

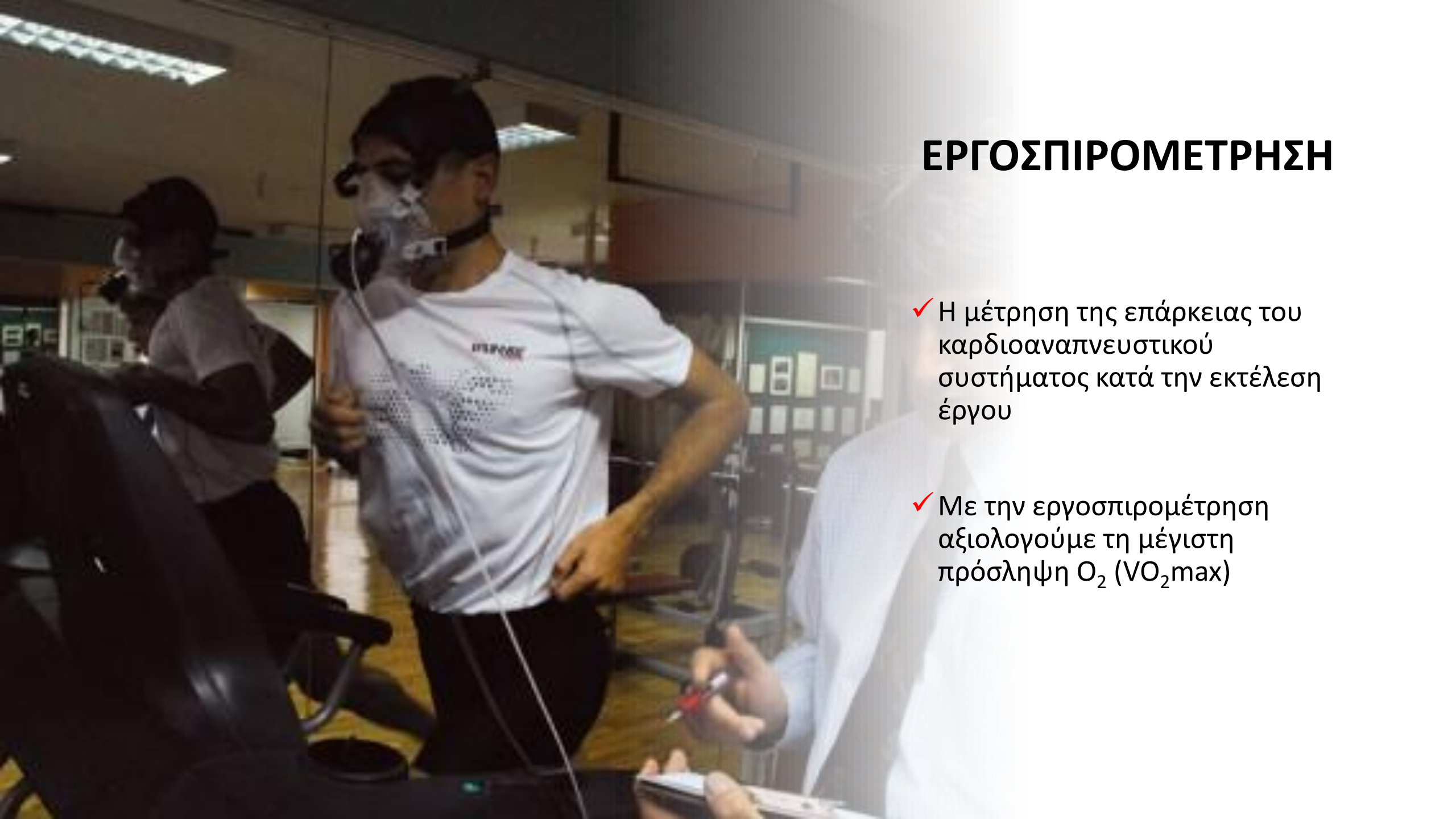
ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

A. ΚΑΛΤΣΑΤΟΥ, PhD

2025

ΕΡΓΟΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

- ✓ Η μέτρηση της επάρκειας του καρδιοαναπνευστικού συστήματος κατά την εκτέλεση έργου
- ✓ Με την εργοσπιρομέτρηση αξιολογούμε τη μέγιστη πρόσληψη O_2 ($VO_2 \max$)



Πρωτόκολλα άσκησης

✓ Κυλιόμενος τάπητας

Πλεονεκτήματα τάπητα: περισσότερο φυσική άσκηση, συχνά πιο άνετη για τον ασθενή

✓ Κυκλοεργόμετρο

Πλεονεκτήματα κυκλοεργόμετρου : όχι προβλήματα αστάθειας φτηνότερο, λιγότερο χώρο, ευκολότερη μέτρηση αρτηριακής πίεσης

ΕΡΓΟΜΕΤΡΑ

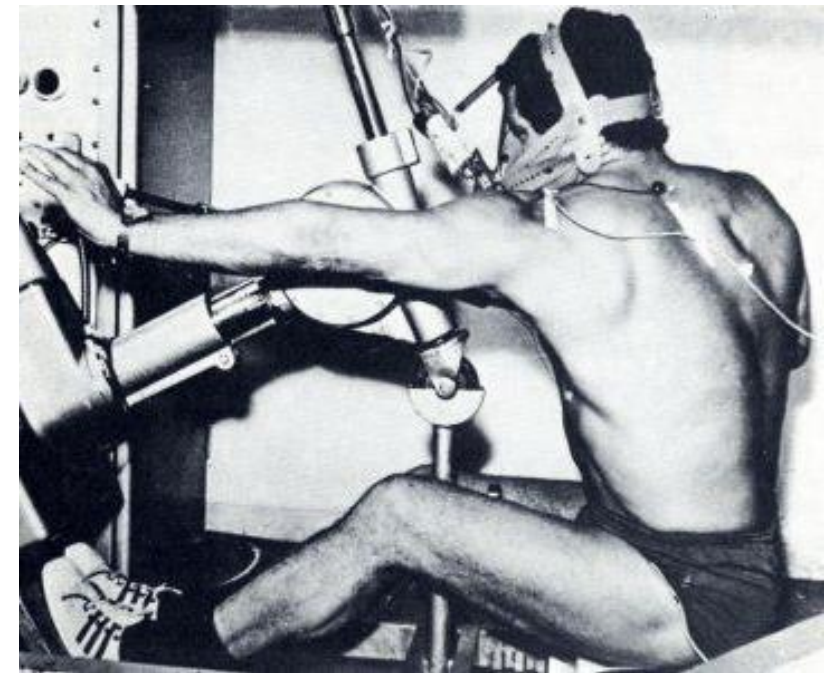
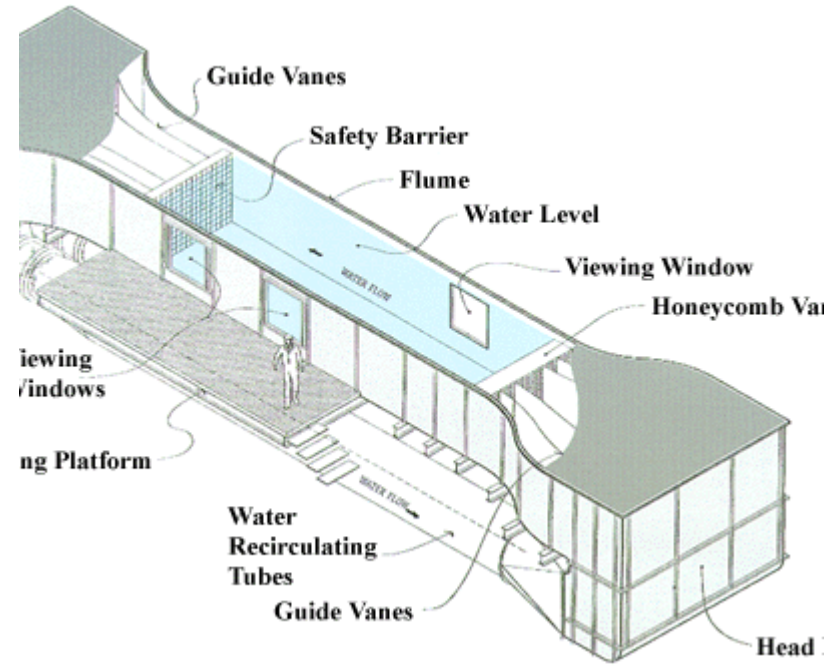
Δαπεδοεργόμετρο

Κυκλοεργόμετρο

Βαθμιδοεργόμετρο

Χειροεργόμετρο

Υδροεργόμετρο



ΔΑΠΕΔΟΕΡΓΟΜΕΤΡΟ

Ο ΑΣΘΕΝΗΣ ΜΠΟΡΕΙ
ΝΑ ΒΑΔΙΣΕΙ Ή ΝΑ
ΤΡΕΞΕΙ
ΑΠΑΙΤΕΙ ΣΩΣΤΗ
ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ
ΑΥΤΟΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ
ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ Η
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΚΛΙΣΗ

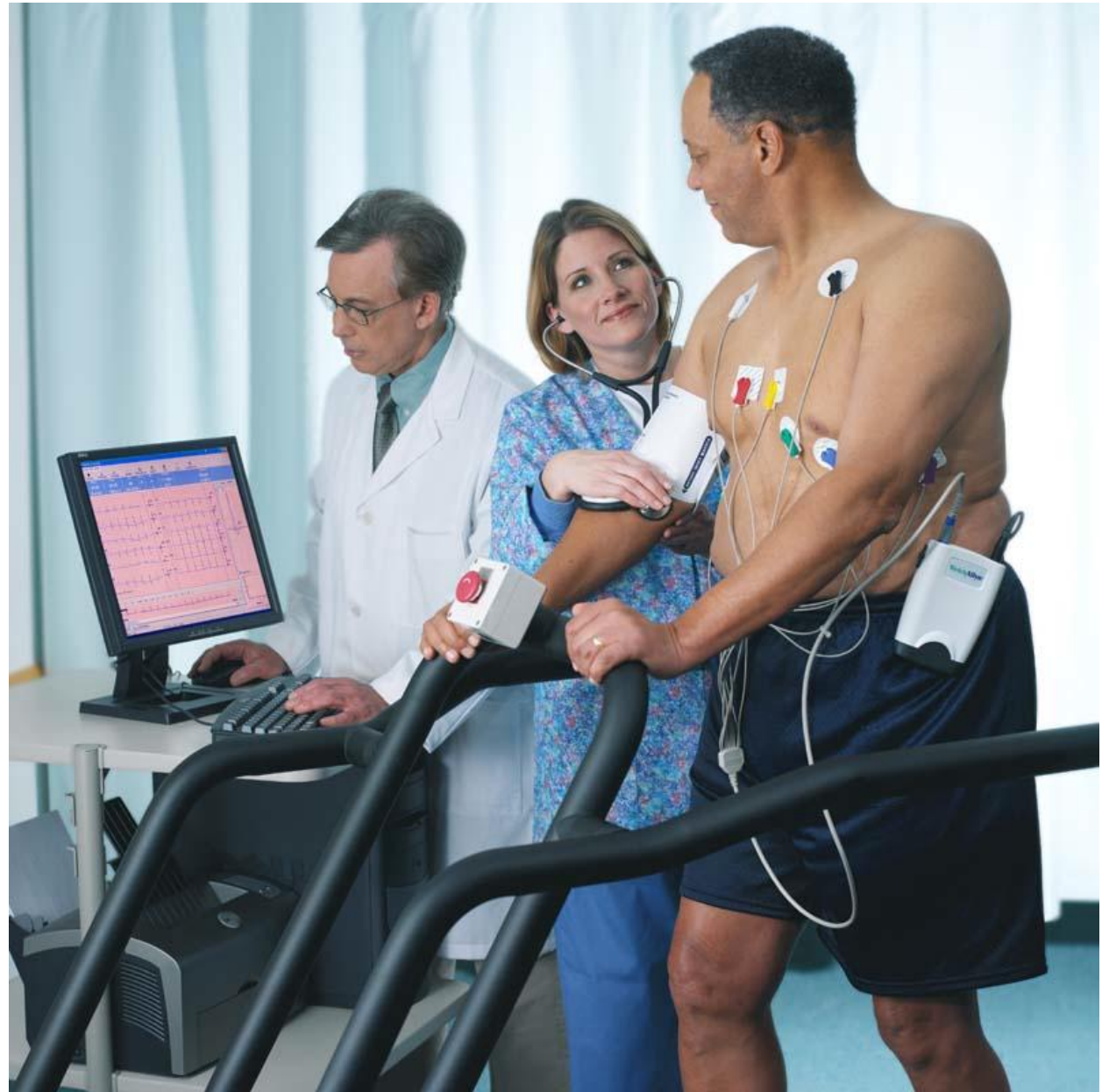
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Επιβαρύνεται μέγιστα το καρδιοαναπνευστικό σύστημα
- ✓ Αποτελεί φυσική κίνηση
- ✓ Συμμετέχει όλο το σώμα

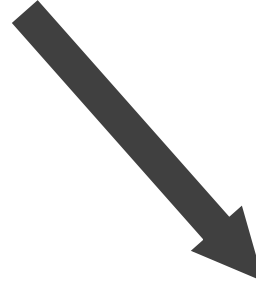
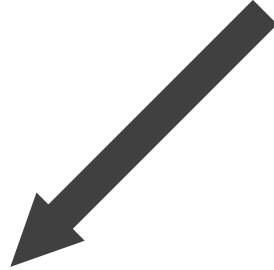
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Δεν είναι το πλέον κατάλληλο για όλα τα άτομα (μεγάλη ηλικία - παχύσαρκους)
- ✓ Κίνδυνος τραυματισμού επί ανεπαρκούς ελέγχου
- ✓ Μεγάλο κόστος

Κυλιόμενος τάπητας



ΚΥΚΛΟΕΡΓΟΜΕΤΡΟ



ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- κατάλληλο μέσο για παχύσαρκους και για άτομα με αστάθεια
- οι μετρήσεις γίνονται πιο εύκολα (π.χ. Κ.Σ., Α.Π., αιμοληψία)
- Φορητό

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

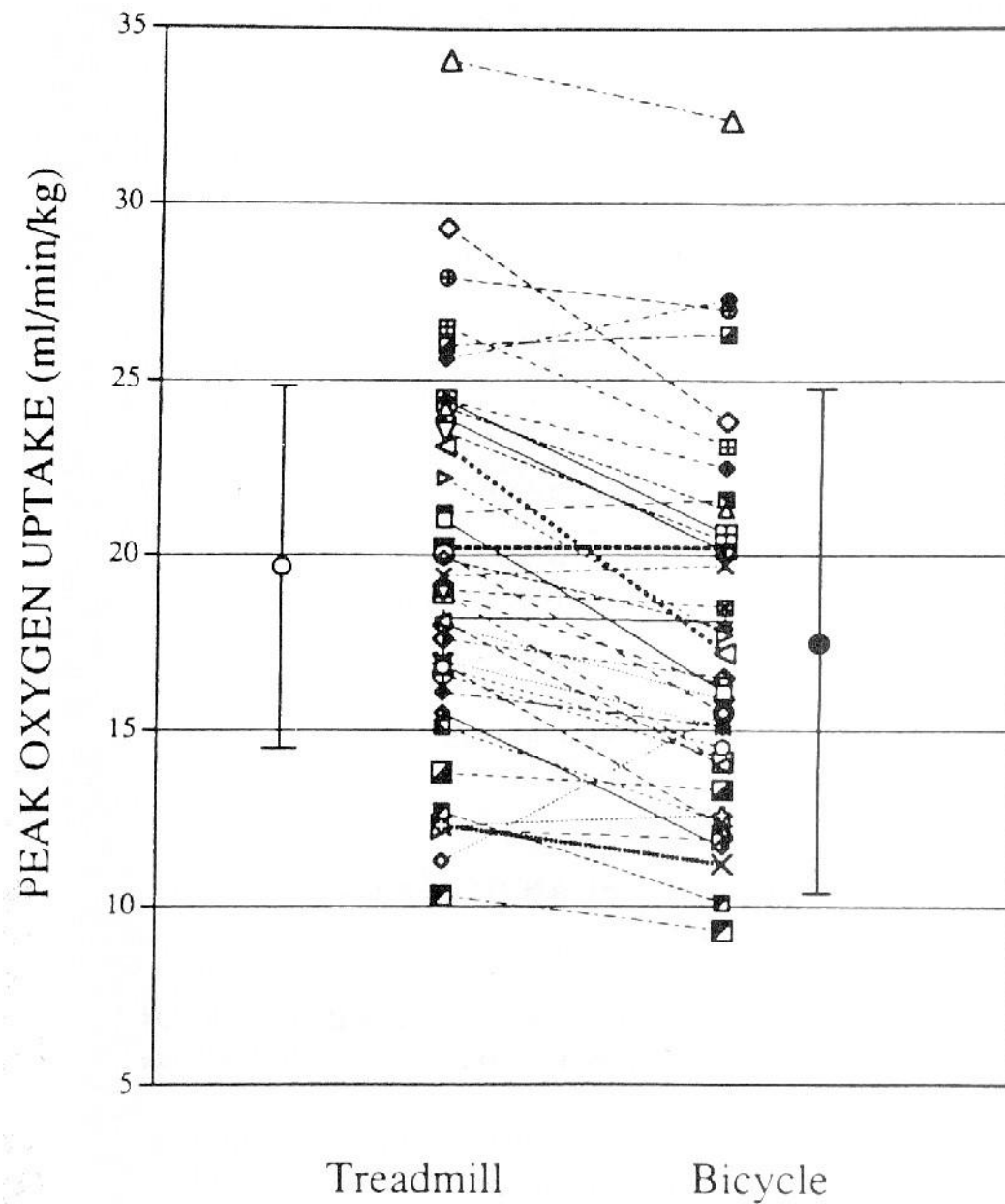
- τοπική κόπωση
- δεν επιβαρύνεται μέγιστα το καρδιοαναπνευστικό σύστημα
- χαμηλότερη VO_2 peak

Κυκλοεργόμετρο





5-25%
μικρότερη
 $\dot{V}O_2\text{max}$ στο
εργοποδήλατο



Τύποι Δοκιμασίας Κόπωσης

- Μέγιστη δοκιμασία κόπωσης
- Υπομέγιστη δοκιμασία κόπωσης
 - ✓ Άσκηση στο 70% της μέγιστης προβλεπόμενης καρδιακής συχνότητας με βάση την ηλικία (220-ηλικία)
- Δοκιμασία μέχρι την εμφάνιση συμπτωμάτων (δύσπνοια, κόπωση, πόνος στο στήθος, πτώση ΣΑΠ, αρρυθμίες, κ.α.)

Πριν τη δοκιμασία θα πρέπει:

- Να εξηγείται με σαφήνεια ο λόγος της εξέτασης και η διαδικασία που θα ακολουθηθεί
- Να προηγείται κλινικός έλεγχος του ατόμου και ΗΚΓ ηρεμίας
- Να γίνεται επιλογή εργομέτρου και πρωτοκόλλου κόπωσης
- Αποφυγή λήψης τροφής 3 τουλάχιστον ώρες πριν τη δοκιμασία
- Να ελέγχεται η δυνατότητα διακοπής της χορήγησης φαρμάκων που επηρεάζουν και αλλοιώνουν τις καρδιαγγειακές ανταποκρίσεις στην κόπωση λίγες ημέρες πριν τη δοκιμασία

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ BALKE

STAGE	SPEED mph	GRADE (%)	TIME (min)	CUMULATIVE TIME (min)
I	3.3	2	2	2
II	3.3	4	2	4
III	3.3	6	2	6
IV	3.3	8	2	8
V	3.3	10	2	10
VI	3.3	12	2	12
VII	3.3	14	2	14



ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ BRUCE

STAGE	SPEED mph	GRADE (%)	TIME	CUMULATIVE TIME
I	1.7	10	3min	3
II	2.5	12	3min	6
III	3.4	14	3min	9
IV	4.2	16	3min	12
V	5.0	18	3min	15+

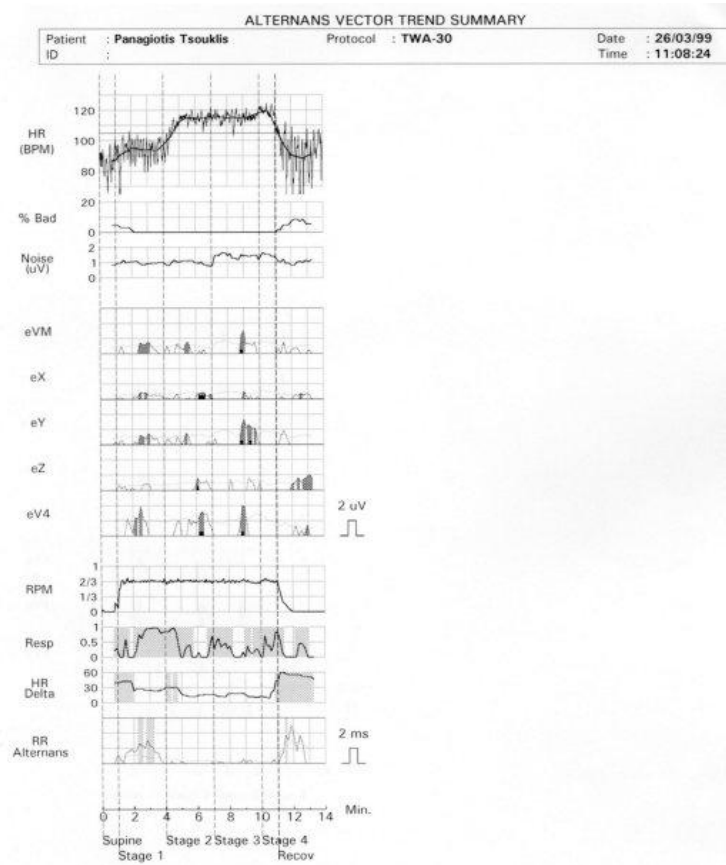
Σχετικές ενδείξεις διακοπής της δοκιμασίας κόπωσης

- ✓ Σημαντική πτώση ($ST > 2\text{mm}$) ή μεταβολές του QRS, του άξονα κ.ά.
- ✓ Προοδευτικά αυξανόμενος θωρακικός πόνος
- ✓ Γενικευμένη κόπωση, δύσπνοια, ζάλη, έντονη μυϊκή αδυναμία των κάτω άκρων
- ✓ Σημεία αγγειοσύσπασης (ψυχρό και ωχρο δέρμα)
- ✓ Λιγότερο σοβαρές αρρυθμίες (π.χ. υπερκοιλιακές ταχυκαρδίες)

Απόλυτες ενδείξεις διακοπής της δοκιμασίας κόπωσης

- ✓ Πτώση της συστολικής αρτηριακής πίεσης παρά την αύξηση της επιβάρυνσης
- ✓ Πρωτοεμφανιζόμενος «στηθαγχικός» πόνος ή προοδευτική επιδείνωση πόνου επί γνωστής στεφανιαίας νόσου
- ✓ Συμπτώματα από το κεντρικό νευρικό σύστημα (αταξία, ζάλη, τάση λιποθυμίας)
- ✓ Σημεία μειωμένης περιφερικής κυκλοφορίας (κυάνωση ή ωχρότητα)
- ✓ Σοβαρές αρρυθμίες (πολύμορφες έκτακτες κοιλιακές συστολές)
- ✓ Επιθυμία του ασθενούς για διακοπή
- ✓ Τεχνικά προβλήματα

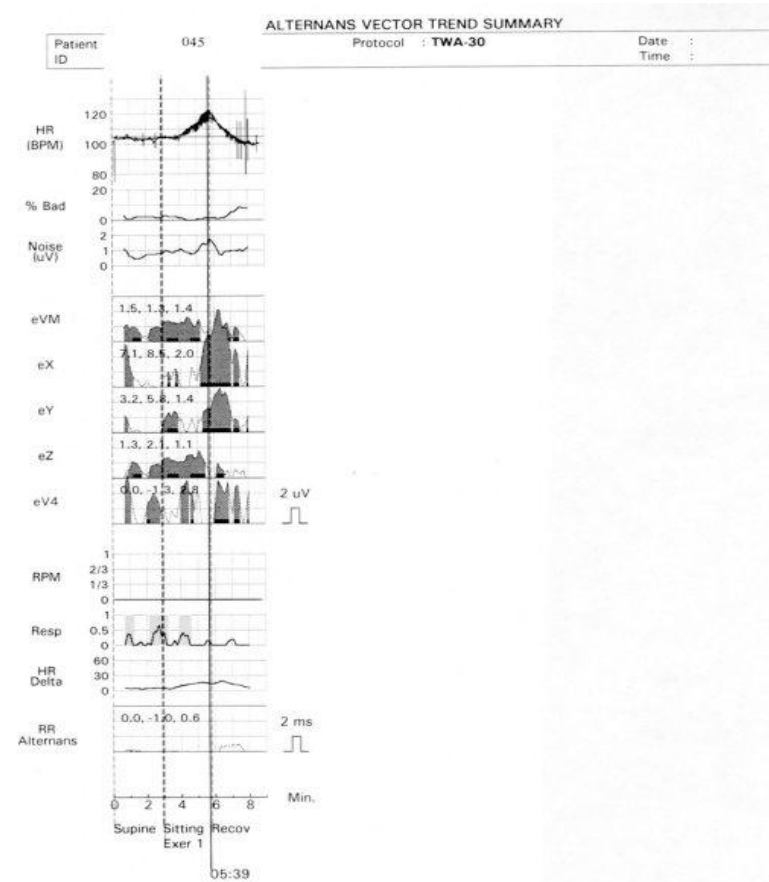
ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ



There is an interval ≥ 1 min. (6.7 to 7.8 min.) with HR > 105 , bad beats measure ≤ 10 %, noise ≤ 1.8 uV, and no significant alternans.

Method: D8 Cambridge Heart, Inc. CH 2000 1.4.0.3 ict ASC TSOP0733 Check Leads: 000000000000

ΘΕΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ



Method: D8

Cambridge Heart, Inc. CH 2000 1.4.1.0.1 i43 fra134

ΕΡΓΟΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

Η εργοσπιρομέτρηση γίνεται σε συνδυασμό με τη δοκιμασία κόπωσης



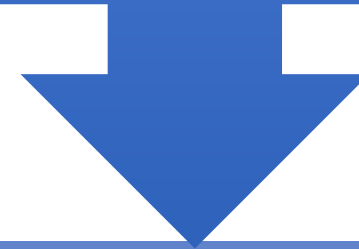


ΕΡΓΟΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ & ΑΣΘΕΝΕΙΣ ΜΕ ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ

-
- Οι ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια εμφανίζουν πολύ χαμηλά επίπεδα κόπωσης
 - Ικανοποιητική διάρκεια κόπωσης σε αυτούς τους ασθενείς θεωρείται ο χρόνος μεταξύ 8-12 λεπτών
 - Οι ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια σταματούν πρώιμα μια δραστηριότητα λόγω περιφερικής κόπωσης, είτε λόγω δύσπνοιας

VO₂max

Η μέγιστη δυνατή ποσότητα O₂ που καταναλώνει ένα άτομο στη μονάδα του χρόνου, κατά την έντονη μυϊκή προσπάθεια ελάχιστης διάρκειας 3 λεπτών



Αντανακλά την αναπνευστική, καρδιοαγγειακή και μυϊκή ικανότητα του οργανισμού, να προσλαμβάνει, να μεταφέρει και να καταναλώνει αντίστοιχα τη μέγιστη δυνατή ποσότητα O₂ στη μονάδα του χρόνου

VO₂max

Αποτελεί δείκτη της λειτουργικής προσαρμοστικότητας ενός ατόμου και θεωρείται το πιο σημαντικό κριτήριο της βιολογικής του αξίας



Αντικατοπτρίζει την ικανότητα του αναπνευστικού συστήματος να προσλαμβάνει αέρα και να προμηθεύει ο αίμα με O₂

VO₂max

Ο ανώτατος όγκος οξυγόνου (O₂), που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά τη μέγιστη προσπάθεια στη μονάδα του χρόνου, ορίζεται ως VO₂max και μπορεί παράλληλα να υπολογιστεί και από την εξίσωση του Fick, σύμφωνα με την οποία ως VO₂ ορίζεται το γινόμενο της καρδιακής παροχής επί την αρτηριοφλεβική διαφορά:

- **VO₂max (ml/min) = καρδιακή παροχή (καρδιακή συχνότητα X όγκο παλμού) X αρτηριοφλεβική διαφορά O₂ (a-VO₂)**

Η καρδιακή παροχή υπολογίζεται από το γινόμενο της καρδιακής συχνότητας (ΚΣ) επί τον όγκο παλμού, ενώ η αρτηριοφλεβική διαφορά O₂ υπολογίζεται από τη διαφορά περιεκτικότητας σε O₂ μεταξύ του αρτηριακού αίματος και του μικτού φλεβικού αίματος.

- Φυσιολογικές τιμές της VO_2max
- σε άνδρες και γυναίκες διαφορετικών ηλικιακών ομάδων

TABLE 1. Normal Values of Maximal Oxygen Uptake at Different Ages

Age, y	Men	Women
20–29		
mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹	43 ± 7.2	36 ± 6.9
METs	12	10
30–39		
mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹	42 ± 7.0	34 ± 6.2
METs	12	10
40–49		
mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹	40 ± 7.2	32 ± 6.2
METs	11	9
50–59		
mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹	36 ± 7.1	29 ± 5.4
METs	10	8
60–69		
mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹	33 ± 7.3	27 ± 4.7
METs	9	8
70–79		
mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹	29 ± 7.3	27 ± 5.8
METs	8	8

Values are expressed as mean ± SD. MET indicates metabolic equivalent or 3.5 mL O₂ · kg⁻¹ · min⁻¹.

VO₂max

Εκφράζεται:

Σε απόλυτες τιμές ml/l⁻¹

Σε σχετικές τιμές ml/kg⁻¹
min⁻¹

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΣΚΗΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ
ΜΕ ΤΗΝ $\text{VO}_{2\text{max}}$

Table 20. Classification of Exercise Intensity Based on Oxygen Uptake¹⁷⁷

Intensity	% $\text{VO}_{2\text{max}}$
Very light	<25
Light	25–44
Moderate	45–59
Hard	60–84
Very hard	≥85
Maximal	100

$\text{VO}_{2\text{max}}$ indicates maximal oxygen uptake.

VO₂peak

Αποτελεί τον πιο αξιόπιστο δείκτη νοσηρότητας και θνητότητας καθώς και πρόγνωσης για την έκβαση της ασθένειας στην καρδιακή ανεπάρκεια

Η αξία του δείκτη αυξάνεται σημαντικά εάν η ίδια παράμετρος αξιολογηθεί και στο αναερόβιο κατώφλι

Σύμφωνα με την τιμή της VO₂peak υψηλού κινδύνου θεωρούνται οι ασθενείς που εμφανίζουν τιμές <10ml/kg/min, μετρίου κινδύνου οι ασθενείς με τιμές >20ml/kg/min

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΑΣΘΕΝΩΝ ΜΕ
ΚΑΡΔΙΑΚΗ
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ
ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ
VO₂peak

Table 21. Classification of Exercise Capacity in Patients With Heart Failure, Based on Peak Oxygen Uptake and Ventilatory Anaerobic Threshold¹⁸²

Class	Impairment	Peak VO₂ (mL/kg/min)	VAT (mL/kg/min)
A	None to mild	>20	>14
B	Mild to moderate	16–20	11–14
C	Moderate to severe	10–16	8–11
D	Severe	<10	<8

VO₂ indicates oxygen uptake; and VAT, ventilatory anaerobic threshold.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΚΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΗΣ $\dot{V}O_2$ peak

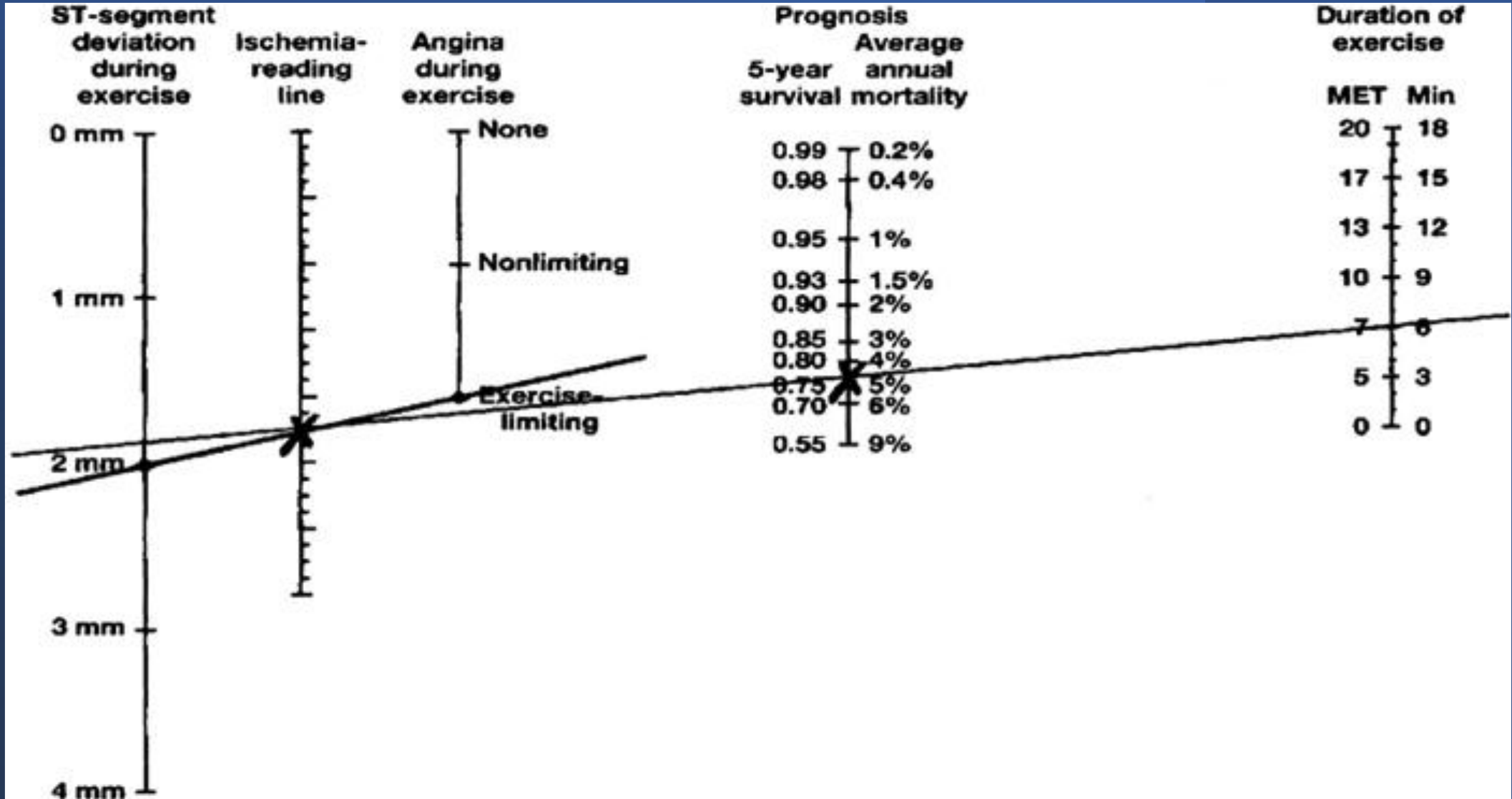
Fleg et al, 2000

TABLE 1. Functional Impairment During Incremental Treadmill Testing in Heart Failure: The Weber Classification

Class	Severity	Peak $\dot{V}O_2$ $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	VT	CI max, $L \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$
A	Mild to none	>20	>14	>8
B	Mild to moderate	16–20	11–14	6–8
C	Moderate to severe	10–16	8–11	4–6
D	Severe	6–10	5–8	2–4
E	Very severe	<6	<4	<2

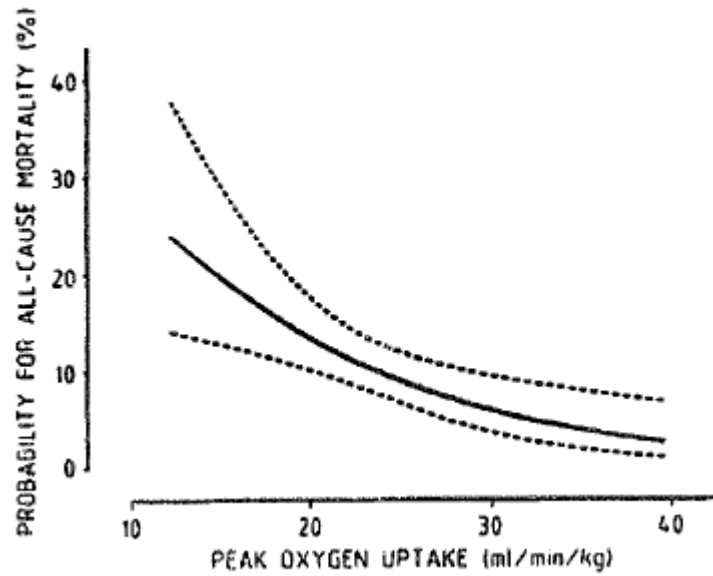
VT indicates ventilatory threshold; CI max, maximum cardiac index.

Adapted with permission from Weber et al, "Determination of aerobic capacity and the severity of chronic cardiac and circulation failure." (*Circulation*. 1987;76[suppl VI]:VI-40–VI-45.)

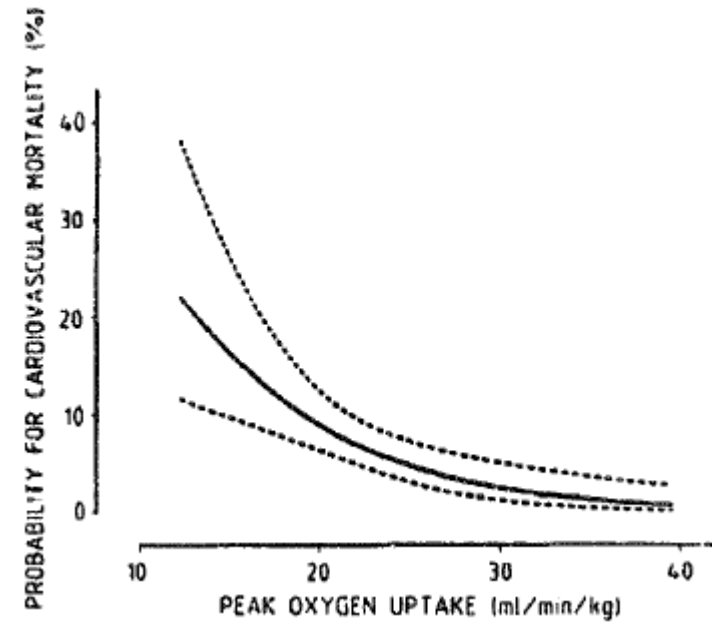


ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ VO_2 ΠΕΑΚ ΚΑΙ ΘΝΗΤΟΤΗΤΑΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΘΝΗΤΟΤΗΤΑ



ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΗ ΘΝΗΤΟΤΗΤΑ



ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ (VE)

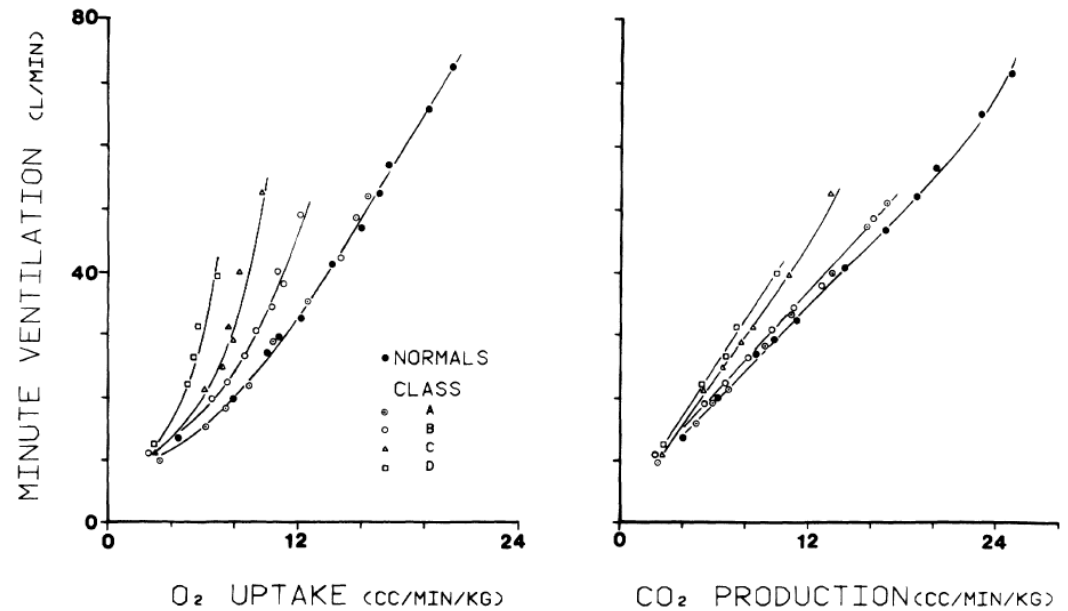
Οι τιμές του VE κατά τη μέγιστη άσκηση κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα στους ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια

οι τιμές σε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια εμφανίζονται περίπου μεταξύ 29 l/min με 62 l/min, ενώ σε υγιή άτομα απο

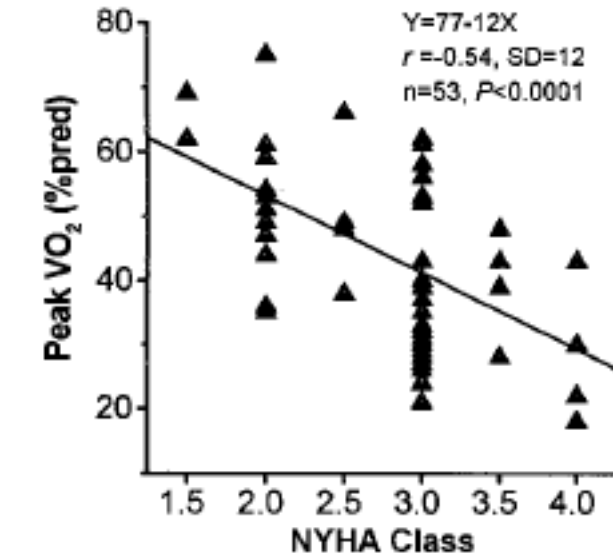
> 72 l/min

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ VE ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ O₂ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ CO₂ ΣΤΗΝ ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ

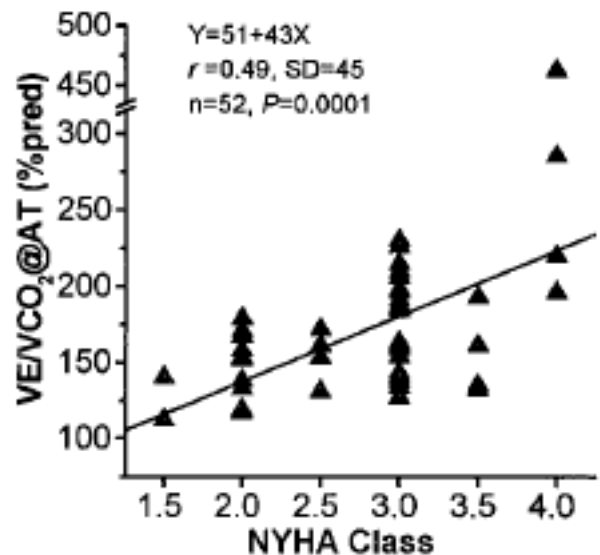
Weber et al, 1982



ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΡΓΟΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΚΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ



- Στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της VO₂peak και της κατηγοριοποίησης κατά NYHA



- Στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του αναπνευστικού ισοδύναμου του CO₂ στο αναερόβιο κατώφλι και σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση κατά NYHA

O₂pulse

- Το O₂pulse είναι το προϊόν του όγκου παλμού επί την αρτηριοφλεβική διαφορά O₂ και εκφράζεται απο την σχέση $VO_2\text{peak} / \text{HR}$
- Αποτελεί δείκτη πρόγνωσης για την έκβαση της νόσου χαμηλότερης αξίας συγκριτικά με τη $VO_2\text{peak}$
- Στους ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια πολύ χαμηλή θεωρείται η τιμή $\leq 8.6 \text{ ml/beat}$

VE/VCO_2

- Αποτελεί δείκτη θνητότητας και πρόγνωσης
- Οι ασθενείς με τιμές $VE/VCO_2 \geq 34$ ml/kg/min θεωρούνται υψηλού κινδύνου και εμφανίζουν υψηλά ποσοστά θνητότητας

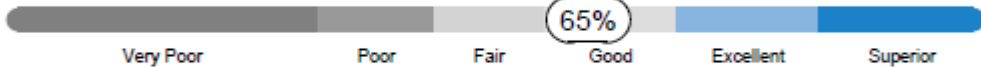
Case 1

Maximal Metrics

Power	VO2max	Heart Rate
260	46.7	196
W	mL/kg/min	bpm
Ventilation	Tidal Volume	Respiratory Frequency
139	2.7	52
L/min	L	bpm

Maximal metrics values are provided at the time of VO2Max.

How Your VO2max Compares to Others



This scale shows how your VO2max compares to statistical norms for you to track changes over time.

Training Zones

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
	Warm Up	Fat Burning	Endurance	Vigorous	Maximal
Heart Rate [bpm]	149	155	170	191	
Calories [kcal/hr]	390	480	680	970	
Power [W]	75	100	155	235	

Case 2

Maximal Metrics

Power	VO2max	Heart Rate
260	53.7	184
W	mL/kg/min	bpm
Ventilation	Tidal Volume	Respiratory Frequency
114	3.2	37
L/min	L	bpm

Maximal metrics values are provided at the time of VO2Max.

How Your VO2max Compares to Others



This scale shows how your VO2max compares to statistical norms for you to track changes over time.

Training Zones

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
	Warm Up	Fat Burning	Endurance	Vigorous	Maximal
Heart Rate [bpm]	144	154	175	205	
Calories [kcal/hr]	490	590	840	1200	
Power [W]	95	125	195	290	