργειακό ισοζύγιο - Θερμιδομετρία	4
	<i>Αλεξάνδρα Αυλωνίτη, Επιστημονική συνεργάτης ΤΕΦΑΑ-ΔΠΘ</i>	
Εργαστήριο	Μεταβολισμός Ηρεμίας	17
	<i>Ηλίας Σμήλιος, Λέκτορας, ΤΕΦΑΑ-ΔΠΘ</i>	
Εργαστήριο	Ενεργειακό κόστος φυσικών δραστηριοτήτων	24
	<i>Ιωάννης Καραμανώλης, PhD</i>	
Εργαστήριο	Δοκιμασίες αερόβιας ικανότητας	37
	<i>Γεώργιος Παναγιώτου, Λέκτορας, Ευρωπαϊκό Πανεπιστήμιο Κύπρου</i>	
Εργαστήριο	Δοκιμασίες αναερόβιας ικανότητας	92
	<i>Ανάργυρος Τουμπέκης, Λέκτορας, ΤΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ</i>	
Εργαστήριο	Κινανθρωπομετρία - Σύσταση σώματος	100
	<i>Ελένη Δούδα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, ΤΕΦΑΑ-ΔΠΘ</i>	



ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

1.1 Σκοπός εργαστηρίου

Σκοπός του εργαστηρίου είναι να προσδιοριστεί και να γίνει κατανοητή η σχέση μεταξύ των θερμίδων που προσλαμβάνονται και των θερμίδων που καταναλώνονται από τον ανθρώπινο οργανισμό κατά τη διάρκεια διαφόρων δραστηριοτήτων ώστε να υπολογιστεί το ενεργειακό ισοζύγιο.

1.2 Εισαγωγή

Ο έλεγχος και η διατήρηση του σωματικού βάρους σε σταθερά επίπεδα αποτελούν ένα από τα συνηθέστερα μελήματα του σύγχρονου ανθρώπου. Για αρκετά άτομα μάλιστα, αποτελούν το σημαντικότερο, αν όχι το μοναδικό κίνητρο, για την ενασχόλησή τους με τη συστηματική φυσική δραστηριότητα. Επιπλέον, ο αυξημένος αριθμός υπέρβαρων ανθρώπων αποδεικνύει ότι η διατήρηση του ιδανικού σωματικού βάρους δεν είναι μια τόσο απλή διαδικασία. Αλλά και στον τομέα του επαγγελματικού αθλητισμού, ο απόλυτος έλεγχος του σωματικού βάρους που προέρχεται από την απαιτούμενη ισορροπία μεταξύ πρόσληψης και κατανάλωσης ενέργειας παίζει πολλές φορές καθοριστικό ρόλο στο αποτέλεσμα του αγώνα (π.χ. πάλη, άρση βαρών, τζούντο, αθλήματα γυμναστικής κτλ.).

1.3 Ορισμοί

Ενεργειακό Ισοζύγιο: η ισορροπία μεταξύ της ενέργειας (χιλιοθερμίδων ή kcal) που προσλαμβάνει και της ενέργειας που καταναλώνει για τις διάφορες λειτουργίες ένας οργανισμός και εκφράζεται με τη σχέση:

$$\text{Θερμίδες που Προσλήφθηκαν} = \text{Θερμίδες που Καταναλώθηκαν}$$

Θερμίδα: αποτελεί μονάδα μέτρησης θερμικής ενέργειας και είναι η ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται για να αυξηθεί κατά 1° C η θερμοκρασία 1g νερού (από τους 14° C στους 15° C).

Η σχέση των προσλαμβανόμενων και των δαπανούμενων θερμίδων, όπως ήδη αναφέρθηκε προσδιορίζει το ενεργειακό ισοζύγιο είτε διατηρώντας το σταθερό (σχέση 1), είτε μεταβάλλοντάς το θετικά (σχέση 2) ή αρνητικά (σχέση 3) καθορίζοντας κατά ανάλογο τρόπο το σωματικό βάρος. Όταν οι:

$$\begin{array}{l} \text{Θερμίδες που προσλήφθηκαν} = \text{Θερμίδες που καταναλώθηκαν} \\ \text{τότε το} \\ \text{Σωματικό Βάρος} \leftrightarrow \text{ δε μεταβάλλεται αλλά παραμένει σταθερό} \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Θερμίδες που προσλήφθηκαν} > \text{Θερμίδες που καταναλώθηκαν} \\ \text{τότε το} \\ \text{Σωματικό Βάρος} \uparrow \text{ αυξάνεται} \end{array} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Θερμίδες που προσλήφθηκαν} < \text{Θερμίδες που καταναλώθηκαν} \\ \text{τότε το} \\ \text{Σωματικό Βάρος} \downarrow \text{ μειώνεται} \end{array} \quad (3)$$

Το Ενεργειακό Ισοζύγιο μεταβάλλεται αρνητικά και παρατηρείται απώλεια σωματικού βάρους είτε:

- I. με μείωση της πρόσληψης θερμίδων
- II. με αύξηση της κατανάλωσης θερμίδων
- III. με συνδυασμό των δύο παραπάνω

I. ΘΕΡΜΙΔΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ

Η καταγραφή των θερμίδων που προσλαμβάνονται έχει ως στόχο να εξακριβωθεί ο συνολικός αριθμός της ημερήσιας πρόσληψης θερμίδων και περαιτέρω να αναλυθεί η ποσότητα και η ποιότητα των διατροφικών στοιχείων. Αυτό γίνεται είτε για: 7 συνεχόμενες ημέρες (διάρκεια 1 εβδομάδα) είτε για 3 μέρες της εβδομάδας, 2 καθημερινές και μία ημέρα του Σαββατοκύριακου.

ΠΡΟΣΟΧΗ: δεν πρέπει να παρατηρηθούν αλλαγές στις διατροφικές συνήθειες που μπορεί να προέρχονται από τη διαδικασία καταγραφής τους

II. ΘΕΡΜΙΔΕΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΟΝΤΑΙ

Αποτελούν το σύνολο της ενέργειας που χρησιμοποιεί ο οργανισμός για τις εξής τρεις κύριες λειτουργίες του: (α) τον βασικό μεταβολισμό, (β) τη μεταγευματική θερμογένεση, (γ) την ενέργεια που καταναλώνεται για σωματική δραστηριότητα (Μπογδάνης 1999). Γενικότερα, εκφράζεται από τη σχέση:

Θερμίδες που καταναλώνονται = Μεταβολισμός Ηρεμίας + Μεταβολισμός κίνησης

Μεταβολισμός είναι: το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κάθε στιγμή μέσα στα κύτταρα ενός ζώντος οργανισμού. Το σύνολο αυτό αποτελεί μια καλά οργανωμένη σειρά αντιδράσεων που βρίσκονται σε πλήρη αρμονία μεταξύ τους. Ο αριθμός των αντιδράσεων αυτών ακόμα και στις απλούστερες μορφές ζωής είναι εξαιρετικά μεγάλος (Σταυρίδης 1997).

Μεταβολισμός Ηρεμίας (ή βασικός μεταβολισμός): είναι η ενέργεια που χρειάζεται το σώμα για να επιτελέσει τις βασικές του λειτουργίες και να διατηρήσει σταθερή τη θερμοκρασία του. Ο μεταβολισμός κατά την ηρεμία αποτελεί το 60-75% της ημερήσιας ενεργειακής δαπάνης (Μπογδάνης 1999) και εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το μέγεθος του σώματος και πιο συγκεκριμένα από το μέγεθος της μυϊκής μάζας. Έτσι, όταν:

↑ μυϊκή μάζα ↑ μεταβολισμός ηρεμίας

↓ μυϊκή μάζα ↓ μεταβολισμός ηρεμίας

ΠΡΟΣΟΧΗ: Με την **άσκηση** μπορεί να **αυξηθεί** η **μυϊκή μάζα** και κατά συνέπεια και ο μεταβολισμός ηρεμίας.

Γι' αυτό το λόγο δύο άτομα με το ίδιο βάρος αλλά διαφορετική σύσταση σώματος (σχέση μυϊκής και λιπώδους μάζας) δεν τρώνε και την ίδια ποσότητα φαγητού για να διατηρήσουν το βάρος τους.

Μεταβολισμός Κίνησης: είναι η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη σωματική δραστηριότητα και αποτελεί το πιο μεταβλητό κομμάτι της ενεργειακής δαπάνης (15%-30% της συνολικής δαπάνης). Περιλαμβάνει τις επιπλέον θερμίδες που καταναλώνονται στις καθημερινές δραστηριότητες, στην εργασία και κυρίως κατά την άσκηση. Περιλαμβάνει επίσης, τον αυξημένο μεταβολισμό μετά τη λήξη της σωματικής δραστηριότητας, που μπορεί να παραμείνει σε επίπεδα μεγαλύτερα από αυτά της ηρεμίας για αρκετές ώρες (Μπογοδάνης 1999).

Οι θερμίδες που καταναλώνονται με την **κίνηση του σώματος** εξαρτώνται κυρίως από:

- το μέγεθος του σώματος
- το είδος της άσκησης
- την ένταση της άσκησης

ΠΡΟΣΟΧΗ

Η άσκηση έχει **μακροχρόνια** αποτελέσματα. Σε μία ημέρα καίγονται λίγες θερμίδες αλλά αν συνεχιστεί για αρκετό χρονικό διάστημα τότε το κέρδος είναι μεγάλο.

Παράδειγμα. Έστω ένας άνδρας με σωματικό βάρος 82 kg που, χωρίς να μεταβάλλει τις διατροφικές του συνήθειες και την ποσότητα της τροφής του, γυμνάζεται με:

- είδος άσκησης: τρέξιμο
- ένταση: 11.2 km/h
- διάρκεια: 30 min
- συχνότητα: 4 φορές την εβδομάδα.

Σε κάθε προπόνηση καταναλώνει 470 kcal ($0.191 \times 82 \times 30$) χωρίς να τις αναπληρώνει με επιπλέον τροφή με αποτέλεσμα να χάνει 52 gr του σωματικού του βάρους.

Σε 1 μήνα θα έχει χάσει 936 gr

Σε 4 μήνες θα έχει χάσει 3,74 kg

Σε 8 μήνες θα έχει χάσει 7,48 kg

Σε 12 μήνες θα έχει χάσει 11,23 kg

III. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΙΑΙΤΑΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΗΣ

Ο καλύτερος τρόπος για να χάσει κανείς βάρος ή να διατηρήσει την παρούσα σωματική του σύσταση είναι ο συνδυασμός δίαιτας και άσκησης διότι:

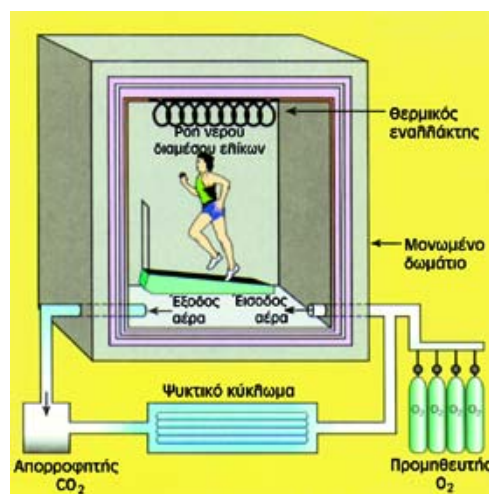
- έχει πιο γρήγορα αποτελέσματα
- επέρχονται και άλλες ωφέλειες από την άσκηση

1.4 Διαδικασία των μετρήσεων - Θερμιδομετρία

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της παραγόμενης από το σώμα ενέργειας, τόσο στο μεταβολισμό ηρεμίας όσο και κατά τη διάρκεια φυσικής δραστηριότητας (μεταβολισμός κίνησης), είναι δύο: η άμεση και η έμμεση θερμιδομετρία (Mc Ardle et al., 2000).

α. Άμεση Θερμιδομετρία

Οι μέθοδοι της άμεσης θερμιδομετρίας μετρούν απευθείας το ποσό της θερμότητας που παράγεται από έναν οργανισμό, ο οποίος βρίσκεται μέσα σε μια ειδική κλειστή συσκευή θερμιδομετρίας, στα τοιχώματα της οποίας υπάρχει ένα σύστημα με σωλήνες από διερχόμενο νερό (Εικόνα 1.1). Η θερμότητα που εκλύει ο οργανισμός θερμαίνει το νερό και έτσι υπολογίζεται από τη διαφορά της θερμοκρασίας που δημιουργείται μεταξύ του νερού που εισέρχεται και αυτού που εξέρχεται από τη συσκευή (Παππάς & Γκίμπα 1986).



Εικόνα1.1. Συσκευή άμεσης θερμιδομετρίας (McArdle et al., 2000).

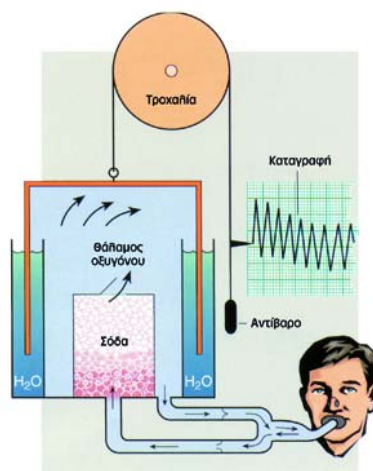
β. Έμμεση Θερμιδομετρία

Η παραγωγή ενέργειας με τις μεθόδους έμμεσης θερμιδομετρίας προσδιορίζεται από το ποσό του O_2 που καταναλώνει ο οργανισμός σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Είναι δυνατόν να υπολογίσουμε έμμεσα την ενεργειακή δαπάνη μετρώντας την πρόσληψη οξυγόνου από το άτομο (McArdle et al., 2000).

Υπάρχουν δύο μέθοδοι έμμεσης θερμιδομετρίας: σπιρομετρία κλειστού κυκλώματος και σπιρομετρία ανοικτού κυκλώματος.

Σπιρομετρία Κλειστού Κυκλώματος: Το άτομο που εξετάζεται εισπνέει καθαρό O_2 από έναν αεροστεγή χώρο (Εικόνα 1.2). Η μέθοδος κλειστού κυκλώματος είναι η ευρύτερα

χρησιμοποιούμενη τεχνική για τη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της άσκησης (McArdle et al., 2000).



Εικόνα 1.2. Η μέθοδος κλειστού κυκλώματος χρησιμοποιεί σπιρόμετρο που είναι από πριν γεμισμένο με 100% οξυγόνο (McArdle et al., 2000).

Σπιρομετρία Ανοικτού Κυκλώματος: Το άτομο εισπνέει τον αέρα του περιβάλλοντος ο οποίος έχει σταθερή σύνθεση σε οξυγόνο (20,9%), διοξείδιο του άνθρακα (0,03%), άζωτο και αδρανή αέρια (79,04%) κατά το υπόλοιπο. Η διαφορά των ποσοστών του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα στον εκπνεόμενο αέρα σε σύγκριση με τον εισπνεόμενο, έμμεσα αντανακλά τη συνεχιζόμενη διαδικασία μεταβολισμού της ενέργειας (McArdle et al., 2000).

Συνήθως, χρησιμοποιούνται τρεις διαδικασίες έμμεσης θερμιδομετρίας για τη μέτρηση πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια ποικίλων φυσικών δραστηριοτήτων:

- Φορητό σπιρόμετρο (Εικόνα 1.3)
- Αυτόματο εργοσπιρόμετρο (Εικόνα 1.4)
- Τεχνική του σάκου (Εικόνα 1.5)



Εικόνα 1.3. Φορητό σπιδρόμετρο για τη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου με τη μέθοδο ανοικτού κυκλώματος (McArdle et al., 2000).



Εικόνα 1.4. Αυτόματο εργοσπιδρόμετρο για τη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου εύκολα μεταφερόμενο κατά τη διάρκεια φυσικής δραστηριότητας. Το μεταβολικό σύστημα ζυγίζει περίπου 0.5 kg, με διαστάσεις 10 X 20 cm (McArdle et al., 2000).



Εικόνα 1.5. Μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου με σπιρομέτρηση ανοικτού κυκλώματος με την τεχνική του σάκου (McArdle et al., 2000).

1.5 Ασκήσεις υπολογισμού κατανάλωσης θερμίδων

α. Υπολογίστε την ατομική σας 24ωρη κατανάλωση θερμίδων σύμφωνα με το πρόγραμμα μιας τυπικής μέρας στη σχολή.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	Kcal / min ανά Kg	Σ.Β.
ΥΠΝΟΣ	0,02	
ΔΙΑΒΑΣΜΑ	0,025	
ΟΡΘΟΣΤΑΣΙΑ - ΒΑΔΙΣΜΑ	0,027 - 0,035	
ΔΟΥΛΕΙΕΣ ΣΠΙΤΙΟΥ	0,035 - 0,045	
ΜΕΤΡΙΑ ΑΣΚΗΣΗ	0,050 - 0,085	
ΕΝΤΟΝΗ ΑΣΚΗΣΗ	0,085 - 0,1	
ΠΟΛΥ ΕΝΤΟΝΗ ΑΣΚΗΣΗ	0,1 - 0,15	
ΕΞΑΝΤΛΗΤΙΚΗ	0,15	

Υπολογίστε δραστηριότητες που δεν αναφέρονται στον πίνακα

β. Υπολογίστε την ενέργεια που καταναλώνεται επί τοις % στο σύνολο της 24ωρης κατανάλωσης θερμίδων, για κάθε δραστηριότητα χωριστά.

α. Υπολογισμός χρονικής διάρκειας κάθε δραστηριότητας

ΥΠΝΟΣ	10 h X 60 = 600 min
ΔΙΑΒΑΣΜΑ	5 h X 60 = 300 min
ΟΡΘΟΣΤΑΣΙΑ - ΒΑΔΙΣΜΑ	4 h X 60 = 240 min
ΔΟΥΛΕΙΕΣ ΣΠΙΤΙΟΥ	2 h X 60 = 120 min
ΜΕΤΡΙΑ ΑΣΚΗΣΗ	2 h X 60 = 120 min
ΕΝΤΟΝΗ ΑΣΚΗΣΗ	40 min
ΠΟΛΥ ΕΝΤΟΝΗ ΑΣΚΗΣΗ	20 min

Η ενέργεια που καταναλώνει κάθε δραστηριότητα για ένα άτομο 60 Kg είναι:

ΥΠΝΟΣ	$0,02 \times 600 \text{ min} \times 60 \text{ Kg} = 720 \text{ Kcal}$
ΔΙΑΒΑΣΜΑ	$0,025 \times 300 \text{ min} \times 60 \text{ Kg} = 450 \text{ Kcal}$
ΟΡΘΟΣΤΑΣΙΑ - ΒΑΔΙΣΜΑ	$0,03 \times 240 \text{ min} \times 60 \text{ Kg} = 432 \text{ Kcal}$
ΔΟΥΛΕΙΕΣ ΣΠΙΤΙΟΥ	$0,04 \times 120 \text{ min} \times 60 \text{ Kg} = 288 \text{ Kcal}$
ΜΕΤΡΙΑ ΑΣΚΗΣΗ	$0,07 \times 120 \text{ min} \times 60 \text{ Kg} = 504 \text{ Kcal}$
ΕΝΤΟΝΗ ΑΣΚΗΣΗ	$0,09 \times 40 \text{ min} \times 60 \text{ Kg} = 216 \text{ Kcal}$
ΠΟΛΥ ΕΝΤΟΝΗ ΑΣΚΗΣΗ	$0,01 \times 20 \text{ min} \times 60 \text{ Kg} = 120 \text{ Kcal}$
ΣΥΝΟΛΟ = 2730 Kcal	

$$\beta. \quad \% \text{ Kcal } \acute{\upsilon}\pi\nu\omicron\upsilon = \frac{\text{Kcal } \acute{\upsilon}\pi\nu\omicron\upsilon}{\text{Kcal } 24\omega\text{ρ}\omicron\upsilon} \times 100 = \frac{720}{2730} \times 100 = 26 \%$$

$$\% \text{ Kcal } \acute{\alpha}\sigma\kappa\eta\sigma\eta\varsigma = \frac{\text{Kcal } \acute{\alpha}\sigma\kappa\eta\sigma\eta\varsigma}{\text{Kcal } 24\omega\text{ρ}\omicron\upsilon} \times 100 = \frac{504+216+120}{2730} \times 100 = 31 \%$$

Βιβλιογραφία

1. Μπογδάνης Γ., Τσετσώνη Α. (1999). Ο ρόλος της διατροφής και της άσκησης στον έλεγχο του σωματικού βάρους, *Άθληση & Κοινωνία: Περιοδικό Αθλητικής Επιστήμης*, 21, 9-24.
2. Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (2000). *Exercise Physiology*. Lippincott Williams and Wilkins.
3. Παππάς, Κ., Τσιαμπίρη-Γκίμπα, Ο. (1986). *Φυσιολογία*. Θεσσαλονίκη.
4. Σταυρίδης, Ι. (1997). *Φυσιολογία του Ανθρώπου*. Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα.
5. Vander, A., Sherman, J., Luciano, D. (2001). *Human Physiology*. McGraw Hill Companies.



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης
Κατεύθυνση Εργοφυσιολογίας
Υπεύθυνος: Τοκμακίδης Σάββας, Καθηγητής



Όνοματεπώνυμο:..... Α.Ε.Μ.....

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Νο1)

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Υπολογίστε την ατομική σας εβδομαδιαία πρόσληψη και κατανάλωση θερμίδων χρησιμοποιώντας τους πίνακες 1 και 2. Για κάθε ημέρα να δίνετε το θερμιδικό ισοζύγιο καθώς και το συνολικό της εβδομάδας.

2. Έστω μία γυναίκα που εκτελεί καθιστική εργασία και επίσης διατηρεί ένα καθιστικό τρόπο ζωής στον ελεύθερο χρόνο της. Είναι 33 ετών με σωματικό ύψος 1.70 m και βάρος 72 kg και προσλαμβάνει από το φαγητό 2190 kcal την ημέρα. Υπολογίστε:

α) σε πόσο καιρό θα χάσει 4 kg βάρους εάν περιορίσει τη θερμιδική της πρόσληψη κατά 600 kcal την ημέρα (1 gr λίπους αποδίδει 9.3 kcal);

β) σε πόσο καιρό θα χάσει το ίδιο βάρος εάν διατηρώντας σταθερές τις θερμίδες που προσλαμβάνει (2190 kcal την ημέρα) αρχίσει να γυμνάζεται με περπάτημα 4 φορές την εβδομάδα με ταχύτητα 5.5 km/h για 60 min;

γ) σε πόσο καιρό θα χάσει το ίδιο βάρος εάν συνδυάσει το α) και το β);

Πίνακας 1

Ενεργειακό κόστος δραστηριοτήτων (kcal)

<u>ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ</u>	<u>Kcal/min/kg</u>	<u>ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ</u>	<u>Kcal/min/kg</u>
Aerobic low impact	0.083	Μπάσκετ - προπόνηση (σουτάκια κ.λ.π.)	0.1
Aerobi high impact	0.116	Ξαπλωμένοι	0.015
Aerobic - Στο νερό	0.066	Ορθοστασία	0.02
Βάδισμα μεσαία ταχύτητα 4.8 km/h	0.058	Πάλη - παιχνίδι (5 min)	0.1
Βάδισμα γρήγορο με 5.5 km/h	0.066	Πινγκ - πονγκ	0.066
Βάδισμα με 4.8 km/h με βάρος 10 kg	0.066	Πυγμαχία (παιχνίδι στο ρινγκ)	0.2
Βάρη ελαφριά	0.05	Πυγμαχία (προπόνηση με σάκο)	0.1
Βάρη έντονα	0.1	Ποδηλασία μεσαία ένταση 19-22.5 km/h	0.133
Βόλει - προπόνηση	0.05	Ποδηλασία υψηλή ένταση 22.5-26 km/h	0.166
Βόλει - παιχνίδι	0.066	Ποδόσφαιρο - παιχνίδι	0.166
Beach-Volley	0.133	Ποδόσφαιρο - χαλαρά - προπόνηση	0.116
Γράφοντας	0.03	Υδατοσφαίριση	0.166
Γυμναστική έντονη	0.133	Tae Kwan Do	0.166
Γυμναστική μεσαία	0.075	Τένις - προπόνηση	0.116
Διάβασμα	0.021	Τένις - διπλό	0.1
Δουλειές του σπιτιού	0.041	Τένις - μονό	0.133
Καθισμένοι	0.016	Τρέξιμο 8 km/h	0.133
Κολύμβηση - ελεύθερο έντονα	0.166	Τρέξιμο 11.2 km/h	0.191
Κολύμβηση - ελεύθερο χαλαρά	0.133	Τρέξιμο 14.5 km/h	0.250
Κολύμβηση - ύπτιο	0.133	Τρέξιμο 17.5 km/h	0.3
Κολύμβηση - πρόσθιο	0.166	Ύπνος	0.015
Κολύμβηση - πεταλούδα	0.183	Φαγητό	0.025
Κυκλική προπόνηση (βάρος σώματος)	0.133	Χοροί	0.075
Μπάσκετ - παιχνίδι	0.133		

Πίνακας 2

Θερμιδική αξία φαγητών (kcal)

<u>Φαγητό</u>	<u>Θερμίδες</u>	<u>Φαγητό</u>	<u>Θερμίδες</u>
Αρακάς λαδερός	450	Μπισκότα απλά (1 κομμάτι)	45
Αρνί φούρνου	550	" σοκολάτας (1 μονό)	65
" " με πατάτες	716	Μπιφτέκι τηγανιτό	450
" φρικασέ	660	Μπύρα (μεγάλο μπουκάλι)	300
Αυγά βραστά (1 αυγό)	80	Μπύρα (μικρό μπουκάλι)	150
Αυγά ομελέτα (2 αυγά)	250	Ντομάτα (1 μέτρια)	35
Αυγά τηγανιτά (1 αυγό)	150	" γεμιστή με ρύζι (1 μέτρ)	255
Βότκα (1 δόση)	175	" " "κιμά "	285
Γάλα πλήρες (1 λ. τσαγιού)	165	Ούζο (1 δόση)	150
Γάλα 0% "	85	Ουίσκι "	110
Γάλα 1% "	110	Παγωτό	300
Γάλα σοκολατούχο "	208	Πάστα (1 κομμάτι)	390
Γιαούρτι αγελ. πλήρες(220 γρ.)	142	Πατάτες βραστές (1 μέτρια)	100
Γιαούρτι αγελ. άπαχο "	115	" τηγανιτές (οι 10)	215
Γιαούρτι πρόβειο	198	" φούρνου (μερίδα)	430
Γιουβαρλάκια (μερίδα)	320	Πίτσα με τυρί (1 μεγάλο τρίγωνο)	320
Ελιές (η μία)	7	" σπέσιαλ "	380
Μακαρόνια με κιμά (μερίδα)	675	Πίττα σπανάκι (μέτριο κομμάτι)	330
Μακαρόνια με ντομάτα και τυρί	520	" τυρί "	340
Καλαμαράκια	345	Πορτοκάλι (1 μέτριο)	70
Κασέρι (τυρί) 100 γρ.	390	Πορτοκάλι χυμός (μικρό ποτήρι)	85
Γλώσσα ψάρι	203	Ρύζι λαπάς (μερίδα)	362
Καφές Γαλλικός σκέτος	0	Σαλάμι (2 φέτες)	94
Καφές Γαλλικός 1 κουτ. ζάχ.	20	Σάλτσα ντομάτας	65
" " " και γάλα	40	Σοκολάτα γάλακτος (100 γρ.)	600
Καφές Ελληνικός μέτριος	10	" ρόφημα	196
" " γλυκός	20	Σουβλάκι με καλαμάκι (1)	180
" " σκέτος	0	Σουτζουκάκια (μερίδα)	840
Κεφτέδες (2 κανονικοί)	210	Σπανακόρυζο (μερίδα)	230
Κόκα - Κόλα (μεγάλο ποτήρι)	100	Τζίν (1 δόση)	95
Κότα βραστή (μερίδα)	210	Τόνος κονσ. λαδ. (1κουτ. σου.)	110
Κότα με πατάτες	480	" " νερό "	48
Κοτόσουπα (1 πιάτο)	210	Τοστ με ζαμπόν - τυρί	358
Κρασί γλυκό (1 ποτήρι)	145	Τσάι με 1 κουτ. ζάχαρη	22
" ξηρό "	80	Φασολάκια λαδερά (μερίδα)	380
" ρετσίνα "	70	Φασολάδα (μερίδα)	401
Κρέπτα με σοκολάτα	273	Φέτα τυρί (100 γρ.)	380
Κρουασάν	310	Φιλέτο σχάρας σκέτο	220
Λεμονάδα γκαζόζα (1 ποτήρι)	75	Χάμπουργκερ (1 μικρό)	250
Λικέρ	100	Χοιρινή μπριζόλα	350
Μανταρίνια (1 μέτριο)	40	Χταπόδι με μακαρόνια	422
Μαρουλοσαλάτα	123	Χταπόδι σχάρας	00
Μελιτζανοσαλάτα (1 κουτ. σουπ)	98	Ψωμί άσπρο (1 λεπτή φέτα)	80
Μήλο (1 μέτριο)	132	Ψωμί σίκαλης "	60
Μοσχάρι κιμάς (3 κουτ. σούπ.)	250		
Μοσχάρι κοκκινιστό με πατάτες	650		
" μπριζόλα ψητή	254		
" συκώτι τηγανητό	400		
" " ψητό	200		
Μουσακάς	650		
Μπανάνα (1 μεγάλη)	120		

"1 μερίδα" σημαίνει μερίδα εστιατορίου, δηλαδή μία μεσαία ποσότητα.

ΘΕΡΜΙΔΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΕΛΗΦΘΗΣΑΝ		ΘΕΡΜΙΔΕΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΗΚΑΝ				
ΦΑΓΗΤΟ	ΘΕΡΜΙΔΕΣ	ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	Kcal	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΣΩΜΑΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (kg)	ΣΥΝΟΛΟ
		<u>Δευτέρα</u>				
	Σύνολο					Σύνολο
		<u>Τρίτη</u>				
	Σύνολο					Σύνολο
		<u>Τετάρτη</u>				
	Σύνολο					Σύνολο
		<u>Πέμπτη</u>				
	Σύνολο					Σύνολο
		<u>Παρασκευή</u>				
	Σύνολο					Σύνολο
		<u>Σάββατο</u>				
	Σύνολο					Σύνολο
		<u>Κυριακή</u>				
	Σύνολο					Σύνολο
	ΣΥΝΟΛΟ ΕΒΔΟΜΑΔΑΣ					ΣΥΝΟΛΟ ΕΒΔΟΜΑΔΑΣ

ΘΕΡΜΙΔΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

2.1 Σκοπός εργαστηρίου

Σκοπός του εργαστηρίου είναι να διδαχθούν οι άμεσοι και οι έμμεσοι τρόποι μέτρησης του μεταβολισμού ηρεμίας καθώς και να γίνουν κατανοητές ορισμένες βασικές εξισώσεις με τις οποίες μπορούμε να υπολογίσουμε τον μεταβολισμό ηρεμίας.

2.2 Ορισμός

Μεταβολισμός ηρεμίας είναι η ενέργεια που καταναλώνει ο οργανισμός σε απόλυτη ηρεμία για να εκτελέσει τις βασικές του λειτουργίες. Ο μεταβολισμός ηρεμίας μετράται σε χιλιοθερμίδες (kcal).

2.3 Χρησιμότητα

Η γνώση του μεταβολισμού ηρεμίας αποτελεί βασικό στοιχείο για το σχεδιασμό ενός σωστού προγράμματος για τον έλεγχο του σωματικού βάρους. Η διατήρηση, η απώλεια ή η αύξηση του σωματικού βάρους του ανθρώπου καθορίζεται από το ενεργειακό ισοζύγιο, τη σχέση δηλαδή μεταξύ της ενέργειας που προσλαμβάνεται και της ενέργειας που δαπανάται. Η ενεργειακή δαπάνη αποτελεί το άθροισμα των θερμίδων του βασικού μεταβολισμού, της τροφικής θερμογένεσης και της φυσικής δραστηριότητας. Σε ένα μέσο άνθρωπο που ακολουθεί έναν καθιστικό τρόπο ζωής ο μεταβολισμός ηρεμίας αποτελεί περίπου το 60-75% της συνολικής ενεργειακής δαπάνης σε μια ημέρα, η τροφική θερμογένεση το 10-15% και οι φυσικές δραστηριότητες το 15-30%. Γίνεται εμφανές πως οποιαδήποτε μεταβολή του μεταβολισμού ηρεμίας επιδρά άμεσα στη συνολική ενεργειακή δαπάνη και κατ' επέκταση και στο σωματικό βάρος σε συνδυασμό βέβαια και με την ενεργειακή πρόσληψη.

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το μεταβολισμό ηρεμίας

Ο μεταβολισμός ηρεμίας εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας του σώματος. Μεγαλόσωμα άτομα έχουν μεγαλύτερο μεταβολισμό ηρεμίας συγκριτικά με μικρόσωμα άτομα. Η μεγαλύτερη επιφάνεια σώματος προκαλεί και μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας από το δέρμα με αποτέλεσμα την αύξηση του μεταβολισμού ηρεμίας για την διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος. Κατά συνέπεια, για να συγκριθούν διάφορα άτομα μεταξύ τους στο βασικό μεταβολισμό θα πρέπει οι τιμές να εκφραστούν ως χιλιοθερμίδες ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας σώματος (kcal/m^2). Άνθρωποι ίδιας ηλικίας, ύψους και βάρους έχουν περίπου τον ίδιο μεταβολισμό ηρεμίας με ένα εύρος τιμών $\pm 20\%$ από τον μέσο όρο. Για παράδειγμα, ένας μέσος άνδρας ηλικίας 35 χρόνων με ύψος 1,75 m και σωματική μάζα 70 kg, θα έχει μεταβολισμό ηρεμίας περίπου 1670 kcal. Ωστόσο, υπάρχουν ατομικές διαφορές με μεγάλο εύρος, για παράδειγμα δύο άτομα, ίδιας ηλικίας, ύψους και βάρους μπορεί να έχουν μεταβολισμό ηρεμίας 1.340 και 2000 kcal. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι το πρώτο άτομο για να διατηρήσει το ίδιο βάρος θα πρέπει να πάρει με τη διατροφή 330 kcal λιγότερες, ενώ το δεύτερο άτομο 330 kcal περισσότερες.

Διαφορές στη σύσταση του σώματος εξηγούν κατά ένα μεγάλο μέρος τη διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των ατόμων στον μεταβολισμό ηρεμίας. Ο μυϊκός ιστός αποτελεί ένα μεταβολικά ενεργό ιστό και συμβάλει στον μεταβολισμό ηρεμίας σε αντίθεση με τον λιπώδη ιστό που έχει ελάχιστη συνεισφορά. Άτομα με μεγάλη μυϊκή μάζα ή με μικρότερο ποσοστό λιπώδους ιστού σε σύγκριση με άλλα άτομα ίσης συνολικής μάζας αλλά με μεγαλύτερο ποσοστό λιπώδους ιστού, παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές μεταβολισμού ηρεμίας. Επίσης, η διαφορά στη μυϊκή μάζα μεταξύ των αντρών και των γυναικών εξηγεί και το χαμηλότερο, κατά 5% περίπου, μεταβολισμό ηρεμίας στις γυναίκες. Εάν υπολογιστεί ο μεταβολισμός ηρεμίας ανά κιλό άλιπης σωματικής μάζας, τότε η διαφορά ελαχιστοποιείται. Επίσης, ο μεταβολισμός ηρεμίας μειώνεται μετά την ηλικία των 20 κατά 2% και 3% ανά δεκαετία στους άντρες και στις γυναίκες, αντίστοιχα, κυρίως λόγω της μείωσης της μυϊκής μάζας.

Ο μεταβολισμός ηρεμίας επηρεάζεται από την άσκηση. Εκτός από την αύξηση του μεταβολισμού κατά την διάρκεια της άσκησης, αυτός παραμένει αυξημένος για ένα χρονικό διάστημα και μετά το τέλος της άσκησης. Για πόσο χρονικό διάστημα και πόσο αυξημένος θα είναι ο μεταβολισμός ηρεμίας μετά την άσκηση εξαρτάται από την επιβάρυνση της άσκησης. Οι αθλητές παρατηρείται ότι έχουν αυξημένο μεταβολισμό ηρεμίας. Ωστόσο, αυτό μάλλον οφείλεται στην επίδραση της προπόνησης καθώς και στην αυξημένη πρόσληψη θερμίδων για την αναπλήρωση των θερμίδων που καταναλώνονται με την προπόνηση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, γενικά, η πρόσληψη τροφής αυξάνει το μεταβολισμό ηρεμίας για να εκτελεστούν οι λειτουργίες της πέψης, της απορρόφησης, της μεταφοράς, του μεταβολισμού και της αποθήκευσης των θρεπτικών ουσιών. Επιπλέον, παρατεταμένη μεταβολή της ποσότητας των προσλαμβανόμενων θερμίδων επηρεάζει τον μεταβολισμό ηρεμίας. Ο οργανισμός προσπαθεί να διατηρήσει σταθερά τα ενεργειακά του αποθέματα για αυτό όταν μειώνουμε τις προσλαμβανόμενες θερμίδες ο μεταβολισμός ηρεμίας μειώνεται. Αντίθετα, όταν αυξάνουμε τις θερμίδες που προσλαμβάνουμε ο μεταβολισμός ηρεμίας αυξάνεται σε μια προσπάθεια του οργανισμού να μειώσει την μη αναγκαία εναπόθεση επιπλέον θερμίδων.

2.5 Τρόποι μέτρησης του μεταβολισμού ηρεμίας

Ο μεταβολισμός ηρεμίας μπορεί να μετρηθεί με άμεση και με έμμεση θερμιδομέτρηση. Η διαδικασία της άμεσης θερμιδομέτρησης στηρίζεται στο γεγονός ότι περίπου το 60% της ενέργειας που παράγεται από τη διάσπαση των υδατανθράκων και των λιπών μετατρέπεται σε θερμότητα. Έτσι, ένας τρόπος για να μετρηθεί η ενέργεια που παράγει ο οργανισμός είναι να μετρηθεί η θερμότητα που απελευθερώνει στο περιβάλλον. Στη διαδικασία της άμεσης θερμιδομέτρησης το άτομο βρίσκεται μέσα σε έναν ειδικό θάλαμο του οποίου τα τοιχώματα είναι ειδικά κατασκευασμένα για να απορροφούν και να μετρούν τη θερμότητα που παράγεται από το άτομο. Ωστόσο, οι ειδικές αυτές συσκευές είναι ακριβές στην κατασκευή τους και στη χρήση τους και δεν χρησιμοποιούνται ευρέως.

Στη διαδικασία της έμμεσης θερμιδομέτρησης η ενέργεια που καταναλώνει ο οργανισμός υπολογίζεται από την πρόσληψη οξυγόνου. Στην ηρεμία, η παραγωγή ενέργειας γίνεται με διάσπαση των ενεργειακών υποστρωμάτων μέσω αερόβιων διαδικασιών. Διαδικασίες, δηλαδή, στις οποίες είναι απαραίτητη η συμμετοχή του οξυγόνου. Στην ηρεμία η ποσότητα του οξυγόνου που χρησιμοποιείται στους ιστούς είναι ίση με την ποσότητα που ανταλλάσσεται στους πνεύμονες. Μετρώντας λοιπόν την ποσότητα του οξυγόνου που προσλαμβάνει ο οργανισμός στην ηρεμία μπορούμε να μετρήσουμε έμμεσα και πόση ενέργεια παράγει.

Σε ιδανικές συνθήκες για να μετρηθεί ο μεταβολισμός ηρεμίας θα πρέπει i) ο δοκιμαζόμενος να έχει μόλις σηκωθεί από τουλάχιστον 8 ώρες ύπνο, ii) ο δοκιμαζόμενος να μην έχει φάει τις τελευταίες 12 ώρες, iii) ο δοκιμαζόμενος να μην έχει ασκηθεί τις τελευταίες 12 ώρες και iv) η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να είναι 20 – 27°C για 30 min πριν από τη μέτρηση.

Εάν τηρούνται όλες οι παραπάνω προϋποθέσεις τότε ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η ενέργεια που καταναλώνεται στην ηρεμία είναι ο *βασικός μεταβολισμός*. Οι συνθήκες αυτές είναι δύσκολο να τηρηθούν όλες και ως όρια ασφαλείας για τη μέτρηση του μεταβολισμού ηρεμίας θα πρέπει ο δοκιμαζόμενος i) να έχει φάει 3 – 4 ώρες πριν την μέτρηση ii) να μην έχει ασκηθεί την ημέρα της μέτρησης και iii) η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να είναι 20 – 27°C για 30 min. Εάν τηρηθούν αυτά, τότε ο μεταβολισμός ηρεμίας είναι ελάχιστο πιο υψηλός από τον βασικό μεταβολισμό.

Αφού ο δοκιμαζόμενος προσέλθει στο εργαστήριο έρχεται στην ύπτια κατάκλιση σε ένα ιατρικό κρεβάτι. Παραμένει με απόλυτη ηρεμία, σε αυτή τη θέση τουλάχιστον για 30 min και κατόπιν μετράται η πρόσληψη οξυγόνου για 15 min. Σε όλο το διάστημα που ο δοκιμαζόμενος βρίσκεται στην ύπτια κατάκλιση θα πρέπει στο γύρο περιβάλλον ο φωτισμός να είναι χαμηλός και να επικρατεί απόλυτη ησυχία. Η μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου γίνεται με αυτόματο αναλυτή αερίων ο οποίος μας δίνει την ποσότητα του οξυγόνου σε λίτρα (L), που προσλαμβάνει ο οργανισμός σε ένα λεπτό (L/min). Κατόπιν, κάνουμε αναγωγή την κατανάλωση οξυγόνου ανά ώρα ή συνολικά στις 24 ώρες της ημέρας. Γνωρίζουμε επίσης, ότι με τη χρησιμοποίηση ενός λίτρου οξυγόνου παράγεται ενέργεια 5 kcal. Πολλαπλασιάζοντας λοιπόν την ποσότητα του οξυγόνου με το πέντε (5) υπολογίζουμε την κατανάλωση θερμίδων ανά ώρα ή ημέρα.

Παράδειγμα: Μετρήσαμε την πρόσληψη οξυγόνου στη ηρεμία σε έναν άντρα ηλικίας 23 χρόνων, ύψους 181 cm, βάρους 80 kg, με ποσοστό λίπους 10,2% και βρήκαμε ότι είναι 0,279 L/min.

Στην μια ώρα θα καταναλώσει:

$$0,279 \text{ L/min} \times 60 \text{ min/h} = 16,74 \text{ L}$$

Σε μια ημέρα θα καταναλώσει:

$$16,74 \text{ L/h} \times 24 \text{ h} = 401,76 \text{ L}$$

Πολλαπλασιάζοντας τα λίτρα του οξυγόνου με το πέντε (που αντιπροσωπεύει τις παραγόμενες θερμίδες με τη καύση 1L O₂) μπορούμε να υπολογίσουμε τον μεταβολισμό ηρεμίας σε θερμίδες:

$$\text{Στην μία ώρα: } 16,74 \text{ L} \times 5 \text{ kcal/L} = 83,7 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Σε μια ημέρα: } 401,76 \text{ L} \times 5 \text{ kcal/L} = 2008,8 \text{ kcal/h}$$

Άρα, αν το συγκεκριμένο άτομο δεν έκανε καμία δραστηριότητα σε όλη τη διάρκεια της ημέρας θα έπρεπε να προσλάβει 2008,8 kcal με τις τροφές για να εκτελέσει ο οργανισμός του τις βασικές του λειτουργίες και να διατηρήσει σταθερό το σωματικό του βάρος.

2.6 Υπολογισμός του μεταβολισμού ηρεμίας με εξισώσεις

Επειδή αναλυτές αερίων υπάρχουν μόνο σε καλά εξοπλισμένα εργαστήρια, έχουν δημιουργηθεί ορισμένες εξισώσεις οι οποίες μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε εύκολα και με σχετική ακρίβεια ($\pm 5\%$) τον μεταβολισμό ηρεμίας.

Υπολογισμός με βάση το βάρος, το ύψος και την ηλικία: Οι παρακάτω εξισώσεις, που είναι εξειδικευμένες με βάση το φύλο, δημιουργήθηκαν από τους Harris και Benedict (1919) και μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε τον μεταβολισμό ηρεμίας σε μια ημέρα με βάση το ύψος, το βάρος και την ηλικία:

$$\text{Γυναίκες: } M.H. = 655 + 9,6 \times (B) + 1,85 \times (Y) - 4,68 \times (\text{ηλικία})$$

$$\text{Άντρες: } M.H. = 66 + 13,8 \times (B) + 5 \times (Y) - 6,8 \times (\text{ηλικία})$$

όπου M.H.: μεταβολισμός ηρεμίας σε kcal ανά ημέρα, B: σωματικό βάρος σε kg, Y: σωματικό ύψος σε cm.

Παράδειγμα: χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από το προηγούμενο παράδειγμα (ηλικία: 23 χρόνων, ύψος: 181 cm, βάρος: 80 kg. Ποσοστό λίπους: 10,2%) μπορούμε να υπολογίσουμε τον μεταβολισμό ηρεμίας χρησιμοποιώντας την εξίσωση για τους άντρες:

$$M.H. = 66 + 13,8 \times (80) + 5 \times (181) - 6,8 \times (23) \Rightarrow M.H. = 66 + 1104 + 905 - 156,4 \\ \Rightarrow M.H. = 1918,6 \text{ kcal την ημέρα.}$$

Υπολογισμός με βάση το βάρος, το ύψος και την ηλικία: Η παρακάτω εξίσωση του Cunningham (1991) επιτρέπει τον υπολογισμό του μεταβολισμού ηρεμίας με βάση την άλιπη σωματική μάζα:

$$M.H. = 370 + 21,6 \times A.S.M.$$

όπου M.H.: μεταβολισμός ηρεμίας σε kcal ανά ημέρα και A.S.M.: άλιπη σωματική μάζα.

Με βάση τα δεδομένα του παραδείγματος:

$$M.H. = 370 + 21,6 \times 71,84 = 1921,7 \text{ kcal την ημέρα}$$

(Για τον τρόπο υπολογισμού της άλιπης σωματικής μάζας βλέπε το Εργαστήριο Νο 11).

Όπως αναπτύχθηκε προηγούμενα, ο μεταβολισμός ηρεμίας επηρεάζεται από τις σωματικές διαστάσεις του ατόμου. Για αυτό το λόγο για να συγκριθούν άτομα μεταξύ τους θα πρέπει ο μεταβολισμός ηρεμίας να εκφραστεί με βάση το εμβαδόν επιφανείας σώματος, το σωματικό βάρος ή την άλιπη σωματική μάζα. Το εμβαδόν επιφανείας σώματος μπορεί να υπολογιστεί με τον παρακάτω τύπο:

$$E.E.S. (m^2) = B^{0,425} \times Y^{0,725} \times 71,84 \times 10^{-4}$$

όπου Ε.Ε.Σ.: εμβαδόν επιφανείας σώματος, Β: σωματικό βάρος σε kg, Υ: σωματικό ύψος σε cm.

Με βάση τα δεδομένα του παραδείγματος που χρησιμοποιούμε:

$$Ε.Ε.Σ. (m^2) = 80^{0,425} \times 181^{0,725} \times 71,84 \times 10^{-4} = 6,434 \times 43,33 \times 71,84 \times 10^{-4} = 2 m^2$$

Ο μεταβολισμός ηρεμίας του ατόμου του παραδείγματος μπορεί να εκφραστεί και σε σχετικές τιμές με βάση:

- το εμβαδόν επιφανείας σώματος: $M.H. (kcal / m^2) = 2008,8 / 2 = 1004,4 kcal / m^2$
- το σωματικό βάρος: $M.H. (kcal / kg) = 2008,8 / 80 = 25,11 kcal / kg$
- την άλιπη σωματική μάζα: $M.H. (kcal / m^2) = 2008,8 / 71,84 = 27,96 kcal / m^2$

Βιβλιογραφία

1. Cooke C.B. Metabolic rate and energy balance. In: *Kinanthropometry and exercise physiology manual: vol. 2: Exercise physiology (2nd ed.)*. R. Eston and T. Reilly (Eds.) London: Routledge, 2001, pp. 137-160.
2. Powers S.K. and E.T. Howley. *Exercise physiology (4th ed.)*. New York: McGraw Hill, 2001, pp. 359-360.
3. Wilmore J.H. and D.L. Costill. *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996, pp. 110, 494.



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ



Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης
Κατεύθυνση Εργοφυσιολογίας
Υπεύθυνος: Τοκμακίδης Σάββας, Καθηγητής

Όνοματεπώνυμο:..... Α.Ε.Μ.....

Άσκηση

Χρησιμοποιώντας είτε έμμεση θερμιδομέτρηση είτε εξισώσεις να υπολογίσετε τον μεταβολισμό ηρεμίας ενός ατόμου:

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΗΡΕΜΙΑΣ		
Ημερομηνία Μέτρησης:		
Όνομα:	Επώνυμο:	
Ηλικία:	Ύψος:	Βάρος:
Ε.Ε.Σ.:	% Λίπους:	Α.Σ.Μ.:
VO ₂ ηρεμίας (L/min):		
Kcal:		
Kcal / m ² :		
Kcal / kg		
Kcal / kg Α.Σ.Μ.:		

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ

3.1 Σκοπός εργαστηρίου

- ♦ Να περιγράψει τις τεχνικές της άμεσης και έμμεσης θερμιδομέτρησης για τον προσδιορισμό της παραγόμενης από το σώμα ενέργειας κατά τη διάρκεια φυσικών δραστηριοτήτων.
- ♦ Να προσδιορίσει με τη χρήση του αναπνευστικού πηλίκου το ποσοστό της κατανάλωσης υδατανθράκων ή λιπών κατά τη διάρκεια της άσκησης.
- ♦ Να υπολογίσει την ενεργειακή δαπάνη κάποιων βασικών δραστηριοτήτων με τη βοήθεια ειδικών εξισώσεων.

3.2 Ορισμός

Ενεργειακό κόστος μιας φυσικής δραστηριότητας είναι οι χιλιοθερμίδες που καταναλώνει ο ανθρώπινος οργανισμός για να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις της συγκεκριμένης άσκησης.

3.3 Εισαγωγή

Η ημερήσια ενεργειακή δαπάνη προσδιορίζεται κυρίως από το ρυθμό μεταβολισμού στην ανάπαυση καθώς και την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια φυσικών δραστηριοτήτων. Ο τύπος, η ένταση και η διάρκεια διαφόρων δραστηριοτήτων όπως το βάδισμα, το τρέξιμο και η κολύμβηση συμβάλλουν αποφασιστικά στη συνολική ημερήσια ενεργειακή δαπάνη. Ο τύπος της δραστηριότητας έχει μεγάλη σημασία στο ρυθμό ενεργειακής δαπάνης. Έτσι, ενώ το ενεργειακό κόστος στην προπόνηση πετοσφαίρισης βρίσκεται στις 0,05 kcal/min/kg, στη χαλαρή κολύμβηση με τεχνική ελεύθερου ανέρχεται στις 0,133 kcal/min/kg. Ένα άτομο λοιπόν που ζυγίζει 75 κιλά και ασκείται για 60 λεπτά, στην πρώτη περίπτωση θα καταναλώσει 225 kcal ενώ στη δεύτερη 598,5 kcal.

Η ένταση της ίδιας δραστηριότητας παίζει και αυτή σημαντικό ρόλο στο συνολικό ποσό ενέργειας που πρόκειται να δαπανηθεί. Έτσι, ενώ το τρέξιμο στα 8 km/h οδηγεί σε δαπάνη 0,133 kcal/min/kg, όταν αυξηθεί η ένταση στα 14,5 km/h τότε αυξάνεται και η δαπάνη στις 0,250 kcal/min/kg. Για το ίδιο λοιπόν άτομο που αναφέρθηκε παραπάνω ισχύουν 598,5 και 1125 kcal αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον τελευταίο παράγοντα που είναι η διάρκεια, όσο περισσότερο ασκείται κανείς τόσες περισσότερες χιλιοθερμίδες θα καταναλώσει, αρκεί όμως να λαμβάνεται πάντοτε υπ' όψιν η ένταση της άσκησης και το επίπεδο φυσικής κατάστασης του ατόμου.

3.4 Χρησιμότητα

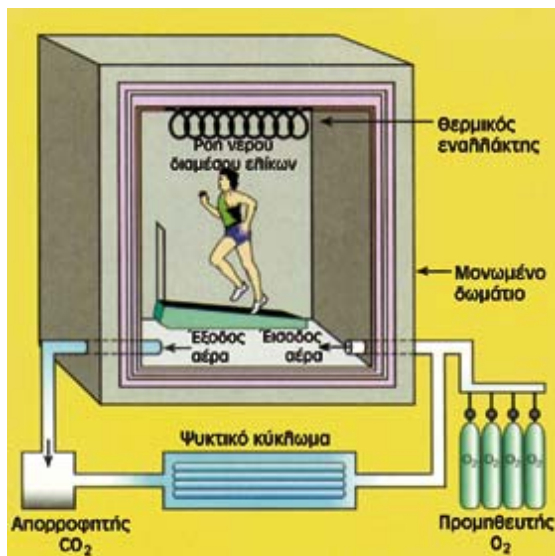
Η ενεργειακή λοιπόν δαπάνη χρησιμεύει τόσο για τον προσδιορισμό της έντασης της άσκησης όσο και για τον υπολογισμό της κατανάλωσης χιλιοθερμιδών από τον οργανισμό. Μέχρι σήμερα μέσα από την επιστημονική έρευνα έχουν επινοηθεί αρκετές μέθοδοι και τεχνικές που σκοπό έχουν να προσδιορίσουν την ενεργειακή δαπάνη που οφείλεται στις διάφορες φυσικές δραστηριότητες τόσο σε συνθήκες εργαστηρίου όσο και σε συνθήκες ελεύθερης άσκησης στο φυσικό περιβάλλον.

3.5 Διαδικασία μέτρησης - Εξοπλισμός

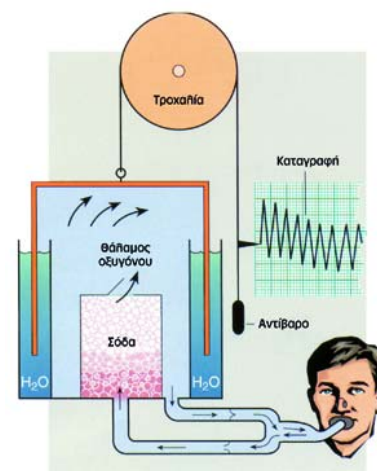
Η παραγόμενη από το σώμα ενέργεια κατά τη διάρκεια της φυσικής δραστηριότητας μπορεί να προσδιοριστεί με δύο τεχνικές, την άμεση και την έμμεση θερμιδομέτρηση. Στην *άμεση θερμιδομέτρηση* η θερμότητα σε χιλιοθερμίδες (kcal) που παράγει το σώμα κατά τη διάρκεια της φυσικής δραστηριότητας μπορεί να μετρηθεί κατευθείαν με το ανθρώπινο θερμιδόμετρο (Εικόνα 3.1). Η συσκευή αυτή αποτελείται από έναν αεροστεγή και καλά μονωμένο θάλαμο μέσα στον οποίο κυκλοφορεί αρκετό οξυγόνο που δίνει τη δυνατότητα στον ασκούμενο να κινείται και να γυμνάζεται άνετα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σύστημα ανακύκλωσης του αέρα εξασφαλίζει συνεχόμενη είσοδο οξυγόνου μέσα στο θάλαμο με ταυτόχρονη αφαίρεση της υγρασίας και απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα. Στο επάνω μέρος του θαλάμου βρίσκονται σειρές σπειρών μέσα στις οποίες κυκλοφορεί νερό γνωστού όγκου και συγκεκριμένης θερμοκρασίας. Η παραγόμενη από το σώμα ενέργεια εκλύεται με τη μορφή θερμότητας στον περιβάλλοντα χώρο και απορροφάται από το νερό των σπειρών. Η μεταβολή στη θερμοκρασία του νερού σε καθορισμένο χρονικό διάστημα είναι ανάλογη με τον ενεργειακό μεταβολισμό του ασκούμενου.

Το ανθρώπινο θερμιδόμετρο αν και οδηγεί σε πολύ έγκυρα αποτελέσματα, δεν συναντάται συχνά στα διάφορα εργαστήρια εξαιτίας του υψηλού οικονομικού κόστους για τον εξοπλισμό, τη συντήρηση και το απαιτούμενο επιστημονικό προσωπικό. Η έμμεση θερμιδομέτρηση βασίζεται στην αρχή ότι οι διάφορες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα μέσα στο σώμα για την παραγωγή ενέργειας έχουν άμεση σχέση με το οξυγόνο που καταναλώνεται. Επομένως, υπολογίζοντας την ποσότητα του οξυγόνου που κατανάλωσε ο οργανισμός κατά την άσκηση σταθερού ρυθμού σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μπορούμε έμμεσα να προσδιορίσουμε την ενεργειακή δαπάνη. Την ποσότητα αυτή του οξυγόνου μπορούμε στη συνέχεια να ανάγουμε σε χιλιοθερμίδες και να έχουμε έτσι μια πραγματική τιμή παραγόμενης θερμότητας. Η έμμεση θερμιδομέτρηση είναι εξίσου ακριβής και έγκυρη συγκριτικά με την άμεση αλλά παράλληλα απλούστερη και φθηνότερη.

Οι μέθοδοι έμμεσης θερμιδομετρίας που συναντώνται σήμερα είναι η σπιρομετρία κλειστού κυκλώματος και η σπιρομετρία ανοιχτού κυκλώματος. Και οι δύο μέθοδοι έχουν ως βασικό στόχο τον υπολογισμό της πρόσληψης οξυγόνου από τον οργανισμό ανά μονάδα χρόνου ή τη συνολική ποσότητα οξυγόνου που καταναλώθηκε σε όλη τη διάρκεια της άσκησης.



Εικόνα 3.1. Ανθρώπινο θερμιδόμετρο (Από McArdle , W.D., et al.: Φυσιολογία της άσκησης, Τόμος Ι, 2001)



Εικόνα 3.2. Μέθοδος σπιρομετρίας κλειστού κυκλώματος (Από McArdle , W.D., et al.: Φυσιολογία της άσκησης, Τόμος Ι, 2001)

Στη **μέθοδο σπιρομετρίας κλειστού κυκλώματος** ο ασκούμενος αναπνέει συνεχώς μέσα από έναν ειδικό θάλαμο εξ ολοκλήρου γεμάτο με καθαρό και γνωστού όγκου οξυγόνο χωρίς να έχει καμία επαφή με τον αέρα της ατμόσφαιρας (Εικόνα 3.2). Οι όγκοι των αερίων της αναπνοής που καταγράφονται κάθε στιγμή καθώς και η ανάλυση των αερίων του θαλάμου στο τέλος της άσκησης δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την παραγόμενη ενέργεια. Η παραπάνω μέθοδος ανταποκρίνεται με σχετική ακρίβεια σε συνθήκες ανάπαυσης και άσκησης μέτριας έντασης αλλά όχι σε φυσικές δραστηριότητες υψηλής έντασης.

Στη **μέθοδο σπιρομετρίας ανοιχτού κυκλώματος** ο ασκούμενος εισπνέει κατευθείαν από τον ατμοσφαιρικό αέρα και εκπνέει μέσα σε ειδικούς σάκους για την περαιτέρω ανάλυση των αερίων. Είναι γνωστό ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας συνθέτεται από οξυγόνο (20,9%), διοξείδιο του άνθρακα (0,03%), άζωτο (79,04%) και αδρανή αέρια (0,03%). Η διαφορά στα ποσοστά των αερίων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ εισπνεόμενου και εκπνεόμενου αέρα αντικατοπτρίζουν έμμεσα το μεταβολισμό για την παραγωγή ενέργειας. Έτσι, η μέτρηση του όγκου αέρα που αναπνέεται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα οδηγεί στον υπολογισμό της πρόσληψης οξυγόνου, κάτι που δείχνει το ενεργειακό κόστος κατά τη διάρκεια της άσκησης.

Για τη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου με τη μέθοδο σπιρομετρίας ανοιχτού κυκλώματος συναντούμε κυρίως τρεις διαδικασίες:

- α. Φορητό σπιρόμετρο
- β. Τεχνική του αερόσακου
- γ. Αυτόματο εργοσπιρόμετρο

Φορητό σπιρόμετρο. Πρόκειται για μία φορητή συσκευή που προσαρμόζεται στην πλάτη του ασκούμενου και μεταφέρεται άνετα καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας. Ο εξεταζόμενος με τη βοήθεια αμφίδρομης βαλβίδας εισπνέει συνεχώς από τον αέρα του περιβάλλοντος ενώ μέσω κάποιου μετρητή όγκου αερίων εκπνέει σε ειδικούς θαλάμους από τα δείγματα των οποίων γίνονται οι αναλύσεις των αερίων για τα ποσοστά οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Με τις μετρήσεις του όγκου και των ποσοστών οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται η πρόσληψη οξυγόνου και έμμεσα η ενεργειακή δαπάνη εκφραζόμενη σε χιλιοθερμίδες. Η ελευθερία κινήσεων που παρέχει το φορητό σπιρόμετρο αποτελεί και το μεγάλο πλεονέκτημα της συσκευής.

Τεχνική του αερόσακου. Η συσκευή του αερόσακου βασίζεται στην ίδια τεχνική διαδικασία με αυτήν του φορητού σπιρόμετρου. Ο ασκούμενος εισπνέει μέσα από μια αμφίδρομη βαλβίδα τον αέρα του περιβάλλοντος και εκπνέει μέσα σε έναν ειδικό συλλεκτικό αερόσακο. Με το πέρας της δοκιμασίας ο εκπνεόμενος όγκος αερίων υποβάλλεται σε ανάλυση για να μετρηθούν τα ποσοστά οξυγόνου και διοξειδίου του

άνθρακα. Έτσι η πρόσληψη οξυγόνου συμβάλλει στον υπολογισμό της ενεργειακής δαπάνης στη διάρκεια της άσκησης.

Αυτόματο εργοσπιρόμετρο. Στην τεχνική αυτή εισέρχεται πλέον η τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών όπου παίρνονται τα ζητούμενα αποτελέσματα παράλληλα με τη διαδικασία της μέτρησης και τα οποία προβάλλονται κατευθείαν στην οθόνη του υπολογιστή. Δείγματα της ροής του αέρα από τον ασκούμενο συλλέγονται και μετρούνται συνεχώς ενώ ταυτόχρονα αναλύονται τα δείγματα αυτά για να βρεθούν τα ποσοστά οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα.

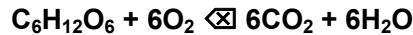
Πρόσφατα συστήματα υψηλής τεχνολογίας εκτός από τα δεδομένα της ανάλυσης των αερίων παρέχουν και μετρήσεις άλλων φυσιολογικών παραμέτρων όπως καρδιακής συχνότητας, πίεσης αίματος και θερμοκρασία σώματος ενώ υπάρχει η δυνατότητα να προγραμματιστούν από πριν οι μεταβολές της ταχύτητας, της διάρκειας και της επιβάρυνσης κατά την άσκηση στο εργόμετρο. Τα τελευταία χρόνια έχει επινοηθεί αντίστοιχη φορητή συσκευή, βάρους περίπου μισού κιλού, που προσαρμόζεται στο σώμα του ασκούμενου και περιλαμβάνει μετρητή αερισμού και αναλυτές οξυγόνου και των οποίων καταγράφονται καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειας.

3.6 Μετρήσεις - Αποτελέσματα

Μετατροπή οξυγόνου σε χιλιοθερμίδες: Για να υπάρχει μια ακριβή εικόνα της ενέργειας που δαπανάται κατά τη διάρκεια της προσπάθειας θα πρέπει η πρόσληψη οξυγόνου να μετατραπεί σε χιλιοθερμίδες. Η κατανάλωση ενός λίτρου οξυγόνου για την καύση μείγματος υδατανθράκων, λιπιδίων και πρωτεϊνών στον οργανισμό απελευθερώνει θερμική ενέργεια που ισοδυναμεί με περίπου 4,82 χιλιοθερμίδες. Αν και η ισοδυναμία αυτή παρουσιάζει ελαφρές διακυμάνσεις ανάλογα με τη σύσταση της τροφής που οξειδώνεται, συνηθίζεται στους υπολογισμούς, για πρακτικούς κυρίως λόγους, να χρησιμοποιείται η τιμή των 5 χιλιοθερμίδων για κάθε λίτρο οξυγόνου που καταναλώνεται. Η μετατροπή αυτή είναι πολύ σημαντική διότι μας δίνει τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε την απελευθέρωση ενέργειας από το σώμα κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης ή της αερόβιας άσκησης σταθερού ρυθμού μετρώντας απλά την κατανάλωση οξυγόνου.

Το αναπνευστικό πηλίκο στην παραγωγή ενέργειας κατά την άσκηση: Λόγω της διαφορετικής χημικής τους σύστασης οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια και οι πρωτεΐνες απαιτούν διαφορετικά ποσά οξυγόνου για την οξείδωσή τους και παράγουν διαφορετικά ποσά διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της καύσης. Ο λόγος των όγκων του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα προς το οξυγόνο που προσλαμβάνεται καλείται αναπνευστικό πηλίκο ή RQ. Αποτελεί σπουδαίο δείκτη του μείγματος τροφής που οξειδώνεται για την παραγωγή ενέργειας ενώ οδηγεί και σε έναν ακριβή υπολογισμό της θερμικής παραγωγής του οργανισμού.

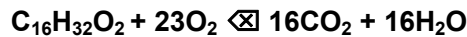
Αναπνευστικό πηλίκο υδατανθράκων: Για την πλήρη οξείδωση ενός μορίου γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) καταναλώνονται έξι μόρια οξυγόνου και παράγονται έξι μόρια διοξειδίου του άνθρακα:



Επομένως το αναπνευστικό πηλίκο των υδατανθράκων ισούται με τη μονάδα:

$$RQ = VCO_2 \div VO_2 = 6CO_2 \div 6O_2 = 1$$

Αναπνευστικό πηλίκο λιπιδίων: Για την καύση ενός μορίου λίπους απαιτείται γενικά περισσότερο οξυγόνο απ' ό τι στους υδατάνθρακες επειδή τα λιπίδια περιέχουν στο μόριό τους λιγότερα άτομα οξυγόνου σε σχέση με τα άτομα άνθρακα και υδρογόνου. Έτσι, για την οξείδωση ενός μορίου παλμιτικού οξέος ($C_{16}H_{32}O_2$) καταναλώνονται 23 μόρια οξυγόνου και παράγονται 16 μόρια διοξειδίου του άνθρακα:



Επομένως το αναπνευστικό πηλίκο των λιπιδίων ισούται περίπου με 0,70:

$$RQ = VCO_2 \div VO_2 = 16CO_2 \div 23O_2 = 0,696$$

Πίνακας 3.1 Προσδιορισμός της ποσοστιαίας συμμετοχής των λιπιδίων και των υδατανθράκων στην παραγωγή ενέργειας με χρήση του μη πρωτεϊνικού αναπνευστικού πηλίκου.

RQ	kcal / L O ₂	% ΛΙΠΙΔΙΩΝ	% ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΩΝ
0,70	4,686	100	0
0,75	4,739	84,4	15,6
0,80	4,801	66,7	33,3
0,82	4,825	59,7	40,3
0,85	4,862	49,3	50,7
0,90	4,924	32,5	67,5
0,95	4,985	16,0	84
1,00	5,047	0	100

Αναπνευστικό πηλίκο πρωτεϊνών: Οι πρωτεΐνες ακολουθώντας πολύπλοκα μεταβολικά μονοπάτια για την πλήρη καύση τους απαιτούν όπως και τα λιπίδια περισσότερα μόρια οξυγόνου σε σχέση με τα παραγόμενα μόρια διοξειδίου του άνθρακα, ενώ η οξειδωσή τους οδηγεί εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα και νερό και σε άλλα μεταβολικά υποπροϊόντα. Έτσι η καύση ενός μορίου λευκωματίνης ($C_{72}H_{112}N_2O_{22}S$) απαιτεί 77 μόρια οξυγόνου και παράγονται 63 μόρια διοξειδίου του άνθρακα:



Άρα το αναπνευστικό πηλίκο των πρωτεϊνών ισούται περίπου με 0,82:

$$RQ = VCO_2 \div VO_2 = 63CO_2 \div 77O_2 = 0,818$$

Σε συνθήκες ανάπαυσης μέχρι και αερόβιας άσκησης μέτριας έντασης ο οργανισμός χρησιμοποιεί συνήθως μείγμα υδατανθράκων και λιπιδίων για την παραγωγή ενέργειας. Επομένως το αναπνευστικό πηλίκο θα κυμαίνεται μεταξύ 0,70 μέχρι 1. Στην περίπτωση που το RQ ισούται με 0,82 ο μεταβολισμός πραγματοποιείται από μείγμα 40% υδατανθράκων και 60% λιπιδίων με θερμιδικό ισοδύναμο 4,825 kcal ανά λίτρο οξυγόνου.

Παράδειγμα

Ένας άντρας τρέχει για 30 λεπτά καταναλώνοντας 2,8 L O_2 /min και παράγοντας 2,25 L CO_2 /min. Να προσδιοριστεί η ποσότητα των υδατανθράκων (Υ) και των λιπών (Λ) που διασπάστηκαν, η ποσότητα των θερμίδων που καταναλώθηκε καθώς και η ποσοστιαία συμμετοχή των υδατανθράκων και των λιπών στην παροχή ενέργειας.

Απάντηση

- Το αναπνευστικό πηλίκο ισούται με :

$$RQ = VCO_2 \div VO_2 = 2,25 \div 2,8 = 0,804$$

- Δημιουργούμε δύο εξισώσεις λαμβάνοντας αντίστοιχα τις τιμές του O_2 και του CO_2 (L/gr) από τον Πίνακα 3.2 που παρουσιάζει το θερμιδικό ισοζύγιο των ενεργειακών υποστρωμάτων:

VO ₂ (L)	=	2,8 L/min X 30 min	=	84 L	=	0,812 L/gr X Υ	+	1,915 L/gr X Λ
VCO ₂ (L)	=	2,25 L/min X 30 min	=	67,5 L	=	0,812 L/gr X Υ	+	1,36 L/gr X Λ
				16,5 L	=			0,555 X Λ

Πίνακας 3.2 Θερμιδικό ισοδύναμο του O₂ και του CO₂ κατά την καύση των τριών ενεργειακών υποστρωμάτων.

Ενεργειακό υποστρώμα	O ₂ L/gr	CO ₂ L/gr	Kcal/L O ₂	Kcal/L CO ₂	Kcal/gr ως τροφή	Kcal/gr στο κύτταρο	Kcal/gr στον οργανισμό	RQ
Υδατάνθρακες	0,812	0,812	5,05	5,05	4,2	4,2	4,1	1,00
Λιπίδια	1,915	1,36	4,69	6,6	9,45	9,45	8,98	0,71
Πρωτεΐνες	0,942	0,754	4,46	5,57	5,65	4,35	4,35	0,80
Μικτή δίαιτα			4,87	5,83				0,85

- Από την πρώτη εξίσωση αφού αφαιρέσουμε τη δεύτερη μπορούμε να βρούμε την τιμή των λιπών: $\Lambda = 16,5 \text{ L/min} \div 0,555 \text{ L/gr} = 29,73 \text{ gr}$.
- Αντικαθιστούμε την τιμή αυτή στην πρώτη εξίσωση για να βρούμε την τιμή των υδατανθράκων: $Y = [84 \text{ L} - (1,915 \text{ L/gr} \times 29,73 \text{ gr})] \div 0,812 \text{ L/gr} = 33,34 \text{ gr}$.
- Από τα δεδομένα του Πίνακα 3.2 μπορούμε να υπολογίσουμε την ποσότητα των θερμίδων που καταναλώθηκε καθώς και την ποσοστιαία συμμετοχή υδατανθράκων και λιπών στην παροχή ενέργειας:

Από λίπη	29,73 gr X 8,98 kcal/gr =	266,98 kcal	(66,14 %)
Από υδατάνθρακες	33,34 gr X 4,1 kcal/gr =	136,7 kcal	(33,86 %)
	Σύνολο =	403,68 kcal	

3.7. Μονάδες μέτρησης του ενεργειακού κόστους

Όλες οι μέθοδοι έμμεσης θερμιδομετρίας για να υπολογίσουν την ενεργειακή δαπάνη κάτω από σταθερές συνθήκες αερόβιου μεταβολισμού έχουν σαν πρώτο στόχο τη μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου σε λίτρα ανά λεπτό ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$).

Παράδειγμα

Ποια είναι η κατανάλωση οξυγόνου ενός ασκούμενου με σωματική μάζα 80 κιλά που έτρεξε για 30 λεπτά και ο εκπνεόμενος όγκος αέρα ήταν 60 λίτρα ανά λεπτό και το ποσοστό του εκπνεόμενου οξυγόνου 16,93%;

Απάντηση

- Το ποσοστό του οξυγόνου που κατανάλωσε ο ασκούμενος ήταν: $20,93\% - 16,93\% = 4\%$
- Άρα η κατανάλωση οξυγόνου ήταν:
 $\text{VO}_2 (\text{L} \cdot \text{min}^{-1}) = 60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \times (4/100) = 2,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$
- Η παραπάνω τιμή για να είναι συγκρίσιμη πρέπει να εκφραστεί σε σχετικές τιμές δηλαδή ανά κιλό σωματικής μάζας:
 $\text{VO}_2 = (2,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \times 1000\text{ml/L}) / 80\text{kg} = 30 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

- Για να βρούμε τις χιλιοθερμίδες που κατανάλωσε ο ασκούμενος χρησιμοποιούμε το δεδομένο ότι η κατανάλωση 1 L O₂ αποδίδει περίπου 5 kcal.

$2,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \times 5 \text{ kcal} / \text{L O}_2 = \mathbf{12 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}}$ εκφράζοντας έτσι την ενεργειακή ένταση
ή $12 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1} \times 30 \text{ min} = \mathbf{360 \text{ kcal}}$ εκφράζοντας τη συνολική ενεργειακή δαπάνη.

- Την ενεργειακή ένταση εκτός από $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ μπορούμε να την εκφράσουμε και σε **MET**. Ένα MET ισοδυναμεί με το μεταβολισμό ηρεμίας και εκφράζεται με την κατανάλωση οξυγόνου ανά kg σωματικού βάρους ενός ατόμου σε συνθήκες ηρεμίας και ισούται με την τιμή των $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Τα MET χρησιμοποιούνται κυρίως για αντιπροσωπευτικούς υπολογισμούς της έντασης της άσκησης, όπως και των ενεργειακών αναγκών του οργανισμού στις περιπτώσεις όπου εκεί κάποια από τις μεθόδους θερμιδομετρίας και απαιτείται ένα κοινό μέτρο σύγκρισης

Έτσι σύμφωνα με το προηγούμενο παράδειγμα το επίπεδο άσκησης του συγκεκριμένου ατόμου θα είναι στα 8,6 MET, διότι:

$$\frac{30 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}}{3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}} = 8,6 \text{ MET}$$

- Τέλος, με τον ισχυρισμό ότι 1 L O₂ = 4,85 kcal καθώς επίσης και ότι 1 MET = 1 kcal · kg⁻¹ · hr⁻¹, μπορούμε από τα MET να υπολογίσουμε τις χιλιοθερμίδες που καίγονται την ώρα ανά κιλό σωματικής μάζας. Έτσι βασιζόμενοι στο προηγούμενο παράδειγμα ισχύει:

$$30 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 60 \text{ min} = 1800 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$$

$$1800 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1} / 1000 = 1,8 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$$

$$1,8 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1} \times 4,85 \text{ kcal} / \text{L O}_2 = 8,7 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$$

3.8 Υπολογισμός της ενεργειακής δαπάνης βασικών δραστηριοτήτων

Από το Αμερικανικό Αθλητιατρικό Κολέγιο (American College of Sports Medicine - ACSM) έχουν δημιουργηθεί κάποιες εξισώσεις που μας δίνουν τη δυνατότητα να υπολογίσουμε τη συνολική ενεργειακή δαπάνη κάποιων βασικών δραστηριοτήτων όπως το περπάτημα, το τρέξιμο, η ποδηλάτηση και το ανέβασμα σε σκαλοπάτια. Οι εξισώσεις αυτές έχουν μεγάλη ακρίβεια όταν η άσκηση έχει σταθερή ένταση και χρησιμοποιούνται εργοδιάδρομοι ή στατικά ποδήλατα. Υπάρχει κίνδυνος υπερεκτίμησης των αποτελεσμάτων όταν η άσκηση γίνεται με προοδευτικά αυξανόμενη ένταση ενώ αλλάζουν οι προϋποθέσεις όταν πρόκειται για συνθήκες γηπέδου. Η ενεργειακή δαπάνη εκφράζεται με την πρόσληψη οξυγόνου (VO₂) σε ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ή σε ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$) και στη συνέχεια μπορεί να μετατραπεί σε χιλιοθερμίδες (1 L O₂ = 5 kcal).

Όσον αφορά τη βάρδια και το τρέξιμο, το συνολικό κόστος ενέργειας υπολογίζεται από το άθροισμα της δαπάνης στην κατάσταση ηρεμίας, της δαπάνης για την οριζόντια μετακίνηση, και της δαπάνης για την κάθετη μετακίνηση ή την αντίσταση.

Βασική εξίσωση για περπάτημα και τρέξιμο: Χρησιμοποιείται για περπάτημα με ταχύτητα από 3 έως 6 km/h (50 έως 100 m · min⁻¹) και για τρέξιμο με ταχύτητα πάνω από 8 km/h (> 134 m · min⁻¹) καθώς και για ταχύτητες από 4,8 έως 8 km/h (80 έως 134 m · min⁻¹) εάν ο ασκούμενος τρέχει και δεν περπατά.

VO₂ (ml · kg⁻¹ · min⁻¹)	= συνιστώσα ηρεμίας (1 MET=3,5ml O ₂ · kg ⁻¹ · min ⁻¹) = οριζόντια συνιστώσα [ταχύτητα (m · min ⁻¹) X κόστος O ₂ για οριζόντια κίνηση] = κάθετη συνιστώσα [κλίση X ταχύτ.(m · min ⁻¹) X κόστος O ₂ για κατακόρυφη κίνηση]
Περπάτημα	κόστος O ₂ για οριζόντια κίνηση = 0,1 ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹ κόστος O ₂ για κατακόρυφη κίνηση = 1,8 ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹
Τρέξιμο	κόστος O ₂ για οριζόντια κίνηση = 0,2 ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹ κόστος O ₂ για κατακόρυφη κίνηση = 0,9 ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹
Κλίση	η κλίση του εργοδιάδρομου π.χ. κλίση 3% γράφεται στον τύπο 0,03

Παράδειγμα

α) Ποια είναι η ενεργειακή δαπάνη ενός ατόμου που περπατά στον εργοδιάδρομο με ταχύτητα 90 m · min⁻¹ ;

β) Ποια είναι η αντίστοιχη ενεργειακή δαπάνη του ίδιου ατόμου όταν τρέχει στον εργοδιάδρομο με κλίση 5% και ταχύτητα 160 m · min⁻¹ ;

Απάντηση

α) VO₂ (ml · kg⁻¹ · min⁻¹) = συνιστώσα ηρεμίας + οριζόντια συνιστώσα + κάθετη συνιστώσα = (3,5ml · kg⁻¹ · min⁻¹) + [ταχύτητα (m · min⁻¹) X κόστος O₂ για οριζόντια κίνηση] + [κλίση X ταχύτ.(m · min⁻¹) X κόστος O₂ για κατακόρυφη κίνηση] = (3,5ml · kg⁻¹ · min⁻¹) + (90 m · min⁻¹ X 0,1 ml · kg⁻¹ · min⁻¹) + 0 = 12,5 ml · kg⁻¹ · min⁻¹

β) VO₂ (ml · kg⁻¹ · min⁻¹) = συνιστώσα ηρεμίας + οριζόντια συνιστώσα + κάθετη συνιστώσα = (3,5ml · kg⁻¹ · min⁻¹) + [ταχύτητα (m · min⁻¹) X κόστος O₂ για οριζόντια κίνηση] + [κλίση X ταχύτ.(m · min⁻¹) X κόστος O₂ για κατακόρυφη κίνηση] = (3,5ml · kg⁻¹ · min⁻¹) + (160 m · min⁻¹ X 0,2 ml · kg⁻¹ · min⁻¹) + (0,05 X 160 m · min⁻¹ X 0,9 ml · kg⁻¹ · min⁻¹) = 42,7 ml · kg⁻¹ · min⁻¹

Βασική εξίσωση για ποδήλατο: Η παρακάτω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ενεργειακού κόστους για ποδηλασία με παραγόμενο έργο 300 έως 1200 kgm/min (50 έως 200 Watts).

$$\text{VO}_2 (\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = (\text{kgm}/\text{min} \times 2 \text{ml}/\text{kgm}) + [3,5 \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times \text{kg} (\text{σωματική μάζα})]$$

$$\text{kgm}/\text{min} = \text{kg} (\text{αντίσταση}) \times (\text{m} / \text{περιστροφή}) \times (\text{περιστροφές} / \text{min})$$

Παράδειγμα

Ποια είναι η ενεργειακή δαπάνη (σε $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) μιας γυναίκας 62 κιλών που ποδηλατεί με 50 περιστροφές το λεπτό και αντίσταση 2 kg; (Σε κάθε περιστροφή διανύεται απόσταση 6 μέτρων).

Απάντηση

$$\text{kgm/min} = \text{kg (αντίσταση)} \times (\text{m} / \text{περιστροφή}) \times (\text{περιστροφές} / \text{min}) = (2 \times 6 \times 50) = 600 \text{ kgm/min}$$

$$\text{VO}_2 (\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = (\text{kgm/min} \times 2\text{ml/kgm}) + [3,5\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times \text{kg (σωματική μάζα)}] =$$

$$(600 \text{ kgm/min} \times 2\text{ml/kgm}) + (3,5\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 62 \text{ kg}) = 1417 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$$

Ανάγουμε την τιμή αυτή σε σχετικές τιμές και έχουμε:

$$\text{VO}_2 (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 1417 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} / 62 \text{ kg} = 22,85 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

Βασική εξίσωση για ανέβασμα σκαλοπατιών.

$$\text{VO}_2 (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = [\text{steps/min} \times 0,35 (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) / (\text{steps} \cdot \text{min}^{-1})] + [\text{m/step} \times \text{step/min} \times 1,33 \times 1,8 (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) / (\text{m} \cdot \text{min}^{-1})]$$

steps/min = ανεβάσματα στο λεπτό και **m/step** = το ύψος του σκαλοπατιού

Παράδειγμα

Ποιο είναι το ενεργειακό κόστος άσκησης stepping με ρυθμό ανεβάσματος 20 φορές στο λεπτό και το ύψος του σκαλοπατιού στα 25 εκατοστά;

Απάντηση

$$\text{VO}_2 (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = [\text{steps/min} \times 0,35 (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) / (\text{steps} \cdot \text{min}^{-1})] + [\text{m/step} \times \text{step/min} \times 1,33 \times 1,8 (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) / (\text{m} \cdot \text{min}^{-1})] = (20 \times 0,35) + (0,25 \times 30 \times 1,33 \times 1,8) = 24,95 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

3.9 Αξιολόγηση

Σήμερα, η συμβολή της έρευνας και της υψηλής τεχνολογικής υποστήριξης στα θέματα του ενεργειακού μεταβολισμού συμβάλλει αποφασιστικά στο να έχουμε αντικειμενικά και αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά την ενεργειακή δαπάνη κατά τη διάρκεια των διαφόρων φυσικών δραστηριοτήτων. Για να μπορούν όμως να αξιολογηθούν και ερμηνευτούν σωστά τα αποτελέσματα αυτά, που πάρθηκαν με οποιαδήποτε από τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένοι παράμετροι:

- Η τιμή της ενέργειας που εξάγεται από τις παραπάνω διαδικασίες θεωρείται ως μικτή ενεργειακή δαπάνη. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε την καθαρή ενεργειακή δαπάνη που οφείλεται αποκλειστικά στη φυσική δραστηριότητα θα πρέπει από την μικτή να αφαιρέσουμε την ενεργειακή δαπάνη της ανάπαυσης.
- Τα αποτελέσματα είναι περισσότερο ακριβή όσο η άσκηση τείνει να είναι χαμηλής έως μέτριας έντασης σταθερού ρυθμού. Αυξομειώσεις έντασης πιθανόν να οδηγήσουν σε υπερεκτίμηση του ενεργειακού κόστους.
- Οι σταθερές συνθήκες και τα όργανα του εργαστηρίου (εργοδιάδρομος, εργοποδήλατο κλπ) βοηθούν στα καλύτερα αποτελέσματα. Φυσικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο εξωτερικό περιβάλλον (τρέξιμο στο βουνό ή στο γήπεδο, ποδηλασία σε ανώμαλο έδαφος, κολύμβηση στη θάλασσα κλπ) οπωσδήποτε οδηγούν σε διαφοροποιημένα αποτελέσματα.
- Η χρήση του αναπνευστικού πηλίκου για την εκτίμηση της θερμικής παραγωγής του σώματος καθώς και τον προσδιορισμό του μείγματος τροφών που καταβολίζεται για ενέργεια είναι αρκετά έγκυρη κάτω από συνθήκες άσκησης χαμηλής έως μέτριας έντασης σταθερού ρυθμού. Σε συνθήκες έντονης μυϊκής προσπάθειας παρατηρείται μια δυσαναλογία στην ανταλλαγή των αερίων, με τιμές RQ συνήθως μεγαλύτερες της μονάδας, που δεν μπορούν να αποδοθούν στην οξείδωση των τροφών.

Βιβλιογραφία

1. ACSM's *Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 3rd Ed., Baltimore: Williams & Wilkins, 1998.
2. McArdle, W.D., et al.: *Essentials of Exercise Physiology*. 2nd Ed., Baltimore: Williams & Wilkins, 2000.
3. Rumlper, W., et al.: Repeatability of 24-hour energy expenditure measurements in humans by indirect calorimetry. *Am. J. Clin. Nutr.*, 51:147, 1990.
4. Schutz, Y., and Deurenberg, P.: Energy metabolism: overview of recent methods used in human studies. *Ann. Nutr. Metab.*, 40:183, 1996.
5. Walker, J.L., et al.: The energy cost of horizontal walking and running in adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31:311, 1999.



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ



Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης
Κατεύθυνση Εργοφυσιολογίας
Υπεύθυνος: Τοκμακίδης Σάββας, Καθηγητής

Όνοματεπώνυμο:..... Α.Ε.Μ.....

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι η ενεργειακή δαπάνη όταν κάποιος περπατά με ταχύτητα $80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (4,8 km/h); Πόσες χιλιοθερμίδες θα κάψει κάποιος, που έχει σωματικό βάρος 95 κιλά, σε ένα μήνα όταν περπατά 4 φορές την εβδομάδα από 45 λεπτά την κάθε φορά;
2. Το ενεργειακό κόστος τρεξίματος σε διάδρομο με ταχύτητα $150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (9 km/h) και κλίση 5% είναι $40,25 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Σε τι ταχύτητα θα πρέπει να ρυθμιστεί ο διάδρομος έτσι ώστε χωρίς κλίση να επιτυγχάνεται η ίδια πρόσληψη οξυγόνου;
3. Για τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας ενός ατόμου συστήνεται η ένταση της άσκησης να κυμαίνεται από 50 - 85% της VO_2max . Μετρήσαμε τη VO_2max ενός αθλούμενου και βρήκαμε ότι αυτή είναι $45 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Ποιο θα είναι το εύρος της ταχύτητας με το οποίο θα πρέπει να τρέχει ο αθλούμενος έτσι ώστε να βελτιώσει την αερόβια ικανότητά του;
4. Μια γυναίκα με σωματικό βάρος 78 κιλά θέλει να ασκηθεί στο ποδήλατο με VO_2 $20 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Πόση αντίσταση (kg) θα πρέπει να δοθεί στο ποδήλατο όταν η συχνότητα περιστροφής είναι 50 περιστροφές / λεπτό; (Σε κάθε περιστροφή διανύεται απόσταση 6 μέτρων).
5. Ποιο είναι το ενεργειακό κόστος άσκησης stepping με ρυθμό ανεβάσματος 30 φορές / λεπτό και το ύψος του σκαλοπατιού 15 εκατοστά;
6. Σε τι ταχύτητα θα πρέπει να ρυθμιστεί ο διάδρομος έτσι ώστε κάποιος που έχει σωματικό βάρος 80 κιλά και γυμνάζεται 3 φορές την εβδομάδα από 40 λεπτά την κάθε φορά, να χάσει σε 30 εβδομάδες 4 κιλά σωματικού βάρους; (η καύση 1 γρ. λίπους παράγει 9 kcal και $1 \text{ L} = 1000 \text{ ml}$).

Σημειώσεις

- Όπου δεν αναφέρονται δεδομένα για την κλίση, θεωρήστε ότι είναι 0% δηλαδή ευθεία.
- $1 \text{ L} = 1000 \text{ ml}$

4.1. Σκοπός εργαστηρίου

Σκοπός του εργαστηρίου είναι η κατανόηση της σημασίας προσδιορισμού της αερόβιας ικανότητας και των μεθόδων αξιολόγησής της καθώς επίσης και η εξοικείωση με τη λειτουργία των βασικών εργομέτρων και των εφαρμοζόμενων πρωτοκόλλων. Μέσω της αναλυτικής περιγραφής βασικών μεθόδων αξιολόγησης της αερόβιας ικανότητας, του απαραίτητου υλικοτεχνικού εξοπλισμού και του τρόπου εξαγωγής αλλά και της ερμηνείας του αποτελέσματος επιδιώκεται παράλληλα η απλοποίηση της εφαρμογής μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας αξιολόγησης.

4.2 Εισαγωγή

Θεωρητική βάση αερόβιας ικανότητας: Η ικανότητα του οργανισμού για πρόσληψη και χρησιμοποίηση του οξυγόνου (O_2) προς παραγωγή ενέργειας, μπορεί να περιγραφεί με διάφορους ορισμούς. Η *αερόβια ικανότητα*, η *αερόβια ισχύς*, η *μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου* και η *μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου* (VO_{2max}), αποτελούν συνώνυμους όρους οι οποίοι χρησιμοποιούνται εναλλακτικά για να προσδιορίσουν την *καρδιοαναπνευστική αντοχή* ή *καρδιοαναπνευστική ικανότητα*. Η αερόβια ικανότητα, αντιπροσωπεύει την ικανότητα πρόσληψης, μεταφοράς και κατανάλωσης οξυγόνου στη μονάδα του χρόνου, κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης δοκιμασίας με προοδευτικά αυξανόμενη ένταση. Όσο μεγαλύτερη είναι η αερόβια ικανότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα παραγωγής έργου (ενέργειας) ενός ατόμου.

Η αερόβια ικανότητα, αποτελεί ίσως το πιο συχνά αξιολογούμενο χαρακτηριστικό της φυσικής κατάστασης, τόσο των αθλητών όσο και του γενικού πληθυσμού. Πρόκειται για έναν σημαντικό παράγοντα επίτευξης υψηλής αγωνιστικής επίδοσης (skill-related fitness), ενώ σχετίζεται άμεσα με την προαγωγή της υγείας του μέσου πληθυσμού (health-related fitness). Αξίζει να σημειωθεί, ότι κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του 20^{ου} αιώνα, κυριαρχούσε η πεποίθηση ότι η μυοσκελετική ικανότητα αποτελούσε το κριτήριο, μέσω της ανάπτυξης της οποίας θα μπορούσε να επιτευχθεί ένα ιδανικό επίπεδο λειτουργικής ικανότητας. Από το 1970 όμως και έπειτα, η πλάστιγγα έκλινε προς την ανάπτυξη της καρδιοαναπνευστικής αντοχής χωρίς να παραβλέπεται η διατήρηση μιας αρμονίας μεταξύ αυτής, της μυοσκελετικής ικανότητας και της σωματικής σύστασης, ως τα υπόλοιπα δύο συστατικά της φυσικής ικανότητας του οργανισμού (Nieman, 1999).

Οι αθλητές αντοχής, εξαρτώνται πρωτίστως από τα υψηλά επίπεδα αερόβιας ικανότητας καθώς ο ρυθμός παροχής ενέργειας κατά την άσκηση βασίζεται στο μεγαλύτερο του βαθμό από την ικανότητά τους να μετατρέπουν τα διάφορα υποστρώματα (καύσιμα) σε τριφωσφορική αδενοσύνη (ATP) υπό την παρουσία O_2 . Παράλληλα, οι αθλητές οι οποίοι συμμετέχουν σε διαλειμματικής φύσεως αναερόβια αγώνισμα, θα πρέπει και αυτοί να διαθέτουν μια καλά ανεπτυγμένη αερόβια ικανότητα, αφού, όπως είναι γνωστό, η αποκατάσταση μετά από αναερόβιες ενέργειες επιτυγχάνεται μέσα από αερόβιες διαδικασίες.

Η αερόβια ικανότητα βασίζεται στο μεγαλύτερο της μέρος στην αρμονική συνεργασία του αναπνευστικού, του καρδιαγγειακού και του μυϊκού συστήματος. Μέσω της αλληλουχίας των ρόλων των παραπάνω συστημάτων, το προσλαμβανόμενο από την ατμόσφαιρα O_2 , μεταφέρεται στους σκελετικούς μύες όπου χρησιμοποιείται στον καταβολισμό των διαφόρων υποστρωμάτων (υδατάνθρακες, λίπη, αμινοξέα) για την παραγωγή ενέργειας (ATP) μέσω του αερόβιου μεταβολισμού. Με λίγα λόγια, όσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα των συστημάτων αυτών να επιτελούν το έργο τους, όσο αφορά στη μεταφορά και χρησιμοποίηση του O_2 , τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το ποσοστό ενέργειας που θα παράγεται χωρίς την εμφανή παρουσία κόπωσης. Στο παρελθόν υπήρξαν διαφωνίες μεταξύ των μελών της επιστημονικής κοινότητας όσο αφορά στο κατά πόσο η πρόσληψη O_2 εξαρτάται πρωτίστως από το κεντρικό σύστημα πρόσληψης, μεταφοράς και διάθεσης του (αναπνευστικό, καρδιαγγειακό σύστημα), ή από το περιφερειακό σύστημα κατανάλωσής (μυϊκό σύστημα). Η άποψη τελικά που υπερίσχυσε, είναι ότι μια ενδεχόμενα μειωμένη καρδιοαναπνευστική ικανότητα οφείλεται πρωτίστως σε αδυναμία του καρδιαγγειακού συστήματος στο να διανέμει το O_2 στους εργαζόμενους μύες παρά στην ικανότητα των τελευταίων να το χρησιμοποιήσουν (ACSM, 2000). Το συμπέρασμα λοιπόν που προκύπτει είναι ότι το σύστημα μεταφοράς του O_2 , καθορίζει σε σημαντικότερο βαθμό την αερόβια ικανότητα ενός ατόμου, άρα, επιδέχεται και τις μεγαλύτερες προπονητικές προσαρμογές, συγκριτικά με το σύστημα κατανάλωσής του.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αερόβια ικανότητα ενός ατόμου βασίζεται περισσότερο στις γενετικές του καταβολές και λιγότερο στην προπόνηση, ενώ ιδιαίτερη σημασία έχει το αρχικό επίπεδο φυσικής κατάστασης. Οι μεταβολές που επέρχονται μέσω της προπόνησης σε νεαρά απροπόνητα άτομα, κυμαίνονται μεταξύ 15-20% ενώ σε αθλητές υψηλού επιπέδου η βελτίωση ανάμεσα στους επιμέρους προπονητικούς κύκλους είναι πολύ πιο περιορισμένη.

4.3. Χρησιμότητα της αξιολόγησης της αερόβιας ικανότητας

Το ουσιαστικό κριτήριο αξιολόγησης της αντοχής ενός αθλητή, είναι η ικανότητά του να παράγει μυϊκή ενέργεια μέσω αερόβιων διαδικασιών. Η αξιολόγηση του παραγόμενου ποσού ενέργειας στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της άμεσης θερμιδομετρίας, παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες στην εφαρμογή και για το λόγο αυτό υιοθετήθηκε ως εναλλακτική μέθοδος, ο καθορισμός του προσλαμβανόμενου από τον οργανισμό O_2

(έμμεση θερμοδομετρία). Η πρακτική αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι η ποσότητα του προσλαμβανόμενου O_2 αντιστοιχεί στην αερόβια παραγόμενη ενέργεια. Έτσι το ποσό του O_2 που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης δοκιμασίας, μπορεί να θεωρηθεί ως έμμεσος δείκτης της ενέργειας την οποία παράγει ο οργανισμός με αερόβιες διαδικασίες.

Ο περιοδικός έλεγχος της αερόβιας ικανότητας βοηθά στον καθορισμό των παρακάτω:

- Του επιπέδου απόδοσης του αθλητή σε μια δεδομένη στιγμή.
- Της καταλληλότητας ενός αθλητή για συμμετοχή σε ένα συγκεκριμένο τύπο αθλήματος.
- Της έμφασης που θα πρέπει να δοθεί στην αερόβια προπόνηση.
- Του τύπου της αερόβιας προπόνησης που θα πρέπει να εφαρμοστεί.
- Της επίδρασης που έχει ένα προπονητικό πρόγραμμα στη πρόοδο του αθλητή.
- Της τακτικής συμπεριφοράς του αθλητή στο άθλημα ή αγώνισμα το οποίο συμμετέχει.

4.4. Προσδιορισμός της Μέγιστης Πρόσληψης O_2

Η μέγιστη πρόσληψη O_2 (VO_{2max}), αποτελεί δείκτη της μέγιστης λειτουργικής ικανότητας του οργανισμού και για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί ως το βασικότερο κριτήριο αξιολόγησης της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας. Ορίζεται ως *η μέγιστη ποσότητα O_2 που χρησιμοποιείται κατά την εκτέλεση άσκησης, η οποία κινητοποιεί μεγάλες μυϊκές ομάδες με μέση ή υψηλή ένταση για παρατεταμένο χρονικό διάστημα.*

Η VO_{2max} , αποτελεί τον όγκο του O_2 το οποίο καταναλώνει ο οργανισμός στη μονάδα του χρόνου (Πίνακας 4.1) και η ποσότητα αυτή μπορεί να εκφραστεί σε απόλυτες (λίτρα ανά λεπτό - $l \cdot \text{min}^{-1}$) και σε σχετικές τιμές (χιλιοστόλιτρα ανά κιλό σωματικού βάρους ανά λεπτό - $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Πίνακας 4.1 Μονάδες έκφρασης της $VO_2\max$ (ASCM, 2000)

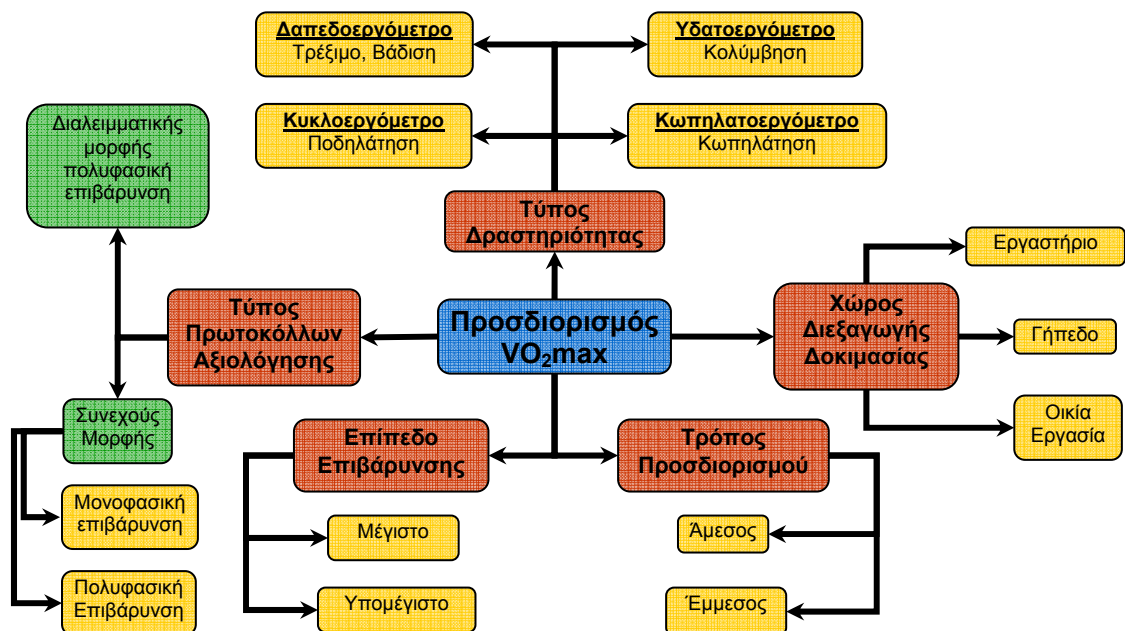
<i>Απόλυτες τιμές πρόσληψης O_2</i>	Εκφράζονται σε λίτρα ανά λεπτό (L/min) και μπορούν να μετατραπούν σε ποσότητα δαπανούμενης ενέργειας, δεδομένου ότι η κατανάλωση 1L O_2 συντελεί στην απελευθέρωση περίπου 5 kcal (20.9kJ) ενέργειας.
<i>Σχετικές τιμές πρόσληψης O_2</i>	Εκφράζονται σε χιλιοστόλιτρα ανά κιλό σωματικής μάζας ανά λεπτό ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Σε αυτή τη μορφή η VO_2 , αποκτά ίση συγκριτική αξία μεταξύ ατόμων που διαφέρουν σε σωματικό μέγεθος. Σε ορισμένες συνθήκες η VO_2 δύναται επίσης να εκφραστεί σε kg άλιπης σωματικής μάζας, σε m^2 επιφάνειας καθώς και σε άλλους δείκτες σωματικού μεγέθους.
<i>Μεικτές τιμές πρόσληψης O_2</i>	Πρόκειται για τις τιμές συνολικής VO_2 υπό οποιοσδήποτε συνθήκες (ηρεμίας ή άσκησης), εκφραζόμενες είτε σε σχετικές ή απόλυτες μονάδες. Οι μεικτές τιμές πρόσληψης VO_2 περιλαμβάνουν το θερμιδικό κόστος της ηρεμίας και της άσκησης ως ολότητα.
<i>Καθαρές τιμές πρόσληψης O_2</i>	Πρόκειται για τις τιμές της VO_2 που απομένουν αν αφαιρέσουμε το ποσοστό VO_2 ηρεμίας, μετά από συμμετοχή σε μια δραστηριότητα. Οι καθαρές τιμές VO_2 χρησιμοποιούνται για να περιγραφεί το καθαρό θερμιδικό κόστος μια φυσικής δραστηριότητας.

Η μονάδα στην οποία θα εκφραστεί η $VO_2\max$, εξαρτάται κυρίως από τη φύση του αθλήματος. Τον κωπηλάτη για παράδειγμα, θα τον ενδιέφερε η απόλυτη τιμή έκφρασης της $VO_2\max$ ($l \cdot min^{-1}$), καθώς η φύση του αθλήματος στο οποίο συμμετέχει δεν απαιτεί μεταφορά της σωματικής του μάζας. Από την άλλη πλευρά όμως, για ένα δρομέα μεσαίων ή μεγάλων αποστάσεων, θα ήταν πιο χρήσιμη η σχετική τιμή έκφρασης της $VO_2\max$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), καθώς η σωματική του μάζα μεταφέρεται κατά τη διάρκεια του αγωνίσματος, ασκώντας έτσι σημαντική επίδραση στην τελική του απόδοση. Οι σχετικές τιμές έκφρασης της $VO_2\max$, χρησιμεύουν για τον έλεγχο της προόδου των αθλητών ενώ έχουν επίσης άμεση εφαρμογή όταν πρόκειται να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών ατόμων. Σε κάθε αξιολόγηση θα πρέπει να υπολογίζεται η επίδραση της σωματικής μάζας στη $VO_2\max$, καθώς πολλές φορές συμβαίνει οι μεταβολές οι οποίες παρατηρούνται στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα να οφείλονται αποκλειστικά σε αυξομειώσεις της σωματικής μάζας, χωρίς να υπάρχει ουσιαστική μεταβολή της αερόβιας ικανότητας. Όταν γίνεται ερμηνεία των αποτελεσμάτων, κρίνεται απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι σχετικές όσο και οι απόλυτες τιμές.

Ενδεικτικά οι τιμές VO_2 κυμαίνονται από $30 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ για ένα μη ασκούμενο άτομο ηλικίας μέσης ηλικίας και φθάνουν μέχρι και $80-87 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ σε νεαρούς αθλητές αγωνισμάτων αντοχής. Τα ποσοστά όσο αφορά στις γυναίκες, τείνουν να είναι κατά 15-30% χαμηλότερα των ανδρών, διαφορά η οποία παύει όμως να υφίσταται όταν το αποτέλεσμα σταθμιστεί ως προς τη σωματική σύσταση και τη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης (McArdle et al 1996).

4.5. Μέθοδοι προσδιορισμού της VO_2max

Στην εργομετρία μπορεί κανείς να διακρίνει πληθώρα μεθόδων και διαδικασιών προσδιορισμού της VO_2max (Σχήμα 1). Αν επιχειρούταν ένας διαχωρισμός ως προς τις μεθόδους αυτές, θα μπορούσαμε αρχικά να τις κατηγοριοποιήσουμε με βάση τον *τύπο του πρωτοκόλλου αξιολόγησης*. Ένας δεύτερος διαχωρισμός αφορά τον *τύπο της δραστηριότητας* η οποία σχετίζεται με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου εργομέτρου. Μια τρίτη διάκριση, αφορά το *επίπεδο της επιβάρυνσης* κατά πόσο δηλαδή πρόκειται για δοκιμασίες οι οποίες απαιτούν *μέγιστη* ή *υπομέγιστη* προσπάθεια. Οι μέθοδοι προσδιορισμού της VO_2max διαφοροποιούνται επίσης ανάλογα με τον *τρόπο προσδιορισμού* της, όπου διακρίνονται σε *άμεσες* και *έμμεσες* διαδικασίες αξιολόγησης. Ένας τελευταίος διαχωρισμός αφορά το *χώρο διεξαγωγής* των δοκιμασιών με κατάταξή τους σε *εργαστηριακές, υπαίθριες και κατ' οίκον* (ερωτηματολογία).



Σχήμα 4.1. Διαδικασίες και μέθοδοι προσδιορισμού της VO_2max

4.6. Τύποι Πρωτοκόλλων Αξιολόγησης της VO_2max

Κατά την άμεση αξιολόγηση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, η πιο διαδεδομένη διαδικασία είναι η εφαρμογή προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης πρωτοκόλλων. Η διάρκεια της δοκιμασίας θα εκτείνεται μέχρι του σημείου που ο δοκιμαζόμενος θα φθάσει στα όρια της πλήρους εξάντλησης ή θα συντρέχουν άλλες προϋποθέσεις διακοπής της διαδικασίας όπως περιγράφονται στον πίνακα 2.

Κατά την έμμεση αξιολόγηση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, η ένταση μπορεί να είναι προοδευτικά αυξανόμενη μέχρι εξάντλησης, ή σταθερή σε μια υπομέγιστη επιβάρυνση καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας.

Τα πρωτόκολλα που εφαρμόζονται τόσο κατά την άμεση όσο και την έμμεση αξιολόγηση διακρίνονται κυρίως ως προς τον *αριθμό των φάσεων* από τις οποίες αποτελούνται και ως προς τον *τρόπο διαδοχής των φάσεων* αυτών ανάλογα με την παρεμβολή ή όχι διαλείμματος.

Συνεχούς μορφής μονοφασική επιβάρυνση: Τα πρωτόκολλα συνεχούς – μονοφασικής μορφής χαρακτηρίζονται από σταθερή και αμετάβλητη επιβάρυνση καθ' όλη της διάρκεια της δοκιμασίας χωρίς να παρεμβάλλεται ενδιάμεσο διάλειμμα. Στην περίπτωση προσδιορισμού της VO_2max η ένταση κυμαίνεται σε μέσα επίπεδα και καθορίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά του δοκιμαζομένου (ηλικία, επίπεδο φυσικής ικανότητας κλπ). Τα πρωτόκολλα του συγκεκριμένου τύπου παρουσιάζουν μεγάλη εφαρμογή κατά τον έμμεσο προσδιορισμό της αερόβιας ικανότητας αλλά και της αναερόβιας ικανότητας όταν η ένταση είναι μέγιστη.

Συνεχούς μορφής πολυφασική επιβάρυνση: Κατά τη διάρκεια εφαρμογής των πρωτοκόλλων συνεχούς μορφής πολυφασικής επιβάρυνσης, η ένταση αυξάνεται προοδευτικά και κλιμακωτά σε καθορισμένο χρόνο, χωρίς να υπάρχει διακοπή μεταξύ των επιμέρους σταδίων. Ο τερματισμός της προσπάθειας γίνεται μετά από εξάντληση του δοκιμαζομένου ή σε προκαθορισμένο υπομέγιστο στάδιο (Κλεισούρας, 1991). Το γεγονός ότι η προοδευτική επιβάρυνση παρέχει τη δυνατότητα ομαλής προσαρμογής στον οργανισμό, αποτελεί το βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου των πρωτοκόλλων.

Διαλειμματικής μορφής πολυφασική επιβάρυνση: Η διαδικασία εφαρμογής διαλειμματικής μορφής πρωτοκόλλων, είναι πανομοιότυπη με αυτή των πρωτοκόλλων συνεχούς μορφής με τη μόνη διαφορά ότι μεταξύ των επιμέρους σταδίων, η διαδικασία διακόπτεται για διάστημα 30 - 60sec, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα μερικής ανάληψης στο δοκιμαζόμενο. Η διακοπή αυτή μπορεί να εξυπηρετεί την εξέταση βιολογικών παραμέτρων (επίπεδα γαλακτικού στο αίμα, αρτηριακή πίεση, ηχοκαρδιογράφημα) οι οποίες θα ήταν δύσκολο να αξιολογηθούν κατά τη διάρκεια της προσπάθειας. Χρησιμεύει επίσης στον καθορισμό της έντασης στο επόμενο στάδιο,

στην περίπτωση που αυτή εξαρτάται από τις προσαρμογές του οργανισμού κατά την προηγούμενη φάση και τα αποτελέσματα δεν είναι άμεσα διαθέσιμα. Η φύση της δοκιμασίας αυτής, καθιστά τη διαδικασία χρονοβόρα και αυτό αποτελεί το βασικό της μειονέκτημα (Κλεισούρας, 1991). Πλεονέκτημα αυτού του τύπου των πρωτοκόλλων, αποτελεί το γεγονός ότι η δυνατότητα ανάληψης που παρέχεται στο δοκιμαζόμενο, συμβάλει στην αποφυγή της τοπικής μυϊκής κόπωσης.

4.7. Καθορισμός της Επιβάρυνσης και Διάρκεια της Δοκιμασίας

Οι αυξήσεις της επιβάρυνσης και η διάρκεια της δοκιμασίας και των επιμέρους σταδίων από τα οποία αποτελείται, θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη, καθώς ο δυσανάλογος χειρισμός τους μπορεί να συντελέσει στην υποεκτίμηση της πραγματικής αερόβιας ικανότητας των δοκιμαζομένων. Στην περίπτωση που η ένταση της άσκησης αυξάνεται απότομα, τότε νευρομυϊκοί περιορισμοί, όπως είναι η πρόωρη εμφάνιση τοπικού μυϊκού καμάτου, δε θα επιτρέψουν στην εξακρίβωση των πραγματικών δυνατοτήτων του δοκιμαζόμενου. Κάτι αντίστοιχο θα συμβεί στην περίπτωση που οι αυξήσεις στην ένταση είναι πολύ μικρές, γεγονός το οποίο θα συμβάλει στην παράταση του χρόνου αξιολόγησης. Στη δεύτερη περίπτωση, η άνοδος της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος και η επερχόμενη ανακατανομή του αίματος προς την επιφάνεια του δέρματος (θερμορυθμιστική δράση), δύνανται να περιορίσουν τη παροχή O_2 προς τους εργαζόμενους μύες. Σε συνδυασμό με την εξάντληση των αποθεμάτων του γλυκογόνου και την ανία λόγω της παρατεταμένης σε διάρκεια προσπάθειας (Κλεισούρας, 1991), δεν θα επιτρέψουν στο δοκιμαζόμενο να προσεγγίσει τις πραγματικές του δυνατότητες με αποτέλεσμα τον πρόωρο τερματισμό της προσπάθειας του. Έχει διαπιστωθεί ότι η εφαρμογή ενός διαλειμματικής μορφής πρωτοκόλλου συνολικής διάρκειας 8-12min, έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη μεγαλύτερων τιμών VO_{2max} στα ίδια άτομα σε σχέση, με μικρότερης (<8min) ή μεγαλύτερης (18-26min) χρονικής διάρκειας πρωτόκολλα (Buchfuhrer et al, 1983).

Ο καθορισμός της αρχικής επιβάρυνσης αλλά και των μεταβολών της στα επόμενα στάδια μιας δοκιμασίας, γίνεται αφού ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως είναι η ηλικία, το φύλο, το σωματικό μέγεθος και το επίπεδο της φυσικής ικανότητας. Ενδεικτικά, τόσο η αρχική ένταση όσο και οι αυξήσεις της ανάμεσα στα διαδοχικά στάδια, θα είναι μικρότερες σε ένα έφηβο αθλητή σε σχέση με κάποιον ο οποίος διαθέτει μεγαλύτερη αθλητική εμπειρία. Η αρχική ένταση της επιβάρυνσης, θα πρέπει να βρίσκεται κάπου στο 25-40% της εκτιμώμενης VO_{2max} , ενώ ανάμεσα στα επιμέρους στάδια η ένταση θα πρέπει να αυξάνεται περίπου κατά 10-15% της εκτιμώμενης VO_{2max} (Thoden, 1991).

Η διάρκεια των επιμέρους σταδίων διατηρείται ως επί το πλείστον σταθερή σε ολόκληρη την έκταση της αξιολόγησης, ενώ θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να παρέχει τη δυνατότητα στον οργανισμό να σταθεροποιεί τις προσαρμογές που προκαλούνται, όπως για παράδειγμα στη VO_2 ή την καρδιακή συχνότητα. Συνήθως, χρησιμοποιούνται στάδια των 3-4min και στην περίπτωση που σε κάποιο από αυτά δεν διαπιστωθεί σταθεροποίηση της VO_2 , τότε η διάρκεια του μπορεί να παραταθεί για ένα λεπτό κάθε

φορά μέχρι που να επέλθει σταθεροποίηση της φυσιολογικής παραμέτρου. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, στην περίπτωση εφαρμογής διαλειμματικού πρωτοκόλλου για αξιολόγηση μεταβολικών παραμέτρων, ο χρόνος διακοπής κυμαίνεται από 30-60sec.

Η ένταση της επιβάρυνσης, εφαρμόζεται με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το εργόμετρο, όπου ενδεικτικά στο κυκλοεργόμετρο αντιστοιχεί στην αντίσταση τριβής, στο δαπεδοεργόμετρο στην ταχύτητα του κυλιόμενου δαπέδου και στη κλίση που έχει η βάση του διαδρόμου, στο βαθμιδοεργόμετρο στο ύψος της κλίμακας και στη συχνότητα των ανεβοκατεβασμάτων και στο κωπηλατοεργόμετρο στην αντίσταση του αέρα στον ειδικό στρόφαλο κατά την έλξη του κουπιού.

4.8. Κριτήρια Τερματισμού της Δοκιμασίας

Τα πρωτόκολλα τα οποία έχουν περιγραφεί, προϋποθέτουν ότι κατά την εργομέτρηση θα πραγματοποιείται προοδευτική αύξηση της επιβάρυνσης μέχρι του σημείου όπου δεν θα είναι δυνατή η παραπέρα συνέχιση της δοκιμασίας. Το σημείο αυτό ορίζεται ως “επίπεδο εκούσιας εξάντλησης” υπό την έννοια ότι ο δοκιμαζόμενος αποφασίζει από μόνος του ότι δεν μπορεί να συνεχίσει παραπέρα την προσπάθεια. Φυσικά υπάρχουν διάφοροι τρόποι να διαπιστώσει ο αξιολογητής κατά πόσο ο δοκιμαζόμενος έφθασε πραγματικά ή όχι στα όρια του όσο αφορά στην επίτευξη της VO_{2max} , ή αν θα πρέπει να τερματίσει τη διαδικασία για άλλους λόγους (Πίνακας 4.2). Το πρωταρχικό κριτήριο είναι η σταθεροποίηση της VO_2 παρά την αύξηση του επιπέδου της έντασης. Για διάφορους λόγους όμως, κατά τον τερματισμό της εργομέτρησης ενδέχεται να μην παρουσιαστεί σταθεροποίηση στη VO_2 , όπως στην περίπτωση της περιφερειακής μυϊκής κόπωσης. Τότε η VO_2 η οποία έχει επιτευχθεί κατά το σημείο του τερματισμού δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μέγιστη (VO_{2max}) αλλά ως κορυφαία πρόσληψη O_2 (VO_{2Peak}).

Πίνακας 4.2. Κριτήρια τερματισμού δοκιμασίας ή επιβεβαίωσης επίτευξης της VO_2max (ACSM, 1995, ACSM 2000, Nieman, 1999)

- Σταθεροποίηση της VO_2 παρά τις αυξήσεις στην ένταση. Αύξηση μικρότερη των $2ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ στο τέλος της δοκιμασίας.
- Διατήρηση του Γαλακτικού στο αίμα σε επίπεδα πέραν των 8-10mmol/l κατά τα πρώτα 5' αποκατάστασης
- Υπέρβαση της τιμής 1.10 – 1.15 στο ποσοστό ανταλλαγής αερίων (RER)
- Επίτευξη της προβλεπόμενης με βάση την ηλικία μέγιστης καρδιακής συχνότητας
- Εμφάνιση σθηθαγικών συμπτωμάτων
- Σημαντική μείωση της συστολικής αρτηριακής πίεσης (κατά 20 mmHg) ή ανικανότητά της να αυξηθεί ανάλογα με την αύξηση της έντασης
- Υπερβολική αύξηση στην αρτηριακή πίεση (συστολική πίεση >260 mmHg ή διαστολική πίεση >115 mmHg)
- Εμφάνιση συμπτωμάτων δυσφορίας (ελαφρύς πονοκέφαλος, σύγχυση, αταξία, ωχρότητα, κούραση, ναυτία, κρύο και κίτρινο δέρμα)
- Ανικανότητα της καρδιακής συχνότητας να αυξηθεί ανάλογα με την αύξηση της έντασης
- Διακριβωμένη μεταβολή στο πρότυπο του καρδιακού ρυθμού
- Επιθυμία του δοκιμαζόμενου να διακόψει την προσπάθεια
- Φυσική εκδήλωση ή προφορική εκδήλωση έντονης κόπωσης
- Τεχνικά προβλήματα στον εργαστηριακό εξοπλισμό

Αποτελεί συνήθη διαδικασία, η εφαρμογή διαφόρων τεχνικών επιβεβαίωσης των τιμών της VO_2max που επιτυγχάνονται κατά την εργοσπιρομέτρηση. Μια από αυτές τις τεχνικές απαιτεί υποβολή του δοκιμαζόμενου σε μια επιπλέον προσπάθεια, 15 λεπτά μετά την αποπεράτωση της προηγούμενης δοκιμασίας, σε ένταση η οποία να μεγαλύτερη κατά ένα στάδιο σε σχέση με αυτό στο οποίο τερμάτισε προηγουμένως (Thoden, 1991). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιβεβαίωσης θα πρέπει οι τιμές της VO_2 να είναι οι όμοιες με αυτές που είχαν επιτευχθεί προηγουμένως.

4.9 Τύπος Δραστηριότητας

Πολλές φορές συμβαίνει να παρατηρούνται διαφορές στην επίδοση ενός ατόμου ανάμεσα σε διαφορετικού τύπου δραστηριότητες όπως είναι το τρέξιμο στον εργοδιάδρομο, η ποδηλάτηση στο εργοποδήλατο, η κωπηλάτηση στο κωπηλατοεργόμετρο ή το ανεβοκατέβασμα κλίμακας, ενώ όλες οι υπόλοιπες συνθήκες της δοκιμασίας διατηρούνται σταθερές. Είναι γνωστό σήμερα το γεγονός ότι η αξιολόγηση της VO_2max σε αγύμναστα άτομα στον εργοδιάδρομο, παρουσιάζει διαφορές της τάξης του 10% σε σχέση με το εργοποδήλατο (Davis et al 1975), ενώ οι κολυμβητές διαπιστώθηκε ότι μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερες τιμές VO_2max κατά την υδροεργομέτρηση σε σχέση με την δαπεδοεργομέτρηση (Magel, 1967). Οι υφιστάμενες διαφορές, αποδίδονται στο γεγονός ότι η αθλητική προπόνηση συμβάλει στην ανάπτυξη εξειδικευμένων νευρομυϊκών και μεταβολικών προσαρμογών οι οποίες συμβάλουν με τη σειρά τους στην αποδοτικότερη εκτέλεση των κινήσεων που χρησιμοποιεί ο κάθε αθλητής στο αγώνισμά του. Οι προσαρμογές αυτές δεν μεταφέρονται ούτε αξιοποιούνται για την εκτέλεση άλλων κινήσεων, οι οποίες είναι ξένες προς το αγώνισμα για το οποίο έγινε η προπόνηση (Κλεισούρας, 1991). Η μεταφορά των προσαρμογών που επιτυγχάνονται μέσω μιας αθλητικής δεξιότητας

στην εκτέλεση μιας άλλης δεξιότητας, είναι δυνατή μόνο αν κατά τη διαδικασία δραστηριοποιούνται οι ίδιες κινητικές μονάδες και με παρόμοιο κινητικό πρότυπο (Κλεισούρας, 1990).

Με βάση τα παραπάνω, θα πρέπει κατά την αξιολόγηση της $\dot{V}O_2\max$ αθλητών, να γίνεται χρήση των ειδικών εργομέτρων τα οποία προσομοιάζουν όσο το δυνατό καλύτερα το κινητικό πρότυπο της δραστηριότητας στην οποία συμμετέχουν. Φυσικά, είναι πολύ δύσκολο υπό εργαστηριακές συνθήκες να επιτευχθεί πλήρης εξομίωση της τεχνικής εκτέλεσης κατά τη δοκιμασία με την τεχνική εκτέλεση υπό συνθήκες προπόνησης ή αγώνα, λαμβάνεται εντούτοις πρόνοια ώστε να μην παρεμβάλλονται μεγάλες διαφορές. Η πρόσφατη επινόηση έγκυρου και αξιόπιστου φορητού εξοπλισμού ανάλυσης αερίων (McLaughlin et al. 2001), παρέχει ακόμη μεγαλύτερη δυνατότητα για εφαρμογή πρωτοκόλλων αξιολόγησης τα οποία προσομοιάζουν με τις αγωνιστικές συνθήκες.

4.10. Επίπεδο Επιβάρυνσης

Για την αξιολόγηση της $\dot{V}O_2\max$ χρησιμοποιούνται δοκιμασίες μέγιστης καθώς επίσης και υπομέγιστης έντασης. Οι μέγιστες δοκιμασίες προϋποθέτουν την επίτευξη των ορίων της ανθρώπινης απόδοσης, ενώ οι υπομέγιστες εξ ορισμού αφορούν τη διεξαγωγή σωματικής δραστηριότητας, η οποία θα αποπερατωθεί σε προκαθορισμένο επίπεδο, το οποίο πάντοτε είναι χαμηλότερο των ατομικών ορίων του κάθε δοκιμαζομένου.

Οι δοκιμασίες μέγιστης επιβάρυνσης παρουσιάζουν μεγάλη εφαρμογή στον άμεσο προσδιορισμό της $\dot{V}O_2\max$ κατά τη διαδικασία της εργοσπιρομέτρησης ενώ μαζί με τις υπομέγιστες επιβάρυνσης δοκιμασίες, χρησιμοποιούνται και για τον έμμεσο προσδιορισμό της $\dot{V}O_2\max$.

4.11. Δοκιμασίες μέγιστης έντασης

Οι προοδευτικά αυξανόμενες δοκιμασίες μέγιστης έντασης σε οποιοδήποτε εργόμετρο, με την παράλληλη διεξαγωγή εργοσπιρομέτρησης, αποτελούν την αμεσότερη διαδικασία προσδιορισμού της $\dot{V}O_2\max$. Αν δεν διατίθεται εργοσπιρόμετρο τότε η $\dot{V}O_2\max$ μπορεί να προσδιορισθεί με έμμεσο τρόπο μέσω εφαρμογής εξισώσεων παλινδρόμησης, όπου βασικό κριτήριο είναι συνήθως ο χρόνος αποπεράτωσης του τεστ. Στην περίπτωση αυτή, οι προοδευτικά δοκιμασίες μέγιστης έντασης με έμμεσο προσδιορισμό της απόδοσης, αποτελούν το καλύτερο υποκατάστατο της εργοσπιρομέτρησης. Οι δοκιμασίες αυτού του τύπου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διαγνωστικά εργαλεία της απόδοσης για αθλητές αλλά και ως μέσα εκτίμησης της καρδιακής λειτουργίας ατόμων υψηλού κινδύνου όταν πραγματοποιείται παράλληλα ηλεκτροκαρδιογράφημα. Μεταξύ των διαφορετικών εργομέτρων ο εργοδιάδρομος θεωρείται ως το καταλληλότερο μέσο αξιολόγησης καθώς άλλα εργόμετρα διαπιστώθηκε ότι υποεκτιμούν την απόδοση.

4.12. Δοκιμασίες Υπομέγιστης Έντασης

Η χρησιμότητα των δοκιμασιών υπομέγιστης έντασης, έγκειται στο γεγονός ότι απαιτούν ελάχιστο κόστος, διαρκούν λιγότερο χρόνο και σε αυτές μπορούν με ασφάλεια να συμμετάσχουν άτομα προχωρημένης ηλικίας ή άτομα με δύο ή περισσότερους παράγοντες κινδύνου (π.χ. οικογενειακό ιστορικό καρδιοπάθειας, κάπνισμα, υπέρταση), όπου στην περίπτωση της άμεσης αξιολόγησης θα ήταν απαραίτητη η παρουσία εξειδικευμένου ιατρικού προσωπικού.

Στις εργαστηριακές δοκιμασίες αξιολογούνται συνήθως, η φυσική ανταπόκριση του οργανισμού έναντι μιας δοσμένης επιβάρυνσης (πχ καρδιακή συχνότητα στα 600W), ή η επιβάρυνση που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη φυσιολογική ανταπόκριση (π.χ. το έργο που χρειάζεται ώστε να επιτευχθεί η καρδιακή συχνότητα των 170 παλμών).

Αξίζει να αναφερθεί ότι όταν αξιολογούμε την καρδιακή συχνότητα, αναφερόμαστε ουσιαστικά στην ικανότητα της καρδιάς να ανταποκρίνεται έναντι κάποιας επιβάρυνσης, όπου κύριος προσδιοριστικός παράγοντας είναι η καρδιακή παροχή η οποία καθορίζει στην περίπτωση αυτή την πρόσληψη O_2 . Όπως είναι γνωστό, η καρδιακή παροχή αποτελεί το γινόμενο μεταξύ της καρδιακής συχνότητας και του όγκου παλμού. Κατά τον έλεγχο όμως της ανταπόκρισης του καρδιαγγειακού συστήματος λαμβάνουμε συνήθως υπόψη μόνο την καρδιακή συχνότητα. Η πρακτική αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι ο όγκος παλμού αυξάνεται ανάλογα με το επίπεδο της επιβάρυνσης μέχρι ενός συγκεκριμένου σημείου μετά από το οποίο σταθεροποιείται (αντιστοιχεί περίπου στο 40% της VO_{2max}) ενώ η καρδιακή συχνότητα συνεχίζει να αυξάνεται (Κλεισούρας, 1991). Από το σημείο της σταθεροποίησης του όγκου παλμού και έπειτα, οποιαδήποτε μεταβολή στην καρδιακή παροχή οφείλεται πρωτίστως στην καρδιακή συχνότητα. Το γεγονός αυτό αποτελεί και το λόγο διάδοσης της ως δείκτη ελέγχου της καρδιακής ανταπόκρισης κατά τις έμμεσες διαδικασίες αξιολόγησης.

Κατά την πραγματοποίηση υπομέγιστων δοκιμασιών, θα πρέπει να εξασφαλίζονται διάφορες προϋποθέσεις έτσι ώστε να μην αλλοιώνεται η ακρίβεια της πρόβλεψης (Πίνακας 4.3). Η πρώτη προϋπόθεση αναφέρεται στην εξασφάλιση μιας *σταθερής καρδιακής συχνότητας* σε κάθε στάδιο της δοκιμασίας. Αν αυτό δεν επιτευχθεί, τότε παρατείνεται το χρονικό διάστημα της προσπάθειας μέχρι που να γίνει αυτό κατορθωτό. Η δεύτερη προϋπόθεση αφορά *ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ καρδιακής συχνότητας, επιβάρυνσης και VO_2* . Η γραμμική αυτή σχέση, εξασφαλίζεται για το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού μεταξύ 110 και 150bpm (Nieman, 1999). Η καρδιακή συχνότητα αποτελεί όμως ένα πολύ ευαίσθητο δείκτη, ο οποίος μπορεί να μεταβληθεί ως αποτέλεσμα διαφόρων άλλων παραμέτρων πέραν της επιβάρυνσης της δοκιμασίας, έτσι θα πρέπει να ερμηνεύεται με ιδιαίτερη προσοχή. Η τρίτη προϋπόθεση εικάζει ότι *η μέγιστη καρδιακή συχνότητα είναι η ίδια ανάμεσα στα άτομα κάθε ηλικιακής κατηγορίας*. Είναι όμως γνωστό το γεγονός ότι η καρδιακή συχνότητα επηρεάζεται από διάφορες φυσιολογικές προσαρμογές του οργανισμού και κάτι τέτοιο είναι απίθανο να συμβαίνει. Τέλος, η τέταρτη προϋπόθεση αναφέρεται στην αποδοχή του ότι *η μηχανική επίδραση των εργομέτρων στις φυσιολογικές ανταποκρίσεις του οργανισμού (VO_2 σε δοσμένο έργο), είναι η ίδια για κάθε δοκιμαζόμενο*. Κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει πάντοτε, καθώς το κάθε άτομο ανταποκρίνεται στις διάφορες

επιβαρύνσεις ανάλογα με το επίπεδο της φυσικής του ικανότητας. Οι τελευταίες δύο προϋποθέσεις, αφορούν και τους βασικότερους λόγους μείωσης του επιπέδου αξιοπιστίας των έμμεσων διαδικασιών αξιολόγησης στις οποίες το ποσοστό σφάλματος κατά την εκτίμηση κυμαίνεται μεταξύ 10-20%.

Πίνακας 4.3. Προϋποθέσεις αποδοχής του αποτελέσματος των υπομέγιστων δοκιμασιών (ASCM, 2000).

- Επίτευξη σταθερής καρδιακής συχνότητας σε κάθε στάδιο της δοκιμασίας
- Εξασφάλιση γραμμικής σχέσης μεταξύ καρδιακής συχνότητας, παραγόμενου έργου και VO_2max
- Αποδοχή καθολικής μέγιστης καρδιακής συχνότητας ανάμεσα στα άτομα κάθε ηλικίας
- Αποδοχή καθολικής μηχανικής επίδρασης των εργομέτρων για τον κάθε δοκιμαζόμενο.

4.13. Τρόποι Προσδιορισμού της VO_2max

Η VO_2max αξιολογείται με άμεσες και έμμεσες διαδικασίες προσδιορισμού. Η διαφορά μεταξύ αμέσων και έμμεσων διαδικασιών αξιολόγησης της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, αναφέρεται στο ότι οι πρώτες την **καθορίζουν** με σχετική ακρίβεια, ενώ οι δεύτερες **προβλέπουν** τη VO_2max μέσω εξισώσεων παλινδρόμησης.

Άμεσος Προσδιορισμός της VO_2max : Η άμεση αξιολόγηση της VO_2max αποτελεί την πιο έγκυρη και αξιόπιστη μέθοδο αξιολόγησης της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας. Μπορεί να εκτελεσθεί σε εργαστηριακές καθώς και υπαίθριες συνθήκες με τη χρήση φορητού εξοπλισμού. Στη διαδικασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλων των τύπων τα εργόμετρα, είναι όμως πιο ενδεδειγμένη σε κάθε περίπτωση, η χρησιμοποίηση οργάνων τα οποία επιτρέπουν την εκτέλεση της αγωνιστικής τεχνικής του δοκιμαζόμενου. Τα πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιούνται αφορούν συνεχή ή διαλειμματική διαδικασία. Ο τύπος του πρωτοκόλλου που θα χρησιμοποιηθεί, επιλέγεται ανάλογα με το αν θα πραγματοποιηθεί αξιολόγηση βιολογικών παραμέτρων στα ενδιάμεσα στάδια. Η αύξηση της επιβάρυνσης, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην περιορίζεται ή να παρατείνεται κατά πολύ η συνολική διαδικασία. Η ιδανικότερη διάρκεια ορίζεται μεταξύ 8-12min για το σύνολο της διαδικασίας και στα 3min για τα ενδιάμεσα στάδια. Για λόγους ασφαλείας αλλά και ως κριτήριο επίτευξης της μέγιστης απόδοσης θα πρέπει να λαμβάνονται οι συνθήκες και οι προϋποθέσεις που περιγράφονται στον Πίνακα 7.2.

Εργοσπιρομέτρηση: Η εργοσπιρομέτρηση, αποτελεί την πιο αξιόπιστη διαδικασία για την εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας. Πραγματοποιείται με την εφαρμογή ενός πρωτοκόλλου προοδευτικά αυξανόμενης έντασης και τη χρησιμοποίηση ενός συστήματος “ανοικτού” κυκλώματος σπιρομέτρησης (συσκευή που επιτρέπει την εισπνοή ατμοσφαιρικού αέρα από το περιβάλλον και την εκπνοή στον αναλυτή αερίων). Οι δοκιμαζόμενοι λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία ασκούμενοι στο αντίστοιχο του αθλήματος τους εργόμετρο. Όπως θα δούμε παρακάτω για τον προσδιορισμό της VO_2max χρειάζεται

ο προσδιορισμός δύο παραμέτρων. Η πρώτη αφορά τον όγκο του εκπνεόμενου αέρα (πνευμονικού αερισμού) και το δεύτερο τη σύστασή του σε O_2 και CO_2 .

Μέτρηση όγκου πνευμονικού αερισμού: Ο όγκος του πνευμονικού αερισμού μετριέται με διάφορες ογκομετρικές συσκευές και όργανα, καθώς και ηλεκτρονικά κυκλώματα. Μερικά από τα κυκλώματα αυτά μετρούν τον εκπνεόμενο, ενώ άλλα τον εισπνεόμενο αέρα ή και τα δύο. Η αξιολόγηση του πνευμονικού αερισμού μπορεί να γίνει άμεσα και ταυτόχρονα με την εργομέτρηση αλλά και σε μεταγενέστερη φάση. Τα πιο διαδεδομένα ογκομετρικά όργανα είναι το σπιρόμετρο, το αερόμετρο, ο πνευμοταχογράφος και το ανεμόμετρο. Ο πνευμοταχογράφος και το ανεμόμετρο χρησιμοποιούνται σε όλα τα σύγχρονα αυτοματοποιημένα συστήματα της κατανάλωσης του O_2 . Είναι απαραίτητο πριν από κάθε αξιολόγηση να γίνεται βαθμονόμηση των ογκομετρικών συσκευών ώστε να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των μετρήσεων. Για τη βαθμονόμηση του πνευμοταχογράφου και του ανεμομέτρου χρησιμοποιείται ένας γεωμετρικός κύλινδρος γνωστού όγκου, ο οποίος φέρει στη βάση του μια χειροκίνητη βαλβίδα. Κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης, θα πρέπει οι ενδείξεις της ογκομετρικής συσκευής να έρθουν σε συμφωνία με τη γνωστή ποσότητα αέρα που διοχετεύεται σε αυτή.

Για να καταστεί συγκρίσιμη η μέτρηση της VO_2 μεταξύ διαφορετικών ατόμων ή μετρήσεων, κρίνεται απαραίτητο όπως τα αποτελέσματα των δοκιμασιών εκφράζονται σε σταθερές κλιματολογικές και περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Για το σκοπό αυτό γίνεται πάντοτε αναγωγή του όγκου κατανάλωσης του O_2 σε σταθερές συνθήκες μέσω ενός διορθωτικού παράγοντα, του STPD (Standart Temperature, Pressure, Dry), ο οποίος σταθμίζει το αποτέλεσμα λαμβάνοντας υπόψη τη περιβαλλοντική θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική πίεση και το επίπεδο υγρασίας.

Κριτήρια ελέγχου ογκομετρικών συσκευών (Thoden, 1991)

- Τα εμπνεόμενα αέρια δε θα πρέπει να διαρρέουν εκτός του συστήματος καθ' οδών προς τον αναλυτή κάτω από πίεση περίπου 6,9kPa.
- Θα πρέπει να συνδέονται με βαλβίδες που επιτρέπουν την ανταλλαγή μεταξύ ατμοσφαιρικής και σπιρομετρικής αναπνοής μέσα σε 0,1sec και χωρίς να ξεπερνιούνται τα όρια πίεσης 6,9kPa.
- Η βαλβιδική αντίσταση στη ροή του αέρα κατά την εισπνοή ή εκπνοή, θα πρέπει να είναι μικρότερη των 5cmH₂O πίεσης σε κάθε κύκλο αναπνοής.
- Η εφαρμογή του συστήματος δεν θα πρέπει να θέτει περιορισμούς στην εκτέλεση της τεχνικής της δραστηριότητας από τον δοκιμαζόμενο.
- Θα πρέπει να συνδέονται με αναπνευστικούς σωλήνες εσωτερικής διαμέτρου 3,2cm (για υψηλές ροές) και να μη φέρουν εσωτερικές αυλακώσεις ώστε η αντίσταση των αεραγωγών να είναι ελάχιστη (5cmH₂O).
- Το σύστημα καταγραφής του όγκου των αερίων θα πρέπει να έχει χαμηλή αδράνεια ώστε να μην επηρεάζεται από την αναπνευστική συχνότητα ή το ρυθμό ροής των εκπνεόμενων αερίων.

- Το σύστημα καταγραφής του όγκου θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού της θερμοκρασίας του εκπνεόμενου αέρα.
- Οι ενδείξεις του συστήματος καταγραφής όγκου δεν θα πρέπει να εμπεριέχουν σφάλμα μέτρησης μεγαλύτερο του 1% και προτιμότερα μικρότερο του 0,5%.
- Το σύστημα, θα πρέπει να εξασφαλίζει την ανάμειξη του αέρα τουλάχιστον δύο κύκλων αναπνοής, πριν την ανάλυση της σύστασης των αερίων.
- Το σύστημα θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα για αναερόβια συλλογή αερίων προς ανάλυση, εξασφαλίζοντας ότι οι συνδέσεις των σωλήνων έχουν τον ελάχιστο “νεκρό χώρο”.
- Το σύστημα θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα για συλλογή αερίων για διάστημα τουλάχιστον μισού λεπτού κατά τα κρίσιμα σημεία της διαδικασίας.
- Οι αναλυτές θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα να παρέχουν συνεχείς ενδείξεις εντός 0,02% σύστασης για το O₂ και 0,04% για το CO₂.
- Κατά τη συλλογή του δείγματος αερίων για ανάλυση, η ρύπανση τους θα πρέπει να είναι μικρότερη του 0,1% του συνολικού όγκου.
- Οι αναλυτές θα πρέπει να επιδέχονται συνεχή βαθμονόμηση, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από κάθε δοκιμασία.
- Ο εξοπλισμός θα πρέπει να αποσυναρμολογείται με ευκολία για σκοπούς καθαρισμού και συντήρησης.

Ανάλυση αναπνευστικών αερίων

Η ανάλυση των αναπνευστικών αερίων πραγματοποιείται τόσο με *χημική* διαδικασία όσο και με *φυσικές μεθόδους*. Παρά το γεγονός ότι η χημική μέθοδος είναι μεγάλης ακρίβειας, εντούτοις δεν χρησιμοποιείται σήμερα ως διαδικασία ανάλυσης των αναπνευστικών αερίων λόγω δυσκολιών στην εφαρμογή της. Είναι όμως απαραίτητη για σκοπούς βαθμονόμησης των φυσικών μεθόδων ανάλυσης της σύστασης των αερίων.

Οι φυσικές μέθοδοι ανάλυσης βασίζονται στις φυσικές ιδιότητες των αερίων και οι πιο γνωστές είναι η μέθοδος της *θερμικής αγωγιμότητας*, της *χρωματογραφίας*, της *φασματοσκοπίας* κλπ. Οι πιο διαδεδομένες όμως σήμερα φυσικές μέθοδοι ανάλυσης είναι η *παραμαγνητική μέθοδος* για την ανάλυση του O₂ και η *φασματοσκοπική μέθοδος υπέρυθρης απορρόφησης* για το CO₂. Όπως για τον όγκο των εκπνεόμενων αερίων, έτσι και στη περίπτωση της σύστασης τους, θα πρέπει να γίνεται βαθμονόμηση των αναλυτών πριν από κάθε μέτρηση. Η βαθμονόμηση πραγματοποιείται μέσω ελέγχου με την κλασική χημική μέθοδο (Κλεισούρας 1991).

Συνοψίζοντας τα παραπάνω καταλήγουμε στον εξοπλισμό που χρειάζεται ώστε να προσδιορισθεί η VO₂max στο εργαστήριο μέσω εργοσπιρομέτρησης.

Εξοπλισμός

- Εργόμετρο
- Ρινοπίεστρο

- Αναπνευστική βαλβίδα μονής κατεύθυνσης
- Ογκομετρική συσκευή αέρα
- Γεωμετρικός κύλινδρος βαθμονόμησης όγκου
- Σωλήνας αγωγής αερίων
- Σάκος συλλογής αερίων ή αναλυτής αερίων
- Θερμόμετρο
- Βαρόμετρο
- Υγρασιόμετρο
- Ζυγαριά
- Πρωτόκολλα καταγραφής

Σε ορισμένες περιπτώσεις αντί της αναπνευστικής βαλβίδας και του ρινοπίεστρου, χρησιμοποιούνται αναπνευστικές μάσκες οι οποίες όμως ενέχουν τον κίνδυνο διαρροής αερίων προς το περιβάλλον ειδικά σε έντονους αναπνευστικούς ρυθμούς.

Ο αναλυτής αερίων, σε αντίθεση με τους σάκους συλλογής αερίων, προσφέρεται για άμεσο προσδιορισμό του κατά λεπτό όγκου και της σύστασης του εκπνεόμενου O_2 (FeO_2) και CO_2 ($FeCO_2$).

Διαδικασία

- Πρωταρχικό μέλημα του αξιολογητή είναι η βαθμονόμηση τόσο του εργομέτρου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όσο και της ογκομετρικής συσκευής και των αναλυτών O_2 και CO_2 .
- Στη συνέχεια καταχωρούνται στον αναλυτή οι κλιματολογικές και περιβαλλοντολογικές συνθήκες (Θερμοκρασία, Βαρομετρική πίεση, Υγρασία).
- Πραγματοποιείται έπειτα σωματομετρική αξιολόγηση του δοκιμαζομένου (μάζα, ύψος σώματος, ποσοστό σωματικού λίπους). Η χρησιμότητα της σωματομετρικής αξιολόγησης έγκειται στη εξαγωγή των σχετικών τιμών της δοκιμασίας. Τα δεδομένα καταχωρούνται στον υπολογιστή.
- Επιλέγεται το κατάλληλο εργόμετρο (ανάλογα με το άθλημα του δοκιμαζομένου ή το κινητικό του πρότυπο), καθώς και το πρωτόκολλο που θα εφαρμοστεί. Στην ενότητα «Εργαστηριακές δοκιμασίες», γίνεται εκτενής αναφορά σε διάφορα πρωτόκολλα που μπορούν να επιλεγούν. Σε γενικές γραμμές το πρωτόκολλο πρέπει να είναι τέτοιο που να επιτρέπει τη σταδιακή αύξηση της επιβάρυνσης μέχρι το στάδιο της εξάντλησης. Επίσης δεν πρέπει να είναι σύντομο αλλά ούτε και ιδιαίτερα παρατεταμένο.
- Εφαρμογή πρωτοκόλλου. Ο δοκιμαζόμενος τρέχει ή βαδίζει σε ένα δαπεδοεργόμετρο του οποίου η ταχύτητα και η κλίση ρυθμίζεται ηλεκτρονικά. Κατά την άσκηση, αναπνέει από μια μονόδρομη αναπνευστική βαλβίδα, που εφαρμόζεται στο στόμα του με ένα επιστόμιο, ενώ ένα ρινοπίεστρο τον εμποδίζει να αναπνέει από τη μύτη. Το ένα άκρο της βαλβίδας επιτρέπει την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ το άλλο

συνδέεται με ένα εύκαμπτο πλαστικό και αεροστεγή σωλήνα, που διοχετεύει τον εκπνεόμενο αέρα σε ένα πνευμοταχογράφο για μέτρηση του όγκου του και στη συνέχεια οδεύει σε ένα θάλαμο μίξης. Στον θάλαμο υπάρχει μια έξοδος προς το περιβάλλον με μονόδρομη βαλβίδα και μια οπή (5mm), η οποία συνδέεται με τους αναλυτές O₂ και CO₂, με βραχύσωμο σωλήνα από πολυαιθυλένιο. Η ροή του αέρα, που είναι προκαθορισμένη, οδεύει προς τους αναλυτές με τη βοήθεια μιας αντλίας αέρα όπου γίνεται η ανάλυση της σύστασης των εκπνεόμενων αερίων. Οι ενδείξεις του όγκου και της σύστασης του αέρα αλλά και άλλων παραμέτρων όπως πχ του αναπνευστικού πηλίκου, καταγράφονται με την βοήθεια του λογισμικού του υπολογιστή στην οθόνη. Μπορούν επίσης να αποθηκευθούν στη μνήμη του για μεταγενέστερη επεξεργασία.

Αποτέλεσμα

Για τον προσδιορισμό της VO₂, είναι απαραίτητες οι ενδείξεις του όγκου του εκπνεόμενου αέρα και της ποσοστιαίας σύστασης του σε O₂ και CO₂. Τα στοιχεία αυτά τα επεξεργάζεται το λογισμικό πρόγραμμα του υπολογιστή προκειμένου να εξαχθεί το αποτέλεσμα. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι η παρακάτω (Κλεισούρας 1991):

$$VO_2 = V_E \{100 - [\% IO_2(\%EO_2 + \%ECO_2) \div 79,04] - \%EO_2\}$$

Όπου,

V_E: Ο όγκος του εκπνεόμενου αέρα στη μονάδα του χρόνου

% IO₂: Το ποσοστό O₂ στον εισπνεόμενο αέρα

%EO₂: Το ποσοστό O₂ στον εκπνεόμενο αέρα

%ECO₂: Το ποσοστό CO₂ στον εκπνεόμενο αέρα

4.14. Έμμεσος προσδιορισμός της VO₂max

Παρά το γεγονός ότι η άμεση αξιολόγηση της VO₂max αποτελεί την πιο έγκυρη και αξιόπιστη μέθοδο προσδιορισμού της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, σε μερικές περιπτώσεις, η εφαρμογή της δεν είναι πάντοτε πρακτική. Η διάθεση εξειδικευμένου και ακριβούς εξοπλισμού, η αναγκαιότητα παρουσίας ειδικά εκπαιδευμένου προσωπικού, η χρονοβόρα διαδικασία και η προϋπόθεση υψηλού επιπέδου παρακίνησης από τους δοκιμαζόμενους προκειμένου να αντεπεξέλθουν στη μέγιστη επιβάρυνση, είναι μερικά μόνο από τα προβλήματα που εντοπίζονται κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου. Η επιβεβλημένη παρουσία ιατρού κατά τη διαδικασία εφαρμογής άμεσης αξιολόγησης της VO₂max, όταν πρόκειται να συμμετάσχουν σε αυτή άνδρες άνω των 40 ετών και γυναίκες άνω των 50 ετών ή άτομα τα οποία χαρακτηρίζονται από δύο ή περισσότερους παράγοντες κινδύνου, καθιστούν την διαδικασία ακόμη πιο δαπανηρή και λιγότερο προσιτή. Για το λόγο αυτό η χρησιμότητα της άμεσης αξιολόγησης της VO₂max περιορίζεται κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο και στον έλεγχο της επίδοσης αθλητών υψηλού επιπέδου.

Όλα τα παραπάνω προβλήματα, οδήγησαν τους ερευνητές στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης της VO₂max, οι οποίες να εξασφαλίζουν την ευκολότερη, περιορισμένου κόστους και με δυνατότητα μαζικότερης συμμετοχής των

δοκιμαζομένων σε αυτές, ενώ παράλληλα η παρουσία ιατρού θα είναι λιγότερο έως καθόλου επιβεβλημένη.

Οι παραπάνω λόγοι συνέτειναν στο να επινοηθούν διάφοροι τρόποι εμμέσων διαδικασιών αξιολόγησης προς **εκτίμηση** της VO_2max , μέσα από *καταγραφή καθημερινών δραστηριοτήτων* και την πραγματοποίηση *μέγιστων και υπομέγιστων εργαστηριακών δοκιμασιών και δοκιμασιών πεδίου*. Επισημάνεται, ότι η απόφαση για τη χρήση άμεσης ή έμμεσης διαδικασίας αξιολόγησης, εξαρτάται από τους λόγους για τους οποίους γίνεται η αξιολόγηση, τα χαρακτηριστικά του ατόμου το οποίο αξιολογείται και τη διαθεσιμότητα του εργαστηριακού εξοπλισμού και προσωπικού. Καθίσταται σαφές όμως ότι σε καμία περίπτωση, οι έμμεσες διαδικασίες δεν μπορούν να υποκαταστήσουν την άμεση αξιολόγηση της VO_2max , παρά μόνο την εκτιμούν βασιζόμενες σε διάφορες εξισώσεις παλινδρόμησης, οι οποίες πηγάζουν από τη σχέση μεταξύ της VO_2 και διάφορων φυσιολογικών παραμέτρων ή παραμέτρων απόδοσης.

4.14.1. Έμμεση αξιολόγηση της VO_2max μέσω καταγραφής καθημερινών δραστηριοτήτων

Η μη πρακτική εφαρμογή της άμεσης διαδικασίας αξιολόγησης της VO_2max υπό εργαστηριακές συνθήκες, ειδικότερα όταν πρόκειται να πραγματοποιηθούν επιδημιολογικές έρευνες για τη μελέτη διαφόρων πτυχών της άσκησης, αποτελούσε πάντοτε ένα πρόβλημα στην αθλητική έρευνα. Προκειμένου να υπερκεραστούν οι δυσκολίες ως προς αυτή την κατεύθυνση, αναπτύχθηκαν κατά καιρούς ορισμένες εξισώσεις παλινδρόμησης, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να προβλέψουν την VO_2max , μέσω της χρησιμοποίησης διαφόρων μεταβλητών όπως είναι η ηλικία, το φύλο, η σωματική σύσταση και το εκάστοτε επίπεδο φυσικής δραστηριότητας. Είναι φανερό ότι με αυτή τη μέθοδο δεν υπάρχει ανάγκη συμμετοχής των ενδιαφερομένων σε οποιαδήποτε δοκιμασία, παρά μόνο βασίζεται στην καταγραφή των αξιολογουμένων μεταβλητών σε ερωτηματολόγιο. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια ελαχίστου κόστους, ακίνδυνη και μαζικής συμμετοχής διαδικασία, και παρόλο που εμπεριέχει το μεγαλύτερο ποσοστό σφάλματος πρόβλεψης μεταξύ όλων των μεθόδων εκτίμησης της VO_2max , παρέχει τη δυνατότητα για ένα γενικότερο διαχωρισμό του πληθυσμού σε ομάδες ατόμων με χαμηλή, μέση ή υψηλή καρδιοαναπνευστική ικανότητα.

4.14.2 Έμμεση αξιολόγηση της VO_2max μέσω μέγιστων και υπομέγιστων διαδικασιών αξιολόγησης

Οι έμμεσες δοκιμασίες, οι οποίες διακρίνονται σε διαδικασίες εργαστηρίου και πεδίου (υπαίθριες δοκιμασίες), έχουν ως βασικό στόχο τον προσδιορισμό διαφόρων παραμέτρων, οι οποίες αποτελούν τις μεταβλητές της κάθε εξίσωσης παλινδρόμησης. Οι μεταβλητές αυτές μπορεί να αφορούν δημογραφικά στοιχεία, φυσιολογικές ανταποκρίσεις του οργανισμού ως αποτέλεσμα της δραστηριότητας ή επίδοση σε κάποια δοκιμασία. Στις παρακάτω ενότητες περιγράφονται αναλυτικά οι πιο διαδεδομένες δοκιμασίες αξιολόγησης της VO_2max .

4.15 Εργαστηριακές δοκιμασίες

4.15.1 Δοκιμασίες στο κυκλοεργόμετρο

Στις εργαστηριακές δοκιμασίες αξιολόγησης στο κυκλοεργόμετρο χρησιμοποιούνται κυρίως δύο τύπων εργόμετρα. Ο πρώτος τύπος αφορά το ηλεκτρονικό κυκλοεργόμετρο στο οποίο η επιβάρυνση καθορίζεται μέσω ηλεκτρομαγνητισμού. Η εφαρμοζόμενη αντίσταση μεταβάλλεται ανάλογα με τη συχνότητα των κατά λεπτό περιστροφών ούτως ώστε το παραγόμενο μηχανικό έργο να διατηρείται σταθερό όπως έχει αρχικά καθοριστεί. Λόγω του μεγάλου κόστους των ηλεκτρονικών εργομέτρων στα περισσότερα εργαστήρια χρησιμοποιούνται τα μηχανικού τύπου κυκλοεργόμετρα. Το παραγόμενο μηχανικό έργο προσδιορίζεται όπως και στα μηχανικά από τη σχέση των κατά λεπτό περιστροφών και της αντίστασης. Στην περίπτωση αυτή η αντίσταση εφαρμόζεται από ένα ιμάντα ο οποίος περιβάλλει τη μεταλλική ρόδα του εργοποδηλάτου. Όταν ο ιμάντας αυτός έλκεται οδηγεί σε αύξηση της τριβής μεταξύ αυτού και της ρόδας με συνέπεια την αύξηση της αντίστασης. Αντίθετα όταν ο ιμάντας χαλαρώνει οδηγεί σε μείωση της αντίστασης. Η αυξομείωση της τριβής και κατά συνέπεια της έντασης είναι ανάλογη του εξωτερικού βάρους που τοποθετείται στο ένα άκρο του ιμάντα.

4.15.2 Υπολογισμός παραγόμενου έργου στο μηχανικό εργοποδήλατο

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο καθορισμός της αντίστασης για εκτέλεση συγκεκριμένου έργου στο μηχανικό εργοποδήλατο, θα καθορισθεί ως εργόμετρο αναφοράς το τυπικό εργοποδήλατο Monark και βάσει αυτού θα περιγραφούν στη συνέχεια οι κυκλοεργομετρικές δοκιμασίες. Επειδή σε διάφορα συγγράμματα το παραγόμενο μηχανικό έργο εκφράζεται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης, είναι απαραίτητη η κατανόηση των αλληλοϊσοδυναμιών που περιγράφονται στον Πίνακα 4.4. ώστε να είναι ευκολότερη η μετατροπή του αποτελέσματος σε οποία μονάδα μέτρησης κριθεί απαραίτητο. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι όταν γίνεται αναφορά σε μηχανικό έργο αυτό αντιπροσωπεύει ουσιαστικά την ισχύ σε Watts ή kpm και όχι το έργο καθώς η μονάδα μέτρησής του είναι τα Joules (J).

Μια ολόκληρη περιστροφή των πεντάλ σε ένα μηχανικό εργοποδήλατο Monark μετακινεί τη μεταλλική ρόδα κατά 6m. Όταν τοποθετηθεί ως αντίσταση 1kr (1kg), τότε κάθε περιστροφή συντελεί σε παραγωγή $1kr \times 6m \cdot rpm^{-1} = 6kpm$ μηχανικού έργου (ισχύος). Αν η συχνότητα περιστροφών καθορισθεί στις 50rpm με αντίσταση 1kr τότε το παραγόμενο έργο θα είναι $1kg \times 6m \cdot rpm^{-1} \times 50rpm = 300kpm$. Η τιμή αυτή εκφραζόμενη σε Watts, ισοδυναμεί με 49,02W ($300kpm \div 6,12W$) και 2942J μηχανικού έργου ($300kpm \times 9,80665J$).

Πίνακας 4.4. Σχέσεις μεταξύ μονάδων μέτρησης χρησιμοποιούμενων κατά την αξιολόγηση στο εργοποδήλατο

Μονάδα	Σύμβολο	Αλληλοϊσοδυναμία
Kilopond	kp	1kp= 1kgf (Kilogram Force) 1kp= 9,80665N
Kilopond - meter	kpm	1kpm= 1kgm 1kpm= 9,80665J
Kilopond – meter per sec	kpm·sec ⁻¹	1kpm·sec ⁻¹ = 9,81W 1kpm·min ⁻¹ = 0,1635W
Watt	W	Watts= kp × rpm 1W= 6,12kpm·min ⁻¹

4.16. Δοκιμασίες υπομέγιστης έντασης

4.16.1 Κυκλοεργομετρική Δοκιμασία Astrand – Ryhming

Πρόκειται για μια μονοφασική υπομέγιστη δοκιμασία, συνολικής διάρκειας 6min. Η επιπόνηση αυτής της δοκιμασίας (Astrand και Ryhming 1954), βασίστηκε στην παρατήρηση ότι στον αξιολογούμενο πληθυσμό το 50% της VO_{2max} αντιστοιχούσε κατά μέσο όρο στους $128b \cdot min^{-1}$ για τους άνδρες και στους $138b \cdot min^{-1}$ για τις γυναίκες. Όταν η επιβάρυνση αυξανόταν με αποτέλεσμα η VO_2 να φθάνει στο 70% της VO_{2max} τότε η μέση καρδιακή συχνότητα για τους άνδρες ήταν $154b \cdot min^{-1}$ και για τις γυναίκες $164b \cdot min^{-1}$. Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές, αν μια γυναίκα εργαζόταν σε μια ένταση VO_2 στο $1,5l \cdot min^{-1}$ με καρδιακή συχνότητα $138b \cdot min^{-1}$, τότε η προβλεπόμενη της VO_{2max} θα αντιστοιχούσε στα $3l \cdot min^{-1}$. Με τον ταυτόχρονο προσδιορισμό της VO_2 και της καρδιακής συχνότητας κατά τη συγκεκριμένη δοκιμασία, οι ερευνητές δημιούργησαν μια σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών και του παραγόμενου μηχανικού έργου (στο κυκλοεργόμετρο) μέσω της οποίας παρέχεται η δυνατότητα πρόβλεψης της VO_{2max} . Η πρόβλεψη μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση του αντίστοιχου νομογράμματος (το οποίο χρησιμοποιείται και για τη διαδικασία βαθμιδοεργομέτρησης Astrand - Ryhming) ή με τη χρήση των εξισώσεων που παρατίθενται στη συνέχεια. Η καρδιακή συχνότητα όμως αποτελεί μια παράμετρο η οποία μεταβάλλεται με την ηλικία και αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εξαγωγή του αποτελέσματος. Για το σκοπό αυτό παρατίθενται στον πίνακα 7 οι διορθωτικοί παράγοντες για κάθε ηλικιακή κατηγορία. Σημειώνεται ότι η ακρίβεια της πρόβλεψης παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάμεσα σε διαφορετικά φορτία όπου με επιβάρυνση $900kpm \cdot m^{-1}$ το τυπικό σφάλμα πρόβλεψης φθάνει τα 10,4% και με $1200kpm \cdot m^{-1}$ μειώνεται στα 6,7%. Παρατηρείται δηλαδή μείωση του σφάλματος πρόβλεψης στις υψηλές επιβαρύνσεις στις οποίες μπορούν να υποβληθούν καλά γυμνασμένα άτομα. Η εγκυρότητα της μεθόδου (r) φθάνει στο 0,71 με τη χρήση του νομογράμματος και στο 0,78 με τη χρήση των διορθωτικών παραγόντων. Το σφάλμα πρόβλεψης μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών VO_{2max} βρίσκεται στο 9,3%. Το σφάλμα πρόβλεψης είναι ακόμη μεγαλύτερο όταν αξιολογούνται αγύμναστα άτομα (Astrand and Ryhming 1954) ή άτομα παιδικής και εφηβικής ηλικίας στα οποία δεν έγινε χρήση του διορθωτικού παράγοντα.

Εξοπλισμός

- Εργοποδήλατο (Μηχανικό)
- Περιστρεφόμετρο
- Μετρονόμος
- Καρδιοσυχνόμετρο
- Χρονόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής

Διαδικασία

1. Επιλογή αρχικής επιβάρυνσης. Η αρχική επιβάρυνση δεν είναι η ίδια για το κάθε άτομο και διαφοροποιείται ανάλογα με το φύλο και το επίπεδο φυσικής κατάστασης (Πιν. 5). Θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η καρδιακή συχνότητα στο 6 λεπτό της προσπάθειας να είναι μεγαλύτερη των $130\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ και μικρότερη των $150\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ για άτομα άνω των 40 ετών και των $170\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ για νεαρότερα άτομα.
2. Προσαρμογή εργοποδηλάτου. Το κάθισμα θα πρέπει να είναι σε τέτοιο ύψος ώστε όταν ο δοκιμαζόμενος κάθεται σε αυτό και όταν το πετάλι βρίσκεται στη χαμηλότερη θέση, να υπάρχει μια ελαφρά κάμψη 5° στο γόνατο. Το πετάλι θα πρέπει να είναι σε επαφή καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας με το μπροστινό μέρος του πέλματος. Η ρύθμιση της θέσης του τιμονιού θα πρέπει να επιτρέπει στον κορμό να βρίσκεται σε ελαφρά προς τα εμπρός κλίση με τεντωμένα χέρια.
3. Καθορισμός συχνότητας ποδηλάτησης. Η δοκιμασία είναι έγκυρη όταν ο ρυθμός ποδηλάτησης διατηρείται στις 50rpm (περιστροφές το λεπτό). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση του μετρονόμου ο οποίος ρυθμίζεται στους 100 χτύπους το λεπτό (ισοδυναμούν με 50 περιστροφές το λεπτό με κάθε κτύπο να αντιστοιχεί σε μια πενταλιά) ή με την χρήση του περιστροφόμετρου όταν αυτό είναι διαθέσιμο. Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις, τότε ο δοκιμαζόμενος πραγματοποιεί ένα στάδιο προθέρμανσης 2-3 λεπτών χωρίς φορτίο με συχνότητα 50rpm.
4. Έναρξη προσπάθειας. Ο δοκιμαζόμενος αρχίζει την προσπάθεια του χωρίς επιβάρυνση μέχρις ότου καταφέρει να εναρμονισθεί με το ρυθμό. Για να γίνει αυτό θα χρειαστούν περίπου 10-15 δευτερόλεπτα και μόλις επιτευχθεί τότε τοποθετείται το φορτίο που είχε καθοριστεί προηγουμένως. Όταν διαπιστωθεί ότι ο δοκιμαζόμενος έχει εναρμονισθεί πλήρως με το ρυθμό τότε τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο.
5. Σε διαστήματα ενός λεπτού κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας θα πρέπει να γίνεται συνεχής έλεγχος της καρδιακής συχνότητας η οποία θα πρέπει στο τέλος του 3^{ου} λεπτού να έχει ήδη σταθεροποιηθεί (διαφορά μεταξύ 2^{ου} και 3^{ου} λεπτού <5 σφυγμών). Αν αυτή η προϋπόθεση δεν πληρείται ή εάν η καρδιακή συχνότητα δεν βρίσκεται μέσα στην καθορισμένη για την ηλικία ζώνη ($130\text{-}150\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ για άτομα άνω των 40 ετών και $130\text{-}170\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ για νεαρότερα άτομα) τότε θα πρέπει να γίνει αναπροσαρμογή της επιβάρυνσης σύμφωνα με τον Πίνακα 6. Στην περίπτωση αυτή η προσπάθεια των 6 λεπτών ξεκινά και πάλι απ' την αρχή.

6. Η δοκιμασία αποπερατώνεται με τη συμπλήρωση των 6 λεπτών, όπου καταγράφεται η καρδιακή συχνότητα στο τέλος του 5^{ου} και του 6^{ου} λεπτού. Αν διαπιστωθεί σταθεροποίηση μεταξύ των δύο καρδιακών συχνοτήτων (μέγιστη διαφορά μεταξύ 5^{ου} και 6^{ου} λεπτού <5 σφυγμών) τότε λαμβάνεται υπόψη ο μέσος όρος τους για τους περαιτέρω υπολογισμούς. Αν η καρδιακή συχνότητα δεν παρουσιάσει σταθεροποίηση, τότε η διάρκεια της δοκιμασίας παρατείνεται κατά ένα λεπτό κάθε φορά μέχρι που να γίνει αυτό εφικτό. Είναι όμως πιθανό η δοκιμασία να διακοπεί σε οποιοδήποτε στάδιο της αν συντρέχουν οι λόγοι που αναφέρονται στον Πίνακα 4.2. Με την αποπεράτωση της δοκιμασίας ο δοκιμαζόμενος συνεχίζει να ποδηλατεί με μια χαμηλή επιβάρυνση (0,5kg), μέχρις ότου η καρδιακή του συχνότητα γίνει μικρότερη των 100b·min⁻¹.

Πίνακας 4.5. Επιλογή επιβάρυνσης δοκιμασίας (ACSM 2000)

Φύλο	Επίπεδο ΦΚ	Επιβάρυνση (kg·m·min ⁻¹)	Επιβάρυνση (Watts)	Επιβάρυνση (kg)
Άνδρες	Γυμνασμένοι	600 - 900	100 - 150	2 - 3
	Αγύμναστοι	300 - 600	50 - 100	1 - 2
Γυναίκες	Γυμνασμένες	450 - 600	75 - 100	1,5 - 2
	Αγύμναστες	300 - 450	50 - 75	1 - 1,5

Πίνακας 4.6. Προσαρμογή επιβάρυνσης μετά το 3^ο λεπτό της δοκιμασίας

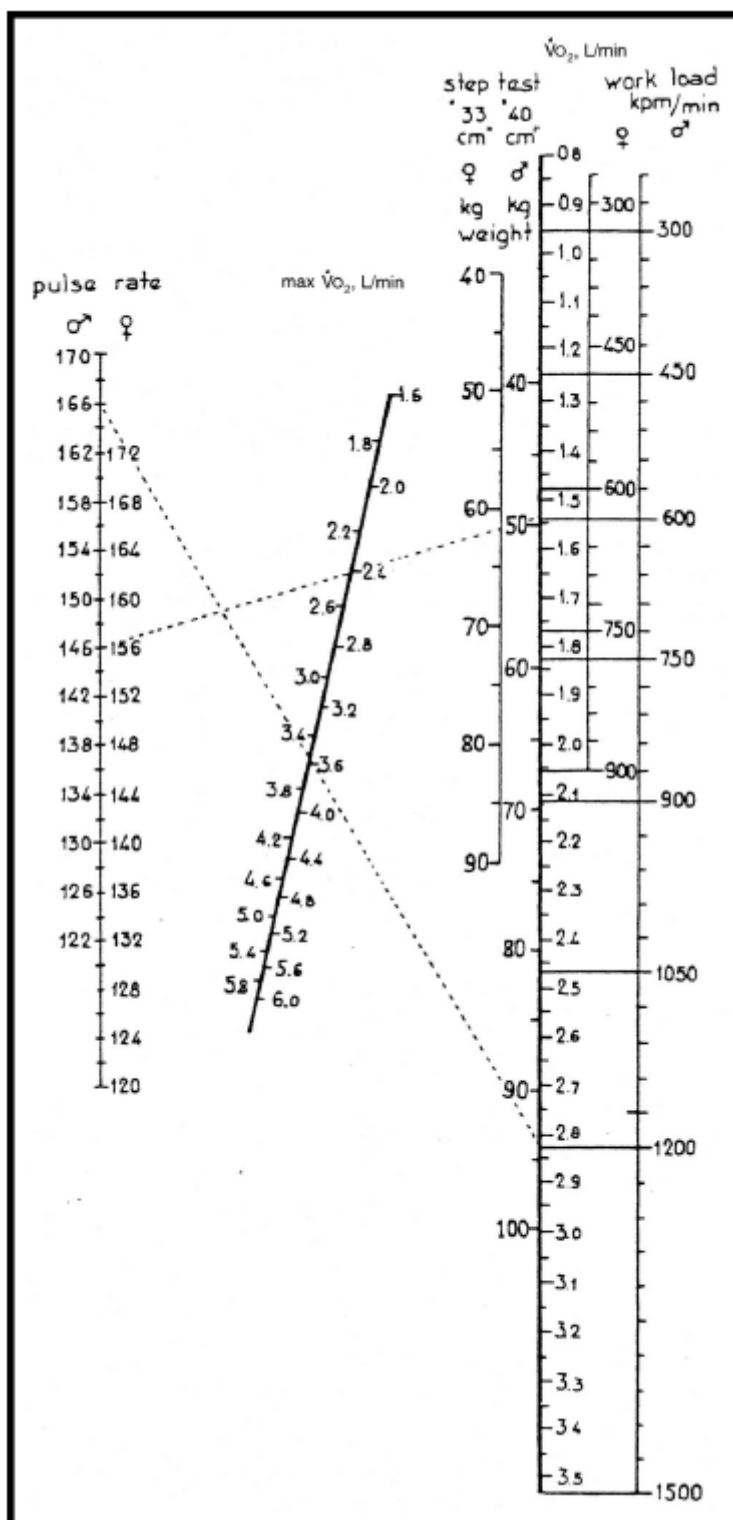
Καρδιακή Συχνότητα	Μεταβολή	Επιβάρυνση (kg·m·min ⁻¹)	Επιβάρυνση (Watts)	Επιβάρυνση (kg)
<110	+	300 - 450	50 - 75	1 - 1,5
110 - 129	+	150 - 300	25 - 50	0,5 - 1
130 - 139	+	<150	<25	<0,5
140 - 149	↔	↔	↔	↔
150 - 159	-	<150	<25	<0,5
>160	-	150 - 300	25 - 50	0,5 - 1

Αποτέλεσμα

Το αποτέλεσμα της δοκιμασίας εκφράζεται σε τιμές VO₂max η οποία μπορεί να εξαχθεί με τη χρήση του νομογράμματος (Σχήμα 4.2) και των διορθωτικών παραγόντων του Πίνακα 4.7. αλλά και με τη χρήση των αντίστοιχων εξισώσεων.

Πίνακας 4.7. Διορθωτικοί παράγοντες $VO_2\max$ ανάλογα με την ηλικία των δοκιμαζομένων (Noonan and Dean, 2000)

Ηλικία	Διορθωτικός Παράγοντας	Ηλικία	Διορθωτικός Παράγοντας	Ηλικία	Διορθωτικός Παράγοντας
14	1,11	32	0,909	50	0,750
15	1,10	33	0,896	51	0,742
16	1,09	34	0,883	52	0,734
17	1,08	35	0,870	53	0,726
18	1,07	36	0,862	54	0,718
19	1,06	37	0,854	55	0,710
20	1,05	38	0,846	56	0,704
21	1,04	39	0,838	57	0,698
22	1,03	40	0,830	58	0,692
23	1,02	41	0,820	59	0,686
24	1,01	42	0,810	60	0,680
25	1,00	43	0,800	61	0,674
26	0,987	44	0,790	62	0,668
27	0,974	45	0,780	63	0,662
28	0,961	46	0,774	64	0,656
29	0,948	47	0,768	>65	0,650
30	0,935	48	0,762		
31	0,922	49	0,756		



Σχήμα 4.2. Νομόγραμμα Astrand και Ryhming (Noonan and Dean, 2000). Η εκτιμώμενη $\dot{V}O_2\max$ μπορεί να προσδιορισθεί αντιστοιχώντας τον μέσο όρο της καρδιακής συχνότητας (pulse rate) μεταξύ 5^{ου} και 6^{ου} λεπτού με την επιβάρυνση στο εργοποδήλατο (work load) ή με τη σωματική μάζα (step test weight) αν έχει πραγματοποιηθεί η δοκιμασία της βαθμιδοεργομέτρησης. Η τιμή της $\dot{V}O_2\max$ διαβάζεται στο σημείο που η νοητή γραμμή η οποία ενώνει τα δύο πιο πάνω σημεία τέμνει την κλίμακα της $\dot{V}O_2$ (max $\dot{V}O_2$, L/min). Με τη χρήση των διορθωτικών παραγόντων (Πίνακας 4.7.) γίνεται διόρθωση των τιμών ανάλογα με την ηλικία του δοκιμαζομένου. $\dot{V}O_2\max (l \cdot \min^{-1}) = \dot{V}O_2\max$ (νομογράματος) \times διορθωτικός παράγοντας.

Εξισώσεις

Ανδρες

$$1. VO_2max (l \cdot min^{-1}) = 0,348 \cdot (X) - 0,035 \cdot (age) + 3,011$$

Γυναίκες

$$2. VO_2max (l \cdot min^{-1}) = 0,302 \cdot (X) - 0,019 \cdot (age) + 1,593$$

Όπου,

X: Η VO_2max σε $l \cdot min^{-1}$ όπως προκύπτει από το νομόγραμμα χωρίς διόρθωση για την ηλικία.

age: Η ηλικία του δοκιμαζομένου σε έτη.

Οι εξισώσεις 1 και 2 χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη της VO_2max κατά τη δοκιμασία Astrand - Ryhming, σε σχέση με τις τιμές που παρέχει το νομόγραμμα από μόνο του. Έτσι ο βαθμός εγκυρότητας ανέρχεται με τη χρήση τους στο 0,86 για τους άνδρες και στο 0,97 για τις γυναίκες (Sinconolfi et al 1982).

Ανδρες

$$3. VO_2max (l \cdot min^{-1}) = VO_2 \times [(220 - age) - 61] \div (HR - 61)$$

Γυναίκες

$$4. VO_2max (l \cdot min^{-1}) = VO_2 \times [(220 - age) - 72] \div (HR - 72)$$

Όπου,

age: Η ηλικία του δοκιμαζομένου σε έτη

HR: Ο μέσος όρος της σταθεροποιημένης καρδιακής συχνότητας 5^{ου} και 6^{ου} λεπτού.

VO₂: Η πρόσληψη O₂ σε λίτρα βασιζόμενη στην επιβάρυνση η οποία χρησιμοποιήθηκε κατά τη δοκιμασία όπως προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$VO_2 (l \cdot min^{-1}) = Power \times 0,012 + 0,3$$

Όπου,

Power: Η ισχύς της δοκιμασίας σε watts

Οι εξισώσεις 3 και 4 χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικός τρόπος προσδιορισμού της VO_2max χωρίς να υπάρχει ανάγκη χρησιμοποίησης του νομογράμματος.

Οι τιμές VO_2max που προκύπτουν από τις παραπάνω μεθόδους εκφράζονται σε μονάδες $l \cdot min^{-1}$. Για να μπορέσουν να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών ατόμων τότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η σωματική μάζα των δοκιμαζομένων όπου η VO_2max εκφράζεται σε τιμές $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται εύκολα με τον τύπο:

$$VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = [VO_2max (l \cdot min^{-1}) \times 1000] \div BW$$

Όπου,

BW: Η σωματική μάζα του δοκιμαζομένου σε κιλά.

Πίνακας 4.8. Κατηγοριοποίηση επίδοσης ανδρών για τη κυκλοεργομετρική δοκιμασία Astrand και Ryhming

Ηλικία	Επίδοση $VO_2\max$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)				
	Πολύ Φτωχή	Φτωχή	Μέση	Καλή	Πολύ Καλή
20 – 29	38	39 – 43	44 – 51	52 – 56	57
30 – 39	34	35 – 39	40 – 47	49 – 51	52
40 – 49	30	31 – 35	36 – 43	44 – 47	48
50 – 59	25	26 – 31	32 – 39	40 – 43	44
60 – 69	21	22 – 26	27 – 35	36 – 39	40

Πηγή: Nieman (1999)

Πίνακας 4.9 Κατηγοριοποίηση επίδοσης γυναικών για τη κυκλοεργομετρική δοκιμασία Astrand και Ryhming

Ηλικία	Επίδοση $VO_2\max$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)				
	Πολύ Φτωχή	Φτωχή	Μέση	Καλή	Πολύ Καλή
20 – 29	28	29 – 34	35 – 43	44 – 48	49
30 – 39	27	28 – 33	34 – 41	42 – 47	48
40 – 49	25	26 – 31	32 – 40	41 – 45	46
50 – 65	21	22 – 28	29 – 36	37 – 41	42

Πηγή: Nieman (1999)

4.16.2. Ικανότητα Αερόβιου Έργου 170 (IAE_{170})

Η δοκιμασία IAE_{170} αποσκοπεί στον υπολογισμό του έργου που μπορεί να παραχθεί από ένα άτομο σε μια υπομέγιστη προκαθορισμένη καρδιακή συχνότητα, τους 170 παλμούς ανά λεπτό. Όσο μεγαλύτερο το παραγόμενο μηχανικό έργο στη συγκεκριμένη καρδιακή συχνότητα τόσο μεγαλύτερη είναι και η αερόβια ικανότητα, γεγονός το οποίο προκύπτει από την υψηλή συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών ($r= 0,56 - 0,95$) (Noonan and Dean, 2000). Πρόκειται για μια πολυφασική διαδικασία συνολικής διάρκειας 9 λεπτών κατά τη διάρκεια της οποίας επιδιώκεται με σταδιακή αύξηση της επιβάρυνσης, η προσέγγιση της καρδιακής συχνότητας των $170b \cdot min^{-1}$. Ενώ η αρχική επιβάρυνση είναι καθορισμένη, οι αυξήσεις του φορτίου στα επόμενα στάδια βασίζονται στις προσαρμογές της καρδιακής συχνότητας. Ο υπολογισμός του παραγόμενου έργου στους $170b \cdot min^{-1}$ πραγματοποιείται μέσω εξίσωσης ή με τη μέθοδο της προέκτασης σε γράφημα όπως αναλύεται παρακάτω. Η δοκιμασία επινοήθηκε στην αρχική της μορφή από τον Sjöstrand (1947), στη συνέχεια όμως έτυχε τροποποιήσεων μέσω των οποίων αξιολογούταν η παραγωγή του μηχανικού έργου και κατ' επέκταση της $VO_2\max$ που αντιστοιχούσε στη προβλεπόμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($220 - \text{ηλικία}$). Ενώ ουσιαστικά η IAE_{170} αποτελεί μια υπομέγιστη δοκιμασία, παύει να είναι τέτοια όταν αξιολογούνται άτομα των οποίων η μέγιστη καρδιακή συχνότητα αντιστοιχεί στους $170b \cdot min^{-1}$ ή σε λιγότερους (πχ άτομα άνω των 50 ετών: $220 - 50 = 170$). Ως εναλλακτική λύση για τα άτομα αυτά χρησιμοποιείται η IAE_{150} .

Εξοπλισμός

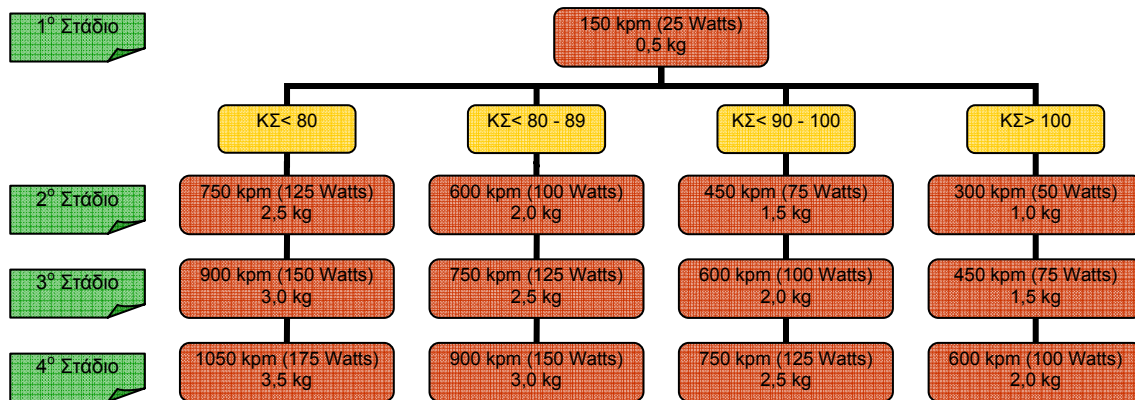
- Εργοποδήλατο (Μηχανικό)
- Περιστερφόμετρο
- Μετρονόμος
- Καρδιοσυχνόμετρο

- Χρονόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής

Διαδικασία

1. Επιλογή επιβάρυνσης. Η αρχική επιβάρυνση ορίζεται στα $150\text{krm}\cdot\text{min}^{-1}$. Το φορτίο αυτό αντιστοιχεί στις 50rpm με αντίσταση 0,5kg. Οι επιβαρύνσεις στα επόμενα στάδια καθορίζονται από τις μεταβολές που παρατηρούνται στην καρδιακή συχνότητα του δοκιμαζόμενου όπως αυτές ορίζονται στο σχήμα 3. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που στο τέλος του τρίτου σταδίου η καρδιακή συχνότητα είναι μικρότερη των $150\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ ενδείκνυται η εισαγωγή ενός επιπλέον σταδίου (Golding et al 1989).
2. Προσαρμογή εργοποδηλάτου. Το κάθισμα θα πρέπει να είναι σε τέτοιο ύψος ώστε όταν ο δοκιμαζόμενος κάθεται σε αυτό και όταν το πετάλι βρίσκεται στη χαμηλότερη θέση, να υπάρχει μια ελαφρά κάμψη 5° στο γόνατο. Το πετάλι θα πρέπει να είναι σε επαφή καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας με το μπροστινό μέρος του πέλματος. Η ρύθμιση της θέσης του τιμονιού θα πρέπει να επιτρέπει στον κορμό να βρίσκεται σε ελαφρά προς τα εμπρός κλίση με τεντωμένα χέρια.
3. Καθορισμός συχνότητας ποδηλάτησης. Η δοκιμασία είναι έγκυρη όταν ο ρυθμός ποδηλάτησης διατηρείται στις 50rpm (περιστροφές το λεπτό). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση του μετρονόμου ο οποίος ρυθμίζεται στους 100 χτύπους το λεπτό (ισοδυναμούν με 50 περιστροφές το λεπτό με κάθε κτύπο να αντιστοιχεί σε μια πενταλιά) ή με την χρήση των ενδείξεων στο περιστρεφόμετρο του ποδηλάτου όταν αυτό είναι διαθέσιμο. Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις, τότε ο δοκιμαζόμενος πραγματοποιεί ένα στάδιο προθέρμανσης 2-3 λεπτών χωρίς φορτίο με συχνότητα 50rpm.
4. Έναρξη προσπάθειας. Ο δοκιμαζόμενος αρχίζει την προσπάθεια του χωρίς επιβάρυνση μέχρις ότου καταφέρει να εναρμονισθεί με το ρυθμό. Για να γίνει αυτό θα χρειαστούν περίπου 10 - 15 δευτερόλεπτα και μόλις επιτευχθεί τότε τοποθετείται το φορτίο που είχε καθοριστεί προηγουμένως. Όταν διαπιστωθεί ότι ο δοκιμαζόμενος έχει εναρμονισθεί πλήρως με το ρυθμό τότε τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο.
5. Σε διαστήματα ενός λεπτού κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας θα πρέπει να γίνεται συνεχής έλεγχος της καρδιακής συχνότητας η οποία θα πρέπει στο τέλος του 3^{ου} λεπτού κάθε σταδίου να έχει σταθεροποιηθεί (διαφορά μεταξύ 2^{ου} και 3^{ου} λεπτού <5 σφυγμών). Αν αυτή η προϋπόθεση δεν πληρείται τότε η διάρκεια του συγκεκριμένου σταδίου παρατείνεται για ένα λεπτό κάθε φορά μέχρι που να επιτευχθεί σταθεροποίηση της καρδιακής συχνότητας.
6. Η δοκιμασία αποπερατώνεται με τη συμπλήρωση τριών ή, σε περίπτωση που χρειαστεί, τεσσάρων τρίλεπτων σταδίων. Είναι όμως πιθανό η δοκιμασία να διακοπεί σε οποιοδήποτε χρονικό της σημείο αν συντρέχουν οι λόγοι που αναφέρονται στον Πίνακα 4.2. Με την αποπεράτωση της δοκιμασίας ο

δοκιμαζόμενος συνεχίζει να ποδηλατεί με μια χαμηλή επιβάρυνση (0,5kg), μέχρις ότου η καρδιακή του συχνότητα γίνει μικρότερη των $100\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$.



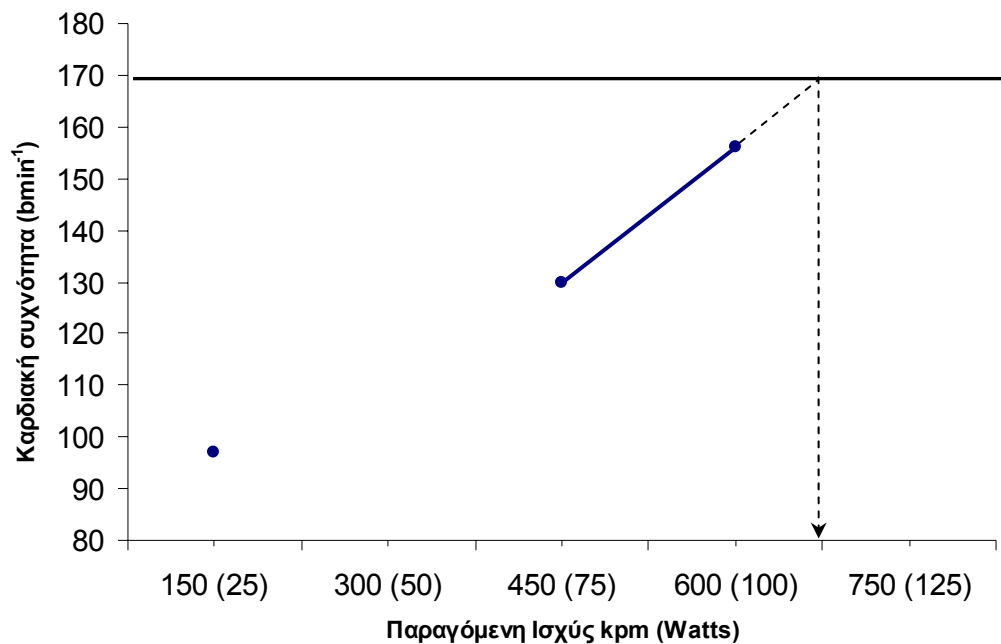
Σχήμα 4.3 Οδηγός επιλογής φορτίου για τις δοκιμασίες IAE170 και YMCA (αγύμναστα άτομα) με βάση τη καρδιακή συχνότητα μετά το πρώτο στάδιο. Στα κελιά αναφέρονται οι τιμές ισχύος σε kpm και Watts (παρένθεση) καθώς και η αντίσταση (kg) προκειμένου να παραχθεί η συγκεκριμένη ισχύς με την προϋπόθεση ότι οι περιστροφές διατηρούνται στις 50rpm.

Αποτέλεσμα

Το αποτέλεσμα της δοκιμασίας εκφράζεται σε μονάδες μηχανικού έργου ή VO_2max και μπορεί να εξαχθεί γραφικά (Σχήμα 4.4.) ή με τη χρήση εξίσωσης.

Γραφική απεικόνιση

Αφού παρασταθούν γραφικά τα σημεία που αντιστοιχούν στο παραγόμενο έργο και την σταθεροποιημένη καρδιακή συχνότητα στα δύο τελευταία στάδια, τότε, η νοητή γραμμή που ενώνει αυτά τα σημεία προεκτείνεται ώστε να τέμνει μία οριζόντια γραμμή σημείων τα οποία αντιστοιχούν στους $170\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ ή στην προβλεπόμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($220 - \text{ηλικία}$). Στη συνέχεια από το σημείο τομής των δύο ευθειών φέρεται μια κάθετη γραμμή η οποία τέμνει τον οριζόντιο άξονα του γραφήματος όπου το σημείο τομής αντιστοιχεί στην παραγόμενη ισχύ.



Σχήμα 4.4. Υπολογισμός της IAE_{170} μέσω γραφικής απεικόνισης. Η ευθεία που ενώνει τις τιμές καρδιακής συχνότητας των δύο τελευταίων σταδίων, προεκτείνεται μέχρι την τιμή των 170 σφυγμών. Από εκεί φέρεται μια δεύτερη ευθεία κάθετα στον άξονα της ισχύος και η τιμή που αναγράφεται στο σημείο τομής αντιστοιχεί στην ΚΣ των 170 σφυγμών.

Εξισώσεις

$$1. IAE_{170} (kpm \cdot min^{-1}) = [(W_f - W_{f-1}) \div (HR_f - HR_{f-1})] \times (170 - HR_f) + W_f$$

Όπου,

W_f : Η παραγόμενη μηχανική ισχύς στο τελευταίο στάδιο

W_{f-1} : Η παραγόμενη μηχανική ισχύς στο προτελευταίο στάδιο

HR_f : Η καρδιακή συχνότητα στο τελευταίο στάδιο

HR_{f-1} : Η καρδιακή συχνότητα στο προτελευταίο στάδιο

Η παραπάνω εξίσωση εκφράζει την IAE_{170} σε απόλυτες μονάδες ισχύος. Όταν πρόκειται να γίνει σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ατόμων το αποτέλεσμα εκφράζεται σε σχετικές τιμές αφού διαιρεθεί πρώτα με τη σωματική μάζα σε kg. Βασιζόμενοι στη θερμοδική ισοδυναμία μεταξύ ισχύος και πρόσληψης O_2 , μπορούμε επίσης να προσδιορίσουμε την VO_2 που αντιστοιχεί στο αντίστοιχο παραγόμενο μηχανικό έργο, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Κλεισούρας 1991):

$$2. VO_2 = (W \times 1,78) + 5,25 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

Όπου,

W : Η παραγόμενη μηχανική ισχύς

Η κατάταξη της επίδοσης των δοκιμαζομένων στη δοκιμασία της IAE_{170} πραγματοποιείται σύμφωνα με τον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10 Κατάταξη επίδοσης στη δοκιμασία IAE₁₇₀

Φύλο / Ηλικία	Επίδοση				
	Πολύ Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Καλή	Πολύ Καλή
<i>Άνδρες</i>					
18 – 19	≤840	870 – 976	982 – 1050	1064 – 1144	≥1218
	≤11,97	12,43 – 13,80	14,40 – 15,24	15,35 – 17,08	≥18,21
20 – 24	≤808	825 – 905	917 – 1054	1123 – 1238	≥1320
	≤11,24	11,60 – 12,93	13,67 – 14,64	15,19 – 16,49	≥17,64
25 – 34	≤801	848 – 904	930 – 1065	1083 – 1271	≥1295
	≤10,57	11,08 – 12,17	12,66 – 13,62	13,97 – 16,40	≥16,82
<i>Γυναίκες</i>					
18 – 19	≤440	446 – 503	525 – 585	631 – 720	≥774
	≤8,20	8,52 – 9,51	9,77 – 10,68	10,87 – 12,06	≥12,58
20 – 24	≤419	430 – 477	494 – 558	572 – 647	≥678
	≤7,87	7,97 – 8,74	8,96 – 9,95	10,24 – 11,44	≥11,90
25 – 34	≤463	471 – 531	541 – 594	628 – 712	≥736
	≤8,01	8,34 – 9,10	9,30 – 10,26	11,42 – 11,85	≥12,60

Πηγή: Κλεισούρας (1991)

4.16.3 Κυκλοεργομετρική Δοκιμασία YMCA

Η δοκιμασία YMCA είναι διαδικαστικά ίδια με την δοκιμασία της IAE₁₇₀ με μοναδική διαφορά το γεγονός ότι αποσκοπεί στην πρόβλεψη της μέγιστης αερόβιας ικανότητας και όχι στο παραγόμενο μηχανικό έργο σε μια καθορισμένη επιβάρυνση. Πρόκειται για μια πολυφασική δοκιμασία, αντικειμενικός σκοπός της οποίας είναι να επέλθει σταθεροποίηση της ΚΣ μέσα στο εύρος των 110 – 150b·min⁻¹ (γραμμική σχέση μεταξύ ΚΣ και επιβάρυνσης) σε δύο διαδοχικά στάδια. Κατά τη διαδικασία πραγματοποιούνται 2 - 4 στάδια διάρκειας τριών λεπτών με δυνατότητα παράτασης του χρόνου προκειμένου να εξασφαλιστεί η σταθεροποίηση της ΚΣ. Το πρωτόκολλο δοκιμασίας είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται κατά τη δοκιμασία IAE₁₇₀ (Σχήμα 4.3.). Σε ορισμένα όμως εργαστήρια κατά τη δοκιμασία YMCA χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο του Σχήματος 4.3. στην περίπτωση όπου αξιολογούνται χαμηλού επιπέδου φυσικής κατάστασης άτομα, ενώ στη περίπτωση που οι δοκιμαζόμενοι είναι μέτριου και άνω επιπέδου φυσικής κατάστασης τότε χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο του σχήματος 5. Καθώς ο προσδιορισμός της VO₂max μέσω της δοκιμασίας YMCA αποτελεί μια έμμεση διαδικασία, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στο αποτέλεσμα πιθανόν να εμπεριέχεται σφάλμα μέτρησης της τάξης του ±15% (Nieman, 1999).

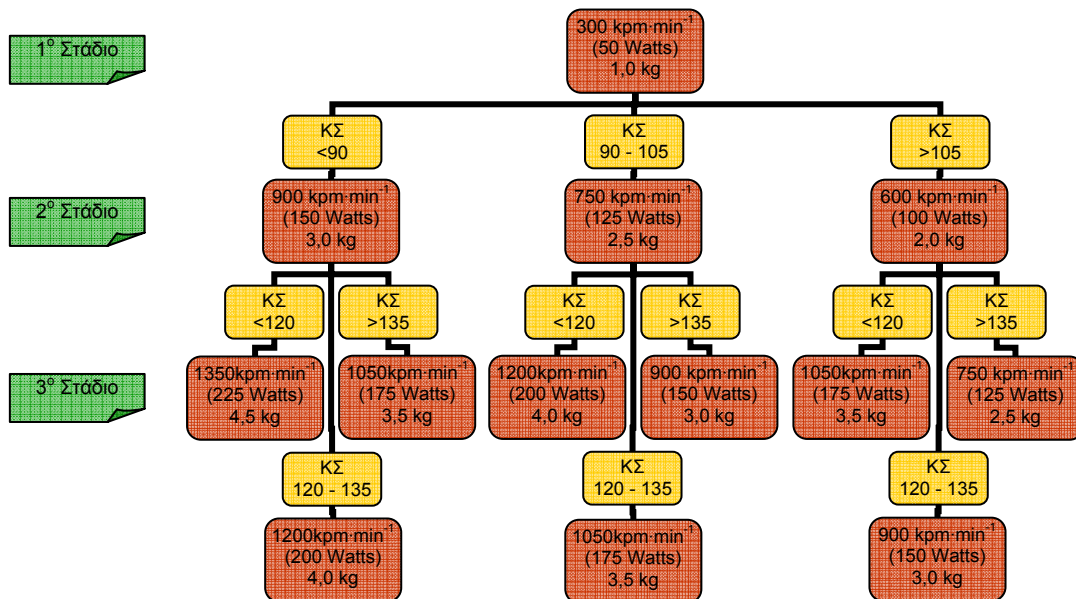
Εξοπλισμός

- Εργοποδήλατο (Μηχανικό)
- Περιστερόμετρο
- Μετρονόμος
- Καρδιοσυχνόμετρο
- Χρονόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής

Διαδικασία

1. Επιλογή επιβάρυνσης. Αρχικά επιλέγεται το πρωτόκολλο που θα ακολουθηθεί ανάλογα με το επίπεδο ΦΚ των δοκιμαζομένων (Σχήμα 4.3. ή 4.5.). Στη συνέχεια καθορίζεται η αρχική επιβάρυνση η οποία ορίζεται στα $150\text{krm}\cdot\text{min}^{-1}$ ή $300\text{krm}\cdot\text{min}^{-1}$. Στην πρώτη περίπτωση το φορτίο αντιστοιχεί στις 50grm με αντίσταση 0,5kg ενώ το δεύτερο στο 1,0kg αντίστασης με την ίδια συχνότητα περιστροφών. Οι επιβαρύνσεις στα επόμενα στάδια καθορίζονται από τις μεταβολές που παρατηρούνται στην καρδιακή συχνότητα του δοκιμαζομένου όπως αυτές ορίζονται στα αντίστοιχα πρωτόκολλα (Σχήμα 4.3. ή 4.5.).
2. Προσαρμογή εργοποδηλάτου. Το κάθισμα θα πρέπει να είναι σε τέτοιο ύψος ώστε όταν ο δοκιμαζόμενος κάθεται σε αυτό και όταν το πετάλι βρίσκεται στη χαμηλότερη θέση, να υπάρχει μια ελαφρά κάμψη 5° στο γόνατο. Το πετάλι θα πρέπει να είναι σε επαφή καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας με το μπροστινό μέρος του πέλματος. Η ρύθμιση της θέσης του τιμονιού θα πρέπει να επιτρέπει στον κορμό να βρίσκεται σε ελαφρά προς τα εμπρός κλίση με τεντωμένα χέρια.
3. Καθορισμός συχνότητας ποδηλάτησης. Η δοκιμασία είναι έγκυρη όταν ο ρυθμός ποδηλάτησης διατηρείται στις 50grm (περιστροφές το λεπτό). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση του μετρονόμου ο οποίος ρυθμίζεται στους 100 χτύπους το λεπτό (ισοδυναμούν με 50 περιστροφές το λεπτό με κάθε κύκλο να αντιστοιχεί σε μια πενταλιά) ή με την χρήση των ενδείξεων στο περιστρεφόμετρο του ποδηλάτου όταν αυτό είναι διαθέσιμο. Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις, τότε ο δοκιμαζόμενος πραγματοποιεί ένα στάδιο προθέρμανσης 2-3 λεπτών χωρίς φορτίο με συχνότητα 50grm.
4. Έναρξη προσπάθειας. Ο δοκιμαζόμενος αρχίζει την προσπάθεια του χωρίς επιβάρυνση μέχρις ότου καταφέρει να εναρμονισθεί με το ρυθμό. Για να γίνει αυτό θα χρειαστούν περίπου 10-15 δευτερόλεπτα και μόλις επιτευχθεί τότε τοποθετείται το φορτίο που είχε καθοριστεί προηγουμένως. Όταν διαπιστωθεί ότι ο δοκιμαζόμενος έχει εναρμονισθεί πλήρως με το ρυθμό τότε τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο.
5. Σε διαστήματα ενός λεπτού κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας θα πρέπει να γίνεται συνεχής έλεγχος της καρδιακής συχνότητας η οποία θα πρέπει στο τέλος του 3^{ου} λεπτού κάθε σταδίου να έχει σταθεροποιηθεί (διαφορά μεταξύ 2^{ου} και 3^{ου} λεπτού <5 σφυγμών). Αν αυτή η προϋπόθεση δεν πληρείται τότε η διάρκεια του συγκεκριμένου σταδίου παρατείνεται για ένα λεπτό κάθε φορά μέχρι που να επιτευχθεί σταθεροποίηση της καρδιακής συχνότητας.
6. Η δοκιμασία αποπερατώνεται με τη συμπλήρωση δύο σταδίων στα οποία να έχει καταγραφεί σταθεροποιημένη καρδιακή συχνότητα μεταξύ $110 - 150\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$. Είναι όμως πιθανό η δοκιμασία να διακοπεί σε οποιοδήποτε χρονικό της σημείο αν συντρέχουν οι λόγοι που αναφέρονται στον Πίνακα 4.2. Σημειώνεται ότι κατά τη διαδικασία η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης στη δεκαβάθμια κλίμακα Borg θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 3 έως 5 (Nieman 1999). Με την αποπεράτωση της

δοκιμασίας ο δοκιμαζόμενος συνεχίζει να ποδηλατεί με μια χαμηλή επιβάρυνση (0,5kg), μέχρις ότου η καρδιακή του συχνότητα γίνει μικρότερη των $100b \cdot \text{min}^{-1}$.



Σχήμα 4.5. Οδηγός επιλογής φορτίου για τη δοκιμασία YMCA για γυμνασμένα άτομα με βάση τη καρδιακή συχνότητα μετά το πρώτο στάδιο. Στα κελιά αναφέρονται οι τιμές ισχύος σε $\text{kpm} \cdot \text{min}^{-1}$ και Watts (παρένθεση) καθώς και η αντίσταση (kg) προκειμένου να παραχθεί η συγκεκριμένη ισχύς με την προϋπόθεση ότι οι περιστροφές διατηρούνται στις 50rpm.

Αποτέλεσμα

Το αποτέλεσμα της δοκιμασίας εξάγεται με γραφική απεικόνιση (Σχήμα 4.6.) αλλά και με εξισώσεις σε μονάδες VO_2max ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ή σε μονάδες μηχανικού έργου ($\text{kgm} \cdot \text{min}^{-1}$).

Εξισώσεις

Για τον προσδιορισμό της VO_2max μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση:

$$1. \text{VO}_2\text{max} (\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}) = (W \times 2) + (3,5 \times M)$$

Όπου,

M: Η σωματική μάζα του δοκιμαζομένου σε kg

W: Η παραγόμενη μηχανική ισχύς σε $\text{Kgm} \cdot \text{min}^{-1}$ που αντιστοιχεί στην προβλεπόμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($220 - \text{ηλικία}$) το οποίο εξάγεται με τη παρακάτω εξίσωση:

$$W (\text{kgm} \cdot \text{min}^{-1}) = [(W_f - W_{f-1}) \div (HR_f - HR_{f-1})] \times [(220 - \text{age}) - HR_f] + W_f$$

Όπου,

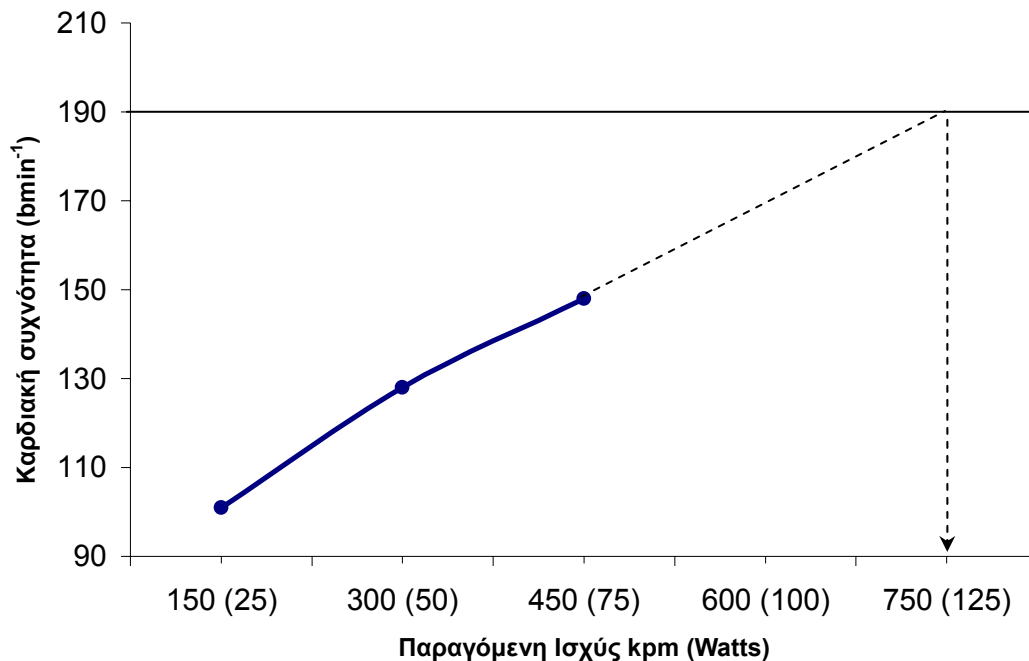
W_f: Η παραγόμενη μηχανική ισχύς στο τελευταίο στάδιο

W_{f-1}: Η παραγόμενη μηχανική ισχύς στο προτελευταίο στάδιο

HR_f: Η καρδιακή συχνότητα στο τελευταίο στάδιο

HR_{f-1}: Η καρδιακή συχνότητα στο προτελευταίο στάδιο

Για την κατηγοριοποίηση των δοκιμαζομένων στη δοκιμασία YMCA μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι Πίνακες 4.8. και 4.9.



Σχήμα 4.6. Υπολογισμός του παραγόμενου έργου στη προβλεπόμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα (HR_{max}) ενός 30χρονου ατόμου, μέσω γραφικής απεικόνισης. Η ευθεία που ενώνει τις τιμές καρδιακής συχνότητας των δύο τελευταίων σταδίων, προεκτείνεται μέχρι την τιμή της HR_{max} ($220 - 30 = 190$). Από εκεί φέρεται μια δεύτερη ευθεία κάθετα στον άξονα της ισχύος και η τιμή που αναγράφεται στο σημείο τομής αντιστοιχεί στην HR_{max} .

4.17. Προοδευτικά – αυξανόμενης, μέγιστης έντασης δοκιμασίες στο εργοποδήλατο

4.17.1. Δοκιμασία μέγιστης επιβάρυνσης Astrand

Αντικειμενικός σκοπός της δοκιμασίας είναι μέσα από μια προοδευτική αύξηση της έντασης να επιτευχθεί μέγιστη επιβάρυνση του οργανισμού σύμφωνα με τα κριτήρια που περιγράφονται στον πίνακα 2. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η επίδοση στα περισσότερα άτομα είναι χαμηλότερη σε σχέση με αυτή που επιτυγχάνεται στις δοκιμασίες εργοδιαδρόμου. Για αθλητές υψηλού επιπέδου συνίσταται η παράλληλη πραγματοποίηση εργοσπιρομέτρησης.

Εξοπλισμός

- Εργοποδήλατο (Μηχανικό)
- Περιστροφόμετρο
- Μετρονόμος
- Καρδιοσυχνόμετρο
- Χρονόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής

Διαδικασία

1. Επιλογή επιβάρυνσης. Η αρχική επιβάρυνση ορίζεται στα $300\text{kgm}\cdot\text{min}^{-1}$ (50Watts) (1kr στις 50rpm) για τις γυναίκες και στα $600\text{kgm}\cdot\text{min}^{-1}$ (100Watts) (2kr στις 50rpm) για τους άνδρες. Το πρώτο στάδιο έχει διάρκεια 2 λεπτών ενώ όλα τα υπόλοιπα διαρκούν 3 λεπτά. Η αύξηση της επιβάρυνσης μετά το πρώτο στάδιο είναι $150\text{kgm}\cdot\text{min}^{-1}$ (25Watts) (0,5kr στις 50rpm) για τις γυναίκες και $300\text{kgm}\cdot\text{min}^{-1}$ (50Watts) (1kr στις 50rpm) για τους άνδρες.
2. Προσαρμογή εργοποδηλάτου. Το κάθισμα θα πρέπει να είναι σε τέτοιο ύψος ώστε όταν ο δοκιμαζόμενος κάθεται σε αυτό και όταν το πετάλι βρίσκεται στη χαμηλότερη θέση, να υπάρχει μια ελαφρά κάμψη 5° στο γόνατο. Το πετάλι θα πρέπει να είναι σε επαφή καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας με το μπροστινό μέρος του πέλματος. Η ρύθμιση της θέσης του τιμονιού θα πρέπει να επιτρέπει στον κορμό να βρίσκεται σε ελαφρά προς τα εμπρός κλίση με τεντωμένα χέρια.
3. Καθορισμός συχνότητας ποδηλάτησης. Η δοκιμασία είναι έγκυρη όταν ο ρυθμός ποδηλάτησης διατηρείται στις 50rpm (περιστροφές το λεπτό). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση του μετρονόμου ο οποίος ρυθμίζεται στους 100 χτύπους το λεπτό (ισοδυναμούν με 50 περιστροφές το λεπτό με κάθε κύκλο να αντιστοιχεί σε μια πενταλιά) ή με την χρήση των ενδείξεων στο περιστρεφόμετρο του ποδηλάτου όταν αυτό είναι διαθέσιμο.
4. Έναρξη προσπάθειας. Ο δοκιμαζόμενος αρχίζει την προσπάθεια του χωρίς επιβάρυνση μέχρις ότου καταφέρει να εναρμονισθεί με το ρυθμό. Για να γίνει αυτό θα χρειαστούν περίπου 10-15 δευτερόλεπτα και μόλις επιτευχθεί τότε τοποθετείται το φορτίο που είχε καθοριστεί προηγουμένως. Όταν διαπιστωθεί ότι ο δοκιμαζόμενος έχει εναρμονισθεί πλήρως με το ρυθμό τότε τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο.
5. Η δοκιμασία αποπερατώνεται όταν ο δοκιμαζόμενος φθάσει στη μέγιστη επιβάρυνση στην οποία μπορεί να αντεπεξέλθει ή προκύψουν λόγοι τερματισμού της δοκιμασίας σύμφωνα με τον πίνακα 2. Με την αποπεράτωση της δοκιμασίας, ο δοκιμαζόμενος συνεχίζει να ποδηλατεί με μια χαμηλή επιβάρυνση (0,5kg), μέχρις ότου η καρδιακή του συχνότητα γίνει μικρότερη των $100\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$.

Αποτέλεσμα

Για τον προσδιορισμό της VO_2max μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση:

$$\text{VO}_2\text{max} (\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}) = (W \times 2) + (3,5 \times M)$$

Όπου,

M: Η σωματική μάζα του δοκιμαζομένου σε kg

W: Το παραγόμενο μηχανικό έργο σε $\text{Kgm}\cdot\text{min}^{-1}$ που αντιστοιχεί στην προβλεπόμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($220 - \text{ηλικία}$) το οποίο εξάγεται με τη παρακάτω εξίσωση:

$$W (\text{kgm}\cdot\text{min}^{-1}) = [(W_f - W_{f-1}) \div (HR_f - HR_{f-1})] \times [(220 - \text{age}) - HR_f] + W_f$$

Όπου,

W_f : Το παραγόμενο μηχανικό έργο στο τελευταίο στάδιο

W_{f-1} : Το παραγόμενο μηχανικό έργο στο προτελευταίο στάδιο

HR_f : Η καρδιακή συχνότητα στο τελευταίο στάδιο

HR_{f-1} : Η καρδιακή συχνότητα στο προτελευταίο στάδιο

4.18. Δοκιμασίες στο δαπεδοεργόμετρο (εργοδιάδρομος)

Στη βιβλιογραφία συναντώνται πολλά πρωτόκολλα δοκιμασιών στον εργοδιάδρομο όπου τα δύο πιο δημοφιλή είναι κατά πρώτο λόγο του Bruce και του Balke. Τα δύο αυτά πρωτόκολλα μπορούν να εφαρμοσθούν ως δοκιμασίες μέγιστης έντασης ενώ με μερικές τροποποιήσεις εφαρμόζονται και ως δοκιμασίες υπομέγιστης έντασης στις οποίες μπορούν να λάβουν μέρος άτομα στα οποία δεν ενδείκνυται η μέγιστη επιβάρυνση. Η διαδικασία διεξαγωγής των δύο πρωτοκόλλων περιγράφεται παρακάτω.

4.18.1. Δοκιμασίες υπομέγιστης έντασης στον εργοδιάδρομο

Πρωτόκολλο Bruce

Παρά το γεγονός ότι η δοκιμασία αποτελείται από τρία ισόχρονα στάδια, εντούτοις θεωρείται μονοφασικού τύπου καθώς για την εξαγωγή του αποτελέσματος χρησιμοποιούνται δεδομένα από ένα και μόνο στάδιο. Αντικειμενικός σκοπός της δοκιμασίας είναι η επίτευξη μιας σταθεροποιημένης υπομέγιστης καρδιακής συχνότητας μέχρι τους 155 σφυγμούς.

Εξοπλισμός

- Εργοδιάδρομος
- Ταχύμετρο
- Μετρητής κλίσης δαπέδου
- Καρδιοσυχνόμετρο
- Χρονόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής

Διαδικασία

1. Επιβάρυνση. Η επιβάρυνση καθορίζεται από την ταχύτητα και τη κλίση του δαπεδοεργόμετρο. Η δοκιμασία αποτελείται από τρία στάδια των 3 λεπτών χωρίς ενδιάμεσο διάλειμμα όπου η ταχύτητα ορίζεται διαδοχικά στα $2,7\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, $4,0\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ και $5,5\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ενώ η κλίση αυξάνει κατά 2% ανά στάδιο.
2. Τερματισμός της δοκιμασίας. Η δοκιμασία αποπερατώνεται όταν τελειώσει και το τρίτο στάδιο με την προϋπόθεση ότι θα καταγραφεί μια σταθεροποιημένη ένδειξη καρδιακής συχνότητας όχι μεγαλύτερη των $155\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$. Προς το σκοπό αυτό η καρδιακή συχνότητα προσδιορίζεται στο τέλος κάθε δεύτερου και τρίτου λεπτού σε κάθε στάδιο προκειμένου να ελεγχθεί η σταθεροποίησή της. Αν σε κάποιο από τα αρχικά στάδια η καρδιακή συχνότητα ξεπεράσει τους $135\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ τότε το επόμενο παραλείπεται.

Αποτέλεσμα

Το αποτέλεσμα της δοκιμασίας εξάγεται ξεχωριστά για άνδρες και γυναίκες σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

Άνδρες

$$1. VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = VO_2submax \times [(HRmax - 61) \div (HRsubmax - 61)]$$

Γυναίκες

$$2. VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = VO_2submax \times [(HRmax - 72) \div (HRsubmax - 72)]$$

Όπου,

HRsubmax: Η σταθεροποιημένη υπομέγιστη καρδιακή συχνότητα

HRmax: Η προβλεπόμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα του δοκιμαζομένου (220 – ηλικία)

VO₂submax: Το υπομέγιστο ενεργειακό κόστος στο στάδιο που καταγράφηκε η σταθεροποιημένη υπομέγιστη καρδιακή συχνότητα όπως αυτό προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$VO_2 (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = (speed \times 0,2) + (speed \times percent\ grade \times 0,9) + 3,5$$

Όπου,

Speed: Η ταχύτητα στο συγκεκριμένο στάδιο σε m·min⁻¹

Percent grade: Η κλίση στο συγκεκριμένο στάδιο (πχ 12% κλίση = 0,12)

Πρωτόκολλο Balke

Πρόκειται για διφασική διαδικασία συνεχούς μορφής, καθώς για τον προσδιορισμό του αποτελέσματος χρησιμοποιούνται δεδομένα δύο σταδίων από τα πέντε συνολικά τρίλεπτα στάδια. Αντικειμενικός σκοπός της δοκιμασίας είναι η καταγραφή δύο σταθεροποιημένων τιμών καρδιακής συχνότητας, οι οποίες να μην ξεπερνούν τους 155 σφυγμούς.

Εξοπλισμός

- Εργοδιάδρομος
- Ταχύμετρο
- Μετρητής κλίσης δαπέδου
- Καρδιοσυχνόμετρο
- Χρονόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής

Διαδικασία

1. Επιβάρυνση. Η ένταση στη συγκεκριμένη δοκιμασία καθορίζεται μόνο από τη κλίση του δαπεδοεργομέτρου καθώς η ταχύτητα διατηρείται σταθερή στα 5,5km·h⁻¹ καθ' όλη τη διάρκεια του τεστ. Η κλίση αυξάνεται κατά 3% για τις γυναίκες και κατά 4% για τους άνδρες ανά τρίλεπτο στάδιο χωρίς να παρεμβάλλεται ενδιάμεσο διάλειμμα.

2. Τερματισμός της δοκιμασίας: Η δοκιμασία αποπερατώνεται αφού καταγραφούν σε δύο διαδοχικά στάδια δύο σταθεροποιημένες τιμές καρδιακής συχνότητας οι οποίες δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τους $155 \text{b} \cdot \text{min}^{-1}$. Προς το σκοπό αυτό η καρδιακή συχνότητα προσδιορίζεται στο τέλος κάθε δεύτερου και τρίτου λεπτού σε κάθε στάδιο προκειμένου να ελεγχθεί η σταθεροποίησή της. Αν σε κάποιο από τα αρχικά στάδια η καρδιακή συχνότητα ξεπεράσει τους $145 \text{b} \cdot \text{min}^{-1}$ τότε τα επόμενα παραλείπονται.

Αποτέλεσμα

Το αποτέλεσμα της δοκιμασίας προσδιορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$VO_{2max} (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = VO_{2(f)} + [(VO_{2(f)} - VO_{2(f-1)}) \div (HR_{(f)} - HR_{(f-1)})] \times (HR_{max} - HR_{(f)})$$

Όπου,

$VO_{2(f)}$: Η πρόσληψη O_2 κατά το τελευταίο στάδιο της δοκιμασίας

$VO_{2(f-1)}$: Η πρόσληψη O_2 κατά το προτελευταίο στάδιο της δοκιμασίας

$HR_{(f)}$: Η καρδιακή συχνότητα κατά το τελευταίο στάδιο της δοκιμασίας

$HR_{(f-1)}$: Η καρδιακή συχνότητα κατά το προτελευταίο στάδιο της δοκιμασίας

HR_{max} : Η εκτιμώμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα ($220 - \text{ηλικία}$)

Ο προσδιορισμός της VO_2 στα αντίστοιχα στάδια, γίνεται με βάση τη παρακάτω εξίσωση:

$$VO_2 (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = (\text{speed} \times 0,2) + (\text{speed} \times \text{percent grade} \times 0,9) + 3,5$$

Όπου,

Speed: Η ταχύτητα στο συγκεκριμένο στάδιο σε $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$

Percent grade: Η κλίση στο συγκεκριμένο στάδιο (πχ 12% κλίση = 0,12)

4.18.2. Προοδευτικά - αυξανόμενης μέγιστης έντασης δοκιμασίες στον εργοδιάδρομο

Πρωτόκολλο Bruce

Αποτελεί μια πολυφασικού τύπου, συνεχούς μορφής δοκιμασία, κατά την οποία η επιβάρυνση στα διαδοχικά στάδια αυξάνεται μέσω της ταχύτητας αλλά και της κλίσης του εργοδιαδρόμου. Το πρωτόκολλο αυτό οδηγεί σε μεγάλες και απότομες αυξήσεις της επιβάρυνσης, γεγονός για το οποίο έχει δεχθεί μεγάλη κριτική. Αποτελεί εντούτοις μία πολύ χρήσιμη και αξιόπιστη διαδικασία προσδιορισμού της απόδοσης ιδιαίτερα σε αθλητές, γεγονός που το έχει κάνει πολύ διαδεδομένο.

Εξοπλισμός

- Εργοδιάδρομος
- Ταχύμετρο
- Μετρητής κλίσης δαπέδου
- Καρδιοσυχνόμετρο
- Χρονόμετρο

➤ Πρωτόκολλα καταγραφής

Διαδικασία

1. Επιβάρυνση. Η επιβάρυνση στη συγκεκριμένη δοκιμασία καθορίζεται από την ταχύτητα του κυλιόμενου τάπητα και τη κλίση της επιφάνειας τρεξίματος. Η αρχική ταχύτητα ορίζεται στα $2,7\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ενώ η κλίση στα 10%. Η επιβάρυνση αυξάνεται στην αρχή κάθε τρίλεπτου σταδίου κατά $1,3\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ταχύτητα και 2% κλίση χωρίς την παρεμβολή διαστήματος ανάληψης.
2. Ανάλογα με το επίπεδο φυσικής κατάστασης και λειτουργικής ικανότητας των δοκιμαζομένων παρέχεται η δυνατότητα επιλογής εκτέλεσης της προσπάθειας με στήριξη των χεριών στις πλαϊνές χειρολαβές του εργοδιαδρόμου. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο σε άτομα με προβλήματα ισορροπίας.
3. Τερματισμός της διαδικασίας. Η προσπάθεια αποπερατώνεται όταν ισχύσουν τα κριτήρια επίτευξης της μέγιστης απόδοσης με βασικότερο τη σταθεροποίηση της VO_2 παρά την αύξηση στην επιβάρυνση ή όταν συντρέχουν λόγοι τερματισμού της (Πίνακας 4.2.).

Αποτέλεσμα

Η επίδοση προσδιορίζεται μέσω της εξίσωσης 1 στην περίπτωση που δεν υπήρξε στήριξη των χεριών και της εξίσωσης 2 στην περίπτωση στήριξης. Για την κατάταξη της επίδοσης των δοκιμαζομένων χρησιμοποιούνται οι πίνακες 8 και 9.

$$1. \text{VO}_2\text{max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 14,76 - (1,379 \times t) + (0,451 \times t^2) - (0,012 \times t^3)$$

$$2. \text{VO}_2\text{max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 2,282 \times t + 8,545$$

Όπου,

t = Χρόνος άσκησης

Πρωτόκολλο Balke

Πρόκειται για μία πολυφασικού τύπου, συνεχούς μορφής δοκιμασία. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αποτελείται από στάδια μικρής διάρκειας μεταξύ των οποίων η επιβάρυνση αυξάνεται με πολύ μικρούς ρυθμούς κυρίως μέσω της κλίσης του κυλιόμενου τάπητα στα αρχικά στάδια και της ταχύτητας στη συνέχεια. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι οι μικρές μεταβολές της έντασης έχουν σαν αποτέλεσμα την παρατεταμένη διάρκεια της δοκιμασίας (διπλάσια σχεδόν διάρκεια από το πρωτόκολλο Bruce). Παρόλα αυτά θεωρείται μια ιδανική δοκιμασία για άτομα χαμηλού επιπέδου φυσικής κατάστασης λόγω της πιο ήπιας αύξησης της επιβάρυνσης οπότε παρέχεται καλύτερη δυνατότητα για προθέρμανση.

Εξοπλισμός

- Εργοδιάδρομος
- Ταχύμετρο
- Μετρητής κλίσης δαπέδου
- Καρδιοσυχνόμετρο

- Χρονόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής

Διαδικασία

1. Επιβάρυνση. Η επιβάρυνση στη συγκεκριμένη δοκιμασία ορίζεται αρχικά από την κλίση της επιφάνειας τρεξίματος και στη συνέχεια από την ταχύτητα του κυλιόμενου τάπητα. Η αρχική ταχύτητα ορίζεται στα $5,3\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ενώ η κλίση στο 0%. Στα αρχικά στάδια η ταχύτητα διατηρείται σταθερή ενώ η κλίση αυξάνεται κατά 1% ανά λεπτό όπου στο 25% σταθεροποιείται. Από το σημείο αυτό μέχρι και την αποπεράτωση της δοκιμασίας αυξάνεται ανά μονόλεπτο στάδιο η ταχύτητα κατά $0,32\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Balke et al 1959). Σε μια δεύτερη παραλλαγή της διαδικασίας η ταχύτητα διατηρείται σταθερή και αυξάνεται προοδευτικά μέχρι τέλους η κλίση κατά 2% ανά δίλεπτο στάδιο (Morrow et al 2000). Και στις δύο περιπτώσεις δεν παρεμβάλλονται διαστήματα ανάληψης.
2. Τερματισμός της διαδικασίας. Η προσπάθεια αποπερατώνεται όταν ισχύσουν τα κριτήρια επίτευξης της μέγιστης απόδοσης με βασικότερο τη σταθεροποίηση της VO_2 παρά την αύξηση στην επιβάρυνση ή συντρέχουν λόγοι τερματισμού της (Πίνακας 4.2.).

Αποτέλεσμα

Η επίδοση προσδιορίζεται μέσω της εξίσωσης 1. Για την κατάταξη της επίδοσης των δοκιμαζομένων χρησιμοποιούνται οι Πίνακες 4.8. και 4.9.

$$1. \text{VO}_2\text{max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 11,12 \times (1,51 \times t)$$

Όπου,

$$t = \text{Χρόνος άσκησης}$$

4.19 Υπαίθριες Δοκιμασίες

Οι δοκιμασίες αυτές έχουν διαδοθεί ευρέως κατά τα τελευταία χρόνια καθώς σε αυτές μπορούν να λάβουν μέρος με ασφάλεια υγιή άτομα όλων των ηλικιακών κατηγοριών και άτομα με διαγνωσμένα προβλήματα υγείας. Η χρησιμότητα των υπαίθριων δοκιμασιών αναφέρεται στην εύκολη εφαρμογή, τη δυνατότητα για ταυτόχρονη αξιολόγηση πολλών δοκιμαζόμενων και τη σχετικά αξιόπιστη πρόβλεψη της VO_2max (ποσοστό σφάλματος $\pm 12\%$) (Myers 1996). Για καλύτερο προσδιορισμό της VO_2max είναι απαραίτητη η εξασφάλιση της συνεργασίας των δοκιμαζόμενων ως προς την τήρηση των προϋποθέσεων της δοκιμασίας και την προθυμία για καταβολή του μέγιστου των ικανοτήτων τους. Η εγκυρότητα των δοκιμασιών μπορεί να βελτιωθεί όταν προηγηθεί μια πιλοτική δοκιμασία ή όταν πραγματοποιηθούν δύο δοκιμασίες όπου καταγράφεται η καλύτερη επίδοση.

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται διάφορων τύπων υπαίθριες δοκιμασίες για τον προσδιορισμό της VO_2max , οι οποίες περιλαμβάνουν βάδιση, τρέξιμο, ποδηλασία, κολύμβηση κλπ όπου πιο έγκυρες θεωρούνται οι δοκιμασίες βάδισης και τρεξίματος. Αυτές κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

A. Τις δοκιμασίες **προκαθορισμένης απόστασης** όπου κριτήριο είναι η *συνολική διάρκεια* της προσπάθειας.

B. Τις δοκιμασίες **προκαθορισμένης διάρκειας** όπου κριτήριο είναι η *διανυθείσα απόσταση*.

Γ. Τις δοκιμασίες **προκαθορισμένης ταχύτητας** όπου κριτήριο είναι η ο ρυθμός εκτέλεσης της προσπάθειας.

Όσο αφορά στην εγκυρότητα των τριών τύπων των δοκιμασιών αυτών, πιο έγκυρες θεωρούνται οι δοκιμασίες προκαθορισμένης ταχύτητας και ακολουθούν οι δοκιμασίες προκαθορισμένης διάρκειας και απόστασης. Το εύρος των αποστάσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της $\dot{V}O_2\max$, είναι αρκετά μεγάλο και μπορεί να κυμαίνεται από 1,5km μέχρι και την απόσταση του μαραθωνίου δρόμου (42,195km) (Tokmakidis et al 1987). Σε κάθε περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δεξιότητες του τρεξιματος ή της βάδισης ανάλογα με το επίπεδο φυσικής και τεχνικής ικανότητας των δοκιμαζόμενων.

4.19.1. Δοκιμασίες προκαθορισμένης απόστασης

Οι δοκιμασίες αυτές προϋποθέτουν την κάλυψη της προκαθορισμένης απόστασης στο μικρότερο δυνατό χρονικό διάστημα. Οι πιο γνωστές δοκιμασίες της κατηγορίας αυτής αναφέρονται στην κάλυψη με τρέξιμο 1 και 1,5 μιλίου (1609m και 2414m αντίστοιχα) και στην κάλυψη με βάδιση 1 μιλίου (Rockport One-Mile Fitness Walking Test). Η απόσταση θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε σε κάθε περίπτωση να ενεργοποιείται ο αερόβιος μηχανισμός παραγωγής ενέργειας.

Τρέξιμο 1 και 1,5 μιλίου

Οι συμμετέχοντες σε αυτές τις δοκιμασίες καλούνται να καλύψουν τρέχοντας στο συντομότερο δυνατό χρόνο την καθορισμένη απόσταση. Για τη δοκιμασία 1,5 μιλίου ο Coorep (1977), συνιστά ότι για να υποβληθεί κάποιος σε αυτή θα πρέπει να μπορεί ήδη να τρέξει συνεχόμενα για 15min.

Εγκαταστάσεις - Εξοπλισμός

- Λεία, επίπεδη επιφάνια με καθορισμένο το σημείο αφετηρίας και τερματισμού (πχ δρόμος, αγωνιστικός στίβος, εργοδιάδρομος)
- Χρονόμετρο
- Ζυγαριά
- Αναστημόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής επίδοσης

Διαδικασία

1. Καθορισμός σωματικής μάζας και ύψους και εξαγωγή του δείκτη σωματικής μάζας (BMI).
2. Οι δοκιμαζόμενοι ξεκινούν την προσπάθειά τους με το σύνθημα του αξιολογητή, ο οποίος ενεργοποιεί ταυτόχρονα την συσκευή καταγραφής του χρόνου.

3. Με τον τερματισμό του κάθε δοκιμαζόμενου, καταγράφεται ο χρόνος υλοποίησης της δοκιμασίας με ακρίβεια δευτερολέπτου.

Αποτέλεσμα

Για τον προσδιορισμό της VO_2max , έχουν κατασκευαστεί οι παρακάτω εξισώσεις παλινδρόμησης οι οποίες προβλέπουν με σχετική ακρίβεια την αερόβια ικανότητα. Για την κατάταξη της επίδοσης των δοκιμαζομένων χρησιμοποιούνται οι Πίνακες 7.11, 7.12 και 7.13.

Τρέξιμο 1 μιλίου (1609m):

$$1. VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = (-8,41 \times t) + (0,34 \times t^2) + (0,21 \times age \times gender) - (0,84 \times BMI) + 108,94$$

Η παραπάνω εξίσωση εφαρμόζεται σε άνδρες και γυναίκες ηλικίας από 8 – 25 έτη και παρουσιάζει σφάλμα πρόβλεψης $\pm 4.8 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Cureton et al 1995).

Όπου,

t: Χρόνος δοκιμασίας εκφρασμένος στο εγγύτερο 0,1min (πχ 30/60= 0,5min)

age: Η ηλικία του δοκιμαζόμενου σε έτη

gender: Φύλο (0 για γυναίκες, 1 για άνδρες)

BMI (δείκτης σώμ. μάζας): μάζα σώματος / τετράγωνο σωμ. ύψους (kg/m^2)

Πίνακας 4.11. Ποσοστιαία κατάταξη αγοριών ηλικίας 10-18 ετών με βάση την επίδοσή τους (min:sec) στη δοκιμασία 1 μιλίου.

%	Ηλικία								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
99	6:55	6:21	6:21	5:59	5:43	5:40	5:31	5:14	5:33
90	8:13	7:25	7:13	6:48	6:27	6:23	6:13	6:08	6:10
80	8:35	7:52	7:41	7:07	6:58	6:43	6:31	6:31	6:33
75	8:48	8:02	7:53	7:14	7:08	6:52	6:39	6:40	6:42
70	9:02	8:12	8:03	7:24	7:18	7:00	6:50	6:46	6:57
60	9:26	8:38	8:23	6:46	7:34	7:13	7:07	7:10	7:15
50	9:52	9:03	8:48	8:04	7:51	7:30	7:27	7:31	7:35
40	10:15	9:25	9:17	8:26	8:14	7:50	7:48	7:59	7:53
30	10:44	10:17	9:57	8:54	8:46	8:18	8:04	8:24	8:12
20	10:25	10:55	10:38	9:20	9:28	8:50	8:34	8:55	9:10
10	10:27	12:07	11:48	10:38	10:34	10:13	9:36	10:43	10:50

Πηγή: (Nieman, 1999)

Πίνακας 4.12. Ποσοστιαία κατάταξη κοριτσιών ηλικίας 10-18 ετών με βάση την επίδοσή τους (min:sec) στη δοκιμασία 1 μιλίου.

%	Ηλικία								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
99	7:55	7:14	7:20	7:08	7:01	6:59	7:03	6:52	6:58
90	9:09	8:45	8:34	8:27	8:11	8:23	8:28	8:20	8:22
80	9:56	9:52	9:30	9:13	8:49	9:04	9:06	9:10	9:27
75	10:09	9:56	9:52	9:30	9:16	9:28	9:25	9:26	9:31
70	10:27	10:10	10:05	9:48	9:31	9:49	9:41	9:41	9:36
60	10:51	10:35	10:32	10:22	10:04	10:20	10:15	10:16	10:08
50	11:14	11:15	10:58	10:52	11:32	10:46	10:34	10:34	10:51
40	11:54	11:46	11:26	11:22	10:58	11:20	11:08	10:59	11:27
30	12:27	12:33	12:03	11:55	11:35	11:53	11:49	11:43	11:58
25	12:52	12:54	12:33	12:17	11:49	12:18	12:10	12:03	12:14
20	13:12	13:17	12:53	12:43	12:10	12:48	12:32	12:30	12:37
10	14:20	14:35	14:07	13:45	13:13	14:07	13:42	13:46	15:18

Πηγή: (Nieman, 1999)

Πίνακας 4.13. Ποσοστιαία κατάταξη ατόμων κολεγιακού επιπέδου με βάση την επίδοσή τους (min:sec) στη δοκιμασία 1 μιλίου.

	%	99	75	50	25	5
Χρόνος	Ανδρες	5:06	6:12	6:49	7:32	9:47
	Γυναίκες	6:04	8:15	9:22	10:41	12:43

Πηγή: (Nieman, 1999)

Τρέξιμο 1,5 μιλίου (2414m)

$$1. \text{VO}_2\text{max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 88.02 + (3,716 \times \text{gender}) - (0,1656 \times \text{kg}) - (2,767 \times t)$$

Η παραπάνω εξίσωση εφαρμόζεται σε φοιτητές κολεγιακού επιπέδου (George, 1993).

$$2. \text{VO}_2\text{max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = (483 \div t) + 3,5$$

Όπου,

t: Χρόνος δοκιμασίας εκφρασμένος στο εγγύτερο 0,1min (πχ 30/60= 0,5min)

gender: Φύλο (0 για γυναίκες, 1 για άνδρες)

kg: σωματική μάζα

3,5: Μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας σε $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (1 MET)

Για την κατάταξη της επίδοσης των δοκιμαζομένων χρησιμοποιούνται οι Πίνακες 4.14 και 4.15.

Πίνακας 4.14 Ποσοστιαία κατάταξη επίδοσης ανδρών στην δοκιμασία 1,5μιλίου, ανάλογα με την ηλικιακή τους κατηγορία. Ο χρόνος είναι εκφρασμένος σε min:sec.

%	Ηλικία				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60+
99	7:29	7:11	7:42	8:44	9:30
95	8:13	8:44	9:30	10:40	11:20
90	9:09	9:30	10:16	11:18	12:20
85	9:45	10:16	11:18	12:20	13:22
80	10:16	10:47	11:44	12:51	13:53
75	10:42	11:18	11:49	13:22	14:24
70	10:47	11:34	12:34	13:45	14:53
65	11:18	11:49	12:51	14:03	15:19
60	11:41	12:20	13:14	14:24	15:29
55	11:49	12:38	13:22	14:40	15:55
50	12:18	12:51	13:53	14:55	16:07
45	12:20	13:22	14:08	15:08	16:27
40	12:51	13:36	14:29	15:26	16:43
35	13:06	13:53	14:47	15:53	16:58
30	13:22	14:08	14:56	15:57	17:14
25	13:53	14:24	15:26	16:23	17:32
20	14:13	14:52	15:41	16:43	18:00
15	14:24	15:20	15:57	16:58	18:31
10	15:10	15:52	16:28	17:29	19:15
5	16:12	16:27	17:23	18:31	20:04
1	17:48	18:00	18:51	19:36	20:57

Πηγή: (Nieman, 1999)

Πίνακας 4.15. Ποσοστιαία κατάταξη επίδοσης γυναικών στην δοκιμασία 1,5μιλίου, ανάλογα με την ηλικιακή τους κατηγορία. Ο χρόνος είναι εκφρασμένος σε min:sec.

%	Ηλικία				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60+
99	8:33	10:05	10:47	12:28	11:36
95	10:47	11:49	12:51	14:20	14:06
90	11:43	12:51	13:22	14:55	14:55
85	12:20	13:06	14:06	15:29	15:57
80	12:51	13:43	14:31	15:57	16:20
75	13:22	14:08	14:57	16:05	16:27
70	13:53	14:24	15:16	16:27	16:58
65	14:08	14:50	15:41	16:51	17:29
60	14:24	15:08	15:57	16:58	17:46
55	14:35	15:20	16:12	17:14	18:00
50	14:55	15:26	16:27	17:24	18:16
45	15:10	15:47	16:34	17:29	18:31
40	15:26	15:57	16:58	17:55	18:44
35	15:48	16:23	16:59	18:09	18:54
30	15:57	16:35	17:24	18:23	18:59
25	16:26	16:58	17:29	18:31	19:02
20	16:33	17:14	18:00	18:49	19:21
15	16:58	17:29	18:21	19:02	19:33
10	17:21	18:00	18:31	19:30	20:04
5	18:14	18:31	19:05	19:57	20:23
1	19:25	19:27	20:04	20:47	21:06

Πηγή: (Nieman, 1999)

Για την πρόβλεψη της VO_2max , χρησιμοποιούνται επίσης διαφόρων άλλων τύπων εξισώσεις οι οποίες έχουν εφαρμογή σε μεγάλη ποικιλία αποστάσεων. Ο σκοπός των δοκιμασιών αυτών, παραμένει ο ίδιος όπως και πριν και είναι η κάλυψη της προκαθορισμένης απόστασης στη μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Οι αποστάσεις των δοκιμασιών αυτών κυμαίνονται από 1,5km μέχρι και την απόσταση του μαραθωνίου δρόμου (42,195km) και παρουσιάζουν υψηλές τιμές συσχέτισης με την άμεση αξιολόγηση της VO_2max (0,88 – 0,98) (Tokmakidis et al 1988). Οι χρησιμοποιούμενες εξισώσεις καταγράφονται στον Πίνακα 4.16. και για την εφαρμογή ενός απαιτείται ο υπολογισμός ενός μέσης δρομικής ταχύτητας σε km/h. Το αποτέλεσμα εξάγεται σε τιμές MET, όπου ένα MET ισοδυναμεί με την VO_2max ηρεμίας ενός μέσου ατόμου και αντιστοιχεί στα $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Η VO_2max άσκησης αποτελεί το γινόμενο του αριθμού των MET και των $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Πίνακας 4.16. Υπολογισμός VO_2max από τη μέση δρομική ταχύτητα

Απόσταση	Εξίσωση παλινδρόμησης	Βαθμός εγκυρότητας
1,5km	$METs=2,4388+(0,8343 \times \text{km/h})$	0,95
1,6093 (1μίλι)	$METs=2,5043+(0,8400 \times \text{km/h})$	0,95
3km	$METs=2,9226+(0,8900 \times \text{km/h})$	0,98
5km	$METs=3,1747+(0,9139 \times \text{km/h})$	0,98
10km	$METs=4,7226+(0,8698 \times \text{km/h})$	0,88
42,195km (μαραθώνιος)	$METs=6,9021+(0,8246 \times \text{km/h})$	0,85

Πηγή: (Tokmakidis et al 1988)

Υπολογισμός μέσης δρομικής ταχύτητας: Ο υπολογισμός της μέσης δρομικής ταχύτητας (km/h) γίνεται αφού πολλαπλασιαστεί ο αριθμός των χιλιομέτρων που διένυσε ο δοκιμαζόμενος με το 60. Το γινόμενο που θα προκύψει διαιρείται στη συνέχεια με το χρόνο τερματισμού σε δεκαδική μορφή, όπου ο χρόνος των δευτερολέπτων διαιρείται με το 60 (πχ $30/60= 0,5\text{min}$), και το αποτέλεσμα αντιστοιχεί στη μέση δρομική ταχύτητα του δοκιμαζόμενου. Η κατάταξη της επίδοσης με βάση τον χρόνο τερματισμού στις συγκεκριμένες δοκιμασίες γίνεται με βάση τον Πίνακα 4.17.

Παράδειγμα:

Αν ο δοκιμαζόμενος διένυσε την απόσταση των 5km σε χρόνο 18:30 τότε ο υπολογισμός της μέσης δρομικής του ταχύτητας γίνεται ως ακολούθως:

1. $5 \text{ (αρ. χιλιομέτρων)} \times 60=300$
2. $18:30 \text{ (χρόνος)}= 18. (30/60) =18.5 \text{ (δεκαδική μορφή)}$
3. $300(1) \div 18:50 (2)= 16.2\text{km/h}$

Πίνακας 4.17. Υπολογισμός $VO_2\text{max}$ με βάση το χρόνο τερματισμού σε διαφορετικές αποστάσεις

$VO_2\text{max}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	Χρόνος τερματισμού (ώρες:λεπτά:δευτερόλεπτα)				
	1.5km	1mile (1609m)	5km	10km	42,2km
28	13:30	14:46	56:49	2:39:14	31:41:25
31,5	11:27	12:29	47:04	2:02:00	16:35:05
35	9:56	10:49	40:10	1:38:53	11:13:52
38,5	8:46	9:33	35:02	1:23:08	8:29:26
42	7:51	8:33	31:04	1:11:43	6:49:30
45,5	7:07	7:44	27:54	1:03:03	5:42:21
49	6:30	7:03	25:20	0:56:15	4:54:07
52,5	5:59	6:29	23:11	0:50:47	4:17:48
56	5:32	6:01	21:23	0:46:17	3:49:28
59,5	5:09	5:36	19:50	0:42:30	3:26:44
63	4:50	5:14	18:30	0:39:33	3:08:06
66,5	4:32	4:55	17:20	0:36:33	2:52:34
70	4:17	4:38	16:18	0:34:10	2:39:23
73,5	4:03	4:23	15:23	0:32:12	2:28:05
77	3:50	4:09	14:34	0:30:12	2:18:16
80,5	3:39	3:57	13:50	0:28:33	2:09:41
84	3:29	3:46	13:10	0:27:04	2:02:06
87,5	3:20	3:36	12:34	0:25:44	1:55:21

Πηγή: (Tokmakidis et al 1988)

Χαλαρό τρέξιμο 1 μιλίου

Η δοκιμασία αυτή έχει επινοηθεί για κολεγιακού επιπέδου φοιτητές οι οποίοι αδυνατούν να υποβληθούν σε μέγιστου τύπου δοκιμασία όπως είναι το τρέξιμο 1 ή 1,5 μιλίου.

Εγκαταστάσεις - Εξοπλισμός

- Λεία επίπεδη επιφάνια με καθορισμένο το σημείο αφετηρίας και τερματισμού (πχ δρόμος, αγωνιστικός στίβος)
- Ζυγαριά
- Χρονόμετρο

- Καρδιοσυχνόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής επίδοσης

Διαδικασία

1. Καθορισμός σωματικής μάζας
2. Οι δοκιμαζόμενοι ξεκινούν την προσπάθειά τους με το σύνθημα του αξιολογητή ο οποίος ενεργοποιεί ταυτόχρονα την συσκευή καταγραφής του χρόνου. Οι συμμετέχοντες επιλέγουν ένα σταθερό και άνετο ρυθμό τρεξίματος, τον οποίο διατηρούν καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας.
3. Καταγραφή καρδιακής συχνότητας κατά τη διάρκεια του τελευταίου λεπτού πριν από τον τερματισμό. Σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμο καρδιοσυχνόμετρο, τότε η καρδιακή συχνότητα καταγράφεται αμέσως μετά τον τερματισμό και λαμβάνεται με τη μέθοδο της ψηλάφησης για 10sec ή 15sec όπου στη συνέχεια ανάγεται στο 1min πολλαπλασιάζοντας επί 6 ή 4 αντίστοιχα. Σημεία ψηλάφησης μπορεί να είναι η κερκιδική ή η κερκιδική αρτηρία.
4. Με τον τερματισμό του κάθε δοκιμαζόμενου καταγράφεται ο χρόνος υλοποίησης της δοκιμασίας με ακρίβεια δευτερολέπτου.

Αποτέλεσμα

Για τον προσδιορισμό της VO_2max , έχει κατασκευαστεί η παρακάτω εξίσωση παλινδρόμησης: η οποία προβλέπει με σχετική ακρίβεια ($r=0.87$) την αερόβια ικανότητα.

$$VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = 100,5 + (8,344 \times gender) - (0,1636 \times kg) - (1,438 \times t) - (0,1928 b \cdot m^{-1})$$

Η εξίσωση αυτή παρουσιάζει υψηλό βαθμό εγκυρότητας ($r=0.87$) σε σχέση με την άμεση αξιολόγηση της VO_2max . Για την κατάταξη της επίδοσης στη συγκεκριμένη δοκιμασία χρησιμοποιείται ο πίνακας 18.

Βάδισμα 1 μιλίου (1609m)- Rockport One-Mile Fitness Walking Test

Πρόκειται για μια ασφαλή, εύκολη και έγκυρη δοκιμασία ($r=0.93$), στην οποία μπορούν να λάβουν μέρος άτομα όλων των ηλικιακών κατηγοριών υπό την προϋπόθεση ότι είναι εξοικειωμένα με την τεχνική της βάδισης (στην περίπτωση των ηλικιωμένων ατόμων). Οι συμμετέχοντες στη δοκιμασία αυτή καλούνται να καλύψουν βαδίζοντας στο συντομότερο δυνατό χρόνο την καθορισμένη απόσταση. Μπορεί να διεξαχθεί σε ανοιχτό χώρο ως υπαίθρια δοκιμασία αλλά και σε εργοδιάδρομο στο εργαστήριο ως εργαστηριακή δοκιμασία.

Εγκαταστάσεις - Εξοπλισμός

- Λεία επίπεδη επιφάνια με καθορισμένο το σημείο αφετηρίας και τερματισμού (πχ δρόμος, αγωνιστικός στίβος, εργοδιάδρομος)
- Χρονόμετρο
- Ζυγαριά
- Καρδιοσυχνόμετρο
- Πρωτόκολλα καταγραφής επίδοσης

Διαδικασία

1. Καθορισμός σωματικής μάζας
2. Οι δοκιμαζόμενοι ξεκινούν την προσπάθειά τους με το σύνθημα του αξιολογητή ο οποίος ενεργοποιεί ταυτόχρονα την συσκευή καταγραφής του χρόνου.
3. Καταγραφή καρδιακής συχνότητας κατά τη διάρκεια του τελευταίου λεπτού πριν από τον τερματισμό. Σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμο καρδιοσυχνόμετρο, τότε η καρδιακή συχνότητα καταγράφεται αμέσως μετά τον τερματισμό και λαμβάνεται με τη μέθοδο της ψηλάφησης για 10sec ή 15sec όπου στη συνέχεια ανάγεται στο 1min πολλαπλασιάζοντας επί 6 ή 4 αντίστοιχα. Σημεία ψηλάφησης μπορεί να είναι η κερκιδική ή η κερκιδική αρτηρία.
4. Με τον τερματισμό του κάθε δοκιμαζόμενου καταγράφεται ο χρόνος υλοποίησης της δοκιμασίας με ακρίβεια δευτερολέπτου.

Αποτέλεσμα

Για τον προσδιορισμό της VO_2max , μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω εξισώσεις παλινδρόμησης:

$$1. VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = 132,853 - (0,1695 \times kg) - (0,3877 \times age) + (6,315 \times gender) - (3,2649 \times t) - (0,1565 \times b \cdot m^{-1})$$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να εφαρμοστεί σε άνδρες και γυναίκες ηλικίας από 18 έως 75 ετών και παρουσιάζει σφάλμα πρόβλεψης $\pm 5 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$

$$2. VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = 6,9652 + (0,02 \times kg) - (0,0257 \times age) + (0,5955 \times gender) - (0,2240 \times t) - (0,0115 \times b \cdot m^{-1})$$

Παρέχονται επίσης από την βιβλιογραφία εξισώσεις οι οποίες αναφέρονται ξεχωριστά σε γυναίκες και άνδρες:

Γυναίκες:

$$3. VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = 139,168 - (0,388 \times age) - (0,0349 \times kg) - (3,265 \times t) - (0,156 \times b \cdot m^{-1})$$

Άνδρες:

$$4. VO_2max (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = 145,486 - (0,388 \times age) - (0,0349 \times kg) - (3,265 \times t) - (0,156 \times b \cdot m^{-1})$$

Όπου,

t: Χρόνος δοκιμασίας εκφρασμένος στο εγγύτερο 0,1min (πχ 30/60= 0,5min)

kg: Η σωματική μάζα του δοκιμαζόμενου

age: Η ηλικία του δοκιμαζόμενου σε έτη

gender: Φύλο (0 για γυναίκες, 1 για άνδρες)

$b \cdot m^{-1}$: Η ανά λεπτό καρδιακή συχνότητα κατά τον τερματισμό
Για την κατάταξη της επίδοσης των δοκιμαζόμενων χρησιμοποιείται ο Πίνακας 4.18.

Πίνακας 4.18. Κατηγοριοποίηση δοκιμαζόμενων με βάση την επίδοσή τους στη δοκιμασία βαδίσματος και χαλαρού τρεξίματος 1 μιλίου

Φύλο / Ηλικία	Επίδοση VO_2max ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)						
	Πολύ Φτωχή	Φτωχή	Μέση	Καλή	Πολύ καλή	Άριστη	Ολυμπιακή
Ανδρες							
20-29	<38	39-43	44-51	52-56	57-62	63-69	70+
30-39	<34	35-39	40-47	48-51	52-57	58-64	65+
40-49	<30	31-35	36-43	44-47	48-53	54-60	61+
50-59	<25	26-31	32-39	40-43	44-48	49-44	56+
60-69	<21	22-26	27-35	36-39	40-44	45-49	50+
Γυναίκες							
20-29	<28	29-34	35-43	44-48	49-53	54-59	60+
30-39	<27	28-33	34-41	42-47	48-52	53-58	59+
40-49	<25	26-31	32-40	41-45	46-50	51-56	57+
50-65	<21	22-28	29-36	37-41	42-45	46-49	50+

Πηγή: (Nieman, 1999)

4.19.2. Δοκιμασίες προκαθορισμένης διάρκειας

Στόχος των συγκεκριμένων δοκιμασιών είναι η κάλυψη της μεγαλύτερης δυνατής απόστασης στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Η διαδικασία διεξαγωγής, είναι η ίδια με τις δοκιμασίες προκαθορισμένης απόστασης, μόνο που στην περίπτωση αυτή είναι γνωστός εξ αρχής ο χρόνος άσκησης οπότε με τον τερματισμό θα πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση που καλύφθηκε. Ενώ οι δοκιμασίες αυτού του τύπου μπορούν να υλοποιηθούν εύκολα στο εργαστήριο με τη χρήση κυλιόμενου τάπητα (διάδρομος), όπου η διανυόμενη απόσταση καταγράφεται αυτόματα, η εφαρμογή τους στο γήπεδο καθίσταται δύσκολη καθώς δεν μπορεί εύκολα να υπολογισθεί η απόσταση που διανύθηκε. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί φυσικά να υπερκερασθεί με την χρήση σύγχρονου εξοπλισμού καταγραφής απόστασης μέσω δορυφόρου (GPRS), αλλά κάτι τέτοιο θα μείωνε την πρακτικότητα της δοκιμασίας.

Οι πιο διαδεδομένες δοκιμασίες προκαθορισμένης διάρκειας είναι η δοκιμασία 12min (Cooper test) και η δοκιμασία 15min (Balke test).

Δοκιμασία 12min (Cooper test) και 15min (Balke test)

Κατά τις δοκιμασίες των 12min και 15min, οι δοκιμαζόμενοι θα πρέπει να καλύψουν τη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση μέσα στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Πιο διαδεδομένη δοκιμασία για έφηβους και ενήλικες είναι αυτή των 12min, γνωστή και ως τεστ Cooper (Cooper 1968), η οποία ουσιαστικά αντικατέστησε την δοκιμασία των 15min. Όταν πρόκειται να αξιολογηθούν παιδιά προεφηβικής ηλικίας τότε η διάρκεια μειώνεται στα 9 ή 6min. Η ταχύτητα κατά τη προσπάθεια είναι σημαντικό να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα ώστε να αποφευχθεί ο πρόωρος κάματος

Εγκαταστάσεις - Εξοπλισμός

- Λεία επίπεδη επιφάνια με καθορισμένο το σημείο αφετηρίας και τερματισμού (πχ δρόμος, αγωνιστικός στίβος, εργοδιάδρομος)
- Χρονόμετρο
- Μετροταινία ή άλλος εξοπλισμός για υπολογισμό της απόστασης

Αποτέλεσμα

Για τον προσδιορισμό της VO_{2max} , χρησιμοποιούνται εξισώσεις παλινδρόμησης οι οποίες προβλέπουν με σχετική ακρίβεια την αερόβια ικανότητα.

Δοκιμασία 12min

$$VO_{2max} (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = 0,02233 \times (m) - 11,3$$

Δοκιμασία 15min

$$VO_{2max} (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) = 0,01187 \times (m) - 9,6$$

Όπου,

m: Η απόσταση σε μέτρα που διανύθηκε στην κάθε περίπτωση

Για την κατάταξη της επίδοσης των δοκιμαζομένων χρησιμοποιείται ο Πίνακας 4.19.

Πίνακας 4.19. Κατηγοριοποίηση δοκιμαζομένων με βάση την επίδοσή τους στη δοκιμασία τρεξίματος 12min.

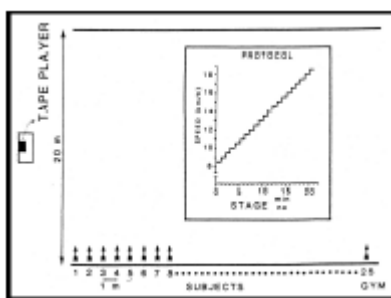
Φύλο / Ηλικία	Επίδοση					
	Πολύ Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Καλή	Πολύ καλή	Άριστη
Άνδρες						
13-19	<2.100	2.100-2.210	2.220-2.510	2.520-2.770	2.780-2.990	>3.000
20-29	<1.960	1.960-2.110	2.120-2.400	2.410-2.640	2.650-2.830	>2.840
30-39	<1.900	1.900-2.090	2.100-2.330	2.340-2.510	2.520-2.720	>2.730
40-49	<1.830	1.830-2.000	2.010-2.240	2.250-2.460	2.470-2.660	>2.670
50-59	<1.650	1.650-1.870	1.880-2.090	2.100-2.320	2.330-2.540	>2.550
60+	<1.400	1.400-1.640	1.650-1.930	2.940-2.120	2.130-2.500	>2.510
Γυναίκες						
13-19	<1.600	1.600-1.900	1.910-2.080	2.090-2.300	2.310-2.430	>2.440
20-29	<1.540	1.540-1.790	1.800-1.960	2.970-2.160	2.170-2.330	>2.340
30-39	<1.510	1.510-1.690	1.700-1.900	1.910-2.080	2.090-2.240	>2.250
40-49	<1.410	1.410-1.580	1.590-1.790	1.800-2.000	2.010-2.160	>2.170
50-59	<1.350	1.350-1.500	1.510-1.690	1.700-1.900	1.910-2.090	>2.100
60+	<1.250	1.250-1.390	1.400-1.580	1.590-1.750	1.760-1.900	>1.910

Πηγή: Κλεισούρας 1991

4.19.3 Δοκιμασίες προκαθορισμένης ταχύτητας

Παλίνδρομο Τρέξιμο Αντοχής 20m

Το παλίνδρομο τρέξιμο προοδευτικά αυξανόμενης έντασης, προτάθηκε ως δοκιμασία πρόβλεψης της VO_2max το 1982 από το πανεπιστήμιο του Montreal στον Καναδά (Leger και Lambert 1982). Παρουσιάζει εφαρμογή κυρίως σε αθλούμενα παιδιά και ενήλικες αλλά και αθλητές των οποίων η φύση του αθλήματος τους περιέχει συχνά σταματήματα και αλλαγές κατεύθυνσης (αθλοπαιδιές). Το 1983 υιοθετήθηκε από το Συμβούλιο της Ευρώπης ως μέρος των δοκιμασιών για την αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης παιδιών σχολικής ηλικίας.



Σχήμα 4.7. Το πρωτόκολλο δοκιμασίας που χρησιμοποιείται στο παλίνδρομο τρέξιμο αντοχής 20m

Η δοκιμασία αποτελείται από 21 στάδια, τα οποία διακρίνονται μεταξύ τους από εναλλαγές της ταχύτητας κίνησης, η οποία καθορίζεται μέσω ηχητικών σημάτων, και διεξάγεται σε οριοθετημένο χώρο μήκους 20m. Κατά τη διαδικασία, οι δοκιμαζόμενοι θα πρέπει σε κάθε ηχητικό σήμα να έχουν καλύψει την απόσταση των 20m και με επαναστροφή να συνεχίζουν την προσπάθειά τους ώστε σε κάθε επόμενο ηχητικό σήμα να βρίσκονται στο απέναντι όριο (Σχήμα 4.7.). Ο ρυθμός αυξάνεται προοδευτικά ανά λεπτό, όπου από αργός και εύκολος που είναι στην αρχή καθίσταται

προοδευτικά γρήγορος και δύσκολος. Αρχικά η δοκιμασία αποτελούταν από στάδια διάρκειας 2 λεπτών, όπου μετά από την παρατήρηση του (Berthoin et al 1994) ότι μεγαλύτερες ταχύτητες εξασφαλίζονται σε μικρότερης διάρκειας στάδια, τότε αυτά περιορίστηκαν στο 1 λεπτό. Η ταχύτητα στο πρώτο στάδιο είναι 8,5km/hr για τις γυναίκες και 10km/h για τους άνδρες, ενώ αυξάνεται κατά 0,5km/hr σε κάθε επόμενο στάδιο.

Οι δοκιμαζόμενοι οι οποίοι κατά τη διαδικασία εκτέλεσης του τεστ παρεκκλίνουν των προδιαγραφών της δοκιμασίας, αποσύρονται από αυτή. Ως επίδοση, καταγράφεται το στάδιο στο οποίο τερματίζεται η προσπάθειά συνυπολογιζομένου του αριθμού των παλινδρομήσεων που έγιναν στο στάδιο αυτό. Εναλλακτικά η επίδοση αυτή μπορεί να εκφραστεί σε τιμές VO_2max μέσω ενός πίνακα ο οποίος κατασκευάστηκε από το πανεπιστήμιο του Loughborough.

Εγκαταστάσεις - Εξοπλισμός

- Μία επίπεδη, στερεά επιφάνια μήκους τουλάχιστον 20m.
- Συσκευή αναπαραγωγής ήχου.
- Κασέτα ή CD με τις προδιαγραφές της δοκιμασίας.
- Αθλητικά υποδήματα τα οποία εμποδίζουν το γλίστρημα.
- Μετροταινία για μέτρηση της απόστασης των 20m.
- Κώνοι σήμανσης.
- Βοηθεί ανάλογα με τον αριθμό των συμμετεχόντων για καταγραφή της επίδοσης.

- Πρωτόκολλα καταγραφής επίδοσης

Διαδικασία

1. Επεξήγηση της δοκιμασίας στους συμμετέχοντες.
2. Καθώς τα αρχικά στάδια της δοκιμασίας διεξάγονται με πολύ αργή ταχύτητα, αυτά συμβάλλουν στην προθέρμανσή των δοκιμαζομένων. Εντούτοις προτείνεται όπως πραγματοποιηθεί πριν από την έναρξη της δοκιμασίας ελαφρύ τρέξιμο συνοδευόμενο από διατακτικές ασκήσεις.
3. Έναρξη της διαδικασίας. Στα αρχικά στάδια του πρώτου σταδίου, είναι καλό στη προσπάθεια να συμμετάσχει και ένας από τους αξιολογητές ο οποίος να εισάγει τους δοκιμαζόμενους στο ρυθμό. Κάλυψη της απόστασης των 20m θεωρείται αυτή κατά την οποία τουλάχιστον το ένα πόδι του δοκιμαζόμενου αγγίζει την γραμμή τερματισμού. Σε περίπτωση που οι δοκιμαζόμενοι φθάσουν στο τέρμα πριν από το άκουσμα του χαρακτηριστικού ήχου, τότε θα πρέπει αφού κάνουν την επαναστροφή να περιμένουν για το ηχητικό σήμα ώστε να συνεχίσουν το τρέξιμο.
4. Τερματισμός της διαδικασίας. Η προσπάθεια τερματίζεται όταν ο δοκιμαζόμενος δεν μπορεί να διατηρήσει άλλο την ταχύτητα κίνησης, ή όταν καλύπτει απόσταση μικρότερη των 20m προκειμένου να διατηρηθεί στο ρυθμό. Συνιστάται όπως, προτού γίνει αυτό να δίνονται δύο τουλάχιστον προφορικές προειδοποιήσεις. Επίσης, η αποχώρηση δεν πρέπει να γίνεται από την πρώτη αποτυχημένη προσπάθεια αλλά θα πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα προσαρμογής του δοκιμαζόμενου σε κάθε επόμενο στάδιο. Κατά την αποχώρηση, ένας εκ των βοηθών, καταγράφει το επίπεδο στο οποίο ο δοκιμαζόμενος τερμάτισε την προσπάθειά του και τον αριθμό των παλινδρομήσεων που έγιναν στο συγκεκριμένο επίπεδο.

Αποτελέσματα

Ως επίδοση της δοκιμασίας μπορεί να θεωρηθεί το στάδιο και ο αριθμός των παλινδρομήσεων κατά τον τερματισμό του δοκιμαζόμενου (πχ 15^ο στάδιο και 3 παλινδρομήσεις). Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμεύσουν σε μεταγενέστερο στάδιο για έλεγχο της προόδου αλλά και για σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ατόμων. Παράλληλα, η επίδοση μπορεί να εκφραστεί και σε τιμές $\dot{V}O_2\max$, σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις ή τον Πίνακα 4.20.

Εξισώσεις**Γενικός πληθυσμός**

$$1. \text{VO}_2\text{max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 31,025 + 3,238 \times V - 3,248 \times \text{age} + 0,1536 \times (\text{age} \times V)$$

Ενήλικες

$$2. \text{VO}_2\text{max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = -24,4 + 6.0 \times V$$

Όπου,

age: Η ηλικία του δοκιμαζόμενου σε έτη

V: Η δρομική ταχύτητα κατά το στάδιο εγκατάλειψης της δοκιμασίας ($\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$)

Θα πρέπει εντούτοις να επισημανθεί ότι ενδέχεται να παρουσιαστούν διακυμάνσεις στην επίδοση ανάλογα με τον πληθυσμό από τον οποίο προέρχονται οι δοκιμαζόμενοι. Για παράδειγμα η επίδοση αθλητών ομαδικών αθλημάτων στα οποία παρατηρούνται συχνά αλλαγές κατεύθυνσης, μπορεί να υπερεκτιμηθεί συγκριτικά με δρομείς αποστάσεων οι οποίοι έχουν συνηθίσει στο ευθύγραμμο τρέξιμο (Leger και Lambert 1982).

Πίνακας 4.20. Προβλεπόμενες τιμές $VO_2\max$ με βάση το παλίνδρομο τρέξιμο αντοχής

Στάδιο	Παλινδρ.	$VO_2\max$	Στάδιο	Παλινδρ.	$VO_2\max$	Στάδιο	Παλινδρ.	$VO_2\max$
4	2	26,8	11	8	52,5	17	8	72,9
4	4	27,6	11	10	53,1	17	10	73,4
4	6	28,3	11	12	53,7	17	12	73,9
4	9	29,5				17	14	74,4
			12	2	54,3			
5	2	30,2	12	4	54,8	18	2	74,8
5	4	31,0	12	6	55,4	18	4	75,3
5	6	31,8	12	8	56,0	18	6	75,8
5	9	32,9	12	10	56,5	18	8	76,2
			12	12	57,1	18	10	76,7
6	2	33,6				18	12	77,2
6	4	34,3	13	2	57,6	18	15	77,9
6	6	35,0	13	4	58,2			
6	8	35,7	13	6	58,7	19	2	78,3
6	10	36,4	13	8	59,3	19	4	78,6
			13	10	59,8	19	6	79,2
7	2	37,1	13	13	60,6	19	8	79,7
7	4	37,8				19	10	80,2
7	6	38,5	14	2	61,1	19	12	80,6
7	8	39,2	14	4	61,7	19	15	81,3
7	10	39,9	14	6	62,2			
			14	8	62,7	20	2	81,8
8	2	40,5	14	10	63,2	20	4	82,2
8	4	41,1	14	13	64,0	20	6	82,6
8	6	41,8				20	8	83,0
8	8	42,4	15	2	64,6	20	10	83,5
8	11	43,3	15	4	65,1	20	12	83,9
			15	6	65,6	20	14	84,3
9	2	43,9	15	8	66,2	20	16	84,8
9	4	44,5	15	10	66,7			
9	6	45,2	15	13	67,5	21	2	85,2
9	8	45,8				21	4	85,6
9	11	46,8	16	2	68,0	21	6	86,1
			16	4	68,5	21	8	86,5
10	2	47,4	16	6	69,0	21	10	86,9
10	4	48,0	16	8	69,5	21	12	87,4
10	6	48,7	16	10	69,9	21	14	87,8
10	8	49,3	16	12	70,5	21	16	88,2
10	11	50,2	16	14	70,9			
11	2	50,8	17	2	71,4			
11	4	51,4	17	4	71,9			
11	6	51,9	17	6	72,4			

Πηγή: Loughborough University and the National Coaching Foundation (1998)

Υπολογισμός χρόνου κάλυψης διαδρομών (παλινδρομήσεων)

Γνωρίζοντας ότι η αρχική ταχύτητα της δοκιμασίας είναι 8,5km/hr και αυτή αυξάνεται κατά 0,5km/hr σε κάθε στάδιο, τότε ο χρόνος κάλυψης κάθε διαδρομής 20m σε οποιοδήποτε στάδιο, μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

Χρόνος κάλυψης διαδρομής 20m = $72 \div \{[(\text{Στάδιο} - 1) \times 0,5] + 8,5\}$

Παράδειγμα: Υπολογισμός χρόνου κάλυψης 20m στο 11^ο στάδιο

Χρόνος κάλυψης διαδρομής 20m = $72 \div \{[(11 - 1) \times 0,5] + 8,5\} = 5.33\text{sec}$

Υπολογισμός αριθμού παλινδρομήσεων σε κάθε στάδιο

Γνωρίζοντας ότι η αρχική ταχύτητα της δοκιμασίας είναι 8,5km/hr και αυτή αυξάνεται κατά 0,5km/hr σε κάθε στάδιο, τότε ο αριθμός των παλινδρομήσεων σε κάθε στάδιο, μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

Αριθμός παλινδρομήσεων = $\{[(\text{Στάδιο} - 1) \times 0,5] + 8,5\} \times 0,838$

Παράδειγμα: Αριθμός παλινδρομήσεων 17^{ου} σταδίου

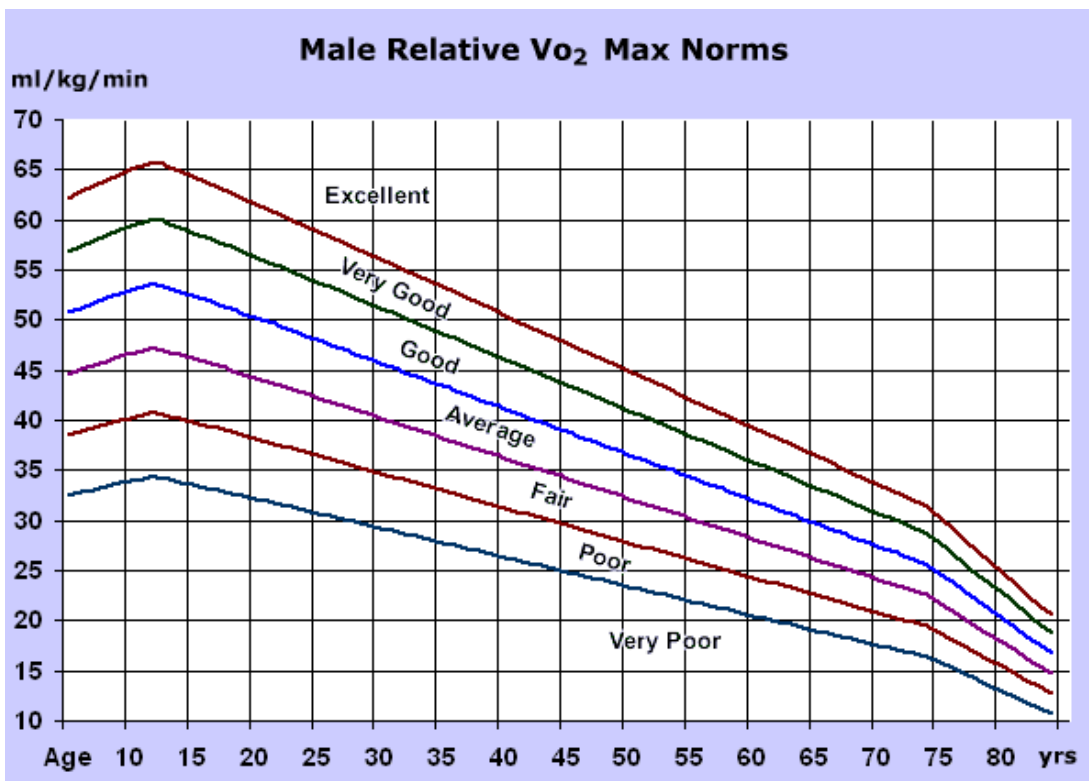
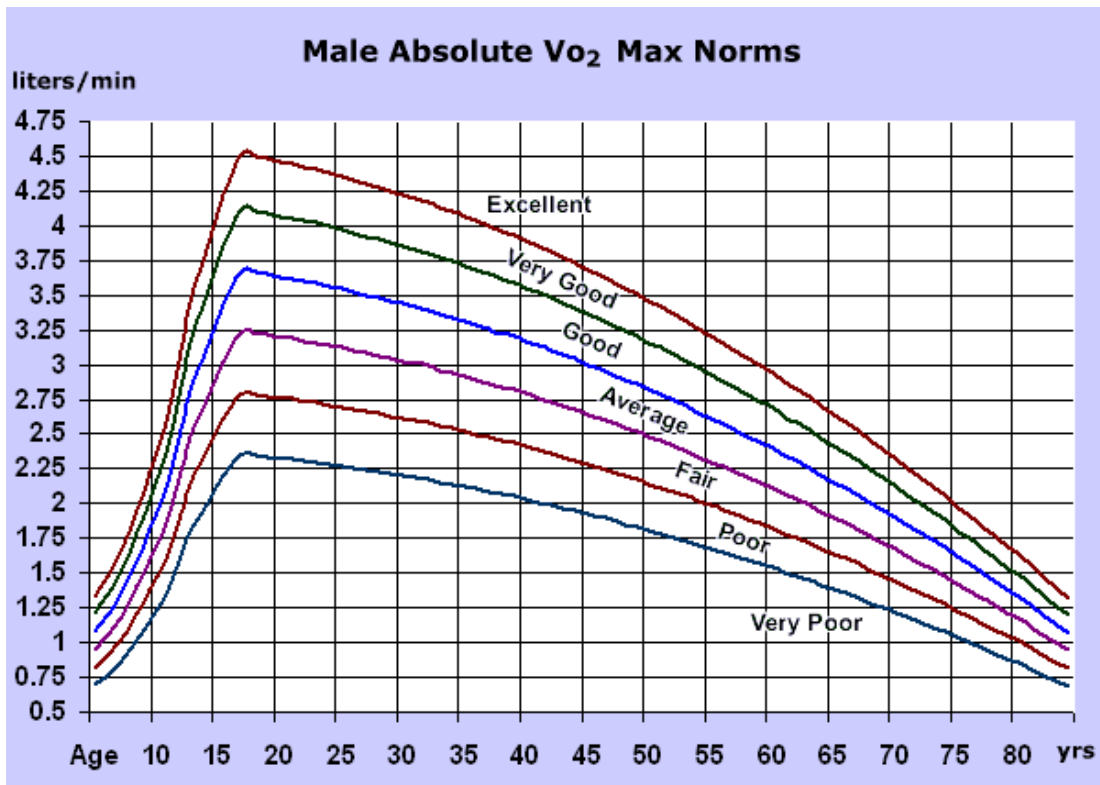
Αριθμός παλινδρομήσεων = $\{[(17 - 1) \times 0,5] + 8,5\} \times 0,838 = 13,827 = 14$ (στρογγυλοποίηση)

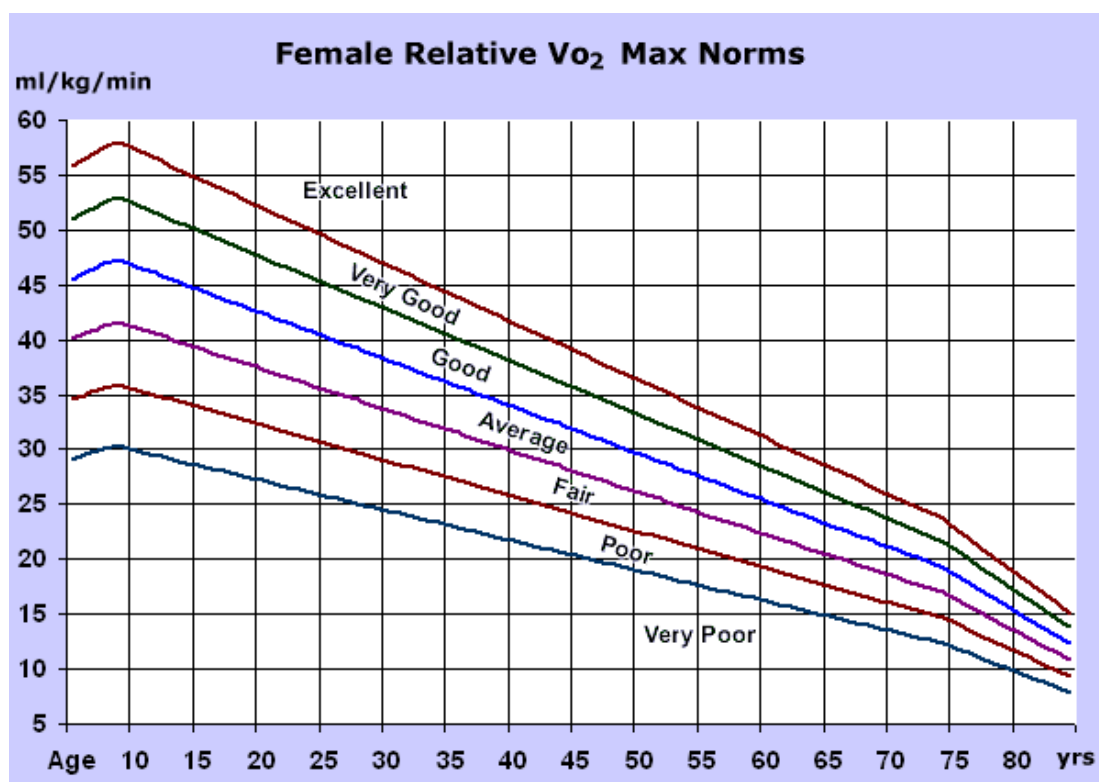
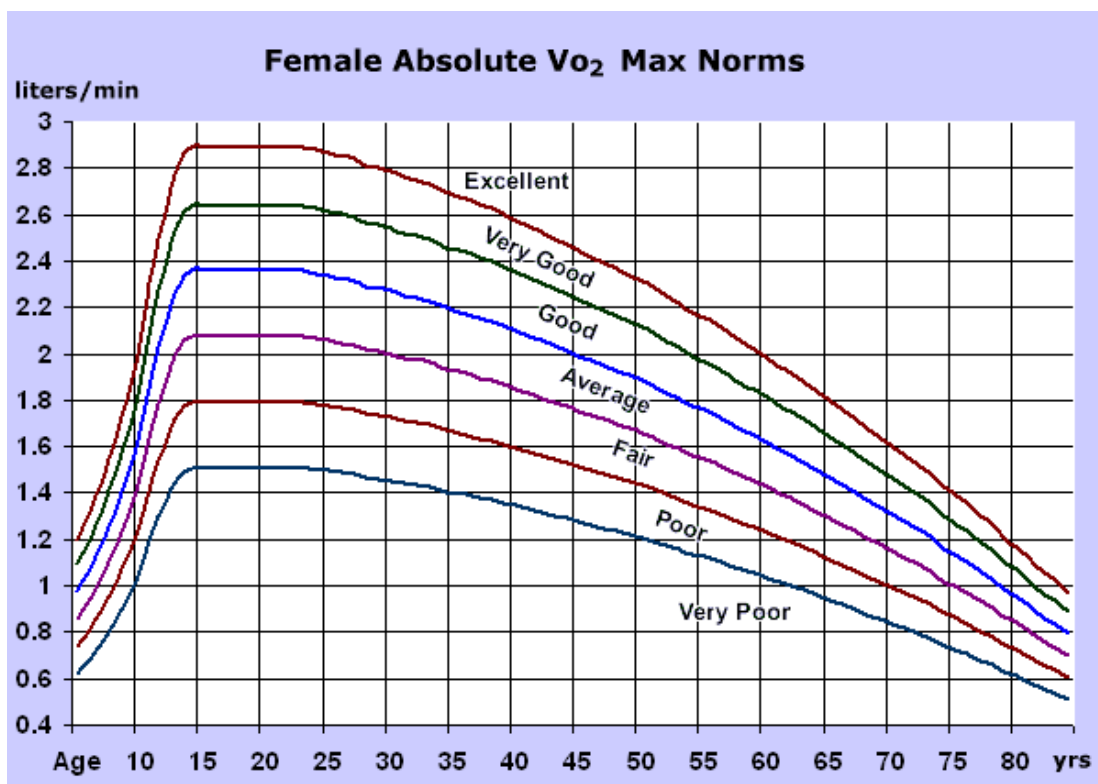
Βιβλιογραφία

- 1 American College of Sports Medicine (1995). *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 5th ed. Philadelphia, Pa: Lea & Febiger
- 2 American College of Sports Medicine (2000). *Guidelines for exercise testing and prescription*. 6th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Maryland, USA
- 3 Astrand I (1960). Aerobic capacity in men and women with special reference to age. In: Noonan, V. and Dean, E. (2000). Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Phys Ther*, 80: 782–807
- 4 Astrand, P.O. and Ryhming, I (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. In: Noonan, V. and Dean, E. (2000). Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Phys Ther*, 80: 782–807
- 5 Balke B. and Ware, R.W (1959). An experimental study of “physical fitness” of air force personnel. In Nieman, D.C. (1999) (ed). *Exercise testing and prescription. A health related approach*. Mayfield Publishing Company, California, USA
- 6 Berthoin, S., Gerbeaux, M. and Turpin, E. (1994). Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. *J Sports Sci*, 12:355–362.
- 7 Buchfuhrer, M.J., Hansen, J.E., Robinson, T.E., Sue, D.Y., Wasserman, K. and Whipp, B.J. (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol*, 55: 558-564.
- 8 Cooper, K.H. (1977). *The aerobics way*. New York: M. Evans and Co
- 9 Cureton, K.J., Sloniger, M.A., O’ Bannon, J.P., Black, D.M. and McCormack, W.P. (1995). A generalized equation for prediction of VO₂peak from 1-mile run/ walk performance. *Med Sci Sports Exerc*, 27: 445-451
- 10 Davis, J.A. and F.W. Kasch (1975). Aerobic and anaerobic differences between maximal running and cycling in middle aged males. *Austr J Sports Med*, 7: 81-84
- 11 George, J.D., Vehrs, R.P., Allsen, P.E., Fellingham, G.W. and Fisher, A.G. (1993). VO₂max estimation from a submaximal 1-mile track jog for fit college-age individuals. *Med Sci Sports Exerc*, 25: 401-406
- 12 Golding, L.A., Meyers, C.R and Sinning W.E. (1989). Y’s way to Physical Fitness: The complete guide to fitness testing and instruction. 3rd ed. Champaign IL, Human Kinetics.
- 13 Leger, L., and Gadoury, C. (1989). Validity of the 20m shuttle run test with 1 minute stages to predict VO₂max in adults. *Can J Sport Sci*, 14:1 21-26
- 14 Leger, L.A. and Lambert, J (1982). A maximal multistage 20m shuttle run test to predict VO₂max. *Eur J Appl Physiol*, 49: 1-5
- 15 Leger, L.A., Mercier, D., Gadoury, C. and Lambert, J. (1988). The multistage 20meter shuttle run for aerobic fitness. *J Sports Sci*, 6:93–101.
- 16 Loughborough University and the National Coaching Foundation (1998). Multistage fitness test for the prediction of maximum oxygen uptake. National Coaching Foundation, Leeds, UK
- 17 Magel, J.R.F. (1967). Maximum oxygen uptake of college swimmers. *J Appl Physiol*, 22: 929.
- 18 McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L. (1996). *Exercise physiology: energy, nutrition and human performance*. 4 ed. Baltimore: Williams and Wilkins. 849.
- 19 McLaughlin, J.E., King, G.A., Howley, E.T., Bassett, D.R.J. and Ainsworth B.E. (2001). Validation of the COSMED K4 b² Portable Metabolic System. *Int J Sports Med*, 22: 280-284

- 20 Morrow, J.R., Jackson, A.W., Disch, J.G. and Mood, D.P. (2000). *Measurement and evaluation in human performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, USA
- 21 Myers J. (1996). *Essentials of cardiopulmonary exercise testing*. Champaign, IL: Human Kinetics
- 22 Nieman, D.C. (1999). *Exercise testing and prescription. A health related approach*. Mayfield Publishing Company, California, USA
- 23 Noonan, V. and Dean, E. (2000). Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Phys Ther*, 80: 782–807
- 24 Shvartz, E., and Reibold, R.C. (1990). Aerobic fitness norms for males and females aged 6-75: A review. *Av Space Env Med*, 61: 3-11
- 25 Sicinolfi, S.F., Culinae, E.M., Carleton, R.A. and Thompson, P.D. (1982). Assessing VO₂ in Epidemiologic StudiesQ Modification of the Astrand – Rhyming Test. *Med Sci Sports Exerc*. 14: 335
- 26 Sjöstrand, T (1947). Changes in the respiratory organs at an ore melting works. In: Κλεισούρας, Β. (1991) (Εκδ). *Εργομετρία. Μέτρηση της μυϊκής προσπάθειας*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- 27 Thoden, J.S. (1991). *Testing aerobic power*. In *Physiological testing of the high performance athlete*, J.D. MacDougall, Wenger, H.A. and Green, H.J., Editor. 1991, Human Kinetics: Champaign. p. 107-173.
- 28 Tokmakidis, S.P., Léger, L., Mercier, D, Péronnet, F. and Tibault G. (1987). New approaches to predict VO₂max and endurance from running performance. *J Sports Med*, 27: 401-409
- 29 Κλεισούρας, Β. (1990). *Εργοφυσιολογία. Φυσιολογική βάση της μυϊκής προσπάθειας*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- 30 Κλεισούρας, Β. (1991). *Εργομετρία. Μέτρηση της μυϊκής προσπάθειας*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Σχηματικές Νόρμες VO₂max Ανδρών - Γυναικών





Πηγή: Shvartz, E. and Reibold, R.C. (1990). Aerobic fitness norms for males and females aged 6-75: A review. *Av Space Env Med*, 61: 3-11

5.1. Σκοπός εργαστηρίου

Να παρουσιάσει, να συγκρίνει και να αξιολογήσει τα δεδομένα και τις τιμές που προκύπτουν από έγκυρες, αξιόπιστες και αντικειμενικές εργαστηριακές ή υπαίθριες δοκιμασίες αναερόβιας ικανότητας

5.2 Εισαγωγή

Βιολογικές ικανότητες όπως η αερόβια ισχύς, η μυϊκή δύναμη, η μυϊκή ισχύς, η αναερόβια ικανότητα είναι σημαντικές για αρκετές αθλητικές δραστηριότητες. Οι παραπάνω ικανότητες συνήθως αξιολογούνται κατά διαστήματα (μερικές εβδομάδες ή μήνες) από ειδικούς επιστήμονες σε κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια ή από το γυμναστή στο γυμναστήριο. Ο στόχος αυτής της περιοδικής αξιολόγησης είναι ο καλύτερος σχεδιασμός της ημερήσιας προπόνησης με βάση τις ατομικές ικανότητες του ασκούμενου αλλά και ο έλεγχος των μεταβολών μετά από την εφαρμογή ενός προγράμματος άσκησης για μια περίοδο μερικών εβδομάδων. Αυτές οι διαδικασίες μπορεί να εφαρμοστούν όχι μόνο σε αθλητές αλλά και σε υγιείς ή ασθενείς ασκούμενους (κάτω από κατάλληλη ιατρική επίβλεψη). Σε αντίθεση με την αερόβια ισχύ η οποία αξιολογείται με ειδικά εγκεκριμένα πρωτόκολλα και η αξιολόγησή της είναι εύκολη (π.χ. εκφράζεται σε L/min ή σε ml/kg/min) η αξιολόγηση και ποσοτικοποίηση της αναερόβιας ικανότητας είναι μια πιο δύσκολη διαδικασία και εφαρμόζεται κυρίως σε υγιείς ασκούμενους αφού απαιτεί την εφαρμογή μέγιστης προσπάθειας.

5.3. Τι είναι η αναερόβια ικανότητα

Κατά τη διάρκεια της άσκησης το μυϊκό σύστημα για να παράγει κίνηση χρησιμοποιεί τη διαθέσιμη ενέργεια που παρέχεται από τον αερόβιο και τον αναερόβιο μεταβολισμό. Η ποσοστιαία συμμετοχή από τον αερόβιο και τον αναερόβιο μεταβολισμό εξαρτάται κυρίως από τη διάρκεια και την ένταση της προσπάθειας.

Σε προσπάθειες μέγιστης έντασης και μικρής διάρκειας (1 έως 60 δευτερόλεπτα) το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας παρέχεται από τον αναερόβιο μεταβολισμό. Ο αναερόβιος μεταβολισμός συμμετέχει σημαντικά και σε προσπάθειες με διάρκεια 2 – 3 λεπτά. Κατά συνέπεια τα ενεργειακά αποθέματα (υποστρώματα) του αναερόβιου μεταβολισμού προοδευτικά εξαντλούνται. Αυτό σημαίνει ότι η ικανότητα παραγωγής αναερόβιου έργου προοδευτικά περιορίζεται και η ένταση της προσπάθειας πρέπει να μειωθεί. Αυτή η μείωση της έντασης της προσπάθειας θα επιτρέψει τη συνέχιση της προσπάθειας αλλά με αυξημένη συμμετοχή από τον αερόβιο μεταβολισμό. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η αναερόβια ικανότητα είναι ένα πεπερασμένο μέγεθος. Αυτό σημαίνει ότι το μέγεθός της είναι συγκεκριμένο και εξαντλείται σε συγκεκριμένο χρόνο στη διάρκεια της έντονης άσκησης. Για παράδειγμα η φωσφοκρεατίνη εξαντλείται μετά από περίπου 30 δευτερόλεπτα μέγιστης προσπάθειας. Στο ίδιο χρονικό διάστημα η αυξημένη ενεργοποίηση της γλυκόλυσης θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των ιόντων υδρογόνου (H⁺) και θα μειώσει το pH στους μύες με συνέπεια την κόπωση και διακοπή της προσπάθειας. Παρά το γεγονός ότι τα H⁺ δεν είναι οι μοναδικοί παράγοντες που προκαλούν κόπωση, η προσπάθεια θα συνεχιστεί μόνο εάν τα αποθέματα PCr και τα ρυθμιστικά συστήματα του οργανισμού επιτρέψουν τη συνέχιση της λειτουργίας της γλυκόλυσης.

Είναι σαφές λοιπόν ότι ο ασκούμενος ή ο αθλητής που έχει αυξημένα αποθέματα PCr και ικανότητα να διατηρεί τη λειτουργία της γλυκόλυσης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στη διάρκεια μέγιστης προσπάθειας χαρακτηρίζεται από αυξημένη αναερόβια ικανότητα. Αυτό σημαίνει ότι έχει την ικανότητα να ανασυνθέτει και να χρησιμοποιεί μεγάλη ποσότητα τριφωσφορικής αδεοσίνης (ATP) από τον αναερόβιο μεταβολισμό.

5.4. Ορισμοί

Αναερόβια ικανότητα είναι το σύνολο του αποθηκευμένου σε μύες ATP, και του ATP που μπορεί να ανασυντεθεί από την PCr και τη γλυκόλυση κατά τη διάρκεια της άσκησης μέγιστης έντασης.

Αναερόβια ισχύς είναι ο ρυθμός με τον οποίο διατίθεται η αποθηκευμένη αναερόβια ενέργεια στη μονάδα του χρόνου.

5.5. Αξιολόγηση της αναερόβιας ικανότητας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η αξιολόγηση της αναερόβιας ικανότητας δεν είναι μια εύκολη διαδικασία. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν είναι εύκολο να μετρηθούν τα αποθέματα ATP, PCr, μυϊκού γλυκογόνου για να προσδιοριστεί το αναερόβιο δυναμικό. Για να γίνει αυτό απαιτείται η λήψη ενός δείγματος μυός και περαιτέρω βιοχημική ανάλυση για να υπολογιστεί στη συνέχεια το σύνολο των υποστρωμάτων του αναερόβιου μεταβολισμού. Είναι προφανές

ότι αυτή η διαδικασία είναι χρονοβόρα και επώδυνη για αθλητές αλλά και ασκούμενους. Στην αθλητική πρακτική εφαρμόζονται δοκιμασίες οι οποίες μπορεί να εκφράσουν το αναερόβιο δυναμικό του ατόμου που αξιολογείται. Μερικές από αυτές τις δοκιμασίες είναι i) η δοκιμασία Wingate, ii) η αξιολόγηση του μέγιστου συσσωρευμένου ελλείμματος οξυγόνου, iii) επαναλαμβανόμενα άλματα σε ειδικό τάπητα, iv) υπαίθριες δοκιμασίες. Οι πρώτες δύο διαδικασίες απαιτούν ειδικό εξοπλισμό και ολοκληρώνονται στο εργαστήριο. Η τρίτη διαδικασία απαιτεί εξοπλισμό αλλά μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε κλειστό ή ανοικτό χώρο και η τέταρτη διαδικασία μπορεί να γίνει στο χώρο άσκησης χωρίς ειδικό εξοπλισμό με τη χρήση μόνο του χρονομέτρου.

5.6. Η δοκιμασία Wingate

Η δοκιμασία καταγράφει το μηχανικό έργο που μπορεί να παράγει ο ασκούμενος στη διάρκεια ποδηλασίας με μέγιστη ένταση και για διάρκεια 30 δευτερόλεπτα. Εκτελείται σε ειδικό ποδηλατοεργόμετρο συνδεδεμένο με Η/Υ στον οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα στη διάρκεια της δοκιμασίας. Στη δοκιμασία καταγράφεται η μέση ισχύς, η μέγιστη ισχύς, ο δείκτης κόπωσης και ο μέγιστος ή μέσος ρυθμός περιστροφής των ποδιών (ή χεριών). Η μέση ισχύς εκφράζεται σε Watts (απόλυτες τιμές) ή σε Watts/kg (σχετικές τιμές). Η μέγιστη ισχύς είναι η ισχύς που καταγράφεται για 5 συνεχόμενα δευτερόλεπτα σε οποιαδήποτε στιγμή στη δοκιμασία (συνήθως στα πρώτα 5 δευτερόλεπτα) και αυτή εκφράζεται με τις ίδιες μονάδες μέτρησης όπως η μέση ισχύς. Ο δείκτης κόπωσης είναι η ποσοστιαία μεταβολή της ισχύος από τη μέγιστη έως την ελάχιστη τιμή σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Δείκτης Κόπωσης} = ((\text{Μέγιστη ισχύς} - \text{Ελάχιστη ισχύ}) / \text{Μέγιστη Ισχύ}) \times 100$$

Σε αναβαθμισμένα λογισμικά είναι δυνατή η καταγραφή της ισχύος και του ρυθμού ποδηλάτησης για κάθε δευτερόλεπτο, ενώ μπορεί να επιτευχθεί ακόμα υψηλότερη συχνότητα λήψης δεδομένων. Η δοκιμασία μπορεί να εφαρμοστεί και με τα χέρια σε ειδικά τροποποιημένο εργόμετρο. Η αντίσταση με την οποία διεξάγεται η δοκιμασία είναι συνήθως 0,075 kg/kg ΜΣ (ΜΣ: Μάζας Σώματος). Χαμηλότερη αντίσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμασία όταν διεξάγεται με τα χέρια ενώ υψηλότερη αντίσταση έχει χρησιμοποιηθεί σε μερικές μελέτες (0,094 - 0,098 kg/kg ΜΣ). Τα δεδομένα κάθε ασκούμενου μπορεί να συγκριθούν με τιμές που έχουν παρατηρηθεί σε ασκούμενους ίδιας ηλικίας, φύλου, αθλήματος και ο ασκούμενος μπορεί να καταταχθεί σύμφωνα με τον αντίστοιχο πληθυσμό στον οποίο ανήκει (ομάδα ασκούμενων ή μη). Στον Πίνακα 5.1. εμφανίζονται δεδομένα για γυμνασμένους άνδρες και γυναίκες ηλικίας 18-28 ετών από μία δοκιμασία Wingate. Αδυναμίες της δοκιμασίας είναι ότι δεν μπορεί να εξειδικευτεί για αθλήματα εκτός της ποδηλασίας και η μικρή διάρκεια

(30 δευτερόλεπτα) είναι πιθανό να μην εξαντλεί το σύνολο του αναερόβιου δυναμικού του ασκούμενου.

Πίνακας 1. Απόλυτες (W) και σχετικές τιμές (W/kg) τιμές ισχύος στη δοκιμασία Wingate σε γυμνασμένους άνδρες και γυναίκες 18-28 ετών. Πίνακας τροποποιημένος από Hoffman (2006).

Εκατοστιαία θέση (percentile ranks) για τη δοκιμασία Wingate σε γυμνασμένους άνδρες – γυναίκες				
Εκατοστιαία θέση	Άνδρες		Γυναίκες	
	(W)	(W/kg)	(W)	(W/kg)
90	662	8,2	470	7,3
80	618	8,0	419	7,0
70	600	7,9	410	6,8
60	577	7,6	391	6,6
50	565	7,4	381	6,4
40	548	7,1	367	6,1
30	530	7,0	353	6,0
20	496	6,6	337	5,7
10	471	6,0	306	5,3

Wingate test σε εργοποδήλατο Monark με επιβάρυνση 0,075 kg/kg ΜΣ. Άνδρες n=60, γυναίκες n=69.

Στον Πίνακα 5.2. εμφανίζονται τιμές ισχύος στη δοκιμασία Wingate σε αθλητές διαφόρων αθλημάτων και στον Πίνακα 5.3. εμφανίζονται τιμές για την ίδια δοκιμασία όταν εκτελείται σε χειροεργόμετρο από αγύμναστους άνδρες και γυναίκες.

5.7. Αξιολόγηση αναερόβιας ικανότητας με τη μέθοδο του μέγιστου συσσωρευμένου ελλείμματος οξυγόνου

Ο υπολογισμός του μέγιστου συσσωρευμένου ελλείμματος οξυγόνου αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο εκτίμησης της αναερόβιας ικανότητας. Με αυτή τη διαδικασία είναι δυνατό να γίνει εκτίμηση της αναερόβιας ικανότητας σε διαφορετικές μορφές άσκησης όπως ποδηλασία, τρέξιμο, κωπηλασία, κολύμβηση. Απαιτείται η χρήση ειδικού εξοπλισμού για τη συνεχή καταγραφή της κατανάλωσης οξυγόνου σε τρεις διαφορετικές δοκιμασίες i) μια σειρά από 10 στάδια προοδευτικά αυξανόμενης έντασης άσκηση με εύρος 30-90% της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, ii) δοκιμασία προσδιορισμού της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου (VO₂max), iii) δοκιμασία 2-3 λεπτών με ένταση 110-120% της VO₂max. Η κατανάλωση οξυγόνου στη διάρκεια της τελευταίας δοκιμασίας εκφράζει την ενέργεια που καταναλώνεται από τον αερόβιο μεταβολισμό και η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται για την ολοκλήρωση της προσπάθειας αντλείται από τον αναερόβιο μεταβολισμό και εκφράζει την αναερόβια ικανότητα του ασκούμενου. Δηλαδή το έλλειμμα οξυγόνου είναι η διαφορά μεταξύ του συνολικά απαιτούμενου από το προσληφθέν οξυγόνο και εκφράζει την αναερόβια ικανότητα.

Πίνακας 2. Δεδομένα μέγιστης και μέσης ισχύος σε απόλυτες και σχετικές τιμές για αθλητές διαφόρων αθλημάτων. Πίνακας τροποποιημένος από Hoffman (2006).

Δεδομένα από τη δοκιμασία Wingate σε αθλητές διαφόρων αθλημάτων							
Πληθυσμός	Φ	Μέγιστη Ισχύς		Μέση Ισχύς		Αντίσταση	Πηγή
		(W)	(W/kg)	(W)	(W/kg)		
Καλαθοσφαίριση							
NCAA	Γ	663(98)	9,5(1,4)	498(51)	7,2(0,7)		LaMonte et al., 1999
Περιφερειακοί		629(79)	10,2(1,2)	477(45)	7,7(0,7)		
Πρωθήμενοι		693(106)	9,4(1,3)	516(49)	7,1(0,8)		
Κεντρικοί		668(79)	8,3(1,2)	502(58)	6,3(0,7)		
Διεθνείς	A		14,4(1,7)		9,1(1,2)	0,052 kg/kg ΜΣ	Hoffman et al., 1999
Kickboxing							
Κορυφαιοί	A	1360	18,8	761	10,5	Monark	Zabukovec and Tidus 1995
Δρομείς μεσαίων αποστάσεων							
Γάλλοι	A	842(123)	13(2)	578(64)	9,0(1,0)	Monark	Granier et al., 1995
Ποδόσφαιρο							
Νεαροί	A						
<14			9,3(0,2)		8,0(0,2)	Monark	Vanderford et al., 2004
<15			10,0(0,3)		8,1(0,2)	0,075	
<16			10,5(0,2)		8,7(0,2)	kg/kg ΜΣ	
Αθλητές ταχύτητας							
Βέλγοι	A	1021(139)	14,2(1,4)			Monark	Crielaard and Pirnay 1981
Γάλλοι	A	924(105)	14(1,0)	662(61)	10(10)	Monark	Granier et al., 1995
Αθλητές αντισφαίρισης							
NCAA	Γ	699(130)				Monark 0,075 kg/kg ΜΣ	Kraemer et al., 2003

Φ: φύλο. A: άνδρες, Γ: γυναίκες.

Το συσσωρευμένο έλλειμμα οξυγόνου εκφράζεται σε ml/kg. Η διαδικασία υπολογισμού απαιτεί μετρήσεις με ακρίβεια και προσεκτική εφαρμογή των διαδικασιών. Από πολλούς ερευνητές η διαδικασία αυτή θεωρείται χρήσιμη και μη παρεμβατική, ωστόσο, αρκετές επιφυλάξεις έχουν διατυπωθεί για τις διαδικασίες υπολογισμού του μέγιστου συσσωρευμένου ελλείμματος οξυγόνου.

5.8. Υπολογισμός της αναερόβιας ικανότητας με τη χρήση επαναλαμβανόμενων αλμάτων

Ο Ιταλός Εργοφυσιολόγος Carmelo Bosco πρότεινε τη χρήση επαναλαμβανόμενων αλμάτων σε ειδικά διαμορφωμένο τάπητα για 90 δευτερόλεπτα. Με αυτό τον τάπητα που είναι συνδεδεμένος σε Η/Υ μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος πτήσης και ο χρόνος επαφής με το δάπεδο και στη συνέχεια υπολογίζεται η μηχανική ισχύς που παράγεται σε W/kg. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον τρόπο εκτέλεσης των αλμάτων, ενώ θα πρέπει να μην χρησιμοποιούνται τα χέρια (είναι τοποθετημένα ακίνητα στη μέση) και τα γόνατα να λυγίζουν στις 90°.

Πίνακας 3. Δεδομένα από τη δοκιμασία Wingate σε χειροεργόμετρο σε υγιείς αγύμναστους άνδρες και γυναίκες διαφόρων ηλικιών. Πίνακας τροποποιημένος από Hoffman (2006).

Τιμές ισχύος για τη δοκιμασία Wingate με τα χέρια σε υγιείς αγύμναστους άνδρες και γυναίκες								
Ηλικία								
Κατηγορία	<10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-25	25-35	>35
Μέση ισχύς σε άνδρες								
Εξαιρετική	161	159	333	380	409	477	415	454
Πολύ Καλή	136	142	276	321	349	403	375	395
Καλή	118	133	248	293	318	366	355	366
Μέτρια	100	124	220	264	288	329	335	337
Κάτω του Μετρίου	83	116	192	236	258	292	315	308
Φτωχή	65	107	165	207	227	255	294	279
Πολύ Φτωχή	47	98	137	179	197	218	274	249
Μέση τιμή	91	120	206	250	273	310	325	322
Τυπική απόκλιση	35	17	55	37	61	74	40	58
Μέση Ισχύς σε γυναίκες								
Εξαιρετική	153	158	194					
Πολύ Καλή	130	137	165					
Καλή	118	126	151					
Μέτρια	107	116	137					
Κάτω του Μετρίου	96	105	122					
Φτωχή	84	94	108					
Πολύ Φτωχή	73	83	93					
Μέση τιμή	101	110	129					
Τυπική απόκλιση	23	21	29					

5.9. Υπαίθριες δοκιμασίες

Η πρόσβαση σε ειδικό εξοπλισμό δεν είναι εύκολη για το μεγαλύτερο αριθμό ασκουμένων και αθλητών. Σε αυτή την περίπτωση η χρονομέτρηση αποστάσεων με διάρκεια 60 – 120 δευτερόλεπτα σε διάφορες φάσεις του ετήσιου κύκλου προπόνησης μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την εξέλιξη των αναερόβιων χαρακτηριστικών του ασκούμενου ή του αθλητή. Η προσπάθεια πρέπει να εκτελείται με μέγιστη ένταση κάθε φορά. Η απόδοση σε προσπάθειας στο στίβο, στην ποδηλασία ή στην κολύμβηση με τέτοια διάρκεια σχετίζεται σημαντικά με την αναερόβια ικανότητα.

Βιβλιογραφία

1. Davison RCR, Van Someren KA, Jones A. (2009). Physiological monitoring of the Olympic athlete. *Journal of Sports Sciences*, 27(13):1433-1442.
2. Hoffman J. (2006). *Norms for fitness, performance and Health*. Human Kinetics
3. Medbø J, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted O. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *Journal of Applied Physiology*: 64: 50-60.
4. Noordhoff D, de Koning J, Foster C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method. A valid and reliable measure of anaerobic capacity? *Sports Medicine*, 40: 285-302.
5. Ramsbottom R, Nevill A, Nevill M, Newport S, Williams C. (1994). Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. *Journal of Sports Science*, 12: 447-453.



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης
Κατεύθυνση Εργοφυσιολογίας
Υπεύθυνος: Τοκμακίδης Σάββας, Καθηγητής



Παράρτημα 1

Καρτέλα Καταγραφής Δεδομένων Wingate Αναερόβιου Τεστ

Όνοματεπώνυμο.....

Ημερομηνία μέτρησης.....

Ηλικία..... Φύλο.....

Σωματικό Βάρος(kg).....Ανάστημα (cm).....

Αθλητική εμπειρία.....Αντίσταση 0.075 x kg.....

Θέση σέλας ποδηλάτου.....

Χρόνος τεστ ανά 5 s	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	Σύνολο
Ρυθμός ποδηλάτισης rev * s ⁻¹							
Μέγιστη Ισχύς W							
Μέση Ισχύς W							
Ελάχιστη Ισχύς W							
Δείκτης κόπωσης %							
Μέγιστη Ισχύ W.kg ⁻¹							
Μέση Ισχύ W * kg ⁻¹							
Δείκτης κόπωσης % * kg ⁻¹							

6.1. Σκοπός εργαστηρίου

Σκοπός του εργαστηρίου είναι να διδάξει τις μεθόδους και τις τεχνικές μέτρησης της Κινανθρωπομετρίας που αφορούν στην αξιολόγηση μορφολογικών δεικτών, των δερματοπτυχών, των περιφερειών, των διαμέτρων και των μηκών του κορμού και των άνω-κάτω άκρων με στόχο τον προσδιορισμό της σύστασης σώματος (άλιπο σωματικό βάρος, ποσοστό σωματικού λίπους, μάζα λίπους) και τον υπολογισμό παραμέτρων όπως είναι για παράδειγμα ο δείκτης κορμού, οι δείκτες ανάπτυξης, το σωματόγραμμα και ο σωματότυπος.

6.2. Ορισμός

Η Κινανθρωπομετρία είναι ο επιστημονικός τομέας της αθλητικής επιστήμης που συνδέει τη φυσιολογία με την ανατομία, υιοθετεί εξειδικευμένες μετρήσεις για να αξιολογήσει το ανθρώπινο μέγεθος, τη μορφή, τις αναλογίες, τη σύνθεση και τη βιολογική ωρίμανση και σχετίζεται με την ανάπτυξη, την άσκηση, την απόδοση και τη διατροφή.

6.3. Χρησιμότητα

Οι πληροφορίες που εκμαieύονται από τις μετρήσεις που εφαρμόζονται στην Κινανθρωπομετρία, χρησιμοποιούνται για:

- τον υπολογισμό του «αγωνιστικού» σωματικού βάρους
- τον υπολογισμό του «επιθυμητού» σωματικού βάρους
- τον υπολογισμό του «οριακού» σωματικού βάρους
- τον καθορισμό του σωματογράμματος και του σωματότυπου
- την ταξινόμηση αθλητών για τους αγώνες (π.χ. πάλη)
- την εκτίμηση μεταβολής της σύστασης του σώματος
- την παρακολούθηση της φυσιολογικής ανάπτυξης
- τη διάγνωση και έγκαιρη πρόληψη της παχυσαρκίας
- τον καθορισμό διατροφικών εκτιμήσεων

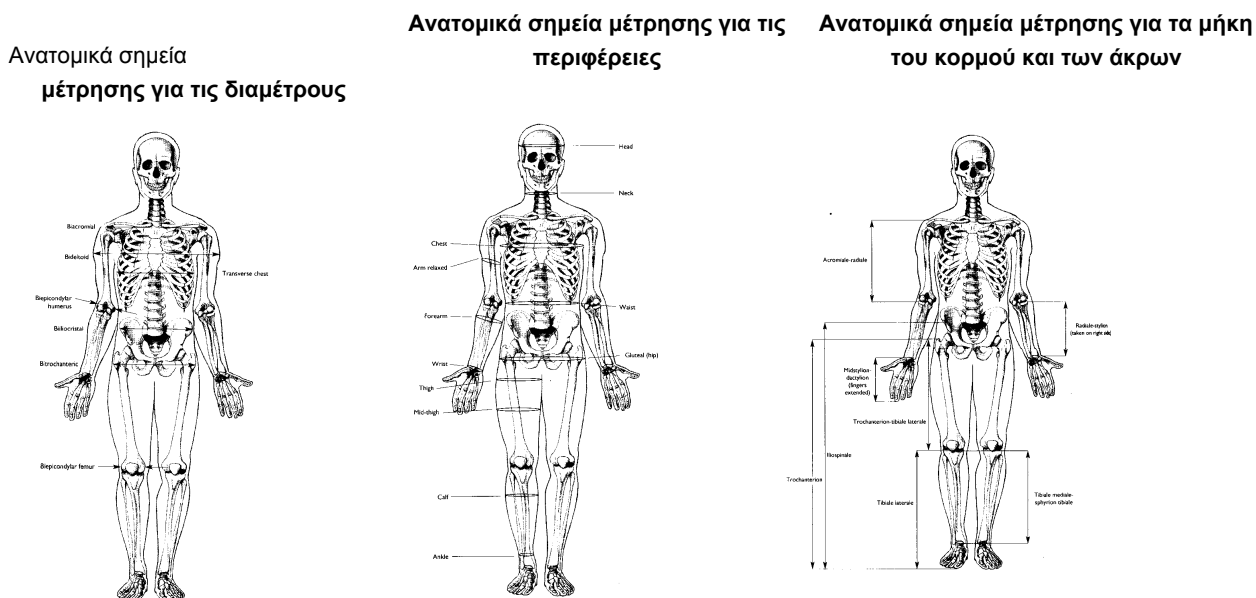
6.4 Όργανα μέτρησης

Για την αξιολόγηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιούνται:

- αναστημόμετρο με ακρίβεια μέτρησης 1 mm
- ηλεκτρονική ζυγαριά δαπέδου ρυθμιζόμενη μέχρι 200 kg με ακρίβεια μέτρησης 100 gr
- τραπεζάκι για τη μέτρηση του ύψους από καθιστή θέση
- ειδική μετροταινία για τη μέτρηση των περιφερειών
- σώματος πλάτους 0.5 cm και με ακρίβεια μέτρησης 1 mm
- δερματοπτυχόμετρο (Harpenden Skinfold Caliper, 10 g/mm² με διαβάθμιση 0.2 mm)
- ειδικοί διαβήτες για τη μέτρηση διαμέτρων (Laffayet, Model 01290, 01291)

6.5. Ανατομικά σημεία μέτρησης

Η μέτρηση των διαμέτρων, των περιφερειών, των δερματοπτυχών και στα μήκη των άνω-κάτω άκρων πρέπει να γίνεται σε επιλεγμένες ανατομικές περιοχές του ανθρώπινου σώματος (Εικόνα 6.1). Οι ανατομικές αυτές περιοχές είναι καθορισμένα σκελετικά σημεία, τα οποία ορίζουν ακριβώς την περιοχή μέτρησης και ανιχνεύονται με ψηλάφηση. Τα ανατομικά αυτά σημεία πρέπει να επιλεγούν με ιδιαίτερη προσοχή και τα σημεία μέτρησης πρέπει να είναι ορισμένα με τον ίδιο τρόπο για κάθε δοκιμαζόμενο ώστε να αποφευχθούν τα σφάλματα. Μικρές αποκλίσεις από τις επιλεγμένες περιοχές προκαλούν σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις.



Εικόνα 6.1 Ανατομικά σημεία μέτρησης για τις διαμέτρους, τις περιφέρειες και τα μήκη του κορμού και των άνω-κάτω άκρων (Norton & Olds, 2000).

6.6. Προσδιορισμός της σύστασης σώματος

Ο προσδιορισμός της σύστασης του σώματος είναι μια διαδεδομένη μέτρηση και αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία αξιολόγησης της φυσικής κατάστασης. Η σύσταση του σώματος αναφέρεται στο ποσοστό του σωματικού βάρους που αποτελείται από άλιπη και λιπώδη μάζα. Το σωματικό λίπος, οι μύες και τα οστά αποτελούν τους ιστούς που κατά κύριο λόγο προσδιορίζουν το σωματικό βάρος. Το άλιπο σωματικό βάρος αναφέρεται στην άλιπη σωματική μάζα που αποτελείται από τα οστά, τους μυς, τα διάφορα όργανα και το συνδετικό ιστό. Υπάρχει, βέβαια, και ο νευρικός ιστός, το αίμα, η λέμφος και άλλοι ιστοί των οποίων, όμως, η συμβολή στο σωματικό βάρος θεωρείται επουσιώδης.

Το σωματικό λίπος βρίσκεται σε μεγάλη ποσότητα αποθηκευμένο στον υποδόριο ιστό κάτω από το δέρμα. Επίσης, ως λειτουργικό λίπος, περιβάλλει και υποστηρίζει διάφορα όργανα όπως τα νεφρά. Σε σύγκριση με τους διάφορους ιστούς του σώματος, ο λιπώδης ιστός παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα. Στην πραγματικότητα, ο έλεγχος σωματικού βάρους ενός ενήλικα γίνεται σχεδόν ολοκληρωτικά από τις αυξομειώσεις του σωματικού λίπους. Τα οστά μεταβάλλονται ελάχιστα και οι αυξομειώσεις μυϊκού ιστού, που απαιτούν χρόνο, δεν παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις. Η απώλεια υγρών, που γίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα, συμβάλλει σημαντικά στην απώλεια βάρους, θεωρείται, όμως, πρόσκαιρη και εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία αν δεν αναπληρωθεί άμεσα (Τοκμακίδης, 1996).

Το λίπος αποθηκεύεται στο σώμα στις λιπαποθήκες που βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία στον άνδρα (κυρίως στην κοιλιά) και στη γυναίκα (κυρίως στη λεκάνη και στους μηρούς). Οι λιπαποθήκες αποτελούνται από λιποκύτταρα, των οποίων ο αριθμός παραμένει σχεδόν σταθερός μετά την ενηλικίωση. Σ' ένα φυσιολογικό άτομο, ο συνολικός αριθμός των λιποκυττάρων κυμαίνεται από 20 έως 30 δισεκατομμύρια κύτταρα που το κάθε ένα αποθηκεύει 0.5-0.6 μικρογραμμάρια λίπους (Μπογδάνης & Τσετσώνη, 1999). Για τον άνδρα ο μέσος όρος ποσοστού σωματικού λίπους αναφέρεται στο 15% ενώ για τη γυναίκα στο 23% (Lohman, 1992). Ο κίνδυνος για την εμφάνιση της παχυσαρκίας οριοθετείται πάνω από 25% για τον άνδρα και πάνω από 32% για τη γυναίκα (Πίνακας 6.1). Για τους αθλητές και τις αθλήτριες αυτά τα ποσοστά διαφοροποιούνται ανάλογα με το άθλημα που ασχολούνται (Πίνακας 6.2). Για παράδειγμα, σε αθλητές αντοχής υψηλού επιπέδου οι τιμές σωματικού λίπους κυμαίνονται από 6-8% (Coast et al., 1995) που για το μέσο άνθρωπο χαρακτηρίζονται ακραίες

Πίνακας 6.1. Ταξινόμηση πληθυσμού ανάλογα με το ποσοστό σωματικού λίπους (Lohman, 1992).

Ταξινόμηση	Άνδρες	Γυναίκες
Υποσιτισμός	≤5%	≤8%
Κάτω από το μέσο όρο	6-14%	9-22%
Μέσος όρος	15%	23%
Πάνω από μέσο όρο	16-24%	24-31%
Παχυσαρκία	≥25%	≥32%

Πίνακας 6.2. Ποσοστό σωματικού λίπους σε αθλητές και αθλήτριες διαφόρων αθλημάτων (McArdle et al., 2001).

Αθλημα	Σωματικό λίπος (%)	
	Αθλητές	Αθλήτριες
Άρση βαρών	9-16	-
Body building	5-8	10-15
Ενόργανη Γυμναστική	5-12	10-16
Ρυθμική Γυμναστική	-	12-14
Ιππασία	8-12	10-16
Καλαθοσφαίριση	6-12	20-27
Κολύμβηση	9-12	14-24
Συγχρονική Κολύμβηση	-	12-24
Κανό-Καγιάκ	6-12	10-16
Κωπηλασία	6-14	12-18
Κλασικό Μπαλέτο	8-14	13-20
Ορειβασία	5-10	12-18
Ράγκμπι	-	10-17
Τένις	12-16	16-24
Πάλη	5-16	-
Πετοσφαίριση	11-14	16-25
Στίβος		
Δισκοβολία	14-18	22-27
Άλματα	7-12	10-18
Δρόμοι αποστάσεων	6-13	12-20
Δρόμοι ταχύτητας	8-10	12-20
Ρίψεις	16-20	20-28
Δέκαθλο	8-10	-
Τρίαθλο	5-12	10-15

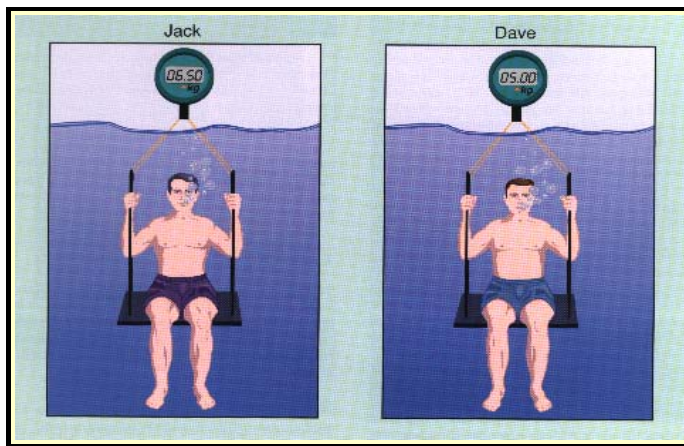
6.6.1. Μέθοδοι μέτρησης

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που υπολογίζουν το ποσοστό του αποθηκευμένου σωματικού λίπους (%). Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί είναι:

- Υδροστατικό ζύγισμα
- Βιοηλεκτρική εμπέδηση
- Υπέρυθρη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία Απορροφησιομετρία (SPA, DPA, DRA, DEXA, ρQCT) Πληθυσμογραφία (BOD POD)
- Απεικόνιση με μαγνητικό συντονισμό
- Μέτρηση του ολικού νερού του σώματος
- Μέτρηση του ολικού καλίου (^{40}K -40)
- Πυρηνική μαγνητική αντήχηση
- Υπολογιστική τομογραφία Ανθρωπομετρικές μετρήσεις (ύψος, βάρος, περιφέρειες)
 - Δείκτης Σωματικής Μάζας (BMI)
 - Περιφέρεια μέσης / περιφέρεια ισχίου (WHR)
- Δερματοπτυχές

6.6.2. Υδροστατικό ζύγισμα

Με το υδροστατικό ζύγισμα γίνεται μέτρηση της πυκνότητας του σώματος. Ο δοκιμαζόμενος βυθίζεται σε μια πισίνα ειδικής κατασκευής, όπου η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται από 28°C έως 32°C (Εικόνα 6.2). Ζητείται από το δοκιμαζόμενο να εκπνεύσει όσο



Εικόνα 6.2. Υδροστατικό ζύγισμα (Wilmore & Costill, 1994).

το δυνατόν περισσότερο αέρα μπορεί. Από τη διαδικασία αυτή, που επαναλαμβάνεται επτά έως και δέκα φορές μέχρι ο δοκιμαζόμενος να εξοικειωθεί με τη μέτρηση, υπολογίζεται το ποσοστό (%) του σωματικού λίπους, σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

Όγκος σώματος= $\frac{(\text{Βάρος σώματος στον αέρα} - \text{Βάρος σώματος στο νερό})}{\text{Διορθωτικός παράγοντας πυκνότητας νερού}}$ - Υπόλοιπος όγκος αέρα

Πυκνότητα σώματος (gm/cc)= $\frac{(\text{Βάρος σώματος})}{\text{Όγκος σώματος}} \times 1000$

% Σωματικό λίπος = $\left(\frac{\text{4.95} - 4.50}{\text{Πυκνότητα σώματος}} \right) \times 100$ (Siri W.E. 1956)

Μάζα λίπους = $\frac{\% \text{ Σωματικό Λίπος}}{100} \times \text{Σωματικό βάρος}$

Άλιπη μάζα = Σωματικό βάρος - Μάζα λίπους

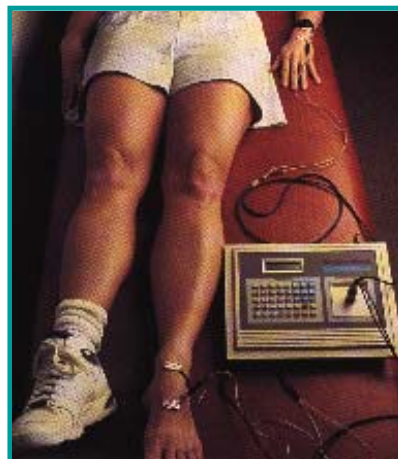
Μειονεκτήματα της μεθόδου:

- Υποθέτει ότι οι πυκνότητες του λιπώδους ιστού (0.9007 gm/cc) και του μυϊκού ιστού (1.10 gm/cc) είναι ίδιες για όλα τα άτομα.
- Συνιστώνται 7-10 δοκιμές ώστε να εξοικειωθεί ο δοκιμαζόμενος με τη μέτρηση.
- Απαιτεί ειδικό εργαστηριακό εξοπλισμό.

6.6.3. Βιοηλεκτρική εμπέδηση

Η βιοηλεκτρική εμπέδηση μετριέται υπολογίζοντας το χρόνο που χρειάζεται ένα εναλλασσόμενο ρεύμα για να διαπεράσει το σώμα του δοκιμαζόμενου από τα ηλεκτρόδια, δέκτης και πομπός, που είναι τοποθετημένα στον καρπό και στον αστράγαλο (Εικόνα 6.3). Για την πρόβλεψη της άλιπης μάζας και του σωματικού λίπους με την τεχνική της βιοηλεκτρικής εμπέδησης, το βάρος και το ύψος αποτελούν τις δύο σημαντικότερες παραμέτρους πρόβλεψης. Σημαντικό ρόλο επίσης, κατέχει και η ενυδάτωση του οργανισμού. Για το λόγο αυτό, ο δοκιμαζόμενος πρέπει πριν τη μέτρηση (ACSM'S GUIDELINES, 1995):

- να μην έχει σιπαστεί ή να έχει πιει υγρά για τουλάχιστον 4 ώρες
- να μην έχει ασκηθεί έντονα 12 ώρες πριν τη δοκιμασία
- να έχει προηγηθεί εκκένωση του εντέρου
- να μην έχει πιει αλκοόλ 48 ώρες πριν τη δοκιμασία
- να μην έχει χρησιμοποιήσει διουρητικά χάπια εκτός εάν κάτι τέτοιο επιβάλλεται από το γιατρό



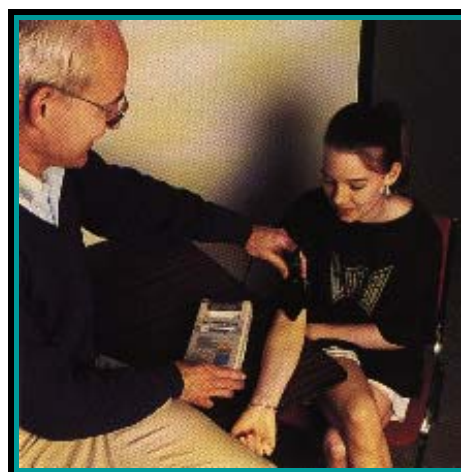
Εικόνα 6.3. Βιοηλεκτρική εμπέδηση.
(Wilmore & Costill, 1994).

6.6.4. Τομογραφία και πυρηνική μαγνητική αντήχηση

Η τομογραφία και πυρηνική μαγνητική αντήχηση αναπτύχθηκαν χάρη στην υψηλή τεχνολογία, όπου διαθέτονται εικόνες του οργανισμού, στις οποίες οι λιπώδεις ιστοί ξεχωρίζουν από τους άλιπους ιστούς διότι καθένας αντιδρά διαφορετικά σε πεδίο ακτίνων Χ (τομογραφία) ή σε μαγνητικό πεδίο (RMN Πυρηνική Μαγνητική Αντήχηση). Αυτές οι τεχνικές είναι όμως πολύ ακριβές και απαιτούν ένα ειδικευμένο προσωπικό. Επιπλέον αυτό που περιορίζει τη χρήση της τομογραφίας είναι η επικινδυνότητά της (έκθεση στις ακτίνες Χ) και κατά συνέπεια περιορισμένες μετρήσεις οδηγούν σε περιορισμένες απεικονίσεις. Και οι δύο τεχνικές όμως είναι έγκυρες και αξιόπιστες εφόσον επιτρέπουν τον ξεχωριστό υπολογισμό του ολικού, σπλαχνικού και υποδερμικού λίπους τόσο σε ολόκληρο το σώμα όσο και σε ένα τμήμα του.

6.6.5. Υπέρυθρη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Η υπέρυθρη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσδιορίζει έμμεσα το σωματικό λίπος υπολογίζοντας το χρόνο που χρειάζεται ο υπέρηχος για να διασχίσει την επιφάνεια του δέρματος, να γίνει η αντανάκλαση από την επιφάνεια των μυών και να επιστρέψει στην επιφάνεια του δέρματος (Εικόνα 6.4.). Πρόκειται δηλαδή για τη μέτρηση του υποδερμικού λίπους σε συγκεκριμένο σημείο, όπως ακριβώς συμβαίνει με την μέτρηση των δερματοπτυχών. Εάν κάνουμε μετρήσεις σε διάφορα σημεία του σώματος, θα έχουμε μία γενική εικόνα του εύρους του υποδόριου ιστού όπως επίσης και μία εκτίμηση του συνολικού ποσοστού λίπους. Η τεχνική της υπέρυθρης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι λιγότερο έγκυρη μέθοδος από αυτήν των δερματοπτυχών, διότι προβλέπεται το ποσοστό του σωματικού λίπους από ένα σημείο του σώματος και ασκείται μια τεχνική πίεση από το όργανο τη στιγμή της μέτρησης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένη εκτίμηση του ποσοστού του σωματικού λίπους. Για τους παχύσαρκους, στους οποίους η μέτρηση των δερματοπτυχών δεν είναι αποτελεσματική (πολλές φορές είναι αδύνατο να σχηματιστεί δερματοπτυχή), η μέθοδος της υπέρυθρης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι περισσότερο εφικτή.



Εικόνα 6.4. Υπέρυθρη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Wilmore & Costill, 1994)

6.6.6. Μέτρηση δερματοπτυχών

Η μέτρηση των δερματοπτυχών αποτελεί έναν από τους πλέον διαδεδομένους τρόπους υπολογισμού της σύστασης του σωματικού βάρους. Υπάρχουν μερικές κοινές για όλες τις δερματοπτυχές οδηγίες που πρέπει να τηρηθούν ώστε να πραγματοποιηθούν σωστές, έγκυρες και αξιόπιστες μετρήσεις. Οι οδηγίες που δίνονται είναι ανεξάρτητες από τον τύπο του δερματοπτυχόμετρου που χρησιμοποιείται και προϋποθέτουν το δερματοπτυχόμετρο να κρατείται από τον εξεταστή με το δεξί χέρι.

Αρχικά, βασική προϋπόθεση είναι οι μετρήσεις να γίνονται από τον ίδιο εξεταστή. Η ψηλάφηση της δερματοπτυχής πριν από τη μέτρηση βοηθά για την καλύτερη εξοικείωση με την μετρηθείσα περιοχή. Η πτυχή πιάνεται σταθερά από τον αντίχειρα και το δείκτη του αριστερού χεριού, που χρησιμοποιούνται για να ξεχωρίσουν τη δερματοπτυχή από το μυϊκό ιστό, σε απόσταση περίπου 1 cm κοντά στο σημείο που πρέπει να γίνει η μέτρηση. Αυτή η απόσταση ανάμεσα στα δάκτυλα και στο σημείο μέτρησης είναι απαραίτητη έτσι ώστε η πίεση που ασκείται από τα δάκτυλα να μην επηρεάζει το αποτέλεσμα. Η μέτρηση καταγράφεται στα δύο με τρία πρώτα δευτερόλεπτα (2-3sec) μετά την εφαρμογή του δερματοπτυχόμετρου στην πτυχή έτσι ώστε να αποφευχθούν τα λάθη που οφείλονται στη μετακίνηση του υποδόριου λίπους (Ross & Marfell-Jones, 1982; Legér, 1991). Σειρά μελετών υποστηρίζουν επίσης ότι σημαντικό ρόλο στη μέτρηση των δερματοπτυχών παίζει ακόμη και η επιλογή της πλευράς μέτρησης (δεξιά ή αριστερά) όπου παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές (Laubach & McConville, 1967; Schell et al., 1985). Έχει επικρατήσει ωστόσο οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται στη δεξιά μεριά του σώματος.

6.7. Τεχνική μέτρησης δερματοπτυχών

- **Δερματοπτυχή υποπλάτιου:** Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του υποπλάτιου, ο δοκιμαζόμενος στέκεται σε όρθια θέση, με τα χέρια χαλαρά στο πλάι. Το δερματοπτυχόμετρο τοποθετείται σε απόσταση 1 cm από τον αντίχειρα και το δείκτη του αριστερού χεριού, που



πιάνουν την πτυχή σταθερά, σε σημείο που βρίσκεται λοξά, χαμηλά και κάτω από το τόξο που σχηματίζει η ωμοπλάτη, με διαγώνια κατεύθυνση περίπου 45° από το οριζόντιο επίπεδο (διαγώνια δερματοπτυχή). Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα 6.5.).

Εικόνα 6.5. Δερματοπτυχή υποπλάτιου

- **Δερματοπτυχή τρικέφαλου:** Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του τρικέφαλου, ο δοκιμαζόμενος στέκεται σε όρθια θέση, με τα χέρια χαλαρά στο πλάι. Για τον προσδιορισμό



Εικόνα 6.6 Δερματοπτυχή τρικέφαλου

όμως του ακριβούς σημείου μέτρησης ο δοκιμαζόμενος λυγίζει τον αγκώνα σε γωνία 90°. Χρησιμοποιείται μια μετροταινία που τοποθετείται με την ένδειξη μηδέν στο ακρώμιο και τεντώνεται παράλληλα προς τον επιμήκη άξονα του βραχίονα για να καταλήξει στο ωλέκραιο, κάτω από το λυγισμένο αγκώνα. Σημειώνεται το μέσο αυτής της απόστασης που αποτελεί και το ενδεδειγμένο σημείο μέτρησης. Το δερματοπτυχόμετρο τοποθετείται κάθετα, σε

απόσταση 1 cm από τον αντίχειρα και το δείκτη του

αριστερού χεριού, στο σημείο που προσδιορίστηκε παραπάνω δηλαδή στο μέσο της απόστασης του ακρώμιου με το ωλέκραιο της ωλένης (κάθετη δερματοπτυχή). Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα 6.6).

- **Δερματοπτυχή δικέφαλου:** Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του δικέφαλου, ο δοκιμαζόμενος στέκεται σε όρθια θέση, με τα χέρια χαλαρά στο πλάι. Το ενδεδειγμένο σημείο μέτρησης ορίζεται 1 cm επάνω από το σημείο μέτρησης του τρικέφαλου βραχιόνιου. Το



Εικόνα 6.7. Δερματοπτυχή δικέφαλου

δερματοπτυχόμετρο τοποθετείται κάθετα, σε απόσταση 1 cm από τον αντίχειρα και το δείκτη του αριστερού χεριού, στο σημείο που προσδιορίστηκε παραπάνω (κάθετη δερματοπτυχή). Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα 6.7).

- **Δερματοπτυχή λαγόνιου:** Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του λαγόνιου, ο δοκιμαζόμενος στέκεται σε όρθια θέση, με τα χέρια χαλαρά στο πλάι ή λίγο ανοικτά για να μην εμποδίζουν τον εξεταστή. Η πτυχή του λαγόνιου μετρείται στο σημείο εκείνο που η



Εικόνα 6.8. Δερματοπτυχή λαγόνιου

μεσομασχαλιαία γραμμή συναντά τη πρόσθια λαγόνια ακρολοφία. Η πτυχή πιάνεται σταθερά στο σημείο αυτό ακολουθώντας την ανατομική γραμμή του υποδόριου ιστού που έχει μια κλίση 45° προς τα κάτω και μπροστά σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο (διαγώνια δερματοπτυχή). Το δερματοπτυχόμετρο τοποθετείται στο ενδεδειγμένο σημείο μέτρησης σε απόσταση 1 cm από τα δάκτυλα του χεριού που κρατούν τη δερματοπτυχή. Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα

6.8.).

- **Δερματοπτυχή κοιλιακού :** Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του κοιλιακού, ο δοκιμαζόμενος στέκεται σε όρθια θέση, με τα χέρια χαλαρά στο πλάι. Το ενδεδειγμένο σημείο



Εικόνα 6.9. Δερματοπτυχή κοιλιακού

μέτρησης ορίζεται 2 cm δεξιά από τον ομφαλό. Το δερματοπτυχόμετρο τοποθετείται κάθετα, σε απόσταση 1 cm από τον αντίχειρα και το δείκτη του αριστερού χεριού, στο σημείο που προσδιορίστηκε παραπάνω (κάθετη δερματοπτυχή). Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα 6.9.).

- **Δερματοπτυχή μηριαίου:** Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του μηριαίου στο δεξί πόδι, ο



Εικόνα 6.10. Δερματοπτυχή μηριαίου

δοκιμαζόμενος ακουμπά σε σταθερό έδρανο έχοντας το βάρος του σώματος στο αριστερό πόδι. Το δεξί πόδι στηρίζεται χαλαρά στο έδαφος με το γόνατο ελαφρά λυγισμένο. Η πτυχή του μηριαίου μετριέται στο σημείο εκείνο που προσδιορίζεται από το μέσο της απόστασης που ενώνει το βουβωνικό σύνδεσμο με το άνω μέρος της επιγονατίδας και είναι παράλληλη προς τον επιμήκη άξονα του μηρού (κάθετη δερματοπτυχή). Το δερματοπτυχόμετρο τοποθετείται στο

ενδεικτικό σημείο μέτρησης σε απόσταση 1 cm από τα δάκτυλα του χεριού που κρατούν τη δερματοπτυχή σταθερά. Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα 6.10.).

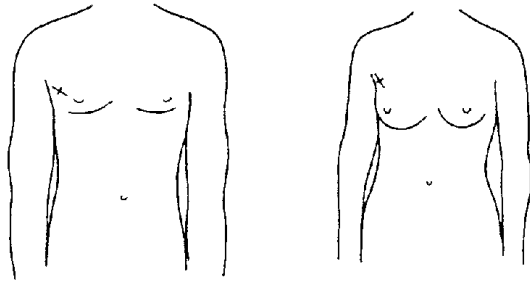
- **Δερματοπτυχή γαστροκνημίου:** Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του γαστροκνημίου στο δεξί πόδι, ο δοκιμαζόμενος στηρίζει σε σταθερό έδρανο το δεξί πόδι λυγισμένο σε γωνία 90° έχοντας το βάρος του σώματος στο αριστερό πόδι. Η πτυχή μετρείται στο σημείο εκείνο που προσδιορίζεται από τη μέγιστη περιφέρεια του γαστροκνημίου (κάθετη δερματοπτυχή). Το



Εικόνα 6.11. Δερματοπτυχή γαστροκνημίου

δερματοπτυχόμετρο τοποθετείται κάθετα στο ενδεικτικό σημείο μέτρησης σε απόσταση 1 cm από τα δάκτυλα του χεριού που κρατούν τη δερματοπτυχή σταθερά. Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα 6.11.).

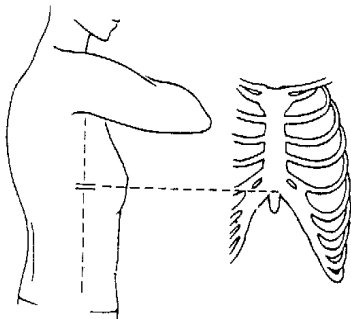
-Δερματοπτυχή θωρακικού: Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του θωρακικού, ο δοκιμαζόμενος στέκεται σε όρθια θέση, με τα χέρια χαλαρά στο πλάι. Το ενδεδειγμένο σημείο μέτρησης ορίζεται για τους άνδρες στο 1/2 της απόστασης από τη μασχαλαία εντομή και τη θηλή του στήθους ενώ για τις γυναίκες στο 1/3 αντίστοιχα. Το δερματοπτυχόμετρο



τοποθετείται κάθετα, σε απόσταση 1 cm από τον αντίχειρα και το δείκτη του αριστερού χεριού, στα σημεία που προσδιορίστηκαν παραπάνω (διαγώνια δερματοπτυχή). Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα 6.12.).

Εικόνα 6.12. Δερματοπτυχή θωρακικού (Harrison et al., 1988)

-Δερματοπτυχή μεσομασχαλαίου: Για τη μέτρηση της δερματοπτυχής του μεσομασχαλαίου, ο δοκιμαζόμενος στέκεται σε όρθια θέση, με το δεξί χέρι λυγισμένο πάνω στο στήθος. Το ενδεδειγμένο σημείο μέτρησης ορίζεται στη μεσομασχαλαία γραμμή στο ύψος της ξιφοειδούς απόφυσης. Το δερματοπτυχόμετρο τοποθετείται κάθετα,



σε απόσταση 1 cm από τον αντίχειρα και το δείκτη του αριστερού χεριού και η κατεύθυνσή της μπορεί να είναι οριζόντια ή κάθετη. Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.2 mm (Εικόνα 6.13.).

Εικόνα 6.13. Δερματοπτυχή μεσομασχαλαίου (Harrison et al., 1988)

6.8. Εφαρμογή εξισώσεων για τον προσδιορισμό της σύστασης σώματος

Για τον προσδιορισμό της σύστασης σώματος οι τιμές των δερματοπυχών που μετρήθηκαν εφαρμόζονται σε διάφορες εξισώσεις, οι οποίες ωστόσο παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους, και επιλέγονται ανάλογα με το φύλο, την ηλικία, τον πληθυσμό που αξιολογείται. Παρακάτω παρατίθενται επιλεκτικά διάφορες εξισώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικούς πληθυσμούς (άνδρες, γυναίκες, αθλητές, παιδιά κτλ.).

- **Πυκνότητα σώματος**

Για άνδρες 18-61 ετών (Jackson & Pollock, 1978)

$$DB \text{ (g/cc)} = 1.10938 - 0.0008267 * (X1) + 0.0000016 * (X1)^2 - 0.0002574 * (X2)$$

όπου, X1= το άθροισμα των δερματοπυχών του στήθους, της κοιλιάς και του μηρού

X2= η ηλικία σε χρόνια

Για γυναίκες 18-55 ετών (Jackson & Pollock, 1978)

$$DB \text{ (g/cc)} = 1.0994921 - 0.0009929 * (X1) + 0.0000023 * (X1)^2 - 0.0001392 * (X2)$$

όπου, X1= το άθροισμα των δερματοπυχών του τρικεφάλου, του υπερλαγόνιου και του μηρού

X2= η ηλικία σε χρόνια

Για αθλητές 18-29 ετών (Jackson & Pollock, 1978)

$$DB \text{ (g/cc)} = 1.112 - 0.00043499 * (X1) + 0.00000055 * (X1)^2 - 0.00028826 * (X2)$$

όπου, X1= το άθροισμα των δερματοπυχών του τρικεφάλου, υποπλάτιου, κοιλιακού, υπερλαγόνιου, μηρού, θωρακικού και μεσομασχαλαίου

X2= η ηλικία σε χρόνια

Για αθλήτριες 18-29 ετών (Jackson et al., 1980)

$$DB \text{ (g/cc)} = 1.096095 - 0.0006952 * (X1) + 0.0000011 * (X1)^2 - 0.0000714 * (X2)$$

όπου, X1= το άθροισμα των δερματοπυχών του τρικεφάλου, υπερλαγόνιου, κοιλιακού και μηρού

X2= η ηλικία σε χρόνια

- **% Σωματικό Λίπος (Siri, 1956)**

$$\% \text{ Σωματικό Λίπος} = \left(\frac{4.95}{\text{Πυκνότητα Σώματος}} - 4.50 \right) \times 100 \quad \text{Άνδρες}$$

$$\% \text{ Σωματικό Λίπος} = \left(\frac{5.01}{\text{Πυκνότητα Σώματος}} - 4.57 \right) \times 100 \quad \text{Γυναίκες}$$

- **Μάζα λίπους:**

$$\text{Μάζα λίπους} = \frac{\% \text{ Σωματικό Λίπος}}{100} \times \text{Σωματικό βάρος}$$

- **Αλιπη μάζα:**

$$\text{Αλιπη μάζα} = \text{Σωματικό βάρος} - \text{Μάζα λίπους}$$

Για παιδιά 8-18 ετών (Slaughter et al., 1988)

Αγόρια: % Σωματικό Λίπος = $0.735 * \Sigma SF + 1.0$, all ages

Κορίτσια: % Σωματικό Λίπος = $0.610 * \Sigma SF + 5.1$, all ages

όπου, ΣSF = το άθροισμα δερματοπτυχών του τρικεφάλου και του γαστροκνημίου

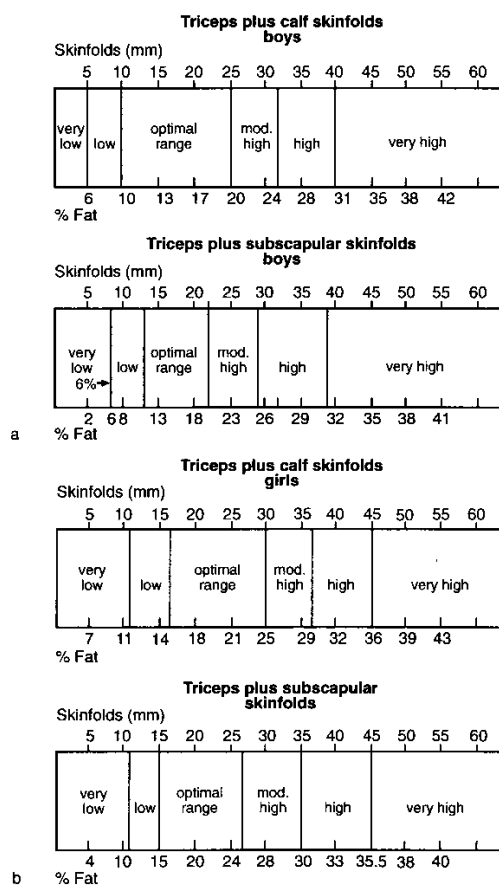
>35mm %Fat=0.783 * ΣSF + 1 Αγόρια

%Fat=0.546 * ΣSF + 9.7 Κορίτσια

<35mm %Fat=1.21 * $\Sigma SF - 0.008 * (\Sigma SF)^2 + 1^*$ Αγόρια

%Fat=1.33 * $\Sigma SF - 0.013 * (\Sigma SF)^2 - 2.5$ Κορίτσια

*Ι ανάλογα με την ηλικία:
Προεφηβική ηλικία: -1.7
Εφηβική ηλικία: -3.4
Μετά την εφηβεία: -5.5



Σχήμα 6.1. Ταξινόμηση του ποσοστού σωματικού λίπους σε αγόρια και κορίτσια (Lohman, 1997).

6.9. Ανθρωπομετρικές μετρήσεις (ύψος, βάρος, επιλεγμένες περιφέρειες)

6.9.1 Δείκτης Μάζας Σώματος (Body Mass Index - BMI): Ο δείκτης μάζας σώματος υπολογίζεται από τη σχέση της μάζας του σώματος με το ύψος από όρθια θέση

$$\text{Δείκτης Μάζας Σώματος (BMI): } \frac{\text{Σωματικό βάρος (Kg)}}{(\text{Ύψος σώματος})^2 \text{ (m}^2\text{)}}$$

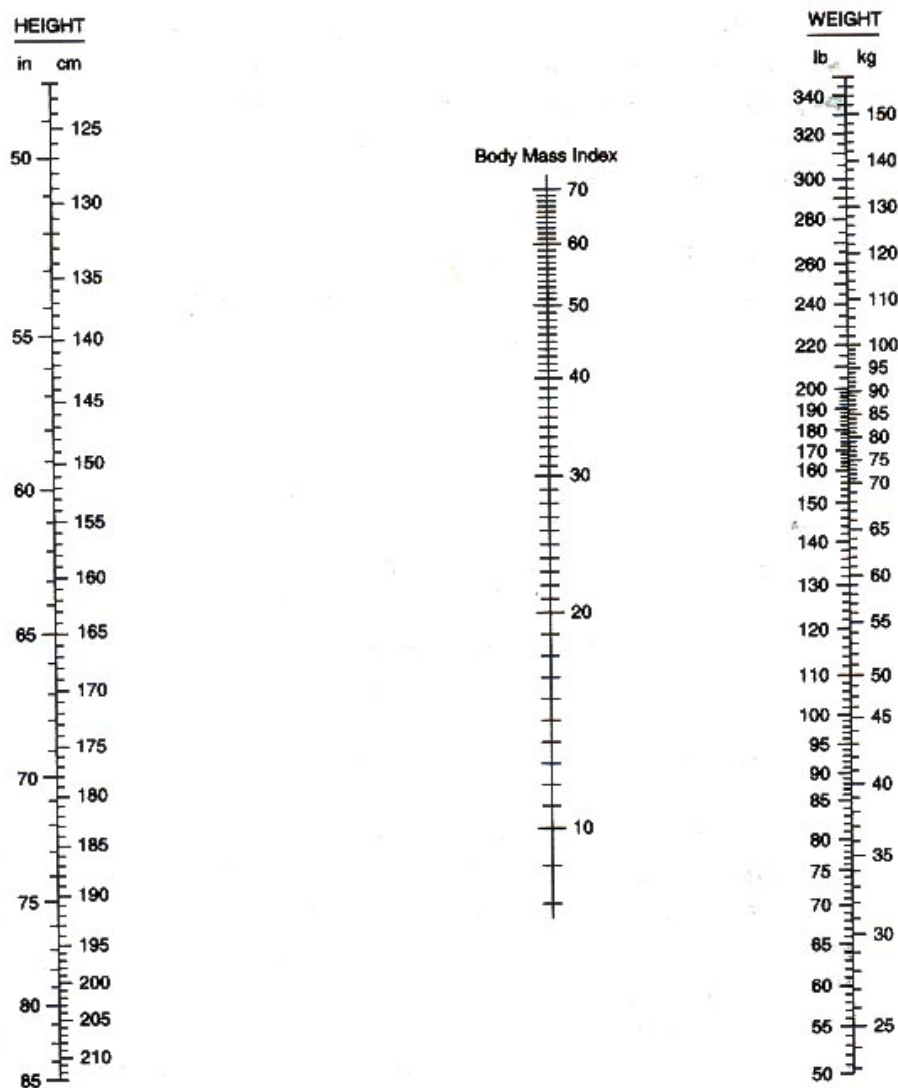
Ο δείκτης BMI χρησιμοποιείται ευρέως διότι η εκθετική του καμπύλη σχετίζεται με το γενικό δείκτη θνησιμότητας και φανερώνει τα επίπεδα κινδύνου για καρδιαγγειακές επιπλοκές τύπου 2, υπέρταση και για νοσήματα του αναπνευστικού και πεπτικού συστήματος. Με βάση την ταξινόμηση, χρησιμοποιώντας το δείκτη BMI, υπέρβαρος χαρακτηρίζεται κάποιος που έχει δείκτη από 25 έως 29.9 kg/m² ενώ η παχυσαρκία αντιστοιχεί σε δείκτη BMI>30 (Πίνακας 6.3.). Παρά τη μεγάλη εφαρμογή και πρακτική του αξία στον ευρύτερο πληθυσμό θα πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, ότι σε ορισμένους αθλητές ο δείκτης μάζας σώματος μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις επειδή δεν λαμβάνει υπόψη του την αναλογική σύσταση του σώματος. Για παράδειγμα, υπάρχει κίνδυνος να χαρακτηριστούν ως υπέρβαροι αθλητές με αυξημένη μυϊκή μάζα όπως είναι οι καλαθοσφαιριστές, οι αρσιβαρίστες, οι παλαιστές ενώ στην πραγματικότητα η γενετική κατασκευή ή η προπόνηση αύξησαν το δείκτη BMI (McArdle et al., 2001).

Πίνακας 6.3. Ταξινόμηση πληθυσμού ανάλογα με το Δείκτη Μάζας Σώματος (BMI) (Nieman, 1999).

Ταξινόμηση	Στάδια παχυσαρκίας	BMI (kg/m ²)
Λιποβαρής		<18.5
Κανονικός		18.5 έως 24.9
Υπέρβαρος		25 έως 29.9
Παχύσαρκος	I	30 έως 34.9
	II	35 έως 39.9
Υπερβολικά παχύσαρκος	III	≥40

Σημείωση: Οι κίνδυνοι για την υγεία ξεκινούν με δείκτη σωματικής μάζας με εύρος 25 έως 29.9 kg/m²

Ο δείκτης BMI υπολογίζεται ακόμη από το παρακάτω νομόγραμμα (Σχήμα 6.2) προσδιορίζοντας το σημείο τομής της ευθείας που ενώνει τις κλίμακες του ύψους και του βάρους με την κεντρική κλίμακα.



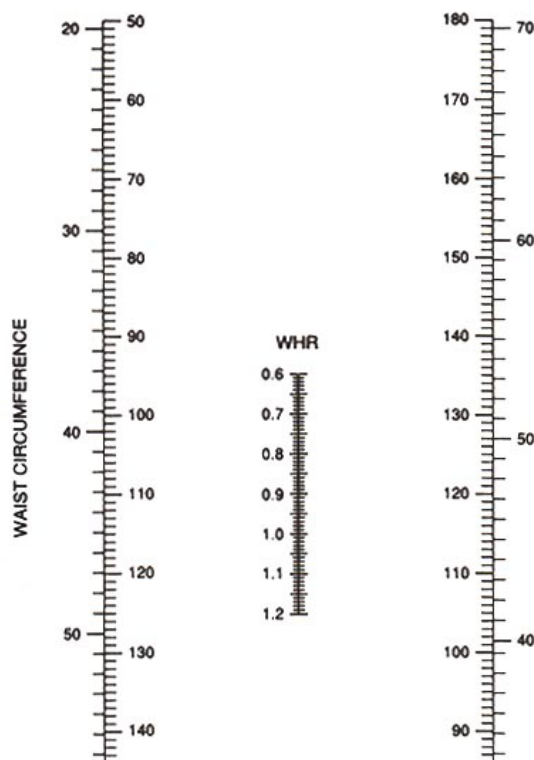
Σχήμα 6.2. Νομόγραμμα υπολογισμού του Δείκτη Μάζας Σώματος (BMI).

6.9.2. Δείκτης Περιφέρειας Μέσης / Περιφέρεια Ισχίου (Waist to Hip Ratio - WHR): Ο δείκτης WHR υπολογίζεται διαιρώντας την περιφέρεια της μέσης προς την περιφέρεια του ισχίου. Όταν οι τιμές για τους άνδρες κυμαίνονται > 0.90 και στις γυναίκες > 0.80 υπάρχει μεγάλος κίνδυνος εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων, υπέρτασης, διαβήτη τύπου 2 και παχυσαρκίας (Πίνακας 6.4). Ο δείκτης WHR υπολογίζεται ακόμη από το νομόγραμμα (Σχήμα 6.3.) προσδιορίζοντας το σημείο τομής της ευθείας που ενώνει τις κλίμακες των περιφερειών μέσης και ισχίου με την κεντρική κλίμακα.

$$\text{Δείκτης WHR} = \frac{\text{Περιφέρεια Μέσης (cm)}}{\text{Περιφέρεια Ισχίου (cm)}}$$

Πίνακας 6.4. Ταξινόμηση πληθυσμού ανάλογα με το Δείκτη WHR.

Ταξινόμηση	Άνδρες	Γυναίκες
Υψηλός κίνδυνος	>1.0	>0.85
Μεσαίος κίνδυνος	0.90 - 1.0	0.80 - 0.85
Χαμηλός κίνδυνος	<0.90	<0.80



Σχήμα 6.3. Νομόγραμμα υπολογισμού του Δείκτη WHR.

- **Περιφέρεια Μέσης:** Για τη μέτρηση της περιφέρειας της μέσης, ο δοκιμαζόμενος στέκεται σε όρθια θέση με τις φτέρνες ενωμένες και τα χέρια να βρίσκονται χαλαρά στο πλάι ή λίγο



Εικόνα 6.14. Περιφέρεια μέσης

ανοικτά για να μην εμποδίζουν τον εξεταστή. Η περιφέρεια της μέσης μετρείται 2 cm πάνω από το ύψος του ομφαλού, στο στενότερο σημείο του κορμού. Η μετροταινία κρατείται σταθερά σε οριζόντια θέση, σε επαφή με το δέρμα, χωρίς να το πιέζει και τοποθετείται στο ύψος της μέσης. Η μέτρηση καταγράφεται στο τέλος μιας κανονικής εκπνοής με ακρίβεια 0.1 cm (Εικόνα 6.14.).

- **Περιφέρεια Ισχίου:** Για τη μέτρηση της περιφέρειας του ισχίου, ο δοκιμαζόμενος στέκεται



Εικόνα 6.15 Περιφέρεια ισχίου

πλευρικά προς τον εξεταστή, σε όρθια θέση με τις φτέρνες ενωμένες και τα χέρια να βρίσκονται χαλαρά στο πλάι ελαφρώς ανοικτά ή να σταυρώνουν μπροστά στο στήθος για να διευκολύνουν τη μέτρηση. Η μετροταινία εφαρμόζεται ακριβώς επάνω στη μεγαλύτερη περιφέρεια του ισχίου και κρατείται σταθερά, σε οριζόντια θέση, χωρίς να πιέζει το δέρμα. Η μέτρηση καταγράφεται με ακρίβεια 0.1 cm (Εικόνα 6.15).

Βιβλιογραφία

1. American College of Sports Medicine (1995). *ACSM'S Guidelines for exercise testing and prescription*, 5th Edition, Williams & Wilkins (eds), USA, p. 53-63.
2. Jackson AS, & Pollock ML. (1985). Practical Assessment of body composition. *Physician Sport Med* 13:76-90.
3. Jackson, A.S., Pollock, M.L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*, 40: 497-504.
4. Jackson, A.S., Pollock, M.L., Ward A. (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc.*, 12: 175-182.
5. Harrison G, Buskirk E., Carter L, Johnston FE, Lohman TG, Pollock ML, Roche AF, Wilmore J. (1988). Skinfold Thicknesses and Measurement Technique. In: Lohman TG, Roche FA, Martorell R, editors. *Anthropometric Standardization Reference Manual* Champaign, IL: Human Kinetics, p. 55-70.
6. Heyward V. (2001). ASEP Methods Recommendation: Body Composition Assessment. *JEP*, 4(4):1-12.
7. Katch, F.I., & McArdle, W.D. (1973). Prediction of body density from simple anthropometric measurements in college-age men and women. *Human Biology*, 45, 445-454.
8. Laubach, L.L., & McConville, J.T. (1967). Notes on anthropometric technique: Anthropometric measurements-right and left sides. *American Journal of Physical Anthropology*, 26,367-370.
9. Leger, L. (1991). Measure et estimation de la composition corporelle: masse grasse, mass maigre. *Association des Cardes Techniques du Sport de Haut Niveau Guadeloupeen*, pp. 47-68.
10. Lohman, T. (1992). *Advances in body composition assessment*. Human Kinetics Publishers, p.p. 65-77.
11. Lohman TG, Roche FA, Martorell R. (1988). *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Champaign, IL: Human Kinetics; pp 3-54.
12. McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L. (1996). *Exercise physiology: energy, nutrition and human performance*. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins.
13. Μπογδάνης Γ., Τσετσώνη Α. (1999). Ο ρόλος της διατροφής και της άσκησης στον έλεγχο του σωματικού βάρους, *Αθληση & Κοινωνία: Περιοδικό Αθλητικής Επιστήμης*, 21, 9-24.
14. Nieman, D.C. (1999). *Exercise testing and prescription. A health related approach*. Mayfield Publishing Company, California, USA
15. Norton K., Olds T. (2000). *Anthropometrica. Australian Sports Commission, UNSW Press, Sydney*, pp. 27-75.
16. Ross, W.D., & Marfell-Jones, M.J. (1982). Kinanthropometry. In J.D. MacDougall, H.A. Wenger, & H.J. Green (Eds.), *Physiological testing of the elite athlete* (pp. 75-115). Ottawa, Canada: *Canadian Association of Sport Sciences*.
17. Schell, L.M., Johnston, F.E., Smith, D.R., & Paolone, A.M. (1985). Directional assymetry of body dimensions among white adolescents. *American Journal of Physical Anthropology*, 67, 317-322.
18. Sinning, W.E. (1978). Anthropometric estimation of body density, fat and lean body weight in women gymnasts. *Medicine and Science in Sports*, 10:4, 243-249.
19. Siri, W.E. Gross composition of the body (1956). In J.H. Lawrence & C.A. Tabias (Eds.) *Advances in biological and medical physics*, New York Academic, IV: pp. 239-280.
20. Slaughter, M.H., Lohman, T.G., Boileau, R.A, Horswill, C.A., Stillman, R.J., Van Loan, M.D., & Bembien, D.A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*, 60, 709-723.
21. Τοκμακίδης, Σ. (1996). *Εργοφυσιολογία: Λειτουργίες και προσαρμογές του οργανισμού κατά την άσκηση*. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης-Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, σ. 58-59.
22. Wilmore, J.H., & Behnke, A.R. (1970). An anthropometric estimation of body density and lean weight in young women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 23, 267-274.
23. Wilmore, J.H., & Costill, D.L. (1994). *Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics Pub.*, p.p. 380-398.



**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**



Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης
Κατεύθυνση Εργοφυσιολογίας
Υπεύθυνος: Τοκμακίδης Σάββας, Καθηγητής

ΚΑΡΤΕΛΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ :

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΓΕΝΝΗΣΗΣ :

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ :

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σωματική μάζα (kg)	Δείκτης μυϊκής περιφέρειας βραχίονα
Ύψος από όρθια θέση (cm)	Ποσοστό λίπους (%)
Ύψος από καθιστή θέση (cm)	Άλιπη σωματική μάζα (kg)
Έκταση χεριών (cm)	Μάζα λίπους (Kg)
Λόγος άνω τμήματος/κάτω τμήματος	Βασικός μεταβολισμός (kcal)
Δείκτης κορμού	Επιθυμητό σωματικό βάρος (kg)
Δείκτης μάζας σώματος (kg/m ²)	Οριακό σωματικό βάρος (kg)

ΜΗΚΗ ΚΟΡΜΟΥ (cm)

Μήκος βραχιόνιου	Μήκος πήχη & παλάμης
Μήκος πήχη	Μήκος μηρού
Μήκος παλάμης	Μήκος κνήμης

ΔΕΡΜΑΤΟΠΤΥΧΕΣ (mm)

ΔΕΡΜΑΤΟΠΤΥΧΕΣ	1η μέτρηση	2η μέτρηση	3η μέτρηση	Μ.Ο.
Δικέφαλος βραχιόνιος				
Τρικέφαλος βραχιόνιος				
Υποπλάτιος				
Λαγόνιος				
Κοιλιακός				
Μηριαίος				
Γαστροκνήμιος				
Μεσομασχαλιαίος				
Θωρακικός				

ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ (cm)

	1η μέτρηση	2η μέτρηση	3η μέτρηση	M.O.
- αμφιακρωματική				
- θωρακική				
- πλάτος θώρακα				
- αμφιλαγόνια				
- αμφιπροχανθηριακή				

	Δεξί άκρο			Αριστερό άκρο			M.O.
	1η	2η	3η	1η	2η	3η	
- γονάτων							
- αγκώνων							
- αστραγάλων							
- καρπών							

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΕΣ (cm)

	1η μέτρηση	2η μέτρηση	3η μέτρηση	M.O.
- ώμου				
- στήθους				
- μέσης				
- κοιλιάς				
- ισχίου				

	Δεξί άκρο			Αριστερό άκρο			M.O.
	1η	2η	3η	1η	2η	3η	
- δικάφαλου							
- πήχη							
- καρπού							
- μηρού							
- proximal							
- midhigh							
- distal							
- γαστροκνημίου							
- αστραγάλου							