

ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΕΣ
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ
ΧΡΟΝΙΑ ΑΣΚΗΣΗ

ΦΑΤΟΥΡΟΣ Γ. ΙΩΑΝΝΗΣ,
Αναπληρωτής Καθηγητής

Στόχοι της διάλεξης

- ♦ Να καταλάβουμε πως η προπόνηση μπορεί να μεγιστοποιήσει τις δυνατότητες των ενεργειακών μας συστημάτων και την αθλητική απόδοση.
- ♦ Οι διαφορές μεταξύ αερόβιας και αναερόβιας προπόνησης όσον αφορά τις μεταβολικές τους επιδράσεις.

Αερόβια και Αναερόβια Προπόνηση

Η αερόβια (καρδιοαναπνευστική) προπόνηση προκαλεί

- ♦ Βελτίωση της ροής του αίματος και
- ♦ Αύξηση της ικανότητας των μυικών ινών να συνθέσουν ATP.

Η αναερόβια (καρδιοαναπνευστική) προπόνηση προκαλεί

- ♦ Αύξηση της μυϊκής δύναμης και
- ♦ Αύξηση της ανθεκτικότητας στις διαταραχές της οξεοβασικής ισορροπίας κατά τη διάρκεια προσπαθειών πολύ υψηλής έντασης.

Χαρακτηρισμός των επιδράσεων/προσαρμογών της άσκησης

- **Οξείες (βραχυπρόθεσμες).** Είναι αποτέλεσμα μίας προπονητικής συνεδρίας και διαρκούν από λίγα λεπτά μέχρι λίγες ημέρες.
- **Χρόνιες (μακροπρόθεσμες).** Είναι αποτέλεσμα της συχνής άσκησης και διαρκούν από λίγες ημέρες ή αρκετούς μήνες μετά τα διακοπή της προπόνησης. Ονομάζονται και **προσαρμογές στην άσκηση** επειδή ο οργανισμός προσαρμόζεται έτσι ώστε να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις της άσκησης

Προσαρμογές με την Αερόβια Προπόνηση

- ♦ Αύξηση της υπομέγιστης αερόβιας αντοχής και της $\dot{V}O_2\text{max}$
- ♦ Μεταβολές στο μέγεθος των μυϊκών ινών, τροφοδοσία σε αίμα και οξυγόνο και λειτουργική απόδοση
- ♦ Βελτίωση της απόδοσης ενεργειακής παραγωγής

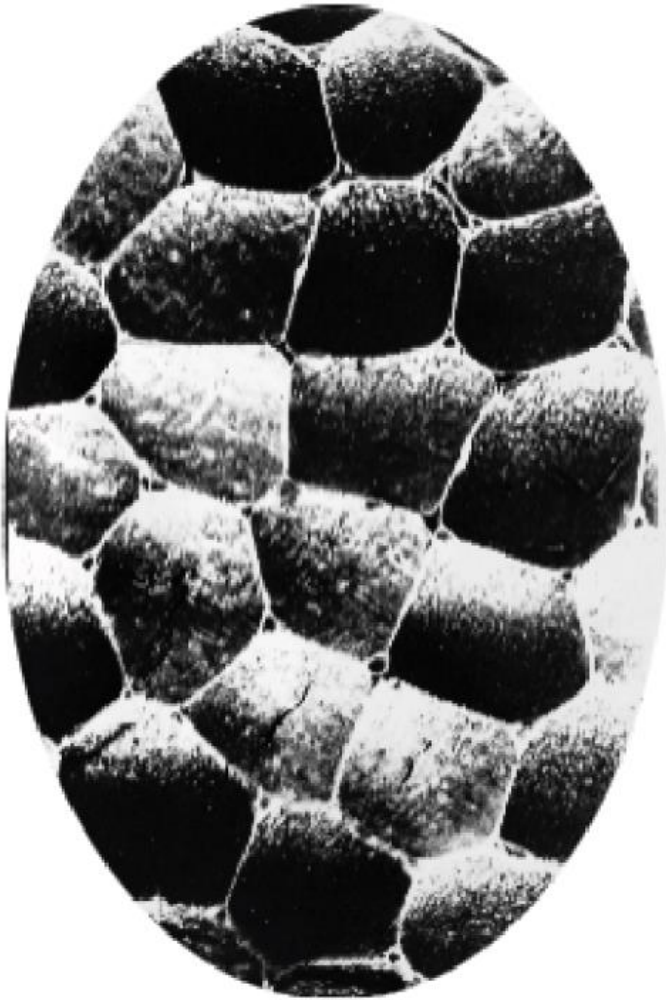
HERITAGE FAMILY STUDY



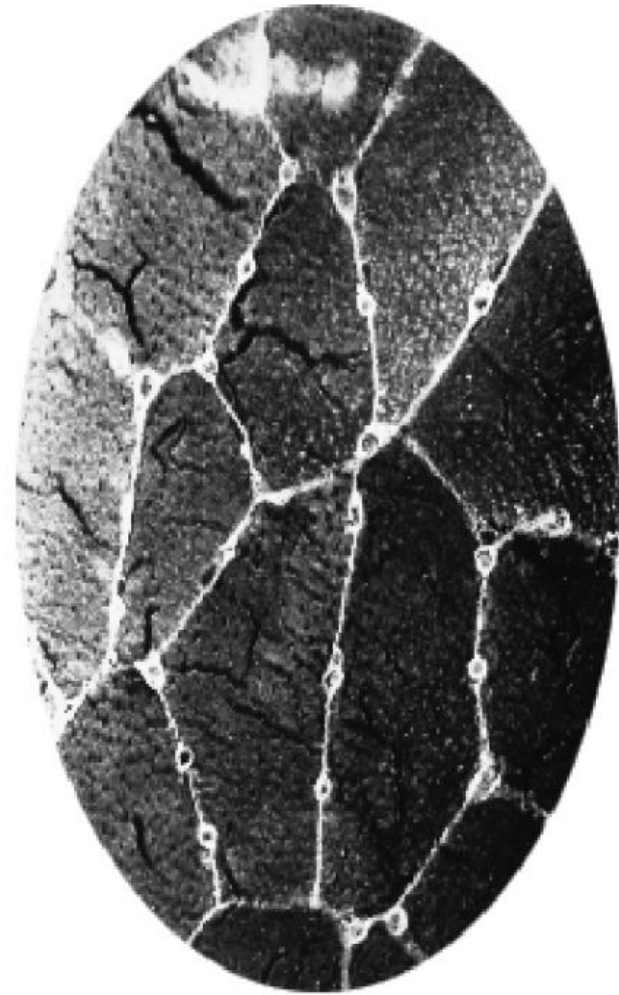
Μυικές Προσαρμογές

- ♦ Αύξηση του μεγέθους των ινών βραδείας σύσπασης
- ♦ Αυξημένος αριθμός τριχοειδών ανά μυική ίνα
- ♦ Αύξηση της συγκέντρωσης μυοσφαιρίνης στον μυ (μεγαλύτερη αποθήκευση οξυγόνου στους μης)
- ♦ Αύξηση του αριθμού και μεγέθους των μιτοχονδρίων αλλά και της δραστηριότητας των οξειδωτικών ενζύμων τους

ΑΙΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΜΥΩΝ

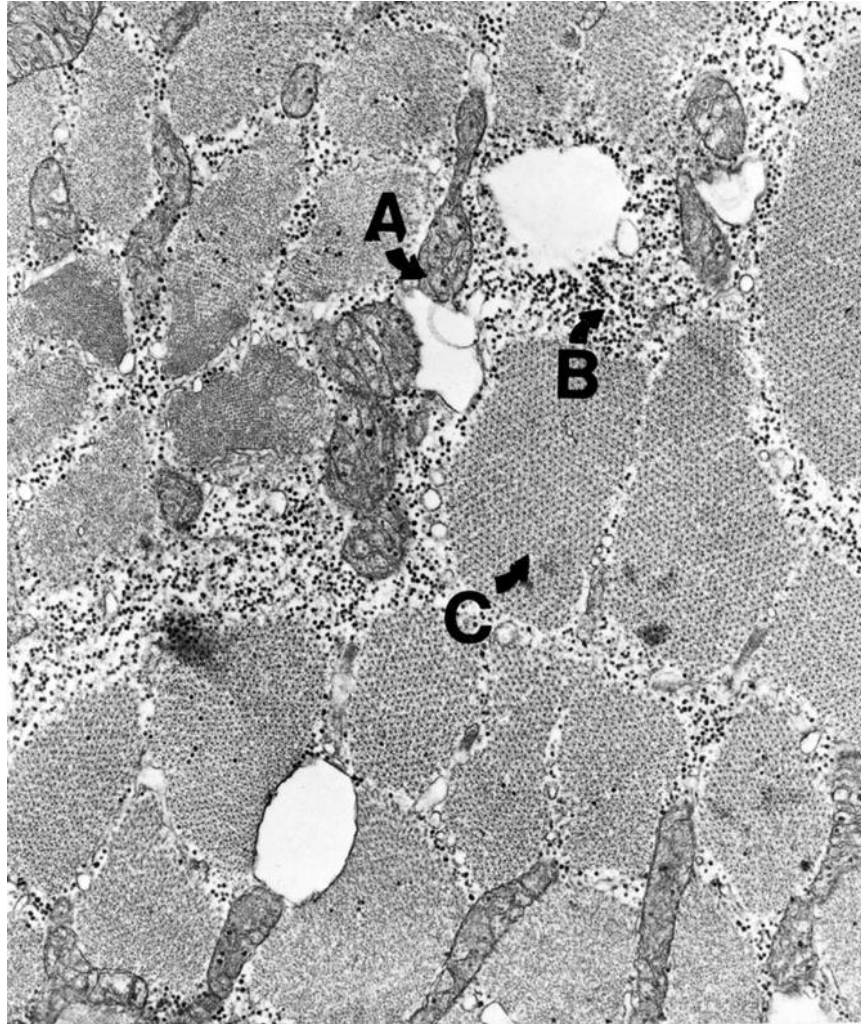


Απροπόνητος



Προπονημένος

Μιτοχόνδρια (A), Γλυκογόνο (B), και Τριγλυκερίδια (C)



Muscle Cell: Before Training

Mitochondrion



Muscle Cell: After Training

Mitochondria

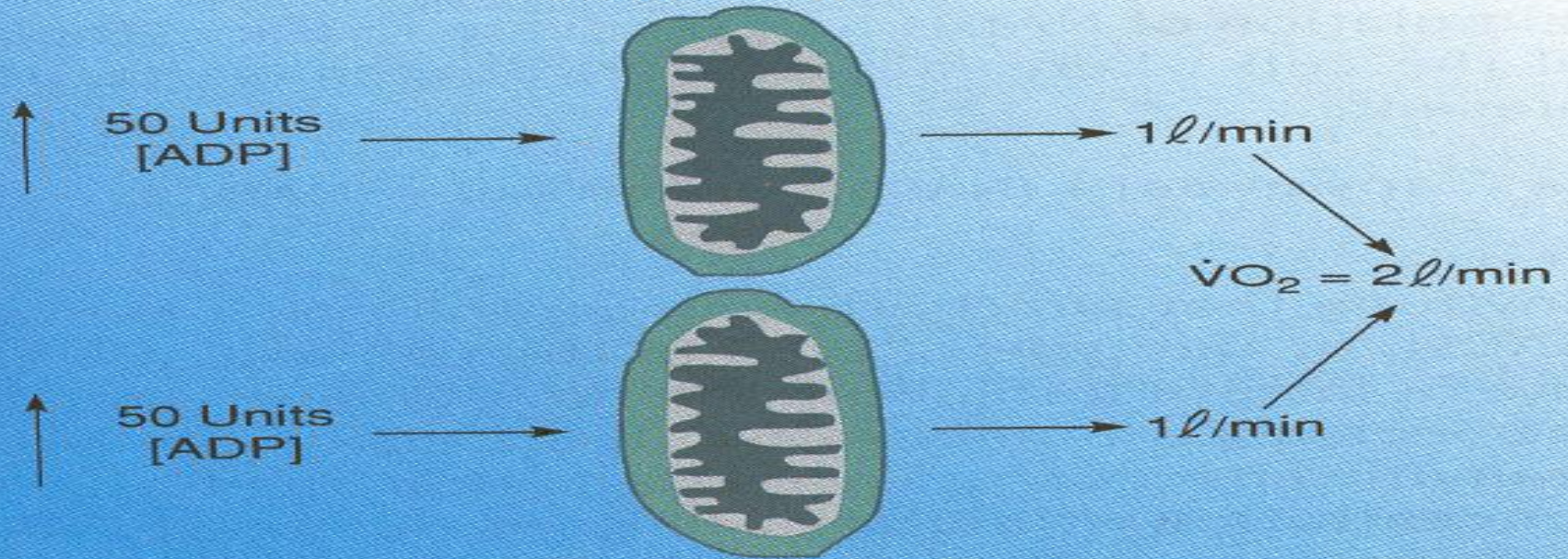
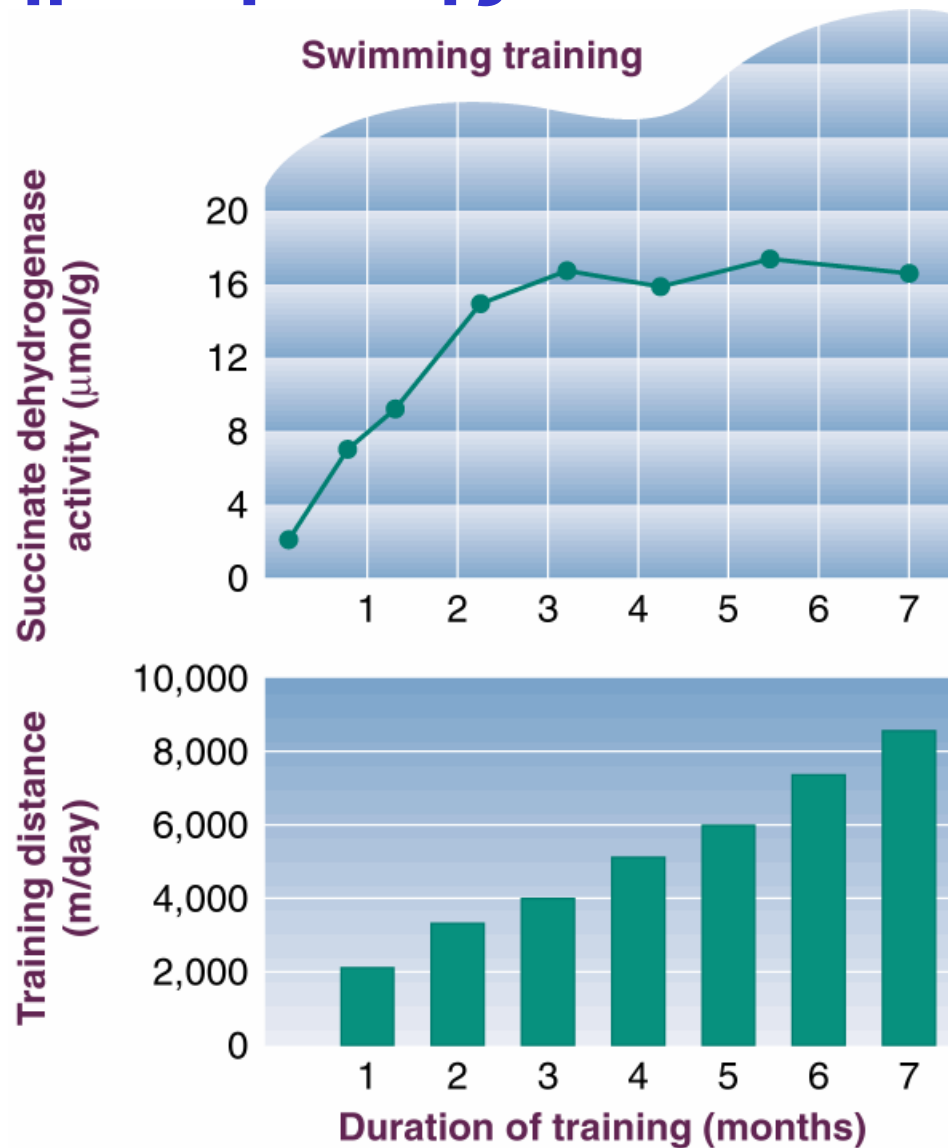


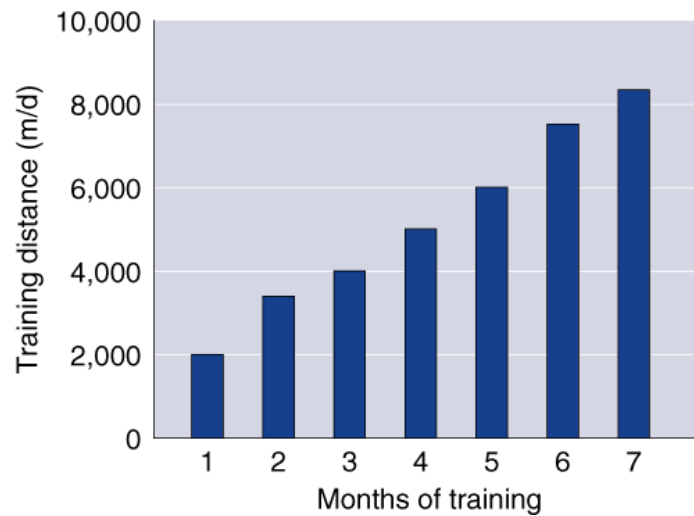
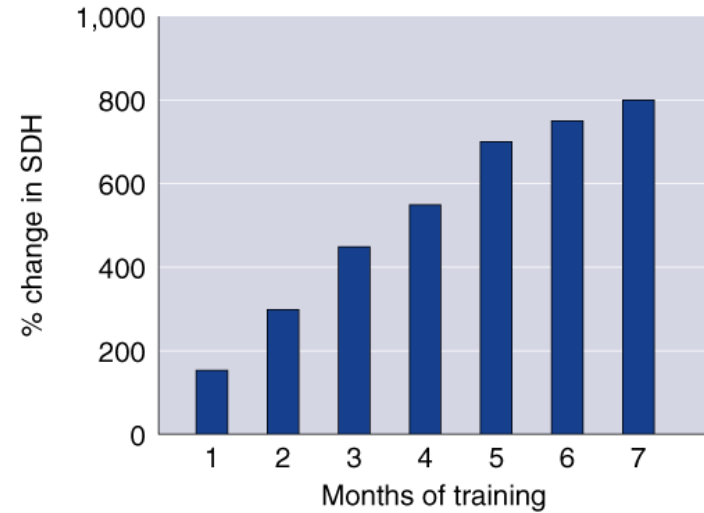
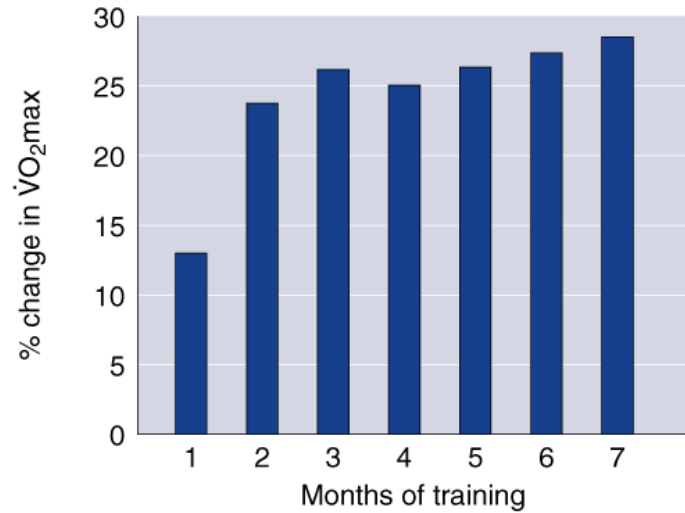
Figure 13.7

Influence of mitochondria number on the change in the ADP concentration needed to increase the $\dot{V}O_2$.

Η Δραστηριότητα της SDH στον Δελτοειδή

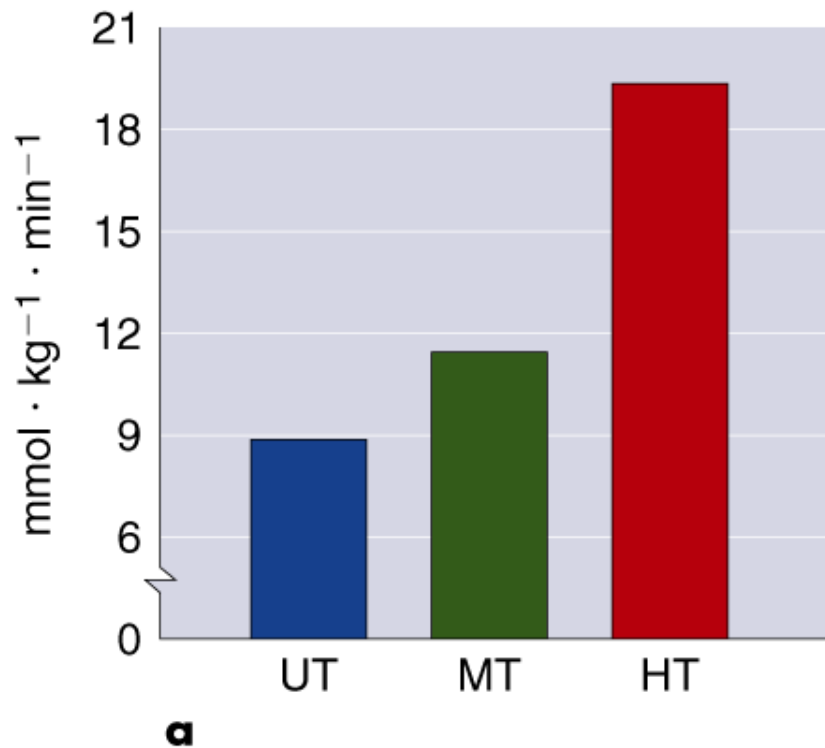


Μεταβολές στην δραστικότητα της SDH



Η Δραστηριότητα Ενζύμων στους Μυς των Κάτω Άκρων

Succinate dehydrogenase



Citrate synthase

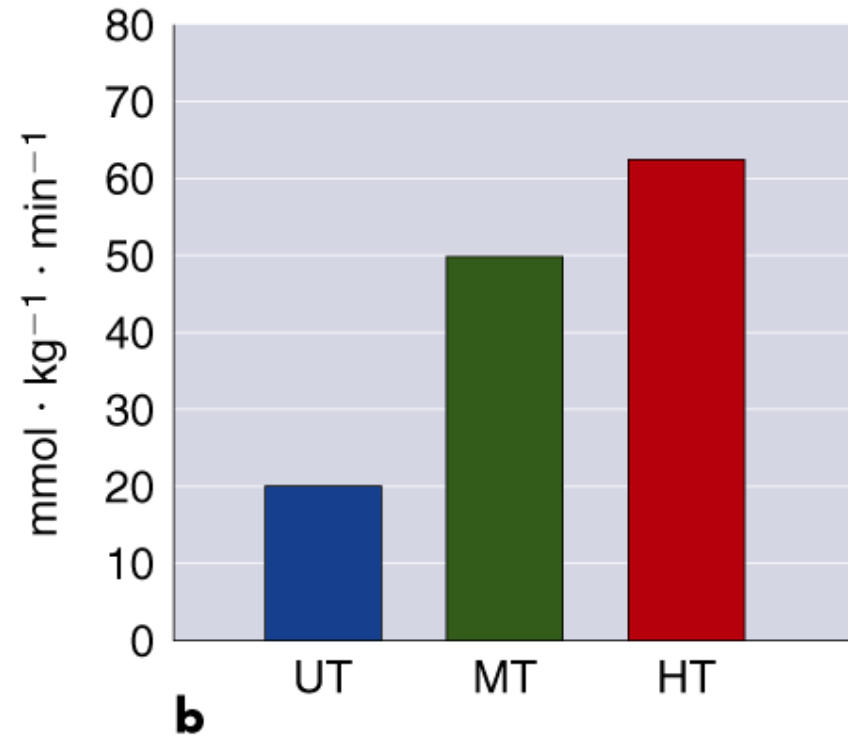


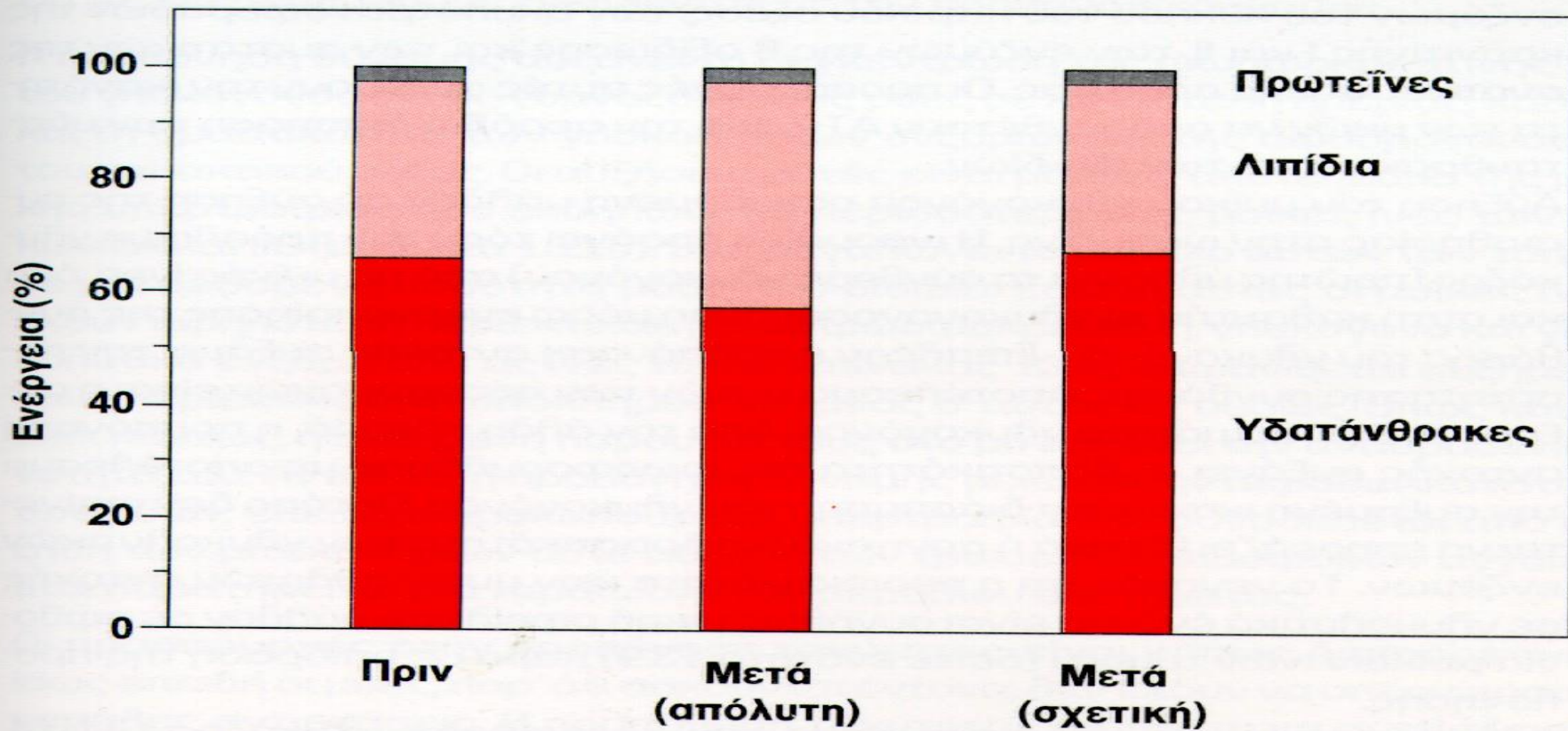
Table 13.4 Succinate Dehydrogenase Activity in Thigh Muscle Fiber Types in Response to Conditioning and Deconditioning

Fitness Level	Range of $\dot{V}O_2$ max ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	Muscle Fiber Type		
		Type I	Type IIa ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	Type IIb
Deconditioned	30–40	5.0	4.0	3.5
Sedentary	40–50	9.2	5.8	4.9
Conditioning (months)	45–55	12.1	10.2	5.5
Endurance athletes	>70	23.2	22.1	22.0

Adapted from Saltin and Gollnick (56a)

Επιδράσεις στις Ενεργειακές Πηγές

- ◆ Οι μυς αποθηκεύουν περισσότερο γλυκογόνο και τριγλυκερίδια.
- ◆ Μεγαλύτερη κινητοποίηση των ΕΛΟ και μεγαλύτερη διαθεσιμότητά τους στους μυς.
- ◆ Αύξηση της ικανότητας των μυών για οξειδωση του λίπους.
- ◆ Οι μυς βασίζονται περισσότερο στα λιπιδιακά αποθέματα προστατεύοντας έτσι το γλυκογόνο κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης.



ΕΙΚΟΝΑ 13.8 Επίδραση της προπόνησης αντοχής στην αναλογία πηγών ενέργειας. Η εκατοστιαία συνεισφορά των λιπιδίων στην ενεργειακή απαίτηση παρατεταμένης μέτριας άσκησης (ποδηλάτηση επί 90 min στο 60 % της $\dot{V}O_2 \max$) αυξήθηκε σημαντικά (από 31 σε 41 %) έπειτα από αερόβια προπόνηση αγύμναστων ανδρών και γυναικών επί 7 εβδομάδες, όταν η δεύτερη δοκιμασία πραγματοποιήθηκε στην ίδια απόλυτη ένταση με την πρώτη. Όταν όμως πραγματοποιήθηκε στην ίδια σχετική ένταση (60 % της νέας $\dot{V}O_2 \max$ που ήταν αυξημένη κατά 20 % λόγω της προπόνησης), το ποσοστό των λιπιδίων (και των υδατανθράκων) έμεινε αμετάβλητο. Οι πρωτεΐνες πρόσφεραν 3-4 % της συνολικής ενέργειας και στις τρεις δοκιμασίες. [Από το άρθρο "Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training" των S. L. Carter και συνεργατών στο *American Journal of Physiology* 280: E898-907. Copyright © 2001 the American Physiological Society. Με την ευγενική άδεια του εκδότη.]

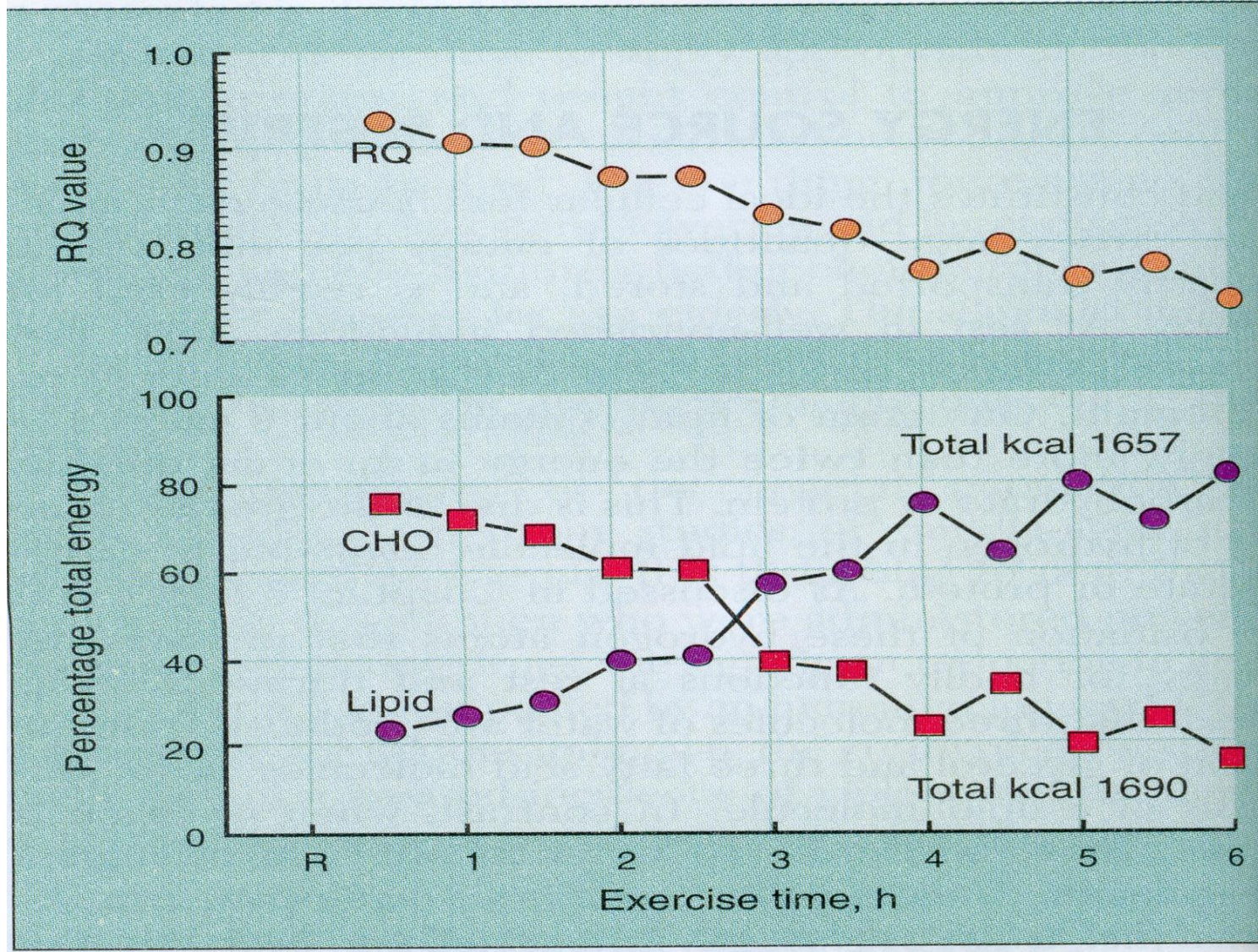
Αναπνευστικό πηλίκο (R)

- Αποτελεί έναν αναίμακτο τρόπο προσδιορισμού του ποσοστού CHO και λιπών που καίγονται κατά την άσκηση.
- $R = VCO_2 / VO_2$
- $R = 1$ Υδατάνθρακες
- $R = 0.7$ Λίπη
- $R = 0.83-0.85$ Ίση αναλογία

Αναπνευστικό Πηλίκιο

- Το αναπνευστικό πηλίκιο υπολογίζεται διαμέσου ενός αναλυτή αερίων.
- Δεν λαμβάνεται υπ' όψιν η συνεισφορά της πρωτεΐνης στην παραγωγή ενέργειας

ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΠΗΛΙΚΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΕΡΟΒΙΑ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ

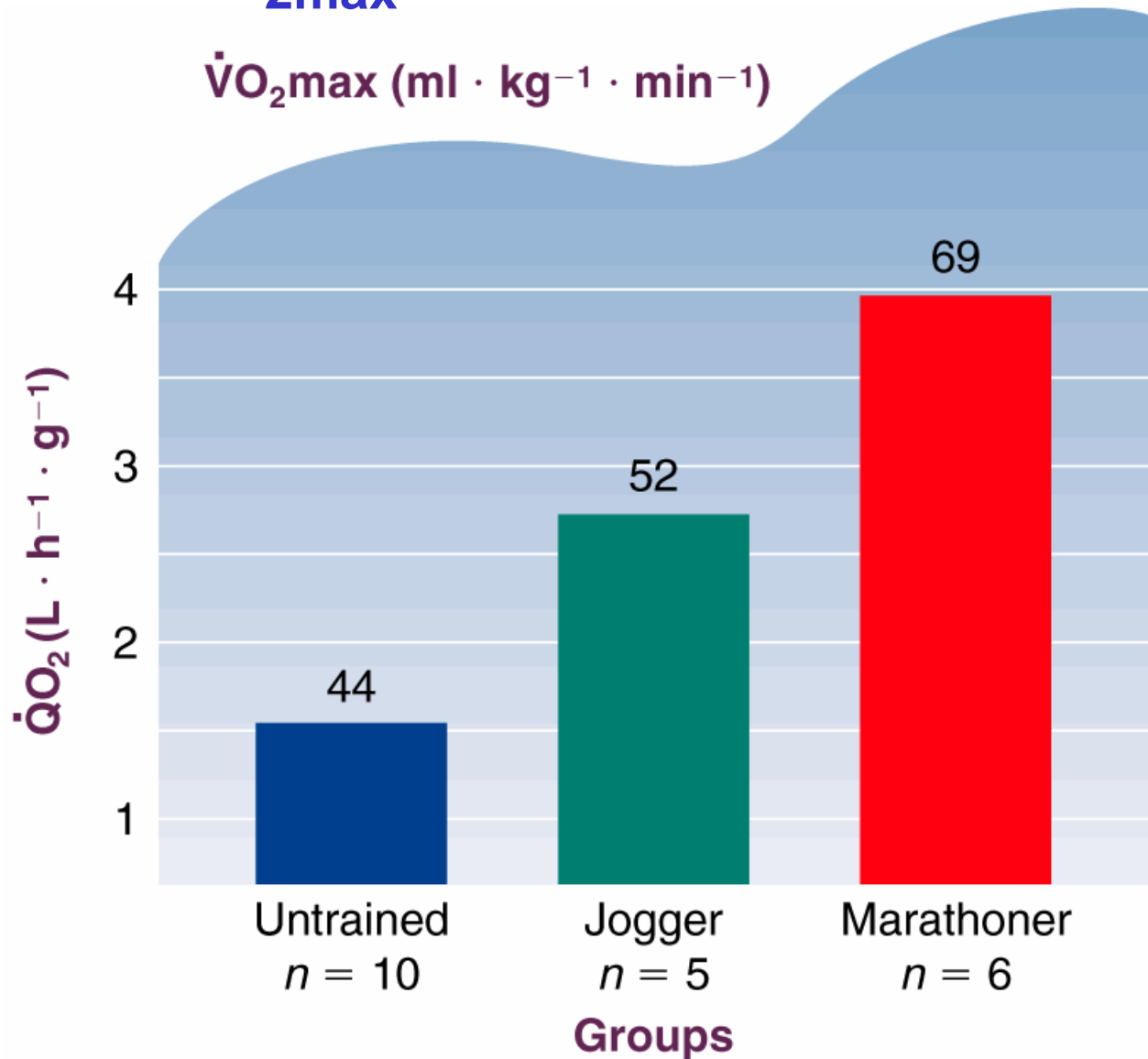


$\dot{Q}O_2$ και $\dot{V}O_2max$

Η $\dot{Q}O_2$ αντιπροσωπεύει την μέγιστη αναπνευστική ή οξειδωτική ικανότητα του μυ.

Η $\dot{V}O_2max$ αντιπροσωπεύει την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.

$\dot{Q}O_2$ ΚΑΙ $\dot{V}O_{2max}$ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ



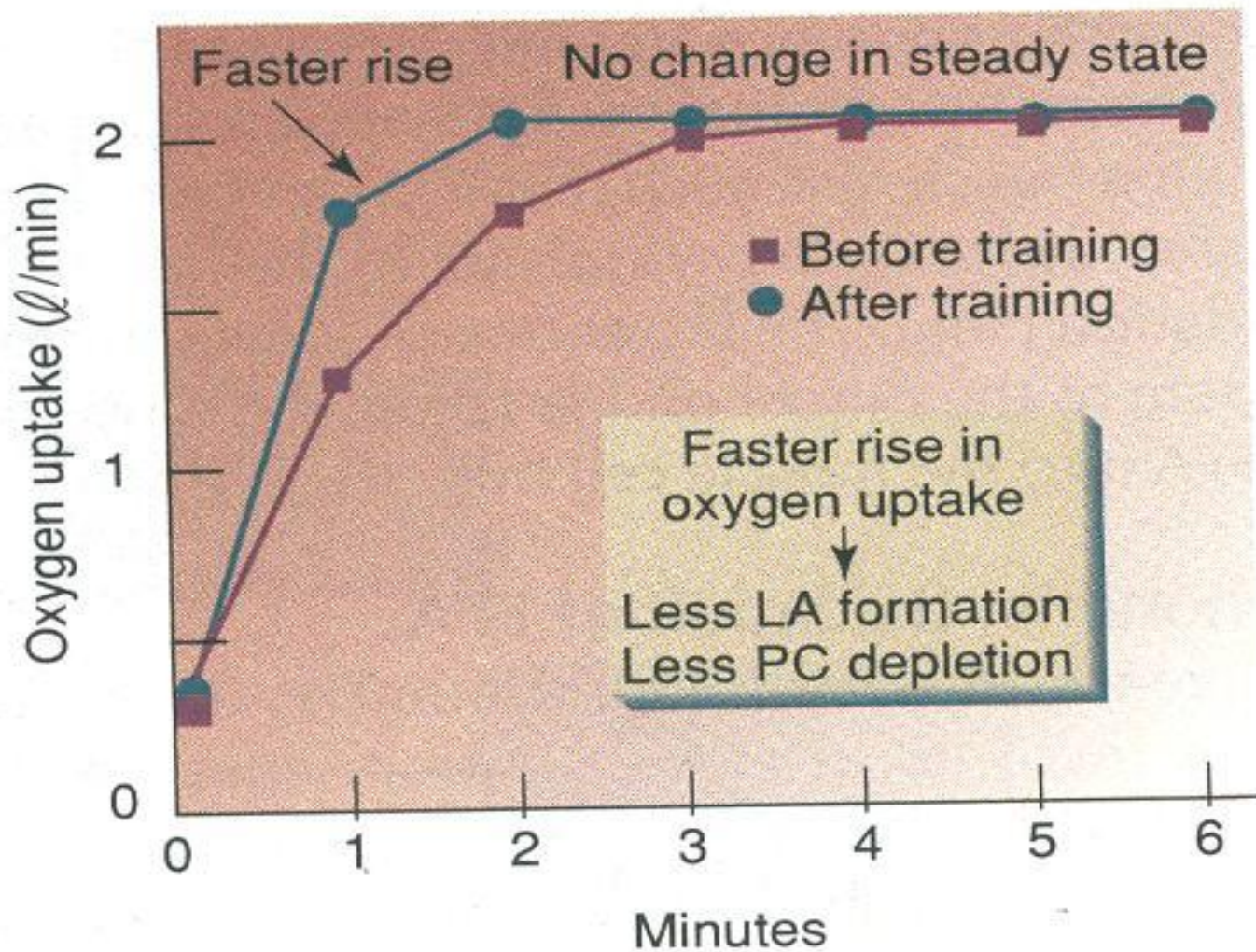


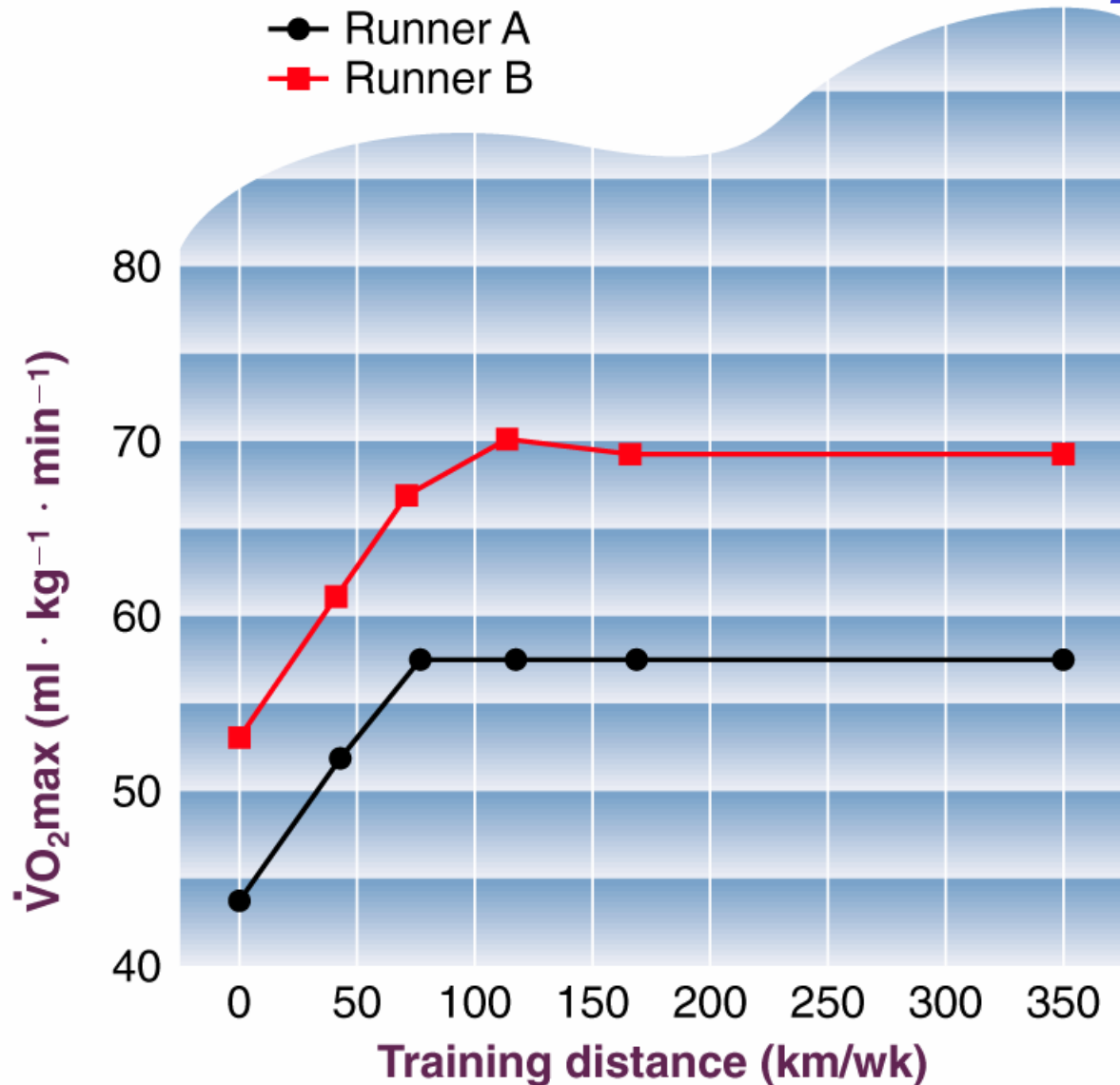
Figure 13.8

Endurance training reduces the O_2 deficit at the onset of work.

Προπονητικός Όγκος

- ♦ Ο όγκος αντιπροσωπεύει την συνολική επιβάρυνση κάθε προπόνησης και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- ♦ Οι προσαρμογές σε συγκεκριμένους προπονητικούς όγκους διαφέρουν από άτομο σε άτομο.
- ♦ Ο ιδανικός προπονητικός όγκος φαίνεται ότι ισοδυναμεί με μία ενεργειακή δαπάνη ίσης με 5.000 έως 6.000 kcal περίπου εβδομαδιαίως.
- ♦ Οι αθλητές που προπονούνται με προοδευτική αύξηση της προπονητικής επιβάρυνσης φθάνουν σε κάποιο σημείο σε ένα μέγιστο σημείο βελτίωσης πέρα από το οποίο η περαιτέρω αύξηση του προπονητικού όγκου δεν θα βελτιώσει την αντοχή ή τη $\dot{V}O_2\max$.

ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΚΑΙ $\dot{V}O_2\text{MAX}$



Ένταση της Προπόνησης

- ♦ Οι μυϊκές προσαρμογές εξαρτώνται από την ταχύτητα και τη διάρκεια της προπόνησης.
- ♦ Οι αθλητές που ακολουθούν την προπόνηση ταχυτήτων υψηλής έντασης παρουσιάζουν μεγαλύτερη βελτίωση της απόδοσης συγκριτικά με αθλητές που ακολουθούν πρωτόκολλα μόνο με παρατεταμένη, αργή προπόνηση χαμηλής έντασης.
- ♦ Τα αερόβια διαλείμματα υψηλής έντασης είναι επαναλαμβανόμενα, με γρήγορο ρυθμό και μικρή διάρκεια και ακολουθούνται από μικρά διαλείμματα ανάληψης.
- ♦ Η προπόνηση με συνεχόμενο τρέξιμο περιλαμβάνει ένα μόνο ερέθισμα (διάλειμμα έργου) υψηλής έντασης.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- ♦ Η αερόβια προπόνηση επιβαρύνει περισσότερο τις ίνες βραδείας σύσπασης προκαλώντας αύξηση του μεγέθους τους.
- ♦ Η αερόβια προπόνηση μπορεί να κάνει τις ίνες (FT_b) να αποκτήσουν χαρακτηριστικά ινών FT_a .
- ♦ Ο αριθμός των τριχοειδών ανά μυική ίνα αυξάνει.
- ♦ Τα μυικά αποθέματα μυοσφαιρίνης αυξάνονται κατά περίπου 75% έως 80%.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- ♦ Η αερόβια προπόνηση αυξάνει τον αριθμό και το μέγεθος των μιτοχονδρίων και τη δραστηριότητα των ενζύμων τους.
- ♦ Αυξάνονται τα μυϊκά αποθέματα γλυκογόνου και τριγλυκεριδίων.
- ♦ Αυξάνεται η διαθεσιμότητα του λίπους στον μυ και η ικανότητα λιπιδικής οξειδωσης οδηγώντας έτσι στην αυξημένη καύση λίπους για εξοικονόμηση ενέργειας κατά την άσκηση και την εξοικονόμηση περισσότερου γλυκογόνου για το τέλος της προσπάθειας.

***ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ
ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ***

Προσαρμογές μετά από Αναερόβια Προπόνηση

- ◆ Αύξηση της μυϊκής δύναμης
- ◆ Μικρή αύξηση των αποθεμάτων ATP και PCr και των γλυκολυτικών ενζύμων
- ◆ Αύξηση της μηχανικής απόδοσης
- ◆ Αύξηση της οξειδωτικής ικανότητας του μυ (για σπριντ μεγαλύτερα των 30 δευτερολέπτων)
- ◆ Αύξηση της ρυθμιστικής ικανότητας του μυ σε μεταβολές της οξεοβασικής ισορροπίας

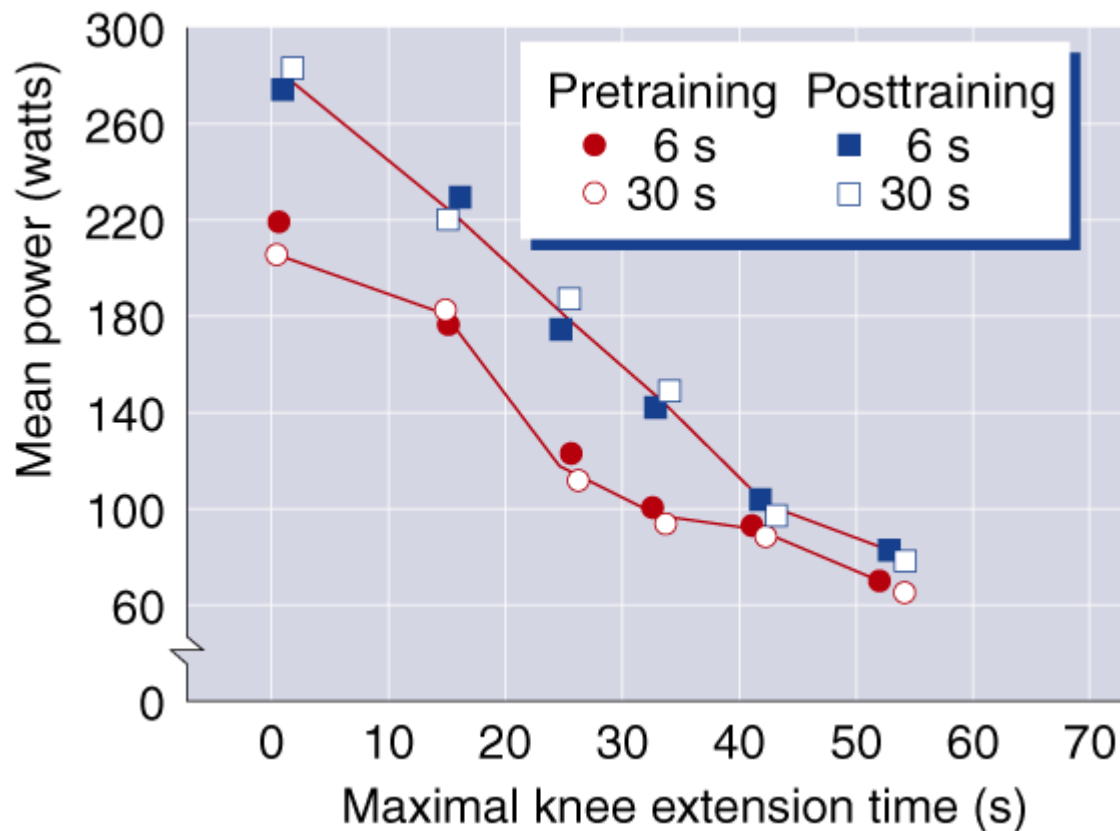
Η Αναερόβια προπόνηση:

Βελτιώνει την απόδοση και αυτό σχετίζεται περισσότερο με τη βελτίωση της μυϊκής δύναμης παρά στην βελτίωση της παροχής ενέργειας (ATP) μέσω της αύξησης της απόδοσης της γλυκολυτικής ικανότητας και της αναερόβιας αγαλακτικής απόδοσης (ATP-PCr).

Μεταβολές των CK & MK κατά τη διάρκεια Μέγιστων Αναερόβιων Προπονήσεων



Η μεταβολή της απόδοσης σε σπριντ 60 δευτ. πριν και μετά από αναερόβια προπόνηση



Η Ρυθμιστική Ικανότητα του Μυ

- ♦ Η αναερόβια προπόνηση βελτιώνει τη ρυθμιστική ικανότητα ενώ η αερόβια προπόνηση δεν αυξάνει σημαντικά την ικανότητα των μυών να αντέχουν τις προσπάθειες τύπου σπριντ μέγιστης έντασης.
- ♦ Η αυξημένη ρυθμιστική ικανότητα του μυ επιτρέπει στους αθλητές που προπονούνται με ταχύτητες να συνθέσουν ενέργεια για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα πριν την εμφάνιση της κόπωσης που περιορίζει την μυϊκή σύσπαση.

Η Δραστηριότητα Επιλεγμένων Μυϊκών Ενζύμων (mmol/g/min) σε Αγύμναστα Άτομα, Αναερόβια Προπονημένα Άτομα και Αερόβια Προπονημένα Άτομα

Αναερόβια Αναερόβια
Απροπόνητοι Προπονημένοι Προπονημένοι

Αερόβια Ένζυμα

Οξειδωτικό σύστημα

SDH	8.1	8.0	20.8 ^a
MDH	45.5	46.0	65.5 ^a
Carnitine palmitoyl transferase	1.5	1.5	2.3 ^a

Αναερόβια ένζυμα

Σύστημα ATP-PCr

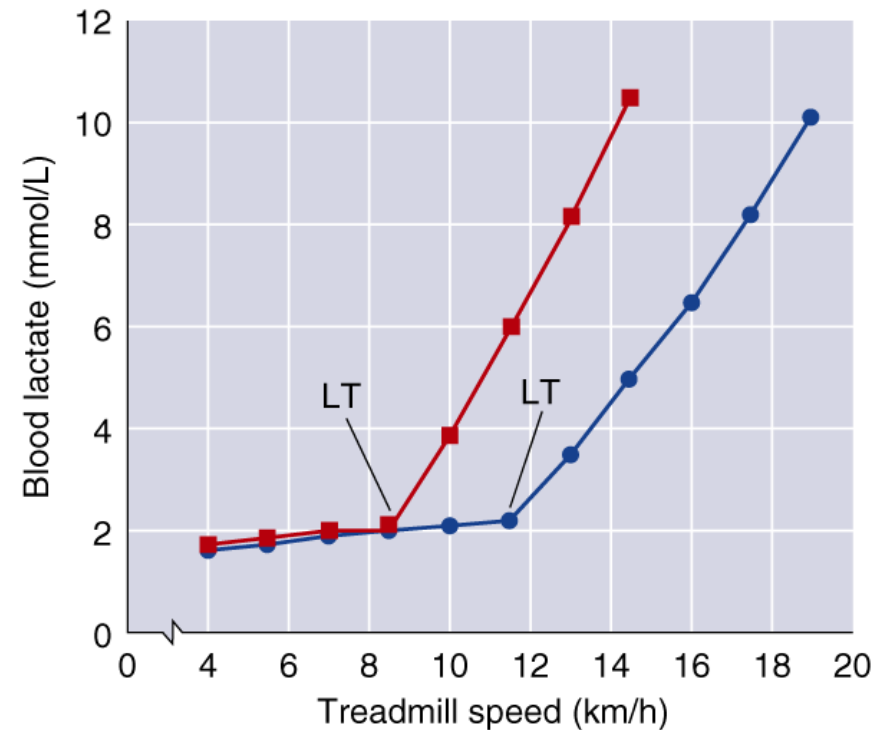
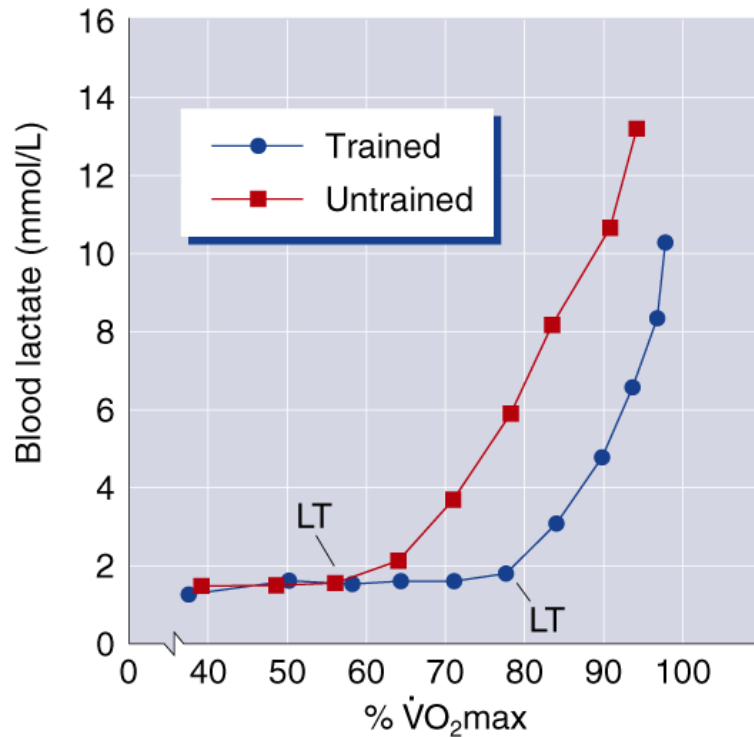
Κρεατινική κινάση	609.0	702.0 ^a	589.0
Μυοκινάση	309.0	350.0 ^a	297.0

Γλυκολυτικό σύστημα

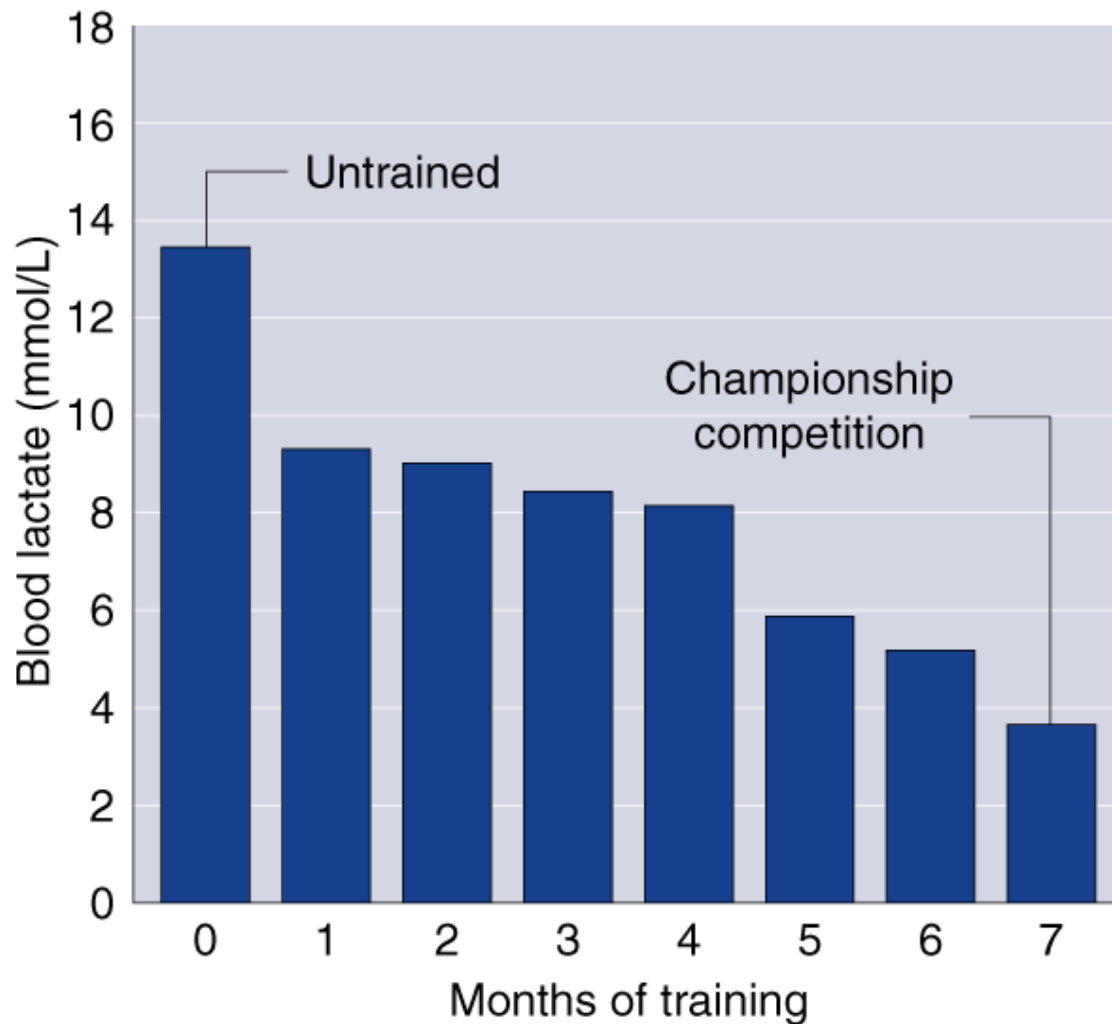
Φωσφορυλάση	5.3	5.8	3.7 ^a
PFK	19.9	29.2 ^a	18.9
LDH	766.0	811.0	621.0

^a Δηλώνει σημαντική μεταβολή σε σχέση με τις τιμές των αγύμναστων ατόμων.

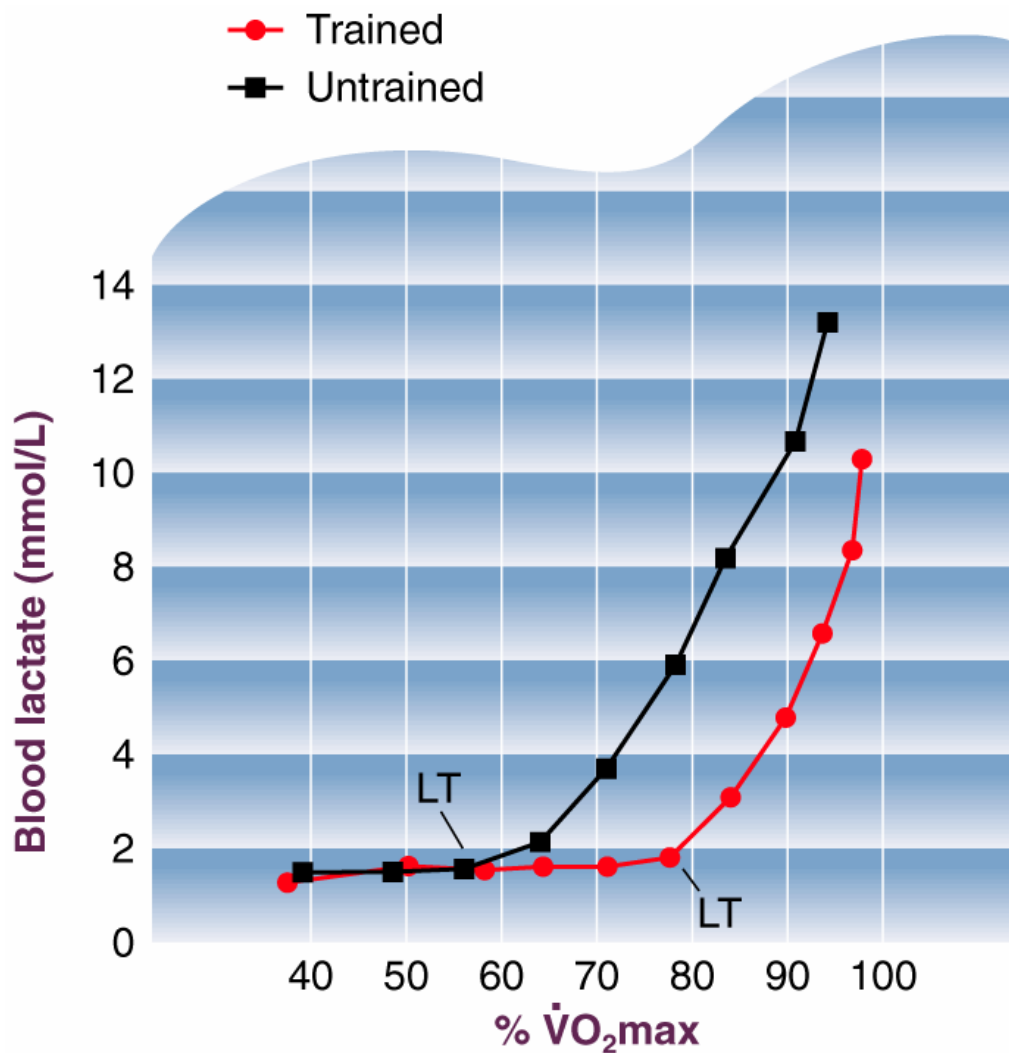
Μεταβολές στο γαλακτικό κατώφλι με την προπόνηση



Η σχέση προπόνησης και συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα



Η ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΓΑΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΤΟ ΑΙΜΑ



Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ ΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΓΑΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΤΟ ΑΙΜΑ



ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- ♦ Η αναερόβια προπόνηση βελτιώνει την αναερόβια απόδοση ως αποτέλεσμα της αύξησης της μυϊκής δύναμης.
- ♦ Η αναερόβια προπόνηση βελτιώνει την κινητική απόδοση μειώνοντας έτσι την δαπανώμενη ενέργεια για την ίδια κίνηση.
- ♦ Προσπάθειες αναερόβιας φύσης διάρκειας πάνω από 30 δευτερόλεπτα βασίζονται στην οξειδωτική λειτουργία για ενεργειακή τροφοδοσία ενώ η μυϊκή αερόβια ικανότητα μπορεί να βελτιωθεί με αυτού του είδους την προπόνηση.
- ♦ Η αναερόβια προπόνηση αυξάνει τη ρυθμιστική ικανότητα του μυ καθυστερώντας την εμφάνιση της κόπωσης.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- ♦ Η ιδανική αερόβια προπόνηση ισοδυναμεί με ενεργειακή δαπάνη 5.000 έως 6.000 kcal εβδομαδιαίως.
- ♦ Για να αποδώσουν οι αθλητές σε υψηλές εντάσεις πρέπει να προπονούνται σε υψηλότερες εντάσεις.
- ♦ Η αερόβια διαλειματική προπόνηση—επαναλαμβανόμενες προσπάθειες υψηλής έντασης με ενδιάμεσα μικρά διαλείμματα—και η προπόνηση με συνεχόμενο τρέξιμο—μία παρατεταμένη προσπάθεια, υψηλής έντασης—βοηθούν και οι δύο στην δημιουργία θετικών αερόβιων προσαρμογών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.5 Προσαρμογές του ανθρώπινου σκελετικού μυός στην προπόνηση

Προπόνηση αντοχής

Αύξηση της αναλογίας λιπιδίων-υδατανθράκων σε άσκηση δεδομένης απόλυτης μέτριας έντασης
Αύξηση του αριθμού και του μεγέθους των μιτοχονδρίων
Αύξηση των ενζύμων του κύκλου του κιτρικού οξέος
Αύξηση των ακυλοτρανσφερασών της καρνιτίνης I και II
Αύξηση των ενζύμων της β οξείδωσης
Αύξηση των συστατικών της αναπνευστικής αλυσίδας
Αύξηση του γλυκογόνου
Αύξηση του GLUT4
Αύξηση της συνθάσης του γλυκογόνου και της φωσφορυλάσης
Αύξηση των μυοκυτταρικών τριακυλογλυκερολίων
Αύξηση της πυκνότητας των τριχοειδών αιμοφόρων αγγείων
Αύξηση της λιποπρωτεϊνικής λιπάσης
Αύξηση των μεταφορέων λιπαρών οξέων
II B → II A → I

Προπόνηση δύναμης

Υπερτροφία (ιδιαίτερα των μυϊκών ινών των τύπων II A και II B)
Αύξηση της φωσφοκρεατίνης
Αύξηση του γλυκογόνου
Αύξηση των γλυκολυτικών ενζύμων και της αφυδρογονάσης του γαλακτικού οξέος
I → II A ← II B (με επιφύλαξη)

Προπόνηση ταχύτητας

Υπερτροφία (ιδιαίτερα των μυϊκών ινών των τύπων II A και II B)
Αύξηση της κινάσης του αδενυλικού οξέος και της κρεατινικής κινάσης
Αύξηση της φωσφορυλάσης, των γλυκολυτικών ενζύμων και της αφυδρογονάσης του γαλακτικού οξέος
Αύξηση των μιτοχονδριακών ενζύμων (υπό όρους)
I → II A ← II B (με επιφύλαξη)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.7 Αλλαγές στον ανθρώπινο σκελετικό μυ με τη διακοπή της προπόνησης

Διακοπή της προπόνησης αντοχής

Αύξηση της αναλογίας υδατανθράκων-λιπιδίων σε άσκηση δεδομένης απόλυτης μέτριας έντασης

Μείωση του αριθμού και του μεγέθους των μιτοχονδρίων

Μείωση των ενζύμων του κύκλου του κιτρικού οξέος

Μείωση των ενζύμων της β οξείδωσης

Μείωση του γλυκογόνου

Μείωση του GLUT4

Μείωση της συνθάσης του γλυκογόνου

Μείωση της πυκνότητας των τριχοειδών αιμοφόρων αγγείων

Μείωση της λιποπρωτεϊνικής λιπάσης

I → IIA → IIB

Διακοπή της προπόνησης δύναμης ή ταχύτητας

Μείωση της διατομής (ιδιαίτερα των μυϊκών ινών των τύπων IIA και IIB)

Μείωση του γλυκογόνου

Μείωση των γλυκολυτικών ενζύμων και της αφυδρογονάσης του γαλακτικού οξέος

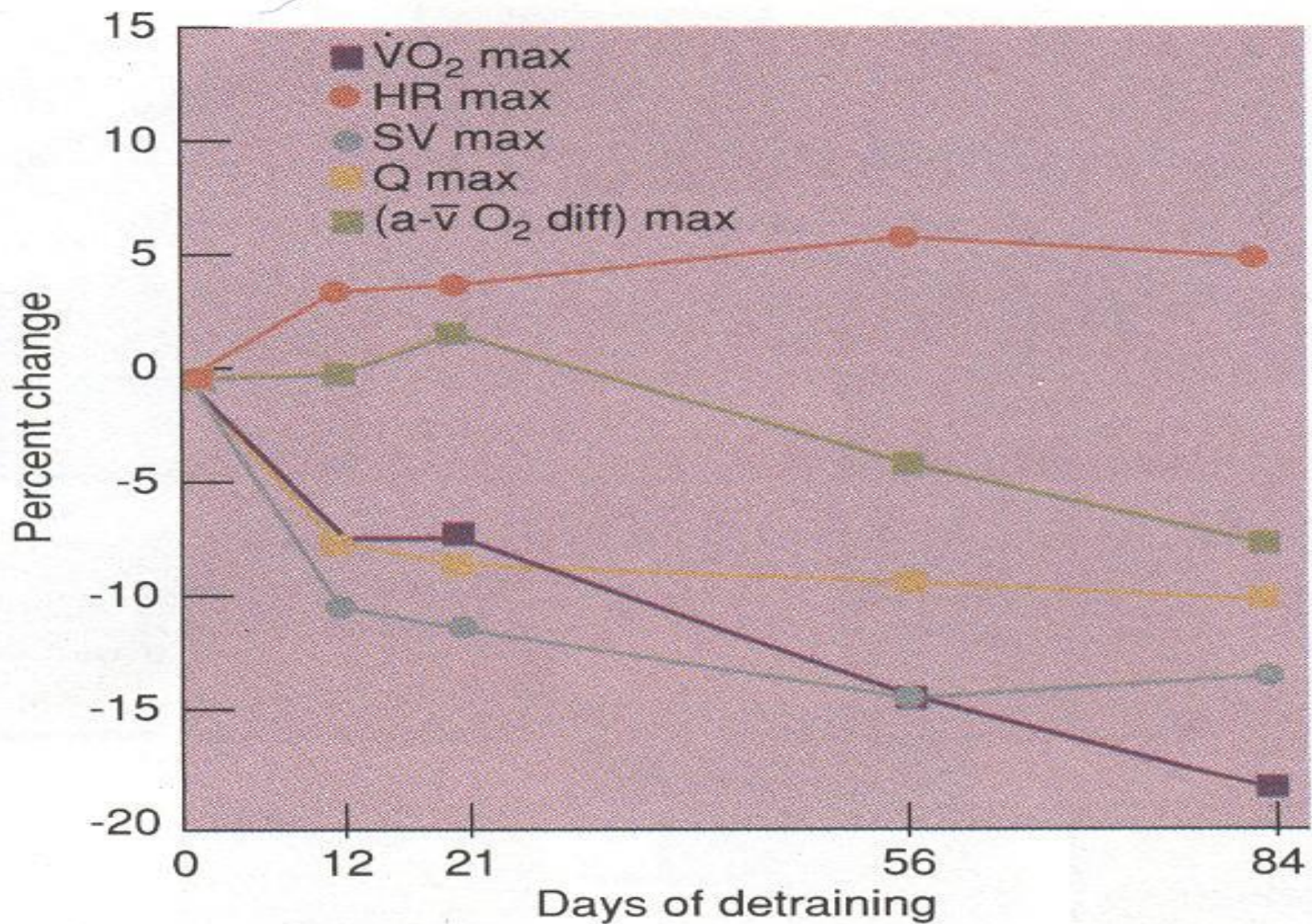


Figure 13.4

Time course of changes in $\dot{V}O_2$ max and associated

... variables with detraining

Η Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου ($\text{VO}_{2\text{max}}$)

- Μειώνεται κατά 5-10% σε 3 εβδομάδες διακοπής της προπόνησης
- Μειώνεται κατά 50% σε 4-12 εβδομάδες διακοπής της προπόνησης
- Μειώνεται κατά 100% μέσα 10 εβδομάδες έως 8 μήνες διακοπής ανάλογα με τη χρονική διάρκεια της προηγούμενης προπόνησης.

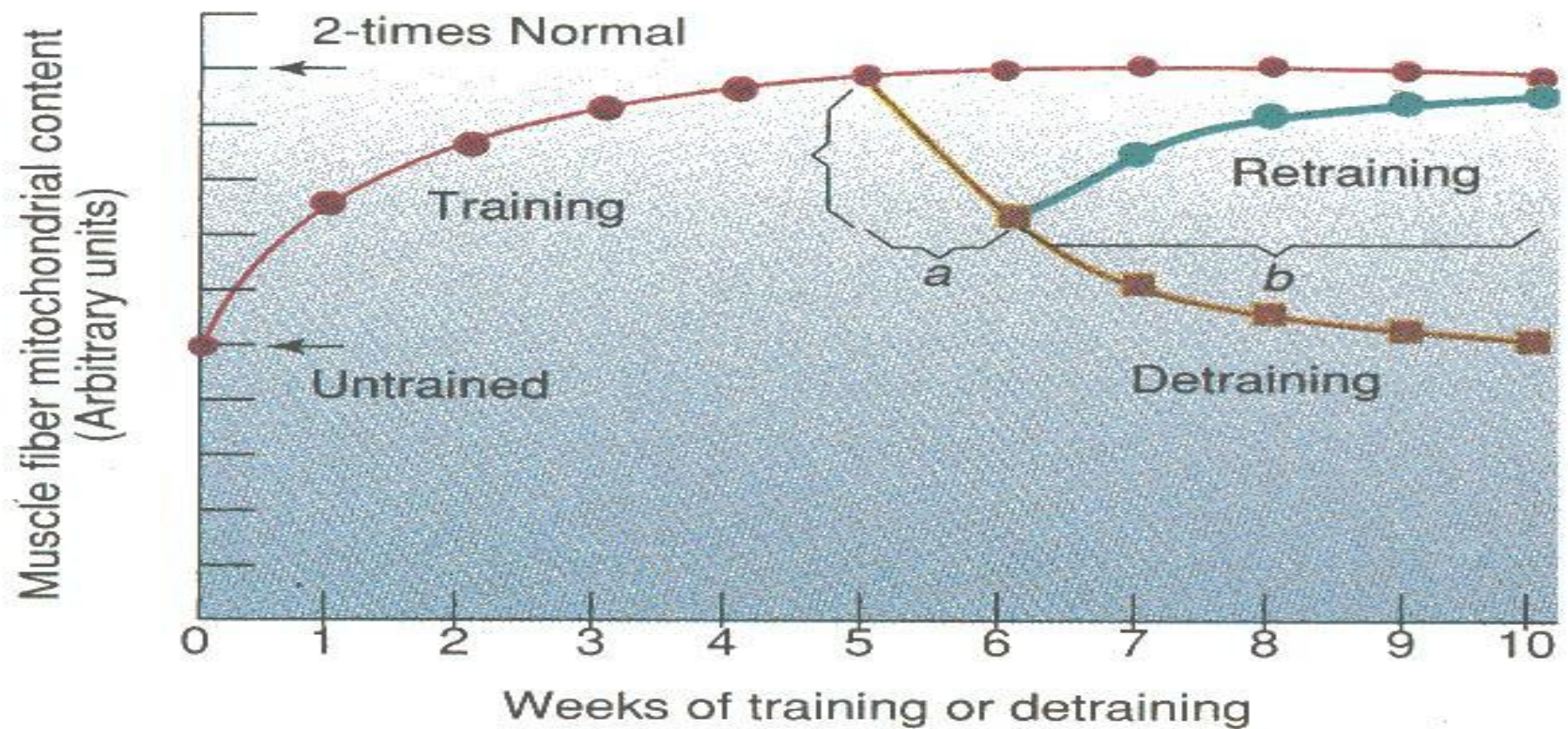


Figure 13.5

Time-course of training/detraining adaptations in mitochondrial content of skeletal muscle. Note that about 50 percent of the increase in mitochondrial content was lost after one week of detraining (a) and that all of the adaptation was lost after five weeks of detraining. Also, it took four weeks of retraining (b) to regain the adaptation lost in the first week of detraining.

Η Μέγιστη Μυϊκή Δύναμη

- Διατηρείται για 12 εβδομάδες όταν η προπόνηση συνεχίζεται με μία προπονητική μονάδα ανά εβδομάδα ή ανά 2-4 εβδομάδες.
- Διατηρείται για 4-32 εβδομάδες στους νέους και για 5-27 εβδομάδες στους ηλικιωμένους.