

Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΗΤΕΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε.Τ.Δ. , ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ & ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ :

«Συμμετοχή του λίπους κατά τη διάρκεια της άσκησης»

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ : ΜΑΡΙΑ ΚΑΡΒΕΛΑ
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Κα ΑΛΕΞΙΟΥ ΕΛΕΝΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ :

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	2 -3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ:	
A. Σημασία της διατροφής στους αθλητές.....	6 -7
B. Ρόλος της διατροφής στη μεγιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης.	7 -10
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^Ο</u>	
ΕΝΟΤΗΤΑ 1.1.	
Πηγές παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια της άσκησης.....	11
ΕΝΟΤΗΤΑ 1.2.	
Διάκριση αθλημάτων σε αερόβια και αναερόβια.....	12 -18
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^Ο</u>	
ΕΝΟΤΗΤΑ 2.1.	
Λίπη : Δομή/ Λειτουργίες.....	19 -23
ΕΝΟΤΗΤΑ 2.2.	
Πέψη και απορρόφηση.	24 -27
ΕΝΟΤΗΤΑ 2.3.	
Τριγλυκερίδια ως πηγή ενέργειας στην άσκηση.....	28 -41
ΕΝΟΤΗΤΑ 2.4.	
Διαδικασίες που πιθανόν μειώνουν την οξειδωση των λιπαρών οξέων από το μυ:	
I. Παράγοντες που περιορίζουν την πρόσληψη λίπους από τα μυϊκά κύτταρα.....	42 -44
II. Παράγοντες που περιορίζουν την οξειδωση των λιπαρών οξέων από τα μυϊκά κύτταρα...	45 -50
ΕΝΟΤΗΤΑ 2.5.	
Επίδραση της έντασης και διάρκειας της άσκησης στο μεταβολισμό του λίπους.....	51 -64
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^Ο</u>	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
Διατροφικές μέθοδοι για ενίσχυση της οξειδωσης του λίπους κατά την αερόβια άσκηση.....	65

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.1.

Πρόσληψη καφεΐνης πριν από την άσκηση.....66 -69

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.2.

Αύξηση της πρόσληψης λίπους πριν την άσκηση: επιδράσεις στον μεταβολισμό και την απόδοση των

αθλητών.....70

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.

Πρόσληψη Τριγλυκεριδίων Μακρίας Αλύσσου και Τριγλυκεριδίων Μέσης Αλύσσου κατά τη διάρκεια της άσκησης.....71 -75

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.4.

Προσαρμογές σε δίαιτα υψηλή σε λίπη και χαμηλή σε υδατάνθρακες (επιδράσεις στην αντοχή και την απόδοση).....76 -81

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.5.

Χρόνια χρήση υψηλής σε λίπος δίαιτας ακολουθούμενη από δίαιτα υψηλή σε υδατάνθρακες: αλληλεπίδραση του μεταβολισμού των ελεύθερων λιπαρών οξέων και του μεταβολισμού των υδατανθράκων.....82 -85

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.6.

Χορήγηση συμπληρώματος L-καρνιτίνης.....86 -88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα χρησιμοποίησης του λίπους για παραγωγή ενέργειας (αθλητές-μη αθλητές/ κρύο και θερμό περιβάλλον)89 -94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Σχέση και αλληλεπίδραση του διαιτητικού λίπους και του σωματικού λίπους.....95 -98

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες.....99 -100

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....101

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ.....102 -104

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ :

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου, Κα Αλεξίου Έλενα, για την πολύτιμη βοήθειά της κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Οφείλω τις ευχαριστίες μου ιδιαίτερα στην Κα Αλεξίου, διότι φρόντισε η εργασία αυτή, να πραγματοποιηθεί όχι μόνο ως το τελευταίο βήμα πριν από την απόκτηση του πτυχίου, αλλά και ως μια διαδικασία που φέρει κυρίως παιδαγωγικό ρόλο. Έτσι το τέλος μιας προσπάθειας αποτελεί την καινούρια αρχή για δραστηριοποίηση και εξέλιξη.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ

Σκοπός

Σκοπός της εργασίας είναι να προσδιοριστεί ο βαθμός που τα λίπη εμπλέκονται στην παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια της άσκησης, το είδος της άσκησης που υποστηρίζουν περισσότερο και ο τρόπος που είναι δυνατό όσοι ασχολούνται με τέτοιου είδους αθλήματα, να βοηθηθούν και να επωφεληθούν σε επίπεδο απόδοσης από μια καλά σχεδιασμένη δίαιτα.

Μέθοδος

Θα βασιστώ σε άρθρα που έχουν δημοσιευτεί σε αξιόπιστα περιοδικά και που είτε αποτελούν άρθρα ανασκόπησης (review articles) που υποστηρίζονται από αντίστοιχες έρευνες και έχουν δεχτεί θετική κριτική από γνωστούς επιστήμονες του χώρου, ή θα αναφερθώ σε κοινά αποδεκτά άρθρα που περιγράφουν έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε θέματα που αφορούν τη χρησιμοποίηση των λιπών. Παράλληλα θα ανατρέξω σε πρόσφατη βιβλιογραφία που καλύπτει και τεκμηριώνει το ρόλο των λιπών στην άσκηση και θα τη χρησιμοποιήσω ως πρωταρχικό και κύριο εργαλείο για να επιχειρήσω να κάνω μια προσωπική τελική ανασκόπηση, σύμπτυξη και αξιολόγηση των μέχρι σήμερα δεδομένων. Τέλος θα προτείνω προοπτικές για μελλοντικές μελέτες.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

A. Σημασία της διατροφής στους αθλητές

Η σωστή διατροφή αποτελεί το θεμέλιο της σωματικής απόδοσης. Οι τροφές που καταναλώνουμε περιέχουν τις χημικές ουσίες που απαιτούνται και τα καύσιμα για τη βιολογική δραστηριότητα, και ταυτόχρονα παρέχουν στον οργανισμό τη δυναμική ενέργεια που περικλείουν. Η τροφή επίσης προμηθεύει και τα θρεπτικά συστατικά για τη σύνθεση νέων ιστών αλλά και για την επιδιόρθωση των ήδη υπάρχοντων κύτταρων.

Συχνά οι άνθρωποι ασκούνται για να επιτύχουν την καλύτερη δυνατή απόδοση και δεν τα καταφέρνουν λόγω ανεπαρκών, αντιπαραγωγικών και κάποιες φορές επιβλαβών διατροφικών συνηθειών. Οι σωστές διατροφικές συνήθειες και η τακτική άσκηση αποκρούουν πολλές νοσηρές καταστάσεις. Μεγάλης σημασίας είναι και ο τρόπος που ο οργανισμός αντλεί ενέργεια από τις διάφορες τροφές που καταναλώνουμε, ώστε αυτή να χρησιμοποιηθεί σαν ζωτικό καύσιμο για την άσκηση.

Από ενεργειακή προοπτική, είναι διδακτική η αναλογία που παραλληλίζει, τον τρόπο που το αυτοκίνητο και το ανθρώπινο σώμα λαμβάνουν την ενέργεια που τα κάνει να «ξεκινούν». Στην μηχανή του αυτοκίνητου, η ανάφλεξη του κατάλληλου μίγματος καύσιμης βενζίνης (ενεργειακή ‘τροφή’ του αυτοκίνητου), παρέχει την ενέργεια, που κινεί τα πιστόνια. Οι ταχύτητες και οι άξονες μετατρέπουν την ενέργεια σε γύρισμα των τροχών. Η αύξηση ή η μείωση της παροχής ενέργειας επιταχύνει ή επιβραδύνει τη μηχανή. Με παρόμοιο τρόπο, η μηχανή του ανθρώπου πρέπει συνεχώς να αντλεί ενέργεια από τα θρεπτικά συστατικά (καύσιμα) που καταναλώνουμε, ώστε να την χρησιμοποιεί στην επιτέλεση πολύπλοκων λειτουργιών. Εκτός από την κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας για την μυϊκή συστολή κατά την διάρκεια της φυσικής δραστηριότητας, ο οργανισμός καταναλώνει σημαντικά ποσά ενέργειας και για άλλες, πιο «σιωπηλές» μορφές βιολογικής δραστηριότητας :

- Πέψη, απορρόφηση και αφομοίωση των θρεπτικών συστατικών των τροφών.
- Έκκριση ορμονών κατά την ηρεμία και την άσκηση.
- Διατήρηση της ηλεκτροχημική διαφοράς κατά μήκος των κυτταρικών μεμβρανών, ώστε να μεταδίδονται τα ηλεκτρικά σήματα από τον εγκέφαλο στους μυς μέσω των νεύρων.
- Σύνθεση νέων χημικών συστατικών, όπως οι αδρές και λεπτές πρωτεϊνικές δομές των ιστών των σκελετικών μυών, που αναπτύσσονται με την προπόνηση αντοχής.

Οι θρεπτικές ουσίες χωρίζονται σε 6 βασικές κατηγορίες: υδατάνθρακες, λιπίδια, πρωτεΐνες, βιταμίνες, μεταλλικά άλατα και νερό. Η κατανόηση του ρόλου κάθε θρεπτικού συστατικού στον ενεργειακό μεταβολισμό και τη σύνθεση των ιστών, αποσαφηνίζει το βαθμό της αλληλεπίδρασης μεταξύ της πρόσληψης και αποθήκευσης της τροφής και της απόδοσης κατά την άσκηση. Αν και δεν υπάρχουν «μαγικές» συνταγές στη διατροφή, η ποσότητα και ο συνδυασμός των θρεπτικών συστατικών στην καθημερινή διατροφή, επηρεάζουν σημαντικά την ικανότητα για άσκηση, την ανταπόκριση στην προπόνηση, και τη συνολική υγεία.¹

B. Ρόλος της διατροφής στη μεγιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης.

Οποιαδήποτε βιολογική διαδικασία, όπως ανάπτυξη, πέψη, απορρόφηση, μεταβολισμός θρεπτικών συστατικών, λειτουργία Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (ΚΝΣ), απαιτεί ενέργεια. Από όλους τους ιστούς, οι μύες διαθέτουν τη μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής και χρησιμοποίησης ενέργειας. Η διαθεσιμότητα των καταλλήλων θρεπτικών συστατικών από τις ενδογενείς αποθήκες ενέργειας ή από την εξωγενή πρόσληψη είναι απαραίτητη, προκειμένου να διατηρηθεί η παραγωγή ενέργειας σε υψηλό βαθμό. Οποιαδήποτε έλλειψη θα σήμαινε μείωση της δυνατότητας απόδοσης σε οποιασδήποτε έντασης εργασία.

Το ηπατικό γλυκογόνο, είναι η κύρια πηγή γλυκόζης του αίματος. Η γλυκόζη του αίματος και το μυϊκό γλυκογόνο, είναι τα βασικότερα καύσιμα για τη διατήρηση υψηλής έντασης στον αγώνα ή στην προπόνηση, στα αγωνίσματα μεγάλης διάρκειας.

Το κυρίαρχο ερώτημα που επικρατεί στους αθλητικούς κύκλους, αφορά τη διατροφή σε σχέση με τον αγώνα. Είναι ανάγκη να γίνει αντιληπτό ότι ένα ισορροπημένο προαγωνιστικό γεύμα ή μια ιδανική διατροφική αγωγή λίγες ημέρες πριν, καθώς και κατά τη διάρκεια του αγώνα, δεν αντικαθιστά εύκολα μια συνεχή επαρκή διατροφή σε καθημερινή βάση.

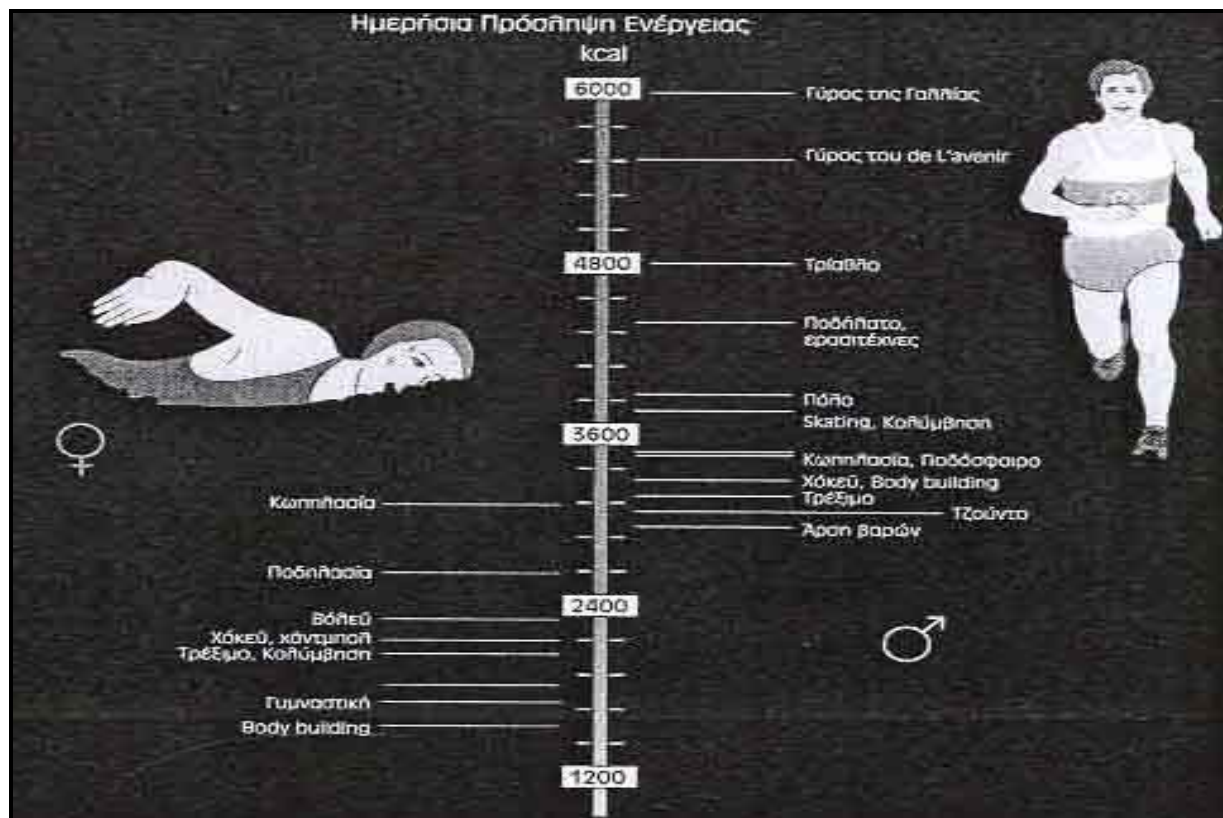
Η κατανάλωση υδατανθράκων και υγρών, πριν και κατά τη διάρκεια του αγώνα, μπορεί να βελτιώσει την απόδοση, αλλά δε μπορεί να εξουδετερώσει μια ενδεχόμενη μη ισορροπημένη και ανεπαρκή διατροφή, που ακολουθεί ο αθλητής, για αυτό το λόγο, η αθλητική απόδοση εξαρτάται και από την επιμόρφωση των αθλητών σε θέματα διατροφής και στην καθημερινή εφαρμογή αυτών. Μια ισορροπημένη διατροφή, παρέχει στους αθλητές, όλα τα μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά, χωρίς να υπάρχει ανάγκη πρόσληψης συμπληρωμάτων. Η αθλητική διατροφή, αναφέρεται στην εφαρμογή των διατροφικών αρχών με στόχο τη μεγιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης.

Παράλληλα απαιτούνται οι κατάλληλες προπονητικές τεχνικές, για την ανάπτυξη συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ενός αθλήματος και τη μέγιστη εκμετάλλευση των γενετικών δυνατοτήτων του αθλητή. Πρέπει να τονιστεί πάντως στο σημείο αυτό, ότι κάθε προπονητικό πρόγραμμα οδηγείται στην επίτευξη του στόχου του μονό με τη συνδρομή της κατάλληλης διατροφικής κάλυψης. Η δυσθρεψία (υποθρεψία ή υπερθρεψία) αποτελεί εμπόδιο στην αθλητική απόδοση. Η πρώτη πιθανότατα εξαιτίας ανεπαρκούς ενεργειακής απόδοσης, ανικανότητας ρύθμισης του μεταβολισμού της άσκησης ή μειωμένης σύνθεσης ιστών και ένζυμων, ενώ η δεύτερη συχνά δυσχεραίνει φυσιολογικές διαδικασίες του οργανισμού ή οδηγεί σε ανεπιθύμητες μεταβολές στη σύνθεση του σώματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετοί αθλητές, διατροφικά, δε συμβαδίζουν με τις συστάσεις του RDA (Recommended Dietary Allowances- συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη), σε ότι αφορά τα θρεπτικά συστατικά των τροφών. Αυτό κυρίως αφορά αθλήτριες και αθλητές που συμμετέχουν σε αγωνίσματα, όπου το σωματικό βάρος και λίπος είναι μεγάλης σπουδαιότητας, όπως μπαλέτο, ενόργανη και ρυθμική γυμναστική, αγώνας δρόμου, άλματα, άρση βαρών, πάλη και body building.

Ωστόσο, πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, μικρότερη από τη συνιστώμενη τιμή, δε συσχετίζεται απόλυτα με κάποια διατροφική ανεπάρκεια. Πλήθος παραγόντων καθορίζει τη σημασία της αθλητικής διατροφής στην αθλητική απόδοση, όπως το φύλο, η ηλικία, το βάρος, η διατροφική κατάσταση του αθλητή, ο τρόπος ζωής και βέβαια ο τύπος, η ένταση και η διάρκεια της προπόνησης και του αθλήματος, στο οποίο συμμετέχει το άτομο (EIKONA A). Επιπλέον στην αθλητική απόδοση επιδρούν ποικίλοι φυσιολογικοί, ψυχολογικοί και βιοκινητικοί παράγοντες. Τα αθλητικά ρεκόρ δεν είναι δυνατόν να επιτυγχάνονται κάθε μέρα, καθώς η φυσιολογία και η ψυχολογία του ατόμου διαφοροποιείται ακόμα και κατά τη διάρκεια αυτής της ημέρας.

Γενικά ενδείκνυται να λαμβάνεται το προαγωνιστικό γεύμα 2 έως 4 ώρες πριν από τον αγώνα και να περιέχει υψηλό ποσοστό υδατανθράκων και χαμηλό λίπους και πρωτεϊνών. Επίσης προτείνεται να αποφεύγονται τρόφιμα πλούσια σε φυτικές ίνες, καρυκεύματα και στερεό υπόλειμμα καθώς και ανθρακούχα ποτά και αλκοόλ. Τα ανθρακούχα ποτά, καλό είναι να αποφεύγονται επειδή μπορεί να προκαλέσουν κοιλιακές κράμπες και ναυτία. Η πρόσληψη ενέργειας κατά τη διάρκεια της άσκησης κρίνεται απαραίτητη όταν αυτή διαρκεί περισσότερο από 90 λεπτά (ποδόσφαιρο, ποδηλασία, τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων).

Τέλος το μετααγωνιστικό γεύμα πρέπει να είναι το μεγαλύτερο της ημέρας, να μεσολαβεί μικρό χρονικό διάστημα από τον αγώνα και να παρέχει άφθονους υδατάνθρακες, νερό και ηλεκτρολύτες, προκειμένου να επιτευχθεί αποκατάσταση των υγρών και ηλεκτρολυτών, αλλά και του μυϊκού και ηπατικού γλυκογόνου. Επίσης με το γεύμα αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται και η διατήρηση των επιπέδων της γλυκόζης του αίματος. Το γεγονός αυτό είναι υψίστης σημασίας, ιδιαίτερα όταν ακολουθεί μια δεύτερη προπόνηση ή αγώνας. Παράλληλα στη σύσταση της διατροφής του αθλητή, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι διατροφικές προτιμήσεις και συνήθειες του αθλητή. Είναι σημαντικό τα επιλεγμένα τρόφιμα και ποτά, να είναι αρεστά στον αθλητή, εύπεπτα και να μην επιφέρουν γαστρικές διαταραχές.²



ΕΙΚΟΝΑ Α

Ημερήσια θερμιδική πρόσληψη αθλητών και αθλητριών υψηλών επιδόσεων σε ομαδικά αθλήματα καθώς και σε ατομικά αθλήματα αντοχής και αντίστασης³

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.1.

Πηγές παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια της άσκησης

Κατά τη διάρκεια της άσκησης, η απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται ο αθλητής προέρχεται από τον καταβολισμό των θερμιδογόνων θρεπτικών συστατικών, δηλαδή των υδατανθράκων, λιπών και πρωτεϊνών. Κύριες πηγές ενέργειας για την άσκηση αποτελούν οι υδατάνθρακες και τα λίπη, των οποίων η συμμετοχή στους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας εξαρτάται ανάλογα με τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης.

Έτσι, κατά τη διάρκεια άσκησης που υπερβαίνει τα 60 λεπτά, ένα ποσοστό της ενέργειας που μπορεί (σε κάποιες περιπτώσεις) να φτάσει το 15 % της συνολικής ενέργειας που απαιτείται προέρχεται από τη διάσπαση των πρωτεϊνών, ενώ το υπόλοιπο καλύπτεται από τους υδατάνθρακες και τα λίπη. Όταν η ένταση της άσκησης υπερβαίνει το 90 % της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (μέγιστος όγκος οξυγόνου), τότε οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται αποκλειστικά από τους υδατάνθρακες που καταβολίζονται αναερόβια. Σε χαμηλής έντασης άσκηση, για παράδειγμα στο περπάτημα, δηλαδή σε μια ένταση 20-30 % της αερόβιας ικανότητας του ατόμου, η χρησιμοποίηση του γλυκογόνου είναι χαμηλή και το άτομο βασίζεται κυρίως στην παροχή ελευθέρων λιπαρών οξέων. Έχει αναφερθεί ότι περίπου το 50 % της συνολικής ενεργειακής δαπάνης, προέρχεται από τα λιπαρά οξέα. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αυξημένης λειτουργίας των ένζυμων, που παίρνουν μέρος στη διάσπαση των λιπών.

Τα λίπη αποτελούν επίσης μια σημαντική πηγή ενέργειας για τον αθλητή. Η μεγαλύτερη σημασία των λιπών σαν πηγή ενέργειας στον αθλητή, αναγνωρίζεται κύρια στον ρολό που διαδραματίζουν όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας από τους υδατάνθρακες.

1.2. Διάκριση αθλημάτων σε αερόβια και αναερόβια

Η σωματική άσκηση προβάλλει προφανώς την εντονότερη απαίτηση για ενέργεια. Για παράδειγμα στους δρόμους ταχύτητας, στην ποδηλασία και την κολύμβηση, η απαιτούμενη ενέργεια από τους εργαζόμενους μυς μπορεί να είναι 120 φορές περισσότερη από ότι σε ανάπαυση.

Αντίθετα κατά τη διάρκεια λιγότερο έντονης αλλά παρατεταμένης άσκησης, όπως σε μαραθώνιο δρόμο, η ενεργειακή απαίτηση αυξάνεται κατά 20 έως 30 φορές από εκείνη κατά την ανάπαυση. Η σχετική συμβολή των ποικίλων μέσων του σώματος για μεταφορά ενέργειας, διαφέρει και ουσιαστικά εξαρτάται, από τη διάρκεια, την ένταση της άσκησης και τη φυσική κατάσταση του αθλούμενου. Είναι λοιπόν σημαντικό να τονιστεί πως τα διάφορα ενεργειακά συστήματα του σώματος αλληλενεργούν κατά τη διάρκεια ασκήσεων διαφορετικής έντασης.⁵

Σε πολλές περιπτώσεις και τα τρία ενεργειακά μεταφορικά συστήματα, δηλαδή, το σύστημα ATP-CP (φωσφοκρεατίνη), το γλυκολυτικό σύστημα ή σύστημα γαλακτικού οξέος και το αερόβιο σύστημα, αναλαμβάνουν έργο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της άσκησης. Η σχετική συνεισφορά τους στην παραγωγή ενέργειας, ωστόσο, εξαρτάται άμεσα από την έκταση του χρόνου και την ένταση με την οποία η συγκεκριμένη δραστηριότητα εκτελείται. Είναι σαφές επομένως ότι διαφορετικές δραστηριότητες ανάλογα με τη διάρκεια και την έντασή τους απαιτούν την ενεργοποίηση συγκεκριμένου ενεργειακού συστήματος (EIKONA 1.2.1). Γενικά είναι δύσκολο να ταξινομηθούν συγκεκριμένες δραστηριότητες σε μια κατηγορία. Για παράδειγμα, καθώς ένα άτομο αθλείται περισσότερο αερόβια, μια προηγούμενη δραστηριότητα ταξινομημένη ως αναερόβια, ενδέχεται να επαναταξινομηθεί ως αερόβια.

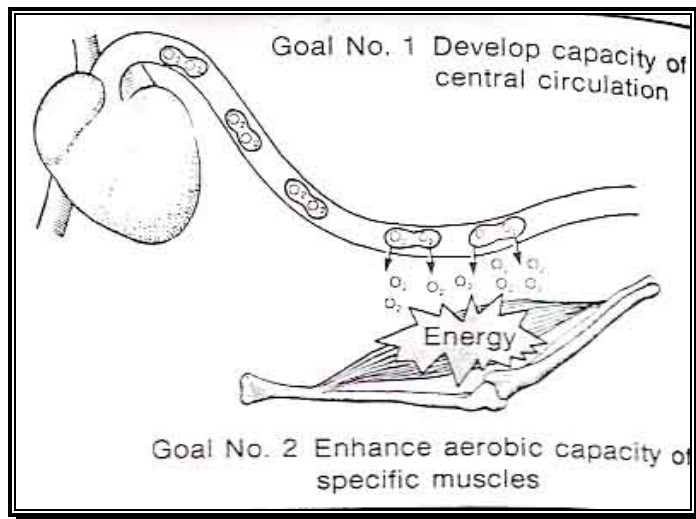
Σύντομες δραστηριότητες δύναμης που διαρκούν μέχρι 6 δευτερόλεπτα, βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά στην άμεση ενέργεια που προέρχεται από τη διάσπαση των αποθηκευμένων ενδομυϊκών φωσφορικών ενώσεων – ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη) και CP (φωσφοκρεατίνη). Συνεπώς, οι αθλητές δύναμης, όπως οι σπρίντερς, πρέπει να προπονούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να βελτιώνουν την ικανότητα του παραπάνω ενεργειακού συστήματος.

Όσο η άσκηση παρατείνεται σε περισσότερο από 60 δευτερόλεπτα και η παραγωγή ενέργειας μειώνεται κατά κάποιο τρόπο, το μεγαλύτερο ποσό της ενέργειας, ακόμα προέρχεται από αναερόβια μονοπάτια. Τέτοιου είδους μεταβολικές αντιδράσεις εμπλέκουν το βραχυπρόθεσμο ενεργειακό σύστημα της γλυκόλυσης και ως επακόλουθο το σχηματισμό γαλακτικού οξέος.

Όσο η ένταση της άσκησης μειώνεται και η διάρκεια της επεκτείνεται από 2 σε 4 λεπτά, η διάθεση ενέργειας από τις αποθήκες φωσφορικών και της αναερόβιας γλυκόλυσης μειώνεται, ενώ η αερόβια παραγωγή ATP μετατρέπεται με αυξανόμενο ρυθμό στη σημαντικότερη για παραγωγή ενέργειας. Όσο προχωρά η παρατεταμένη άσκηση, περισσότερο από το 99 % των απαιτήσεων σε ενέργεια προέρχεται από αερόβιες διαδικασίες..⁶

Ανάλογα με τη δραστηριότητα που εκτελείται, κινητοποιείται και η κατάλληλη ομάδα μυϊκών ινών του συμμετέχοντα στην άσκηση μυ. Οι κύριοι τύποι μυϊκών ινών, είναι οι ακόλουθοι:

- ⇒ Μυϊκές ίνες για ταχύτητα. Οι μυϊκές ίνες ταχείας συστολής περιέχουν μεγάλη συγκέντρωση του γλυκολυτικού ενζύμου φωσφοφρουκτοκινάση. Αυτό τις καθιστά ιδανικές για παραγωγή ενέργειας αναερόβια, μέσω της γλυκόλυσης.
- ⇒ Μυϊκές ίνες για αντοχή. Οι μυϊκές ίνες βραδείας συστολής έχουν μια σημαντική παροχή αίματος και μεγάλα, πολυάριθμα μιτοχόνδρια. Αυτό τις κάνει ιδανικές για την αερόβια καύση των λιπών και των υδατανθράκων.⁷



ΕΙΚΟΝΑ 1.2

Οι δύο κύριοι στόχοι της αερόβιας δραστηριότητας⁸

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ

Αθλήματα όπως το ποδόσφαιρο, η άρση βαρών, και άλλες σύντομες δραστηριότητες ταχύτητας (sprint) βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά, σε ενέργεια που προέρχεται από τη μυϊκή δεξαμενή φωσφορικών ενώσεων. Η εξέλιξη της ικανότητας του ενεργειακού συστήματος ATP – CP στο μέγιστο κρίνεται απαραίτητη.

Η δεξαμενή φωσφορικών θα μπορούσε να γεμίσει στο μέγιστο με τη συμμετοχή συγκεκριμένων μυών, σε επαναλαμβανόμενες έντονες προσπάθειες άσκησης, για 5 έως 20 δευτερόλεπτα. Επειδή τα υψηλά σε ενέργεια φωσφορικά, προμηθεύουν ενέργεια για την ενίσχυση της έντασης στη διακοπτόμενη άσκηση, μόνο μικρά ποσά γαλακτικού οξέος παράγονται και η αποκατάσταση είναι ραγδαία. Ωστόσο μία επόμενη περίοδος άσκησης μπορεί να ξεκινήσει ύστερα από ένα διάστημα ανάπαυσης 30 - 60 δευτερόλεπτων. Αυτή η χρήση σύντομων επαναλήψεων άσκησης, ακολουθούμενη από ανάπαυση, αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη εφαρμογή της διαλλεματικής άσκησης, η οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην αναερόβια προπόνηση.⁹

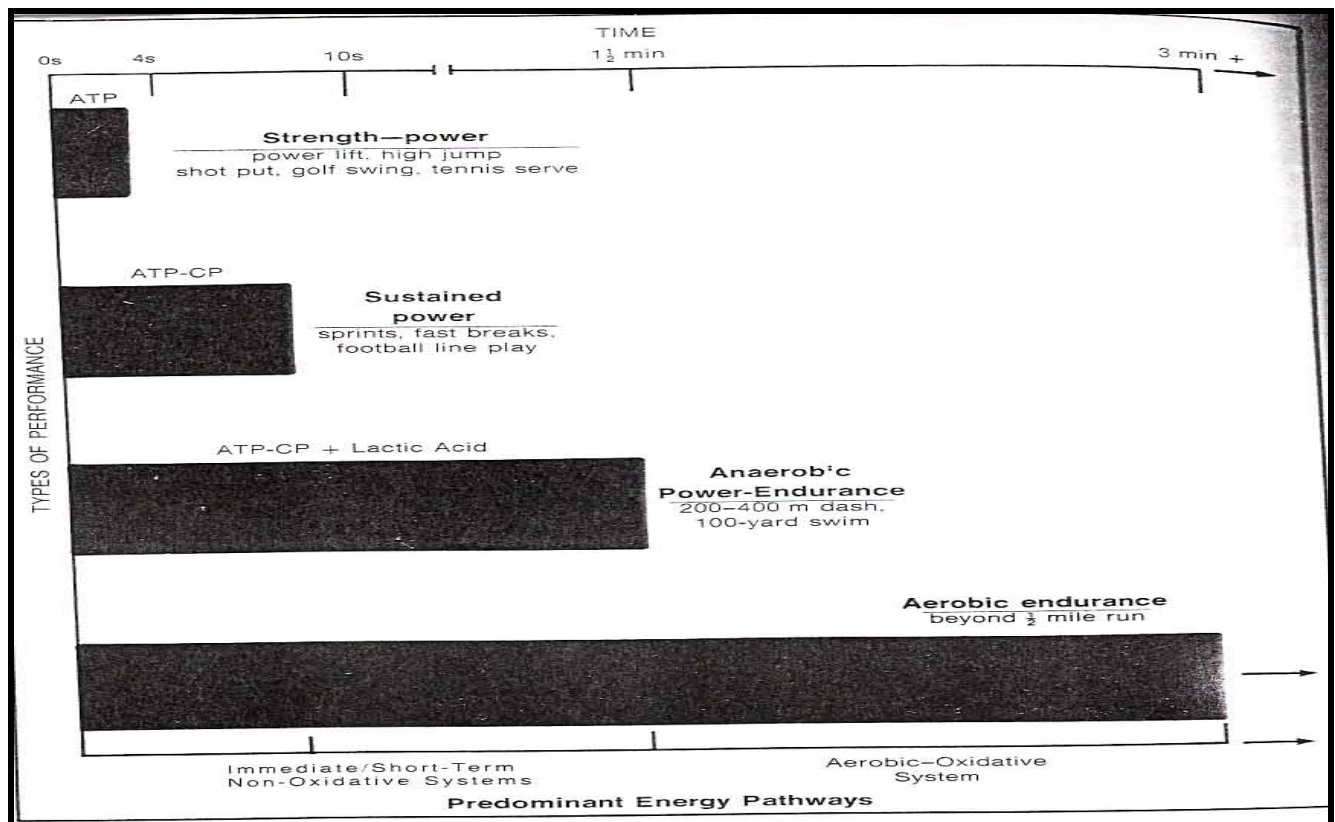
Στην προπόνηση για την ενίσχυση της ικανότητας του ενεργειακού συστήματος ATP – CP συγκεκριμένων μυών, οι δραστηριότητες που επιλέγονται πρέπει να εμπλέκουν τους μύες στην κατάλληλη ταχύτητα κινήσεων που ο αθλητής επιθυμεί βελτιωμένη αναερόβια δύναμη. Αυτή η τακτική ενισχύει την αναερόβια μεταβολική δραστηριότητα των συγκεκριμένων μυϊκών ινών που προπονούνται.

Όσο η διάρκεια της προσπάθειας επεκτείνεται πέρα από τα 10 δευτερόλεπτα, η εξάρτηση από την αναερόβια ενέργεια και τα φωσφορικά μειώνεται, ενώ παράλληλα και η ποσότητα της αναερόβιας ενέργειας που προέρχεται από τη γλυκόλυση μειώνεται. Για τη βελτίωση της ικανότητας απελευθέρωσης αναερόβιας ενέργειας μέσω του βραχυπρόθεσμου ενεργειακού συστήματος του γαλακτικού οξέος, οι φυσιολογικές συνθήκες του προγράμματος προπόνησης πρέπει να ενισχύσουν αυτό το τμήμα του ενεργειακού μεταβολισμού.

Επαναλαμβανόμενες ασκήσεις διάρκειας >1 λεπτού μέγιστου αγώνα δρόμου, κολύμβησης ή ποδηλασίας, με διακοπή 30 δευτερόλεπτων πριν από την εμφάνιση αντικειμενικού αισθήματος εξάντλησης, προκαλούν αύξηση στις συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέος, κοντά στα μέγιστα επίπεδα. Κάθε περίοδος άσκησης θα πρέπει να επαναλαμβάνεται έπειτα από 3 έως 5 λεπτά αποκατάστασης.

Πολλές επαναλήψεις προκαλούν υψηλά επίπεδα γαλακτικού οξέος, σε σύγκριση με μόνο μια επανάληψη άσκησης συνολικής προσπάθειας έως το σημείο της «εθελοντικής» εξάντλησης. Φυσικά είναι σημαντική η χρήση συγκεκριμένης ομάδας μυών που απαιτεί αυτή την ενισχυμένη αναερόβια ικανότητα. Ένας κολυμβητής ύπτιου, θα πρέπει να προπονείται με κολύμβηση ύπτιου, ένας ποδηλάτης θα πρέπει να ποδηλατεί, και ο αθλητής της καλαθοσφαίρισης, του χόκεϊ, ή του ποδοσφαίρου θα πρέπει πολύ γρήγορα να εκτελεί ποικίλες κινήσεις και αλλαγές κατευθύνσεις της άσκησης, παρόμοιες με αυτές που χρειάζονται από τις απαιτήσεις του αθλήματος.

Όταν η άσκηση περιλαμβάνει ένα συγκεκριμένο αναερόβιο κομμάτι, θα πρέπει να συνυπολογίζεται και ο απαραίτητος χρόνος αποκατάστασης. Για αυτόν το λόγο, η αναερόβια προπόνηση δύναμης θα πρέπει να πραγματοποιείται στο τέλος της κατά συνθήκης περιόδου άσκησης.



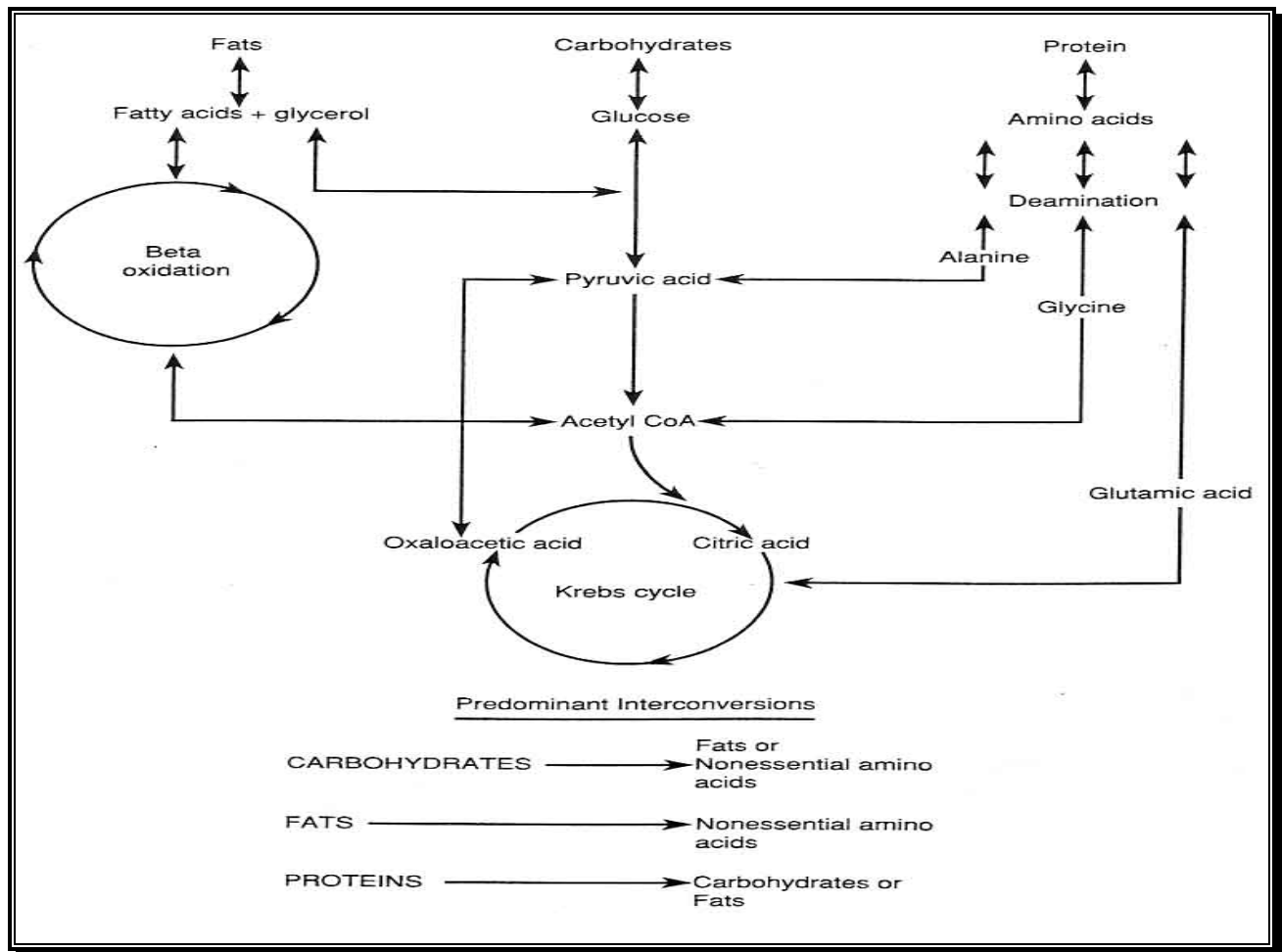
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.1

Ταξινόμηση των δραστηριοτήτων, βάσει της διάρκειας της άσκησης και κυρίαρχα ενδοκυτταρικά ενεργειακά μονοπάτια ¹⁰

ΑΕΡΟΒΙΑ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ

Κατά πρώτο λόγο η αερόβια προπόνηση, θα πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχει επαρκή καρδιαγγειακή φόρτιση για να ενεργοποιηθούν αυξήσεις στη μεγάλη ένταση και την καρδιακή εξαγωγή. Αυτή η κεντρική φόρτιση θα πρέπει να συνοδεύεται από συγκεκριμένες μυϊκές ομάδες, έτσι ώστε να ενισχύεται η τοπική κυκλοφορία και ο «μεταβολικός μηχανισμός» στους συγκεκριμένους μύες που ασκούνται. Αυτή η τακτική, ενισχύει τη συγκεκριμένη αρχή, η οποία βρίσκει εφαρμογή στην αερόβια προπόνηση. Με απλά λόγια, οι δρομείς θα πρέπει να τρέχουν, οι ποδηλάτες να ποδηλατούν και οι κολυμβητές να κολυμπούν.

Σύντομοι περίοδοι επαναλαμβανόμενης άσκησης (εντατική προπόνηση), όπως επίσης και συνεχής, μακράς διάρκειας δραστηριότητα (συνεχής προπόνηση), ενισχύουν την αερόβια δραστηριότητα δεδομένου ότι η άσκηση είναι επαρκώς έντονη, ώστε να υπερφορτιστεί το αερόβιο σύστημα. Η εντατική προπόνηση, η συνεχής προπόνηση και η μακράς διάρκειας προπόνηση, αποτελούν τρεις κοινές μεθόδους βελτίωσης της αερόβιας φυσικής κατάστασης.



EIKONA 1.2.2.

ΑΝΑΕΡΟΒΙΟ ΚΑΙ ΑΕΡΟΒΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ¹¹

Sport or Sport Activity	Emphasis According to Energy Systems		
	ATP-PC and LA*	LA-O ₂ †	O ₂ ‡
Baseball	80	20	—
Basketball	85	15	—
Fencing	90	10	—
Field hockey	60	20	20
Football	90	10	—
Golf	95	5	—
Gymnastics			
Ice hockey			
forwards, defense	80	20	—
goalie	95	5	—
Lacrosse			
goalie defense, attack men	80	20	—
midfielders, man-down	60	20	20
Rowing	20	30	50
Skiing			
slalom, jumping, downhill	80	20	—
cross-country	—	5	95
pleasure skiing	34	33	33
Soccer			
goalie, wings, strikers	80	20	—
halfbacks or link men	60	20	20
Swimming and diving			
50 yd diving	98	2	—
100 yd	80	15	5
200 yd	30	65	5
400-500 yd	20	40	40
1500-1650 yd	10	20	70
Tennis	70	20	10
Track and field			
100-200 yd	98	2	—
field events	90	10	—
440 yd	80	15	5
880 yd	30	65	5
1 mile	20	55	25
2 miles	20	40	40
3 miles	10	20	70
6 miles (cross-country)	5	15	80
marathon	—	5	95
Volleyball	90	10	—

Adapted from Fox EL, Mathews D. *The Physiological Basis of Physical Education and Athletics*. 3rd ed. New York, NY: Saunders College Publishing; 1981. Reprinted with permission.

*Anaerobic (phosphagen system)
†Combination (lactic acid-oxygen)
‡Aerobic (oxygen)

ΕΙΚΟΝΑ 1.2.3

ΑΘΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΤΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ¹²

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Λίπη : Δομή/ Λειτουργίες

Τα λίπη αποτελούν μια μεγάλη, ανομοιογενή ομάδα θρεπτικών ουσιών της οποίας τα μόρια αποτελούνται από τα εξής δομικά συστατικά : τον άνθρακα, το οξυγόνο και το υδρογόνο. Ένα από τα κοινά χαρακτηριστικά είναι ότι δε διαλύονται στο νερό. Από άποψη θρεπτικής αξίας, τα λίπη αποτελούν την πλουσιότερη πηγή ενέργειας, αφού η καύση ενός γραμμαρίου λίπους παρέχει ενέργεια ίση με 9 χιλιοθερμίδες (38 KJ).

Τα λίπη είναι φυτικής ή ζωικής προέλευσης και διαιρούνται σε δυο κυρίες ομάδες: τα κορεσμένα και τα ακόρεστα. Τα κορεσμένα λίπη είναι αυτά που σε θερμοκρασία δωματίου έχουν στερεά μορφή. Τα ζωικής προέλευσης λίπη είναι στην πλειοψηφικά τους κορεσμένα, ενώ τα φυτικά μετατρέπονται σε κορεσμένα με τη μέθοδο της υδρογόνωσης (μαργαρίνες), εξυπηρετώντας τη βιομηχανοποίηση και τις εταιρείες τροφίμων. Μεγάλες ποσότητες κορεσμένων λιπών, περιέχουν το βούτυρο, το κρέας, το γάλα, το τυρί και τα αυγά. Ιατρικές μελέτες έχουν δείξει ότι η υπερκατανάλωση κορεσμένων λιπών, αυξάνει τη χοληστερίνη στο αίμα. Τα φυτικά λίπη στην πλειοψηφικά τους είναι ακόρεστα, με μονή εξαίρεση, το λίπος της Ινδικής καρύδας, το οποίο σε ποσοστό 90 % είναι κορεσμένο. Τα ακόρεστα λίπη, σε θερμοκρασία δωματίου είναι σε υγρή μορφή.¹³

Σύμφωνα με μια απλή ταξινόμηση τα λιπίδια διακρίνονται σε τρεις κυρίους τύπους : απλά λίπη, σύμπλοκα λίπη και συνθετικά λίπη.

Απλά Λίπη

Τα απλά λίπη καλούνται και ουδέτερα λίπη. Απαρτίζονται κυρίως από τριγλυκερίδια και αποτελούν τις σημαντικότερες αποθήκες λίπους του οργανισμού. Το μόριο ενός τριγλυκεριδίου αποτελείται από δυο διαφορετικά συμπλέγματα ατόμων. Το πρώτο τμήμα είναι η γλυκερόλη, ένα μόριο με 3 άτομα άνθρακα. Συνδεδεμένα με το μόριο της γλυκερόλης βρίσκονται 3 συμπλέγματα ανθρακικών αλυσίδων, τα οποία καλούνται λιπαρά οξέα.

Κορεσμένα Λιπαρά Οξέα

Στα κορεσμένα λιπαρά οξέα, τα άτομα του άνθρακα συνδέονται μεταξύ τους μόνο με απλούς χημικούς δεσμούς. Στους υπολοίπους κενούς χημικούς δεσμούς, συνδέονται άτομα υδρογόνου. Ένα μόριο λιπαρού οξέος καλείται κορεσμένο (ή κεκορεσμένο) διότι παρέχει το μέγιστο, επιτρεπτό χημικά, αριθμό ατόμων υδρογόνου.

Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα απαντώνται κυρίως στις τροφές ζωικής προέλευσης (από ζώα όπως το μοσχάρι, το αρνί, το γουρούνι και το κοτόπουλο). Κορεσμένα λιπαρά οξέα μπορούμε επίσης να συναντήσουμε στον κρόκο του αυγού, στις κρέμες, στο βούτυρο, στο γάλα και στο τυρί. Η καρύδα, το λάδι της χουρμαδιάς και η υδρογονωμένη μαργαρίνη αποτελούν τις πηγές κορεσμένων λιπών στο φυτικό βασίλειο. Κορεσμένα λιπαρά οξέα ανευρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες στα βιομηχανικά παρασκευάσματα (κέικ, πίτες, μπισκότα).

Ακόρεστα Λιπαρά Οξέα

Ακόρεστα ονομάζονται εκείνα τα λιπαρά οξέα, τα οποία περιέχουν ένα ή περισσότερους διπλούς δεσμούς μεταξύ των ατόμων του άνθρακα της κυρίας αλυσίδας. Στην περίπτωση αυτή, κάθε διπλός δεσμός μεταξύ των ατόμων άνθρακα μειώνει τις θέσεις στις οποίες μπορούν να συνδεθούν άτομα υδρογόνου κατά και συνέπεια και τον αριθμό τους. Έτσι το μόριο καλείται ακόρεστο, όσον αφορά την περιεκτικότητα του σε άτομα υδρογόνου. Εάν στο μόριο του λιπαρού οξέος υπάρχει μόνο ένας διπλός δεσμός, όπως συμβαίνει στο λάδι της ελιάς και του φιστικιού, τότε το λιπαρό οξύ καλείται μονοακόρεστο. Εάν υπάρχουν δυο ή περισσότεροι διπλοί δεσμοί στην κυρία ανθρακική αλυσίδα, όπως συμβαίνει στο ηλιέλαιο, το καλαμποκέλαιο και το σογιέλαιο, τότε το λιπαρό οξύ ονομάζεται πολυακόρεστο. Σε γενικές γραμμές τα λιπαρά οξέα φυτικής προέλευσης, είναι ακόρεστα.

Σύμπλοκα λίπη

Τα σύμπλοκα λίπη συντίθενται από ουδέτερα λίπη σε συνδυασμό με άλλες χημικές ουσίες, όπως είναι ο φωσφόρος (φωσφολιπίδια) και η γλυκόζη (γλυκολιπίδια). Μια άλλη ομάδα σύμπλοκων λιπών είναι οι λιποπρωτεΐνες. Οι λιποπρωτεΐνες σχηματίζονται κατά κύριο λόγο στο ήπαρ, από τη συνένωση τριγλυκεριδίων, φωσφολιπιδίων, ή χοληστερόλης με πρωτεΐνες. Οι λιποπρωτεΐνες είναι ζωτικής σημασίας, αφού αποτελούν τον κύριο τρόπο μεταφοράς των λιπών δια μέσου της κυκλοφορίας του αίματος.

Εάν τα λιπίδια του αίματος δε συνδεθούν με τις πρωτεΐνες ή κάποια άλλη ουσία (υπόστρωμα), δε θα μπορέσουν να μεταφερθούν και θα συγκεντρωθούν στην επιφάνεια του αίματος, όπως συμβαίνει με την κρέμα στο μη ομογενοποιημένο γάλα.

Υψηλής και Χαμηλής Πυκνότητας λιποπρωτεΐνες (HDL και LDL)

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι λιποπρωτεϊνών. Οι υψηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνες (HDL), που παράγονται στο ήπαρ και στο λεπτό έντερο, και περιέχουν τις μεγαλύτερες ποσότητες πρωτεϊνών και κατ' επέκταση τις μικρότερες χοληστερόλης. Οι χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνες (LDL) είναι απομεινάρια των πολύ μικρής πυκνότητας λιποπρωτεϊνών (VLDL). Από όλα τα είδη λιποπρωτεϊνών, οι πολύ μικρής πυκνότητας περιέχουν το υψηλότερο ποσοστό λιπιδίων (περίπου 95 %). Από τα λιπίδια αυτά, το 60 % περίπου είναι με τη μορφή τριγλυκεριδίων. Όταν οι VLDL ενεργοποιηθούν από την επίδραση ενός ένζυμου, το οποίο ονομάζεται λιποπρωτεϊνική λιπάση, μετατρέπονται σε LDL, αφού περιέχουν λιγότερα λιπίδια. Οι LDL και τα θραύσματα των VLDL περιέχουν περισσότερο λίπος και λιγότερες πρωτεΐνες.¹⁴

Λειτουργίες των Λιπιδίων

Τα λίπη εξυπηρετούν ουσιαστικές λειτουργίες του οργανισμού, όπως είναι:

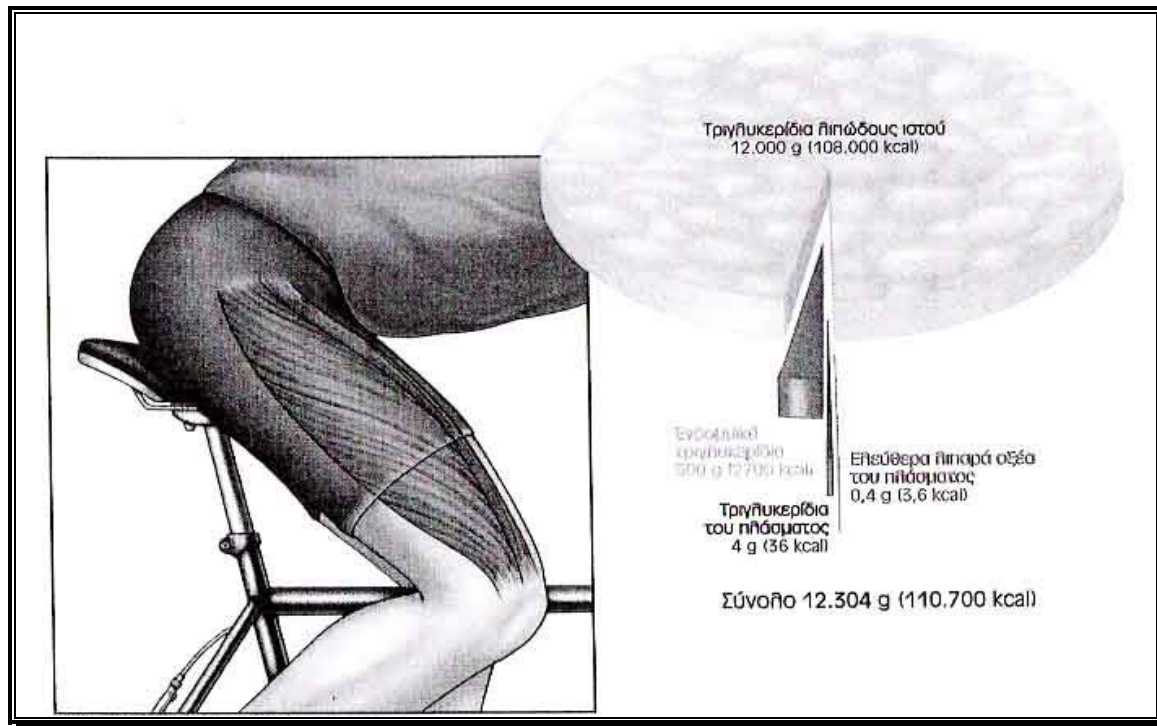
- Παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας
- Προστασία και μόνωση
- Μεταφορά βιταμινών και καταστολή της πεινάς

Παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας

Το λίπος αποτελεί ιδανική πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας από το κύτταρο. Αυτό συμβαίνει διότι κάθε μόριο λιπιδίου, περιέχει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, ανά μονάδα βάρους, μεταφέρεται και αποθηκεύεται εύκολα, ενώ εξίσου εύκολη είναι και η παραγωγή ενέργειας από αυτό. Ένα γραμμάριο λίπους αποδίδει περίπου 9 θερμίδες ενέργειας, περίπου το διπλάσιο από ότι αποδίδει η αντίστοιχη ποσότητα υδατάνθρακα ή πρωτεΐνης. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο μεγαλύτερο αριθμό υδρογόνων, που περιέχονται στο μόριο του λιπιδίου, συγκριτικά με τα αντίστοιχα υδρογόνα των υδατανθράκων και των πρωτεϊνών.

Επιπρόσθετα, το λίπος περιέχει ελάχιστη ποσότητα νερού, ενώ 2,7 γραμμάρια νερού είναι αποθηκευμένα σε κάθε γραμμάριο γλυκογόνου, που σχηματίζεται στα κύτταρα από τη γλυκόζη.

Το λίπος αντιστοιχεί περίπου στο 15 % της μάζας του σώματος στους άνδρες και στο 25 % στις γυναίκες (EIKONA 2.1¹⁶). Συνεπώς η δυναμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στα μόρια του λίπους, σε ένα μέσο νεαρό ενήλικα που ζυγίζει 70 κιλά είναι περίπου 94.500 θερμίδες (10.500 γραμμάρια βάρος λίπους σώματος x 9 θερμίδες/ γραμμάριο). Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ποσότητας του λίπους, είναι διαθέσιμο για την παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα σε συνθήκες παρατεταμένης άσκησης. Η δυναμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη, σ' αυτήν την ποσότητα λίπους, στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι ισοδύναμη με την ενέργεια που απαιτείται για να περπατήσει τα άτομο μια απόσταση 1350 χιλιομέτρων. Υπολογίζεται ότι απαιτείται 1 θερμίδα ανά κιλό σωματικού βάρους, ανά χιλιόμετρο βαδίσματος. Αντίθετα η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στον οργανισμό, με τη μορφή υδατανθράκων είναι περιορισμένη (2,000 θερμίδες) και επαρκεί μόνο για βάδισμα 30 χιλιομέτρων.¹⁵



EIKONA 2.1¹⁶ Σωματικές αποθήκες τριγλυκεριδίων

Προστασία και Μόνωση

Το λίπος προστατεύει από τραυματισμό διάφορα ζωτικά όργανα, όπως είναι η καρδιά, το ήπαρ, οι νεφροί, ο σπλήνας, ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός. Το λίπος στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται αποθηκευμένο κάτω από το δέρμα και ασκεί σημαντική μονωτική λειτουργία, αφού καθορίζει την ανεκτικότητα του ατόμου στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, και ιδιαίτερα στο ψύχος. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, η περίσσεια σωματικού λίπους αποτελεί εμπόδιο όσον αφορά τη θερμορύθμιση, ιδιαίτερα κατά την παρατεταμένη αερόβια άσκηση. Στην περίπτωση αυτή η παραγωγή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα αυξάνει έως 20 φορές σε σχέση με την κατάσταση ηρεμίας. Τότε η απομάκρυνση της θερμοκρασίας από το σώμα εμποδίζεται από το στρώμα του υποδόριου λίπους.

Μεταφορά Βιταμινών και Καταστολή της Πείνας

Τα λίπη χρησιμοποιούνται και ως μεταφορείς ή μεταφορικά μέσα για τις λιποδιαλυτές βιταμίνες, δηλαδή τις βιταμίνες A, D, E, και K. Η πέψη ποσότητας λίπους ίση με 20 g σε ημερήσια βάση επαρκεί για την προμήθεια όλων των απαραίτητων λιποδιαλυτών βιταμινών. Επειδή η κένωση του στομάχου από το λίπος ολοκληρώνεται 3,5 ώρες μετά την πέψη, φαίνεται ότι η παραμονή του λίπους στην κοιλότητα του στομάχου έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση των φαινομένων της πείνας και συμβάλλει στη δημιουργία του αισθήματος πληρότητας και κορεσμού μετά το γεύμα. Αυτός είναι και ένας λόγος που δικαιολογεί, κατά κάποιο τρόπο, γιατί οι δίαιτες που περιέχουν μέτριες ποσότητες λίπους, έχουν καλύτερα αποτελέσματα από τις αντίστοιχες με μικρές ποσότητες.¹⁷

2.2 Πέψη και απορρόφηση

Η πέψη και η απορρόφηση του λίπους πραγματοποιείται στο λεπτό έντερο, όπου με διαφορετικές διαδικασίες τα διάφορα λίπη μεταφέρονται στον ηπατικό ιστό, ο οποίος αποτελεί και το κυρίως όργανο μεταβολισμού του.¹⁸

Η πέψη και απορρόφηση του λίπους αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία λόγω της πολυμορφίας του μορίου του λίπους. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι είναι μια βραδεία διαδικασία που καθυστερεί ακόμα περισσότερο στα βρέφη και στους ηλικιωμένους.

Εν τούτοις ο ανθρώπινος οργανισμός, δύναται να αφομοιώσει περί τα 250 γραμμάρια λίπους την ημέρα, ποσότητα που αντιστοιχεί σε 2.250 θερμίδες. Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας, απαραίτητη για την πέψη και την απορρόφηση του λίπους, φαίνεται και από το γεγονός ότι ο απαραίτητος χρόνος για την αφομοίωση του λίπους από τον οργανισμό, κυμαίνεται από 6 έως 12 ώρες. Το γεγονός αυτό πρέπει να ληφθεί σοβαρά άποψη από τους αθλητές και τους προπονητές σε σχέση με το χρόνο προπόνησης και τη συμμετοχή σε αγώνες.

Η ταχύτητα πέψης και απορρόφησης εξαρτάται από το είδος του λίπους που καταναλώνεται. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι τα κορεσμένα λίπη – ζωικής προέλευσης – και οι διάφορες μαργαρίνες (φυτικά λίπη σε στέρεα μορφή) χρειάζονται πολύ μεγαλύτερο χρόνο για να πεπφθούν από ότι τα φυτικής προέλευσης λίπη. Δηλαδή αν το λίπος που καταναλώνεται είναι ακόρεστο σε υγρά μορφή, σε 4 ώρες έχει απορροφηθεί το 71 %, ενώ σε περίπτωση που το λίπος που καταναλώνεται είναι κορεσμένο, όπως βούτυρο ή μαργαρίνη, μόνο το 53 % έχει απορροφηθεί μέσα στο διάστημα των 4 ωρών.

Το Μεταβολικό Εργοστάσιο

Ο κύκλος του Krebs δεν αποδομεί απλά το πυροσταφυλικό οξύ, που σχηματίζεται κατά το μεταβολισμό της γλυκόζης, αλλά διαδραματίζει έναν πολύ πιο σπουδαίο ρόλο, επιτρέποντας σε μέρη άλλων οργανικών ενώσεων που σχηματίζονται κατά την αποδόμηση των πρωτεϊνών και των λιπιδίων να εισέλθουν και να καταβολιστούν αποτελεσματικά στα μονοπάτια παραγωγής ενέργειας.

Τα απαμινωμένα υπολείμματα των αμινοξέων είναι δυνατό να εισέλθουν σε κάποιο από τα ενδιάμεσα στάδια του κύκλου του Krebs, ενώ το μόριο της γλυκερόλης εισέρχεται στον κύκλο

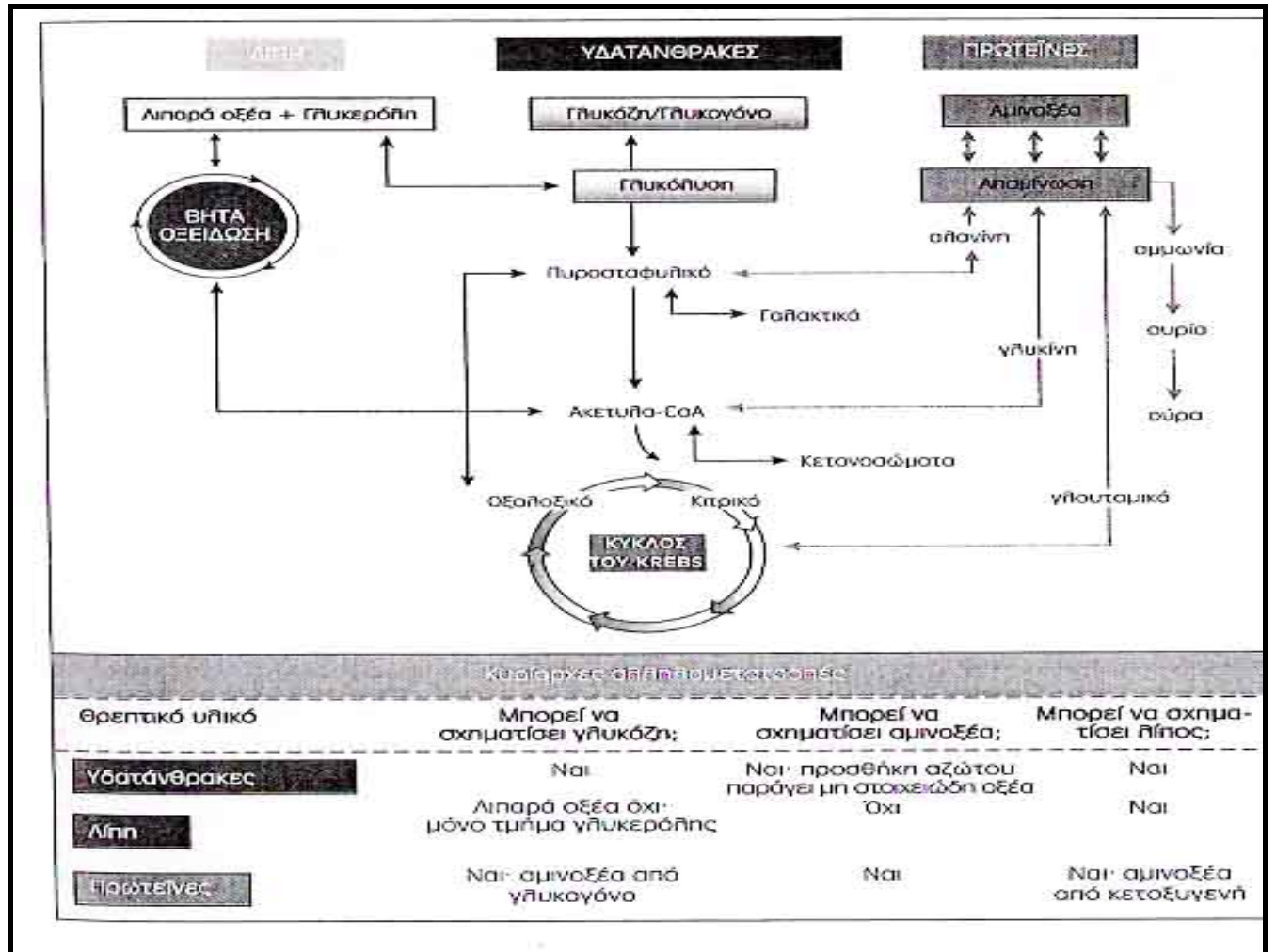
διαμέσου της γλυκολυτικής οδού. Τα λιπαρά οξέα οξειδώνονται, με τη διαδικασία της β-οξειδωσης, σε ακετυλο-συνένζυμο Α και έπειτα εισέρχονται απευθείας στον κύκλο του Krebs.

Σ' αυτό το στάδιο του «μεταβολικού εργοστασίου» του οργανισμού λαμβάνουν χώρα οι αλληλομετατροπές μεταξύ των τμημάτων των διαφόρων θρεπτικών συστατικών και των πιθανών οδών σύνθεσης του υποστρώματος. Παραδείγματος χάριν, όταν υπάρχει περίσσεια υδατανθράκων διευκολύνεται η σύνθεση λίπους από τμήματα γλυκερόλης και ακετυλομάδες.

Το ακετυλο-συνένζυμο Α μπορεί να αποτελέσει την αφητηρία για τη σύνθεση όχι μόνο της χοληστερόλης, αλλά και πολλών ορμονών. Τα λιπαρά οξέα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση γλυκόζης, επειδή η μετατροπή του πυροσταφυλικού οξέος σε ακετυλο-συνένζυμο Α είναι διαδικασία μη αναστρέψιμη. Αμινοξέα με ανθρακικούς σκελετούς που μοιάζουν με τα ενδιάμεσα προϊόντα του κύκλου του Krebs, απαμινώνονται και χρησιμοποιούνται στο σχηματισμό γλυκόζης με μια διαδικασία που καλείται γλυκονεογένεση. Αυτός ο ρόλος στη σύνθεση της γλυκόζης αναφέρεται ιδιαίτερα στο αμινοξύ της αλανίνης .

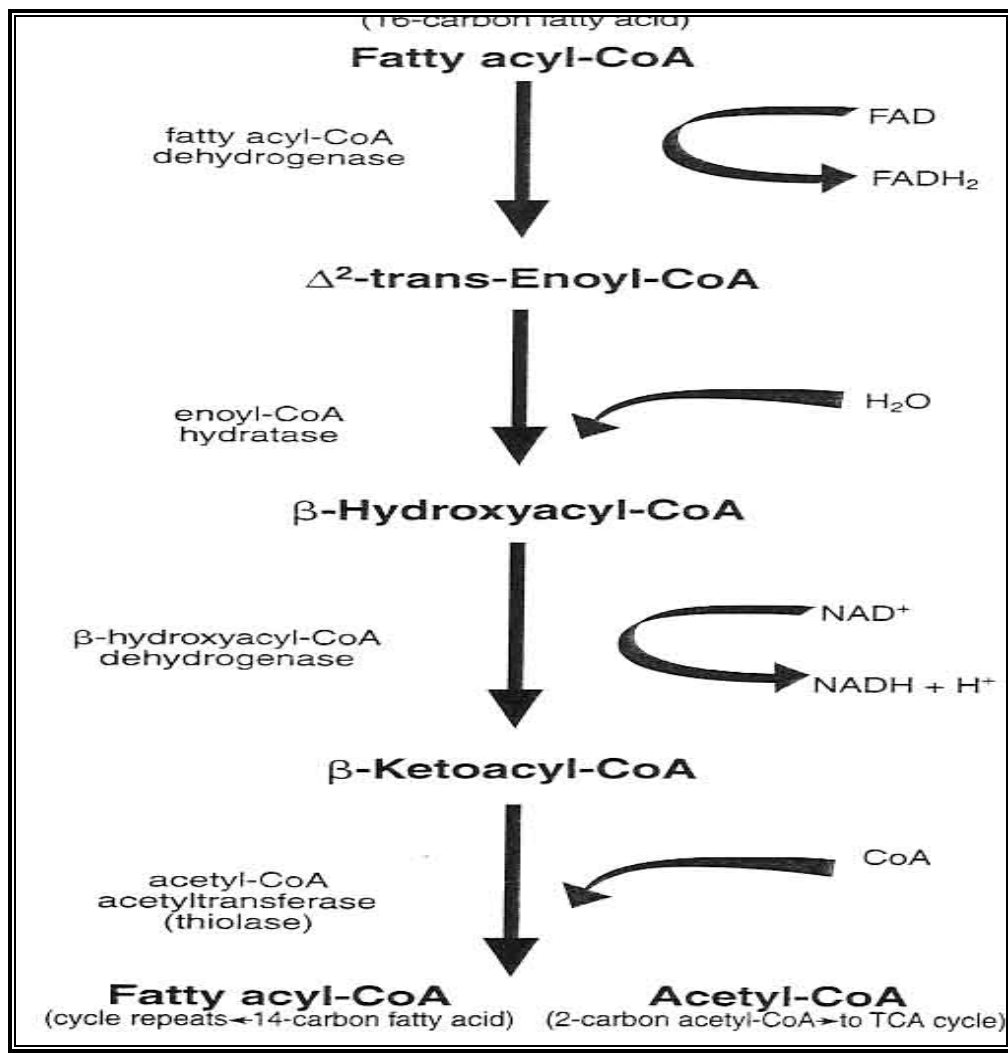
Καύση των Λιπών σε Υδατανθρακική Φλόγα

Μια πολύ ενδιαφέρουσα πτυχή του «μεταβολικού εργοστασίου» του οργανισμού είναι το γεγονός ότι, ο καταβολισμός των λιπαρών οξέων εξαρτάται κατά κάποιο τρόπο από ένα συνεχές παρασκηνακό επίπεδο καύσης των υδατανθράκων. Το ακετυλο-συνένζυμο Α εισέρχεται στον κύκλο του Krebs συνδυασμένο με το οξαλοξικό οξύ (που παράγεται κυρίως από τον καταβολισμό των υδατανθράκων) για να σχηματιστεί το κιτρικό οξύ. Η αποδόμηση των λιπαρών οξέων στον κύκλο του Krebs συνεχίζεται μόνο όταν υπάρχει επαρκής ποσότητα οξαλοξικού οξέος για να συνδυαστεί με το ακέτυλο-συνένζυμο Α κατά τη διάρκεια της β-οξειδωσης (EIKONA 2.2.1). Το πυροσταφυλικό οξύ που σχηματίζεται κατά τη διαδικασία του καταβολισμού της γλυκόζης, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην προμήθεια του οξαλοξικού ενδιάμεσου. Η μείωση των επιπέδων των υδατανθράκων, καθιστά τα επίπεδα του οξαλοξικού οξέος ανεπαρκή ώστε να διατηρήσουν ένα υψηλό επίπεδο καταβολισμού των λιπών. Μ' αυτή την έννοια «τα λίπη καίγονται στη φλόγα που διατηρούν οι υδατάνθρακες!».



Εικόνα 2.2.1

«Μεταβολικό εργοστάσιο». Οι σημαντικές αλληλομετατροπές μεταξύ υδατανθράκων, λιπών και πρωτεϊνών¹⁹



ΕΙΚΟΝΑ 2.2.2

Αρχικά βήματα της διαδικασίας της β – οξείδωσης (παράδειγμα παλμιτικού οξέος – 16 άτομα C). Κάθε στροφή του κύκλου δίνει μια μονάδα ακετύλου συνένζυμου A και μικραίνει το λιπαρό οξύ κατά 2 άνθρακες. Το νέο σχηματισμένο ακέτυλοCoA μπορεί να εισέλθει στον TCA κύκλο για περαιτέρω μεταβολισμό, ενώ το μικρότερο λιπαρό οξύ που προκύπτει επαναλαμβάνει τον κύκλο. Όταν τα λιπαρά οξέα αποτελούνται από 4C, η τελική στροφή του κύκλου παράγει 2ακέτυλο CoA.²⁰

ΕΝΟΤΗΤΑ 2.3.

Τριγλυκερίδια ως πηγή ενέργειας στην άσκηση

Κατανάλωση Λιπιδίων κατά την Άσκηση

Οι ενεργειακές απαιτήσεις της άσκησης μπορεί να ικανοποιηθούν από την αποδόμηση των λιπαρών οξέων που απελευθερώνονται από τα τριγλυκερίδια στις θέσεις αποθήκευσης του λίπους και μεταφέρονται στους μυς σαν ελεύθερα λιπαρά οξέα, συνδεδεμένα με την αλβουμίνη του αίματος.

Κατά τη διάρκεια σύντομων περιόδων άσκησης σχετικά μέτριας έντασης (όπως είναι το βάδισμα, με ρυθμό 1 χιλιόμετρο ανά 6 λεπτά), η προσλαμβανόμενη ενέργεια αντιστοιχεί σε εκείνη των υδατανθράκων και των λιπιδίων. Με την πρόοδο της άσκησης σε περισσότερο από 1 ώρα, τα αποθέματα των υδατανθράκων εξαντλώνται, όποτε σταδιακά επέρχεται εξάρτηση της παραγωγής ενέργειας από τον μεταβολισμό των λιπών. Σε παρατεταμένη άσκηση, περίπου το 80% της απαιτούμενης ενέργειας παρέχεται από τα λίπη (και ιδιαίτερα από τα ελεύθερα λιπαρά οξέα).

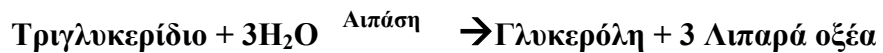
Αυτό συμβαίνει ακόμα και με την είσοδο μιας μικρής σταγόνας σακχάρου στο αίμα με την επακόλουθη μείωση της ινσουλίνης και αύξηση της παραγωγής γλουκαγόνου από το πάγκρεας. Έτσι, τελικά μειώνεται ο μεταβολισμός της γλυκόζης και διεγείρεται η απελευθέρωση και ο καταβολισμός των λιπιδίων για την παραγωγή ενέργειας.

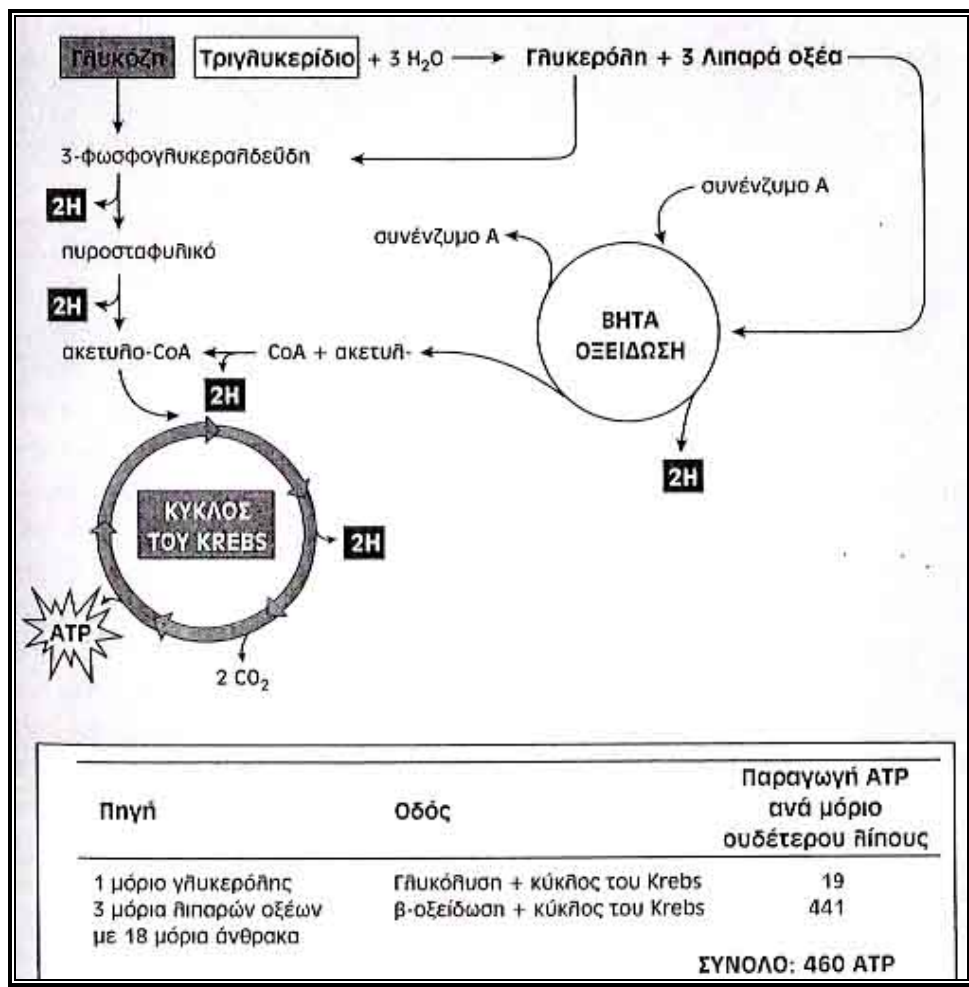
Σύμφωνα με κάποια δεδομένα μελετών, η πρόσληψη των λιπαρών οξέων από ενεργοποιημένους μυς αυξάνει κατά τη διάρκεια 1 έως 4 ωρών μέτριας έντασης άσκησης. Συγκεκριμένα όπως αναφέρθηκε ήδη, κατά την 1^η ώρα της άσκησης, περίπου το 50% της απαιτούμενης ενέργειας παρέχεται από τα λίπη, ενώ καθώς η άσκηση συνεχίζεται στην 3^η ώρα, ο καταβολισμός του λίπους παρέχει το 70% της απαιτούμενης για την άσκηση ενέργειας.²¹

Απελευθέρωση Ενέργειας από τα Λιπίδια

Το αποθηκευμένο λίπος αντιπροσωπεύει την πιο πλούσια πηγή δυναμικής ενέργειας του οργανισμού. Σε σχέση με τα άλλα θρεπτικά συστατικά, η ποσότητα του λίπους που διατίθεται για την παραγωγή ενέργειας είναι απεριόριστη. Το πραγματικό ενεργειακό απόθεμα από το εναποθηκευμένο στον οργανισμό λίπος, σε έναν μέσο νεαρό άνδρα κυμαίνεται από 90.000 μέχρι 110.000 θερμίδες, ανάλογα με το ποσοστό λίπους στο σώμα του κάθε ατόμου. Αντίθετα, το ενεργειακό απόθεμα των υδατανθράκων είναι μικρότερο από 2000 θερμίδες.

Αρχικά, στη διαδικασία απελευθέρωσης της ενέργειας από τα λίπη, το μόριο του τριγλυκεριδίου υδρολύεται σε γλυκερόλη και τρία μόρια λιπαρών οξέων. Αυτός ο καταβολισμός των λιπών ονομάζεται λιπόλυση και καταλύεται από το ένζυμο λιπάση, σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:





Εικόνα 2.3

Καταβολισμός της γλυκερόλης και των τμημάτων των λιπαρών οξέων ενός μορίου τριγλυκεριδίου. Η γλυκερόλη εισέρχεται στην παραγωγή ενέργειας μέσω των αντιδράσεων της γλυκολυτικής οδού. Τα τμήματα των λιπαρών οξέων προετοιμάζονται για την είσοδο τους στον κύκλο του Krebs με τη διαδικασία της β-οξείδωσης. Τα υδρογόνα που απελευθερώνονται από τη γλυκόλυση, την οξείδωση και τον κύκλο του Krebs αποδίδονται στην αναπνευστική αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων.²²

Λιποκύτταρα: Ο Τόπος Αποθήκευσης και Κινητοποίησης του Λίπους

Παρά το γεγονός ότι μέρος του λίπους του οργανισμού βρίσκεται αποθηκευμένο σε όλα σχεδόν τα κύτταρα του, ο πιο ενεργός τροφοδότης μορίων λιπαρών οξέων είναι ο λιπώδης ιστός. Τα λιποκύτταρα είναι κύτταρα εξειδικευμένα στη σύνθεση και αποθήκευση τριγλυκεριδίων. Στα κύτταρα αυτά τα λιποσταγονίδια καταλαμβάνουν περίπου το 90% του όγκου του κυττάρου.

Τα λιπαρά οξέα διαχέονται από τα λιποκύτταρα στην κυκλοφορία του αίματος και συνδέονται με την αλβουμίνη του πλάσματος. Αυτά τα ελεύθερα λιπαρά οξέα είναι που αποδίδονται στους ενεργούς ιστούς και εν συνεχεία μεταβολίζονται από αυτούς για παραγωγή ενέργειας.

Η χρησιμοποίηση του λίπους για την παραγωγή ενέργειας συνδέεται στενά με την αιματική ροή στους ενεργούς ιστούς. Καθώς η αιματική ροή αυξάνει με την άσκηση, περισσότερα μόρια λιπαρών οξέων μετακινούνται από τον λιπώδη ιστό και αποδίδονται στους ενεργούς μυς. Έτσι, μεγαλύτερες ποσότητες αυτού του θρεπτικού συστατικού χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας.

Συνήθως, το 30-80 % της ενέργειας που απαιτείται για την πραγματοποίηση των βιολογικών λειτουργιών προσφέρεται από το ενδο- και εξωκυττάριο λίπος. Αυτό εξαρτάται από τις διατροφικές συνήθειες του ατόμου και τη σωματική του διάπλαση, σε συνδυασμό με την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης.

Η ενεργοποίηση της λιπάσης και η συνακόλουθη λιπόλυση και κινητοποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων από τα λιποκύτταρα, ρυθμίζεται από τις ορμόνες επινεφρίνη, νορεπινεφρίνη, γλυκαγόνη και την αυξητική ορμόνη. Παραδείγματος χάριν, ένεση επινεφρίνης στο αίμα, έχει σαν αποτέλεσμα ταχύτερη αύξηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων στο πλάσμα του αίματος. Οι ορμόνες αυτές του πλάσματος, αυξάνονται κατά τη διάρκεια της άσκησης, εξαιτίας της ενεργοποίησης του συμπαθητικού νευρικού συστήματος του οργανισμού. Με αυτόν λοιπόν το μηχανισμό ενεργοποιείται η λιπάση και προμηθεύει τους μυς με ένα πλούσιο ενεργειακά υπόστρωμα.

Η ενεργοποίηση της λιπάσης (και κατά συνέπεια η ρύθμιση του καταβολισμού του λίπους) καταλύεται από έναν ενδοκυττάριο μεσολαβητή που ονομάζεται αδενοσι-νο-3',5'-κυκλικό μονοφωσφορικό ή κυκλικό AMP. Το κυκλικό AMP ενεργοποιείται από τις διάφορες ορμόνες κινητοποίησης των λιπαρών οξέων, οι οποίες από μόνες τους δε μπορούν να εισέλθουν στο κύτταρο. Διακυμάνσεις στη δραστηριότητα της λιπάσης εξηγούν μερικώς την αυξημένη χρησιμοποίηση του λίπους που παρατηρείται κατά την αερόβια άσκηση.

Καταβολισμός της Γλυκερόλης και των Λιπαρών Οξέων

Γλυκερόλη

Η γλυκερόλη μπορεί να εισέλθει στις αναερόβιες αντιδράσεις της γλυκόλυσης σαν 3-φωσφογλυκεραλδεϋδή και να αποδομηθεί σχηματίζοντας πυροσταφυλικό οξύ. Σ' αυτή τη διαδικασία σχηματίζεται τριφωσφορική αδενοσίνη -ATP με φωσφορυλίωση. Στο επίπεδο υποστρώματος, άτομα υδρογόνου απελευθερώνονται από το νικοτινάμινο αδένινο δινουκλεοτίδιο - NAD⁺ και το πυροσταφυλικό οξύ οξειδώνεται στον κύκλο του Krebs. Συνολικά κατά τον πλήρη καταβολισμό ενός μορίου γλυκερόλης σχηματίζονται 19 μόρια ATP.

Η γλυκερόλη όμως εξυπηρετεί και άλλη μια σπουδαία λειτουργία. Χορηγεί ανθρακικούς σκελετούς, οι οποίοι στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση γλυκόζης. Αυτός ο γλυκονεογενετικός ρόλος της γλυκερόλης αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε συνθήκες περιορισμού των υδατανθράκων (όπως στη δίαιτα), ή σε συνθήκες παρατεταμένης άσκησης η οποία οδηγεί σε αξιοσημείωτη μείωση των αποθεμάτων γλυκογόνου.

Λιπαρά Οξέα

Το μόριο του λιπαρού οξέος μετασχηματίζεται σε ακετυλο-CoA μέσα στα μιτοχόνδρια με μια διαδικασία η οποία καλείται β-οξείδωση (EIKONA 2.2.1). Η διαδικασία αυτή συνίσταται στην απελευθέρωση από τη μακριά αλυσίδα των λιπαρών οξέων, 2-ανθρακικο-α-κετυλο τμημάτων. Στις αντιδράσεις αυτές χρησιμοποιείται τριφωσφορική αδενοσίνη, για τη φωσφορυλίωση προστίθεται νερό, τα υδρογόνα αποδίδονται στο νικοτινάμινο αδένινο δινουκλεοτίδιο - NAD⁺ και στο φλάβινο αδένινο δινουκλεοτίδιο -FAD, και τα τμήματα ακετυλίου συνδέονται με το συνένζυμο A και σχηματίζουν το ακετυλο- συνένζυμο A. Αυτή η ακετυλο-ομάδα είναι ίδια με αυτή που παράγεται στον καταβολισμό της γλυκόζης.

Η β-οξείδωση επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρις ότου το συγκεκριμένο μόριο λιπαρού οξέος αποδομηθεί σε ακετυλο-συνένζυμο A και μπορέσει με αυτόν τον τρόπο να εισέλθει στον κύκλο του Krebs για να μεταβολιστεί. Τα υδρογόνα που απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια του καταβολισμού των λιπαρών οξέων οξειδώνονται στην αναπνευστική αλυσίδα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο καταβολισμός των λιπαρών οξέων σχετίζεται άμεσα με την πρόσληψη του οξυγόνου. Για να προχωρήσει η β-οξείδωση, θα πρέπει να υπάρχει οξυγόνο

διαθέσιμο για την πρόσληψη υδρογόνων. Ο καταβολισμός του λίπους αναστέλλεται κάτω από αναερόβιες συνθήκες, διότι τα υδρογόνα παραμένουν συνδεδεμένα με το NAD⁺ και το FAD και δεν απελευθερώνονται.

Δεν μπορεί να παραχθεί γλυκόζη από τα λιπαρά οξέα.

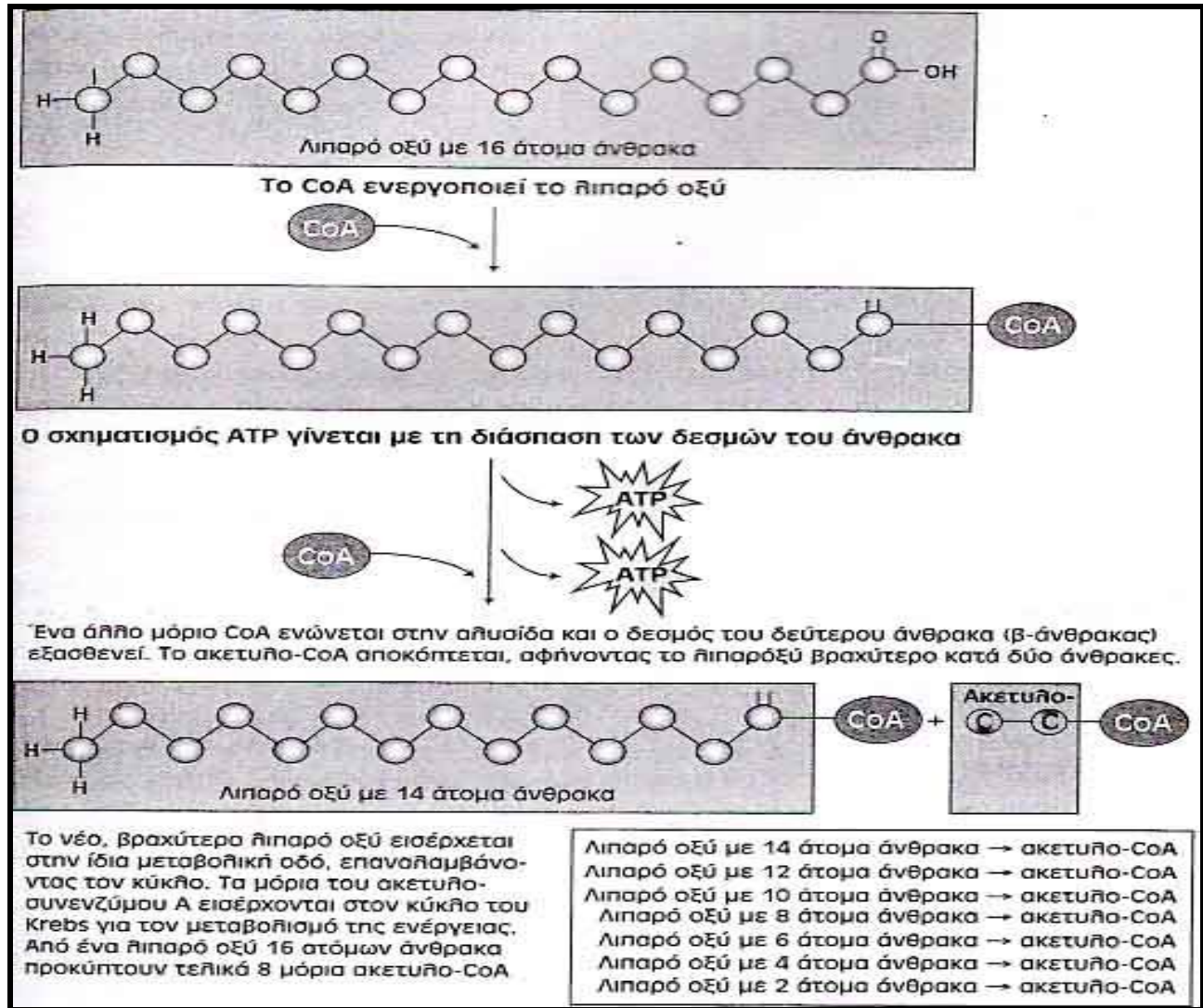
Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, τα κύτταρα μπορούν να συνθέσουν γλυκόζη από πυροσταφυλικό οξύ και από άλλες ενώσεις που έχουν τρία άτομα άνθρακα. Όμως, δε μπορεί να δημιουργηθεί γλυκόζη από το ακετυλικό τμήμα της β-οξειδωσης που έχει δύο μόνο άτομα άνθρακα. Συνεπώς τα λιπαρά οξέα δε μπορούν εύκολα να παρέχουν ενέργεια στους ιστούς που χρησιμοποιούν σχεδόν αποκλειστικά την γλυκόζη, σαν καύσιμο (π.χ. στον εγκέφαλο και τον νευρικό ιστό).

Σχεδόν όλοι οι τύποι λιπιδίων βρίσκονται με τη μορφή τριγλυκεριδίων στη διατροφή. Το γλυκερολικό τμήμα των τριγλυκεριδίων, μπορεί να παράγει γλυκόζη, αλλά το μόριο της γλυκερόλης περιέχει μόνο τα 3 (6 %) από τα 57 περίπου άτομα άνθρακα του μορίου. Έτσι, το λίπος από τη διατροφή ή τις αποθήκες του λιπώδους ιστού δεν αποτελεί μια επαρκή πιθανή πηγή γλυκόζης, αφού περίπου το 95 % του μορίου του λίπους δε μπορεί να μετατραπεί σε γλυκόζη.

Συνολική Ενεργειακή Μεταφορά από τον Καταβολισμό του Λίπους

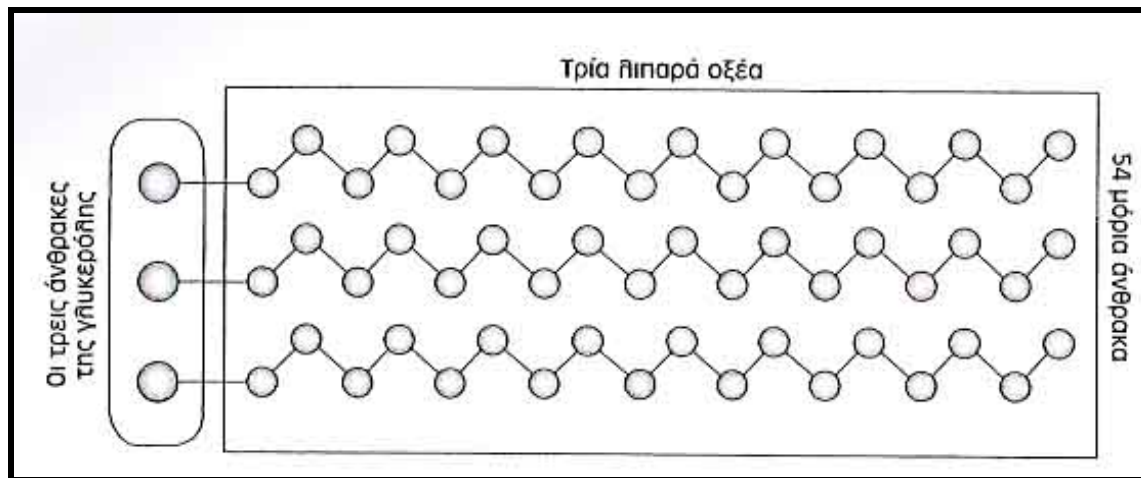
Για κάθε μόριο λιπαρού οξέος με 18 άτομα άνθρακα, 147 μόρια διφωσφορικής αδενοσίνης - ADP φωσφορυλιώνονται σε τριφωσφορική αδενοσίνη - ATP, κατά τη διαδικασία της β-οξειδωσης και του κύκλου του Krebs. Σε κάθε μόριο τριγλυκεριδίου, υπάρχουν τρία μόρια λιπαρού οξέος. Αυτό σημαίνει ότι από κάθε μόριο τριγλυκεριδίου παράγονται 441 μόρια ATP (3 x 147). Επίσης, από τον καταβολισμό της γλυκερόλης, σχηματίζονται 19 μόρια ATP, με αποτέλεσμα τη συνολική παραγωγή 460 μορίων ATP για κάθε μόριο λίπους που καταβόλιζεται. Η ενέργεια που αποδίδεται με αυτή τη διαδικασία είναι πολύ σημαντική συγκρινόμενη με τα 36 μόρια ATP που παράγονται από τον καταβολισμό ενός μορίου γλυκόζης στους σκελετικούς μυς.

Ο συντελεστής απόδοσης στη διατήρηση της ενέργειας, από την οξειδωση των λιπαρών οξέων είναι περίπου 40%, ίση σχεδόν με εκείνη της γλυκόζης.



Εικόνα 2.3.1

β-οξειδωση ενός τυπικού λιπαρού οξέος με 16 άτομα άνθρακα. Τα λιπαρά οξέα καταβολίζονται σε τμήματα 2 ατόμων άνθρακα, που ενώνονται με το συνένζυμο A (CoA) και σχηματίζουν το ακετυλο-συνένζυμο A.²³



Εικόνα 2.3.2

Οι άνθρακες που περιέχονται σε ένα τυπικό μόριο τριγλυκεριδίου. Το μόριο της γλυκερόλης περιέχει τρία άτομα άνθρακα, τα τρία λιπαρά οξέα περιέχουν συνολικά 54 άτομα άνθρακα (18 το καθένα). Μόνο το γλυκερολικό τμήμα μπορεί να μετατραπεί σε γλυκόζη.²⁴

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η εξάντληση των υδατανθράκων καταστέλλει την ικανότητα παραγωγής έργου (εκφρασμένη ως ποσοστό της μέγιστης ικανότητας παραγωγής ενέργειας). Η ικανότητα άσκησης μειώνεται προοδευτικά στο 50% της έντασης της αρχικής άσκησης μετά από 2 ώρες. Η μειωμένη ισχύς προκύπτει άμεσα από τον βραδύ ρυθμό αερόβιας απελευθέρωσης ενέργειας από την οξείδωση λιπών που γίνεται πια η κύρια οδός παραγωγής ενέργειας.²⁵

ΑΠΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΤΑ ΚΑΤΩΘΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΘΕΜΑ

Λίπος ως μυϊκό υπόστρωμα

Δεδομένου ότι τα αποθέματα λίπους στο σώμα είναι σχετικά μεγάλα ακόμη και στον πιο αδύνατο αθλητή, η αντικατάσταση του λίπους που οξειδώνεται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου άσκησης δε θεωρείται ότι περιορίζει την απόδοση.

Σε ερευνητικό επίπεδο εκδηλώνεται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση των ενδομυϊκών αποθεμάτων των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων (IMTG) κατά τη διάρκεια της άσκησης και της αντικατάστασης αυτών κατά την αποκατάσταση. Υπάρχει τώρα συναίνεση ότι τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια παρέχουν μια ενδεχομένως σημαντική πηγή ενέργειας για τον ενεργό μυ και πρόσφατα στοιχεία από μελέτες υποδεικνύουν ότι η κατανάλωση μιας υψηλής περιεκτικότητας σε υδατάνθρακες και χαμηλής σε λιπαρά δίαιτας στην περίοδο της αποκατάστασης μετά από παρατεταμένη άσκηση, μπορεί να αποτύχει να παρέχει επαρκή αποκατάσταση αυτού του υποστρώματος. Επιπλέον, μια άλλη μελέτη υποστηρίζει ότι μια διατροφή μέτρια σε υδατάνθρακες επιτρέπει διπλή αύξηση στα αποθέματα των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, συγκρινόμενη με μια υψηλά υδατανθρακική διατροφή.²⁶

ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΕΝΔΟΜΥΪΚΩΝ ΤΡΙΓΛΥΚΕΡΙΔΙΩΝ

Εάν τα των ενδομυϊκά τριγλυκερίδια χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της άσκησης συμβάλλοντας σε σημαντικό βαθμό στην ενεργειακή παροχή, αποτελεί σημεία συζήτησης για πολλά έτη. Η μέτρηση της χρήσης των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων είναι δύσκολη και είναι πιθανό ότι τα αποτελέσματα των μελετών να επηρεάζονται κάπως από τους περιορισμούς των τεχνικών που εφαρμόζονται. Επανελημμένα έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει μεγάλη παραλλαγή στον προσδιορισμό του περιεχομένου των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων. Ένας από τους κύριους περιορισμούς του καθορισμού της διακοπής των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, χρησιμοποιώντας τους σταθερούς ανιχνευτές ισοτόπων, είναι η ανικανότητα διάκρισης μεταξύ της οξείδωσης των λιπαρών οξέων από τριγλυκερίδια, που προέρχονται από την κυκλοφορία και τα τριγλυκερίδια που προέρχονται από τα κύτταρα των μυών. Εκτιμώντας ότι συγκεκριμένες μελέτες, έχουν καταδείξει τη χρήση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων κατά τη διάρκεια της άσκησης, οι μελέτες βιοψιών των μυών συχνά δεν έχουν βρει καμία στατιστική διαφορά μεταξύ των συγκεντρώσεων των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, πριν και μετά την άσκηση.

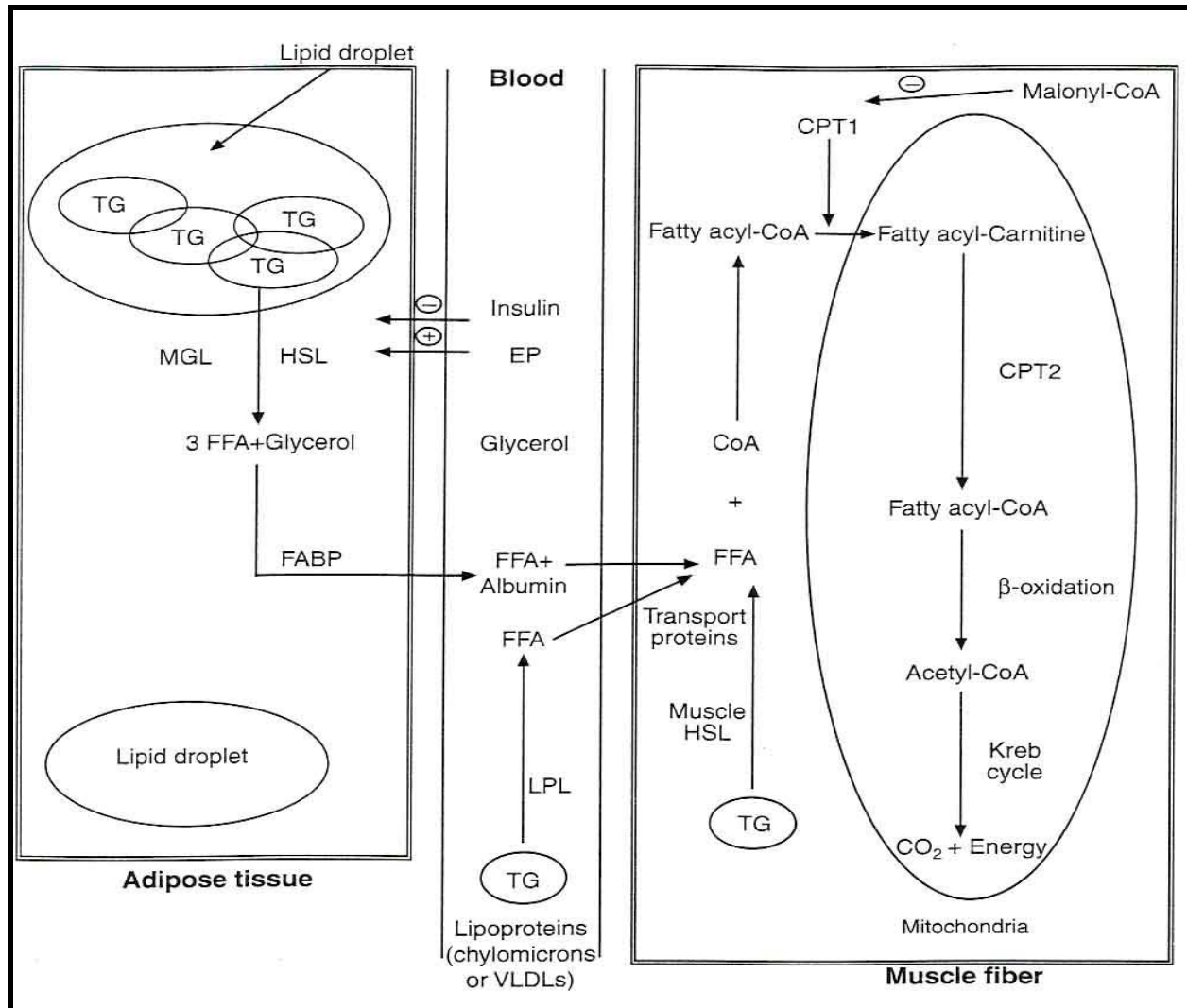
Εντούτοις, σε μια πρόσφατη αναθεώρηση που αξιολογεί όλη τη βιβλιογραφία σχετικά με τη χρήση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, συνήχθη το συμπέρασμα ότι η πλειοψηφία των μελετών προτείνει μια σπουδαία και ενεργειακά σημαντική οξείδωση λιπαρών οξέων, που προέρχονται από τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια σε προπονημένα άτομα, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για να καθορίσει ή να υπολογίσει τη χρησιμοποίηση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων.

Βρέθηκε ότι σε χαμηλές εντάσεις το μεγαλύτερο ποσό της ενέργειας, προέρχεται από την οξείδωση των λιπαρών οξέων. Αντίθετα σε μεγάλες εντάσεις η οξείδωση του λίπους μειώνεται. Κάποιος θα μπορούσε να σκεφτεί ότι η αμβλυμμένη υδρόλυση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων στη μεγάλης έντασης άσκηση, είναι το αποτέλεσμα της μειωμένης ενεργοποίησης της τριακυλο γλυκερολικής λιπάσης –(lipase TAG).

Προπόνηση αντοχής και υδρόλυση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων.

Η επίδραση της προπόνησης αντοχής στη χρησιμοποίηση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων είναι ένα αμφισβητούμενο ζήτημα.. Σε μελέτες μετρήθηκε η χρησιμοποίηση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, σε 7 άντρες κατά τη διάρκεια της άσκησης, πριν και μετά από ένα προπονητικό πρόγραμμα αντοχής – 9 εβδομάδων – με χρήση μόνο του ενός κάτω άκρου, κρατώντας το άλλο κάτω άκρο απροπόνητο. Καμία διαφορά στη χρήση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων δεν ανιχνεύθηκε, κατά τη διάρκεια της άσκησης μεταξύ των προπονημένων και των απροπόνητων κάτω άκρων. Αυτά τα στοιχεία επιβεβαιώθηκαν τόσο σε διαχρονικές όσο και σε μελέτες ατόμων. Κατά ενδιαφέροντα τρόπο, σε όλες αυτές τις μελέτες, καμία καθαρή μείωση σε ενδομυϊκά τριγλυκερίδια δεν θα μπορούσε να ανιχνευθεί κατά τη διάρκεια της άσκησης. Ισάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων κατά τη διάρκεια της άσκησης, είναι υψηλότερη σε κατάσταση προπόνησης απ' ότι στα απροπόνητα άτομα.. Σε άλλες μελέτες που προπονήθηκαν 6 αδύνατα χαμηλού βάρους άτομα, για 3 μήνες και διαπιστώθηκε ότι η αύξηση στην οξειδωση του λίπους περιλάμβανε εξ' ολοκλήρου μια αύξηση στη χρησιμοποίηση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων. Παρόμοιες έρευνες έδειξαν διπλασιασμό στη μείωση του περιεχόμενου των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων κατά τη διάρκεια της άσκησης μετά από 12 εβδομάδες προπόνησης.

Υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα, σχετικά με τις προσαρμογές που προκαλούν μια πιθανή αύξηση στη χρήση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων κατά την προπόνηση αντοχής. Έχει αποδειχθεί σε πολλές περιπτώσεις, ότι η απελευθέρωση της κατεχολαμίνης κατά τη διάρκεια της άσκησης στην κατάσταση προπόνησης αυξάνεται. Αυτά τα στοιχεία δείχνουν ότι η προσαρμογή σε άλλους παράγοντες πιθανόν εμφανίζεται με την προπόνηση αντοχής. Το 2001, ο Enevoldsen και οι συνεργάτες του εξέτασαν την ενζυμική ρύθμιση της διακοπής χρησιμοποίησης των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων πριν και μετά από την προπόνηση στο σκελετικό μυ αρουραίων. Διαπίστωσαν ότι η ποσότητα της πρωτεϊνικής λιπάσης της τριακυλογλυκερόλης δεν άλλαξε και η δραστηριότητα της υποκινούμενης από την αδρεναλίνη λιπάσης της τριακυλογλυκερόλης, μειώθηκε μετά από προπόνηση. Επειδή η τριακυλο- γλυκερολική λιπάση, ρυθμίζεται από την αδρεναλίνη και τις συστολές, οι ερευνητές σκέφτηκαν ότι η προκληθείσα από την προπόνηση αυξημένη διακοπή χρήσης των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, οφειλόταν πιθανώς σε μια αυξανόμενη δραστηριότητα που ρυθμίζεται από συστολή της ορμόνο-ευαίσθητη λιπάσης.²⁷



ΕΙΚΟΝΑ 2.3.3. Κινητοποίηση και οξειδωση των λιπαρών οξέων από τον λιπώδη ιστό, τα λιπίδια του αίματος και τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια. Λιπώδης ιστός: Η ορμονευαίσθητη λιπάση (HSL) δέχεται 2 λιπαρά οξέα από το τριγλυκερίδιο, ενώ το τελικό λιπαρό οξύ μεταφέρεται από το ένζυμο μονογλυκεριδική λιπάση (MGL). Η ορμονευαίσθητη λιπάση αποτελεί το περιοριστικό βήμα της λιπόλυσης. Η επινεφρίνη (EP) διεγείρει την παραγωγή ενεργής HSL, ενώ η ινσουλίνη εμποδίζει την παραγωγή της. Το τελευταίο προϊόν της λιπόλυσης είναι τρία λιπαρά οξέα και μια γλυκερόλη. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα μεταφέρονται από το κύτταρο του λιπώδους ιστού διαμέσου των δεσμευτικών πρωτεϊνών των λιπαρών οξέων (FABP), ένα δεύτερο πρωτεϊνικό διαμεσολαβητικό σύστημα μεταφέρει τα ελεύθερα λιπαρά οξέα στο αίμα, όπου η αλβουμίνη μεταφέρει τα ελεύθερα λιπαρά οξέα στο μυϊκό κύτταρο. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα έχουν πια μεταφερθεί πέρα από την μεμβράνη του πλάσματος και μέσα στις μυϊκές ίνες. Η γλυκερόλη μπορεί να μεταφερθεί στο ήπαρ για την διαδικασία της γλυκονεογένεσης. Επιπλέον ελεύθερα λιπαρά οξέα μπορεί να ελευθερωθούν από τις λιποπρωτεΐνες του αίματος ή από τις αποθήκες του λίπους, στις μυϊκές ίνες. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, μπορούν σε αυτήν την φάση να εισέλθουν στα μιτοχόνδρια για την διαδικασία της β -οξειδωσης. CPT1: παλμιτοϊλική τρανσφεράση της καρνιτίνης 1, CPT2 παλμιτοϊλική τρανσφεράση της καρνιτίνης 2, VLDL πολύ χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνη.

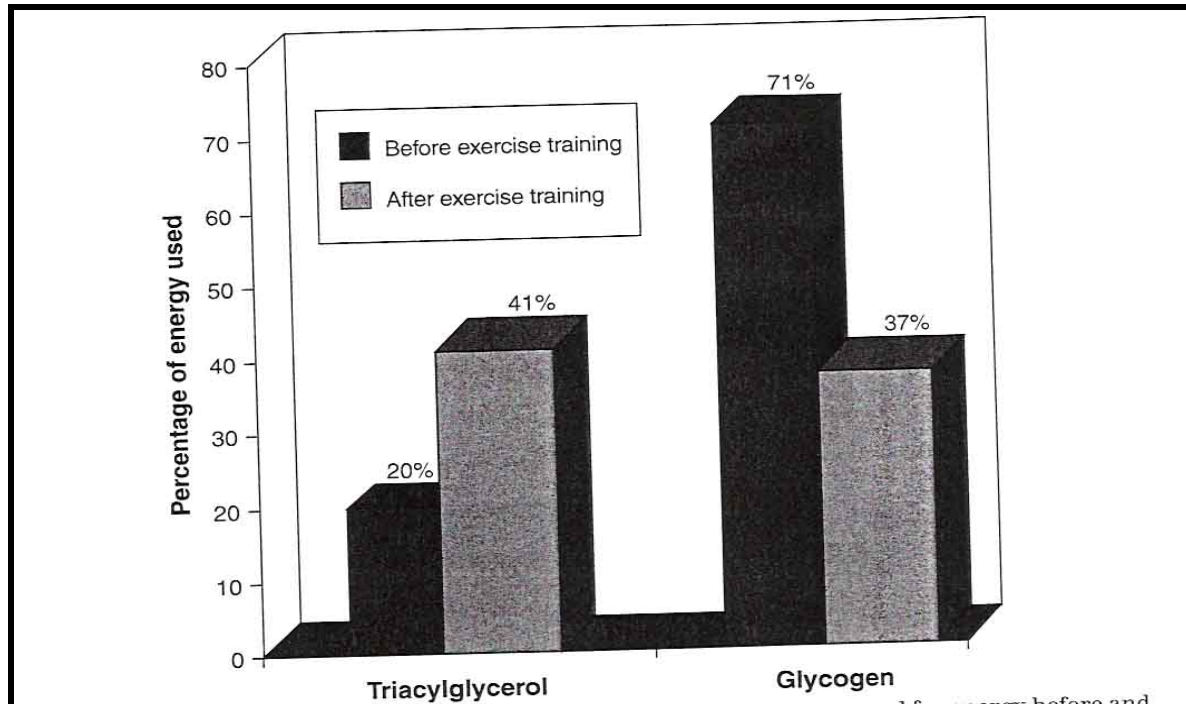


Figure 3.8 Percentage of intramuscular triacylglycerol and glycogen used for energy before and after a 12-week aerobic exercise training program. Subjects were nine men exercising for 2 h at 60% $\dot{V}O_2$ max. Reproduced from Hurley et al. 1986.

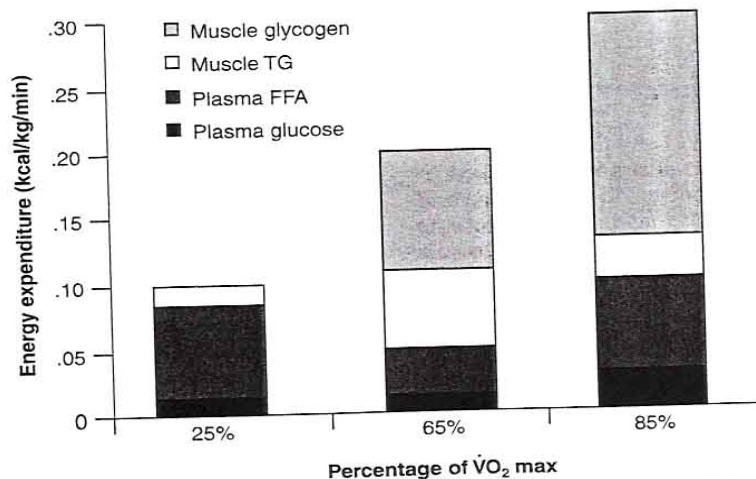


Figure 5.9 Substrate utilization at three different exercise intensities (25%, 65%, and 85% $\dot{V}O_2$ max) in trained male cyclists exercising for 30 min at 85% $\dot{V}O_2$ max or 120 min at 25% and 65% $\dot{V}O_2$ max. FFA = free fatty acids; TG = triacylglycerol. Reprinted from Romijn et al. 1995.

EIKONA2.3.4 ²⁹ Χρησιμοποίηση υποστρωμάτων σε 3 διαφορετικές εντάσεις άσκησης (25 %, 65 % και 85 % του VO_2 max), σε προπονημένους ποδηλάτες για 30 λεπτά στο 85 % του VO_2 max ή για 120 λεπτά στο 25 % και στο 65 % του VO_2 max. FFA = ελεύθερα λιπαρά οξέα, TG = τριγλυκερίδιο.

ΕΝΟΤΗΤΑ 2.4.

Διαδικασίες που πιθανόν μειώνουν την οξείδωση των λιπαρών οξέων από το μυ:

I. Παράγοντες που περιορίζουν την πρόσληψη λίπους από τα μυϊκά κύτταρα

Υπάρχει ένα όριο στον ρυθμό με τον οποίο , οι ενεργοί μύες χρησιμοποιούν τα λιπαρά οξέα. Η αερόβια άσκηση αυξάνει αυτό το όριο, αν και το ποσοστό της ενέργειας που παράγεται αποκλειστικά από τον καταβολισμό των λιπών, αποτελεί μόνο το μισό της παραγόμενης, όταν η βασική πηγή είναι οι υδατάνθρακες. Έτσι, η εξάντληση του γλυκογόνου των μυών, μειώνει την μέγιστη αεροβική παραγωγή ισχύος. Όπως η υπογλυκαιμία συνυπάρχει με μια «κεντρική» ή νευρική κόπωση, έτσι και η άσκηση με εξαντλημένο το γλυκογόνο των μυών πιθανότατα προκαλεί «περιφερική» ή τοπική κόπωση των μυών.³⁰

Λήψη Ελεύθερων Λιπαρών Οξέων

Επίσης φαίνεται να υπάρχει μια περιορισμένη λήψη ή/ και οξείδωση των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος από το μυ. Από μελέτες προκύπτει ότι, ενώ η παράδοση των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος, στα κάτω άκρα αυξήθηκε κατά τη διάρκεια παρατεταμένης μέτριας προς μεγάλη έντασης άσκησης, η κλασματική εξαγωγή των ελεύθερων λιπαρών οξέων, μειώθηκε. Επίσης έχει αποδειχθεί ότι τα ποσοστά οξείδωσης των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος, μπορούν να ρυθμιστούν από τις φυσιολογικές συγκεντρώσεις των κυκλοφορούντων ελεύθερων λιπαρών οξέων. Όταν αυξήθηκαν οι συγκεντρώσεις των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος με ενδοφλέβιες εγχύσεις τριγλυκεριδίων μακρίας αλύσσου και της ηπαρίνης κατά τη διάρκεια μεγάλης έντασης (85% VO_2 max) άσκησης, η οξείδωση του λίπους αυξήθηκε κατά 27% και η οξείδωση υδατανθράκων μειώθηκε κατά 11%.

Ποσοστό εργασίας μυών

Σε μελέτες έχει παρατηρηθεί ότι ακόμα και όταν αυξήθηκε η διαθεσιμότητα των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος από τις ενδοφλέβιες εγχύσεις των τριγλυκεριδίων μακριάς αλύσσου και της ηπαρίνης, η αύξηση στο ποσοστό της οξειδωσης του λίπους κατά τη διάρκεια άσκησης στο 85% του μέγιστου όγκου οξυγόνου δεν ήταν ίση με το ποσοστό, στο οποίο φυσιολογικές συγκεντρώσεις των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος οξειδώθηκαν στο 65% του μέγιστου όγκου οξυγόνου. Αυτά τα στοιχεία προτείνουν ότι και άλλοι παράγοντες εκτός από τη μειωμένη διαθεσιμότητα των ελεύθερων λιπαρών οξέων, είναι πιθανό να περιορίσουν την οξειδωση των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος κατά τη διάρκεια μεγάλης έντασης άσκησης³¹

Μετακίνηση Λιπαρών Οξέων πέρα από τη μεμβράνη των μυών.

Μέχρι πρόσφατα, έγινε αποδεκτό γενικά ότι η λήψη λιπαρών οξέων από τα μυϊκά κύτταρα, πραγματοποιούνταν μέσω παθητικής διάχυσης και δεν ήταν ένα από τα περιοριστικά βήματα στην οξειδωση λιπαρών οξέων. Πρόσφατα σε μελέτες προκύπτει ότι λήψη και η δέσμευση λιπαρών οξέων, αποτελούν διαδικασίες κορεσμού, και με αυτόν τον τρόπο παρουσιάστηκε ένας πιθανός περιορισμός σ' αυτό το στάδιο της διαδικασίας της οξειδωσης του λίπους. Καμία τέτοια κινητική κορεσμού δεν παρατηρήθηκε στον μυ προπονημένων αρουραίων, δείχνοντας ότι η προπόνηση αντοχής μπορεί να διευκολύνει τη μεταφορά λιπαρών οξέων πέρα από το σαρκείλημα. Η προπόνηση αντοχής οδηγεί σε αυξήσεις στις συγκεντρώσεις των μεταφορικών πρωτεϊνών των λιπαρών οξέων, γεγονός που προκύπτει από αυξήσεις στην περιεκτικότητα σε mRNA (αγγελιοφόρο RNA) και πρωτεΐνη. Παράλληλα εμφανίζεται ότι το περιεχόμενο των πρωτεϊνών, εκείνων που δεσμεύουν λιπαρά οξέα στις μεμβράνες του πλάσματος (Δεσμευτικές πρωτεΐνες λιπαρών οξέων), αυξήθηκε σημαντικά στους ερυθρούς μυς αρουραίων μετά από προπόνηση. Παρόμοιες προσαρμογές, που συμβαίνουν ως αποτέλεσμα της προπόνησης, αναφέρθηκαν και στον ανθρώπινο μυ. Πρόσφατα αποδείχθηκε ότι μετά από 3 εβδομάδες έντονης προπόνησης αντοχής, το περιεχόμενο των δεσμευτικών πρωτεϊνών των λιπαρών οξέων αυξήθηκε κατά 49%.³²

Μετακίνηση Λιπαρών Οξέων στις μιτοχονδριακές μεμβράνες.

Η δραστηριότητα της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης - I (CPT-I) έχει αποδειχθεί ότι είναι σημαντικά υψηλότερη σε προπονημένη κατάσταση απ' ότι στην μη προπονημένη. Πρόσφατα ερευνήθηκε εάν η βραχυπρόθεσμη προπόνηση είχε επίδραση στη ρύθμιση των γονιδίων που εμπλέκονται στο μεταβολισμό του λίπους . 9 διαδοχικές ημέρες προπόνησης οδήγησαν σε μια αύξηση 57 % στην έκφραση των γονιδίων της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης - I, στην ανάπαυση και αμέσως μετά από την άσκηση. Εάν η αύξηση στο αγγελιοφόρο mRNA της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης - I, ήταν το καθαρό αποτέλεσμα της αυξανόμενης σύνθεσης mRNA ή της αυξανόμενης σταθερότητας, παραμένει να καθοριστεί.

Συνοψίζοντας, αξίζει να τονιστεί, ότι με συνέπεια παρουσιάζεται ότι τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους αυξάνονται με την προπόνηση αντοχής. Η συνολική σωματική και περιφερειακή λιπόλυση δεν φαίνεται να επηρεάζεται, γεγονός μπορεί να αποκλείσει την αυξανόμενη διαθεσιμότητα σε λιπαρά οξέα, ως αιτία για τα αυξανόμενα ποσοστά οξείδωσης του λίπους. Κάποια στοιχεία δείχνουν μια αύξηση στην έκφραση των γονιδίων και την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των πρωτεϊνικών μεταφορέων, που ενσωματώνονται στη μεμβράνη του μυϊκού κυττάρου και αυτό μπορεί να αυξήσει τη μεταφορά των λιπαρών οξέων. Κάποια διαμάχη υπάρχει σχετικά με την αυξανόμενη οξείδωση των λιπαρών οξέων, από τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια. Η κύρια προσαρμογή που εμφανίζεται στο σώμα κατά τη διάρκεια της προπόνησης αντοχής, είναι μια αύξηση στη δραστηριότητα της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης - I, το ένζυμο που αναγνωρίζεται ότι περιορίζει τον ρυθμό στη διαδικασία της οξείδωσης του λίπους.³³

ii. Παράγοντες που περιορίζουν την οξειδωση των λιπαρών οξέων από τα μυϊκά κύτταρα

ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΙΣ ΜΙΤΟΧΟΝΔΡΙΑΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ.

Η μεταφορά λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια, είναι ένα πιθανό περιοριστικό βήμα για την οξειδωση των λιπαρών οξέων μακριάς αλύσσου. Έχει αποδειχθεί ότι, κατά τη διάρκεια συνθηκών υψηλής γλυκολυτικής ροής, η οξειδωση των λιπαρών οξέων μέσης-αλύσσου παρεμποδίζεται λιγότερο από την οξειδωση των λιπαρών οξέων μακριάς-αλύσσου. Η κύρια διαφορά στη διάβαση οξειδωσης των λιπαρών οξέων μακριάς-αλύσσου και των λιπαρών οξέων μέσης-αλύσσου, είναι η μεταφορά στα μιτοχόνδρια. Τα λιπαρά οξέα μακριάς αλύσσου απαιτούν το σύμπλοκο της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης - I- (CPT), ενώ τα λιπαρά οξέα μέσης αλύσσου χρησιμοποιούν ένα διαφορετικό ένζυμικό σύμπλοκο (Οκτανοϊλικη-καρνιτίνη Τρανσφεράση), το οποίο εμφανίζεται να είναι λιγότερο ρυθμισμένο, και μέρος των λιπαρών οξέων μέσης αλύσσου μπορούν ελεύθερα να διασκορπιστούν στα μιτοχόνδρια. Επομένως προκύπτει ότι η παρεμπόδιση της οξειδωσης των λιπαρών οξέων μακριάς αλύσσου εμφανίζεται στο σύμπλοκο της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης - I.

Το Μανονυλικό Συνένζυμο Α είναι ο μεσάζων της σύνθεσης των λιπαρών οξέων και έχει δειχθεί ότι εμποδίζει τη δραστηριότητα της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης – I, σε ανάπαυση. Από μια μελέτη, στην οποία αρουραίοι έτρεχαν σε διαφορετικές εντάσεις άσκησης, προτείνεται ένας ρόλος για το Μανονυλικό Συνένζυμο Α στη μείωση της οξειδωσης του λίπους, σε υψηλότερες εντάσεις άσκησης, αν και ο ρόλος του στον ανθρώπινο σκελετικό μυ είναι λιγότερο σαφής. Σε παρόμοια μελέτη εξετάστηκαν οκτώ συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια τριών περιόδων άσκησης 10 λεπτών σε εντάσεις που αποσπούν το 35%, 65%, και 90% του μέγιστου όγκου οξυγόνου. Οι βιοψίες των μυών συλλέχθηκαν σε ανάπαυση και στο τέλος της περιόδου άσκησης. Καμία επισημασμένη αλλαγή σε Μανονυλικό Συνένζυμο Α δεν βρέθηκε μεταξύ των δειγμάτων της ανάπαυσης και της άσκησης σε οποιοσδήποτε από τις εντάσεις. Αν και αυτή η μελέτη δεν έδειξε έναν ρόλο για τη συγκέντρωση του Μανονυλικού Συνένζυμου Α στο μεταβολισμό των λιπαρών οξέων στο σκελετικό μυ, δεν αποκλείει εντελώς έναν ρόλο για το Μανονυλικό Συνένζυμο Α. Έχει προταθεί ότι, υπό ορισμένους όρους, η ευαισθησία του CPT-I στο Μανονυλικό Συνένζυμο Α αλλάζει. Μια διατομική μελέτη έδειξε ότι η καρνιτινική παλμιτοϊλική τρανσφεράση – I, που βρίσκεται στο σκελετικό μυ προπονημένων ατόμων είναι

περισσότερο ευαίσθητη στο Μανονυλικό Συνένζυμο A από ότι είναι η καρνιτινική παλμιτοϊλική μεταφοράση – I μη προπονημένου μυϊκού ιστού. Περαιτέρω, έχει αποδειχθεί στο μυ τρωκτικών ότι η ευαισθησία της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής μεταφοράσης – I στο Μανονυλικό Συνένζυμο A, είναι εξαρτώμενη από το pH.

Σε pH 6.8, η καρνιτινική παλμιτοϊλική μεταφοράση – I δεσμεύεται από το Μανονυλικό Συνένζυμο A περισσότερο αποτελεσματικά απ' ότι σε ένα πιο ουδέτερο pH, το οποίο υπάρχει στο μυ σε ανάπαυση ή κατά τη διάρκεια άσκησης χαμηλής-έντασης. Επειδή η μεγάλης έντασης άσκηση συνδέεται με αυξανόμενη μυϊκή οξύτητα, η μείωση της οξείδωσης του λίπους, σε υψηλές εντάσεις άσκησης, θα μπορούσε να είναι το αποτέλεσμα μιας, από το pH προκληθείσας αυξανόμενης ευαισθησίας του CPT-I στο Μανονυλικό Συνένζυμο A. Η επίδραση του pH στην ευαισθησία της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής μεταφοράσης – I στο Μανονυλικό Συνένζυμο A στον ανθρώπινο μυ δεν έχει καθιερωθεί.

Εκτός από μια έμμεση ρυθμιστική επίδραση μέσω του Μανονυλικού Συνένζυμου A, το μειωμένο pH στον μυ, λειτουργεί ως ένας άμεσος μηχανισμός πρόκλησης της μείωσης της οξείδωσης του λίπους, σε υψηλές εντάσεις άσκησης. Μελέτες στο εργαστήριο, που διεξάγονται σε αρουραίους και ανθρώπινους σκελετικούς μύες, παρουσιάζουν ότι ακόμη και οι πολύ μικρές μειώσεις στο pH μπορούν να μειώσουν τη δραστηριότητα της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής μεταφοράσης - I.

Διάφορες μελέτες αναφέρουν ότι η διαθεσιμότητα ελεύθερης καρνιτίνης, μειώνεται με τις αυξανόμενες εντάσεις άσκησης όταν η γλυκολιτική ροή και ο σχηματισμός ακετυλο- συνένζυμου A, είναι υψηλός. Πιο πρόσφατα, αυτό που παρουσιάστηκε είναι ότι, όταν η άσκηση εκτελείται με υψηλά επίπεδα γλυκογόνου των μυών, τα χαμηλότερα επίπεδα ελεύθερης καρνιτίνης, βρίσκονται έναντι της άσκησης σε ένα μειωμένο κράτος γλυκογόνου Θεωρείται ότι η μειωμένη συγκέντρωση ελεύθερης καρνιτίνης, που παρατηρήθηκε σε υψηλές εντάσεις άσκησης, θα μπορούσε να έχει περιορίσει τη δραστηριότητα της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής μεταφοράσης - I.

Εν περιλήψει, όταν η αυξάνεται η ένταση της άσκησης από χαμηλή σε μέτρια, αυξήσεις φαίνονται στην λιπόλυση, η ροή αίματος στον λιπώδη ιστό, και η ροή αίματος στον μυϊκό ιστό, τα οποία αυξάνουν τη διαθεσιμότητα των Λιπαρών Οξέων για τους μύες. Αυτή η αυξανόμενη διαθεσιμότητα συνοδεύεται από μια αύξηση στα απόλυτα ποσοστά της οξείδωσης του λίπους.

Εντούτοις, όταν η ένταση αυξάνεται στα υψηλά ποσοστά εργασίας, η γλυκολυτική ροή και επομένως η οξείδωση των υδατανθράκων αυξάνονται εμφανώς, ενώ παρατηρείται μια μείωση στην οξείδωση του λίπους. Εκτός από τη μειωμένη διαθεσιμότητα Λιπαρών Οξέων, η μειωμένη δραστηριότητα της καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης - I, έχει υποδειχθεί ως κύριος υποψήφιος αρμόδιος για το ρύθμιση προς τα κάτω, της οξείδωσης του λίπους σε υψηλότερη ένταση άσκησης.³³

Βραχυπρόθεσμη εισαγωγή υδατανθράκων και οξείδωση του λίπους

Τα λιπαρά γεύματα και η κατανάλωση τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου, προτείνονται ως ένας τρόπος αύξησης της οξείδωσης του λίπους. Αποδεικνύεται ότι η κατανάλωση υδατανθράκων πριν από ή κατά τη διάρκεια της άσκησης μπορεί να οδηγήσει σε μια χαρακτηρισμένη μείωση της οξείδωσης λιπαρών οξέων. Το μέγεθος της επίδρασης της εισαγωγής υδατανθράκων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες συμπεριλαμβανομένου του τύπου και του ποσού των υδατανθράκων. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι ο συγχρονισμός της εισαγωγής, δηλαδή, εάν οι υδατάνθρακες λαμβάνονται στις ώρες πριν από την άσκηση, της ώρα της έναρξης της άσκησης, ή σε οποιοδήποτε σημείο κατά τη διάρκεια της άσκησης. Όταν οι υδατάνθρακες λαμβάνονται πριν από την έναρξη της άσκησης, ο συντελεστής αναπνευστικής ανταλλαγής (ρυθμός αναπνοής) είναι σημαντικά υψηλότερος απ' ό,τι κατά τη διάρκεια των άνευ τροφής συνθηκών. Σε μελέτη με 11 μέτρια προπονημένους άνδρες, τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους μειώθηκαν κατά σχεδόν 30 % από 50 % μέχρι 70 % του μέγιστου όγκου οξυγόνου. Η επίδραση της κατανάλωσης υδατανθράκων μετά από την έναρξη της άσκησης στην οξείδωση του λίπους, εξαρτάται από την ένταση της άσκησης. Κατά τη διάρκεια χαμηλής-και μέτριας-έντασης άσκησης, η κατανάλωση υδατανθράκων έχει αναφερθεί ότι μειώνει την οξείδωση του λίπους έναντι των καταστάσεων όπου δεν χορηγείται τροφή, σχεδόν όπως ακριβώς και όταν λαμβάνονται υδατάνθρακες πριν από την άσκηση. Κατά τη διάρκεια μεγάλης έντασης άσκησης, εντούτοις, οι περισσότερες μελέτες δεν δείχνουν καμία διαφορά στην οξείδωση του λίπους μεταξύ των «νηστεμμένων» και τροφοδοτούντων ατόμων. Οι αναφερόμενες αλλαγές στην οξείδωση του λίπους ως αποτέλεσμα της εισαγωγής υδατανθράκων πριν από και κατά τη διάρκεια την άσκηση προκαλούνται από διάφορους μηχανισμούς.³³

ΛΙΠΟΛΥΣΗ ΛΙΠΩΔΟΥΣ ΙΣΤΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΟ ΜΥ.

Έχει αποδειχθεί επανειλημμένα ότι η συγκέντρωση λιπαρών οξέων του πλάσματος μειώνεται μετά από κατανάλωση υδατανθράκων, το οποίο αποδίδεται εν μέρει σε ένα χαμηλότερο ποσοστό λιπόλυσης, που προκαλείται από τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις ινσουλίνης. Οι μελέτες σε φυσικές συνθήκες, σε κατάσταση ανάπαυσης δείχνουν ότι ακόμη και οι πολύ μικρές αυξήσεις στην ινσουλίνη έχουν μια χαρακτηρισμένη επίδραση στην λιπόλυση. Γενικά γίνεται αποδεκτό ότι σε άτομα μετά από «νηστεία», η διαθεσιμότητα σε λιπαρά οξέα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την οξειδωση του λίπους, κατά τη διάρκεια της άσκησης. Διαπιστώθηκε ότι η οξειδωση των λιπαρών οξέων κατά τη διάρκεια συνθηκών με τροφή, ήταν ίση με την απελευθέρωση λιπαρών οξέων από τη λιπόλυση. Η επίδραση της εισαγωγής υδατανθράκων στη λιπόλυση κατά τη διάρκεια της άσκησης, μπορεί να διαρκέσει τουλάχιστον 6 ώρες. Φαίνεται ότι η συγκέντρωση γλυκερίνης κατά τη διάρκεια της άσκησης, παραμένει χαμηλότερη μετά από 2, 4, και 6 ώρες νηστείας, έναντι μιας 12ωρης νηστείας. Για να ερευνηθεί εάν η μείωση της λιπόλυσης ήταν αρμόδια για την αναφερόμενη μείωση στην οξειδωση του λίπους, αυξήθηκε η ήδη, ανυψωμένη συγκέντρωση λιπαρών οξέων του πλάσματος. Η κίνηση αυτή οδήγησε σε μια αύξηση της οξειδωσης του λίπους κατά 22 %, δείχνοντας ότι η μειωμένη διαθεσιμότητα σε Λιπαρά Οξέα, συμβάλει στη μείωση της οξειδωσης του λίπους. Εντούτοις, επειδή το ποσοστό της οξειδωσης του λίπους, με τις ανυψωμένες συγκεντρώσεις λιπαρών οξέων του πλάσματος, παραμένει χαμηλότερη από την οξειδωση του λίπους, στα άτομα που δεν κατανάλωσαν τροφή, προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυτός δεν ήταν ο μόνος μηχανισμός αρμόδιος για τη μείωση της οξειδωσης του λίπους

Όταν οι υδατάνθρακες παρέχονται στους συμμετέχοντες από την αρχή της χαμηλής- έως μέτριας -έντασης άσκησης, η λιπολυτική απάντηση μοιάζει, με εκείνη που εμφανίζεται, μετά από την κατανάλωση υδατανθράκων στην ώρα πριν από την άσκηση. Όταν η κατανάλωση υδατανθράκων καθυστερεί μέχρι την έναρξη της άσκησης, η επίδραση στην οξειδωση του λίπους, αλλάζει. Στις δοκιμές όπου υδατάνθρακες λήφθηκαν 60 λεπτά πριν από την άσκηση, η συγκέντρωση ινσουλίνης όξυνε στην έναρξη της άσκησης.

Μια μελέτη η οποία χρησιμοποιεί έξι προπονημένα άτομα που ποδηλάτησαν για 2 ώρες στο 25 % του μέγιστου όγκου οξυγόνου, ενώ καταναλώθηκαν υδατανθρακες μετά από 30, 60, και 90 λεπτά. Η κατανάλωση υδατανθράκων μετά από 30 λεπτά άσκησης χαμηλής-έντασης, οδήγησε σε μια μέγιστη συγκέντρωση ινσουλίνης, πολύ χαμηλότερη, από όταν λήφθηκαν υδατανθρακες πριν από την άσκηση. Επειδή η αντιλιπολυτική επίδραση της ινσουλίνης είναι ισχυρή, ακόμη και στις χαμηλές συγκεντρώσεις, παρατηρείται μια άμβλυνση στη λιπόλυση. Εντούτοις, επειδή η λιπόλυση ήταν υποκινημένη κατά τη διάρκεια των πρώτων 30 λεπτών της άσκησης, η λιπόλυση μειώθηκε μόνο σε μια περιορισμένη έκταση και η οξειδωση του λίπους, δεν μειώθηκε μέχρι τα 90 λεπτά της άσκησης. Κατά τρόπο ενδιαφέροντα, η λιπόλυση ήταν μεγαλύτερη από την οξειδωση του λίπους, κατά τη διάρκεια ολόκληρης της δοκιμής. Αυτό προτείνει ότι, κάτω από αυτές τις περιστάσεις, η διαθεσιμότητα των λιπαρών οξέων του πλάσματος δεν περιορίζει την οξειδωση του λίπους.

Όταν το ίδιο πείραμα επαναλήφθηκε σε μια υψηλότερη ένταση άσκησης, μια διαφορετική αντίδραση παρατηρείται. Η συγκέντρωση ινσουλίνης αυξάνεται μόνο περιθωριακά, αν και σημαντικά, ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης υδατανθράκων. Τα χαμηλότερα ποσοστά λιπόλυσης παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 λεπτών της άσκησης στη δοκιμή υδατανθράκων έναντι της δοκιμής με απουσία τροφής, με συνέπεια μια χαμηλότερη συγκέντρωση λιπαρών οξέων του πλάσματος. Παρά αυτήν τη μειωμένη διαθεσιμότητα σε λιπαρά οξέα, τα συνολικά ποσοστά οξειδωσης του λίπους δεν είναι χαμηλότερα στη δοκιμή υδατανθράκων. Αναφέρεται ότι όταν ξεκινά η κατανάλωση υδατανθράκων μετά από 20 λεπτά ακόμα υψηλότερης έντασης άσκησης (74 % του μέγιστου όγκου οξυγόνου), η απάντηση της ινσουλίνης αποτρέπεται εντελώς. Η ινσουλίνη έχει αποδειχθεί να έχει επιπτώσεις όχι μόνο στη λιπόλυση αλλά και στην επανεστεροποίηση των λιπαρών οξέων.

Στα ποντίκια και τους αρουραίους, το ποσοστό στο οποίο τα λιπαρά οξέα επανενσωματώνονται σε τριγλυκερίδια, αυξάνεται με τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις ινσουλίνης στην ανάπαυση και κατά τη διάρκεια της άσκησης. Πρόσφατα μελετήθηκε η λήψη και η οξειδωση λιπαρών οξέων στην περιοχή του κάτω άκρου και την σπλαχνική περιοχή, σε υπό-υπεργλυκαιμικές και υπερινσουλιναιμικές συνθήκες, σε πέντε υγιείς εθελοντές ανθρώπους. Η οξειδωση του λίπους μειώνεται και στις δύο περιοχές έναντι των βασικών συνθηκών, ενώ καμία αλλαγή δεν ανιχνεύεται στη λήψη των λιπαρών οξέων. Αυτά τα αποτελέσματα προτείνουν ότι τα λιπαρά οξέα έχουν μια εναλλασσόμενη μοίρα, (για παράδειγμα, επανεστεροποίηση τους σε τριγλυκερίδια).³³

ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΙΣ ΜΙΤΟΧΟΝΔΡΙΑΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ.

Έχει αποδειχθεί ότι η μείωση της οξειδωσης του λίπους, που φαίνεται μετά από την κατανάλωση υδατανθράκων προκαλείται εν μέρει από μια μειωμένη είσοδο λιπαρών οξέων μακριάς αλύσσου στα μιτοχόνδρια. Τούτο προκύπτει από το γεγονός ότι τα λιπαρά οξέα μέσης αλύσσου δεν απαιτούν τη καρνιτινική παλμιτοϊλική τρανσφεράση - I για να μεταφερθούν στα μιτοχόνδρια, όπως τα λιπαρά οξέα μακράς αλύσσου. Έξι προπονημένα άτομα σε άσκηση αντοχής, ποδηλάτησαν για 40 λεπτά στο 50% του μέγιστου όγκου οξυγόνου, μετά από ολονύκτια νηστεία και μετά από την κατανάλωση ενός γεύματος πλούσιο σε υδατάνθρακες, 60 και 10 λεπτά πριν από την έναρξη της άσκησης. Η οξειδωση λιπαρών οξέων μακριάς αλύσσου μειώθηκε στη δοκιμή των υδατανθράκων, ενώ η οξειδωση λιπαρών οξέων μέσης αλύσσου, δεν επηρεάστηκε από την εισαγωγή υδατανθράκων. Η βάση για τη μειωμένη δραστηριότητα καρνιτινικής παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης – I δεν είναι γνωστή, αν και διάφορες απόψεις, σχετικά με το θέμα , έχουν ειπωθεί.

Εν περιλήψει, τα αποτελέσματα της εισαγωγής υδατανθράκων στην οξειδωση του λίπους εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του συγχρονισμού της εισαγωγής υδατανθράκων, και της έντασης της άσκησης. Εντούτοις, υπό τους περισσότερους όρους, η εισαγωγή υδατανθράκων μειώνει την οξειδωση του λίπους. Όταν οι υδατάνθρακες καταναλώνονται πριν από την άσκηση, πραγματοποιούνται μεγάλες αυξήσεις στην ινσουλίνη, οι οποίες έχουν επιπτώσεις στο ποσοστό λιπόλυσης, και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η διαθεσιμότητα των λιπαρών οξέων που προορίζονται για οξειδωση. Επιπλέον, η επίδραση της εισαγωγής υδατανθράκων είναι χαμηλότερη, όταν αυτοί λαμβάνονται αμέσως πριν από την άσκηση, ή 20 έως 30 λεπτά μετά από την έναρξη της. Όταν οι υδατάνθρακες λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της μεγάλης έντασης άσκησης, εμφανίζονται να μην έχουν καμία επίδραση στην οξειδωση του λίπους.³³

ΕΝΟΤΗΤΑ 2.5.

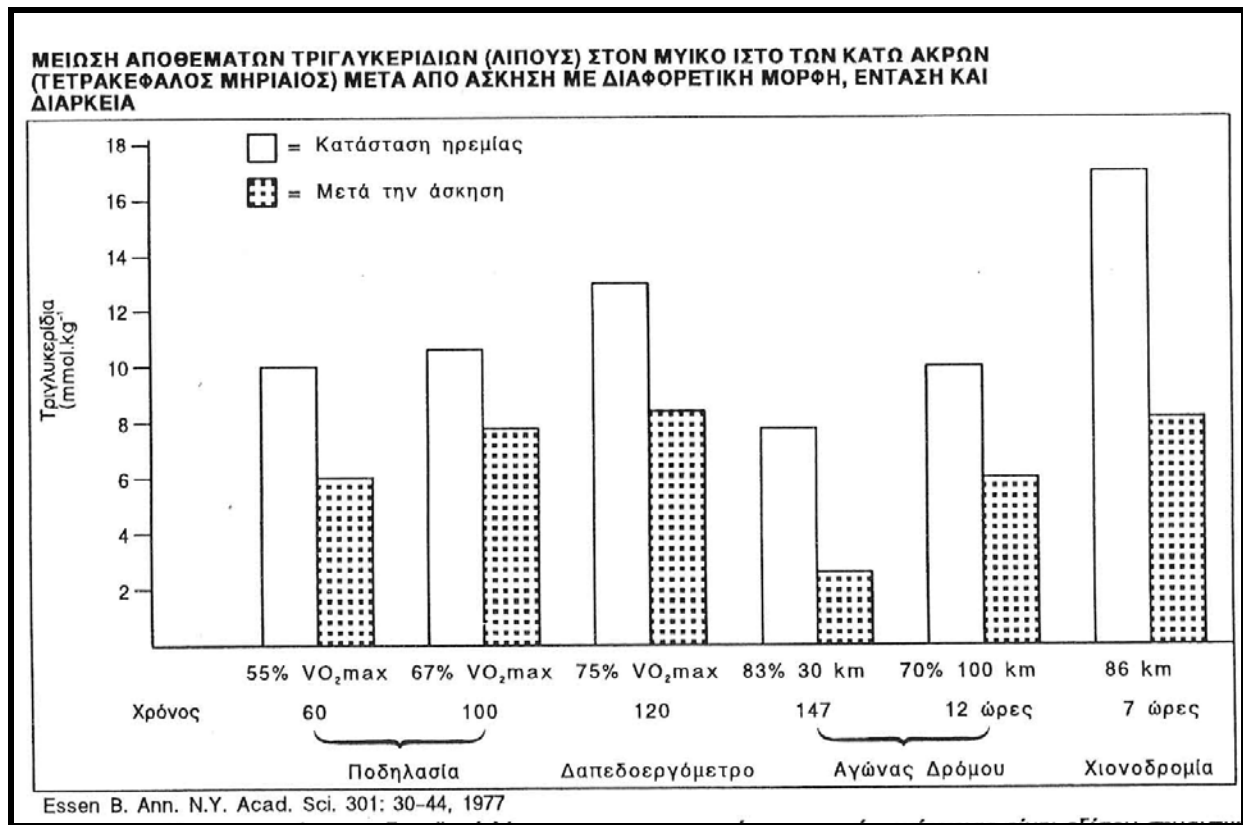
Επίδραση της έντασης και διάρκειας της άσκησης στο μεταβολισμό του λίπους

Ο καταβολισμός των λιπών κατά την άσκηση

Ανάλογα με τη διατροφική και φυσική κατάσταση κάθε ατόμου, και την ένταση και την διάρκεια της φυσικής δραστηριότητας, το ενδοκυττάριο και το εξωκυττάριο λίπος παρέχει το 30 – 80 % της ενέργειας για τη φυσική δραστηριότητα. Η χρησιμοποίηση του λίπους ως πηγή ενέργειας στην ήπια και τη μέτρια άσκηση ποικίλει ανάλογα με την αιματική ροή στον λιπώδη ιστό (δεν είναι σπάνια η αύξηση στο τριπλάσιο) και την αιματική ροή στους ενεργούς μυς. Ο λιπώδης ιστός απελευθερώνει περισσότερα λιπαρά οξέα για τους ενεργούς μυς όσο η άσκηση απαιτεί αυξημένη αιματική ροή.

Είναι όμως γεγονός ότι σημαντική οξειδωση λιπαρών οξέων, γίνεται και κατά τη διάρκεια άσκησης χαμηλής έντασης. Για παράδειγμα, η καύση του λίπους τροφοδοτεί την άσκηση που γίνεται στο 25 % της αεροβικής δυνατότητας. Οι υδατάνθρακες και το λίπος συμβάλουν εξίσου στην παροχή ενέργειας κατά τη μέτρια άσκηση. Η οξειδωση των λιπών αυξάνει σταδιακά όσο η άσκηση επεκτείνεται στη μία ώρα ή και περισσότερο και το γλυκογόνο εξαντλείται. Προς το τέλος της παρατεταμένης άσκησης (με χαμηλά αποθέματα γλυκογόνου), τα κυκλοφορούντα λιπαρά οξέα παρέχουν περίπου το 80 % της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, ένα κάπως μεγαλύτερο ποσοστό λίπους από τις αποθήκες του λιπώδους ιστού συμμετέχει στον ενεργειακό μεταβολισμό. Η ενεργειακή συμμετοχή των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων πιθανότατα ποικίλει από 15-35 %, με τους αθλητές που είναι προπονημένοι σε αθλήματα αντοχής να χρησιμοποιούν μεγαλύτερα ποσοστά ενδομυϊκού λίπους.

Η διαθεσιμότητα των υδατανθράκων επηρεάζει επίσης τη χρησιμοποίηση του λίπους ως πηγή ενέργειας. Όταν υπάρχουν επαρκή αποθέματα, οι υδατάνθρακες γίνονται το καύσιμο εκλογής, ιδίως κατά την αερόβια άσκηση υψηλής έντασης. Η χρησιμοποίηση των υδατανθράκων για παραγωγή ενέργειας γίνεται ταχύτατα, σε σχέση με τον καταβολισμό των λιπών που γίνεται με ρυθμό βραδύτερο σχεδόν κατά 50 %.³⁴



ΕΙΚΟΝΑ 2.5 Η συμμετοχή του ενδομυϊκού λίπους στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας είναι το ίδιο σημαντική σε διάφορες μορφές και εντάσεις αθλητικής δραστηριότητας³⁵

Υποδόριος λιπώδης ιστός

Σε κατάσταση ηρεμίας το ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από τον υποδόριο ιστό και μεταφέρεται με το αίμα στα μυϊκά κύτταρα, αντιπροσωπεύει περίπου το 26 % των ενεργειακών αναγκών, εφόσον το άτομο δεν έχει καταναλώσει καμία τροφή για τις προηγούμενες 12-15 ώρες. Σε περίπτωση που το τελευταίο γεύμα καταναλώθηκε προ τριώρου, το ποσοστό αυτό αντιπροσωπεύει μόνο το 6 %.

Όταν ο αθλητής συμμετέχει σε ήπιας μορφής άσκηση (βάδην με ταχύτητα 5.5 χιλιόμετρα/ώρα) το ποσοστό συμμετοχής του λίπους που είναι αποθηκευμένο στον υποδόριο ιστό, σε περίπτωση που προηγήθηκε νηστεία 12-15 ωρών, αυξάνεται στο 45 %, ενώ στην περίπτωση που το τελευταίο γεύμα είχε καταναλωθεί πριν 3 ώρες, το ποσοστό περιορίζεται μόνο στο 9 % των ολικών ενεργειακών αναγκών

Γίνεται λοιπόν φανερό ότι κατά τη διάρκεια άσκησης ήπιας έντασης, το ποσοστό συμμετοχής του λίπους στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας εξαρτάται από τη θρεπτική κατάσταση του ατόμου. Δηλαδή, όταν το σώμα είναι κατάλληλα εφοδιασμένο με υδατάνθρακες, το ποσοστό συμμετοχής του υποδόριου λίπους είναι περιορισμένο (~6 %). Όταν ο αθλητής δεν έχει καταναλώσει υδατάνθρακες τις τελευταίες 8-10 ώρες, η συμμετοχή του λίπους αυξάνεται, στο 45 % της ολικής ενέργειας, ενώ η συμμετοχή του ηπατικού ιστού στον εφοδιασμό του οργανισμού με λίπος είναι μηδαμινή.

Ένας άλλος παράγοντας που διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στο ποσοστό συμμετοχής του λίπους είναι και η διάρκεια της άσκησης. Μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε άτομα τα οποία ασκήθηκαν σε κυκλοεργόμετρο για 4 συνεχόμενες ώρες σε μία ήπιας έντασης προσπάθεια που αντιστοιχούσε στο 30 % της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Μετά από 90 λεπτά άσκησης, το εξωκυτταρικό λίπος που μεταφέρεται από τα λιποκύτταρα του υποδόριου ιστού στους μυς, αντιπροσωπεύει το 37 % της ολικής ενέργειας. Με την πάροδο όμως του χρόνου και ενώ τα αποθέματα του γλυκογόνου, σαν φυσική συνέπεια, αρχίζουν να ελαττώνονται, η συμμετοχή του λίπους αυξάνει, με αποτέλεσμα μετά από 3 ή και 4 ώρες συνεχόμενης άσκησης, το υποδόριο λίπος να αντιπροσωπεύει το 50 % έως και 62 % της ολικής ενέργειας αντίστοιχα, χωρίς σε αυτό να υπολογίζεται και η παραγωγή ενέργειας από το λίπος που είναι αποθηκευμένο στους μυϊκούς ιστούς, το οποίο επίσης συμμετέχει. Προκύπτει λοιπόν ότι, όσο αυξάνει η διάρκεια της άσκησης και εξαντλούνται τα αποθέματα σε γλυκογόνο, τόσο αυξάνεται η συνεισφορά του λίπους στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας.

Η ποσοστιαία συμμετοχή του λίπους στον μηχανισμό παραγωγής ενέργειας εξαρτάται, και από τις διατροφικές συνήθειες του αθλητή και πιο συγκεκριμένα από το βαθμό παρουσίας των υδατανθράκων.

Παλαιότερες έρευνες έδειξαν ότι σε αθλητές που ασκούνται με ένταση που αντιπροσωπεύει το 75 % της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, καθώς οι υδατάνθρακες αντιπροσωπεύουν το 70 % των θερμίδων, η παρουσία των λιπαρών οξέων στο αίμα είναι περιορισμένη ($=0.2 \text{ mmol/ λίτρο}$) και ο χρόνος συμμετοχής στην άσκηση ανέρχεται σε 75 λεπτά. Όταν η ημερήσια διαίτα είναι μικτή, με τους υδατάνθρακες να αντιπροσωπεύουν το 50 % των θερμίδων, η συμμετοχή του λίπους αυξάνεται ($=0.4 \text{ mmol/ λίτρο}$) αλλά η ικανότητα παρατεταμένης μυϊκής προσπάθειας μειώνεται στα 60 λεπτά της ώρας.

Η απουσία υδατανθράκων από την τροφή, αυξάνει το ποσοστό συμμετοχής του λίπους, στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας, αλλά μειώνει δραματικά τη χρονική διάρκεια της άσκησης σε 30 λεπτά. Μετά από 70 λεπτά υψηλής έντασης άσκηση (70-88 % μέγιστος όγκος οξυγόνου) και εξάντληση του μυϊκού γλυκογόνου, η συμμετοχή του λίπους εξαρτάται από την κατανάλωση ή μη υδατανθράκων. Αν μετά το τέλος της άσκησης ο αθλητής καταναλώσει ένα διάλυμα με υδατάνθρακες, η παρουσία του λίπους στο αίμα (λιπαρά οξέα υπό μεταφορά στους ιστούς) μειώνεται σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτά κατά τη διάρκεια της άσκησης. Αντίθετα όταν ο αθλητής δεν καταναλώνει υδατάνθρακες μετά το τέλος της άσκησης, η παρουσία του λίπους στο αίμα τριπλασιάζεται για δύο ώρες μετά το τέλος της άσκησης. Είναι λοιπόν φανερό ότι η συμμετοχή ή μη του λίπους στους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας, εξαρτάται από την παρουσία ή μη της γλυκόζης, η οποία είναι η προτιμητέα πηγή ενέργειας από τον οργανισμό.

Γενικά όσο μειώνονται τα αποθέματα των υδατανθράκων στον οργανισμό, η συμμετοχή του λίπους στους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας αυξάνεται, αλλά η ικανότητα διατήρησης υψηλής έντασης μυϊκής προσπάθειας μειώνεται.

Είναι γεγονός ότι η παρουσία λιπαρών οξέων στο αίμα, κατά τη διάρκεια μέτριας έντασης άσκησης, που αντιπροσωπεύει το 68 % της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση υδατανθράκων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η παρουσία ή μη των λιπαρών οξέων στο αίμα (υπό μεταφορά στους ιστούς) καθορίζει και το βαθμό συμμετοχής τους στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας. Παράλληλα η παρουσία οξυγόνου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη συμμετοχή του λίπους στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας, αφού η παραγωγή ενέργειας από το λίπος είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί αποκλειστικά και μόνο με την παρουσία οξυγόνου.

Όταν λοιπόν η ένταση της άσκησης αυξάνεται, δηλαδή ο ρυθμός καύσεως θερμίδων υπερβαίνει κατά πολύ την ικανότητα που έχει ο αερόβιος μεταβολισμός, ο οργανισμός αρχίζει να εξαρτάται περισσότερο από τον αναερόβιο μεταβολισμό παραγωγής ενέργειας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συμμετοχή του λίπους και να αυξάνεται η συμμετοχή της γλυκόζης, μέσω της οποίας δύναται να παραχθεί ενέργεια μέσω του αναερόβιου μεταβολισμού, δηλαδή χωρίς την παρουσία οξυγόνου.³⁶

Όρια στην οξείδωση του λίπους κατά τη διάρκεια της άσκησης

Έχει προκύψει από πρόσφατες μελέτες ότι η αερόβια γλυκόλυση και η αερόβια λιπόλυση είναι λειτουργικά ευδιάκριτα συστήματα για την παροχή ενέργειας στην μέτριας έως υψηλής έντασης άσκηση. Υποστήριζαν ότι, ενώ η αερόβια γλυκόλυση μπορεί να είναι κρίσιμη στην άσκηση που διαρκεί λιγότερο από 4 ώρες στο $> 70\%$ της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, η αερόβια λιπόλυση θα μπορούσε να γίνει όλο και περισσότερο σημαντική σε γεγονότα υψηλής αντοχής. Επίσης συστήνεται ότι η προπόνηση για τα γεγονότα υψηλής αντοχής πρέπει να αποτελείται κυρίως από παρατεταμένες, συνεχείς, χαμηλής έως μέτριας έντασης ασκήσεις και ότι ο αθλητής πρέπει να προσαρμοστεί σε μια πλούσια σε λίπη, χαμηλή σε υδατάνθρακες διατροφή πριν από την άσκηση, και να λάβει κάποιο εύπεπτο λίπος κατά τη διάρκεια της άσκησης. Και οι δύο διαταραχές, θεωρητικά, θα αύξαναν τη συμβολή της αερόβιας λιπόλυσης στην ενεργειακή παραγωγή. Έχει υπολογιστεί ότι οι σωματικές αποθήκες τριγλυκεριδίων έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν 30 με 40 φορές περισσότερη ενέργεια από τα αποθέματα υδατανθράκων. Εντούτοις, τα ποσοστά τριγλυκεριδίων διακοπής και οξείδωσης λιπαρών οξέων εμφανίζονται να ρυθμίζονται σε μεγάλο βαθμό. Η κινητοποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων από το λιπώδη ιστό εξαρτάται από την ενεργοποίηση της ορμονοευαίσθητης λιπάσης και υπόκειται στην παρεμπόδιση ανατροφοδότησης στις υψηλές συγκεντρώσεις των ελεύθερων λιπαρών οξέων της κυκλοφορίας. Αυτή η παρεμπόδιση ανατροφοδότησης φαίνεται να προκύπτει από περιορισμό σε, ελεύθερα λιπαρά οξέα, αλβουμίνη, μεταφορική ικανότητα του πλάσματος ή/ και πρόσληψη κορεσμένων ελεύθερων λιπαρών οξέων πέρα από το πλασμόλειμμα. Είναι αποδεκτό ότι η προπόνηση αντοχής αυξάνει τη συμβολή στην ενεργειακή παραγωγή από την οξείδωση του λίπους. Τα υψηλότερα ποσοστά οξείδωσης του λίπους μετά από προπόνηση αντοχής έχουν αποδοθεί σε έναν περισσότερο αυστηρό μεταβολικό έλεγχο της αναπνοής που συνδέονται με μια αυξανόμενη μιτοχονδριακή πυκνότητα και μια μεγαλύτερη αποθήκευση και χρησιμοποίηση ενδοκυττάρων τριγλυκεριδίων καθώς επίσης και με ένα αργό ποσοστό γλυκογενόλυσης των μυών και πρόσληψης γλυκόζης του πλάσματος, ακόμη και κατά τη διάρκεια μεγάλης έντασης άσκησης. Έχει αποδειχθεί επίσης ότι, ενώ οι συγκεντρώσεις των ελεύθερων λιπαρών οξέων πλάσματος και ο κύκλος εργασιών ήταν χαμηλότερες τους συμμετέχοντες ποδηλάτες, για 2 ώρες στα ίδια απόλυτα ποσοστά εργασίας μετά από την προπόνηση, η γενική οξείδωση λίπους αυξήθηκε .

Αντιθέτως άλλοι μελετητές διαπίστωσαν ότι η κλασματική εξαγωγή των ελεύθερων λιπαρών οξέων πλάσματος από τους μυς που εκτελούν εκτάσεις γονάτων για 3 ώρες αυξήθηκε κατά το ίδιο συγγενή (% μέγιστου όγκου οξυγόνου) ποσοστό εργασίας μετά από προπόνηση αντοχής.

Η παρατηρηθείσα “αύξηση” στην οξείδωση λιπιδίων, επομένως, θα μπορούσε να αντιπροσωπεύσει μια αλλαγή στη μέγιστη δύναμη του αερόβιου λιπολυτικού συστήματος, ή θα μπορούσε απλά να είναι η συνέπεια του γεγονότος ότι η ίδια απόλυτη ένταση άσκησης αντιπροσωπεύει μια χαμηλότερη σχετική ένταση επόμενης προπόνησης, η οποία θα ευνοούσε την οξείδωση λιπιδίων .

Διαθεσιμότητα λιπαρών οξέων

Ακόμη και με την προπόνηση, εντούτοις, φαίνεται να υπάρχει ένα όριο στα ποσοστά οξείδωσης των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος. Αναφέρεται ότι το ποσοστό οξείδωσης των ελεύθερων λιπαρών οξέων είναι 3-4 φορές μεγαλύτερο από το συνολικό ποσό των ελεύθερων λιπαρών οξέων, που απελευθερώνεται στο πλάσμα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου άσκησης 1 ώρας στα ιδιαίτερα προπονημένα και στα μέτρια προπονημένα άτομα, που προπονούνται για 60 λεπτά άνω από και κάτω του κατώτατου ορίου. Η απελευθέρωση των ελεύθερων λιπαρών οξέων από τα κύτταρα του αδιπώδους ιστού εμφανίζεται να εξαρτάται από το περιφερειακό αίμα και μπορεί να μειωθεί στις υψηλότερες εντάσεις άσκησης. Στην περίοδο της αποκατάστασης μετά από την άσκηση, υπήρξε μια χαρακτηρισμένη αύξηση στο ποσοστό εμφάνισης των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος, προτείνοντας ότι η κινητοποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων, μπορεί να περιοριστεί κατά τη διάρκεια της μεγάλης έντασης άσκησης, και ότι τα ελεύθερα λιπαρά οξέα θα μπορούσαν να παγιδευτούν στο λιπαρό ιστό και, επομένως, να είναι μη διαθέσιμα για οξείδωση. ³⁷

Οξεία άσκηση και οξείδωση του λίπους

Μια σημαντική ερώτηση από πρακτική άποψη είναι: Σε ποια ένταση άσκησης μπορεί να βρεθούν τα υψηλότερα ποσοστά οξείδωσης του λίπους;

Έχει αποδειχθεί, ότι οι αλλαγές στην ένταση της άσκησης προκαλούν αλλαγές στη χρησιμοποίηση υποστρωμάτων. Επίσης παρατηρήθηκε ότι, σε αυξανόμενη διάρκεια άσκησης, η οξείδωση του λίπους αυξήθηκε σταδιακά. Αργότερα αυτό αποδόθηκε σε μια μείωση της διακοπής του γλυκογόνου των μυών και της συνολικής οξείδωσης υδατανθράκων .

Το ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από την οξείδωση υδατανθράκων αυξάνεται με τις αυξανόμενες εντάσεις, ενώ η σχετική συμβολή της οξείδωσης του λίπους στις συνολικές ενεργειακές δαπάνες μειώνεται.

Μερικές μελέτες έχουν μετρήσει τα απόλυτα ποσοστά οξείδωσης του λίπους στις διαφορετικές εντάσεις άσκησης. Όταν μετρήθηκε η χρησιμοποίηση των υποστρωμάτων, με έμμεσο θερμιδομετρία και σταθερά ισότοπα σε άνδρες συμμετέχοντες, που αθλούνταν κατά 25 %, 65 %, και 85 % της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, η οξείδωση υδατανθράκων αυξήθηκε βαθμιαία με την αυξανόμενη ένταση της άσκησης, ενώ η οξείδωση του λίπους αυξήθηκε από 25% του μέγιστου όγκου οξυγόνου σε 65 % του μέγιστου όγκου οξυγόνου και μειώθηκε έπειτα κατά 85% του μέγιστου όγκου οξυγόνου.

Σε μια ακόλουθη μελέτη σε μια μεγαλύτερη ομάδα μέτρια και ιδιαίτερα προπονημένων ατόμων, τα μέγιστα ποσοστά οξείδωσης του λίπους βρέθηκαν στο 63 % του μέγιστου όγκου οξυγόνου. Σε εντάσεις άσκησης επάνω από περίπου 65% σε 70% του μέγιστου όγκου οξυγόνου, τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους μειώθηκαν εμφανώς.

Όταν η ομάδα μελέτης, διαιρέθηκε σε μια μέτρια προπονημένη ομάδα με μέτριο μέγιστο όγκο οξυγόνου και σε μια ιδιαίτερα προπονημένη ομάδα με υψηλό μέγιστο όγκο οξυγόνου, τα μέγιστα ποσοστά οξείδωσης του λίπους ήταν 0,48 και 0,56 γραμμάρια ανά λεπτό, αντίστοιχα .

Κατά τρόπο ενδιαφέροντα η ένταση της άσκησης στην οποία μέγιστα ποσοστά οξειδωσης του λίπους παρατηρήθηκαν, δεν διέφερε μεταξύ των δύο ομάδων, υποδεικνύοντας ότι η διαφορά προκλήθηκε κυρίως από τις διαφορές στις ενεργειακές δαπάνες, παρά τις διαφορές στη σχετική κατανάλωση λίπους . Από πολλές μελέτες, είναι προφανές ότι μεγάλες διαπροσωπικές διαφορές υφίστανται στη δυνατότητα να οξειδωθεί το λίπος, κατά τη διάρκεια της άσκησης. Αν και το φύλο, το κατ' εκτίμηση επίπεδο σωματικής δραστηριότητας, και ο μέγιστος όγκος οξυγόνου ήταν καλός προάγγελος της οξειδωσης του λίπους , ένα μεγάλο ποσοστό της παραλλαγής παρέμεινε ανεξήγητο.

Τελικά, η οξειδωση του λίπους φαίνεται να οξύνει στις μέτριες εντάσεις άσκησης (45 % με 65 % του μέγιστου όγκου οξυγόνου) και η ένταση στην οποία αυτό εμφανίζεται μπορεί να εξαρτηθεί από το φύλο, τη προπονητική κατάσταση, το μέγιστο όγκο οξυγόνου, και τη διατροφή. Σε υψηλότερες εντάσεις, εντούτοις, η οξειδωση του λίπους θα είναι ρυθμισμένη προς τα κάτω.³³

ΛΙΠΟΛΥΣΗ ΤΟΥ ΛΙΠΩΔΕΣ ΙΣΤΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΟΝ ΜΥ.

Η αύξηση στην οξειδωση του λίπους από την ανάπαυση, στην άσκηση μέτριων εντάσεων, είναι κυρίως το αποτέλεσμα της αυξανόμενης διαθεσιμότητας λιπαρών οξέων. Το ποσοστό εμφάνισης των λιπαρών οξέων αυξάνεται σαν αποτέλεσμα της αυξανόμενης λιπόλυσης και ενός μειωμένου ποσοστού επανεστεροποίησης των λιπαρών οξέων. Έχει αναφερθεί ότι το ποσοστό επανεστεροποίησης μειώνεται από περίπου 70% σε ανάπαυση, σε περίπου 25% κατά τη διάρκεια 30 λεπτών από χαμηλής- σε μέτριας έντασης- άσκηση. Αυτή η μείωση σε συνδυασμό με μια τριπλάσια αύξηση στην απελευθέρωση λιπαρών οξέων από την υδρόλυση τριγλυκεριδίων, οδήγησε σε μια εξαπλή (x 6) αύξηση στη διαθεσιμότητα των λιπαρών οξέων για οξειδωση. Εκτός από την αυξανόμενη διαθεσιμότητα των λιπαρών οξέων, η μεταφορά τους μακριά από το λιπαρό ιστό και προς τον ασκούμενο μυ αυξήθηκε.

Τα αποτελέσματα αυτά βασίστηκαν στις μετρήσεις του ποσοστού εμφάνισης της γλυκερίνης ως μέτρο της συνολικής σωματικής λιπόλυσης. Αυτή η μέθοδος είναι βασισμένη σε διάφορες υποθέσεις, συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος ότι όλες οι διαδικασίες λιπόλυσης θα πρέπει να είναι πλήρεις (έτσι μόνο πλήρης υδρόλυση τριγλυκεριδίων και κανένας σχηματισμός διακυλο -γλυκερολών και μονο-άκυλο γλυκερολών) και ότι οι κύριοι λιπολυτικοί ιστοί (μυς και λιπαρός ιστός) στερούνται την ικανότητα επαναχρησιμοποίησης της γλυκερίνης. Οι πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι είναι πιθανό, ότι και οι δύο αυτές οι υποθέσεις, να παραβιάζονται ως ένα ορισμένο βαθμό, οδηγώντας σε μια υποτίμηση του ποσοστού της λιπόλυσης.

Εντούτοις, όταν αυξήθηκε η ένταση της άσκησης σε υψηλές εντάσεις, δεν υπήρξε καμία συνακόλουθη αύξηση στο ποσοστό εμφάνισης της γλυκερίνης. Προτείνεται επίσης ότι ο ρυθμός λιπόλυσης, κατά τη διάρκεια της άσκησης στο 85% του μέγιστου όγκου οξυγόνου είναι ίσος με τον ρυθμό στο 65% του μέγιστου όγκου οξυγόνου. Φαίνεται ότι μέρος των λιπαρών οξέων παγιδεύεται στο λιπώδη ιστό, ως αποτέλεσμα μιας μειωμένης ροής αίματος στον λιπώδη ιστό.

Αποτελεί κοινή παρατήρηση ότι οι συγκεντρώσεις των λιπαρών οξέων του πλάσματος δεν αλλάζουν ή ακόμα και δεν μειώνουν όταν αυξάνεται η ένταση άσκησης από μέτρια σε υψηλή, και έχει προταθεί ότι μειωμένη διαθεσιμότητα λιπαρών οξέων(το προϊόν της συγκέντρωσης των λιπαρών οξέων του αίματος και η ροή του αίματος στον μυ) θα μπορούσε να είναι ο λόγος για τους χαμηλότερους ρυθμούς οξειδωσης λιπαρών οξέων σε υψηλές εντάσεις. Για να ερευνηθεί εάν η μειωμένη συγκέντρωση των λιπαρών οξέων θα μπορούσε να είναι υπεύθυνη για τη μείωση στην οξειδωση του λίπους, ενδολιπιδικά, εμποτίστηκε ηπαρίνη στους συμμετέχοντες που ποδηλατούσαν στο 85% του VO_2 max για να καθιερωθούν οι συγκεντρώσεις λιπαρών οξέων του πλάσματος, που φυσιολογικά παρατηρήθηκαν στο 65% του VO_2 max. Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα λιπαρών οξέων οδήγησε σε μια αύξηση κατά 27% στην οξειδωση του λίπους, σε σύγκριση με την δοκιμή ελέγχου (αλατούχος έγχυση), δείχνοντας ότι μια μειωμένη διαθεσιμότητα λιπαρών οξέων, προκαλεί μείωση στην οξειδωση του λίπους. Εντούτοις, η μείωση στην οξειδωση του λίπους, που παρατηρείται όταν αυξάνεται η ένταση από 65% σε 85% του VO_2 max ήταν σχεδόν 50%. Προκύπτει δηλαδή ότι η οξειδωση του λίπους στο 85% του VO_2 max, μόνο εν μέρει περιορίζεται από τη διαθεσιμότητα των λιπαρών οξέων του πλάσματος και ότι οι πρόσθετοι μηχανισμοί είναι αρμόδιοι για τη μείωση στην οξειδωση του λίπους . ³³

ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΛΙΠΟΥΣ.

Η επίδραση της προπόνησης αντίστασης στη χρήση υποστρωμάτων δεν έχει μελετηθεί εκτενώς. Εκτιμώντας ότι οι μελέτες που ερευνούν την επίδραση της προπόνησης αντοχής στα μετρημένα ποσοστά της οξειδωσης του λίπους, κατά τη διάρκεια της περιόδου της άσκησης, μελέτες προπόνησης αντίστασης εστίασαν κυρίως στα ποσοστά οξειδωσης στις ώρες αμέσως μετά από την άσκηση ή πάνω από 24 ώρες. Πολυάριθμες μελέτες έχουν ερευνήσει την επίδραση μιας περιόδου άσκησης δύναμης στο ποσοστό οξειδωσης του λίπους μετά από την άσκηση. Οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες εξέθεσαν μια σημαντική μείωση στον αναπνευστικό ρυθμό ανταλλαγής συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής, 15 έως 40 ώρες μετά από την περίοδο άσκησης.

Τα αποτελέσματα ,σχετικά με την επίδραση των κανονικών συνόδων άσκησης αντίστασης είναι λιγότερο συνεπή. Πρόσφατα μελετήθηκαν 16 νέες, αδύνατες, μη αθλούμενες γυναίκες πριν και μετά από ένα προπονητικό πρόγραμμα αντίστασης 6 μηνών . Οι μετρήσεις της λήψης O₂ και της παραγωγής CO₂ μετρήθηκαν για 60 λεπτά αρκετές ημέρες μετά από την τελευταία σύνοδο άσκησης. Τα στοιχεία έδειξαν ότι αναπνευστικό ρυθμό ανταλλαγής συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής ήταν 0,85 πριν και μετά από το προπονητικό πρόγραμμα. Παρόμοια ευρήματα αναφέρθηκαν σε μια ομάδα νεαρών ανδρών μετά από 3 μήνες προπόνησης δύναμης. Δεν ήταν όμως δυνατό να ανιχνευθεί διαφορά στο συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής μετά από 16 εβδομάδες προπόνησης αντίστασης σε 13 ηλικιωμένα άτομα. Εντούτοις, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής στην προπόνησης αντίστασης από 0,86 έως 0,83 σε μια ομάδα ηλικιών ανδρών και γυναικών 61 έως 77 ετών. Το συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής μετρήθηκε το πρωί μετά από νηστεία 12-ώρων, και 96 ώρες μετά από την τελευταία περίοδο άσκησης. επίσης βρέθηκαν ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις σε μια ομάδα γυναικών μετά από 16 εβδομάδες προπόνησης αντίστασης, από 0,87 έως 0,81. Καμία μελέτη δεν έχει καθορίσει ποιοι μηχανισμοί είναι πίσω από τις αναφερόμενες αλλαγές στο μεταβολισμό του λίπους , αν και είναι πιθανό ότι αυτό τουλάχιστον εν μέρει προκαλείται από μια μειωμένη περιεκτικότητα σε γλυκογόνο των μυών. ³³

Τρόπος άσκησης και οξείδωση του λίπους

Η οξείδωση υποστρωμάτων μπορεί να είναι διαφορετική κατά τη διάρκεια των διαφορετικών τρόπων άσκησης. Οι συγκρίσεις μεταξύ του αγώνα δρόμου και της ποδηλασίας έχουν παρουσιάσει γενικά υψηλότερα ποσοστά οξείδωσης του λίπους, κατά τη διάρκεια του τρεξίματος. Εντούτοις, η σύγκριση του αγώνα δρόμου με την ποδηλασία μπορεί να είναι προβληματική, και έχει υπάρξει συζήτηση για καλύτερο τρόπο να συγκριθούν αυτές οι διαφορετικές μορφές άσκησης. Ο $\text{VO}_2 \text{ max}$ είναι υψηλότερος κατά τη διάρκεια του αγώνα δρόμου, απ' ό,τι κατά τη διάρκεια της ποδηλασίας επομένως, η άθληση στην ίδια σχετική ένταση άσκησης, οδηγεί σε μεγαλύτερες συνολικές ενεργειακές δαπάνες κατά τη διάρκεια του τρεξίματος.

Τα στοιχεία του συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής παρέχουν μια ένδειξη του ποσοστού του λίπους και των χρησιμοποιούμενων υδατανθράκων, αλλά δεν παρέχουν μια καλή αντανάκλαση της απόλυτης ποσότητας του λίπους που οξειδώνεται (επειδή αυτό εξαρτάται επίσης από τις ενεργειακές δαπάνες). Ο μεταβολισμός υποστρωμάτων έχει συγκριθεί στον αγώνα δρόμου και την ποδηλασία στον ίδιο VO_2 , σχετική ένταση, ένταση σχετική με το κατώτατο όριο, και σε ένα ευρύ φάσμα εντάσεων. Όταν μελετήθηκαν 10 τριαθλητές κατά τη διάρκεια 2,5 ωρών αγώνα δρόμου και ποδηλασίας κατά 75% του αντίστοιχου $\text{VO}_2 \text{ max}$, οι τιμές του συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής ήταν μόνο περιθωριακά διαφορετικές μεταξύ των δύο μορφών άσκησης (0,85 έναντι 0,87 για τον αγώνα δρόμου και την ποδηλασία, αντίστοιχα) εντούτοις, τα απόλυτα ποσοστά οξείδωσης του λίπους ήταν περίπου 18% υψηλότερα κατά τη διάρκεια του αγώνα δρόμου απ' ό,τι κατά τη διάρκεια της ποδηλασίας. Στο εργαστήριο, μια προσπάθεια έγινε να υπερνικηθούν αυτά τα προβλήματα με τη μέτρηση των ποσοστών οξείδωσης του λίπους, κατά τη διάρκεια περπατήματος και ποδηλασίας πέρα από ένα ευρύ φάσμα των απόλυτων και σχετικών εντάσεων άσκησης. Σε μια ομάδα 12 τριαθλητών μέτρια προπονημένων, τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους ήταν μεταξύ 10% και 40% υψηλότερα στις λήψεις οξυγόνου μεταξύ 2,75 και 3,75 λίτρα ανά λεπτό. Μεταξύ 50% και 70% του $\text{VO}_2 \text{ max}$, τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους, ήταν σημαντικά υψηλότερα κατά τη διάρκεια της δοκιμής περπατήματος απ' ό,τι κατά τη διάρκεια της δοκιμής ποδηλασίας, με τα μέγιστα ποσοστά οξείδωσης του λίπους να είναι 0,65 και 0,47 γραμμάρια ανά λεπτό, αντίστοιχα. Αυτό είναι σύμφωνο με τα στοιχεία που δείχνουν ότι, πέρα από ένα ευρύ φάσμα εντάσεων, τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους ήταν σημαντικά υψηλότερα κατά

τη διάρκεια της έντονης δοκιμής απ' ότι κατά τη διάρκεια των εργομετρικών δοκιμών ποδηλασίας. Έχει υποστηριχτεί ότι η ένταση της άσκησης πρέπει να ομαλοποιηθεί σχετικά με το κατώτατο όριο του ατόμου, για κάθε τρόπο άσκησης. Καμία διαφορά δεν ανιχνεύθηκε στο συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής ή τα απόλυτα ποσοστά οξείδωσης του λίπους μεταξύ του αγώνα δρόμου και της ποδηλασίας όταν καταναλώθηκαν υδατάνθρακες κατά τη διάρκεια της άσκησης. Εντούτοις, μετά από 60 λεπτά της άνευ τροφής άσκησης στο κατώτατο όριο, τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους ήταν σημαντικά υψηλότερα στην δοκιμή του αγώνα δρόμου απ' ότι στη δοκιμή ποδηλασίας.

Το γεγονός αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα μελέτης, που έδειξε ότι τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους 0,28 γραμμάρια ανά λεπτό στο κατώτατο όριο κατά τη διάρκεια της ποδηλασίας έναντι 0,54 γραμμαρίων ανά λεπτό κατά τη διάρκεια του περπατήματος. Κατά συνέπεια, φαίνεται ότι τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους ήταν υψηλότερα κατά τη διάρκεια της άσκησης αγώνα δρόμου ή περπατήματος απ' ότι κατά τη διάρκεια της άσκησης ποδηλασίας, ανεξάρτητα από τον τρόπο που η ένταση της άσκησης αντιστοιχήθηκε μεταξύ των μορφών άσκησης.

Παραμένει να καθοριστεί εάν τα πρόσθετα οξειδωμένα λιπαρά οξέα, προέρχονται από το λιπώδη ιστό, τα κυκλοφορούντα τριγλυκερίδια, ή τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια. Οι μηχανισμοί που είναι αρμόδιοι για αυτές τις διαφορές είναι επίσης άγνωστοι. Έχει προταθεί ότι μια χαμηλότερη απάντηση της κατεχολαμίνης, ως αποτέλεσμα της στρατολόγησης μιας μικρότερης μάζας μυών κατά τη διάρκεια της ποδηλασίας μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ενεργοποίηση της λιπόλυσης.

85

Παράλληλα, ο αριθμός των μυϊκών ινών που στρατολογούνται κατά τη διάρκεια της ποδηλασίας είναι μικρότερος, και με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η τοποθέτηση της μεταβολικής πίεσης στις ατομικές ίνες, το οποίο μπορεί ενδεχομένως μόνο να καλυφτεί από την αυξανόμενη οξείδωση υδατανθράκων.³³

ΜΕΓΑΛΗ ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΤΟΥ ΛΙΠΟΥΣ ΑΚΟΜΑ ΠΑΡΑΜΕΝΕΙ ΑΝΕΞΗΓΗΤΗ

Αν και διάφοροι σημαντικοί παράγοντες που ρυθμίζουν την οξείδωση του λίπους είναι αναγνωρισμένοι, είναι προφανές από πολλές μελέτες ότι ένας ιδιαίτερος βαθμός μεταβλητότητας στη χρησιμοποίηση υποστρωμάτων εμμένει. Αυτό είναι ιδιαίτερα προφανές σε μια μελέτη κατά την οποία η οξείδωση του λίπους μετρήθηκε σε μια μεγάλη ομάδα υγιών ατόμων. Τα μέγιστα ποσοστά οξείδωσης του λίπους κυμάνθηκαν από 0,18 ως 1,01 γραμμάρια /λεπτό. Αυτή η παραλλαγή υπάρχει ακόμα (αν και σε έναν μικρότερο βαθμό) όταν ελεγχθούν όλοι οι παράγοντες όπως η κατάσταση και η διατροφή προπόνησης. Για παράδειγμα, έχει βρεθεί ότι οι συντελεστές αναπνευστικής ανταλλαγής κυμαίνονται μεταξύ 0,83 και 0,95 σε μια ομάδα μη προπονημένων ατόμων που ασκούν κατά 55% του VO₂ max.

Όταν μελετήθηκαν 61 προπονημένοι ποδηλάτες και μετρήθηκε ο συντελεστής αναπνευστικής ανταλλαγής σε ανάπαυση και κατά τη διάρκεια της άσκησης σε τρεις διαφορετικές εντάσεις (25%, 50%, και 70% της μέγιστης παραγωγής δύναμης), και διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής αναπνευστικής ανταλλαγής στην ανάπαυση κυμάνθηκε μεταξύ 0,72 και 0,93 και ότι αυτός ο βαθμός μεταβλητότητας παρέμεινε σε όλες τις εντάσεις άσκησης. Κατά την εξέταση μιας αρκετά ομοιογενούς ομάδας που περιλαμβάνει μέτρια έως υψηλά προπονημένα αρσενικά, παρατηρούνται μέγιστα ποσοστά οξείδωσης του λίπους 0,23 γραμμάρια ανά λεπτό σε κάποιους συμμετέχοντες, ενώ άλλα άτομα ήταν σε θέση να οξειδώσουν τα λιπαρά οξέα 4 φορές εκείνο το ποσοστό (0,91 γραμμάρια ανά λεπτό). Οι μετρήσεις της οξείδωσης του λίπους, φαίνονται αρκετά αναπαραγώγιμες σε ένα άτομο, αλλά ένας μεγάλος βαθμός διατομικής παραλλαγής υπάρχει. Επίσης υπάρχουν στοιχεία ότι η άνευ λίπους μάζα σώματος, το κατ' εκτίμηση επίπεδο σωματικής δραστηριότητας, ο VO₂ max, το φύλο, και η μάζα του λίπους θα μπορούσαν μόνο μαζί να αποτελέσουν 34% της διαφοράς στα μέγιστα ποσοστά οξείδωσης του λίπους. Αυτό σημαίνει ότι 66% της διαφοράς δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί. Οι διαιτητικοί παράγοντες είναι πιθανό να εξηγήσουν μερικές από τις παραμένουσες διαφορές, αλλά παραμένει ακόμα ένα μεγάλο μέρος της διαφοράς, ανεξήγητο και αυτό είναι πιθανό να καθοριστεί γενετικά.³³

Ακόμη έχουν ερευνηθεί οι συνεισφορές των διαφορετικών πηγών του λίπους , στην οξείδωση των λιπών, κατά τη διάρκεια της άσκησης σε διαφορετικές εντάσεις. Από αυτές τις μελέτες γίνεται σαφές ότι στις πολύ χαμηλές εντάσεις (25% του μέγιστος όγκος οξυγόνου), το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας παράγεται από την οξείδωση των λιπαρών οξέων του πλάσματος και μόνο μια μικρή μερίδα προέρχεται από άλλες πηγές λίπους (τριγλυκερίδια και ενδομυϊκά τριγλυκερίδια πλάσματος) και υδατανθράκων. Κατά τη διάρκεια άσκησης μέτριας έντασης, περίπου η μισή από τη συνολική ενέργεια, προέρχεται από την οξείδωση του λίπους και η άλλη μισή από την οξείδωση των υδατανθράκων. Σε αυτές τις εντάσεις, η συμβολή των μη-πλάσματος –παραγόμενων λιπαρών οξέων και των λιπαρών οξέων του πλάσματος στη συνολική οξείδωση του λίπους είναι ίση. Παράλληλα αναφέρεται ότι στο 57% του μέγιστος όγκος οξυγόνου, 52% των Λιπαρών Οξέων που οξειδώθηκαν προήλθαν από το λιπώδη ιστό. Η συμβολή των μη-πλάσματος –προερχόμενων λιπαρών οξέων , μειώθηκε όταν αυξήθηκε περαιτέρω η ένταση. Στο 72% και 85% του μέγιστος όγκος οξυγόνου αποδείχθηκε ότι μόνο το ένα τρίτο των λιπαρών οξέων που οξειδώθηκαν , ήταν από μη-εκ του πλάσματος πηγές . Επειδή η συνολική οξείδωση του λίπους μειώθηκε εμφανώς σε αυτές τις εντάσεις, η γενική συμβολή των μη –εκ πλάσματος παραγόμενων λιπαρών οξέων στις συνολικές ενεργειακές δαπάνες οξείδωσης ήταν μόνο 10%.

Έχει αποδειχθεί ότι τα ένζυμα λειτουργούν σε καλύτερο βαθμό σε ουδέτερο pH Το χαμηλό pH (μειωμένη ενεργοποίηση της τριακυλο γλυκερολικής λιπάσης), που συνδέθηκε με τη μεγάλη ένταση άσκησης, θα μπορούσε ενδεχομένως να μειώσει τη λιπόλυση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, στερώντας το κύτταρο από αυτό το καύσιμο και προκαλώντας μείωση στην οξείδωση του λίπους . Εντούτοις, σε μια πρόσφατη μελέτη αυτή η θεωρία δεν επιβεβαιώθηκε . Καμία διαφορά στη δραστηριότητα της τριγλυκεριδικής λιπάσης , δεν ανιχνεύθηκε σε δείγματα βιοψιών των μυών μετά από 10 λεπτά άσκησης στο 31%, 59%, και 90% του μέγιστος όγκος οξυγόνου. Προτάθηκε από τους ερευνητές ότι η ενεργοποίηση της τριγλυκεριδικής λιπάσης δεν είναι πιθανό να είναι ρυθμιστικός παράγοντας στην υδρόλυση των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων. Παραμένει να καθοριστεί ποιοι παράγοντες ελέγχουν το ποσοστό στο οποίο τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια υδρολύονται σε διαφορετικές εντάσεις άσκησης. ³³

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Διατροφικές μέθοδοι για ενίσχυση της οξειδωσης του λίπους κατά την αερόβια άσκηση:

Οι επεμβάσεις που στόχευσαν στην αύξηση του μεταβολισμού του λίπους, θα μπορούσαν ενδεχομένως να μειώσουν τα συμπτώματα των μεταβολικών ασθενειών, όπως η παχυσαρκία και ο σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2 και μπορούν να έχουν τεράστια κλινική σχετικότητα. Ως εκ τούτου, η κατανόηση των παραγόντων που αυξάνουν ή μειώνουν την οξειδωση των λιπών είναι σημαντική. Η ένταση και η διάρκεια της άσκησης είναι σημαντικοί καθοριστικοί παράγοντες της οξειδωσης των λιπών. Τα ποσοστά-ρυθμοί της οξειδωσης των λιπών αυξάνονται, από χαμηλές σε μέτριες εντάσεις και μειώνονται όταν η ένταση γίνεται υψηλή. Τα μέγιστα ποσοστά οξειδωσης των λιπών, έχει αποδειχθεί ότι επιτυγχάνονται σε εντάσεις μεταξύ 59% και 64% της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου στα προπονημένα άτομα και μεταξύ 47% και 52% της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου σε ένα μεγάλο δείγμα του γενικού πληθυσμού. Ο τρόπος άσκησης μπορεί επίσης να έχει επιπτώσεις στην οξειδωση του λίπους, με οξειδωση του λίπους να είναι υψηλότερη κατά τη διάρκεια του τρεξίματος από ότι στην ποδηλασία. Η προπόνηση αντοχής προκαλεί ένα πλήθος προσαρμογών που οδηγούν στην αυξημένη οξειδωση του λίπους. Η διάρκεια και η ένταση της προπονητικής άσκησης, που απαιτούνται για να προκαλέσουν αλλαγές στην οξειδωση του λίπους, είναι αυτήν την περίοδο άγνωστες. Η κατανάλωση υδατανθράκων στις ώρες πριν από ή στην έναρξη της άσκησης μειώνει το ποσοστό οξειδωσης σημαντικά έναντι των συνθηκών νηστείας από τροφή, ενώ η αποχή από το φαγητό περισσότερο από 6 ώρες βελτιστοποιεί την οξειδωση του λίπους. Τα ποσοστά οξειδωσης του λίπους έχει αποδειχθεί ότι μειώνονται μετά από την κατανάλωση διατροφών πλούσιων σε λίπη, εν μέρει ως αποτέλεσμα των μειωμένων αποθεμάτων γλυκογόνου και εν μέρει λόγω των προσαρμογών στο επίπεδο μυών.³³

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.1.

Πρόσληψη καφεΐνης πριν την άσκηση

Η καφεΐνη αποτελεί ένα από τα περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενα φάρμακα στον κόσμο και συχνά θεωρείται ως ένα εργογόνο υποκατάστατο, το οποίο αυξάνει την απόδοση της άσκησης και προωθεί την οξειδωση του λίπους. Στον αθλητικό κόσμο, η καφεΐνη είναι ένα «ελεγχόμενο ή υπό περιορισμό φάρμακο» και απαγορεύεται από την διεθνή ολυμπιακή επιτροπή σε περίπτωση που τα επίπεδα της σε εξέταση ουρών υπερβαίνουν τα 12 µg/ ml και εφόσον ακολουθεί αγώνισμα. Αυτό το επιτρεπόμενο όριο της καφεΐνης στα ουρά είναι αρκετά υψηλό, και η καφεΐνη να καταναλώνεται σε ταμπλέτα ή σε άλλη μορφή, για να προσεγγιστεί αυτό το επίπεδο (Sprite 1995). Οι αθλητές αγώνων συνήθως χρησιμοποιούν καφεΐνη για την ικανότητα της να ενισχύει την απόδοση. Για τα περισσότερα δραστήρια άτομα και τους αθλητές, η κατανάλωση της καφεΐνης αποτελεί κάτι παραπάνω από μια καθημερινή συνήθεια σε μορφή καφέ, τσαγιού, αναψυκτικού τύπου κόλας, ή σοκολάτας. Η ιδέα ότι η καφεΐνη είναι πιθανό να βελτιώσει την απόδοση της άσκησης, την καθιστά «πρόσθετο όφελος». Για άτομα που ενδιαφέρονται για απώλεια βάρους, οι φαρμακευτικές εταιρείες συχνά προσθέτουν καφεΐνη σε προϊόντα απώλειας βάρους, ώστε να επιταχύνουν τον μεταβολισμό και να αυξήσουν τον ρυθμό των καύσεων. Δυστυχώς, πολλά τέτοια προϊόντα, συνδυάζουν την καφεΐνη με άλλες διεγερτικές ουσίες, του κεντρικού νευρικού συστήματος όπως η εφεδρίνη- προϊόντα που ενδέχεται να παρουσιάσουν σοβαρές παρενέργειες και θα ήταν σωστό να αποφευχθούν.

Υπάρχουν τρεις κυρίες υποθέσεις για τα εργογενετικά αποτελέσματα της καφεΐνης κατά την διάρκεια της άσκησης, που παρατίθενται παρακάτω (Graham και Spriet 1996 ‘Spriet 1995). Πολλές μελέτες έχουν εξετάσει κάθε μια από τις υποθέσεις, λεπτομερώς (Clarkson 1993 ‘Dodd και συνεργάτες 1993’ Graham και συνεργάτες 1994’ Graham και Spriet 1996’ Spriet 1995)

Συνοψίζοντας :

1. Η καφεΐνη ενδέχεται να επηρεάσει απευθείας το κεντρικό νευρικό σύστημα και να μεταβάλλει την αντίληψη κάποιου σε ότι αφορά την προσπάθεια, ή πιθανόν να επηρεάσει την νευρική δραστηριοποίηση του μυός.
2. Η καφεΐνη θα μπορούσε να επηρεάσει κατευθείαν το σκελετικό μυ, διαφοροποιώντας ένζυμα «κλειδιά» ή συστήματα που ρυθμίζουν την διακοπή παροχής υδατανθράκων μέσα στα κύτταρα.

3. Η καφεΐνη ενδέχεται να διαφοροποιήσει μεταβολικούς παράγοντες που αυξάνουν την οξείδωση του λίπους και μειώνουν την χρησιμοποίηση των υδατανθράκων. Σε αυτήν την υπόθεση, προτείνεται ότι η καφεΐνη αυξάνει άμεσα της συγκεντρώσεις της επινεφρίνης στην κυκλοφορία, γεγονός που θα αυξήσει με τη σειρά του την κινητοποίηση των ελευθέρων λιπαρών οξέων από τα κύτταρα του λιπώδους ιστού ή των μυών. Η αυξημένη διαθεσιμότητα των ελευθέρων λιπαρών οξέων αυξάνει την οξείδωση του λίπους από τα μυϊκά κύτταρα και βελτιώνει την απόδοση της άσκησης.

Φαίνεται ότι μέτριες δόσεις καφεΐνης (3 -9 μιλιγραμμάρια ανά χιλιόγραμμο σωματικού βάρους), τουλάχιστον 1 ώρα πριν από την άσκηση, μπορούν να ενισχύουν την απόδοση σε καλά προπονημένους- υψηλού επιπέδου κλάσης- αθλητών σε άσκηση αντοχής, υπό ελεγχόμενες συνθήκες άσκησης.

Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι, οι περισσότερες μελέτες χρησιμοποιούν φτωχά σε καφεΐνη, ντεκαφεϊνούχα ροφήματα όπως καφές, τσάι και αναψυκτικά τύπου κόλα. Οι μεταβολικές επιδράσεις του καφέ, ενδέχεται να διαφέρουν από αυτές των χαμηλών σε καφεΐνη ροφημάτων, από τη στιγμή που υπάρχουν συστατικά στον καφέ που εμφανίζονται να μετριάζουν τις επιδράσεις της καφεΐνης (Graham και συνεργάτες, 1980). Ο αθλητής που θα καταναλώσει ένα φλιτζάνι καφέ και έπειτα θα προχωρήσει σε αγώνα δρόμου 10 χιλιομέτρων, πιθανό να μην δει τα αποτελέσματα στην απόδοση, όπως παρουσιάστηκαν σε εργαστηριακές μελέτες.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επιδρούν τόσο στην απόδοση της άσκησης, όσο και στην φυσιολογική απάντηση στην καφεΐνη κατά την διάρκεια της άσκησης – συμπεριλαμβανομένου και της τυπικής ή συνήθους πρόσληψης καφεΐνης του ατόμου. Οι μεταβολικές και οι αντιδράσεις απόδοσης ενός συνηθισμένου -στην κατανάλωση καφεΐνης- ατόμου, μπορεί να διαφέρουν αρκετά από εκείνες ενός μη καταναλωτή (Graham και Spriet 1996’).

Κανένας φυσιολογικός μηχανισμός για βελτιωμένη απόδοση αντοχής με την χρήση καφεΐνης, δεν αναγνωρίζεται. Η καφεΐνη εμφανίζεται να επιδρά στην αρχή της άσκησης (στα πρώτα 20 λεπτά), αυξάνοντας την συγκέντρωση των ελευθέρων λιπαρών οξέων του πλάσματος και την χρήση των τριγλυκεριδίων από τους μύες, εξοικονομώντας το γλυκογόνο των μυών και μειώνοντας τον ρυθμό της αναπνευστικής ανταλλαγής. Ωστόσο, δεν είναι σαφές ποτέ η αυξημένη οξείδωση του λίπους εξοικονομεί το γλυκογόνο του μυός ή αν υπάρχουν άλλες μεταβολικές αλλαγές που συνεισφέρουν σε αυτήν την παρατήρηση. Η καφεΐνη έμμεσα επηρεάζει τον λιπώδη

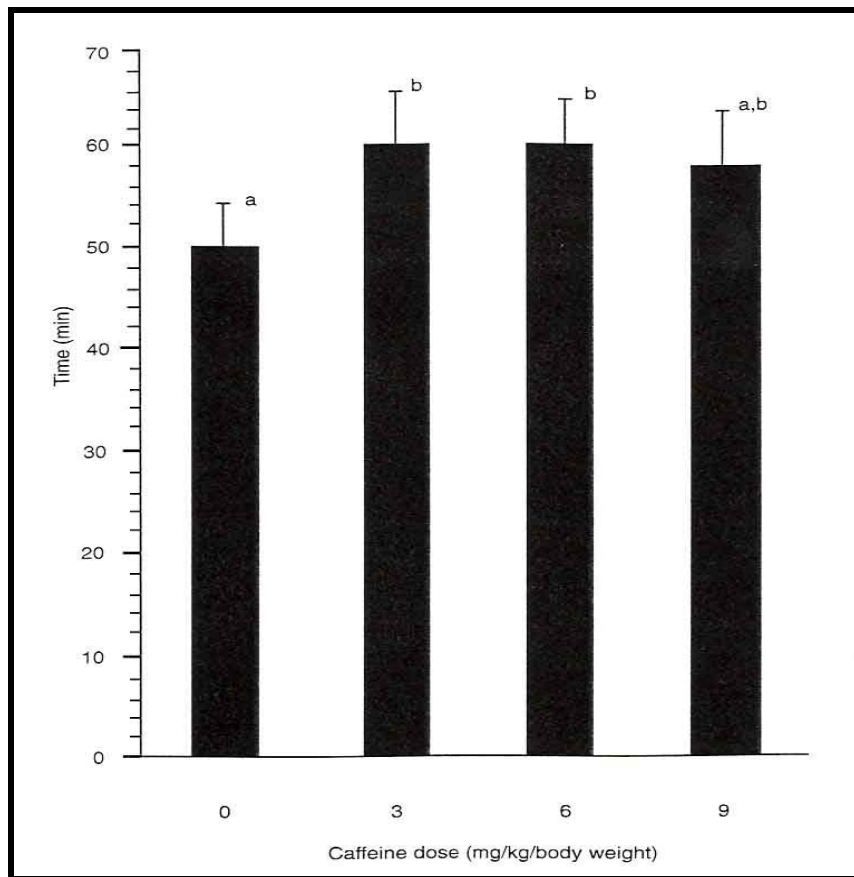
και τον μυϊκό ιστό με την αύξηση των κατεχολαμινών του πλάσματος, οι οποίες σε δέσμευση με τους β- υποδοχείς των κυτταρικών μεμβρανών, αυξάνουν την δραστηριότητα της κυκλικής μονοφωσφορικής αδενοσίνης και της λιπόλυσης (Hawley και συνεργάτες 1998). Η διέγερση της λιπόλυσης είναι ήδη υψηλή κατά την διάρκεια της άσκησης, ωστόσο, και κάθε μεταβολή των ελευθέρων λιπαρών οξέων αποκλειθήσα από την καφεΐνη, βρίσκεται πάνω από τις υψηλές συγκεντρώσεις των ελευθέρων λιπαρών οξέων του πλάσματος. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγήσει γιατί οι επιδράσεις της καφεΐνης στον μεταβολισμό του λίπους παρατηρούνται μονό στην αρχή της άσκησης, όταν η λιπόλυση και η οξειδωση του λίπους είναι αυξανόμενες, και όχι μετά από 30 λεπτά, όταν η οξειδωση του λίπους είναι υψηλή (Hawley και συνεργάτες 1998).

Ωστόσο η επίδραση της καφεΐνης στην ενίσχυση της άσκησης είναι πιθανό να σχετίζεται με την επιρροή της στο κεντρικό νευρικό σύστημα, παρά σε σημαντικές επιδράσεις στην οξειδωση του λίπους και στην εξοικονόμηση γλυκογόνου (Bell και συνεργάτες 1998' Spriet και συνεργάτες 1996). Αυτή η πρόταση υποστηρίζεται από δεδομένα των Graham και Spriet (1995), που βρήκαν ότι μια χαμηλή δόση καφεΐνης (3 μικρογραμμάρια ανά χιλιόγραμμο σωματικού βάρους) ήταν αρκετή για να ενισχύσει την απόδοση της άσκησης, αλλά όχι αρκετή για να ενισχύσει τις μεταβολικές επιδράσεις που οδηγούν σε οξειδωση του λίπους. Σε αυτό το επίπεδο της καφεΐνης, δεν παρατηρήθηκε κάμια αύξηση στις κατεχολαμίνες του πλάσματος, στη λιπόλυση, ή στα ελευθέρω λιπαρά οξέα του πλάσματος, τα όποια θα έπρεπε να λαμβάνουν χώρα εάν υπήρχε ενίσχυση της οξειδωσης του λίπους.

Συνοψίζοντας αναφέρεται ότι, η καφεΐνη εμφανίζεται να ενισχύει την απόδοση της άσκησης- και φαίνεται να αυξάνει την οξειδωση του λίπους κατά την ανάπαυση- αλλά δεν αυξάνει την οξειδωση του λίπους έπειτα από τα λίγα πρώτα λεπτά της άσκησης. Συμφωνά με πολυάριθμες πρόσφατες μελέτες πάνω στην καφεΐνη και την άσκηση, η χρήση της καφεΐνης ως ενισχυτικό οξειδωσης του λίπους, δεν τεκμηριώνεται από την πρόσφατη βιβλιογραφία. Η άσκηση αποτελεί πολύ σπουδαιότερο διεγερτικό της οξειδωσης του λίπους από το συμπλήρωμα της καφεΐνης. Ωστόσο η σκέψη της βελτίωσης της οξειδωσης του λίπους οδηγεί πολλούς καταναλωτές στην αύξηση της πρόσληψης καφεΐνης. Αξίζει να σημειωθεί ότι υψηλές δόσεις καφεΐνης, εμφανίζουν σημαντικές παρενέργειες, ιδιαίτερα σε άτομα που είναι συνήθεις καταναλωτές αυτής: αυξάνει την πίεση του αίματος κατά την ανάπαυση και την άσκηση (Daniels και συνεργάτες 1998' Kaminsky και συνεργάτες 1998), και υψηλές δόσεις της ενδέχεται να

προκαλέσουν πονοκέφαλο, ζάλη, αϋπνία, αυξημένο καρδιακό παλμό και γαστρεντερικές ενοχλήσεις.³⁸

Ο Weir και οι συνεργάτες του(1987) διαπίστωσαν ότι η κατανάλωση καφεΐνης δεν οδήγησε σε αυξανόμενη διαθεσιμότητα των ελεύθερων λιπαρών οξέων κατά τη διάρκεια της υπομέγιστης άσκησης, όπως βρέθηκε σε συμμετέχοντες μετά από ολονύκτια νηστεία, όταν οι συμμετέχοντες ήταν σε έλλειψη υδατανθράκων ή είχαν λάβει ένα γεύμα υδατανθράκων (Costill και οι συνεργάτες του.>, 1978).³⁹



ΕΙΚΟΝΑ 3.1⁴⁰ Επιδράσεις της καφεΐνης στον χρόνο της άσκησης έως την εξάντληση. Εα στοιχεία αποτελούν μέσα για την διάρκεια της άσκησης μετά από την χορήγηση ψευτοφαρμάκου (0 μιλιγραμμάρια ανά χιλιόγραμμο) ή 3,6 ή 9 mg/ kg καφεΐνης. τα στοιχεία από τις στήλες του ιστογράμματος με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους . Οι δοκιμές των 0 και 3 μιλιγραμμάρια ανά χιλιόγραμμο ήταν σημαντικά διαφορετικές, παρόλο που δεν υπήρχαν διαφορές στην επινεφρίνη του πλάσματος. και οι 0 και 9 μιλιγραμμάρια ανά χιλιόγραμμο δεν διέφεραν σημαντικά, παρόλο που αυτές οι δοκιμές είχαν διαφορετικά στοιχεία επινεφρίνης πλάσματος.

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.2.

Αύξηση της πρόσληψης λίπους πριν την άσκηση: επιδράσεις στον μεταβολισμό και την απόδοση των αθλητών

Αυξανόμενη διαθεσιμότητα λίπους πριν από την άσκηση

Μια άλλη πιθανή στρατηγική για να ενισχυθεί η απόδοση της άσκησης αντοχής, είναι να αυξηθεί έντονα η διαθεσιμότητα του λίπους, με σκοπό τη μείωση της χρησιμοποίησης υδατανθράκων κατά τη διάρκεια της άσκησης, με αυτόν τον τρόπο καθυστερώντας την έναρξη της μείωσης υδατανθράκων και της κόπωσης. Η αυξανόμενη λήψη διαιτητικού λίπους κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 24-ωρών, αύξησε τα αποθέματα τριγλυκεριδίων των μυών, αλλά μείωσε τον δοκιμαστικό χρόνο της απόδοσης στην ποδηλασία, συγκρινόμενη με μια διατροφή υψηλή σε υδατάνθρακες. Μια περισσότερο μεγάλη περίοδος «προσαρμογής στο λίπος»(5 ημέρες + 1 ημέρα πρόσληψης υδατανθράκων για να ομαλοποιηθεί το γλυκογόνο των μυών) οδήγησε σε οικονομία υδατανθράκων κατά τη διάρκεια περιόδων άσκησης που διαρκούν 2 –4 ώρες, αλλά η απόδοση της άσκησης που ακολούθησε, δεν άλλαξε. Η κατανάλωση υψηλών σε λιπαρά γευμάτων και η ενδολιπιδική έγχυση, και σε συνδυασμό με τον έλεγχο της ηπαρίνης, είναι αποτελεσματικές στην αύξηση των συγκεντρώσεων των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος και έχουν συνδεθεί με τη μειωμένη χρησιμοποίηση του γλυκογόνου των μυών και την οξείδωση των υδατανθράκων. Μια άλλη μελέτη έχει παρατηρήσει την αυξημένη αντοχή με υψηλά ελεύθερα λιπαρά οξέα στο πλάσμα, πριν από την άσκηση, ενώ άλλες δεν έχουν βρει οποιοδήποτε πλεονέκτημα. Κατά συνέπεια, θα φαινόταν ότι ενώ μια τέτοια στρατηγική μπορεί να έχει επίδραση στο μεταβολισμό άσκησης (δηλαδή μειωμένη χρησιμοποίηση υδατανθράκων), δεν υπάρχει καμία ωφέλιμη επίδραση της στην απόδοση της άσκησης. Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα του λίπους πριν από την άσκηση μειώνει τη χρησιμοποίηση υδατανθράκων κατά τη διάρκεια της άσκησης που ακολουθεί, αλλά δεν αλλάζει την απόδοση άσκησης. ⁴¹

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.

Πρόσληψη Τριγλυκεριδίων Μακριάς Αλύσσου και Τριγλυκεριδίων Μέσης Αλύσσου κατά τη διάρκεια της άσκησης

Η κατανάλωση υδατανθράκων πριν από και κατά τη διάρκεια την άσκησης αντοχής καθυστερεί την έναρξη της κόπωσης. Επομένως, στους αθλητές αντοχής συστήνεται διατροφή υψηλή σε υδατάνθρακες (70% της συνολικής ενέργειας) κατά τη διάρκεια της αγωνιστικής περιόδου και της προπόνησης. Εντούτοις, η αύξηση της διαθεσιμότητας των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος, έχει αποδειχθεί ότι επιβραδύνει το ποσοστό μείωσης του γλυκογόνου των μυών και του ήπατος, και συντελεί στην προώθηση της χρησιμοποίησης του λίπους. Το ληφθέν λίπος, υπό μορφή μακριάς αλύσσου τριγλυκεριδίων (C 16-22), είναι κατά ένα μεγάλο μέρος μη διαθέσιμο κατά τη διάρκεια της οξείας άσκησης, αλλά τα μέσης αλύσσου τριγλυκεριδία (C 8-10), απορροφώνται και οξειδώνονται γρήγορα. Έχει αποδειχθεί ότι η κατάποση μέσης αλύσσου τριγλυκεριδίων, σε συνδυασμό με τα αποθέματα υδατανθράκων και τις μυϊκές αποθήκες υδατανθράκων κατά τη διάρκεια 2 ωρών υπομέγιστης ποδηλατικής άσκησης (<70% VO₂ max), βελτιώνει την απόδοση προπόνησης 40 χιλιομέτρων. Αυτά τα στοιχεία προτείνουν ότι με το συνδυασμό υδατανθράκων και μέσης αλύσσου τριγλυκεριδίων, ως ένα συμπλήρωμα πριν την άσκηση και ως ένα θρεπτικό συμπλήρωμα κατά τη διάρκεια της άσκησης, η οξείδωση του λίπους θα ενισχυθεί, και οι ενδογενείς υδατάνθρακες θα διατεθούν για χρήση.

Έχουν εξεταστεί επίσης οι χρόνια μεταβολικές προσαρμογές και τα αποτελέσματα στη χρησιμοποίηση υποστρωμάτων και την απόδοση άσκησης αντοχής, όταν λαμβάνουν οι αθλητές μια διατροφή που είναι υψηλή σε λίπος (> 70% της ενέργειας). Η διαιτητική προσαρμογή στο λίπος, για μια περίοδο τουλάχιστον 2-4 εβδομάδων, έχει οδηγήσει σε μια σχεδόν διπλή αύξηση στην αντίσταση στην κόπωση κατά τη διάρκεια παρατεταμένης, μέτριας έντασης ποδηλασίας (<70% VO₂ max). Επιπλέον, οι προκαταρκτικές μελέτες προτείνουν ότι η απόδοση σε ποδηλασία 20 χιλιομέτρων με χρονική δοκιμή, που ακολουθεί παρατεταμένη υπομέγιστης έντασης άσκηση, ενισχύεται 80 δευτερόλεπτα μετά από την διαιτητική προσαρμογή στο λίπος και 3 ημέρες φόρτωσης υδατανθράκων.

Κατά συνέπεια η σχετική συμβολή του υποστρώματος –καύσιμου, στην παρατεταμένη δραστηριότητα αντοχής μπορεί να τροποποιηθεί με την προπόνηση, την κατανάλωση τροφής πριν από την άσκηση, τη συνήθη διατροφή, ή με τεχνητή αλλαγή του ορμονικού περιβάλλοντος ή τη διαθεσιμότητα των κυκλοφορούντων καυσίμων. Η χρονική σειρά και η δόση αυτών των αποτελεσμάτων στη μεγιστοποίηση της οξειδωτικής συμβολής του λίπους για το μεταβολισμό της άσκησης και την απόδοση της άσκησης, δεν έχει μελετηθεί συστηματικά κατά τη διάρκεια μέτριας - έως υψηλής έντασης άσκηση στους ανθρώπους. ⁴

Διαιτητική Κατανάλωση λίπους: Διαθεσιμότητα τριγλυκεριδίων μακριάς και μεσαίας αλύσσου κατά τη διάρκεια της άσκησης

Μια άλλη μελέτη υποστηρίζει πως επειδή η «επανασυναρμολόγηση» των Τριγλυκεριδίων Μακριάς Αλύσσου (C₁₆₋₂₂) στα χυλομικρά, για την απορρόφηση τους μέσω της λέμφου είναι πάρα πολύ αργή για να επιφέρει οποιοδήποτε πλεονέκτημα στον αθλητή κατά τη διάρκεια της άσκησης, οπότε μια εναλλακτική πηγή λίπους απαιτείται. Χαρακτηριστικά, λιπαιμία αναπτύσσεται μόνο αρκετές ώρες μετά από ένα συμβατικό γεύμα που περιέχει λίπος και, όταν εμφανίζεται, τα τριγλυκερίδια στα χυλομικρά κυρίως αποθηκεύονται, παρά οξειδώνονται. Αντίθετα, τα Τριγλυκερίδια Μεσης Αλύσσου, που προσλήφθηκαν 1 ώρα πριν από την άσκηση μεταβολίζονται τόσο γρήγορα όσο η γλυκόζη. Σε αυτήν την περίπτωση, τα μεσαίας αλύσσου λιπαρά οξέα διαχέονται στα εντερικά κύτταρα και εισέρχονται στον συστηματικό ανεφοδιασμό του αίματος μέσω του συστήματος της ηπατικής πύλης. Μία φορά κατά τον ανεφοδιασμό του συστήματος του αίματος, τα τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου μπορούν να διασκορπιστούν στα μιτοχόνδρια των μυών ανεξάρτητα από τους μηχανισμούς μεταφοράς που θεωρούνται ότι περιορίζουν τα ποσοστά οξείδωσης των τριγλυκεριδίων μακριάς αλύσσου και οξειδώνονται σχετικά γρήγορα.

Ενώ υπάρχουν ουσιαστικά στοιχεία ότι η προπονητική άσκηση συνδέεται με το αυξανόμενο πριν από την άσκηση, ποσοστό εκκαθάρισης των τριγλυκεριδίων και την ενισχυμένη πρόσληψη τριγλυκεριδίων στην περίοδο μετά την άσκηση -πάνω από 3 ημέρες , υπάρχουν λίγα στοιχεία του σημαντικού ρόλου των τριγλυκεριδίων του πλάσματος ως καύσιμα για το σκελετικό μυ κατά τη διάρκεια άσκησης που διαρκεί λιγότερο από 4 ώρες. Αυτό υποστηρίζεται από την αποτυχία να παρουσιαστούν αλλαγές στις συγκεντρώσεις των τριγλυκεριδίων του πλάσματος, ή στη δραστηριότητα της λιποπρωτεϊνικής λιπάσης του πλάσματος, κατά τη διάρκεια μέτριας έως μεγάλης έντασης άσκησης που διαρκεί μέχρι 3 ώρες.

Τα αποτελέσματα της κατανάλωσης τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου στη χρησιμοποίηση υποστρωμάτων κατά τη διάρκεια της άσκησης έχουν μελετηθεί σε συμμετέχοντες μετά από ολονύκτια νηστεία που έλαβαν γεύματα δοκιμής 1 ώρα πριν από την άσκηση. Η Ivy και οι συνεργάτες της (1980) έδειξαν ότι η προσθήκη 30 γραμμαρίων Από τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου σε δημητριακά προγευμάτος, δεν είχε καμία επίδραση στα ποσοστά οξείδωσης των υδατανθράκων, κατά τη διάρκεια 1 ώρας ποδηλασίας στο 70% $VO_2 \text{ max}$. Άλλοι επίσης έχουν αναφέρει ότι η αντικατάσταση των προσληφθέντων υδατανθράκων με 25 γραμμάρια τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου, δεν μείωσε την οξείδωση των υδατανθράκων σημαντικά κατά τη διάρκεια της επόμενης ποδηλασίας για 1 και 2 ώρες στο 60 και 65% $VO_2 \text{ max}$, αντίστοιχα. Εντούτοις, ο Satabin και οι συνεργάτες του (1987) έδειξαν ότι λαμβάνοντας σχετικά μια μεγαλύτερη (45 γραμμάρια) ποσότητα τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου και ένα ισοθερμικό ποσό τριγλυκεριδίων μακρίας αλύσσου, επιβράδυνε τα ποσοστά οξείδωσης των υδατανθράκων μετά από 90 λεπτά ποδηλασίας στο 60% $VO_2 \text{ max}$.

Παρά τις ομοιότητες μεταξύ της διαθεσιμότητας των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος στις δοκιμές των τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου και των τριγλυκερίδια μακρίας αλύσσου, και μέσα στη γενική οξείδωση του λίπους, μόνο 9% των προσληφθέντων τριγλυκεριδίων μακρίας αλύσσου (από την ενέργεια) οξειδώθηκαν έναντι του 45% των ληφθέντων τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου.

Μια άλλη παρέχει κάποια ένδειξη ως προς το βαθμό που τα εξωγενή τριγλυκερίδια μακριάς αλύσσου οξειδώνονται κατά τη διάρκεια μέσης προς μεγάλης έντασης άσκησης. Εν περιλήψει, τα λιπαρά οξέα παραγόμενα από τριγλυκερίδια μακριάς αλύσσου, ακόμη και πριν από την άσκηση, έχουν μια ελάχιστη συμβολή στον οξειδωτικό μεταβολισμό κατά τη διάρκεια άσκησης που διαρκεί λιγότερο από 4 ώρες.

Σε πρόσφατες έρευνες σχετικά με τα αποτελέσματα της κατανάλωσης τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου στην απόδοση αντοχής κατά τη διάρκεια μέτριας έως μεγάλης έντασης άσκησης, 6 αρσενικοί ποδηλάτες αντοχής ποδηλάτησαν για 2 ώρες στο 60% $\text{VO}_2 \text{ max}$ και έπειτα αμέσως εκτέλεσαν μια χρονική δοκιμή 40 χιλιομέτρων σε τρεις περιπτώσεις (Van Zyl et και οι συνεργάτες του.>, 1996). Κατά τη διάρκεια των γύρων, οι συμμετέχοντες έλαβαν σε τυχαία σειρά γλυκόζη ή υδατάνθρακες, συν μια ισοθερμική ποσότητα από μέσης αλύσσου τριγλυκερίδια.

Τα δοκιμαστικά στο πείραμα μόνο με τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου ήταν περισσότερο αργά απ' ότι στη δοκιμή μόνο με υδατάνθρακες, πιθανώς σαν αποτέλεσμα των χαμηλότερων ποσοστών παραγωγής Τριφωσφορικής αδενοσίνης από την οξείδωση των καταναλωθέντων τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου, απ' ότι από την οξείδωση των ληφθέντων υδατανθράκων. Εκτιμώντας ότι η κατ' εκτίμηση συμβολή στην ενεργειακή παραγωγή από την οξείδωση των ληφθέντων τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου ανήλθε σε 10% μετά από τη δοκιμή με υδατάνθρακες και τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου, η αντίστοιχη συμβολή στην ενεργειακή παραγωγή από τη οξείδωση των ληφθέντων υδατανθράκων αυξήθηκε σε 24%. Ως εκ τούτου, η πρόσθετη ενέργεια από την οξείδωση των ληφθέντων τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου, μπορεί να μην είχε αντισταθμίσει την παρατηρηθείσα πτώση από 51% σε 36% στην ενεργειακή παραγωγή, από την οξείδωση των υδατανθράκων σε δοκιμή 40 χιλιομέτρων με τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου.

Αντίθετα, οι ανώτερες αθλητικές αποδόσεις σε δοκιμή 40 χιλιομέτρων με υδατάνθρακες και τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου έναντι στη δοκιμή 40 χιλιομέτρων μόνο με υδατάνθρακες, λιγότερο εύκολα εξηγούνται. Αν και η προσθήκη τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου στους ληφθέντες υδατάνθρακες μείωσε την άμεση ή/ και την έμμεση οξείδωση του γλυκογόνου των μυών προς το τέλος του υπομέγιστου γύρου, δεν οδήγησε σε μια αυξανόμενη χρησιμοποίηση του γλυκογόνου στην επόμενη δοκιμή 40 χιλιομέτρων όπως ήταν αναμενόμενο. Παρά μια αύξηση στην ένταση της άσκησης από 60% του VO_2 σχεδόν στο 80% αυτού, δεν υπήρξε καμία σημαντική αύξηση στη σχετική συμβολή της ενέργειας από την οξείδωση υδατανθράκων στις δοκιμές των 40 χιλιομέτρων.

Στις δοκιμές 40 χιλιομέτρων μόνο με υδατάνθρακες, η ενεργειακή παραγωγή από την οξείδωση των υδατανθράκων παρέμεινε στο ~ 65% και, στις 40 χιλιομέτρων δοκιμές με υδατάνθρακες και τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου, παρέμεινε στο ~ 55%. Γρηγορότερες αποδόσεις σε άθλημα ποδηλασίας παρατηρούνται σε δοκιμές 40 χιλιομέτρων με υδατάνθρακες και τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου απ' ό, τι στις δοκιμές 40 χιλιομέτρων με μόνο υδατάνθρακες, ήταν επομένως ανάλογες με την ένωση μεταξύ των βελτιώσεων στα μέγιστα ποσοστά εργασίας και της μειωμένης εμπιστοσύνης στην οξείδωση των υδατανθράκων μετά από την προπόνηση αντοχής (MacRae και οι συνεργάτες του.>, 1995).

Η ταυτόχρονη κατανάλωση τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου και υδατανθράκων κατά τη διάρκεια της άσκησης έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί σε μέγιστα ποσοστά οξείδωσης των τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου μέσα σε 90 λεπτά από την αρχή της άσκησης (Jeukendrup και οι συνεργάτες του.>, 1995). Όταν τα τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου, λαμβάνονται με τους υδατάνθρακες κατά τη διάρκεια της άσκησης, το γενικό ποσοστό οξείδωσης των τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου είναι διπλά υψηλότερο (72% των ληφθέντων) από όταν λαμβάνονται ελλείψει υδατανθράκων (33% των ληφθέντων).

Άλλες μελέτες δείχνουν ότι τα τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου παρέχουν περιορισμένα, γρήγορα οξειδωμένα καύσιμα για την άσκηση. Η κατανάλωση μικρών ποσών τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου σε συνδυασμό με υδατάνθρακες κατά τη διάρκεια της άσκησης οδηγεί σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις των ελεύθερων λιπαρών οξέων του πλάσματος και των κετονικών σωμάτων, χωρίς μια συνακόλουθη μείωση της οξείδωσης των υδατανθράκων (Jeukendrup και οι συνεργάτες του.>, 1996). Αντιθέτως, τα μεγαλύτερα ποσά των τριγλυκερίδιων μέσης αλύσσου που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της άσκησης, μπορούν να οδηγήσουν σε μια σημαντική «οικονομία» του γλυκογόνου των μυών, και μια μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην οξείδωση του λίπους, ακόμη και κατά τη διάρκεια της μεγάλης έντασης, άσκησης.

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.4.

Προσαρμογές σε δίαιτα υψηλής σε λίπη και χαμηλής σε υδατάνθρακες (αντοχή και απόδοση)

Επίδραση των υψηλών σε λίπη/ χαμηλών σε υδατάνθρακες διατροφών στις προπονητικές προσαρμογές και την απόδοση

Η επίδραση της κατανάλωσης μιας υψηλής σε λίπη/ χαμηλής σε υδατάνθρακες διατροφή για 1 –3 ημέρες, ενώ εξακολουθεί να πραγματοποιείται άσκηση, οδηγεί σε μια πτώση των αποθεμάτων του γλυκογόνου, στον ανενεργό μυ και στο ήπαρ, με συνέπεια τη μειωμένη ικανότητα άσκησης και αντοχής. Αυτή η εξασθένηση στην απόδοση είναι πιθανό να προκύπτει από έναν συνδυασμό της πρόωρης μείωσης (των μειωμένων) αποθεμάτων του γλυκογόνου των μυών και της απουσίας οποιασδήποτε ,σημαντικής αύξησης στην ικανότητα χρησιμοποίησης του λίπους κατά τη διάρκεια της άσκησης για να αντισταθμίσει τη μείωση στα διαθέσιμα καύσιμα υδατανθράκων.

Αντίθετα, υπάρχουν στοιχεία ότι μια πιο μεγάλη περίοδος (47 ημέρες) εμμονής σε μια υψηλή σε λίπη/ χαμηλή σε υδατάνθρακες διατροφή προκαλεί μεταβολικές προσαρμογές που ενισχύουν ουσιαστικά το λίπος , την οξείδωση του λίπους κατά τη διάρκεια της άσκησης και, σε μεγάλο βαθμό, αντισταθμίζει τη μειωμένη διαθεσιμότητα των υδατανθράκων. Στην πραγματικότητα, πολλά «δημοφιλή» βιβλία διατροφής υποστηρίζουν ότι οι στρατηγικές «φόρτωσης του λίπους» ενισχύουν τις ικανότητες απόδοσης των αθλητών αντοχής και εξαιρετικής αντοχής, με το να τους καθιστούν ικανότερους στην εύρεση των αποθεμάτων σωματικού λίπους.

Μελέτες στις οποίες τα προπονούμενα άτομα έχουν εκτεθεί σε μια υψηλή σε λίπη διατροφή (>60–65% της διαιτητικής ενέργειας [E]) για 5–28 ημέρες παρουσιάζουν εμφανώς υψηλότερα ποσοστά οξείδωσης λίπους και μειωμένα ποσοστά χρήσης γλυκογόνου των μυών κατά τη διάρκεια υπομέγιστης άσκησης έναντι της κατανάλωσης μιας ισοενεργειακής υψηλής διατροφής υδατανθράκων, παρά την ήδη ενισχυμένη ικανότητα για οξείδωση του λίπους, που αναμένεται στο προπονούμενο άτομο. Εντούτοις, η εξέταση των αποτελεσμάτων της απόδοσης από αυτές τις μελέτες παρουσιάζει, μια έλλειψη πλεονεκτήματος απόδοσης, που απαιτεί μια συντηρητική και προσεκτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Παραδείγματα χάριν, ενώ μελέτη, στην οποία πέντε καλά προπονημένοι ποδηλάτες εξετάστηκαν πριν και μετά από 4 εβδομάδες προσαρμογής σε μια υψηλή σε λίπη(85% E)/ χαμηλή σε υδατάνθρακες διατροφή (520 γραμμάρια ανά ημέρα), αναφέρεται συχνά υπέρ της αύξησης της απόδοσης μετά από φόρτωση λίπους. Οι συμμετέχοντες πέτυχαν πραγματικά παρόμοιους χρόνους αντοχής και υπό τους δύο πειραματικούς όρους. Επιπλέον, τα ομαδικά αποτελέσματα διαστράφηκαν από μια μη ομαλή μεγάλη βελτίωση στην απόδοση ενός ποδηλάτη : οι υπόλοιποι τέσσερις ποδηλάτες παρουσίασαν μικρή αλλαγή ή, πράγματι, μια εξασθένιση της ικανότητας άσκησης μετά από την υψηλή σε λίπος «θεραπεία».

Πολύ σημαντικό εύρημα, αποτελεί ερεθνητές, που έδειξαν ότι οι αντιστοιχημένες ομάδες παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα προπόνησης, μετά από 2 εβδομάδες μιας υψηλής σε λίπος διατροφή ή μιας ισοενεργειακής υψηλής σε υδατάνθρακες διατροφής. Σε αυτή τη μελέτη φάνηκε ότι οι προσαρμογές στην υψηλή σε λίπος διατροφή (65% της διαιτητικής ενέργειας) ήταν πραγματοποιημένες μέσα τόσο λίγο, όπως 5 ημέρες. Εάν η προσαρμογή στο λίπος μπορεί να καταδειχθεί ως αποτελεσματική στρατηγική για την αύξηση της απόδοσης στους αθλητές, από μόνη της ή ως τμήμα ενός «διαιτητικού περιοριστικού» πρωτόκολλου, που αντικαθιστά στη συνέχεια τα αποθέματα του γλυκογόνου των μυών, παρουσιάστηκε κατόπιν συνοπτικής έκθεσης πως είναι πρακτικότερο και καλύτερα ανεκτό από τα περισσότερα άτομα σε παρατεταμένες περιόδους επέμβασης. Επομένως, θεωρείται καλύτερο ως στρατηγική προ-ανταγωνισμού, παρά μια μακροπρόθεσμη πρακτική προπόνησης. Πράγματι, μελέτες στις οποίες προηγουμένως μη αθλούμενα άτομα ανέλαβαν προπόνηση ενώ ταυτόχρονα ακολουθούσαν μια υψηλού λίπους ή υψηλών υδατανθράκων διατροφή, δείχνει ότι η παρατεταμένη έκθεση περισσότερων από 4 εβδομάδων σε μια υψηλή σε λίπος διατροφή, προκαλεί μια εξασθένιση των προπονητικών προσαρμογών και της επόμενης απόδοσης. ⁴²

Προσαρμογές σε μια χαμηλή σε υδατάνθρακες, πλούσια σε λίπη διατροφή

Μια άλλη διαδικασία που έχει χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την εμπιστοσύνη στα ενδογενή καταστήματα υδατανθράκων κατά τη διάρκεια της παρατεταμένης μέτριας έως μεγάλης έντασης άσκησης, είναι η χρόνια έκθεση σε μια χαμηλή σε υδατάνθρακες, πλούσια σε λίπη διατροφή. Οι πρόωρες προσαρμογές σε αυτή την τακτική, περιλαμβάνουν την αντίσταση στην ινσουλίνη στο ήπαρ, η οποία θα οδηγούσε στην αποτυχία του ήπατος να καταστείλει την ηπατική παραγωγή γλυκόζης, και μια μείωση της σύνθεσης ηπατικού γλυκογόνου.. Κατά συνέπεια δεν πρέπει να είναι προς έκπληξη ότι η απόδοση της άσκησης είναι εξασθετισμένη μετά από μικρής διάρκειας έκθεση σε μια χαμηλή σε υδατάνθρακες, πλούσια σε λίπη διατροφή.

Αφ' ετέρου, οι προσαρμογές των σκελετικών μυών υπέρ της οξειδωσης του λίπους, όπως είναι η αυξανόμενη δραστηριότητα της καρνιτινικής τρανσφεράσης και της δεϋδρογονάσης του 3 υδροξυ ακυλο συνένζυμου Α, έχουν καταδειχθεί από νωρίς, γύρω στις 2 εβδομάδες μετά από την έναρξη της πλούσιας σε λίπη σίτισης

Σε αυτή τη φάση, η μέγιστη ινσουλινοερεθιζόμενη λήψη γλυκόζης, από τους μύες και η οξειδωτική διάθεση της γλυκόζης μειώνονται, και υπάρχει μια διπλή μείωση στις συγκεντρώσεις του γλυκογόνου των μυών . Αρκετές εβδομάδες αφότου εισάγεται η πλούσια σε λίπη σίτιση, σε προπονημένους αρουραίους, υπάρχει μια αύξηση στις δραστηριότητες του ακυλίου της καρνιτινικής τρανσφεράσης και της δεϋδρογονάσης του 3 υδροξυ άκυλου συνενζύμου Α , σχετικά με τη δραστηριότητα της συνθάσης του κιτρικού άλατος στα μιτοχόνδρια των σκελετικών μυών.

Τέλος, οι μελέτες της παρατεταμένης έκθεσης στην πλούσια σε λίπη σίτιση έχουν καταδείξει μια μείωση και στο δέκτη της ινσουλίνης, στο Glut4 μεταφορέα της γλυκόζης, και στην αντίσταση ινσουλίνης. Οι προσαρμογές σε μια χαμηλή σε υδατάνθρακες, πλούσια σε λίπη διατροφή εμφανίζονται να είναι «ανάλογες της δόσης».

Παρατηρούνται περισσότερο σημαντικές αυξήσεις στη δραστηριότητα της δεϋδρογονάσης του 3 υδροξυ ακυλο συνενζύμου A, των μυών και μια μεγαλύτερη αντίσταση στην κούραση κατά τη διάρκεια της υπομέγιστης άσκησης στους έντονα προπονημένους αρουραίους, όταν έλαβαν διατροφή με περιεκτικότητα λίπους ίση με 70% (από την ενέργεια) από όταν έλαβαν μια διατροφή 40% σε λίπος ή μια δεδομένη τυποποιημένη διατροφή. Ερευνητές διαπίστωσαν ότι ο μέγιστος VO_2 και ο χρόνος υπομέγιστου τρεξίματος βελτιώθηκε όταν έλαβαν οι αθλητές μια διατροφή με περιεκτικότητα σε λίπος ίση με 40% (από την ενέργεια) για 7 ημέρες έναντι της συνήθους διατροφής τους (λίπος 24% από την ενέργεια) ή μια διατροφή πλούσια σε υδατάνθρακες (λίπος 15% από την ενέργεια). Αυτές οι μελέτες εξετάζουν την επάρκεια των συνήθων υψηλών σε υδατάνθρακες διατροφών, οι οποίες συστήνονται συνήθως από τους επιστήμονες της άσκησης και τους αθλητικούς διατροφολόγους. Πράγματι, μια μελέτη των προγραμμάτων κατανάλωσης των κορυφαίων δρομέων από τον προηγούμενο αιώνα αποκαλύπτει ότι αθλητές αυτοεπιλέγουν μια διατροφή, που περιέχει μόνο ένα μέτριο ποσό υδατανθράκων. Οι βελτιώσεις στην ικανότητα οξειδωσης του λίπους μετά από μια διατροφή χαμηλών υδατανθράκων, έχουν συνδεθεί με χαρακτηρισμένες βελτιώσεις στην αντοχή κατά τη διάρκεια της άσκησης που διαρκεί 60-120 λεπτά, στα σκυλιά ελκίθρων και στους αρουραίους.

Αντίθετα, δεν υπήρξε καμία επίδραση μιας λιγότερο πλούσιας σε λίπη (60% από την ενέργεια) διατροφής 2 εβδομάδων, στην αντοχή, κατά τη διάρκεια άσκησης που διαρκεί 150-180 λεπτά σε ανθρώπους, αλλά τα ποσοστά οξειδωσης υδατανθράκων μειώθηκαν. Συγκρίναμε επίσης τα αποτελέσματα μιας λιγότερο πλούσιας σε λίπη (λίπος 70%, 7% υδατάνθρακες, από την ενέργεια) διατροφής 2 εβδομάδων ή μιας διατροφής υψηλών υδατανθράκων (74% υδατάνθρακες, λίπος 12%) στην απόδοση της άσκησης, σε προπονημένους ποδηλάτες. Παρά μια χαμηλότερη περιεκτικότητα γλυκογόνου των μυών στην αρχή του υπομέγιστου γύρου στο 60% $VO_{2\max}$ μετά από την υψηλή σε λίπος διατροφή, ο μέσος χρόνος άσκησης στην εξαγωγή ήταν σχεδόν διπλάσιος.

Αυτή η αύξηση στην αντοχή συνδέθηκε με μια χαρακτηρισμένη μείωση στο ποσοστό οξείδωσης των υδατανθράκων. Σε μια πιο πρόσφατη μελέτη, δόθηκαν σε προπονημένους ποδηλάτες σε τυχαία σειρά, είτε μια πλούσια σε λίπη διατροφή για 10 ημέρες, είτε η συνήθης διατροφή για 10 ημέρες. Η προσαρμογή σε μια πλούσια σε λίπη διατροφή, μαζί με την κατανάλωση υδατανθράκων και τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου, σημαντικά μείωσε την άμεση ή /και την έμμεση οξείδωση του γλυκογόνου των μυών και βελτίωσε τις αποδόσεις σε χρονικές δοκιμές 20 χιλιομέτρων, με έναν μέσο όρο 80 δευτερολέπτων. Είναι σημαντικό για τους αθλητές και τους αθλητικούς επιστήμονες να αναγνωρίσουν ότι το συμβατικό παράδειγμα της χρησιμοποίησης υποστρωμάτων, συνδέεται με τη μεγιστοποίηση των καταστημάτων των υδατανθράκων για να παραταθεί η αντίσταση στην κούραση.

Έχουν δοθεί ουσιαστικά στοιχεία, εντούτοις, ότι οι θρεπτικές στρατηγικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνες ή σε συνδυασμό με τις προπονητικές επεμβάσεις για να μεγιστοποιήσουν το ποσοστό της χρησιμοποίησης του λίπους κατά τη διάρκεια της παρατεταμένης άσκησης, με αυτόν τον τρόπο ενισχύοντας την αντίσταση στην κούραση ακόμη και κατά τη διάρκεια της μεγάλης έντασης άσκησης.

Είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος ότι παρά τα στοιχεία για «διάθεση» του γλυκογόνου των μυών με την προσαρμογή του διαιτητικού λίπους και την κατανάλωση τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου με υδατάνθρακες, κατά τη διάρκεια σταθερής κατάστασης κύκλων παρατεταμένης άσκησης, δεν υπήρξε μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στους υδατάνθρακες κατά τη διάρκεια της επόμενης, μεγάλης έντασης άσκησης.

Πρακτικές επιπτώσεις και συστάσεις στους αθλητές

Με βάση πρόσφατες μελέτες, μια διατροφή που είναι συνήθως υψηλή σε υδατάνθρακες, μπορεί να μην ενισχύσει την προπονητική ικανότητα, ούτε την επόμενη απόδοση αντοχής. Υπάρχουν στοιχεία ότι σχετικά μικρή χρονική έκθεση σε μια πλούσια σε λίπη διατροφή, οδηγεί σε χαρακτηριστικές προσαρμογές, που μπορούν να ενισχύσουν το μέγιστο ποσοστό οξειδωσης του λίπους κατά τη διάρκεια της άσκησης από 60 σε 80% $\text{VO}_2 \text{ max}$. Αυτή η απάντηση εμφανίζεται να είναι ανάλογη της δόσης. Επειδή η ταυτόχρονη κατανάλωση τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου και υδατανθράκων οδηγεί σε μια μεγαλύτερη γενική οξειδωση του λίπους και επιβραδύνει τη μείωση του γλυκογόνου των μυών, μπορεί να είναι ενδεδειγμένο για τους αθλητές να καταναλώσουν διάλυμα που να περιέχει υδατάνθρακες και τριγλυκερίδια μέσης αλύσσου κατά τη διάρκεια παρατεταμένης, μέτριας έως μεγάλης έντασης άσκησης.

Μια σημαντική προειδοποίηση στη χρήση τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου για την απόδοση της αντοχής είναι αυτή, πως σε μερικά άτομα, η λήψη σε μεγάλες ποσότητες τριγλυκεριδίων μέσης αλύσσου, έχουν αναφερθεί ότι προκαλούν υπερωσμωτική διάρροια. Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντική η «προετοιμασία» όλων των θρεπτικών στρατηγικών κατά τη διάρκεια της προπόνησης και πριν από έναν σημαντικό ανταγωνισμό.⁴³

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.5.

Χρόνια γρήση υψηλής σε λίπος δίαιτας ακολουθούμενη από υψηλής σε υδατάνθρακες: αλληλεπίδραση του μεταβολισμού των ελεύθερων λιπαρών οξέων και του μεταβολισμού των υδατανθράκων

Μακροπρόθεσμες διατροφές και οξείδωση του λίπους

Οι χρόνιες διαιτητικές επεμβάσεις έχουν αποδειχθεί να έχουν επιπτώσεις στην οξείδωση του λίπους. Η επίδραση των πλούσιων σε λίπη διατροφών και των υψηλών σε υδατάνθρακες διατροφών, στη χρησιμοποίηση υποστρωμάτων έχει μελετηθεί εκτενώς. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι εάν, σε μια κατάσταση ενεργειακής ισορροπίας, ένα από τα μακροθρεπτικά συστατικά είναι παρόν σε αφθονία, το γεγονός αυτό χαμηλώνει αυτόματα τη συμβολή άλλων, δηλαδή, μια πλούσια σε λίπη διατροφή μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως διατροφή χαμηλών υδατανθράκων (και αντίστροφα). Αυτό προτείνει ότι τα μεταβολικά χαρακτηριστικά μιας πλούσιας σε λίπη διατροφής να οφείλονται στη σχετικά χαμηλή διαιτητική εισαγωγή υδατάνθρακες.

Μετά από 3 έως 49 ημέρες, σε μια πλούσια σε λίπη, διατροφή χαμηλών υδατανθράκων, η οξείδωση του λίπους αυξήθηκε συνήθως έναντι μιας διατροφής ελέγχου. Παραδείγματος χάριν, φαίνεται ότι μετά από μόνο 3 ημέρες κατανάλωσης μιας διατροφής που περιέχει λίπος σε ποσοστό 65%, οι τιμές του συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής ελαττώθηκαν από 0,89 σε 0,79 σε μια ομάδα προπονημένων ποδηλατών που αθλούνταν καθημερινά. Εντούτοις, η μείωση δεν παρατηρείται πάντα. Οι διατροφές στις μελέτες κατά τις οποίες καμία επίδραση δεν φάνηκε στη χρησιμοποίηση υποστρωμάτων είχαν μια σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε διαιτητικό λίπος (55% 60%) και καμία άσκηση δεν εκτελέστηκε κατά τη διάρκεια της περιόδου διατροφής. Θα μπορούσε να σκεφτεί κανείς ότι αλλαγές που αναφέρονται στη χρησιμοποίηση υποστρωμάτων, μετά από κατανάλωση πλούσιων σε λίπη διατροφών με ένα σχετικά πλούσιο σε λίπη περιεχόμενο, σε συνδυασμό με τακτική άσκηση, οδηγούνται εν μέρει από μια μείωση της περιεκτικότητας σε γλυκογόνο.

Η μείωση των καταστημάτων γλυκογόνου έχει αναφερθεί όταν η εισαγωγή υδατάνθρακες είναι χαμηλή ή/ και η άσκηση εκτελείται τακτικά. Σε άλλη μελέτη δόθηκε σε επτά προπονημένους δρομείς μια διατροφή που περιέχει 45% υδατάνθρακες, 40% λίπος, και 15% πρωτεΐνη για 11 ημέρες, κατά τη διάρκεια των οποίων οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν καθημερινή έντονη άσκηση. Μετά από 11 ημέρες, τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους

αυξήθηκαν σημαντικά, ενώ το η γλυκογενόλυση των μυών μειώθηκε. Αυτή η επίδραση προκλήθηκε πιθανότατα από τα μειωμένα καταστήματα γλυκογόνου των μυών.

Εκτός από τα μειωμένα καταστήματα γλυκογόνου ενώ ακολουθείται μια πλούσια σε λίπη, διατροφή και χαμηλή σε υδατάνθρακες, μερικές προσαρμογές μπορούν να εμφανιστούν στο επίπεδο των μυών ως αποτέλεσμα της υψηλής λήψης διαιτητικού λίπους .Στους αρουραίους με συνέπεια έχει αποδειχθεί ότι η κατανάλωση των υψηλών ποσοτήτων διαιτητικού λίπους αυξάνει τη δραστηριότητα της διυδρογενάση του υδροξυ ακυλο συνένζυμου A, ενός από τα βασικά ένζυμα για τη διάβαση της οξειδωσης . Μια αυξανόμενη δραστηριότητα της διυδρογενάση του υδροξυ ακυλο συνένζυμου A(HAD), παρουσιάστηκε επίσης στους ανθρώπους, σε μερικές περιπτώσεις μετά από μόνο 5 ημέρες μετά από αλλαγή σε μια πλούσια σε λίπη διατροφή. Επιπλέον, οι αυξήσεις στη δραστηριότητα της καρνιτινική παλμιτοϊλικής τρανσφεράσης, έχουν αναφερθεί μετά από 10 ημέρες κατανάλωσης μιας πλούσιας σε λίπη διατροφής. Ένα άλλο ενδιαφέρον εύρημα, μετά από 5 ημέρες μιας πλούσιας σε λίπη διατροφής, η έκφραση γονιδίων του FAT/CD36 αυξήθηκε. Αυτό προτείνει μια ρύθμιση προς τα άνω της μεταφοράς των Λιπαρών Οξέων στο μυϊκό κύτταρο, ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης της πλούσιας σε λίπη διατροφής.

Για να διαχωριστούν οποιεσδήποτε αλλαγές στη χρησιμοποίηση υποστρωμάτων, που εμφανίζονται λόγω των ενζυμικών προσαρμογών από τη μερική μείωση του γλυκογόνου, σε μια πλούσια σε λίπη διατροφή, πρέπει να γίνει συνδυασμός με μια επέμβαση ανεφοδιασμού σε καύσιμα γλυκογόνου. Τα αποτελέσματα της κατανάλωσης μιας πλούσιας σε υδατάνθρακες διατροφής, για μια μικρή χρονική περίοδο μετά από την προσαρμογή σε μια πλούσια σε λίπη διατροφή (δηλαδή, "αποκατάσταση" του καταστήματος των υδατανθράκων) έχουν ερευνηθεί σε διάφορες περιπτώσεις. Έχει ερευνηθεί η χρησιμοποίηση των υποστρωμάτων και η απόδοση, σε προπονημένους ποδηλάτες και τριαθλητές, που κατανάλωσαν μια πλούσια σε λίπη διατροφή για 5 ημέρες (ημέρες 1 έως 5) ακολουθούμενη από 1 ημέρα (ημέρα 6) μιας διατροφής υψηλών υδατανθράκων. Και στις δύο μελέτες, αποδείχθηκε ότι ο συντελεστής αναπνευστικής ανταλλαγής κατά τη διάρκεια της άσκησης στο 70% του VO2 max μειώθηκε σημαντικά από την ημέρα 1 στην ημέρα 6. Στους συμμετέχοντες επιτράπηκε να καταναλώσουν ένα πρόγευμα υψηλών υδατανθράκων, πριν από την έναρξη της περιόδου άσκησης την ημέρα 7, η οποία διατροφή, καθιστά μια άμεση σύγκριση των ποσοστών οξειδωσης του λίπους μετά από μια διατροφή ελέγχου και μια πλούσια σε λίπη, διατροφή και υψηλή σε υδατάνθρακες, αδύνατη. Όπως ήταν αναμενόμενο, καμία διαφορά δεν ανιχνεύθηκε μεταξύ του συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής την ημέρα 1 και την ημέρα 7. Με ένα παρόμοιο πρωτόκολλο (6 ημέρες υψηλού λίπος, 1 ημέρα υψηλών υδατάνθρακες) χωρίς ένα

γεύμα πριν από την άσκηση την ημέρα 7, παρά την πλήρη αποκατάσταση των καταστημάτων γλυκογόνου των μυών, οι αμβλυμένες τιμές του συντελεστή αναπνευστικής ανταλλαγής παρέμειναν, ως αποτέλεσμα της πλούσιας σε λίπη διατροφής. Αυτό δείχνει ότι οι μεταβολικές προσαρμογές που πραγματοποιούνται στο σώμα, είναι ανεξάρτητες από τις συγκεντρώσεις του γλυκογόνου των μυών. Εντούτοις, όταν παρατείνεται η διάρκεια της περιόδου της πρόσληψης υψηλών υδατανθράκων, οι διαφορές στην οξείδωση του λίπους μεταξύ υψηλών υδατανθράκων και των πλούσιων σε λίπη διατροφών εξαφανίστηκαν.

Σε μια μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 13 απροπόνητα άτομα κατανάλωσαν μια πλούσια σε λίπη διατροφή για 7 εβδομάδες ή μια διατροφή υψηλών υδατανθράκων, που ακολουθήθηκε από 1 ημέρα διατροφής υψηλών υδατανθράκων. Τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους ήταν σημαντικά χαμηλότερα μετά από 7 εβδομάδες της πλούσιας σε λίπη διατροφής, αλλά αυτές οι διαφορές δεν ήταν πλέον εμφανείς μετά από την εβδομάδα της σίτισης σε υψηλούς υδατάνθρακες.

Παραμένει κάποια διαμάχη σχετικά με τις πηγές του πρόσθετου λίπους που οξειδώνεται, μετά από κατανάλωση μια πλούσιας σε λίπη διατροφής. Μια παρόμοια οξείδωση λιπαρών οξέων του πλάσματος, μετά από κατανάλωση μιας πλούσιας σε λίπη διατροφής έναντι μιας χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά διατροφής. Σε αυτήν την μελέτη το αυξανόμενο ποσοστό της οξείδωσης του λίπους αποτελέστηκε ολοκληρωτικά από την αυξανόμενη οξείδωση τριγλυκεριδίων. Άλλοι βρήκαν την ολική σωματική οξείδωση των λιπαρών οξέων του πλάσματος να είναι σημαντικά υψηλότερη μετά από μια κατανάλωση 7-εβδομάδων μιας πλούσιας σε λίπη, απ' ότι μετά από μια διατροφή υψηλών υδατανθράκων. Καμία σημαντική διακοπή των ενδομυϊκών, δεν μπορούσε να ανιχνευθεί κατά τη διάρκεια της άσκησης, έτσι οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα ενδομυϊκά τριγλυκερίδια, δεν ήταν ο πρωταρχικός συνεισφέρων στην αυξανόμενη οξείδωση του λίπους. Υποστηρίχθηκε επίσης, ότι η διαφορά μεταξύ των δύο μελετών έχει προκληθεί από τη διάρκεια της διατροφής (7 ημέρες εναντίον 7 εβδομάδων).

Σε δύο πρόσφατα βραχυπρόθεσμα μελέτες της διατροφής υψηλού λίπους, μια με χρήση βιοψιών των μυών και μια με χρήση σταθερών ισοτόπων για να ερευνηθεί η πηγή της αυξανόμενης οξείδωσης του λίπους, βρέθηκε αυξανόμενη διακοπή των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων. Έξι καλά προπονημένοι ποδηλάτες κατανάλωσαν μια διατροφή 65% σε λίπος ή υδατάνθρακες για 2 ημέρες που ακολουθήθηκε από μια περίοδο άσκησης 3-ωρών κατά 70% του VO₂ max την 3^η ημέρα. Η μεγαλύτερη μείωση στο περιεχόμενο των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, βρέθηκε κατά τη διάρκεια της άσκησης μετά από την πλούσια σε λίπη διατροφή.

Φαίνεται επίσης, ότι η ανυψωμένη υδρόλυση των τριγλυκεριδίων, που αποθηκεύτηκαν ενδομυϊκά, ήταν κυρίως αρμόδια για την αυξανόμενη οξείδωση του λίπους μετά από βραχυπρόθεσμη κατανάλωση μιας πλούσιας σε λίπη διατροφής. Η μείωση των καταστημάτων των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων, που προκλήθηκε από μια πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά διατροφή (2%), μείωσε τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους κατά 27%. Χρησιμοποιώντας σταθερά ισότοπα παρουσιάστηκε ότι τα ποσοστά οξείδωσης λιπαρών οξέων του πλάσματος δεν άλλαξαν, δείχνοντας ότι η ολόκληρη μείωση της οξείδωσης του λίπους αποτελέστηκε από τα χαμηλωμένα καταστήματα των ενδομυϊκών τριγλυκεριδίων.

Συνοψίζοντας, η κατανάλωση των πλούσιων σε λίπη διατροφών, στις οποίες περισσότερο από το 60% της ενέργειας που προέρχεται από το λίπος, έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τα ποσοστά οξείδωσης του λίπους κατά τη διάρκεια της άσκησης, ακόμα κι αν η διατροφή καταναλώνεται για μόνο 2 έως 3 ημέρες. Είναι πιθανό ότι μέρος της αλλαγής στην επιλογή υποστρωμάτων προκαλείται από τα μειωμένα καταστήματα γλυκογόνου των μυών.³³

ΕΝΟΤΗΤΑ 3.6.

Χορήγηση συμπληρώματος L-καρνιτίνης

Η καρνιτίνη θεωρείται ως στοιχείο οξείδωσης του λίπους, τόσο σε μη αθλούμενους, όσο και σε αθλητές. Σε διαφημίσεις υποστηρίζεται ότι η καρνιτίνη μπορεί να κάνει τα πάντα, από το σημείο της μείωσης του σωματικού λίπους έως και την αποτροπή της παχυσαρκίας. Αντίθετα με την καφεΐνη, η καρνιτίνη αποτελεί ένα στοιχειώδες συστατικό παρασκευασμένο από το σώμα και πηγάζει από τη διατροφή, στα προϊόντα του κρέατος. Η καρνιτίνη είναι απαραίτητη για την μεταφορά των λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια και για την διαδικασία της β-οξείδωσης. Ωστόσο, σε υγιή άτομα, το σώμα είναι ικανό συνθέσει επαρκείς ποσότητες καρνιτίνης από την μεταφορά των λιπαρών οξέων.

Παρόλο που τα συμπληρώματα L – καρνιτίνης, που χορηγούνται από το στόμα, αυξάνουν τις συγκεντρώσεις της L- καρνιτίνης του πλάσματος, η πρόσληψη της από τους μύες παραμένει αμετάβλητη .⁴⁴

Πιο συγκεκριμένα η καρνιτίνη αποτελεί τον κύριο παράγοντα συνεργασίας του ένζυμου καρνιτινική παλμιτιλοτρανσφεράση, η οποία μεταφέρει μακράς αλύσσου λιπαρά οξέα, διαμέσου της μιτοχονδριακής μεμβράνης, στο εσωτερικό για οξείδωση. Για αυτό το λόγο θεωρείται η καρνιτίνη σαν συμπλήρωμα που αυξάνει την οξείδωση του λίπους, κατά συνέπεια ενισχύει τον ενεργειακό ανεφοδιασμό κατά την διάρκεια της άσκησης αντοχής με μια παράλληλη μείωση στα επίπεδα του σωματικού λίπους. Αυτές οι παραδοχές έχουν υιοθετηθεί ευρέως από αθλητές, συγκεκριμένα στον χώρο του body-building και της δυναμικής προπόνησης, όπου τα συμπληρώματα καρνιτίνης προωθούνται κυρίως για την μείωση των επιπέδων του σωματικού λίπους. Για παράδειγμα η Ιταλική ομάδα ποδοσφαίρου, με επιτυχία στο Παγκόσμιο Πρωτάθλημα του 1982, αναφέρθηκε ότι χρησιμοποιούσε καρνιτίνη, και κατά συνεπεία αυξήθηκε το ενδιαφέρον για τις εργογόνες ιδιότητες της ουσίας

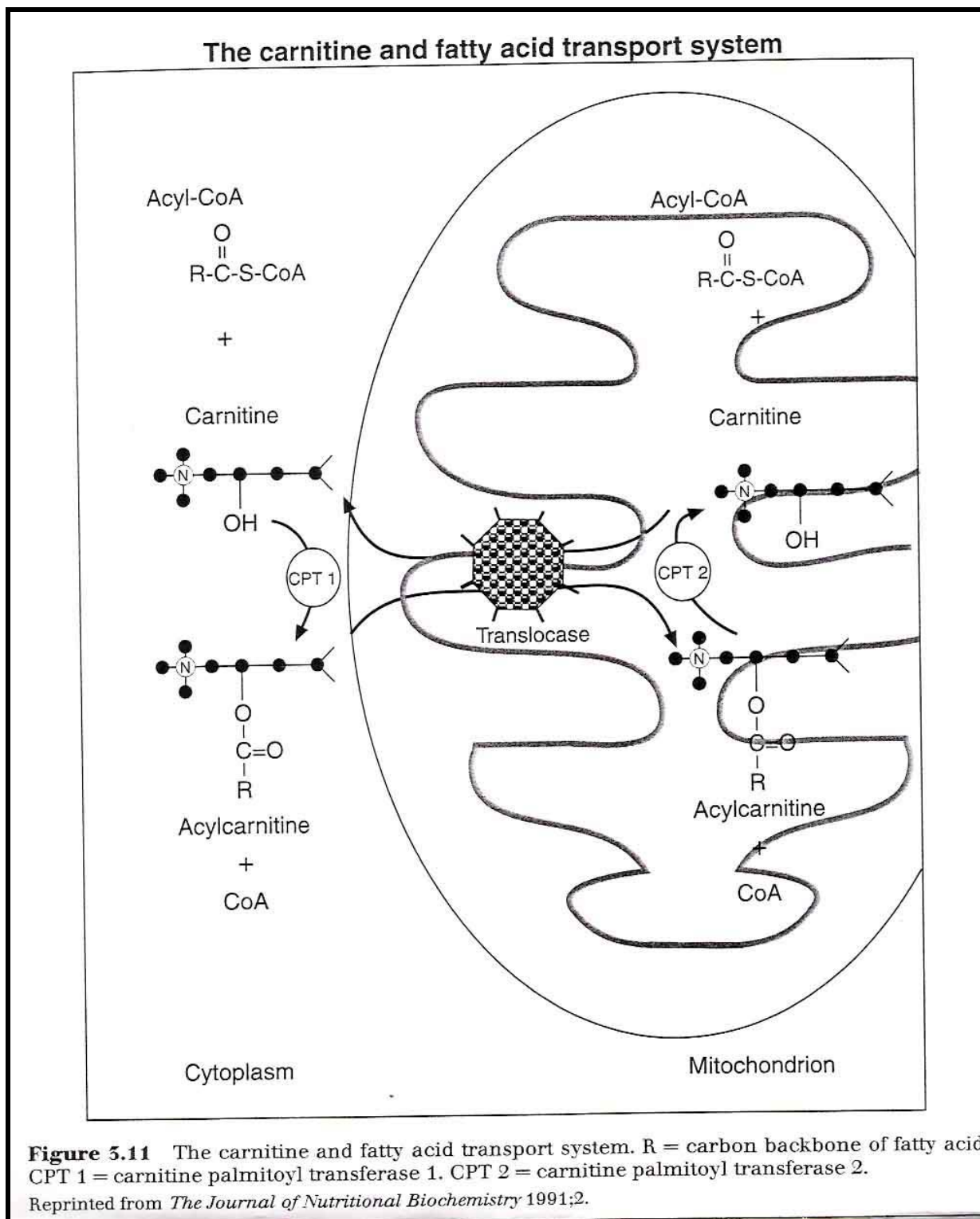
Πρόσφατη μελέτη προτείνει ότι υπάρχει αμφιβολία πάνω σε αυτόν τον θεωρητικό ρόλο της καρνιτίνης : δεν υπάρχει κάποια απόδειξη πως η μεταφορά των λιπαρών οξέων αποτελεί το περιοριστικό βήμα στο ποσοστό της οξείδωσης του λίπους. Επιπλέον τα επίπεδα της καρνιτίνης στους μύες, εμφανίζονται να επαρκούν για την μέγιστη λειτουργία της καρνιτινικής παλμιτιλοτρανσφεράσης. Άλλες θεωρίες χρησιμοποιήθηκαν για να εξηγήσουν τον εργογόνο ρόλο της καρνιτίνης. Για παράδειγμα προτάθηκε πως, στην παρουσία υψηλών επιπέδων της λακτάτης (lactate) και της πουριβάτης (purivate), η καρνιτίνη ενδέχεται να λειτουργεί ως δεξαμενή για τις ακετυλικές ομάδες και μπορεί να ελευθερώσει περισσότερα συνένζυμα A, για

την προώθηση της μεταβολικής ροής, διαμέσου του κύκλου του Krebs (Clarkson 1992' Cartels & Marconi 1990). Εν περιλήψει, προς το παρόν δεν υπάρχει σαφής συναίνεση για μια θεωρητική βάση, αναφορικά με την ενίσχυση της απόδοσης με την χρησιμοποίηση συμπληρωμάτων καρνιτίνης.

Η άσκηση έχει σαν αποτέλεσμα την έκκριση της καρνιτίνης και είναι πιθανό τα επίπεδα την καρνιτίνης των μυών να μειώνονται κατά την διάρκεια έντονης προπόνησης' ωστόσο ο Clarkson (1992) εμμένει ότι μια σοβαρή ανεπάρκεια δεν θα λάμβανε χώρα, από τη στιγμή που η καρνιτίνη αρκετά εύκολα μπορεί να περιληφθεί στην διατροφή. Ερευνητές συνόμισαν μια σειρά μελετών αναφορικά με τα συμπληρώματα καρνιτίνης σε ανθρώπους συμμετέχοντες. Παρόλο που οι μελέτες έδειξαν γενικά μια αύξηση στα επίπεδα της καρνιτίνης του πλάσματος, έπειτα από χορήγηση συμπληρώματος αυτής

σε ποσότητα 1-6 γραμμάρια ανά ημέρα, τα αποτελέσματα στο μυϊκό περιεχόμενο της καρνιτίνης και στη λειτουργία είναι συγκρουόμενα. Κάποιες μελέτες έχουν αναφέρει μικρές αλλά σημαντικές αυξήσεις στον VO_2 max, έπειτα από 2 – 3 εβδομάδες χορήγησης συμπληρώματος καρνιτίνης, η μια ελάχιστη μείωση του καρδιακού ρυθμού στις υπομέγιστες ή μέγιστες προσπάθειες. Άλλες μελέτες δεν έχουν αναφέρει κάποια αλλαγή στα πλεονεκτήματα, τόσο στην λειτουργία της αερόβιας, όσο και της αναερόβιας άσκησης. Οποιαδήποτε επίδραση έχει η καρνιτίνη στον μεταβολισμό της άσκησης, αυτή εμφανίζεται να είναι ελάχιστη. Επιπλέον, ο υποθετικός ρόλος της καρνιτίνης, στην βελτίωση της ικανότητας της αναερόβιας και της αερόβιας ενέργειας, χρειάζεται επιπλέον διερεύνηση με μια πολύ καλά σχεδιασμένη ερευνά. Η επίδραση της χορήγησης του συμπληρώματος της καρνιτίνης στα επίπεδα του σωματικού λίπους, που ευρέως παρουσιάζεται στην διαφήμιση συμπληρωμάτων, δεν έχει μελετηθεί επαρκώς.

Παρόλο που η χορήγηση συμπληρώματος καρνιτίνης, από μικρής και μεγάλης διάρκειας μελέτες, εμφανίζεται να είναι ασφαλής, να πρέπει να σημειωθεί ότι αναφέρεται στη μορφή της L- καρνιτίνης. Η D- καρνιτίνη, από την άλλη, έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί μείωση της L- καρνιτίνης στους ιστούς, και με αυτόν τον τρόπο οδηγεί σε έλλειψη καρνιτίνης (Clarkson 1992). Στους αθλητές συστήνεται να αποφεύγουν τις εμπορικές μορφές της καρνιτίνης που δεν καθορίζεται με σαφήνεια ότι περιέχουν σε μεγαλύτερο ποσοστό του 99 %, L – καρνιτίνη⁴⁵



EIKONA 3.6 ⁴⁶

Το σύστημα μεταφοράς της καρνιτίνης και των λιπαρών οξέων. R = ανθρακικός σκελετός λιπαρού οξέος, CPT-1 = καρνιτική παλμιτοϊλική τρανσφεράση 1, CPT 2 = καρνιτική παλμιτοϊλική τρανσφεράση 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα χρησιμοποίησης του λίπους για παραγωγή ενέργειας (αθλητές-μη αθλητές/ κρύο και θερμό περιβάλλον)

Παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό συμμετοχής του λίπους στους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας

Η συμμετοχή του λίπους στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας, κατά τη διάρκεια της άσκησης, εξαρτάται από την ικανότητα: α) του κυκλοφοριακού συστήματος να μεταφέρει οξυγόνο στους ιστούς και β) των μυϊκών ιστών να καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου.

Η ικανότητα αυτή αποκτάται με ειδικά προπονητικά ερεθίσματα, τα οποία στοχεύουν στην αύξηση του αριθμού των Μιτοχονδρίων (Εργαστάσια παραγωγής ενέργειας) και στην παραγωγή ειδικών ενζύμων, η παρουσία των οποίων είναι απαραίτητη για την όσο το δυνατόν καλύτερη λειτουργία του αερόβιου μηχανισμού.

Μια από τις μεγαλύτερες διαφορές που υπάρχουν μεταξύ προπονημένων και απροπόνητων ατόμων, είναι ότι σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη υπομέγιστη προσπάθεια, το προπονημένο άτομο αντλεί μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας από το λίπος από ότι το απροπόνητος, με αποτέλεσμα την οικονομία των υδατανθράκων.

Εάν η προσαρμοστικότητα αυτή του οργανισμού, σαν αποτέλεσμα της αερόβιας προπόνησης, δεν υφίστατο, οι μαραθωνοδρόμοι, για παράδειγμα, οι οποίοι κινούνται με μία μέση ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 75% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, θα εξαντλούσαν το απόθεμα του γλυκογόνου στις μυϊκές ίνες βραδείας συστολής (αερόβιες ίνες) πριν καλύψουν τα 3/4 του αγώνα (30 χιλιόμετρα).⁴⁷

Διατροφή και απόδοση της άσκησης σε ζεστό περιβάλλον

Παρόλο που η αποκατάσταση του νερού και των ηλεκτρολυτών είναι τα πρωταρχικά θρεπτικά συστατικά υψίστης σημασίας σε θερμά περιβάλλοντα, θα πρέπει να εκτιμηθεί και η παροχή επαρκής ενέργειας. Το φαγητό και η πρόσληψη νερού συνδέονται στενά. Η πρόσληψη τροφής μειώνεται, όταν συμβαίνει στέρηση νερού και αντίστοιχα η πρόσληψη νερού μειώνεται, κατά τη διάρκεια λιμοκτονίας.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις, για την εκτέλεση εργασιών σε θερμά περιβάλλοντα αυξάνονται αρκετά.

Ισχύει ότι η κλιμάκωση της ζεστής μπορεί να μειώσει τον μεταβολικό ρυθμό κατά την διάρκεια της άσκησης σε ποσοστό 3 %, υποδεικνύοντας ότι η πραγματική αύξηση στις ενεργειακές απαιτήσεις κατά την εργασία σε περιβάλλοντα με υψηλές θερμοκρασίες, ενδέχεται να ποικίλλει με το βαθμό της κλιμάκωσης της ζεστής σε κάθε άτομο.

Η εργασία σε θερμό περιβάλλον έχει επιπτώσεις, αναφορικά με τη σύνθεση και χρησιμοποίηση του μυϊκού γλυκογόνου. Από μελέτες προκύπτει ότι η ζεστή αυξάνει τη χρησιμοποίηση του μυϊκού γλυκογόνου. επίσης υποστηρίζεται ότι μια μείωση στην ροή του αίματος στους μύες, αυξάνει την μυϊκή θερμοκρασία, και ένα υψηλό επίπεδο κατεχολαμινών ενδέχεται να συνεισφέρει στην διέγερση της μυϊκής γλυκογενόλυσης, κατά την διάρκεια της άσκησης σε θερμό περιβάλλον. Αυτές οι παρατηρήσεις καταδεικνύουν ότι η άσκηση σε θερμό περιβάλλον μπορεί να αυξήσει την χρησιμοποίηση του γλυκογόνου, παρόλο που έχει βρεθεί ότι η μεγαλύτερη στήριξη στους υδατάνθρακες ως καύσιμο, κατά την διάρκεια άσκησης σε θερμό περιβάλλον, εμφανίζεται να είναι τουλάχιστον εν μέρει μειωμένη μετά από αλλαγή κλίματος. Κατά περίεργο τρόπο η υποϋδάτωση που προκαλεί μέχρι 5 % απώλεια βάρους, δεν εμφανίζεται να ασθενεί την σύνθεση του μυϊκού γλυκογόνου, μετά την άσκηση, παρόλο που η υποϋδάτωση μπορεί να χαμηλώσει το μεταβολικό ρυθμό ανάπαυσης.

Γενικότερα ισχύει ότι οι ενεργειακές δαπάνες σε θερμά περιβάλλοντα συνήθως περιορίζονται από το ρυθμό της εγκατάστασης του θέρους και της υποξίας.⁴⁸

Διατροφικές απαιτήσεις σε ψυχρά περιβάλλοντα

Οι ενεργειακές απαιτήσεις αποτελούν το κύριο σημείο προσοχής για την παροχή διατροφικής υποστήριξης σε ψυχρά περιβάλλοντα. Στα ψυχρά περιβάλλοντα ο ρυθμός των ενεργειακών δαπανών δεν περιορίζεται από το φορτίο θερμότητας ή την υποξία. Οι ενεργειακές απαιτήσεις σε ψυχρό περιβάλλον, επηρεάζονται από την ένταση της άσκησης, την ταχύτητα του ανέμου, και τις φυσιολογικές δυσκολίες που σχετίζονται με την εργασία υπό συνθήκες ψύχους. Την ίδια στιγμή, οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι υψηλές, οι ενεργειακές προσλήψεις μπορεί να μειωθούν από

παράγοντες όπως, η μονοτονία της διατροφής και η δυσκολία προετοιμασίας της τροφής υπό δυσμενείς συνθήκες.

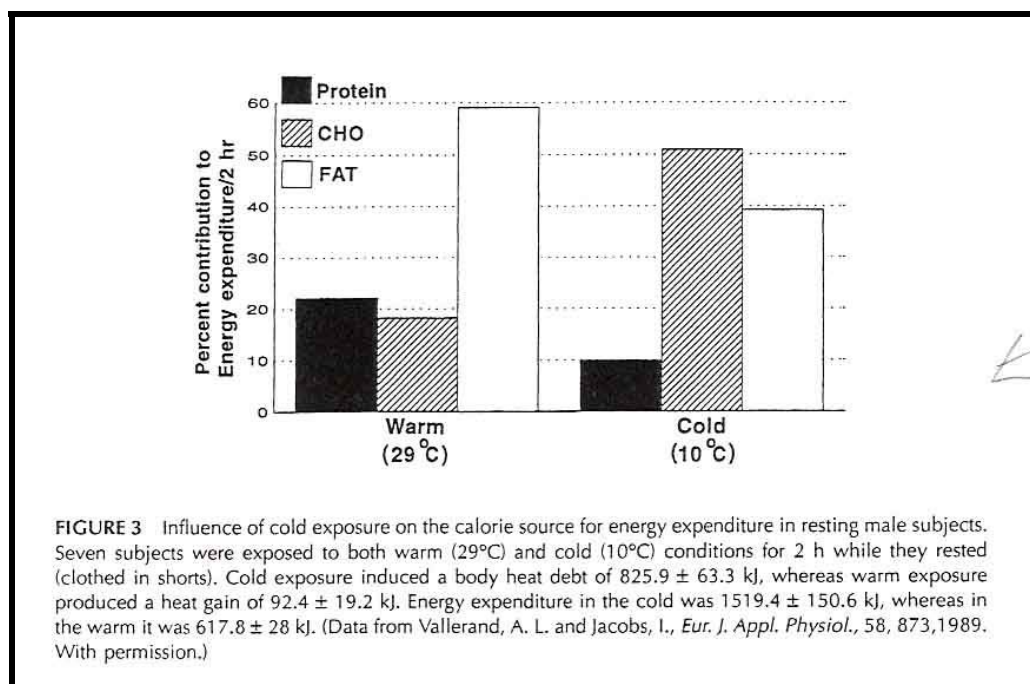
Οι ενεργειακές απαιτήσεις για δραστηριότητες σε ψυχρό περιβάλλον είναι περισσότερο υψηλές, όταν συνοδεύονται από βαριά εργασία. Οι ενεργειακές δαπάνες στο ψύχος μπορούν να κυμαίνονται από 3200 χιλιοθερμίδες ανά ημέρα σε καταστάσεις χαμηλής δραστηριότητας έως 5000 χιλιοθερμίδες ανά ημέρα κατά την διάρκεια έντονης δραστηριότητας (για παράδειγμα οδήγηση με έλκηθρο).

Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός, πως η έκθεση στο ψύχος ανεβάζει τα επίπεδα της ενεργειακής δαπάνης κατά 2,5 φορές υψηλότερα, από ότι παρατηρήθηκε σε συμμετέχοντες μελετών σε θερμά περιβάλλοντα. Αυτή η αύξηση στις ενεργειακές δαπάνες, είχε ως αποτέλεσμα μια αύξηση στην οξείδωση των υδατανθράκων κατά 588 % και σε μια αύξηση της οξείδωσης του λίπους κατά 63 %. Η οξείδωση των πρωτεϊνών δεν επηρεάστηκε. Αυτά τα αποτελέσματα επιδεικνύουν ότι η έκθεση στο ψύχος προκαλεί μια υψηλότερη αύξηση στην χρησιμοποίηση των υδατανθράκων, από ότι των λιπιδίων. Επίσης προτείνεται ότι τόσο οι υδατάνθρακες, όσο και τα λίπη, εφοδιάζουν με καύσιμα την αντίδραση του τρέμουλου στους ανθρώπους, με τους υδατάνθρακες (κυρίως το γλυκογόνο) να αποτελεί την πιο βασική από τις δυο πηγές ενέργειας. Το τρέμουλο προέρχεται από την νηστεία και την υπογλυκαιμία. Η ελαφριά άσκηση στο ψύχος, έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των επιπέδων του μυϊκού γλυκογόνου, συγκριτικά με παρόμοια άσκηση σε φυσιολογικές θερμοκρασίες. Αυτές οι παρατηρήσεις, συμβαδίζουν με την παρατήρηση ότι χαμηλά επίπεδα μυϊκού γλυκογόνου σχετίζονται με μια περισσότερο ραγδαία ψύξη του σώματος, και προτείνεται ότι το μυϊκό γλυκογόνο και η γλυκόζη του αίματος, είναι σημαντικά, αν όχι κρίσιμα, καύσιμα για την θερμογένεση στο τρέμουλο. Το λίπος μπορεί πιθανά να συνεισφέρει στην θερμογένεση, με την παροχή καυσίμων στην αντίδραση του τρέμουλου και/ ή μέσω της ανακύκλωσης των λιπαρών οξέων των τριγλυκεριδίων. Αναφέρεται ότι η μεταβολική παραγωγή ζεστής, , δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την διαιτητική μείωση των αποθεμάτων του μυϊκού γλυκογόνου, πριν από την έκθεση στο ψύχος, δείχνοντας ότι είτε το λίπος μπορεί επαρκώς να τροφοδοτήσει την θερμογένεση που προκαλείται από το ψύχος, υπό συνθήκες μειωμένου μυϊκού γλυκογόνου, ή ότι ένα κρίσιμο επίπεδο έλλειψης μυϊκού γλυκογόνου δεν επιτεύχθηκε. Δεν ήταν δυνατό να διαφοροποιηθούν οι θερμικές αντιδράσεις στην έκθεση στο ψύχος, χαμηλώνοντας ταυτόχρονα το μυϊκό γλυκογόνο και τα ελευθέρα

λιπαρά οξέα του πλάσματος, γεγονός που οδήγησε στη πρόταση ότι οι θερμικές και μεταβολικές αντιδράσεις στο ψύχος μπορούν τάχιστα να προσαρμοστούν σε αντισταθμιστική χρησιμοποίηση εναλλακτικών καυσίμων.

Είναι σαφές ότι σε ψυχρά περιβάλλοντα, οι άνθρωποι πρέπει να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά τους, ώστε να ελαχιστοποιήσουν την έκθεση στο ψύχος και να επιτύχουν την ομοιοθερμία. Αν αποτύχουν σε αυτήν την προσπάθεια, οδηγούνται σε ραγδαίες μειώσεις της απόδοσης, ακόμη και στον θάνατο. Το ενεργειακό κόστος της άσκησης υπό συνθήκες ακραίου ψύχους, είναι υψηλότερο, από την εκτέλεση της ίδιας εργασίας υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας.

Η εργασία σε ψυχρό περιβάλλον δεν οδηγεί σε αύξηση των απαιτήσεων σε αλλά θρεπτικά συστατικά, εκτός από την ενέργεια και πιθανό τις αντιοξειδωτικές ουσίες. Η πρόσληψη υδατανθράκων πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψει σε περιόδους μακράς και έντονης εργασίας, αλλά ταυτόχρονα και η πρόσληψη λίπους θα βοηθήσει την ενίσχυση της θερμογένεσης και της προσπάθειας του σώματος να παλέψει την υποθερμία.⁴⁹



EIKONA 4.1⁵⁰ Επίδραση της έκθεσης στο ψύχος στη θερμιδική πηγή των ενεργειακών δαπανών, σε άνδρες συμμετέχοντες κατά την ανάπαυση. 7 συμμετέχοντες εξετέθησαν και σε θερμές (29°C) και σε ψυχρές (10°C) συνθήκες, για 2 ώρες ενώ αναπαύονταν (ντυμένοι με σορτς). Η έκθεση στο κρύο προκάλεσε ένα σωματικό καρδιακό «χρέος» των 825,9 ± 63,3 κιλοτζουλ, ενώ η έκθεση στη ζέστη παρήγαγε ένα καρδιακό όφελος της τάξης των 92,4 ± 19,2 κιλοτζουλ. Οι ενεργειακές δαπάνες στο ψύχος ήταν 1519,4 ± 150,6, ενώ στη ζέστη ήταν 617,8 ± 28.

ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΤΟΥ ΛΙΠΟΥΣ.

Η προπόνηση αντοχής μπορεί εμφανώς να αυξήσει την οξείδωση του λίπους, κατά τη διάρκεια της υπομέγιστης άσκησης. Τα στοιχεία από διατομικές και διαχρονικές μελέτες έχουν υποστηρίξει την έννοια ότι η προπόνηση, μειώνει την εμπιστοσύνη σε υδατάνθρακες ως πηγή ενέργειας, και με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η οξείδωση του λίπους, κατά τη διάρκεια της υπομέγιστης άσκησης. Οι περισσότερες προπονητικές μελέτες έχουν διεξαχθεί σε νεαρά αδύνατα αρσενικά, αλλά η παρατηρηθείσα αύξηση στην οξείδωση του λίπους, δεν είναι διαπιστωμένη σε αυτή τη συγκεκριμένη ομάδα. Παρόμοιες παρατηρήσεις έχουν γίνει σε γυναίκες, ηλικιωμένα άτομα, και παχύσαρκα άτομα. Περαιτέρω αυξήσεις στην οξείδωση του λίπους με την προπόνηση, έχουν αναφερθεί όταν συγκρίθηκαν προπονημένα και απροπόνητα άτομα, στις ίδιες απόλυτες και σχετικές εντάσεις άσκησης. Αυτό παρουσιάστηκε σε μια μελέτη στην οποία μετρήθηκε η χρήση υποστρωμάτων σε μια ομάδα 8 απροπόνητων γυναικών πριν και μετά από ένα προπονητικό πρόγραμμα 12 εβδομάδων. Ο μέγιστος όγκος οξυγόνου των συμμετεχόντων αυξήθηκε κατά 20% μετά από την προπόνηση. Πριν την προπόνηση, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν μια δοκιμή στο 65% του μέγιστου όγκου οξυγόνου και μετά από την προπόνηση, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν δύο πρόσθετες δοκιμές, μια στον ίδιο απόλυτο φόρτο εργασίας με τη δοκιμή πριν την προπόνηση και μια στην ίδια σχετική ένταση. Ο συντελεστής αναπνευστικής ανταλλαγής, μειώθηκε σημαντικά από 0,91 έως 0,86 στην ίδια απόλυτη ένταση και μειώθηκε σε 0,88 στην ίδια σχετική ένταση.

Οι διαφορές που βρέθηκαν στην οξείδωση του λίπους, στην ίδια σχετική ένταση άσκησης μπορούν να εξηγηθούν εν μέρει από το γεγονός ότι τα προπονημένα άτομα αθλούνται σε ένα υψηλότερο απόλυτο ποσοστό εργασίας. Στην διάρκεια ποδηλασίας στ 62% του μέγιστου όγκου οξυγόνου, οι συγκρατημένοι προπονημένοι ποδηλάτες είχαν μικρότερα ποσοστά οξείδωσης του λίπους.

Παρόλη την σχετικά μεγάλη διαφορά στο απόλυτο ποσοστό οξείδωσης του λίπους, το ελάχιστο ποσό καθημερινής δραστηριότητας ή προπόνησης που απαιτείται για τη σχετική συμβολή της οξείδωσης του λίπους, στις συνολικές ενεργειακές δαπάνες προκαλεί μια μετρήσιμη αλλαγή στην οξείδωση του λίπους.

Καμία μελέτη δεν έχει ερευνήσει τις προσαρμογές που οδηγούν στην αυξανόμενη οξειδωση του λίπους. Τα αποτελέσματα της έντασης και της διάρκειας των προπονητικών προγραμμάτων για την αύξηση της μιτοχονδριακής πρωτεΐνης και, κατά συνέπεια, στην δραστηριοποίηση της οξειδωσης του λίπους, πρέπει να ερευνηθούν για να προβλεφθούν τέτοιες αλλαγές.

Λιπόλυση λιπώδους ιστού και παράδοση Λιπαρών Οξέων στους μύες.

Αν και είναι ελκυστικό να σκεφτεί κανείς ότι η προπόνηση αντοχής θα αύξανε τη λιπόλυση, η συνολική σωματική ή περιφερειακή λιπόλυση, δεν εμφανίζεται να επηρεάζεται σε μεγάλη έκταση. Αυτό έχει παρουσιαστεί για νεαρά και ηλικιωμένα άτομα. Στις μελέτες ατόμων, καμία διαφορά στην λιπολυτική δραστηριότητα δεν ανιχνεύθηκε μεταξύ των προπονημένων και απροπόνητων συμμετεχόντων.³³

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Σχέση και αλληλεπίδραση διαιτητικού λίπους και λίπους σώματος

Η πλεονάζουσα πρόσληψη ενέργειας από οποιαδήποτε πηγή καυσίμων μπορεί να είναι αντιπαραγωγική. Οι υπερβολικές ποσότητες οποιουδήποτε συστατικού της τροφής μετατρέπονται σε λίπος του σώματος. Οι πλεονάζοντες υδατάνθρακες της διατροφής αρχικά συμπληρώνουν τα αποθέματα γλυκογόνου. Μόλις συμπληρωθούν αυτά τα αποθέματα, οι επιπλέον υδατάνθρακες μετατρέπονται σε τριγλυκερίδια, που αποθηκεύονται στον λιπώδη ιστό. Οι επιπλέον θερμίδες με την μορφή λίπους, μετακινούνται εύκολα στις αποθήκες λίπους του οργανισμού, όπως και οι πλεονάζουσες πρωτεΐνες. Μόλις απαμινωθούν, τα ανθρακούχα υπολείμματα των αμινοξέων μετατρέπονται εύκολα σε λίπος.⁵¹

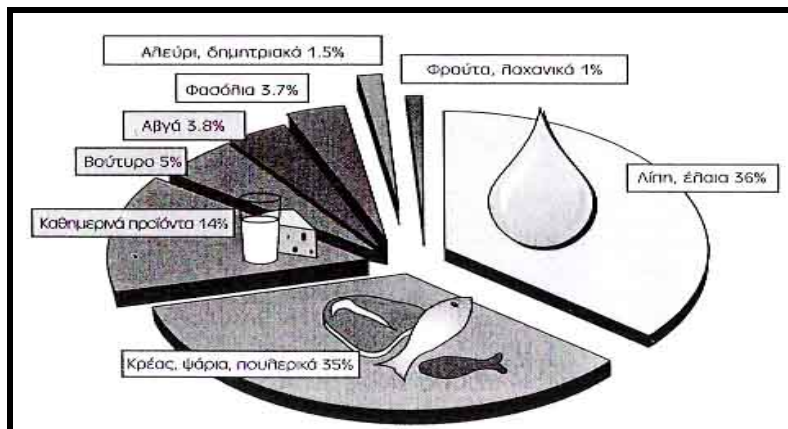
Τα λίπη που καταναλώνουμε με την τροφή, όσα δεν χρησιμοποιηθούν στην διαδικασία παραγωγής ενέργειας και τις άλλες λειτουργικές ανάγκες του οργανισμού, αποθηκεύονται στα λιποκύτταρα, τα οποία αντιπροσωπεύουν στον μέσο άνθρωπο, το 85 % του ενεργειακού αποθεματικού. Τα λιποκύτταρα ξεχωρίζουν σε αυτά που βρίσκονται στον υποδόριο ιστό, δηλαδή κάτω από την επιδερμίδα- η παρουσία τους είναι δυνατόν να προσδιοριστεί και αντιπροσωπεύουν για τον μέσο άνθρωπο περίπου το 50 % του λίπους – και στα λιποκύτταρα που υπάρχουν υποθηκευμένα στο εσωτερικό των μυών.

Το λίπος αυτό που είναι υποθηκευμένο ενδομυϊκά, είναι άμεσα διαθέσιμο για παραγωγή ενέργειας, ενώ αυτό που είναι υποθηκευμένο στα λιποκύτταρα του υποδορίου ιστού, πρέπει πρώτα να μεταφερθεί στους ιστούς με την βοήθεια του αίματος, πριν χρησιμοποιηθεί στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας. Το 98 % του υποθηκευμένου λίπους, υπάρχει με τη μορφή τριγλυκεριδίων.

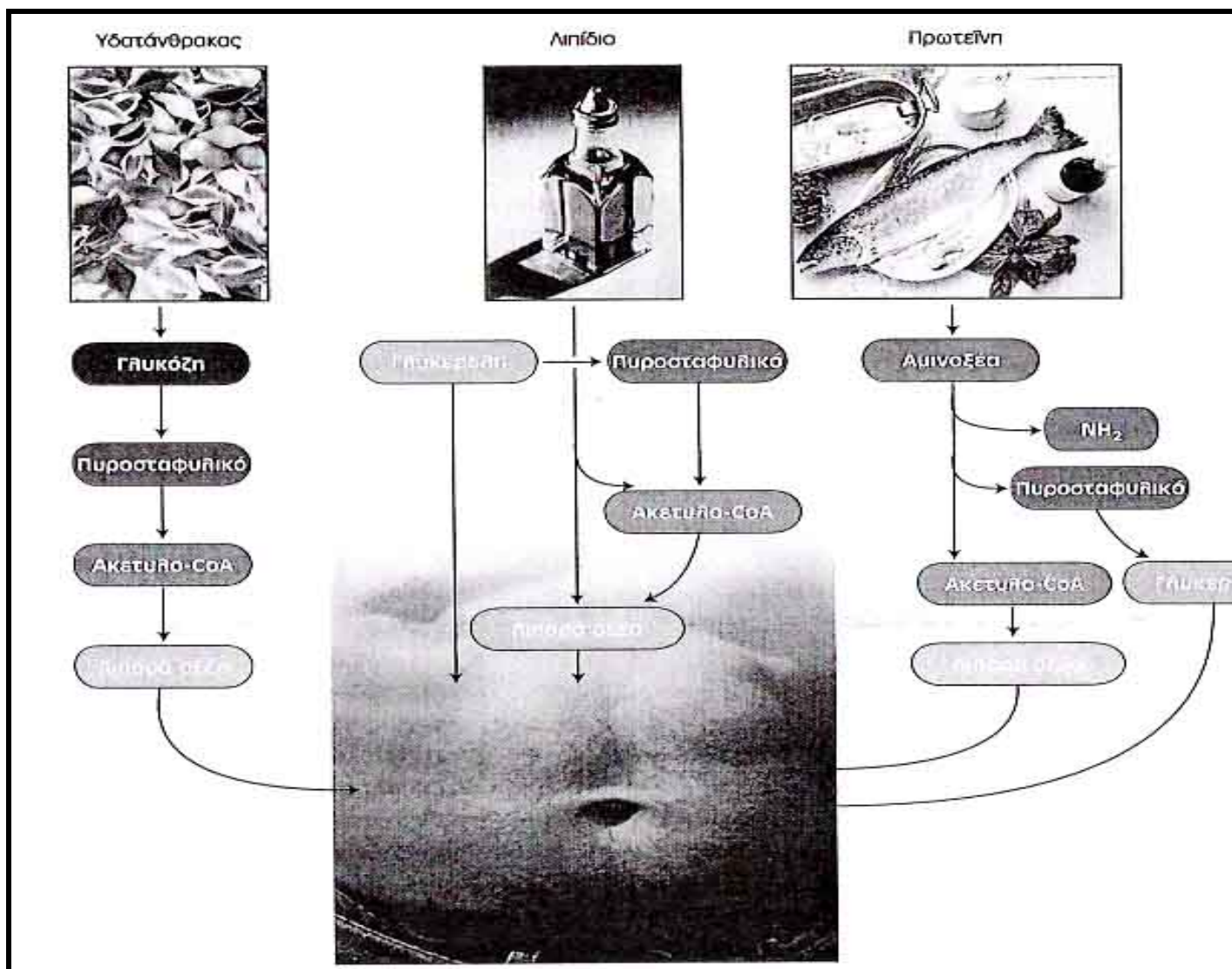
Η ορμόνη ινσουλίνη συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία αποθήκευσης του λίπους στα λιποκύτταρα. Το σώμα του ενήλικα περιέχει περί τα 25 δισεκατομμύρια λιποκύτταρα. Το λίπος που είναι υποθηκευμένο στα λιποκύτταρα, πριν συμμετάσχει στην διαδικασία παραγωγής ενέργειας, πρέπει πρώτα να μεταφερθεί στους ιστούς, όπου η ενέργεια, είναι αναγκαία.⁵⁸

Οι διεθνείς διατροφικές οδηγίες, περιλαμβάνουν συστάσεις, που αναφέρουν ότι η πρόσληψη λίπους πρέπει να μειωθεί. Τέτοιες συστάσεις, είναι πιο σημαντικές από εκείνες που προτείνουν την μείωση των επιπέδων του σωματικού λίπους.

Διαφορές μελέτες, δεν έχουν αναφέρει κάποια σύνδεση μεταξύ του συνολικού αριθμού των προσλαμβανομένων θερμίδων και του σωματικού λίπους. Αντίθετα, το σωματικό λίπος, σχετίστηκε με το ποσό του προσλαμβανομένου από την τροφή λίπους, με υψηλότερα επίπεδα σωματικού λίπους, να έχουν βρεθεί σε εκείνους με τις υψηλότερες προσλήψεις λίπους. Σε άλλες μελέτες αναφέρεται ότι οι επιπλέον θερμίδες από υδατάνθρακες πηγές, είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν αυξήσεις στα αποθέματα του σωματικού λίπους, σε σχέση με τις επιπλέον θερμίδες που προσλήφθηκαν από υψηλή κατανάλωση λίπους.⁵²



Σχήμα 5.1 Συμμετοχή διαφόρων τροφικών ομάδων στην ποσότητα του λίπους που περιλαμβάνεται σε μια τυπική Δυτικού τύπου διατροφή⁵³



Εικόνα 5.2. Η μεταβολική πορεία της πλεονάζουσας ενέργειας της τροφής⁵⁴

Συνιστώμενη Πρόσληψη Λιπιδίων

Σε τεχνολογικά αναπτυγμένες κοινωνίες, το προσλαμβανόμενο από τις τροφές λίπος, αντιστοιχεί περίπου στο 38% της συνολικής πρόσληψης θερμίδων. Παρόλο που δεν έχουν καθοριστεί ακόμη τα όρια για τη βέλτιστη πρόσληψη λίπους, είναι γενικά παραδεκτό στην ιατρική κοινότητα, ότι για να επιτύχουμε καλή υγεία δεν θα πρέπει η ημερήσια πρόσληψη λίπους να μην ξεπερνά το 30% της ημερήσιας ποσότητας ενέργειας. Από αυτή την ποσότητα του λίπους το 70% του λίπους θα πρέπει να είναι ακόρεστα λιπαρά οξέα.

Όσον αφορά τη χοληστερόλη, η Αμερικανική Καρδιολογική Εταιρεία, συνιστά ότι το μέγιστο όριο ημερήσιας κατανάλωσης χοληστερόλης δε θα πρέπει να ξεπερνά τα 300 मिलिग्रामμάρια. Η ποσότητα αυτή είναι ισοδύναμη με ημερήσια πρόσληψη 100 मिलिग्रामμάρια ανά 1000 θερμίδες τροφής.

Τριακόσια μιλιγραμμάρια χοληστερόλης περίπου περιέχονται στον κρόκο ενός μεγάλου αυγού. Η ημερήσια πρόσληψη χοληστερόλης πρέπει να περιορίζεται σε 150 έως 200 μιλιγραμμάρια για λόγους υγείας.⁵⁵

Η υπερβολική λήψη πρωτεϊνών οδηγεί σε συσσώρευση λίπους. Οι αθλητές και πολλοί άλλοι πιστεύουν ότι η λήψη πρωτεϊνικών συμπληρωμάτων διατροφής προσδίδει πλεονεκτήματα στους μυς. Οι πλεονάζουσες πρωτεΐνες που καταναλώνονται πέραν από την ποσότητα που χρειάζεται ο οργανισμός (ποσότητα που επιτυγχάνεται εύκολα με μια καλά ισορροπημένη «φυσιολογική» διαίτα) καταλήγουν σε λίπος! Αν ένας αθλητής θέλει να αυξήσει το λίπος του, η αυξημένη πρόσληψη πρωτεϊνών βοηθά σε αυτή την κατεύθυνση. Το πλεόνασμα πρωτεϊνών δεν βοηθά στη σύνθεση μυϊκού ιστού.⁵⁶

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες

Συνοπτικές και μελλοντικές κατευθύνσεις για έρευνα

Υπάρχει σαφής ένδειξη ότι η επαρκής πρόσληψη υδατανθράκων είναι σημαντική για την αποκατάσταση των αποθεμάτων του γλυκογόνου των μυών, και ότι άλλες διαιτητικές στρατηγικές σχετικές με το συγχρονισμό της πρόσληψης, τον τύπο πηγής των υδατανθράκων ή την προσθήκη άλλων θρεπτικών ουσιών μπορούν είτε άμεσα να ενισχύσουν το ποσοστό αποκατάστασης γλυκογόνου είτε να βελτιώσουν το πρακτικό επίτευγμα των στόχων της πρόσληψης υδατανθράκων. Οι στρατηγικές εκπαίδευσης που εστιάζουν στην αποκατάσταση γλυκογόνου μετά την άσκηση μπορούν να καταστούν σαφέστερες στους αθλητές με την παροχή συστάσεων για την πρόσληψη υδατανθράκων από την άποψη των γραμμαρίων ανά χιλιόγραμμο της σωματικής μάζας, παρά σχετικά με το ποσοστό της διατροφικής ενεργειακής πρόσληψης.

Ο ρόλος συγκεκριμένων στρατηγικών για να ανακτήσουν τα μυϊκά αποθέματα λίπους, που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της άσκησης, είναι ασαφείς αυτή τη στιγμή. Είναι δύσκολο να παρουσιαστεί η επίδραση χρόνιων στρατηγικών της καθημερινής αποκατάστασης των αποθεμάτων του γλυκογόνου των μυών, μέσω των υψηλών προσλήψεων υδατανθράκων, στις ανώτερες προσαρμογές προπόνησης και της απόδοσης με τη χρήση συμβατικών μελετών επέμβασης.

Εντούτοις, τα αποτελέσματα μελετών δείχνουν με σαφήνεια ότι η ενισχυμένη διαθεσιμότητα υδατανθράκων, είναι προς όφελος της ικανότητας και της απόδοσης αντοχής. Αυτό χρησιμεύει ως μια εύλογη βάση για να συνεχιστούν οι συμβουλές στους αθλητές ώστε να καταναλώνουν επαρκείς υδατάνθρακες για την ικανοποίηση των καθημερινών τους αναγκών σε καύσιμα, για τα προπονητικά τους προγράμματα τους, ή τουλάχιστον για να βελτιστοποιηθεί η πρόσληψη υδατανθράκων μέσα σε σχέδια κατανάλωσης, που να ικανοποιούν τις ενεργειακές ανάγκες τους και άλλες πτυχές της υγιούς διατροφής.

Σημαντικές περιοχές μελλοντικής έρευνας περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Καταστάσεις όπου επαρκείς υδατάνθρακες μπορούν να καταναλωθούν:
 - Σε ποια πρόσληψη υδατανθράκων βρίσκεται το κατώτατο όριο για την αποθήκευση γλυκογόνου που επιτυγχάνεται στις πρώτες 4 ώρες της αποκατάστασης μετά την άσκηση;
 - Υπάρχει ένα πλεονέκτημα κατά τη διάρκεια των πρώτων 4 ωρών της αποκατάστασης στην κατανάλωση υδατανθράκων υπό μορφή συχνών πρόχειρων φαγητών – σνακς, παρά έναν ενιαίο «όγκο» γεύματος ή σε μεγάλα γεύματα;
 - Είναι τα υδατανθρακικά τρόφιμα με χαμηλό Γλυκαιμικό Δείκτη- λιγότερο κατάλληλα για την αποκατάσταση μετά την άσκηση, ιδιαίτερα όταν οι διαθέσιμοι υδατάνθρακες λαμβάνονται βάσει υπολογισμών; Ποιος είναι ο σχετικός μηχανισμός; Μέχρι ποιο σημείο μπορούν να περιληφθούν στα γεύματα αποκατάστασης;
2. Καταστάσεις όπου ο ενεργειακός περιορισμός προκαλεί την λιγότερο βέλτιστη πρόσληψη υδατανθράκων:
 - . Υπάρχει οποιαδήποτε διαφορά στην αποθήκευση γλυκογόνου από μια λιγότερο βέλτιστη πρόσληψη υδατανθράκων από την άποψη του χειρισμού:
 - * Συχνότητα της πρόσληψης;
 - * Υψηλού εναντίον χαμηλού Γλυκαιμικού Δείκτη υδατάνθρακες για τον χειρισμό της απάντησης της ινσουλίνης στα γεύματα;
 - * προσθήκη άλλων θρεπτικών ουσιών (ιδιαίτερα πρωτεϊνικών); ⁵⁷

Βιβλιογραφία

- 1. Benardot, D., Sports nutrition second edition 1993**
- 2. Burke, L., and Deakin, V., Clinical sports nutrition, 2000**
- 3. Manore, M., and Thompson , J., Sports nutrition for health and performance 2000**
- 4. McArdle W., Katch F. & Katch V., Exercise Physiology, 2001**
- 5. Wolinsky, I., Nutrition in exercise and sports third edition 1998**
- 6. Παύλου, Ν., Διατροφή – Φυσιολογία και Άθληση, 1992**
- 7. Φαχαντίδου Α., γασαπίδου Ν., Διατροφή για Υγεία, Άσκηση & Αθλητισμό, 2001**
- 8. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης 1998**
- 9. Burke, L.M., Kiens, B., and Ivy, J.L., Carbohydrates and fat for training and recovery, Journal of Sport Sciences, No.22, pp. 15-30, 2004**
- 10. Hargreaves, M., Hawley, J.A., and Jeukendrup, A., Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: effects on metabolism and performance, Journal of Sport Sciences, No.22, pp. 31-38, 2004**
- 11. Lambert, E.V., et al, Nutritional strategies for promoting fat utilization and delaying the onset of fatigue during prolonged exercise, Journal of Sport Sciences, No.15, pp. 315-324, 1997**
- 12. Juul Achten, PhD, and Asker E. Jeukendrup, PhD, Optimizing Fat Oxidation Through Exercise and Diet, From the School of Sport and Exercise Sciences, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham United Kingdom**

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

1. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης ,1998, σελ.283-284
2. Φαχαντίδου Α., χασαπίδου Ν., Διατροφή για Υγεία, Άσκηση & Αθλητισμό, 2001, σελ.. 343-344
3. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.. 288
4. Φαχαντίδου Α., χασαπίδου Ν., Διατροφή για Υγεία, Άσκηση & Αθλητισμό, 2001, σελ.. 68-69
5. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης, 1998, σελ.. 177
6. McArdle W., Katch F. & Katch V., Exercise Physiology, 2001, σελ.. 347
7. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ. 161
8. McArdle W., Katch F. & Katch V., Exercise Physiology, 2001, σελ. . 362
9. McArdle W., Katch F. & Katch V., Exercise Physiology, 2001, σελ.. 361-362
10. McArdle W., Katch F. & Katch V., Exercise Physiology, 2001, σελ.. 348
11. Benardot, D., Sports nutrition second edition 1993 ,. σελ. 6
12. Benardot, D., Sports nutrition second edition 1993, σελ. 8
13. Παύλου, Ν., Διατροφή – Φυσιολογία και Άθληση, 1992, σελ.. 81
14. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.. 82-85
15. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.. 86-87
16. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης, 1998, σελ.87
17. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.86- 88.
18. Παύλου, Ν., Διατροφή – Φυσιολογία και Άθληση, 1992 σελ. 85-86
19. . Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης, 1998, σελ. 167
20. Manore, M., and Thompson , J., Sports nutrition for health and performance 2000 ,σελ.83
21. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης, 1998, σελ.. 89
22. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.161
23. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.163
24. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.164
25. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.. 160 – 164
26. Burke, L.M., Kiens, B., and Ivy, J.L., Carbohydrates and fat for training and recovery, Journal of Sport Sciences, No.22, σελ. 15-30, 2004

27. Juul Achten, PhD, and Asker E. Jeukendrup, PhD, Optimizing Fat Oxidation Through Exercise and Diet, From the School of Sport and Exercise Sciences, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham United Kingdom
28. Manore, M., and Thompson , J., Sports nutrition for health and performance 2000, σελ.75
29. Manore, M., and Thompson , J., Sports nutrition for health and performance 2000, σελ.79
30. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης , 1998, σελ.. 168
31. Lambert, E.V., et al, Nutritional strategies for promoting fat utilization and delaying the onset of fatigue during prolonged exercise, Journal of Sport Sciences, No.15, σελ. 315-324, 1997
32. Juul Achten, PhD, and Asker E. Jeukendrup, PhD, Optimizing Fat Oxidation Through Exercise and Diet, From the School of Sport and Exercise Sciences, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham United Kingdom
33. Juul Achten, PhD, and Asker E. Jeukendrup, PhD, Optimizing Fat Oxidation Through Exercise and Diet, From the School of Sport and Exercise Sciences, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham United Kingdom
34. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , Φυσιολογία της άσκησης, 1998, σελ.. 164
35. Παύλου, Ν., Διατροφή – Φυσιολογία και Άθληση, 1992 s. 94
36. Παύλου, Ν., Διατροφή – Φυσιολογία και Άθληση, 1992 σελ.. 88, 89, 90,93
37. Lambert, E.V., et al, Nutritional strategies for promoting fat utilization and delaying the onset of fatigue during prolonged exercise, Journal of Sport Sciences, No.15, pp. 315-324, 1997
38. Manore, M., and Thompson , J., Sports nutrition for health and performance 2000 σελ.. 91-93
39. Lambert, E.V., et al, Nutritional strategies for promoting fat utilization and delaying the onset of fatigue during prolonged exercise, Journal of Sport Sciences, No.15, pp. 315-324, 1997
40. Παύλου, Ν., Διατροφή – Φυσιολογία και Άθληση, 1992
41. Hargreaves, M., Hawley, J.A., and Jeukendrup, A., Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: effects on metabolism and performance, Journal of Sport Sciences, No.22, pp. 31-38, 2004
42. Burke, L.M., Kiens, B., and Ivy, J.L., Carbohydrates and fat for training and recovery, Journal of Sport Sciences, No.22, pp. 15-30, 2004

43. Hargreaves, M., Hawley, J.A., and Jeukendrup, A., Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: effects on metabolism and performance, *Journal of Sport Sciences*, No.22, pp. 31-38, 2004
44. Manore, M., and Thompson, J., *Sports nutrition for health and performance 2000* σελ. 92-93
45. Burke, L., and Deakin, V., *Clinical sports nutrition, 2000* σελ.. 257-258
46. Manore, M., and Thompson, J., *Sports nutrition for health and performance 2000*
47. Παύλου, Ν., *Διατροφή – Φυσιολογία και Άθληση*, 1992, σελ 80
48. Wolinsky, I., *Nutrition in exercise and sports third edition 1998* σελ.. 603
49. Wolinsky, I., *Nutrition in exercise and sports third edition 1998* σελ. 604- 607
50. Wolinsky, I., *Nutrition in exercise and sports third edition 1998* σελ.606
51. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , *Φυσιολογία της άσκησης* , 1998, σελ.. 168
52. Burke, L., and Deakin, V., *Clinical sports nutrition, 2000* σελ.. 112-113
53. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , *Φυσιολογία της άσκησης*, 1998, σελ 86
54. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , *Φυσιολογία της άσκησης*, 1998, σελ.169
55. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , *Φυσιολογία της άσκησης* , 1998, σελ.. 88
56. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , *Φυσιολογία της άσκησης* , 1998, σελ.. 168
57. Burke, L.M., Kiens, B., and Ivy, J.L., Carbohydrates and fat for training and recovery, *Journal of Sport Sciences*, No.22, pp. 15-30, 2004
58. Κλεισούρας Β. τόμος Ι , *Φυσιολογία της άσκησης*, 1998, σελ. 86