

Κλινική Εργοσπιρομετρία: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον

ΟΥΡΑΝΙΑ ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ¹
ΣΕΡΑΦΕΙΜ ΝΑΝΑΣ²

¹ Καρδιολόγος, Επιμελήτρια Α',
Γ.Ν.Μ. ΕΛΕΝΑ ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, Επιστημονική συνεργάτις
Εργαστήριο Κλινικής Εργοσπιρομετρίας Άσκησης και
Αποκατάστασης Ιατρικής Σχολής Ε.Κ.Π.Α.*

² Ομότιμος Καθηγητής Παθολογίας - Εντατικής
Θεραπείας ΕΚΠΑ

Λέξεις ευρετηρίου

Ιστορία εργοσπιρομετρίας, Karlman Wasserman,
νεότεροι δείκτες, cardiorespiratory fitness

Ουρανία Παπαζάχου

Καρδιολόγος

Διεύθυνση επικοινωνίας

Καρδιολογικό Τμήμα ΓΝΜ ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ,
Πλατεία Ελ Βενιζέλου 2, 11521, Αθήνα,
ranpapaza@yahoo.gr

Η εργοσπιρομετρία (συνδυασμός εργομετρίας και σπιρομετρίας), εκτιμά την αερόβια ικανότητα του οργανισμού. Η τεχνολογική εξέλιξη μας οδήγησε από τα πειράματα του Lavoisier και τους ασκούς του Douglas στις σύγχρονες μετρήσεις αναπνοή προς αναπνοή.

Σήμερα, έχουμε προχωρήσει πέρα από το peakVO_2 και τον αναερόβιο ουδό σε ενσωμάτωση νέων δεικτών όπως εκείνοι της φάσης της ανάκαμψης ($\text{VO}_2/\text{t slope}$), οικαμπύλες ροής-όγκου κατά την ηρεμία και κατά τη διάρκεια της άσκησης, δείκτες της υπομέγιστης κόπωσης όπως η τελοεκπνευστική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα, η κλίση του αναπνευστικού ισοδύναμου του διοξειδίου του άνθρακα και το oxygen up take efficiency slope, η ύπαρξη περιοδικής αναπνοής κατά την άσκηση και η αυξημένη αναπνευστική ενόρμηση που έχουν μελετηθεί κυρίως σε ασθενείς με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια.

Έτσι η εργοσπιρομετρία έχει αποδειχθεί πολύτιμη διαγνωστική και προγνωστική μέθοδος σε πληθώρα καρδιοαναπνευστικών νοσημάτων. Ο μελλοντικός της ρόλος θα είναι σημαντικός στην εκτίμηση του καρδιαγγειακού κινδύνου μια που είναι η απόλυτη μέθοδος υπολογισμού της φυσικής κατάστασης (cardio respiratory fitness) που έχει προταθεί να συγκαταλέγεται στους βασικούς παράγοντες κινδύνου.

Η εργοσπιρομετρία είναι χρήσιμη σε μεγάλο εύρος ειδικοτήτων, προάγει τη διεπιστημονικότητα και με τη σωστή ενημέρωση αξίζει να εξαπλωθεί η εφαρμογή της γιατί δίνει λύσεις σε σημαντικά προβλήματα της κλινικής πράξης.

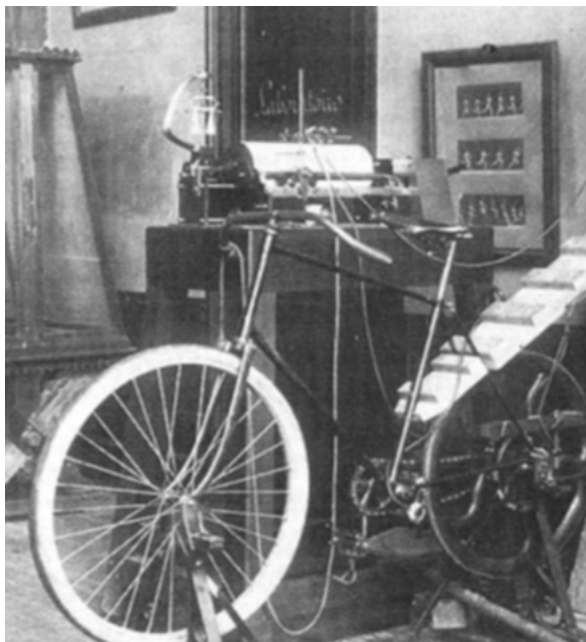
Πάνω από δύο αιώνες έχουν περάσει από την πρώτη προσπάθεια της επιστήμης για μέτρηση των στοιχείων του εκπνεόμενου αέρα (Εικόνα 1), και σήμερα η εργοσπιρομετρία είναι ένα πολύτιμο εργαλείο τόσο στην έρευνα όσο και στην κλινική πράξη πολλών ειδικοτήτων των επιστημών υγείας.

Η εργοσπιρομετρία, δηλαδή ο συνδυασμός εργομετρίας και σπιρομετρίας, εκτιμά την αερόβια ικανότητα του οργανισμού μετρώντας τον μεταβολισμό των αερίων της αναπνοής κατά τη διάρκεια της άσκησης.



Εικόνα 1. Το πείραμα του Lavoisier και Seguin το 1790 για μέτρηση των εκπνεόμενων αερίων σε άσκηση. (Conservatoire National des Arts et Metiers, Paris).

Στις αρχές του 19ου αιώνα σημειώθηκε πρόοδος από τις έρευνες του Άγγλου Prout και του Δανού Scharling.¹ Από το 1850 και μετά υπήρξε μεγάλη πρόοδος στις τεχνικές της μέτρησης των αερίων αλλά και στα μέσα άσκησης με το πρώτο εργομετρικό ποδήλατο να κατασκευάζεται το 1896 από τον Γάλλο Bouny (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Το πρώτο εργομετρικό ποδήλατο, εφεύρεση του φοιτητή Ιατρικής Elisee Bouny (1872-1900).

Οι κύριοι ερευνητές αυτής της περιόδου είναι οι Smith, Hirn, Pettenkoffer, Speck, Zuntz και Haldane.

Το 1911 ο Douglas εφάρμοσε τη συλλογή των αερίων σε ασκούς που πήραν το όνομά του και εφαρμόστηκαν στην κλινική πρακτική για πολλές δεκαετίες (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Εργοσπιρομετρία στο Βερολίνο του 1928 με ασκούς του Douglas.

Ο όρος «εργοσπιρομετρία» εισήχθη από τον το 1929 από τον Kipping αλλά το σύστημα έγινε κλινικά εφαρμόσιμο από το 1950 και μετά. Το 1925 ο A.V.Hill (βραβείο Nobel) διατύπωσε τους όρους «μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου», «έλλειμμα και χρέος οξυγόνου» και «steady-state».



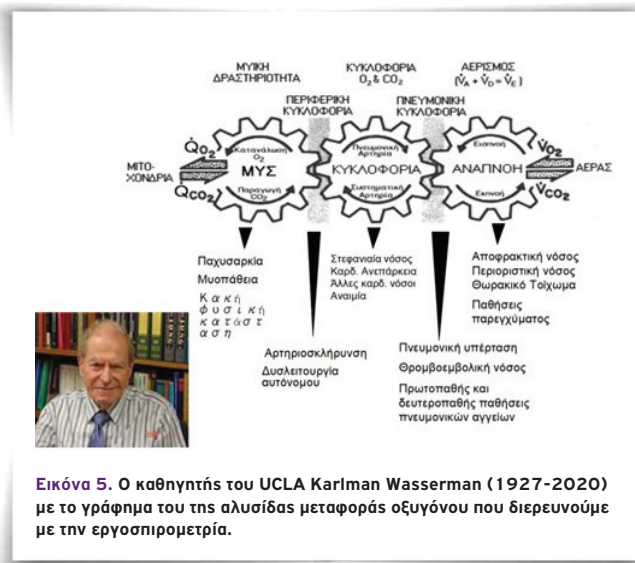
Εικόνα 4. Διάγραμμα πρόσληψης οξυγόνου ως προς το χρόνο σε πρωτόκολλο σταθερού έργου όπου απεικονίζονται το έλλειμμα και χρέος οξυγόνου. Όταν ευθιάζεται η καμπύλη πρόσληψης οξυγόνου επιτυγχάνεται σταθερή κατάσταση (steady-state). Ο χρόνος μέχρι να επιτευχθεί το steady-state καθώς και το έλλειμμα οξυγόνου χαρακτηρίζουν την κατάσταση του μυϊκού συστήματος και την ικανότητα για άσκηση.

ΑΡΘΡΟ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Από το τέλος της δεκαετίας του '60 με την χρήση των νέων συστημάτων ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο με τη μέθοδο «αναπνοής προς αναπνοή» η εργοσπιρομετρία πέρασε σε άλλη εποχή στην οποία κυριαρχεί η μορφή του «πατέρα» της σύγχρονης εργοσπιρομετρίας, του Karlman Wasserman που χάθηκε πρόσφατα (Εικόνα 4) στον οποίο οφείλουμε ανάμεσα σε πολλά τον όρο και τη μέθοδο προσδιορισμού του «αναερόβιου ουδού», τον πίνακα των 9 γραφημάτων και βέβαια το κλασικό βιβλίο του.² Τα εννέα γραφήματα βοήθησαν σε μεγάλο βαθμό στην ανίχνευση και την κατανόηση των ευρημάτων από επαγγελματίες υγείας χωρίς ειδικευση και στην ευρεία χρήση της εργοσπιρομετρίας στην κλινική πράξη.

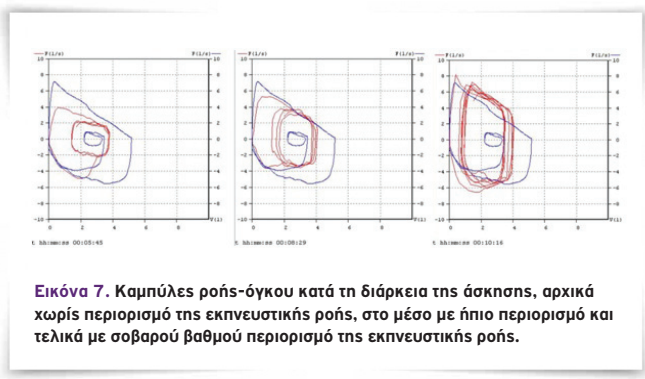
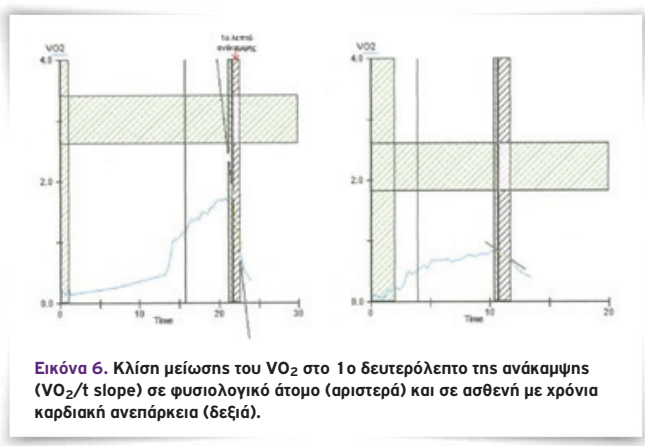
Ο πίνακας των 9 γραφημάτων αποτελείται από 9 panels που περιλαμβάνουν 15 καμπύλες και επιτρέπουν μια αρχική κρίση για τον αν η εργοσπιρομετρία ήταν φυσιολογική ή όχι και το ποιο σύστημα της αλυσίδας πάσχει.

Συμβουλευόμαστε τα γραφήματα 2, 3 και 5 για καρδιαγγειακό περιορισμό της ικανότητας για άσκηση, τα γραφήματα 1, 3, 4 και 7 για αναπνευστικό περιορισμό, τα γραφήματα 3,6 και 9 για διαταραχή αερισμού αιμάτωσης και 3 και 8 για διαταραχή στη χρησιμοποίηση των μεταβολικών υποστρωμάτων.

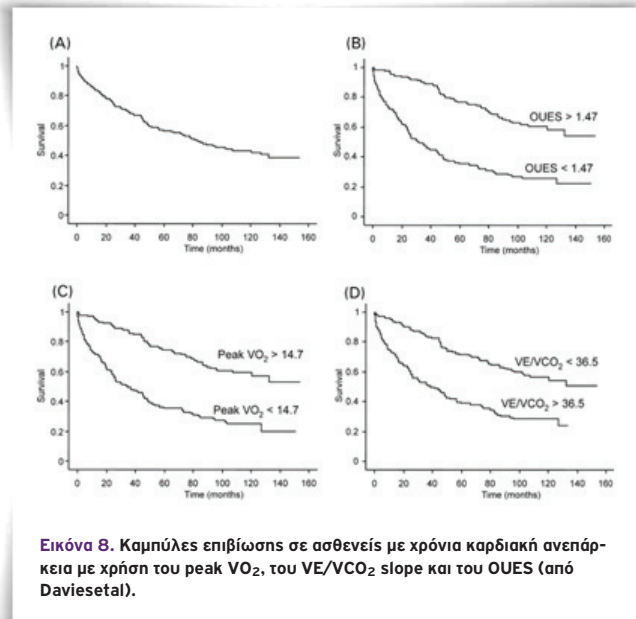


Σήμερα, η συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία και η πληροφορική προσφέρει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης νέων δεικτών όπως εκείνοι

της φάσης της ανάκαμψης^{3,4} (με σημαντικότερο αυτόν της κλίσης της μείωσης του VO_2 στο 1ο δευτερόλεπτο $-VO_2/t$ slope (Εικόνα 6) αλλά και νέων μετρήσεων όπως οικαμπύλες ροής-όγκου κατά την ηρεμία και κατά τη διάρκεια της άσκησης⁵ (Εικόνα 7) που προφέρουν ολοένα και περισσότερες διαγνωστικές επιλογές και έχουν ενσωματωθεί σε κατευθυντήριες οδηγίες.⁶⁻⁹

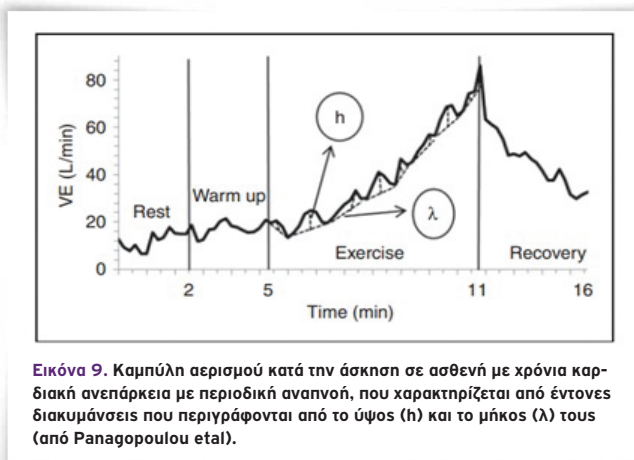


Μεγάλη αξία στην κλινική πράξη έχουν δείκτες της υπομέγιστης κόπωσης όπως η τελοεκπνευστική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα ($PetCO_2$), η κλίση του αναπνευστικού ισοδυναμίου του διοξειδίου του άνθρακα (VE/VCO_2 slope) και το oxygen up take efficiency slope (OUES)¹⁰ οι οποίοι εκτός του ότι έχουν ισάξια ή και καλύτερη προγνωστική δύναμη από εκείνη του peak VO_2 έχουν και το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν μέγιστη προσπάθεια που συχνά είναι δύσκολα εφικτή από βαρέως πάσχοντες (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Καμπύλες επιβίωσης σε ασθενείς με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια με χρήση του peak VO₂, του VE/VCO₂ slope και του OUES (από Daviesetal).

Σημαντικός προγνωστικός δείκτης έχει αναδειχθεί και η ύπαρξη περιοδικής αναπνοής¹¹ κατά την άσκηση που εμφανίζεται με έντονες διακυμάνσεις του αερισμού κατά τη διάρκεια μεγάλου μέρους της άσκησης (Εικόνα 9). Η ταξινόμηση της βαρύτητας αυτού του φαινομένου είναι ακόμη υπό διερεύνηση αλλά η προγνωστική της αξία είναι αποδεδειγμένη.



Εικόνα 9. Καμπύλη αερισμού κατά την άσκηση σε ασθενή με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια με περιοδική αναπνοή, που χαρακτηρίζεται από έντονες διακυμάνσεις που περιγράφονται από το ύψος (h) και το μήκος (λ) τους (από Papaioannidou et al).

Τέλος, μελέτες του εργαστηρίου μας έχουν αναδείξει το ρόλο της αυξημένης αναπνευστικής ενόρμησης όπως εκφράζεται από την πίεση σύγκλεισης στα πρώτα 100 msec της εισπνοής (mouth occlusion pressure (P_{0.1})) σε ασθενείς με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια.¹²

Η εκτίμηση της πνευμονικής και καρδιακής λειτουργίας που γίνεται με εξετάσεις ηρεμίας, δεν μπορεί να προβλέψει αξιόπιστα την λειτουργική ικανότητα ιδιαίτερα σε άτομα με αρχόμενα καρδιοαναπνευστικά νοσήματα. Κάποιος που αισθάνεται δύσπνοια ή μείωση της ανοχής του στην κόπωση και οι δοκιμασίες ηρεμίας αποβαίνουν αρνητικές, είναι χρήσιμο να υποβληθεί σε εργοσπιρομετρία.

Στα πλαίσια της πολύτιμης συνεισφοράς της εργοσπιρομετρίας στην κλινική πράξη υπάρχουν μερικές διαγνώσεις νοσημάτων στις οποίες μπορούμε να καταλήξουμε με την εφαρμογή της και μόνον αποφεύγοντας ένα δαίδαλο άλλων εξετάσεων και τον κίνδυνο να μείνουν αδιάγνωστα με παραδείγματα την ψυχογενή δύσπνοια και την πρώιμη διάγνωση ισχαιμίας μυοκαρδίου και καρδιακής ανεπάρκειας με διατηρημένο κλάσμα εξωθήσεως.

Η εργοσπιρομετρία που εξ ορισμού διερευνά όλα τα συστήματα που εμπλέκονται στην αλυσίδα μεταφοράς οξυγόνου απαιτεί αλλά και προάγει την διεπιστημονικότητα καθώς έχει ευρεία εφαρμογή στην καθημερινή κλινική πράξη και σε μεγάλο φάσμα ειδικοτήτων

Το μέλλον όμως της εργοσπιρομετρίας ίσως βρίσκεται σε ένα επόμενο βήμα μελέτης όχι των ασθενών αλλά και των φαινομενικά υγιών ατόμων. Είναι γνωστό ότι κάθε αύξηση ενός MET της αερόβιας ικανότητας μειώνει την ολική θνησιμότητα κατά 13% και την καρδιαγγειακή νοσηρότητα κατά 15%. Η εργοσπιρομετρία παρέχει την αντικειμενικότερη μέτρηση της αερόβιας ικανότητας, άρα αποτελεί την καλύτερη μέθοδο εκτίμησης της φυσικής κατάστασης. Έχει προταθεί η προσθήκη της φυσικής κατάστασης (cardio respiratory fitness) στους μείζονες παράγοντες καρδιαγγειακού κινδύνου αφού έχει αποδειχθεί ανώτερος προγνωστικός δείκτης θνησιμότητας από το κάπνισμα, την υπέρταση, τη δυσλιπιδαιμία και τον σακχαρώδη διαβήτη που είναι οι κλασικοί ανεξάρτητοι παράγοντες κινδύνου.^{13, 14}

Με αυτόν τον τρόπο θα αποσαφηνιστούν και κάποια παράδοξα όπως αυτό της παχυσαρκίας στο οποίο η καλύτερη πρόγνωση των παχύσαρκων ασθενών που υπέστησαν κάποιο καρδιαγγειακό επεισόδιο, πιθανότατα οφείλεται στην καλύτερη αερόβια ικανότητα λόγω αυξημένης μυϊκής μάζας.

Άρα η εργοσπιρομετρία μπορεί να έχει βασικό ρόλο στην πρωτογενή πρόληψη που είναι σήμερα το βασικό ζητούμενο των συστημάτων υγείας.

Η υλικοτεχνική υποδομή υπάρχει σε πολλές μονάδες υγείας. Το κόστος απόκτησης του συστήματος της εργοσπιρομετρίας δεν είναι απαγορευτικό και μπορεί να πραγματοποιηθεί και σαν αναβάθμιση μιας μονάδας απλής δοκιμασίας κοπώσεως. Εδώ και αρκετά χρόνια γίνονται αξιολογικές προσπάθειες εκπαίδευσης σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο μέσω συνεδρίων, σεμιναρίων και μετεκπαιδευτικών προγραμμάτων που θα επιτρέψουν την αξιοποίηση στην κλινική πράξη των νέων δυνατοτήτων και δεικτών της εργοσπιρομετρίας.

Απομένει σε μας να προωθήσουμε την ενημέρωση της ιατρικής κοινότητας και να ξεπεραστεί το εμπόδιο της υποχρησιμοποίησης αυτής της πολύτιμης μεθόδου που παρά την σχετική περιπλοκότητά της απλουστεύει πολλά δύσκολα κλινικά προβλήματα.

Συνοψίζοντας γίνεται σαφές ότι στην κλινική πράξη σήμερα, αξιοποιείται μόνον ένα μικρό ποσοστό των δεδομένων που λαμβάνουμε από τα σύγχρονα συστήματα εργοσπιρομετρίας αλλά η προοπτική είναι να ενσωματωθούν οι δείκτες σε απλούστερα μοντέλα που θα επιτρέψουν την διευκόλυνση της πρόσβασης μεγαλύτερου μέρους της επιστημονικής κοινότητας σε αυτή τη γνώση. Στο άμεσο μέλλον διαφαίνεται η ευρεία εφαρμογή της καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κοπώσεως στην καρδιολογία, πνευμονολογία, παιδιατρική, προληπτική ιατρική, ιατρική εργασίας, ιατρική αποκατάστασης αλλά και σε επιστήμες του αθλητισμού, και πολλές βασικές επιστήμες.

Βιβλιογραφία

1. Ergospirometry and its History. Wildor Hollmann and Johann Peter Prinz Sports Med. 1997; 23 (2): 93-105
2. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer W, Whipp BJ, eds. Principles of Exercise Testing and Interpretation, 4th Edn. Philadelphia, Lea & Febiger, 2004.
3. Nanas S, Nanas J, Kassiotis C, et al. Respiratory muscles performance is related to oxygen kinetics during maximal exercise and early recovery in patients with congestive heart failure. Circulation. 1999;100:503-8.
4. Nanas S, Nanas J, Kassiotis C, et al. Early recovery of oxygen kinetics after submaximal exercise test predicts functional capacity in patients with chronic heart failure. Eur J HeartFail. 2001 Dec;3(6):685-92.
5. Papazachou O, Nanas S et al. Pulmonary function at peak exercise in patients with chronic heart failure. Int J Cardiol. 2007 May 16;118(1): 28-35.
6. EACPR/AHA Clinical recommendations for CPET data assessment in specific patient populations Circulation 2012 30;126(18):2261-74.
7. Corrà U, Agostoni PG, Anker SD et al. Role of cardiopulmonary exercise testing in clinical stratification in heart failure. A position paper from the Committee on Exercise Physiology and Training of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. Eur J HeartFail 2018; 20: 3– 15.
8. Νανάς Σ. «Η καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κοπώσεως στην κλινική πράξη». Εκδόσεις Ζεβελεκάκη. 1η έκδοση 2004.
9. Νανάς Σ. «Καρδιοαναπνευστική Δοκιμασία Κοπώσεως & Προγράμματα Καρδιοαναπνευστικής Αποκατάστασης», Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2006.
10. Lewis Davies, et al. Enhanced prognostic value from cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure by non-linear analysis: oxygen uptake efficiency slope, European Heart Journal 2006; 27 (6): 684–690.
11. Panagopoulou N, Karatzanos E, Dimopoulos S, Tasoulis A, Tachliabouris I, Vakrou S, Sideris A, Gratziou C, Nanas S. Exercise training improves characteristics of exercise oscillatory ventilation in chronic heart failure. Eur J PrevCardiol. 2017 May;24 (8):825-832.
12. Tasoulis A, Papazachou O, Dimopoulos S, Gerovasili V, Karatzanos E, Kyprianou T, Drakos S, Anastasiou-Nana M, Roussos C, Nanas S. Effects of interval exercise training on respiratory drive in patients with chronic heart failure. RespirMed. 2010 Oct;104 (10):1557-65.
13. Ross Arena; Jonathan Myers; Marco Guazzi. The Future of Aerobic Exercise Testing in Clinical Practice: Is it the Ultimate Vital Sign? Future Cardiology. 2010;6 (3):325-342.
14. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association Circulation. 2016;134:e653–e699.

Clinical Ergospirometry: Past, Present and Future

Ourania Papazachou¹, Serafim Nanas²

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

2. Professor Emeritus of Internal Medicine and Intensive Care, Medical School, NCUA

More than two centuries have passed since the first attempt of science to measure the elements of exhaled air and today ergospirometry is a valuable tool both in research and in clinical practice of many health sciences specialties. In clinical practice today, only a small percentage of the data we receive from modern ergospirometry systems is utilized, but the prospect is to integrate the indicators into simpler models that will allow greater access of the scientific community to this knowledge. In the near future the wide application of cardiopulmonary stress test in Cardiology, Pulmonology, Pediatrics, Preventive medicine, Occupational Medicine, Rehabilitation Medicine but also in Sports Sciences and many Basic Sciences

Keywords: Cardiopulmonary exercise, ergospirometry