

Συγκριτική εξέταση των διαφόρων προτύπων προσδιορισμού του κατώφλιού από το γαλακτικό οξύ

H. HECK, G. HESS και A. MADER
Μετάφραση - επιμέλεια: A. NTANIS

Περιλήψη

Σε 16 άρρενα άτομα με διαφορετική ικανότητα συντοχής εξετάσθηκε στο δαπεδοεργόμετρο η συμπεριφορά του γαλακτικού οξέος. Κάθε δοκιμαζόμενος εκτελούσε συνολικά 7 προσπάθειες (2 με βαθμοίσια ουξανόμενη επιβάρυνση (3 και 5 min διάρκεια σε κάθε βαθμίδα) και 5 με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας σε διαφορετικές ταχύτητες).

Οι σταθερές επιβάρυνσεις διάρκειας χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της έντασης στην οποία μπορεί να παρατηρείται «κρύεστα steady-state του γαλακτικού οξέος» (Maxlass). Τέσσερα διαφορετικά πρότυπα προσδιορισμού του κατώφλιού από το γαλακτικό οξύ (κατά Mader et al., Kaul et al., Stegmann et al. και Bunc et al.), τα οποία σύμφωνα με τον ορισμό τους προσποθουν να υπολογίζουν το Maxlass με πιο μέδιο βαθμοίσια ουξανόμενης επιβάρυνσης, συγκρίθηκαν με το αποτέλεσμα της σταθερής επιβάρυνσης διάρκειας. Τα αποτελέστερα ευρήματα είναι τα παρακάτω:

1. Η μέση απόλυτη διάφορα μεταξύ Maxlass και τημάν του κατώφλιού για τα διάφορα κατώφλια είναι: σε πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας:
Mader = 0,16, Kaul = 0,16, Stegmann = 0,13, Bunc = 0,18 (m/s)
σε τριάλεπτη διάρκεια βαθμίδας:
Mader = 0,17, Kaul = 0,22, Stegmann = 0,20, Bunc = 0,33 (m/s).
2. Το «οπτικό ανεράβια κατώφλια» παρουσιάζουν φανέρα μια συστηματική απόκλιση από το Maxlass. Το κατώφλι των ικανοτερών στην αντοχή τίνει να βρίσκεται χρημάτωτερα και των λιγότερο ικανών φιλότερα από το Maxlass.
3. Κατό τη μεταβολή της διάρκειας των βαθμίδων από 5 σε 3 min, οι τιμές του κατώφλιού ουξανόνται κατά μέσο όρο στο κατώφλι του Mader 0,14, του Kaul 0,27 και του Bunc 0,19 m/s. Το κατώφλι του Stegmann μένει αυτοράβιτο.
4. Η μετατροπή των μονάδων της ταχύτητας από km/h σε m/s αλλάζει την κλίση της εφαπτωμένης, στην περίπτωση του Kaul από 51° 34' σε 77° 34' και στην περίπτωση του Simson από 45° σε 74° 29'. Το κατώφλι του Bunc δεν επηρέπει καμιά μετατροπή.

Υποδεικνύεται στο τέλος ακόμα, ότι κανένα κατώφλι δεν είναι σε θέση να παρέχει μια «ακρίβη» ρύθμιση της έντασης της προπόνησης.

Εισαγωγή

«Κατώφλια» με διάφορους ορισμούς και διαφορετικές ονομασίες πλαισιώθηκαν τα τελευταία χρόνια στη διάγνωση της επίδοσης για τον προσδιορισμό της ικανότη-

- 1) Μετάφραση από τη πρωτότυπη δημοσίευση «Vergleichende Untersuchung zu verschiedenen Laktat-Schwellenkonzepten» στο περιοδικό Dt. Z. f. Sportmed. 36. 1 και 2:19–25 και 40–52 (1985), μετά τη γραπτή συγκατάθεση του συγγραφέα και του εκδότη κοινού του περιοδικού.

τας αντοχής. Επικρατεί ωστόσο μεγάλη σύγχυση, ποιο κατώφλι για ποιο ερευνητικό σκοπό ενδεικνύται καλύτερα.

Στα παρακάτω:

1. Παρατίθεται μια μικρή ανασκόπηση σχετικά με τα πρότυπα κατώφλιού που συναντούνται ως κατά το πλειστον στη βιβλιογραφία.
2. Γίνεται αναφορά σε μελέτη που εξετάζει, σε συγκεκριμένα κατώφλια, κατά πόσο αυτά εκπληρώνουν τον ορισμό τους.
3. Εξετάζεται η επιδραση της ταχύτητας αύξησης της επιβάρυνσης και της μοναδιαίας έκφρασής της στα διάφορα πρότυπα κατώφλιού.

Διάφορα πρότυπα κατώφλιού

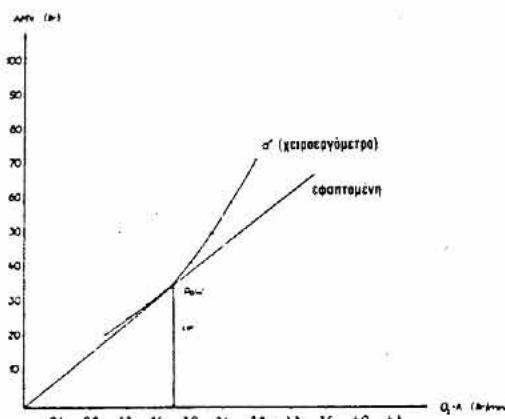
Τα διάφορα πρότυπα κατώφλιού μπορούν να κατανεμηθούν σε δύο κατηγορίες:

1. Κατώφλια, τα οποία προσπαθούν να διαπιστώσουν την επιβάρυνση στην οποία η παραγωγή και η απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος βρίσκονται ακόμα σε ισορροπία. Κάθε φηλοτερη επιβάρυνση οδηγεί χρονικά σε συσώρευση του γαλακτικού οξέος στο αίμα.

Για τον καλύτερο διαχωρισμό των δύο αυτών κατηγοριών κατώφλιού θίγοτε, στηριζόμενοι στους Pessendorfer et al., ν' αποδίξεται στην πρώτη κατηγορία ο όρος «μετάβαση» (Übergang), και να χρησιμοποιείται ο όρος «κατώφλι» (Schwelle) μόνο για τη δεύτερη κατηγορία.

Μετάβαση

Σαν παραδείγματα «μετάβασης» δινούνται: το «σημείο του άριστου συντελεστή της αναπνοής» (Punkt des optimalen Wirk-



Σχήμα 1. Γραφικός προσδιορισμός του σημείου του άριστου συντελεστή της αναπνοής (Pow). Μέσες τιμές από 20 φοιτητές φυσικής αγωγής στο χειροεργόμετρο.

kungsgrades der Atmung) (Pow), Hollmann (1959), το «αναερόβιο κατώφλι» (anaerobic threshold), Wasserman (1964), το «αερόβιο κατώφλι» (aerobic Schwellle), Kindermann (1979), τη «ατομική αναερόβια μετάβαση» (individual anaerobic Übergang), Pessendorfer (1981).

Το Pow κατά Hollmann και το «αναερόβιο κατώφλι» κατά Wasserman προσδιορίζονται σπιρογραφικά. Ως άλλες «μεταβάσεις» και τα «κατώφλια» στηρίζονται στον προσδιορισμό του γαλακτικού οξέος στο αρτηριακό αίμα των τριχοειδών αγγείων.

Σαν «σημείο του άριστου συντελεστή αναπνοής» ορίζει ο Hollmann (15, 16) την επιβάρυνση που αντιστοιχεί στο σημείο επαφής της εφαπτομένης με τη καρπούλη του κατά λεπτό όγκου αναπνοής στο δάγκωμα πρόσληψης οξυγόνου - κατά λεπτό όγκος αναπνοής (σχήμα 1). «Η αντιστοιχη βαθμίδα επιβάρυνσης βρίσκεται στην περιοχή των O_2 -ορίων για διαρκή επίδοση (O_2 -Dauerleistungsgrenze), αφού η επόμενη ψηλότερη βαθμίδα Watt οδηγεί σε μια δυσανάλογα μεγαλύτερη αύξηση του κατά λεπτό όγκου αναπνοής».

Ο Wasserman (27) ορίζει με το «αναερόβιο κατώφλι» την έναρξη κατά τη σωματική επιβάρυνση, του αναερόβιου μεταβολισμού, η οποία χαρακτηρίζεται από μια αύξηση του γαλακτικού οξέος πάνω από την τιμή πρεμιάς. Το «αναερόβιο κατώφλι» είναι κατ' αυτό τον τρόπο η μέγιστη επιβάρυνση χωρίς σημαντική αύξηση του γαλακτικού οξέος.

Για τον προσδιορισμό του «αναερόβιου κατώφλιού» χρησιμοποιεί ο Wasserman τις σπιροεργομετρικές παραμέτρους κατά λεπτό όγκου αναπνοής, αποβολή διοξειδίου του άνθρακα, πρόσληψη οξυγόνου, και αναπνευστικό πηλικό. Τοποθετεί το κατώφλι σαν ταυτόσημο με:

— τη μετάβαση από ευθύγραμμη σε μη ευθύγραμμη αύξηση της αποβολής του διοξειδίου του άνθρακα,

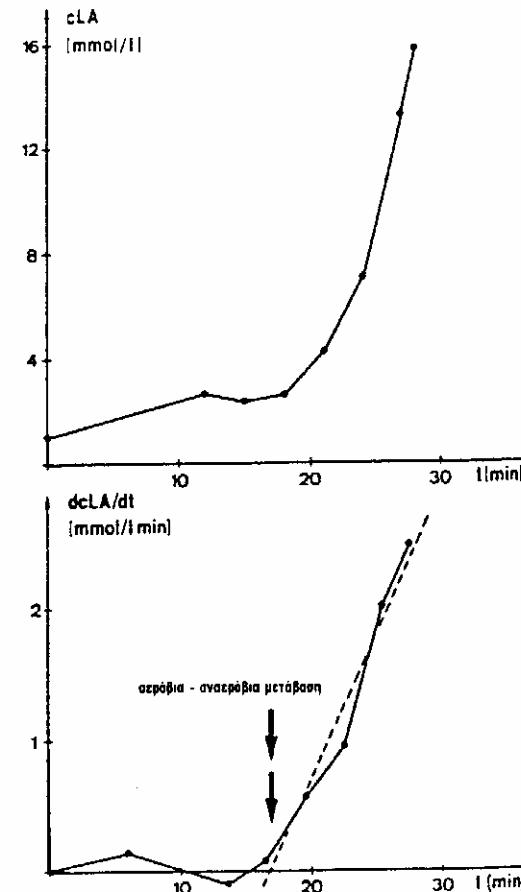
ευθύγραμμη αύξηση του κατά λεπτό όγκου αναπνοής,

- τη μετάβαση από ευθύγραμμη σε μη ευθύγραμμη αύξηση της αποβολής του διοξειδίου του άνθρακα,
- μια αύξηση του αναπνευστικού πηλικού, καθώς επίσης με
- μια αύξηση της τελικής τιμής συγκεντρωσης του εκπνεόμενου οξυγόνου χωρίς αντίστοιχη ελάττωση της τελικής τιμής του εκπνεόμενου διοξειδίου του άνθρακα, απ' όπου συνεπάγεται μια ελάττωση της διαφοράς οξυγόνου μεταξύ του αναπνεόμενου και εκπνεόμενου αέρα.

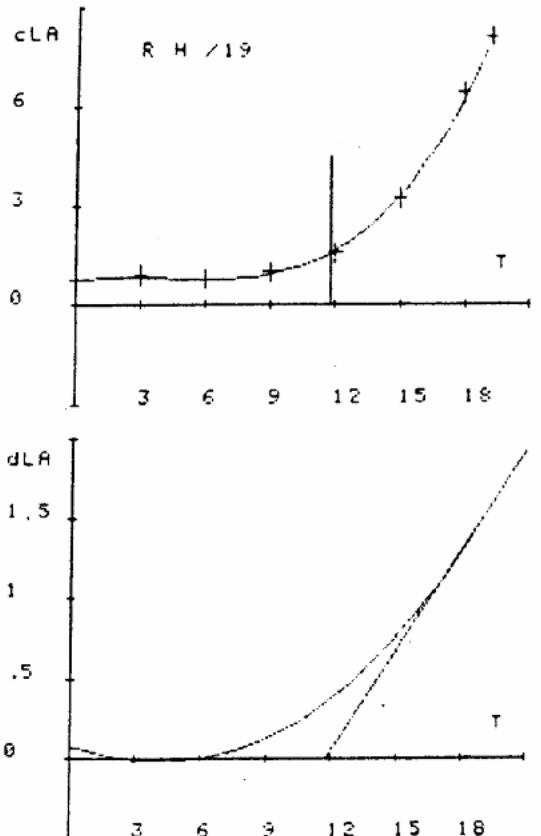
Σαν ευαίσθητο κριτήριο για τον προσδιορισμό του «αναερόβιου κατώφλιού» υποδεικνύει ο Wasserman τον κατά λεπτό όγκο αναπνοής, ο οποίος πάνω από το κατώφλι αυξάνεται μη ευθύγραμμα και δυσανάλογα προς την πρόσληψη οξυγόνου, και κατ' αυτό τον τρόπο προκαλεί μια αύξηση στο αναπνευστικό ισοδύναμο (V_e/VO_2). Αυτό είναι ταυτόσημο με τον ορισμό του Pow από τον Hollmann.

Οι Kindermann et al. (18) τοποθετούν σταθερά το «αερόβιο κατώφλι» στην επιβάρυνση που αντιστοιχεί περίπου σε μια τιμή γαλακτικού οξέος 2 mmol/l. Στον ορισμό είναι σχεδόν ταυτόσημο με το «αναερόβιο κατώφλι» του Wasserman.

Οι Pessendorfer et al. (22) ορίζουν την «ατομική αναερόβια μετάβαση» σαν την έναρξη διαρκούς αύξησης της καθαρής παραγωγής γαλακτικού οξέος (-ολική παραγωγή/χρόνος -απομάκρυνση/χρόνος) στο διαιμέρισμα του αίματος. Η ερευνητική μέθοδος εδώ προϋποθέτει μια βαθμαία αυξανόμενη επιβάρυνση. Το σχήμα 2 δείχνει τη μέθοδο προσδιορισμού. Το σημείο τομής του 1ου διαφορικού πηλικού της συγκεντρωσης γαλακτικού οξέος στο χρόνο με τον άξονα του χρόνου αντιστοιχεί στην «ατομική αναερόβια μετάβαση». Σε μια άλλη δη-



Σχήμα 2. Μέθοδος προσδιορισμού της «ατομικής αναερόβιας μετάβασης» κατά Pessendorfer et al.



Σχήμα 3. Εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού της «ατομικής αναερόβιας μετάβασης» κατά Pessendorfer et al.

μοσίευση (21), οι συγγραφείς έχουν αλλάξει στη συνέχεια τη μέθοδο προσδιορισμού, έτσι που η καμπύλη του γαλακτικού οξέος απεικονίζεται μ' ένα πολύωνυμα 4ου βαθμού. Στην παράγωγο του πολυωνύμου εφαρμόζεται παρόμοια με τη βοήθεια σύνθετων μαθηματικών μεθόδων μια εφαπτομένη. Το σημείο τομής με τον άξονα του χρόνου δίνει και εδώ την «ατομική αναερόβια μετάβαση» (σχήμα 3).

Κατώφλι

Ανάμεσα στις «μεταβάσεις» και στα «κατώφλια» υπάρχει μια ξεκάθαρη διαφορά στον ορισμό και σε τελική ανάλυση επιστη στις αντίστοιχες πιμές.

Σαν παραδείγματα «κατώφλιού» δινονται:

- το «αερόβιο - αναερόβιο κατώφλι» (aerob-anaeobe Schwelle), Mader (1976).
- το «αναερόβιο κατώφλι» (anaerobe Schwelle), Kindermann (1979).
- το «ατομικό αναερόβιο κατώφλι» (individuell anaerobe Schwelle), Keul (1979), Simon (1981).
- το «ατομικό αναερόβιο κατώφλι» (individuell anaerobic threshold), Stegmann (1981).
- η «έναρξη συσσώρευσης γαλακτικού οξέος στο αίμα» (onset of blood lactate accumulation) (OBLA), Sjödin (1981).
- το «ατομικό αναερόβιο κατώφλι» (individual anaerobic threshold), Bunc (1982).

Σε σταθερή επιβάρυνση διάρκειας (π.χ. 30 min), με μια ένταση πάνω από τη «μετάβαση», μπορεί να παρατηρηθεί η έχης συμπεριφορά στο γαλακτικό οξέυ:

1. Μέχρι μια ορισμένη ένταση επιβάρυνσης υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή και την απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος. Η συγκέντρωση

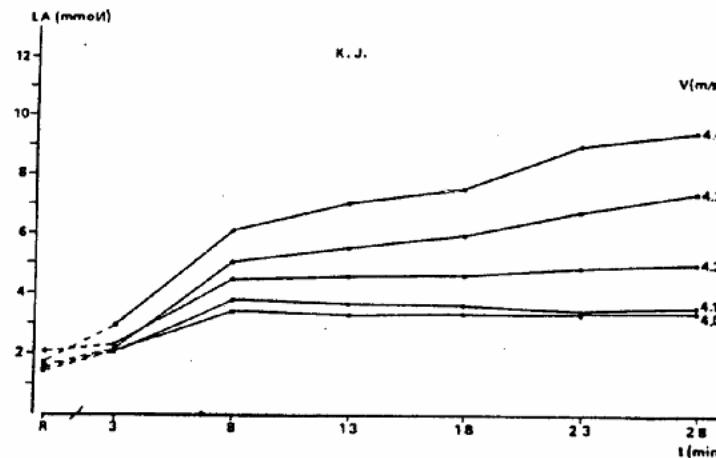
του στους μυς και στο αίμα παραμένει χρονικά αμετάβλητη.

2. Από μια ορισμένη ένταση και μετά, ο ρυθμός παραγωγής του γαλακτικού οξέος ξεπερνά το μέγιστο ρυθμό απομάκρυνσής του. Σαν επακόλουθο αυξάνεται συνεχώς η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα.

Σύμφωνα μ' αυτά πρέπει να υπάρχει μια μέγιστη ένταση επιβάρυνσης, όπου ακόμα η παραγωγή και η απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος βρίσκονται σε ισορροπία. Αυτή η επιβάρυνση χαρακτηρίζεται στα παρακάτω σαν «μέγιστο steady state του γαλακτικού οξέος» (Maxlass). Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του γαλακτικού οξέος σ' εξάρτηση από το χρόνο και την επιβάρυνση (ταχύτητα δαπεδοεργόμετρου). Μέχρι μια ταχύτητα τρεξίματος από 4,2 m/s διατηρείται ένα steady state στο γαλακτικό οξέυ. Σε μια ταχύτητα κατά 0,1 m/s μεγαλύτερη, το γαλακτικό οξέυ αυξάνεται συνεχώς. Σ' αυτό το παράδειγμα το Maxlass είναι 4,2 m/s.

Τα παραπάνω «κατώφλια» βασίζονται στην αρχή να προσδιορίσουν το «μέγιστο steady state του γαλακτικού οξέος». Σ' αντίθεση με τη μέθοδο που περιγράφεται στο σχήμα 4 (προσδιορισμός του Maxlass μέσω πολλαπλών σταθερών επιβαρύνσεων διαρκειας), σ' όλα τα πρότυπα προσδιορισμού του κατωφλιού χρησιμοποιείται μια μέθοδος βαθμιαία αυξανόμενης επιβάρυνσης, για να προσδιορισθεί το Maxlass μ' ένα μόνο τεστ. Εδώ, η διάταξη των «κατώφλιών» στο Maxlass βροιζεται εν μέρει σε εμπειρικά -στατιστικά αποτελέσματα και εν μέρει σε θεωρητικά αιτιολογημένα μοντέλα.

Στον ορισμό, οι τιμές επιβάρυνσης στο Maxlass και στο «κατώφλι» είναι ταυτόσημες. Στη βάση μιας συνοπτικής ορολογίας μιλάμε παρακάτω πάντα για «κατώφλι», αν η μέγιστη ισορροπία μεταξύ παραγωγής και απομάκρυνσης του γαλακτικού οξέος



Σχήμα 4. Συμπειροφορά του γαλακτικού οξέος σ' ένα δοκιμαζόμενο σε σταθερή επιβάρυνση διάρκειας με διαφορετικές ταχύτητες τρεξίματος.

προσδιορίζεται με μέθοδο βαθμιαία αυξανόμενης επιβάρυνσης, και για Maxlass, σε ο προσδιορισμός απορρέει από πολλαπλά τεστ σταθερών επιβαρύνσεων διάρκειας· γιατί στην πράξη τα δύο αυτά μεγέθη δεν είναι πάντα ίδια.

Από τα παραπάνω «κατώφλια» μόνο τέσσερα διαφέρουν στη θεωρητική τους βάση και τη μέθοδο προσδιορισμού τους. Το «αερόβιο κατώφλι» κατά Kindermann et al. (18) και η OBLA κατά Sjödin et al. (24) ταυτίζονται με το «αερόβιο-αναερόβιο κατώφλι» κατά Mader et al.. Γι' αυτό δεν περιγράφονται παρακάτω ξεχωριστά.

«Αερόβιο-αναερόβιο κατώφλι» κατά Mader

«Η περιοχή της μετάβασης από την καθαρά αερόβια στην εν μέρει αναερόβια, γαλακτική, μυϊκή ενεργειακή επίδοση χαρακτηρίζεται σαν αερόβιο-αναερόβιο κατώφλι των εργαζομένων μυών για τις δεδομένες συνθήκες επιβάρυνσης. Αυτή η περιο-

χή ενδείκνυται για την αξιολόγηση της ικανότητας αντοχής, αν κανείς την εξισώσει με τη μέγιστη, καθαρά αερόβια ενεργειακή επίδοση. Το αερόβιο - αναερόβιο κατώφλι - όπως σ' όλες τις βιολογικές διαδικασίες - δεν δρασκελίζεται ξαφνικά αλλά σταδιακά.

Σαν κριτήριο για τη γνωστοποίηση του αερόβιου - αναερόβιου κατώφλιού σε σπιρο-εργομετρικές έρευνες μπορεί να θεωρηθεί, π.χ. σε βαθμαία αύξηση της επιβάρυνσης, η αύξηση του γαλακτικού οξέος στο περιφεριακό αίμα στα 4 mmol/l.

Η τιμή των 4 mmol/l γαλακτικού οξέος σαν κατώφλι προήλθε από την παρατήρηση, ότι κατά μέσο όρο οι εκεί αντιστοιχες επιβαρύνσεις μπορούσαν ν' ανέχονται για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ ψηλότερες επιβαρύνσεις είχαν κατά κανόνα σαν αποτέλεσμα μια συνεχή αύξηση του γαλακτικού οξέος.

Η ΣΥΝΕΧΕΙΑ του όρθρου στα επόμενα τεύχος

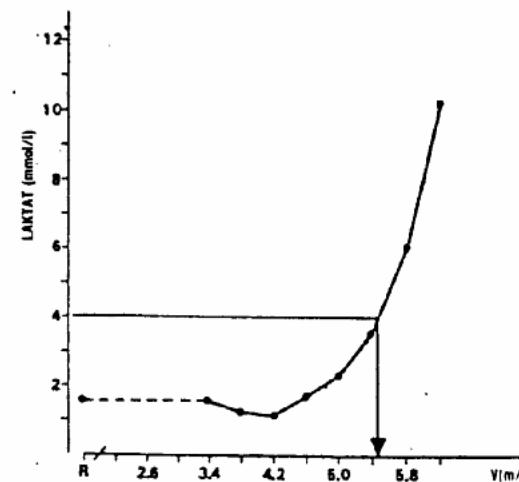
ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ

Συγκριτική εξέταση των διαφόρων προτύπων προσδιορισμού του κατωφλιού από το γαλακτικό οξύ (ΜΕΡΟΣ Β')

H. HECK, G. HESS και A. MADER
Μετάφραση - επιμέλεια: A. NTANIS

Το αερόβιο-αναερόβιο κατώφλι προσδιορίζεται στην επιβάρυνση που αντιστοιχεί στην τιμή των 4 mmol/l γαλακτικού οξέος με ευθύγραμμη παρεμβολή (σχήμα 5).

Οι Mader et al. έχουν υποδειξεί ιδιαίτερα, ότι η διάρκεια έργου σε κάθε βαθμίδα επιβάρυνσης δεν θাপρεπε να είναι μικρότερη από 4 λεπτά, καλύτερα δε αν είναι 5 - 10 λεπτά. Η παράβλεψη αυτής της υπόδειξης έχει οδηγήσει συχνά στα επόμενα χρόνια σε παρεξηγήσεις σχετικά με τη χρησιμότητα του «αερόβιου - αναερόβιου κατωφλιού».

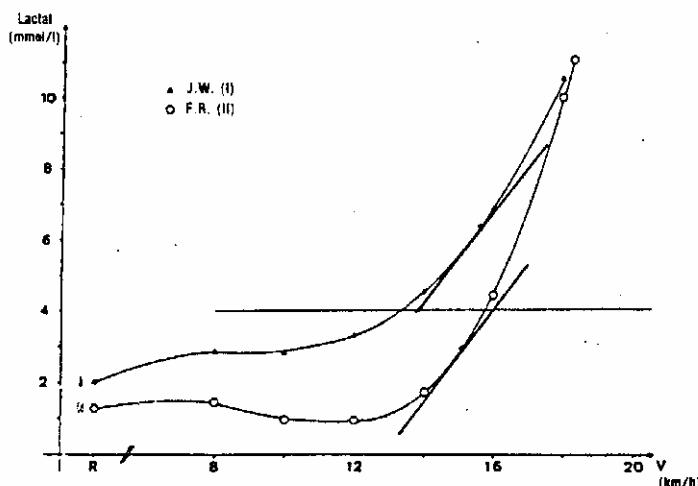


Σχήμα 5. Μέθοδος προσδιορισμού του «αερόβιου-αναερόβιου κατωφλιού» στα 4 mmol/l κατά Mader et al.

Συγκριτική εξέταση των διαφόρων προτύπων προσδιορισμού του κατωφλιού από το γαλακτικό οξύ

«Ατομικό αναερόβιο κατώφλι» κατά Keul και Simon

Κατά τους Keul et al. (17) το στέρεο κατώφλι στα 4 mmol/l γαλακτικού οξέος δεν εκπλήρωνε τα ατομικά δεδομένα (γενετικούς και από την προπόνηση εξαρτώμενους παράγοντες). Με την προύτοθεση ότι η τιμή κατώφλιού των 4 mmol/l προσδιορίζει σαφώς κατά μέσο όρο το Maxiass, υπολογισθηκαν οι γωνίες των εφαπτομένων σε 60 καμπύλες γαλακτικού οξέος στα 4 mmol/l. Η μέση τιμή από αυτές έδωσε μια γωνία $51^\circ 34'$ ($\epsilon\phi(\alpha)=1,26$). Σαν «ατομικό αναερόβιο κατώφλι» ορίσθηκε η επιβάρυνση, στην οποία παρατηρείται μια άνοδος της καμπύλης του γαλακτικού οξέος κατά $51^\circ 34'$ («օριακή, ανοδική κλίση της καμπύλης του γαλακτικού οξέος»). Σ' αντίθεση με το κατώφλι των 4 mmol/l η τιμή του κατώφλιού δεν αντιστοιχεί στην ίδια τιμή γαλακτικού οξέος, αλλά στην ίδια αύξηση της συγκέντρωσής του.



Σχήμα 6. Μέθοδος προσδιορισμού του «ατομικού αναερόβιου κατώφλιου» κατά Keul et al.

Οι μετρήσεις έγιναν στο δαπεδοεργόμετρο με μια κλίση 5%. Η αρχική επιβάρυνση ήταν 8 km/h (= 2,22 m/s), η αύξηση σε κάθε βαθμίδα 2 km/h (= 0,56 m/s) και η διάρκεια κάθε βαθμίδας 3 min. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός πολύτιμου 3ου βαθμού. Το σχήμα 6 δείχνει τη μέθοδο αξιολόγησης.

Οι Simon et al. (23) μεταχειρισθηκαν την ίδια μέθοδο έρευνας και αξιολόγησης. Λόγω της διαφορετικής συλλογής μετρήσεων όμως κατέληξαν σε μια γωνία εφαπτομένης 45° ($\epsilon\phi(\alpha)=1$). Οι συγγραφείς αιτιολόγησαν το «ατομικό αναερόβιο κατώφλι» ως εξής:

«Το σημείο, στο οποίο πετυχαίνεται η μεγαλύτερη μεταβολή στην άνοδο της καμπύλης, χαρακτηρίζεται από μια εφ (χ, ψ) = 1, που αντιστοιχεί σε μια κλίση εφαπτομένης από 45° . Αυτό το σημείο της καμπύλης θα μπορούσε ν' αναγγέλει μια «μεταβολή» στο μεταβολισμό και - σ' αντίθεση με μια στα-

θερή τιμή γαλακτικού οξέος - να είναι σ' όλες τις περιπτώσεις η έκφραση μιας αύξησης του γαλακτικού οξέος με όμοιο ρυθμό».

«Ατομικό αναερόβιο κατώφλι» κατά Stegmann

Οι Stegmann et al. ορίζουν το «ατομικό αναερόβιο κατώφλι» σαν το χρονικό σημείο, στο οποίο ο μέγιστος ρυθμός απομάκρυνσης και ο ρυθμός διαχυτήσης του γαλακτικού οξέος και το σημείο επαφής της με την καμπύλη ορίζεται σαν «ατομικό αναερόβιο κατώφλι». Η κλίση της εφαπτομένης αντιστοιχεί στο μέγιστο ατομικό ρυθμό απομάκρυνσης.

Η μέθοδος προσδιορισμού του «ατομικού αναερόβιου κατώφλιού» διευκρινίζεται με τη βοήθεια του σχήματος 7. Η παράσταση δείχνει την συμπεριφορά της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος κατά την επιβάρυνση (10 μέχρι 180 λεπτά) και τη φάση της ανάληψης (180 μέχρι 300 λεπτά). Τα σημεία A, B και C δηλώνουν τη μένιστη τιμή γαλακτικού οξέος στην επιβάρυνση,

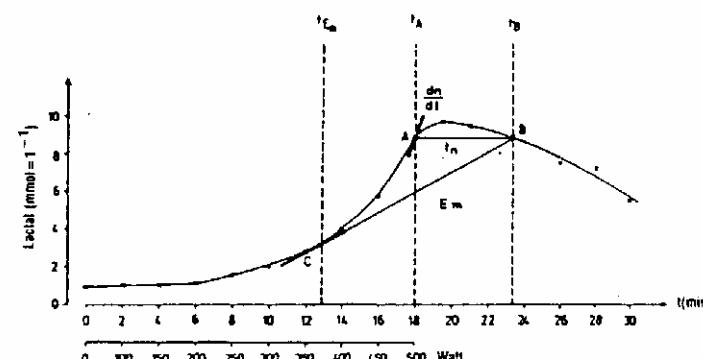
την αντίστοιχη συγκέντρωση μετά την επιβάρυνση, καθώς επίσης τη συγκέντρωση στην περιοχή του «ατομικού αναερόβιου κατώφλιού», που σημειώνονται στα χρονικά σημεία t_A , t_B , t_{Em} . Το t_n δείχνει το χρονικό διαστημα ($t_B - t_A$), στο οποίο το γαλακτικό οξύ επανέρχεται στην πασσότητα της μεγιστής τιμής του στην επιβάρυνση.

Ξεκινώντας από το σημείο B εφαρμόζεται μια εφαπτόμενη E_m ($t_B - t_{Em}$) + E_m ($t_B - t_A$) στην καμπύλη του γαλακτικού οξέος και το σημείο επαφής της με την καμπύλη ορίζεται σαν «ατομικό αναερόβιο κατώφλι». Η κλίση της εφαπτομένης αντιστοιχεί στο μέγιστο ατομικό ρυθμό απομάκρυνσης.

Το σχήμα επιβάρυνσης στο δαπεδοεργόμετρο είναι ταυτόσημο με τη μέθοδο των Keul et al. που αναφέρθηκε παραπάνω.

«Ατομικό αναερόβιο κατώφλι» κατά Buns

Οι Buns et al. (1, 2, 3) ορίζουν το «ατομικό αναερόβιο κατώφλι» σαν το σημείο της συνάρτησης επιβάρυνση - γαλακτικό οξύ, στο οποίο η κλίση της καμπύλης μετα-



Σχήμα 7. Μέθοδος προσδιορισμού του «ατομικού αναερόβιου κατώφλιου» κατά Stegmann et al.

βάλλεται στο μέγιστο. Το κατώφλι του *Buycs* περιέχει κατ' αυτό τον τρόπο τον ίδιο ορισμό με το κατώφλι από τους Simon et al. Για τον προσδιορισμό του κατωφλίου όμως χρησιμοποιούν οι συγγραφείς μια άλλη μέθοδο.

Με τη μέθοδο των ελαχιστων τετραγώνων προσδιορίζονται οι δείκτες μιας εκθετικής συνάρτησης:

$$y = a + b \cdot \exp(c \cdot x - d)$$

όπου $y = \text{LA}(\text{mmol/l})$, $x = V(\text{km/h})$, a , b , c , d σταθερές της εξίσωσης συμμεταβολής.

Σημειώστε: από μαθηματικής πλευράς μπορούν οι δείκτες b και d να συμπυκνώθουν. Έτσι απομένουν στην εκθετική εξίσωση μόνο τρεις βαθμοί ελευθερίας. Η εξίσωση είναι τότε:

$$y = a + b \cdot \exp(c \cdot x)$$

Στο σημείο της μικρότερης επιβάρυνσης και σε γαλακτικό οξύ = 15 $\mu\text{mol/l}$ εφαρμόζονται οι εφαπτόμενες στην εκθετική καμπύλη. Η διχοτόμηση της γωνίας από την συνάντηση των δύο εφαπτομένων τέ-

μενει τη καμπύλη ταχύτητας - γαλακτικού οξέος στο σημείο του «ατομικού αναερόβιου κατωφλίου». Το σχήμα 8 δείχνει τη μέθοδο προσδιορισμού.

Σχήμα επιβάρυνσης:

Αρχική επιβάρυνση 8 km/h , αύξηση επιβάρυνσης σε κάθε βαθμίδα 2 km/h , διάρκεια κάθε βαθμίδας 3,5 min, διάρκεια διαλειμμάτος 1 πιπ.

Οι πειραματικές μετρήσεις

Σκοπός των μετρήσεων που περιγράφονται παρακάτω ήταν να εξετασθεί κατά πόσο συμφωνούν τα διάφορα «κατώφλια» με το *Maxlass*.

Στη συνέχεια επιχειρείται να διευκρινισθεί, ποια επίδραση ασκεί η διάρκεια της κάθε βαθμίδας επιβάρυνσης στις τιμές των διάφορων κατωφλιών. Αφορμή αυτής της προβληματικής ήταν η πραγματικότητα, ότι τα κατώφλια των 4 $\mu\text{mol/l}$ κατά *Mader* ήταν απόφοιτα πεντάλεπτης διάρκειας επιβάρυνσης σε κάθε βαθμίδα, ενώ η κριτική σ' αυτό τα κατώφλι θασίζεται ως κατά το πλείστον σε αποτελέσματα από τεστ με τρί-

λεπτη διάρκεια επιβάρυνσης σε κάθε βαθμίδα.

Μεθοδική

Υλικό έρευνας:

Στην έρευνα συμμετείχαν 16 υγειή άτομα. Η ηλικία τους ήταν κατά μέσο όρο 29,75 χρόνια ($\pm 6,02$), το σωματικό τους ύψος 179,3 cm ($\pm 5,0$) και το βάρος τους 71,6 kg ($\pm 8,0$). 7 από τους δοκιμαζόμενους δεν συμμετείχαν καθόλου ή συμμετείχαν μόνο λίγο σε αθλητικές δραστηριότητες, ενώ 6 από τους υπόλοιπους είχαν να δείξουν μια ποσότητα προπόνησης από 8,2 h/βδομάδα. 4 δοκιμαζόμενοι ήταν δρομείς μεγάλων αποστάσεων, από τους οποίους 2 ανήκαν στους κορυφαίους σ' εθνικό επίπεδο και διέθεταν μια πολύ φηλή ικανότητα αντοχής. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι είχαν εμπειρίες στο δαπεδοεργόμετρο, καθ' ότι είχαν συμμετάσχει συχνά σε πειραματικές δοκιμασίες μ' αυτό.

Πορεία έρευνας:

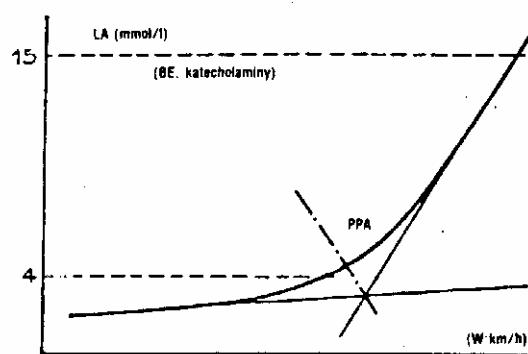
Κάθε δοκιμαζόμενος εκτέλεσε 7 προσάρειες στο δαπεδοεργόμετρο. Πρώτα εκτέλεσθηκαν 2 τεστ με βαθμίδα αυξανόμενη επιβάρυνση, τρίλεπτη και πεντάλεπτης διάρκειας σε κάθε βαθμίδα. Η αρχική επιβάρυνση, ανάλογη με την προπονητική κατάσταση, ανερχόταν σε 2,2, 2,6, 3 και 3,4 m/s. Ανά 3 ή αντίστοιχα 5 min η επιβάρυνση αυξανόταν κατά 0,4 m/s μέχρι τα ανώτατα όρια επιδοσης του δοκιμαζόμενου. Στην ηρεμία, στη διάρκεια διαλειμμάτος μισού λεπτού ανάμεσα σε κάθε βαθμίδα επιβάρυνσης και στη φάση της ανάληψης μέχρι το 100 λεπτό ανά λεπτό παίρνονταν για τον προσδιορισμό του γαλακτικού οξέος 20 ml αίματος από τα τριχοειδή αγγεία των υπεραιμμένων λοβών του αυτιού με τριχοειδές σωληνάριο. Η σειρά των προσπα-

θειών εφαρμόσθηκε σε τυχαία βάση. Κατόπιν εκτελέσθηκαν 5 τεστ με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας σε διαφορετικές εντάσεις. Μετά από μια τρίλεπτη εισαγωγική φάση με την αντίστοιχη ταχύτητα του τεστ με βαθμίδα επιβάρυνσης, ακολουθούσε μια 25λεπτη φάση με σταθερή ταχύτητα. Η ένταση του πρώτου τεστ αντιστοιχούσε στη ταχύτητα του κατωφλίου από το τεστ με βαθμίδα επιβάρυνσης με πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας. Στην ηρεμία, μετά 3 και στη συνέχεια ανά 5 λεπτά επιβάρυνσης παίρνονταν αίμα για τον προσδιορισμό του γαλακτικού οξέως (30 sεc διάλειμμα)!¹ Σ' εξάρτηση από τις μετρούμενες τιμές γαλακτικού οξέος η επιβάρυνση μεταβαλόταν στην επόμενη προσπάθεια κατά 0,1 μέχρι 0,2 m/s σε μεγαλύτερη ή μικρότερη ταχύτητα. Συνολικά ερευνήθηκε ένα πεδίο επιβαρύνσεων από 0,4 - 0,8 m/s. Η κλίση του δαπεδοεργόμετρου ήταν σ' όλες τις δοκιμασίες 1%. Ανάμεσα σε κάθε προσπάθεια μεσολαβούσε ένα διάστημα ανάληψης του λάχιστον 2 ημερών.

Εξοπλισμός:

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε μ' ένα δαπεδοεργόμετρο της φίρμας *Woodway-Geres*. Η ταχύτητα ήταν ρυθμισμένη σε μια περιοχή από 0 - 6,8 m/s χωρίς βαθμίδες. Η επιφάνεια τρεξίματος ήταν 240X70 cm².

Ο προσδιορισμός του γαλακτικού οξέος γινόταν σύμφωνα με τη μέθοδο των *Gutmann/Wahlstetd*, τροποποιημένη από τον *Mader* (20), με πηματούματο αναλυτή γαλακτικού οξέος της φίρμας *Eppendorf*.



Σχήμα 8. Προσδιορισμός του «ατομικού αναερόβιου κατωφλίου» κατά *Buycs* et al. (3).

¹ Εξ αιτίας των διαλειμμάτων που αποτελούνται στη δοκιμασία βρίσκονται οι τιμές του γαλακτικού οξέος χαμηλότερα από αντίστοιχες σταθερές επιβαρύνσεις διάρκειας χωρίς διακοπή. Για τη σύγκριση όμως με τις τιμές από τις δοκιμασίες αυξανόμενες επιβαρύνσεις, οι τιμές αντιστοιχίζονται εξ αιτίας των εκεί παρόμοιων διαλειμμάτων.

Προσδιορισμός των κατώφλιών σε βαθμιαία αυξανόμενη επιβάρυνση:

1. Κατώφλι κατά Mader: Το κατώφλι αυτό προσδιορίζοταν με ευθύγραμμη παρεμβολή² (σχήμα 5).
2. Κατώφλι κατά Keul: Από τις τιμές ταχύτητας - γαλακτικού οξεος προσδιορίζοταν ένα πολύωνυμο ζου βαθμού. Με τη βοήθεια της παραγώγου υπολογίζαμε την ταχύτητα σε μια γωνία $51^{\circ} 34'$ της εφαπτομένης. Ταυτόχρονα ήταν αναγκαίο εδώ να γίνει μια μεταφορά της ταχύτητας από m/s σε km/h.
3. Κατώφλι κατά Stegmann: Με ευθύγραμμη παρεμβολή προσδιορίζοταν αρχικά το χρονικό σημείο, στο οποίο παρουσιάζονταν η ίδια τιμή γαλακτικού οξεος με το τέλος της επιβάρυνσης. Απ' αυτό το σημείο εφαρμοζόταν μια εφαπτομένη στην καμπύλη του γαλακτικού οξεος. Το σημείο εφαρμογής της εφαπτομένης έδινε την τιμή του κατώφλιού.
4. Κατώφλι κατά Wipsc: Με μια αναλυτική μέθοδο συμμεταβολής υπολογίζονταν οι δείκτες της εκθετικής εξίσωσης

$$La(\text{mmol/l}) = a + b \cdot \exp(c \cdot V [\text{km/h}])$$

Με τη βοήθεια του του διαφορικού πηλίκου επιτυγχάνονταν ο προσδιορισμός της εξίσωσης της εφαπτομένης στο πρώτο σημείο της επιβάρυνσης και στην τιμή των 15 mmol/l γαλακτικού οξεος. Με μεθόδους της αναλυτικής γεωμετρίας προσδιορίζονταν το σημείο τομής των εφαπτομένων και η εξίσωση της διχοτόμησης της γωνίας.

Όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν μ' έναν υπολογιστή PDP 11/10 της φίρμας DEC.

2) Η διαφορά ανάμεσα στην ευθύγραμμη και την τετραγωνική παρεμβολή ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 0.025 (m/s).

Προσδιορισμός του μέγιστου steady state του γαλακτικού οξεος στις προσπάθειες με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας:

Σκοπός των προσπάθειών με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας ήταν να βρεθεί η επιβάρυνση στην οποία επιτυγχάνεται το Maxlass. Σε 6 από τους δοκιμαζόμενους το γαλακτικό οξύ αυξάνονταν ήδη σε μικρό βαθμό στο αρχικό στάδιο της επιβάρυνσης. Στο αρνεώντας επόμενο στάδιο δεν παρατηρούνταν καμιά επιπλέον αύξηση. Για να συμπεριλάβουμε και αυτούς τους δοκιμαζόμενους στην αξιολόγηση, διευρύναμε τον όρο Maxlass στον εξής βαθμό:

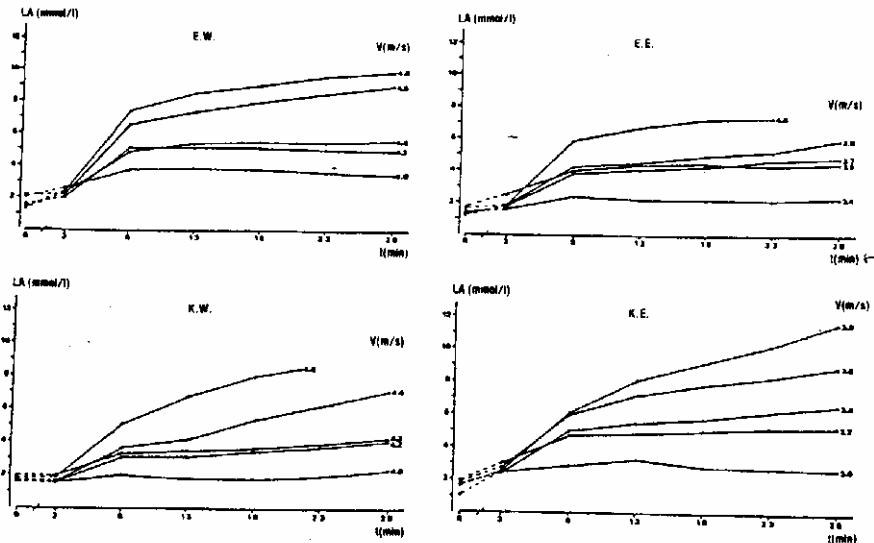
«Το Maxlass αντιστοιχεί στην υψηλότερη ένταση της επιβάρυνσης στην οποία η παραγωγή και η απομάκρυνση του γαλακτικού οξεος βρίσκονται σε ισαρροπία. Η επίσης στα τελευταία 20 λεπτά σταθερής επιβάρυνσης το γαλακτικό οξύ αυξάνεται λιγότερο από 1 mmol/l».

Στατιστική:

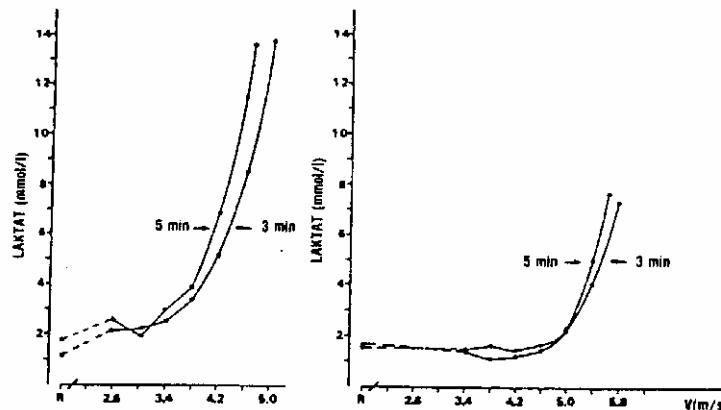
Παράλληλα με τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση, υπολογίσθηκε η δισδιάστατη ευθύγραμμη και ορθογώνια συμμεταβολή και η συσχέτιση. Ισχυραν τα εξής όρια εμπιστοσύνης: Πιθανότητα λάθους $p \leq 0.05$ σημαντικά και $p \leq 0.01$ πολὺ σημαντικά.

Αποτελέσματα

Το σχήμα 9 δίνει 4 παραδείγματα της συμπεριφοράς του γαλακτικού οξεος σε σταθερή επιβάρυνση διάρκειας, σε διαφορετικές ταχύτητες. Στο σχήμα 10 παραθέτονται τα αποτελέσματα σε βαθμιαία αυξανόμενη επιβάρυνση από ένα φοιτητή φυσικής ανωγής (αριστερά) και από έναν αδήλωτη μεγάλων αποστάσεων (δεξιά). Και στις δύο περιπτώσεις, η δεξιά καμπύλη γαλακτικού οξεος ανήκει στο τεστ με τριλεπτή και η αριστερή στο τεστ με πεντάλεπτη



Σχήμα 9. Παραδείγματα συμπεριφοράς του γαλακτικού οξεος σε σταθερές επιβαρύνσεις διάρκειας για τον προσδιορισμό του «μέγιστου steady state του γαλακτικού οξεος».



Σχήμα 10. Παραδείγματα συμπεριφοράς του γαλακτικού οξεος σε βαθμιαία αυξανόμενη επιβάρυνση με τριλεπτή και πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας (αριστερά φοιτητής Φ.Α., δεξιά δρομέας μεγάλων αποστάσεων).

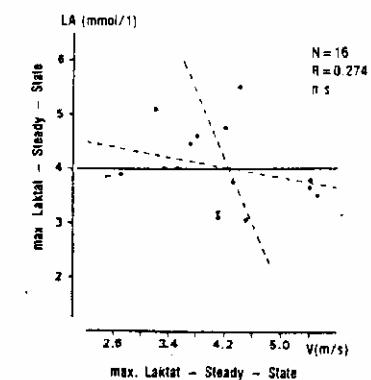
Πίνακας 1. Τιμές ταχύτητας και συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στο κατώφλι για τα διάφορα πρότυπα κατώφλιου κατά Mader, Keul, Stegmann και Bunc.

Διάρκεια βαθμίδας 3 min				Διάρκεια βαθμίδας 5 min			
Mader – κατώφλι	Keul – κατώφλι	Stegmann – κατώφλι	Bunc – κατώφλι	Mader – κατώφλι	Keul – κατώφλι	Stegmann – κατώφλι	Bunc – κατώφλι
Ταχύτητα στο κατώφλι (m/s)							
1 5.47	5.41	5.30	5.56	5.46	5.26	5.44	5.42
2 4.79	5.86	4.33	4.91	4.69	4.62	4.59	4.71
3 4.30	4.45	4.37	4.54	4.20	4.24	4.46	4.39
4 3.58	3.84	3.76	4.12	4.36	4.38	3.68	3.63
5 4.01	3.95	3.76	4.12	3.92	3.76	3.92	4.04
6 3.95	4.04	4.17	4.09	3.82	3.76	4.04	3.97
7 5.40	5.22	5.13	5.56	5.26	5.03	5.08	5.42
8 3.41	3.76	3.46	3.89	3.51	3.50	3.39	3.68
9 4.61	4.42	4.43	4.70	4.31	4.20	4.27	4.36
10 2.63	2.97	2.88	3.16	2.35	2.64	2.84	3.08
11 4.16	4.52	3.84	4.41	3.96	4.03	4.13	4.20
12 3.55	3.68	3.54	3.79	3.19	3.18	3.32	3.60
13 4.12	4.26	4.12	4.39	3.98	4.19	3.99	4.11
14 5.58	5.53	5.26	5.64	5.43	5.28	5.40	5.43
15 4.47	4.41	4.39	4.53	4.20	4.10	—	4.39
16 5.51	5.41	5.23	5.58	5.45	5.26	5.36	5.35
x 4.34	4.42	4.25	4.55	4.20	4.15	4.26	4.36
±s 0.85	0.72	0.71	0.74	0.88	0.78	0.88	0.73
Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο κατώφλι (mmol/l)							
1 3.70	3.16	4.30	—	5.75	3.75	3.42	—
2 4.10	2.46	4.40	—	3.50	3.35	3.85	—
3 4.45	4.12	4.45	—	4.20	5.34	4.50	—
4 4.85	4.43	5.05	—	4.00	5.08	4.30	—
5 3.60	2.85	3.90	—	2.90	3.75	4.38	—
6 4.15	4.86	4.16	—	3.65	5.41	5.41	—
7 3.05	2.67	4.05	—	2.35	2.60	3.72	—
8 5.30	4.17	5.83	—	3.87	3.42	4.29	—
9 2.85	2.90	4.17	—	3.19	3.53	3.66	—
10 5.00	4.62	6.05	—	4.68	5.76	7.18	—
11 5.40	3.02	4.53	—	4.25	4.64	4.88	—
12 4.35	3.80	4.76	—	3.75	4.51	5.94	—
13 4.45	3.90	4.71	—	5.10	4.18	4.04	—
14 3.60	2.68	4.14	—	3.15	3.79	3.82	—
15 3.60	3.54	3.72	—	3.51	—	4.68	—
16 3.35	2.70	3.98	—	2.80	3.38	3.18	—
x 4.11	3.49	4.51	—	3.60	4.16	4.45	—
±s 0.77	0.78	0.65	—	0.74	0.92	1.02	—

διάρκεια βαθμίδας. Ο πίνακας 1 δίνει τις τιμές κατωφλιού για τις 4 διαφορετικές μεθόδους προσδιορισμού (επάνω) και τις τιμές του γαλακτικού οξέος που αντιστοιχούν σ' αυτές (κάτω). Στη σήμερη «Mader-κατώφλι» λείπουν οι αντιστοιχες τιμές γαλακτικού οξέος, αφού το κατώφλι προσδιορίζεται στη τιμή των 4 mmol/l. Στο «Stegmann-κατώφλι», στο δοκιμαζόμενο Nr. 15 δεν μπορούσε να υπολογισθεί η τιμή του κατωφλιού, επειδή η πρώτη τιμή μετά την επιβάρυνση ήταν ήδη μικρότερη από την τελευταία τιμή σε επιβάρυνση, και κατ' αυτόν τον τρόπον ήταν αδύνατος ο προσδιορισμός του κατωφλιού.

Ο πίνακας 2 παρουσιάζει τις τιμές της προσπάθειας με σταθερή επιβάρυνση διάρ-

κεις. Εδώ δίνονται η ταχύτητα και η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο «μέγιστο steady state του γαλακτικού οξέος» (Maxlass).



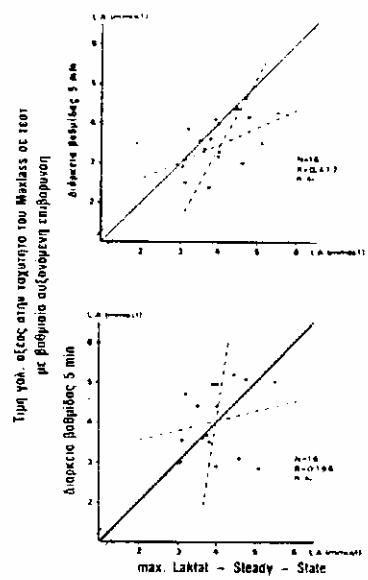
Πίνακας 2. Ταχύτητα τρεξίματος και συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο «μέγιστο steady state του γαλακτικού οξέος» (Maxlass).

Δοκιμαζόμενος	Ταχύτητα τρεξίματος στο Maxlass (m/s)	Συγκέντρωση γαλακτ. οξέος στο Maxlass (mmol/l)
1	5.4	3.81
2	4.5	3.05
3	4.4	5.52
4	3.7	4.43
5	3.8	4.59
6	3.5	4.00
7	5.4	4.01
8	3.2	5.09
9	4.3	3.74
10	2.7	3.89
11	4.2	4.75
12	3.3	4.00
13	4.1	3.19
14	5.5	3.50
15	4.1	3.11
16	5.4	3.66
x	4.22	4.02
±s	0.86	0.70

Σχήμα 11. Συσχέτιση και συμμεταβολή ανάμεσα στην ταχύτητα τρεξίματος και την τιμή γαλακτικού οξέος στο «μέγιστο steady state του γαλακτικού οξέος».

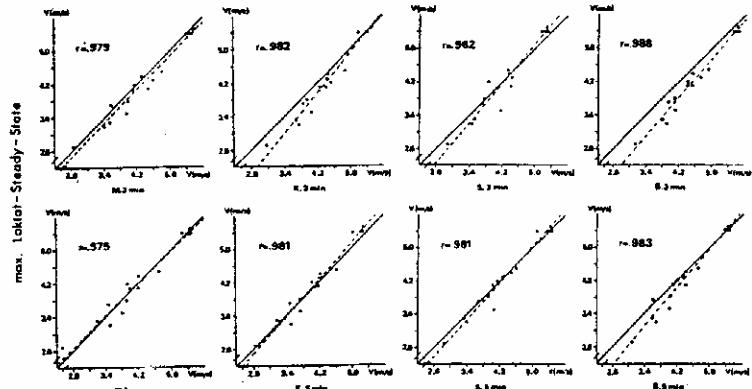
Το σχήμα 11 δείχνει τις τιμές γαλακτικού οξέος στο Maxlass, σε συνάρτηση με τις αντιστοιχεις ταχύτητες τρεξίματος, σύμφωνα με το πίνακα 2. Θεωρώντας την τιμή αυτή ενδεικτικό μέγεθος της ικανότητας αντοχής, δεν υφίσταται καμμιά σημαντική σχέση ανάμεσα στην τιμή του γαλακτικού οξέος στο Maxlass και στην ικανότητα αντοχής. Οι 4 αθλητές μεγάλων αποστάσεων με τιμή κατωφλιού 5.5 με 5.6 m/s έχουν το Maxlass (La) ανάμεσα στα 3.5 και 4 mmol/l και κατανέμονται, κατ' αυτόν τον τρόπον στη μεσαία θέση.

Το σχήμα 12 δείχνει τη συσχέτιση ανάμεσο στο Maxlass (La) και στις τιμές γαλακτικού οξέος στην ταχύτητα του Maxlass, σε τεστ με βαθμιαία αυξανόμενη ε-

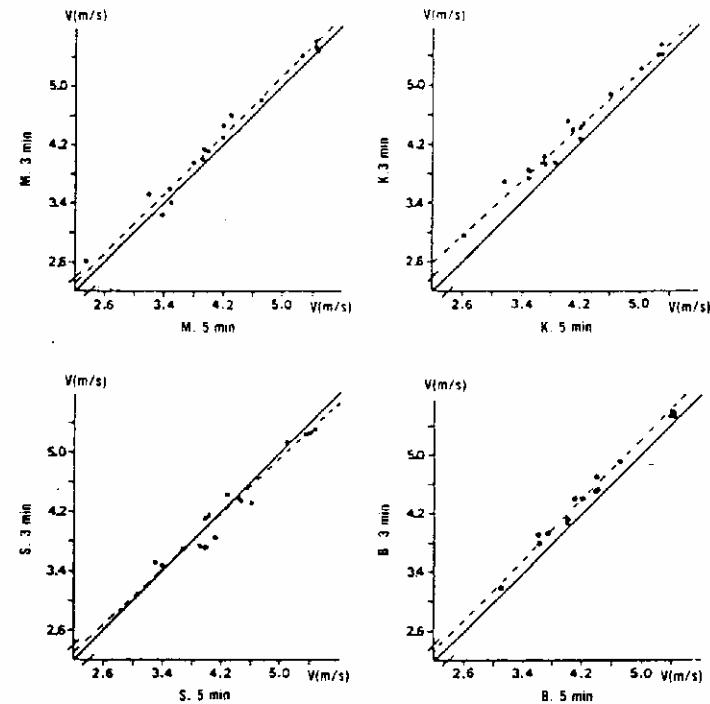


πιθάρυνση. Δεν παρατηρείται καμμιά σημαντική ουσχέτιση. Η μέση τιμή σε πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας βρίσκεται στα 4,05 mmol/l και σε τρίλεπτη στα 3,5 mmol/l γαλακτικού οξέος. Αυτό απαινίει μια μεταβολή της μέσης τιμής του γαλακτικού οξέος στο κατώφλι κατά 0,5 mmol/l με τη μεταβολή της διάρκειας της βαθμίδας κατά 2 λεπτά. Το σχήμα 13 δείχνει την ορθογώνια συμμεταβολή ανάμεσα στην ταχύτητα στο κατώφλι σύμφωνα με τις διάφορες μεθόδους, με τρίλεπτη (επάνω) και πεντάλεπτη (κάτω) διάρκεια βαθμίδας. Η διχοτόμηση της γωνίας των αξόνων δίνει τη γραμμή των ό-

Σχήμα 12. Συσχέτιση και συμμεταβολή ανάμεσα στις τιμές γαλακτικού οξέος στο «μέγιστο steady state» του γαλακτικού οξέος και τις τιμές γαλακτικού οξέος στις αντιστοιχες ταχύτητες σε βαθμιαία αυξανόμενη επιβάρυνση (πάνω 3 min, κάτω 5 min διάρκεια βαθμίδας).



Σχήμα 13. Συσχέτιση και ορθογώνια συμμεταβολή ανάμεσα στην ταχύτητα στο «μέγιστο steady state» του γαλακτικού οξέος και τις ταχύτητες κατώφλιού για τις διάφορες μεθόδους προσδιορισμού (M=Mader, K=Keul, S=Stegmann, B=Bunc) (πάνω 3 min, κάτω 5 min διάρκεια βαθμίδας).



Σχήμα 14. Ορθογώνια συμμεταβολή ανάμεσα στις ταχύτητες τρεξίματος στο κατώφλι σε τρίλεπτη και πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας για τα διάφορα πρότυπα κατώφλιού.

μοινών ταχυτήτων. Στο σχήμα 14 παρουσιάζονται οι ορθογώνιες συμμεταβολές μεταξύ των τιμών κατώφλιού σε τρίλεπτη και σε πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας κατά Mader (M), Keul (K), Stegmann (S) και Bunc (B).

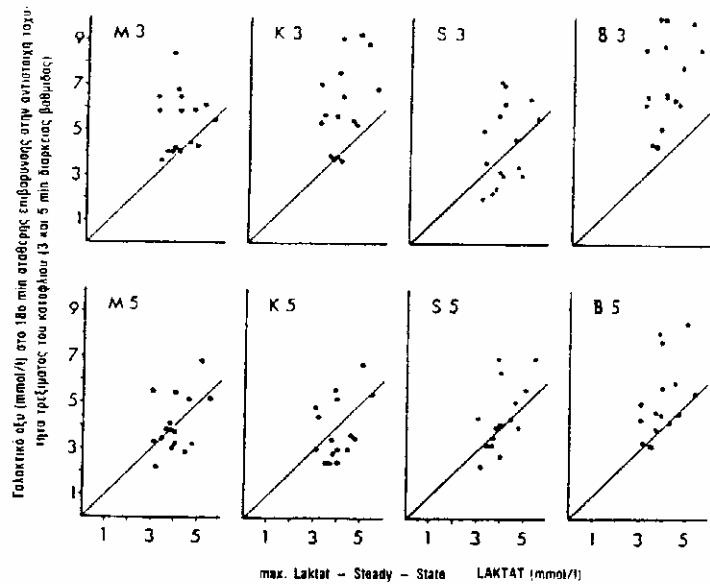
Αναφορικά με τις διάφορες μεθόδους, προσδιορίζεις για τις τιμές κατώφλιού τις τιμές γαλακτικού οξέος στις αντιστοιχες ταχύτητες σε σταθερή επιβάρυνση στα 180 λεπτό με παρεμβολή. Στο σχήμα 15 αυτές οι τιμές συγκρίνονται με τις τιμές γαλακτικού οξέος στο Maxlass. Τιμές πάνω από τη

διχοτόμη της γωνίας των αξόνων δηλώνουν ότι το κατώφλι βρίσκεται πάνω από το Maxlass.

Συζήτηση

Συμπεριφορά του γαλακτικού οξέος σε σταθερή επιβάρυνση διάρκειας:

Το μέγεθος του γαλακτικού οξέος σε σταθερή επιβάρυνση διάρκειας εξαρτάται κύρια από το ρυθμό παραγωγής και απομάκρυνσή του.



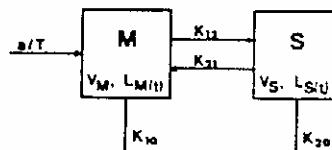
Σχήμα 15. Σύγκριση των τιμών γαλακτικού οξεος στο «μέγιστο steady state του γαλακτικού οξεος» με τις τιμές γαλακτικού οξεος σε σταθερή επιβάρυνση διαρκειας (18° min) στις αντίστοιχες ταχυτητας κατιωφλου απο τη διάφορα πρότυπα.

Οι Zouloumian et al. (30, 31) έδειξαν ότι η κινητική του γαλακτικού οξεος μπορει να περιγραφει καλά μ' ένα μοντέλο 2 διαμερισμάτων. Με την απλούστευση, ότι κατά την επιβάρυνση σημαντική παραγωγή γαλακτικού οξεος παρατηρείται μόνο στους εργαζόμενους μας, στηριζόμενοι στους Zouloumian et al. και Dost (7), η συμπεριφορά του γαλακτικού οξεος μπορει να περιγραφει με το μοντέλο του σχήματος 16.

Στο σχήμα σημαίνουν:

M = διαμέρισμα των εργαζομένων μυών
S = ολικός χώρος κατανομής του γαλακτικού οξεος μειόν M
 V_M = όγκος του M (l)
 V_S = όγκος του S (l)

$L_{M(t)}$ = συγκέντρωση γαλακτικού οξεος στο M στο χρόνο t (mmol/l)
 $L_{S(t)}$ = συγκέντρωση γαλακτικού οξεος στο S στο χρόνο t (mmol/l)
 a/T = ρυθμός παραγωγής γαλακτικού οξεος (mmol/min)



Σχήμα 16. Μοντέλο 2 διαμερισμάτων (κατά τους Zouloumian et al. και Dost).

k_{12} = σταθερά της ταχύτητας μεταφοράς του γαλακτικού οξεος από το M στο S (min^{-1})

k_{21} = σταθερά της ταχύτητας μεταφοράς του γαλακτικού οξεος από το S στο M (min^{-1})

k_{10} = σταθερά της ταχύτητας απομάκρυνσης του γαλακτικού οξεος από το M (min^{-1})

k_{20} = σταθερά της ταχύτητας απομάκρυνσης του γαλακτικού οξεος από το S (min^{-1})

Το παρακάτω σύστημα διαφορικών εξισώσεων περιγράφει το μοντέλο των 2 διαμερισμάτων:

$$V_M \cdot dL_{M(t)} / dt = k_{21} \cdot V_S \cdot L_{S(t)} - (k_{12} = k_{10}) \cdot V_M \cdot L_{M(t)} + a/T \quad (1)$$

$$V_S \cdot dL_{S(t)} / dt = k_{12} \cdot V_M \cdot L_{M(t)} - (k_{21} + k_{20}) \cdot V_S \cdot L_{S(t)} \quad (2)$$

Εδώ έγιναν οι εξής υποθέσεις:

1. Ο ρυθμός απομάκρυνσης και μεταφοράς του γαλακτικού οξεος είναι ανάλογος προς τη συγκέντρωσή του.

2. Οι όγκοι των διαμερισμάτων είναι σταθεροι.

3. Ο ρυθμός παραγωγής του γαλακτικού οξεος σε μια δεδομένη επιβάρυνση είναι χρονικά αμετάβλητος.

Η αρτηριακή συγκέντρωση του γαλακτικού οξεος ($L_{B(t)}$) μπορει να θεωρηθει περιουσι ιση με τη $L_{S(t)}$ (Zouloumian et al.).

Σε σχέση με το «μέγιστο steady state του γαλακτικού οξεος» παρουσιάζει ενδιαφέρον το τιμά του συστήματος διαφορικών εξισώσεων, το οποιο περιγράφει τη συγκέντρωση του γαλακτικού οξεος σε ισορροπημένη κατάσταση.

Για $t = \infty$ η εξίσωση γίνεται:

$$a/T \cdot k_{12} / V_S (k_{12} \cdot k_{20} + k_{21}, k_{10} + k_{10} \cdot k_{20}) \quad (3)$$

Από την εξίσωση (3) απορρέουν:

1. Το $L_{B(\infty)}$ περιγράφει ένα steady state. εφόσον δεν υπεισέρχεται στην εξίσωση κανένα σταχείο μεταβαλλόμενο στο χρόνο.

2. Το steady state του γαλακτικού οξεος εξαρτάται αποκλειστικά από το ρυθμό παραγωγής του (a/T), από τον όγκο του διαμερισμάτος κατανομής του S (V_S), από τις σταθερές της ταχύτητας μεταφοράς του ανάμεσα στα διαμερισμάτα (k_{12} και k_{21}) και από την απομάκρυνση του και από τα δύο διαμερισμάτα (k_{10} και k_{20}).

Με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει καμμια ουσιώδης διαφορά στη μεταφορά και επιστροφή του γαλακτικού οξεος ανάμεσα στα δύο διαμερισμάτα, είναι $k_{12} = k_{21}$.

Τότε τη εξίσωση (3) γίνεται:

$$L_{B(\infty)} = (a/T) / V_S (k_{20} + k_{10} + k_{20} / k_{12}) \quad (4)$$

Ο παρονομαστής στην εξίσωση (4) καθορίζηκε παραπάνω σταθεροφ. Έτσι, το steady state του γαλακτικού οξεος εξαρτάται μόνον από το ρυθμό παραγωγής του γαλακτικού οξεος και κατ' αυτόν τον τρόπο από την ένταση της επιβάρυνσης, με την προϋπόθεση ότι στην αναφερόμενη επιβάρυνση ο ρυθμός παραγωγής παραμένει χρονικά αμετάβλητος. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες όμως, δεν υπάρχει κανένα «μέγιστο steady state του γαλακτικού οξεος», αφού το μέγεθος του Maxlass εξαρτάται μόνον από το ρυθμό παραγωγής του γαλακτικού οξεος a/T . Αυτό όμως έρχεται σ' αντίθεση με τις δικές μας παρατηρήσεις (σχήμα 9) και με τις παρατηρήσεις άλλων συγγραφέων (Wasserman et al. (28, 29), Hermansen et al. (14), Davis et al. (5)). Έτσι, πρέπει να υπάρχει μεταβλητότητα σε μια τουλάχιστον παράμετρο της εξίσωσης (4).

Οι παρατηρήσεις από τους Donovan et al. (6) δείνουν προφανώς μια εξήγηση για τη συμπεριφορά του γαλακτικού οξέος σε τεστ με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας. Οι συγγραφείς βρήκαν μια μη ευθυγραμμη σχέση ανάμεσα στην τιμή του γαλακτικού οξέος στο αἷμα και στο ρυθμό κατανάλωσής του σε υπομέγιστη επιβάρυνση. Μια πιθανή εξήγηση γι' αυτό θα μπορούσε να είναι ο κορεσμός του κύκλου του Krebs και της αναπνευστικής αλυσίδας σε μεγάλες συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέας σε πυροσταφυλικό οξύ. Μια κατανάλωση του γαλακτικού οξέος κατά την επιβάρυνση, ανάλογη προς τη συγκέντρωση του, μπορεί να γίνεται μόνο μέχρι ένα βαθμό, όπως μ' άλλες ουσίες π.χ. λίπη, το γαλακτικό οξύ να εκποζίται από την οξειδωση και/ή να ξανασυντίθεται σε γλυκοζη. Η τελευταία δυνατότητα μειώνεται πάρα πολύ καθώς αυξάνεται η επιβάρυνση. Σε κορεσμό της οξειδωσης σε πυροσταφυλικό οξύ, η κατανάλωση του γαλακτικού οξέος μπορεί ν' αυξάνεται παραπέρα, μόνον ανάλογη προς την πρόσληψη οξυγόνου. Αυτό αποκλείει την εμφάνιση ενός steady state στο γαλακτικό οξύ, έτοις που μετά τον κορεσμό σε πυροσταφυλικό οξύ, το γαλακτικό οξύ συγκεντρώνεται σύνεχεια. Αναφορικά με το μοντέλο των 2 διαμερισμάτων, αυτό σημανεί, ότι σε τεστ με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας, καθώς αυξάνεται η τιμή του γαλακτικού οξέος, η κομπύλη του αποκλίνει από το steady state, οφεύ ρυθμός παραγωγής του γαλακτικού οξέος ξεπερνά το μέγιστο ρυθμό οξειδωσης του πυροσταφυλικού οξέος. Θεωρητικά, ένα steady state του γαλακτικού οξέος μπορεί να παρατηρείται μόνο μέχρι μια συγκέντρωση, η οποία επιτρέπει ακόμα μια, σχεδόν ανάλογη προς τη συγκέντρωση, απομάκρυνση. Αυτό συμφωνεί επίσης με το μοντέλο του Stegmann (25) στην αιτιολόγηση του «ατομικού αναερόβιου κατώφλιού» του. Ο συγ-

γραφέας θεωρεί ότι ο ρυθμός απομάκρυνσης στοχεύει σ' ένα μέγιστο.

Μεταφέροντας το μοντέλο στ' αποτελέσματα των τεστ με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η μέγιστη, ανάλογη προς τη συγκέντρωση, απομάκρυνση παρουσιάζει μια μεγάλη μεταβλητότητα. Κατά μέσο όρο, η τιμή του γαλακτικού οξέος στο Maxlass είναι 4.02 mmol/l (πιν. 2). Μια εξάρτηση από την ικανότητα αντοχής δεν ήταν αποδεικτέα (σχήμα 11).

Προσδιορισμός του Maxlass σε βαθμιαία αυξανόμενη επιβάρυνση:

Αν το Maxlass είναι γνωστό, τότε μπορεί να δοθεί η επιβάρυνση, η οποία μπορεί να διατηρηθεί τουλάχιστον για μιση ώρα, πιθανόν ακόμα και για 1 ώρα, χωρίς οι μεταβολές στην οξειδιατική ισορροπία να υποκρέωσουν τη διοικοπή της προσπάθειας. Ο προσδιορισμός του Maxlass θάπερε να γίνεται με τη βοήθεια δοκιμασιών με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας, στην ίδια ή ανάλογη μορφή με τις δοκιμασίες αυτής της έρευνας. Αυτό όμως δεν μπορεί να γίνει πραγματικότητα στην καθημερινή ερευνητική πράξη, αφού είναι αναγκαίες πολλαπλές μετρήσεις που πραγματοποιούνται σε διαφορετικές μέρες.

Αν πρέπει να προσδιορισθεί το Maxlass με μια μόνο προσπάθεια, τότε, από θεωρητικής άποψης, ενδείκνυται ιδιαίτερα μια ομαλά αυξανόμενη επιβάρυνση. Για πρακτικούς λόγους, αυτή η ομαλά αυξανόμενη αντικαθίσταται από μια βαθμιαία αυξανόμενη επιβάρυνση. Η ταχύτητα αύξησης της επιβάρυνσης χαρακτηρίζεται από τις βαθμίδες της επιβάρυνσης και τη διάρκεια των βαθμίδων. Σε συγκριτική εξέταση των ταχυτήτων στο Maxlass και των τιμών γαλακτικού οξέος στις αντίστοιχες ταχύτητες σε τεστ με βαθμιαία αύξηση επιβάρυνσης, παίρνεται η τιμή γαλακτικού οξέος

που, κατά μέσο όρο, αντιπροσωπεύει το Maxlass.

Στην έρευνα αυτή, σε πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας, σημειώθηκε μια μέση τιμή γαλακτικού οξέος 4.05 mmol/l . Αυτή είναι η αιτιολόγηση για το κατώφλι των 4 mmol/l γαλακτικού οξέος κατά Mader. Μεμονωμένα, οι αντίστοιχες τιμές γαλακτικού οξέος βρίσκονται μεταξύ 2,85 και 5.25 mmol/l . Σε τρίλεπτη διάρκεια βαθμίδας, η μέση τιμή βρίσκοταν στα 3.5 mmol/l ($\text{min.} = 2.4, \text{ max.} = 4.35$) (σχήμα 12).

Στη συνέχεια, πρέπει να εξετασθεί κατά πόσο ακριβέστερα προσδιορίζουν τα κατώφλια κατά Keul, Stegmann και Bunc το Maxlass, σε ατομική βάση. Πάνω σ' αυτό, συσχετίσαμε την ταχύτητα στο Maxlass με τις ταχύτητες των διαφόρων κατώφλιών. Στο σχήμα 13 παρουσιάζονται οι ορθογώνιες συμμεταβολές, πάνω για τη δοκιμασία με τρίλεπτη και κάτω με πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας. Στην ιδιαίτερη περίπτωση, θάπερε να βρίσκονται όλα τα σημεία πάνω στη διχοτόμη της γωνίας των αξόνων (γραμμή των ομαλών ταχυτήτων). Σαν μέτρο της απόκλισης πήραμε τη μέση τιμή των απόλυτων διαφορών μεταξύ Maxlass και κατώφλιού. Για την κάθε περίπτωση κατώφλιού είναι:

Τρίλεπτη διάρκεια βαθμίδας:

Mader	$= 0.17 \pm 0.134$
Keul	$= 0.22 \pm 0.175$
Stegmann	$= 0.20 \pm 0.164$
Bunc	$= 0.33 \pm 0.171 \text{ (m/s)}$

Πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας:

Mader	$= 0.16 \pm 0.104$
Keul	$= 0.16 \pm 0.098$
Stegmann	$= 0.13 \pm 0.139$
Bunc	$= 0.18 \pm 0.171 \text{ (m/s)}$

Οι ευθείες των ορθογώνιων συμμεταβολών δείχνουν ότι το κατώφλι του Mader προσδιορίζει εξίσου καλά το Maxlass για

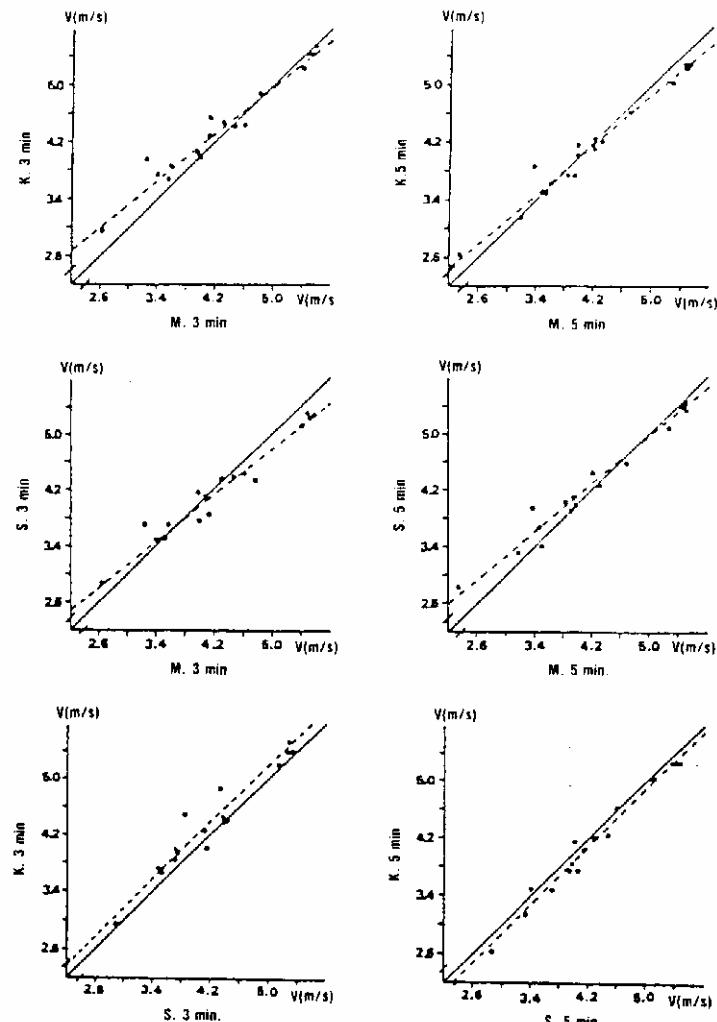
οχήμες και καλές επιδόσεις στην αντοχή. Τα άλλα κατώφλια δείχνουν αισθητά μια συστηματική απόκλιση, υποδηλώνοντας ότι το Maxlass, με βάση τα αποτελέσματα των τεστ βαθμιαία αυξανόμενης επιβάρυνσης, προσδιορίζεται, για άτομα με καλές επιδόσεις στην αντοχή, πιο χαρηλά και, για άτομα με όσημες επιδόσεις, πιο ψηλά.

Αυτό φαίνεται πιο καθαρά σε απευθείας συγκριση των κατώφλιών το ένα με το άλλο (σχήμα 17). Οι Keul et al. έφθασαν στα ίδια αποτελέσματα σε σύγκριση με το κατώφλι των 4 mmol/l . Οι παραπάνω συγγραφείς βρήκαν μια αρντική σχέση ανάμεσα στην ικανότητα αντοχής και τη διαφορά μεταξύ Keul - και Mader - κατώφλιού.

Μια ανάλογη εικόνα παρουσιάζεται, αν συσχετίσουμε τις τιμές γαλακτικού οξέος στο Maxlass με τις αντίστοιχες σε σταθερή επιβάρυνση διάρκειας, στην ταχύτητα του κατώφλιού (σχήμα 15). Οι τιμές πάνω από τη διχοτόμη δηλώνουν ότι το κατώφλι βρίσκεται πάνω από το Maxlass. Σ' όλα τα πρότυπα κατώφλιού, ένα μέρος των σημείων βρίσκεται πάνω από τη διχοτόμη. Απέναντι στα κατώφλι των 4 mmol/l δεν αποδεικνύουν καὶ εδώ τα άλλα πρότυπα κατώφλιού κανένα αισθητά καλύτερο προσδιορισμό του Maxlass. Το κατώφλι του Bunc παρουσιάζει ένα χειρότερο αποτέλεσμα. Επίσης, σ' αυτήν τη παράσταση γωνιαστούσειται ότι το τεστ με πεντάλεπτη διάρκεια βαθμίδας παρέχει, κατά μέσο όρο, μια καλύτερη εκτίμηση του Maxlass.

Επίδραση της ταχύτητας αύξησης της επιβάρυνσης στη τιμή γαλακτικού οξέος στο κατώφλι

Η μείωση τής διάρκειας της βαθμίδας από 4 σε 3 τοίν μετακινεί την καμπύλη του γαλακτικού οξέος προς μεγαλύτερες ταχύτητες (σχήμα 10). Η αιτία γ' αυτό είναι ότι το γαλακτικό οξύ δεν εξαρτάται μόνον από την επιβάρυνση αλλά και από το χρόνο. Σε



Εικόνα 17. Ορθογώνια συμμεταβολή ανάμεσα στα κατώφλια κατά Mader, Keul και Stegmann.

μια βαθμίδα επιβάρυνσης με μεγαλύτερη διάρκεια σημειώνεται στο τέλος της βαθμίδας μια ψηλότερη τιμή γαλακτικού οξέος. Κατά μέσο όρο μετακινείται το καθένα από τα κατώφλια κατά 0,14 m/s (Mader), 0,27 m/s (Keul) και 0,19 m/s (Bunc). Η μετακίνηση του Mader-κατώφλιου σημειώνεται στο βαθμό που είναι γνωστός από προηγούμενες έρευνες (11).

Σ' αντίθεση με τα άλλα κατώφλια, το κατώφλι του Stegmann δεν παρουσιάζει καμπιά μετακίνηση. Αυτά γι' αυτό θα μπορούσε να είναι η πραγματικότητα ότι, σε μεγαλύτερη ταχύτητα αύξησης της επιβάρυνσης, η διαφορά συγκεντρωσης του γαλακτικού οξέος ανάμεσα στους μύες και στο αίμα στο τέλος της επιβάρυνσης είναι μεγαλύτερη. Είσι δημιουργείται μεναλύτερος χρόνος μέχρι να επιτευχθεί ξανά, μετά την επιβάρυνση, η τιμή του τέλους της επιβάρυνσης. Αυτό δείχνουν επίσης και οι δικές μας μετρήσεις. Σε τρίλεπτη διάρκεια βαθμίδας παρατηρήθηκε μια μέση τιμή από 5,56 min, σε πεντάλεπτη 3,33 min, σε μετριες μέγιστες συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέος μετά την επιβάρυνση 9,4 και 8,9 μπορί/λ. Κατ' αυτόν τον τρόπο, για τρίλεπτη αύξηση της επιβάρυνσης, απορρέει μια μικρότερη κλίση της εφαπτομένης συνδέμενη με την επιβάρυνση και, στη συνέχεια, μια μικρότερη τιμή γαλακτικού οξέος στο σημείο εφαρμογής (πιν. 1). Είσι, το κατώφλι του Stegmann, σε μια περιοχή από 0,08 - 0,13 (m/s)/min δεν δειχνεί καμια εξάρτηση από την ταχύτητα αύξησης της επιβάρυνσης.

Σε τρίλεπτη διάρκεια βαθμίδας, η μέση τιμή γαλακτικού οξέος στην αντίστοιχη ταχύτητα του Maxlass ανέρχεται σε 3,5 μπορί/λ. Αν θέλει λοιπόν κάποιος να υπολογίσει μ' αυτό το σχέδιο επιβάρυνσης το Maxlass, τότε πρέπει να παίρνει τη τιμή επιβάρυνσης στα 4 μπορί/λ αλλά στα 3,5 μπορί/λ γαλακτικού οξέος. Η παράβλεψη

αυτών των σχέσεων έχει οδηγήσει συχνά σε παρεξηγήσεις σχετικά με τα κατώφλια των 4 μπορί/λ. Οι Stegmann et al. (26) εξέτασαν στο εργοποδήλατο κοππλάτες με μια ταχύτητα αύξησης της επιβάρυνσης 50 Watt ανά δύο λεπτά. Σε μιά δευτερη δοκιμασία με σταθερή επιβάρυνση διάρκειας, αντίστοιχη με το κατώφλι των 4 μπορί/λ, οι τιμές του γαλακτικού οξέος αυξάνονταν στη πλειονότητα των δοκιμαζόμενων, κάτι που οδηγήσει στη γρήγορη διακοπή της προσπάθειας. Οι συγγραφείς το είδαν σαν απόδειξη ότι γενικά, σε προπονημένους στην αντοχή, το κατώφλι των 4 μπορί/λ δεν είναι εφαρμόσιμο. Δεν έλαβαν παράλληλα υπόψη όμως, ότι η ταχύτητα αύξησης της επιβάρυνσης στο δικό τους τεστ ήταν 4 φορές περίπου μεγαλύτερη απ' ό.τι στο τεστ με πεντάλεπτη αύξηση της επιβάρυνσης κατά Mader στο δαπεδοεργόμετρο, αν γίνει σύγκριση με ισοδύναμα αύξησης της VO_2 .

Προς αποφυγή παρεξηγήσεων, θα πρέπει να αναζητηθεί μια ξεκάθαρη ορολογία. Οι όροι «κατώφλι των 4 μπορί/λ» ή «αερόβιο-αναερόβιο κατώφλι» μπορούν να χρησιμοποιούνται τότε μόνα όταν η ταχύτητα αύξησης της επιβάρυνσης είναι περιπου 0,08 (m/s)/min ή 1 $\text{ml/kg} \cdot \text{min}^2 \cdot \text{VO}_2/\text{min}$. Σε αισθητή απόκλιση απ' αυτές τις τιμές συνιστούμε να μη χρησιμοποιείται ο όρος «κατώφλι». Αντί γι' αυτόν θα μπορούσε να δίνεται ένας σαφής καθορισμός με τον όρο «επιβράδυνση στα 4 μπορί/λ».

Κατώφλια στο σημείο της μέγιστης κάρμψης στην καρμύλη του γαλακτικού οξέος

Οι Simon et al. ορίζουν το κατώφλι τους: «Το σημείο στο οποίο πετυχαίνεται η μεγαλύτερη μεταβολή στην άνδο της καρμύλης, χαρακτηρίζεται από την εφ(χ,ψ)= 1, που αντιστοιχεί σε μια γωνία εφαπτομένης 45° ...» (23).

Οι Bunc et al. ορίζουν το δικό τους κα-

τώφλι: «Σαν PPA¹ καθορίζουμε το σημείο στο οποίο η κλίση της εφαπτομένης μεταβάλλεται στο μέγιστο...» (1).

Παρακάτω δείχνεται ότι και τα δύο κατώφλια δεν συμφωνούν απόλυτα με τους ορισμούς τους.

Και με τους δύο ορισμούς εννοείται, από μαθηματική άποψη, ένα μόνο σημείο της μέγιστης κάμψης στην καμπύλη επιβάρυνση - γαλακτικό οξύ.

Μαθηματικά η καμπύλητη μιας συνεχούς καμπύλης υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο (4):

$$K = y'' / (1 + y'^2)^{3/2} = 1/r \quad (5)$$

όπου y' είναι η πρώτη και y'' η δεύτερη παράγωγος μιας παραγωγήσιμης συνάρτησης. K είναι η τιμή της καμπύλωτης γενικά η ακτίνα του κύκλου που αντιστοιχεί στην καμπύλητη, και ο οποίος έχει στο σημείο εφαρμογής κοινή εφαπτομένη με την καμπύλη. Στο σημείο της μέγιστης κάμψης, η πρώτη παράγωγος της εξισώσης (5) πρέπει να παίρνει την τιμή μηδέν:

$$K' = (1 + y'^2)^{5/2} \cdot (y'''(1 + y'^2) - 3y' \cdot y'') \quad (6)$$

$$\text{όπως } K' = 0, \text{ τότε } 0 = y'''(1 + y'^2) - 3y' \cdot y'' \quad (7)$$

Για την εκθετική εξισώση από τους Bunc et al., το σημείο της μέγιστης κάμψης προσδιορίζεται σαφώς από:

$$y = a + b \cdot e^{cx}$$

$$y' = b \cdot c \cdot e^{cx} \quad (8)$$

$$y'' = b \cdot c^2 \cdot e^{cx} \quad (9)$$

$$y''' = b \cdot c^3 \cdot e^{cx} \quad (10)$$

Με αντικατάσταση των εξισώσεων 8, 9 και 10 στην εξισώση 7 παίρνουμε:

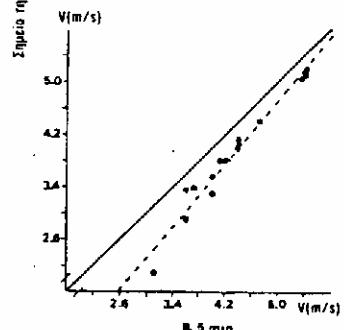
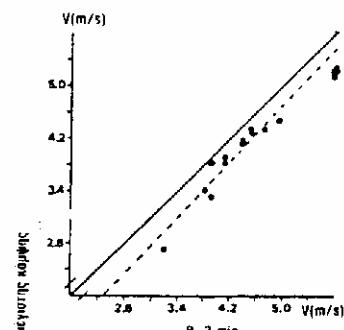
$$0 = b \cdot c^3 \cdot e^{cx} (1 + b^2 c^2 \cdot e^{2cx}) - 3b^3 \cdot c^5 \cdot e^{3cx}$$

1) Παραπομπή στο σχήμα 8

απ' όπου υπολογίζεται $x = -\ln(\sqrt{2} \cdot b \cdot c)/c$ και έτοις είναι:

$$V(\text{km/h})_{\text{μεγ. κάμψη}} = -\ln(\sqrt{2} \cdot b \cdot c)/c \quad (11)$$

Στα σχήμα 18 παραθέτονται οι τιμές κατώφλιου κατά Bunc προς τα σημεία της μέγιστης κάμψης. Όλες οι τιμές κατώφλιου βρίσκονται πάνω από τις τιμές της μέγιστης κάμψης στην καμπύλη.



Σχήμα 18. Ορθογώνια συμμετροβόλη ανάμεση στο «σημείο της μέγιστης κάμψης στην καμπύλη του γαλακτικού οξέος» και το κατώφλι των Bunc et al. (όπως για τρίλεπτη και κάτω για πεντάλεπτη αυξηση της επιβάρυνσης).

Οι Simon et al. υπολογίζουν το κατώφλι με τη βοήθεια ενός πολυώνυμου τρίτου βαθμού:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (12)$$

$$y' = b + 2cx + 3dx^2 \quad (13)$$

$$y'' = 2c + 6dx \quad (14)$$

$$y''' = 6d \quad (15)$$

Η κλίση της εφαπτομένης στο κατώφλι είναι 45° .

Έτσι, σ' αυτήν τη θέση είναι $y' = 1$.

Αν είναι σωτός ο ορισμός του κατώφλιού, πρέπει η συνθήκη $y' = 1$ να επαληθεύεται για την εξισώση 13 και 7.

$$1 = b + 2cx + 3dx^2 \quad (13a)$$

$$0 = y'''(1+1) - 3 \cdot 1 \cdot y'' \quad (7a)$$

Αντικατάσταση των εξισώσεων 15 και 14 στην εξισώση 7a δίνει:

$$x = (\pm \sqrt{d} - c)/3d \quad (16)$$

Αντικατάσταση της εξισώσης 16 στην εξισώση 13a εξαλείφει την παράμετρο x και δίνει:

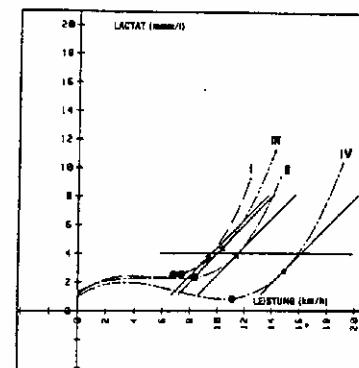
$$2d - 3bd + c^2 = 0 \quad (17)$$

Η εξισώση 17 εξηγεί στη συνέχεια ότι, τότε μόνον, όταν οι δείκτες b , c και d του πολυώνυμου στην εξισώση 17 επαληθεύουν τη σχέση, το σημείο της μέγιστης κάμψης βρίσκεται σε μια γωνία εφαπτομένης 45° .

Αυτό ακριβώς εξετάσθηκε από μας. Κατά κανόνα, οι υπολογισμοί δεν έδιναν στην εξισώση 17 μια τιμή γύρω από το μηδέν.

Για να το αποδείξουμε, υποθέλαμε τις καμπύλες γαλακτικού οξέος από τη δημοσίευση των Simon et al. σε μια ανάλυση καμπύλης. Με χρήση της εξισώσης 5 υπολογίζονταν με μια επαναληπτική μέθοδο το σημείο της μέγιστης κάμψης. Στην πρωτό-

τηπή παράσταση έχουμε σημειώσει τα σημεία της μέγιστης κάμψης (σχήμα 19). Ωπως δείχνει το σχήμα, βρίσκονται αισθητά κάτω από τις τιμές του κατώφλιου



Σχήμα 19. Σύγκριση των τιμών κατώφλιού κατά Simon et al. με τα «σημεία της μέγιστης κάμψης» στις καμπύλες του γαλακτικού οξέος. Τα «σημεία της μέγιστης κάμψης» πλαισιωθήκαν στην πρωτότυπη παράσταση από τους Simon et al. (23). * = ημέρας κατώφλιού. * = σημεία της μέγιστης κάμψης στην καμπύλη.

Έτσι, θα μπορούσε να θεωρηθεί αποδεδειγμένο ότι τα κατώφλια κατά Bunc et al. και Simon et al. δεν βρίσκονται στο σημείο της μέγιστης κάμψης στην καμπύλη του γαλακτικού οξέος.

Εξάρτηση των διαφόρων προτύπων κατώφλιού από τη μονοδιαία έκφραση των παραμέτρων επιβάρυνσης και το είδος της επιβάρυνσης

Μετατροπή της μονοδιαίας έκφρασης της τοχύτητας

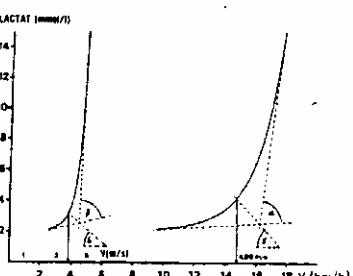
Οι Keul et al., Stegmann et al. και Bunc et al. δίνουν την τοχύτητα τρεξίματος στο διπεδοεργόμετρο σε km/h, οι Mader et al. σε m/s.

Για τη μετατροπή από τη μια μονάδα στην άλλη ισχύει: $1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$.

Οι μέθοδοι προσδιορισμού του κατώφλιού κατά Mader και Stegmann δεν επηρεάζονται από τη μετατροπή. Ο Mader προσδιορίζει την τιμή του κατώφλιού ανεξάρτητα από τη μοναδιαία έκφραση του άξονα χ. Το κατώφλι του Stegmann προσδιορίζεται σε συνάρτηση με το χρόνο. Η χρονική σκάλα είναι ανεξάρτητη από τη μοναδιαία έκφραση της επιβάρυνσης.

Διαφορετικά είναι στις μεθόδους των Keul, Simon και Bunc. Η γωνία της εφαπτομένης στο σημείο του κατώφλιού κατά Keul et al. ($51^\circ 34'$) και Simon et al. (45°) ισχύει μόνο για τη μονάδα km/h. Στη μονάδα m/s η τιμή της εφαπτομένης μεταβάλεται μ' ένα συντελεστή 3,6. Οι γωνίες είναι τότε για την περίπτωση Keul et al. $77^\circ 34'$ και για τη περίπτωση Simon et al. $74^\circ 29'$.

Στο κατώφλι του Bunc δεν είναι δυνατή καμπιά μετατροπή. Στη βάση του ορισμού (σημείο τομής της διχοτόμου της γωνίας με την εκθετική συνάρτηση) δίνονται διαφορετικές τιμές για m/s και για km/h, ακόμα και όταν η μετατροπή (m/s - km/h)



Σχήμα 20. Προσχεδιασμός του κατώφλιού κατά Bunc et al., αριστερά σε μονάδα ταχύτητας (m/s) και δεξιά σε (km/h) για το δοκιμαζόμενο ψ. Π. σε τρίλεπτη διάρκεια βαθμίδας. Το κατώφλι είναι στα 3.78 m/s για τη μοναδιαία έκφραση (m/s) και στα 4.09 m/s για (km/h).

λαμβάνεται υπ' οψιν. Αυτό αποδεικνύεται ως εξής (σχήμα 20):

$$La = a + b \cdot \exp(c \cdot V(\text{km/h})) \quad (19)$$

$$La = a + b \cdot \exp(c^* \cdot V(\text{m/s})) \quad (20)$$

από τις εξισώσεις 18, 19 και 20 συνεπάγεται ότι: $3.6 \cdot c = c^*$

Η γωνία των εφαπτομένων (π.η) υπολογίζεται με την πρώτη παράγωγο των εξισώσεων 19 και 20:

$$\pi = b \cdot c \cdot \exp(c \cdot V(\text{km/h}))$$

$$\pi = b \cdot c^* \cdot \exp(c^* \cdot V(\text{m/s}))$$

$$\text{αφού } c \cdot V(\text{km/h}) = c^* \cdot V(\text{m/s}), \text{ συνεπάγεται ότι } \pi = 3.6 \cdot m$$

Η γωνία (α, β) μεταξύ των εφαπτομένων υπολογίζεται από:

$$\epsilon\phi(\alpha) = (m_1 - m_2) / (1 + m_1 \cdot m_2)$$

$$\epsilon\phi(\beta) = (n_1 - n_2) / (1 + n_1 \cdot n_2)$$

$m_1 = \eta$ κλίση στην εξίσωση της πρώτης εφαπτομένης

$$La(\text{mmol/l}) = a_1 + m_1 V(\text{km/h})$$

$m_2 = \eta$ κλίση στην εξίσωση της δεύτερης εφαπτομένης

$$La(\text{mmol/l}) = a_2 + m_2 V(\text{km/h})$$

$n_1 = \eta$ κλίση στην εξίσωση της πρώτης εφαπτομένης

$$La(\text{mmol/l}) = a_1^* + n_1 V(\text{m/s})$$

$n_2 = \eta$ κλίση στην εξίσωση της δεύτερης εφαπτομένης

$$La(\text{mmol/l}) = a_2^* + n_2 V(\text{m/s})$$

Η κλίση της διχοτόμου (γ) και (δ) υπολογίζεται από:

$$\gamma = \text{τοξ } \epsilon\phi(n_1) - (180 - \alpha) / 2$$

$$\delta = \text{τοξ } \epsilon\phi(n_1) - (180 - \beta) / 2$$

απ' όπου συνεπάγεται:

$$\epsilon\phi(\gamma) = \frac{-(m_1^2 + 1 \pm \sqrt{1 + m_1^2 + m_2^2 + m_1^2 \cdot m_2^2})}{m_2(m_1^2 + 1) + m_1 + \sqrt{1 + m_1^2 + m_2^2 + m_1^2 \cdot m_2^2}} \quad (21)$$

$$\epsilon\phi(\delta) = \frac{-(3.6^2 m_1^2 + 1 \pm \sqrt{1 + 3m_1^2 + 3m_2^2 + 3.6 \cdot 3.6^2 m_1^2 \cdot m_2^2})}{3.6m_2(3.6m_1^2 + 1) + 3.6m_1 + \sqrt{1 + 3.6^2 m_1^2 + 3.6^2 m_2^2 + 3.6^2 \cdot 3.6^2 m_1^2 \cdot m_2^2}} \quad (22)$$

από τις εξισώσεις 21 και 22 συνεπάγεται γενικά ότι: $\epsilon\phi(\gamma) = \epsilon\phi(\delta) / 3.6$ και έσοι αποδεικνύεται ότι η μετατροπή $\text{km/h} - \text{m/s}$ δεν είναι δυνατή.

Για κάθε μια προσπάθεια υπολογίσαμε και τη δύο τιμές κατώφλιού. Η μέση διαφορά μεταξύ κατώφλιού σε km/h και σε m/s ανέρχεται σε 0,277 m/s ($\pm 0,079$) και, για την αντίστοιχη τιμή γαλακτικού οξέος, σε 1,0 mmol/l ($\pm 0,14$).

Πρότυπα κατώφλιού και είδος της επιβάρυνσης

Οι Mader et al. έχουν καθορίσει το κατώφλι για δαπέδοεργομετρία. Μία μεταφορά σε άλλα είδη επιβάρυνσης, όπως ποδήλατοεργομετρία, δεν είναι πραγματοποιήσιμη χωρίς το παραμικρό πρόβλημα: εκτός βέβαια όταν αντίστοιχες έρευνες αποδεικνύουν ότι μια συγκεκριμένη τιμή γαλακτικού οξέος ή εφαπτομένης ή κάποια άλλη μέθοδος προσδιορισμού αποδίδει κατά μέσο όρο το Maxlass.

Για τα κατώφλια των Keul και Simon δίνεται στην ποδήλατοεργομετρία σίγουρα μια άλλη γωνία, όταν η επιβάρυνση εκφράζεται σε Watt. Οι γωνίες θα βρίσκονται σε μια περιοχή περίπου $5 - 10^\circ$.

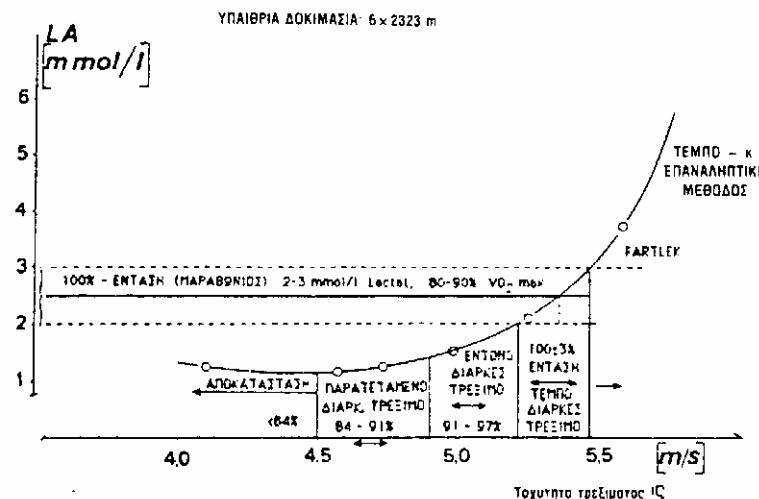
Κατώφλι και ρύθμιση της προπόνησης

Στη συζήτηση σχετικά με τη χρονιμότητα του κατώφλιού στη ρύθμιση της προ-

πόνησης, επιχειρούγεται συχνά ότι, το «ατομικό αναερόβιο κατώφλι», απέναντι στο σταθερό κατώφλι των 4 mmol/l , είναι σε θέση να δίνει «ατομικά» την ένταση της επιβάρυνσης. Από δω, ευνόητα συνεπάγεται ότι η επιβάρυνση στο Maxlass είναι ταυτόσημη με την άριστη επιβάρυνση καθώς και ότι το Maxlass προσδιορίζεται καλύτερα με τα «ατομικά κατώφλια». Το τελευταίο αναιρείται από τα παραπάνω ευρήματα. Το πρώτο επιχειρήμα αντικρύωνται από την προπονησιολογία και την προπονητική πράξη. Δεν υπάρχει κανένα άθλημα αντισχής, στο οποίο η προπόνηση πραγματοποιείται σε μια ένταση. Οι περίοδοι της προπονησης χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ποσότητες και εντάσεις. Ακομη, μέσα στην ίδια προπονητική περίοδο, δίνονται διαφορετικές εντάσεις¹.

Οι Föhrenbach et al. (8, 9, 10) ερεύνησαν σε γυναικείς δρομείς διαφορετικών αποστάσεων, τα πώς μπορούν να κατανεμηθούν οι όροι της προπονησιολογίας στις καμπύλες γαλακτικού οξέος - έντασης. Το

Σ.τ.Μ.: Η μεταβλητότητα ωτοσύριο στην ένταση της προπόνησης καθορίζεται σίγουρα καλύτερα η ακριβέστερη έχοντας σαν αναφορά το ατομικό αναερόβιο κατώφλι. Η πραγματοποίηση της προπόνησης συμβαίνει στη βάση σχετικών ορίων (% έντασης), όπως παρουσιάζεται παρακάτω, και η μεταφορά στη πράξη έχει πάντα κάποια απώλεια στην ακριβεία. Είσι, γενικά και ατομικά (σχετικά) όρια έντασης δεν έχουν σε τελική ανάλυση μεγάλη διαφορά στη προπονητική πράξη.



Σχήμα 21. Δυνατότητα ρύθμισης της επιβάρυνσής στην προπονηση με την κομπύλη γαλακτικού οξεος - τοχύτητας, μετά από κατάταξη πάνω σ' αυτή γνωστών χαρακτηρισμάτων της επιβάρυνσης από την προπονησιολογία (Föhrenbach et al. (10)).

Σχήμα 21 δείχνει μια τέτοια κατανομή για ένα μαραθονοδρόμο. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να δωθούν στον αθλητή και στο προπονητή όρια ταχύτητας για κάθε προπονητική μονάδα, όπως προκαθορίζεται στο προπονητικό πλάνο. Αυτό όμως είναι τότε μόνο δυνατό, όταν οι ίδιοτητες της επιβάρυνσης στη δρομική διαδρομή του εστιν είναι περίπου ίδιες με τη δρομική διαδρομή της προπόνησης (12,13).

Έτσι εξακριβώνεται ότι:

Με κανένα κατώφλι – σταθερό ή ατομικό – δεν είναι δυνατό να ρυθμίζεται η προπόνηση χωρίς πρόσθετες πληροφορίες από την προπονητική πράξη, στη βάση εμπειρικών λερευνών.

Βιβλιογραφία

- Bunc, V., R. Zasnowicz, T. Boraczynski, J. Heller, S. Sprynarowicz: Wykorzystanie wskaźnika równoważnego kwasowo-zasadowego, YPAΦΙΑ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ: 6x2323 m
- (BE) przy oznaczaniu progu przemian anaerobowych u młodych biegaczy w laboratorium Wychowanie Fizyczne i Sport, (1), 40–44 (1984)
- Bunc, V., J. Heller, J. Nowak, J. Less: Determination of the individual anaerobic threshold „Proceeding of XXIInd World Congress on Sports Medicine”, Vienna 1982
- Bunc, V., J. Heller, R. Zasnowicz: Sposoby Wyznaczania progu przemian beztlenowych Sport Wyczynowy 8–9:224–225, 14 (1983)
- Courant, R.: Vorlesungen über Differential- und Integralrechnung 1 Springer, Berlin — Heidelberg — New York 1971
- Davis, H. A., G. C. Gass: The Anaerobic Threshold as Determined Before and During Lactic Acidosis Eur. J. Appl. Physiol. 47, 141–149 (1981)
- Donovan, C. M., G. A. Brooks: Endurance training affects lactate clearance not lactate production Am. J. Physiol. 224 (Endocrinol. Metab. 7), E 82–E 82 (1973)
- Dost, F. H.: Grundlagen der Pharmakokinetik Thieme Stuttgart 1965
- Föhrenbach, R., A. Mader, W. Hollmann: Umfang und Intensität im Dauerlauftraining von Mitteldistanzläuferinnen des D.L.V. und Maßnahmen zur individuellen Trainings- und Wettkampfoptimierung Leistungssport 6, 4C7 (1981)
- Föhrenbach, R., H. Liesen, A. Mader, H. Heck, W. Hollmann: Die Ausdauerleistungsfähigkeit deutscher Spitzensportlerinnen mit Wettkampfstrecken vom Sprint bis zum Marathonlauf. In: Heck, H., H. Liesen, A. Mader, W. Hollmann: Sport: Leistung und Gesundheit Kongreßbd. Deutscher Sportärztekongress 1982, Dtsch. Ärzte-Verlag, Köln 1983.
- Föhrenbach, R., A. Mader, H. Liesen, H. Heck, E. Vellage, W. Hollmann: Wettkampf- und Trainingssteuerung von Marathonläuferinnen und -läufern mittels leistungsdiagnostischer Felduntersuchungen. Vortrag Deutscher Sportärztekongress 1984, Berlin (im Druck)
- Heck, H., H. Liesen, A. Mader, W. Hollmann: Der Einfluss der Stufendauer und der Pausendauer bei Laufbanduntersuchungen auf die Sauerstoffaufnahme und das Laktatverhalten. In: Kindermann, W., W. Hort: Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport Kongreßbd. Deutscher Sportärztekongress, Saarbrücken 1980, Demeter-Verlag, Gräfeling 1981.
- Heck, H., R. Müller, S. Mücke, W. Hollmann: Verhalten von Pulsfrequenz und Laktat bei unterschiedlicher Beschaffenheit der Laufstrecke im Vergleich zum Laufband mit verschiedenen Anstiegswinkeln. Vortrag Deutscher Sportärztekongress 1984, Berlin (im Druck)
- Heck, H., H. Liesen, A. Mader, B. Pommerning, W. Hollmann: Das Verhalten von Laktat und Pulsfrequenz bei Belastung auf zwei verschiedenen Laufbändern mit und ohne Spirographenmaske und auf der Kunststoffbahn. In: Jeschke, D.: Stellenwert der Sportmedizin in Medizin und Sportwissenschaften Springer Verlag, Berlin — Heidelberg — New York — Tokyo, 1984
- Hermansen, L., I. Stensvold: Production and Removal of Lactate During Exercise in Man. Acta physiol. scand. 86, 191–201 (1972)
- Hollmann, W.: The relationship between pH, lactic acid, potassium in the arterial and venous blood, the ventilation, PoW and pulsefrequency during increasing spiro-ergometric work in endurance-trained and untrained persons. Pan-American Congress for Sports Medicine, Chicago 1959
- Hollmann, W.: Zur Frage der Dauerleistungsfähigkeit Fortschr. Med. 25, 439–453 (1961)
- Keul, J., G. Simon, A. Berg, H.-H. Dickhuth, I. Goertler, R. Kübel: Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. Dtsch. Z. Sportmed. 30 (7), 212–218 (1979)
- Kindermann, W., G. Simon, J. Keul: The Significance of the Aerobic-anaerobic Transition for the Determination of Work Load Intensities During Endurance Training. Eur. J. Appl. Physiol. 42, 25–34 (1979)
- Zoulimian, P., H. Freund: Lactate After Exercise in Man: II. Mathematical Model, Eur. J. Appl. Physiol. 46, 135–147 (1981)
- Zoulimian, P., H. Freund: Lactate After Exercise in Man: III. Properties of the Compartment Model. Eur. J. Appl. Physiol. 46, 135–147 (1981)
- P. M. Schürch, W. Hollmann: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit. Sportarzt u. Sportmed. 27 (4, 5), 80–88 u. 109–112 (1976)
- Mader, A., H. Heck, R. Föhrenbach, W. Hollmann: Das statische und dynamische Verhalten des Laktats und des Säure-Basen-Status im Bereich niedriger bis maximaler Azidosen bei 400- und 800-m-Läufern bei beiden Geschlechtern nach Belastungsabbruch. Dtsch. Z. Sportmed. 30 (7, 8), 203–211 u. 249–261 (1979)
- (21) Pessenhofer, H., G. Schwaberger, N. Saueng, P. Schmid: Methodische Grundlagen zur Bestimmung des individuellen aerob-anaeroben Übergangs. In: Mellerowicz, H., I. W. Franz: Kalibrierung, Standardisierung und Methodik in der Ergometrie. Perimed Verlag, Erlangen 1983
- Pessenhofer, H., G. Schwaberger, P. Schmid: Zur Bestimmung einer individuellen Schwelle. In: Kindermann, W., W. Hort: Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport. Kongreßbd. Deutscher Sportärztekongress, Saarbrücken 1980, Demeter-Verlag, Gräfeling 1981
- Heck, H., R. Müller, S. Mücke, W. Hollmann: Verhalten von Pulsfrequenz und Laktat bei unterschiedlicher Beschaffenheit der Laufstrecke im Vergleich zum Laufband mit verschiedenen Anstiegswinkeln. Vortrag Deutscher Sportärztekongress 1984, Berlin (im Druck)
- Stegmann, H., I. Jacobs: Onset of Blood Lactate Accumulation and Marathon Running Performance. Int. J. Sports Medicine 2, 23–26 (1981)
- Stegmann, H., W. Kindermann: Modell zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle. In: Kindermann, W., W. Hort: Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport. Kongreßbd. Deutscher Sportärztekongress, Saarbrücken 1980, Demeter-Verlag, Gräfeling 1981
- Stegmann, H., W. Kindermann: Comparison of Prolonged Exercise Tests at the Individual Anaerobic Threshold and the Fixed Anaerobic Threshold of 4 mmol·l⁻¹ Lactate. Int. J. Sports Med. 3, 105–110 (1982)
- Wasserman, K., M. B. Molilroy: Detecting the Threshold of Anaerobic Metabolism in Cardiac Patients During Exercise. Am. J. Cardiol. 14, 844 (1964)
- Wasserman, K., G. G. Burton, A. L. V. Kessel: Excess lactate concept and oxygen debt of exercise. J. Appl. Physiol. 20 (6), 1299–1306 (1965)
- Wasserman, K., A. L. V. Kessel, G. G. Burton: Interaction of physiological mechanisms during exercise. J. Appl. Physiol. 22 (1), 71–85 (1967)
- Zoulimian, P., H. Freund: Lactate After Exercise in Man: II. Mathematical Model, Eur. J. Appl. Physiol. 46, 135–147 (1981)
- Zoulimian, P., H. Freund: Lactate After Exercise in Man: III. Properties of the Compartment Model. Eur. J. Appl. Physiol. 46, 135–147 (1981)