

**ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ: : ΠΡΟΠΟΝΗΤΗΣ ΑΘΛΗΜΑΤΩΝ**

**ΜΑΘΗΜΑ: ΕΡΓΟΜΕΤΡΙΑ (Θ)**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΤΟΜΑΡΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

### **ΘΕΜΑ: Άμεσοι & Έμμεσοι τρόποι προσδιορισμού VO<sub>2</sub>max**

Προσδιορισμός της Μέγιστης Πρόσληψης O<sub>2</sub> Η μέγιστη πρόσληψη O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub> max), 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 6 η μέγιστη ποσότητα O<sub>2</sub> που χρησιμοποιείται κατά την εκτέλεση άσκησης, η οποία κινητοποιεί μεγάλες μυϊκές ομάδες με μέση ή υψηλή ένταση για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Η VO<sub>2</sub> max, αποτελεί το μέγιστο όγκο του O<sub>2</sub> το οποίο καταναλώνει ο οργανισμός στη μονάδα τον χρόνου (Πίνακας .1) και η ποσότητα αυτή μπορεί να εκφραστεί σε απόλυτες τιμές (λίτρα ανά λεπτό – l/min) και σε σχετικές τιμές (χιλιοστόλιτρα ανα κιλό σωματικού βάρους ανά λεπτό – ml/Kg/min)

Η μονάδα στην οποία θα εκφραστεί η VO<sub>2</sub> max, εξαρτάται κυρίως από τη φύση του αθλήματος. Τον κωπηλάτη για παράδειγμα, θα τον ενδιέφερε η απόλυτη τιμή έκφρασης της VO<sub>2</sub> max (l/min), καθώς η φύση του αθλήματος στο οποία 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<sub>2</sub> max (ml/Kg/min), 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> κυμαίνονται από 30 ml/Kg/min για ένα μη ασκούμενο άτομο ηλικίας μέσης ηλικίας και φθάνουν μέχρι και 80-87 ml/Kg/min, 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). Μέθοδοι προσδιορισμού της VO<sub>2</sub> max Στην εργομετρία μπορεί κανείς να διακρίνει πληθώρα μεθόδων και διαδικασιών προσδιορισμού της VO<sub>2</sub>max (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 που χρησιμοποιούμενου εργομέτρου. Μια τρίτη διάκριση, αφορά το επίπεδα της επιβάρυνσης κατά πόσο δηλαδή πρόκειται για δοκιμασίες οι οποίες απαιτούν μέγιστη ή υπομέγιστη προσπάθεια. Οι μέθοδοι

προσδιορισμού της  $VO_2 \max$  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' οίκων (ερωτηματολογία)

Τρόποι Προσδιορισμού της  $VO_2 \max$  Η  $VO_2 \max$  αξιολογείται με άμεσες και έμμεσες διαδικασίες προσδιορισμού. Η διαφορά μεταξύ άμεσων και εμμέσων διαδικασιών αξιολόγησης της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, αναφέρεται στο ότι οι πρώτες την καθορίζουν με σχετική ακρίβεια, ενώ οι δεύτερες προβλέπουν τη  $VO_2 \max$  μέσω εξισώσεων παλινδρόμησης. Άμεσος Προσδιορισμός της  $VO_2 \max$ : Η άμεση αξιολόγηση της  $VO_2 \max$ , 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 Πίνακας .3 16 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 .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 αθλήματός τους εργόμετρο. Όπως θα δούμε παρακάτω για τον προσδιορισμό της  $VO_2 \max$  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  $CO_2$ . 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  $O_2$  και η φασματοσκοπική μέθοδος υπέρυθρης απορρόφησης για το  $CO_2$ . Όπως για τον όγκο 17 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  $VO_2 \max$  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 (Μετρητής Υγρασίας) • 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  $CO_2$  ( $FeCO_2$ ) σε κάθε αναπνοή (breath by breath). Διαδικασία • Πρωταρχικό μέλημα του ειδικού αξιολόγησης 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). 18 • 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. 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 στο δαπεδοεργόμετρο. Ο δοκιμαζόμενος τρέχει ή βαδίζει στο δαπεδοεργόμετρο του οποίου η ταχύτητα και η κλίση ρυθμίζεται είτε ηλεκτρονικά είτε από τον ειδικό της μέτρησης. 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  $O_2$  και  $CO_2$ , 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 ηλικίου, 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  $VO_2$ , είναι απαραίτητες οι ενδείξεις του όγκου του εκπνεόμενου αέρα και της ποσοστιαίας σύστασης του σε  $O_2$  και  $CO_2$ . Τα στοιχεία αυτά τα επεξεργάζεται το λογισμικό πρόγραμμα του υπολογιστή προκειμένου να 19 εξαχθεί το αποτέλεσμα.

Έμμεσος προσδιορισμός της  $VO_2 \max$  Παρά το γεγονός ότι η άμεση αξιολόγηση της  $VO_2 \max$  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 ακριβού 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  $VO_2 \max$ , 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  $VO_2 \max$  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  $VO_2 \max$ , οι οποίες να εξασφαλίζουν την ευκολότερη, περιορισμένου κόστους και με δυνατότητα μαζικότερης συμμετοχής των δοκιμαζομένων σε αυτές. Οι παραπάνω λόγοι συνέτειναν στο να επινοηθούν διάφοροι τρόποι έμμεσων διαδικασιών αξιολόγησης προς εκτίμηση της  $VO_2 \max$ , μέσα από καταγραφή καθημερινών δραστηριοτήτων και την πραγματοποίηση μέγιστων και υπομέγιστων εργαστηριακών δοκιμασιών και δοκιμασιών πεδίου. Επισημαίνεται, 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.

20 Καθίσταται σαφές όμως ότι σε καμία περίπτωση, οι έμμεσες διαδικασίες δεν μπορούν να υποκαταστήσουν την άμεση αξιολόγηση της  $VO_2 \max$ , παρά μόνο να την εκτιμήσουν βασιζόμενες σε διάφορες εξισώσεις παλινδρόμησης, οι οποίες πηγάζουν από τη σχέση μεταξύ της  $VO_2$  και διάφορων φυσιολογικών παραμέτρων ή παραμέτρων απόδοσης. Εργαστηριακές δοκιμασίες 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. Υπολογισμός παραγόμενου έργου στο μηχανικό εργοποδηλάτο: Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο καθορισμός της αντίστασης για εκτέλεση συγκεκριμένου έργου στο μηχανικό εργοποδηλάτο, θα καθορισθεί ως εργόμετρο αναφοράς το τυπικό εργοποδηλάτο 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 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 Watt ή kpm και όχι το έργο καθώς η μονάδα μέτρησής του είναι τα Joules (J). 21 Μια ολόκληρη περιστροφή των πεντάλ σε ένα μηχανικό εργοποδηλάτο Monark, μετακινεί τη μεταλλική ρόδα κατά 6m. Όταν τοποθετηθεί ως αντίσταση 1kp (1kg), τότε κάθε περιστροφή συντελεί σε παραγωγή  $1kp \times 6m * rpm^{-1} = 6kpm$  μηχανικού έργου (ισχύος).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/ ΠΗΓΕΣ

### ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΟΜΕΤΡΙΑ

Συγγραφή – Επιμέλεια: Δρ Παναγιώτης Β. Τσακλής Αν. Καθηγητής

Συμμετοχή: Δρ Σάββας Τοκμακίδης, Καθηγητής (ΤΕΦΑΑ-ΔΠΘ) Δρ Ελένη Δούδα, Αν. Καθηγήτρια (ΤΕΦΑΑ-ΔΠΘ) Δρ Ηλίας Σμήλιος, Λέκτορας (ΤΕΦΑΑ-ΔΠΘ)

ΤΟΜΑΡΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ