

### Η χρησιμότητα της Εργοσπιρομετρίας (CPET) σε άτομα με καρδιοαναπνευστικές παθήσεις

Ανδρέας Ζαφειρίδης, Ph.D. Καθηγητής  
ΤΕΦΑΑ Σερρών – ΑΠΘ, Εργαστήριο  
Φυσιολογίας και Βιοχημείας της Άσκησης

ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI

1

### Τι είναι η Εργοσπιρομετρία (Cardio-pulmonary exercise testing).....

(ERS Task Force, 2007, Albouaini K. et al, 2007)

- Μη-επεμβατική και αντικειμενική μέθοδος που αξιολογεί τη λειτουργία του καρδιοαναπνευστικού συστήματος και του μεταβολισμού.
- Χρήσιμη στη διερεύνηση της αιτίας της δύσπνοιας και της δυσανεξίας στην άσκηση σε άτομα με πνευμονοπάθειες ή/και καρδιοπάθειες.
- Συνταγογράφηση της άσκησης
- Βασίζεται, γενικά, στη θεωρία ότι το όργανο/σύστημα μπορεί να εμφανίσει τη δυσλειτουργία του όταν βρίσκεται σε κατάσταση αυξημένου στρες (π.χ. άσκηση).

2

### Πώς η Εργοσπιρομετρία αξιολογεί την καρδιοαναπνευστική λειτουργία, το μεταβολισμό και την ικανότητα για άσκηση?

3

### Εργοσπιρομετρία (Άσκηση με χρήση εργοσπιρομέτρου)

$VO_2 = \text{Μεταφορά } O_2 \times \text{Χρήση } O_2$   
 (1) Καρδιακή παροχή  $\times (A-F)O_2$   
 (2) Πνευμονικός αερισμός  $\times (\%O_2 - \%O_2)$

Κατανάλωση  $O_2$  ( $VO_2$ )  
 Παραγωγή  $CO_2$  ( $VCO_2$ )  
 Πνευμονικός αερισμός (VE)

Wasserman K. et al. Principles of exercise testing and interpretation, 2004

4

### Η χρήση της Εργοσπιρομετρίας στην αξιολόγηση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας

**Πριν το 1980...**

- ΑΘΛΗΤΕΣ
  - Αξιολόγηση της φυσικής τους κατάστασης (Ανταχής)
  - Σχεδιασμό/Παρακολούθηση προπονητικού προγράμματος
  - Βελτίωση της απόδοσης

**Μετά το 1980...**

- ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΧΡΟΝΙΕΣ ΠΑΘΗΣΕΙΣ
  - Αξιολόγηση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας / άσκησης
  - Αξιολόγηση σοβαρότητας νόσου, θεραπείας
  - Διαφορική διάγνωση αίτιας δύσπνοιας
  - Σχεδιασμό προγραμμάτων άσκησης
  - Προεγχειρητικός έλεγχος (καρδιοθωρακικές εγχειρήσεις)

5

### Πρωτόκολλα Εργοσπιρομετρίας (Ferrazza AM Respiration 2009; Mezzani A Ann Am Thorac Soc 2016)

**Όργανα**

**Πρωτόκολλα**

**Αυξανόμενη Ένταση**

Ramp (συνήθως σε ποδήλατο) 5 W/min – 15 W/min

Στάδια (10-30 W κάθε 2 min)

30 W/2 min


30 W/2 min

➢ Διάρκεια 8-12 min

**Σταθερή Ένταση (60-80%  $VO_{2peak}$ )**

➢ Η διάρκεια της άσκησης για αξιολόγηση ικανότητας άσκησης ή θεραπευτικής αγωγής

6




Εργοσπιρομετρία / Μέγιστη Δοκιμασία Κόπωσης  
Αξιολογεί Δείκτες:  
Πνευμονικής Λειτουργίας  
Καρδιαγγειακής Λειτουργίας  
Μεταβολικής Λειτουργίας

Ποια ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ  
Λειτουργία μετράνε ?

7

**Πνευμονική Λειτουργία**



Πνευμονικός αερισμός (VE)  
Παραγωγή CO<sub>2</sub> (VCO<sub>2</sub>)  
Όγκος αναπνοής (VT)  
Συχνότητα αναπνοής (BF)  
Κορεσμός O<sub>2</sub> (SaO<sub>2</sub>)

**Υπολογίζονται**

- VD, VD/VT → Δείκτες ανταλλαγής αερίων
- Εφεδρικός πνευμονικός αερισμός (VE<sub>max</sub>/MVV) → Αιτία δύσπνοιας (π.χ. ≥ 75-80% πνευμονολογική?)
- VE/VCO<sub>2</sub> → Δείκτες αποτελεσματικής αναπνοής και αντιστοίχισης VE/Q
- PETCO<sub>2</sub> → Πνευμονική αγγειοπάθεια/υπέρταση,

Albouaini K. et al. 2007; Ferrazza AM Resp 2009; Arena R., Circulation 2011; Herdy AH Arq Bras Cardiol., 2016; Mezzani A Ann Am Thorac Soc 2017

8

**Καρδιαγγειακή Λειτουργία**



Κατανάλωση O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>) → Αντανακλά την λειτουργία του Καρδιαγγειακού και μεταβολικού συστήματος  
Καρδιακή Συχνότητα\* (HR)

**Υπολογίζονται**

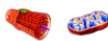
- Παλμός O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>/HR)\* → Δείκτης όγκου παλμού (νότρωση λειτουργίας), στεφανιαία νόσος ?
- Εφεδρική HR\* → Δείκτης χρονότρωσης λειτουργίας
- ΔVO<sub>2</sub> / Δwork Rate → Δείκτης ενεργειακής οικονομίας και αερόβιων προσαρμογών μετά από πρόγραμμα άσκησης

\* Προσοχή στην ερμηνεία με χρήση β – αποκλειστών !!

Albouaini K. 2007; Ferrazza AM, 2009; Arena R, 2011; Herdy AH 2016; Mezzani A 2017

9

**Μεταβολική Λειτουργία**




**Υπολογίζονται**

- Αναπνευστικό Πηλικο (RER) → Δείκτης πηγής ενέργειας (υδατάνθρακες ή λίπη)
- Αναπνευστικό Κατώφλι (VT1) VE/VO<sub>2</sub>
- Αναπνευστικό Κατώφλι (VT2) VE/VCO<sub>2</sub> → Δείκτες εξάρτησης κατά την άσκηση από το σύστημα μεταφοράς και χρήσης οξυγόνου.

Albouaini K. 2007; Ferrazza AM, 2009; Arena R 2011; Herdy AH 2016; Mezzani A 2017

10



Πώς μετράμε τους 3 βασικούς δείκτες της Εργοσπιρομετρίας:

- > VO<sub>2</sub> peak
- > Αναπνευστικό Κατώφλι (VT)
- > Σχέση VE προς VCO<sub>2</sub>

11


**Μέγιστη Κατανάλωση Οξυγόνου (VO<sub>2</sub>max/peak)**

**VO<sub>2</sub> max/peak**  
Η μέγιστη ποσότητα οξυγόνου που μπορεί να καταναλώσει ο οργανισμός

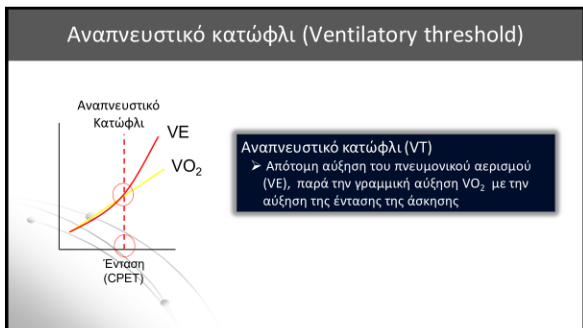
↓

Ο υψηλότερος μέσος όρος των 15-30 sec της VO<sub>2</sub> - τελευταίο στάδιο της Εργοσπιρομετρίας

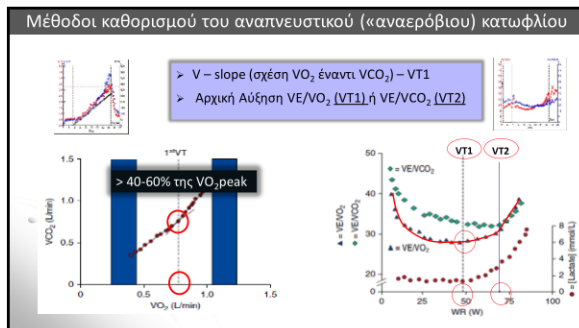
>20 ml/kg/min ( ή > 85% προβλεπόμενης) συνδέεται με καλή πρόγνωση ασθενείας



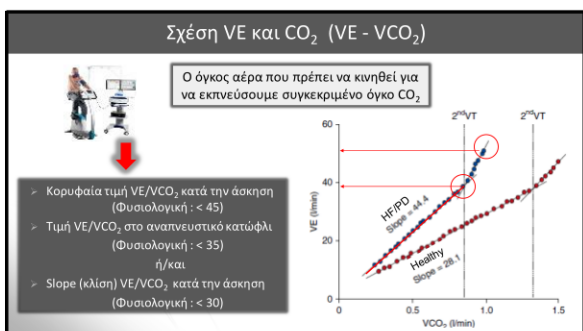
12



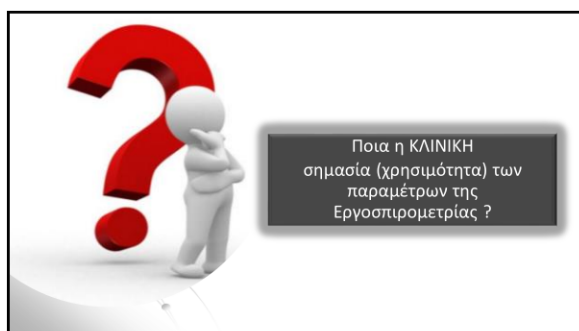
13



14



15



16

Mancini et al. Circulation 1991  
 "Value of peak oxygen consumption for optimal timing of cardiac transplantation in ambulatory patients with heart failure"

Αξία της προ-εγχειρητικής VO<sub>2</sub> peak σε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια σε λίστα για μεταμόσχευση καρδιάς

Ομάδα	VO <sub>2</sub> peak	1 έτος επιβίωσης
Ομάδα 1	< 14ml/kg/min	48 %
Ομάδα 2	≥ 14ml/kg/min	94 %

Blair SN et al. (Am J Health Promot 2000)

VO <sub>2</sub> max	VO <sub>2</sub> max	Παράγοντας
< 18 ml/kg/min	> 28 ml/kg/min	περισσότεροι θάνατοι από χρόνιες παθήσεις
		λιγότεροι θάνατοι από χρόνιες παθήσεις

17

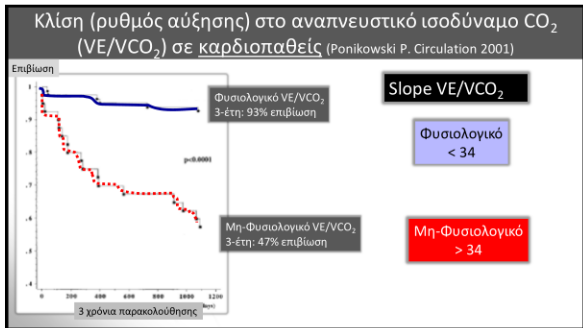
### Σταδιοποίηση της σοβαρότητας νόσου (δυσλειτουργίας) ασθενών με βάση τη VO<sub>2</sub> peak και VE/VCO<sub>2</sub>

12% μείωση στη θνητότητα για κάθε αύξηση 1 MET (3,5 ml/kg/min) στη VO<sub>2</sub> peak

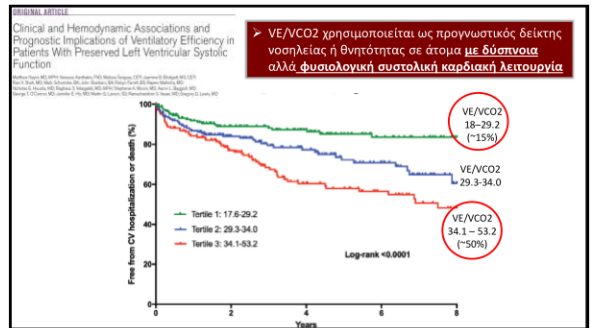
Βαθμός	Σοβαρότητα νόσου	Peak VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	VE/VCO <sub>2</sub> (κλίση-slope)
A	Ουδεμία με ήπια	>20	≤ 29.9
B	Ήπια με μέτρια	16-20	30.0-35.9
Γ	Μέτρια με μεγάλου βαθμού	10-16	36.0-44.9
Δ	Μεγάλου βαθμού	6-10	≥45.0

Weber KT Circulation 1987; AHA Science Advisory Circulation 2000 102:1591-1597  
 Arena R Circulation 2007 115: 2410-2417

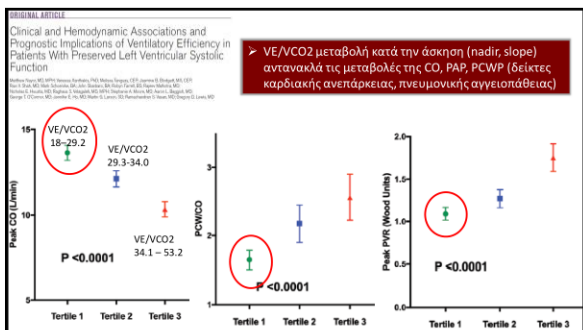
18



19



20



21

### Thematic Review Series 2009 Respiration

#### Cardiopulmonary Exercise Testing in the Functional and Prognostic Evaluation of Patients with Pulmonary Diseases

A.M. Ferraz, D. Marchal, G. Vall, P. Pellegrin  
Department of Clinical Medicine, Pulmonary Care Unit, Sapientia University of Rome, Rome, Italy

**Table 2. Exercise-related prognostic indices in pulmonary diseases**

	COPD	ILD	PVD	CF
V'O <sub>2</sub> peak	+	+	+	+
V'E-V'CO <sub>2</sub> slope or V'E-V'CO <sub>2</sub> at AT	+	+	+	+
Arterial desaturation		++	++	++
Six-minute walking test distance		+	+	+

COPD = Chronic obstructive pulmonary disease; ILD = interstitial lung disease; PVD = pulmonary vascular disorders; CF = cystic fibrosis; V'O<sub>2</sub> peak = peak oxygen uptake; V'E-V'CO<sub>2</sub> = ventilatory equivalent for carbon dioxide; AT = anaerobic threshold; + = sensitive; ++ = more sensitive.

Η VO<sub>2</sub> peak και η κλίση VE/VCO<sub>2</sub> είναι καλύτεροι δείκτες πρόγνωσης σοβαρότητας νόσου και θνητότητας Vs. λειτουργία πνευμόνων στην ηρεμία (σπιρομέτρηση)

22

Eur Respir Rev 2018

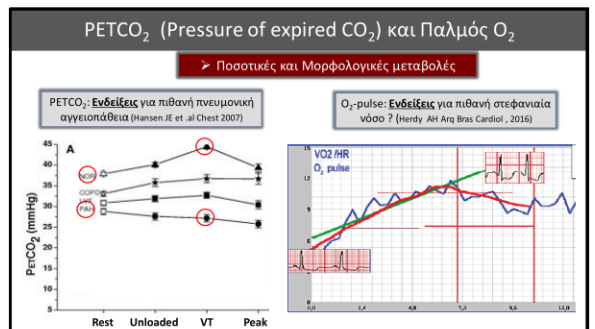
#### The role of cardiopulmonary exercise tests in pulmonary arterial hypertension

Values	Normal <sup>a</sup> (n=28)	Mild PPH (n=3)	Moderate PPH (n=14)	Severe PPH (n=22)	Very Severe PPH (n=14)
Peak V <sub>O</sub> % predicted range	82-132	65-79	50-64	35-49	<35
Peak V <sub>O</sub> % predicted	103±18	70±4	56±4	42±4	27±4
Peak V <sub>O</sub> mL·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	125.5±4.6	14.5±3.3	12.5±2.2	11.2±2.6	8.1±1.7
AT % predicted	104±16	85±7	75±10	57±9	41±7
AT mL·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	162±20.9	102±22.3	97±11.3	67±22.2	44±17.3
Peak O <sub>2</sub> pulse % predicted	108±25	86±11	72±8	56±11	39±5
Peak HR % predicted	164±13	83±12	80±8	77±12	70±13
ΔP/ΔV <sub>O</sub> mL·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	19±0.9	82±0.5	7.0±1.5	4.6±1.0	5.6±1.3
V <sub>E</sub> /V <sub>O</sub> at AT % predicted	29±1.2	142±22	149±21	143±25	219±74
V <sub>E</sub> /V <sub>O</sub> at AT absolute	270±4	430±8	457±7	448±8	432±20

TABLE 1 Cardiopulmonary exercise test (CPET) determinants of prognosis in risk assessment

CPET parameters	Low Risk (<5%)	Intermediate risk (5-10%)	High risk (>10%)
Peak V <sub>O</sub> , mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	>15	11-15	<11
Peak V <sub>O</sub> % predicted	>65	65-35	<35
V <sub>E</sub> /V <sub>O</sub> slope	<36	36-45	>45

23



24

frontiers in Physiology  
 REVIEW published: 22 February 2017 doi: 10.3389/fphys.2017.00060

**Advances in the Evaluation of Respiratory Disease**  
 Eur Respir Rev 2018

Analysis of the Factors Related to Mortality in Chronic Obstructive Pulmonary Disease

Parάμετροι της Εργοσπυρομετρίας σχετίζονται στους πνευμονοπαθείς-καρδιοπαθείς:

- Σοβαρότητα της νόσου
- Εξέλιξη/Πρόγνωση της νόσου
- Περι-εγχειρητική και μετα-εγχειρητική πρόγνωση και επιπλοκές

Respiratory Medicine  
 Impairments as factors for survival in patients with idiopathic pulmonary fibrosis

K. Mō, R. MAREKRA, T. HIRAGA, Y. OKUDA, T. OKAMOTO, A. HIGASHI AND T. OGURA

25

frontiers in Physiology  
 REVIEW published: 22 February 2017 doi: 10.3389/fphys.2017.00060

**Advances in the Evaluation of Respiratory Disease**  
 Eur Respir Rev 2018

Analysis of the Factors Related to Mortality in Chronic Obstructive Pulmonary Disease

Καρδιοπαθείς – Πνευμονοπαθείς και καρδιοβραχικές εγχειρήσεις

- VO<sub>2</sub>peak: > 15-20 ml/kg/min
- VE-VCO<sub>2</sub> (slope ή τιμή στο VT): < 30 ή 34
- Ανάληψη ΚΣ: > 12-14 beats/min (όρθια θέση)

Σοβαρότητα/εξέλιξη νόσου  
 Ονηριότητα  
 Περι-εγχειρητικές επιπλοκές  
 Μετα-εγχειρητικές επιπλοκές και χρόνο νοσηλείας

Respiratory Medicine  
 Impairments as factors for survival in patients with idiopathic pulmonary fibrosis

K. Mō, R. MAREKRA, T. HIRAGA, Y. OKUDA, T. OKAMOTO, A. HIGASHI AND T. OGURA

26

Εργοσπυρομετρία στη διαφορική διάγνωση της δύσπνοιας

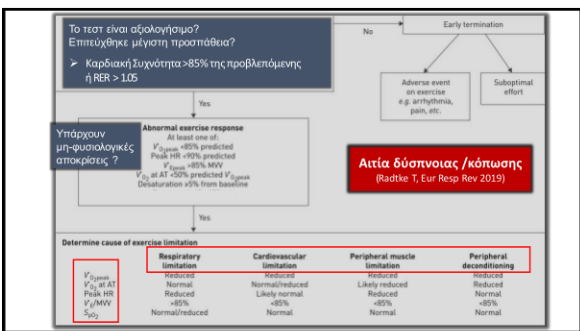
➤ Ποια η παθοφυσιολογική αιτία ?

27

Φυσιολογικές Τιμές  
 ATS/ACCP statement, 2003; Albuaini K. et al, 2007; Mezzani A, Ann Am Thorac Soc 2017)

Παράμετροι CPET	Φυσιολογικές (Προβλεπόμενες) Τιμές
VO <sub>2</sub> peak	> 84% της προβλεπόμενης
Καρδιακή Συχνότητα (ΚΣ)	> 85% της προβλεπόμενης
Εφεδρική ΚΣ	< 15 beats/min
Αναπνευστικό Κατώφλι (VAT)	> 40%, Normal 40-80% VO <sub>2</sub> peak
Παλιός Οξυγόνου (VO <sub>2</sub> /ΚΣ)	> 80%
Αρτηριακή Πίεση	< 220/90
VO <sub>2</sub> /VT	< 0,28 για < 40 yrs. και < 0,30 για >40 yrs.
Ρυθμός αναπνοών	< 60 breaths/min
Αναπνευστική εφεδρεία (VR = VE/MVV)	< 80% ή MVV-VEmax > 11 L
VE-VCO <sub>2</sub>	< 30 για slope και < 34 τιμή στο VAT
Μείωση στο SaO <sub>2</sub>	< 4-5%
Χαμηλότερος SaO <sub>2</sub>	Να είναι >95% κατά τη διάρκεια του CPET

28



29

Καρδιοαναπνευστικές αποκρίσεις σε ασθενείς με χρόνια νοσήματα (ATS/ACCP statement Am J Respir Care Med 2003)

Αιτία Δύσπνοιας

Measurement	Heart failure	COPD	ILD	Pulmonary vascular disease	Obesity	Deconditioned
PiVO <sub>2</sub>	↓	↓	↓	↓	↓	↓
VAT	↓	N / ↓ (indeterminate)	N or ↓	↓	↓	↓
Peak HR	Variable, N in mild	↓	N / ↓ (slightly ↓)	↓	↓	↓
O <sub>2</sub> Pulse	↓	N or ↓	N or ↓	↓	↓	↓
VE/MVV = 100	↓	↓	↓	↓	N or ↓	↓
VE/VAT or VAT	↓	↓	↓	↓	↓	↓
VO <sub>2</sub> /VAT	↓	↓	↓	↓	↓	↓
PaO <sub>2</sub>	N	Variable	↓	↓	N/very ↓	↓
PA-aO <sub>2</sub>	Usually N	Variable, usually ↓	↓	↓	May ↓	↓


30

**Αλγόριθμος της αιτίας της δύσπνοιας και κόπωσης** (Herdy AH Arq Bras Cardiol, 2016)

CPET και αξιολόγηση:  $VO_2\text{peak}$ , Αναπνευστική εφεδρεία,  $SAO_2$ ,  $VE/VCO_2$ ,  $PETCO_2$ ,  $O_2\text{pulse}$ , Χαμηλό  $VO_2\text{peak}$ /δύσπνοια: Καρδιοαγγειακή, πνευμονική ή/και μεταβολική πάθηση ή κακή ΦΚ

<p><b>Πνευμονολογική Πάθηση</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Χαμηλό breathing reserve</li> <li>Πτώση <math>SAO_2 &gt; 4-5\%</math>,</li> <li><math>VE/VCO_2</math> slope <math>&gt; 35</math>,</li> <li><math>\downarrow PETCO_2 &lt; 33</math> mmHg σε ηρεμία και/ή</li> </ul>	<p><b>Καρδιοαγγειακή Πάθηση</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Normal Breathing Reserve</li> <li>Πλατώ/πτώση στο <math>O_2\text{pulse}</math></li> <li>Normal <math>SAO_2 (&gt;94\%)</math></li> <li>Χαμηλό VT</li> <li><math>PETCO_2 \uparrow &lt; 3</math> mmHg</li> </ul>	<p><b>Πνευμονική Υπέρταση – Πνευμονική Αγγειακή Πάθηση</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Normal Breathing Reserve</li> <li>Πλατώ/πτώση στο <math>O_2\text{pulse}</math></li> <li>Πτώση <math>SAO_2</math>,</li> <li><math>\uparrow \uparrow VE/VCO_2</math> slope <math>&gt; 40-50</math>,</li> <li><math>\downarrow PETCO_2</math> ηρεμία (<math>&lt; 33</math> mmHg)</li> <li><math>\downarrow PETCO_2 (&lt; 36\text{mmHg}</math> στο VT)</li> </ul>
---	--	---

31

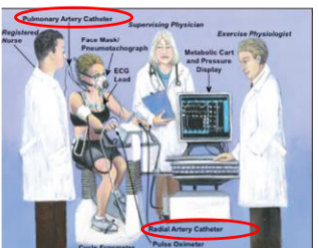


- Δεν έχουμε καταλήξει από τη μη-επεμβατική CPET στην αιτία της δύσπνοιας **ή/και**
- Δύσπνοια κατά τη φυσική δραστηριότητα με φυσιολογικές τιμές ηρεμίας

**Μη-επεμβατική vs. Επεμβατικής Εργοσπιρομετρίας ?**

32

**The Invasive Cardiopulmonary Exercise Test**  
Bradley A. Maron, MD, Barbara A. Cocktail, MD, Aaron R. Wasson, MD, PhD, David M. Syston, MD *Circulation*. 2013;127:1157-1164



**ΕΠΕΜΒΑΤΙΚΗ ΕΡΓΟΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΑ**

- Εργοσπόμετρο
- Καθετήρας Πνευμονικής αρτηρίας (δεξιός καθετήρας)
- Καθετήρας Κερκιδικής αρτηρίας

**ΑΚΡΙΒΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗ**

- Αιμοδυναμικών συστηματικής κυκλοφορίας (BP, CO, SV)
- Αιμοδυναμικών πνευμονικής κυκλοφορίας (RAP, PAP, PCWP, PVR)
- $PaO_2$ ,  $PaCO_2$ , Ph
- PAP/CO, PCWP/CO, P(A-a), (A-V)O<sub>2</sub>

33

**Impaired Exercise Tolerance in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction**  
Identification of Mechanisms Using Exercise Capacity

Flowchart for identifying mechanisms of impaired exercise tolerance:

- Is maximum effort achieved?
  - Yes: Peak RER  $> 1.05$  or HR  $> 85\%$  predicted → Not max effort test (limits interpretation)
  - No: Peak RER  $< 1.05$  → Is peak exercise capacity impaired?
    - Yes: Peak  $VO_2 < 80\%$  predicted → Consider non-organic cause of dyspnea or ↑ metabolic cost due to obesity
    - No: Peak  $VO_2 > 80\%$  predicted → Is pulmonary mechanical load exercise capacity?
      - Yes: Peak  $V_E/ARV > 80\%$  & low  $O_2$  sat → Pulmonary mechanical limitation
      - No: "Normal" → MΗ-ΕΠΕΜΒΑΤΙΚΗ Εργοσπιρομετρία

34

**Ερωτήματα που απαντά η Εργοσπιρομετρία**

- Είναι η λειτουργική ικανότητα μειωμένη? (peak  $VO_2$ )
- Υπάρχει καρδιοαγγειακή δυσλειτουργία? (χρονότροπη/ινότροπη δυσλειτουργία)
- Υπάρχει ανεπάρκεια στον αερισμό και στην ανταλλαγή αερίων?
- Υπάρχουν διαταραχές στην αντιστολήση  $VE/Q?$
- Ποια είναι τα αίτια της δύσπνοιας (καρδιολογικά ή/και πνευμονολογικά ?)
- Υπάρχει συννοσηρότητα καρδιοαγγειακής-πνευμονικής βλάβης ?
- Πρόγνωση ασθενείας, Προεγχειρητικός έλεγχος και αξιολόγηση της απόκρισης του ασθενή σε χειρουργικές παρεμβάσεις (π.χ. LVRS, lung cancer, transplant).
- Καθορισμός της έντασης σε προγράμματα άσκησης/αποκατάστασης, το επίπεδο της υποξαιμίας και της χρήσης  $O_2$  σε πνευμονοπαθείς.
- Αξιολόγηση της επίδραση φαρμακευτικής αγωγής ή/και του προγράμματος άσκησης στη λειτουργική ικανότητα και σε δείκτες ΚΑ λειτουργίας ?

**Η Εργοσπιρομετρία χρησιμοποιείται στη διαφοροδιάγνωση !**

35

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ.....

Thank you



36