

## Εισαγωγή στην Καρδιοαναπνευστική Δοκιμασία Κοπώσεως Ενδείξεις, Διαδικασία, Βασικοί Δείκτες & Στοιχεία Επίκρισης

ΟΥΡΑΝΙΑ ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ<sup>1,2</sup>  
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΤΑΣΟΥΛΗΣ<sup>2</sup>  
ΣΕΡΑΦΕΙΜ ΝΑΝΑΣ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Καρδιολογική Κλινική Γ.Ν. ΕΛΕΝΑ ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ.

<sup>2</sup> Εργαστήριο Κλινικής Εργοσπιρομετρίας Άσκησης και Αποκατάστασης Ιατρικής Σχολής Ε.Κ.Π.Α.

<sup>3</sup> Κλινική Εντατικής Θεραπείας Ιατρική Σχολή ΕΚΠΑ

### Λέξεις ευρετηρίου

Καρδιοαναπνευστική Δοκιμασία Κοπώσεως (ΚΑΔΚ), Εργοσπιρομετρία, Μέγιστη Κατανάλωση Οξυγόνου ( $VO_2\text{peak}$ ), Κλίση Αναπνευστικού Ισοδυνάμου ( $V_E/VCO_2$ ), Μεταμόσχευση Καρδιάς

### Αθανάσιος Τασούλης

Καρδιολόγος-Φυσιάτρος

### Διεύθυνση επικοινωνίας

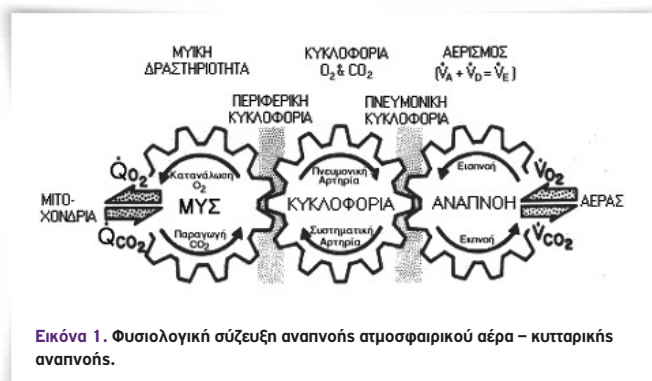
Νεόφρονος 8 ,16121, Αθήνα  
Τηλ.: 6937887490  
E-mail: tasoulisathanasios@yahoo.gr

**Η** καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κοπώσεως (ΚΑΔΚ) είναι μια σύγχρονη διαγνωστική δοκιμασία που ελέγχει την ανταπόκριση του αναπνευστικού, του καρδιαγγειακού και του μυϊκού συστήματος σε προοδευτικά αυξανόμενο μυϊκό έργο χρήσιμη σε πολλές κλινικές καταστάσεις. Ιδιαίτερα χρήσιμη στους ασθενείς με ελαττωμένη αντοχή στην κόπωση όσο και σε εκείνους με νόσους του αναπνευστικού και του καρδιαγγειακού συστήματος, ενώ αποτελεί την εξέταση εκλογής για την επιλογή ασθενών για μεταμόσχευση καρδιάς. Η δοκιμασία διενεργείται σε κυλιόμενο τάπητα ή εργομετρικό ποδήλατο με πρωτόκολλα προοδευτικά αυξανόμενου έργου. Μας παρέχει πλειάδα παραμέτρων με σημαντικότερες την μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου ( $VO_2\text{peak}$ ), την κατανάλωση οξυγόνου στον αναερόβιο ουδό ( $VO_2AT$ ), την κλίση του αναπνευστικού ισοδυνάμου ( $V_E/VCO_2$ ). Το σύνολο αυτό των παραμέτρων μας δίνει τη δυνατότητα της ακριβούς εκτίμησης της ικανότητας για άσκηση των ασθενών και της διαφορικής διάγνωση μεταξύ των παθήσεων μέσω της αξιοποίησης κατάλληλων διαγνωστικών αλγορίθμων.

### Εισαγωγή

Η καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κοπώσεως (ΚΑΔΚ) είναι δοκιμασία που οδηγεί στην εκτέλεση προοδευτικά αυξανόμενου έργου. Η απόδοση του αυξημένου μυϊκού έργου απαιτεί την κατάλληλη ανταπόκριση του αναπνευστικού και του καρδιαγγειακού συστήματος στην αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού ώστε να ικανοποιούνται οι ενεργειακές απαιτήσεις των κυττάρων των μυών. Έτσι παθολογία κάποιου από τα αναφερόμενα συστήματα αντικατοπτρίζεται στην ΚΑΔΚ.

Η αλληλεπίδραση των συστημάτων που συνδέουν την ανταλλαγή αερίων μεταξύ των μυϊκών κυττάρων και του εξωτερικού αέρα απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 1.<sup>1</sup>



Εικόνα 1. Φυσιολογική σύζευξη αναπνοής ατμοσφαιρικού αέρα - κυτταρικής αναπνοής.

## Ενδείξεις ΚΑΔΚ

Η ΚΑΔΚ είναι μια σύγχρονη διαγνωστική δοκιμασία που αποτελεί χρήσιμο διαγνωστικό εργαλείο σε μία σειρά από κλινικές οντότητες και προβληματισμούς όπως:

- Εκτίμηση ανοχής στην κόπωση και διερεύνηση αδιάγνωστης μείωσης της ικανότητας για άσκηση.
  - ▶ Συμβάλλει ιδιαίτερα στην πρώιμη διάγνωση διαφόρων καταστάσεων
  - ▶ Διερεύνηση αποκορεσμού κατά την άσκηση
- Δύσπνοια προσπαθείας αγνώστου αιτιολογίας.
  - ▶ Διαφοροδιάγνωση πνευμονικής, καρδιακής ή μεταβολικής νόσου - πολύ σημαντική δοκιμασία στη διάγνωση της ψυχογενούς δύσπνοιας.
- Εκτίμηση ασθενών με αναπνευστικά προβλήματα.
  - ▶ Χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια
  - ▶ Διάμεσα πνευμονικά νοσήματα
  - ▶ Πνευμονική υπέρταση
  - ▶ Κυστική ίνωση
- Βρογχόσπασμος προκαλούμενος από άσκηση (Διάγνωση ασκισιογενούς άσθματος)
- Εκτίμηση ασθενών με νοσήματα του καρδιαγγειακού συστήματος.
  - ▶ Ιδιαίτερα σημαντικός ο ρόλος της στην καρδιακή ανεπάρκεια όπως φαίνεται στον πίνακα 1.
  - ▶ Μετά το τέλος της δοκιμασίας οι ασθενείς κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την ικανότητα για άσκηση.

### Πίνακας 1.

#### Ενδείξεις ΚΑΔΚ στην καρδιακή ανεπάρκεια

1. Εκτίμηση της βαρύτητας της νόσου
2. Εκτίμηση του βαθμού ανταπόκρισης στη θεραπεία, σύγκριση διαφορετικών αγωγών
3. Διαφορική διάγνωση δύσπνοιας (αναπνευστικής ή καρδιακής αιτιολογίας)
4. Εκτίμηση της πρόγνωσης
5. Επιλογή ασθενών υποψηφίων για μεταμόσχευση – Εκτίμηση ασθενών που έχουν υποβληθεί σε μεταμόσχευση
6. Συνταγογράφηση άσκησης
7. Διάγνωση καρδιακής ανεπάρκειας με διατηρημένο κλάσμα εξωθήσεως (διαστολική καρδιακή ανεπάρκεια)

- Προεγχειρητική εκτίμηση ασθενών
  - ▶ ασθενείς με  $VO_2\text{reak}$  πριν την επέμβαση < 15 mg/Kg/min θεωρούνται υψηλού κινδύνου (θνητότητα 18% και σχεδόν 100% πιθανότητα εμφάνισης κάποιας περι- ή μετεγχειρητικής επιπλοκής),
- Εκτίμηση υποψηφίων για μεταμόσχευση καρδιάς
  - ▶ το κριτήριο είναι αν το  $VO_2\text{reak}$  είναι μικρότερο του 14 ml/kg/min ή μικρότερο του 12ml/kg/min αν ο ασθενής λαμβάνει β-αναστολέα.
- Συνταγογράφηση άσκησης σε προγράμματα αποκατάστασης
- Εκτίμηση βαρύτητας της αναπηρίας  
Εκτίμηση παρεμβάσεων σε ασθενείς και υγιείς (περιλαμβανομένων των αθλητών)

#### Συνοπτικά:

Στον Πίνακα 2 φαίνονται συνοπτικά οι ενδείξεις της ΚΑΔΚ σε καρδιοαναπνευστικά νοσήματα.

## Πίνακας 2.

### Ενδείξεις ΚΑΔΚ στα καρδιοαναπνευστικά νοσήματα

Εκτίμηση ανοχής στην κόπωση

Διερεύνηση δύσπνοια προσπαθείας αγνώστου αιτιολογίας

Εκτίμηση ασθενών με αναπνευστικά προβλήματα

- ▶ Χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια
- ▶ Διάμεσα πνευμονικά νοσήματα
- ▶ Πνευμονική υπέρταση
- ▶ Κυστική ίνωση

Εκτίμηση ασθενών με νοσήματα του καρδιαγγειακού συστήματος

- ▶ Καρδιακή ανεπάρκεια

Εκτίμηση υποψηφίων για μεταμόσχευση καρδιάς

Προεγχειρητική εκτίμηση ασθενών

Συνταγογράφηση άσκησης σε προγράμματα αποκατάστασης

Διάγνωση ασκσιογενούς άσθματος

## Προετοιμασία και Διαδικασία

Η Καρδιοαναπνευστική Δοκιμασία Κοπώσεως (ΚΑΔΚ) είναι μια δοκιμασία κατά την οποία απαιτείται πολύ καλή συνεργασία εξεταζόμενου και εξεταστή. Ο εξεταζόμενος δεν μπορεί να μιλήσει κατά την κόπωση, πρέπει να αναπνέει μέσα από επιστόμιο ή μάσκα και ταυτοχρόνως να καταβάλει μέγιστη σωματική προσπάθεια. Άρα είναι σημαντικό να αισθάνεται ασφάλεια, άνεση και ότι έχει την ολοκληρωτική προσοχή των εξεταστών έτσι ώστε να αποδώσει το μέγιστο των δυνατοτήτων του.

### Προετοιμασία

#### Πριν την έναρξη προηγείται:

- Πλήρης λήψη του ιστορικού (φυσική δραστηριότητα, παράγοντες κινδύνου) από τον ιατρό που θα διενεργήσει την εξέταση
  - Καταγραφή πιθανής αναπνευστικής ή καρδιαγγειακής νόσου
  - Μέτρηση βάρους και ύψους και εξοικείωση του ασθενούς με τα μηχανήματα.

#### Πριν από την διενέργεια μιας ΚΑΔΚ γίνονται υποχρεωτικά οι εξής μετρήσεις:

- Λειτουργικός έλεγχος της αναπνοής (FEV<sub>1</sub>, FVC, FEV<sub>1</sub>/FVC, MVV),

- Μέτρηση Αρτηριακής πίεσης, Οξυμετρίας και ΗΚΓ ηρεμίας.

Η FEV<sub>1</sub> μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έμμεσο υπολογισμό του μέγιστου εκούσιου αερισμού (MVV- maximal voluntary ventilation) με τη χρήση της σχέσης  $MVV = 40 \times FEV_1$  που είναι απαραίτητος για την εκτίμηση της αναπνευστικής εφεδρείας κατά την άσκηση).

Όλες οι πνευμονικές δοκιμασίες μπορούν να επαναληφθούν μετά το τέλος της ΚΑΔΚ ώστε να διαπιστωθεί τυχόν επίδραση της άσκησης στις μελετώμενες παραμέτρους.<sup>2</sup>

#### Ο ασθενής που πρόκειται να υποβληθεί σε ΚΑΔΚ είναι καλό:

- Να φοράει άνετα ρούχα και παπούτσια την ημέρα της εξέτασης
- Να μην έχει καταναλώσει γεύμα τουλάχιστον 2 ώρες πριν την δοκιμασία
- Το πρωινό της δοκιμασίας να μην έχει κουραστεί με άσκηση
- Να μην έχει καπνίσει και καταναλώσει καφέ τις 2 προηγούμενες ώρες
- Να έχει λάβει κανονικά την καθημερινή φαρμακευτική του αγωγή.

### Μετρήσεις κατά την δοκιμασία

Η πρόσληψη οξυγόνου, ο καρδιακός ρυθμός, η αρτηριακή πίεση, το ΗΚΓ, η παραγωγή CO<sub>2</sub> και ο κορεσμός O<sub>2</sub> καταγράφονται πριν από την έναρξη, κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος της δοκιμασίας.

Κατά τη διάρκεια της άσκησης εκτιμάται και το υποκειμενικό αίσθημα της κόπωσης με την κλίμακα Borg.

Αμέσως μετά το τέλος της δοκιμασίας κατά την διάρκεια την αποκατάστασης (Recovery) συνεχίζεται η καταγραφή για τουλάχιστον 5 λεπτά μετά την κόπωση μέχρι την σταθεροποίηση στο επίπεδο ηρεμίας.

Επίσης είναι σημαντικό να τονιστεί στον ασθενή ότι πρέπει να παραμείνει κοντά στο χώρο του εργαστηρίου για 15-20 λεπτά μετά το πέρας της δοκιμασίας για τυχόν εμφάνιση όψιμων επιπλοκών.

Σε κάθε εργαστήριο που επιτελούνται καρδιοαναπνευστικές δοκιμασίες κόπωσης σε ασθενείς πρέπει να τηρούνται κανόνες ασφαλείας και να υπάρχει εξοπλισμός αναζωογόνησης που να



- ρινοπίεστρο
- επιστόμιο μετρητής ροής αέρα
- σωληνίσκος μεταφοράς αερίων στο μεταβολικό αναλυτή
- αέρια γνωστής συγκέντρωσης για τη βαθμονόμηση του μεταβολικού αναλυτή
- οθόνη παρακολούθησης μεταβολικών παραμέτρων και ΗΚΓ
- κομβίο επείγουσας διακοπής λειτουργίας του τάπητα
- ηλεκτρόδια ΗΚΓ
- πιεσόμετρο
- οξύμετρο
- κυλιόμενος τάπητας
- μεταβολικός αναλυτής ή αναλυτής αερίων

**Εικόνα 2.** Αντί του ρινοπίεστρου και του επιστόμιου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μάσκα. Αντί του κυλιόμενου τάπητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυκλοεργόμετρο. Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία είναι ίδια για κάθε ΚΑΔΚ. Ο εξεταζόμενος συνδεδεμένος με ΗΚΓ ασκείται σε τάπητα ή ποδήλατο. Ο αναπνεόμενος αέρας περνά από το μετρητή ροής αέρα και δείγματα του εκπνεόμενου αέρα οδηγούνται συνεχώς (αναπνοή προς αναπνοή) στον μεταβολικό αναλυτή. Η καρδιακή συχνότητα καταγράφεται στον αναλυτή των δεδομένων όπως λαμβάνεται από το ΗΚΓ. Χειροκίνητα συμπληρώνονται οι τιμές της αρτηριακής πίεσης και του κορεσμού. Όλες οι παράμετροι μετρώνται παρακολουθούνται και καταγράφονται στη φάση της προθέρμανσης της άσκησης και της ανάκαμψης.

βρίσκεται σε κατάλληλη θέση και θα διασφαλίζει την ασφαλή διεξαγωγή της δοκιμασίας. Παρόλο το μικρό σχετικά ποσοστό εμφανίσεως επιπλοκών πρέπει να υπάρχει επαρκής επίβλεψη σε κάθε ΚΑΔΚ. Γενικά η παρουσία ιατρού κρίνεται απαραίτητη όταν εξετάζονται ασθενείς (καρδιολογικά, αναπνευστικά ή μεταβολικά κυρίως νοσήματα), ή άτομα υψηλού κινδύνου. Τουλάχιστον 2 έμπειρα άτομα αρκούν να διεκπεραιώσουν την εξέταση, όμως παραπάνω από 3 άτομα πρέπει να αποφεύγονται για να μην διασπάται η προσοχή τους.<sup>3</sup>

Στην παρακάτω Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα τεχνικά μέσα και της διάταξής τους κατά τη διάρκεια ΚΑΔΚ

## Διαδικασία της Καρδιοαναπνευστικής Δοκιμασίας Κόπωσης

Η τεχνική αρτιότητα της ΚΑΔΚ είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διαμόρφωση αξιόπιστου πορίσματος και διάγνωσης. Μεγάλη σημασία έχει η επιλογή του μέσου της κόπωσης κυκλοεργόμετρο (ποδήλατο) ή κυλιόμενου τάπητα και το πρωτόκολλο της κόπωσης.

Τα δύο μέσα άσκησης είναι αμφότερα δόκιμα με διαφορές στις τιμές των επιτευχθέντων παραμέτρων και στα χαρακτηριστικά τους.

Οι διαφορές μεταξύ των δύο μέσων κοπώσεως συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Διαφορές μεταξύ Κυκλοεργόμετρου και κυλιόμενου τάπητα		
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΚΥΚΛΟΕΡΓΟΜΕΤΡΟ	ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΣ ΤΑΠΗΤΑΣ
Μέγιστη κατανάλωση Οξυγόνου	Χαμηλότερη	Υψηλότερη (περίπου 5-10%)
Προσδιορισμός έργου	Ναι	Όχι
Παράσιτα στις διάφορες μετρήσεις (ΗΚΓ, Αρτηριακή πίεση)	Λιγότερο συχνά	Συχνότερα
Ασφάλεια	Ασφαλές	Λιγότερο ασφαλές από το κυκλοεργόμετρο
Κόστος	Μικρότερο	Μεγαλύτερο
Απαιτούμενος χώρος	Μικρότερο	Μεγαλύτερο

Η επιλογή κυκλοεργόμετρου ή τάπητα εξετασµικεύεται για κάθε ασθενή.

Επίσης είναι σημαντικό η παρακολούθηση των ασθενών να γίνεται πάντα µε τον ίδιο τύπο κόπωσης στον συγκεκριµένο ασθενή, ώστε τα αποτελέσµατα να είναι συγκρίσιµα.<sup>1</sup>

### Πρωτόκολλα δοκιµασίας κοπώσεως

Ένα ζητούµενο για τη µέγιστη κόπωση είναι η διάρκεια της άσκησης να περιορίζεται στα 8-12 λεπτά γιατί έτσι επιτυγχάνεται η πραγµατική µέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, µπορούν να υπολογιστούν αξιόπιστα τόσο ο αναερόβιος ουδός όσο και άλλες υπολογιζόµενες παράµετροι της ΚΑΔΚ. Ένα άλλο ζητούµενο είναι η οµότιµη κόπωση του αναπνευστικού και του καρδιαγγειακού συστήµατος και η γραµµική αύξηση της καρδιακής συχνότητας και του  $VO_2$ . Αυτές οι συνθήκες διευκολύνονται από συνεχόµενη (ramp) και όχι κατά στάδια αύξηση του έργου. Η γραµµική αύξηση της καρδιακής συχνότητας και της πρόσληψης οξυγόνου µε τα πρωτόκολλα της συνεχόµενης αύξησης έργου (ramp) επιτρέπουν βελτιωµένη ερµηνεία των αποτελεσµάτων της ανταλλαγής αερίων που δεν είναι εφικτή µε τα πρωτόκολλα µε µεγάλες, απότοµες ή ανισότιµες προσαυξήσεις έργου (step) ανάµεσα στα στάδια.

Αντίθετα στα πρωτόκολλα σταθερού έργου επιβάλλουµε από την αρχή της κόπωσης ένα προαποφασισµένο έργο και διερευνούµε τη χρονική διάρκεια της κόπωσης και την κινητική του οξυγόνου.

Υπάρχει µια πληθώρα πρωτοκόλλων τόσο για κυκλοεργόμετρο όσο και για κυλιόµενο τάπητα, η οποία δίνει τη δυνατότητα στον υπεύθυνο για τη διενέργεια της κόπωσης να εξετασµικεύει το πρωτόκολλο που θα χρησιµοποιηθεί σε κάθε ασθενή.

### Βασικοί Δείκτες ΚΑΔΚ

Οι παράµετροι που µετρώνται άµεσα κατά τη διάρκεια της ΚΑΔΚ είναι µόνο έξι: Η **ροή αέρος (αερισµός)**, το **οξυγόνο**, το **διοξειδίο του άνθρακος** του αναπνεόµενου αέρα, και η **καρδιακή συχνότητα**, είναι οι 4 που χρησιµοποιούνται για τον υπολογισµό των υπολοίπων, ενώ η **αρτηριακή πίεση** και ο **κορεσµός** της αιµοσφαιρίνης σε οξυγόνο είναι απαραίτητα για την ασφαλή διεξαγωγή της κόπωσης αλλά συµβάλλουν και στη διάγνωση. Η σύγχρονη τεχνολογία δίδει την δυνατότητα ταυτόχρονου υπολογισµού δεκάδων παραµέτρων από τις παραπάνω βασικές παραµέτρους.

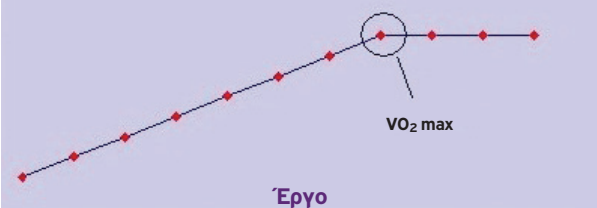
Ένας σχετικά µικρός µόνον αριθµός αυτών χρησιµοποιείται στην κλινική πράξη. Παρακάτω θα περιγράψουµε κάποιες από τις σηµαντικότερες παραµέτρους.

### Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_2max - VO_2peak$ )

Είναι η µέγιστη πρόσληψη  $O_2$  που επιτυγχάνεται για ένα συγκεκριµένο ασκούμενο.

Η µέγιστη  $VO_2$  ( $VO_2max$ ) επιτυγχάνεται όταν η  $VO_2$  φθάνει σε «πλατώ» (plateau), δηλαδή πάψει να αυξάνεται, παρά την αύξηση του έργου (Εικόνα 3). Συγκεκριµένα, όταν η  $VO_2$  αυξάνεται µε ρυθµό < 1ml/kg/min όταν η αύξηση του έργου θα έπρεπε κανονικά να επιφέρει αύξηση 2ml/kg/min, τότε θεωρούµε ότι επετεύχθη  $VO_2max$ .

**Πρόληψη Οξυγόνου VO<sub>2</sub>**



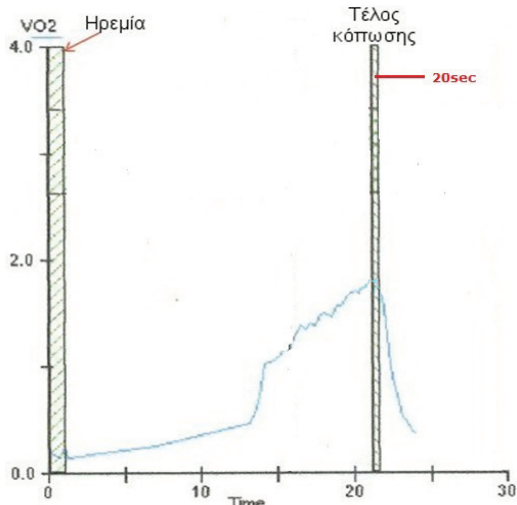
**Εικόνα 3.** Σχηματική απεικόνιση του ορισμού του VO<sub>2</sub>max. Παρά την αύξηση του έργου το VO<sub>2</sub> δεν αυξάνεται από τον κύκλο και μετά αλλά κάνει plateau (επιπεδώνεται). Αυτό το VO<sub>2</sub> ορίζεται ως VO<sub>2</sub>max.

Η πρόσληψη οξυγόνου στη μέγιστη κόπωση (VO<sub>2</sub> max, VO<sub>2</sub> peak) αποτελεί την αντικειμενική μέτρηση της ικανότητας για άσκηση.

Ένα φυσιολογικό άτομο που υποβάλλεται σε άσκηση αυξανόμενου έργου μπορεί να αυξήσει έως και 16 φορές το VO<sub>2</sub> ηρεμίας (από 0.25 l σε 4 l), ενώ οι αθλητές πάνω από 20 φορές.

Το VO<sub>2</sub> max - VO<sub>2</sub> peak είναι αξιόπιστος και επαναλήψιμος δείκτης και πρέπει να μετράται άμεσα, με την ΚΑΔΚ, και όχι να υπολογίζεται από παραμέτρους ηρεμίας.

Το VO<sub>2</sub> max - VO<sub>2</sub> peak πρέπει να εκτιμηθεί σε σχέση με τις προβλεπόμενες φυσιολογικές τιμές επί της % (Πίνακας 5).



**Εικόνα 4.** Σχηματική απεικόνιση του ορισμού του VO<sub>2</sub> peak. Στην κόπωση αυτή δεν επιτυγχάνεται plateau, άρα δεν υπάρχει VO<sub>2</sub>max. Ο μέσος όρος του VO<sub>2</sub> κατά τα τελευταία 20 sec της άσκησης ορίζεται ως VO<sub>2</sub> peak.

Οι προβλεπόμενες τιμές VO<sub>2</sub> peak παρουσιάζονται στον Πίνακα 4:

<b>Πίνακας 4.</b>	
<b>Προβλεπόμενες τιμές μέγιστης κατανάλωσης Οξυγόνου, VO<sub>2</sub> peak</b>	
Κατά Jones σε l / min:	
0.046 *Ύψος – 0.021 *Ηλικία – 0.62	
*Φύλο (Α=0, Γ=1 – 4.31)	
Κατά Hansen σε ml/Kg/min:	
σε άντρες: Βάρος* [50.75 – 0.372 *Ηλικία]	
σε γυναίκες (Βάρος + 43) * [22.78 – 0.17 *Ηλικία]	

<b>Πίνακας 5.</b>	
<b>Προβλεπόμενες τιμές μέγιστης κατανάλωσης Οξυγόνου, VO<sub>2</sub> peak</b>	
VO <sub>2</sub> peak (% προβεπόμενου)	Ερμηνεία
>80	Φυσιολογικό
71-80	Ήπια μειωμένο
51-70	Μέτρια μειωμένο
≤ 50	Σοβαρά μειωμένο

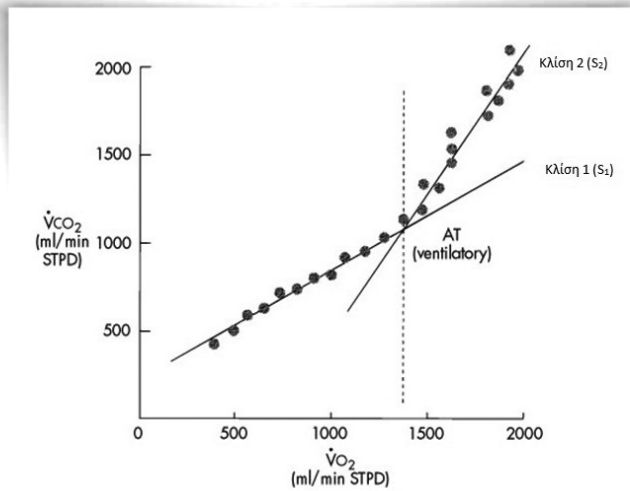
**Αναερόβιος ουδός (AT)**

Ορίζεται ως το VO<sub>2</sub> της άσκησης που σηματοδοτεί τη μετάβαση από τη φάση της άσκησης στην οποία παρατηρείται καμία ή μικρή αλλαγή στη συγκέντρωση του αρτηριακού γαλακτικού οξέος, στη φάση στην οποία παρατηρείται αύξηση στη συγκέντρωση του γαλακτικού (επίσης γνωστό ως ουδός του γαλακτικού). Προβλεπόμενες τιμές κατά Hansen: >40% του προβλεπόμενου VO<sub>2</sub> peak.

Ο πιο γνωστός και αξιόπιστος μη επεμβατικός τρόπος υπολογισμού του VO<sub>2</sub>AT είναι η σχεδίαση του VCO<sub>2</sub> ως προς το VO<sub>2</sub> σε άσκηση αυξανόμενου έργου (μέθοδος V-slope). (Εικόνα 5)

Τιμές VO<sub>2</sub>AT μικρότερες από 40% του προβλεπόμενου VO<sub>2</sub>peak σημαίνουν κάποιο σοβαρό παθολογικό πρόβλημα.

Η βελτίωση της παραμέτρου αυτής ύστερα από φαρμακευτική, χειρουργική ή προπονητική αγωγή είναι σημαντική για την ποιότητα ζωής των ασθενών γιατί η εμφάνιση αναερόβιου ουδού αντιστοιχεί και σε έναρξη μυϊκού καμάτου.



Γραφική παράσταση του  $V_{CO_2}$  ως συνάρτηση του  $V_{O_2}$ .

**Εικόνα 5. Ανίχνευση αναερόβιου ουδού με τη μέθοδο V-slope.**  
Ο αναερόβιος ουδός σηματοδοτεί την αύξηση παραγωγής διοξειδίου σε σχέση με την κατανάλωση οξυγόνου. Έτσι η γραφική τους συνάρτηση ξεκινά με μια αρχική κλίση (slope)  $S_1$  ελάχιστα μικρότερη της μονάδας η οποία στον αναερόβιο ουδό μεταπίπτει σε μια κλίση πιο απότομη  $S_2$  και αρκετά μεγαλύτερη της μονάδας. Το σημείο αυτό της μεταπτώσεως της κλίσης αντιστοιχεί στον αναερόβιο ουδό. Έτσι επιτυγχάνεται ένας αναίμακτος υπολογισμός.

Επίσης ο καθορισμός της είναι ανεξάρτητος από την προσπάθεια του ασθενούς, έτσι είναι μια υπομέγιστη παράμετρος χρήσιμη στην κλινική πράξη.

Για την εκτίμηση της βαρύτητας της καρδιακής ανεπάρκειας χρησιμοποιούμε την κατηγοριοποίηση κατά Weber αξιοποιώντας τους παραμέτρους της ΚΑΔΚ (Πίνακας 6).

Πίνακας 6.				
Κατηγοριοποίηση κατά Weber				
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ	$VO_{2peak}$	$VO_{2AT}$	CI
A	Καθόλου έως ήπια	>20	>14	>8
B	Ήπια έως μέτρια	16-20	11-14	6-8
C	Μέτρια έως βαριά	10-15	8-11	4-6
D	Βαριά	6-9	5-8	2-4
E	Πολύ βαριά	<6	3-4	<2

$VO_2 peak$  ml/kg/min: μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου  
 $VO_2 AT$  ml/kg/min: αναερόβιος ουδός  
 CI l/min per  $m^2$ : καρδιακός δείκτης μέγιστης κόπωσης

## Οξυγόνο παλμού

Η πρόσληψη οξυγόνου διαιρούμενη με την καρδιακή συχνότητα αντιστοιχεί στην πρόσληψη του οξυγόνου ανά καρδιακό παλμό. Αντιπροσωπεύει τον όγκο του  $O_2$  που αποσπάται από τους περιφερικούς ιστούς ή που προστίθεται στην πνευμονική κυκλοφορία σε κάθε καρδιακό παλμό, και είναι μέτρο της καρδιαγγειακής αποτελεσματικότητας. Είναι αριθμητικά ίση με το προϊόν του όγκου παλμού και της αρτηριοφλεβικής διαφοράς  $O_2$  [ $C(a-v)O_2$ ] όπως εκφράζεται στο νόμο του Fick και εκφράζεται σε μονάδες χιλιοστολίτρων  $O_2$  ανά παλμό. (Πίνακας 7)

Πίνακας 7.

### Νόμος του Fick

$$VO_2 = CO \times C(a-v)O_2$$

όπου CO: καρδιακή παροχή και  $C(a-v)O_2$  αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου.

$$VO_2 = (HR \times SV) \times C(a-v)O_2$$

όπου HR: καρδιακή συχνότητα, SV: όγκος παλμού

$$\text{Άρα οξυγόνο παλμού} \\ VO_2/HR = SV \times C(a-v)O_2$$

Επομένως η ανταπόκριση του οξυγόνου παλμού κατά την κόπωση αντανακλά τις μεταβολές των δύο αυτών μεταβλητών (καρδιακός όγκος παλμού και αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου).

Φυσιολογικά το οξυγόνο παλμού αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της άσκησης.

Ένα χαμηλό επίπεδο και χωρίς ουσιαστικές μεταβολές οξυγόνο παλμού, παρά την αύξηση της έντασης της άσκησης, μπορεί να εξηγηθεί ως αποτέλεσμα μειωμένου καρδιακού όγκου παλμού (λόγω καρδιακής ανεπάρκειας ή ισχαιμίας μυοκαρδίου), ή/και αδυναμίας περαιτέρω απόληψης οξυγόνου από τους σκελετικούς μύες.<sup>4,5</sup>

## Πηλίκo ανταλλαγής αερίων (RER, Respiratory Exchange Ratio)

Ο λόγος  $VCO_2/VO_2$  ονομάζεται ηλικό ανταλλαγής αερίων. Σε συνθήκες ισορροπίας το RER ισοδυναμεί με το αναπνευστικό ηλικό (Respiratory Quotient), η τιμή του οποίου εξαρτάται από τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιεί ο οργανισμός.

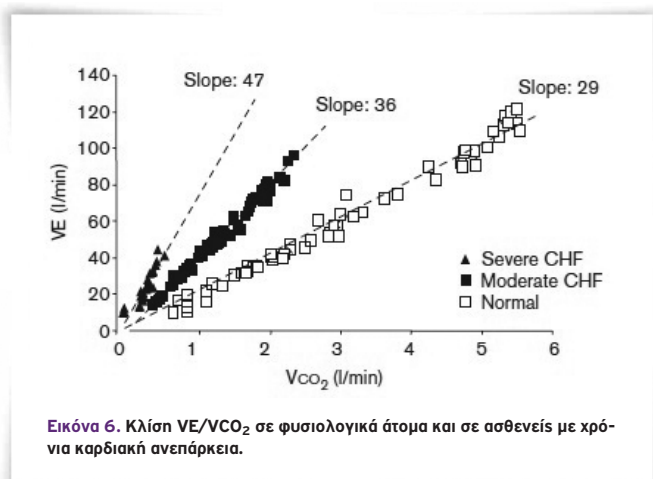
Κατά την άσκηση οι τιμές ξεκινούν από περίπου 0.8 και αυξάνονται προοδευτικά κατά την άσκηση σε πάνω από ένα μετά τον αναερόβιο ουδό και ως και πάνω από 1.5 σε μέγιστη κόπωση αθλητών. Τιμές μέγιστης κόπωσης  $\geq 1.10-1.15$  σε μη γυμνασμένα άτομα και ασθενείς είναι κριτήριο μέγιστης προσπάθειας.

### Κλίση Αναπνευστικού Ισοδύναμου CO<sub>2</sub> (VE/VCO<sub>2</sub>)

Ο κατά λεπτό αερισμός (VE) παρουσιάζει γραμμική συσχέτιση με την παραγωγή CO<sub>2</sub> (VCO<sub>2</sub>) κατά τη διάρκεια της άσκησης και έως τον αναπνευστικό ουδό. Ο αναπνευστικός ουδός έπεται του αναερόβιου ουδού και συμβαίνει όταν πλέον η περίσσεια CO<sub>2</sub> δεν μπορεί να εξουδετερωθεί και πρέπει να γίνει αναπνευστική αντιρρόπηση.

Η κλίση της γραμμικής αυτής συνάρτησης (μέχρι τον αναπνευστικό ουδό) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την αναπνευστική απόκριση στην άσκηση. Όσο πιο απότομη η κλίση τόσο λιγότερο αποδοτική είναι η αναπνοή, δηλαδή απαιτείται μεγαλύτερος αερισμός για την αποβολή μιας μονάδας CO<sub>2</sub>.

Σε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια, κυρίως λόγω υπεραερισμού με αύξηση του λόγου νεκρού χώρου/αναπνεόμενου όγκου (VD/VT) και διαταραχή της σχέσης αερισμού-αιμάτωσης, αυτή η κλίση είναι αυξημένη. Έχει δείχθει ότι κλίση  $VE/VCO_2 > 34$  σχετίζεται με μείωση της καρδιακής παροχής και αύξηση της PCWP κατά την άσκηση. Σε πρόσφατες εργασίες έχει αναδειχθεί σε καλύτερο δείκτη βαρύτητας της καρδιακής ανεπάρκειας και σε καλύτερο προγνωστικό δείκτη επιβίωσης ακόμη και από το VO<sub>2</sub> peak.



Εικόνα 6. Κλίση VE/VCO<sub>2</sub> σε φυσιολογικά άτομα και σε ασθενείς με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια.

### Κλίση μείωσης του VO<sub>2</sub> στο 1<sup>ο</sup> λεπτό της ανάκαμψης

Ο ρυθμός αποκατάστασης του VO<sub>2</sub> στα επίπεδα ηρεμίας, μετά το τέλος της άσκησης, είναι παρατεταμένος σε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια. Το γεγονός αυτό αντανακλά το βραδύ ρυθμό επαναφωσφορυλίωσης της κρεατίνης των σκελετικών μυών και αναπλήρωσης αποθηκών O<sub>2</sub> στο τριχοειδικό αίμα και τη μυοσφαιρίνη κατά την ανάκαμψη (χρέος οξυγόνου), τα οποία είχαν καταναλωθεί στην έναρξη της άσκησης (έλλειμμα οξυγόνου).

Η 1<sup>η</sup> βαθμού κλίση μείωσης του VO<sub>2</sub> (κλίση VO<sub>2</sub>/t) στο πρώτο λεπτό της ανάκαμψης τόσο από μέγιστη όσο και από υπομέγιστη κόπωση είναι μειωμένη σε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια σε σύγκριση με φυσιολογικούς και συσχετίζεται πολύ καλά με όλες τις σημαντικές παραμέτρους της ΚΑΔΚ.<sup>1</sup>

### Αναπνευστική εφεδρεία

Η αναπνευστική εφεδρεία υπολογίζεται ως το % ποσοστό του μέγιστου εκούσιου αερισμού. (MVV όπως αναφέρεται παραπάνω). Φυσιολογικές τιμές θεωρούνται 20-40% του MVV. Η παράμετρος χρησιμεύει ιδιαίτερα στη διαφοροδιάγνωση δύσπνοιας καρδιακής ή αναπνευστικής αιτιολογίας.

### Επίκριση ΚΑΔΚ

Η ερμηνευτική προσέγγιση της ΚΑΔΚ γίνεται μέσω αλγορίθμων και γραφημάτων.

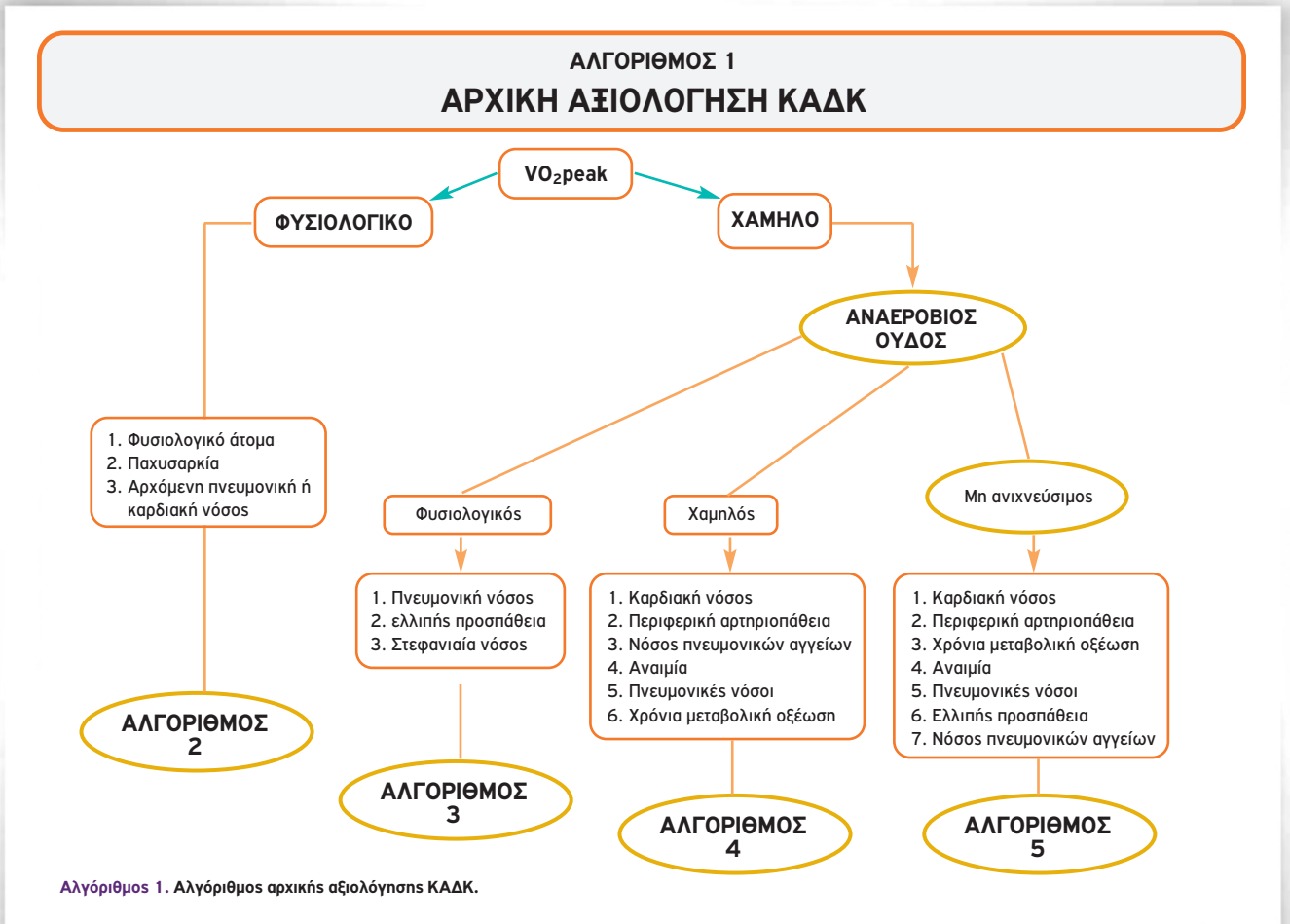
Οι διαγνωστικοί αλγόριθμοι είναι ένας οδηγός, ένας «μπούσουλας», που με τη βοήθεια κομβικών ερωτημάτων, οι απαντήσεις στα οποία είναι «ναι / όχι» ή «παθολογικό/φυσιολογικό», οδηγεί το μονοπάτι της διάγνωσης μέσω διακλαδώσεων στο τελικό συμπέρασμα.

Τα γραφήματα οπτικοποιούν τα δεδομένα και επιτρέπουν μια αρχική κρίση, με μια ματιά του εμπειρου εξεταστή, για τον αν η ΚΑΔΚ ήταν φυσιολογική ή όχι και το ποιο σύστημα της αλυσίδας πάσχει.

Η αξιολόγηση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μιας καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κοπώσεως αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την ορθή διάγνωση.

Παραθέτουμε τον αρχικό αλγόριθμο [Αλγόριθμος 1] καθώς και ένα συγκριτικό πίνακα γραφημάτων του Wasserman σε διάφορες (παθήσεις Πίνακας 8).<sup>4</sup>



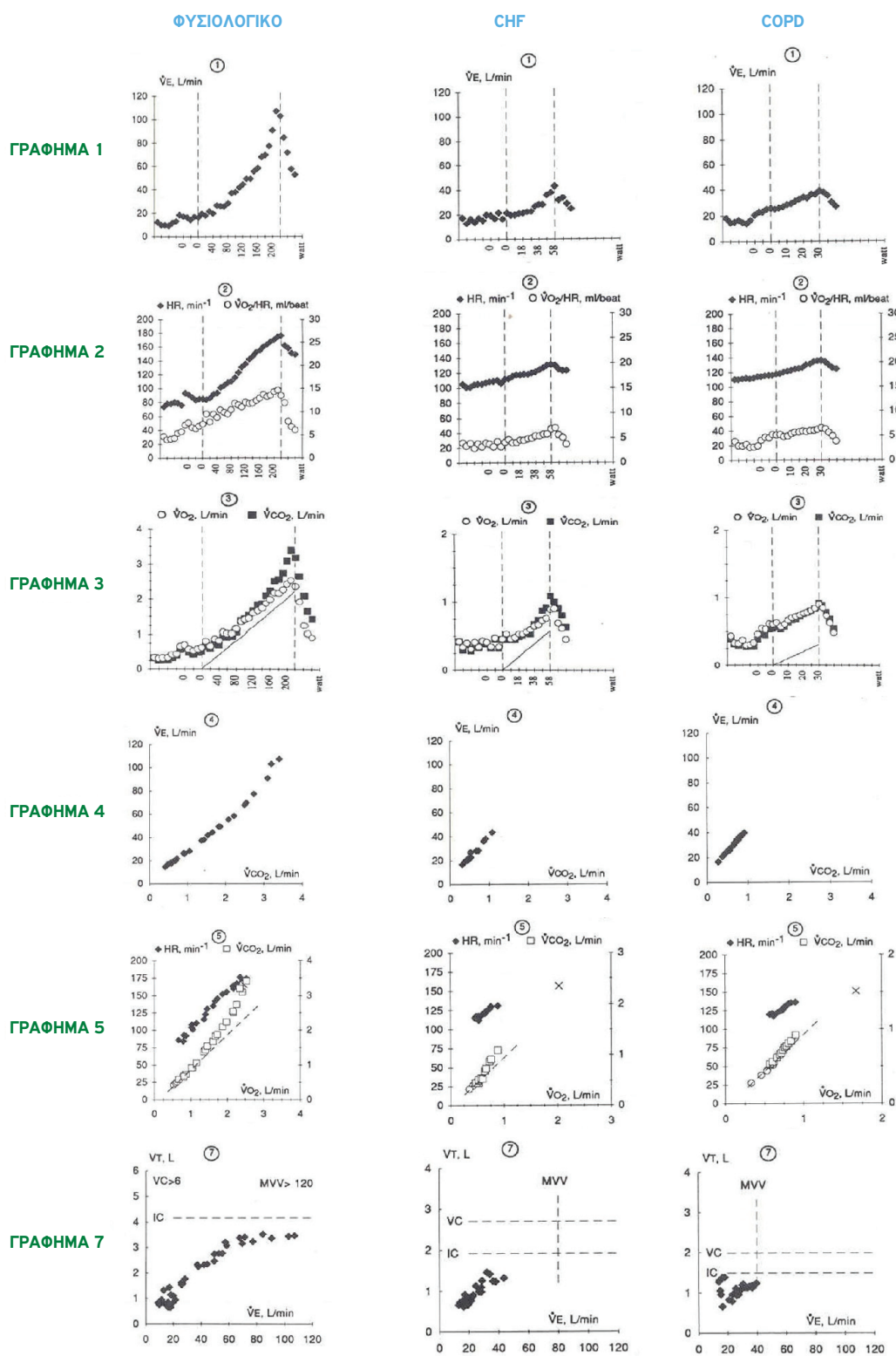


Με την πρώτη ματιά στο γράφημα 3 βλέπουμε πόσο μειωμένο είναι το  $VO_2$  peak στους ασθενείς (περίπου 1l /min αντί για 3.5l / min). Πώς όμως θα ξεχωρίσουμε τις αιτίες που προκαλούν τον περιορισμό; Η καρδιαγγειακή ανταπόκριση στα γραφήματα 2 και 5 δεν φαίνεται να έχει ιδιαίτερες διαφορές. Το γράφημα 1 δείχνει ότι και οι δύο σταμάτησαν σε χαμηλά επίπεδα αερισμού και το 4 ότι και οι δύο παρουσίασαν απότομη κλίση αερισμού ως προς το  $VCO_2$ . Σταμάτησαν και οι δύο από αναπνευστικά αίτια; Η απάντηση δίνεται στο γράφημα 7 όπου φαίνεται καθαρά ότι ο αναπνευστικός ασθενής έφτασε και λίγο ξεπέρασε την μέγιστη αναπνευστική του δυνατότητα (γραμμή MVV) ενώ ο καρδιολογικός ασθενής σταμάτησε περίπου τη μέση. Δηλαδή ο χαμηλός αερισμός του CHF οφείλεται στο ότι στα-

μάτησε από καρδιακό περιορισμό και δεν πρόλαβε να τον αυξήσει και άλλο (ενώ θα μπορούσε) ενώ στο COPD ο αερισμός ήταν ο περιοριστικός παράγοντας (δεν μπορούσε να τον αυξήσει άλλο).

Τέλος, η επίκριση των αποτελεσμάτων της καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κοπώσεως πρέπει να γίνεται με κωδικοποιημένο και επιγραμματικό τρόπο. Πρέπει να περιγράφονται με σαφήνεια τα κύρια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή των συμπερασμάτων.

Το συμπέρασμα πρέπει να είναι συνοπτικό και σαφές, να επιχειρείται η συσχέτιση των ευρημάτων με τα κλινικά σύνδρομα και να επισημαίνονται οι ενδεχόμενες ενδείξεις για περαιτέρω διερεύνηση ή επανεξέταση, έτσι ώστε να απαντάται το ερώτημα που τίθεται από τον παραπέμποντα ιατρό.



Πίνακας 8. Συγκριτικός πίνακας των σχετικών γραφημάτων (Γραφήματα 1 έως 7) του Wasserman σε φυσιολογικό άτομο και ασθενείς με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια και χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια. CHF: χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια, COPD: χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια

## Βιβλιογραφία

1. Σεραφείμ Νανάς. Η καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κοπώσεως στην κλινική πράξη. Αθήνα 2004.
2. ATS/ American College of chest Physicians, ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing. Am. J. Resp. Crit. Care Med. 2003; 167: 211-277
3. Σεραφείμ Νανάς. Καρδιοαναπνευστική Δοκιμασία Κοπώσεως & Προγράμματα Καρδιοαναπνευστικής Αποκατάστασης, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα 2006.
4. K Wasserman, J Hansen, D Sue, W Stringer, B Whipp, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation, 4th edition. (2004). Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia,
5. Cooper BC, Storer TW. Exercise testing and interpretation. A practical approach. Ed. Cambridge Univ. Press 1st edition. 2001

## Introduction in Cardiopulmonary Exercise Testing: Indications, Procedure, Basic Parameters and Interpretation.

**Ourania Papazachou<sup>1</sup>, Athanasios Tasoulis<sup>2</sup>, Serafim Nanas<sup>3</sup>**

1. *Cardiologist, General and Womens's Hospital "El. Venizelou",  
Clinical Ergospirometry and Rehabilitation Lab, Medical School NKUA.*

2. *Cardiologist Psychiatric Hospital of Attica,  
Clinical Ergospirometry and Rehabilitation Lab, Medical School NKUA*

3. *Professor Emeritus of Internal Medicine and Intensive Care,  
Medical School, NKUA.*

The cardiorespiratory stress test (CPR) is a modern diagnostic test that is a useful tool in a range of clinical entities. CPR requires very good co-operation between examinee and examiner. The examinee cannot speak exercise instead of fatigue, he must breathe through a mouthpiece or mask and at the same time make maximum physical effort. So, it is important that he feels safe, comfortable and that he has full attention of the examiners so that he can perform to the best of his abilities. Technical excellence of the CPR is a prerequisite. Of great importance is the choice of the mode instead of means of exercise, cycloergometer (bicycle) or treadmill and the applied protocol. Standard parameters directly measured during CPR are six. Airflow (ventilation), oxygen, carbon dioxide of the breathed air and heart rate are the basic four used to calculate the rest. Blood pressure and oxygen saturation of hemoglobin are essential for the safe conduct of exercise but they also contribute to diagnosis. Finally, presentation of the results of the cardiopulmonary stress test should be done in a coded and concise manner. The main data used to carry out the conclusions should be clearly described.

**Keywords:** Cardiopulmonary Exercise testing (CPET), Ergospirometry, Peak oxygen