

# Όρια Αναερόβιας Απόδοσης



**Κοσμάς Χριστούλας**  
Αναπληρωτής Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α.-Α.Π.Θ.

## Άμεσο ενεργειακό σύστημα (Φωσφορογόνο σύστημα)

---

Άμεση αλλά μικρή πηγή ενέργειας αποτελούν τα αποθέματα της τριφωσφορικής αδενοσίνης (*ATP*) και της φωσφοκρεατίνης (*PC*) στους μυς, που γρήγορα μπορούν να απελευθερώσουν ενέργεια.

## Άμεσο ενεργειακό σύστημα (Φωσφορογόνο σύστημα)

---

Αυτά τα υψηλής ενέργειας φωσφαγόνα αποθηκεύονται μέσα στους μυς και ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια μιας έντονης προσπάθειας, παρέχοντας άμεση και γρήγορη ενέργεια στο ξεκίνημα της.



# Άμεσο ενεργειακό σύστημα (Φωσφορογόνο σύστημα)

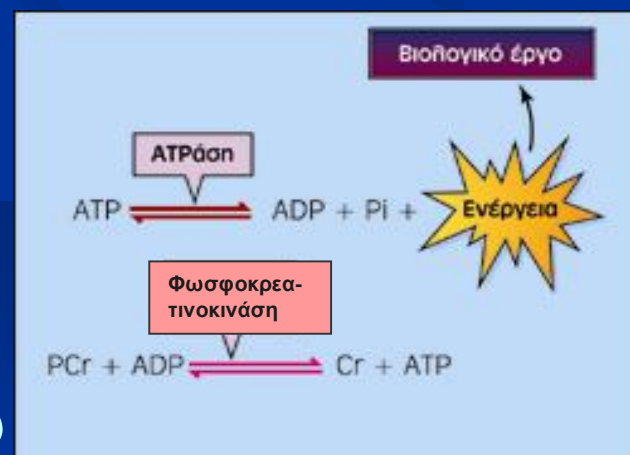
---

Τέτοιες προσπάθειες είναι οι δρόμοι  
ταχύτητας, κατά τη φάση της επιτάχυνσης  
στα πρώτα 30-40 μέτρα, οι ρίψεις,  
τα άλματα, η άρση βαρών,  
η ενόργανη γυμναστική κ.ά.



# Άμεσο ενεργειακό σύστημα (Φωσφορογόνο σύστημα)

Σε αυτές τις αγωνιστικές προσπάθειες απαιτείται άμεση προμήθεια ενέργειας, που εξασφαλίζεται από απλές και σύντομες μονοενζυματικές αντιδράσεις διάσπασης της **ΑΤΡ** και της **PC**.



( McArdle et al., 2001 )

## Βραχυπρόθεσμο ενεργειακό σύστημα (Γλυκολυτικό σύστημα)

---

Γρήγορη ενέργεια μπορεί επίσης να παραχθεί από τη διάσπαση του μυϊκού γλυκογόνου.

Το γλυκολυτικό σύστημα κατά κύριο λόγο υποστηρίζει ενεργειακά αγωνιστικές προσπάθειες μέγιστης έντασης, που διαρκούν από λίγα δευτερόλεπτα μέχρι περίπου ένα λεπτό.

## Βραχυπρόθεσμο ενεργειακό σύστημα (Γλυκολυτικό σύστημα)

Η ενέργεια που απαιτείται στις αγωνιστικές αυτές προσπάθειες εξασφαλίζεται από πολυενζυματικές αντιδράσεις μιας σύντομης μεταβολικής οδού, της **αναερόβιας γλυκόλυσης**, όπου αποδομείται το μυϊκό γλυκογόνο χωρίς την παρουσία  $O_2$

και παράγεται **γαλακτικό οξύ**.

# Αναερόβιος μηχανισμός παραγωγής ενέργειας

---

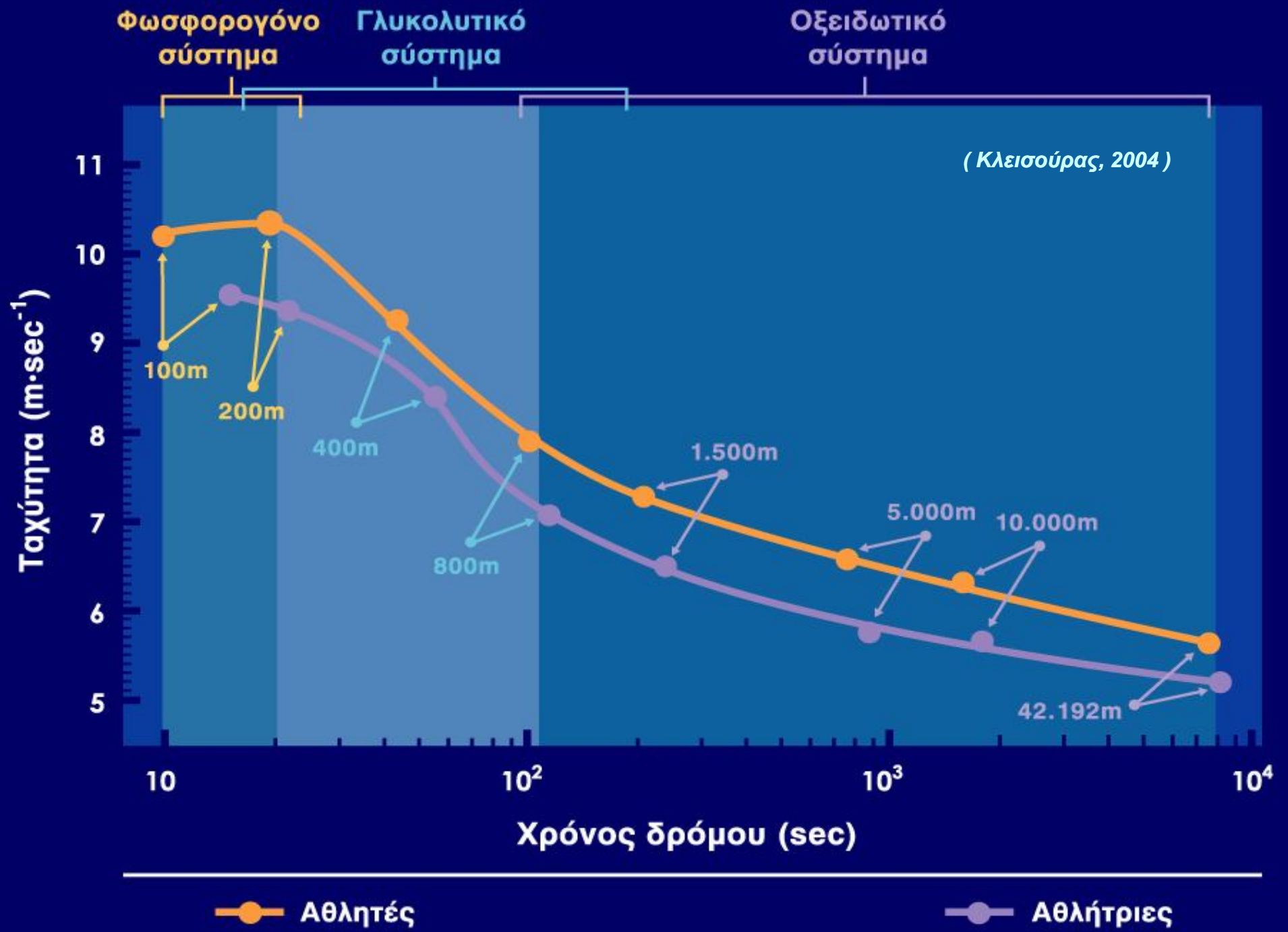
Ο αναερόβιος μηχανισμός παραγωγής ενέργειας είναι περιορισμένης διάρκειας και μεγάλης ισχύος και οριοθετεί τη μυϊκή απόδοση σε υπερμέγιστες εντάσεις, όπου ο ρυθμός απελευθέρωσης ενέργειας υπερβαίνει αυτόν της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.



# Αναερόβιος μηχανισμός παραγωγής ενέργειας

---

Για το λόγο αυτό, όσο μεγαλύτερη είναι η αναερόβια ικανότητα ενός ατόμου, τόσο καλύτερη είναι και η απόδοση του σε αγωνίσματα που διαρκούν μέχρι περίπου 1 λεπτό, οπότε αξιοποιούνται πλήρως οι αναερόβιες πηγές έκλυσης ενέργειας.

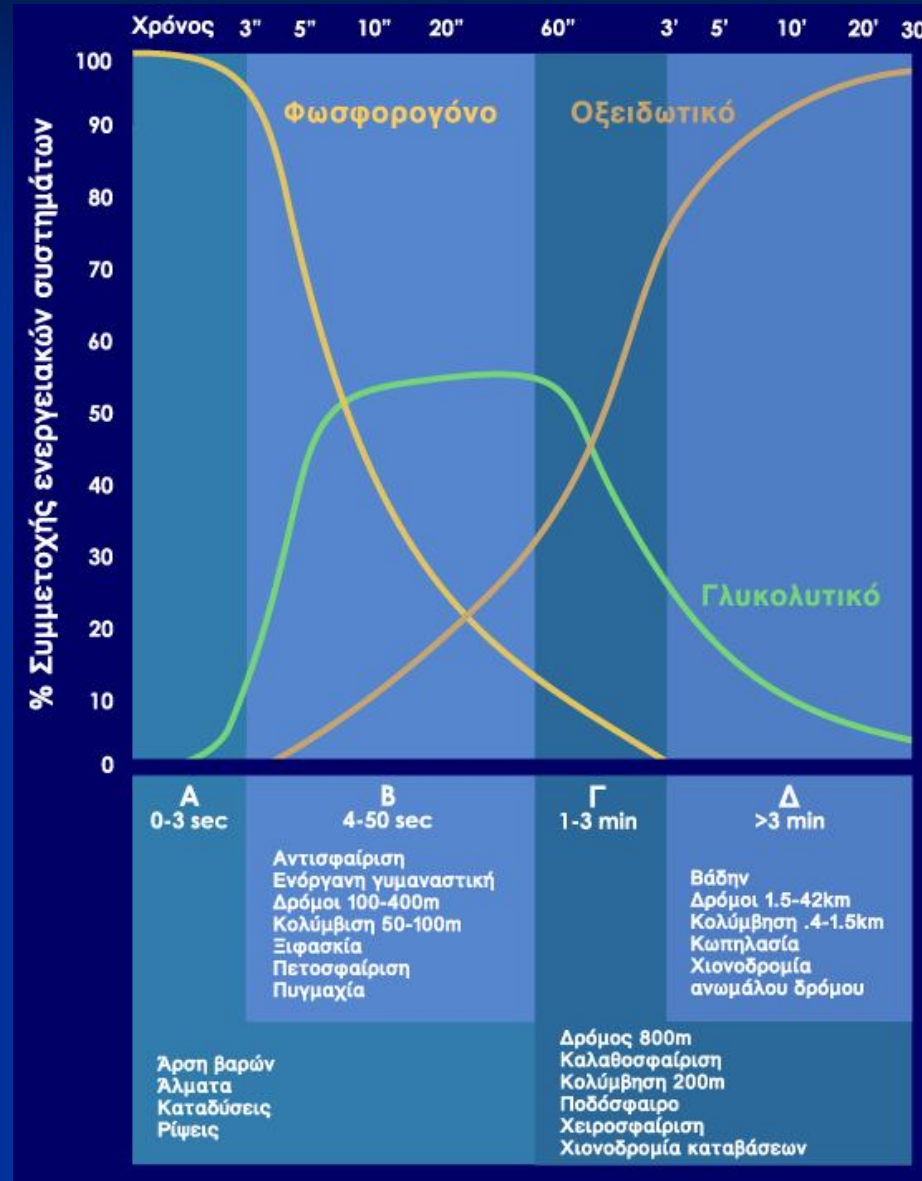


( Κλεισούρας, 2004 )

● Αθλητές

● Αθλήτριες

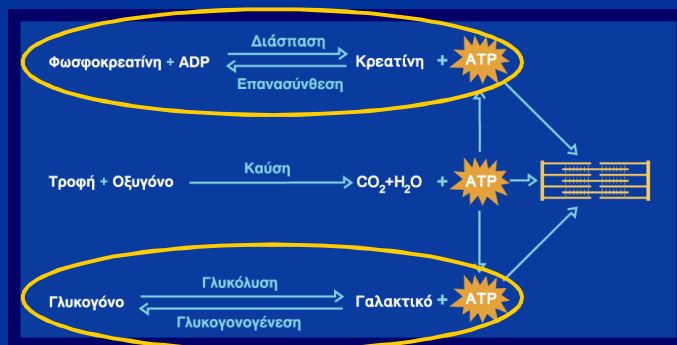
## Ποσοστιαία συμμετοχή των ενεργειακών συστημάτων στην ολική παραγωγή ενέργειας, κατά την εξαντλητική μυϊκή προσπάθεια διαφορετικής διάρκειας.



( Κλεισούρας, 2004 )

# Αναερόβια ικανότητα & Αναερόβια ισχύς

Η αναερόβια ικανότητα εκφράζει τη συνολική ποσότητα ενέργειας που μπορούν να παράγουν τα μυϊκά κύτταρα ενός ατόμου χωρίς οξυγόνο, με τον αναερόβιο μεταβολισμό.



( Κλεισούρας, 2004 )

# Αναερόβια ικανότητα & Αναερόβια ισχύς

---

Ο όρος **αναερόβια ισχύς** υποδηλώνει  
την ταχύτητα παροχής αυτής  
της ενέργειας.

Εκφράζει την ανώτατη ποσότητα  
ενέργειας που παράγεται αναερόβια,  
κατά την υπερμέγιστη προσπάθεια,  
στη μονάδα του χρόνου.

# Αναερόβια ικανότητα & Αναερόβια ισχύς

---

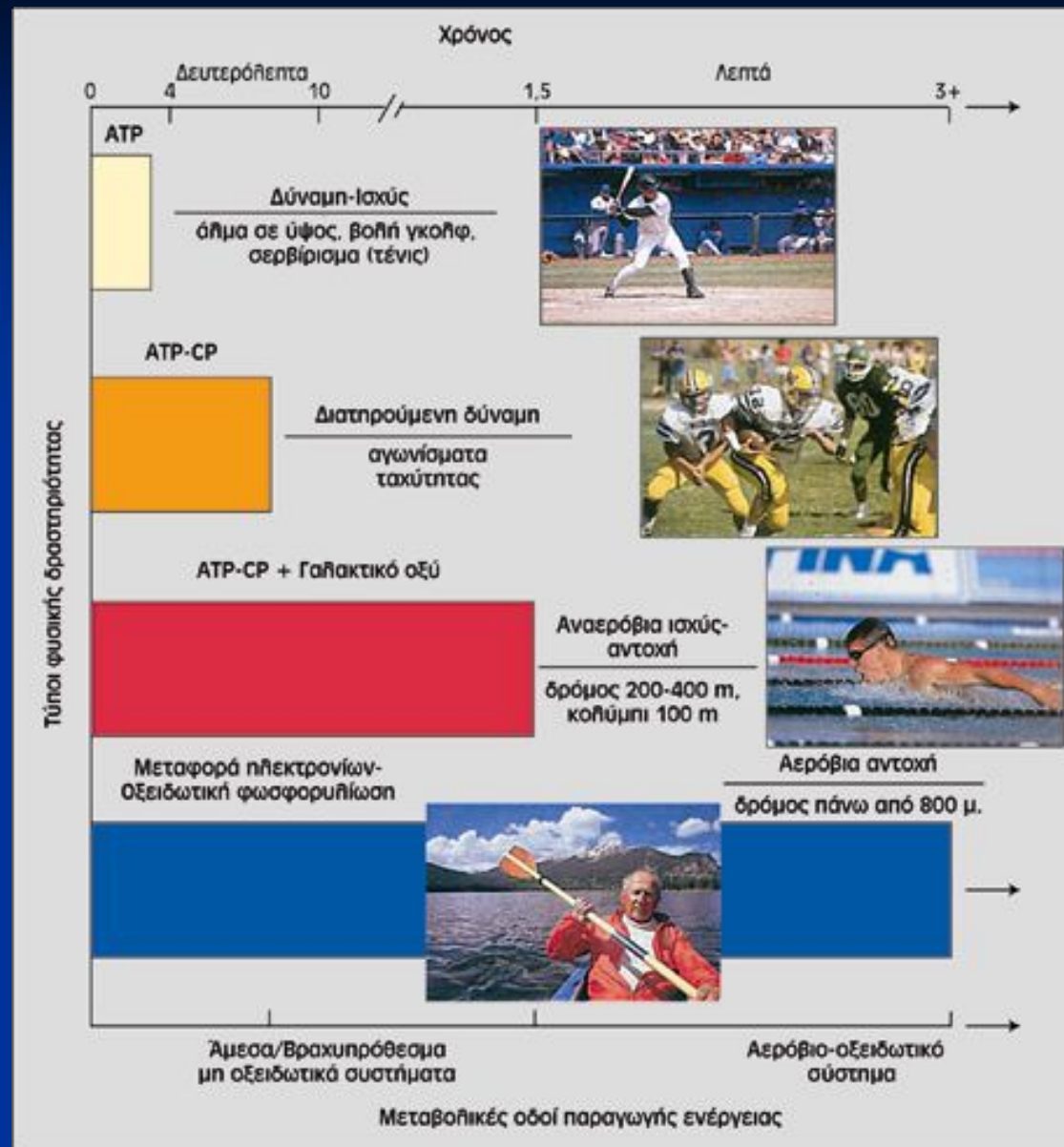
Η διάκριση μεταξύ των όρων **αναερόβια ικανότητα** & **αναερόβια ισχύς** πρέπει να είναι σαφής επειδή πρόκειται για δύο ιδιαίτερες οντότητες που, ανάλογα με το πραγματικό τους μέγεθος, επηρεάζουν και διαμορφώνουν την αθλητική επίδοση.

# Αγαλακτικός & Γαλακτικός αναερόβιος μεταβολισμός

---

Επίσης, για την αξιολόγηση των ενεργειακών απαιτήσεων των διαφόρων αγωνισμάτων, πρέπει να γίνεται διάκριση ανάμεσα στην **αγαλακτική** και **γαλακτική** συνιστώσα του αναερόβιου μεταβολισμού.

# Αθλητική Απόδοση & Ενεργειακά συστήματα

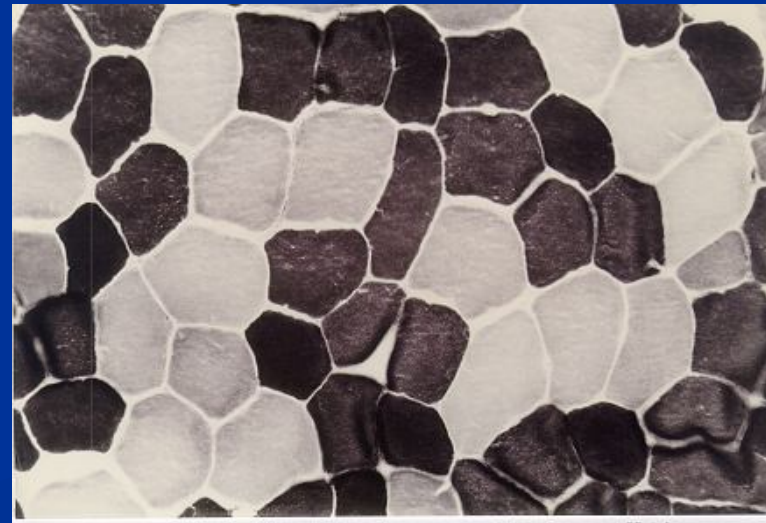
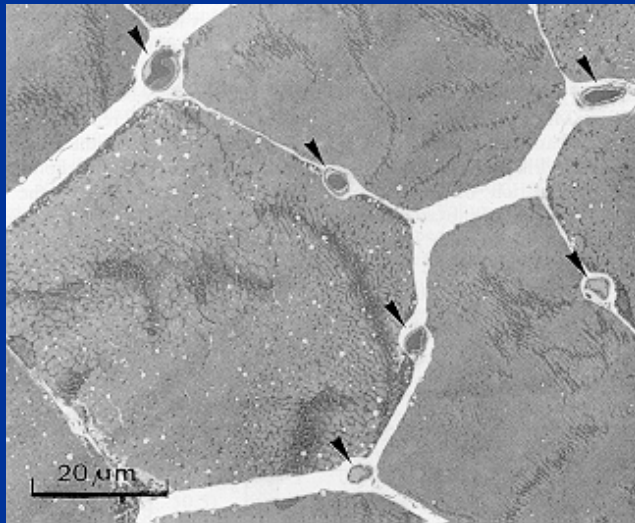


( McArdle et al., 2001 )



# Αναερόβια απόδοση & μυϊκές ίνες

Η αναερόβια απόδοση συσχετίζεται με τις μορφολογικές και λειτουργικές ιδιότητες των μυϊκών ινών.

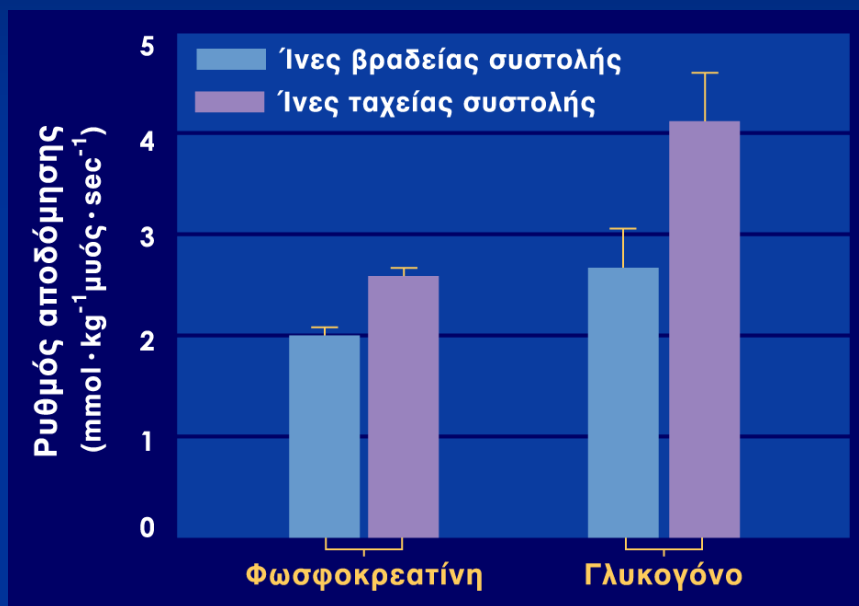


# Αναερόβια απόδοση & μυϊκές ίνες

Οι μυϊκές ίνες ταχείας συστολής ενεργοποιούνται περισσότερο από τις ίνες βραδείας συστολής σε υπερμέγιστες βραχύβιες προσπάθειες.



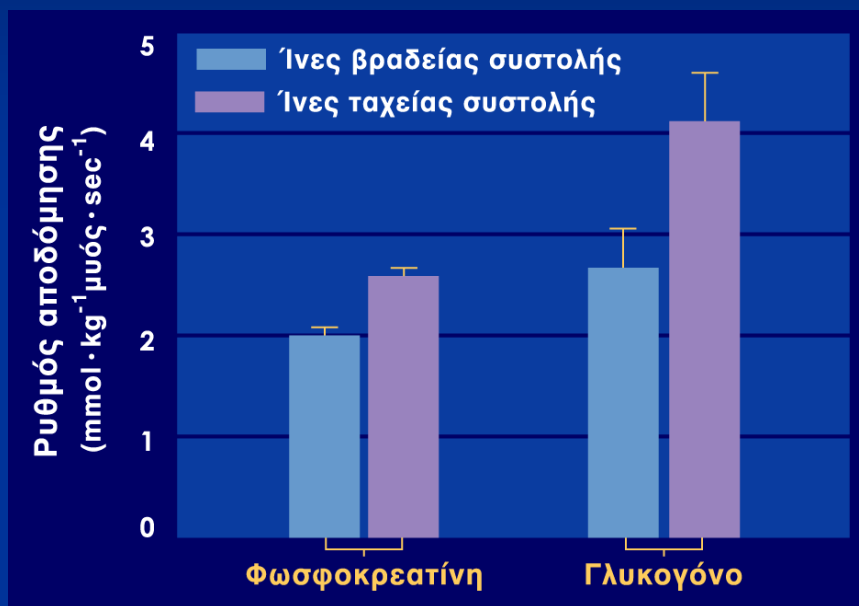
# Αναερόβια απόδοση & μυϊκές ίνες



(Βασισμένο σε Maughan et al., 1997)

**Ρυθμός αποδόμησης φωσφοκρεατίνης και γλυκογόνου σε μυϊκές ίνες βραδείας και ταχείας συστολής, κατά την υπερμέγιστη μυϊκή προσπάθεια δρόμου 30 sec στο δαπεδοεργόμετρο.**

# Αναερόβια απόδοση & μυϊκές ίνες



(Βασισμένο σε Maughan et al., 1997)

Γίνεται φανερό, με βάση την αποδόμηση αυτών των μυϊκών μεταβολιτών, ότι οι MI ταχείας συστολής ενεργοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις MI βραδείας συστολής, σε αναερόβιες προσπάθειες.

# Αναερόβια απόδοση & μυϊκές ίνες

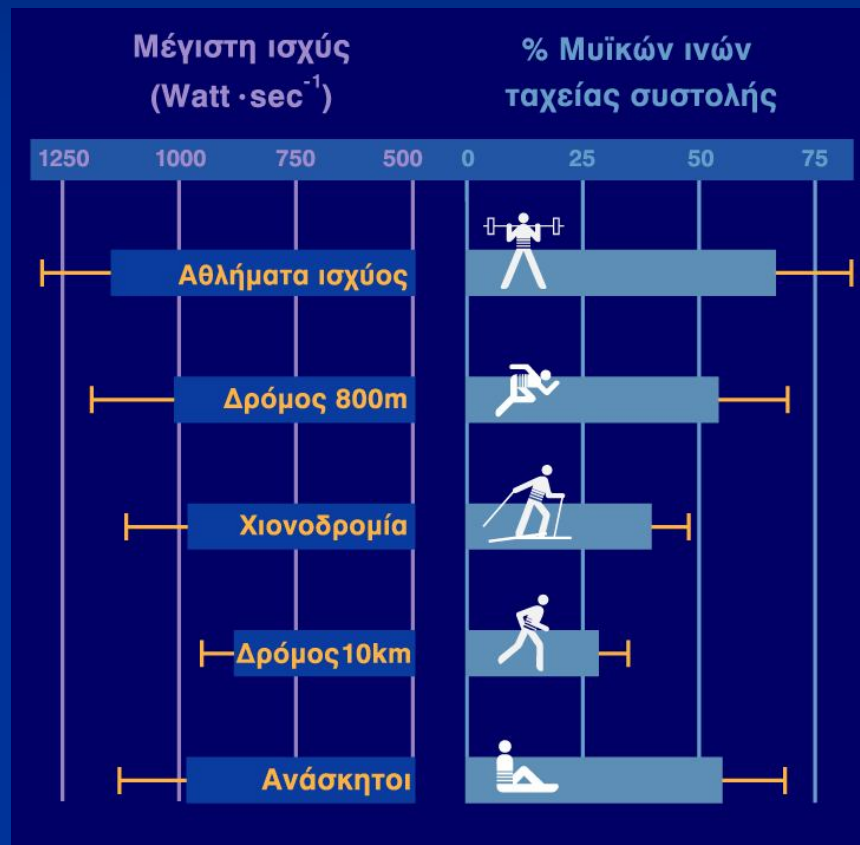
---

Σημειώνεται ακόμα ότι, κατά τη διαλειμματική ισομετρική συστολή στα ίδια πειράματα, η γλυκογονόλυση στις ίνες βραδείας συστολής ήταν αμελητέα, ενώ στις ίνες ταχείας συστολής ήταν μέγιστη.

Αυτό σημαίνει ότι σε αναερόβιες προσπάθειες ενεργοποιούνται οι ίνες ταχείας συστολής, ανεξάρτητα από το είδος της μυϊκής συστολής.

(Soderlund et al., 1992; Maughan et al., 1997)

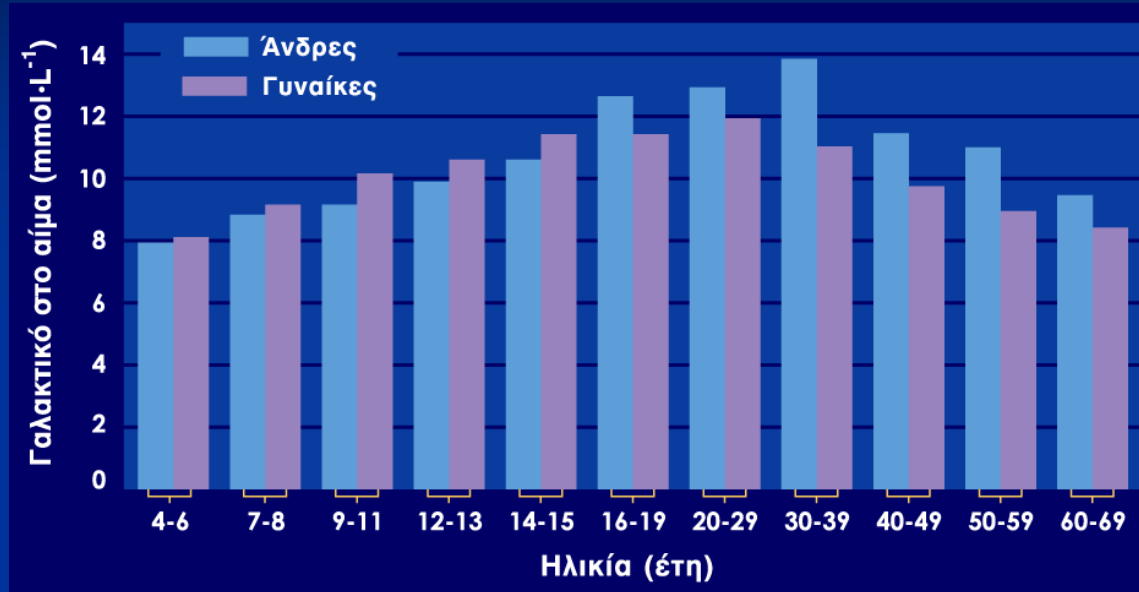
# Αναερόβια απόδοση & μυϊκές ίνες



(Βασισμένο σε Bouchard et al., 1991)

**Αναερόβια ισχύς και ποσοστό ινών ταχείας συστολής τετρακέφαλου μυός αθλητών διαφόρων αθλημάτων.**

# Αναερόβια απόδοση: ηλικία & φύλο

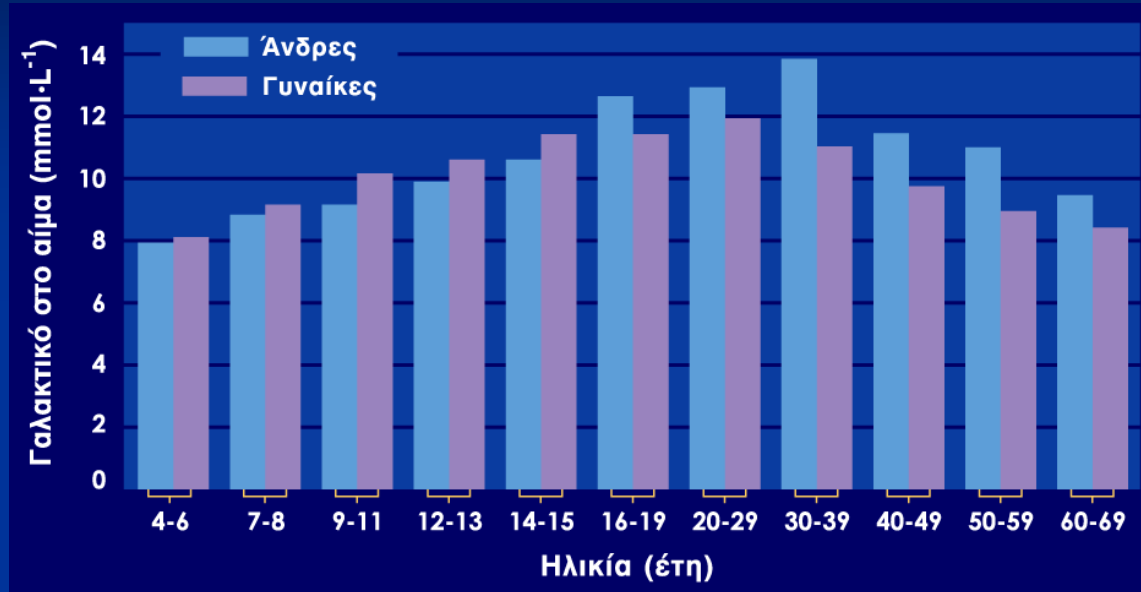


*(Plowman et al., 2003, Βασισμένο στους Astrand et al., 1963, Eriksson et al., 1972, Cummings et al., 1985, Saris et al., 1985, για ηλικίες 4 έως 20 ετών και Astrand 1952, Robinson 1938, Astrand 1960, Bouhuys et al., 1966, Sidney et al., 1977)*

*(Κλεισούρας, 2004)*

**Η αναερόβια γαλακτική απόδοση επηρεάζεται από την ηλικία και το φύλο. Η μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής και ανοχής γαλακτικού παρουσιάζεται σε ενήλικες, ηλικίας 20 έως 40 ετών.**

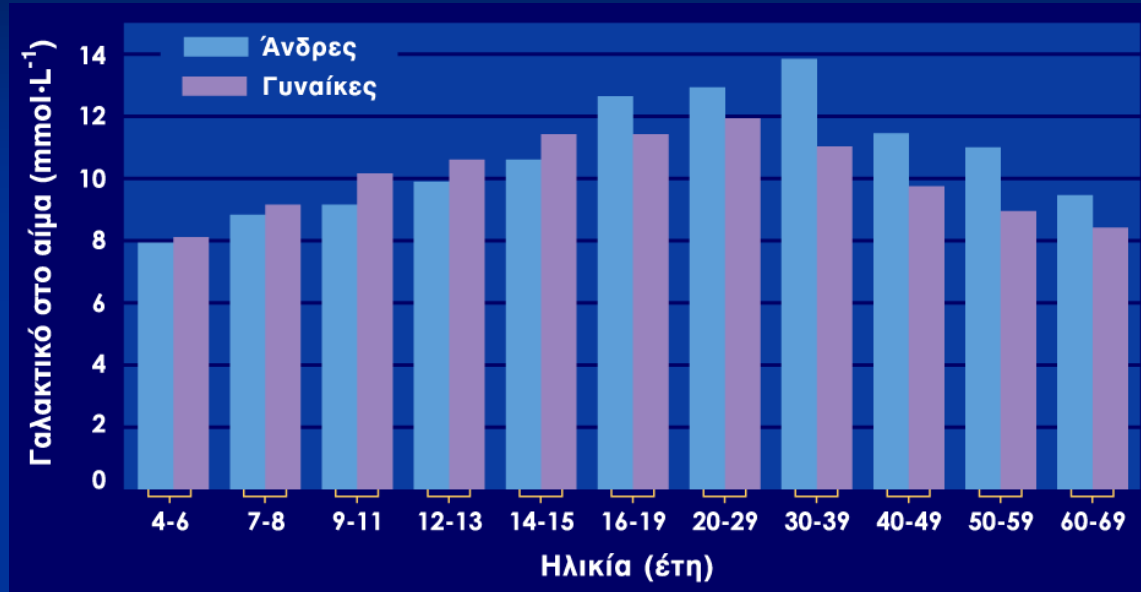
# Αναερόβια απόδοση: ηλικία & φύλο



Φαίνεται ότι με την ηλικία επιβραδύνεται η γλυκόλυση και μειώνεται η παραγωγή γαλακτικού οξέος. Η επιβράδυνση της γλυκόλυσης αποδίδεται αφενός στη μειωμένη δραστηριότητα του ενζύμου της γαλακτικής αφυδρογονάσης, που καταλύει τη μετατροπή ...



# Αναερόβια απόδοση: ηλικία & φύλο



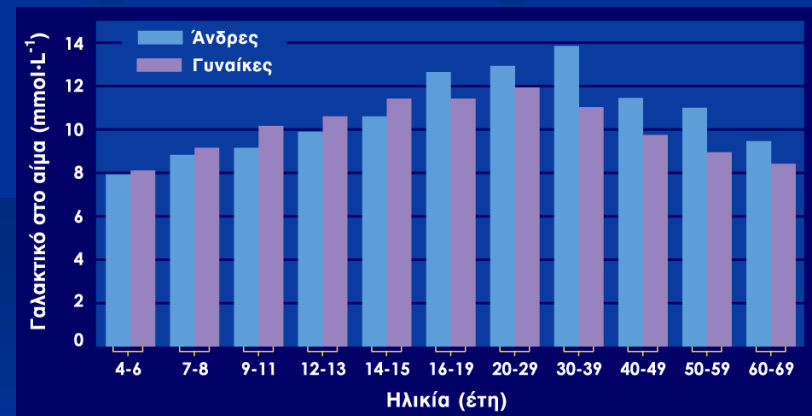
... του πυροσταφυλικού οξέος σε γαλακτικό οξύ, και αφετέρου στα μειωμένα αποθέματα γλυκογόνου σε όλες τις μυϊκές ίνες. Ο ρυθμός παρακμής της αναερόβιας απόδοσης είναι περίπου 6 % ανά δεκαετία.

(Makrides et al., 1985)

# Αναερόβια απόδοση: ηλικία & φύλο

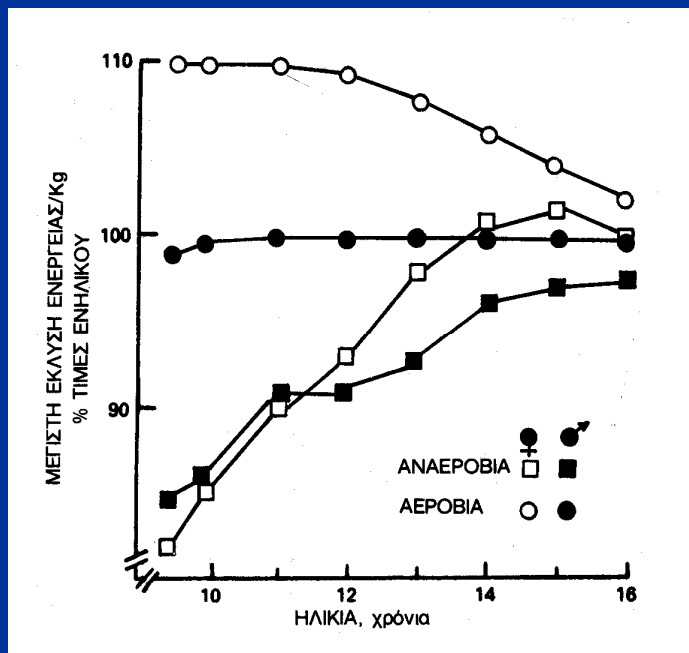
Οι γυναίκες έχουν μειωμένη παραγωγή γαλακτικού οξέος κατά τη μέγιστη μυϊκή προσπάθεια σε σχέση με τους άνδρες σε όλες τις ηλικίες. Η διαφορά αυτή είναι περίπου **0,5 έως 2,0  $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$**  και αποδίδεται στη μικρότερη μυϊκή μάζα των γυναικών.

(Wells 1991; Kohrt et al., 1993)



# Αναερόβια απόδοση: ηλικία & φύλο

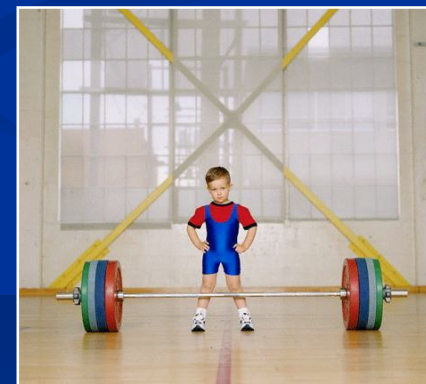
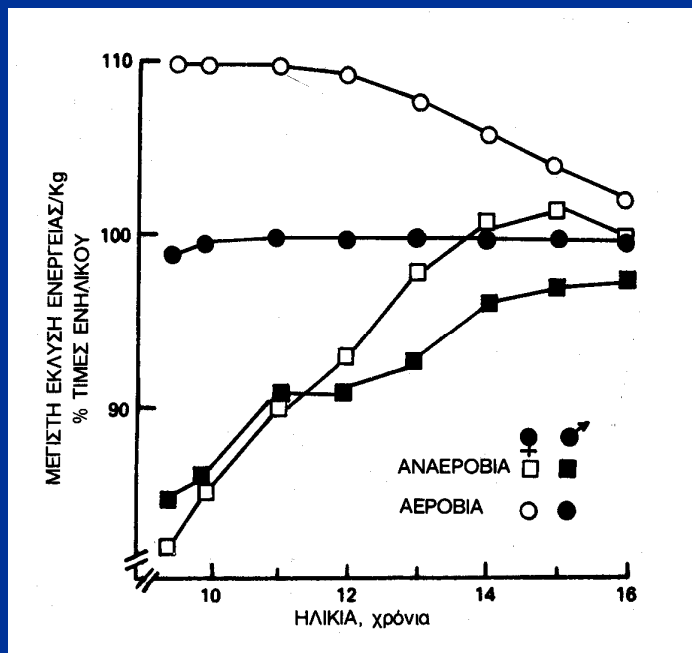
Η αναερόβια απόδοση που εκφράζεται, είτε με τη μέγιστη συσσώρευση γαλακτικού οξέος στο αίμα, είτε με τη μέγιστη μηχανική ισχύ σε 30 sec, είναι σαφώς χαμηλότερη κατά την αναπτυξιακή ηλικία και αυξάνεται προοδευτικά μέχρι την ωρίμανση.



(Bar-or, 1983)

# Αναερόβια απόδοση: ηλικία & φύλο

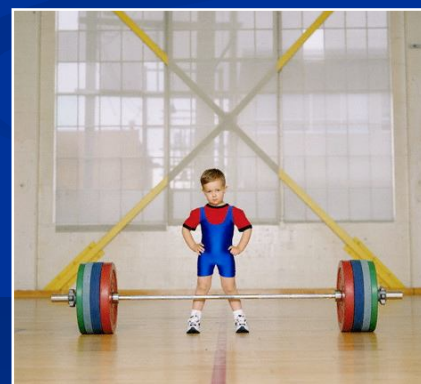
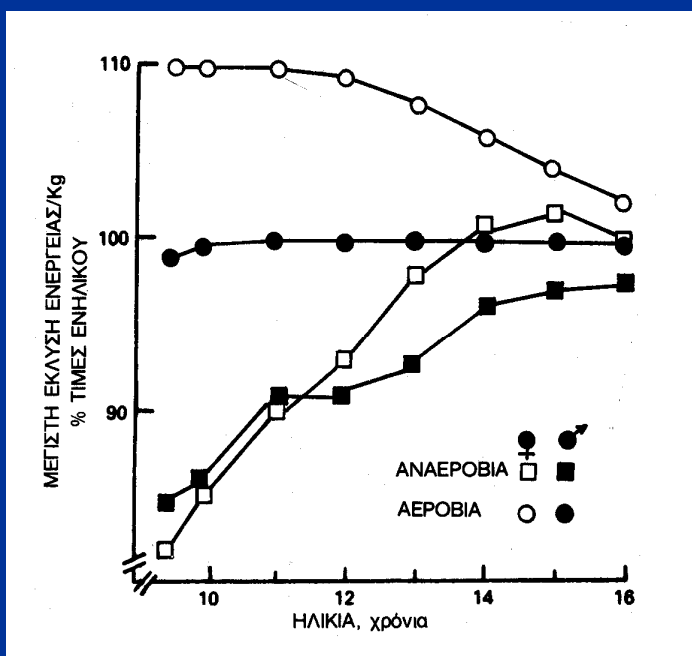
Η μειωμένη αναερόβια απόδοση στις αναπτυξιακές ηλικίες αποδίδεται σε διάφορους παράγοντες, όπως χαμηλότερη δραστικότητα των αναερόβιων ενζύμων και κυρίως της φωσφοφρουκτοκινάσης, ...



(Bar-or, 1983)

# Αναερόβια απόδοση: ηλικία & φύλο

... στα χαμηλότερα, σε σχέση με τον ώριμο οργανισμό, αποθέματα φωσφοκρεατίνης και γλυκογόνου, στη μειωμένη ικανότητα επιστράτευσης κινητικών μονάδων, καθώς και σε ορμονικούς παράγοντες.



(Bar-or, 1983)

# Αναερόβια απόδοση: ηλικία & φύλο

Η συγκέντρωση του ενζύμου φωσφοφρουκτοκινάση, που αποτελεί το βηματοδότη της αναερόβιας γλυκόλυσης, είναι **2,5** έως **3** φορές χαμηλότερη σε παιδιά προεφηβικής ηλικίας από ότι σε ενήλικες.



# Αντισταθμιστικός μηχανισμός



Μικρότερη μεταβατική φάση



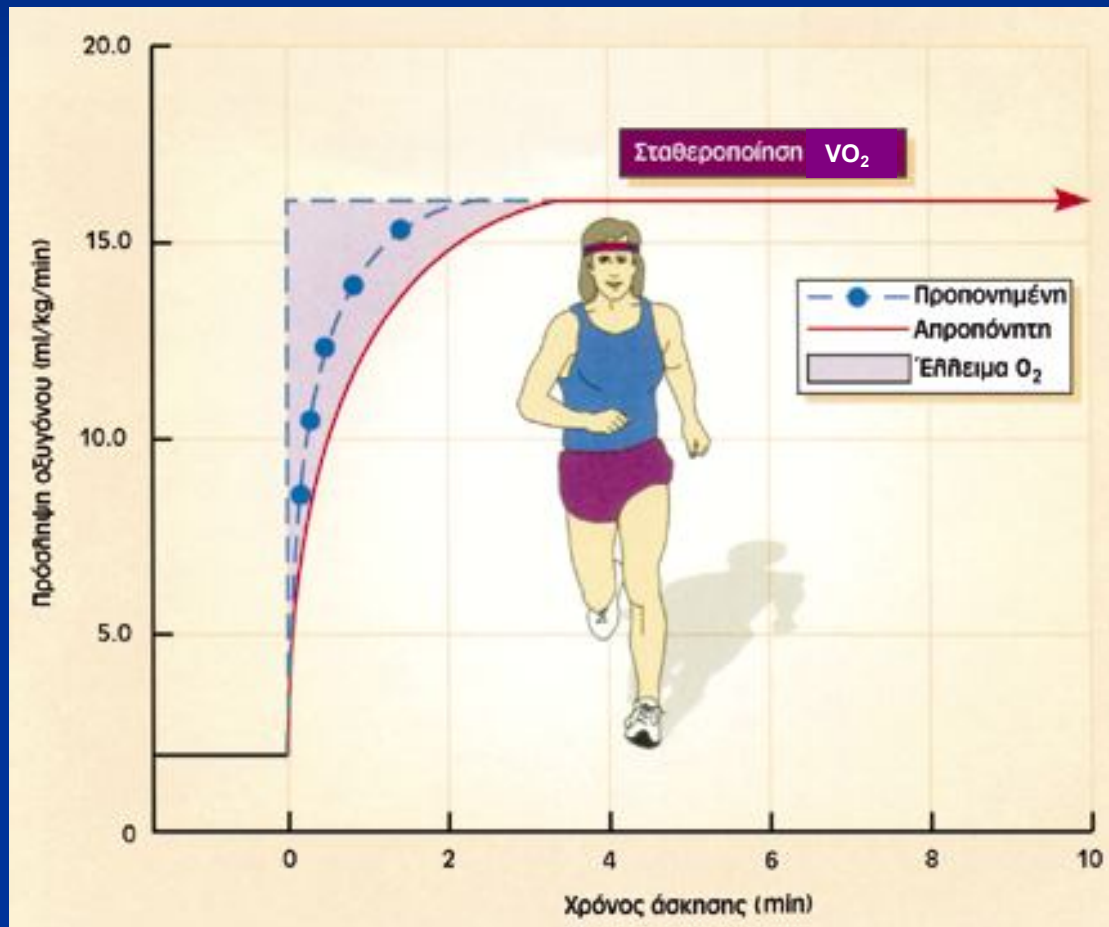
Μικρότερο έλλειμμα οξυγόνου



Γρηγορότερη παραγωγή αερόβιας ενέργειας

# Ενεργειακές φάσεις του μυϊκού έργου

## Φάση σταθεροποίησης $\dot{V}O_2$

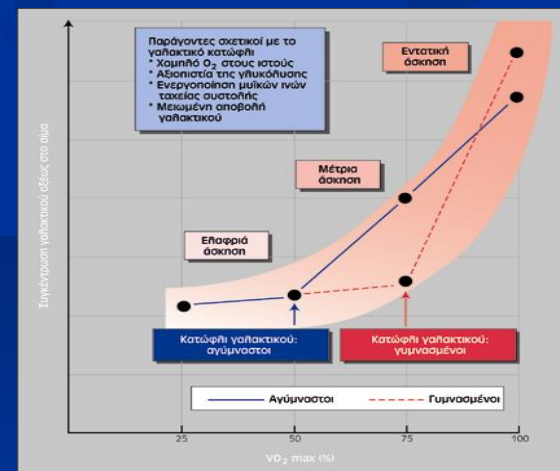


( McArdle et al., 2001 )



# Αναερόβιο γαλακτικό κατώφλι

Η ένταση, κατά την κλιμακούμενη μυϊκή προσπάθεια, που αντιστοιχεί στην απότομη αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα, αναφέρεται ως αναερόβιο κατώφλι.

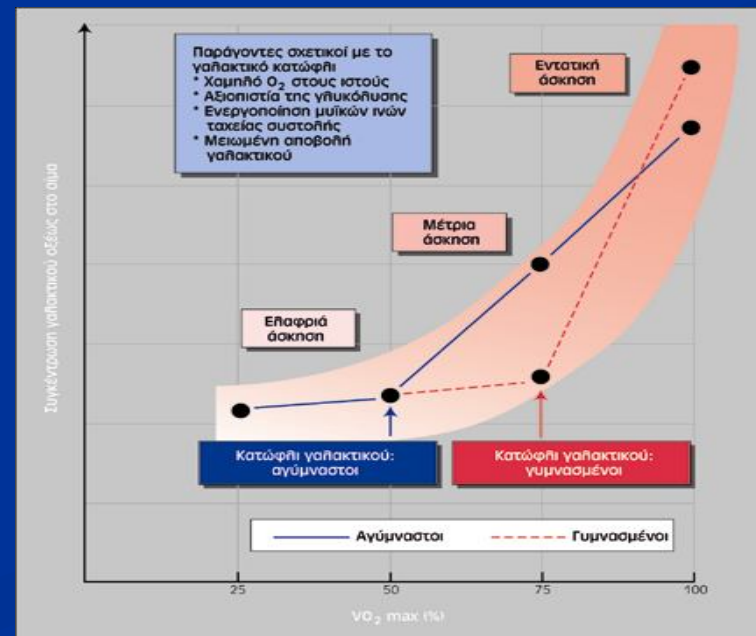


( McArdle et al., 2001 )

# Αναερόβιο γαλακτικό κατώφλι

Η ένταση αυτή αντιστοιχεί:

- Αγύμναστοι : 50-60% της  $VO_{2max}$
- Γυμνασμένοι : 65-90% της  $VO_{2max}$



( McArdle et al., 2001 )