



Χρήση Καυσίμων κατά την Άσκηση

Marten Czamanske/Shutterstock.com

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5

Ως "Προθέρμανση"

Τι γνωρίζετε ήδη για τη χρήση καυσίμων κατά την άσκηση;

- Χρησιμοποιώντας το παρακάτω Προκαταρκτικό Τεστ ή τα διαδικτυακά εργαλεία αξιολόγησης του Κεφαλαίου 5 μπορείτε να δοκιμάσετε τις γνώσεις σας. Το υλικό του μαθήματος και τα συνοδευτικά βοηθήματα αυτού του βιβλίου διατίθενται στο www.cengagebrain.com. Λεπτομέρειες στον Πρόλογο.
- Χρειάζεστε κι άλλη επανάληψη; Οι διαδικτυακές αξιολογήσεις, παρουσιάσεις με εικόνες και προγράμματα εκμάθησης του Κεφαλαίου 5 θα σας βοηθήσουν να μελετήσετε.

Προκαταρκτικό Τεστ

1. Ο λόγος του εκπνεόμενου CO_2 προς το εισπνεόμενο O_2 μπορεί να χρησιμεύσει στον υπολογισμό της οξειδωσης των _____ και των _____.
2. Σύμφωνα με το νόμο του Fick, η ποσότητα μίας ουσίας που προσλαμβάνεται από την κυκλοφορία ή απελευθερώνεται εντός αυτής ανά μονάδα χρόνου ισούται με το _____ επίπεδο της ουσίας μείον το γινόμενο του _____ επιπέδου της επί τη ροή του αίματος.
3. Σε κατάσταση νηστείας, τα λίπη κινητοποιούνται από το _____ ιστό και η γλυκόζη κινητοποιείται από το _____.
4. Η συγκέντρωση γλυκόζης στο αρτηριακό αίμα των υγιών ατόμων υπόκειται σε αυστηρή _____.
5. Ποια είναι η μεγαλύτερη «δεξαμενή» αποθηκευμένων καυσίμων;
6. Τα λιπαρά οξέα ορίζονται με βάση το μήκος της _____ και τον αριθμό των _____ δεσμών.
7. Σε κατάσταση ανάπαυσης, η γλυκόζη χρησιμοποιείται κυρίως στον _____ ενώ κατά την άσκηση στους _____.
8. Ενέργεια μπορεί να παραχθεί από τη γλυκόζη τόσο με όσο και χωρίς _____.
9. Τα αμινοξέα συνήθως συνεισφέρουν μόνο κατά ένα μικρό ποσοστό στον _____.
10. Η ενέργεια για άσκηση μεγάλης διάρκειας προέρχεται κυρίως από τα _____ ενώ για άσκηση υψηλής έντασης προέρχεται κυρίως από τους _____.

1. Τ. υδρατθάρκων, λίπων, 2. αρτηριακό, φλεβικό, 3. λιπών, 4. ρυθμίση, 5. τα τριμύδια, 6. ανθράκων, 7. λιν, 8. οξυγόνο, 9. οξυγόνο, 10. λίπη, υδρατθάρκων.

Τι θα μάθετε στο κεφάλαιο αυτό

- Τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να μετρηθεί στο εργαστήριο η χρήση των καυσίμων
- Τους μηχανισμούς της χρήσης καυσίμων κατά την άσκηση και τους παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση αυτή
 - Τους στόχους της χρήσης καυσίμων σε επίπεδο φυσιολογίας

ΩΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗ!

Κανονικά, ο εργαζόμενος μυς τροφοδοτείται από ένα μείγμα διαφορετικών υποστρωμάτων. Πώς διαφοροποιείται η βέλτιστη σύνθεση καυσίμων ανάλογα με τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης; Πώς η αδυναμία χρήσης συγκεκριμένων καυσίμων μπορεί να περιορίσει την αντοχή στην άσκηση;

Εισαγωγή στη Χρήση Καυσίμων κατά την Άσκηση

Το θεμέλιο της σύγχρονης γνώσης μας για τη χρήση καυσίμων στον οργανισμό έγκειται στο έργο τριών πρωτοπόρων στο πεδίο της χημείας: Τζόζεφ Πρίστλεϋ, Αντουάν Λαβουαζιέ και Πιέρ-Σιμόν Λαπλάς. Ο Τζόζεφ Πρίστλεϋ γεννήθηκε στην Αγγλία το 1733. Στην αρχή της ενήλικης ζωής του ήταν θεολόγος. Η πορεία της ζωής του άλλαξε εντυπωσιακά όταν γνώρισε το Βενιαμίν Φραγκλίνο, ο οποίος το 1766 ταξίδεψε στην Αγγλία για να μιλήσει για τα πειράματά του σχετικά με τον ηλεκτρισμό. Ο Πρίστλεϋ, ο οποίος δεν είχε ποτέ παρακολουθήσει κανονικά μαθήματα για τις βασικές επιστήμες, χρησιμοποίησε τις παρατηρήσεις του και το ερευνητικό μυαλό του για να συμπεράνει μέσω της λογικής την ύπαρξη πολλών βασικών χημικών ουσιών. Το 1767 ανακοίνωσε ότι ο άνθρακας (γραφίτης την εποχή εκείνη) ήταν αγωγός του ηλεκτρισμού. Το 1772 και το 1773 ανακοίνωσε ότι τα φυτά κατανάλωναν ένα «βαρύ αέριο» και ότι παρέμεναν ζωντανά παράγοντας «αποφλογισμένο αέρα». Αυτή η παρατήρηση ήταν η πρώτη περιγραφή της διαδικασίας που αργότερα ονομάστηκε *φωτοσύνθεση*.

Ο Αντουάν Λαβουαζιέ εκτελέστηκε δια αποκεφαλισμού το 1794, μετά τη Γαλλική Επανάσταση, επειδή θεωρήθηκε μέλος της γαλλικής αριστοκρατίας. Ο πρόωρος θάνατός του διέκοψε τη ζωή ενός μοναδικά προικισμένου επιστήμονα. Επαλήθευσε πολλές παρατηρήσεις του Πρίστλεϋ και διέψευσε άλλες. Το 1789 δημιούργησε το σύστημα της χημικής ονοματολογίας το οποίο

χρησιμοποιείται σήμερα και αποτελεί τη βάση του περιοδικού πίνακα. Βάσει αυτού του συστήματος ονοματολογίας, ο Λαβουαζιέ ονόμασε το «βαρύ αέριο» του Πρίστλεϋ διοξείδιο του άνθρακα και τον «αποφλογισμένο αέρα» οξυγόνο. Τέλος, ο Λαβουαζιέ διατύπωσε το νόμο διατήρησης της μάζας και ορμώμενος από την επιθυμία του να ταυτοποιήσει όλα τα προϊόντα μίας χημικής αντίδρασης ως ουσίες περιέγραψε το φως και τη θερμότητα που εκλύονται από τις αντιδράσεις ως ουσίες, και τις ονόμασε «φως» και «θερμιδικό» αντίστοιχα.

Το έργο του Πρίστλεϋ και του Λαβουαζιέ ήταν θεμελιώδες για την εξέλιξη του πεδίου του μεταβολισμού των καυσίμων. Το έργο ενός άλλου περίφημου επιστήμονα, του Πιέρ-Σιμόν Λαπλάς, τοποθέτησε αυτά τα ευρήματα στο πλαίσιο της ενεργητικής του μεταβολισμού. Τη δεκαετία του 1780 ο Λαπλάς, εξέχων μαθηματικός και αστροφυσικός, ασχολήθηκε με το ζήτημα της ποσοτικοποίησης της θερμότητας μίας χημικής αντίδρασης. Χρησιμοποίησε ένα θερμιδόμετρο για να υπολογίσει την θερμότητα που εκλύεται ανά μονάδα διοξειδίου του άνθρακα το οποίο παράγεται σε μία αντίδραση που περιλαμβάνει οξυγόνο. Ανακοίνωσε το αποτέλεσμα της μέτρησης σε θερμίδες. Οι ανακαλύψεις αυτές αποτελούν το θεμέλιο της σύγχρονης έρευνας του ενεργειακού μεταβολισμού στον ανθρώπινο οργανισμό σε κατάσταση ανάπαυσης και άσκησης, υγείας και ασθένειας.

Η σύντομη αυτή ιστορική ανασκόπηση της ανακάλυψης του οξυγόνου

ενεργειακά υποστρώματα

Σε ένα βιολογικό σύστημα, είναι τα θρεπτικά στοιχεία που αποδίδουν ATP.

τεχνική αρτηριοφλεβικής διαφοράς

Χρησιμοποιώντας την ποσότητα ενός μορίου η οποία εισέρχεται και εξέρχεται από ένα όργανο ή ιστό για να υπολογίσει την παραγωγή ή έκλυση του μορίου.

ισοτοπικές προσεγγίσεις

Έχουν πολλές εφαρμογές. Τα ισότοπα χρησιμοποιούνται στη φυσιολογία της άσκησης για να υπολογιστεί η ροή των ενεργειακών υποστρωμάτων από και προς το αίμα.

έμμεση θερμιδομετρία

Μία μέθοδος κατά την οποία η οξείδωση υδατανθράκων και λιπών υπολογίζονται από το ρυθμό πρόσληψης O_2 και παραγωγής CO_2 . Η ορθή εφαρμογή αυτής της μεθόδου προϋποθέτει υπολογισμό της οξείδωσης πρωτεϊνών.

ανταλλαγή αερίων στους πνεύμονες

Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί τη μετακίνηση O_2 από το περιβάλλον προς την πνευμονική κυκλοφορία και CO_2 από την πνευμονική κυκλοφορία προς το περιβάλλον. Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει μαζική ροή αέρα προς τους πνεύμονες και διάχυση των αερίων μεταξύ αέρα και αίματος.

μυϊκή βιοψία

Λαμβάνεται ένα δείγμα μυός και εξετάζεται μικροσκοπικά η δομή του.

ελεύθερα λιπαρά οξέα

Λιπαρά οξέα του αίματος που συνδέονται με την αλβουμίνη μέσω μη πολικών αλληλεπιδράσεων.

και του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και της σχέσης τους με την κατανάλωση θερμίδων, έχει σκοπό να σας βοηθήσει να κατανοήσετε ότι κάποιες θεμελιώδεις ανακαλύψεις της φυσιολογίας της άσκησης πραγματοποιήθηκαν από άτομα που θεωρούνται κολοσσοί στο πεδίο της χημείας και της φυσικής, χάρη στο

ότι εφάρμοσαν την επιστημονική μεθοδολογία για την ποσοτικοποίηση της ενέργειας (θερμίδες) που παρέχει στους ανθρώπινους ιστούς ο μεταβολισμός διαφόρων τροφών.

Παραπομπή
HOT LINK

Βλέπε Κεφάλαιο 1 για μία ανασκόπηση της επιστημονικής μεθόδου.

Ποσοτικές Μετρήσεις του Μεταβολισμού Καυσίμων

Οι μηχανισμοί της χρήσης καυσίμων έχουν περιγραφεί λεπτομερώς υπό διάφορες συνθήκες άσκησης και διατροφής, με βάση το τελικό αποτέλεσμα της ανταλλαγής **ενεργειακών υποστρωμάτων** σε έναν ιστό και την ανταλλαγή αερίων μεταξύ πνευμόνων και περιβάλλοντος, με ισοτοπικές μεθόδους που ιχνηλατούν τη μεταβολική διάσπαση συγκεκριμένων υποστρωμάτων και με μυϊκές βιοψίες. Το υλικό που παρουσιάζεται σε αυτό και τα επόμενα κεφάλαια βασίζεται σε όσα έχουμε μάθει από την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων μέτρησης του μεταβολισμού των καυσίμων, όπως η **τεχνική αρτηριοφλεβικής διαφοράς**, οι **ισοτοπικές μέθοδοι**, η **έμμεση θερμιδομετρία** από την **ανταλλαγή αερίων στους πνεύμονες**, και η **μυϊκή βιοψία**.

Τεχνική αρτηριοφλεβικής διαφοράς

Η τελική ισορροπία των ενεργειακών υποστρωμάτων σε έναν ιστό ή ένα μέλος του σώματος υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ της αγγειακής εισροής και εκροής ενός υποστρώματος σε μία συγκεκριμένη περιοχή, εφαρμόζοντας το νόμο του Fick. Μαθηματικά αυτό εκφράζεται ως εξής: $\dot{Q} \times [A] - \dot{Q} \times [V]$, όπου $\dot{Q}$ είναι η ροή του αίματος σε λίτρα ανά λεπτό (L/min) και $[A]$ και $[V]$ είναι η αρτηριακή και φλεβική συγκέντρωση του υποστρώματος αντίστοιχα, σε μικρογραμμομόρια ανά λίτρο ($\mu\text{mol/L}$). Η τεχνική αυτή είναι σχετικά επεμβατική, καθώς απαιτεί ταυτόχρονη δειγματολη-

ψία αρτηριακού και φλεβικού αίματος και μέτρηση της ροής του αίματος στη συγκεκριμένη περιοχή. Σκανδιναβοί ερευνητές έχουν εφαρμόσει ευρέως αυτήν την τεχνική για να περιγράψουν τη χρήση των υποστρωμάτων κατά την άσκηση.

Ισοτοπικές μέθοδοι

Τα ισότοπα ενός συγκεκριμένου στοιχείου έχουν πανομοιότυπες χημικές ιδιότητες αλλά ελαφρώς διαφορετικές φυσικές ιδιότητες. Έτσι, με τη βοήθεια εργαστηριακών μεθόδων, μπορούν να διακριθούν από την κοινή μορφή τους. Για τα περισσότερα στοιχεία, έχουν ανακαλυφθεί τόσο σταθερά όσο και ασταθή (ραδιενεργά) ισότοπα. Συγκεκριμένα αμινοξέα, υδατάνθρακες και **ελεύθερα λιπαρά οξέα (FFA)** μπορούν να συντεθούν και να χορηγηθούν ενδοφλεβίως ή να ληφθούν από του στόματος για να ιχνηλατηθεί η μετακίνηση αυτών των υποστρωμάτων εντός και εκτός του αίματος και ο μεταβολισμός τους στους ιστούς. Οι δύο κύριες εφαρμογές των ισωτόπων στη φυσιολογία της άσκησης είναι (α) η ιχνηλάτηση της εισροής και εκροής ενός υποστρώματος ή μεταβολίτη προς και από τον αγγειακό χώρο, και (β) η παρακολούθηση της μετατροπής ενός υποστρώματος στα διάφορα στάδια της μεταβολικής οδού μέχρι το τελικό προϊόν. Οι ισοτοπικές μέθοδοι μπορούν να συνδυαστούν με τις μεθόδους αρτηριοφλεβικής διαφοράς για παρακολούθηση μίας μεταβολικής οδού

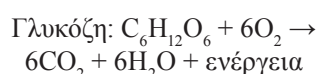


σε έναν συγκεκριμένο ιστό. Η αδυναμία των ισοτοπικών μεθόδων είναι η παραδοχή ότι η κατανομή και η κάθαρση του ενδογενούς μορίου είναι ίδιες με εκείνες του ισότοπου.

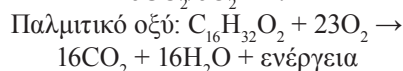
Έμμεση θερμιδομετρία από την ανταλλαγή αερίων στους πνεύμονες

Η αποβολή CO_2 και πρόσληψη O_2 από τους πνεύμονες μετρούνται για να υπολογιστεί η οξείδωση υδατανθράκων και λιπιδίων και η κατανάλωση ενέργειας βάσει των θερμιδομετρικών ιδιοτήτων αυτών των συστατικών. Η στοιχειομετρία του παραγόμενου CO_2 και του καταναλούμενου O_2 στην κυτταρική οξείδωση των υδατανθράκων και λιπιδίων αντανακλάται, σε συνθήκες σταθερής κατάστασης, στην ανταλλαγή αερίων στους πνεύμονες. Για τον υπολογισμό της χρήσης υδατανθράκων και λιπιδίων χρησιμοποιείται ο λόγος του παραγόμενου CO_2 προς το καταναλούμενο O_2 (αναπνευστικό πηλίκιο, respiratory quotient, RQ). Τα κιλοτζάουλ (kJ) εκλυόμενης ενέργειας ανά λίτρο καταναλούμενου O_2 για τους υδατάνθρακες (15,44 kJ ανά γραμμάριο γλυκόζης) και τα λι-

πίδια (39,12 kJ ανά γραμμάριο λίπους) χρησιμοποιούνται ως σταθερές για τον υπολογισμό της δαπανώμενης ενέργειας. Η βέλτιστη τιμή των σταθερών που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο των σακχάρων και των λιπών που οξειδώνονται. Οι σταθερές αυτές μπορούν επίσης να εκφραστούν σε θερμίδες ή χιλιοθερμίδες, όπως τις όρισε ο Λαπλός. Κάθε χιλιοθερμίδα αντιστοιχεί περίπου σε 4,185 kJ. Η βασική στοιχειομετρία της γλυκόζης και ενός αντιπροσωπευτικού FFA (παλμιτικό οξύ) είναι:



Επομένως το RQ της γλυκόζης είναι:
 $6\text{CO}_2/6\text{O}_2 = 1$.



Επομένως το RQ του παλμιτικού οξέος είναι: $16\text{CO}_2/23\text{O}_2 = 0,696$.

Η έμμεση θερμιδομετρία έχει το πλεονέκτημα ότι δεν είναι επεμβατική, καθώς δεν προϋποθέτει τη δειγματοληψία αίματος ή ιστών. Οι μαθηματικοί υπολογισμοί της δαπανώμενης ενέργειας και της οξείδωσης του υποστρώματος προϋποθέτουν μόνο την εκτίμηση της πρωτεϊνικής οξείδωσης. Ο συνήθης τρόπος εκτίμησης είναι μέσω της έκκρισης αζώτου στα ούρα. Η ακρίβεια αυτής της τεχνικής περιορίζεται αν το CO_2 που παράγεται στο κύτταρο δεν αποβάλλεται από τους πνεύμονες (αν π.χ. χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα σε άλλες οδούς ή αποθηκεύεται στον οργανισμό με τη μορφή διττανθρακικών). Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου περιορίζεται επίσης από την οξέωση και τον υπεραερισμό.

Παραπομπή HOT LINK

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το αναπνευστικό πηλίκιο (RQ) και το πηλίκιο αναπνευστικής ανταλλαγής αερίων ανατρέξτε στο Κεφάλαιο 10.

Μυϊκή βιοψία

Τα δείγματα μυϊκής βιοψίας λαμβάνονται με μία λεπτή βελόνα, συνήθως από τον έξω πλατύ μηριαίο. Μπορούν

να πραγματοποιηθούν διαδοχικές βιοψίες και να εξεταστούν για τυχόν μεταβολές του γλυκογόνου ή των μεταβολιτών στο μυ με το πέρασμα του χρόνου. Η ρύθμιση των μεταβολικών οδών μπορεί να αξιολογηθεί από το δείγμα της βιοψίας εξετάζοντας την έκφραση ή την ομοιοπολική μετατροπή (covalent modification) ενός ενζύμου. Οι μυϊκές βιοψίες μας έχουν δώσει σημαντικές πληροφορίες για το μεταβολισμό της άσκησης και τις αθλητικές επιδόσεις. Η τεχνική αυτή έχει δυο περιορισμούς: 1. είναι επεμβατική και 2. η αξιολόγηση των δράσεων του ενζύμου πραγματοποιείται έξω από το φυσικό υποκυτταρικό περιβάλλον του.

Εκτός από τις τεχνικές που περιγράψαμε προηγουμένως, για τη μελέτη του μεταβολισμού στη διάρκεια της άσκησης ή μετά από αυτή έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί φασματοσκοπικές μέθοδοι. Οι εφαρμογές τους ήταν πολύ λιγότερες, εξαιτίας της εξελικτικής φύσης της τεχνολογίας, του ακριβού εξοπλισμού και της ανάγκης για ελαχιστοποίηση των πλασματικών ευρημάτων κίνησης (artifacts) στα φάσματα. Η μέθοδος

επιλογής εξαρτάται από τα υποστρώματα και τις οδούς που συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον, τις συνθήκες άσκησης και το βαθμό επεμβατικότητας που επιτρέπεται ή δικαιολογείται σε ένα πείραμα. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι όλες οι μέθοδοι αξιολόγησης του μεταβολισμού είναι πιο αξιόπιστες όταν ο οργανισμός βρίσκεται σε δυναμική σταθερή κατάσταση, στην οποία οι συγκεντρώσεις υποστρωμάτων και προϊόντων είναι σχετικά σταθερές.

Παραπομπή HOT LINK

Δείτε τον ιστότοπο του Κέντρου Νευρομυϊκών Ασθενειών του Πανεπιστημίου της Ουάσιγκτον <http://www.neuro.wustl.edu/neuromuscular/lab/mbiopsy.htm/> για περισσότερες πληροφορίες.

Ποιες μέθοδοι θα ήταν πιο αποτελεσματικές για τη μελέτη της μεταβολικής ρύθμισης του ήπατος κατά την άσκηση;

Τρεις Αρχές της Χρήσης Υποστρωμάτων κατά την Άσκηση

Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες της άσκησης καθιστούν αναγκαία την ταχύτερη ροή των καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ATP (τριφωσφορικής αδενοσίνης) από τα σημεία αποθήκευσης του οργανισμού προς τις ενεργοπαραγωγές μεταβολικές οδούς στο συστελλόμενο μυ. Η συμβολή κάθε υποστρώματος (υδατάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες) στις μεταβολικές ανάγκες του ενεργού μυός εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του ατόμου (π.χ. φυσική κατάσταση, διατροφική κατάσταση, προβλήματα υγείας) και τις συνθήκες άσκησης (π.χ. μεγάλο υπό-

μετρο, ακραίες θερμοκρασίες). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση καυσίμων κατά την άσκηση συνοψίζονται στον Πίνακα 5.1

Οι σημαντικότεροι παράγοντες καθορισμού του τύπου και της ποσότητας των καυσίμων που χρησιμοποιούνται είναι η διάρκεια και η ένταση της άσκησης. Η επίδραση αυτών των δύο βασικών μεταβλητών της άσκησης είναι τέτοια που όταν αυξάνεται η διάρκεια της άσκησης σε ήπια έως μέτρια ένταση χρησιμοποιείται περισσότερο λίπος, ενώ σε άσκηση υψηλότερης έντασης χρησιμοποιούνται περισσότεροι υδατάνθρακες. Ο μεταβολισμός των υποστρωμάτων κατά την άσκηση έχει τρεις στόχους:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταβολική απόκριση στην άσκηση

- Ένταση
- Διάρκεια
- Φυσική κατάσταση
- Τύπος άσκησης
- Συγκεκριμένη παθολογία
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες
- Διατροφικοί παράγοντες

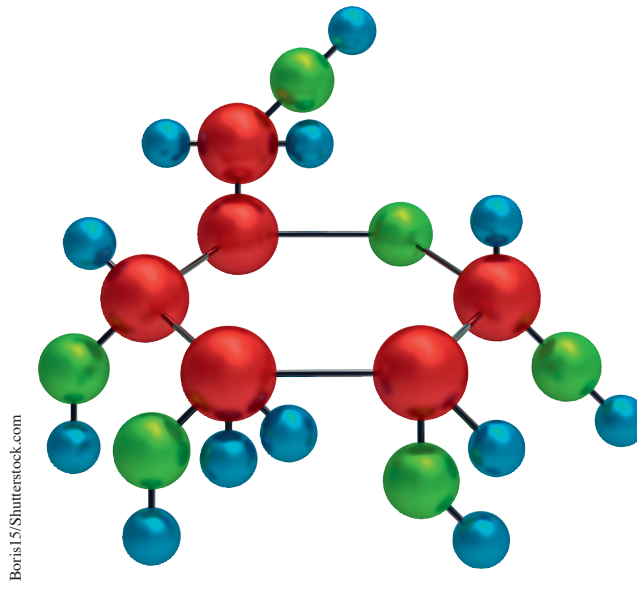
© Cengage Learning 2013

1. Διατήρηση της ομοιόστασης της γλυκόζης
2. Μεταβολισμός του πιο αποδοτικού υποστρώματος
3. Εξοικονόμηση του μυϊκού γλυκογόνου

Η αποτυχία επίτευξης οποιουδήποτε από τους τρεις αυτούς στόχους θα επηρεάσει την παραγωγή έργου, οδηγώντας τελικά σε αδυναμία συνέχισης της άσκησης.

Διατήρηση της ομοιόστασης της γλυκόζης

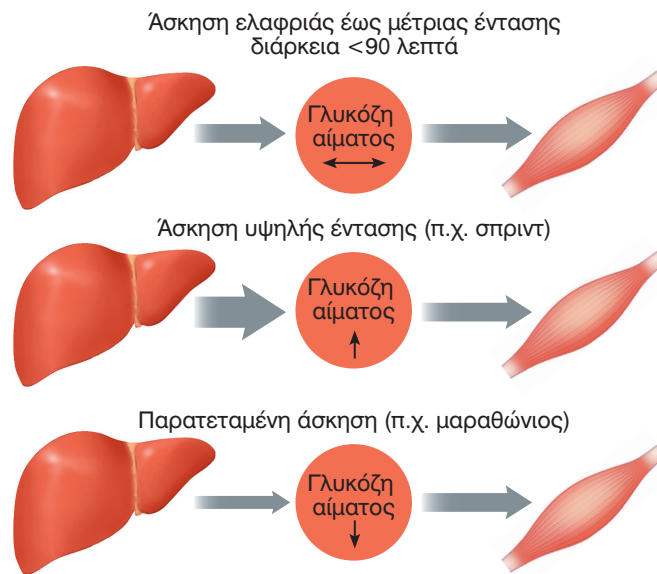
Ο πρώτος στόχος του μεταβολισμού των υποστρωμάτων είναι η διατήρηση της ομοιόστασης της γλυκόζης. Ο βασικός λόγος γι' αυτό είναι ότι ο εγκέφαλος βασίζεται στο μεταβολισμό της γλυκόζης για ενέργεια, εκτός αν συντρέχουν ασυνήθιστες συνθήκες. Επομένως η γλυκόζη αίματος πρέπει να ρυθμίζεται μέσα σε στενά όρια. Η άσκηση αποτελεί πρόκληση για το σύστημα ελέγχου που διατηρεί σταθερά τα επίπεδα γλυκόζης αίματος. Το Εργαστήριο Κόπωσης του Χάρβαρντ αποτελούσε κορυφαίο κέντρο στη μελέτη της άσκησης τη δεκαετία του 1930. Εκεί αποδείχθηκε για πρώτη φορά η πολυπλοκότητα αυτού του συστήματος ελέγχου. Ο καθηγητής D. B. Dill και οι συνεργάτες του απέδειξαν ότι παρά τη σημαντική αύξηση της οξειδωσης των υδατανθράκων, η ομοιόσταση της γλυκόζης αίματος διατηρείται γενικά σταθερή στα υγιή άτομα κατά την άσκηση



Boris15/Shutterstock.com

ση ελαφριάς έως μέτριας έντασης. Το συμπέρασμα από τις μελέτες αυτές είναι ότι ο ρυθμός απελευθέρωσης της γλυκόζης από το ήπαρ στο αίμα υπό αυτές τις συνθήκες συμβαδίζει με το ρυθμό αύξησης της πρόσληψης γλυκόζης από τον εργαζόμενο μυ. Αργότερα, Σκανδιναβοί ερευνητές χρησιμοποίησαν τις αρτηριοφλεβικές διαφορές για να επαληθεύσουν αυτό το εύρημα άμεσα, μετρώντας το ρυθμό εισόδου της γλυκόζης στο αίμα από τα σπλάχνα (την ανατομική περιοχή του εντέρου, της σπλήνας, του παγκρέατος και του ήπατος) και συγκρίνοντας τον με το ρυθμό χρήσης της γλυκόζης αίματος στα κάτω άκρα κατά την ποδηλασία.

Υπό ορισμένες συνθήκες άσκησης, η ομοιόσταση της γλυκόζης αίματος μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο. Για παράδειγμα, η απόκριση σε άσκηση υψηλής έντασης λαμβάνει τα χαρακτηριστικά της απόκρισης στο στρες (Walter B. Cannon, 1932). Συγκεκριμένα, οι ορμόνες της απόκρισης στο στρες, όπως νοραδρεναλίνη, αδρεναλίνη και κορτιζόλη εκκρίνονται σε υπερβολικές ποσότητες και οι συγκεντρώσεις της γλυκόζης στο αίμα αυξάνονται, επειδή παύει να ρυθμίζεται μέσα σε στενά όρια. Ωστόσο σε παρατεταμένη άσκηση (περίπου >90 λεπτά) η ήπια υπογλυκαιμία είναι συνηθισμένη και μπορεί να καταστεί σοβαρή. Η λήψη γλυκόζης από του στόματος μπορεί



Εικόνα 5.1 Ρύθμιση της γλυκόζης αίματος κατά την άσκηση: ο ρόλος της έντασης και της διάρκειας. Η απελευθέρωση γλυκόζης από το ήπαρ στο αίμα, κανονικά αυξάνεται για να συμβαδίζει με την αύξηση της κατανάλωσης της γλυκόζης αίματος στους εργαζόμενους μυς (επάνω). Ωστόσο, σε ακραίες συνθήκες άσκησης και σε ορισμένες ασθένειες, η ομοιόσταση της γλυκόζης του αίματος μπορεί να διαταραχθεί. Απόκριση της γλυκόζης αίματος σε άσκηση υψηλής έντασης (μέσον) και απόκριση της γλυκόζης αίματος σε προχωρημένο στάδιο παρατεταμένης άσκησης (κάτω). (© Cengage Learning 2013)

να διορθώσει ή να αποτρέψει τη μείωση της γλυκόζης αίματος και, σε κάποιες περιπτώσεις, να αυξήσει την ικανότητα για παρατεταμένη άσκηση. Η απόκριση της γλυκόζης αίματος κατά την άσκηση ελαφριάς έως μέτριας έντασης αλλά και σε πιο ακραίους τύπους άσκησης (π.χ. πολύ έντονη ή παρατεταμένη) συνοψίζεται στην Εικόνα 5.1.

Ποιες είναι οι δυσκολίες για τη διατήρηση της ομοιόστασης της γλυκόζης στην ανάπαυση συγκριτικά με την άσκηση σταθερής κατάστασης;

Μεταβολισμός του αποδοτικότερου υποστρώματος

Ο δεύτερος στόχος του μεταβολισμού των υποστρωμάτων είναι να μεταβολιστεί το αποδοτικότερο υπόστρωμα, διότι ανάλογα με την ένταση της άσκησης, το καύσιμο που χρησιμοποιείται αποδίδει ενέργεια με διαφορετικό ρυθμό και σε διαφορετική ποσότητα. Για παράδειγμα, η ενεργειακή απόδοση των υδατανθράκων έχει διαφορετική στοιχειομετρία από αυτή των λιπών (βλέπε Πίνακα 5.2).

Κατά την έντονη άσκηση υπάρχει ανάγκη για καύσιμα με υψηλότερη μεταβολική απόδοση (περισσότερο ATP ανά μονάδα O_2), ενώ κατά την ελαφριά άσκηση, που μπορεί να συνεχιστεί για πολλή ώρα, υπάρχει ανάγκη για καύσιμα με μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης (περισσότερο ATP ανά μονάδα μάζας υποστρώματος).

Αυτές οι σχετιζόμενες με την ένταση

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Η απόδοση του ενεργειακού μεταβολισμού των υδατανθράκων και ελεύθερων λιπαρών οξέων σε σχέση με την ένταση και διάρκεια της άσκησης

Μεταβολική απόδοση

Οι υδατάνθρακες (CHO) προτιμώνται στην άσκηση υψηλής έντασης, επειδή ο μεταβολισμός τους αποδίδει περισσότερη ενέργεια ανά λίτρο O_2 συγκριτικά με το μεταβολισμό των λιπών.

	kcal/L O_2
Αναερόβια γλυκόλυση	Παράγεται ενέργεια χωρίς να χρειάζεται O_2
Πλήρης οξείδωση των CHO	5,05
Οξείδωση λιπών	4,74

Δυνατότητα Αποθήκευσης

Τα λίπη προτιμώνται στην παρατεταμένη άσκηση επειδή ο μεταβολισμός τους παρέχει περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα μάζας συγκριτικά με το μεταβολισμό των CHO.

	kcal/g καυσίμου
Οξείδωση των CHO	4,10
Οξείδωση λιπών	9,45

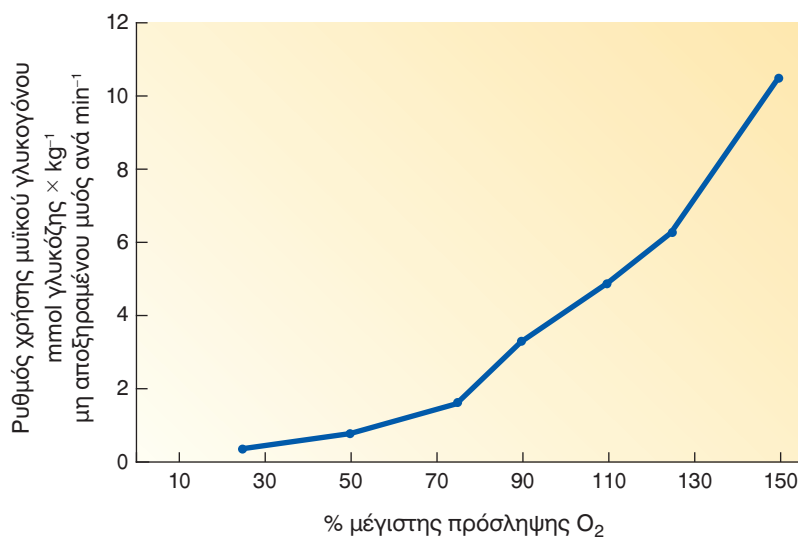
Τα λίπη αποθηκεύονται σε απουσία H_2O , γεγονός που βελτιώνει τη δυνατότητα αποθήκευσης.

© Cengage Learning 2013

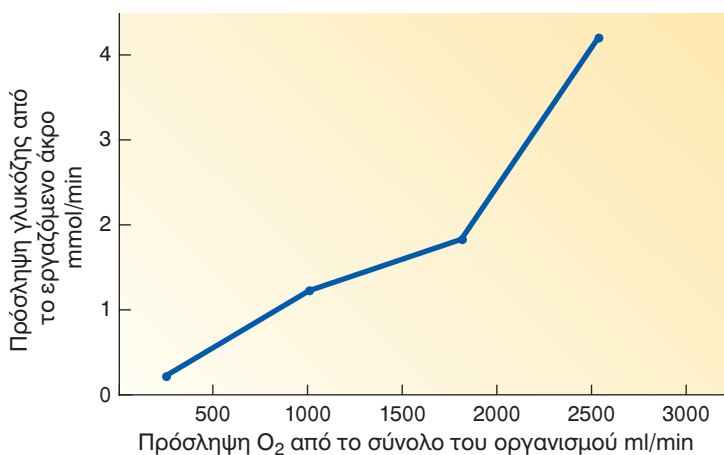
διαφορές στη χρήση καυσίμων οφείλονται στο ότι κατά την έντονη άσκηση η χρήση του ATP είναι ταχύτερη ενώ η παροχή O_2 μπορεί να υπόκειται σε περιορισμούς. Έχει βρεθεί ότι υπό αυτές τις συνθήκες οι υδατάνθρακες είναι πιο αποδοτικοί μεταβολικά από τα λίπη και ταιριάζουν καλύτερα στις ανάγκες της έντονης άσκησης. Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή οι υδατάνθρακες διασπώνται χωρίς O_2 για να παράγουν ATP μέσω γλυκόλυσης στο μυϊκό κυτταρόπλασμα, μία διαδικασία που συντελείται με πολύ υψηλότερο ρυθμό από την παραγωγή ATP στα μιτοχόνδρια μέσω οξειδωτικής φωσφορυλίωσης. Η χρήση τόσο της γλυκόζης του αίματος όσο και του γλυκογόνου του μυός αυξάνονται με την ένταση της άσκησης (βλέπε Εικόνες 5.2 και 5.3).

Αντίθετα, τα λίπη είναι το καύσιμο με τη μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης και χρησιμοποιούνται κατά προτίμηση στην ελαφριά άσκηση που μπο-

ρεί να συνεχιστεί για μεγάλο διάστημα. Υπό αυτές τις συνθήκες, η ταχύτητα και η απόδοση της παραγωγής ATP είναι δευτερεύουσας σημασίας σε σχέση με τη δυνατότητα αποθήκευσης των καυσίμων. Οι διαφορές στο βαθμό κορεσμού των ελεύθερων λιπαρών οξέων και των ανθράκων της γλυκόζης δείχνουν ότι η οξείδωση των τριγλυκεριδίων μπορεί να αποδώσει τη διπλάσια ποσότητα ενέργειας από την οξείδωση ίσης ποσότητας γλυκογόνου. Τα λίπη δεν αναμειγνύονται με το νερό και αποθηκεύονται σε αμιγή μορφή. Το γλυκογόνο είναι λιγότερο οικονομικό στην αποθήκευση διότι σχηματίζει δεσμούς με το νερό. Πράγματι, η ταχεία απώλεια βάρους που σημειώνεται αρχικά στις δίαιτες με χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες οφείλεται στη διάσπαση των αποθηκευμένων μορίων γλυκογόνου και την απελευθέρωση του δεσμευμένου σε αυτό νερού, που στη συνέχεια αποβάλ-



Εικόνα 5.2 Ο ρόλος του μυϊκού γλυκογόνου στην άσκηση αυξανόμενης έντασης. Ρυθμός χρήσης του μυϊκού γλυκογόνου σε άσκηση αυξανόμενης έντασης εκφρασμένος ως εκατοστιαίο ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Τα στοιχεία προήλθαν από μυϊκές βιοψίες του έξω πλατέος μηριαίου μύος από γυμνασμένα άτομα. (Προσαρμοσμένο από B. Saltin και J. Karlsson, 1971. Glycogen usage during work of varying intensity. Στο *Muscle metabolism during exercise*. Επιμέλεια έκδοσης B. Pernow και B. Saltin. New York: Plenum Press, σελ. 289-299.)



Εικόνα 5.3 Ο ρόλος της πρόσληψης γλυκόζης από τους μύες στην άσκηση αυξανόμενης έντασης. Ο ρυθμός πρόσληψης γλυκόζης από τους εργαζόμενους μύες στην ποδηλασία αυξανόμενης έντασης, εκφρασμένος ως πρόσληψη οξυγόνου από το σύνολο του οργανισμού. Η πρόσληψη γλυκόζης στα κάτω άκρα μετρήθηκε με την τεχνική της αρτηριοφλεβικής διαφοράς. (Τροποποιημένο από Wahren J. P. Felig, G. Ahlborg και L. Jorfeldt, 1971. Glucose metabolism during leg exercise in man. *J. Clin. Invest.* 50(12):2715-2725.)

λεται από τον οργανισμό μέσω των ούρων. Η οικονομία της αποθήκευσης λίπους διαπιστώνεται στη φύση από την κατανομή του λίπους στα ψάρια και τα

πουλιά πριν τη μεταναστευτική περίοδο. Στον Πίνακα 5.3 συνοψίζεται ο μεταβολισμός της γλυκόζης και των ελεύθερων λιπαρών οξέων.

● **ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3** Ανασκόπηση του κυτταρικού ενεργειακού μεταβολισμού της γλυκόζης και των ελεύθερων λιπαρών οξέων

Αντίδραση	Επεξεργαζόμενο Υπόστρωμα	Εντόπιση	Ενεργειακή απόδοση (ανά γραμμομόριο επεξεργαζόμενης γλυκόζης)	Τελικά προϊόντα διαθέσιμα για περαιτέρω απόληψη ενέργειας	Ανάγκη για οξυγόνο
	Γλυκόζη	Κυτταρό- λυμα	2 μόρια ATP	2 μόρια πυροστα- φυλικού οξέος	Όχι (αναερόβια)
	Ακετυλο- CoA, που προέρχεται από πυροσταφυλικό οξύ, το τελικό προϊόν της γλυκόλυσης και της β-οξειδωσης του ακυλο-CoA που προέρχεται από ελεύθερα λιπαρά οξέα	Θεμέλια ουσία μιτο- χονδρίου	2 μόρια ATP	8 μόρια NADH και 2 μόρια FADH ₂	Ναι, που προέρχεται από μόρια που συμμε- τέχουν στον κύκλο του Krebs
	Ηλεκτρόνια υψη- λής ενέργειας, αποθηκευμένα σε άτομα υδρογό- νου στο NADH και FADH ₂ (μόρια- φορείς υδρογό- νου) που προέρ- χονται από τον κύκλο του Krebs	Πτυχώσεις εσωτερι- κής μεμ- βράνης μιτο- χονδρίου	32 μόρια ATP	Κανένα	Ναι, που προέρχεται από το μοριακό οξυγόνο του εισπνε- όμενου αέρα

Το μιτοχόνδριο είναι μεγεθυμένο και τα άλλα ενδοκυτταρικά οργάνδια παραλείπονται για καλύτερη απεικόνιση.

Τροποποιημένο από Sherwood L. 2010. Πίνακας 2.2 στο *Human Physiology*, 7η έκδοση Belmont, CA: Brooks/Cole-Cengage-learning.

Αν σας ζητούσαν να καταρτίσετε ένα πρόγραμμα μέτριας έως έντονης σωματικής δραστηριότητας για απώλεια βάρους, ποια ένταση άσκησης θα επιλέγατε;

Εξοικονόμηση αποθεμάτων γλυκογόνου

Ο τρίτος στόχος του μεταβολισμού των υποστρωμάτων είναι η εξοικονόμηση του γλυκογόνου. Η ικανότητα των υγιών ατόμων να ασκούνται έντονα περιορίζεται από το καρδιαγγειακό σύστημα και ενδεχομένως σε κάποιες περιπτώσεις από τους πνεύμονες. Η **εξάντληση του γλυκογόνου** αποτελεί πιθανή αι-

εξάντληση γλυκογόνου

Προκύπτει από την παρατεταμένη νηστεία ή την παρατεταμένη άσκηση. Τα χαμηλά επίπεδα γλυκογόνου οδηγούν σε κόπωση από την άσκηση.

τία της κόπωσης κατά την παρατεταμένη άσκηση. Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ της εξάντλησης των αποθεμάτων μυϊκού γλυκογόνου και του χρόνου που μεσολαβεί έως τη σωματική εξουθένωση κατά την άσκηση μέτριας έντασης. Η υιοθέτηση μίας δίαιτας με υψηλή περιεκτικότη-

να αποσαφηνιστεί αν η σωματική εξουθένωση οφείλεται στην ίδια την

εξάντληση του μυϊκού γλυκογόνου ή σε κάτι άλλο που σχετίζεται στενά μαζί της. Η πρακτική της **φόρτισης υδατανθράκων** (carbohydrate loading) πριν από ένα μεγάλο αγώνα όπως ο μαραθώνιος βασίζεται στη στενή σχέση μεταξύ αποθεμάτων γλυκογόνου και αντοχής στην άσκηση (βλέπε Ιδέες, Προκλήσεις και Αντιθέσεις). Οι διαδικασίες διατήρησης του μυϊκού γλυκογόνου επιταχύνονται όταν παρατείνεται η διάρκεια της άσκησης. Η Εικόνα 5.4 παρουσιάζει την

φόρτιση υδατανθράκων

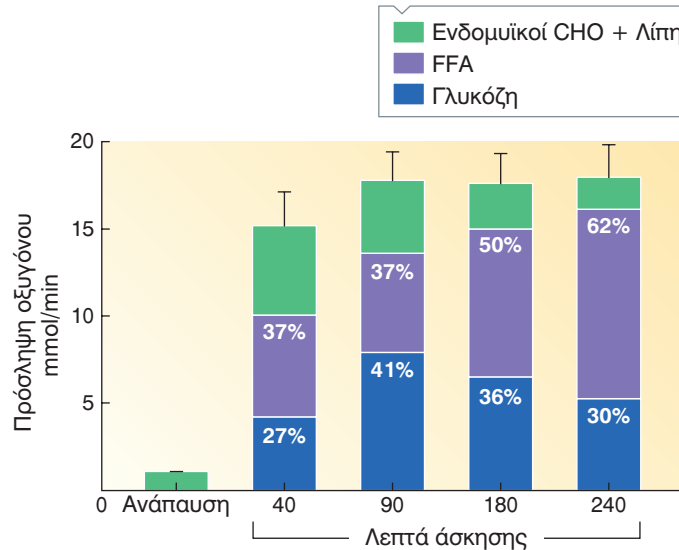
Η κατανάλωση μίας μεγάλης ποσότητας υδατανθράκων μεγιστοποιεί τα αποθέματα γλυκογόνου.

τα σε υδατάνθρακες συμβάλει στην αύξηση των αποθεμάτων γλυκογόνου και αυξάνει την ικανότητα για παρατεταμένη άσκηση. Είναι δύσκολο



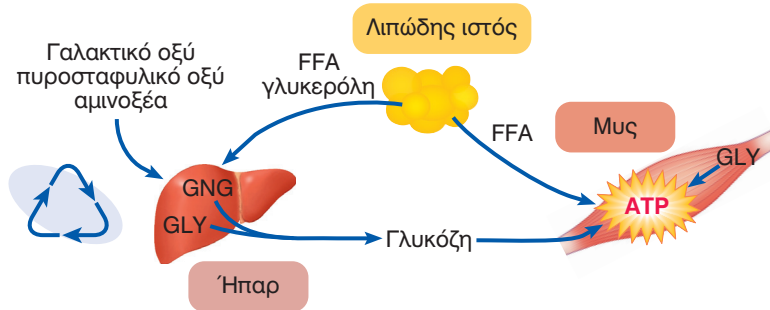
Rob Stark/Shutterstock.com

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ



● **Εικόνα 5.4 Σχέση της χρήσης καυσίμων με τη διάρκεια της άσκησης.** Η συμβολή των ελεύθερων λιπαρών οξέων (FFA) και της γλυκόζης αίματος στη συνολική πρόσληψη οξυγόνου από το εργαζόμενο άκρο προσδιορίζεται με την τεχνική της αρτηριοφλεβικής διαφοράς. Θεωρείται ότι τα καύσιμα αυτά οξειδώνονται πλήρως στο μυ όταν απομακρύνονται από το αίμα. Η πρόσληψη οξυγόνου από το άκρο, η οποία δε σχετίζεται με τη χρήση καυσίμων από το αίμα, ισούται με το ρυθμός οξείδωσης των ενδομυϊκών αποθεμάτων (κυρίως μυϊκού γλυκογόνου) (Από Felig P. και J. Wahren, 1975. Fuel homeostasis in exercise. *N. Engl. J. Med.* 293:1078-1084).

Κατά την παρατεταμένη άσκηση, χρησιμοποιούνται άλλα καύσιμα για να εξοικονομηθεί το γλυκογόνο καθυστερώντας έτσι τη σωματική εξουθένωση



Όσο αυξάνεται η διάρκεια της άσκησης:

- Παράγεται περισσότερη ενέργεια από λίπη και λιγότερη από γλυκογόνο.
- Οι άνθρακες από τα αμινοξέα, τη γλυκερόλη, το γαλακτικό οξύ και το πυροσταφυλικό οξύ ανακυκλώνονται σε γλυκόζη.

Εικόνα 5.5 Μεταβολικές οδοί για τη διατήρηση του μυϊκού γλυκογόνου. Στα όψιμα στάδια της παρατεταμένης άσκησης, αυξάνεται η κινητοποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων (FFA) και η μετατροπή των μεταβολιτών και των αμινοξέων σε γλυκόζη μέσω γλυκονεογένεσης. Αυτές οι οδοί μπορούν να καλύψουν τις μεταβολικές απαιτήσεις των εργαζόμενων μυών χωρίς να μειωθούν τα αποθέματα γλυκογόνου. Η αύξηση της γλυκονεογένεσης οφείλεται σε αυξημένη μεταφορά υποστρωμάτων της γλυκονεογένεσης στο ήπαρ, αυξημένη απόληψη των υποστρωμάτων από το ήπαρ, και ενεργοποίηση της γλυκονεογενετικής οδού στο ήπαρ. Οι άνθρακες για τη γλυκονεογένεση προέρχονται από το γαλακτικό οξύ, το πυροσταφυλικό οξύ, τη γλυκερόλη και ορισμένα αμινοξέα (κυρίως αλανίνη και γλουταμίνη). Ο μεταβολισμός των FFA είναι αποφασιστικής σημασίας όχι μόνο για τις ενεργειακές ανάγκες του μυός, αλλά και την παροχή της ενέργειας που απαιτείται για γλυκονεογένεση στο ήπαρ. ATP, τριφωσφορική αδενοσίνη. GLU, Γλυκόζη. GNG, Γλυκονεογένεση. (© Cengage Learning 2013)

εξάρτηση του εργαζόμενου άκρου από τα καύσιμα που κυκλοφορούν στο αίμα και τα ενδομυϊκά καύσιμα στη διάρκεια της άσκησης. Οι διαδικασίες που υπεισέρχονται μπορούν να διακριθούν σε αυτές που αυξάνουν τη χρήση FFA στον εργαζόμενο μυ και σε αυτές που αυξάνουν την ανακύκλωση των ανθράκων σε γλυκόζη μέσω γλυκονεογένεσης στο ήπαρ (βλέπε Εικόνα 5.5).

Οι πρώτες τίθενται σε λειτουργία κυρίως από την αύξηση της λιπόλυσης και

της συγκέντρωσης FFA. Οι δεύτερες καθορίζονται από το ρυθμό με τον οποίο τα υποστρώματα της γλυκονεογενετικής οδού (γλυκερόλη, γαλακτικό οξύ, πυροσταφυλικό οξύ και αμινοξέα) μεταφέρονται, απομακρύνονται και μετατρέπονται σε γλυκόζη μέσα στο ήπαρ. Η οξειδωση αμινοξέων διακλαδισμένης αλυσίδας και κετονικών σωμάτων αυξάνεται επίσης με την παρατεταμένη άσκηση και ίσως παίζει ένα μικρό ρόλο στην εξοικονόμηση του μυϊκού γλυκογόνου.

γλυκονεογένεση

Μεταβολική οδός (κυρίως ηπατική) για τη μετατροπή γαλακτικού οξέος, πυροσταφυλικού οξέος, γλυκερόλης και αμινοξέων σε γλυκόζη. Είναι σημαντική στη διατήρηση των επιπέδων γλυκόζης αίματος στη νηστεία ή την παρατεταμένη άσκηση.

αμινοξύ διακλαδισμένης αλυσίδας

Ένα αμινοξύ που έχει μία πλευρική αλυσίδα η οποία σχηματίζει διακλάδωση (ένα άτομο άνθρακα που συνδέεται σε περισσότερα των δύο άλλα άτομα άνθρακα). Υπάρχουν τρία τέτοια αμινοξέα. Πρόκειται για τα απαραίτητα αμινοξέα: λευκίνη, ισολευκίνη και βαλίνη.

κετονικό σώμα

Ένα υδατοδιαλυτό υποπροϊόν της οξειδωσης των λιπών στο ήπαρ. Υπάρχουν τρία κετονικά σώματα: η ακετόνη, το ακετοξικό οξύ και το β-υδροξυβουτυρικό οξύ. Φτάνουν στις υψηλότερες συγκεντρώσεις τους όταν μεγιστοποιείται η ηπατική οξειδωση των λιπαρών οξέων, όπως κατά τη νηστεία ή την παρατεταμένη άσκηση. Τα κετονικά σώματα μπορούν να οξειδωθούν στην καρδιά και στον εγκέφαλο.

Οι Δοσοληψίες του Μεταβολισμού Καυσίμων κατά την Άσκηση

Γενικά, στην ελαφριά έως μέτρια άσκηση διάρκειας <90 λεπτών επιτυγχάνονται και οι τρεις στόχοι του μεταβολισμού των ενεργειακών υποστρωμάτων, υπό την προϋπόθεση ότι οι ασκούμενοι είναι υγιείς. Όταν κάποιος ασκούμενος προσπαθήσει να δοκιμάσει τα όριά του, ένας από τους στόχους μπαίνει σε δεύτερη μοίρα προκειμένου να επιτευχθεί ένας άλλος. Για παράδειγμα, κατά την έντονη άσκηση, το μυϊκό γλυκογόνο και η γλυκόζη αίματος καταναλώνονται με υψηλούς ρυθμούς, εξαιτίας της ανάγκης για μεταβολικά αποδοτικά καύσιμα. Ο υψηλός ρυθμός κατανάλωσης του μυϊκού γλυκογόνου δεν μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλο διάστημα, διότι εξαντλούνται τα αποθέματα. Το ήπαρ μπορεί υπό φυσιολογικές συνθήκες να αποκαθιστά τη γλυκόζη αίματος ενόσω αυτή καταναλώνεται. Όσο αυξάνεται η διάρκεια της άσκησης, το ηπατικό γλυκογόνο εξαντλείται, και επειδή η **γλυκονεογένεση** από μόνη της δεν επαρκεί για τη διατήρηση των επιπέδων γλυκόζης αίματος, μπορεί να εμφανιστεί υπογλυκαιμία.

Τι θα περιμένατε να συμβεί κατά την παρατεταμένη άσκηση εάν είχε απαλειφθεί το γονίδιο ενός κρίσιμου γλυκονεογενετικού ενζύμου;

Πώς εξασφαλίζεται η συντονισμένη κινητοποίηση και χρήση των καυσίμων κατά την άσκηση;

Είναι σαφές ότι τα καύσιμα του ενεργειακού μεταβολισμού δεν απελευθερώνονται ανεξέλεγκτα όπως το νερό που ξεχύνεται με ορμή από ένα κατεστραμμένο φράγμα. Γενικά, η χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο γλυκογόνο και στα τριγλυκερίδια διανέμεται προσεκτικά με γνώμονα τους τρεις στόχους της χρήσης των καυσίμων. Πώς γνωστοποιούνται οι ανάγκες του μυός στο ήπαρ και το λιπώδη ιστό για να σηματοδοτήσουν την κινητοποίηση των αποθεμάτων γλυκόζης και λιπιδίων; Στο παρόν κεφάλαιο μελετάται η κινητοποίηση και χρήση των καυσίμων υπό την προϋπόθεση ότι οι μόνες πηγές ενέργειας είναι τα αποθέματα του οργανισμού. «Πώς επηρεάζεται η χρήση των υποστρωμάτων από τη σίτιση;» και «Ποια σήματα (signals) ελέγχουν το μεταβολισμό των καυσίμων;» είναι δύο ερωτήματα που θα πρέπει να είστε σε θέση να απαντήσετε. Η περίπλοκη διαδικασία που εμπεριέχουν οι παραπάνω ερωτήσεις αποτελούν θέμα του Κεφαλαίου 6.

spotlight

Ένας ειδικός της ενοποιημένης φυσιολογίας του μεταβολισμού των καυσίμων κατά την άσκηση: Bengt Saltin, M.D., Ph.D.

Η Δανία, παρά τη μικρή της έκταση, είναι ένας τόπος που έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην πρόοδο της ανθρώπινης φυσιολογίας. Οι έρευνες των Panum, Bohr, Krogh, Hasselbalch, Lindhard, Christensen, Asmussen, Nielsen, Astrand και άλλων Δανών έχουν εμπλουτίσει σε μεγάλο βαθμό τις γνώσεις μας για τη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Αν αναλογιστούμε και τη σημαντική συνεισφορά των Σουηδών επιστημόνων στη φυσιολογία του ανθρώπου, δε θα μας προκαλέσει έκπληξη ότι ένας Σουηδός που εργάστηκε στη Δανία συνέβαλλε αποφασιστικά στη διαιώνιση αυτής της πλούσιας παράδοσης στο ίδιο επιστημονικό πεδίο. Ο Bengt Saltin έλαβε το μεταπτυχιακό του το 1962 και το διδακτορικό του το 1964 στη Στοκχόλμη. Αμέσως μετά προσλήφθηκε στο Τμήμα Φυσιολογίας της Άσκησης στο περίφημο Ινστιτούτο Καρολίνσκα της Στοκχόλμης. Το 1973 διορίστηκε Καθηγητής Φυσιολογίας Ανθρώπου στο Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης. Το 1993 έγινε διευθυντής του Ερευνητικού Κέντρου Μυός της Κοπεγχάγης.

Ο Δρ Saltin, όπως και οι προκάτοχοί του (ο August Krogh, που κέρδισε το βραβείο Νόμπελ το 1920 για το έργο του στη διάχυση του οξυγόνου από τα τριχοειδή στους σκελετικούς μυς και ο Erik Howhu Christensen), εφάρμοσε μία ενοποιημένη προσέγγιση για καλύτερη κατανόηση της φυσιολογίας του ανθρώπου. Ο Saltin είχε εξειδικευτεί στην καρδιαγγειακή φυσιολογία και το αρχικό του έργο αφορούσε την ικανότητα καρδιαγγειακής άσκησης και το περιβάλλον. Ήταν αυθεντία στο καρδιαγγειακό σύστημα γεγονός που συνέβαλλε αποφασιστικά στο μεταγενέστερο έργο του που αφορούσε τους μεταβολικούς περιορισμούς του εργαζόμενου μυός. Ο Saltin αναγνώρισε ότι η ικανότητα παραγωγής μυϊκού έργου δε μπορούσε να γίνει κατανοητή χωρίς μελέτη της λειτουργίας των αγγείων που τον αιματώνουν. Χάρη σε ένα συνδυασμό τεχνικών μέτρησης των συγκεντρώσεων των μεταβολιτών στον αγγειακό, διάμεσο και κυτταρικό χώρο του μυός ο Saltin εξακρίβωσε τους παράγοντες που μετριάζουν τις επιδόσεις στην άσκηση σε κατάσταση υγείας αλλά και ασθένειας. Αυτές οι μετρήσεις μεταβολιτών συνοδεύθηκαν από μετρήσεις της ροής των καυσίμων και της ενζυμικής δράσης προκειμένου να διαμορφωθεί ένα μηχανιστικό πλαίσιο των μεταβολικών

περιορισμών της άσκησης και της παρατεταμένης αδράνειας. Η συνεισφορά του Saltin στη φυσιολογία του ανθρώπου και το μεταβολισμό του σκελετικού μυός περιλαμβάνει τα εξής: (α) επιπτώσεις της προπόνησης, (β) επιπλοκές της παρατεταμένης ανάπαυσης στο κρεβάτι, (γ) αλληλεπίδραση της φυσιολογίας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος και (δ) γενετικοί παράγοντες καθορισμού των επιδόσεων στην άσκηση. Το έργο του Saltin αποτελεί σημείο αναφοράς και μέχρι σήμερα εξακολουθεί να καθοδηγεί το πεδίο της φυσιολογίας της άσκησης.

Ο Saltin έθεσε τα θεμέλια τα οποία θα επιτρέψουν στη Δανία να διαιωνίσει με επιτυχία την πλούσια παράδοση της φυσιολογίας της άσκησης στο μέλλον. Η παρουσία επιτυχημένων φυσιολόγων, όπως οι Δρ M. Kjaer, B. Klarlund Pedersen και E. A. Richter εξασφαλίζουν ότι η Δανία θα εξακολουθήσει να αποτελεί ένα διεθνές κέντρο της φυσιολογίας της άσκησης για πολλά χρόνια ακόμη.



Roca/Shutterstock.com

2 ΙΔΕΕΣ, προκλήσεις, & αντιθέσεις

Φουλάροντας το ντεπόζιτο

Ο Κενυάτης Geoffrey Mutai έτρεξε τα 42,19 χιλιόμετρα του μααραθωνίου γρηγορότερα από κάθε άλλον στην ιστορία όταν κέρδισε το μααραθώνιο της Βοστώνης το 2011. Η διαφορά μεταξύ του χρόνου του Mutai που τερμάτισε πρώτος με 2:03:02 και του συμπατριώτη του Moses Mosop που τερμάτισε δεύτερος με 2:03:06 ήταν μικρότερη από 0,1%. Πράγματι, συχνά η απόσταση από το καλό στο καλύτερο είναι ελάχιστη. Αυτή η πραγματικότητα ωθεί τους αθλητές να αναζητούν τρόπους για να αποκτήσουν αυτό το επιπλέον μικρό πλεονέκτημα, μέσω της διατροφής αλλά και της σωματικής προπόνησης. Ορισμένες διαιτητικές πρακτικές των αθλητών βασίζονται περισσότερο στη δεισιδαιμονία παρά στην επιστήμη. Η διατροφική πρακτική της φόρτισης υδατανθράκων μπορεί να προσφέρει αυτό το μικρό πλεονέκτημα σε ένα μεγάλο αγώνα δρόμου, όπως είναι ο μααραθώνιος. Η επιστημονική βάση της φόρτισης υδατανθράκων προέρχεται από το πλούσιο επιστημονικό έργο για τη φυσιολογία του ανθρώπου κατά την άσκηση, από τη Σκανδιναβία. Σε μία κλασική μελέτη του 1939, οι Δανοί E. H. Christensen και O. Hansen έδειξαν ότι η περιεκτικότητα της δίαιτας σε μακροθρεπτικά στοιχεία ήταν βασικός παράγοντας καθορισμού της αντοχής στην άσκηση. Οι εθελοντές που συμμετείχαν στη μελέτη εντάσσονταν για επτά ημέρες σε μία από τρεις διαφορετικές δίαιτες. Οι δίαιτες είχαν χαμηλή, μέτρια και υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες.

Μετά από μία εβδομάδα στην κάθε δίαιτα, οι εθελοντές έκαναν ποδηλασία μέχρι εξουθενώσεως. Τα αποτελέσματα έδειξαν μία ιδιαίτερα ισχυρή θετική συσχέτιση ανάμεσα στην ποσότητα υδατανθράκων της δίαιτας και το χρόνο έλευσης της εξουθένωσης. Οι χρόνοι αντοχής ήταν περίπου 80, 120 και 240 λεπτά μετά από μία εβδομάδα διατροφής με χαμηλή, μέτρια και υψηλή ποσότητα υδατανθράκων αντίστοιχα. Σουηδοί επιστήμονες στη δεκαετία του 1960 χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της διαδερμικής βιοψίας με βελόνα για λήψη μυϊκού ιστού, προκειμένου να εμπλουτίσουν τις προηγούμενες εργασίες αποδεικνύοντας ότι η περιεκτικότητα του μυός σε γλυκογόνο πριν την άσκηση είναι απευθείας ανάλογη με το χρόνο έλευσης της εξουθένωσης (βλέπε Εικόνα 5.6). Απέδειξαν επίσης ότι το μυϊκό γλυκογόνο πριν την άσκηση και συνεπώς ο χρόνος αντοχής μπορούσαν να αυξηθούν μέσω μίας δίαιτας πλούσιας σε υδατάνθρακες.

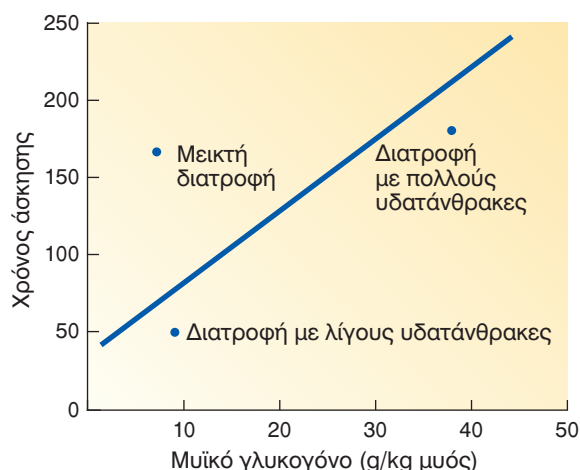
Η σημασία του μυϊκού γλυκογόνου σε σχέση με την αντοχή στην άσκηση επιβεβαιώθηκε από την παρατήρηση ότι η σωματική εξουθένωση συνήθως συμπίπτει με μία ιδιαίτερα χαμηλή περιεκτικότητα των μυών σε γλυκογόνο. Οι παρατηρήσεις αυτές οδήγησαν στην αναζήτηση του βέλτιστου προαγωνιστικού διατροφικού σχήματος για αύξηση του επιπέδου μυϊκού γλυκογόνου. Η γενική αρχή που χρησιμοποιήθηκε από τα περισσότερα πρωτόκολλα είναι ότι αν κάποιο άτομο υιοθετήσει μία δίαιτα πλούσια σε υδατάνθρακες μετά από ένα διάστημα εξάντλησης του μυϊκού γλυκογόνου, μπορούν να επιτευχθούν συγκεντρώσεις μυϊκού γλυκογόνου υψηλότερες των φυσιολογικών. Η στρατηγική της αρχικής εξάντλησης του γλυκογόνου που ακολουθείται από κατανάλωση τροφών πλούσιων σε υδατάνθρακες οδηγεί σε υπερανάπληρωση των αποθεμάτων γλυκογόνου.

Παραπομπή HOT LINK

Δείτε την ενότητα περί Φόρτισης Υδατανθράκων στον ιστότοπο του Ινστιτούτου Νίκολας Αθλητιατρικής και Τραυματισμών <http://www.nismat.org/nutricor/carbohydrate.html> για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη διατροφή και τους υδατάνθρακες.

Τα πρωτόκολλα υπερανάπληρωσης γλυκογόνου βελτιώνουν την αντοχή στην άσκηση; Πράγματι, αυτά τα πρωτόκολλα αυξάνουν τα αποθέματα του μυϊκού γλυκογόνου και υπάρχουν αδιάσειστα στοιχεία που αποδεικνύουν ότι τα πρωτόκολλα αυτά βελτιώνουν τις επιδόσεις στην άσκηση. Ωστόσο, η υπερανάπληρωση γλυκογόνου δεν αυξάνει την ένταση με την οποία μπορεί να ασκηθεί ένας αθλητής, αλλά μάλλον αυξάνει το χρονικό διάστημα για το οποίο μπο-





Εικόνα 5.6 Η σχέση των αποθεμάτων μυϊκού γλυκογόνου με την αντοχή στην άσκηση. Υπάρχει στενή σχέση ανάμεσα στο μυϊκό γλυκογόνο πριν την άσκηση και το χρόνο που μεσολαβεί μέχρι τη σωματική εξουθένωση. Για μία εβδομάδα πριν την άσκηση, οι συμμετέχοντες υιοθέτησαν μία από τις παρακάτω δίαιτες: χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες /πλούσια σε λίπος, μεικτή δίαιτα, υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες /πτωχή σε λίπος. (Τροποποιημένο από Bergstrom J., L. Hermansen, E. Hultman, και B. Saltin, 1967. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta. Physiol. Scand.* 71:140-150.)

ρεί να συνεχιστεί η άσκηση μέτριας έντασης. Είναι λογικό ότι η εξάντληση του μυϊκού γλυκογόνου θα περιορίζει την αντοχή στην άσκηση και ότι η καθυστέρηση αυτής της εξάντλησης θα την αυξάνει. Δεν πρέπει όμως να παραγνωρίζεται το γεγονός ότι και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την εξάντληση του μυϊκού γλυκογόνου μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην σωματική εξουθένωση. Η μείωση των ηπατικών αποθεμάτων γλυκογόνου και η πτώση της συγκέντρωσης γλυκόζης στο αίμα συμπίπτουν χρονικά με τα χαμηλά επίπεδα μυϊκού γλυκογόνου. Αυτά τα γεγονότα δρουν συνδυαστικά προκαλώντας σωματική εξουθένωση στη διάρκεια της άσκησης αντοχής.

Ένα συνηθισμένο πρωτόκολλο αναπλήρωσης γλυκογόνου περιλαμβάνει μία τριήμερη φάση εξάντλησης, κατά την οποία η προπόνηση παραμένει έντονη αλλά η διατροφική πρόσληψη υδατανθράκων μειώνεται, και μία τριήμερη φάση φόρτισης με διατροφή πλούσια σε υδατάνθρακες (περίπου 75% των ημερησίων θερμίδων) και ελαφριά έως καθόλου άσκηση. Εξαιτίας της δυσφορίας και της κόπωσης που συνοδεύουν το συνδυασμό έντονης άσκησης και διατροφής πτωχής σε υδατάνθρακες, μερικοί αθλητές επιλέγουν να περιορίσουν τη φάση εξάντλησης σε μία μόνο συνεδρία άσκησης για εξάντληση του γλυκογόνου πριν την έναρξη της φάσης φόρτισης.

Αναμφίβολα η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων αποτελεί σημαντική παράμετρο των επιδόσεων στην άσκηση. Αυτή η συνειδητοποίηση πολλαπλασίασε την ερευνητική δραστηριότητα και έδωσε ώθηση στη βιομηχανία συμπληρωμάτων αθλητικής διατροφής.

στην Πράξη

Παραδείγματα χρήσης καυσίμων κατά την άσκηση

Στο παρακάτω κείμενο παρατίθενται παραδείγματα για τον τρόπο με τον οποίο η χρήση των καυσίμων στον οργανισμό και τα προγράμματα άσκησης μέτριας έντασης σχετίζονται με το δικό σας πεδίο ενδιαφέροντος.

Υγεία και φυσική κατάσταση: Κατανοώντας οι ίδιοι τη χρήση των καυσίμων θα εμπεδώσετε τις γνώσεις των κεφαλαίων 4, 11 και 12 (διατροφή), ώστε να μπορείτε να βοηθήσετε τους ασκούμενούς σας να κατανοήσουν ότι ο μεταβολισμός των υδατανθράκων (της γλυκόζης) είναι αναγκαίος για τη βελτιστοποίηση των επιδόσεων στην άσκηση. Μπορείτε να τους εξηγήσετε πώς να διατηρούν την ομοιόσταση της γλυκόζης ώστε να αποφεύγουν την υπογλυκαιμία και να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες του ατομικού τους προγράμματος άσκησης. Μπορείτε επίσης να τους εξηγήσετε για ποιο λόγο οι υδατάνθρακες είναι πιο αποδοτικοί ενεργειακά στη διάρκεια της άσκησης από το λίπος, καθώς και ότι το λίπος διαθέτει μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης. Οι γνώσεις που αποκτάτε για τη χρήση των καυσίμων σε ένα πρόγραμμα άσκησης μπορούν να σας βοηθήσουν να εξηγήσετε στους ασκούμενούς σας γιατί είναι δύσκολο να χάσουν βάρος και να σταθεροποιηθούν σε αυτό χωρίς να ρυθμίσουν τόσο την πρόσληψη όσο και τη δαπάνη θερμίδων.

Ιατρικά θέματα: Κατανοώντας τη χρήση των καυσίμων στον οργανισμό, οι γιατροί και άλλοι επαγγελματίες της υγείας μπορούν να βοηθήσουν τους ασθενείς που συμμετέχουν σε ιατρικά προγράμματα απώλειας βάρους να κατανοήσουν το λόγο για τον οποίο θα χρειαστεί να τροποποιήσουν τις διατροφικές τους συνήθειες και τον τρόπο με τον οποίο οι νέες συνήθειές τους θα βελτιώσουν τη χρήση των καυσίμων στον οργανισμό τους. Για παράδειγμα, σε πολλά νοσοκομειακά προγράμματα απώλειας βάρους για παχύσαρκους ενήλικες, όπως στο Νοσοκομείο Μεθοδιστών στο Χιούστον (Τέξας), οι ασθενείς ακολουθούν τρία βήματα των 12 εβδομάδων. Τις πρώτες 12 εβδομάδες κάνουν δίαιτα υπό ιατρική παρακολούθηση και συνήθως παρατηρούν σημαντική απώλεια βάρους, όπως είναι αναμενόμενο. Κατά τη δεύτερη περίοδο των 12 εβδομάδων, ακολουθούν κανονική διατροφή με παράλληλες συμπεριφορικές παρεμβάσεις και καθοδήγηση (coaching) ευεξίας εφόσον χρειάζεται. Μετά από 24 εβδομάδες, περνούν στη φάση συντήρησης και ελέγχουν μόνοι τους το βάρος τους, αλλά μπορούν να επικοινωνήσουν με κάποιον επαγγελματία για συμβουλευτική εάν χρειαστεί.

Αθλητικές επιδόσεις: Οι επίδοξοι προπονητές πρέπει να γνωρίζουν τους μηχανισμούς χρήσης των καυσίμων στον οργανισμό προκειμένου να βελτιστοποιήσουν την προπόνηση των αθλητών τους. Όπως τονίστηκε στην ενότητα Ιδέες, Προκλήσεις, Αντιθέσεις, η γνώση της σωστής τροφοδοσίας πριν από τον αγώνα μπορεί να σηματοδοτήσει τη διαφορά μεταξύ νίκης και ήττας και να καθορίσει την επάρκεια ενέργειας για έναν επιτυχή αγώνα. Για παράδειγμα, πώς πιστεύετε ότι θα μπορούσατε να αξιοποιήσετε τις γνώσεις σας για τη χρήση καυσίμων προκειμένου να κάνετε μία σύσταση σε έναν αρχάριο μπασκετμπολίστα φοιτητή κολεγίου σχετικά με το γεύμα του πριν τον αγώνα; Έχει σημασία για την επίδοσή του αν θα φάει περισσότερους υδατάνθρακες παρά λίπη και πρωτεΐνες ή μήπως πρέπει να φάει πολλές πρωτεΐνες στο τελευταίο του γεύμα πριν τον αγώνα, για περισσότερη ενέργεια; Αν έχετε αγωνιστεί ως αθλητής, φροντίσατε να φάτε ένα γεύμα με υψηλή περιεκτικότητα στα κατάλληλα καύσιμα πριν τον αγώνα; Γιατί ή γιατί όχι; Πώς θα μπορούσατε να τροποποιήσετε τις συστάσεις του προπονητή σας ώστε να βελτιώσετε τις επιδόσεις σας;

Αποκατάσταση: Κατανοώντας τη χρήση των καυσίμων, οι φυσικοθεραπευτές, προπονητές και άλλοι επαγγελματίες υγείας μπορούν να βοηθήσουν τα άτομα με διαβήτη να κατανοήσουν τις βασικές παραμέτρους του ελέγχου της γλυκόζης αίματος. Η κατανόηση της χρήσης ινσουλίνης (εφόσον χρειάζεται) για σωματικά δραστήρια άτομα με διαβήτη και η επίδρασή της στη συγκέντρωση της γλυκόζης του αίματος πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά για να αποφευχθεί το υπογλυκαιμικό ή υπεργλυκαιμικό (διαβητικό) κώμα. Για να αποτρέψετε τη σοβαρή υπογλυκαιμία θα πρέπει να παρακολουθείτε τη δόση της ινσουλίνης των διαβητικών και να γνωρίζετε ότι ένα πρόγραμμα μέτριας έως έντονης σωματικής δραστηριότητας διαθέτει από μόνο του δράση παρόμοια με της ινσουλίνης, που σημαίνει ότι η δόση της θα πρέπει να τροποποιηθεί καθώς το άτομο προσαρμόζεται σε αυξανόμενα επίπεδα σωματικής δραστηριότητας. Για να αποτρέψετε το διαβητικό κώμα (κετοξέωση), θα πρέπει να γνωρίζετε ότι ο ασθενής σας πάσχει από έλλειψη ινσουλίνης και χρειάζεται καλύτερο έλεγχο των βασικών επιπέδων γλυκόζης πριν ασκηθεί σε μέτρια έως υψηλή ένταση.

Παραπομπή
HOT LINK Βλέπε Κεφάλαιο 6B για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τον διαβήτη.



Περίληψη Κεφαλαίου

- Η χρήση καυσίμων στον οργανισμό μπορεί να μετρηθεί με πολλούς τρόπους, όπως η τεχνική αρτηριοφλεβικής διαφοράς, οι ισοτοπικές μέθοδοι, η έμμεση θερμιδομετρία από την ανταλλαγή αερίων στους πνεύμονες, και η μυϊκή βιοψία.
- Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες της άσκησης καθιστούν αναγκαία την ταχύτερη ροή των καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ATP (τριφωσφορικής αδενοσίνης) από τα σημεία αποθήκευσης του οργανισμού προς τις ενεργοπαραγωγές μεταβολικές οδούς στο συστελλόμενο μυ.
- Η συμβολή κάθε υποστρώματος (υδατάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες) στις μεταβολικές ανάγκες του ενεργού μυός εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του ατόμου (π.χ. φυσική κατάσταση, διατροφική κατάσταση, προβλήματα υγείας) και τις συνθήκες άσκησης (π.χ. μεγάλο υψόμετρο, ακραίες θερμοκρασίες).
- Η αύξηση της διάρκειας της άσκησης συνεπάγεται αύξηση της χρήσης λίπους, ενώ η αύξηση της έντασης συνεπάγεται αύξηση της χρήσης υδατανθράκων.
- Ο μεταβολισμός των υποστρωμάτων κατά την άσκηση έχει τρεις στόχους: (α) διατήρηση της ομοιόστασης της γλυκόζης, (β) μεταβολισμό του πιο αποδοτικού υποστρώματος και (γ) εξοικονόμηση του μυϊκού γλυκογόνου.
- Η λήψη γλυκόζης από το στόματος μπορεί να διορθώσει ή να αποτρέψει τη μείωση της γλυκόζης αίματος και, σε κάποιες περιπτώσεις, να αυξήσει την ικανότητα για παρατεταμένη άσκηση.
- Οι υδατάνθρακες είναι πιο αποδοτικοί μεταβολικά από τα λίπη και ταιριάζουν καλύτερα στις ανάγκες της έντονης άσκησης.
- Τα λίπη είναι το καύσιμο με τη μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης και χρησιμοποιούνται κατά προτίμηση στην ελαφριά άσκηση που μπορεί να συνεχιστεί για μεγάλο διάστημα.
- Η εξάντληση του γλυκογόνου αποτελεί πιθανή αιτία της κόπωσης κατά την παρατεταμένη άσκηση. Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ της εξάντλησης των αποθεμάτων μυϊκού γλυκογόνου και του χρόνου που μεσολαβεί έως τη σωματική εξουθένωση κατά την άσκηση μέτριας έντασης.
- Είναι σαφές ότι τα καύσιμα του ενεργειακού μεταβολισμού δεν απελευθερώνονται ανεξέλεγκτα όπως το νερό που ξεχύνεται με ορμή από ένα κατεστραμμένο φράγμα. Γενικά, η χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο γλυκογόνο και στα τριγλυκερίδια διανέμεται προσεκτικά με γνώμονα τους τρεις στόχους της χρήσης των καυσίμων.



Φυσιολογία της Άσκησης Πρακτική Εμπέδωση

Για να εμπεδώσετε τις έννοιες της φυσιολογίας της άσκησης που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, κάντε τις εργαστηριακές ασκήσεις του Κεφαλαίου 5. Οι εργαστηριακές ασκήσεις και άλλο υλικό για το μάθημα αυτού του βιβλίου διατίθενται στο www.cengagebrain.com.

Λεπτομέρειες στον Πρόλογο. Μόλις τελειώσετε τις ασκήσεις, αξιολογήστε τα αποτελέσματα με βάση τις κλίμακες που παρατίθενται και καταρτίστε ένα ατομικό πλάνο για την επιτυχή εφαρμογή των γνώσεων που αποκτήσατε.



Φυσιολογία της Άσκησης Διαδικτυακοί Σύνδεσμοι

Επισκεφθείτε τους παρακάτω ιστότοπους για περαιτέρω μελέτη των θεμάτων που αναπτύσσονται σε αυτό το κεφάλαιο:

- Στον ιστότοπό μας θα βρείτε ενημερώσεις και συνδέσμους προς ιστότοπους σχετικούς με τη χρήση καυσίμων και τη φυσιολογία της άσκησης. Το υλικό

του μαθήματος και τα συνοδευτικά βοηθήματα αυτού του βιβλίου βρίσκονται στο www.cengagebrain.com. Λεπτομέρειες στον Πρόλογο.

- Αναζητήστε περισσότερες πληροφορίες για τη χρήση καυσίμων στον ιστότοπο του Αμερικανικού Κολεγίου Αθλητιατρικής: <http://www.acsm.org>.
- Αναζητήστε περισσότερες πληροφορίες για τη χρήση

καυσίμων στον ιστότοπο του Ινστιτούτου Αθλητικών Επιστημών της Gatorade: <http://www.gssiweb.com>.

- Αναζητήστε πληροφορίες για την ομοιόσταση της γλυκόζης στην ηλεκτρονική διεύθυνση http://chemistry.gravitywaves.com/CHE452/24_Glucose%20Homeostas.htm



Ερωτήσεις για Μελέτη

Ξαναδείτε τις ερωτήσεις στο Προκαταρκτικό Τεστ Προθέρμανσης που σας ζητήθηκε να απαντήσετε πριν αρχίσετε την ανάγνωση του Κεφαλαίου 5. Απαντήστε τις ξανά για να διαπιστώσετε τι γνωρίζετε τώρα που τελειώσατε το κεφάλαιο.

Οι παρακάτω ερωτήσεις θα σας βοηθήσουν να κάνετε ανακεφαλαίωση. Θα βρείτε τις απαντήσεις στις σελίδες που δίνονται.

1. Με ποιες επιστημονικές μεθόδους μπορεί να μετρηθεί η χρήση καυσίμων στον οργανισμό; σελ. 150
2. Περιγράψτε την τεχνική της μυϊκής βιοψίας. σελ. 151-152
3. Ποιες είναι οι τρεις αρχές της χρήσης υποστρωμάτων; σελ. 153

4. Πώς μπορεί να διατηρηθεί η ομοιόσταση της γλυκόζης; σελ. 153
5. Από τι εξαρτάται αν θα χρησιμοποιηθούν κυρίως υδατάνθρακες ή λίπη κατά την άσκηση; σελ. 154
6. Ποια η σχέση μεταξύ εξάντλησης του μυϊκού γλυκογόνου και κόπωσης στην παρατεταμένη άσκηση; σελ. 158
7. Πώς συμβάλλει το ήπαρ στην αναπλήρωση της γλυκόζης αίματος; σελ. 158-59
8. Ποιος τύπος καυσίμων, υδατάνθρακες ή λίπη, παρέχουν στο μυ περισσότερο ATP ανά άτομο άνθρακα του καυσίμου; σελ. 154-155
9. Τι τρόπους εξοικονόμησης του μυϊκού γλυκογόνου διαθέτει ο οργανισμός; σελ. 159
10. Πώς παράγεται το ATP στα κύτταρα των θηλαστικών κατά τον αναερόβιο μεταβολισμό; σελ. 155-156



Επιλεγμένη Βιβλιογραφία

- Bergstrom, J., L. Hermansen, E. Hultman, and B. Saltin. 1967. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta. Physiol. Scand.* 71:140-150.
- Hawley, J. A., E. J. Schabort, T. D. Noakes, and S. C. Dennis. 1997. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med.* 24(2): 73-81.
- Hellsten, Y., and B. Saltin. 2010. The legacy of the Copenhagen School: In the footsteps of Lindhard and Krogh. *Acta. Physiol. (Oxf).* 199(4):347-348.
- Hultman, E. 1995. Fuel selection, muscle fibre. *Proc. Nutr. Soc.* 54(1):107-121.
- Joyner, M. J. 2011. Into the real world: physiological insights from elite marathoners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43(4): 656-64.
- Kiens, B. 2006. Skeletal muscle lipid metabolism in exercise- and insulin resistance. *Physiol. Rev.* 86(1):205-243.
- Spriet, L. L., and M. J. Watt. 2003. Regulatory mechanisms in the interaction between carbohydrate and lipid oxidation during exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 178(4):443-452.
- Wasserman, D. H. 2009. Solomon A. Berson Award Lecture: Four grams of glucose. *Am. J. Physiol.* 296(1):E11-E21.
- Wasserman, D. H., and A. Cherrington. 1996. Regulation of extrahepatic fuel sources during exercise. In *The American Physiological Society Handbook of Physiology—Integration of Motor, Circulatory, Respiratory, and Metabolic Control during Exercise*, edited by L. B. Rowell and J. T. Shepherd. Rockville, MD: Waverly Press, pp. 1036-1074.