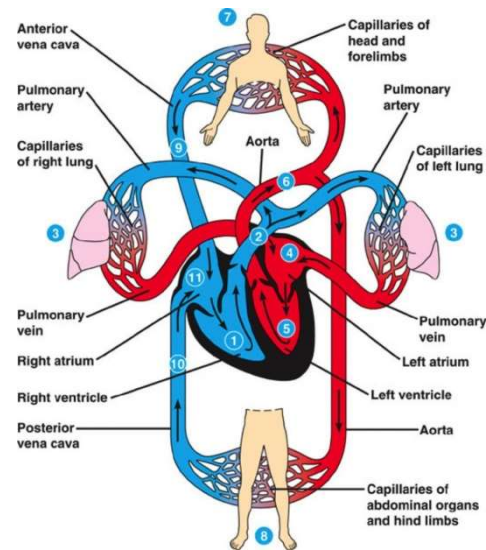


# Άσκηση

## Καρδιοαναπνευστικές ανταποκρίσεις και προσαρμογές



Ηλίας Σμήλιος, Επίκουρος Καθηγητής  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού



British Journal of  
Pharmacology

## REVIEW

# Exercise acts as a drug; the pharmacological benefits of exercise

J Vina, F Sanchis-Gomar, V Martinez-Bello and MC Gomez-Cabrera

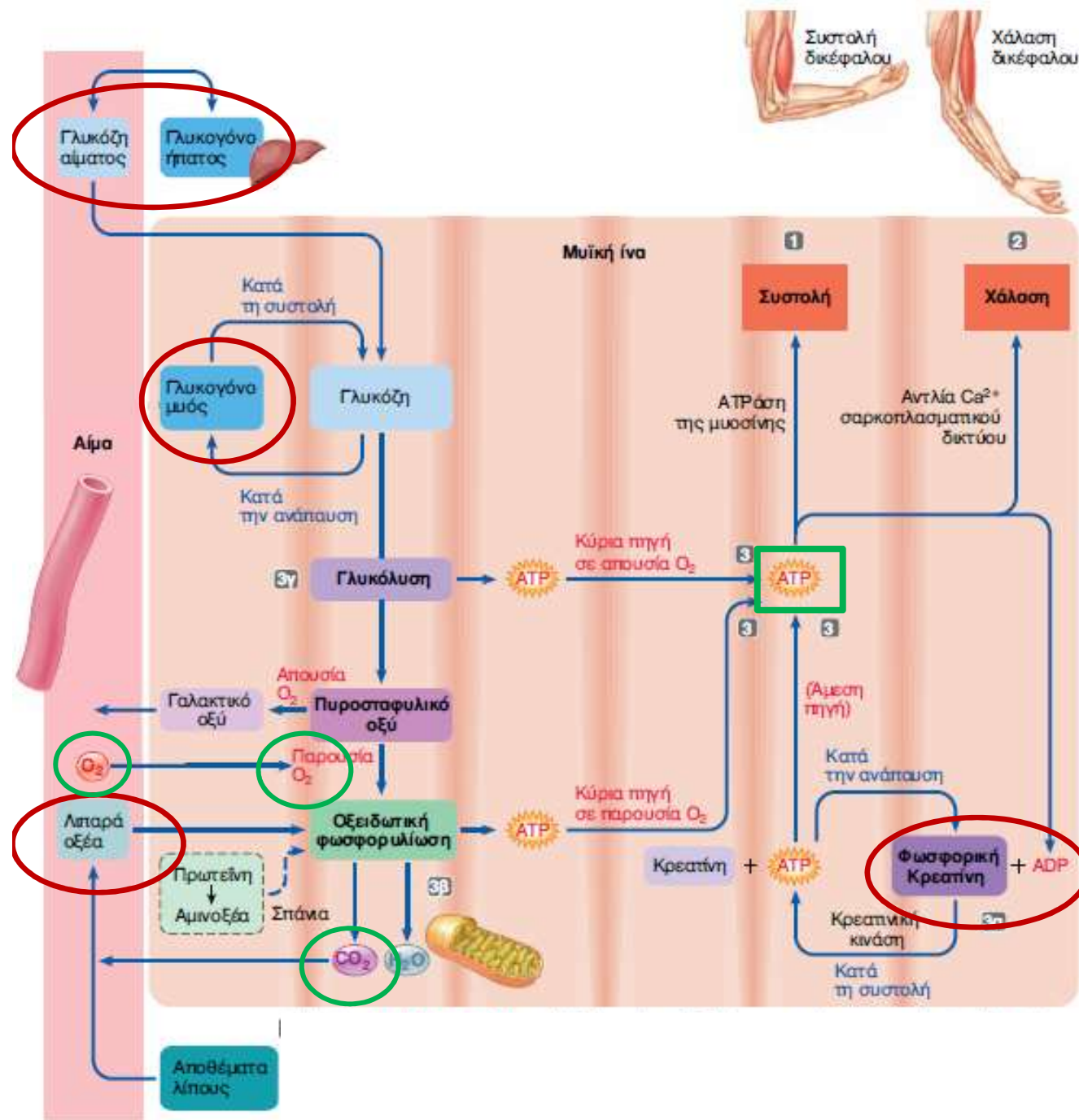
*Department of Physiology, University of Valencia, Fundacion Investigacion Hospital Clinico Universitario/INCLIVA, Valencia, Spain*

British Journal of Pharmacology (2012) **167** 1–12 1



# ΕΝΕΡΓΕΙΑ



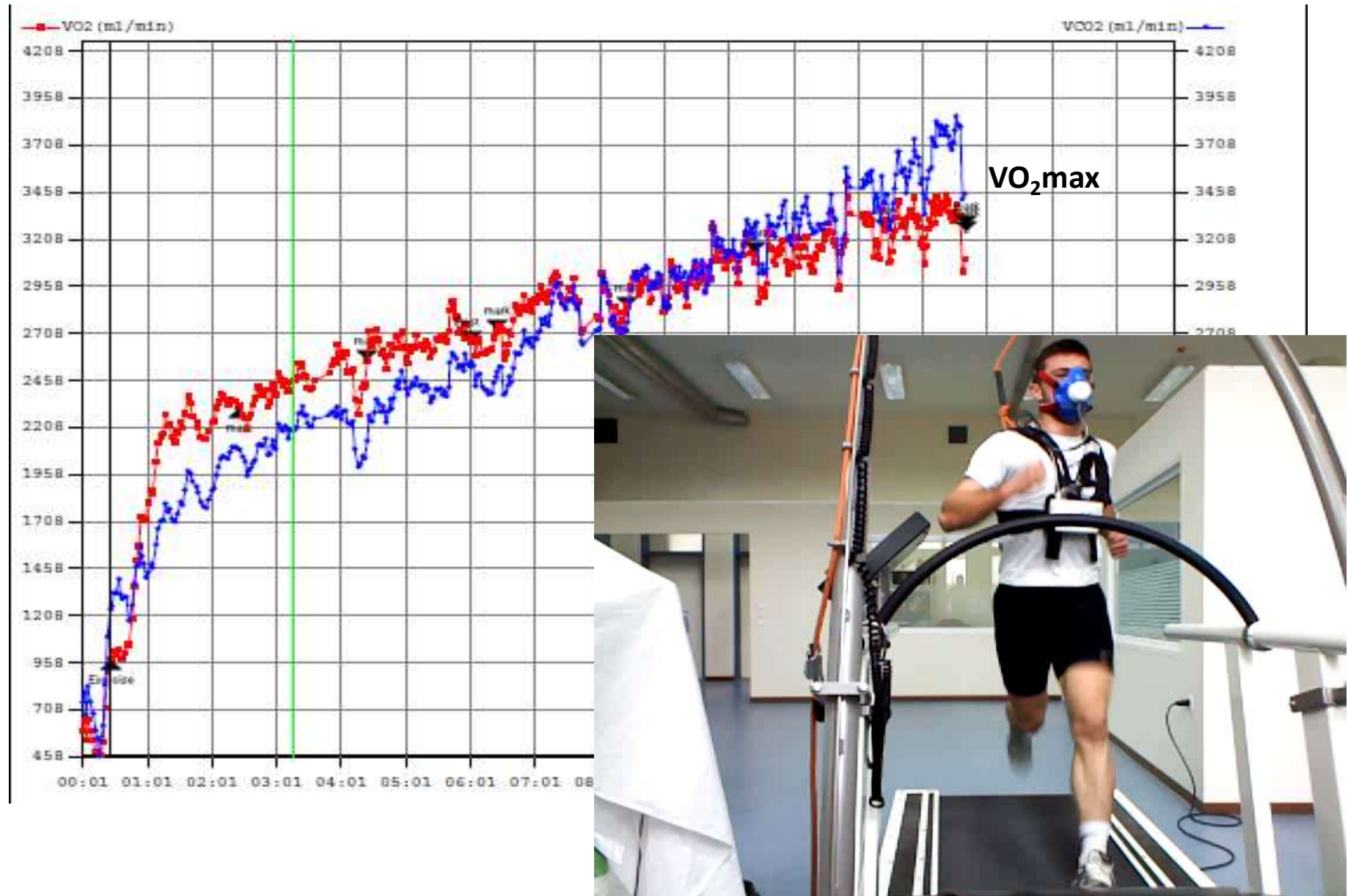


## Μεταβολικές οδοί παραγωγής ATP

Raven, Wasserman, Squires & Murray, *Φυσιολογία της Άσκησης*, 2013.

## VO<sub>2</sub> και VCO<sub>2</sub>

σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης



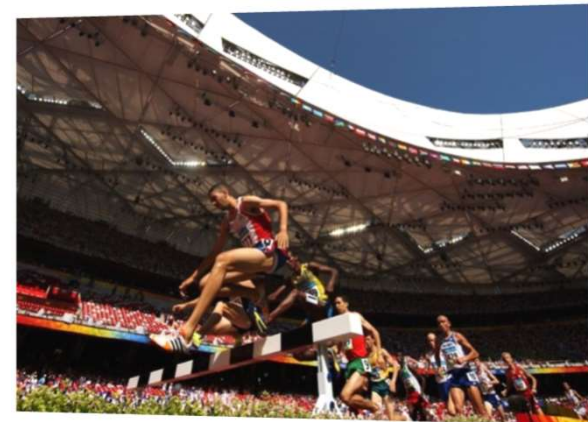
# Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO<sub>2</sub>max)

---

Ο μεγαλύτερος όγκος οξυγόνου που μπορεί να προσλάβει ο οργανισμός στη μονάδα του χρόνου για την παραγωγή ενέργειας  
(L • min<sup>-1</sup> ή ml • kg<sup>-1</sup> • min<sup>-1</sup>)

Δηλώνει τη μέγιστη ταχύτητα παραγωγής ενέργειας από τον αερόβιο μεταβολισμό

Καθοριστική για επιδόσεις σε αγωνίσματα διάρκειας > 5 min



**Μέγιστη Αερόβια Ισχύς**

---

## Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου ή Αερόβια Ικανότητα

### - $\text{VO}_2\text{max}$ -

---

Άντρας ηλικίας 24 χρόνων με σωματική μάζα 74 kg έχει

$$\text{VO}_2\text{max} = 4,6 \text{ L/min (απόλυτες τιμές)}$$

ή

$$\text{VO}_2\text{max} = 62,2 \text{ ml/kg/min (σχετικές με τη σωματική μάζα τιμές)}$$

$$4,6 \times 1000 = 4.600 \text{ ml/min}$$

$$4.600 \text{ ml/min} / 74 \text{ kg} = 62,2 \text{ ml/kg/min}$$

---

Προσαρμογές στο σύστημα μεταφοράς και κατανάλωσης οξυγόνου αντικατοπτρίζονται στις απόλυτες τιμές. Οι σχετικές τιμές έχουν σημασία σε αθλήματα που μεταφέρεται το βάρος του σώματος και για τη σύγκριση ατόμων.

---

## Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου

$$VO_{2max} = Q \times a-v O_2 \text{ diff}$$

$$VO_{2max} = SV \times HR \times a-v O_2 \text{ diff}$$

Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου = καρδιακή παροχή x αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου



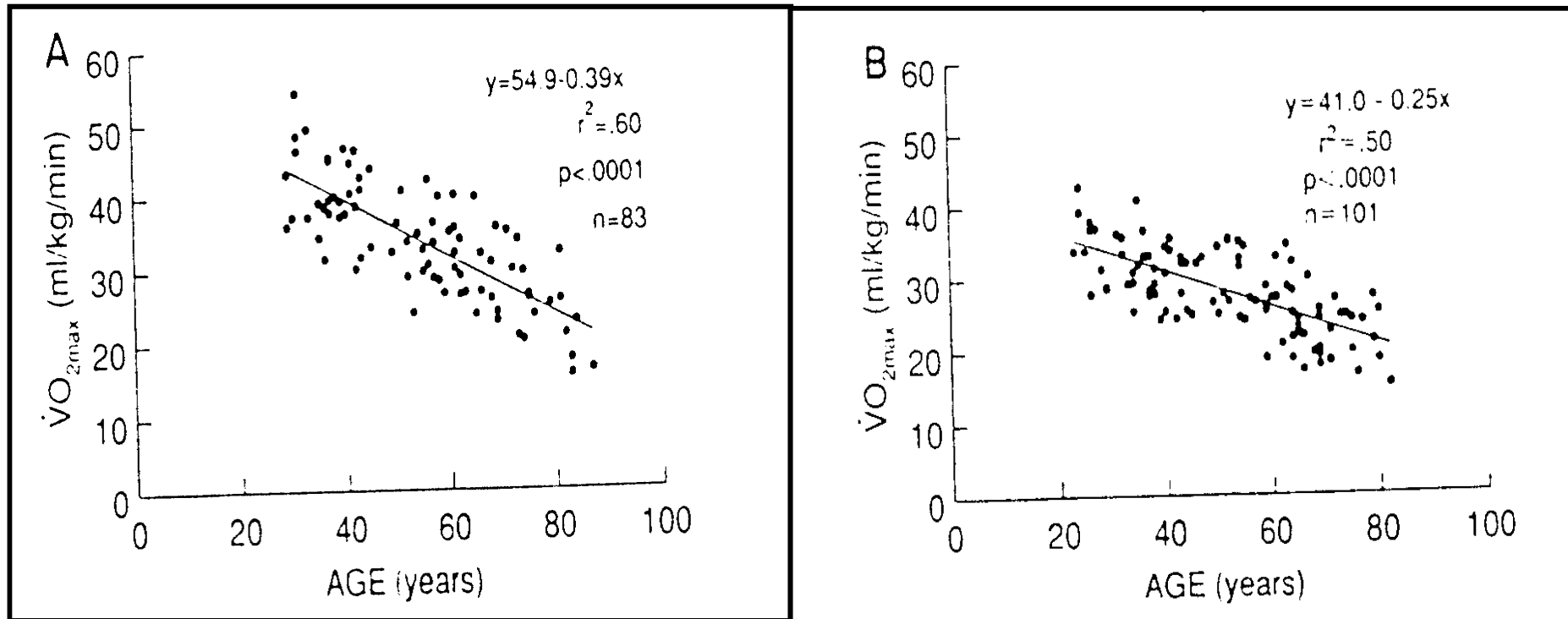
**Table 13-5. Percentile Values for Maximal Aerobic Power**

Percentile	$\dot{V}O_{2max}$ (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ) by Age Range (Years)				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60+
<b>Men</b>					
90	55.1	52.1	50.6	49.0	44.2
80	52.1	50.6	49.0	44.2	41.0
70	49.0	47.4	45.8	41.0	37.8
60	47.4	44.2	44.2	39.4	36.2
50	44.2	42.6	41.0	37.8	34.6
40	42.6	41.0	39.4	36.2	33.0
30	41.0	39.4	36.2	34.6	31.4
20	37.8	36.2	34.6	31.4	28.3
10	34.6	33.0	31.4	29.9	26.7
<b>Women</b>					
90	49.0	45.8	42.6	37.8	34.6
80	44.2	41.0	39.4	34.6	33.0
70	41.0	39.4	36.2	33.0	31.4
60	39.4	36.2	34.6	31.4	28.3
50	37.8	34.6	33.0	29.9	26.7
40	36.2	33.0	31.4	28.3	25.1
30	33.0	31.4	29.9	26.7	23.5
20	31.4	29.9	28.3	25.1	21.9
10	28.3	26.7	25.1	21.9	20.3

Reprinted with permission from American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 7th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.

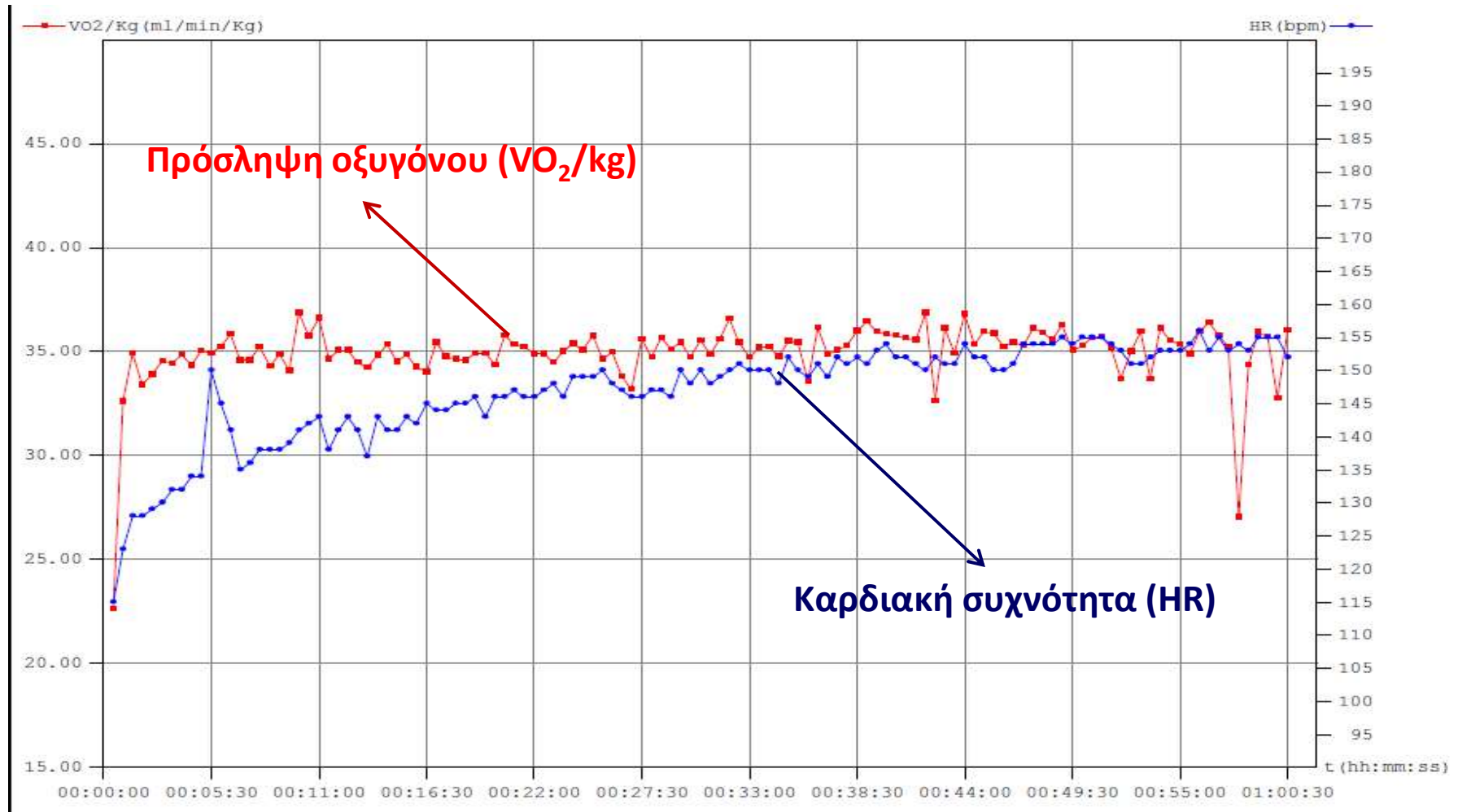
## Νόρμες Μέγιστης Πρόσληψης Οξυγόνου

# Μεταβολή της $\dot{V}O_{2\max}$ με την ηλικία



Fleg J.L. & E.G. Lakatta: Role of muscle loss in the age associated reduction in  $\dot{V}O_{2\max}$ .  
*J. Appl. Physiol.* 65(3): 1147-1151, 1988.

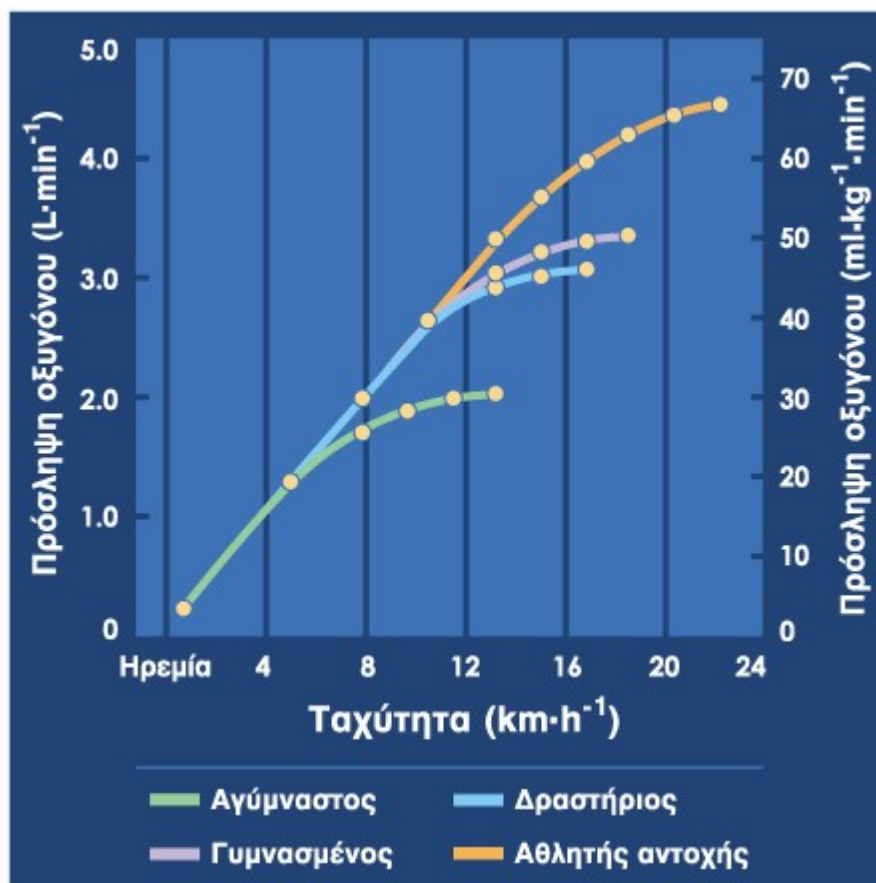
# Φυσιολογικές ανταποκρίσεις σε σταθερής, μέτριας έντασης και μεγάλης διάρκειας αερόβια άσκηση



# Βιολογικές προσαρμογές με την αερόβια προπόνηση

## Αύξηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου - $\dot{V}O_{2\max}$

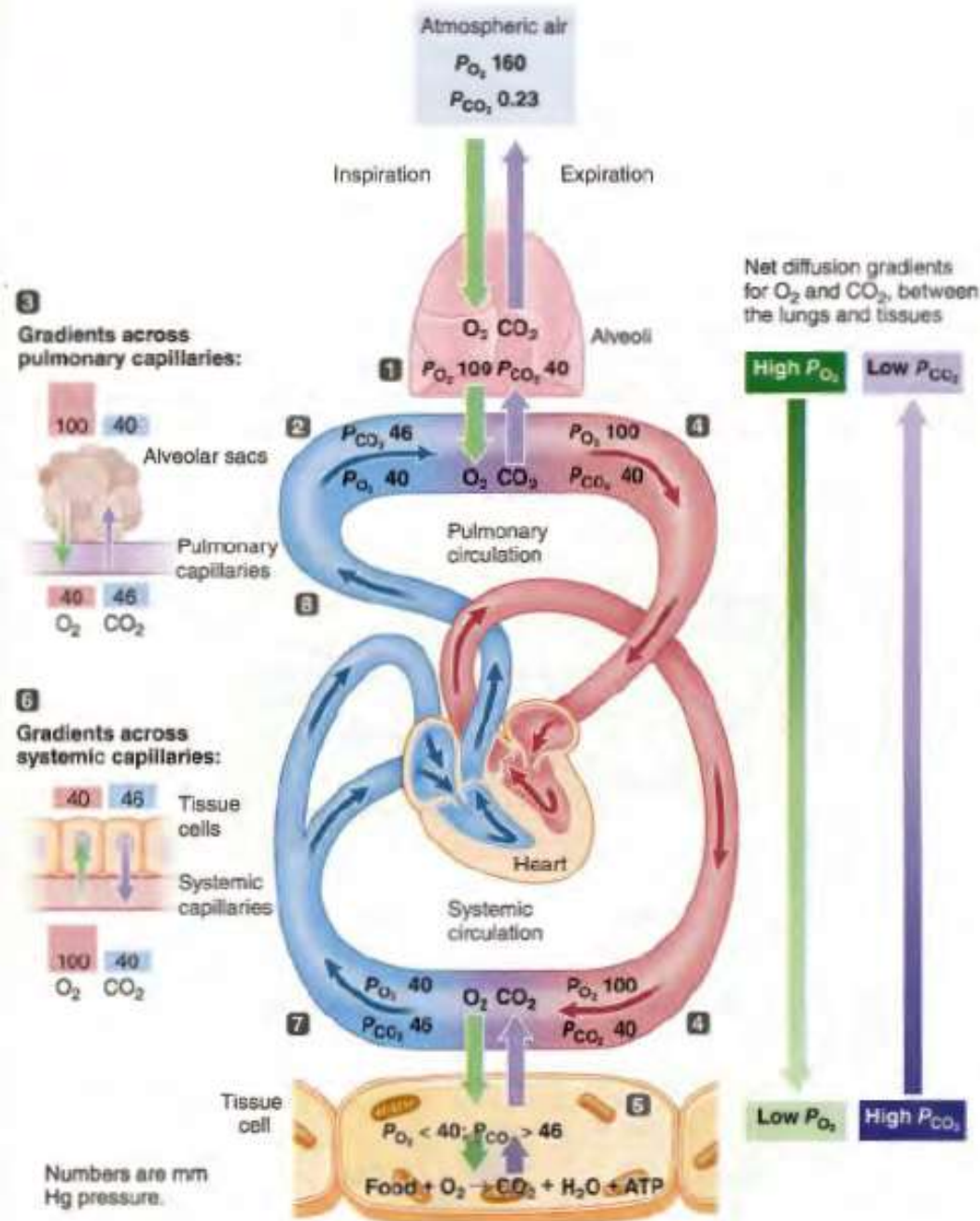
Βελτίωση της ικανότητας εκτέλεσης άσκησης με τη μέγιστη αερόβια ισχύ (3 – 9 min) και υπομέγιστη άσκηση παρατεταμένης διάρκειας (> 10 min).



## Ανταλλαγή Αερίων

Η ανταλλαγή των αερίων μεταξύ των πνευμόνων και του αίματος αλλά και του αίματος και του μυϊκού ιστού γίνεται με το μηχανισμό της διάχυσης

Κατά την **άσκηση** ο χρόνος επαφής του αίματος με τις κυψελίδες μειώνεται (0,4 sec) αλλά είναι επαρκής για την ανταλλαγή των αερίων

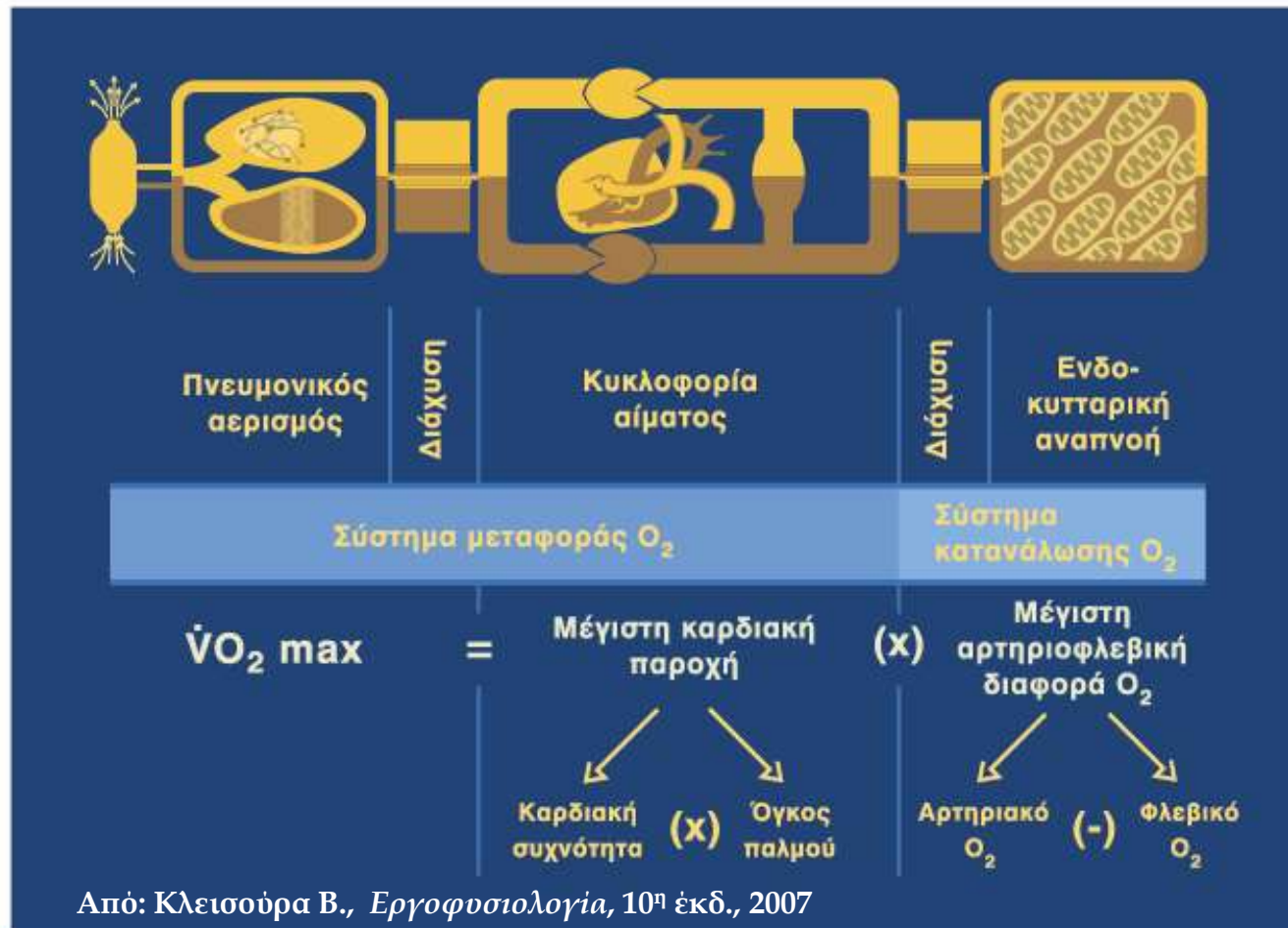


**FIGURE 9.11** Exchange of oxygen and carbon dioxide at the lungs and tissues. (From Sherwood, L. 2010. Figure 13.26 in Chapter 13, "The Respiratory System" in *Human physiology*, 7th ed. Belmont, CA: Brooks/Cole Cengage Learning.)

# Πρόσληψη O<sub>2</sub> – Αποβολή CO<sub>2</sub>

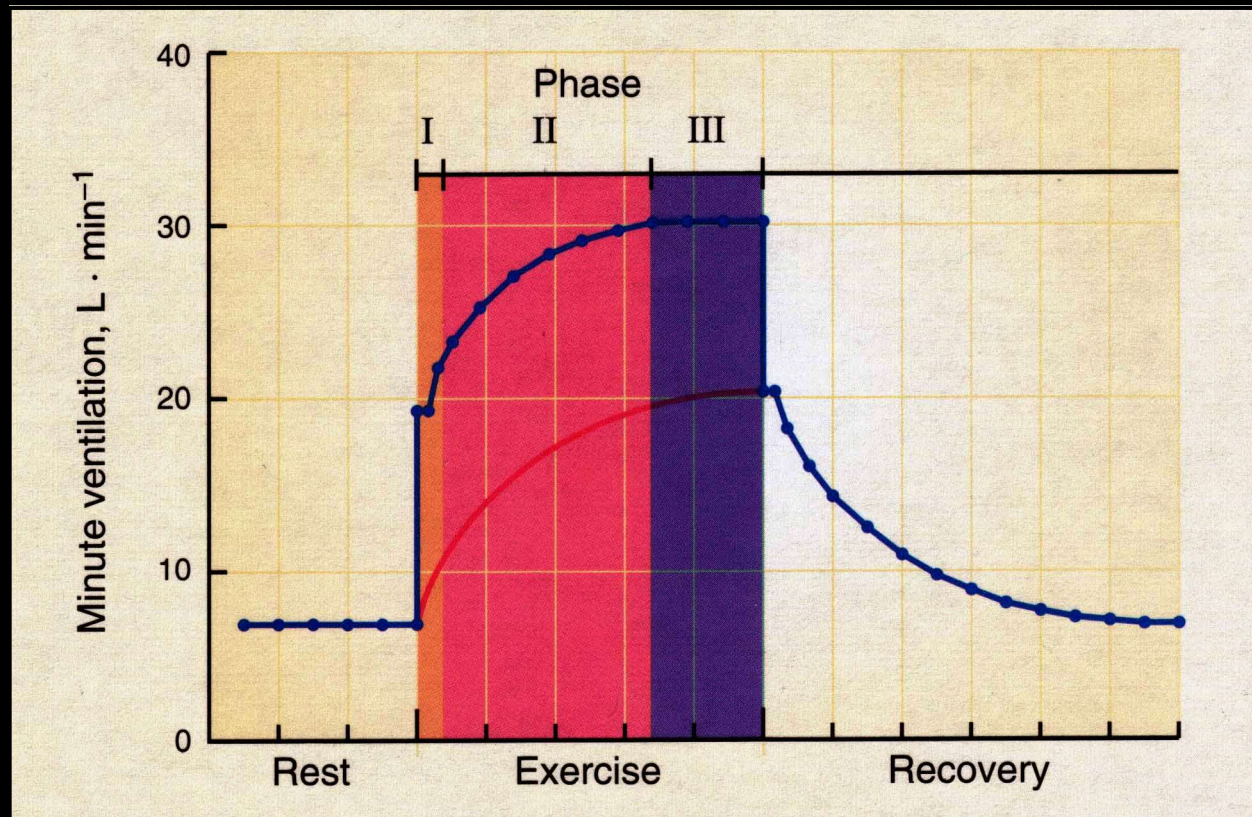
## Μεταφορά O<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>

### Κατανάλωση O<sub>2</sub> - Παραγωγή CO<sub>2</sub>





## Έλεγχος της Αναπνοής στην Άσκηση



Φάση I: ερεθίσματα από τον κινητικό φλοιό και περιφερικά νεύρα (μύες, αρθρώσεις)

Φάση II: ερεθίσματα από τους κεντρικούς χημειοϋποδοχείς

Φάση III: ερεθίσματα από τους περιφερικούς χημειοϋποδοχείς

Αποκατάσταση: ερεθίσματα από τους περιφερικούς χημειοϋποδοχείς



## Πνευμονικός Αερισμός ( $V_E$ )

Η ποσότητα (L) του αέρα που εκπνέεται σε 1 min

$V_E = \text{Συχνότητα αναπνοής} \times \text{αναπνεόμενο όγκο αέρα}$

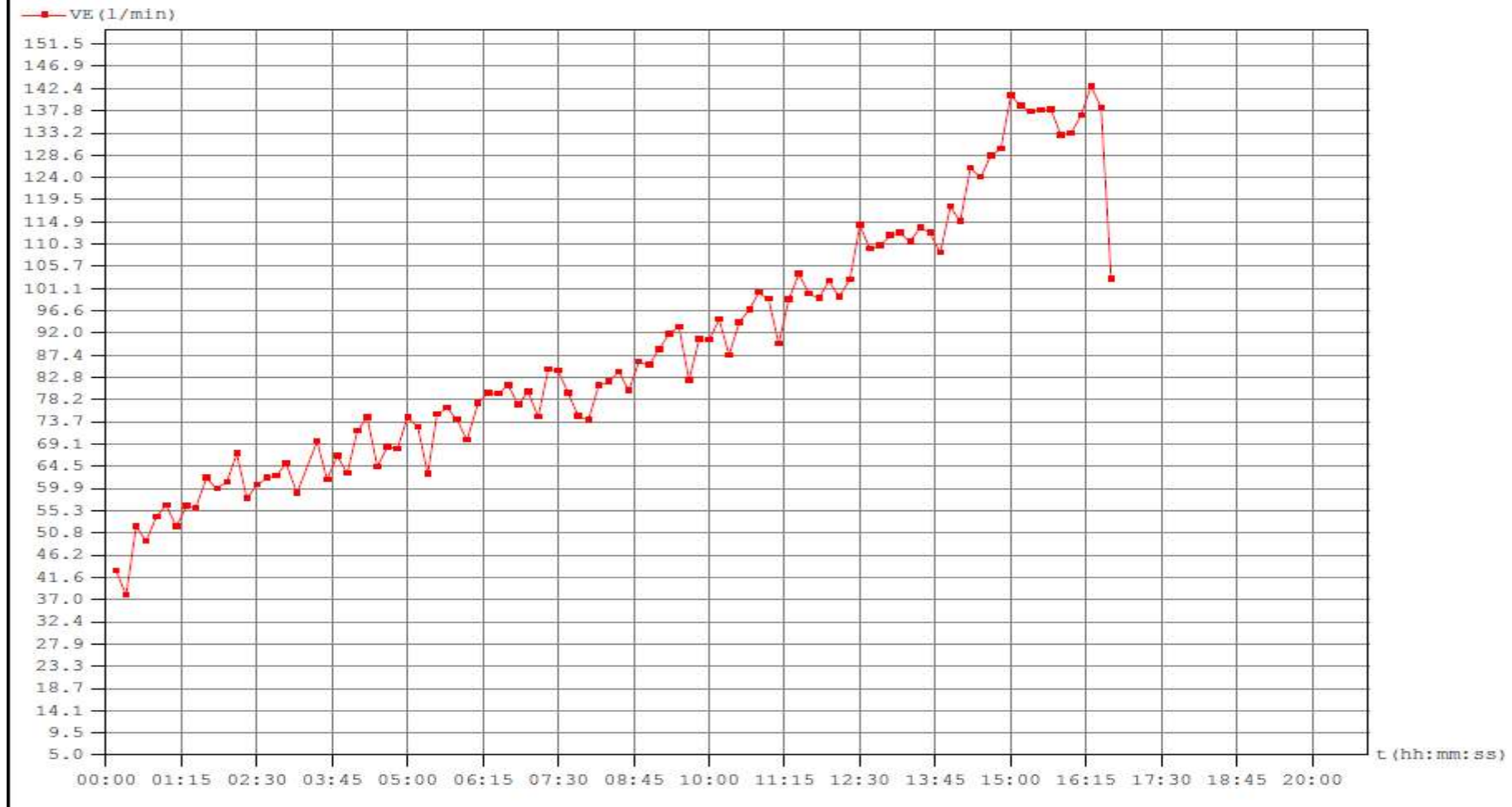
Ηρεμία

$$V_E = 12 \cdot \text{min}^{-1} \times 0,5 \text{ L} = 6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

Άσκηση

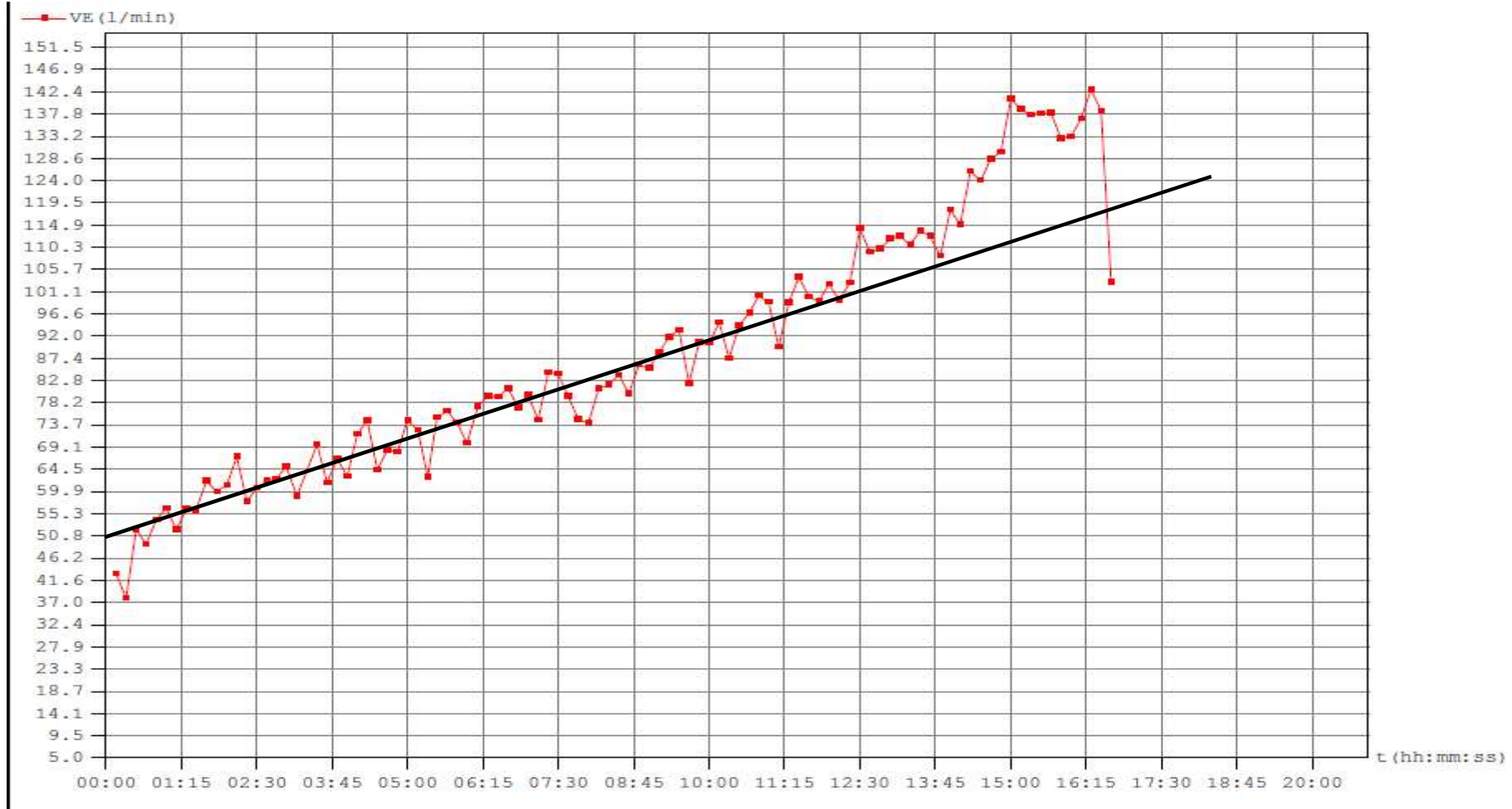
$$V_E = 60 \cdot \text{min}^{-1} \times 2 \text{ L} = 120 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

# Πνευμονικός Αερισμός ( $V_E$ ) σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης



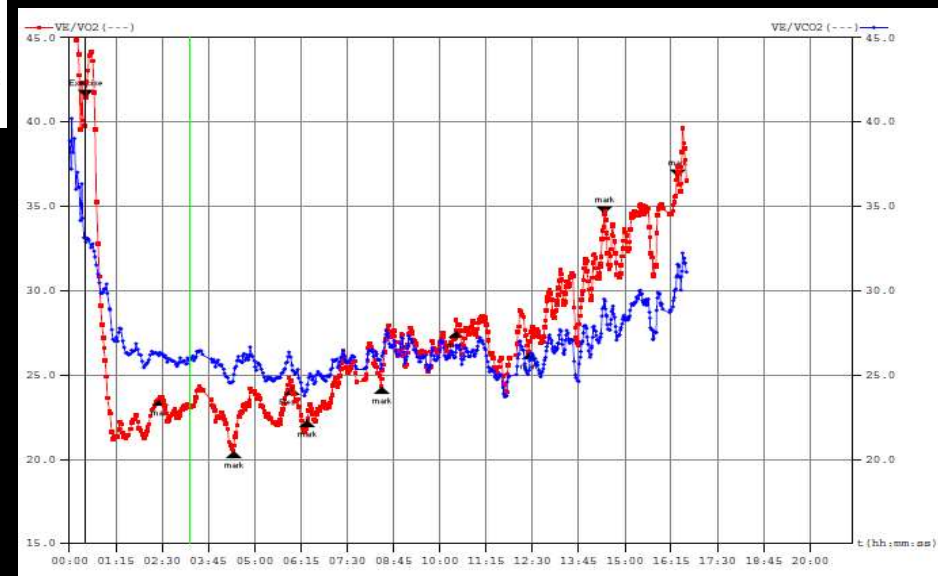
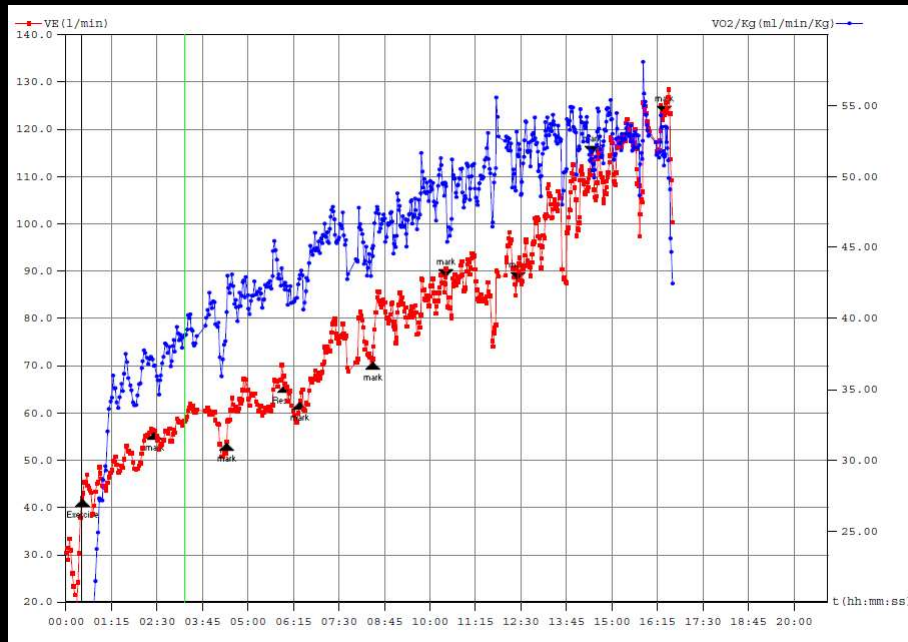
Δ.Π.Θ., Σ.Ε.Φ.Α.Α., Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης,  
Κατεύθυνση Κλινικής Εργοφυσιολογίας & Φυσιολογίας της Άσκησης

# Πνευμονικός Αερισμός ( $V_E$ ) σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης

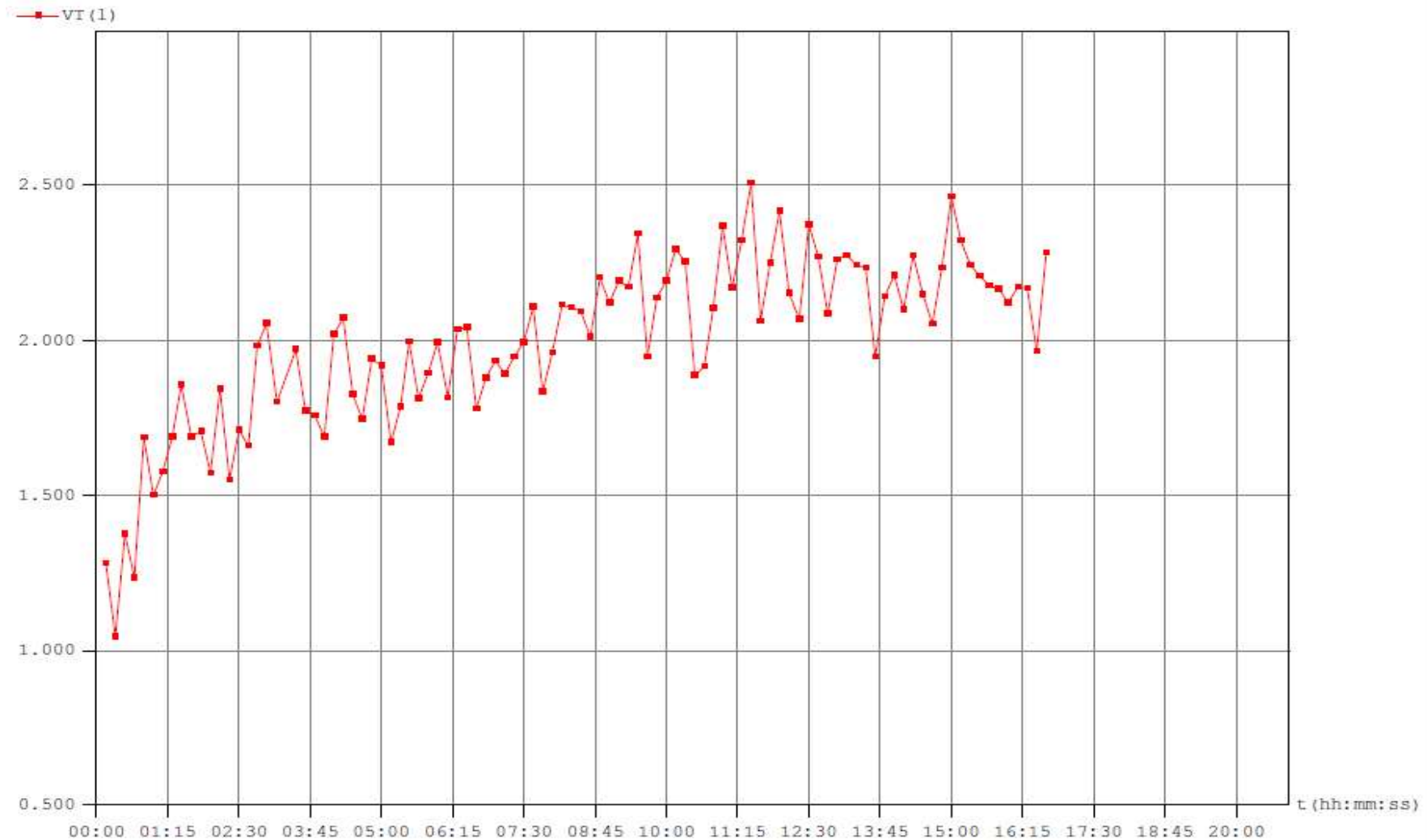


Δ.Π.Θ., Σ.Ε.Φ.Α.Α., Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης,  
Κατεύθυνση Κλινικής Εργοφυσιολογίας & Φυσιολογίας της Άσκησης

# $VO_2, V_E, V_E/VO_2, V_E/VCO_2$ σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης

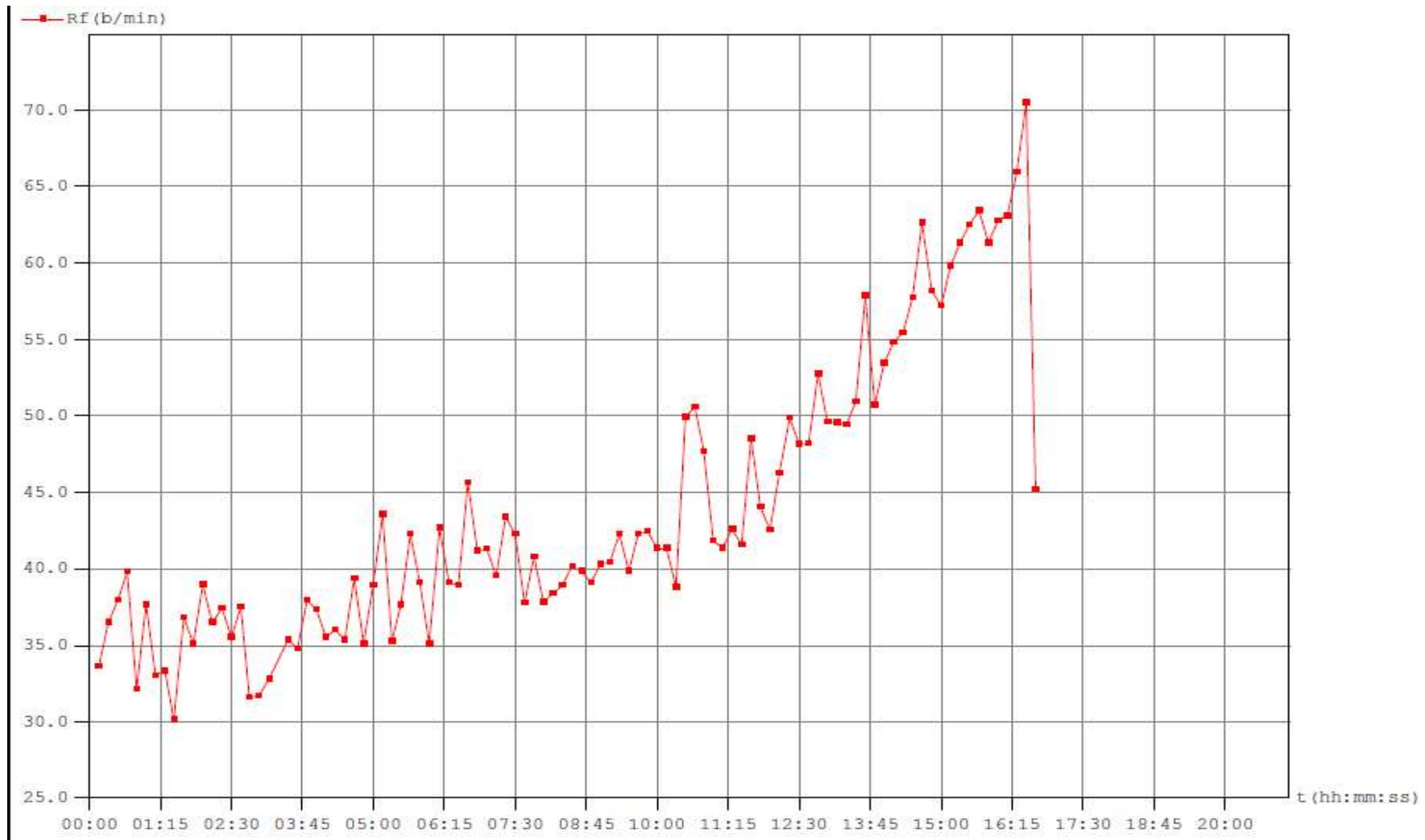


# Αναπνεόμενος Όγκος Αέρα (L/αναπνοή) σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης



Δ.Π.Θ., Σ.Ε.Φ.Α.Α., Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης,  
Κατεύθυνση Κλινικής Εργοφυσιολογίας & Φυσιολογίας της Άσκησης

# Αναπνευστική Συχνότητα (breaths/min) σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης



Δ.Π.Θ., Σ.Ε.Φ.Α.Α., Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής & Άθλησης,  
Κατεύθυνση Κλινικής Εργοφυσιολογίας & Φυσιολογίας της Άσκησης

## **Ενεργειακό κόστος της αναπνοής**

**Οι αναπνευστικοί μύες καταναλώνουν το 2 % της ενέργειας που παράγεται στην ηρεμία, το 15 % κατά την άσκηση και το 10% κατά την αποκατάσταση**

**Η αναπνευστική λειτουργία δεν περιορίζει  
την αερόβια ικανότητα και αντοχή**



# Αναπνευστικό σύστημα

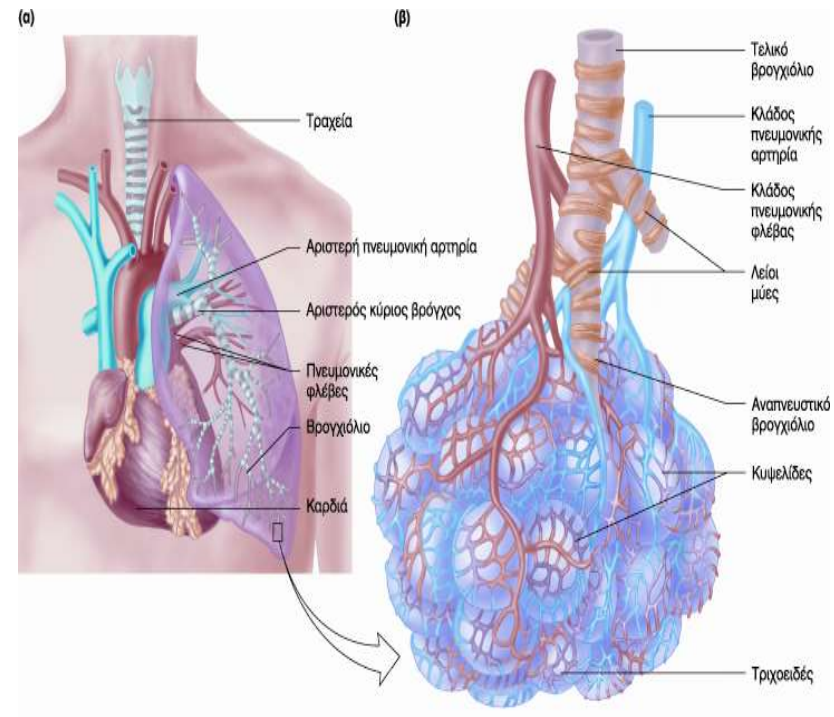
Δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της αερόβιας απόδοσης γιατί συνήθως μπορεί να αυξήσει τη λειτουργία του περισσότερο από το καρδιαγγειακό σύστημα. Ίσως να περιορίζει την απόδοση σε αθλητές πολύ υψηλού επιπέδου.

## Πνευμονικός Αερισμός

Ελαφρά μειωμένος στην ηρεμία και σε άσκηση **υπομέγιστης έντασης**.

Σημαντικά αυξημένος σε άσκηση **μέγιστης έντασης** (180 – 200 L).

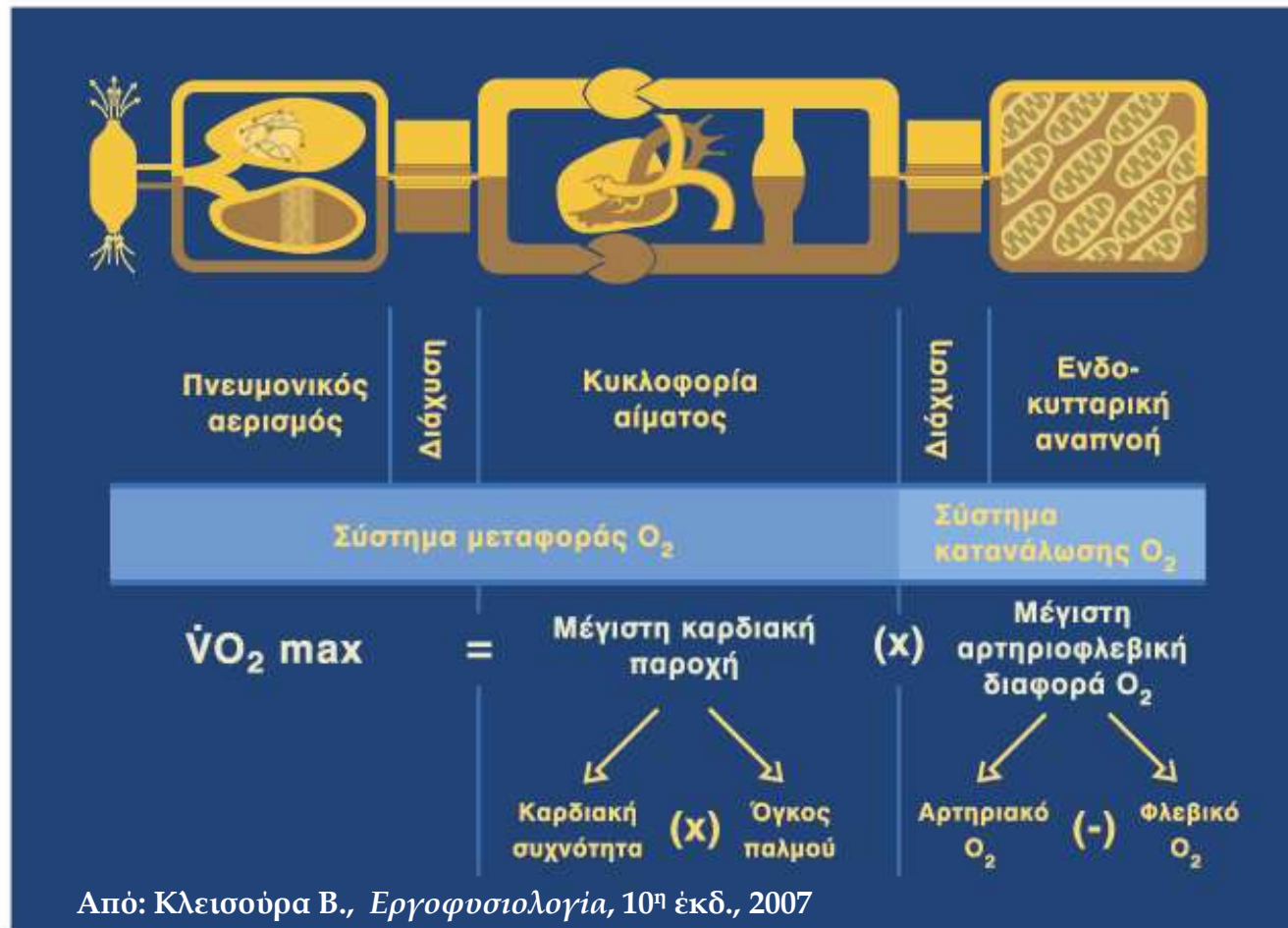
Προπόνηση αναπνευστικών μυών.



# Πρόσληψη O<sub>2</sub> – Αποβολή CO<sub>2</sub>

## Μεταφορά O<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>

### Κατανάλωση O<sub>2</sub> - Παραγωγή CO<sub>2</sub>

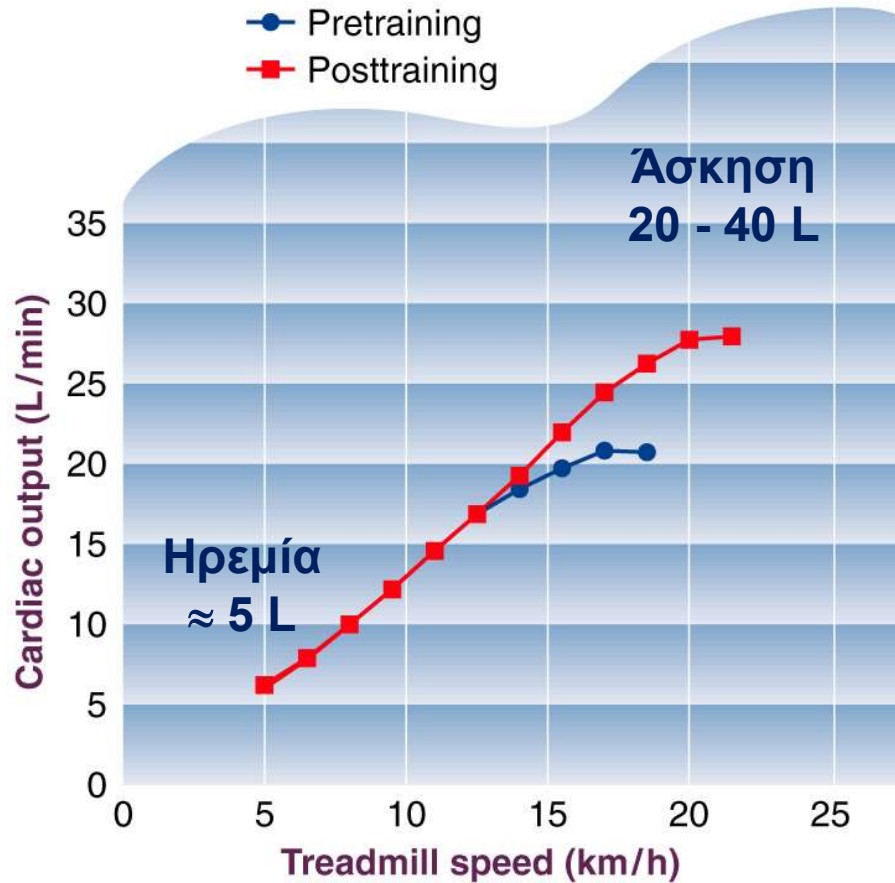


# Καρδιακή Παροχή

Η ποσότητα του αίματος (L) που αποβάλλεται  
από την καρδιά σε ένα λεπτό

**Καρδιακή παροχή** = καρδιακή συχνότητα **x** όγκο παλμού

# Καρδιακή παροχή και ένταση αερόβιας άσκησης



Προσαρμογές με την προπόνηση

Αμετάβλητη σε **υπομέγιστη** ένταση

Σημαντικά αυξημένη σε **μέγιστη** ένταση

# Όγκος Παλμού

Η ποσότητα του αίματος (ml) που αποβάλλεται  
από την καρδιά σε κάθε παλμό

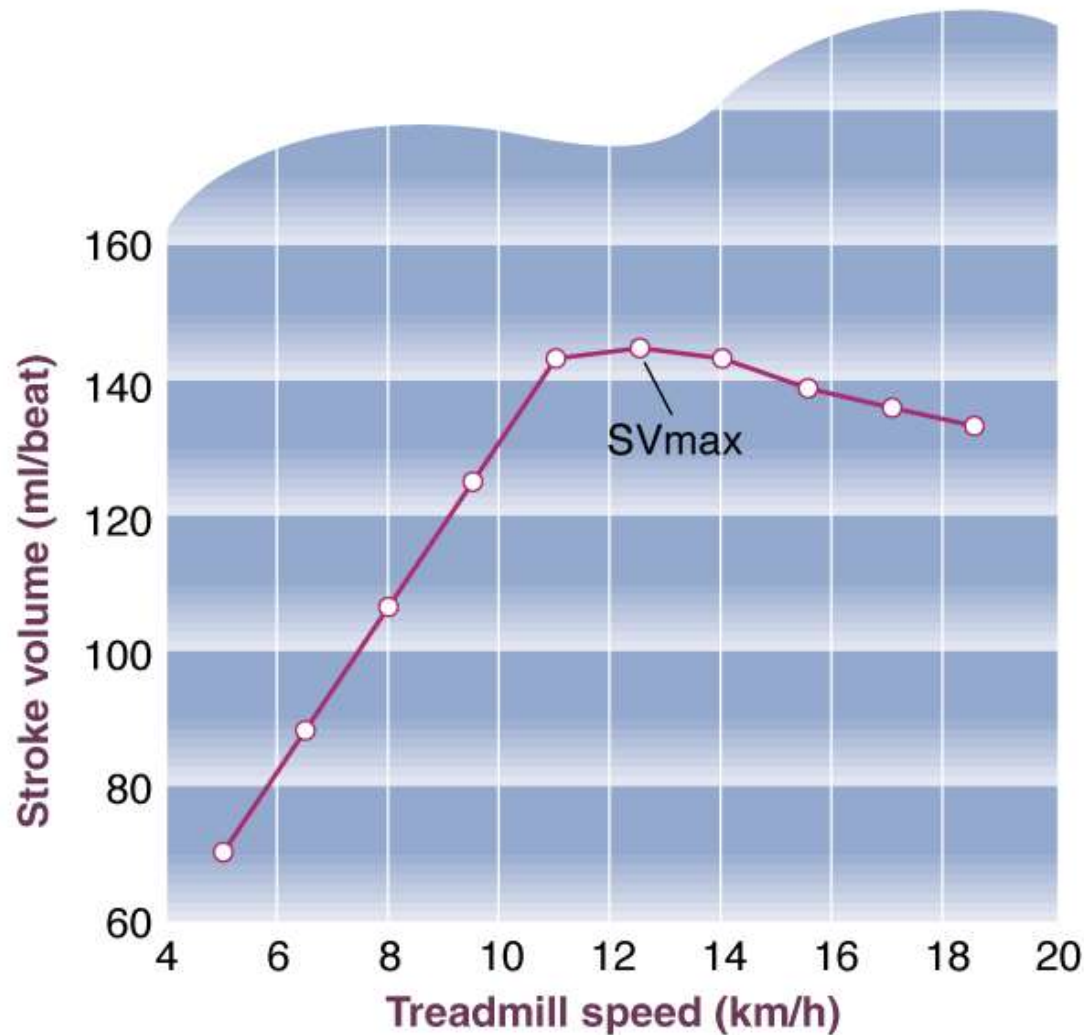
**Τελοδιαστολικός όγκος** = ο όγκος του αίματος στην κοιλία  
στο τέλος της φάσης της διαστολής

**Τελοσυστολικός όγκος** = ο όγκος του αίματος στην κοιλία στο  
τέλος της φάσης της συστολής

**Όγκος Παλμού** = Τελοδιαστολικός όγκος – Τελοσυστολικός όγκος

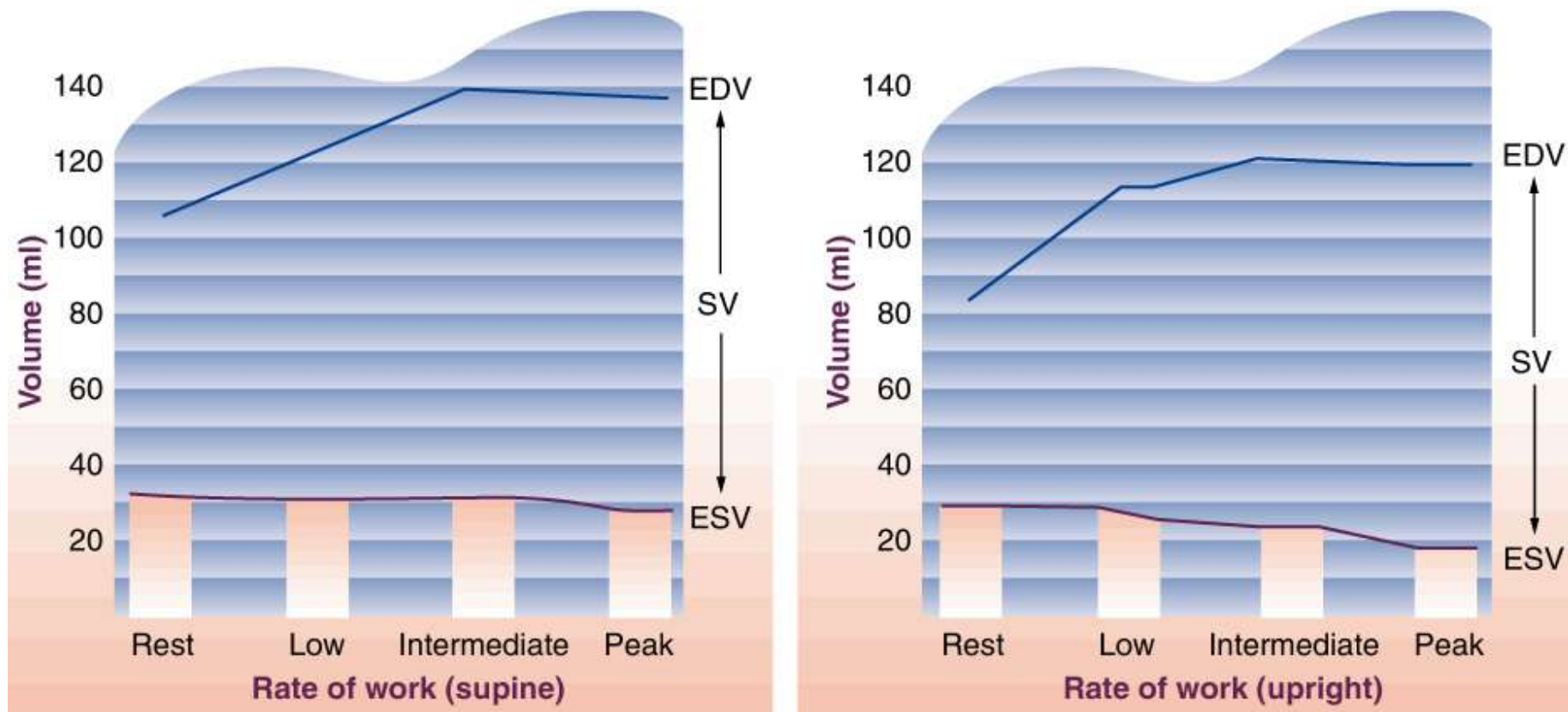
# Μεταβολή του όγκου παλμού σε σχέση με την ένταση της άσκησης

Ηρεμία  
**Μη αθλητές**  
**60 – 70 ml**  
  
**Αθλητές**  
**αντοχής**  
**80 – 110 ml**



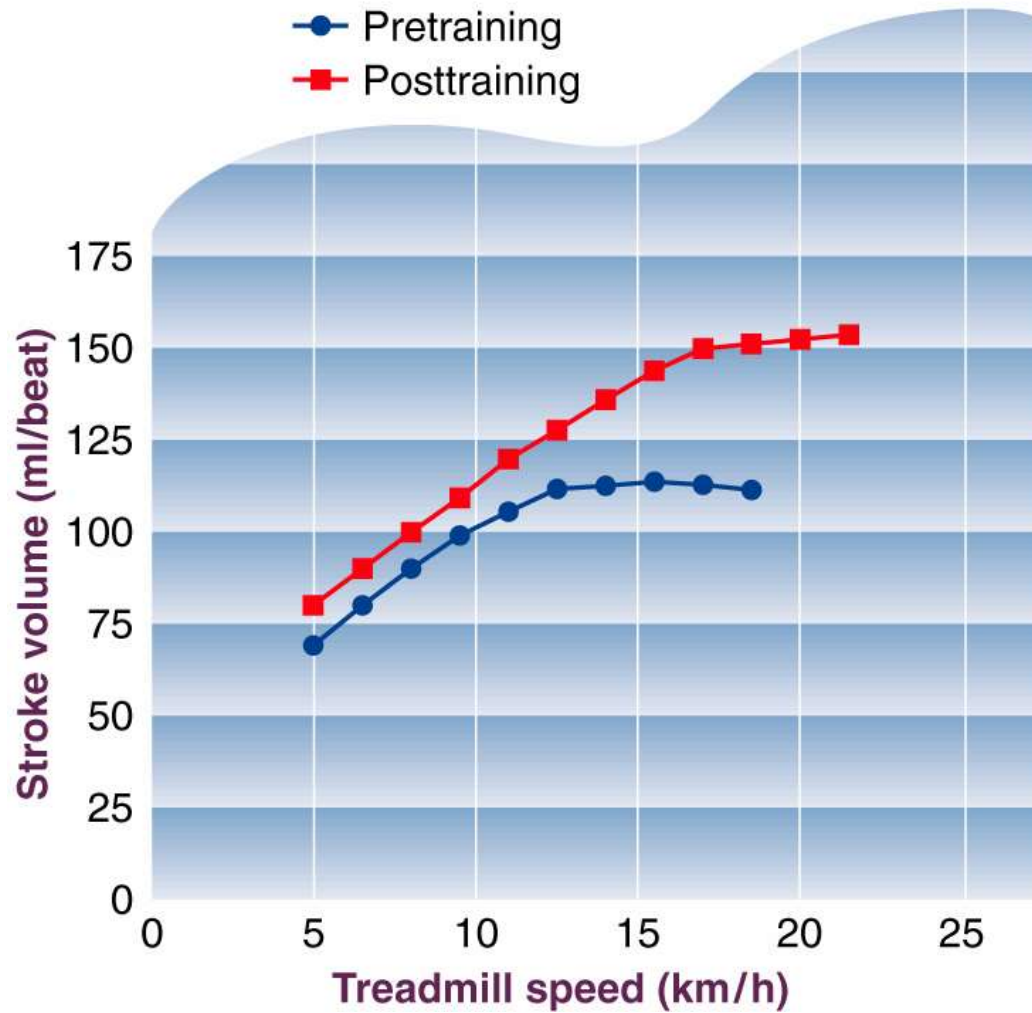
Άσκηση  
**Μη αθλητές**  
**110 – 130 ml**  
  
**Αθλητές**  
**αντοχής**  
**160 – 200 ml**

## Μεταβολή του τελοδιαστολικού όγκου (EDV), του τελοσυστολικού όγκου (ESV) και του όγκου παλμού (SV) σε σχέση με την ένταση αερόβιας άσκησης



Από Wilmore J.H. and D.L. Costill. Physiology of Sport and Exercise, 3rd ed., 2004.

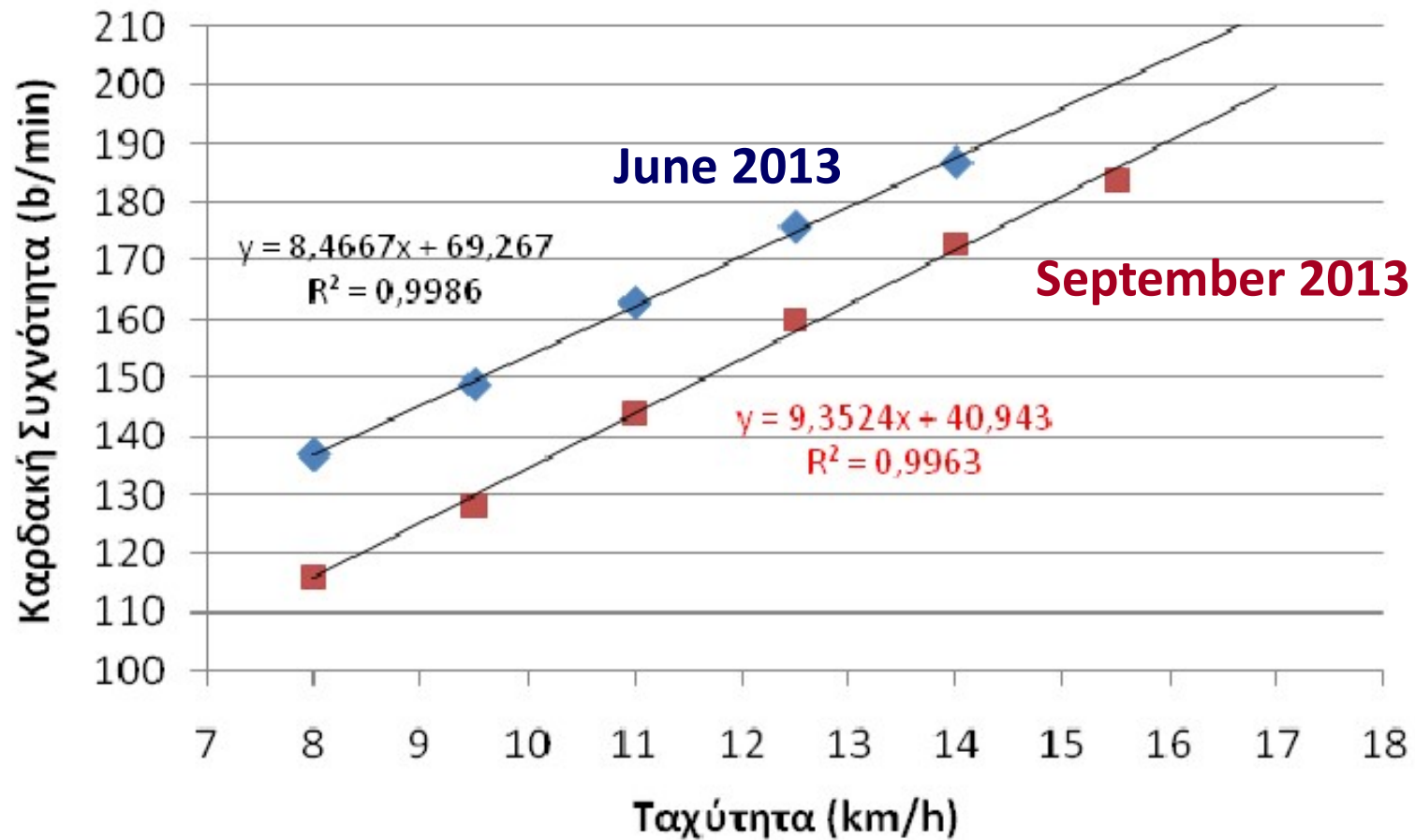
# Όγκος παλμού και προπόνηση



Αυξημένος στην ηρεμία  
και κατά την άσκηση



# Προσαρμογές της καρδιακής συχνότητας σε αερόβια άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης μετά από την περίοδο προετοιμασίας στο άθλημα του ποδοσφαίρου



**Αύξηση της καρδιακής συχνότητας**



**Μεταβολή της διάρκειας της φάσης της  
διαστολής και της συστολής**

---

**Διάρκεια φάσεων του καρδιακού παλμού**

---

	<b>Ηρεμία</b>	<b>Άσκηση</b>
	<b>75 b/min</b>	<b>180 b/min</b>
<b>Συστολή</b>	<b>0,3 sec</b>	<b>0,2 sec</b>
<b>Διαστολή</b>	<b>0,5 sec</b>	<b>0,13 sec</b>

---

# Καρδιακή Συχνότητα

- Δείκτης της έντασης της άσκησης σε αερόβιες δραστηριότητες
- Χρήσιμη για τον σχεδιασμό προπονητικών προγραμμάτων

## Έμμεσος υπολογισμός της μέγιστης καρδιακής συχνότητας

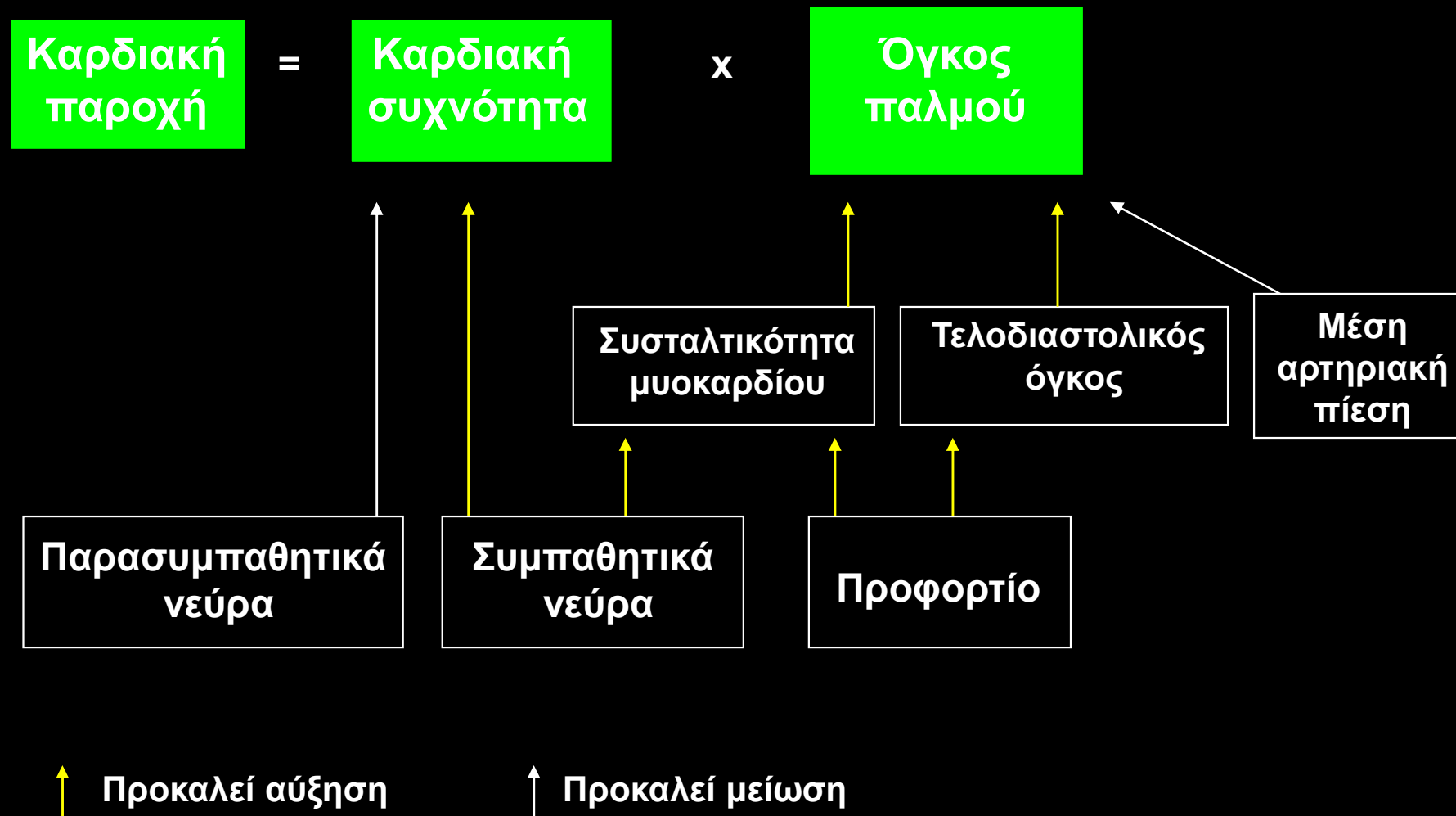
Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα =  $220 - \text{Ηλικία}$

$$220 - 60 = 160 \text{ b/min} \quad / \quad 220 - 30 = 190 \text{ b/min}$$

Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα =  $208 - 0,7 \times \text{Ηλικία}$

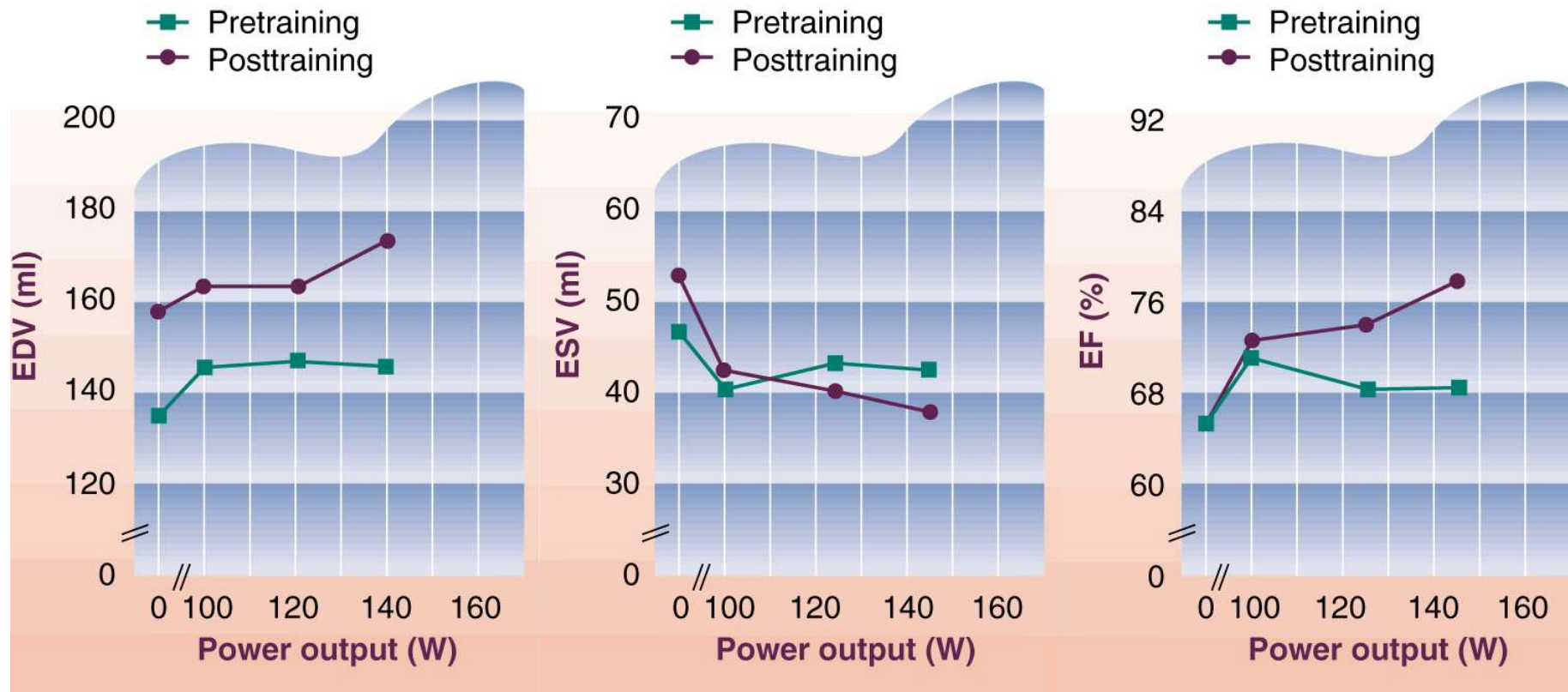
$$208 - 0,7 \times 60 = 208 - 42 = 166 \quad / \quad 208 - 0,7 \times 30 = 208 - 21 = 187$$

# Παράγοντες που ρυθμίζουν την καρδιακή παροχή



Από Powers S.K. and E.T. Howley: *Exercise Physiology: Theory and application to performance*, 4<sup>th</sup> ed. 2001.

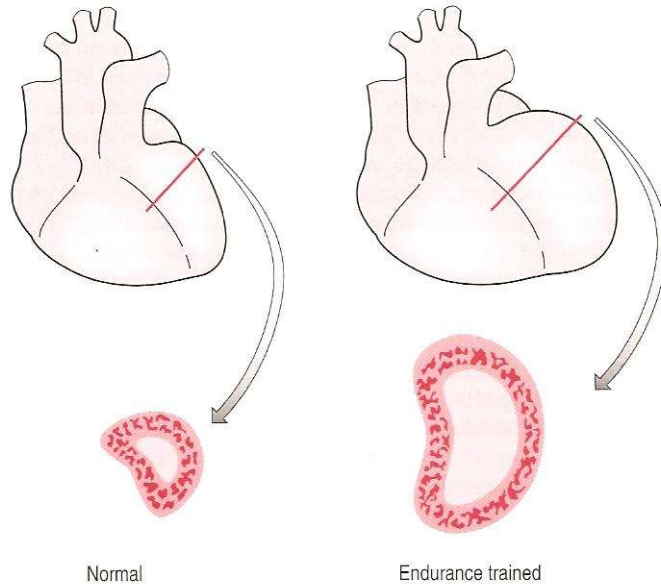
# Αύξηση τελοδιαστολικού όγκου, διατήρηση ή μείωση τελοσυστολικού όγκου, αύξηση κλάσματος εξώθησης



## Δομικές προσαρμογές της καρδιάς

### Αερόβια Προπόνηση

Αύξηση της διαμέτρου της αριστερής κοιλίας και μικρή αύξηση της μάζας του τοιχώματος της αριστερής κοιλίας.

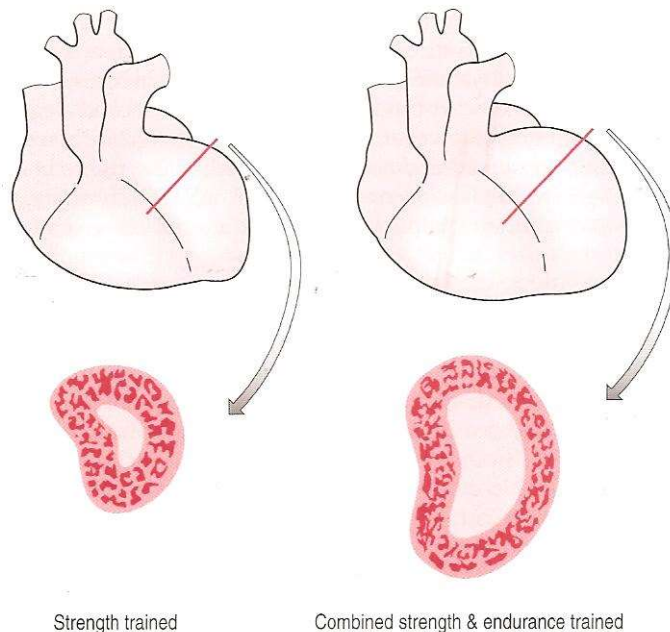


Normal

Endurance trained

### Προπόνηση ενδυνάμωσης

Αύξηση της μάζας του τοιχώματος της αριστερής κοιλίας.



Strength trained

Combined strength & endurance trained

### Συνδυασμός αερόβιας προπόνησης και ενδυνάμωσης

Συνδυασμός των δύο προσαρμογών.

Οι τιμές των αθλητών βρίσκονται συνήθως στα φυσιολογικά όρια (<12 mm πάχος τοιχώματος και <55 mm διάμετρος κοιλίας). Υψηλές παρεκκλίσεις χρειάζονται προσοχή (>14 mm, > 66 mm A, >12 mm, > 60 mm Γ)

# Καρδιο-αναπνευστικές παράμετροι στην ηρεμία και σε μέγιστη αερόβια άσκηση

## Μη αθλητές έναντι Αθλητών

Physiological parameters  
(2 men, age 25, 70 kg)



Non-athletes



Endurance athletes

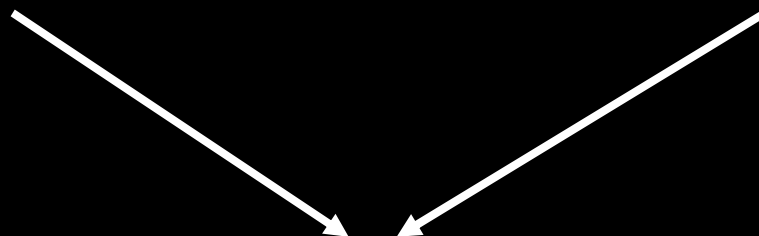


Physiological parameters	Non-athletes		Endurance athletes	
	Resting	Maximum	Resting	Maximum
Heart weight (g)	300		500	
Blood volume (L)	5.6		5.9	
Heart rate ( $\text{min}^{-1}$ )	80	→ → 180	40	→ → 180
Stroke volume (mL)	70	→ → 100	140	→ → 190
Cardiac output (L/min)	5.6	→ → 18	5.6	→ → 35
Total ventilation (L/min)	8.0	→ → 100	8.0	→ → 200
O <sub>2</sub> uptake (L/min)	0.3	→ → 2.8	0.3	→ → 5.2

(Data partly from H.-J. Ulmer)

# Αρτηριακή πίεση

Συστολική πίεση (ΣΠ) – Διαστολική πίεση (ΔΠ)



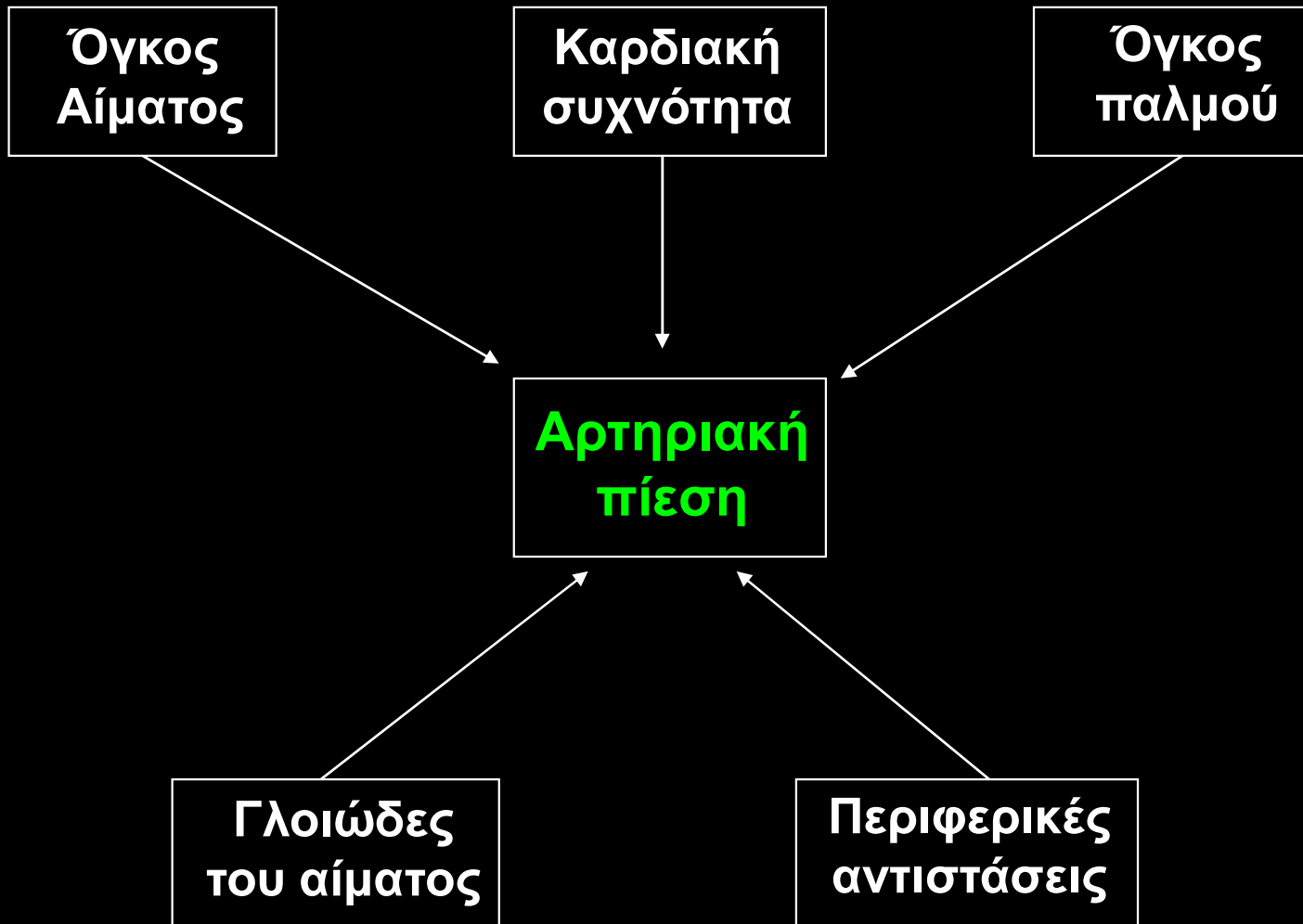
**Μέση Αρτηριακή πίεση (ΜΑΠ)**

$$\text{ΜΑΠ} = \Delta\Pi + 0,33 \times (\Sigma\Pi - \Delta\Pi)$$

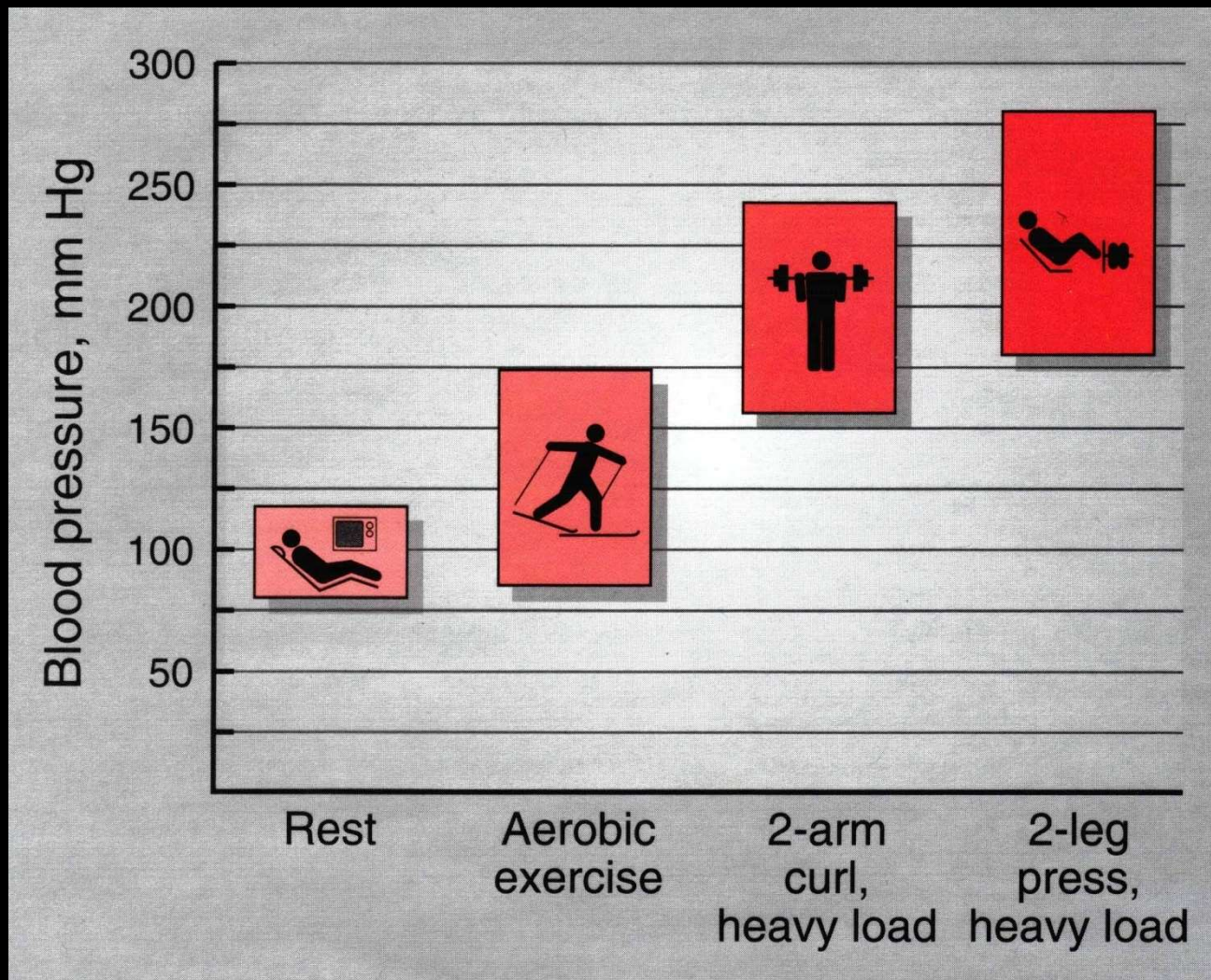
Η μέση πίεση που ασκείται στα αγγεία κατά τη ροή του αίματος

Καθορίζει το ρυθμό της αιματικής ροής στα αγγεία



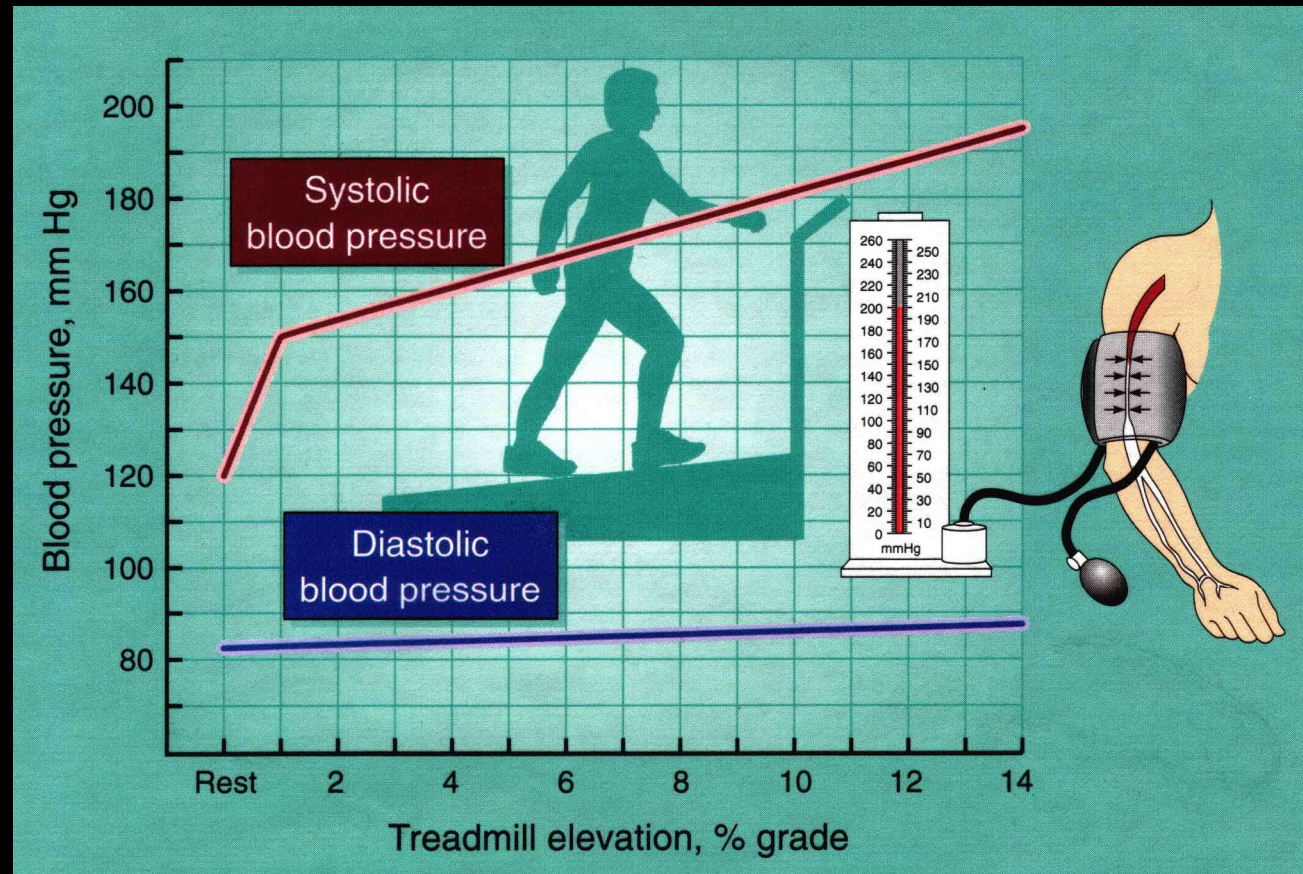


## Αρτηριακή πίεση σε διάφορες αθλητικές δραστηριότητες



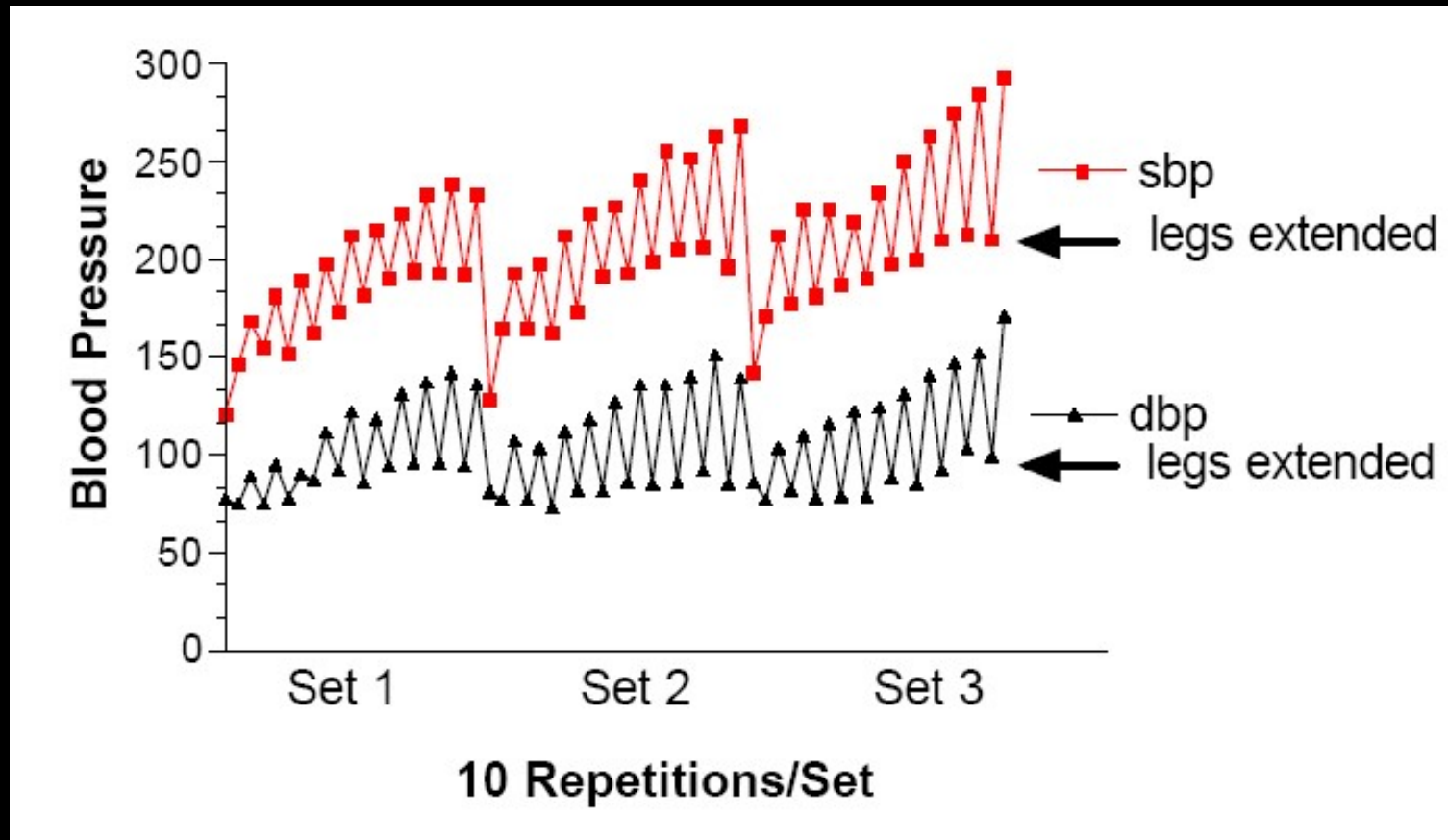
Από McArdle W.D, F.I. Katch and V.I. Katch. *Exercise Physiology*, 4<sup>th</sup> ed, 1996.

## Μεταβολή της αρτηριακής πίεσης σε σχέση με την επιβάρυνση αερόβιας άσκησης



Από McArdle W.D, F.I. Katch and V.I. Katch. *Exercise Physiology*, 4<sup>th</sup> ed, 1996.

## Αρτηριακή πίεση στο leg press κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 RM με 3 min διάλειμμα



# Αρτηριακή πίεση και προπόνηση

Μέτρηση	Ηρεμία			Υπομέγιστη άσκηση		
	Πριν	Μετά	Διαφορά (%)	Πριν	Μετά	Διαφορά (%)
Συστολική (mmHg)	139	133	-4.3	173	155	-10.4
Διαστολική (mmHg)	78	73	-6.4	92	79	-14.1
Μέση αρτ. Πίεση (mmHg)	97	92	-5.2	127	109	-14.3

**Σε υπομέγιστη άσκηση η αρτηριακή πίεση μειώνεται και σε μέγιστης έντασης άσκηση η συστολική πίεση αυξάνεται και η διαστολική μειώνεται**

## Διπλό γινόμενο

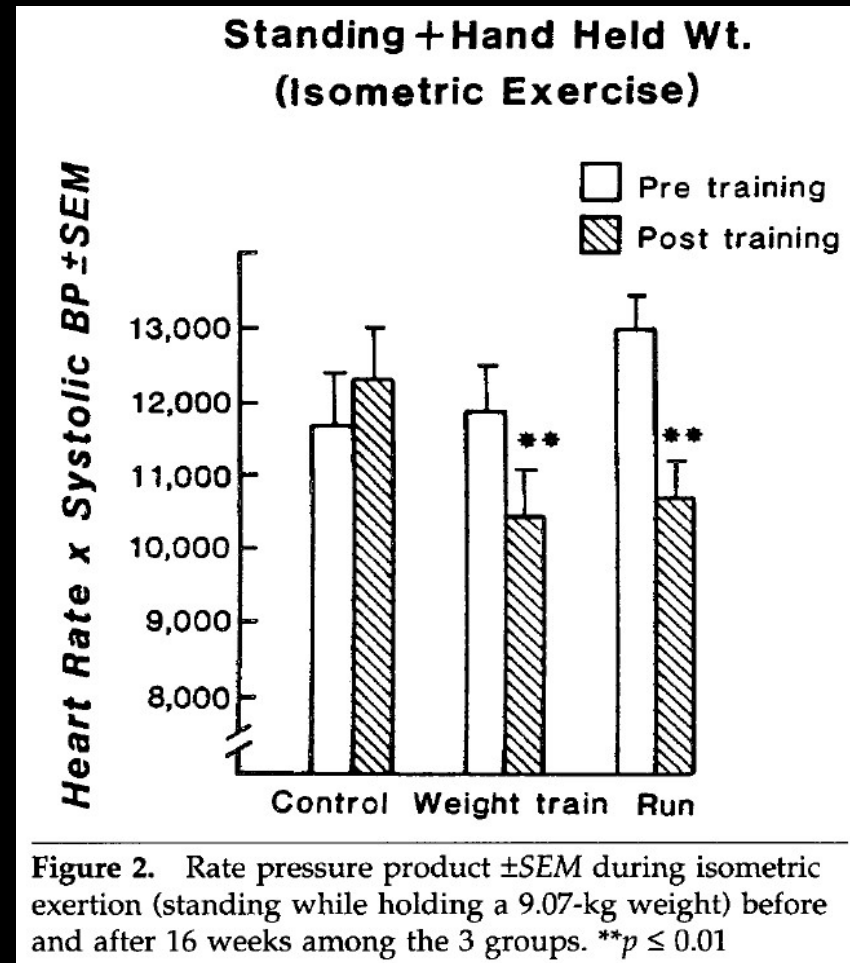
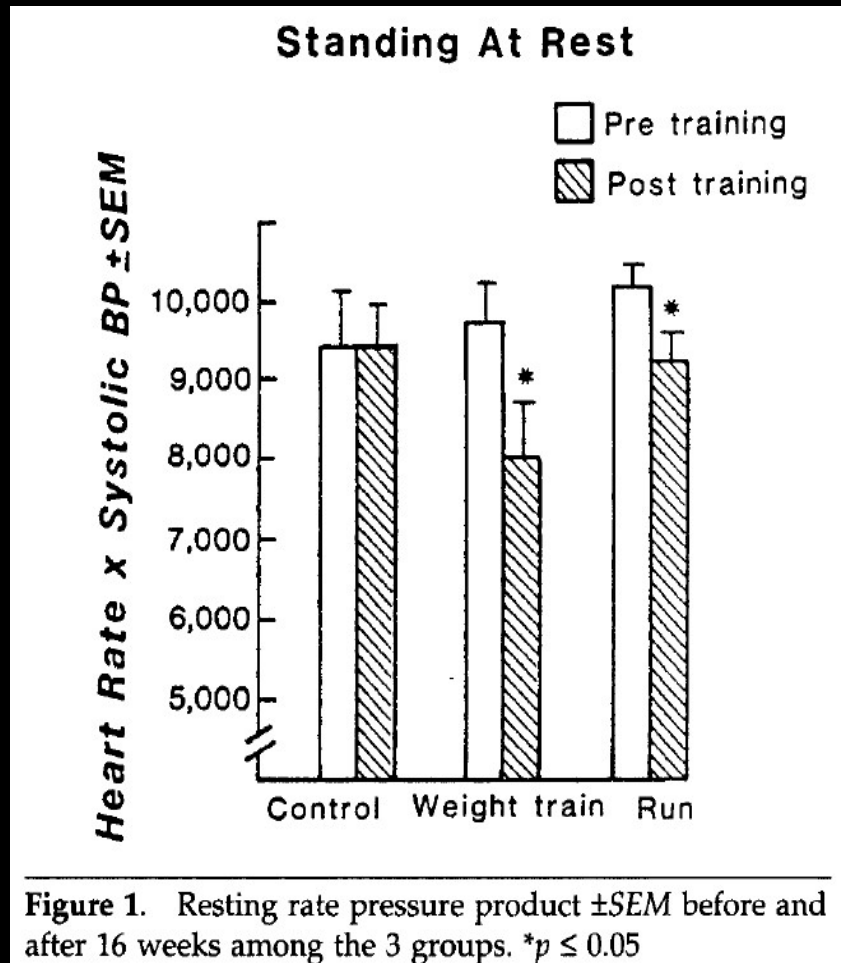
Διπλό γινόμενο = καρδιακή συχνότητα x συστολική πίεση

24.000 ή  $24 \times 10^3 = 150 \text{ b/min} \times 160 \text{ mmHg}$

Δείκτης της επιβάρυνσης και των ενεργειακών  
απαιτήσεων του μυοκαρδίου

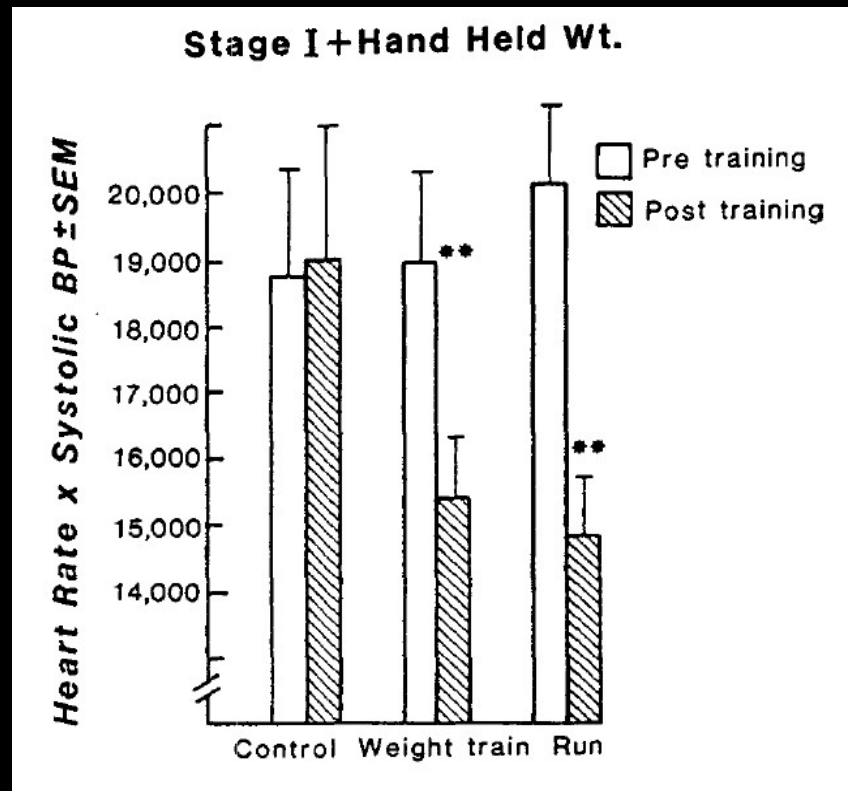
Αυξάνεται με την επιβάρυνση της άσκησης

## Μεταβολή του διπλού γινόμενου με την προπόνηση

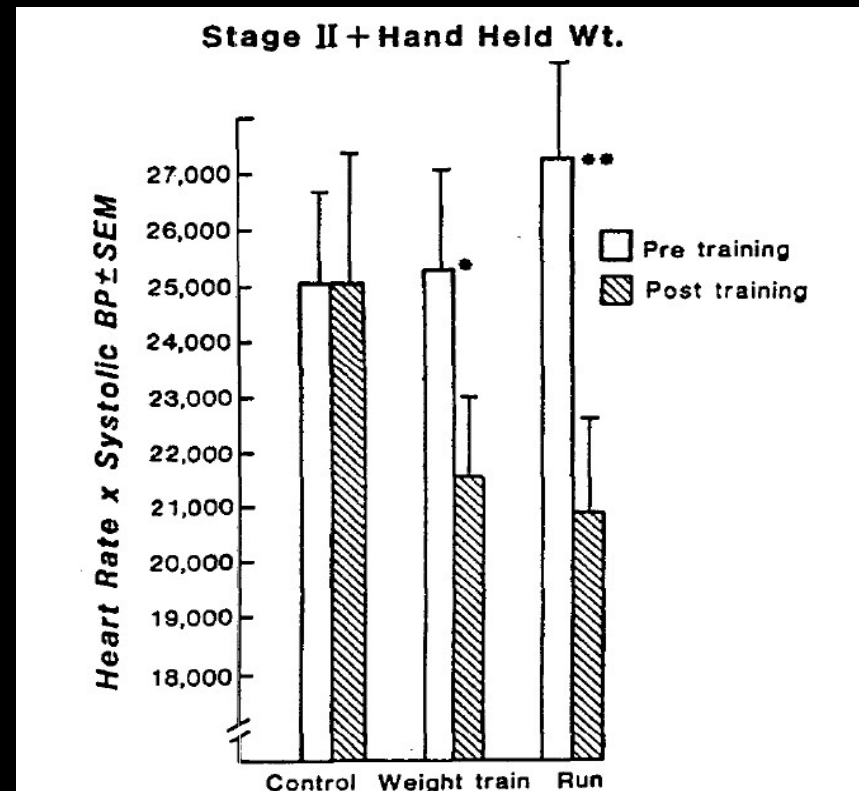


Τρέξιμο: 20 – 45 min στο 85% HRmax, 3 φορές την εβδομάδα, 16 εβδομάδες  
Βάρη: 8 ασκήσεις, 3 x 3RM-8RM επαναλήψεις, 2 min διάλειμμα, 3 φορές την εβδομάδα, 16 εβδομάδες

## Μεταβολή του διπλού γινόμενου με την προπόνηση



**Figure 3.** Rate pressure product  $\pm$ SEM during mixed exercise (treadmill walking at 1.7 mph at 10% grade) while carrying a 9.07-kg weight before and after 16 weeks among the 3 groups. \*\* $p < 0.01$



**Figure 4.** Rate pressure product  $\pm$ SEM during mixed exercise (treadmill walking at 2.5 mph at 12% grade) while carrying a 9.07-kg weight before and after 16 weeks among the 3 groups. \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$

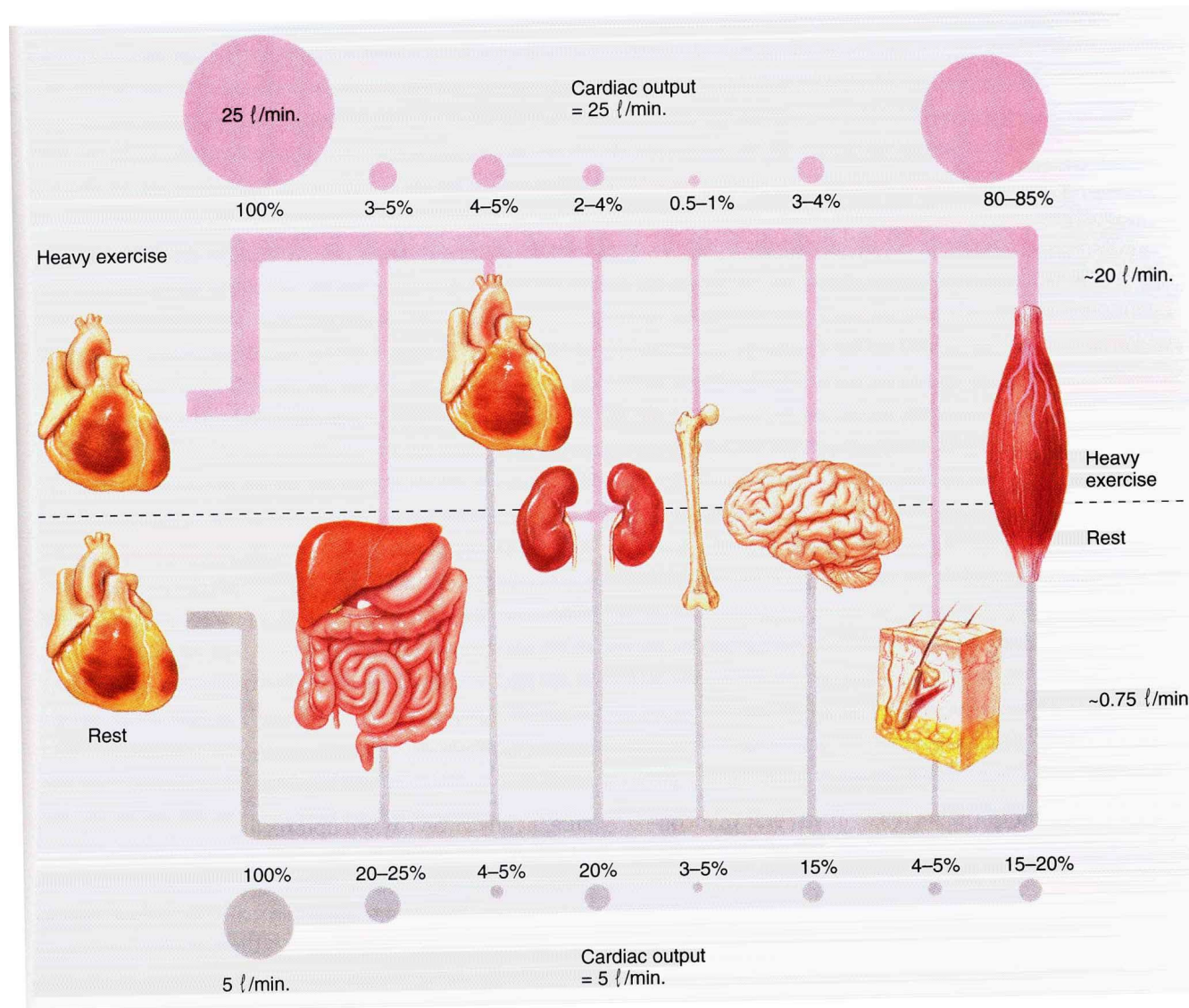
**Τρέξιμο:** 20 – 45 min στο 85% HRmax, 3 φορές την εβδομάδα, 16 εβδομάδες  
**Βάρη:** 8 ασκήσεις, 3 x 3RM-8RM επαναλήψεις, 2 min διάλειμμα, 3 φορές την εβδομάδα, 16 εβδομάδες



## Οι λειτουργίες του κυκλοφορικού συστήματος κατά την άσκηση επιτυγχάνονται με:

- αύξηση της καρδιακής παροχής (Q)
- αύξηση της αιματικής ροής προς τους μύες που ασκούνται

# Κατανομή του αίματος στην ηρεμία και σε μέγιστη άσκηση

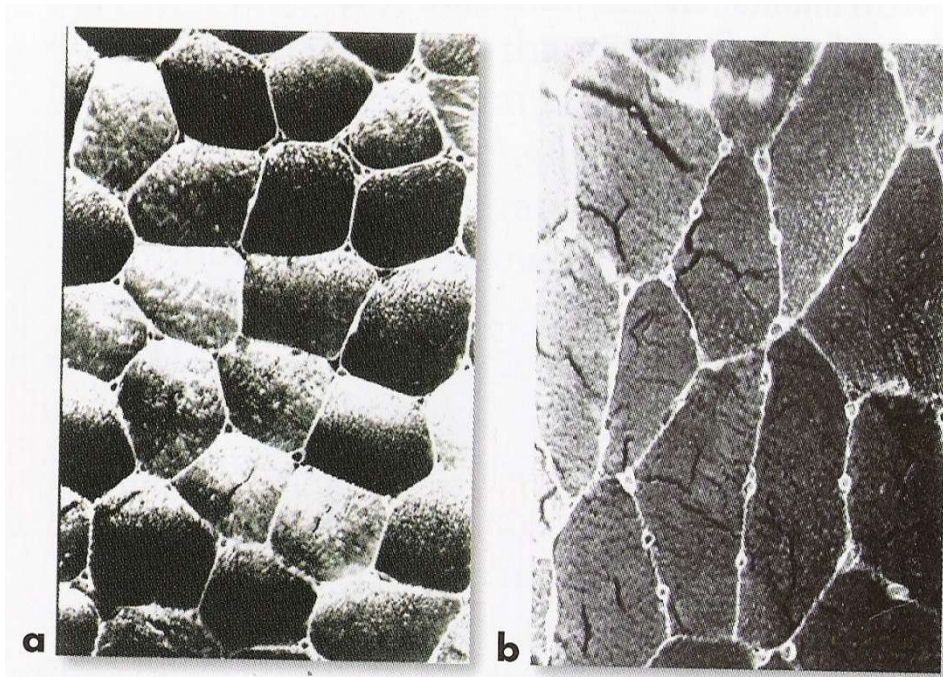


Από Powers S.K. and E.T. Howley: *Exercise Physiology: Theory and application to performance*, 4<sup>th</sup> ed. 2001.

# Ροή αίματος

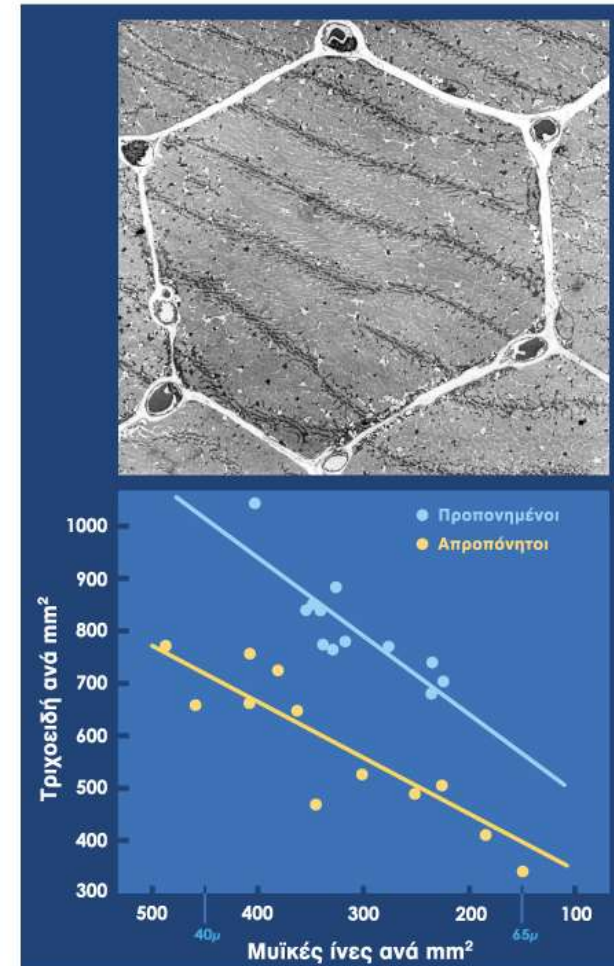
## Αυξημένη αιματική ροή

- Αυξημένο τριχοειδικό δίκτυο (σχέση τριχοειδών / μυϊκή ίνα)
- Μεγαλύτερο άνοιγμα τριχοειδών
- Αποτελεσματικότερη κατανομή αίματος στους ασκούμενους μύες
- Αυξημένος όγκος αίματος

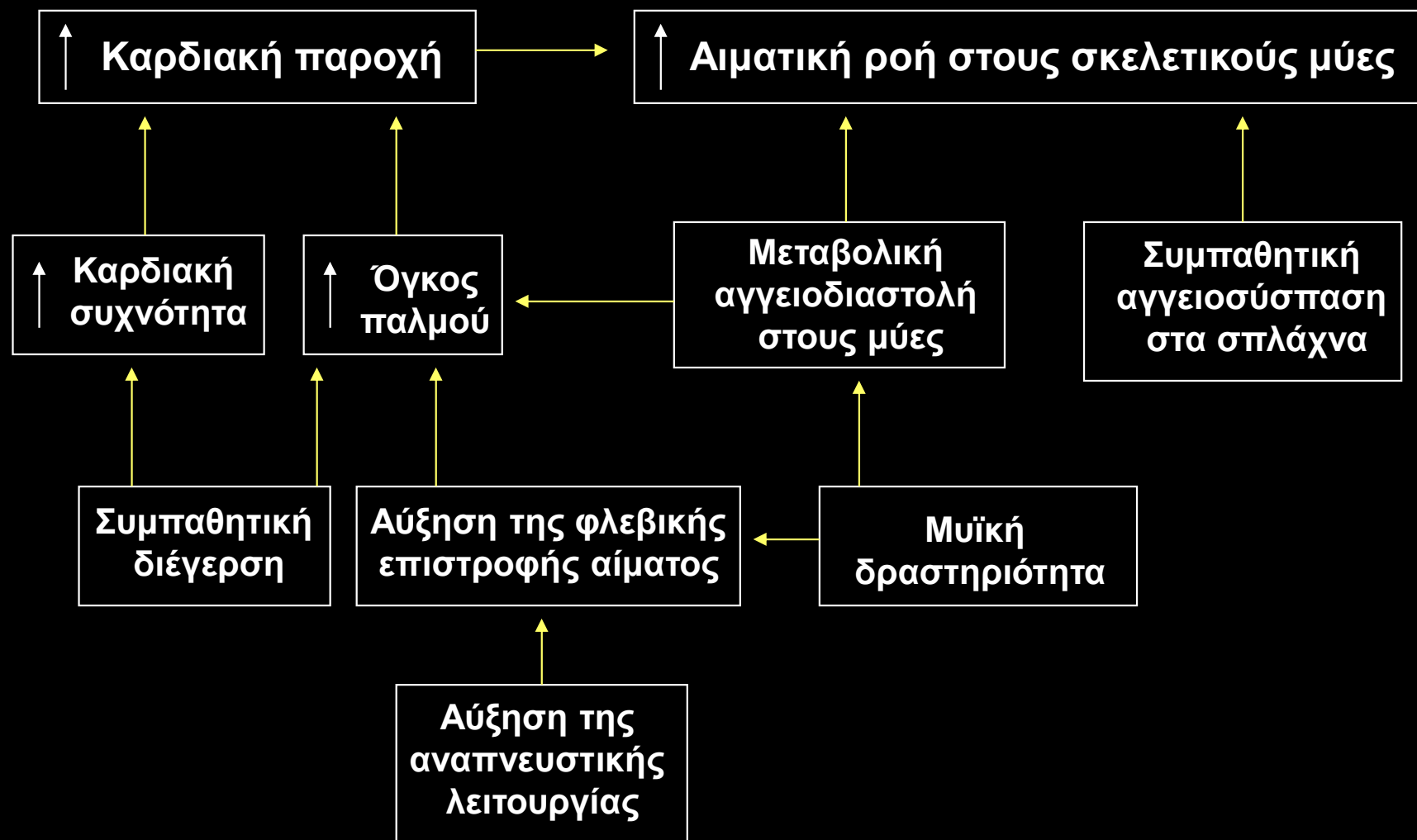


α απροπόνητος

β προπονημένος



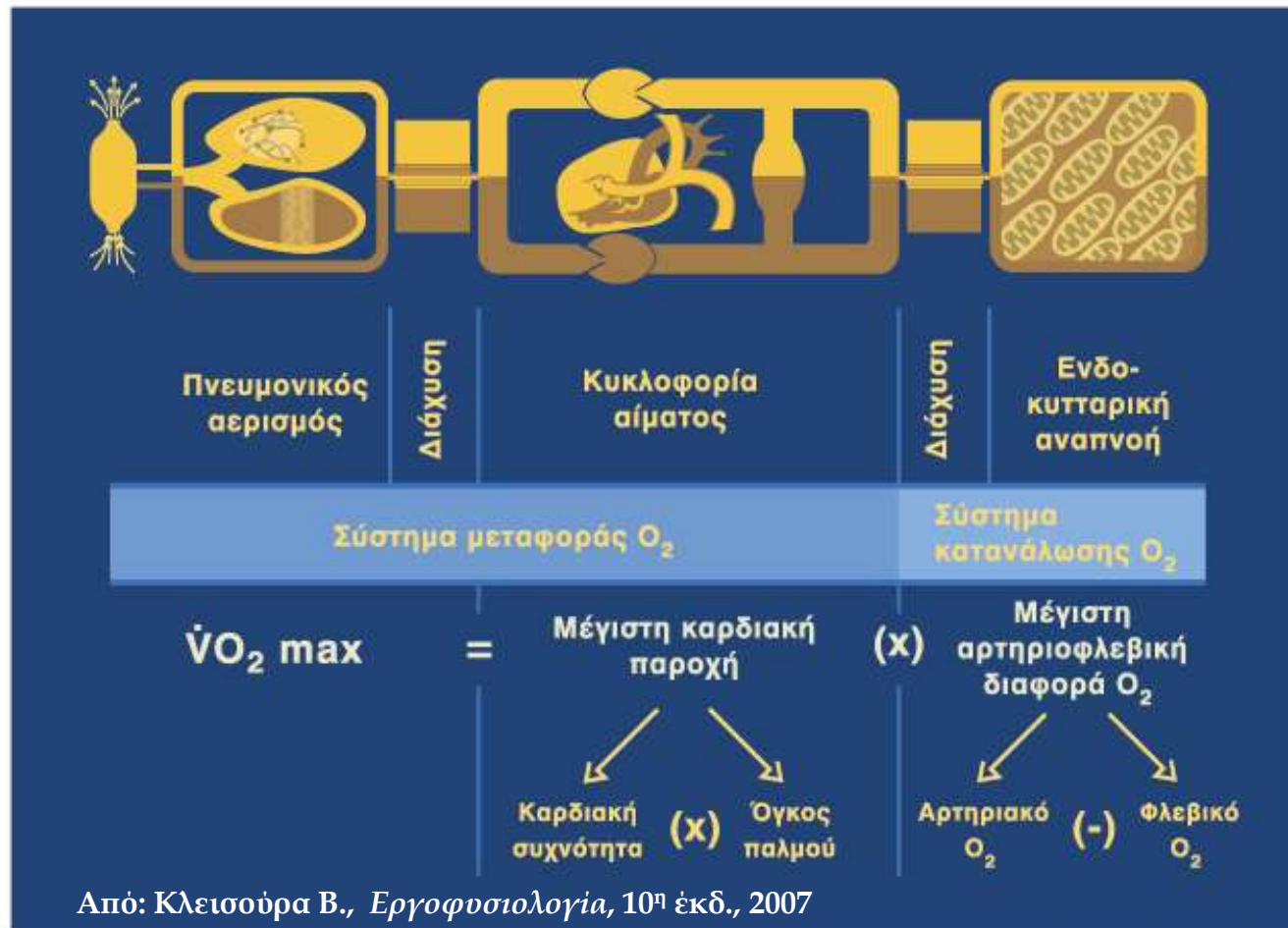
## Καρδιοαγγειακή ανταπόκριση στην άσκηση



# Πρόσληψη O<sub>2</sub> – Αποβολή CO<sub>2</sub>

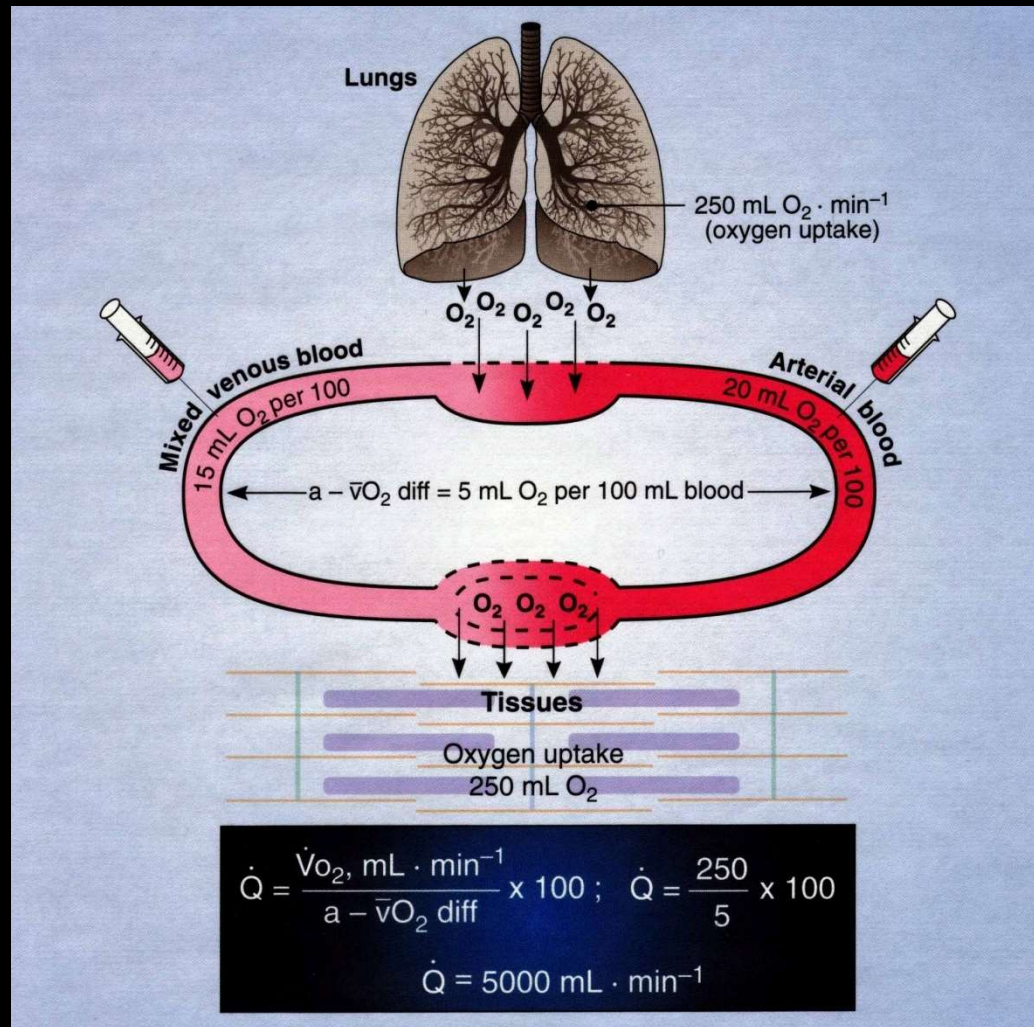
## Μεταφορά O<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>

### Κατανάλωση O<sub>2</sub> - Παραγωγή CO<sub>2</sub>



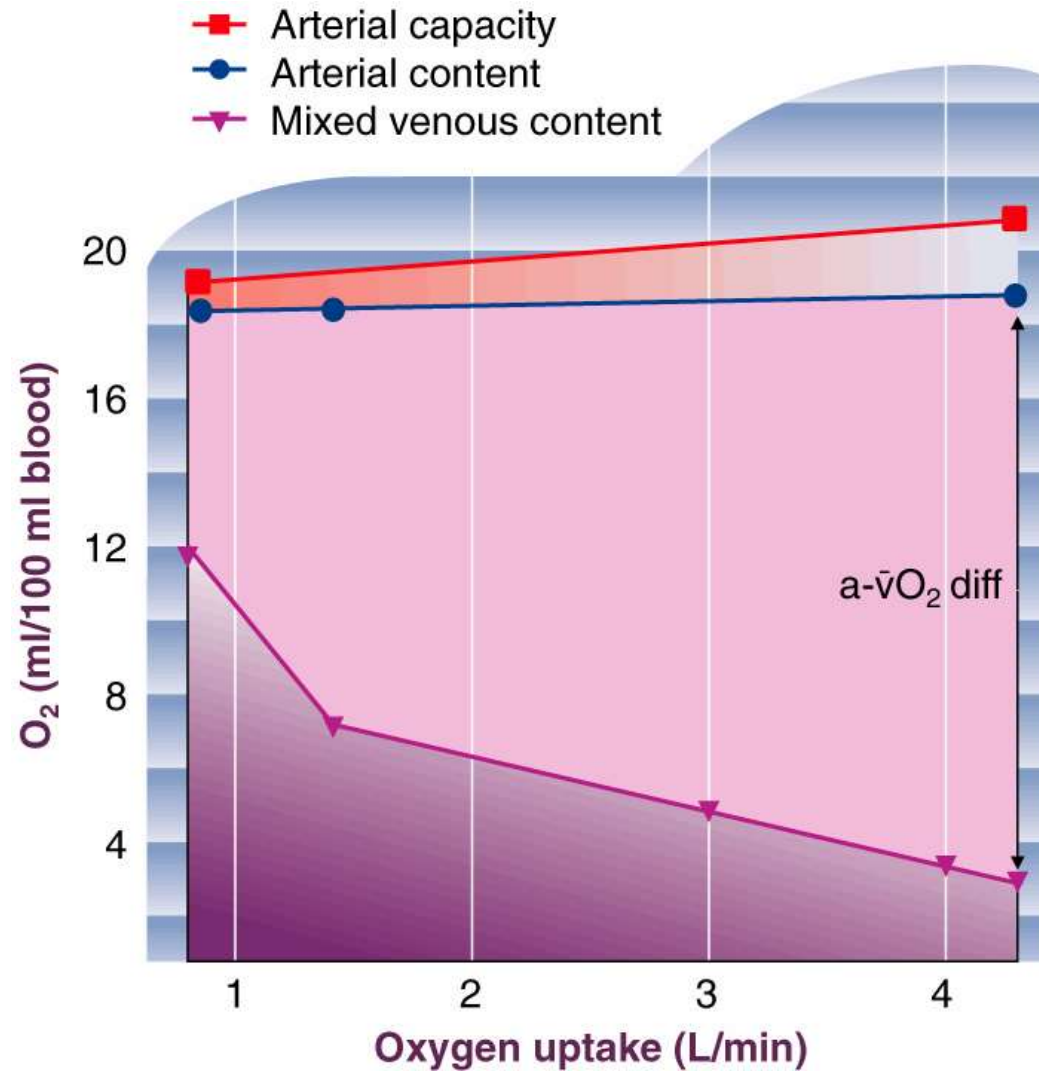
# Αρτηριοφλεβική Διαφορά Οξυγόνου

a-v  $O_2$  diff



Από McArdle W.D, F.I. Katch and V.I. Katch. *Exercise Physiology*, 4<sup>th</sup> ed, 1996.

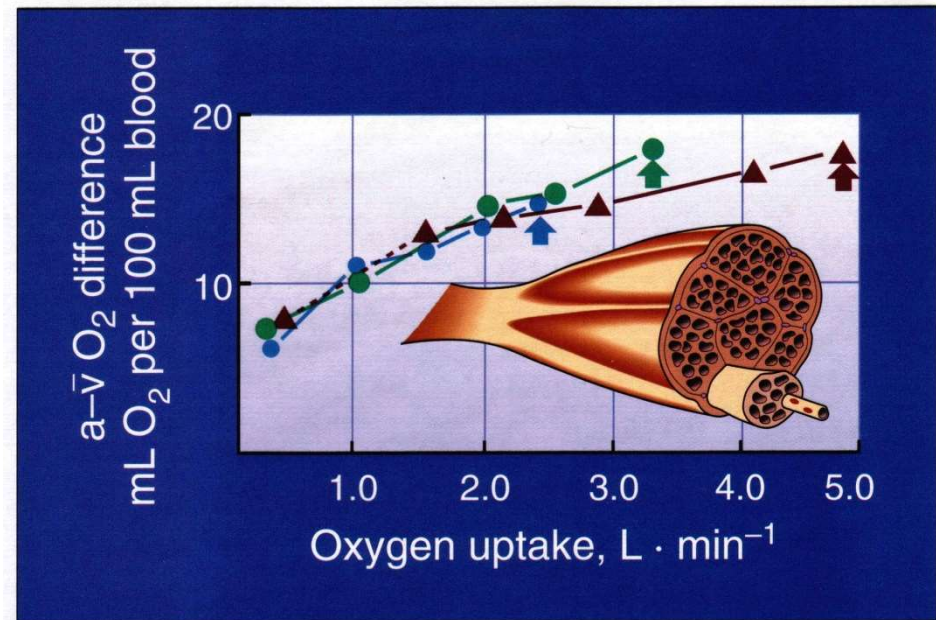
# Μεταβολή της $a-v O_2$ diff σε σχέση με την ένταση της άσκησης



Από Wilmore J.H. and D.L. Costill. Physiology of Sport and Exercise, 3rd ed., 2004.

## Αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου (ανταλλαγή αερίων στους ιστούς)

- Αμετάβλητη σε άσκηση **υπομέγιστης έντασης**
- Αυξημένη σε άσκηση **μέγιστης έντασης**
  - Καλύτερη απορρόφηση οξυγόνου στους προπονημένους ιστούς
  - Καλύτερη κατανομή αίματος στους ενεργούς ιστούς (μύες)



The a-v O<sub>2</sub> difference in relation to oxygen uptake during upright exercise in endurance athletes (▲) and sedentary college students before (●) and after (●) 55 days of aerobic training (▲ = maximal values). (From Saltin, B.: Physiological effects of physical conditioning. *Med. Sci. Sports*, 1:50, 1969.)



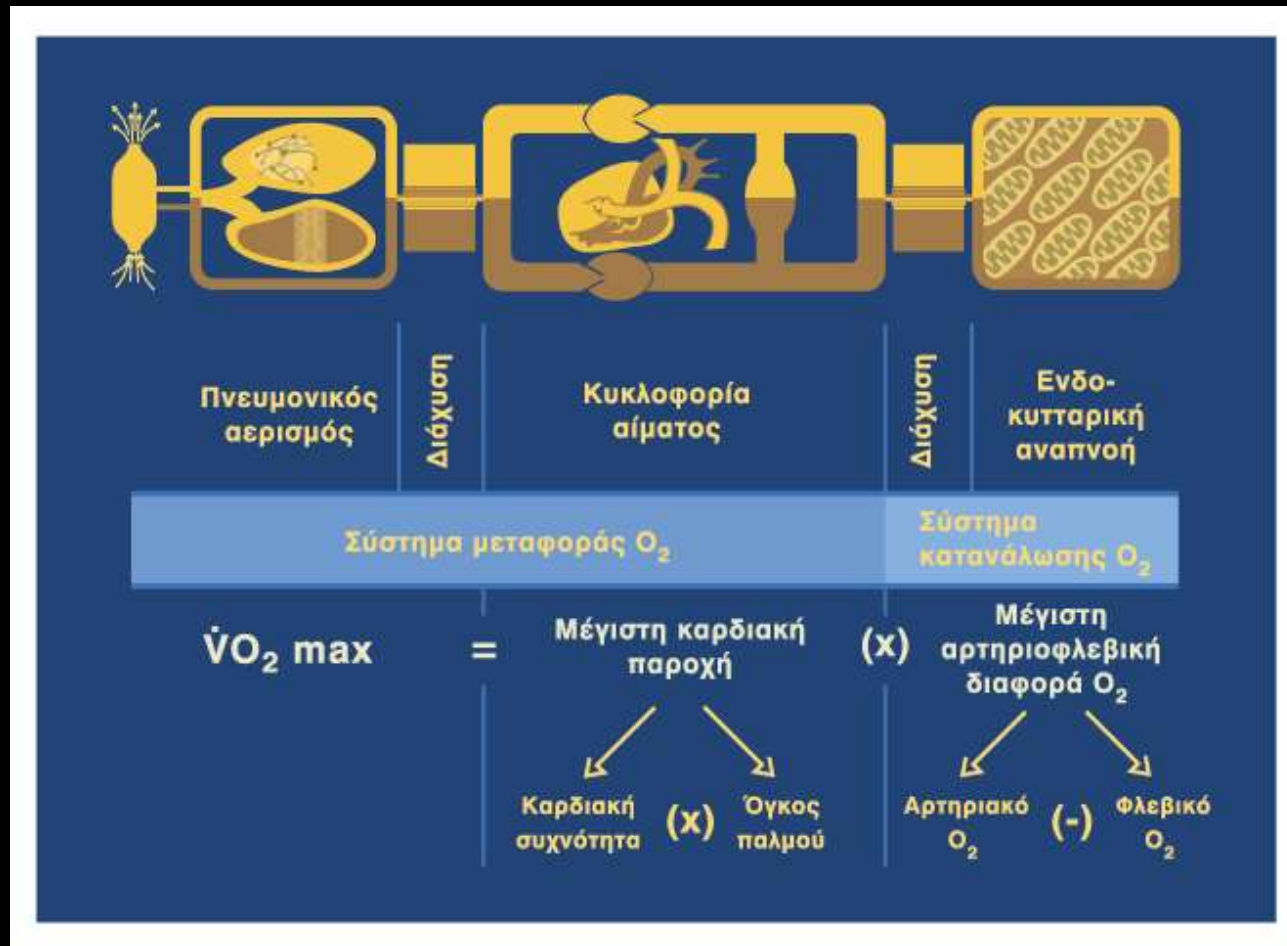
## Πρόσληψη Οξυγόνου

$$VO_2 = Q \times a-v O_2 \text{ diff}$$

$$VO_2 = SV \times HR \times a-v O_2 \text{ diff}$$

Πρόσληψη οξυγόνου = καρδιακή παροχή x αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου

# VO<sub>2</sub>max



## Βιολογική αξία της VO<sub>2</sub>max

Η επίτευξη υψηλής VO<sub>2</sub>max απαιτεί την καλή λειτουργία του αναπνευστικού, του καρδιαγγειακού και του μυϊκού συστήματος