Η ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΓΥΜΝΑΣΤΙΚΗΣ

Απόστολος Ντάνης

Institut fuer kreislaufforschung und Sportmedizin, DSHS Koeln, Γερμανία.

Η ενόργανη γυμναστική είναι ένα κατ' εξοχήν τεχνικό άθλημα. Έτσι το επίπεδο της τεχνικής κατάρτισης καθορίζει κυρίως την επίδοση. Αποφασιστικό ρόλο παίζουν ωστόσο η φυσική κατάσταση, οι ψυχικές ικανότητες και η τακτική στον αγώνα. Η φυσική κατάσταση θέτει τις προϋποθέσεις για την αξιοποίηση των τεχνικών δυνατοτήτων στα προγράμματα των οργάνων και βρίσκεται, μετά την τεχνική, στην αμέσως επόμενη θέση σε σπουδαιότητα.

Η εκτίμηση των ειδικών απαιτήσεων των προγραμμάτων στη φυσική κατάσταση δεν μπορεί να γίνει με μεμονωμένες μετρήσεις των στοιχείων της φυσικής κατάστασης. Μία προσέγγιση της συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών (αναερόβιου αγαλακτικού, αναερόβιου γαλακτικού και αερόβιου γαλακτικού) στην εκτέλεση των προγραμμάτων παρέχει τέτοιες προοπτικές. Το επίπεδο συμμετοχής του κάθε μηχανισμού παρουσιάζει και τις απαιτήσεις των προγραμμάτων από αυτόν, ενώ παράλληλα αποτελεί την ένδειξη για την βαρύτητα της προπόνησης.

Για μια ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων των προγραμμάτων της ενόργανης γυμναστικής χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από αναπνευστικό-μεταβολικές έρευνες (Sward 1967, Seliger et al. 1970, Montpetit 1972, Hoeger and Fisher 1981) και από αιμο-μεταβολικές έρευνες (Rasim 1980, 1982).

Μεθοδολογία των υπολογισμών

Οι αναπνευστικο-μεταβολικές έρευνες περιελάμβαναν την κατανάλωση 0_2 α) στη διάρκεια κάθε προγράμματος και β) στην ανάληψη ως εξής: Sward 15 min, Seliger et al. 30 min, Montpetit 5 min και Hoeger and Fisher 10 min. Οι αιμο-μεταβολικές έρευνες παρείχαν την συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα μετά την εκτέλεση κάθε προγράμματος. Από τα δεδομένα των πρώτων ερευνών υπολογίσθηκε η ενέργεια του αερόβιου και αναερόβιου αγαλακτικού μηχανισμού και από τα δεδομένα των δεύτερων η ενέργεια του αναερόβιου γαλακτικού μηχανισμού.

Για να εξασφαλισθεί μια φυσιολογική βάση στους υπολογισμούς έγιναν δύο υποθέσεις: α) ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις των ασκήσεων σ' ένα πρόγραμμα έχουν ένα σχετικά ομοιόμορφο και συνεχή χαρακτήρα και β) ότι ένα steady-state της VO_2 δε πετυχαίνεται στη διάρκεια του προγράμματος, λόγω της μικρής διάρκειας, με συνέπεια μια συνεχή ενεργοποίηση αερόβιων και αναερόβιων διαδικασιών. Και οι δύο υποθέσεις φαίνεται ότι πράγματι ισχύουν.

Η συνεισφορά της ενέργειας από κάθε έναν από τους τρεις μηχανισμούς υπολογίσθηκε ως εξής:

α) Αερόβια ενέργεια

$$(AE)=VO_{2\,(A)} + VO_{2\,(S)} \qquad (1)$$

όπου $VO_{2\,(A)}$ είναι η καθαρή κατανάλωση O_2 στη διάρκεια του προγράμματος (χωρίς δηλ. τη βασική κατανάλωση της ηρεμίας) και $VO_{2\,(S)}$ η χρησιμοποιημένη ποσότητα από τις αποθήκες O_2, υπολογισμένη για τη διάρκεια (t) του προγράμματος βάση της κινητικής της ως εξής: $VO_{2\,(S)} = 550 - (550 \cdot e^{-t/k})$ με $t_{1/2}^{*} = 22\text{-}25$ sec (di Prampero 1973). 550 ml είναι η εκτιμούμενη μέγιστη ποσότητα από τις αποθήκες O_2 που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Fox 1973, Margaria 1982). Στους υπολογισμούς των γυναικών η τιμή ήταν 10% μικρότερη (495ml).

β) Αναερόβια αγαλακτική ενέργεια

$$(AAE) = VO_{2\,(5')} - VO_{2\,(R)} - VO_{2\,(S)} - VO_{2\,(+)} \qquad (2)$$

όπου $VO_{2\,(5')}$ είναι το χρέος O_2 των 5 πρώτων λεπτών σε κάθε πρόγραμμα, $VO_{2\,(R)}$ η αντίστοιχη κατανάλωση ηρεμίας, $VO_{2\,(S)}$ η ποσότητα O_2 για την επαναπλήρωση των αποθηκών O_2, υπολογιζόμενη στην αερόβια

ενέργεια και $VO_{2\,(+)}$ η αυξημένη κατανάλωση O_2 από την καρδιά, τους αναπνευστικούς μύες, την ορμονική έκκριση, την μεταφορά ιόντων κλπ, εκτιμούμενη συνολικά σε 300-400ml. Η κατανάλωση O_2 στα 5 min της ανάλυψης δινόταν μόνο στην έρευνα του Montpetit. Στις άλλες έρευνες η $VO_{2\,(5')}$ υπολογιζόταν από την μετρημένη κατανάλωση της ανάλυψης αφαιρώντας την παρακάτω ποσότητα: $VO_2 = \ / 200 \ . \ e^{-t/k}.dt = 200.k$ με $t_{1/2}{}^{*} = 3$ min, η οποία εκτιμήθηκε ότι υπολείπονταν μετά τα 5 λεπτά πάνω από την VO_2 ηρεμίας μέχρι την επαναφορά στο επίπεδο της ηρεμίας. Η αντίστοιχη για το υπολειπόμενο διάστημα VO_2 ηρεμίας αφαιρούνταν επίσης.

γ) Αναερόβια γαλακτική ενέργεια

$$(\text{ΑΓΕ}) = La_{peak}.2.8\text{-}3.8 \text{ ml } O_2 \ . \ \Sigma B \qquad (3)$$

όπου La_{peak} είναι η μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα μετά την εκτέλεση του προγράμματος, 2.8 - 3.8 το ισοδύναμο του γαλακτικού οξέος σε ml O_2 ανά kg σωματικού βάρους (ΣΒ) για κάθε mmol/l αίματος (Margaria et al. 1963, Cerretelli et al. 1969, di Prampero et al. 1978, di Prampero 1981).

Η ενέργεια από τους τρεις μηχανισμούς υπολογίσθηκε αναλυτικά για κάθε όργανο με τα δεδομένα από κάθε μία έρευνα. Η συμμετοχή τους σε απόλυτη και σχετική βάση υπολογίσθηκε βάση των συνολικών τιμών, με βαρύτητα στα προγράμματα ψηλότερης δυσκολίας.

$t_{1/2}$ (χρόνος ημιαντίδρασης) = 0,69 · K (χρονική σταθερά)

Η συμμετοχή των ενεργειακών μηχανισμών σε κάθε όργανο

Οι επιμέρους υπολογισμοί σε κάθε ένα από τα 6 όργανα των ανδρών και 4 των γυναικών (Danis 1987) έδειξαν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των οργάνων. Για να είναι συγκρίσιμες οι τιμές των τριών μηχανισμών, η ενέργεια δίνεται κατ' αντιστοιχία σε lit O_2 (πίνακας 1). Χρησιμοποιώντας το θερμιδικό ισοδύναμο των 5 kcal για κάθε lit O_2 παίρνεται εύκολα η θερμιδική δαπάνη για κάθε όργανο, από τον κάθε μηχανισμό ή από τους τρεις συνολικά.

Τις μεταλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια (συνολική) έχουν τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες οι ασκήσεις εδάφους, με μια θερμιδική δαπάνη 22 περίπου kcal. Ακολουθούν στους άνδρες ο πλάγιος ίππος, οι κρίκοι, το μονόζυγο και το δίζυγο, και στις γυναίκες η δοκός και το δίζυγο. Το άλμα ίππου έχει την μικρότερη θερμιδική δαπάνη με 6.2kcal.

Με εξαίρεση τις ασκήσεις εδάφους και την δοκό η συνεισφορά των αναερόβιων μηχανισμών στα άλλα όργανα είναι μεγαλύτερη από την συνεισφορά του αερόβιου. Στα προγράμματα στο μονόζυγο, δίζυγο (ανδρών και γυναικών), κρίκους και πλάγιο ίππο η αερόβια ενέργεια δεν διαφέρει σημαντικά κι αντιστοιχεί σε 0.5-1.0 lit O_2. Στις ασκήσεις εδάφους η ποσότητα αυτή είναι μεγαλύτερη (1.6 - 2.1 lit O_2) απ' ότι στην δοκό (1.3 lit O_2), ενώ είναι ασήμαντη στο άλμα (0.15 lit O_2).

Πίνακας 1

Η συνεισφορά σε ενέργεια των τριών μηχανισμών στα προγράμματα της ενόργανης γυμναστικής.

	Ενέργεια (lit O_2)			
Όργανα	*ΑΕ*	*ΑΑΕ*	*ΑΓΕ*	*Σύνολο*
Έδαφος ανδρών	1.62	1.41	1.33	4.36
Έδαφος γυναικών	2.07	1.18	1.12	4.37
Άλμα ίππου	0.15	1.09	0.00	1.24
Μονόζυγο	0.55-0.86	1.34-1.62	1.23-1.26	3.12-3.74
Δίζυγο γυναικών	0.50	1.06	0.91	2.47
Δίζυγο ανδρών	0.60-0.83	1.18-1.56	0.89-1.08	2.67-3.47
Κρίκοι	0.92-1.05	1.34-1.86	1.17-1.30	3.56-4.08
Πλάγιος ίππος	0.77-1.04	1.74-2.08	1.29-1.35	3.80-4.47
Δοκός	1.33	0.27	0.51	2.11

Οι τιμές της αναερόβιας αγαλακτικής ενέργειας δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στα διάφορα όργανα (εκτός της δοκού), με τιμές γύρω στο 1.5 lit O_2. Ανάγοντας τις τιμές αυτές σε mmol -P, με μία σχέση P/O = 2.7 (Piiper and Spiller 1970), μυική μάζα 42% για τους άνδρες και 35% για τις γυναίκες του σωματικού βάρους και ενεργή μυική μάζα γύρω στο 95-100%, παίρνουμε 13-17 mmol/kg υγρής μυικής μάζας. Οι τιμές αυτές διάσπασης των φωσφορικών ενώσεων δικαιολογούν τις συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέος 5-8 mmol/l που μετρήθηκαν από τον Rasim (1980, 1982) και αντιστοιχούν σε 1.0 - 1.2 lit O_2 (πίνακας 1).

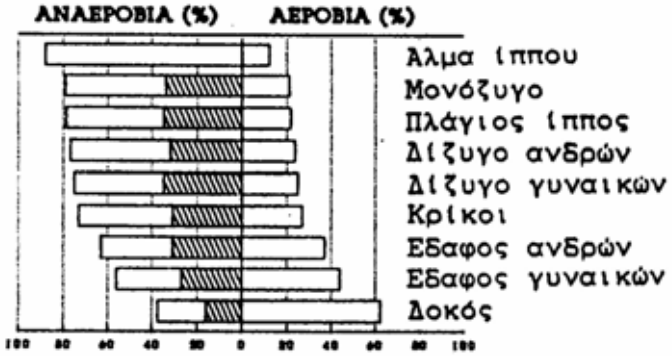
Η δοκός δεν ενεργοποιεί σημαντικά τον αναερόβιο αγαλακτικό μηχανισμό και κατά συνέπεια ούτε τον γαλακτικό. Η εξήγηση βρίσκεται στην χαμηλή ένταση των ασκήσεων, παρά την σχετικά μεγάλη διάρκεια του προγράμματος (70-90 sec). Στο άλμα αντίθετα ο αναερόβιος αγαλακτικός μηχανισμός ενεργοποιείται σημαντικά, χωρίς να ενεργοποιείται ούτε ο γαλακτικός ούτε ο αερόβιος, λόγω της πολύ μικρής διάρκειας (4.5-6 sec).

Η ένταση και η διάρκεια των προγραμμάτων στα άλλα όργανα αποτελούν κυρίως την εξήγηση της ενεργοποίησης των τριών μηχανισμών. Στο έδαφος η συνολική ένταση είναι μικρότερη απ΄ ότι στα άλλα όργανα (μονόζυγο, δίζυγο, κρίκους και πλάγιο ίππο). Έτσι λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας (50-70 στους άνδρες και 70-90 sec στις γυναίκες) παρατηρείται η ίδια ενεργοποίηση του αναερόβιου αγαλακτικού μηχανισμού (12.5 και 15mmol ~ P/kg υγρής μυϊκής μάζας), ενώ τόσο ο αερόβιος όσο και ο γαλακτικός μηχανισμός ενεργοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό (γ.ο.:7.5 - 8.5 mmol/l).

Στα προγράμματα του μονόζυγου, δίζυγου, κρίκων και πλάγιου ίππου ούτε η διάρκεια (25-40sec) ούτε η ένταση (φαινομενικά) διαφέρουν σημαντικά. Επειδή πρόσθετα το μεγαλύτερο έργο πραγματοποιείται με τις μυϊκές ομάδες των άνω άκρων και σε μεγάλο βαθμό με ισομετρικές συστολές η ενεργοποίηση είναι μεγαλύτερη στον αναερόβιο αγαλακτικό μηχανισμό (μεγαλύτερη στον πλάγιο ίππο με 14.6-17.6mmol~P/kg υγρής μυϊκής μάζας). Η ενεργοποίηση του αερόβιου μηχανισμού δεν είναι μεγάλη εξ αιτίας της βραδύτητας στην κινητική της VO_2, ενώ ο γαλακτικός μηχανισμός παρουσιάζει μια ανάλογη ενεργοποίηση για την διάσπαση της CP και τη διάρκεια των προγραμμάτων.

Το σχήμα 1 δείχνει την σχετική συμμετοχή των τριών μηχανισμών στα προγράμματα των οργάνων. Όπως διαπιστώνεται η ενέργεια στα προγράμματα της ενόργανης γυμναστικής προέρχεται κυρίως από

αναερόβιες διαδικασίες. Στο άλμα ίππου ο αναερόβιος αγαλακτικός μηχανισμός παρέχει σχεδόν εξ ολοκλήρου (88%) την απαιτούμενη ενέργεια, έναντι 12% του αερόβιου και 0% του γαλακτικού. Στα όργανα μονόζυγο, πλάγιος ίππος, δίζυγο (ανδρών και γυναικών) και κρίκοι η συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού μόλις ξεπερνά το 20%, (γύρω στο 32-35%) και από τον αγαλακτικό (γύρω στο 42-45%). Στις ασκήσεις εδάφους εξ αιτίας της μεγαλύτερης διάρκειας και χαμηλότερης έντασης το ποσοστό του αερόβιου μηχανισμού ανέρχεται σε 37% και 44% για τους άνδρες και τις γυναίκες αντίστοιχα. Το υπόλοιπο ποσοστό καλύπτεται κατά το ήμισυ από τον αγαλακτικό και τον γαλακτικό μηχανισμό. Το μεγάλο ποσοστό συμμετοχής του αερόβιου μηχανισμού στη δοκό (περίπου 60%) οφείλεται στην χαμηλή ένταση των ασκήσεων και κατ΄ επέκταση στην μικρή ενεργοποίηση των αναερόβιων μηχανισμών.



Σχήμα 1.: *Σχετική συμμετοχή του αερόβιου και των αναερόβιων μηχανισμών παραγωγής ενέργειας στα προγράμματα της ενόργανης γυμναστικής. Στην αναερόβια ενέργεια το διαγεγραμμένο μέρος δείχνει τη συμμετοχή του γαλακτικού και το λευκό τη συμμετοχή του αγαλακτικού μηχανισμού.*

Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι η ενόργανη γυμναστική δεν είναι ένα 100% αναερόβιο άθλημα, όπως συχνά πιστεύεται, αλλά ο αερόβιος μηχανισμός συμμετέχει σε σημαντικό ποσοστό, ιδιαίτερα στις ασκήσεις εδάφους. Ο προσδιοριστικός ρόλος ωστόσο του αερόβιου μηχανισμού βρίσκεται στην κινητική του, δηλαδή στην ταχύτητα της ενεργοποίησής του. Την μεγαλύτερη σπουδαιότητα έχουν φυσικά οι αναερόβιοι μηχανισμοί. Στη δοκό η ενεργειακή κάλυψη δεν φαίνεται να οριοθετεί την απόδοση.

Βιβλιογραφία

1. Cerretelli P., P.E. di Prampero and J. Piiper: Energy balance of anaerobic work in the dog gastrocnemius muscle. Am. J. Physiol. 217:581-585, 1969.

2. Danis A.: Ein Annaeherungsversuch an die energieliefernden Prozesse beim Kunstturnen. Dipl. Arbeit, DSHS Koeln, 1987.

3. Di Prampero P.E.: Grundlagen der anaeroben Energiebereitstellung und der O_2-Schuld bei koerperlichen Hoechstbelastungen. Med. u. Sport 13, 1:1-13, 1973.

4. Di Prampero P.E.: Energetics of muscular exercise. Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol. 89:143-223, 1981.

5. Di Prampero P.E., M. Meyer, P. Cerretelli and J. Piiper: Energetics of anaerobic glycolysis in dog gastrocnemius. Pfluegers Arch. 377:1-8, 1978.

6. Fox. E.L.: Measurement of maximal alactic (phosphagen) capacity in man (abstract). Med. Sci. Sports 5: 66, 1973.

7. Hoeger W.C. and A.G. Fisher: Energy cost for men's gymnastic routines. Int. Gymnast. Tech. Suppl. 5: 1-3, 1981.

8. Margaria R.: Energiequellen der Muskelarbeit - Biomechanic der menschlichen Bewegung. Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1982.

9. Margaria R., P. Cerretelli, P.E., di Prampero, C. Massari and G. Torelli: Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. J. Appl. Physiol. 18, 2: 371-377, 1963.

10. Montpetit R.R.: Physiological investigation of elite gymnasts. Doctoral dissertation, University Michigan, 1972.

11. Piiper J. and P. Spiller: Repayment of O_2 debt and resynthesis of high-energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. J. Appl. Physiol. 28, 5: 657-662, 1970.

12. Rasim M.: Ueber das Verhalten von haemodynamischen und metabolischen. Parametern bei deutschen Kunstturnern und -turnerinnen der nationalen Spitzenklasse. Dissertation, DSHS Koeln, 1980.

13. Rasim M.: Stoffwechsel - und Kreislauf-beanspruchungen beim Kunst-turnen. Eine empirische Untersuchung bei deutschen und japanischen Kunstturnern und Kunstturnerinnen. Leistungs-sport 12, 5: 399-415 u. 6: 473-480, 1982.

14. Seliger V., I. Budka, J. Buchberger, F. Dosoudil, J. Krupova, M. Libra et K. Yabe: Metabolisme energetique au cours des exercises de gymnastique. Kinanthropologie 2, 3: 159-169, 1970.

15. Sward S.B.: The metabolic cost of selected gymnastic routines. Doctoral dissertation, University of Illinois, 1967.