

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΛΙΠΩΝ

Θέματα Διάλεξης

- Δομή και ρόλος των λιπών στην άσκηση
- Διαδικασία διάσπασης των ελεύθερων λιπαρών οξέων κατά την άσκηση
- Ενεργειακή απόδοση της διάσπασης των λιπαρών οξέων
- Ο ρόλος των υδατανθράκων στη διάσπαση των λιπών

Λίπη

- Μόρια τα οποία αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο (CHO). Η αναλογία οξυγόνου είναι μικρότερη.
- Φυτική και ζωική προέλευση.

Ταξινόμηση λιπών

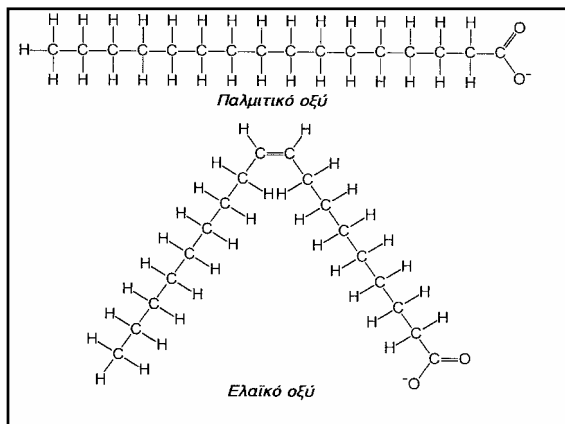
- Τριακυλογλυκερόλες ή τριγλυκερίδια
- Φωσφολιπίδια
- Στεροειδή
- Κηροί

Τριακυλογλυκερόλες ή τριγλυκερίδια

- Εστέρας γλυκερόλης με λιπαρά οξέα.
- Υδρόφοβα μόρια
- Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα
- Διάσπαση των τριακυλογλυκερών από λιπάσες του πεπτικού σωλήνα σε γλυκερόλη και λιπαρά οξέα.
- Τα λιπαρά οξέα χαρακτηρίζουν τις τριακυλογλυκερόλες.

Λιπαρά οξέα

- Μόρια τα οποία συνήθως αποτελούνται από μία μακριά αλυσίδα υδρογονάνθρακα (υδρόφοβη) και μία καρβοξυλομάδα στην άκρη (υδρόφιλη).
- Ο αμφιφιλικός χαρακτήρας τα κάνει έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται για την δημιουργία της κυτταροπλασματικής μεμβράνης.



Πίνακας 10-1. Τα πιο συνηθισμένα λιπαρά οξέα στα ζώα

Όνομασία	Άτομα άνθρακα	Διπλοί δεσμοί	Θέση διπλών δεσμών*
Λαυρικό	12	0	
Μυριστικό	14	0	
Παλμιτικό	16	0	
Παλμιτελαϊκό	16	1	9
Στεατικό	18	0	
Ελαιικό	18	1	9
Λινελαϊκό	18	2	9, 12
Λινελανικό	18	3	9, 12, 15
Αραχιδονικό	20	4	5, 8, 11, 14

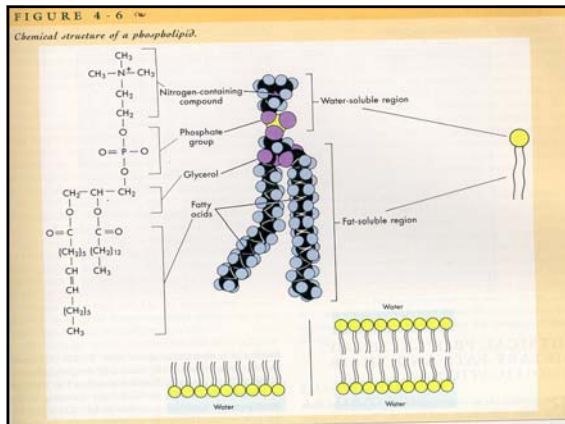
* Οι αριθμοί δείχνουν τον άνθρακα, μετά τον οποίο υπάρχει διπλός δεσμός. Η αρίθμηση αρχίζει από τον καρβοξυλικό άνθρακα.

- ### Λιπαρά οξέα
- Κορεσμένα
 - Παλμιτικό (16 C)
 - Στεατικό (18 C)
 - Μονοακόρεστα
 - Ελαιικό (70% στο ελαιόλαδο)
 - Πολυακόρεστα
 - Λινελαϊκό (18:2, cis- $\Delta^{9,12}$)
 - Λινολενικό (18:3, cis- $\Delta^{9,12,15}$)
 - Αραχιδονικό (20:4, cis- $\Delta^{5,8,11,14}$)

- ### Λιπαρά οξέα
- Απαραίτητα λιπαρά οξέα (λινελαϊκό, λινολενικό, αραχιδονικό)
 - Μειωμένη ανάπτυξη
 - Ξηροδερμία
 - Απολέπιση δέρματος
 - Μειωμένη αναπαραγωγική ικανότητα, αξιοποίηση Ε, ανθεκτικότητα
 - Ρύθμιση μεταβολισμού χοληστερόλης
 - Ακεραιότητα Κ.Μ.
 - 1-2% ημερήσιας ενέργειας

- ### Λιπαρά οξέα
- Σημείο τήξης
 - Υδρόφοβα
 - Λιποδιαλυτές βιταμίνες

- ### Φωσφολιπίδια
- Λιπίδια τα οποία περιέχουν γλυκερόλη, λιπαρά οξέα, μία φωσφορική ομάδα ενωμένη με μία αλκοόλη.
 - Λεκθίνη (χολίνη).
 - Αμφιφιλικό χαρακτήρα (συστατικά Κ.Μ.).



Στεροειδή

- Παράγωγα της χοληστερόλης.
- Αμφιφιλικός χαρακτήρας (Κ.Μ.).
- Υπάρχουν και φυτικής προέλευσης (εργοστερόλη).
- Νευρικό σύστημα, χολικά οξέα, ορμόνες.
- Προβιταμίνη D.

Χρησιμότητες των λιπών

- Σωστή σύνθεση των κυττάρων (Κ.Μ.-ορμόνες-βιταμίνες)
- Ενέργεια (9 kcal/γραμ. λίπους)
- Προστασία ζωτικών οργάνων
- Απόθεμα ενέργειας
- Γεύση
- Πείνα
- Θερμορύθμιση

Μεταβολισμός Γλυκερόλης

- Διάσπαση των TG του λιπώδους ιστού σε γλυκερόλη + ΕΛΟ με την λιπάση (κυτταρόπλασμα)
- Μετατροπή της γλυκερόλης σε φωσφορική διϋδροξυακετόνη-Φ.Δ. (ενδιάμεσο γλυκόλυσης)
- Η Φ.Δ. συνεχίζει στο γλυκολυτικό μονοπάτι
- Η διάσπαση των TG επηρεάζεται από ορμόνες (E, GLCN, I)

Καταβολισμός Λιπαρών Οξέων

- 3 στάδια
- Ενεργοποίηση
- Μεταφορά στο εσωτερικό του μιτοχονδρίου
- β-οξείδωση

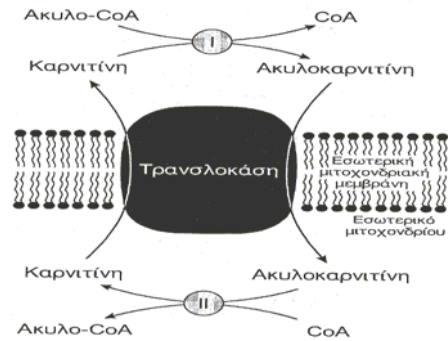
Ενεργοποίηση

- Συμβαίνει στην εξωτερική μιτοχονδριακή μεμβράνη
- Λ.Ο. + CoA + ATP* = AcylCoA + AMP + PPi
- * 2 ATP

Μεταφορά

- Η μεταφορά στο εσωτερικό των μιτοχονδρίων πραγματοποιείται διαμέσου της καρνιτίνης και του ενζύμου της τρανσλοκάσης.

Συμβολή της καρνιτίνης στη Μεταφορά AcylCoA



β-Οξειδωση

- Εσωτερικό του μιτοχονδρίου
- Διάσπαση του Λ.Ο. με απόσπαση μορίων AcylCoA (2 άτομα C την φορά). Παράλληλα δημιουργείται και ένα NADH και ένα FADH₂.
- Διοχέτευση AcylCoA, NADH, FADH₂ στον κύκλο του Κρεβ's, αναπνευστική αλυσίδα και οξειδωτική φωσφορυλίωση.
- Μεγάλη παραγωγή ATP.

β-Οξειδωση

Ενεργειακή Απόδοση του Καταβολισμού των Λ.Ο.

- Για ένα μόριο π.χ. παλμιτικού οξέος (16 άτομα C) έχουμε παραγωγή 7 NADH, 7 FADH₂ και 8 AcylCoA.
- 7 NADH X 3 ATP = 21
- 7 FADH₂ X 2 ATP = 14
- 8 AcylCoA X 12 ATP = 96
- Σύνολο = 131
- Ενεργοποίηση = - 2
- Τελικό σύνολο = 129

Τα λίπη καίγονται με φωτιά από υδατάνθρακες

- Η διάσπαση των Λ.Ο. μέσω του κύκλου του Κρεβ's γίνεται μόνο όταν υπάρχουν αρκετά μόρια οξαλοξικού οξέος για να ενωθούν με το AcylCoA και να παραχθεί ATP αερόβια.
- Το οξαλοξικό οξύ παρέχεται από τη διάσπαση των CHO και όταν πέφτουν τα επίπεδα του, τότε μειώνεται και η χρησιμοποίηση των Λ.Ο. από τους μύες κατά την διάρκεια της άσκησης.

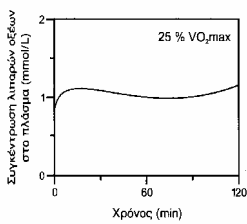
Τα λίπη καίγονται με φωτιά από υδατάνθρακες

- Μείωση της συγκέντρωσης του μυϊκού γλυκογόνου, όπως συμβαίνει στον μαραθώνιο, με την καθημερινή και σκληρή προπόνηση, την αστία, τις «κετογενικές» δίαιτες, το διαβήτη μειώνουν την διαθεσιμότητα CHO και την ικανότητα για παραγωγή E από Λ.Ο.
- Προσοχή στις κετόνες (ακετοξικό οξύ, 3-υδροξυβουτυρικό οξύ, ακετόνη)

Επιτάχυνση οξείδωσης λιπαρών οξέων κατά την άσκηση

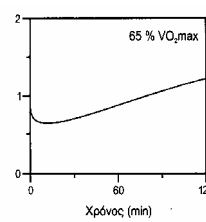
- Επιτάχυνση του κύκλου του Kreb's
- Μείωση της [NADH] (λόγω επιτάχυνσης της Α.Α.) αίρει την αναστολή της δράσης ενός ενζύμου της β-οξείδωσης (αφυδρογονάση του 3-υδροξυακυλοσυνένζυμου Α), οπότε αυξάνεται ο ρυθμός της.
- Αύξηση της [Λ.Ο.] λόγω αύξησης συγκέντρωσης ορμονών που οδηγούν στην λιπόλυση.
- Η διάσπαση γίνεται μόνο αερόβια (60-70% VO₂max).

Άσκηση και Λιπαρά οξέα



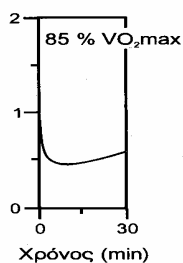
- Η αρχική αύξηση παρουσιάζεται εξαιτίας της χαμηλής ζήτησης και της αυξημένης παροχής

Άσκηση και Λιπαρά οξέα



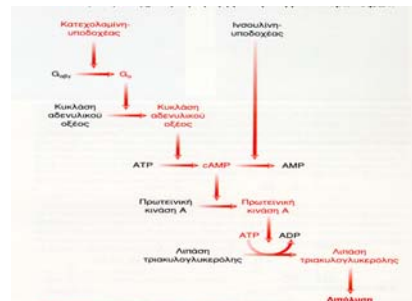
- Η αρχική κοιλιά οφείλεται στην καθυστερημένη επίδραση των ορμονών

Άσκηση και Λιπαρά οξέα



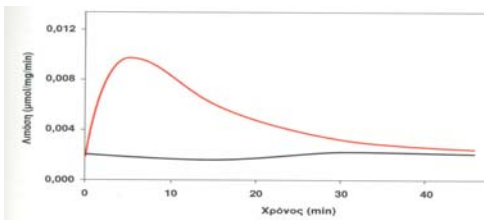
- Η μειωμένη συγκέντρωση οφείλεται στην μείωση της αμάτωσης του λιπώδους ιστού εξαιτίας της αγγειοσυστολής

Ο καταράκτης του cAMP στα λιποκύτταρα



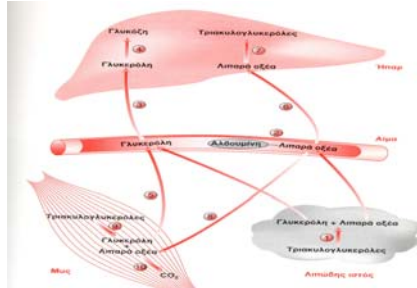
ΕΡΩΤΗΣΗ 102 Ο καταράκτης του cAMP στα λιποκύτταρα. Η οξείδωση της αμινοξέου ή της νωρεπινεφρίνης με το β-οξειδωμένο υποδοκίμα ενεργοποιεί την κυλάση και αδενυλικό οξύ με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του cAMP. Αυτό ενεργοποιεί την πρωτεϊνική κινάση A που προκαλείται η ενεργοποίηση της λιπάσης της τριαιλυογλυκεράλης, απελευθερώνοντας έτσι τα λιπαρά οξέα. Η ενεργοποίηση επιβεβαιώνεται στη λιπόλυση προδρόμου με μετατροπή του cAMP προς AMP.

Δραστηριότητα της λιπάσης της ΤΓ κατά την άσκηση



ΕΙΚΟΝΑ 10.2 Η δραστηριότητα της λιπάσης της τριαιθυλογλυκερόλης κατά την άσκηση. Η δραστηριότητα του ενζύμου (επιγραφόμενη σε μικρά διακεκομμένου τριαιθυλογλυκερόλη) ανόηθη (λιπώδους ιστού) από την άσκηση αυξάνεται στο 5ο λεπτό της άσκησης ποδηλάτου (δραστηριότητα 300 ml/lipase ανά γραμμάριο). Στο 15ο και 30ο λεπτό της άσκησης αυξάνεται και στο 15ο λεπτό ταυτόχρονα επανακατασκευάζει η δραστηριότητα είναι σχεδόν ημιστερνή. Η μείωση γραμμική παραμένει τη δραστηριότητα του ενζύμου σε μια ομάδα αθλητών που δεν άσκησαν. [Από το άρθρο "Acute changes in triacylglycerol lipase activity of human adipose tissue during exercise" των Anatóli Petridou και Vasiliki Mourouli στο *Journal of Lipid Research* 43: 1331-1334. Copyright © 2002 Lipid Research, Inc.]

Προϊόντα της λιπόλυσης κατά την άσκηση



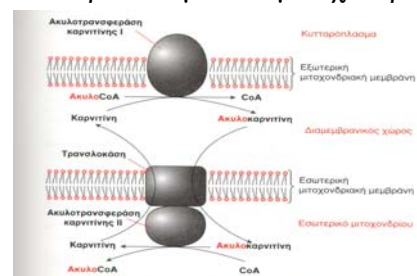
ΕΙΚΟΝΑ 10.4 Η κύρια των προϊόντων της λιπόλυσης κατά την άσκηση. Η γλυκερόλη και τα λιπαρά οξέα που παράγονται από τη δραστηριότητα των τριαιθυλογλυκερόλη μεταφέρονται από το αίμα στα 1,3 και 3-οσθενή στην καρδιά και χρησιμοποιούνται από διάφορα όργανα. Τα λιπαρά οξέα μεταφέρονται συνδυασμένα με αιμοσφαιρίνη (2,3-Η φητασική συνένωση) και στα 1,3 και 3-οσθενή στην καρδιά και στα 1,3 και 3-οσθενή στην καρδιά. Στα 1,3 και 3-οσθενή (2,3-Η φητασική συνένωση) και στα 1,3 και 3-οσθενή στην καρδιά και στα 1,3 και 3-οσθενή στην καρδιά. [Από το άρθρο "Acute changes in triacylglycerol lipase activity of human adipose tissue during exercise" των Anatóli Petridou και Vasiliki Mourouli στο *Journal of Lipid Research* 43: 1331-1334. Copyright © 2002 Lipid Research, Inc.]

Μιτοχόνδρια και λιπώδης ιστός



ΕΙΚΟΝΑ 10.5 Μιτοχόνδρια σε σταγονίδια λίπους. Μιτοχόνδρια είναι προσκολλημένα σε ένα σταγονίδιο λίπους (σ' αυτή την ηλεκτρονική μικρογραφία μέρος ενός λιποκυττάρου). Η γένεση μιτοχόνδριων και σταγονίδια επάφεται στα λιπαρά οξέα που παράγονται από την υδρόλυση των τριαιθυλογλυκερόλη του σταγονίδιου να εξοξείονται αμέσως στα μιτοχόνδρια για καύση. [Copyright © Dr. Keith Porter.]

Μεταφορά λιπαρών οξέων από το κυτταρόπλασμα στο μιτοχόνδριο



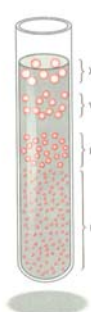
ΕΙΚΟΝΑ 10.6 Η μεταφορά των λιπαρών οξέων από το κυτταρόπλασμα στα μιτοχόνδρια. Η ενεργοποιημένη μορφή ενός λιπαρού οξέος (Αιμοσφαιρίνη) μεταφέρεται στο εσωτερικό του μιτοχόνδριου μεταφορέων που αποτελούνται από αιμοσφαιρίνη. Η αιμοσφαιρίνη μετατρέπεται σε αιμοσφαιρίνη και μεταφέρεται από τις αιμοσφαιρίνες της καρδιάς και βλάστη, ενώ η αιμοσφαιρίνη μετατρέπεται σε αιμοσφαιρίνη και μεταφέρεται από την καρδιά.

Οξειδωση λιπαρών οξέων



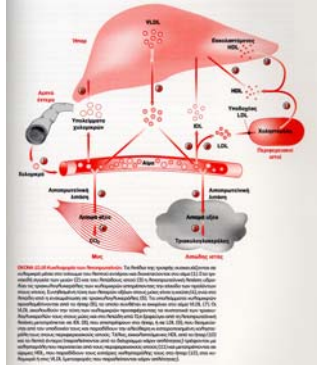
ΕΙΚΟΝΑ 10.7 Η οξείδωση των λιπαρών οξέων. Ένα μόριο αιμοσφαιρίνης οξείδωσης οξείδωσης στην καρδιά μετατρέπεται σε αιμοσφαιρίνη και μεταφέρεται από την καρδιά. Η αιμοσφαιρίνη μετατρέπεται σε αιμοσφαιρίνη και μεταφέρεται από την καρδιά. Η αιμοσφαιρίνη μετατρέπεται σε αιμοσφαιρίνη και μεταφέρεται από την καρδιά.

Διαχωρισμός λιποπρωτεϊνών

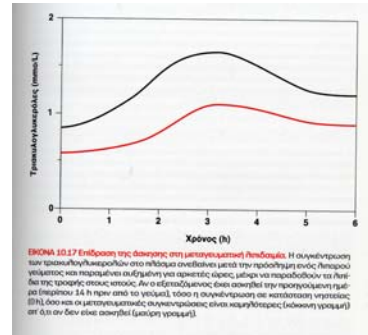


ΕΙΚΟΝΑ 10.12 Διαχωρισμός λιποπρωτεϊνών. Φωκινώντας μια ποσότητα ηλιόμαζας σε μεγάλη τιμότητα και για πολλές ώρες επισημαίνεται το διαχωρισμό των λιποπρωτεϊνών του. Οι λιποπρωτεϊνες με μεγαλύτερη πυκνότητα μετακινούνται προς τον πυθμένα.

Κυκλοφορία των λιποπρωτεϊνών



Επίδραση της άσκησης στη μεταγευματική λιπιδαιμία



Ερωτήσεις

- Πόση ενέργεια αποδίδεται από τη διάσπαση ενός γραμμαρίου λιπών;
- Πόση ενέργεια παίρνουμε από τη διάσπαση ενός μορίου παλμιτικού οξέος;
- Ποιος ο ρόλος της καρνιτίνης στο μεταβολισμό των λιπών;

Βιβλιογραφία

- Βιοχημεία της άσκησης, Β.Κ. Μούγιου, 3η έκδοση, 2002, Σελίδες 69-80 και 175-188.