

# Αθλητική Διατροφή Θεωρία

Dr Αναστάσιος Βαμβάκης

Κλινικός – Αθλητικός

Διαιτολόγος – Διατροφολόγος

Εκπαιδευτής Ανθρωπομετρίας ISAK

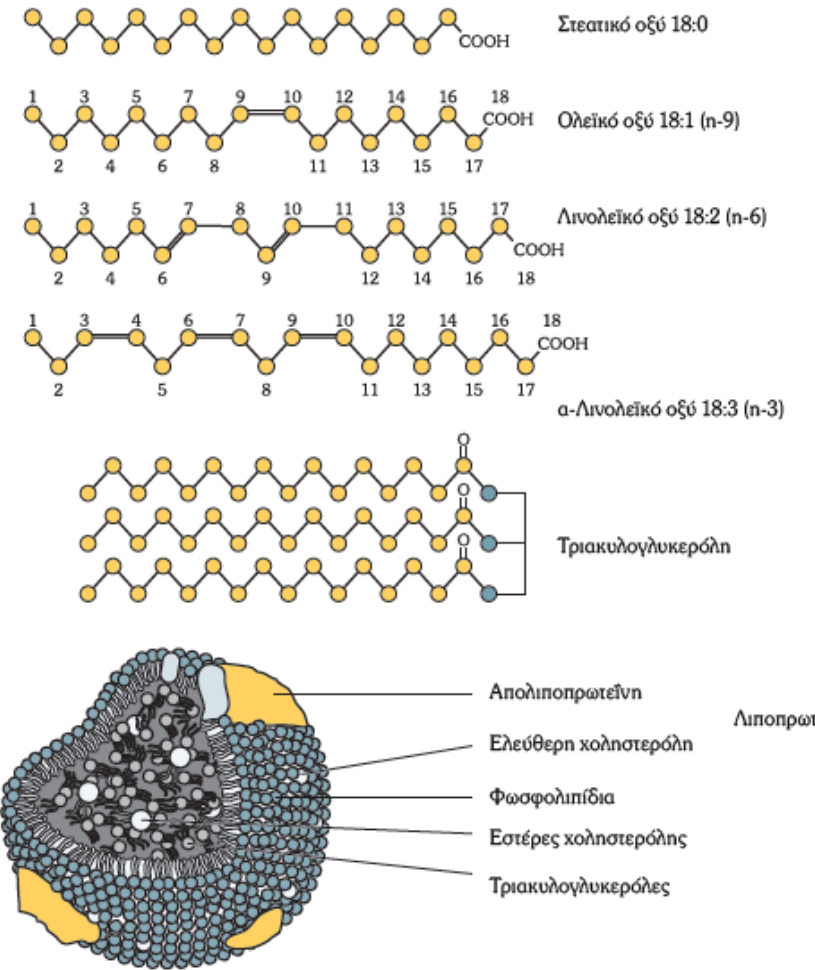


# Λίπη και Αθλητισμός

|                                                                                                                                          |                                                                                                                                       |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ELLIPTICAL</b><br><br>500-800 calories<br>per hour | <b>RUNNING</b><br><br>600-800 calories<br>per hour | <b>SKIPPING</b><br><br>1000 calories<br>per hour    | <b>CYCLING</b><br><br>600-1000 calories<br>per hour |
| <b>ROWING</b><br><br>800-950 calories<br>per hour     | <b>WALKING</b><br><br>300-350 calories<br>per hour | <b>SWIMMING</b><br><br>600-800 calories<br>per hour | <b>BOXING</b><br><br>400-500 calories<br>per hour   |



- Τα λιπαρά οξέα έχουν ένα καρβοξυλικό οξύ (COOH) στο ένα άκρο του μορίου και μια μεθυλική ομάδα στο άλλο άκρο που διαχωρίζονται από μια αλυσίδα υδρογονάνθρακα που μπορεί να ποικίλλει σε μήκος
- Περιλαμβάνουν λιπαρά οξέα, τριακυλογλυκερόλες, λιποπρωτεΐνες και φωσfolιπίδια
- Τα λιπαρά οξέα διαφέρουν ως προς το μήκος της αλυσίδας τους (αριθμός ανθράκων) και ως προς τον αριθμό και τη θέση των διπλών δεσμών



| Κατηγορίες λιπιδίου | Τύπος λιπιδίου                                | Παράδειγμα                                                                                                                                                                      |
|---------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Απλά λιπίδια        | Ουδέτερα λίπη<br>Κερί                         | Τριακυλογλυκερόλη (τριγλυκερίδιο)<br>Κερί μέλισσας                                                                                                                              |
| Σύνθετα λιπίδια     | Φωσφολιπίδια<br>Γλυκολιπίδια<br>Λιποπρωτεΐνες | Λεκιθίνες<br>Χυλομικρά, πολύ χαμηλής πυκνότητας<br>λιποπρωτεΐνες (VLDL), χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνες (LDL), υψηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνες υψηλής πυκνότητας (HDL)        |
| Παραγόμενα λιπίδια  | Λιπαρά οξέα<br>Στεροειδή<br>Υδρογονάνθρακες   | Παλμτικό οξύ, ελαϊκό οξύ, στεατικό οξύ,<br>λινελαϊκό οξύ<br>Χοληστερόλη, εργοστερόλη, κορτιζόλη,<br>χολικά οξέα, βιταμίνη D, οιστρογόνα,<br>προγεστερόνη, ανδρογόνα<br>Τερπένια |

| Λιπαρά οξέα | Διπλοί δεσμοί | Κοινό όνομα            | Χημική φόρμουλα                                                                                                           |
|-------------|---------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2:0         | —             | Οξικό                  | CH <sub>3</sub> COO-                                                                                                      |
| 4:0         | —             | Βουτυρικό              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COO-                                                                      |
| 6:0         | —             | Καπρονικό              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COO-                                                                      |
| 8:0         | —             | Καρυλικό               | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COO-                                                                      |
| 10:0        | —             | Καπρικό                | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COO-                                                                      |
| 12:0        | —             | Λαυρικό                | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> COO-                                                                     |
| 14:0        | —             | Μυριστικό              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> COO-                                                                     |
| 16:0        | —             | Παλμτικό               | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> COO-                                                                     |
| 16:1        | <i>n</i> -6   | Παλμιτολεϊκό           | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COO-                                 |
| 18:0        | —             | Στεατικό οξύ           | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COO-                                                                     |
| 18:1        | <i>n</i> -9   | Ολεϊκό                 | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COO-                                 |
| 18:2        | <i>n</i> -6   | Λινολεϊκό              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COO- |
| 18:3        | <i>n</i> -6   | γ-λινολεϊκό            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COO- |
| 18:3        | <i>n</i> -3   | α-λινολεϊκό            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> )(CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COO-               |
| 20:0        | —             | Αραχιδονικό            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> COO-                                                                     |
| 20:2        | <i>n</i> -6   | Εικοσενοϊκό            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COO- |
| 20:3        | <i>n</i> -6   | Εικοσατρινοϊκό         | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> COO- |
| 20:4        | <i>n</i> -6   | Αραχιδονικό            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COO- |
| 20:5        | <i>n</i> -3   | Εικοσιπεντανοϊκό (EPA) | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> )(CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COO-               |
| 22:0        | —             | Μπεχενικό              | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>20</sub> COO-                                                                     |
| 22:5        | <i>n</i> -3   | Δοκοσαπεντανοϊκό       | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> )(CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COO-               |
| 22:6        | <i>n</i> -3   | Δοκοσαεξανοϊκό (DHA)   | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> )(CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> (CH <sub>2</sub> )COO-                             |
| 24:0        | —             | Λιγνοκερατικό          | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>22</sub> COO                                                                      |

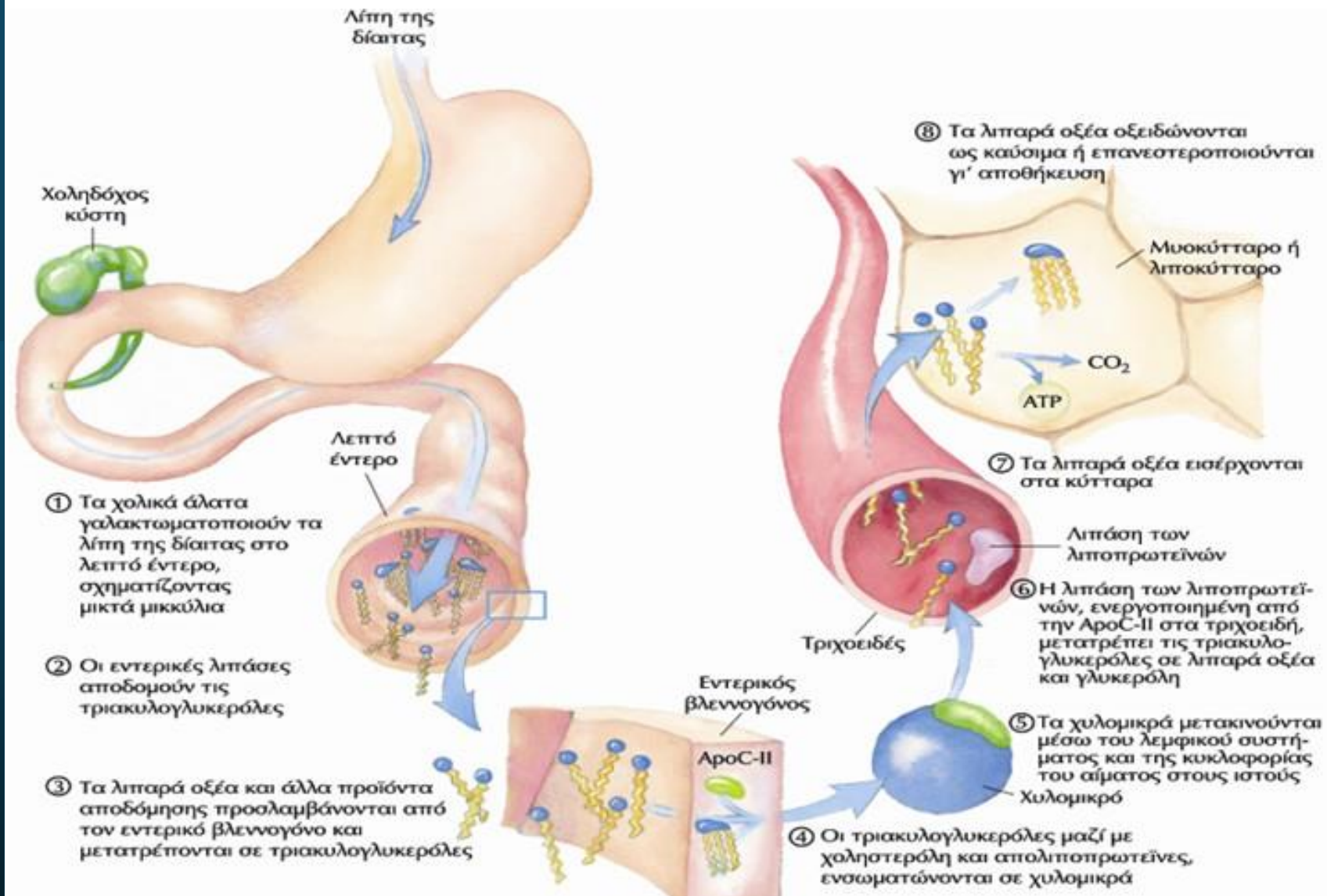
# Κατηγορίες Λιπιδίων

# Βασικές Λειτουργίες Λιπιδίων

---

- Τροφοδοτούν τα περισσότερα κύτταρα και είναι σημαντικά καύσιμα για τους συσταλόμενους μυς
- Το λίπος προστατεύει ζωτικά όργανα όπως η καρδιά, το ήπαρ, ο σπλήνας, τα νεφρά, ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός. Περίπου 2% έως 4% του συνολικού σωματικού λίπους αποθηκεύεται γύρω από τα ζωτικά όργανα
- Η πρόσληψη A, D, E, K / καροτενοειδών εξαρτάται από την πρόσληψη των ημερησίων λιπών
- Τα φωσfolιπίδια και η χοληστερόλη είναι σημαντικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών
- Η χοληστερόλη είναι επίσης μια σημαντική πρόδρομη ουσία για τον σχηματισμό της χολής και είναι η ίδια ένα σημαντικό συστατικό της χολής
- Η χοληστερόλη αποτελεί πρόδρομη ουσία για σημαντικές ορμόνες (ιδίως στεροειδή όπως η τεστοστερόνη)
- Το λινολεϊκό οξύ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό των εικοσανοειδών, τα οποία συμπεριφέρονται σαν ορμόνες που σχηματίζονται στα κύτταρα με ρυθμιστική λειτουργία (αρτηριακής πίεσης, αιμοπεταλίων, εντερικής κινητικότητας, ανοσοποιητικό

# Πέψη και απορρόφηση διαιτητικού λίπους



# Λίπος και αθλητισμός

- Συμβάλλει στην υγεία και την απόδοση των αθλητών συχνά υποτιμάται
- Είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό καύσιμο για την άσκηση αντοχής (μαζί με τους υδατάνθρακες) και κάποια πρόσληψη λίπους απαιτείται για τη βέλτιστη υγεία
- Παρέχει τα απαραίτητα λιπαρά οξέα (EFA) που δεν μπορούν να συντεθούν στο σώμα
- Οι αποθήκες λίπους του οργανισμού είναι πολύ μεγάλες σε σύγκριση με τις αποθήκες υδατανθράκων
- Μπορούν να περιέχουν περισσότερο από 50 φορές την ποσότητα ενέργειας που περιέχεται στις αποθήκες υδατανθράκων
- Κάποια ποσότητα λίπους μπορεί επίσης να εντοπιστεί στους μυς **ως ενδομυϊκά τριγλυκερίδια (IMTG)**
- Θεωρητικά, τα αποθέματα λίπους θα μπορούσαν να παρέχουν σε ένα άτομο επαρκή ενέργεια για να τρέξει τουλάχιστον 1300 χιλιόμετρα

Διαθεσιμότητα Υποστρωμάτων για άνδρα μη αθλητή που ζυγίζει 80 kg και έχει 15% σωματικό λίπος, ο οποίος μπορεί να έχει λιγότερο λίπος και περισσότερο αποθηκευμένο γλυκογόνο.

Η ποσότητα πρωτεΐνης που υπάρχει στον οργανισμό δεν αναφέρεται, αλλά θα ήταν περίπου 10kg (40.019 kcal) και θα βρισκόταν κυρίως στους μυς.

| Υπόστρωμα                | Βάρος     | Ενέργεια     |
|--------------------------|-----------|--------------|
| Υδατάνθρακες             |           |              |
| Γλυκόζη πλάσματος        | 0,01 kg   | 38 kcal      |
| Ηπατικό γλυκογόνο        | 0,1 kg    | 382 kcal     |
| Μυϊκό γλυκογόνο          | 0,4 kg    | 1.530 kcal   |
| Σύνολο (κατά προσέγγιση) | 0,5 kg    | 1.912 kcal   |
| Λίπος                    |           |              |
| Λιπαρά οξέα πλάσματος    | 0,0004 kg | 4 kcal       |
| Τριγλυκερίδια πλάσματος  | 0,004 kg  | 38 kcal      |
| Λιπώδης ιστός            | 12,0 kg   | 102.772 kcal |
| Ενδομυϊκά τριγλυκερίδια  | 0,3 kg    | 2.629 kcal   |
| Σύνολο (κατά προσέγγιση) | 12,3 kg   | 105.641 kcal |



## Σχέση λίπους και ενεργειακής απόδοσης

- Οι αποθήκες υδατανθράκων είναι μικρές αλλά σημαντικές, και οι αποθήκες λίπους είναι μεγάλες, οι αθλητές αντοχής θα ήθελαν να αξιοποιούν τις αποθήκες λίπους όσο το δυνατόν περισσότερο και να φυλάσσουν τους υδατάνθρακες για αργότερα σε έναν αγώνα
- Ερευνητές, προπονητές και αθλητές έχουν προσπαθήσει να επινοήσουν διατροφικές στρατηγικές για να ενισχύσουν τον μεταβολισμό του λίπους, να εξοικονομήσουν τις αποθήκες υδατανθράκων, και έτσι να βελτιώσουν την απόδοση στην αντοχή
- Η κατανόηση των αποτελεσμάτων των διαφόρων διατροφικών στρατηγικών απαιτεί την κατανόηση του μεταβολισμού του λίπους και των παραγόντων που ρυθμίζουν την οξείδωση του λίπους κατά τη διάρκεια της άσκησης

## Κατάσταση ηρεμίας

26% των ενεργειακών αναγκών  
(12-15 ώρες νηστικός)

6% των ενεργειακών αναγκών  
(γεύμα)

Τα ε.λ.ο προσφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό  
ενέργειας (κινητοποίηση ε.λ.ο από το λ.ι για να  
αναπληρώσουν τα ε.λ.ο του πλάσματος)

# Μεταβολισμός Λίπους Κατά τη Διάρκεια της Άσκησης

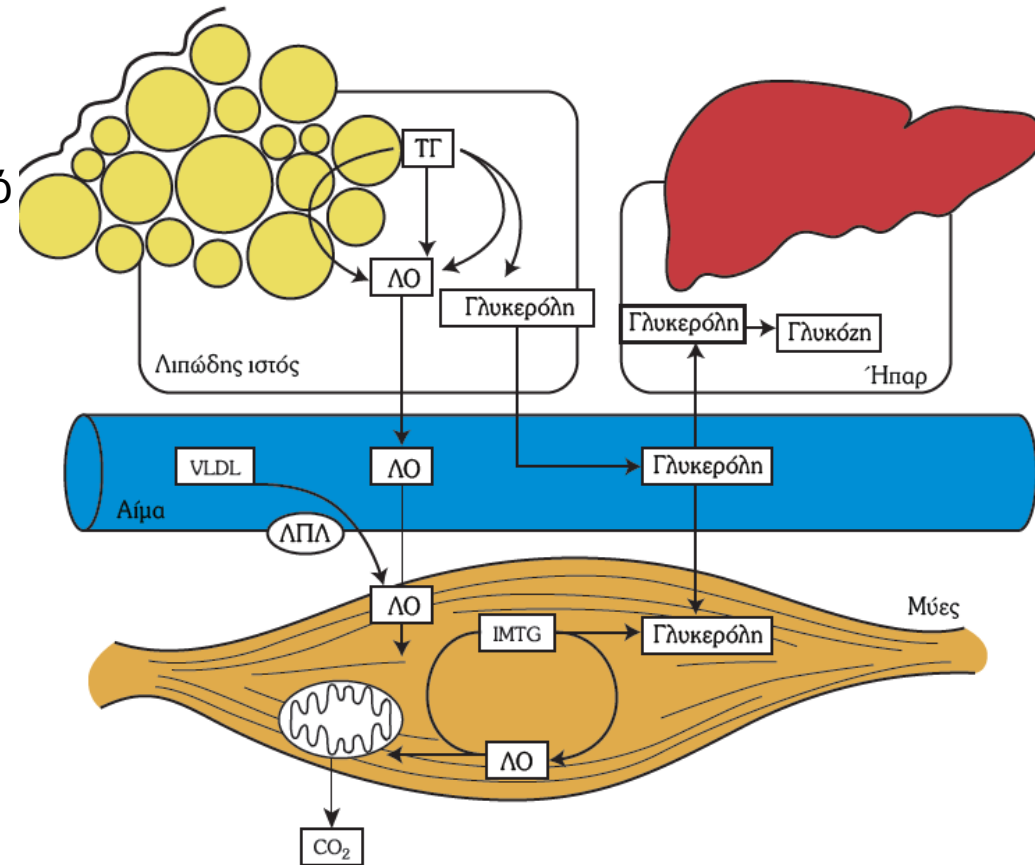
Τα λιπαρά οξέα που οξειδώνονται στα μιτοχόνδρια των σκελετικών μυών κατά τη διάρκεια άσκησης προέρχονται από διάφορες πηγές

Οι δύο κύριες πηγές είναι ο λιπώδης ιστός και τα μυϊκά τριγλυκερίδια

Ένα τρίτο καύσιμο που μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί είναι τα τριγλυκερίδια του πλάσματος

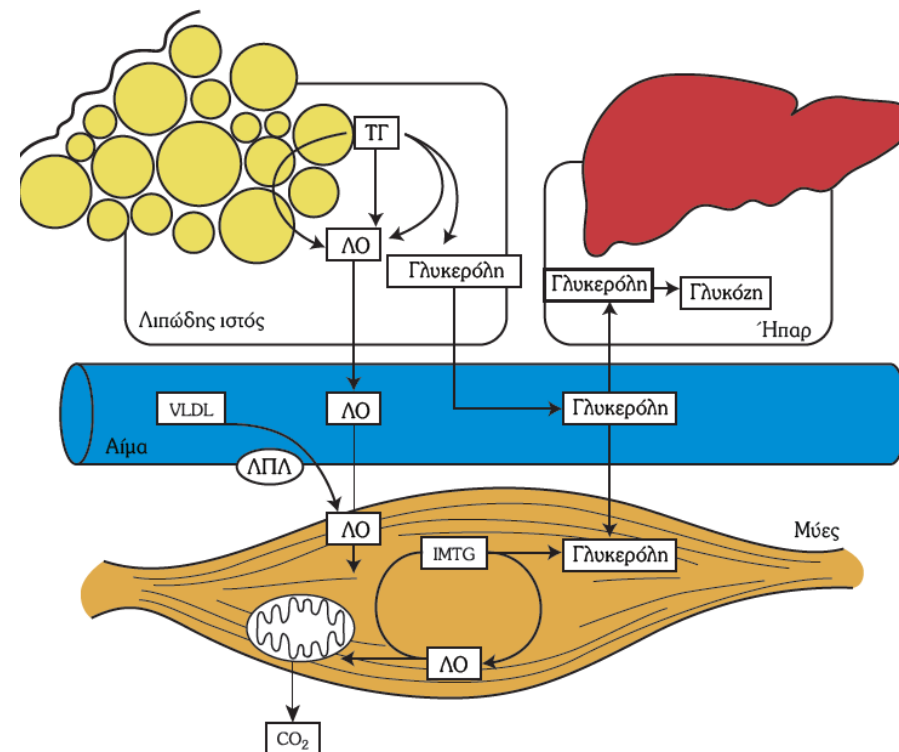
# Μεταβολισμός λιπιδίων για παραγωγή ενέργειας

- Τα τριγλυκερίδια στον λιπώδη ιστό διασπώνται σε λιπαρά οξέα και γλυκερόλη
- Η γλυκερόλη απελευθερώνεται στην κυκλοφορία μαζί με ορισμένα από τα λιπαρά οξέα
- Ένα μικρό ποσοστό των λιπαρών οξέων δεν απελευθερώνεται στην κυκλοφορία, αλλά χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό νέων τριγλυκεριδίων εντός του λιπώδους ιστού (**επανεστεροποίηση**)
- Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα μεταφέρονται σε άλλους ιστούς και μπορούν να προσληφθούν από τους σκελετικούς μυς κατά τη διάρκεια άσκησης
- Η γλυκερόλη μεταφέρεται στο ήπαρ, όπου χρησιμεύει ως γλυκονεογενετικό υποστρώμα για τη σύνθεση νέας γλυκόζης



# Μεταβολισμός λιπιδίων για παραγωγή ενέργειας

- Εκτός από τα λιπαρά οξέα στο πλάσμα, υπάρχουν δύο άλλες πηγές λιπαρών οξέων για οξείδωση στους σκελετικούς μυς: τα κυκλοφορούντα στο αίμα τριγλυκερίδια και τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια
- Τα κυκλοφορούντα στο αίμα τριγλυκερίδια (για παράδειγμα, εκείνα που περιέχονται σε μια πολύ χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνη [VLDL]) μπορούν να συνδεθούν προσωρινά με το ένζυμο λιποπρωτεϊνική λιπάση (LPL), το οποίο διασπάει λιπαρά οξέα που μπορούν στη συνέχεια να προσληφθούν από τον μυ
- Στο εσωτερικό του μυός υπάρχει μια πηγή λίπους με τη μορφή ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων. Τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια διασπώνται από την HSL και τα λιπαρά οξέα μεταφέρονται στα μιτοχόνδρια για οξείδωση, με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιούνται τα λιπαρά οξέα από το πλάσμα και τα τριγλυκερίδια πλάσματος

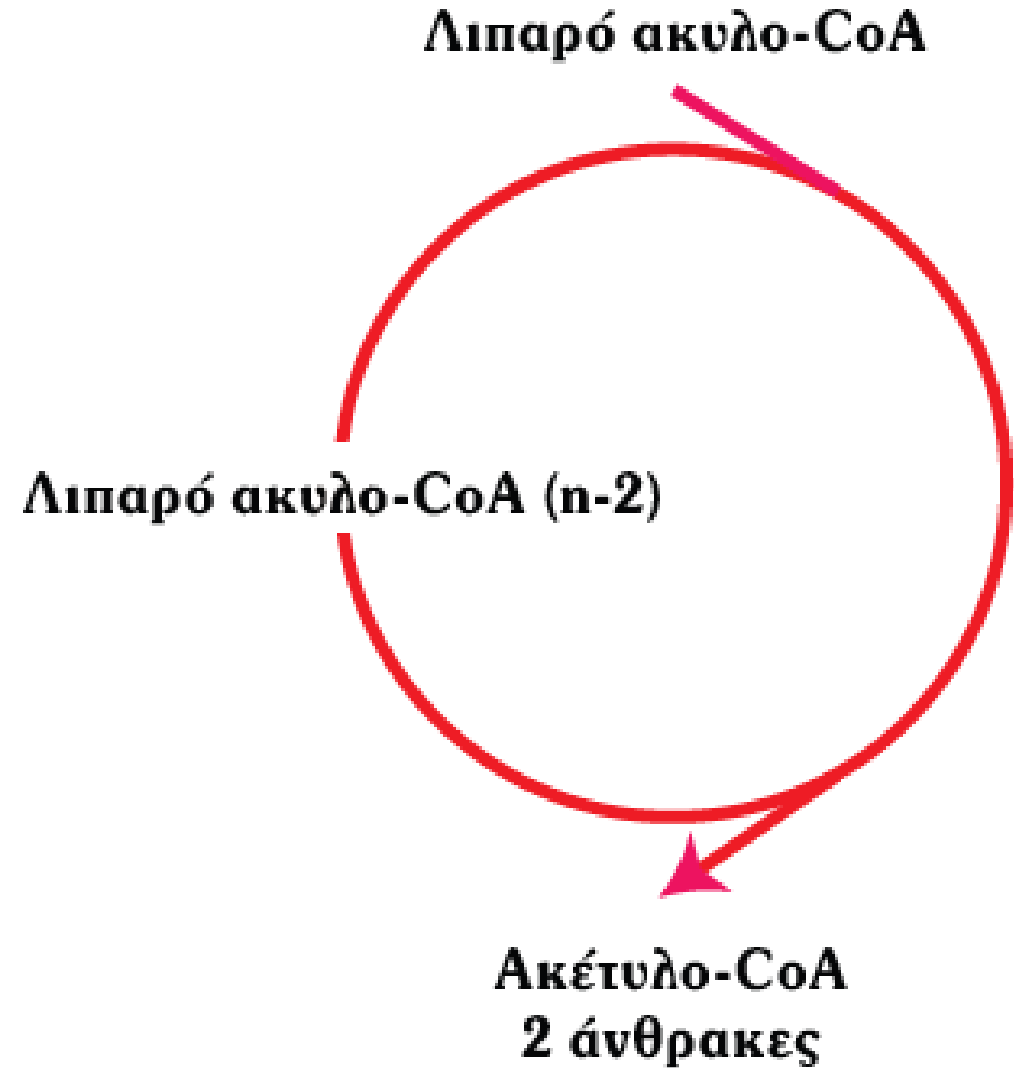


# Όρια στην Οξειδωση του Λίπους

Παράμετροι που ενδεχομένως να περιορίζουν την οξειδωση του λίπους είναι:

- λιπόλυση (η διάσπαση των τριγλυκεριδίων σε λιπαρά οξέα και γλυκερόλη),
- απομάκρυνση λιπαρών οξέων από το λιποκύτταρο,
- μεταφορά λίπους μέσω της κυκλοφορίας του αίματος,
- μεταφορά λιπαρών οξέων μέσα στο μυϊκό κύτταρο
- μεταφορά λιπαρών οξέων μέσα στα μιτοχόνδρια
- οξείδωση λιπαρών οξέων στη μεταβολική οδό της β-οξειδωσης και στον κύκλο TCA

Το λίπος ως  
Καύσιμο κατά τη  
Διάρκεια της  
Άσκησης



# Χρησιμοποιούνται τα λίπη ως πηγή κατά τη διάρκεια της άσκησης;

Η σχετική συμμετοχή των υδατανθράκων και των λιπών στην παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από

- Διάρκεια της άσκησης
- Ένταση της άσκησης
- Τη δίαιτα και
- Την προπονητική κατάσταση

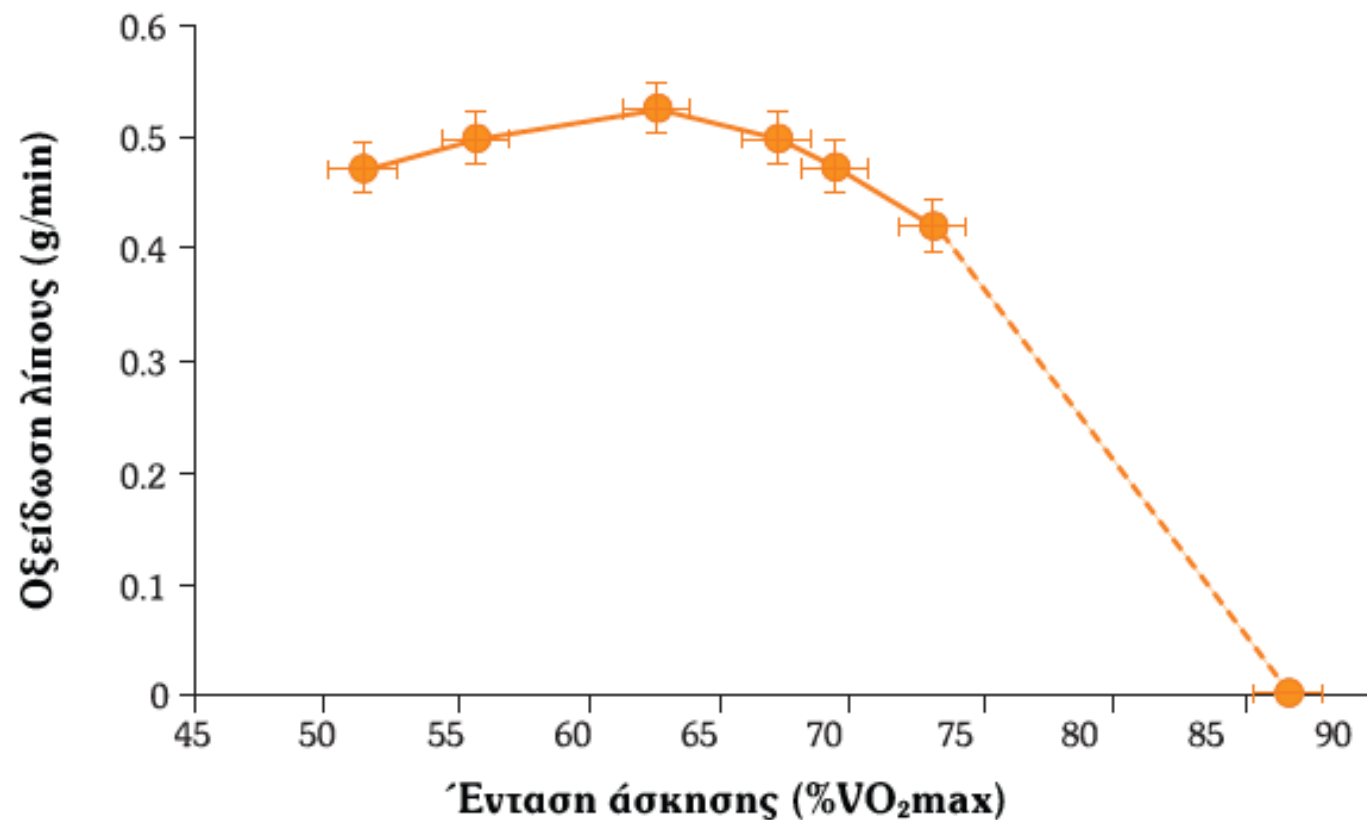


# Χρήση Λίπους στην Ηρεμία και κατά τη Διάρκεια της Άσκησης

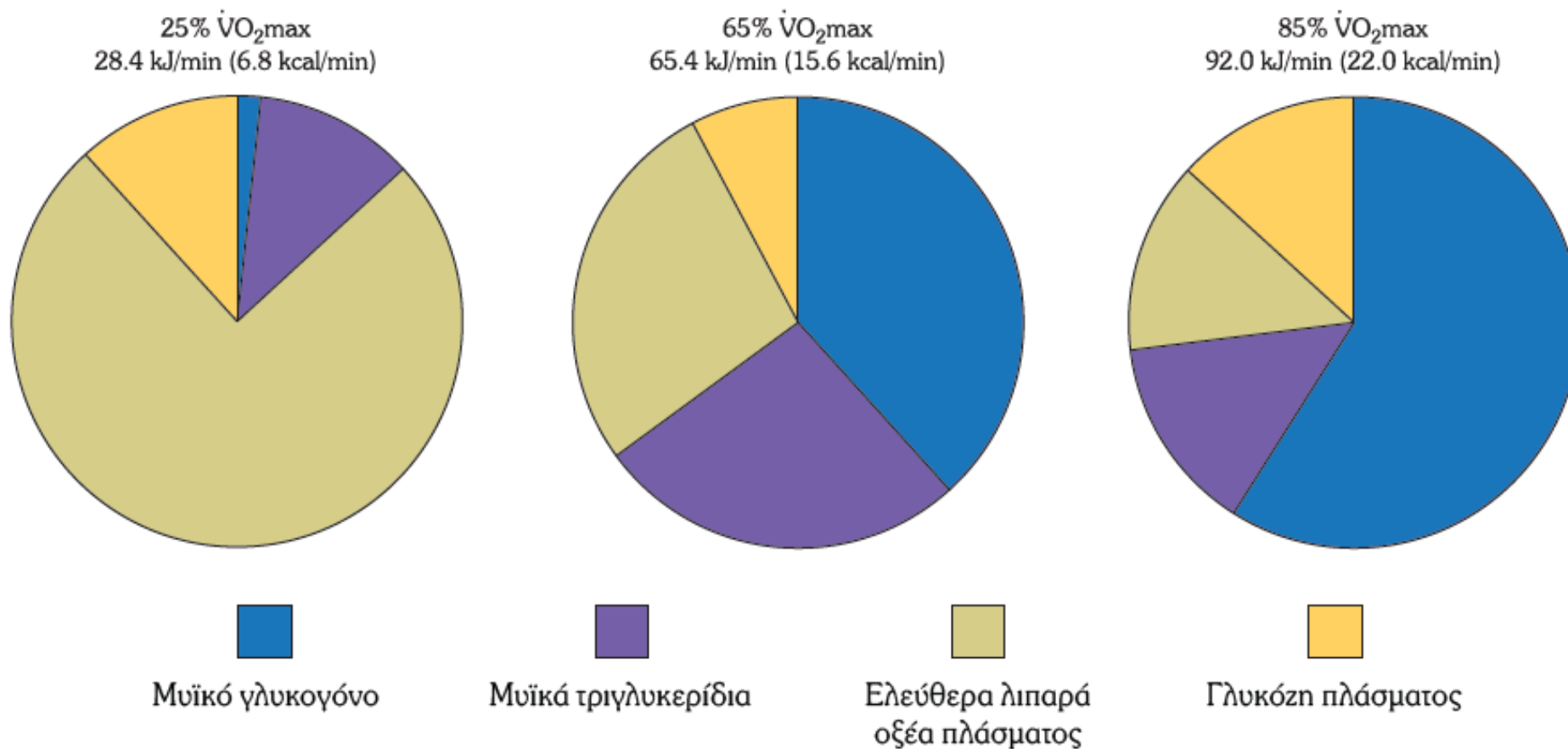


- Μετά από ολονύκτια νηστεία (χαμηλά επίπεδα ινσουλίνης), το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών καλύπτεται από την οξείδωση των λιπαρών οξέων του λιπώδους ιστού.
- Ο ρυθμός λιπόλυσης στον λιπώδη ιστό εξαρτάται κυρίως από τις συγκεντρώσεις των κυκλοφορούντων ορμονών (η επινεφρίνη διεγείρει τη λιπόλυση και η ινσουλίνη αναστέλλει τη λιπόλυση).
- Τα περισσότερα από τα λιπαρά οξέα που απελευθερώνονται μετά τη λιπόλυση φαίνεται ότι επανεστεροποιούνται εντός του λιποκυττάρου
- Από τα λιπαρά οξέα εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος, αλλά μόνο τα μισά από αυτά οξειδώνονται.
- Οι συγκεντρώσεις των λιπαρών οξέων του πλάσματος στην ηρεμία είναι συνήθως μεταξύ 0,2 και 0,4 mmol/L
- Όταν αρχίζει η άσκηση, ο ρυθμός της λιπόλυσης και ο ρυθμός απελευθέρωσης λιπαρών οξέων από τον λιπώδη ιστό αυξάνονται

# Οξείδωση Λίπους και Διάρκεια Άσκησης



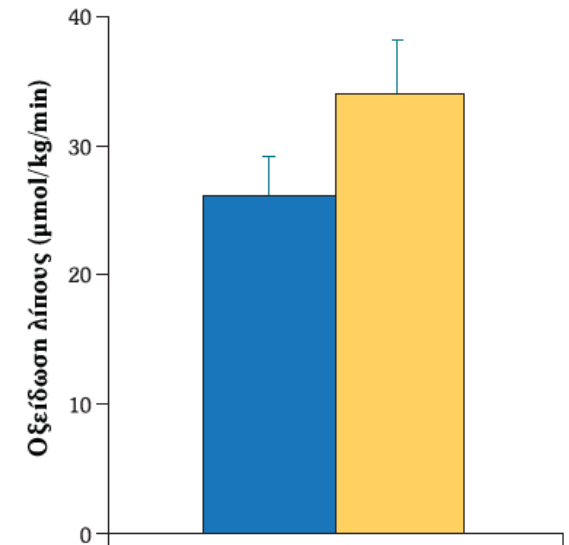
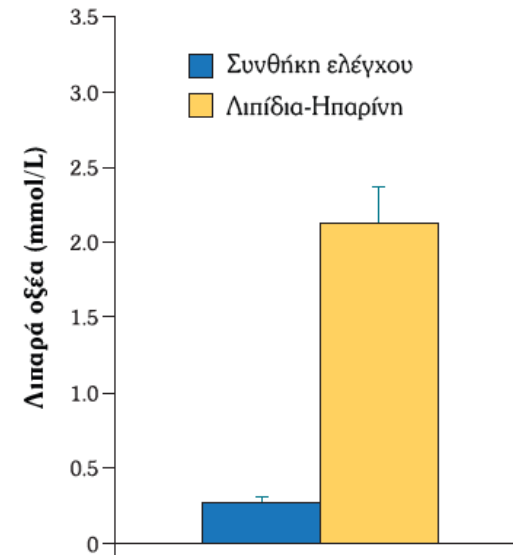
# Χρήση υποστρωμάτων σε άσκηση διαφορετικών εντάσεων

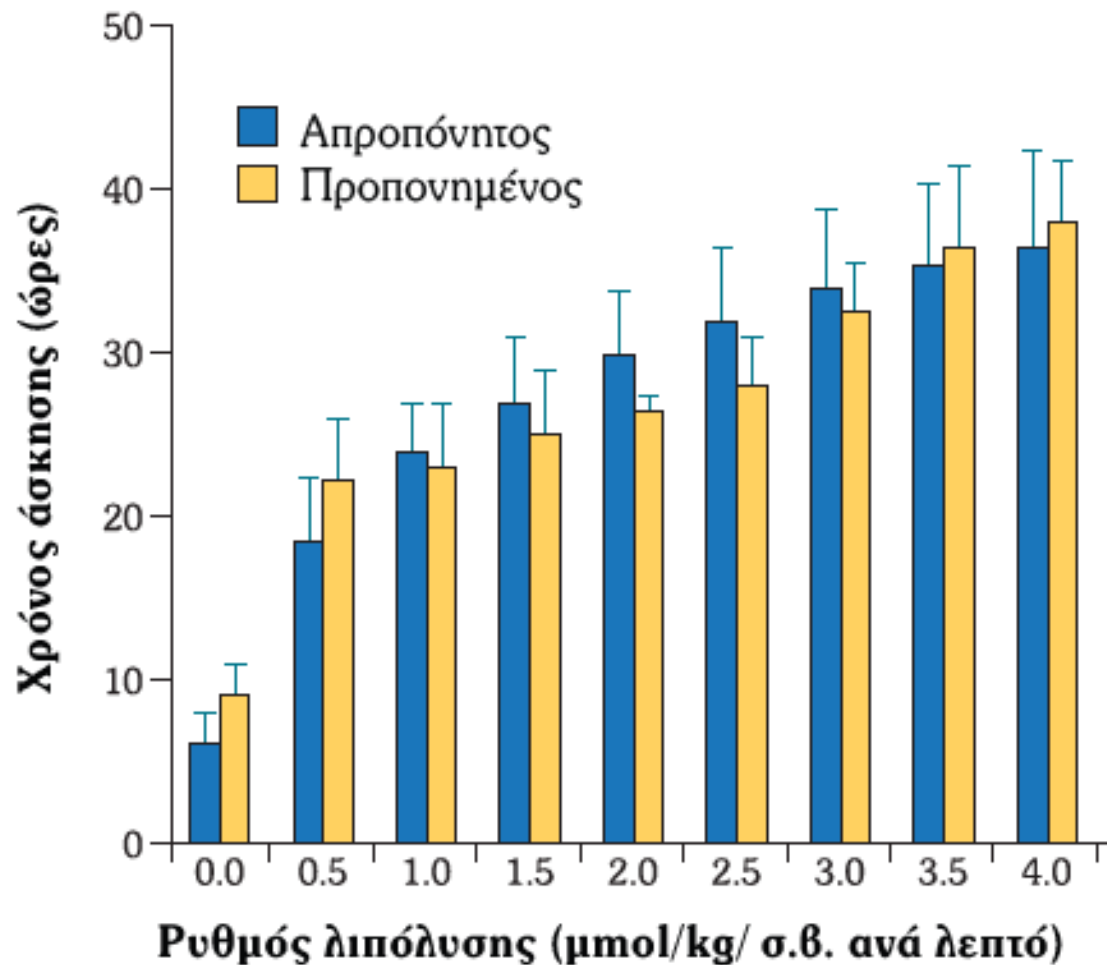


## ΕΓΧΥΣΗ ΤΡΙΓΛΥΚΕΡΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΗΠΑΡΙΝΗΣ

Προκειμένου να αυξήσουν τις συγκεντρώσεις λιπαρών οξέων στο πλάσμα για πειραματικούς σκοπούς, οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει εγχύσεις τριγλυκεριδίων και ηπαρίνης. Επειδή τα λιπαρά οξέα δεν είναι διαλυτά στο νερό (πλάσμα), δεν μπορούν να εγχυθούν άμεσα. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται ένα γαλάκτωμα λιπιδίων (συνχά το Intralipid) σε συνδυασμό με έγχυση ηπαρίνης. Η ηπαρίνη απελευθερώνει τη ΛΠΛ από τα τριχοειδή. Αφού η ΛΠΛ απελευθερωθεί και γίνει διαθέσιμη στην κυκλοφορία, αρχίζει να διασπά τα τριγλυκερίδια του πλάσματος, και έτσι οι συγκεντρώσεις λιπαρών οξέων αυξάνονται γρήγορα. Η ποσότητα της ηπαρίνης πρέπει να τιτλοποιείται προσεκτικά, διότι η εισαγωγή υπερβολικής ποσότητας ηπαρίνης θα μπορούσε να οδηγήσει σε εξαιρετικά υψηλά (τοξικά) επίπεδα λιπαρών οξέων στην κυκλοφορία. Επιπλέον, καθώς η ηπαρίνη είναι ένα αντιπηκτικό και εμποδίζει την πήξη του αίματος όταν συμβεί ένας τραυματισμός, πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται με εξαιρετική προσοχή.

- Οι συγκεντρώσεις των λιπαρών οξέων είναι συνήθως χαμηλές σε ασκήσεις υψηλής έντασης (>85% της  $O_{2max}$ ), γεγονός που θα μπορούσε να εξηγήσει τους σχετικά χαμηλούς ρυθμούς οξείδωσης του λίπους σε σύγκριση με τις ασκήσεις μέτριας έντασης.
- Όταν χορηγούνται λιπίδια και ηπαρίνη, επιτυγχάνονται υψηλές συγκεντρώσεις λιπαρών οξέων στο πλάσμα, αλλά δεν αποκαθιστούν την οξείδωση του λίπους στα επίπεδα που παρατηρούνται στις ασκήσεις μέτριας έντασης (65% της  $O_{2max}$ )





Λιπόλυση ολόκληρου του  
σώματος σε προπονημένα  
και μη προπονημένα άτομα

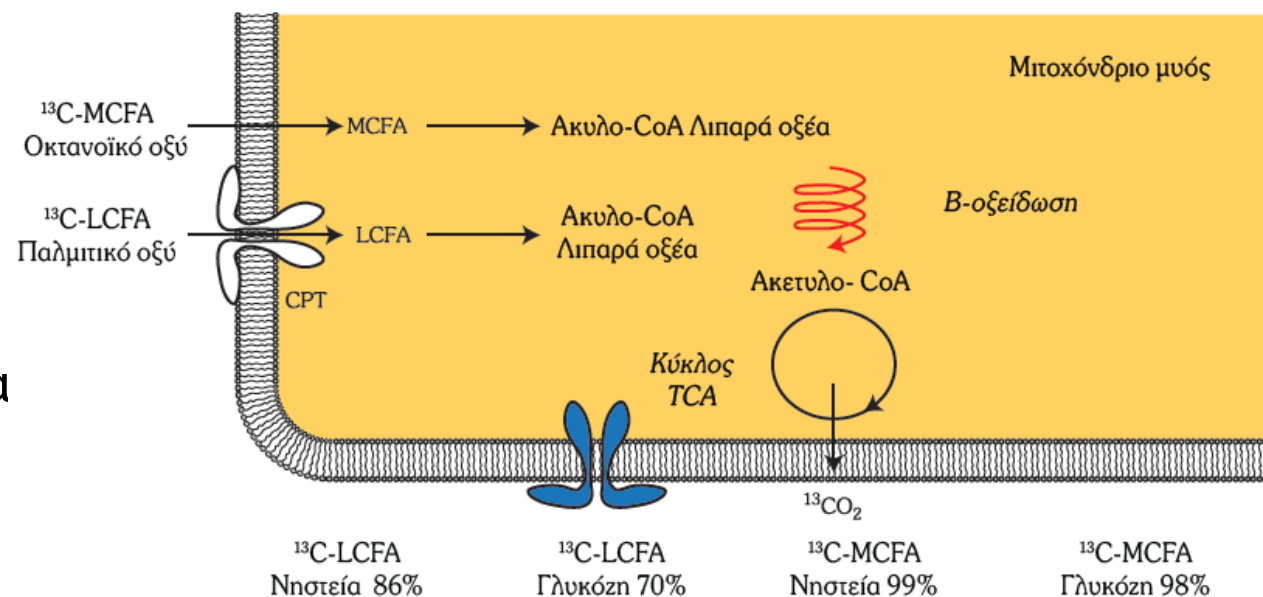
# Οξείδωση Λίπους και Διατροφή

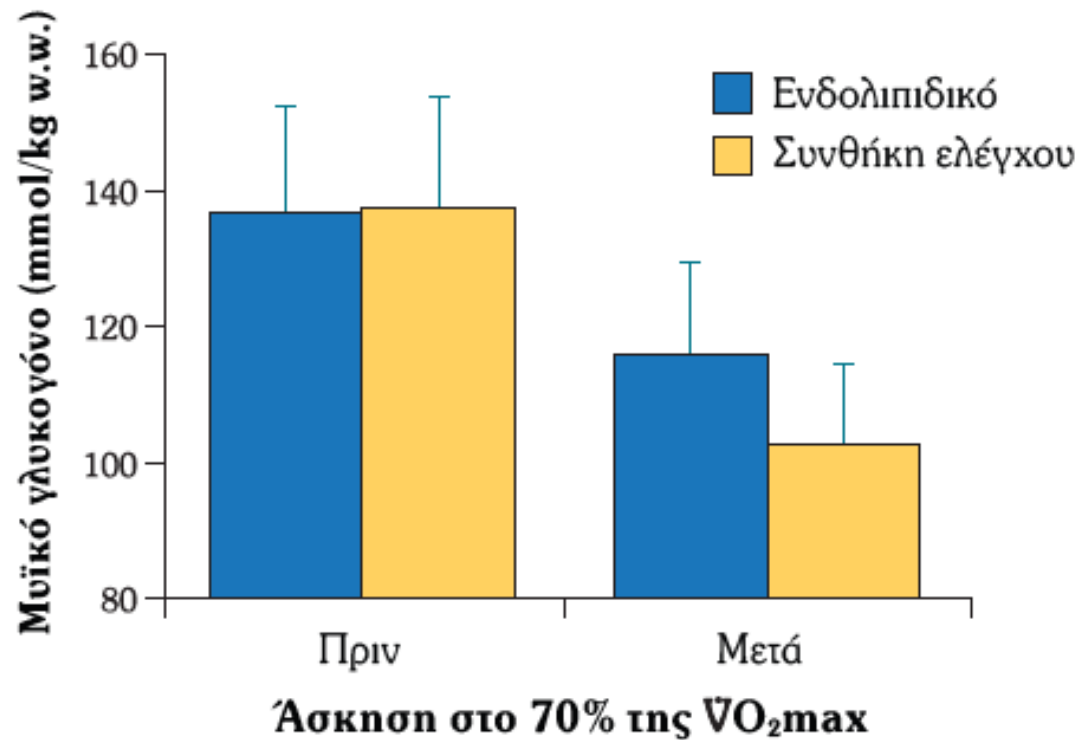
---

- Η διατροφή έχει επίσης σημαντικές επιπτώσεις στην οξείδωση του λίπους
- Γενικά, μια δίαιτα υψηλής περιεκτικότητας σε υδατάνθρακες και χαμηλής σε λιπαρά μειώνει την οξείδωση του λίπους, ενώ μια δίαιτα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά και χαμηλής περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες αυξάνει την οξείδωση του λίπους
- Οι μακροχρόνιες δίαιτες μπορεί να έχουν σημαντικές επιδράσεις στο μεταβολισμό
- Οι επιδράσεις αυτές φαίνεται να σχετίζονται μόνο εν μέρει με τις επιδράσεις της δίαιτας στη διαθεσιμότητα του υποστρώματος
- Οι προσαρμογές σε μυϊκό επίπεδο, οι οποίες οδηγούν σε αλλαγές στη χρήση του υποστρώματος ως απόκριση σε μια δίαιτα, μπορεί να εμφανιστούν μέσα σε μια περίοδο μόλις 5 ημερών.

# Οξείδωση των MCFA και LCFA στα μιτοχόνδρια κατά τη διάρκεια νηστείας και κατανάλωσης τροφής (γλυκόζη)

- Η πρόσληψη γλυκόζης μείωσε την οξείδωση των LCFA αλλά όχι των MCFA
- Επειδή τα LCFA χρησιμοποιούν μια πρωτεΐνη μεταφοράς για να εισέλθουν στα μιτοχόνδρια και τα MCFA εξαρτώνται λιγότερο από αυτή την πρωτεΐνη, η διαθεσιμότητα γλυκόζης ενδεχομένως ρυθμίζει την είσοδο των λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια



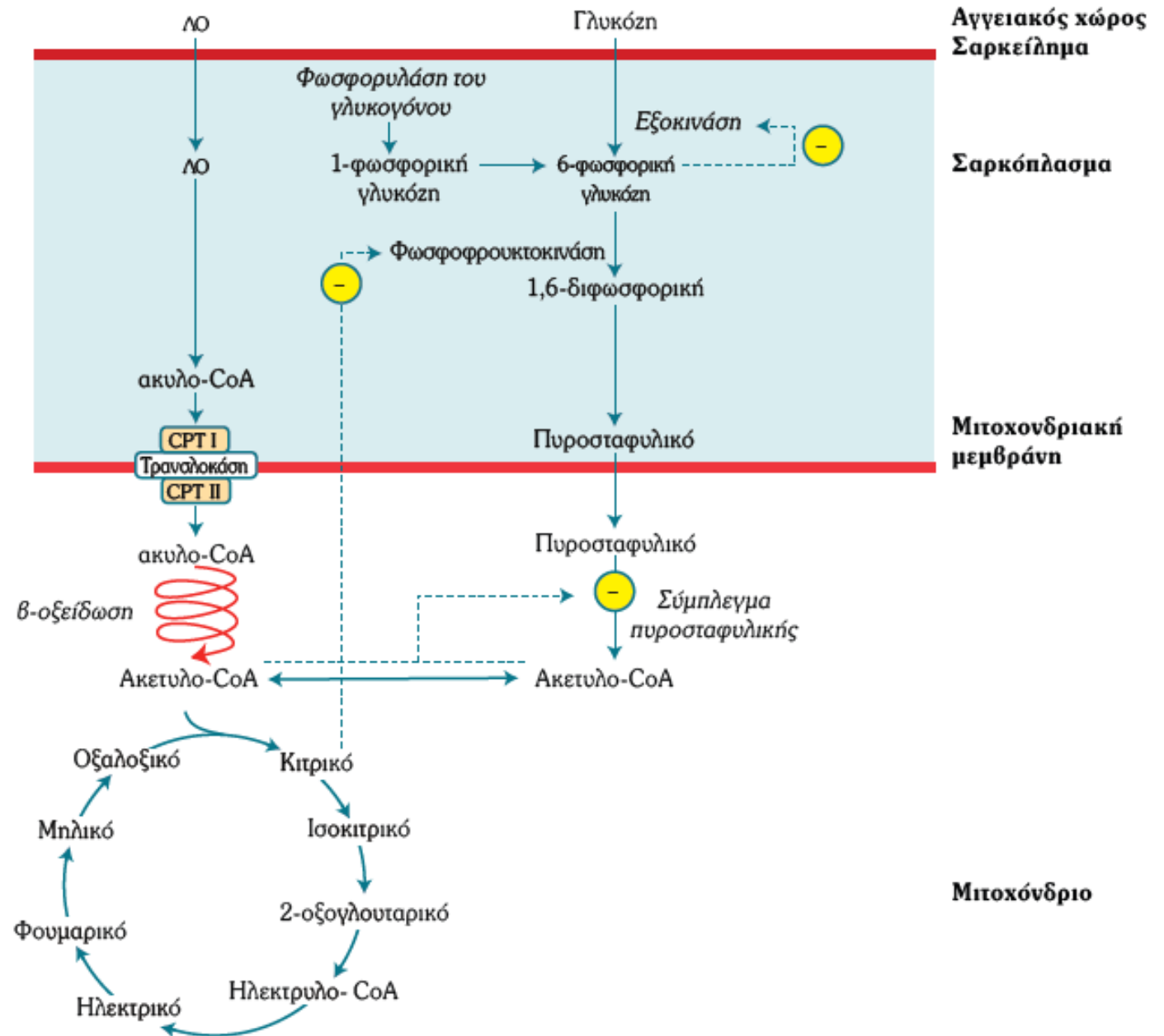


- Εξοικονόμηση γλυκογόνου με αυξημένη διαθεσιμότητα FA
- Αυτή η αυξημένη διαθεσιμότητα λιπαρών οξέων επιτεύχθηκε με έγχυση γαλακτώματος τριγλυκεριδίων με ηπαρίνη

# Ρύθμιση του Μεταβολισμού των Υδατανθράκων και των Λιπών

- Με την αύξηση της συγκέντρωσης των λιπαρών οξέων στο πλάσμα αυξάνεται και η πρόσληψη των λιπαρών οξέων από τα κύτταρα, και αυτά τα λιπαρά οξέα υφίστανται β-οξείδωση στα μιτοχόνδρια, όπου διασπώνται σε ακετυλο-CoA
- Αυξανόμενη συγκέντρωση ακετυλο-CoA (ή αυξημένη αναλογία ακετυλο-CoA προς CoA) αναστέλλει το σύμπλεγμα της πυροσταφυλικής αφυδρογονάσης που διασπά το πυροσταφυλικό σε ακετυλο-CoA
- Επιπλέον, ο αυξημένος σχηματισμός του ακετυλο-CoA από την οξείδωση των λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια αυξάνει τα επίπεδα του κιτρικού στον μυ και, αφού διαχυθεί στο σαρκόπλασμα, το κιτρικό θα μπορούσε να αναστείλει τη φωσφοφρουκτοκινάση, το ένζυμο που περιορίζει τον ρυθμό της γλυκόλυσης
- Το αποτέλεσμα των αυξημένων επιπέδων ακετυλο-CoA και κιτρικού είναι, επομένως, η μείωση του ρυθμού της γλυκόλυσης
- Αυτός ο μειωμένος ρυθμός της γλυκόλυσης, με τη σειρά του, μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση G6P στο σαρκόπλασμα του μυός, η οποία αναστέλλει τη δραστηριότητα της εξακινάσης και έτσι μειώνει την πρόσληψη γλυκόζης από τον μυ

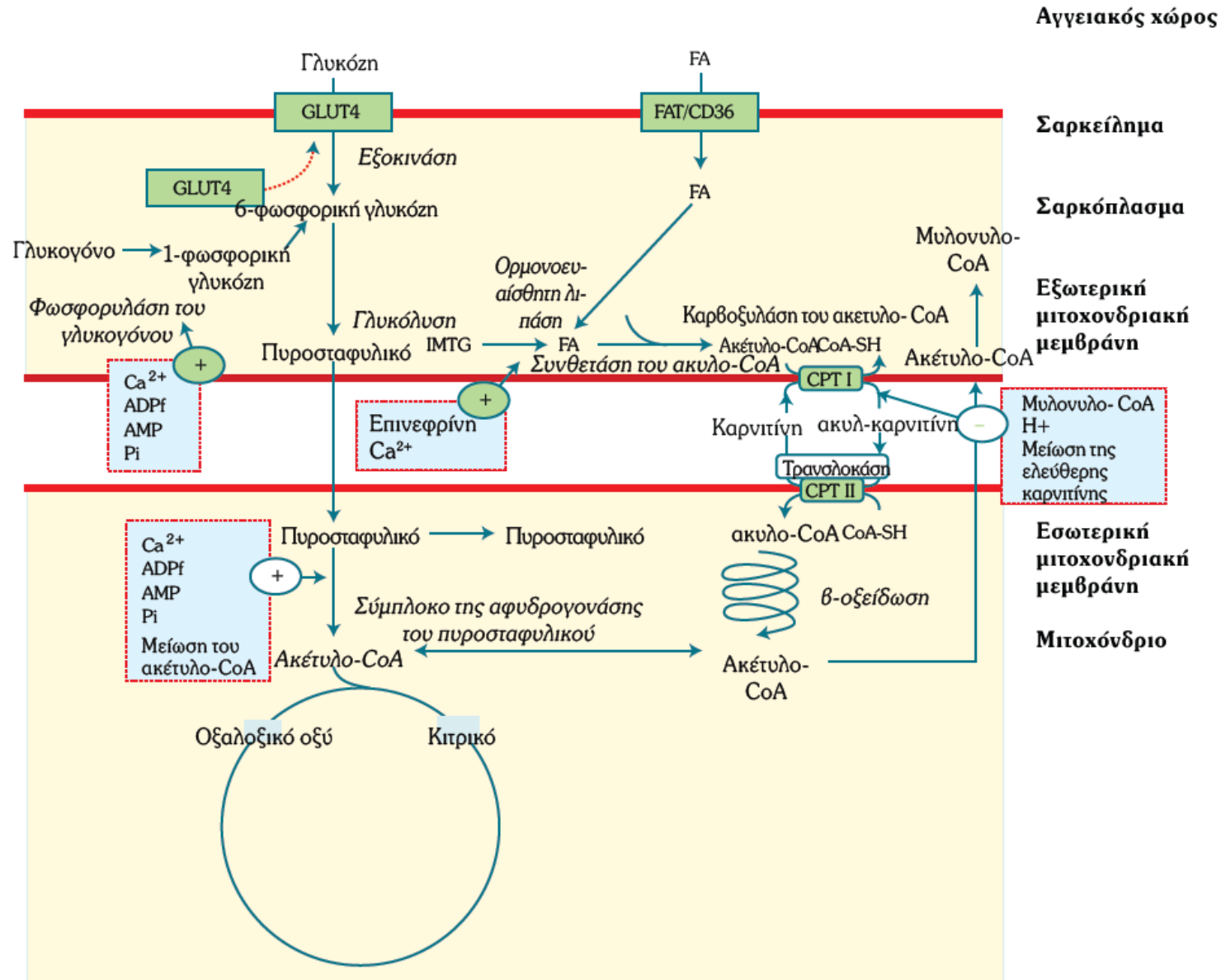
# Κύκλος γλυκόζης-ΛΟ



Μια πιο πρόσφατη θεωρία σχετικά με τη ρύθμιση του μεταβολισμού των υδατανθράκων και του λίπους προτείνει ότι το λίπος δεν ρυθμίζει τον μεταβολισμό των υδατανθράκων, αλλά ότι οι υδατάνθρακες ρυθμίζουν τον μεταβολισμό του λίπους

Η αύξηση του ρυθμού της γλυκόλυσης μειώνει την οξείδωση του λίπους

# Αντιστροφή του κύκλου γλυκόζης λιπαρών οξέων



Η αύξηση της γλυκόλυσης μπορεί να μειώσει τη μεταφορά λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια. CPT I = παλμιτοϋλοτρανσφεράση καρνιτίνης I, CPT II = παλμιτοϋλοτρανσφεράση καρνιτίνης II, ADP*f* = ελεύθερη ADP

# Συμπληρωματική Λήψη Λίπους και Άσκηση

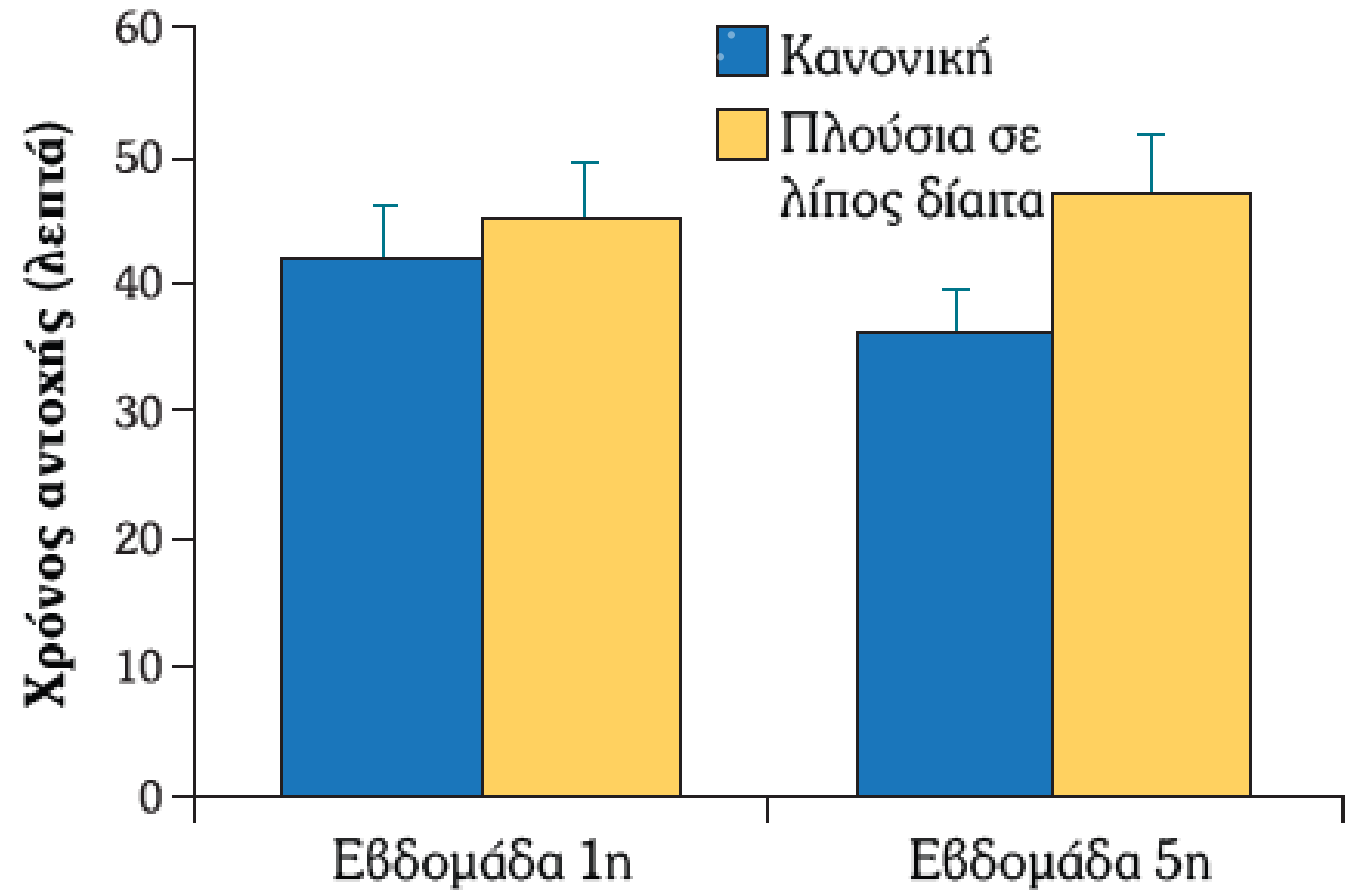
Οι επιδράσεις της κατανάλωσης λίπους πριν ή κατά τη διάρκεια της άσκησης, ως μέθοδος αύξησης της διαθεσιμότητας λιπαρών οξέων και αύξησης της οξειδωσης λίπους προκειμένου να μειωθεί η διάσπαση του μυϊκού γλυκογόνου, έχουν μελετηθεί.

- Τριγλυκερίδια Μακράς & Μέσης Αλύσου
- Κετονοσώματα
- Ιχθυέλαιο

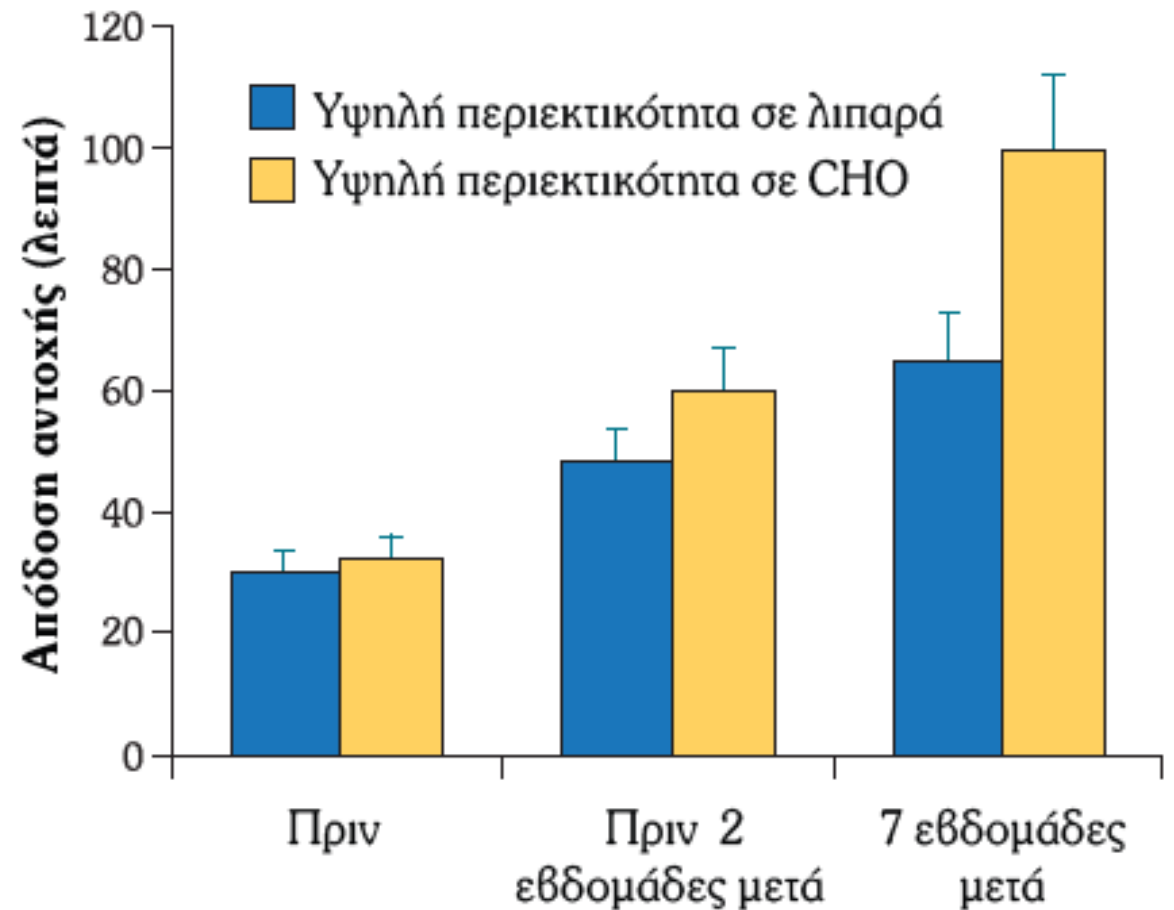
# Επιδράσεις της Δίαιτας στον Μεταβολισμό του Λίπους και την Απόδοση

- Νηστεία
- Βραχυπρόθεσμη Δίαιτα Υψηλής Περιεκτικότητας σε Λιπαρά
- Μακροχρόνια Δίαιτα Υψηλής Περιεκτικότητας σε Λιπαρά
- Η Κετογονική Δίαιτα

Απόδοση των  
αρουραίων στο  
τρέξιμο με δίαιτα  
πλούσια σε  
λιπαρά



Δίαιτες υψηλής  
περιεκτικότητας σε  
λιπαρά και βελτίωση της  
απόδοσης κατά τη  
διάρκεια προπόνησης  
σε ανθρώπους



# Συμπληρώματα που Αυξάνουν την Οξειδωση Λίπους

- Καφεΐνη
- Πυροσταφυλικό
- Καρνιτίνη
- Βανάδιο (θειικό βαναδύλιο)
- Χρώμιο
- Υοχιμβίνη
- Διυδροξυακετόνη
- Πράσινο τσάι ή εκχυλίσματα πράσινου τσαγιού
- Γαλακτική επιγαλλοκατεχίνη (EGCG)
- Φουκοξανθίνη



- Σε αντίθεση με τις αποθήκες υδατανθράκων, οι αποθήκες λίπους είναι μεγάλες στον άνθρωπο και θεωρούνται πρακτικά απεριόριστες. Οι αποθήκες λίπους βρίσκονται κυρίως στον λιπώδη ιστό, αλλά σημαντικές ποσότητες υπάρχουν και ως IMTG.
- Τα στάδια που θα μπορούσαν δυνητικά να περιορίσουν την οξείδωση του λίπους είναι η λιπόλυση, η απομάκρυνση των λιπαρών οξέων από το λιποκύτταρο, η μεταφορά του λίπους μέσω της αιματικής κυκλοφορίας, η μεταφορά των λιπαρών οξέων μέσα στο μυϊκό κύτταρο, η μεταφορά των λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια ή η οξείδωση των λιπαρών οξέων στη μεταβολική οδό της β-οξείδωσης και στον κύκλο TCA.
- Τα περισσότερα λιπαρά οξέα αποθηκεύονται με τη μορφή τριγλυκεριδίων στον υποδόριο λιπώδη ιστό και τα λιπαρά οξέα απελευθερώνονται μαζί με τη γλυκερόλη μετά τη διάσπαση των τριγλυκεριδίων (λιπόλυση) από το ένζυμο ορμονοευαίσθητη λιπάση.
- Τα περισσότερα λιπαρά οξέα στο αίμα (>99,9%) είναι συνδεδεμένα με την αλβουμίνη.
- Έχουν αναγνωριστεί πρωτεΐνες μεταφορείς (FAT/CD36) που είναι πιθανώς υπεύθυνες για το μεγαλύτερο μέρος της μεταφοράς των λιπαρών οξέων διαμέσου του σαρκειλήματος. Αφού εισέλθουν στο μυϊκό κύτταρο, τα λιπαρά οξέα συνδέονται με πρωτεΐνες δέσμευσης λιπαρών οξέων.
- Στους μυς, τα λιπαρά οξέα αποθηκεύονται ως IMTG, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό καύσιμο κατά τη διάρκεια της άσκησης.
- Το ένζυμο CPT I διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη μεταφορά των λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια.
- Οι υδατάνθρακες και τα λίπη οξειδώνονται πάντα ως μείγμα και η σχετική συνεισφορά αυτών των δύο υποστρωμάτων εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης, το επίπεδο της αερόβιας κατάστασης, τη διατροφή και την πρόσληψη υδατανθράκων πριν και κατά τη διάρκεια της άσκησης.

## Βασικά Σημεία



- Σε απόλυτους όρους, η οξείδωση του λίπους αυξάνεται καθώς η ένταση της άσκησης αυξάνεται από χαμηλά σε μέτρια επίπεδα, αν και η ποσοστιαία συνεισφορά του λίπους μπορεί να μειωθεί.
- Σε υψηλότερες εντάσεις άσκησης (>75% της  $\dot{V}O_2\max$ ), η οξείδωση του λίπους αναστέλλεται, και οι σχετικοί και απόλυτοι ρυθμοί οξείδωσης του λίπους μειώνονται σε αμελητέες τιμές. Σε προπονημένα άτομα, τα μέγιστα ποσοστά οξείδωσης του λίπους παρατηρούνται στο 62% έως 63% της  $\dot{V}O_2\max$ .
- Η διατροφή έχει σημαντικές επιπτώσεις στην οξείδωση του λίπους. Γενικά, μια δίαιτα υψηλής περιεκτικότητας σε υδατάνθρακες και χαμηλής περιεκτικότητας σε λίπος μειώνει την οξείδωση του λίπους, ενώ μια δίαιτα με υψηλή περιεκτικότητα σε λίπος και χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες αυξάνει την οξείδωση του λίπους.
- Η κατανάλωση υδατανθράκων πριν από την άσκηση μειώνει την οξείδωση του λίπους μειώνοντας τη λιπόλυση και τη διαθεσιμότητα λιπαρών οξέων στο πλάσμα και αναστέλλοντας την εξαρτώμενη από την καρνιτίνη μεταφορά λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια.
- Ο ρυθμός χρήσης των υδατανθράκων κατά τη διάρκεια παρατεταμένης έντονης άσκησης συνδέεται στενά με τις ενεργειακές ανάγκες του ασκούμενου μυός. Αντίθετα, η χρήση λίπους κατά τη διάρκεια της άσκησης δεν ρυθμίζεται αυστηρά. Δεν υπάρχουν μηχανισμοί που να αντιστοιχίζουν στενά τον μεταβολισμό των λιπαρών οξέων με την ενεργειακή δαπάνη. Συνεπώς, η οξείδωση του λίπους επηρεάζεται κυρίως από τη διαθεσιμότητα του λίπους και τον ρυθμό χρήσης των υδατανθράκων.
- Η κατανάλωση τριγλυκερίων μακράς αλύσου κατά τη διάρκεια άσκησης δεν είναι επιθυμητή, διότι επιβραδύνουν τη γαστρική κένωση, εμφανίζονται μόνο αργά στη συστηματική κυκλοφορία και εισέρχονται στη συστηματική κυκλοφορία συνδεδεμένα με τα χυλομικρά, τα οποία πιστεύεται ότι αποτελούν ασήμαντη πηγή καυσίμου κατά τη διάρκεια της άσκησης.

# Βασικά Σημεία



- Τα τριγλυκερίδια μεσαίας αλύσου απομακρύνονται γρήγορα από το στομάχι, απορροφώνται και οξειδώνονται, αλλά η κατάποση μεγάλων ποσοτήτων MCTs οδηγεί σε γαστρεντερικές διαταραχές. Όταν προσλαμβάνονται σε μικρότερες ποσότητες, τα MCTs δεν φαίνεται να έχουν τις θετικές επιδράσεις στην απόδοση που συχνά υποστηρίζονται.
- Η νηστεία αυξάνει τη διαθεσιμότητα των λιπιδικών υποστρωμάτων και οδηγεί σε αυξημένη οξείδωση των λιπαρών οξέων στην ηρεμία και κατά τη διάρκεια άσκησης. Επειδή, όμως, δεν διατηρούνται τα αποθέματα του ηπατικού γλυκογόνου, η αντοχή στην κόπωση και η απόδοση στην άσκηση μειώνονται.
- Οι δίαιτες υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά για 3 έως 5 ημέρες αυξάνουν τη διαθεσιμότητα των λιπιδικών υποστρωμάτων, αλλά μειώνουν την αποθήκευση γλυκογόνου. Ως αποτέλεσμα, η οξείδωση του λίπους αυξάνεται κατά τη διάρκεια της άσκησης, αλλά η αντοχή στην κόπωση και η απόδοση στην άσκηση μειώνονται.
- Αν και η υπόθεση ότι η μακροχρόνια δίαιτα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά μπορεί να αυξήσει την ικανότητα οξείδωσης του λίπους και να βελτιώσει την απόδοση στη διάρκεια του αγώνα είναι ελκυστική, λίγα στοιχεία δείχνουν ότι η υπόθεση αυτή είναι αληθής.

# Βιβλιογραφία

- ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ, Asker Jeukendrup, Michael Gleeson. (3-8, 205-232)
- Pierce BJ, McWilliams SR. The Fat of the Matter: How Dietary Fatty Acids Can Affect Exercise Performance Integrative and Comparative Biology, (54) 5, 2014, 903–912
- Jisu Kim, Jonghoon Park, Kiwon Lim. Nutrition Supplements to Stimulate Lipolysis: A Review in Relation to Endurance Exercise Capacity. J Nutr Sci Vitaminol 2016; 62(3):141-61.
- Fritzen AM, Lundsgaard A, Kiens B. Tuning fatty acid oxidation in skeletal muscle with dietary fat and exercise. Nat Rev Endocrinol 2020 Dec;16(12):683-696
- Hansen K, Shriver T, Schoeller D. The effects of exercise on the storage and oxidation of dietary fat. Sports Med 2005;35(5):363-73.
- Vogt M et al. Effects of dietary fat on muscle substrates, metabolism, and performance in athletes. Med Sci Sports Exerc 2003 Jun;35(6):952-60.