



Μεταβολισμός και διατροφή στα αγωνίσματα του κλασικού αθλητισμού



Βασίλης Μούγιος, καθηγητής ΤΕΦΑΑ ΑΠΘ
επιστημονικός συνεργάτης ΣΕΓΑΣ
Ανατολή Πετρίδου, Ε.ΔΙ.Π. ΤΕΦΑΑ ΑΠΘ

Ιανουάριος 2018

ΑΞΟΝΕΣ ΣΕΜΙΝΑΡΙΟΥ

Ενεργειακά συστήματα στα αγωνίσματα του κλασικού αθλητισμού.

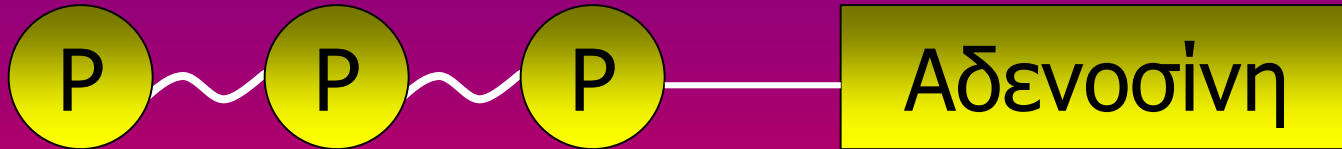
Βιοχημική αξιολόγηση της υγείας, της επάρκειας των ενεργειακών συστημάτων, της διατροφής, της προπονητικής επιβάρυνσης και της αποκατάστασης αθλητών κλασικού αθλητισμού.



Μεταβολισμός

Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν σε έναν ζωντανό οργανισμό ή σε μέρος του

- Τα $\frac{3}{4}$ της ενέργειας από τη διάσπαση των θρεπτικών συστατικών γίνονται θερμότητα.
- Το $\frac{1}{4}$ αποθηκεύεται στο ενεργειακό μας «νόμισμα».



Τριφωσφορική αδενοσίνη
(Adenosine triphosphate, ATP)

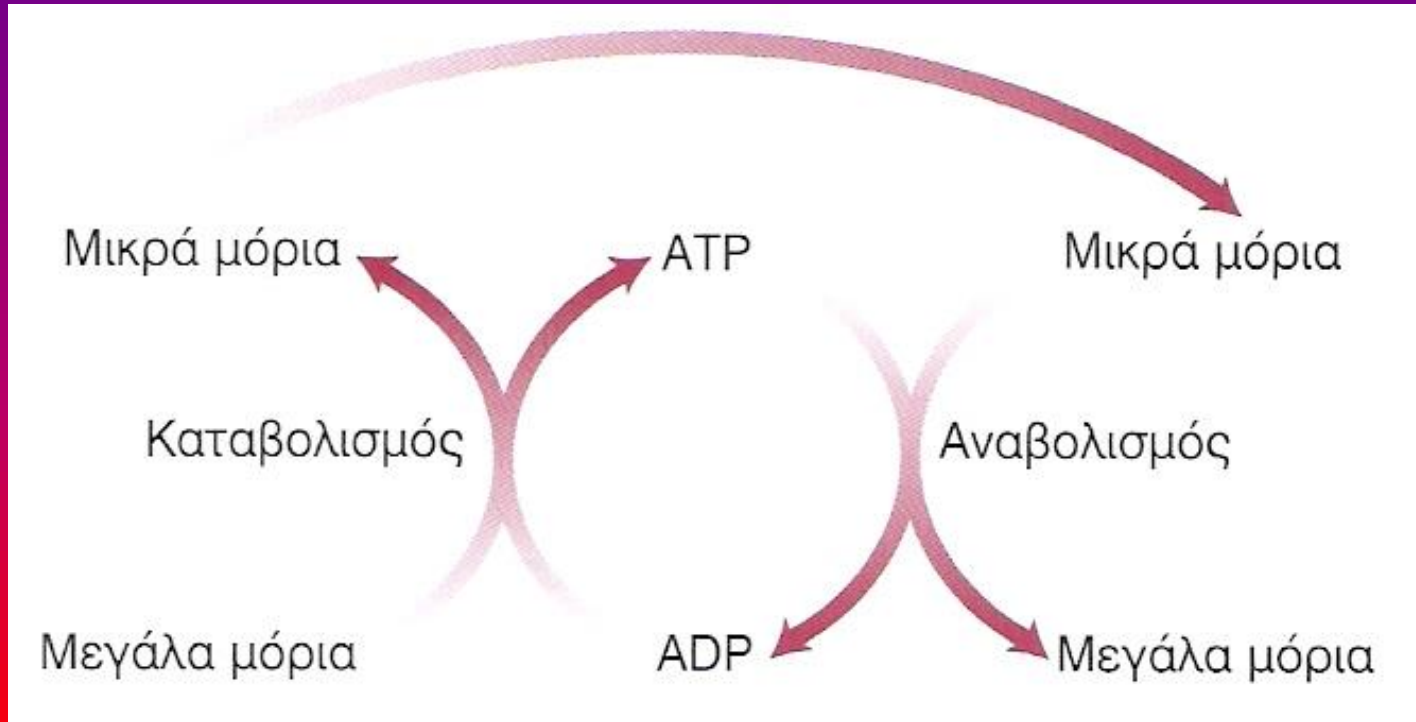
Η ΑΤΡ σε αριθμούς

- Η ποσότητα ΑΤΡ στο σώμα μας είναι ελάχιστη (0,1 kg) και αρκεί για 3 s μέγιστης άσκησης.
- Σ' έναν άνθρωπο με ενεργειακή δαπάνη 2.000 kcal την ημέρα, διασπώνται και ανασυντίθενται 45 kg ΑΤΡ.
- Σ' έναν αθλητή που δαπανά 3.500 kcal την ημέρα, ανακυκλώνονται 80 kg ΑΤΡ.
- Κατά την έντονη άσκηση, 1 kg ΑΤΡ το λεπτό.
- Μέγιστη πτώση της συγκέντρωσής της στον μυ, 50% έπειτα από 30 s μέγιστης άσκησης.

Φάσεις του μεταβολισμού

Καταβολισμός

Αναβολισμός

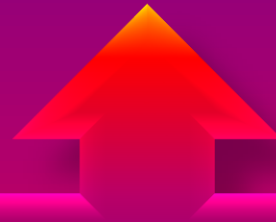


Τι νόημα έχουν οι εκφράσεις;

- Έχει καλό μεταβολισμό
- Βελτίωση του μεταβολισμού
- Αύξηση του μεταβολισμού
- Ξυπνήστε τον μεταβολισμό σας

Τι νόημα έχουν οι εκφράσεις;

- Έχει καλό μεταβολισμό
- Βελτίωση του μεταβολισμού
- Αύξηση του μεταβολισμού
- Ξυπνήστε τον μεταβολισμό σας



Ανακριβείς διατυπώσεις που είτε άλλο εννοούν είτε δείχνουν ελλιπή κατανόηση του τι είναι και πώς λειτουργεί ο μεταβολισμός

Ασκησιακός μεταβολισμός



Αρχές του ασκησιακού μεταβολισμού

Ο ασκησιακός μεταβολισμός υποτάσσεται στην ανάγκη παροχής ενέργειας για τη μυϊκή δραστηριότητα.

Η άσκηση τροφοδοτείται σχεδόν πάντοτε από ένα συνδυασμό ενεργειακών πηγών (και όχι από μία μόνο πηγή), με κυριότερες τους υδατάνθρακες και τα λιπίδια.

Η άσκηση αλλάζει τον μεταβολισμό όχι μόνο των ενεργών μυών, αλλά και άλλων οργάνων και ιστών.

Οι αλλαγές στον ασκησιακό μεταβολισμό εξαρτώνται από τις παραμέτρους της άσκησης, περιβαλλοντικούς παράγοντες και χαρακτηριστικά των ασκούμενων.

Αρχές του ασκησιακού μεταβολισμού

Ο μεταβολισμός δεν επιστρέφει στα χαρακτηριστικά της ηρεμίας αμέσως μετά το τέλος της άσκησης.

Η τακτική επανάληψη της άσκησης (προπόνηση) μπορεί να κάνει τον μεταβολισμό ενός αθλούμενου ατόμου διαφορετικό από εκείνον ενός μη αθλούμενου.

Πολλές από τις μεταβολικές αλλαγές που προκαλεί η άσκηση αυξάνουν την απόδοση και βελτιώνουν ή/και προστατεύουν την υγεία.



Ενώσεις με υψηλό
δυναμικό μεταφοράς
της φωσφορικής
ομάδας (ATP, ADP, PCr)

Υδατάνθρακες

Κατηγορίες
ενεργειακών πηγών
κατά την άσκηση

Λιπίδια

Πρωτεΐνες

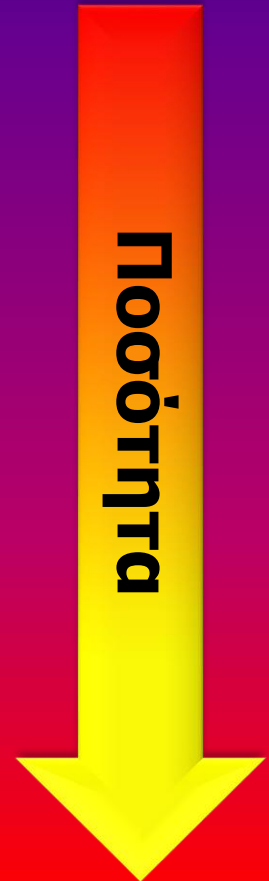
Ενεργειακά συστήματα

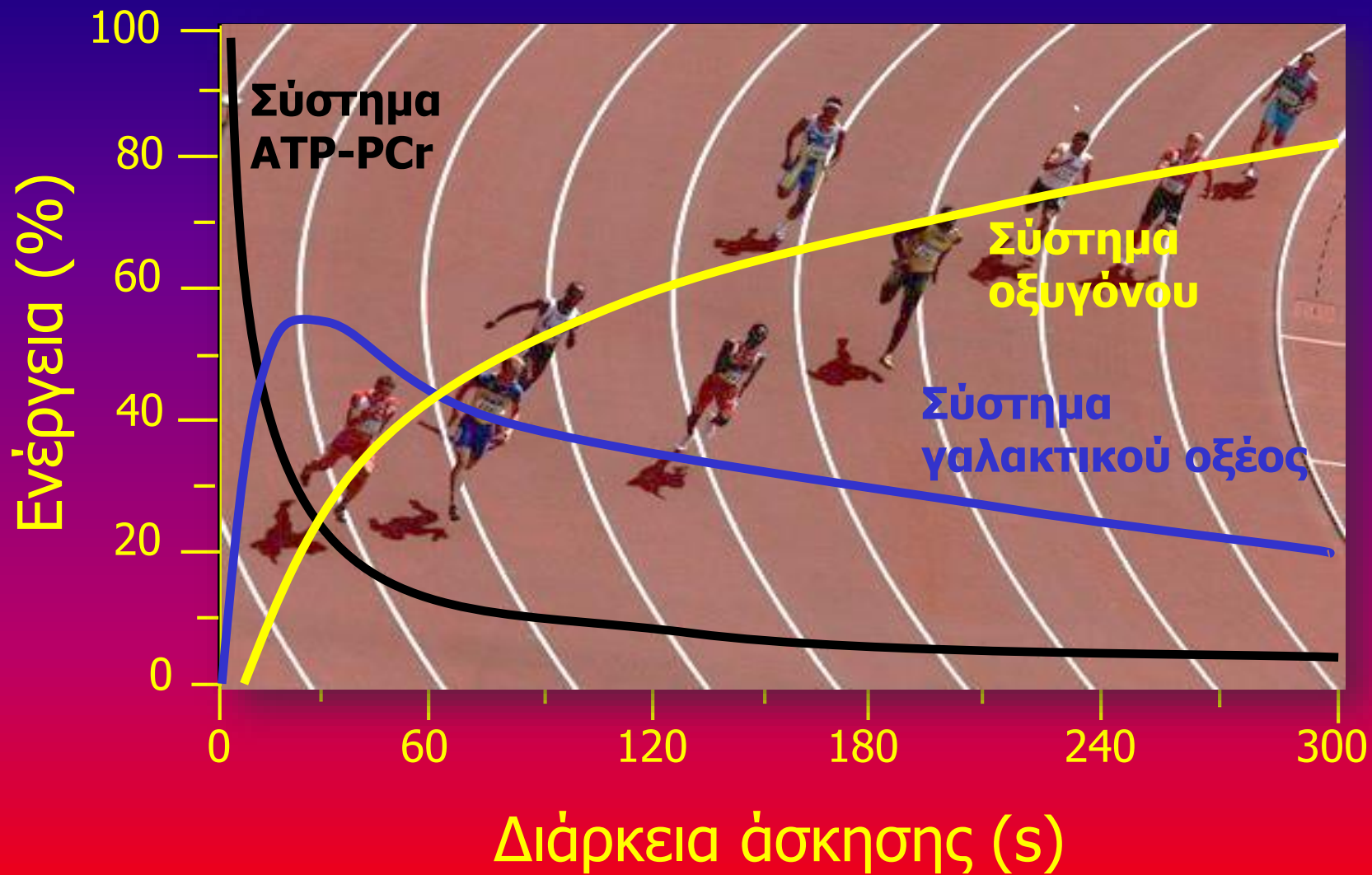


Σύστημα ΑΤΡ-φωσφοκρεατίνης
(ΑΤΡ, ΑΔΡ, ΡCα)

Σύστημα γαλακτικού οξέος
(αναερόβια διάσπαση
υδατανθράκων)

Σύστημα οξυγόνου
(αερόβια διάσπαση υδατανθράκων,
λιπιδίων, πρωτεϊνών)



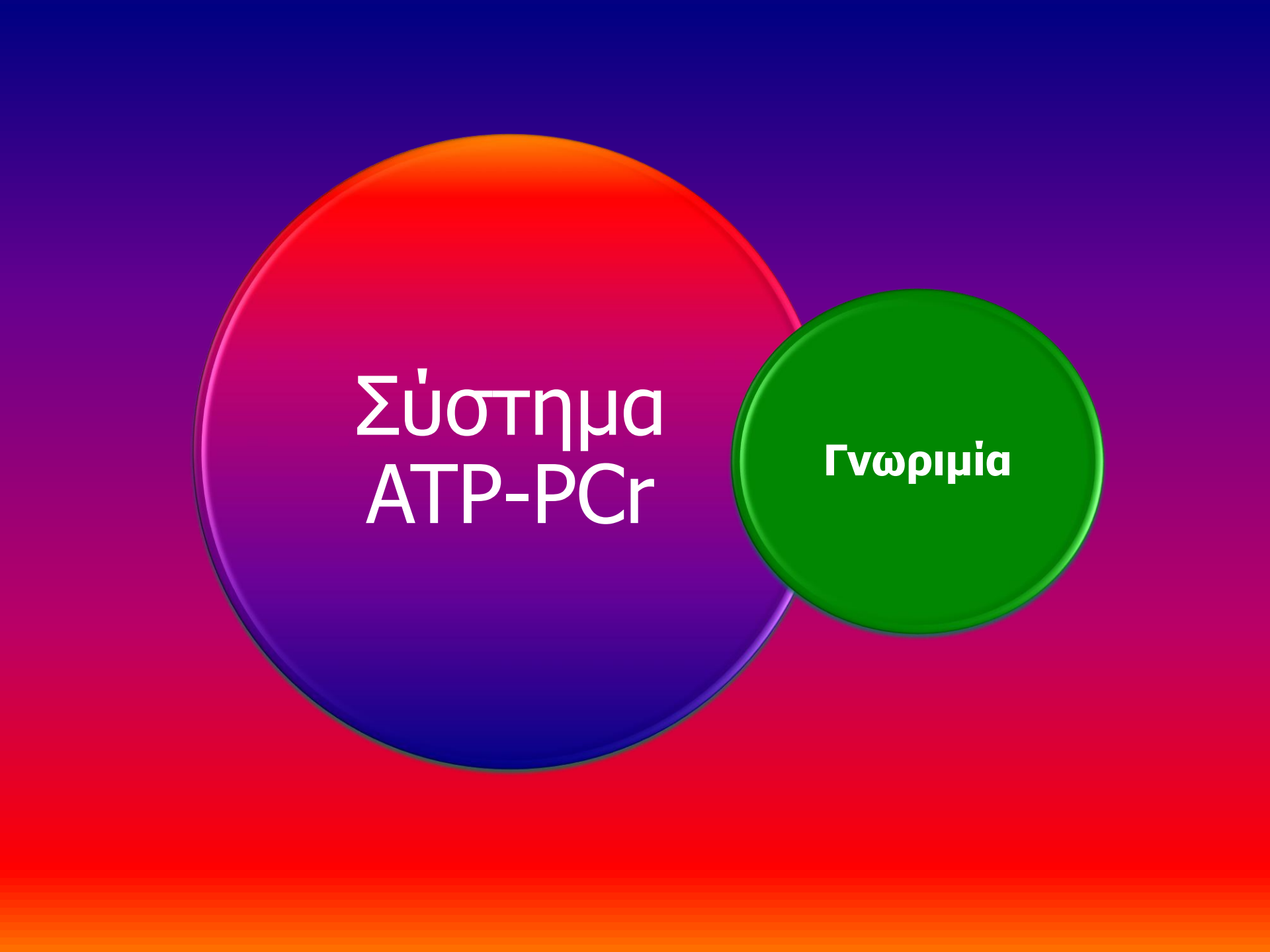


Γνωριμία

**Ενεργειακό
σύστημα**

Αξιολόγηση

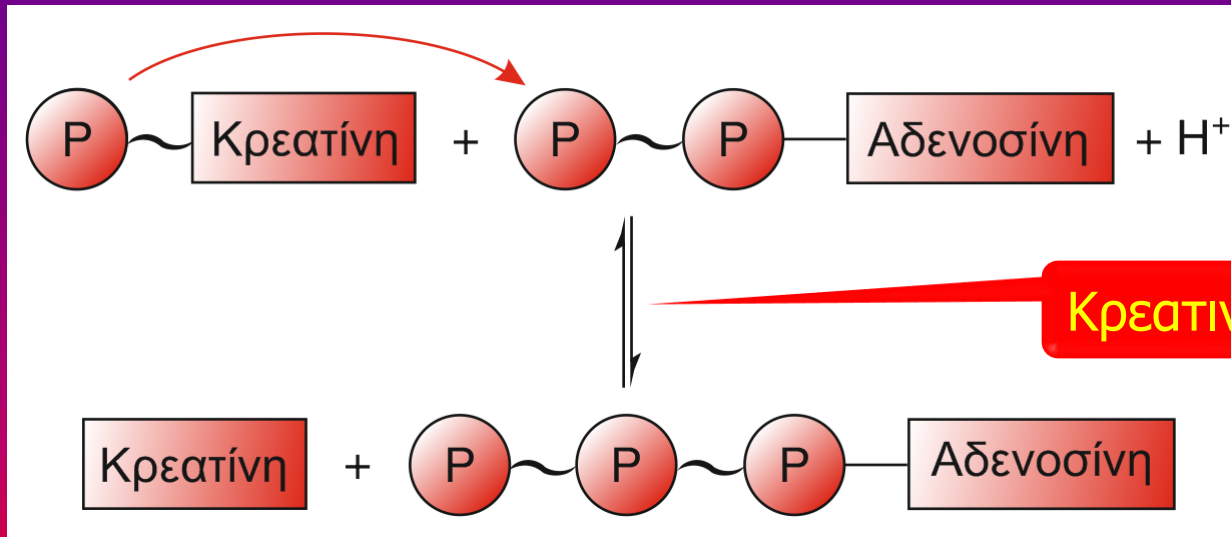
Εμπειρία



Σύστημα
ATP-PCr

Γνωριμία

Φωσφοκρεατίνη (PCr)



Κρεατινική κινάση (CK)

Αυξάνεται με την προπόνηση ταχύτητας

Θέση της φωσφοκρεατίνης στην άσκηση

Η φωσφοκρεατίνη είναι η κύρια πηγή ανασύνθεσης ATP σε μέγιστες προσπάθειες διάρκειας λίγων δευτερολέπτων (μέχρι περίπου 7 s).

- Άλματα
- Ρίψεις
- Δρόμος 60 m

Αναπλήρωση φωσφοκρεατίνης μετά την άσκηση



- Η ATP προέρχεται από την αερόβια διάσπαση υδατανθράκων και λιπιδίων κατά την αποκατάσταση.
- Ο χρόνος αναπλήρωσης της φωσφοκρεατίνης εξαρτάται από την ποσότητα που έχει διασπαστεί, την αιματική ροή προς τους μύες που ασκήθηκαν και τη VO_2max .

Αναπλήρωση φωσφοκρεατίνης μετά την άσκηση

- Αν το μεγαλύτερο μέρος της έχει εξαντληθεί, ο χρόνος ανασύνθεσης είναι 3-10 min.
- Η αναπλήρωση και η δράση της φωσφοκρεατίνης στη μέγιστη άσκηση επηρεάζονται από την πρόσληψη συμπληρώματος κρεατίνης.



Σύστημα
ATP-PCr

Αξιολόγηση

Αξιολόγηση

Κρεατινίνη

Κρεατίνη \longrightarrow Κρεατινίνη + H_2O

Φωσφοκρεατίνη \longrightarrow Κρεατινίνη + φωσφορικό οξύ

Κρεατινίνη

Μεταφέρεται με το αίμα από τους ιστούς στους νεφρούς και από εκεί αποβάλλεται στα ούρα.

Διαστήματα αναφοράς: Άντρες: 0,9-1,3 mg/dL

Γυναίκες: 0,6-1,1 mg/dL

Κρεατινίνη

Αυξάνεται σε νεφρική βλάβη.

Οι αθλητές μπορεί να έχουν αυξημένη συγκέντρωση κρεατινίνης στο αίμα λόγω:

- μεγαλύτερης μυϊκής μάζας
- αυξημένης καταστροφής μυϊκών ινών
- αυξημένης πρόσληψης κρέατος
- πρόσληψης συμπληρωμάτων κρεατίνης

Κρεατινική κινάση (CK)

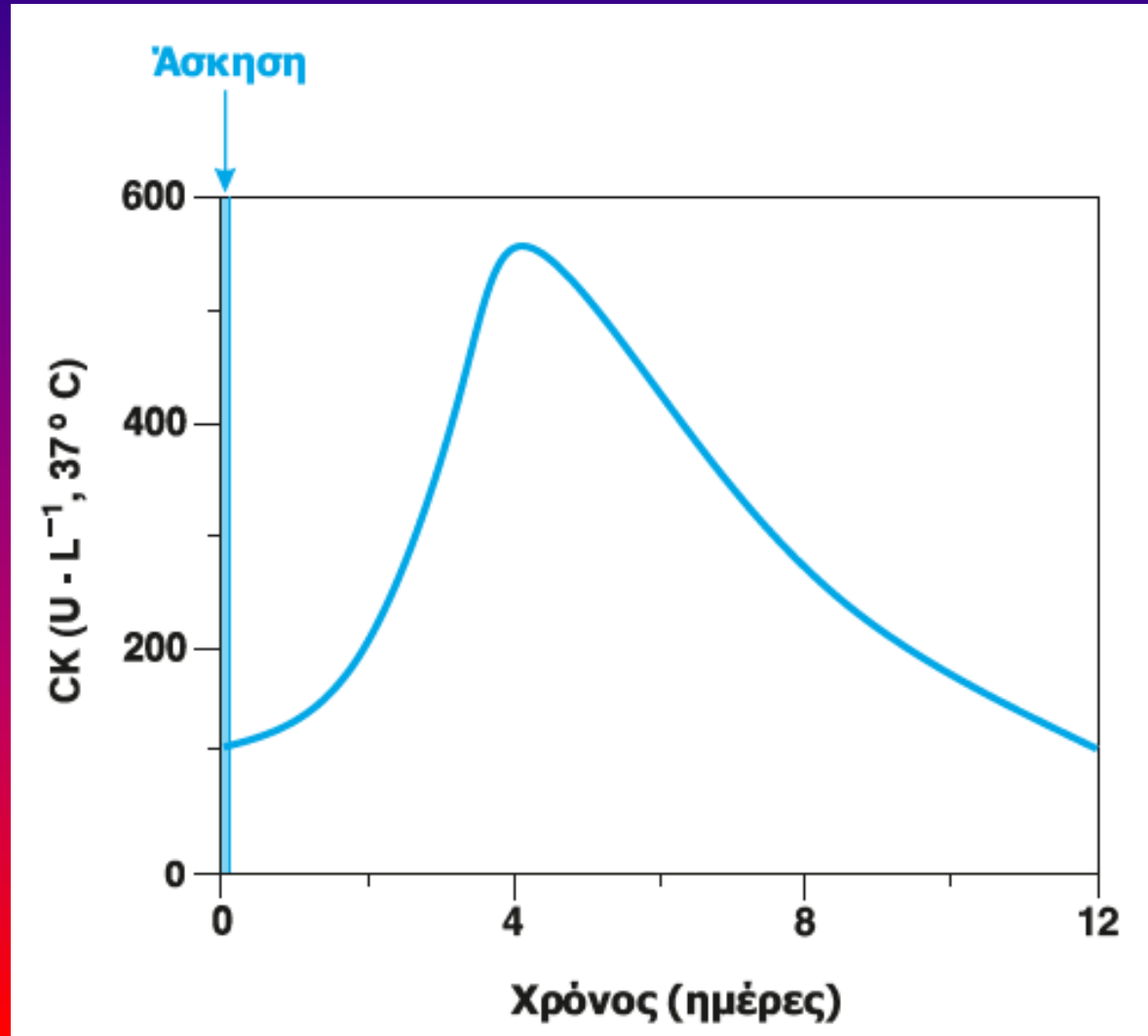
- Η συγκέντρωσή της στον ορό ανεβαίνει με καταστροφή του ιστού που την περιέχει.
- Η συγκέντρωσή της στον ορό αυξάνεται μετά την άσκηση (ιδιαίτερα την έκκεντρη), αποτέλεσμα της αυξημένης καταστροφής μυϊκών ινών λόγω της μηχανικής τους καταπόνησης.

Κρεατινική κινάση

Η συγκέντρωσή της στον ορό είναι:

- Μάλλον ο καλύτερος δείκτης καταστροφής μυϊκών ινών, δείκτης μυϊκής καταπόνησης
- Άσχετη με την ισχύ του συστήματος ATP-φωσφοκρεατίνης

Αξιολόγηση



Αξιολόγηση

Διαστήματα αναφοράς στον ορό (για αγύμναστους):

Άντρες: 38-174 U/L, 37 °C

Γυναίκες: 26-140 U/L, 37 °C

Αξιολόγηση

Κρεατινική κινάση

Αθλητές

Υψηλότερες τιμές
λόγω συχνής
καταπόνησης του
μυϊκού ιστού

**Μη
αθλούμενοι**

Μεγαλύτερη
αύξηση σε
δεδομένη
επιβάρυνση

Αξιολόγηση


Η παρακολούθηση της CK
μετά το τέλος μιας
άσκησης πληροφορεί:

για το πόσο
επιβαρύνθηκε το
μυϊκό σύστημα

για το πόσο
προσαρμοσμένο
είναι σε τέτοιες
επιβαρύνσεις

Το φαινόμενο της επανειλημμένης επιβάρυνσης

Επανάληψη μιας επιβάρυνσης (ιδίως έκκεντρης)
προκαλεί μικρότερη μυϊκή καταστροφή από
εκείνην που προκάλεσε η προηγούμενη.



Σύστημα
ATP-PCr



Εμπειρία

Εμπειρία

Μέσες τιμές αθλητών και μη αθλητών

Παράμετρος	Αθλητές	Μη αθλητές	Αθλήτριες	Μη αθλήτριες
CK (U/L, 37 °C)	413	160	234	100

Nikolaidis et al. *Int J Sports Med* 24: 506, 2003

Εμπειρία

Μέσες τιμές αθλητών και μη αθλητών

Παράμετρος	Αθλητές	Μη αθλητές	Αθλήτριες	Μη αθλήτριες
CK (U/L, 37 °C)	413	160	234	100

Nikolaidis et al. *Int J Sports Med* 24: 506, 2003

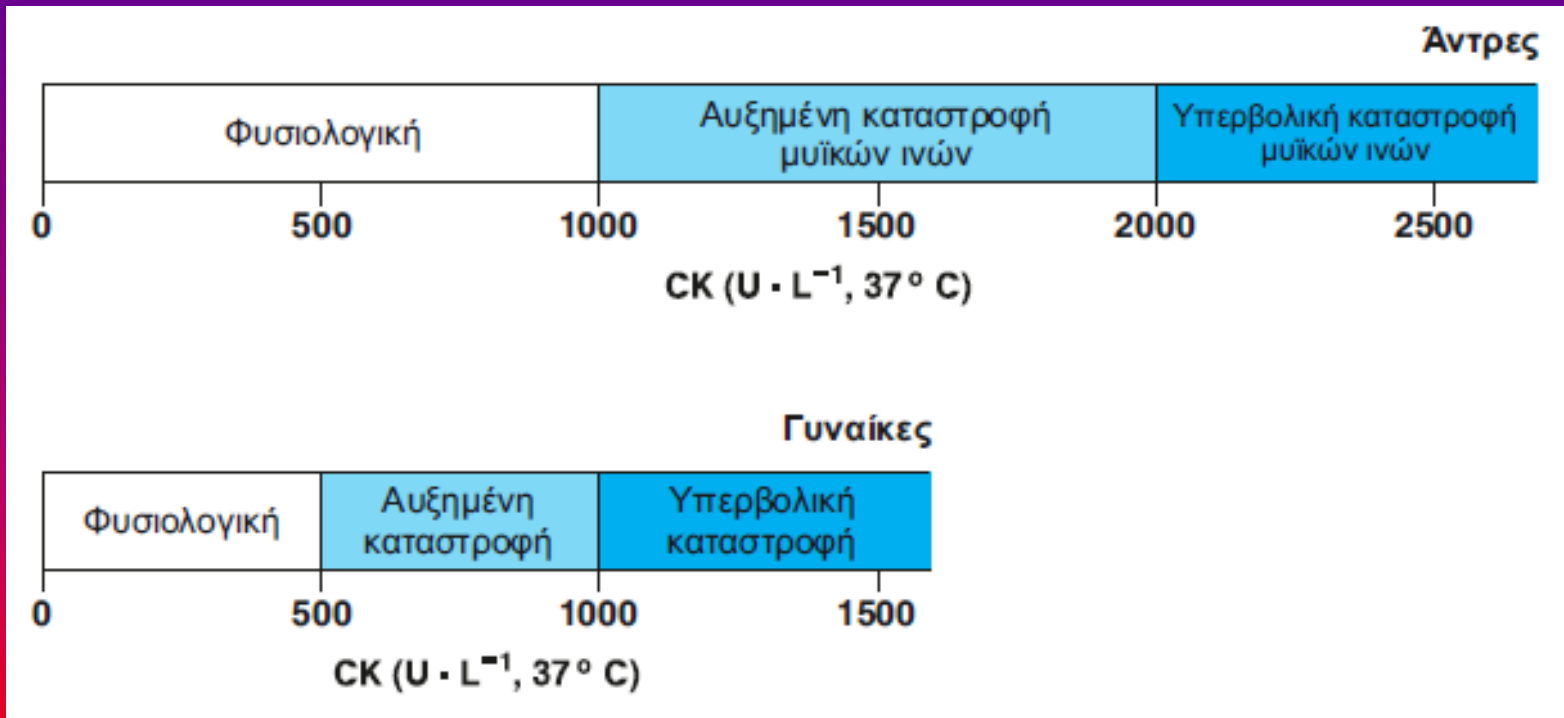
Διάστημα αναφοράς:
82-1083 U/L, 37 °C

Διάστημα αναφοράς:
45-513 U/L, 37 °C

Mougios *Brit J Sports Med* 41: 674 , 2007

Εμπειρία

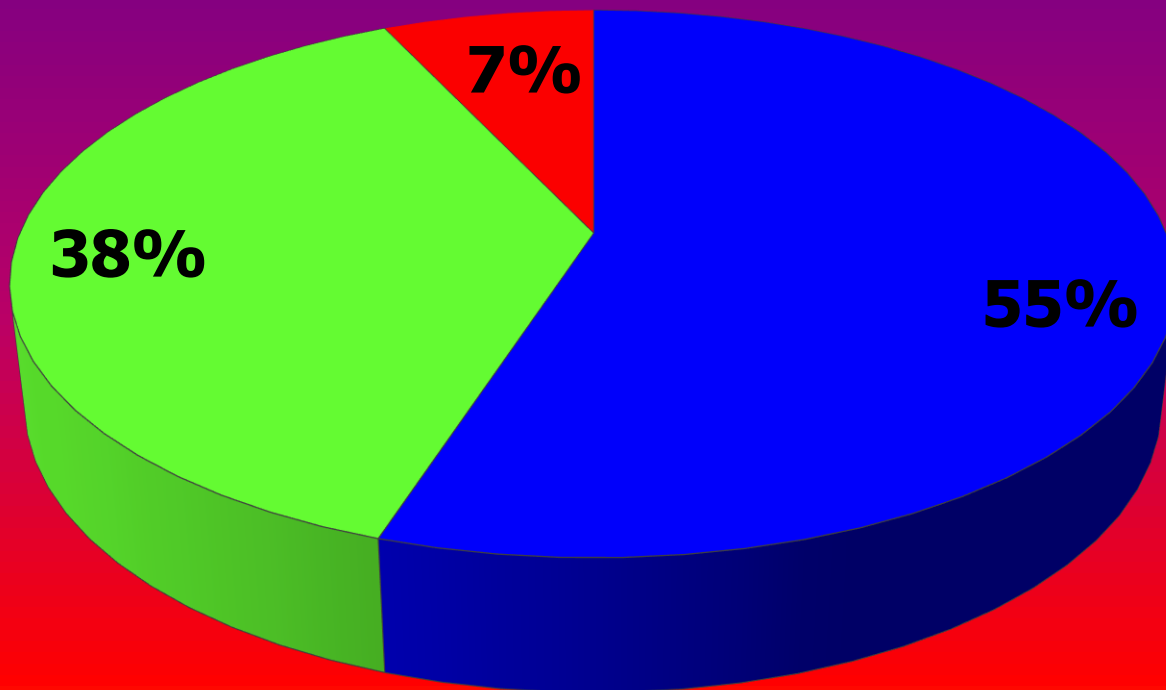
Προτεινόμενο πλαίσιο αξιολόγησης της CK



Εμπειρία

CK αθλητών κλασικού αθλητισμού

- Εντός ορίων αναφοράς για αθλητές/-τριες
- Εντός ορίων αναφοράς για γενικό πληθυσμό
- Μυϊκή καταπόνηση



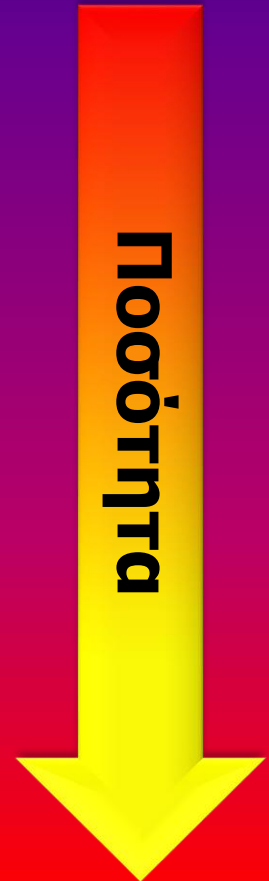
Ενεργειακά συστήματα



Σύστημα ATP-φωσφοκρεατίνης
(ATP, ADP, PCr)

Σύστημα γαλακτικού οξέος
(αναερόβια διάσπαση
υδατανθράκων)

Σύστημα οξυγόνου
(αερόβια διάσπαση υδατανθράκων,
λιπιδίων, πρωτεϊνών)



Γνωριμία

**Ενεργειακό
σύστημα**

Αξιολόγηση

Εμπειρία

Σύστημα
γαλακτικού
οξέος

Γνωριμία

Σύστημα
οξυγόνου

Γλυκογόνο ή γλυκόζη

Γλυκόλυση

NAD^+

$NADH$

Πυροσταφυλικό οξύ

$NADH$

NAD^+

CO_2

Γαλακτικό οξύ

Αερόβια διάσπαση

Αναερόβια διάσπαση

Αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων

H_2O

O_2

NAD^+

$NADH$

Παραγωγή γαλακτικού οξέος κατά την άσκηση

- Σε ήρεμο μυ: περίπου 1 mmol/kg
- Σε ασκούμενο μυ: μέχρι 30 mmol/kg
- Η εντυπωσιακότερη μεταβολή συγκέντρωσης μεταβολίτη κατά την άσκηση
- Η συχνότερα μετρούμενη βιοχημική παράμετρος στην αθλητική επιστήμη
- Η περισσότερο παρανοημένη βιοχημική παράμετρος στην αθλητική επιστήμη

Ζητήματα ορολογίας

- Δεν υπάρχει αερόβια γλυκόλυση.
- Η γλυκόλυση είναι μία (γλυκόζη → πυροσταφυλικό οξύ) και είναι αναερόβια.
- Επομένως, το «αναερόβια γλυκόλυση» είναι πλεονασμός.
- Αντίθετα, υπάρχει αερόβια διάσπαση των υδατανθράκων, με κατάληξη το CO_2 , και ανερόβια διάσπαση των υδατανθράκων, με κατάληξη το γαλακτικό οξύ.

Το γαλακτικό οξύ δεν είναι καματογόνο ουσία

- Η παραγωγή γαλακτικού οξέος συνοδεύεται από παραγωγή οξύτητας.



Γαλακτικό ιόν

- Η αερόβια διάσπαση των υδατανθράκων δεν συνοδεύεται από παραγωγή οξύτητας.



- Το μυϊκό pH μπορεί να πέσει από 7-7,2 σε 6,3.
- Η συμπαγωγή γαλακτικού ιόντος 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 θεωρείται αιτία καμάτου.
- Αυτό και η ατυχής σύνδεση της παραγωγής γαλακτικού οξέος με την οξίνιση του μυός έχουν οδηγήσει στην παρανόηση ότι το γαλακτικό οξύ είναι καματογόνο ουσία.
- Δεν υπάρχουν ενδείξεις για κάτι τέτοιο, ούτε για σχέση του γαλακτικού οξέος με μυϊκό «κάψιμο», πόνο ή «πιάσιμο».

Οι παρανοήσεις από τη θεωρία στην πράξη

- Η ικανότητα διατήρησης υψηλής ταχύτητας για πολλή ώρα αποκαλείται λανθασμένα ανοχή γαλακτικού.
- Ανοχή οξύτητας.
- Αντοχή στην ταχύτητα.
- Δεν έχουν νόημα προσπάθειες περιορισμού ή απομάκρυνσης του γαλακτικού οξέος.
- Νόημα έχει η προσπάθεια περιορισμού της οξύτητας.

Η παραγωγή γαλακτικού οξέος δεν οφείλεται σε έλλειψη οξυγόνου

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

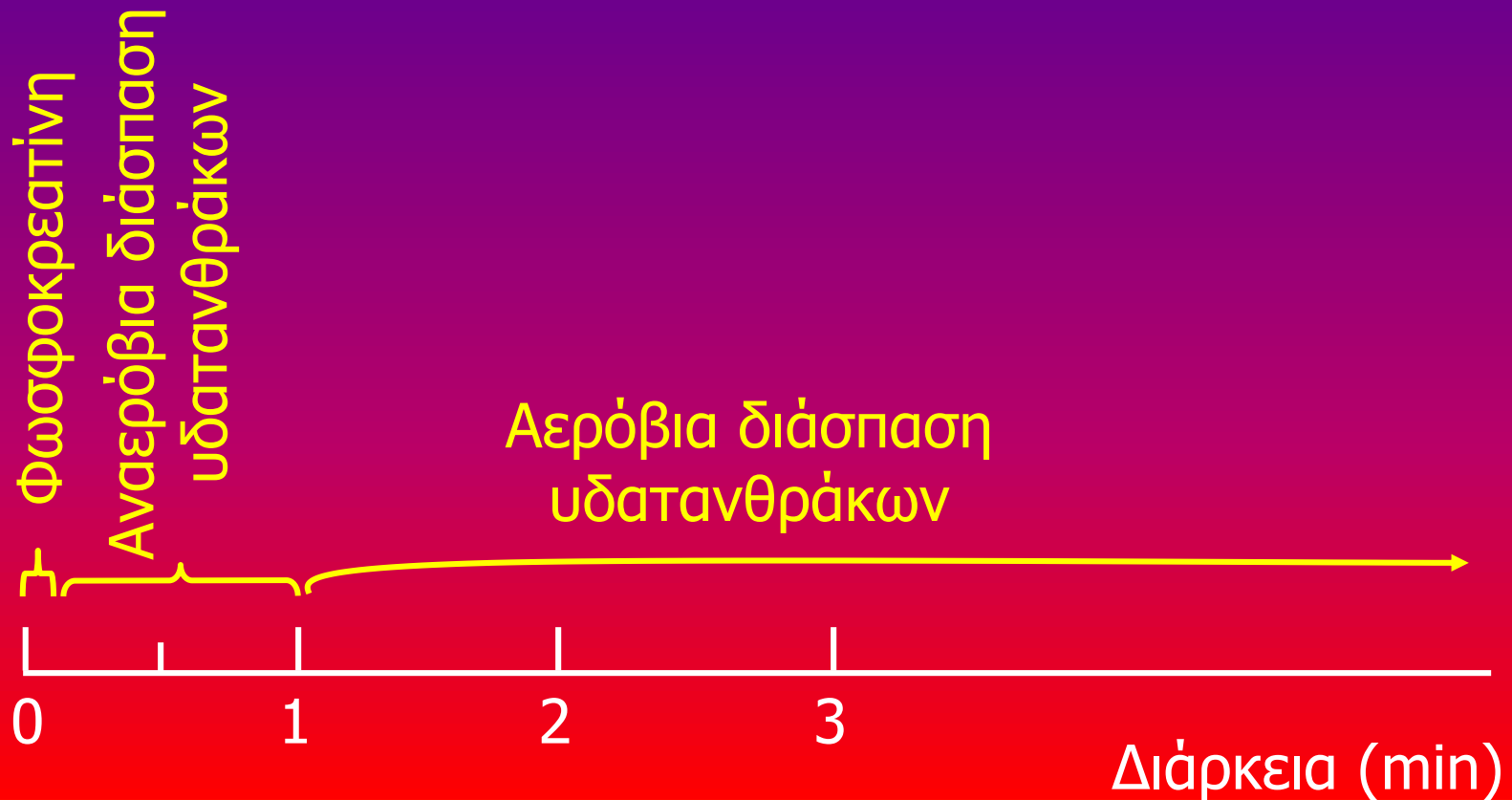
- Ομοίως, το ότι μια διεργασία είναι αναερόβια δεν αποκλείει την επιτάχυνσή της σε συνθήκες αφθονίας οξυγόνου, αν άλλοι παράγοντες μπορούν να την επιταχύνουν.
- Αρκεί να είναι δυνατή από ενεργειακή και κινητική άποψη.
- Τα περισσότερα δεδομένα δείχνουν ότι, παρότι η περιεκτικότητα ενός μυός σε οξυγόνο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

- Φαίνεται ότι ο πραγματικός λόγος της αυξημένης παραγωγής γαλακτικού οξέος στις ενεργές μυϊκές ίνες είναι η υπερπαραγωγή NADH και πυροσταφυλικού οξέος.
- Η γρήγορη αναγέννηση NAD⁺ κατά τη μετατροπή του πυροσταφυλικού σε γαλακτικό οξύ διασφαλίζει τη συνέχιση της γλυκόλυσης και της παροχής ATP με μεγάλη ταχύτητα, παρότι στην αντίδραση αυτή καθαυτή δεν παράγεται ATP.

Διάκριση των δυο διασπάσεων

- Η αναερόβια διάσπαση των υδατανθράκων υπερτερεί σε ταχύτητα ανασύνθεσης ATP, αλλά υστερεί σε ποσότητα. Έτσι επικρατεί σε μέγιστες ασκήσεις διάρκειας από περίπου 7 s μέχρι περίπου 1 min.
- Η αερόβια διάσπαση των υδατανθράκων υπερτερεί σε ποσότητα ATP που ανασυνθέτει, αλλά υστερεί σε ταχύτητα. Έτσι επικρατεί σε μέγιστες ασκήσεις που διαρκούν περισσότερο από 1 min και σε έντονες ή μέτριας έντασης ασκήσεις ανεξαρτήτως διάρκειας.

Κύρια πηγή ΑΤΡ σε μέγιστες αγωνιστικές προσπάθειες



Ενεργειακές πηγές σε αγωνίσματα δρόμων

Απόσταση (m)	Χρόνος (s)	Ταχύτητα (m · s ⁻¹)	Συνεισφορά ενεργειακών συστημάτων (%)		
			ΑΤΡ-ΡCτ	Γαλακτικού	Οξυγόνου
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

Σύστημα
γαλακτικού
οξέος

Αξιολόγηση

Εμπειρία

Σύστημα
οξυγόνου

Παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα κατά την άσκηση

- Ένταση της άσκησης
- Διάρκεια της άσκησης
- Πρόγραμμα της άσκησης
- Φύλο
- Ηλικία
- Διατροφική κατάσταση
- Προπονητική κατάσταση
- Γονιδίωμα
- Υποξία

Χρησιμότητα της μέτρησης του γαλακτικού οξέος

- Εκτίμηση της αναερόβιας γαλακτικής ικανότητας
- Προγραμματισμός της προπόνησης
- Εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας

Εκτίμηση της αναερόβιας γαλακτικής ικανότητας

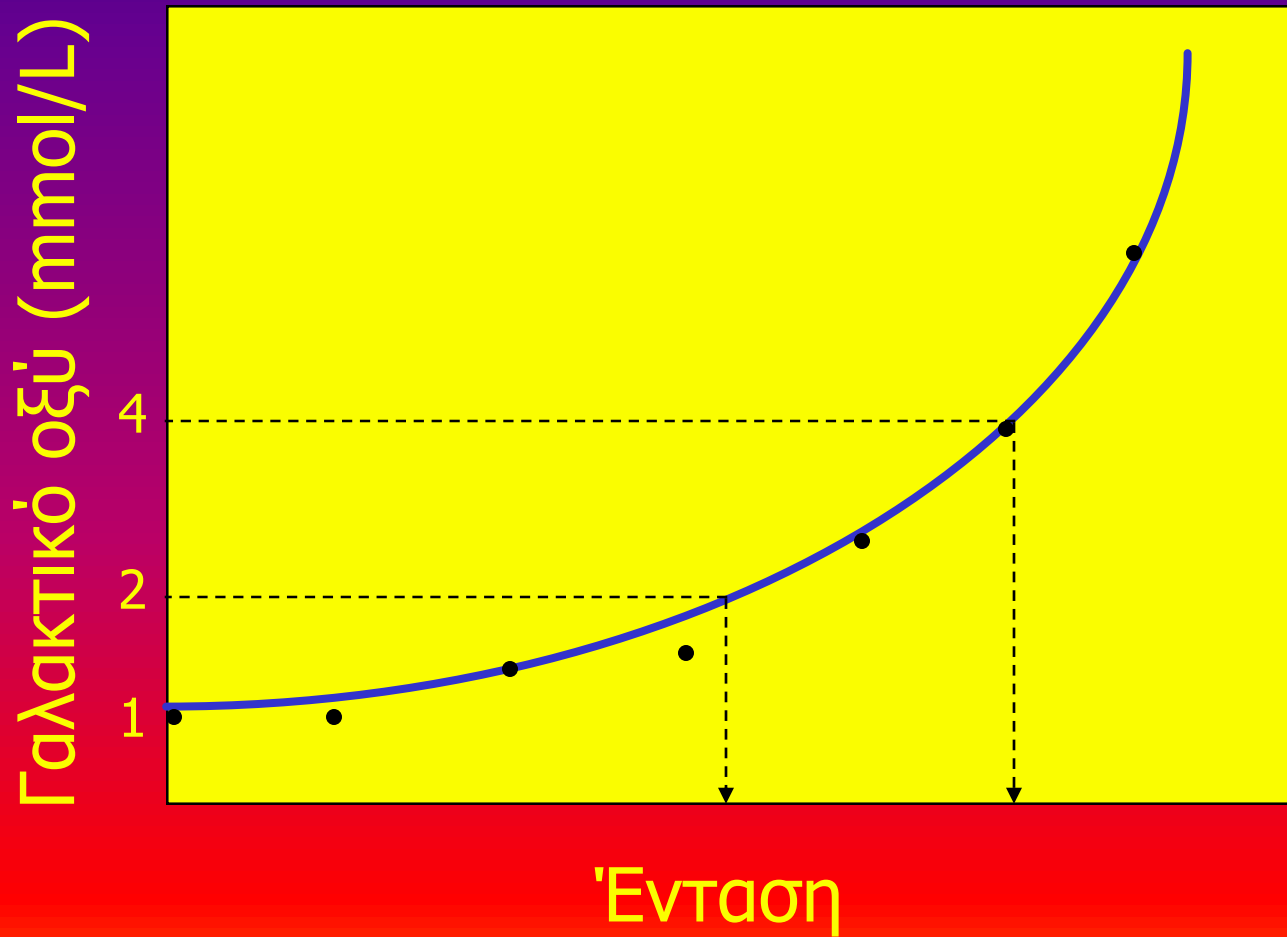
Είναι επιθυμητή μια όσο το δυνατό υψηλότερη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα μετά το τέλος μιας μέγιστης προσπάθειας, αφού αυτό σημαίνει:

1. Αυξημένη παραγωγή στους μύες ή
2. Αυξημένη εξουδετέρωση της οξύτητας στους μύες ή
3. Αυξημένη ταχύτητα εξόδου στο αίμα.

Προγραμματισμός της προπόνησης

Το γαλακτικό οξύ θεωρείται ακριβέστερος δείκτης της έντασης της προπόνησης από την καρδιακή συχνότητα.

Προγραμματισμός της προπόνησης



Καμπύλη γαλακτικού-έντασης

- Υπάρχει τεράστια ποικιλία συνεχών και διαλειμματικών πρωτοκόλλων κατασκευής καμπύλης γαλακτικού-έντασης.
- Σε μια τέτοια καμπύλη μπορούν να οριστούν εντάσεις-στόχοι, που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες τιμές γαλακτικού ή σε σημεία αναφοράς που υπολογίζονται γραφικά ή μαθηματικά.

Καμπύλη γαλακτικού-έντασης

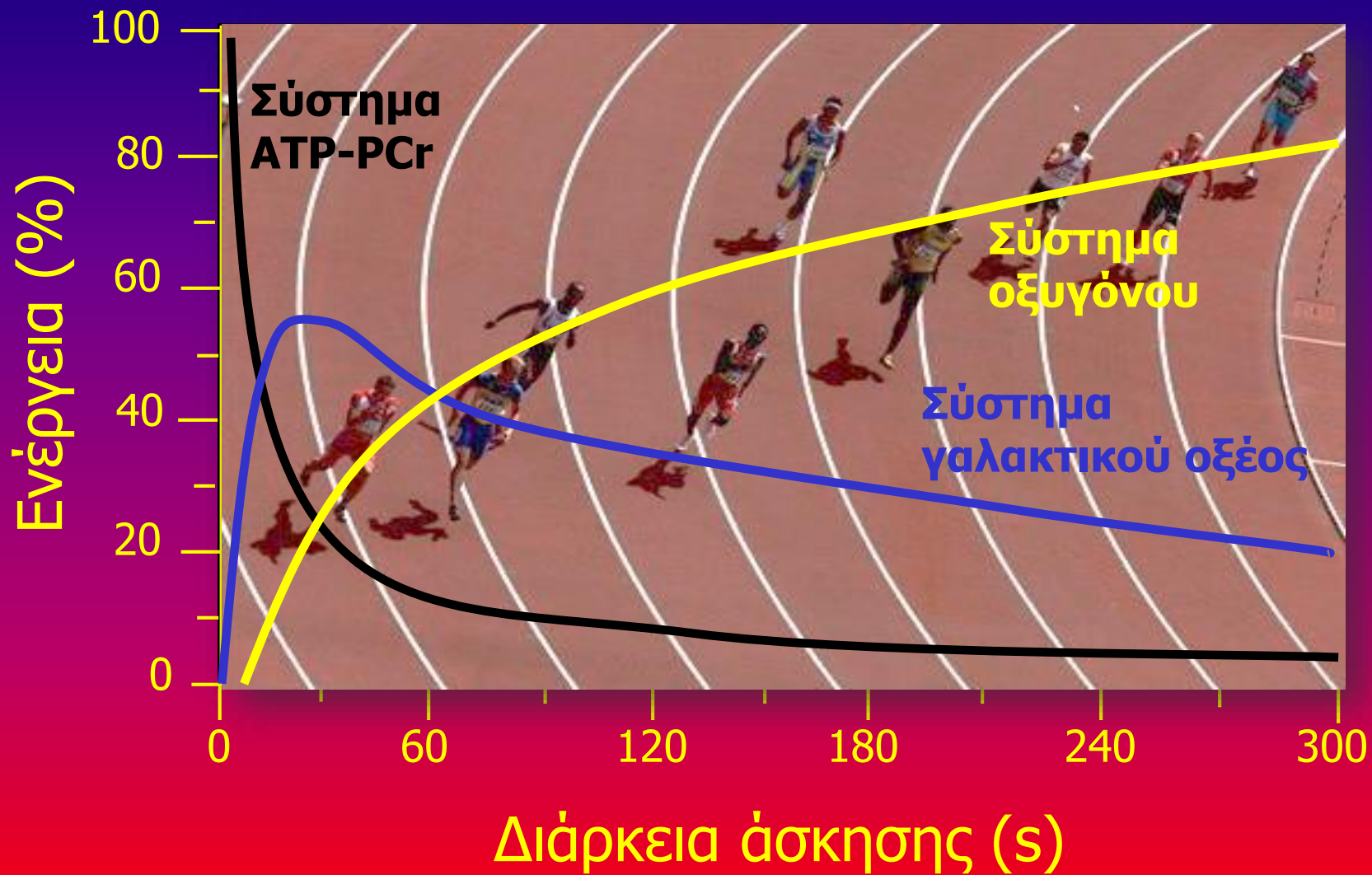
- Δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι ο ένας τρόπος καθορισμού εντάσεων υπερέχει έναντι του άλλου.
- Όπως και να έχει, οι εντάσεις-στόχοι πρέπει να θεωρούνται απλά σημεία αναφοράς για την προπονητική πράξη, αποσυνδεδεμένα από φυσιολογικές ή βιοχημικές ερμηνείες.

Το «αναερόβιο κατώφλι»

- Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για το λεγόμενο αναερόβιο κατώφλι, το οποίο δεν είναι ούτε το σημείο έναρξης του αναερόβιου μεταβολισμού ούτε το σημείο επικράτησης του αναερόβιου μεταβολισμού ούτε το σημείο έναρξης της συσσώρευσης γαλακτικού.

Οι παρανοήσεις από τη θεωρία στην πράξη

- Νομίζουμε ότι πάνω από το «αναερόβιο κατώφλι» κάνουμε αναερόβια προπόνηση, ενώ στην πραγματικότητα η πλειονότητα της ενέργειας συνεχίζει να προέρχεται πρωταρχικά από το σύστημα του οξυγόνου μέχρι πολύ πάνω από το «αναερόβιο κατώφλι».



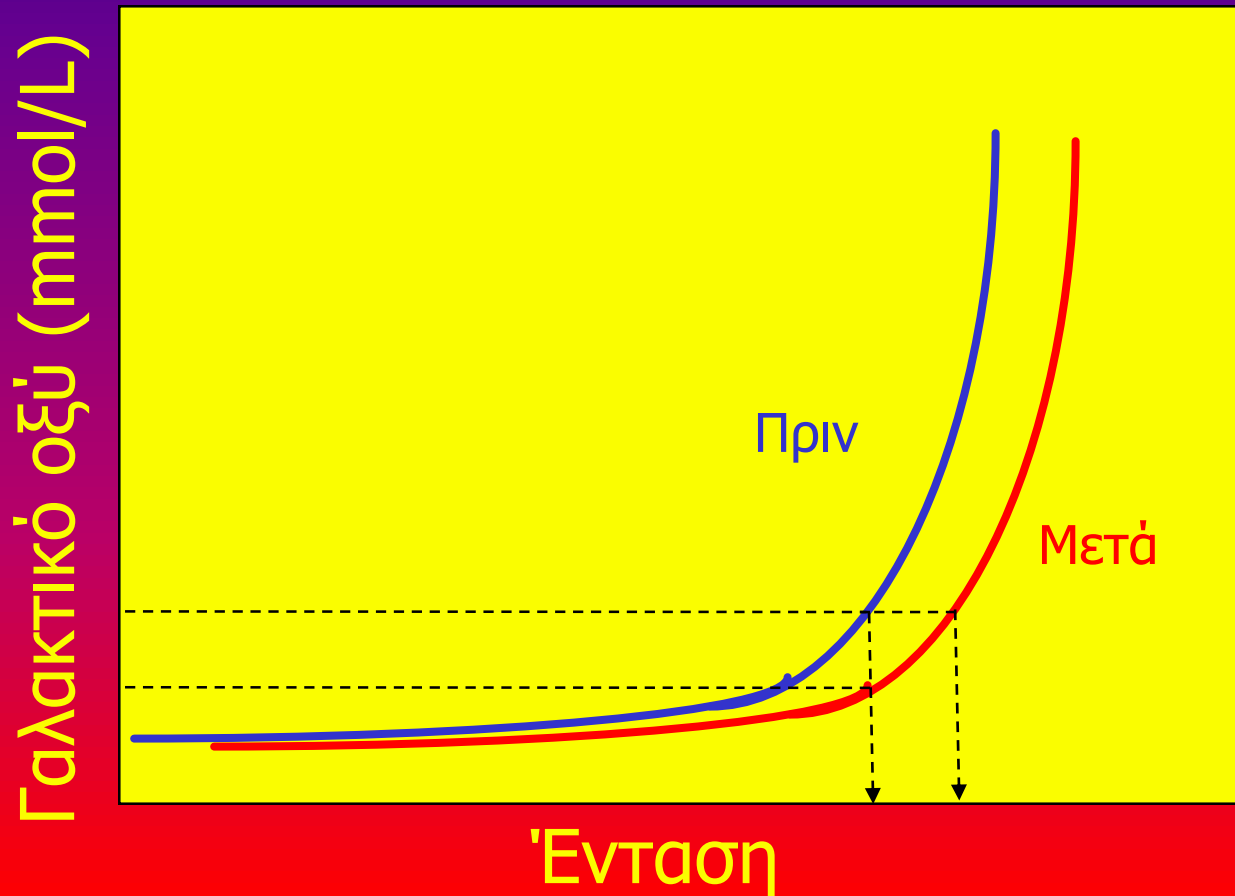
Εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας

- Μετατόπιση της καμπύλης γαλακτικού-έντασης
- Ρυθμός απομάκρυνσης του γαλακτικού οξέος του αίματος

Μετατόπιση της καμπύλης γαλακτικού-έντασης

Πολλοί ερευνητές θεωρούν τη μέτρηση του γαλακτικού οξέος σε υπομέγιστες προσπάθειες καλύτερο προγνωστικό μέσο της αερόβιας ικανότητας από τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.

Αερόβια προσαρμογή



Η αξία της παρακολούθησης είναι διπλή:

1. Επιτρέπει να διαπιστωθεί αν επιτυγχάνονται οι στόχοι του προπονητικού προγράμματος.
2. Επιτρέπει την αναπροσαρμογή των εντάσεων της προπόνησης.

Ρυθμός απομάκρυνσης του γαλακτικού οξέος του αίματος

Υπάρχουν ενδείξεις θετικής συσχέτισης μεταξύ της αερόβιας ικανότητας και του ρυθμού απομάκρυνσης του γαλακτικού οξέος του αίματος μετά από έντονη άσκηση.



Ποσοστό απομάκρυνσης γαλακτικού οξέος από το αίμα μιας κορυφαίας δρομέα ταχύτητας σε 15 min παθητικής αποκατάστασης μετά από έντονη άσκηση

25/4/2014	26/4/2014	23/5/2014	21/6/2014	15/10/2015
16%	24%	41%	55%	29%

Αύξηση του αερόβιου μέρους της προπόνησης

Σε επόμενο σεμινάριο

- Λιπίδια
- Πρωτεΐνες
- Βιταμίνες
- Στοιχεία
- Ορμόνες

Επικοινωνία



Βασίλης Μούγιος, mougios@phed.auth.gr



@mougios1



Ανατολή Πετρίδου, apet@phed.auth.gr



@AnatoliPetridou

Προσαρμογές στην προπόνηση αντοχής (μέτριας έντασης συνεχόμενη)

- Αύξηση της VO_2max
- Αύξηση της συνολικής αιμοσφαιρίνης του σώματος
- Αύξηση του όγκου παλμού και, ως εκ τούτου, της μέγιστης καρδιακής παροχής
- Αύξηση της αναλογίας λιπιδίων/υδατανθράκων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης δεδομένης απόλυτης έντασης
- Αύξηση της περιεκτικότητας των μυών σε μιτοχόνδρια και, ως εκ τούτου, σε μιτοχονδριακά ένζυμα

Προσαρμογές στην προπόνηση αντοχής (μέτριας έντασης συνεχόμενη)

- Αύξηση του GLUT4 στον μυ
- Μείωση της μετατόπισης του μυϊκού GLUT4 στην κυτταροπλασματική μεμβράνη κατά τη διάρκεια άσκησης δεδομένης απόλυτης μέτριας έντασης
- Αύξηση του μυϊκού γλυκογόνου σε ηρεμία
- Μείωση της γλυκογονόλυσης στους μύς κατά τη διάρκεια άσκησης δεδομένης απόλυτης μέτριας έντασης
- Μείωση της παραγωγής γαλακτικού οξέος κατά τη διάρκεια άσκησης δεδομένης απόλυτης μέτριας έντασης
- Αύξηση πρόσληψης λιπαρών οξέων από τους μύς
- Αύξηση της πυκνότητας τριχοειδών αγγείων στους μύς
- Αύξηση της λιποπρωτεϊνικής λιπάσης των μυών
- IIX → IIA → I
- Αύξηση της αντοχής

Προσαρμογές στην προπόνηση με αντιστάσεις (δύναμης)

- Μυϊκή υπερτροφία
- Πιθανή μείωση της περιεκτικότητας των μυών σε μιτοχόνδρια
- IIX → IIA
- Αύξηση της μέγιστης δύναμης

Προσαρμογές στην προπόνηση ταχύτητας

- Αύξηση της μυϊκής αδενυλικής κινάσης και κρεατινικής κινάσης
- Αύξηση της μυϊκής φωσφορυλάσης, φωσφοφρουκτοκινάσης και γαλακτικής αφυδρογονάσης
- Αύξηση των μυϊκών μιτοχονδριακών ενζύμων
- Αύξηση της ταχύτητας

Προσαρμογές στη διαλειμματική προπόνηση

- Αύξηση της $\dot{V}O_2\max$
- Αύξηση της αναλογίας λιπιδίων/υδατανθράκων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης δεδομένης απόλυτης μέτριας έντασης
- Αύξηση της περιεκτικότητας των μυών σε μιτοχόνδρια και, ως εκ τούτου, σε μιτοχονδριακά ένζυμα

Προσαρμογές στη διαλειμματική προπόνηση

- Αύξηση του μυϊκού γλυκογόνου σε ηρεμία
- Μείωση της γλυκογονόλυσης στους μύς κατά τη διάρκεια άσκησης δεδομένης απόλυτης μέτριας έντασης
- Μείωση της παραγωγής γαλακτικού οξέος κατά τη διάρκεια άσκησης δεδομένης απόλυτης έντασης
- Αύξηση της αντοχής