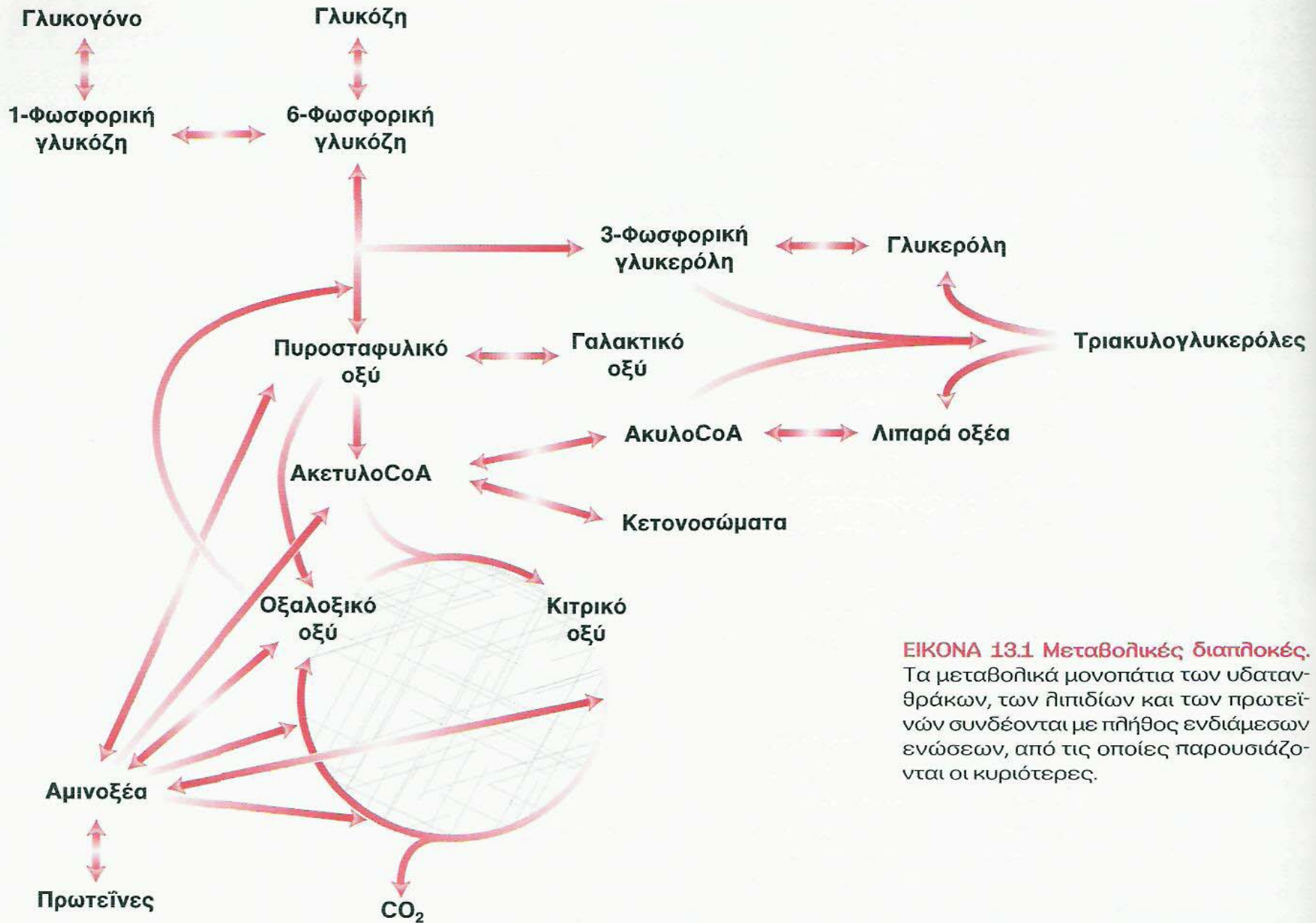


ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ

**ΦΑΤΟΥΡΟΣ Γ. ΙΩΑΝΝΗΣ, Ph.D.
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.**

Ολοκλήρωση του μεταβολισμού κατά την άσκηση



ΕΙΚΟΝΑ 13.1 Μεταβολικές διαπλοκές. Τα μεταβολικά μονοπάτια των υδατανθράκων, των λιπιδίων και των πρωτεϊνών συνδέονται με πλήθος ενδιάμεσων ενώσεων, από τις οποίες παρουσιάζονται οι κυριότερες.

με ενδιάμεση ένωση την 2-μεσοεσοξικό μάλισσεόλη, που απαιτείται για μια

ΤΑ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ

A. ΦΩΣΦΑΓΟΝΑ

1. Υδρόλυση ATP
2. Διάσπαση φωσφοκρεατίνης

B. Υδατάνθρακες

1. Σύνθεση γλυκογόνου
2. Διάσπαση γλυκογόνου
3. Γαλακτική γλυκόλυση
4. Αερόβια γλυκόλυση
5. Γλουκονεογένεση
6. Κύκλος των Cori

Γ. Λίπη

1. Σύνθεση τριγλυκεριδίων
2. Διάσπαση τριγλυκεριδίων
3. Β-οξειδωση λιπαρών οξέων
4. Σύνθεση κετονών
5. Γλουκονεογένεση από γλυκερόλη

B. Πρωτεΐνες

1. Σύνθεση πρωτεϊνών
2. Διάσπαση πρωτεϊνών
(απαμίνωση-τρανσαμίνωση)
1. Γλουκονεογένεση
2. Σύνθεση κετονών
3. Κύκλος της ουρίας
4. Κύκλος αλανίνης - γλυκόζης

Ενεργειακά συστήματα

1. Το σύστημα ATP και CP

- Η ενέργεια αυτού του συστήματος είναι μικρή αλλά η ισχύς του μεγάλη.
- Το σύστημα υπερیشύει σε μέγιστες προσπάθειες διάρκειας μέχρι 7 s.

2. Το σύστημα γαλακτικού οξέος

- Η ενέργεια και η ισχύς αυτού του συστήματος είναι μέτρια.
- Το σύστημα υπερیشύει σε μέγιστες προσπάθειες διάρκειας από 7 s μέχρι 1 min.

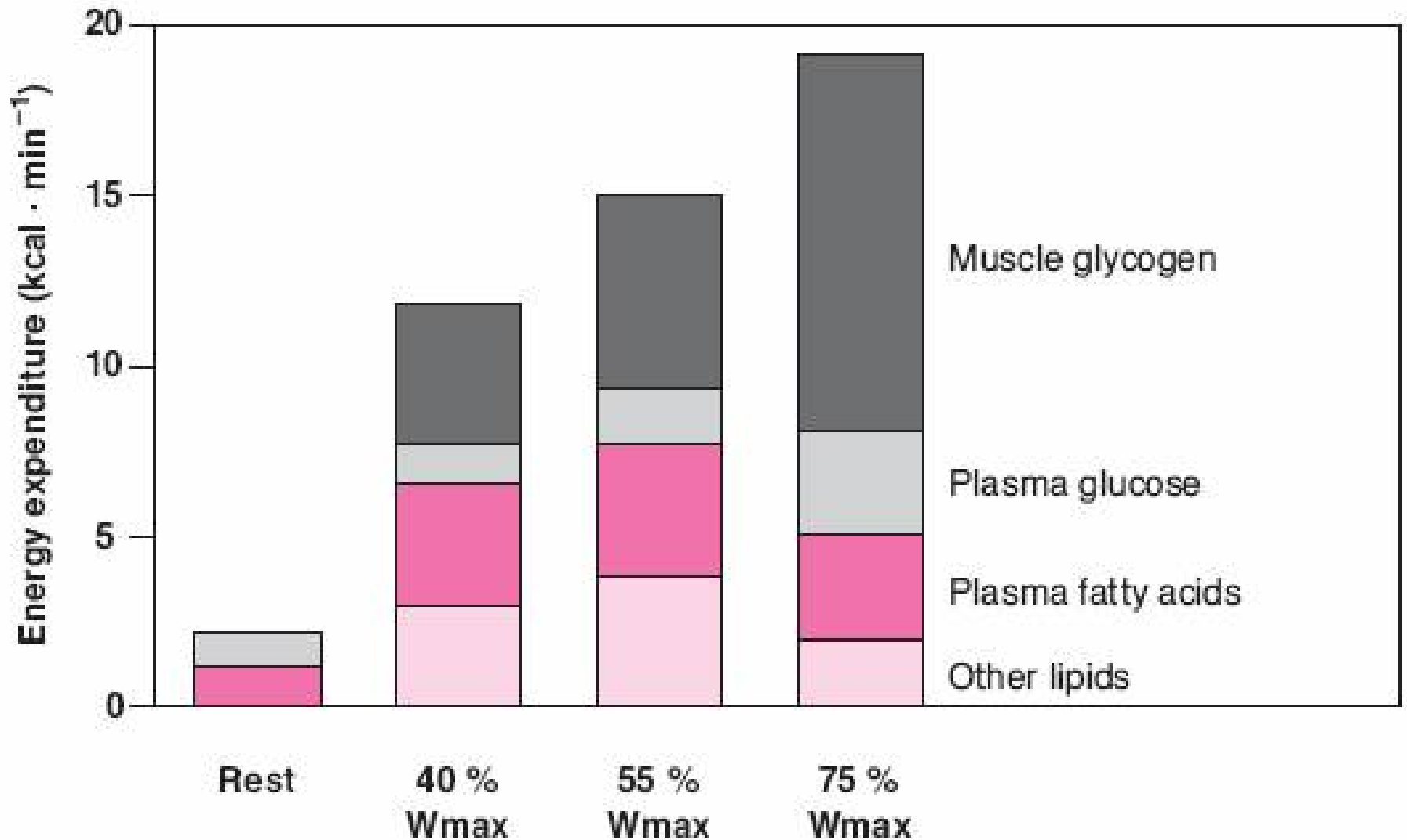
3. Το σύστημα οξυγόνου ή το αερόβιο σύστημα

- Η ενέργεια αυτού του συστήματος είναι μεγάλη αλλά η ισχύς του μικρή.
- Το σύστημα υπερیشύει σε προσπάθειες διάρκειας μεγαλύτερης από 1 min, ανεξάρτητα από την ένταση.

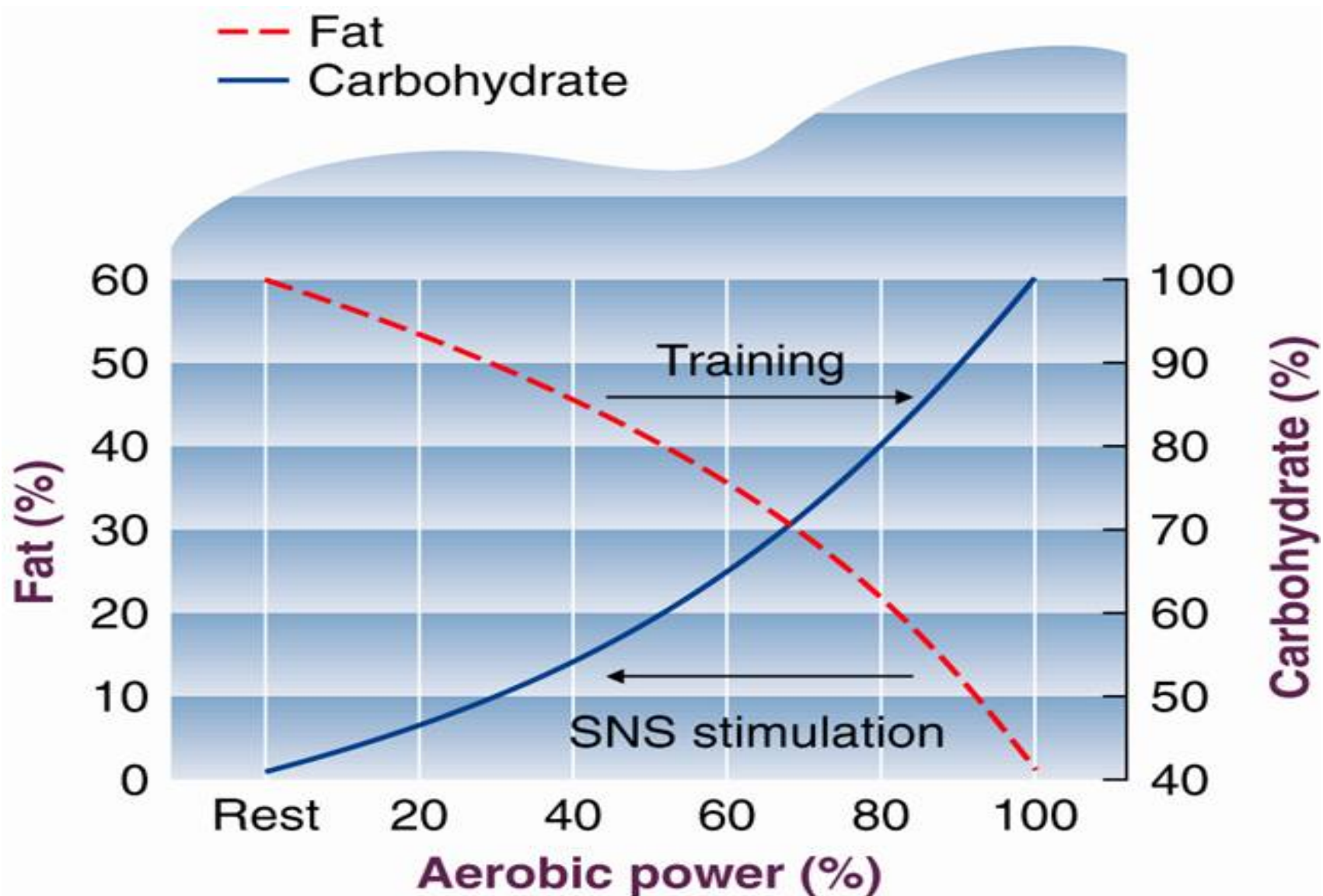
Επιλογή πηγών ενέργειας κατά την άσκηση

1. Η ένταση της άσκησης
 2. Η διάρκεια της άσκησης
 3. Το πρόγραμμα της άσκησης
 4. Η κληρονομικότητα
 5. Η διατροφή του ασκούμενου
 6. Η προπονητική κατάσταση του ασκούμενου
 7. Η ηλικία του ασκούμενου
- Ίσως να επηρεάζουν ακόμη το φύλο και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος

Επίδραση της έντασης της άσκησης στην επιλογή των πηγών ενέργειας

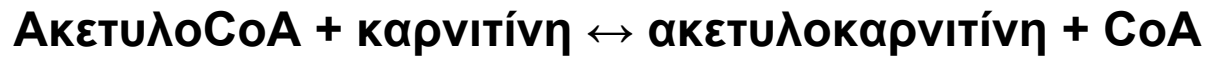


Η συμμετοχή των λιπιδίων μειώνεται όσο αυξάνεται η ένταση της άσκησης

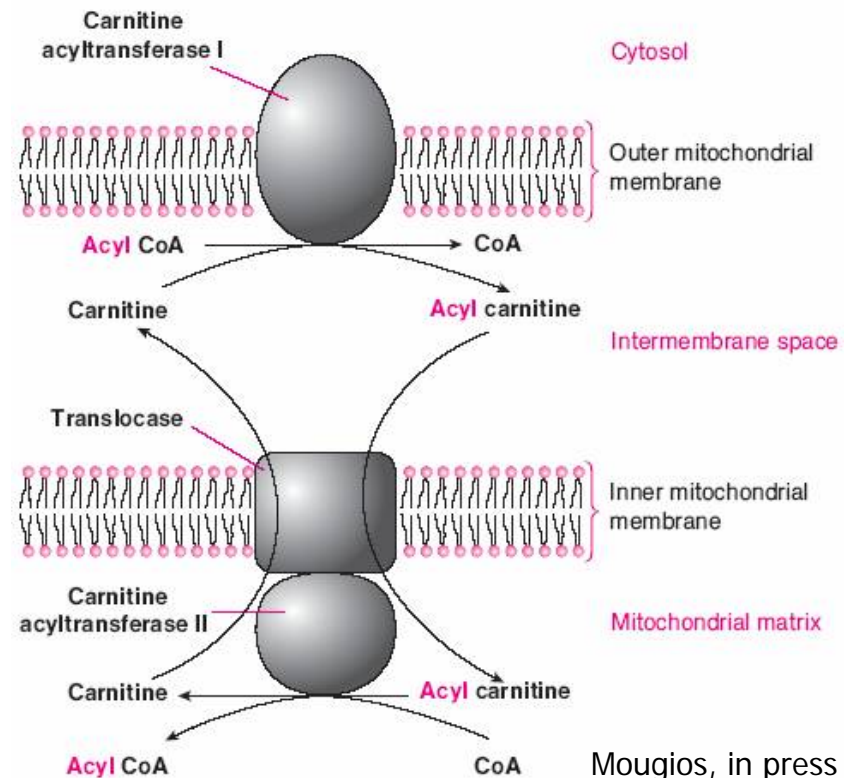


Αιτίες μείωσης της συμμετοχής των λιπιδίων με αύξηση της έντασης της άσκησης

Η πιθανότερη αιτία είναι η μείωση της διαθέσιμης καρνιτίνης για την είσοδο των λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια. Η μείωση αυτή οφείλεται στη δέσμευση της καρνιτίνης από το ακετυλοσυνένζυμο Α σύμφωνα με την αντίδραση:



Η αντίδραση αυτή είναι μια παραλλαγή της αντίδρασης μετατροπής του ΑκυλοCoA σε ακυλοκαρνιτίνη

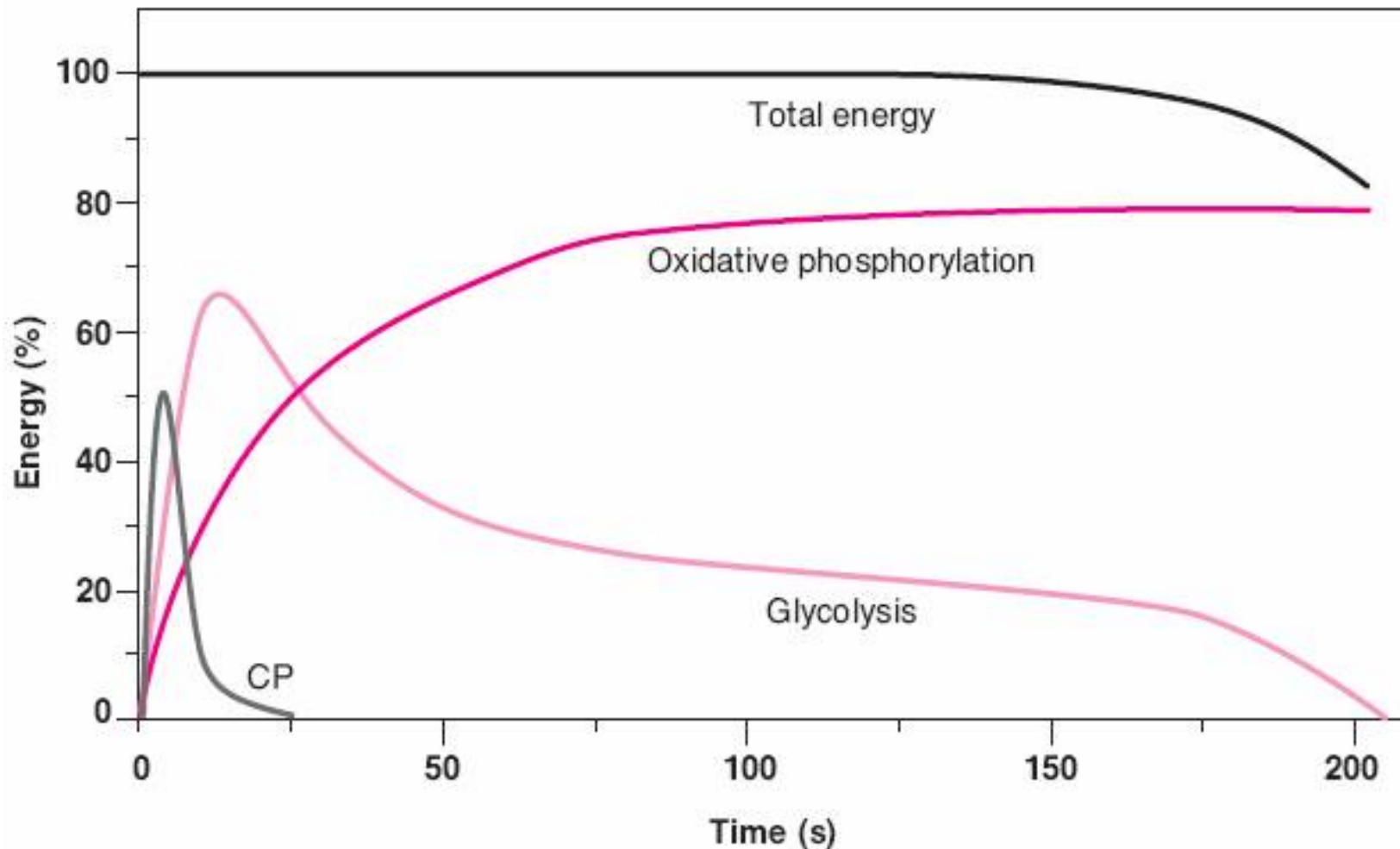


Αιτίες μείωσης της συμμετοχής των λιπιδίων με αύξηση της έντασης της άσκησης

1. Η αύξηση της συγκέντρωσης του ακετυλοσυνενζύμου A κατά την άσκηση ωθεί την αντίδραση **ΑκετυλοCoA + καρνιτίνη** \leftrightarrow **ακετυλοκαρνιτίνη + CoA** προς τα δεξιά μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωση της καρνιτίνης και τη δυνατότητα σύνθεσης ακυλοκαρνιτίνης. Αποτέλεσμα είναι η μείωση της ταχύτητας εισόδου των λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια και επομένως της ταχύτητας οξειδωσής τους.
2. Αναστολή της ακυλοτρανσφεράσης της καρνιτίνης από τη μείωση του pH στο σαρκόπλασμα κατά την έντονη άσκηση.
3. Η αντίδραση **ΑκετυλοCoA + καρνιτίνη** \leftrightarrow **ακετυλοκαρνιτίνη + CoA** συμβάλλει στη μείωση της αναλογίας $[ΑκετυλοCoA]/[CoA]$ και στην άρση της αναστολής της αφυδρογονάσης του πυροσταφυλικού οξέος (το ένζυμο που καταλύει τη μετατροπή του πυροσταφυλικού οξέος σε ακετυλοσυνένζυμο A), επιταχύνοντας την οξειδωση των υδατανθράκων.

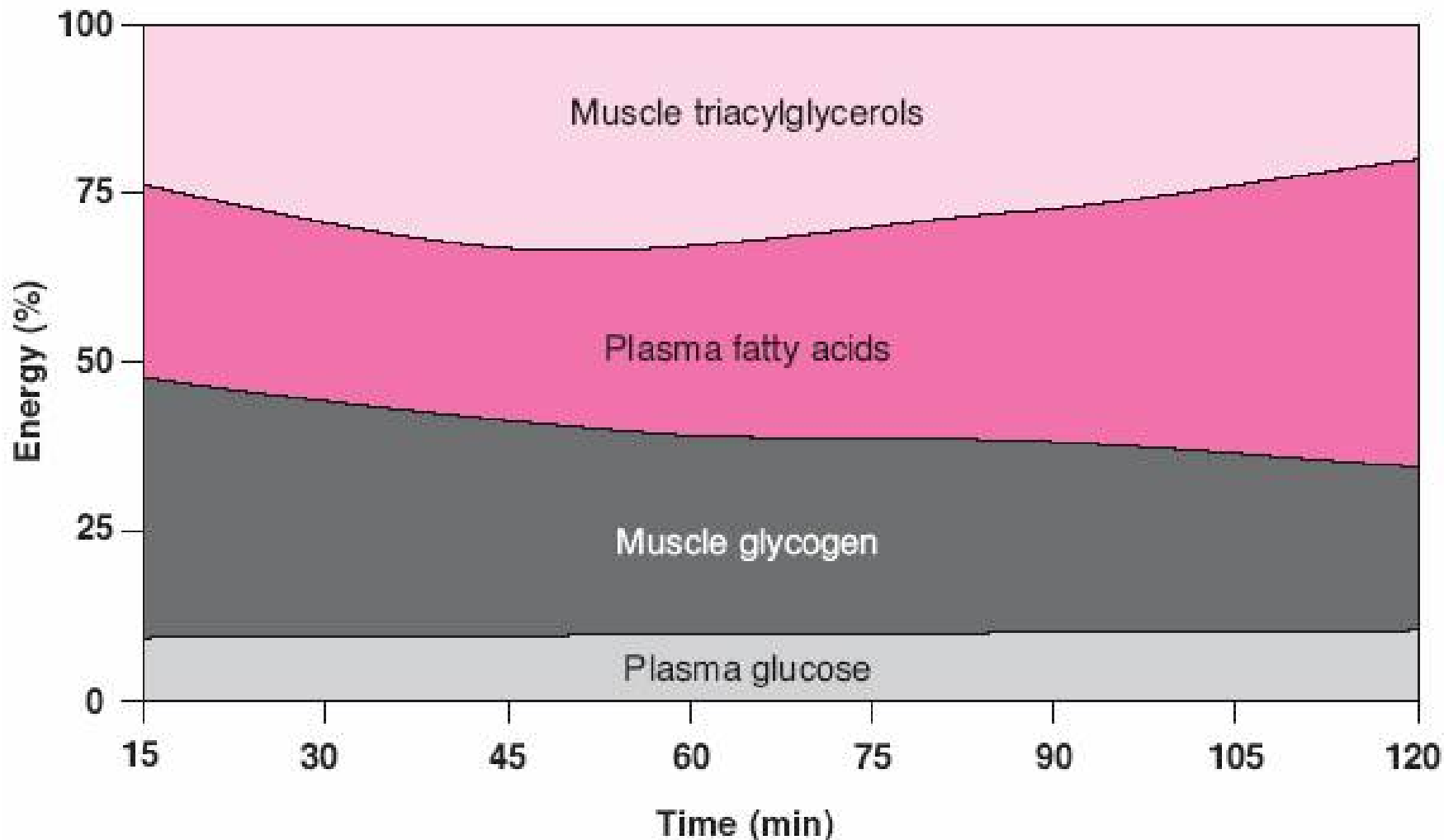
Επίδραση της διάρκειας της άσκησης στην επιλογή των πηγών ενέργειας

Αναλογία πηγών ενέργειας σε μέγιστη άσκηση



Επίδραση της διάρκειας της άσκησης στην επιλογή των πηγών ενέργειας

Αναλογία πηγών ενέργειας σε μέτρια άσκηση



Πηγές ενέργειας σε αγωνίσματα δρόμου

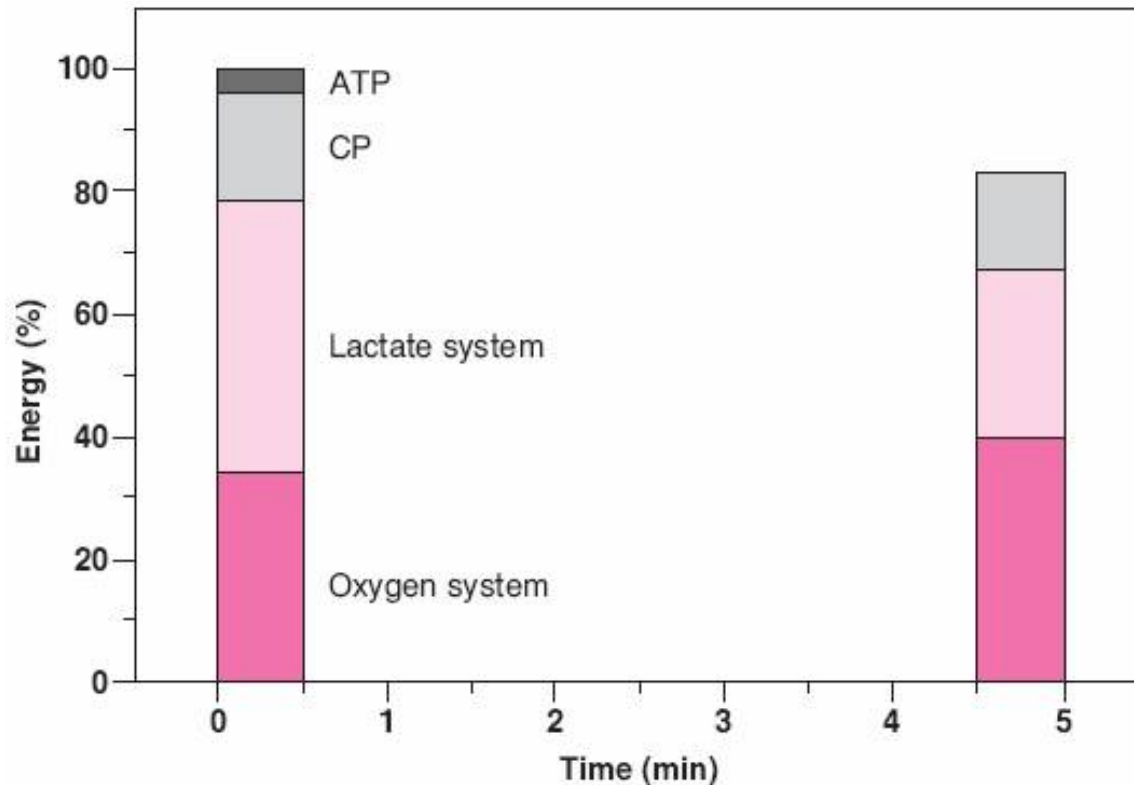
Απόσταση (m)	Χρόνος (s)	Ταχύτητα (m · s ⁻¹)	Συνεισφορά των ενεργειακών συστημάτων (%)		
			ΑΤΡ-CP	Γαλακτικό	Οξυγόνο
100	9.77	10.24	39	56	5
200	19.32	10.35	30	55	15
400	43.18	9.26	17	48	35
800	101.11	7.91	9	33	58
1,500	206	7.28	4	20	76
5,000	759.36	6.58	1	6	93
10,000	1,582.75	6.32	1	3	96
42,195	7,538	5.60	0	1	99

Πηγές ενέργειας σε αγωνίσματα κολύμβησης (ελεύθερο)

Απόσταση (m)	Χρόνος (s)	Ταχύτητα (m · s ⁻¹)	Συνεισφορά των ενεργειακών συστημάτων(%)		
			ATP-CP	Γαλακτικό	Οξυγόνο
50	21.64	2.31	28	55	17
100	47.84	2.09	16	46	38
200	104.06	1.92	9	33	58
400	220.17	1.82	4	18	78
800	459.16	1.74	2	9	89
1,500	874.56	1.72	1	5	94

Επίδραση του προγράμματος της άσκησης στην επιλογή των πηγών ενέργειας

Ποια είναι η αναλογία των πηγών ενέργειας σε αθλητικές δραστηριότητες διαλλειματικής φύσης;



Ενεργειακές πηγές κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων συνεδριών μέγιστης άσκησης διάρκειας 30 s

Επίδραση της κληρονομικότητας στην επιλογή των πηγών ενέργειας κατά την άσκηση

Η κληρονομικότητα επηρεάζει την επιλογή των πηγών ενέργειας κατά την άσκηση κυρίως μέσω του καθορισμού της αναλογίας των τύπων των μυϊκών ινών

- Οι ανθρώπινοι μύες περιέχουν ένα μείγμα των τριών τύπων μυϊκών ινών (σε αναλογίες που διαφέρουν από μμ σε μμ) και μάλιστα τον ένα τύπο διάσπαρτο μέσα στον άλλο.
- Σε κατάσταση ηρεμίας και κατά τη διάρκεια ελαφριάς άσκησης συστέλλονται κυρίως οι ίνες τύπου I. Καθώς ανεβαίνει η ένταση, επιστρατεύονται σταδιακά οι ίνες των τύπων IIA και IIB.
- Η αναλογία τύπων μυϊκών ινών ποικίλει πολύ από άτομο σε άτομο και καθορίζεται κατά βάση γενετικά.
- Η αναλογία τύπων μυϊκών ινών επηρεάζει το είδος του αγωνίσματος στο οποίο μπορεί να διακριθεί κάποιος.

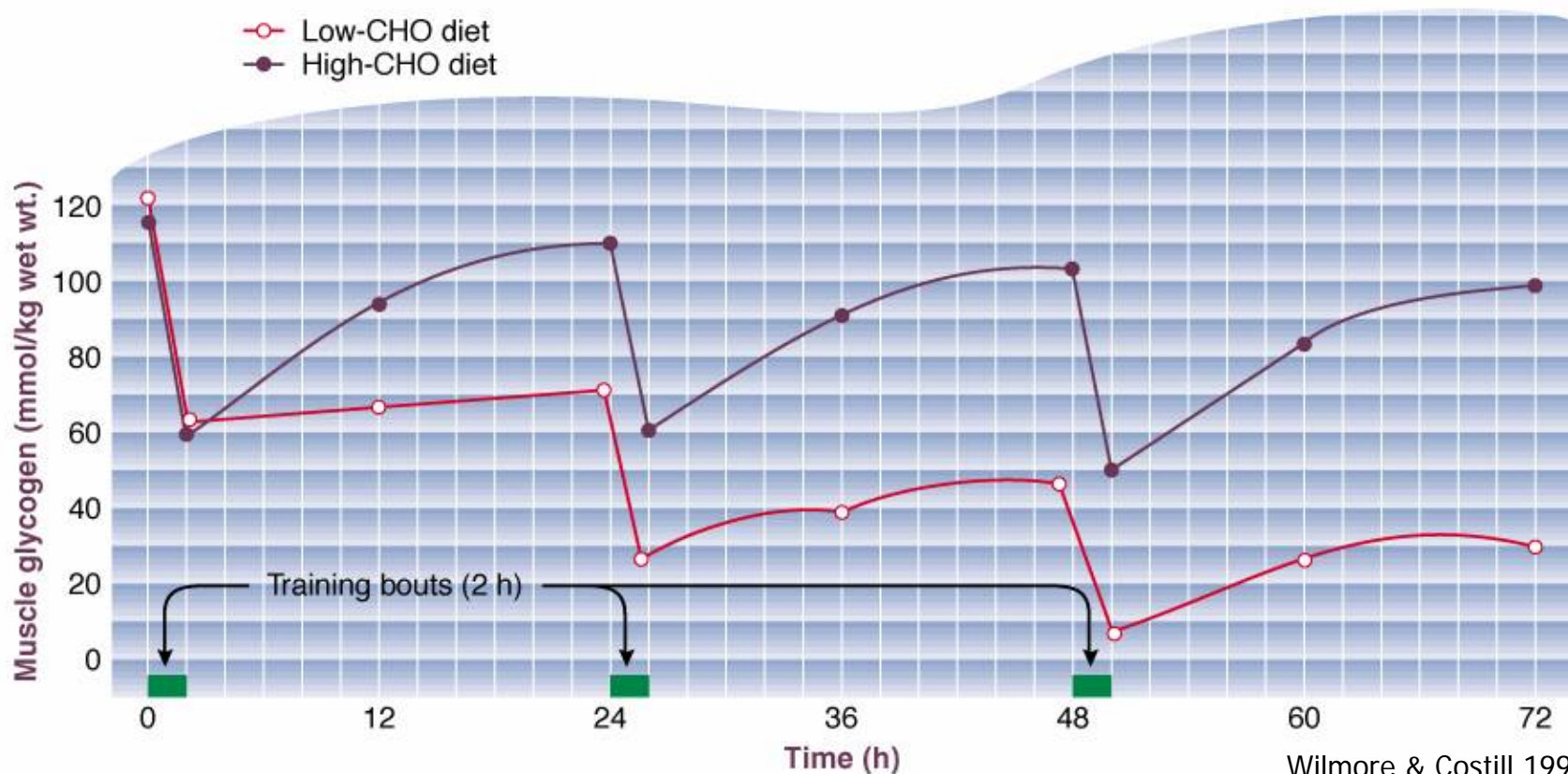
Ιδιότητες των κύριων τύπων μυϊκών ινών του ανθρώπου

Property	Muscle fiber type		
	I	IIA	IIX
ATPase activity	Low	High	High
Maximal shortening velocity	Low	Intermediate	High
Resistance to fatigue	High	Intermediate	Low
Metabolic character	Oxidative	Oxidative-glycolytic	Glycolytic
Blood supply	High	Intermediate	Low
Myoglobin concentration	High	Intermediate	Low
Mitochondrial density	High	Intermediate	Low
Oxidative enzyme activity	High	Intermediate	Low
Phosphorylase activity	Low	Intermediate	High
Glycolytic enzyme activity	Low	Intermediate	High
CP concentration	Low	High	High
Glycogen concentration	Low	High	High
Triacylglycerol concentration	High	Intermediate	Low

Επίδραση της διατροφής στην επιλογή των πηγών ενέργειας κατά την άσκηση

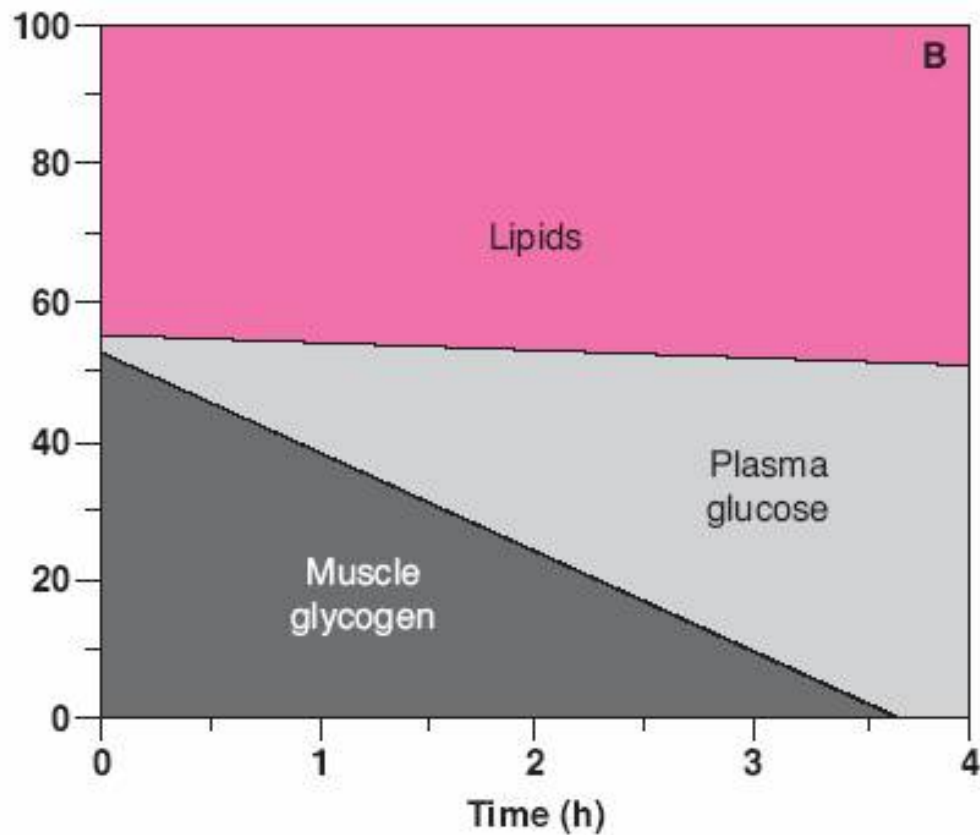
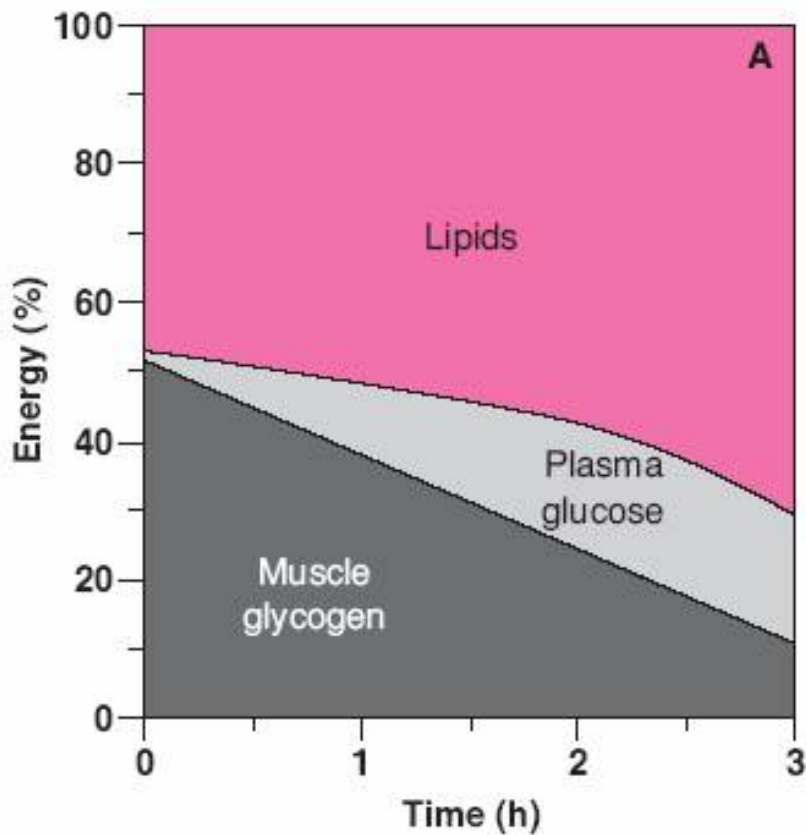
Η ποσότητα μιας πηγής ενέργειας μπορεί να μεταβληθεί με τη διατροφή και η χαρακτηριστικότερη τέτοια περίπτωση είναι των υδατανθράκων.

Χρόνια πρόσληψη υδατανθράκων

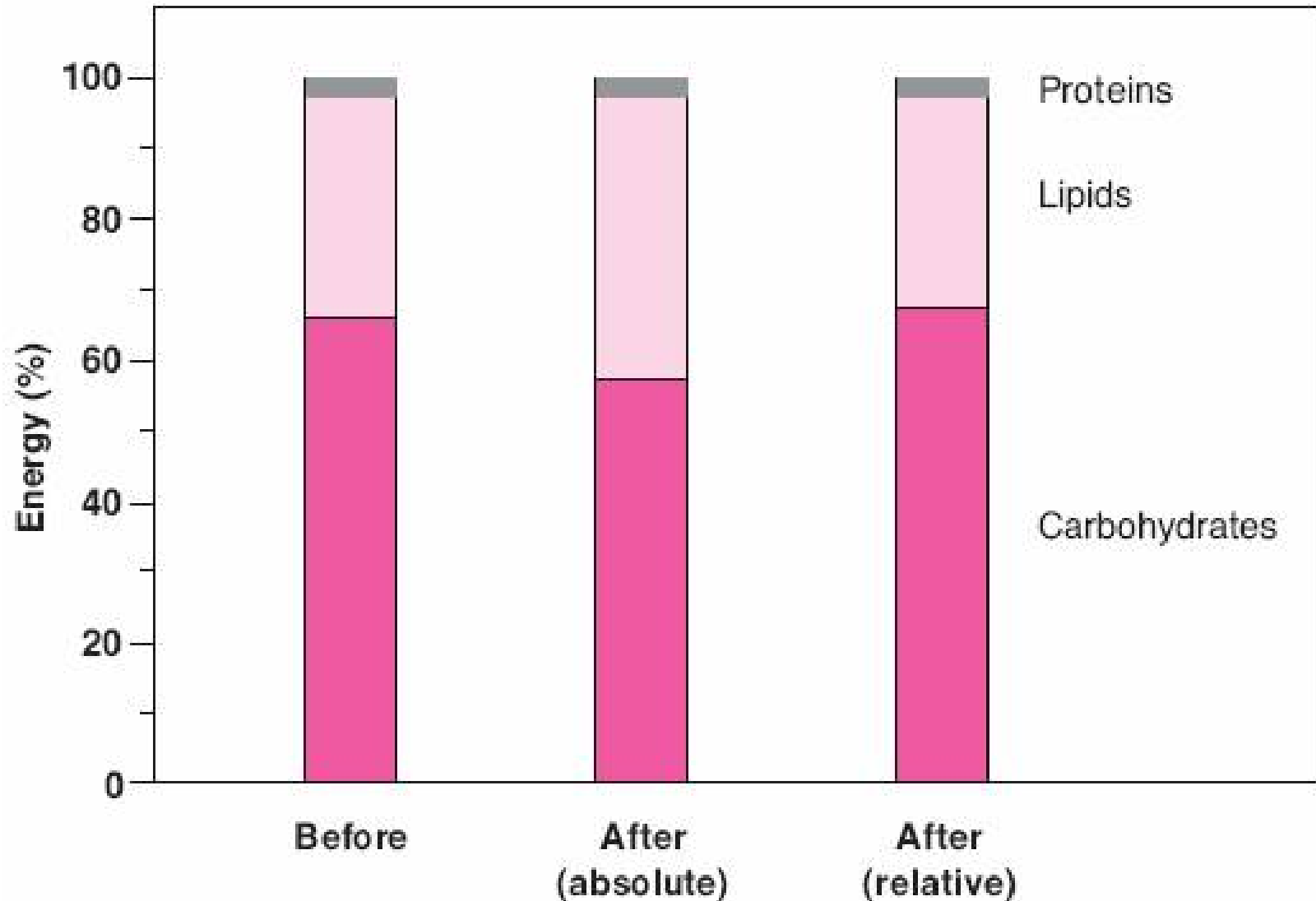


Επίδραση της διατροφής στην επιλογή των πηγών ενέργειας κατά την άσκηση

Πρόσληψη υδατανθράκων κατά τη διάρκεια της άσκησης



Επίδραση της προπόνησης αντοχής στην αναλογία πηγών ενέργειας κατά την άσκηση στο 60% της $VO_2\max$



Προσαρμογές του αναερόβιου μεταβολισμού στην αναερόβια προπόνηση

Οι επιδράσεις της αναερόβιας προπόνησης στην αναλογία των πηγών ενέργειας κατά την άσκηση δεν είναι τόσο ευδιάκριτες όσο εκείνες της αερόβιας προπόνησης.

Η **προπόνηση δύναμης** αυξάνει τη συγκέντρωση στους μύες:

- της CP
- του γλυκογόνου
- των γλυκολυτικών ενζύμων και της αφυδρογονάσης του γαλακτικού οξέος

Οι αυξήσεις αυτές είναι μάλλον αποτέλεσμα της μυϊκής υπερτροφίας των τύπων IIA και IIB, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αναλογίας αυτών των τύπων σε μια δεδομένη ποσότητα μυός.

Έτσι, η προπόνηση δύναμης αυξάνει την αναερόβια ικανότητα του μυός και μειώνει την αερόβια ικανότητά του.

Επίδραση της ηλικίας στην επιλογή των πηγών ενέργειας κατά την άσκηση

Οι περισσότερες σχετικές μελέτες έχουν βρει ότι τα παιδιά χρησιμοποιούν αναλογικά περισσότερα λιπίδια από τους ενήλικους σε παρατεταμένη άσκηση δεδομένης απόλυτης ή σχετικής μέτριας έντασης.

Ως αιτίες αυτής της διαφοράς έχουν προταθεί:

- η μικρότερη περιεκτικότητα των παιδιών σε γλυκογόνο (περίπου στο μισό)
- η ανεπαρκής ανάπτυξη του συστήματος του γαλακτικού οξέος στα παιδιά
- η ανεπαρκής ανάπτυξη του συμπαθητικού συστήματος στα παιδιά
- η υψηλότερη δραστικότητα οξειδωτικών ενζύμων στα παιδιά

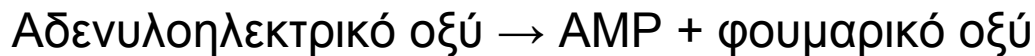
Αποκατάσταση της ενεργειακής κατάστασης μετά την άσκηση

Αναπλήρωση ATP

Το μυϊκό ATP ανασυντίθεται στα μιτοχόνδρια από ADP μέσω της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης η οποία τροφοδοτείται από την καύση υδατανθράκων και λιπιδίων. Υπάρχει δυνατότητα μετατροπής του ADP που είχε μετατραπεί σε AMP να ξαναδώσει ADP:



Υπάρχει επίσης δυνατότητα ανασύνθεσης του AMP από το IMP, μέσω του κύκλου των νουκλεοτιδίων πουρίνης:



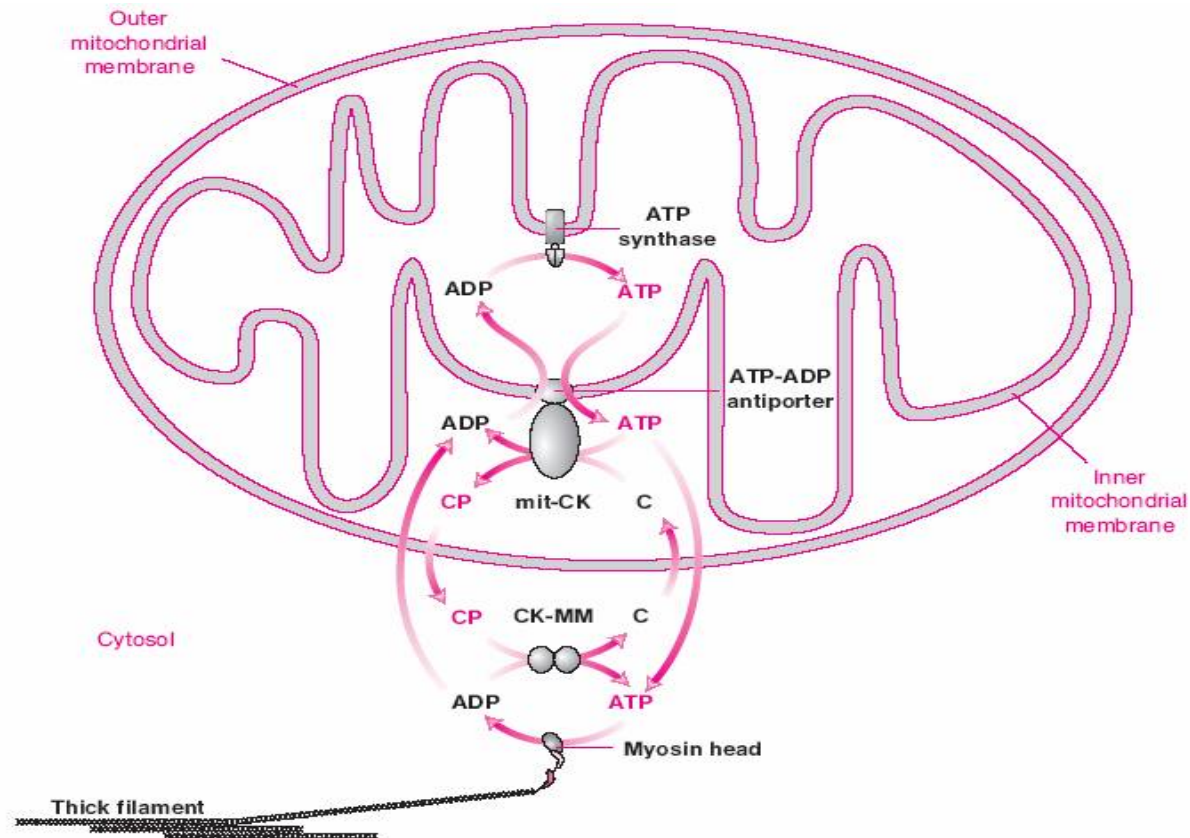
Αποκατάσταση της ενεργειακής κατάστασης μετά την άσκηση

Αναπλήρωση CP

Η CP αναπληρώνεται με την επαναφωσφορίωση της κρεατίνης από το ATP:



Ο χρόνος αναπλήρωσης
της CP είναι 3 – 10 min



Αποκατάσταση της ενεργειακής κατάστασης μετά την άσκηση

Αναπλήρωση γλυκογόνου

Η αναπλήρωση των αποθεμάτων μυϊκού και ηπατικού γλυκογόνου απαιτεί την παρουσία επαρκούς πρώτης ύλης (γλυκόζη), που εξασφαλίζεται από την πρόσληψη υδατανθράκων.

Διακοπή της άσκησης



Μείωση της έκκρισης επινεφρίνης και γλυκαγόνης



Μείωση του καταρράκτη του cAMP

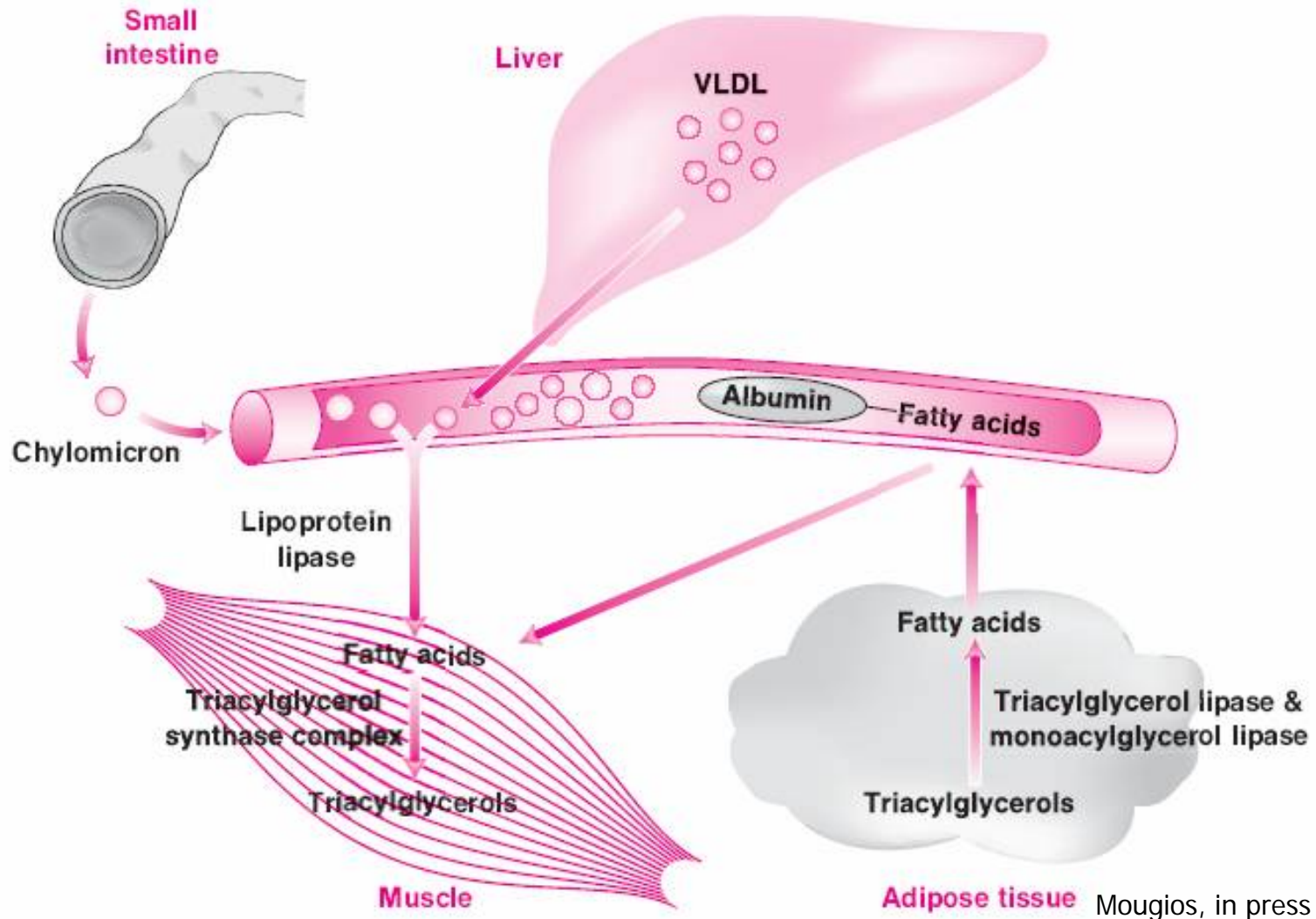


Μείωση της γλυκογονόλυσης και επιτάχυνση της γλυκογονοσύνθεσης

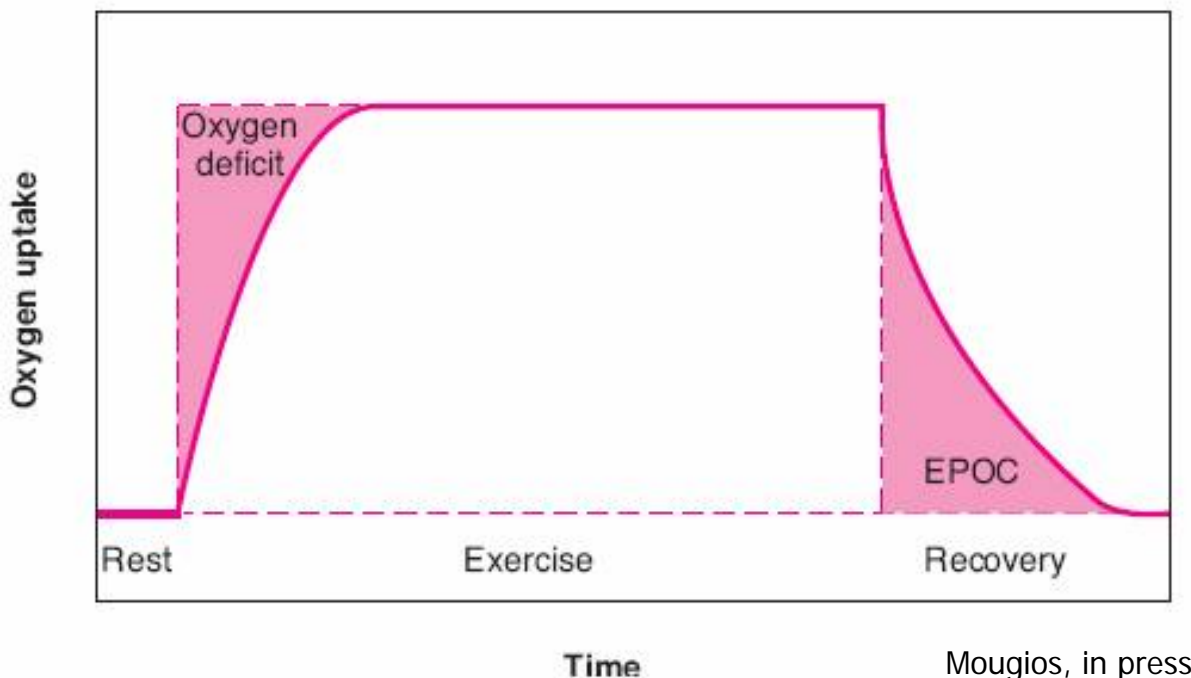
Διάρκεια αναπλήρωσης του μυϊκού και ηπατικού γλυκογόνου με επαρκή πρόσληψη υδατανθράκων περίπου 24 h

Αποκατάσταση της ενεργειακής κατάστασης μετά την άσκηση

Αναπλήρωση μυοκυτταρικών τριακυλογλυκερολών



Η πρόσθετη κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση



Η πρόσθετη κατανάλωση οξυγόνου μετά την άσκηση χρειάζεται για:

- Τον ανεφοδιασμό με οξυγόνο όσων μορίων μυοσφαιρίνης το πρόσφεραν για την αερόβια παραγωγή ενέργειας.
- Την οξείδωση καυσίμων (κυρίως λιπαρών οξέων) στους μύες για την ανασύνθεση του ATP που χρειάζεται για την ανασύνθεση της CP και του γλυκογόνου.
- Η συγκέντρωση των κατεχολαμινών και η θερμοκρασία του σώματος αυξάνονται κατά τη διάρκεια της άσκησης και παραμένουν υψηλές για κάποια ώρα κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης. Και οι δύο αυξάνουν την κατανάλωση οξυγόνου.

ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΟ – ΤΕΛΟΣ Α' ΗΜΙΧΡΟΝΟΥ

A. ΦΩΣΦΑΓΟΝΑ

1. Υδρόλυση ATP
2. Διάσπαση φωσφοκρεατίνης

B. Υδατάνθρακες

1. Σύνθεση γλυκογόνου
2. Διάσπαση γλυκογόνου
3. Γαλακτική γλυκόλυση
4. Αερόβια γλυκόλυση
5. Γλουκονεογένεση
6. Κύκλος των Cori

Γ. Λίπη

1. Σύνθεση τριγλυκεριδίων
2. Διάσπαση τριγλυκεριδίων
3. Β-οξειδωση λιπαρών οξέων
4. Σύνθεση κετονών
5. Γλουκονεογένεση από γλυκερόλη

B. Πρωτεΐνες

1. Σύνθεση πρωτεϊνών
2. Διάσπαση πρωτεϊνών
(απαμίνωση-τρανσαμίνωση)
1. Γλουκονεογένεση
2. Σύνθεση κετονών
3. Κύκλος της ουρίας
4. Κύκλος αλανίνης - γλυκόζης

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. ATP-PC
2. ΓΑΛΑΚΤΙΚΗ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ
3. ΟΞΥΓΟΝΟΥ

1. ΣΥΝΘΗΚΕΣ

1. Η ένταση της άσκησης
2. Η διάρκεια της άσκησης
3. Το πρόγραμμα της άσκησης
4. Η κληρονομικότητα
5. Η διατροφή του ασκούμενου
6. Η προπονητική κατάσταση του ασκούμενου
7. Η ηλικία του ασκούμενου

1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΓΩΝΙΣΜΑΤΟΣ
2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΟΝΟΠΑΤΙΩΝ