



3^ο Διαδικτυακό Σεμινάριο 2020–2021

Γαλακτικό: πολυεργαλείο στην προπονητική διαδικασία των δρόμων

Βασίλης Μούγιος, PhD, FECSS
Καθηγητής ΤΕΦΑΑ Θεσσαλονίκης
Επιστημονικός συνεργάτης ΣΕΓΑΣ

 2310992238

 mougios@auth.gr

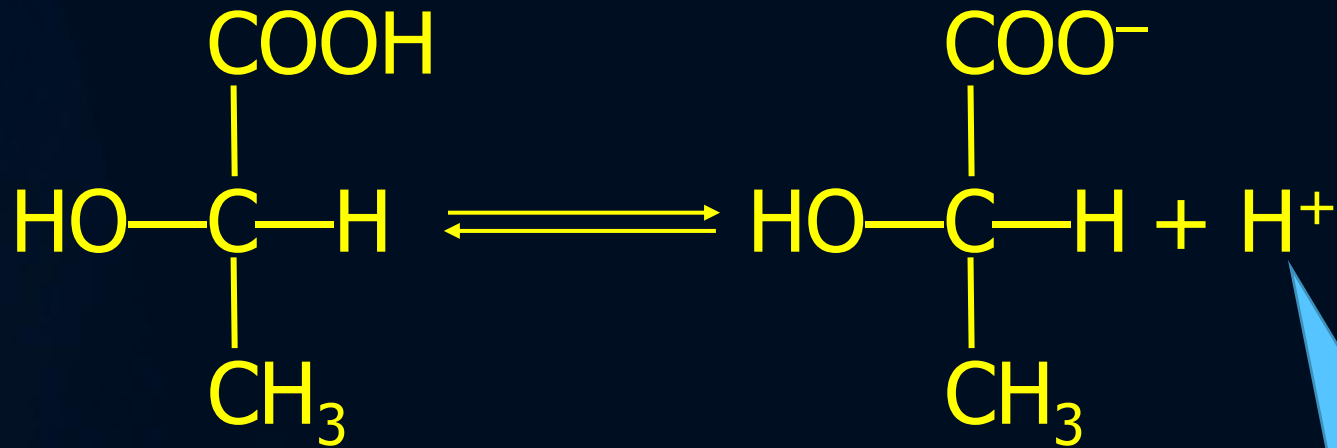
 humanperformancelab.phed.auth.gr

Τα μέρη

- Τι είναι το γαλακτικό;
- Γιατί το γαλακτικό είναι ο «βασιλιάς» της βιοχημικής αξιολόγησης των δρομέων;
- Για πιο λόγο αυξάνεται η παραγωγή γαλακτικού κατά την άσκηση;
- Παρανοήσεις γύρω από το γαλακτικό
- Οι παρανοήσεις από τη θεωρία στην πράξη
- Το γαλακτικό ως πολυεργαλείο στην προπονητική διαδικασία των δρόμων

Τι είναι το γαλακτικό;

Η χημική
απάντηση



L-Γαλακτικό
οξύ

Lactic acid

L-Γαλακτικό
ανιόν

Lactate

Κατιόν υδρογόνου
ή πρωτόνιο

Τι είναι το γαλακτικό;

Η βιοχημική απάντηση

Είναι προϊόν της αναερόβιας διάσπασης των υδατανθράκων

Γλυκογόνο Γλυκόζη

Πυροσταφυλικό

CO₂

Γαλακτικό

Αερόβια οδός

Αναερόβια οδός

Ενεργειακή απόδοση (ATP)

30–31

2–3

Ταχύτητα (mmol ATP/kg μύος/s)

0,5

1,5

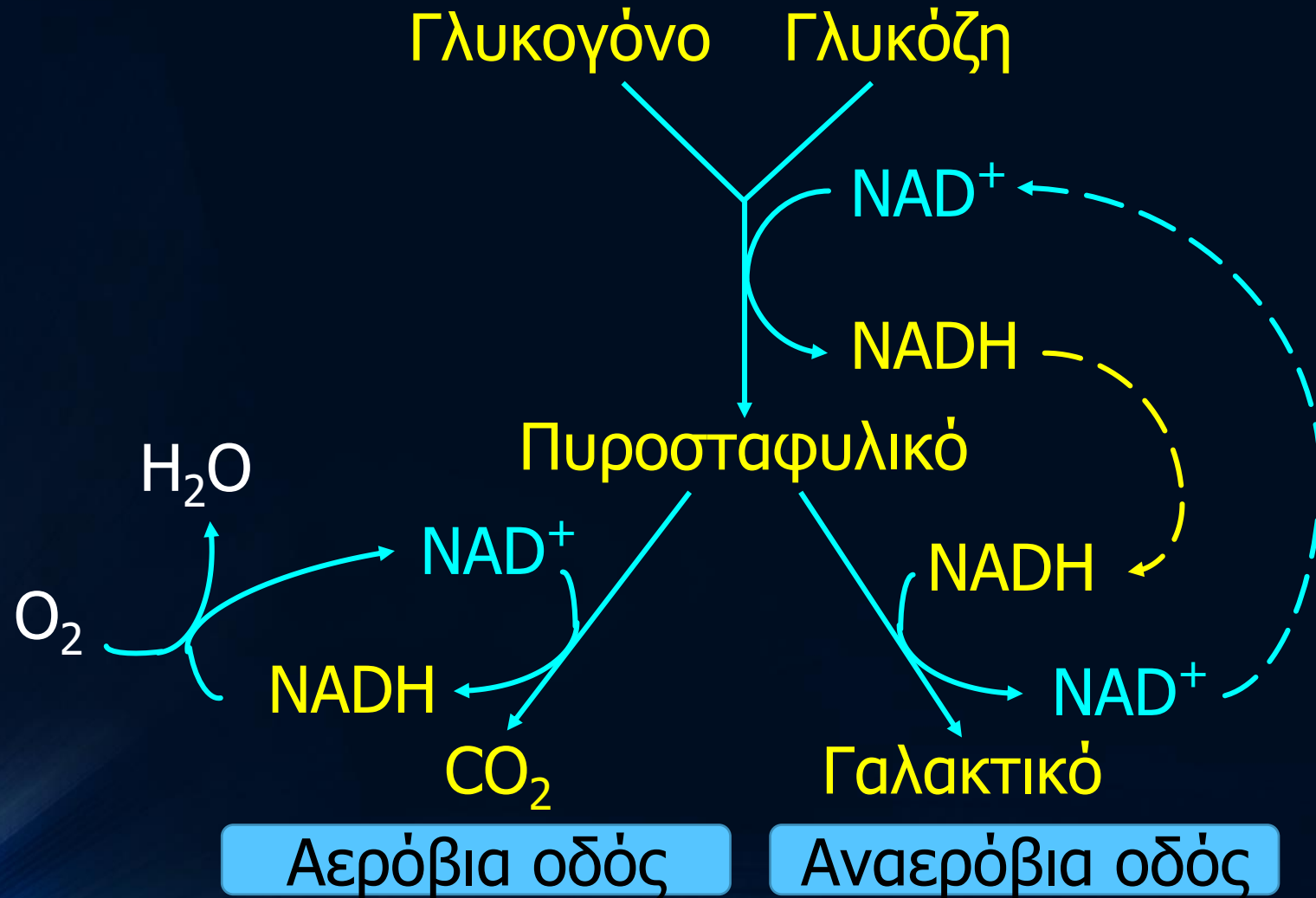
Γιατί το γαλακτικό είναι ο «βασιλιάς» της βιοχημικής αξιολόγησης των δρομέων;

- Το γαλακτικό παρουσιάζει τις μεγαλύτερες μεταβολές συγκέντρωσης στους μυς και στο αίμα ανάμεσα σε όλους τους μεταβολίτες κατά την άσκηση.
- Το μέγεθος των μεταβολών αυτών εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων της άσκησης και των ασκούμενων, γεγονός που επιτρέπει την ακριβή αξιολόγησή τους μέσω της μέτρησης του γαλακτικού.

- Οι υδατάνθρακες, διασπώμενοι είτε αερόβια είτε αναερόβια, είναι η κύρια ενεργειακή πηγή σε όλα τα ολυμπιακά αγωνίσματα δρόμου.
- Το γαλακτικό παρουσιάζει ένα τεράστιο εύρος τιμών στα δρομικά αγωνίσματα.
- Το γαλακτικό μετριέται εύκολα με αυτόματους φορητούς αναλυτές.



Για ποιο λόγο αυξάνεται η παραγωγή
γαλακτικού κατά την άσκηση;



- Η συσσώρευση πυροσταφυλικού και NADH λόγω της επιτάχυνσης της γλυκογονόλυσης και της γλυκόλυσης ευνοεί την αναερόβια οδό σε βάρος της αερόβιας οδού.
- Η γρήγορη αναγέννηση του NAD⁺ κατά τη μετατροπή του πυροσταφυλικού σε γαλακτικό διασφαλίζει τη συνέχιση της γλυκόλυσης και της παροχής ATP με μεγάλη ταχύτητα, παρότι στην αντίδραση αυτή καθαυτή δεν παράγεται ATP.

Παρανοήσεις γύρω από το γαλακτικό

- Παράγεται κατά την άσκηση λόγω έλλειψης οξυγόνου.
- Είναι καματογόνα ουσία.
- Υπάρχει αναερόβιο κατώφλι.

Η παραγωγή γαλακτικού κατά την άσκηση δεν οφείλεται σε έλλειψη οξυγόνου

- Επειδή το γαλακτικό είναι προϊόν της αναερόβιας διάσπασης των υδατανθράκων, είναι διαδεδομένη η άποψη ότι η αύξηση της παραγωγής του στους ασκούμενους μυς οφείλεται σε έλλειψη οξυγόνου.
- Όμως το ότι μια διεργασία είναι αναερόβια δεν σημαίνει ότι πραγματοποιείται ΕΠΕΙΔΗ ή ΜΟΝΟ ΟΤΑΝ λείπει οξυγόνο.

- Ομοίως, το ότι μια διεργασία είναι αναερόβια δεν αποκλείει την επιτάχυνσή της σε συνθήκες αφθονίας οξυγόνου, αν άλλοι παράγοντες μπορούν να την επιταχύνουν.
- Αρκεί να είναι δυνατή από ενεργειακή και κινητική άποψη.
- Τα περισσότερα δεδομένα δείχνουν ότι, παρότι η περιεκτικότητα ενός μυός σε οξυγόνο μειώνεται όσο αυξάνεται η ένταση της άσκησης, υπάρχει αρκετό οξυγόνο για να υποστηρίξει την αερόβια παραγωγή ενέργειας ακόμη και σε μέγιστη άσκηση.

- Φαίνεται πως ο πραγματικός λόγος της αυξημένης παραγωγής γαλακτικού είναι η ραγδαία κατανάλωση του NAD^+ στη γλυκόλυση και η αναγέννησή του κατά τη μετατροπή του πυροσταφυλικού σε γαλακτικό, γεγονός που επιτρέπει τη συνέχιση της παροχής ATP από τη διάσπαση των υδατανθράκων.

Το γαλακτικό μάλλον δεν είναι καματογόνα ουσία

Η αναερόβια διάσπαση των υδατανθράκων συνοδεύεται από παραγωγή οξύτητας.



Γλυκόζη

Γαλακτικό ανιόν

Η αερόβια διάσπαση των υδατανθράκων δεν συνοδεύεται από παραγωγή οξύτητας.



Το μυϊκό pH μπορεί να πέσει από 7-7,2 σε 6,3 κατά τη μέγιστη άσκηση.

Η συμπαγωγή γαλακτικού ανιόντος και H^+ δεν σημαίνει ότι το πρώτο είναι αιτία του δεύτερου.

Η παραγωγή H^+ και η πτώση του pH πρέπει να θεωρούνται αποτελέσματα ολόκληρης της διεργασίας της αναερόβιας διάσπασης των υδατανθράκων.

Η οξίνιση του μυός κατά την άσκηση, σε συνδυασμό με την παραγωγή P_i , θεωρείται αιτία καμάρου.

Αυτό και η ατυχής σύνδεση της παραγωγής γαλακτικού με την οξίνιση του μυός έχουν οδηγήσει στην άποψη ότι το γαλακτικό είναι καματογόνα ουσία.

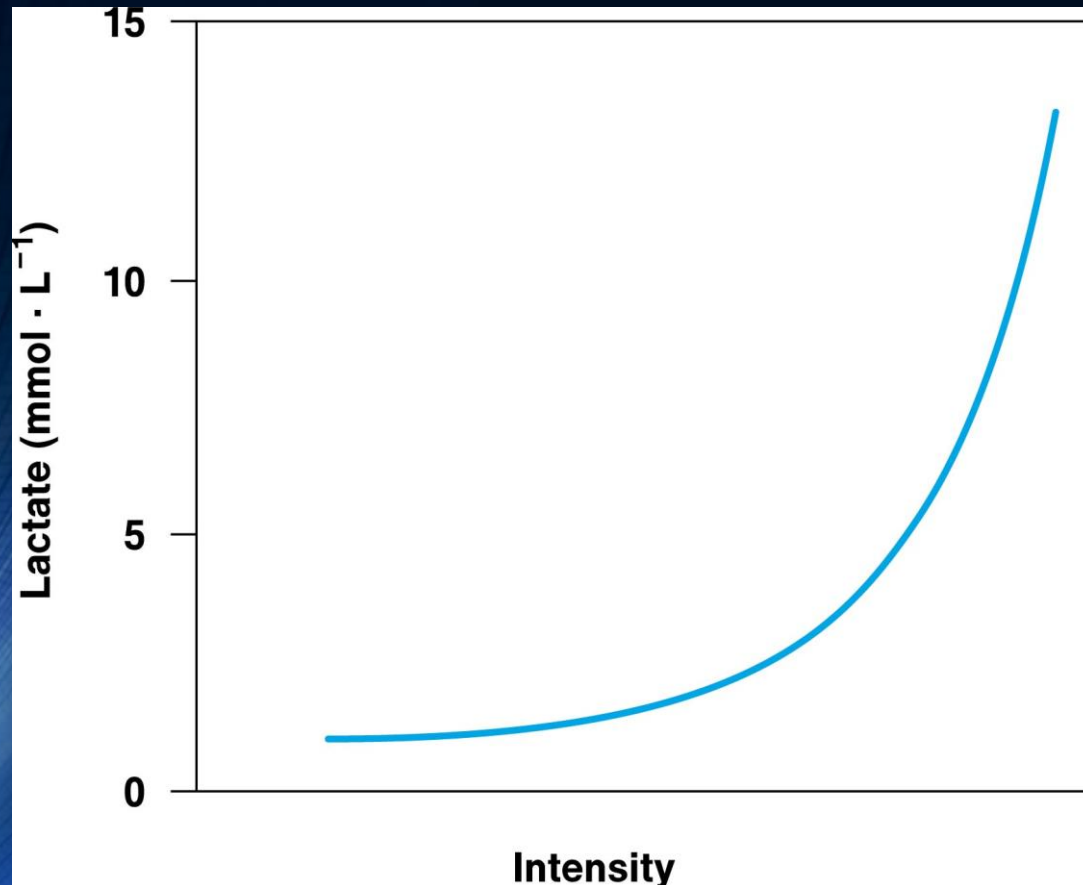
Οι ενδείξεις για κάτι τέτοιο είναι λιγότερες από τις ενδείξεις για το αντίθετο.

Ισχυρή ένδειξη ότι το γαλακτικό δεν είναι αιτία καμάρου

Η χορήγηση σόδας (όξινο ανθρακικό νάτριο, NaHCO_3) πριν από αγωνίσματα διάρκειας 45 s - 8 min:

- Αυξάνει το pH του αίματος (αλλά όχι του μυός) μετά την άσκηση
- Αυξάνει τη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα και στον μυ μετά την άσκηση
- Αυξάνει την απόδοση

Δεν υπάρχει αναερόβιο κατώφλι



Η αύξουσα και, ιδιαίτερα, η εκθετική μορφή της καμπύλης γαλακτικού αίματος – έντασης άσκησης έχει αποτελέσει τη βάση ορισμού κατωφλιών εδώ και δεκαετίες.

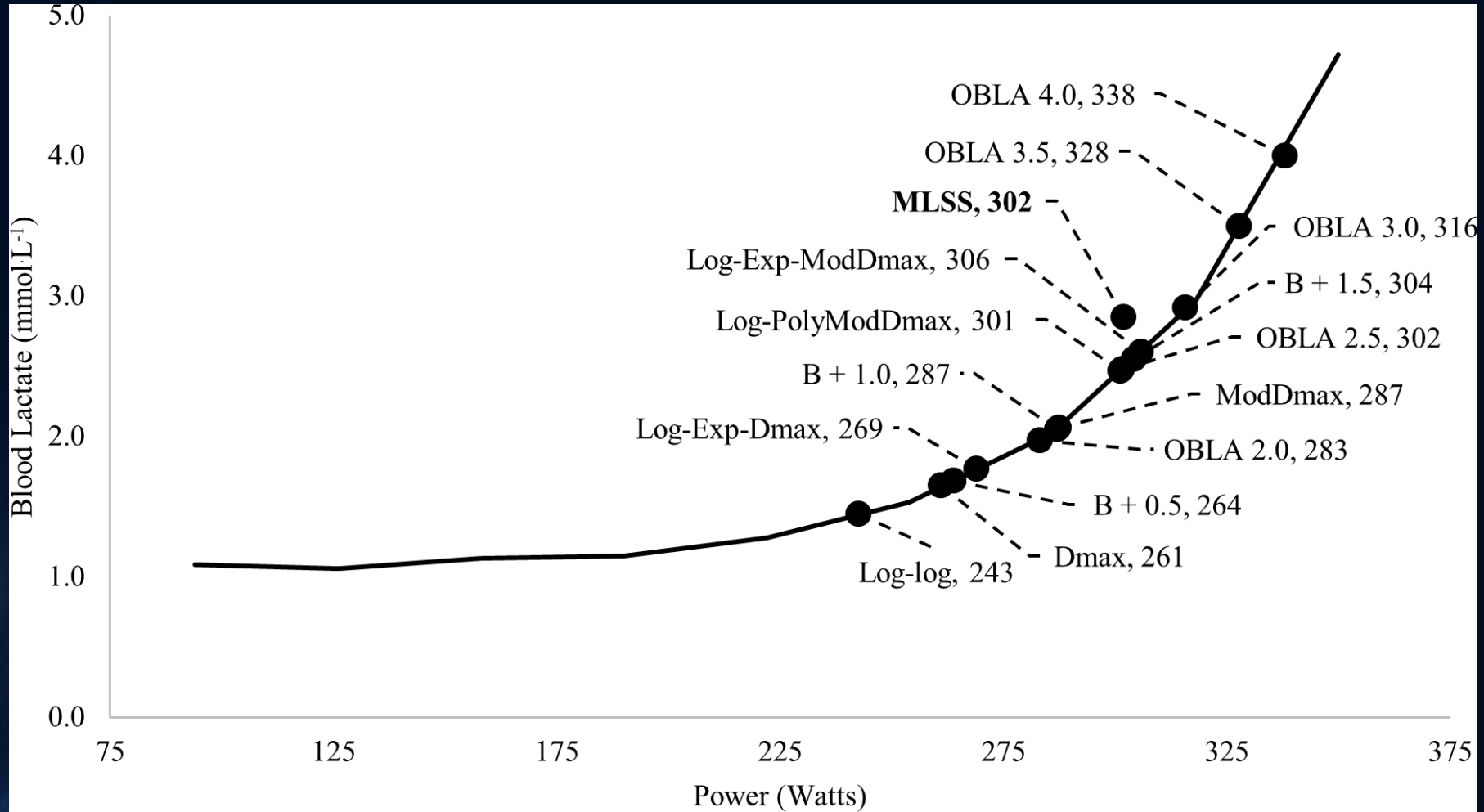
Lactate Threshold Concepts

How Valid are They?

Oliver Faude,^{1,2} Wilfried Kindermann² and Tim Meyer^{1,2}

A total of 25 different LT concepts were located. All concepts were divided into three categories. Several authors use fixed bLa during incremental exercise to assess endurance performance (category 1). Other LT concepts aim at detecting the first rise in bLa above baseline levels (category 2). The third category consists of threshold concepts that aim at detecting either the MLSS or a rapid/distinct change in the inclination of the blood lactate curve (category 3).

more, the contribution of aerobic and anaerobic pathways to energy production does not change suddenly but shows a continuous transition and, therefore, the term 'threshold' might be misleading.^[29]



Jamnack et al. *PLoS ONE* 13(7): e0199794, 2018

Τι είναι κατώφλι;

Το οριακό σημείο, εκεί όπου αρχίζει μια καινούργια φάση

Λεξικό Μπαμπινιώτη

Παράδειγμα εύστοχης
χρήσης του όρου

Παράδειγμα άστοχης
χρήσης του όρου

Το κατώφλι διέγερσης
(το σημείο μετάβασης ενός
νευρώνα από τη μη διεγερμένη
στη διεγερμένη κατάσταση)

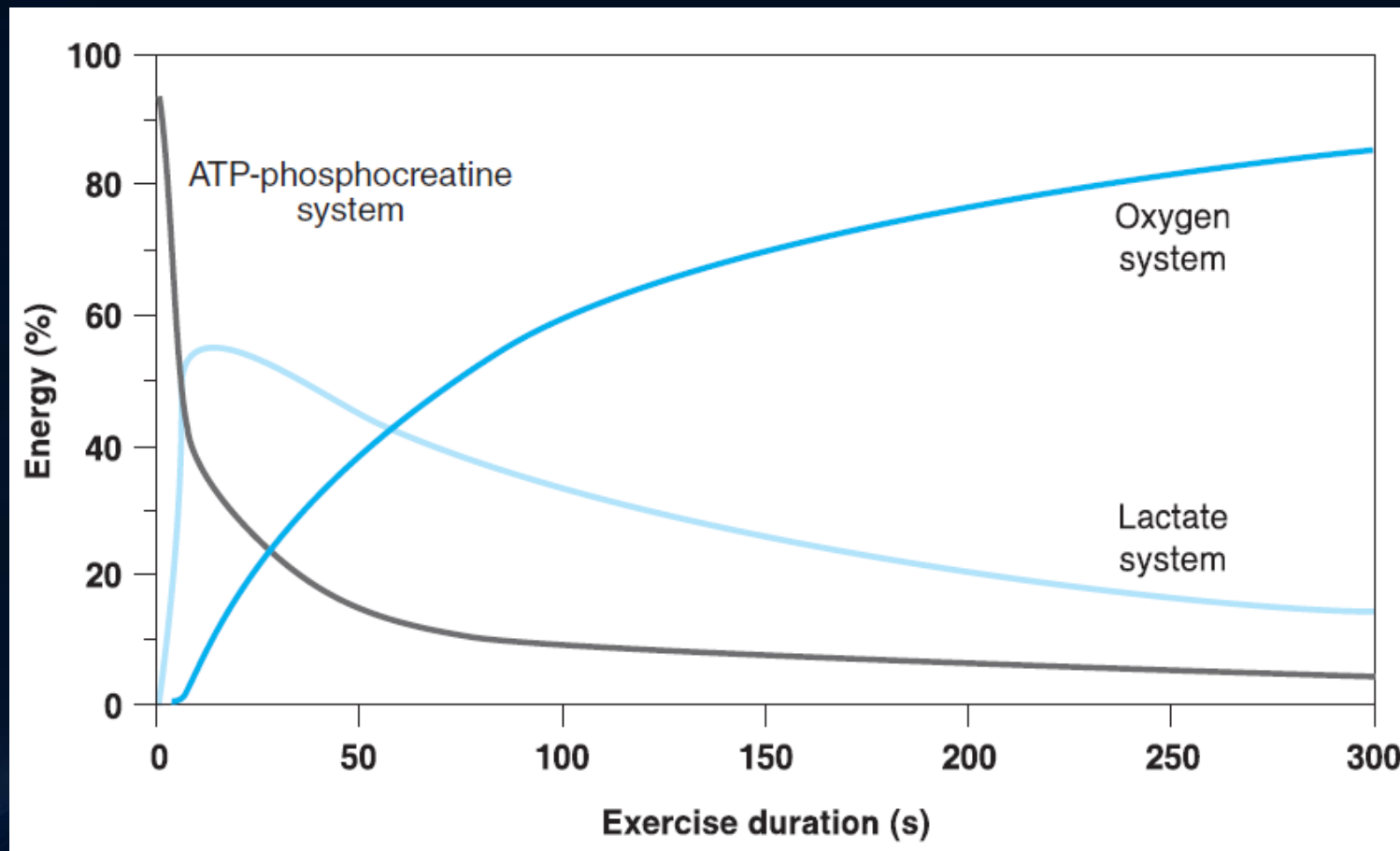
Το αναερόβιο κατώφλι

Το αναερόβιο κατώφλι

Το αναερόβιο κατώφλι γίνεται συχνά αντιληπτό ως η ένταση άσκησης κατά την οποία παρατηρείται μετάβαση από την αερόβια στην αναερόβια λειτουργία.

Τέτοιο πράγμα όμως δεν συμβαίνει, αφού η αερόβια και η αναερόβια λειτουργία πάντοτε συνυπάρχουν.

Συμμετοχή ενεργειακών συστημάτων σε μέγιστες ασκήσεις ανάλογα με τη διάρκεια



Mougios *Exercise Biochemistry* (Human Kinetics 2020)

Το αναερόβιο κατώφλι

Το αναερόβιο κατώφλι γίνεται εναλλακτικά αντιληπτό ως η ένταση άσκησης κατά την οποία παρατηρείται μετάβαση από την **κυρίως** αερόβια στην **κυρίως** αναερόβια λειτουργία.

Ούτε όμως αυτό ισχύει, αφού η αερόβια λειτουργία συνεχίζει να επικρατεί ακόμη και πολύ πάνω από το αναερόβιο κατώφλι (με όποιο τρόπο και αν έχει οριστεί).

Συμμετοχή ενεργειακών συστημάτων στα αγωνίσματα δρόμου ανδρών

Table 14.3 Energy Sources in Running Events

| Distance (m) | Time (s) ^a | Speed (m · s ⁻¹) | Contribution of energy systems (%) ^b | | |
|--------------|-----------------------|------------------------------|---|---------|--------|
| | | | ATP–phosphocreatine | Lactate | Oxygen |
| 100 | 9.58 | 10.44 | 39 | 56 | 5 |
| 200 | 19.19 | 10.42 | 30 | 55 | 15 |
| 400 | 43.03 | 9.30 | 17 | 48 | 35 |
| 800 | 100.91 | 7.93 | 9 | 33 | 58 |
| 1,500 | 206 | 7.28 | 4 | 20 | 76 |
| 5,000 | 757.35 | 6.60 | 1 | 6 | 93 |
| 10,000 | 1,577.53 | 6.34 | 1 | 3 | 96 |
| 42,195 | 7,377 | 5.72 | 0 | 1 | 99 |

^aMen's outdoor world record, or all-time record in the case of the marathon run (last line).

^bCalculated on the basis of figure 14.5.

Το αναερόβιο κατώφλι




...στερείται βιολογικής σημασίας και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως όρος.

Εντάσεις, ωστόσο, προσδιοριζόμενες με βάση την καμπύλη γαλακτικού-έντασης μπορούν να χρησιμοποιούνται ως προπονητικά ορόσημα.

J Physiol 0.0 (2020) pp 1–31

TOPICAL REVIEW

The anaerobic threshold: 50+ years of controversy

David C. Poole¹ , Harry B. Rossiter² , George A. Brooks³ and L. Bruce Gladden⁴ 

Conclusions of this section. Based on best evidence, the term ‘anaerobic threshold’ should be discarded for other than historical purposes. While cutting edge at the time of inception, the concept that the AT is the result of anoxia/dysoxia is not supported by contemporary evidence. Nevertheless, there remains

Οι παρανοήσεις από τη θεωρία στην πράξη

Λόγω των παρανοήσεων γύρω από το αναερόβιο κατώφλι, θεωρούμε ότι με τιμές γαλακτικού > 4 mmol/L λειτουργούμε (αποκλειστικά ή κυρίως) αναερόβια.

Στην πραγματικότητα, λειτουργούμε κυρίως αερόβια, τουλάχιστον μέχρι το γαλακτικό να λάβει διψήφια τιμές.

Λόγω της παρανόησης ότι το γαλακτικό είναι καματογόνα ουσία, αποδίδουμε σε αυτό την κούραση, το κάψιμο, τον πόνο και το πιάσιμο που μας προκαλεί η έντονη άσκηση.

Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχουν πειστικές ενδείξεις για εμπλοκή του γαλακτικού σε κανένα από αυτά τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα της έντονης άσκησης.

Λόγω της παρανόησης ότι το γαλακτικό είναι καματογόνα ουσία, η ικανότητα διατήρησης υψηλής ταχύτητας για παρατεταμένο χρόνο αποκαλείται ανοχή γαλακτικού.

Στην πραγματικότητα, αυτό που χρειάζεται να ανεχτούμε είναι η οξύτητα. Είναι προτιμότερο, επομένως, να μιλάμε για **ανοχή οξύτητας** ή **αντοχή στην ταχύτητα**.

Λόγω της παρανόησης ότι το γαλακτικό είναι καματογόνα ουσία, προσπαθούμε να περιορίσουμε την παραγωγή του στους μυς ή να επιταχύνουμε την απομάκρυνσή του από το αίμα.

Στην πραγματικότητα, νόημα έχουν οι προσπάθειες περιορισμού της οξύτητας.

Το γαλακτικό ως πολυεργαλείο στην προπονητική διαδικασία των δρόμων



Εκτίμηση της αναερόβιας γαλακτικής ικανότητας

Προγραμματισμός της προπόνησης

Εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας

Εκτίμηση της αναερόβιας γαλακτικής ικανότητας

Στους δρομείς ταχύτητας, είναι επιθυμητή η όσο το δυνατό υψηλότερη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα μετά το τέλος μιας μέγιστης προσπάθειας, αφού αυτό σημαίνει:

- Αυξημένη παραγωγή στους μυς ή
- Αυξημένη εξουδετέρωση της οξύτητας ή
- Αυξημένη ταχύτητα εξόδου γαλακτικού και H^+ στο αίμα.



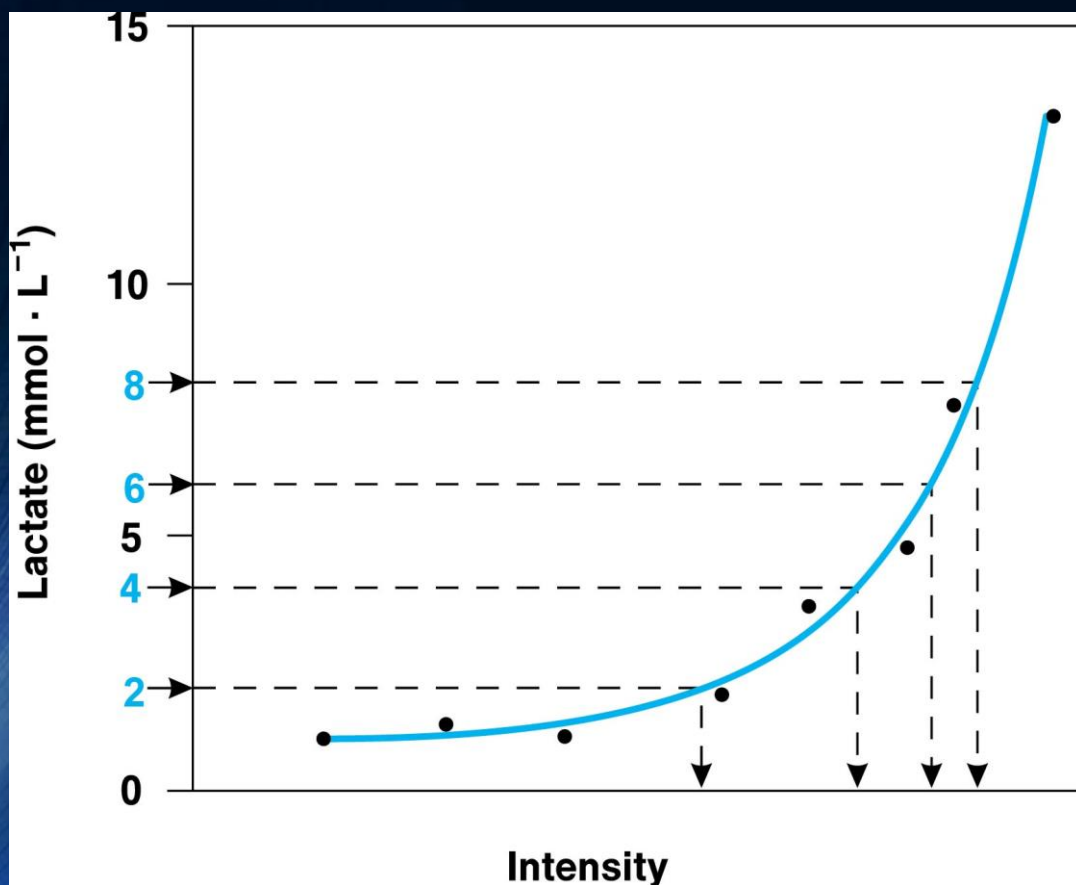
Και τα τρία είναι θετικά για την απόδοση.

Προγραμματισμός της προπόνησης (μέσω της καμπύλης γαλακτικού-έντασης)

Το γαλακτικό θεωρείται ακριβέστερος δείκτης της εσωτερικής επιβάρυνσης της άσκησης και της έντασης της προπόνησης από την καρδιακή συχνότητα.

Επειδή η μέτρησή του κοστίζει, συνιστάται καθημερινή χρήση της καρδιακής συχνότητας και περιοδική χρήση του γαλακτικού.

Προγραμματισμός της προπόνησης



Προτείνονται διαλειμματικές δοκιμασίες στο πεδίο, επειδή προσομοιάζουν καλύτερα τις συνθήκες προπόνησης.

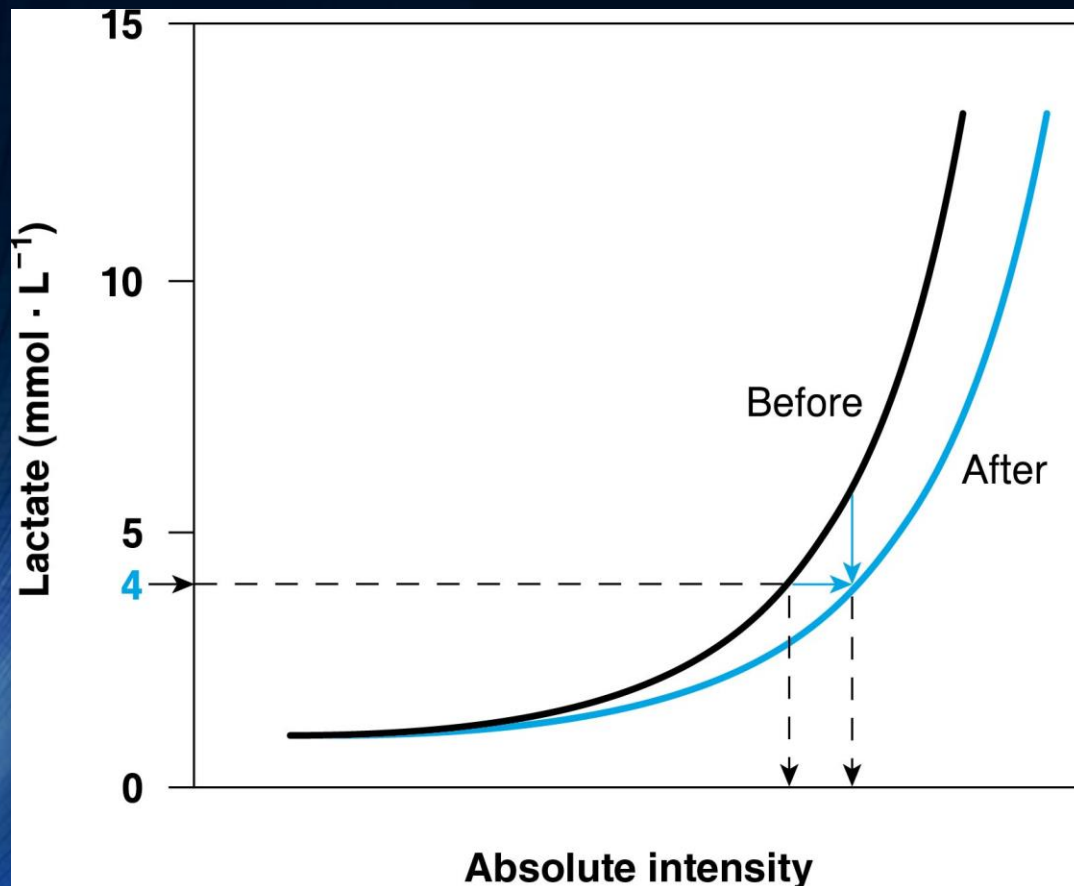
Εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας



Ισχυρή θετική συσχέτιση της απόδοσης σε δρόμους αντοχής με ταχύτητες αναφοράς που προσδιορίζονται στη βάση μιας καμπύλης γαλακτικού-έντασης

Ασθενέστερη συσχέτιση με τη VO_2max

Αερόβια προσαρμογή



Μετατόπιση προς τα δεξιά της καμπύλης γαλακτικού-έντασης

Η αξία της παρακολούθησης είναι διπλή

Επιτρέπει να διαπιστωθεί αν επιτυγχάνονται οι στόχοι του προπονητικού προγράμματος.

Επιτρέπει την αναπροσαρμογή των εντάσεων της προπόνησης.

Συμπεράσματα

Το τεράστιο εύρος τιμών που λαμβάνει το γαλακτικό κατά την άσκηση και η εξάρτησή τους από πληθώρα παραγόντων της άσκησης και των ασκούμενων το καθιστούν τον πιο ευαίσθητο βιοδείκτη του ασκησιακού μεταβολισμού.

Επειδή αυτό το εύρος τιμών απαντάται και στα δρομικά αγωνίσματα, το γαλακτικό καθίσταται πολύτιμο εργαλείο στην προπονητική διαδικασία των δρόμων.

Παρότι προϊόν του αναερόβιου μεταβολισμού, το γαλακτικό χρησιμεύει στην αξιολόγηση και του αερόβιου μεταβολισμού, γεγονός που αυξάνει την αξία του.

Απαιτείται όχι μόνο έγκυρη και αξιόπιστη μέτρηση του γαλακτικού, αλλά και γνώση του τι σημαίνουν οι μετρήσεις, ώστε να αποφεύγονται παρανοήσεις με επιπτώσεις στον ορθό σχεδιασμό της προπόνησης και στην επίτευξη των προπονητικών και αγωνιστικών στόχων.

Τα προηγούμενα εξασφαλίζονται από τη συνεργασία των προπονητών με ειδικούς επιστήμονες που κατανοούν τη λειτουργία του μεταβολισμού κατά την άσκηση.

Ο ΣΕΓΑΣ αξίζει να επενδύσει στην επιστημονική υποστήριξη της προπονητικής διαδικασίας των δρόμων μέσω της μέτρησης και αξιολόγησης του γαλακτικού στην προπόνηση και στους αγώνες.