

Φυσιολογία της μυϊκής συστολής

Η πλειονότητα των φυσικών και αθλητικών δραστηριοτήτων εκφράζονται υπό τη μορφή κινήσεων ή μετατοπίσεων, δηλαδή με παραγωγή μηχανικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από τη μετατροπή της χημικής ενέργειας στο επίπεδο της μυϊκής ίνας, με τη συστολή των μυοϊνιδίων ακτίνης και μυοσίνης (μειομετρικό έργο), σε μηχανική και θερμική ενέργεια. Η απόδοση της μυϊκής συστολής φθάνει το 25% στο συνολικό επίπεδο του οργανισμού. Τουλάχιστον τα τρία τέταρτα της χημικής ενέργειας μετατρέπονται σε θερμότητα. Κατά τη διάρκεια της άσκησης η μέριμνα για τον έλεγχο των συνθηκών ικανοποιητικής αποβολής θερμότητας είναι ουσιώδης ώστε να προληφθούν ατυχήματα υπερθερμίας, κίνδυνος που είναι αυξημένος σε περιβάλλον ουδέτερο ή θερμό ή με υψηλή υγρασία.

Ενεργειακή δαπάνη της μυϊκής άσκησης

Η ενεργειακή δαπάνη (*DE: Dépense Energetique*) μπορεί να υπολογισθεί από:

- την άμεση μέτρηση του ρυθμού πρόσληψης οξυγόνου (VO_2), που υπολογίζεται από τη συλλογή του εκπνεόμενου αέρα στο επίπεδο των ανώτερων αεροφόρων οδών (με στοματικό σωλήνα ή μάσκα), ώστε να μετρηθούν ο κατά λεπτό αερισμός και οι μερικές πιέσεις του O_2 και του CO_2 κατά την άσκηση (με φορητές συσκευές καταγραφής ή με χρήση της τηλεμετρίας).

- την καταγραφή της καρδιακής συχνότητας (*FC: Frequence Cardiaque*) με τη βοήθεια ενός μετρητή ("καρδιοταχύμετρο"), και αφού πρώτα απεικονίσουμε τη σχέση FC/VO_2 στο εργαστήριο σε συνθήκες όμοιες αυτών της άθλησης. Από την FC υπολογίζεται η αντίστοιχη VO_2 και έπειτα ανάγεται σε DE με τη βοήθεια του θερμικού συντελεστή του οξυγόνου (περίπου 20 kg/L).

- ερωτηματολόγια σχετικά με το είδος, τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης. Η εκτίμηση της DE είναι λιγότερο ακριβής με αυτή τη μέθοδο συγκριτικά με τις δύο προηγούμενες.

Η γνώση της ολικής DE (Πίνακας 1-1) είναι η βάση για τον υπολογισμό των προσλαμβανόμενων θρεπτικών στοιχείων υπό μορφή μεγαλομορίων (υδατανθράκων, πρωτεϊνών, λιπιδίων) για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Η πρόσληψη πρέπει να ισορροπήσει τις διάφορες συνιστώσες ενεργειακής δαπάνης: βασικής και ηρεμίας, θερμορύθμισης (ιδίως στην καταπολέμηση του ψύχους), της σχετικής με τη διατροφή και την πέψη, ανάπτυξης (στα παιδιά και τους εφήβους), αφομοίωσης από το έμβryo σε πιθανή κύηση, οφειλόμενης σε χειρωνακτική εργασία και ειδικής του αθλήματος ή της φυσικής δραστηριότητας.

Με σταθερή τη σύσταση του σώματος, η ισορροπία μεταξύ πρόσληψης και δαπάνης ενέργειας μεταφράζεται σε σταθερό σωματικό βάρος. Εφόσον οι δαπάνες υπερβούν την πρόσληψη ενέργειας το σωματικό βάρος ελαττώνεται και στην

Πίνακας 1-1.- Τιμές ολικής DE^a (σύμφωνα με τους Passmore και Durnin, 1967).

<i>Φυσική ή αθλητική δραστηριότητα (ψυχαγωγία)</i>	<i>Ενεργειακή δαπάνη, σε watts (W)</i>
Κωπηλασία, αγώνας δρόμου, cross country, ποδηλασία (αγώνας), ποδόσφαιρο, χειροσφαίριση, κολύμβηση (αγωνιστική), rugby, χιονοδρομία αντοχής, squash, αντισφαίριση	500 και άνω (άνδρες 70 kg, Α) 450 και άνω (γυναίκες 60 kg, Γ)
Καλαθοσφαίριση, πυγμαχία, canoe-kayak, ποδηλασία (ψυχαγωγία), footing, judo, γρήγορο περπάτημα, κολύμβηση (ερασιτεχνική), χιονοδρομία (αλπικό), επιτραπέζια αντισφαίριση, πετοσφαίριση, υδατοσφαίριση	350 με 500 (Α) 250 με 350 (Γ)
Boules, ιππασία (ψυχαγωγία), golf, ping-pong, πεζοπορία, ιστιοπλοία	175 με 350 (Α) 140 με 180 (Γ)
Καθιστική δραστηριότητα	175 (Α) και 140 (Γ)

a: Τιμές εκφρασμένες σε ισχύ: για τη μετατροπή του σε ολική DE, πολλαπλασιάζουμε επί τη διάρκεια της δραστηριότητας σε δευτερόλεπτα και έπειτα διαιρούμε δια του 4,18 για τη μετατροπή σε calories (δια του 1.000 για τη μετατροπή σε kcal).

αντίθετη περίπτωση αυξάνει. Τα παραπάνω αξιοποιούνται στη διαχείριση του σωματικού βάρους στις βέλτιστες τιμές κατά την αθλητική περίοδο, στις δίαιτες απώλειας βάρους με περιορισμό των προσλαμβανομένων θερμίδων και άσκηση και στην αντιμετώπιση της παχυσαρκίας.

Ενεργειακά χαρακτηριστικά του μυός

Η χημική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη συστολή προέρχεται από τη σαρκοπλάσματική τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP), η οποία υδρολύεται από τη δραστηριότητα της ATPάσης της μυοσίνης. Παρόν σε χαμηλές συγκεντρώσεις μέσα στο μυ (4×10^{-3} mol/kg νωπού μυϊκού ιστού), το ATP πρέπει να επανασυντίθεται γρήγορα ώστε να επιτρέπει τη συνέχιση της συστολής. Ειδικότερα, τρεις μεταβολικές οδοί είναι διαθέσιμες για την ανασύνθεση του ATP, των οποίων τα χαρακτηριστικά διαφέρουν σε αρκετά σημεία (Πίνακας 1-2).

Οι μύες του οργανισμού μπορούν να διακριθούν σε κατ' εξοχήν βραδείς (τονικούς, περιέχοντες μια πλειοψηφία ιών τύπου I και IIΑ) και σε μύες κατ' εξοχήν ταχείας συστολής (φασικούς, με ίνες κυρίως IIΒ). Πρέπει εντούτοις να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ ατόμων στην αναλογία των διαφόρων τύπων μυϊκών ιών (Πίνακας 1-3).

Οι διάφοροι μύες του οργανισμού είναι λιγότερο ή περισσότερο εξειδικευμένοι, και με σημαντικές διαφορές μεταξύ ατόμων. Οι διαφοροποιήσεις δεν είναι όμως αρκετές, ώστε ο τύπος των μυϊκών ιών να αποτελέσει ένα μέσο ανίχνευσης και επιλογής ταλέντων και αθλημάτων στην αθλητιατρική πρακτική. Εντούτοις, στο παράδειγμα των δρόμων ταχύτητας, η αυξημένη αναλογία μυϊκών ιών τύπου IIΒ στους μύς που εμπλέκονται στην κίνηση είναι απαραίτητη.

Πίνακας 1-2.- Μεταβολικές οδοί κατά τη μυϊκή άσκηση [2].

	<i>Αναερόβιος αγαλακτικός</i>	<i>Αναερόβιος γαλακτικός</i>	<i>Αερόβιος</i>
Είδος μυϊκής ίνας	IIA και IIB	IIA και IIB	I και IIA
Ικανότητα (C σε kJ)	15 ως 30	100 ως 200	1 ως 400
Ισχύς (W σε kW)	4 ως 12	3 ως 8	0,8 ως 1,7
Διάρκεια της δοκιμασίας	<20 sec	20 sec ως 2,5 min	>2,5 min
Παραδείγματα δοκιμασιών	Ρίψεις, άλματα, ταχύτητα (sprint), άρση βαρών	Δρόμοι 400 και 800 μέτρων (απλών), κολύμβηση 100 μέτρων	Δρόμοι από 1.500 μέτρα ως μαραθώνιος
Περιοριστικοί παράγοντες	Νευρομυϊκή λειτουργία και μυϊκή μάζα	Ελάχιστο ενδομυϊκό pH και ενζυμικές δραστηριότητες	Καρδιακή παροχή και τοπική αιμάτωση
Αποθήκες ενέργειας	Τοπικά στο μυ	Τοπικά στο μυ	Μυες, ήπαρ, λιπώδης ιστός
Ενεργειακό υπόστρωμα	ATP, φωσφοκρεατίνη	Γλυκόζη	Γλυκόζη και λιπαρά οξέα
Μεταβολικά προϊόντα (εκτός θερμότητας)	Κρεατίνη	Γαλακτικό οξύ	CO ₂ και H ₂ O
Ενέργεια / μόριο υποστρώματος	1 ATP	2-3 ATP	36 με 39 ATP
Απαιτούμενη παρουσία οξυγόνου	Όχι	Όχι	Ναι
Εξόφληση του χρέους σε οξυγόνο: χρόνος ημίσειας επαναφοράς	15-20 sec	10-20 min	Λίγες ώρες ως πολλές ημέρες ανάλογα με το σύστημα
Χρόνος πλήρους επαναφοράς	2-3 min (ενέργεια), 6-10 min (κινητικότητα)	1 ώρα και πλέον	Ώρες ως ημέρες

Οι μεταβολικές οδοί

Αναερόβια αγαλακτική οδός

Λαμβάνει χώρα επί απουσίας οξυγόνου (αναερόβιος) και χωρίς παραγωγή γαλακτικού οξέος (αγαλακτικός). Στο μυ, η φωσφοκρεατίνη είναι τέσσερις με έξι

Πίνακας 1-3.– Οι διάφοροι τύποι μυϊκών ινών*.

<i>Χαρακτηριστικά</i>	<i>Ερυθρές ίνες</i>	<i>Λευκές ίνες</i>
Όνοματολογία	I ή 1, <i>ST</i>	IIA ή IIB ή 2, <i>FT</i>
Επικρατών μεταβολισμός	Αερόβιος	Αναερόβιος
Συγκέντρωση μυοσφαιρίνης	Υψηλή	Χαμηλή
Εξάρτηση από το οξυγόνο	Υψηλή	Χαμηλή
Μιτοχόνδρια	Άφθονα	Χαμηλή πυκνότητα
Γλυκολυτικά ένζυμα	Αρκετά δραστικά	Πολύ δραστικά
Υποστρώματα	Λιπαρά οξέα, γλυκόζη, φωσφοκρεατίνη	ΑΤΡ, φωσφοκρεατίνη, γλυκόζη
Αποθήκες λιπιδίων	Ανεπτυγμένες	Πτωχές
Αποθήκες γλυκογόνου	Μέτριες ως υψηλές	Μέτριες ως υψηλές
Αποθήκες φωσφοκρεατίνης	Πτωχές	Μέτριες
Μεταβολικά προϊόντα	CO ₂ , H ₂ O	Γαλακτικό οξύ
ΑΤΡασική δραστηριότητα της μυοσίνης	Μέτρια	Αυξημένη
Πυκνότητα τριχοειδικού δικτύου	Αρκετά υψηλή	Μέτρια
Λόγος όγκων μυοϊνιδίων/σαρκοπλάσματος	Μέτριος	Αυξημένος
Συσταλτική λειτουργία	Τονική	Φασική
Απαιτούμενος χρόνος για επίτευξη της μέγιστης τάσης	Μακρός	Βραχύς
Χρόνος δραστηριότητας μέχρι την εμφάνιση καμάτων	Μακρός	Σύντομος
Ουδός επιστράτευσης μυϊκών ινών	Χαμηλός	Αρκετά αυξημένος

* *ST*: *slow twitch* (ίνες βραδείας συστολής), *FT*: *fast twitch* (ταχείας συστολής).

φορές περισσότερη από το ΑΤΡ. Η φωσφορική ρίζα, πλούσια σε ενέργεια, μεταφέρεται στη διφωσφορική αδενοσίνη (ΑΔΡ) μέσω της δράσης της κρεατινικής κινάσης. Η ταχύτατη και μικρής αδράνειας αυτή αντίδραση συμβαίνει στην αρχή μιας άσκησης ή κατά τη διάρκεια μιας πολύ έντονης προσπάθειας (τερματισμός σε δρόμο ταχύτητας).

Μέγιστη αναερόβια αγαλακτική ισχύς

Λόγω αδυναμίας άμεσου υπολογισμού των ενεργειακών μεταβολών στο βιοχημικό επίπεδο, προσδιορίζουμε τη μηχανική ισχύ. Για τα κάτω άκρα, βρίσκεται περίπου στο 1 kW για αγύμναστα άτομα και στα 2-2,5 kW σε αθλητές υψηλού επιπέδου. Για τα άνω άκρα ισχύουν τα 2/3 των τιμών των κάτω άκρων και για τις γυναίκες τα 2/3 των τιμών των ανδρών.

Η κατανάλωση ενέργειας εκτιμάται ότι είναι περίπου τέσσερις φορές υψηλότερη από το μηχανικό έργο λαμβάνοντας υπ' όψη την απόδοση της μυϊκής δραστηριότητας.

Οι περιοριστικοί παράγοντες της μέγιστης αναερόβιας αγαλακτικής ισχύος (W_{maxAA}) είναι κεντρικοί, σχετιζόμενοι με τα χαρακτηριστικά της κινητικής εντολής (χρονική και χωρική άθροιση, ήτοι ταυτόχρονη ενεργοποίηση μεγάλου αριθμού μυϊκών ινών) και περιφερικοί, σχετιζόμενοι με τον όγκο της μυϊκής μάζας που συμμετέχει.

Η W_{maxAA} αυξάνει με τη θερμοκρασία του μυός, άρα και με την προθέρμανση.

Μέγιστη αναερόβια αγαλακτική ικανότητα

Είναι η μέγιστη διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να προέλθει από τις αποθήκες του ATP και της φωσφοκρεατίνης. Για τα κάτω άκρα υπολογίζεται σε 15 με 30 kJ, ανάλογα με το βαθμό άσκησης και τη μυϊκή μάζα. Η ποσότητα αυτή είναι μικρή και η μέγιστη αναερόβια αγαλακτική ικανότητα (C_{maxAA}) δε μπορεί να συντηρήσει τη συστολή για πάνω από 6 με 10 δευτερόλεπτα περίπου. Μετά από αυτό το διάστημα η ισχύς μειώνεται. Σε υπομέγιστη WAA, η μεταβολική αυτή οδός επικρατεί στα πρώτα 15 με 20 δευτερόλεπτα της προσπάθειας, ενώ η σκυτάλη της ανασύνθεσης του ATP περνά έπειτα στην αναερόβια γλυκόλυση.

Φάση επαναφοράς

Μετά το πέρας της προσπάθειας, οι αποθήκες της φωσφοκρεατίνης αποκαθίστανται δια του ATP που επανασυντίθεται από τον αερόβιο κυρίως μεταβολισμό. Η εξόφληση του χρέους οξυγόνου ακολουθεί εκθετική καμπύλη και χρειάζεται 15 με 20 δευτερόλεπτα για το πρώτο 50%, και 2 λεπτά για το 90%. Το χρέος οξυγόνου αντιστοιχεί στο ποσό του οξυγόνου που εξοικονομήθηκε κατά την άσκηση από την ενεργοποίηση των αναερόβιων μεταβολικών οδών, λόγω της φυσιολογικής καθυστέρησης της κατάλληλης ενεργοποίησης ("accrochage") του καρδιοαναπνευστικού συστήματος. Η εξόφληση μπορεί να γίνει είτε κατά τη διάρκεια της προσπάθειας είτε μετά το τέλος της, οπότε το συσσωρευμένο χρέος αποκτά σημαντικό μέγεθος. Η πλήρης επαναφορά του μυός, ώστε να επαναλάβει μια φυσική προσπάθεια υψηλής ποιότητας, απαιτεί 6 με 10 λεπτά.

Βιολογική σημασία

Η μεταβολική αυτή οδός παρέχει ειδικότερα την ενεργειακή υποστήριξη ασκήσεων δύναμης και ταχύτητας (Πίνακας 1-2).

Περιθώρια βελτίωσης

Οι προπονήσεις ενδυνάμωσης και ταχύτητας στοχεύουν στην αύξηση της αναερόβιας αγαλακτικής ισχύος και ικανότητας, και αναπτύσσουν ταυτόχρονα τη μυϊκή μάζα, τα κινητικά χαρακτηριστικά του μυός (επιστράτευση μυϊκών ινών) και την κινητική εντολή στο επίπεδο του νευρικού συστήματος. Στον προγραμ-