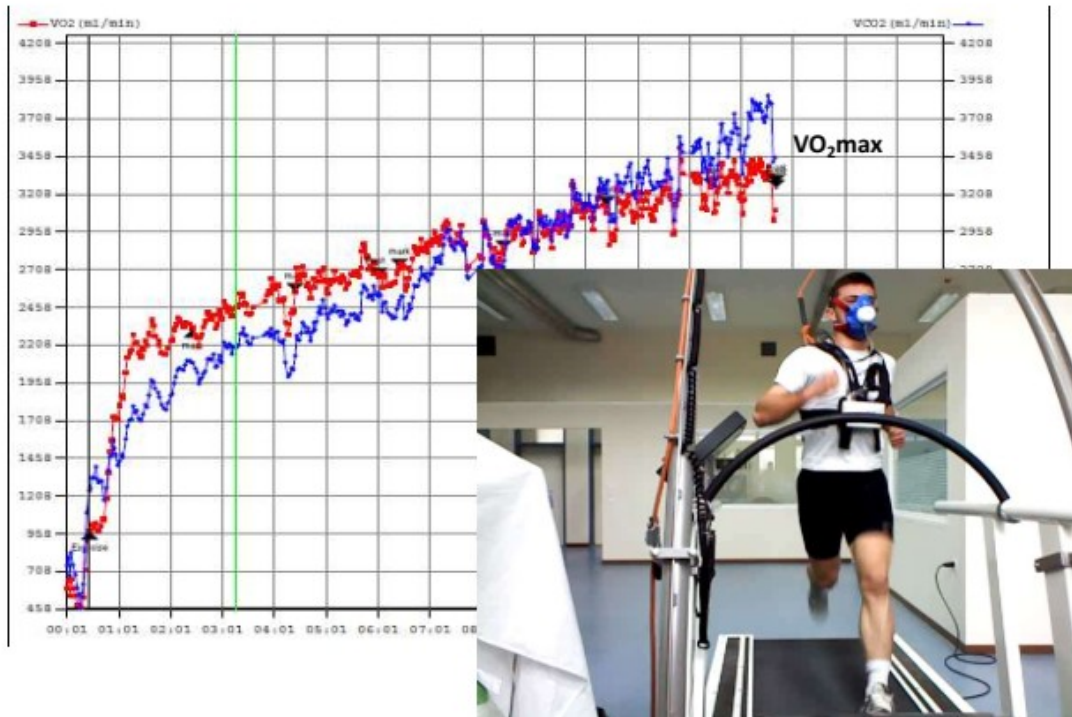


VO₂ και VCO₂

σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης



Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO₂max)

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

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

- VO_{2max} -

Άντρας ηλικίας 24 χρόνων με σωματική μάζα 74 kg έχει

$$VO_{2max} = 4,6 \text{ L/min (απόλυτες τιμές)}$$

ή

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

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

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

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

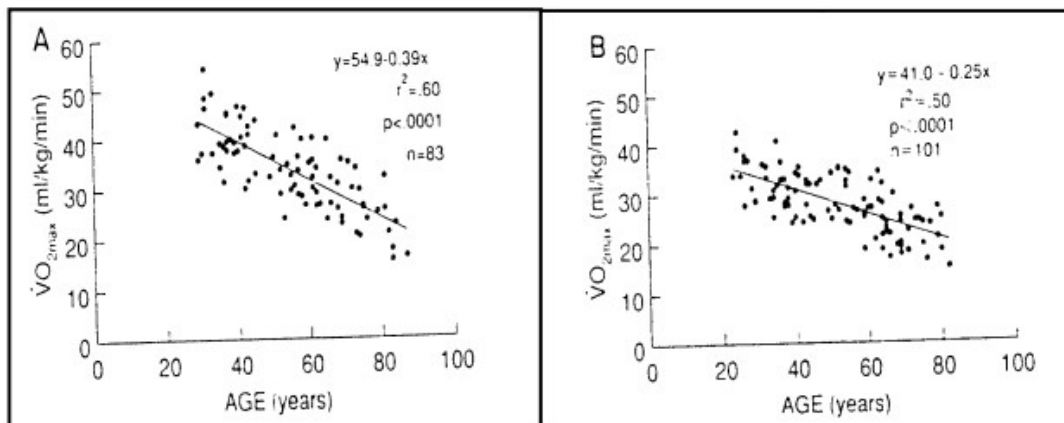
Table 13-5. Percentile Values for Maximal Aerobic Power

Percentile	VO _{2max} (mL kg ⁻¹ min ⁻¹) by Age Range (Years)				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60+
Men					
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
Women					
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	34.0	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.

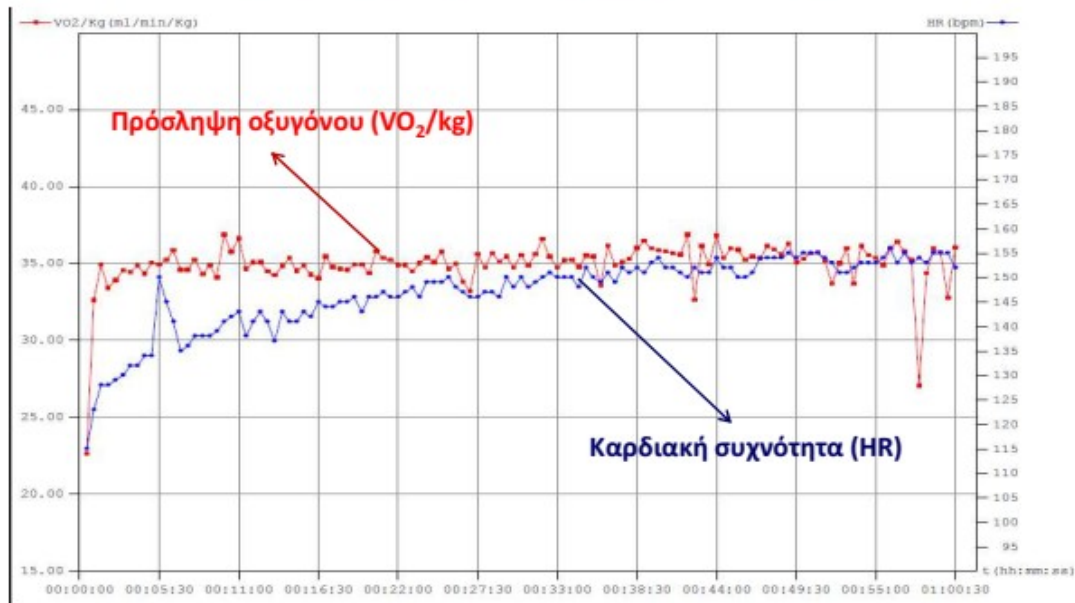
Νόρμες Μέγιστης Πρόσληψης Οξυγόνου

Μεταβολή της VO_{2max} με την ηλικία



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

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

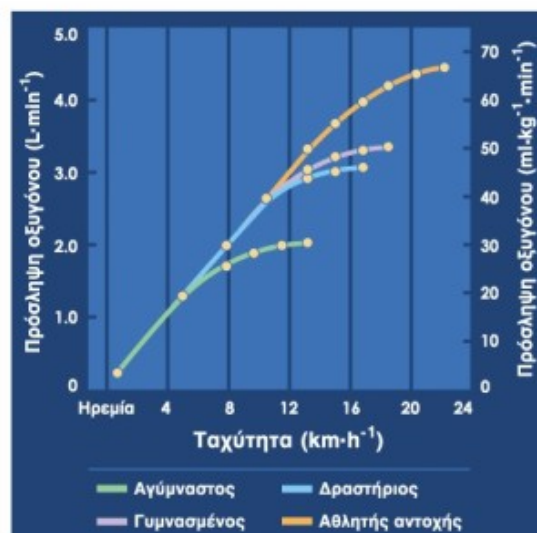


Προπτυχιακό πρόγραμμα σποδών Τ.Ε.Φ.Α.Α., Δ.Π.Θ.: Σάββας Τοκμακίδης, Καθηγητής - Ηλίας Σμήλιος, Επικουρος Καθηγητής

Βιολογικές προσαρμογές με την αερόβια προπόνηση

Αύξηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου - VO_{2max}

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



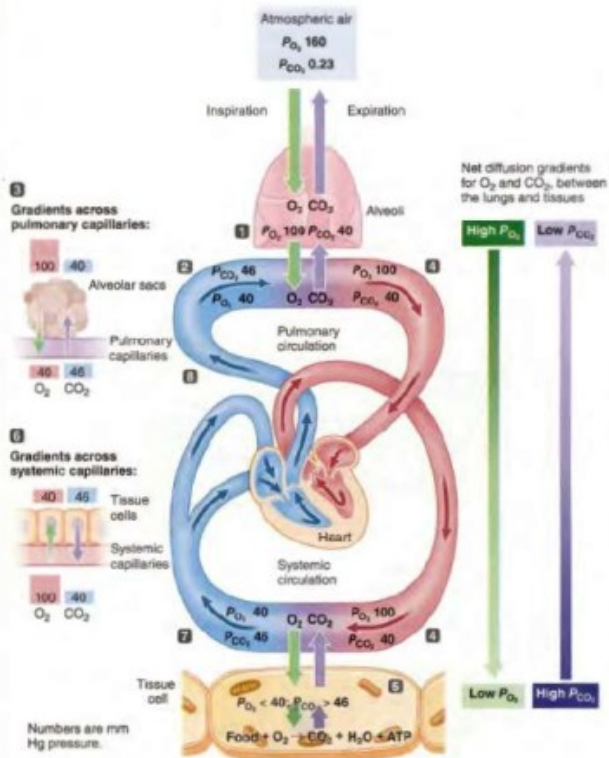


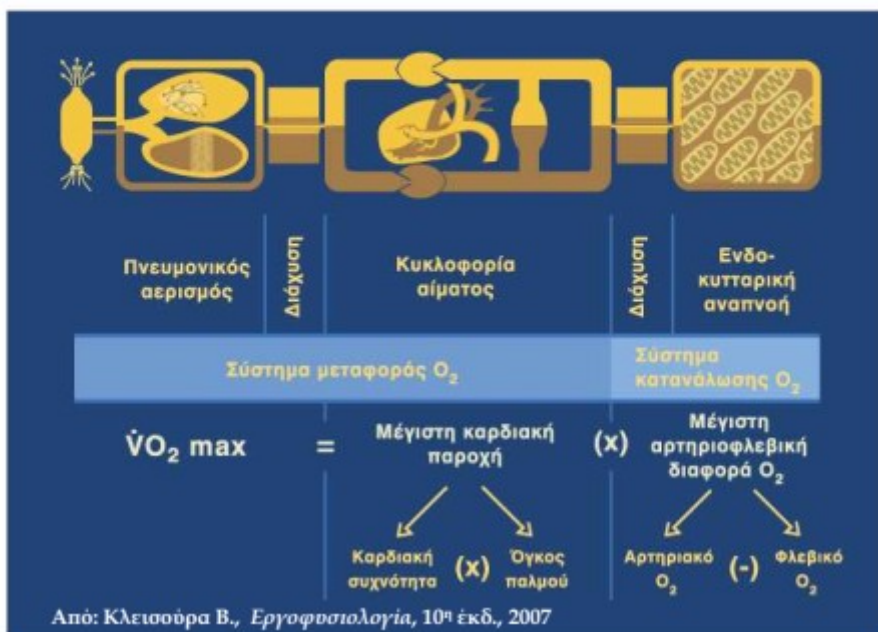
FIGURE 9.11 Exchange of oxygen and carbon dioxide at the lungs and tissues. (From Staron, L. 2013. Figure 13.26 in Chapter 13, "The Respiratory System" in Human Physiology, 7th ed. Belmont, CA: Brooks/Cole Cengage Learning.)

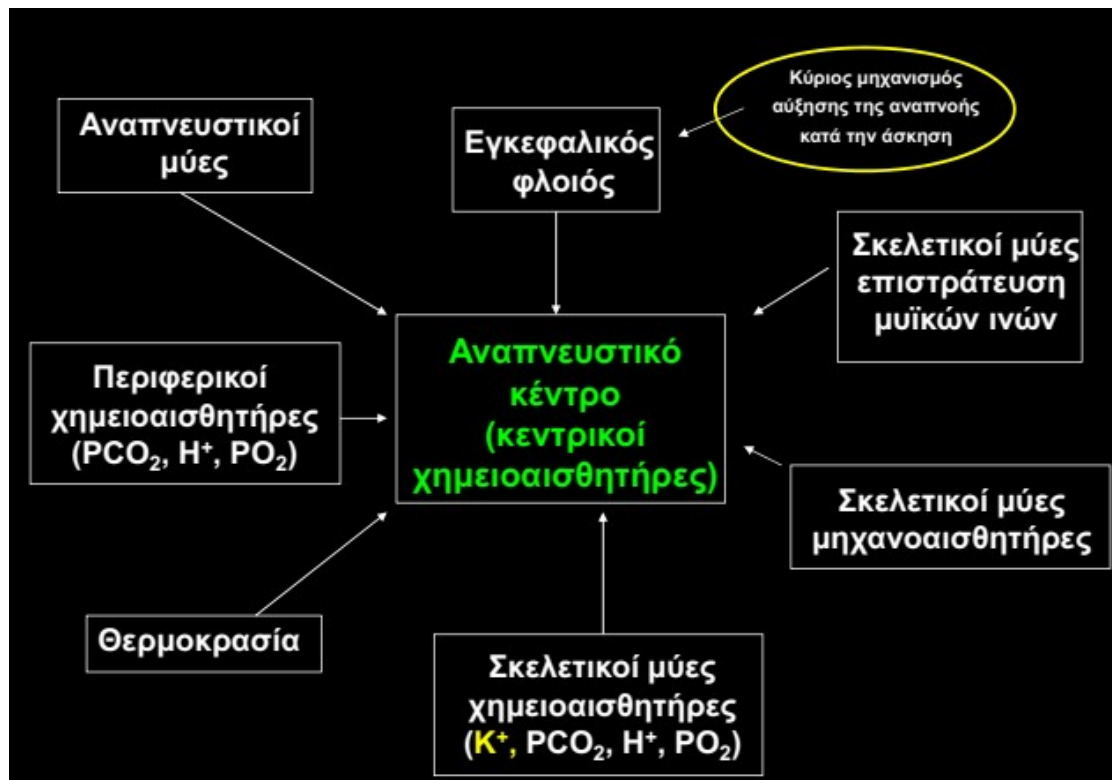
Ανταλλαγή Αερίων

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

Πρόσληψη O₂ – Αποβολή CO₂
Μεταφορά O₂ και CO₂
Κατανάλωση O₂ - Παραγωγή CO₂





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

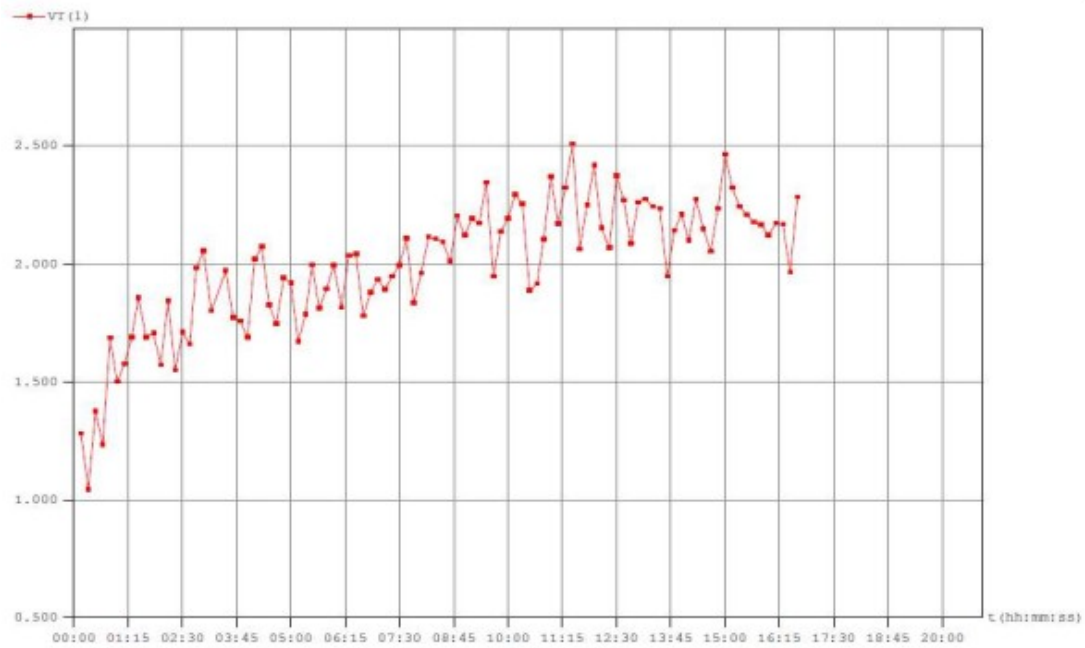
$$V_E = 12 \cdot \text{min}^{-1} \times 0,5 \text{ L} = 6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$

Άσκηση

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

σελ.

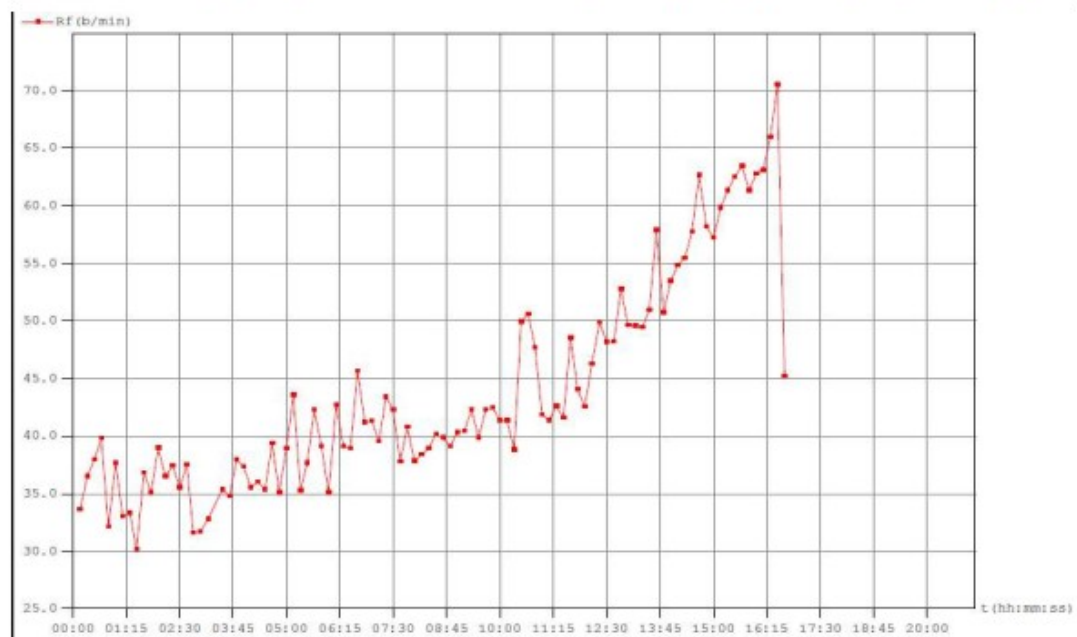
Αναπνεόμενος Όγκος Αέρα (L/αναπνοή) σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης



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

σελ.21

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

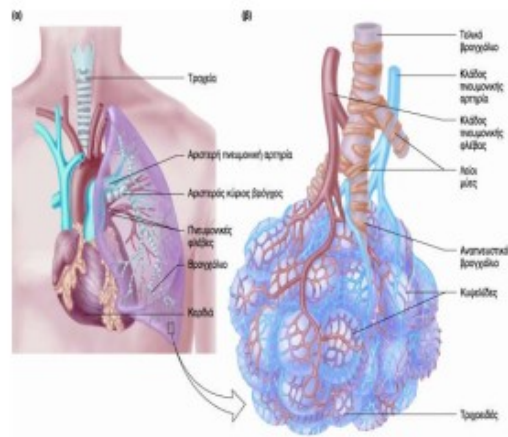
Δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της αερόβιας απόδοσης γιατί συνήθως μπορεί να αυξήσει τη λειτουργία του περισσότερο από το καρδιαγγειακό σύστημα. Ίσως να περιορίζει την απόδοση σε αθλητές πολύ υψηλού επιπέδου.

Πνευμονικός Αερισμός

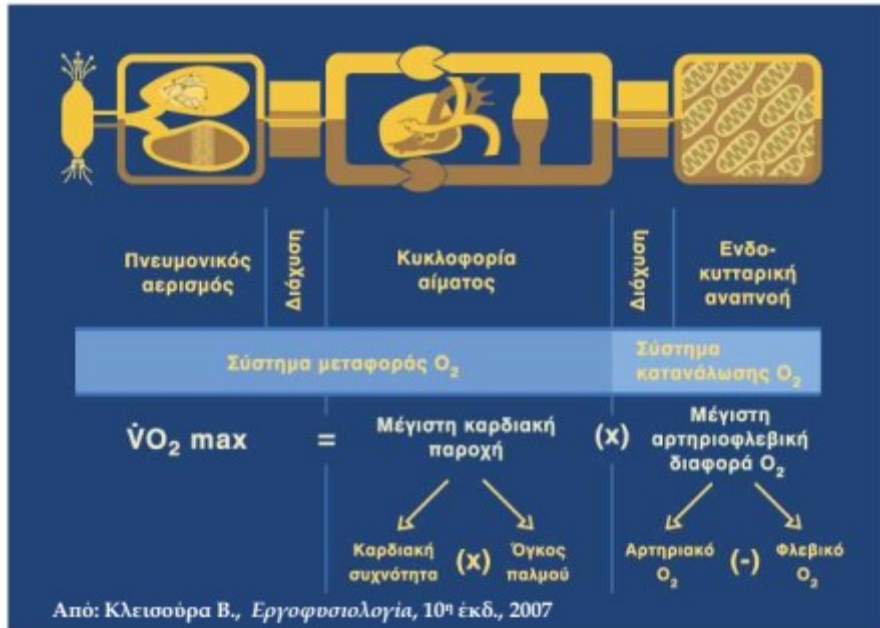
Ελαφρά μειωμένος στην ηρεμία και σε άσκηση **υπομέγιστης έντασης**.

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

Προπόνηση αναπνευστικών μυών.



Πρόσληψη O₂ – Αποβολή CO₂
 Μεταφορά O₂ και CO₂
 Κατανάλωση O₂ - Παραγωγή CO₂



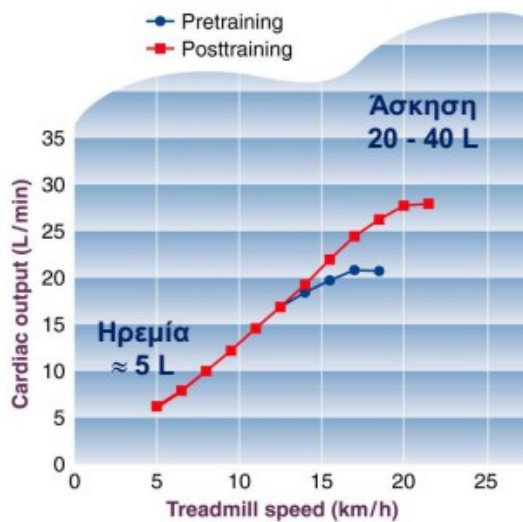
σελ.26

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

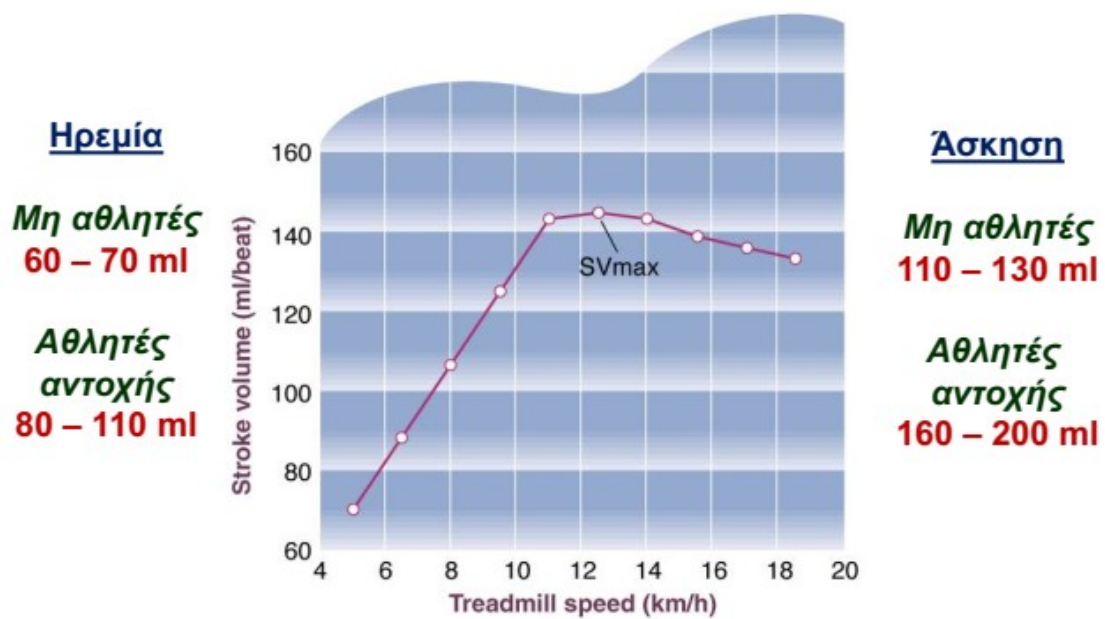
Η ποσότητα του αίματος (ml) που αποβάλλεται
από την καρδιά σε κάθε παλμό

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

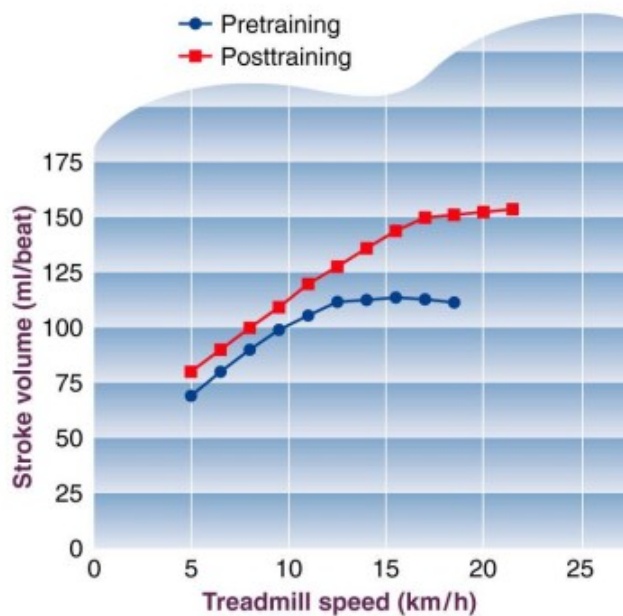
Μεταβολή του όγκου παλμού σε σχέση με την ένταση της άσκησης



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

σελ.30

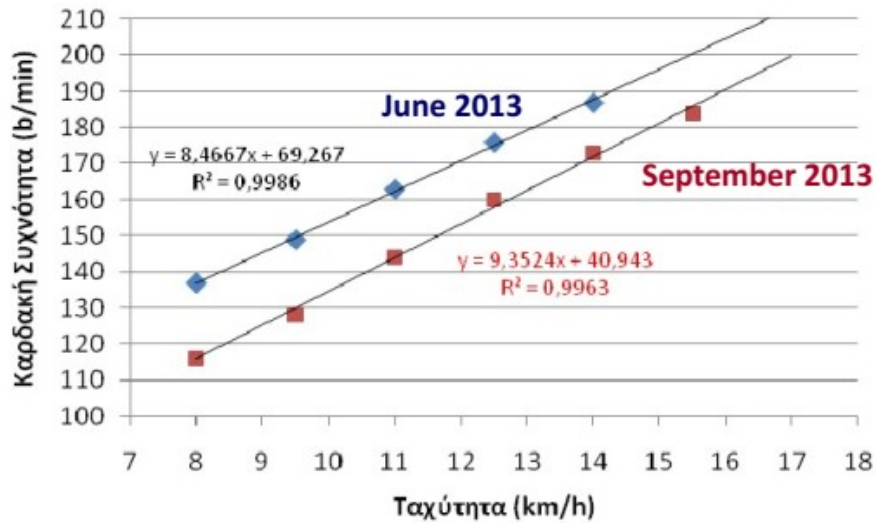
Όγκος παλμού και προπόνηση



Αυξημένος στην ηρεμία και κατά την άσκηση

σελ.32

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



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

Αύξηση της καρδιακής συχνότητας



Μεταβολή της διάρκειας της φάσης της διαστολής και της συστολής

Διάρκεια φάσεων του καρδιακού παλμού

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

Καρδιακή Συχνότητα

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

Έμμεσος υπολογισμός της μέγιστης καρδιακής συχνότητας

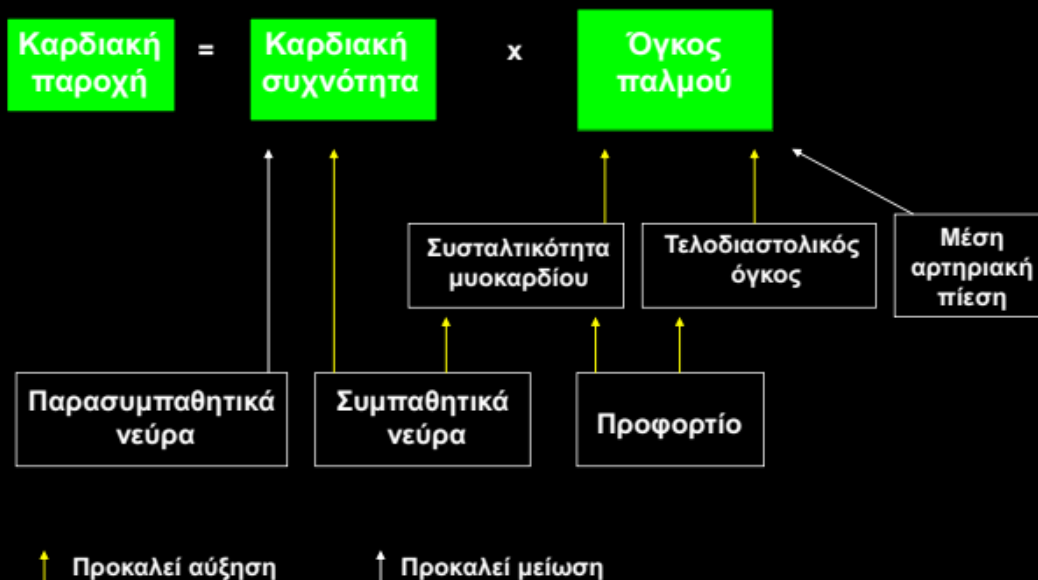
Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα = 220 – Ηλικία

220 – 60 = 160 b/min / 220 – 30 = 190 b/min

Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα = 208 – 0,7 x Ηλικία

208 – 0,7 x 60 = 208 – 42 = 166 / 208 – 0,7 x 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*, 4th ed. 2001.



Δομικές προσαρμογές της καρδιάς

Αερόβια Προπόνηση

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

Προπόνηση ενδυνάμωσης

Αύξηση της μάζας του τοιχώματος της αριστερής κοιλίας.

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)

σελ.38

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



	Non-athletes		Endurance athletes	
	Resting	Maximum	Resting	Maximum
Heart weight (g)	300		500	
Blood volume (L)	5.6		5.9	
Heart rate (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 ₂ 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)

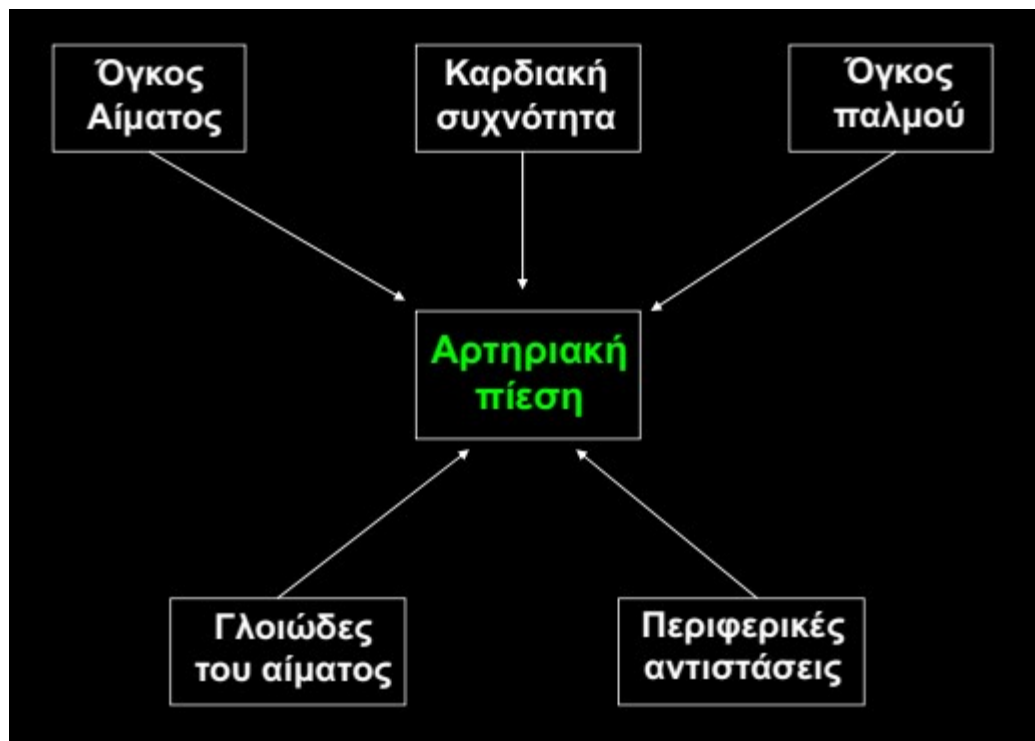
Μέση Αρτηριακή πίεση (ΜΑΠ)

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

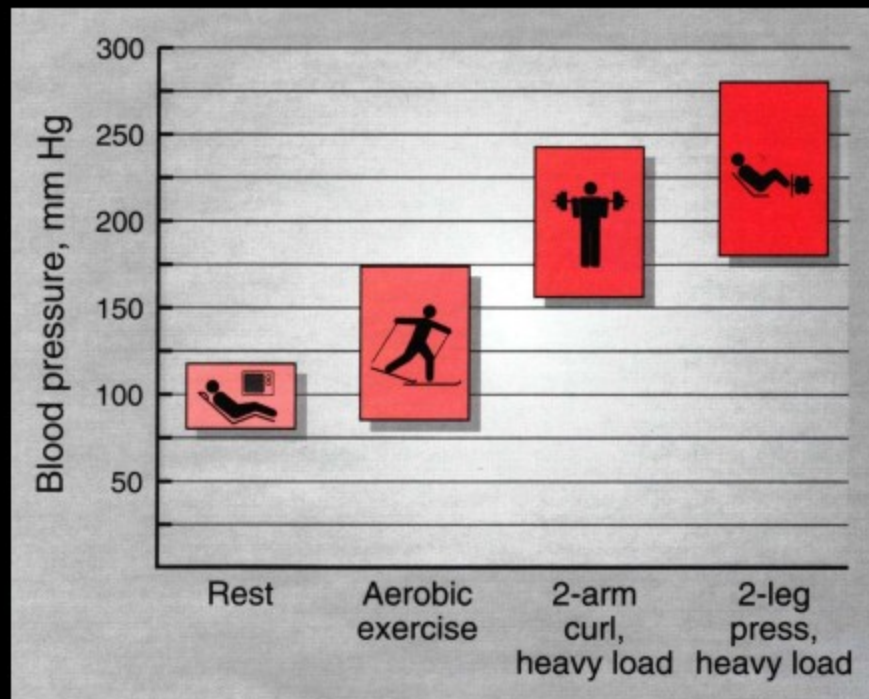
Η μέση πίεση που ασκείται στα αγγεία κατά τη ροή του αίματος

Καθορίζει το ρυθμό της αιματικής ροής στα αγγεία

σελ.40

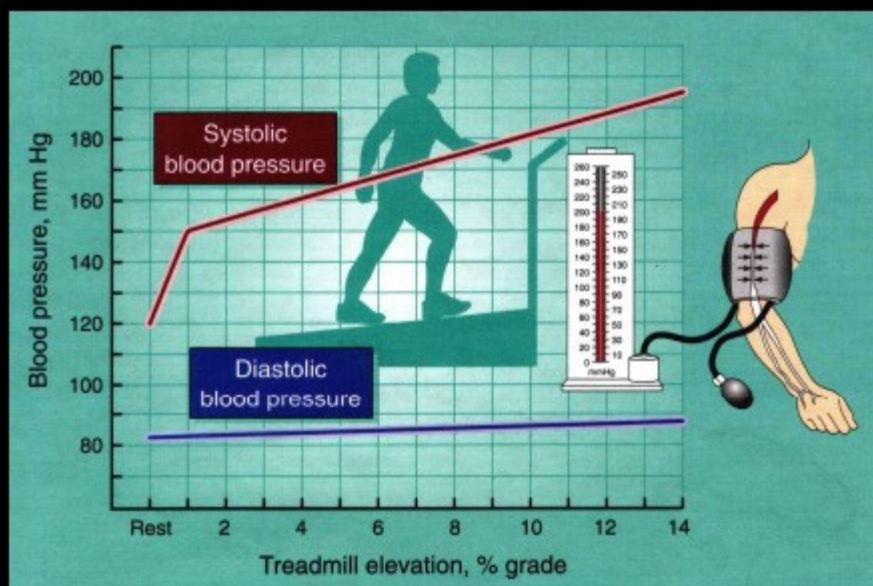


Αρτηριακή πίεση σε διάφορες αθλητικές δραστηριότητες



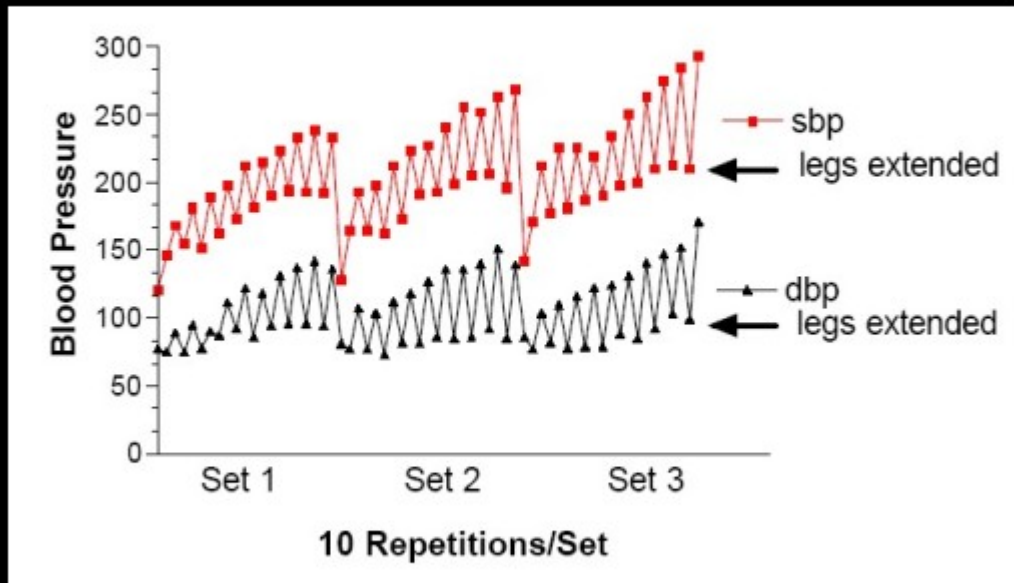
Από McArdle W.D, F.I. Katch and V.I. Katch. *Exercise Physiology*, 4th ed, 1996.

Μεταβολή της αρτηριακής πίεσης σε σχέση με την επιβάρυνση αερόβιας άσκησης



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

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



Gotshall et al. *Journal of Exercise Physiology online*. 2(4): 1-6, 1999.

σελ.

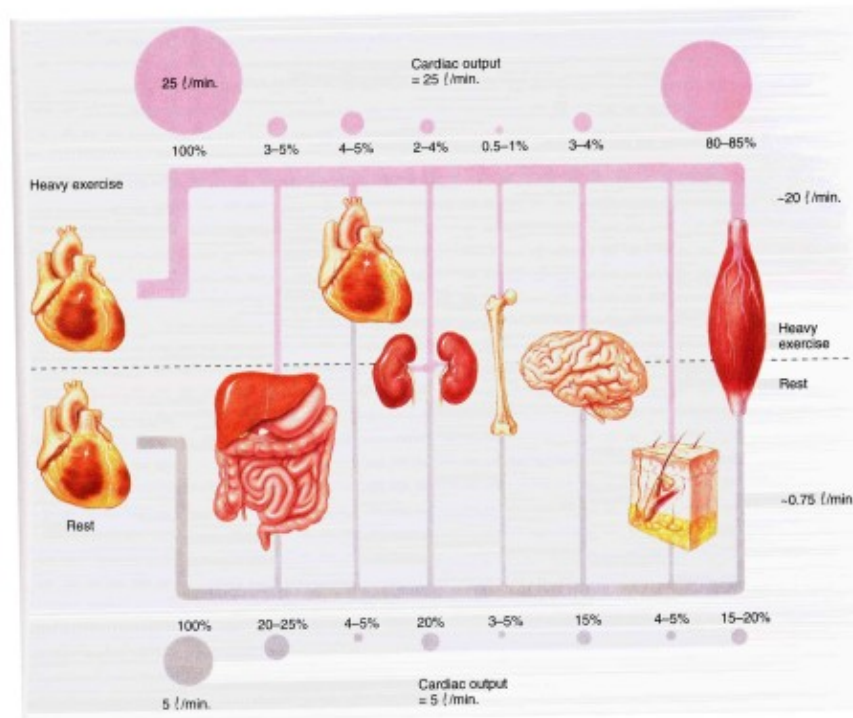
44

Οι λειτουργίες του κυκλοφορικού συστήματος κατά την άσκηση επιτυγχάνονται με:

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

σελ.49

Κατανομή του αίματος στην ηρεμία και σε μέγιστη άσκηση

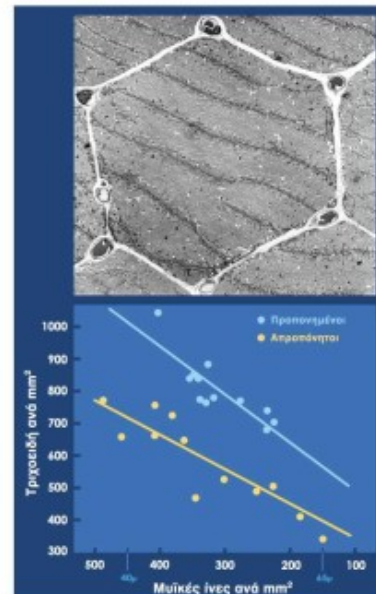
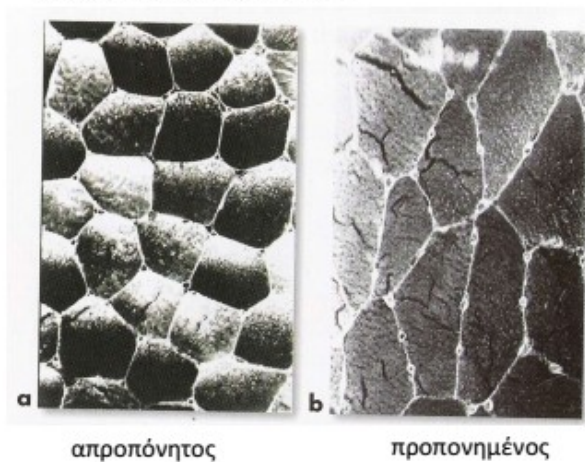


Από Powers S.K. and E.T. Howley: *Exercise Physiology: Theory and application to performance*, 4th ed. 2001.

Ροή αίματος

Αυξημένη αιματική ροή

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

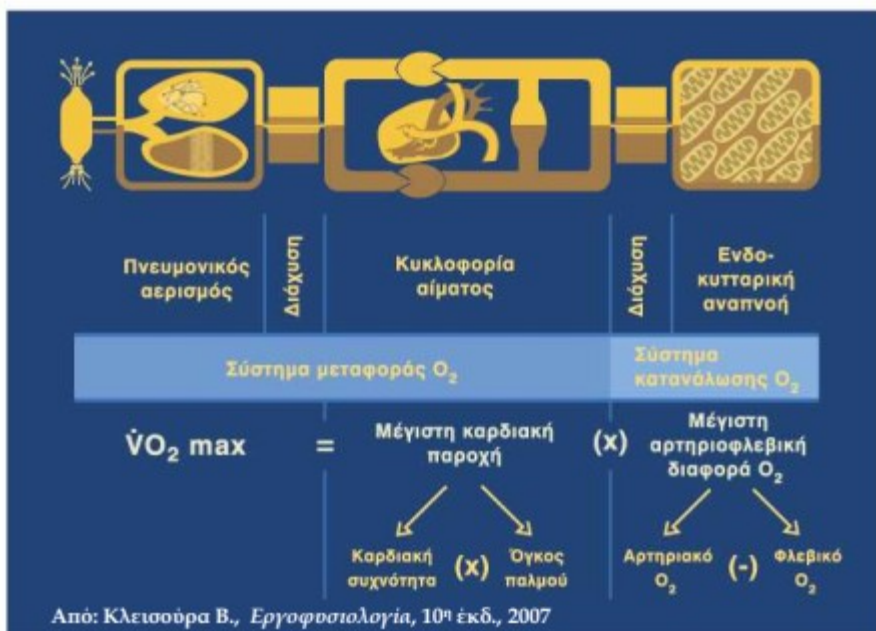


Καρδιοαγγειακή ανταπόκριση στην άσκηση



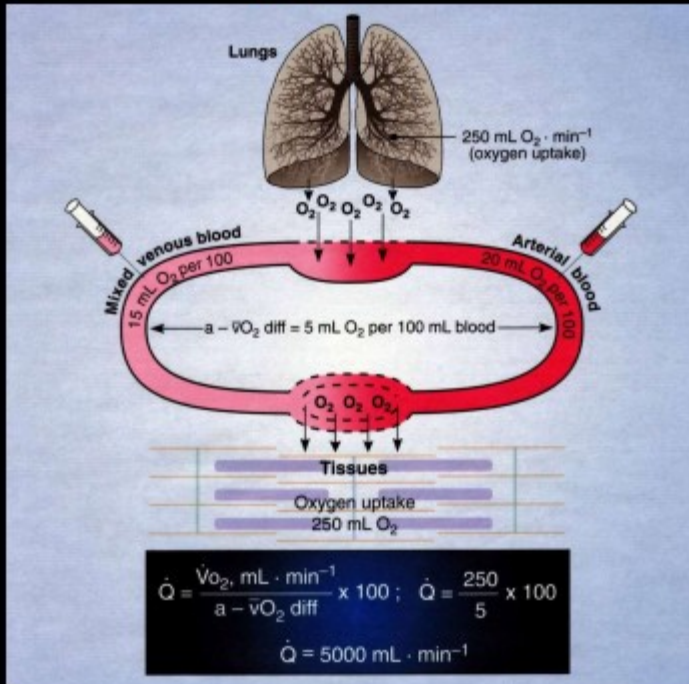
Από Powers S.K. and E.T. Howley: *Exercise Physiology: Theory and application to performance*, 4th ed. 2001.

Πρόσληψη O₂ – Αποβολή CO₂ Μεταφορά O₂ και CO₂ Κατανάλωση O₂ - Παραγωγή CO₂



Αρτηριοφλεβική Διαφορά Οξυγόνου

a-v O₂ diff

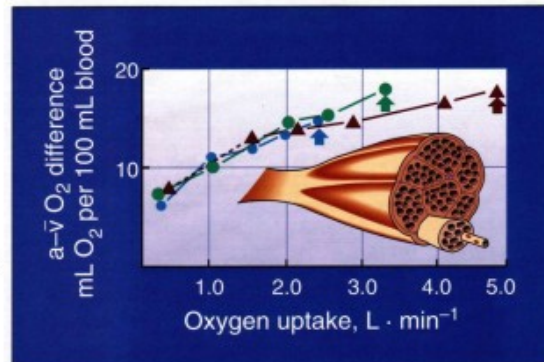


Από McArdle W.D, F.I. Katch and V.I. Katch. *Exercise Physiology*, 4th ed, 1996.

σελ. 54

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 O₂ difference in relation to oxygen uptake during upright exercise in endurance athletes (▲) and sedentary college students before (●) and after (●) 85 days of aerobic training; ◆ = maximal values. (Friesen Subis, B. Physiological effects of physical conditioning. *Med. Sci. Sports*, 1:50, 1969.)

σελ.56

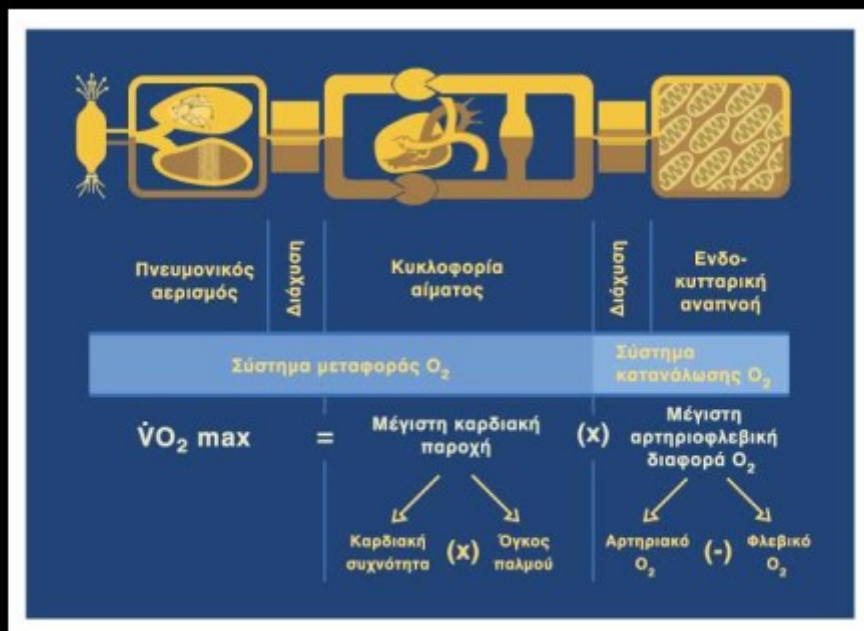
Πρόσληψη Οξυγόνου

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

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

Πρόσληψη οξυγόνου = καρδιακή παροχή x αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου

$\dot{V}O_{2max}$



Βιολογική αξία της $\dot{V}O_{2max}$

Η επίτευξη υψηλής $\dot{V}O_{2max}$ απαιτεί την καλή λειτουργία του αναπνευστικού, του καρδιαγγειακού και του μυϊκού συστήματος