



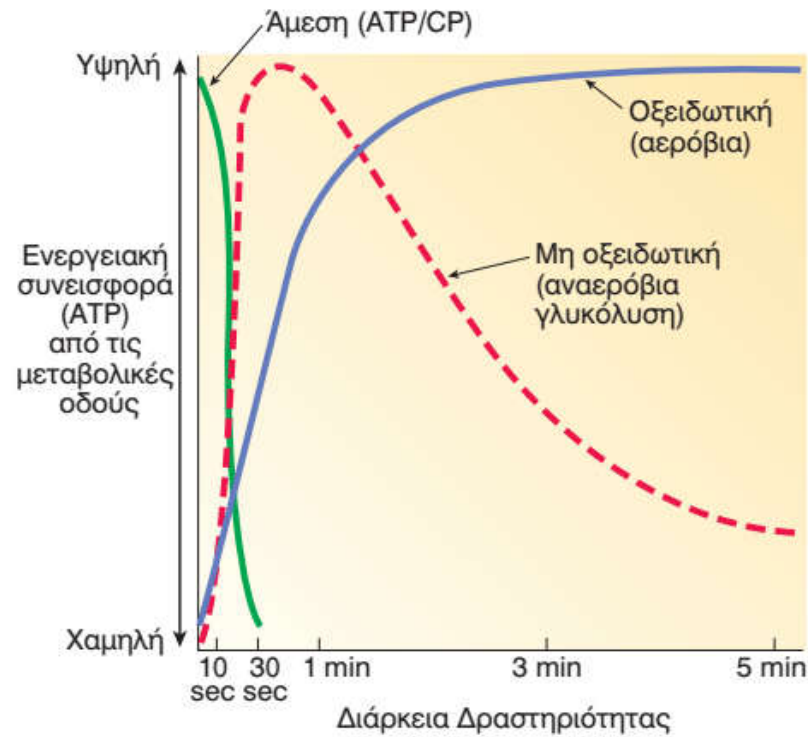
**ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**“ΑΘΛΗΣΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ”**

“Επίδραση της άσκησης  
στο ενδοκρινικό σύστημα”

Φιλίππου Αναστάσιος, Ph.D.  
Επίκουρος Καθηγητής  
Πειραματικής Φυσιολογίας

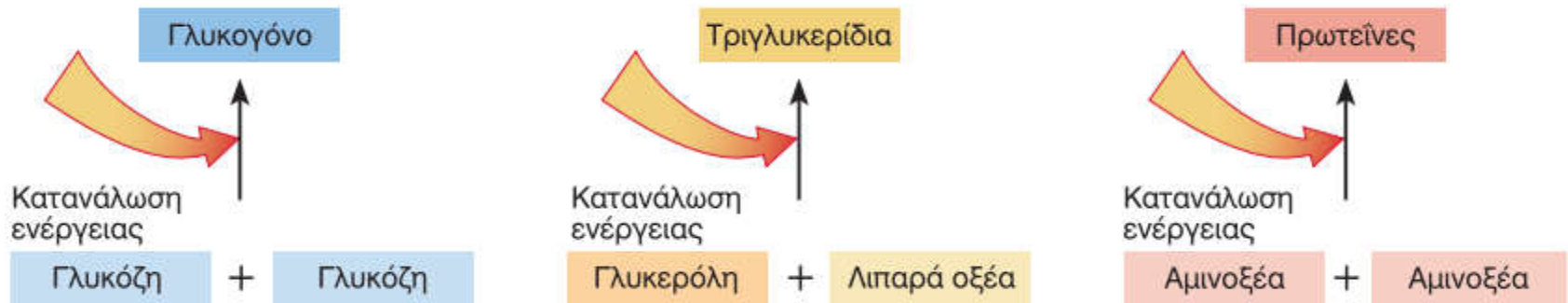
# Ενεργειακά συστήματα



Αλληλεπίδραση των ενεργειακών συστημάτων κατά την άσκηση μέγιστης έντασης αυξανόμενης διάρκειας.

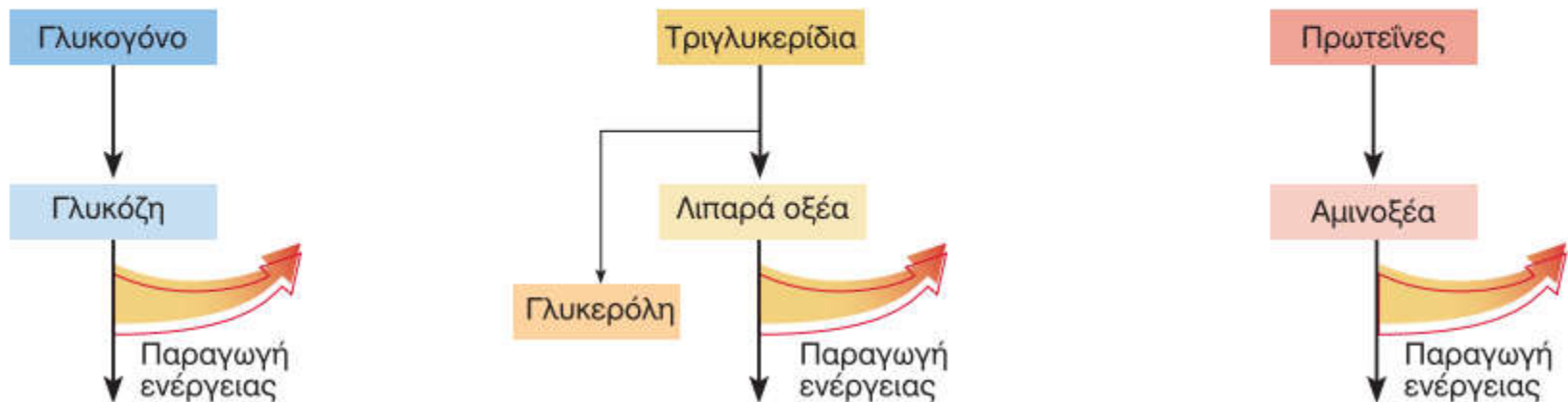
# Ενεργειακά υποστρώματα

## ΑΝΑΒΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ



Οι αναβολικές αντιδράσεις περιλαμβάνουν τη σύνθεση γλυκογόνου, τριγλυκεριδίων και πρωτεϊνών. Στις αντιδράσεις αυτές καταναλώνονται διάφορες ποσότητες ενέργειας.

## ΚΑΤΑΒΟΛΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ



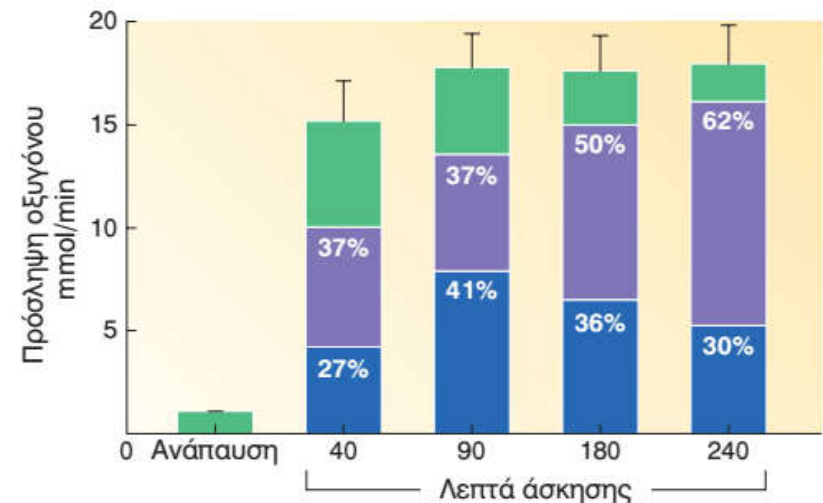
# Αρχές αξιοποίησης των ενεργειακών υποστρωμάτων κατά την άσκηση

- ομοιόσταση γλυκόζης
- αποδοτικότερο υπόστρωμα
- εξοικονόμηση γλυκογόνου

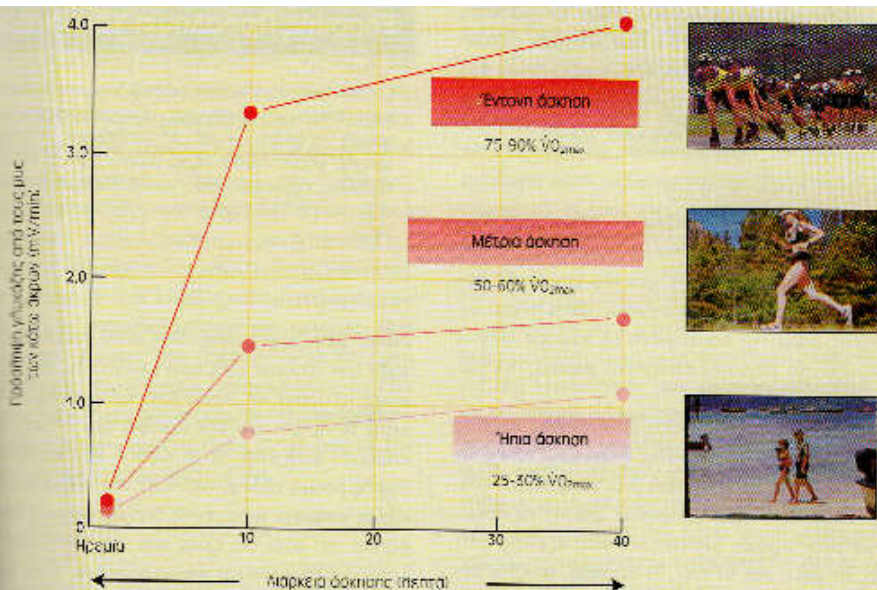
Σχέση της χρήσης καυσίμων με τη διάρκεια της άσκησης

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ

- Ενδομυϊκοί CHO + Λίπη
- FFA
- Γλυκόζη



Η συμβολή των ελεύθερων λιπαρών οξέων (FFA) και της γλυκόζης αίματος στη συνολική πρόσληψη οξυγόνου από το ασκούμενο άκρο, όπως προσδιορίζεται με την τεχνική της αρτηριοφλεβικής διαφοράς.



● **ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2** Η απόδοση του ενεργειακού μεταβολισμού των υδατανθράκων και ελεύθερων λιπαρών οξέων σε σχέση με την ένταση και διάρκεια της άσκησης

**Μεταβολική απόδοση**

Οι υδατάνθρακες (CHO) προτιμώνται στην άσκηση υψηλής έντασης, επειδή ο μεταβολισμός τους αποδίδει περισσότερη ενέργεια ανά λίτρο  $O_2$  συγκριτικά με το μεταβολισμό των λιπών.

	<b>kcal/L <math>O_2</math></b>
Αναερόβια γλυκόλυση	Παράγεται ενέργεια χωρίς να χρειάζεται $O_2$
Πλήρης οξειδωση των CHO	5,05
Οξειδωση λιπών	4,74

**Δυνατότητα Αποθήκευσης**

Τα λίπη προτιμώνται στην παρατεταμένη άσκηση επειδή ο μεταβολισμός τους παρέχει περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα μάζας συγκριτικά με το μεταβολισμό των CHO.

	<b>kcal/g καυσίμου</b>
Οξειδωση των CHO	4,10
Οξειδωση λιπών	9,45

Τα λίπη αποθηκεύονται σε απουσία  $H_2O$ , γεγονός που βελτιώνει τη δυνατότητα αποθήκευσης.

# Ρύθμιση της γλυκόζης αίματος κατά την άσκηση: ο ρόλος της έντασης και της διάρκειας

Άσκηση ελαφριάς έως μέτριας έντασης  
διάρκεια < 90 λεπτά



Άσκηση υψηλής έντασης (π.χ. σπριντ)



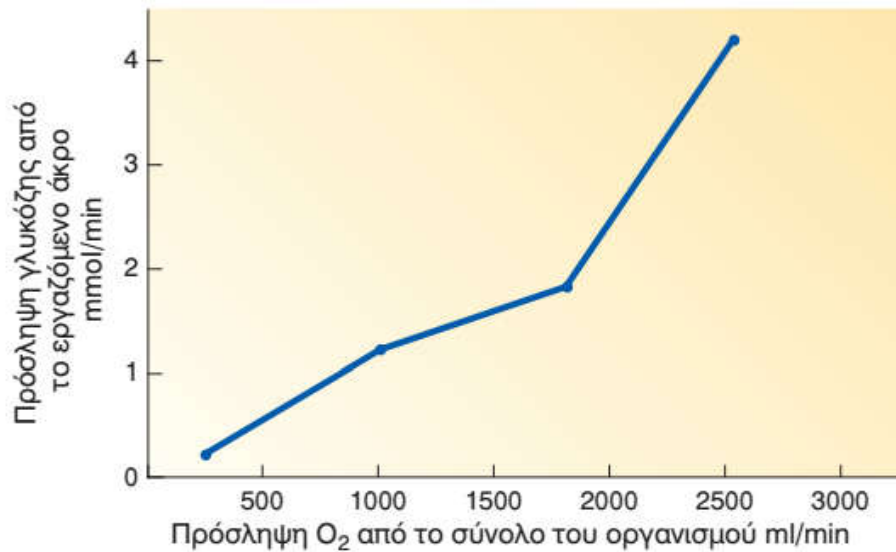
Παρατεταμένη άσκηση (π.χ. μαραθώνιος)



Η απελευθέρωση γλυκόζης από το ήπαρ στο αίμα, κανονικά αυξάνεται για να συμβαδίζει με την αύξηση της κατανάλωσης της γλυκόζης αίματος στους ασκούμενους μυς (επάνω). Ωστόσο, σε ακραίες συνθήκες άσκησης και σε ορισμένες νόσους, η ομοίωση της γλυκόζης του αίματος μπορεί να διαταραχθεί. Απόκριση της γλυκόζης αίματος σε άσκηση υψηλής έντασης (μέσον) και σε προχωρημένο στάδιο παρατεταμένης άσκησης (κάτω).

# Μεταβολική σύζευξη κατά την άσκηση

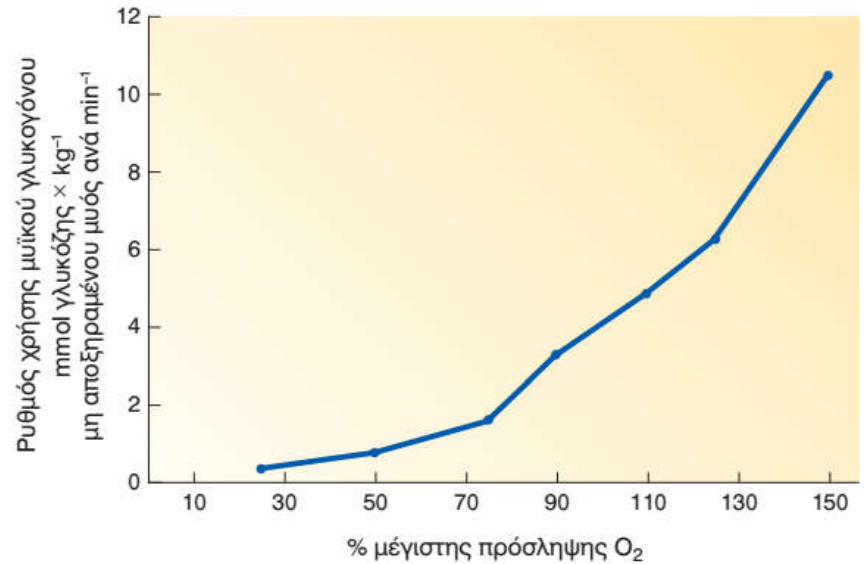
## Πρόσληψη γλυκόζης από τους μυς κατά την άσκηση αυξανόμενης έντασης



Ο ρυθμός πρόσληψης γλυκόζης από τους ασκούμενους μυς σε ποδηλασία αυξανόμενης έντασης, εκφρασμένος ως πρόσληψη οξυγόνου από το σύνολο του οργανισμού.

Η πρόσληψη γλυκόζης στα κάτω άκρα μετρήθηκε με την τεχνική της αρτηριοφλεβικής διαφοράς.

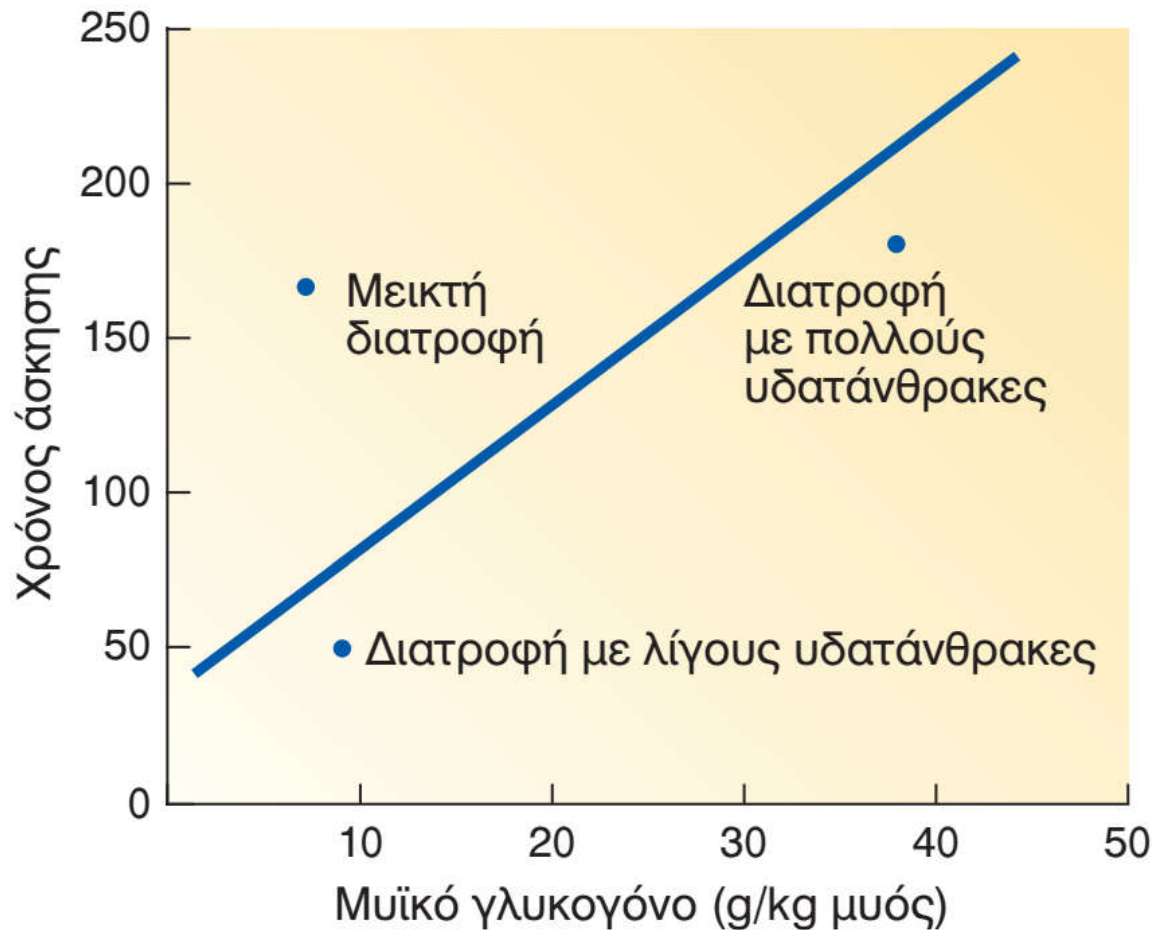
## Χρήση του μυϊκού γλυκογόνου κατά την άσκηση αυξανόμενης έντασης



Ρυθμός χρήσης του μυϊκού γλυκογόνου σε άσκηση αυξανόμενης έντασης εκφρασμένος ως ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.

Τα στοιχεία προήλθαν από μυϊκές βιοψίες του έξω πλατέος μηριαίου μύος από γυμνασμένα άτομα.

# Η σχέση των αποθεμάτων μυϊκού γλυκογόνου με την αντοχή στην άσκηση



Υπάρχει στενή σχέση ανάμεσα στο μυϊκό γλυκογόνο πριν την άσκηση και το χρόνο που μεσολαβεί μέχρι τη σωματική εξάντληση.

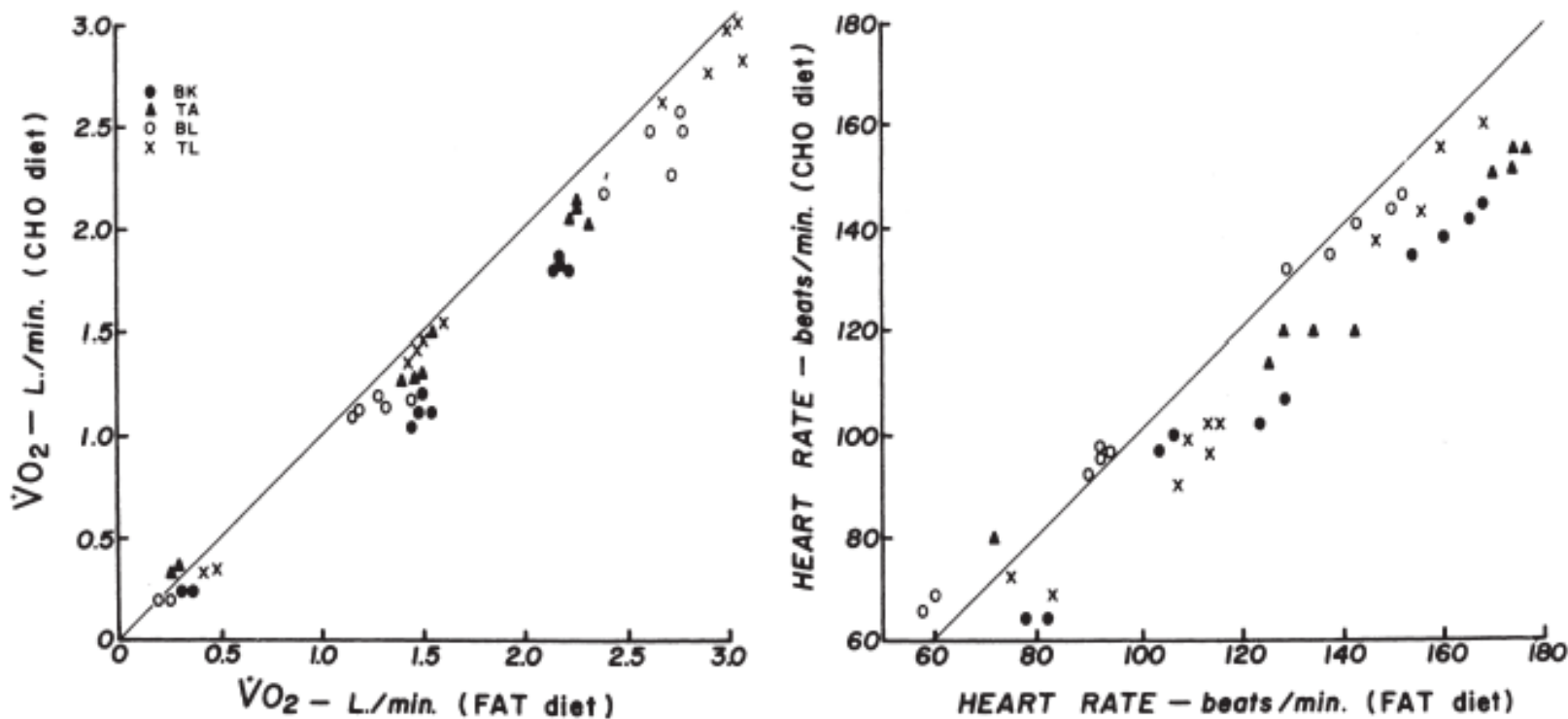
Για μία εβδομάδα πριν την άσκηση, οι συμμετέχοντες υιοθέτησαν μία από τις παρακάτω δίαιτες: χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες/πλούσια σε λίπος, μεικτή δίαιτα, υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες/φτωχή σε λίπος.

(Τροποποιημένο από [Bergstrom J., L. Hermansen, E. Hultman, και B. Saltin, 1967](#)).



# Μεταβολική-Καρδιαναπνευστική σύζευξη κατά την άσκηση

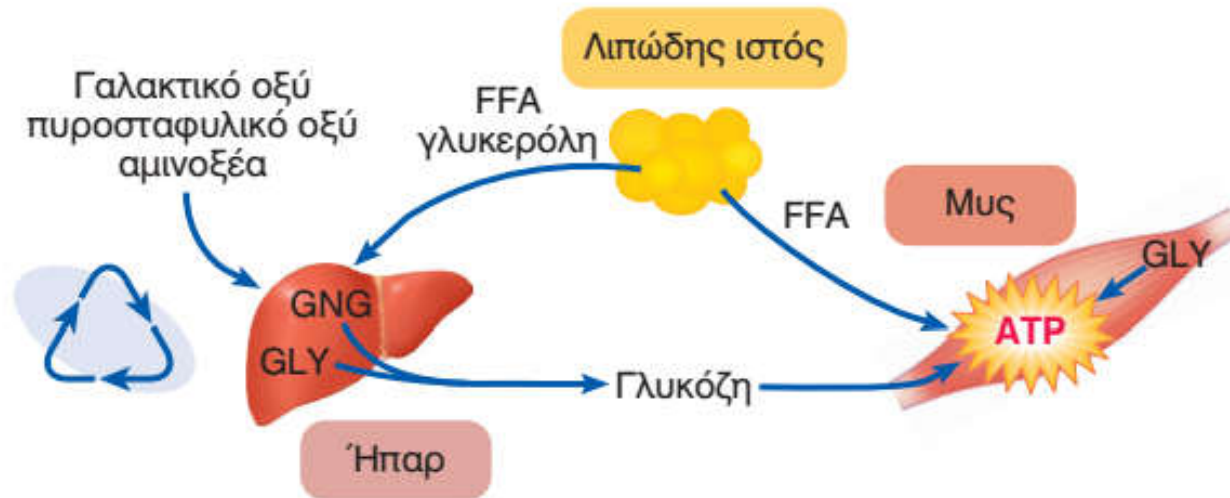
## Effect of dietary substrate on oxygen consumption and heart rate during exercise



Studies were done on four subjects at rest and during two levels of exercise after 3 days on a high-carbohydrate diet (respiratory quotient [RQ] at rest = 0.97) and 3 days on a high-fat diet (RQ at rest = 0.75). The oxygen consumption is higher on the high-fat diet than on the high-carbohydrate diet during the performance of a given work rate, because the high-energy phosphate yield from fat is less than that from carbohydrate for a given  $O_2$  cost. Heart rate also during exercise is higher on the high-fat diet than on the high-carbohydrate diet, reflecting the link between oxygen consumption and cardiac output.

# Μεταβολικές οδοί για τη διατήρηση του μυϊκού γλυκογόνου

Κατά την παρατεταμένη άσκηση, χρησιμοποιούνται άλλα καύσιμα για να εξοικονομηθεί το γλυκογόνο καθυστερώντας έτσι τη σωματική εξουθένωση



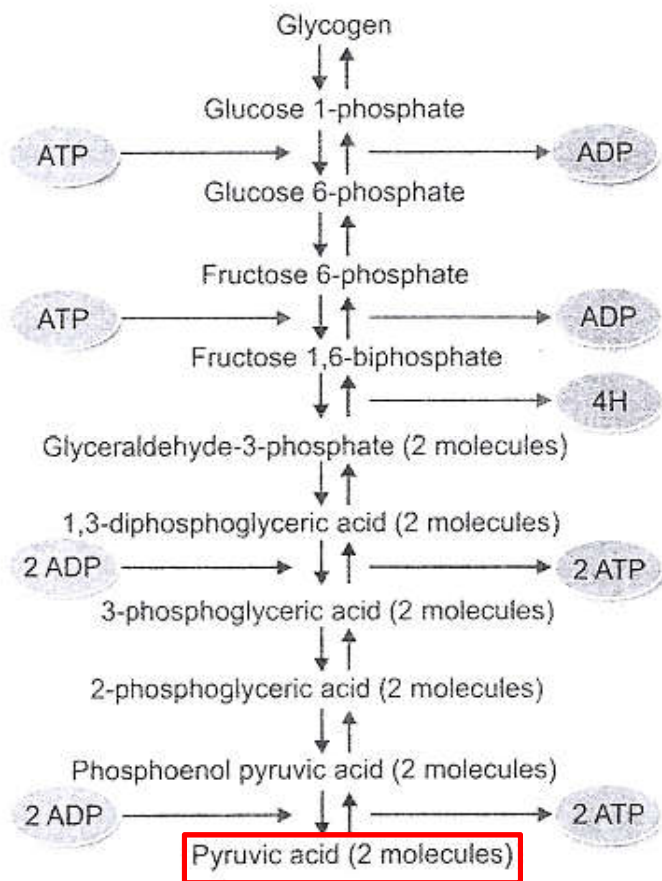
Όσο αυξάνεται η διάρκεια της άσκησης:

- Παράγεται περισσότερη ενέργεια από λίπη και λιγότερη από γλυκογόνο.
- Οι άνθρακες από τα αμινοξέα, τη γλυκερόλη, το γαλακτικό οξύ και το πυροσταφυλικό οξύ ανακυκλώνονται σε γλυκόζη.

ATP: τριφωσφορική αδενοσίνη. GLY: Γλυκόζη. GNG: Γλυκονεογένεση

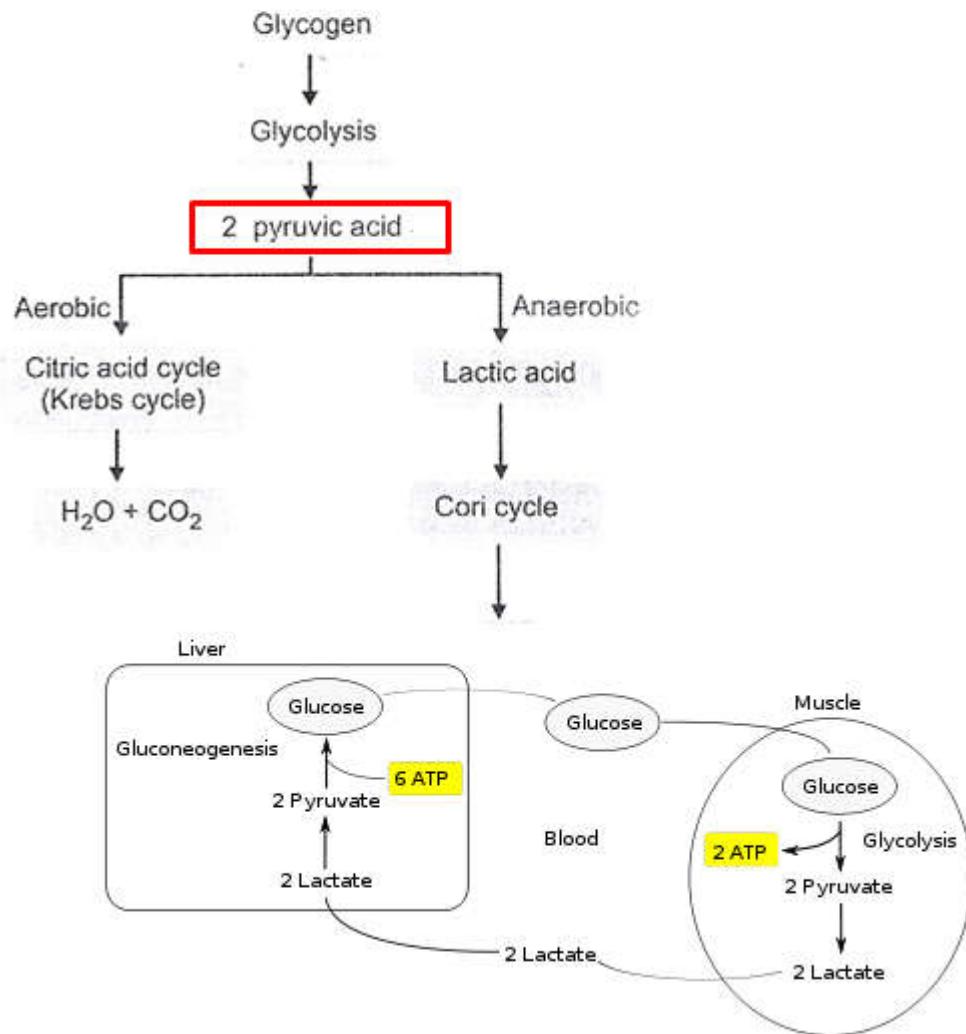
# Μεταβολισμός υδατανθράκων

Glycolysis/Embden-Meyerhof pathway



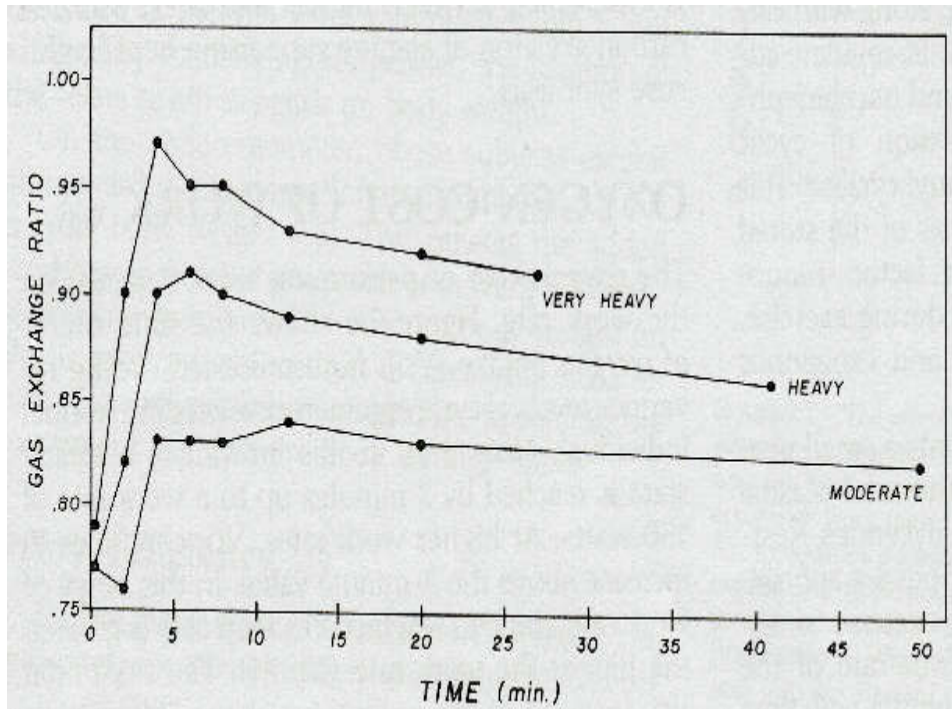
Number of ATP molecules formed in this pathway:  
 Total ATP formed = 4 molecules  
 Loss of ATP during phosphorylation = 2 molecules  
 Net ATP formed during glycolysis = 2 molecules

Schematic diagram showing carbohydrate metabolism in muscle



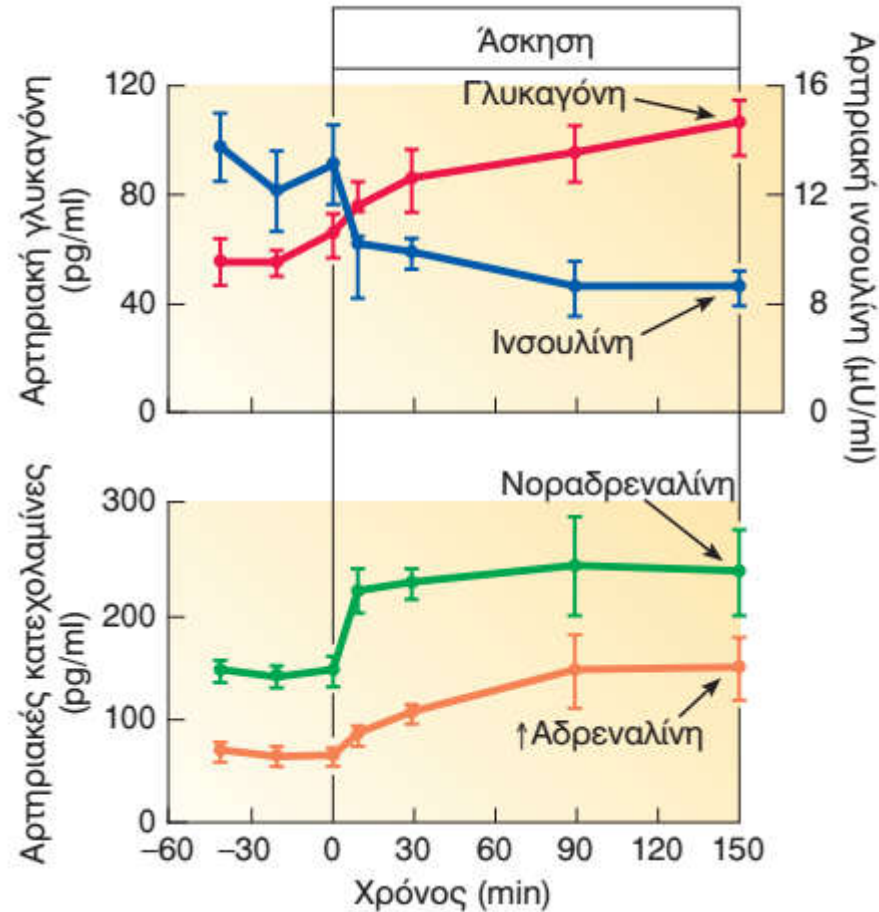
## Συνεισφορά ενεργειακών υποστρωμάτων – Παραγόμενη ενέργεια ανά $l/O_2$

Πηλίκo ανταλλαγής αερίων



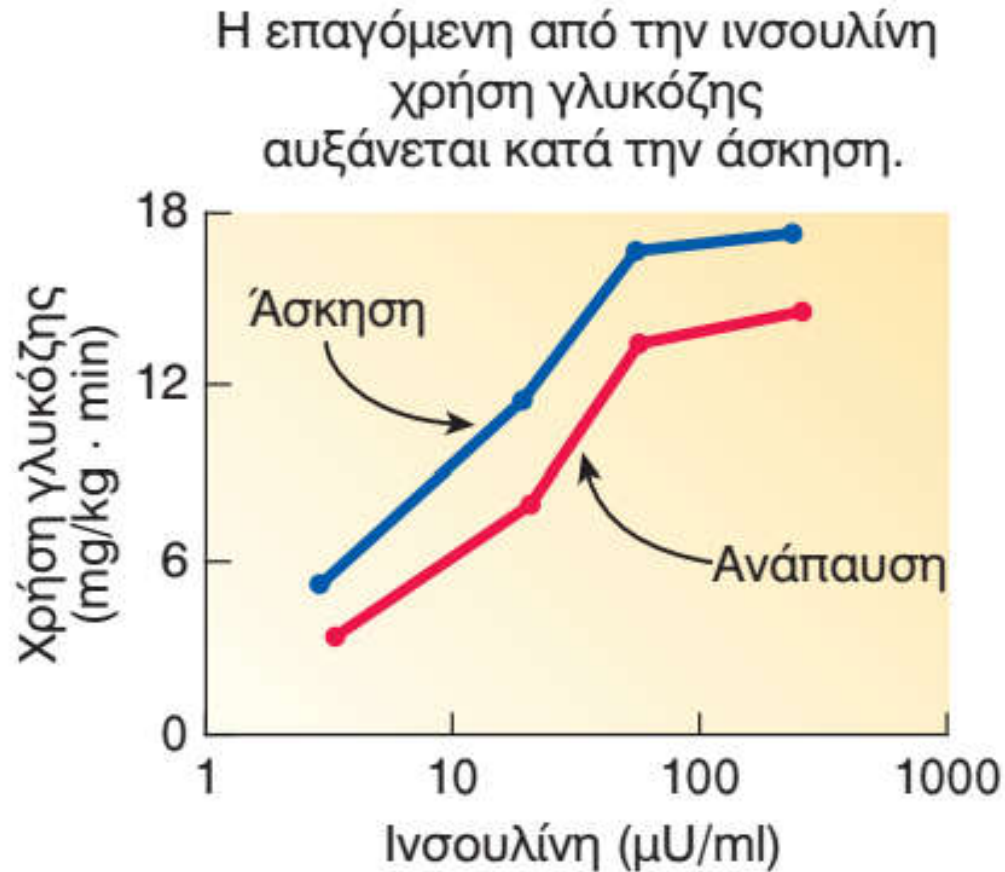
RER	kcal/ $lO_2$	%CHO	%FAT
0,707	4,686	0%	100%
0,71	4,69	1%	99%
0,72	4,702	5%	95%
0,73	4,714	8%	92%
0,74	4,727	12%	88%
0,75	4,739	16%	84%
0,76	4,75	19%	81%
0,77	4,764	23%	77%
0,78	4,776	26%	74%
0,79	4,788	30%	70%
0,8	4,801	33%	67%
0,81	4,813	37%	63%
0,82	4,825	40%	60%
0,83	4,838	44%	56%
0,84	4,85	47%	53%
0,85	4,862	51%	49%
0,86	4,875	54%	46%
0,87	4,887	58%	43%
0,88	4,899	61%	39%
0,89	4,911	64%	36%
0,9	4,924	68%	33%
0,91	4,936	71%	29%
0,92	4,948	74%	26%
0,93	4,961	77%	23%
0,94	4,973	81%	19%
0,95	4,985	84%	16%
0,96	4,998	87%	13%
0,97	5,01	90%	10%
0,98	5,022	94%	6%
0,99	5,035	97%	3%
1	5,047	100%	0%

# Αποκρίσεις σημαντικών γλυκορυθμιστικών ορμονών σε παρατεταμένη άσκηση μέτριας έντασης



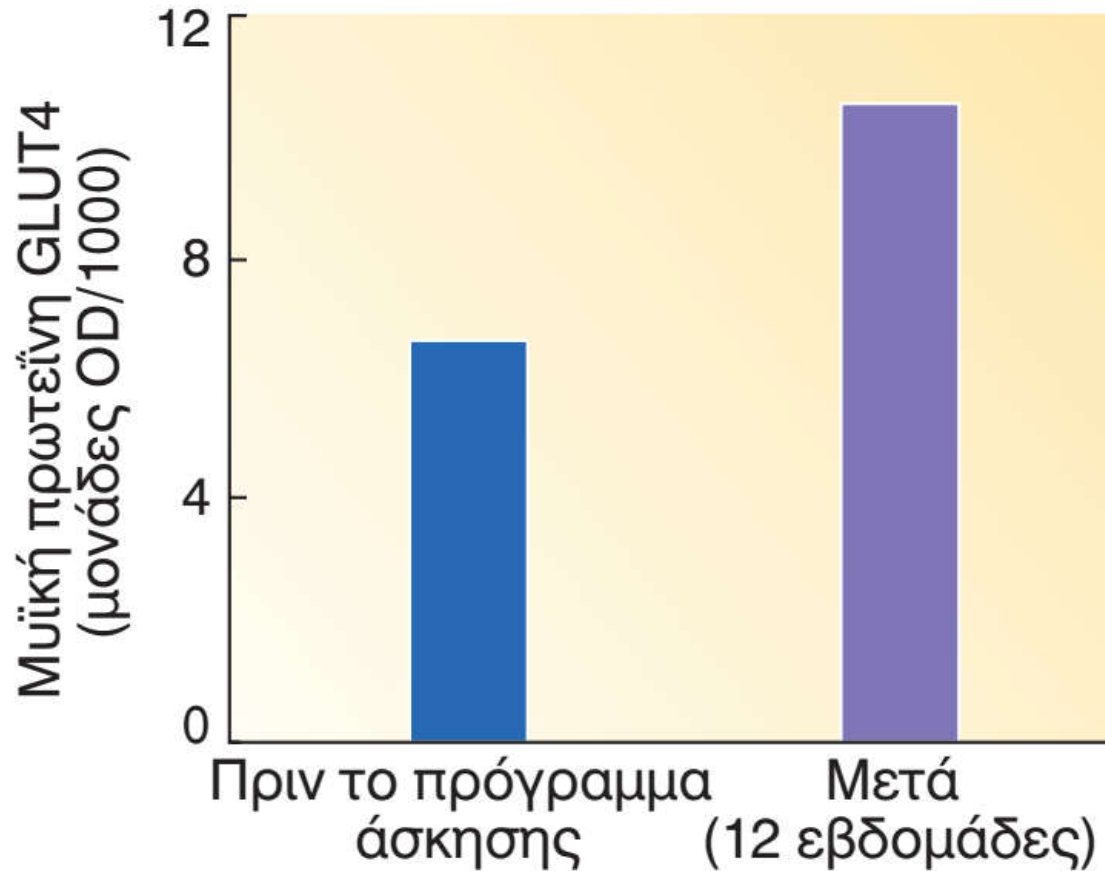
Τα επίπεδα ινσουλίνης πλάσματος μειώνονται σταδιακά, ενώ τα επίπεδα γλυκαγόνης, αδρεναλίνης και νοραδρεναλίνης αυξάνονται.

# Μεταβολική σύζευξη κατά την άσκηση



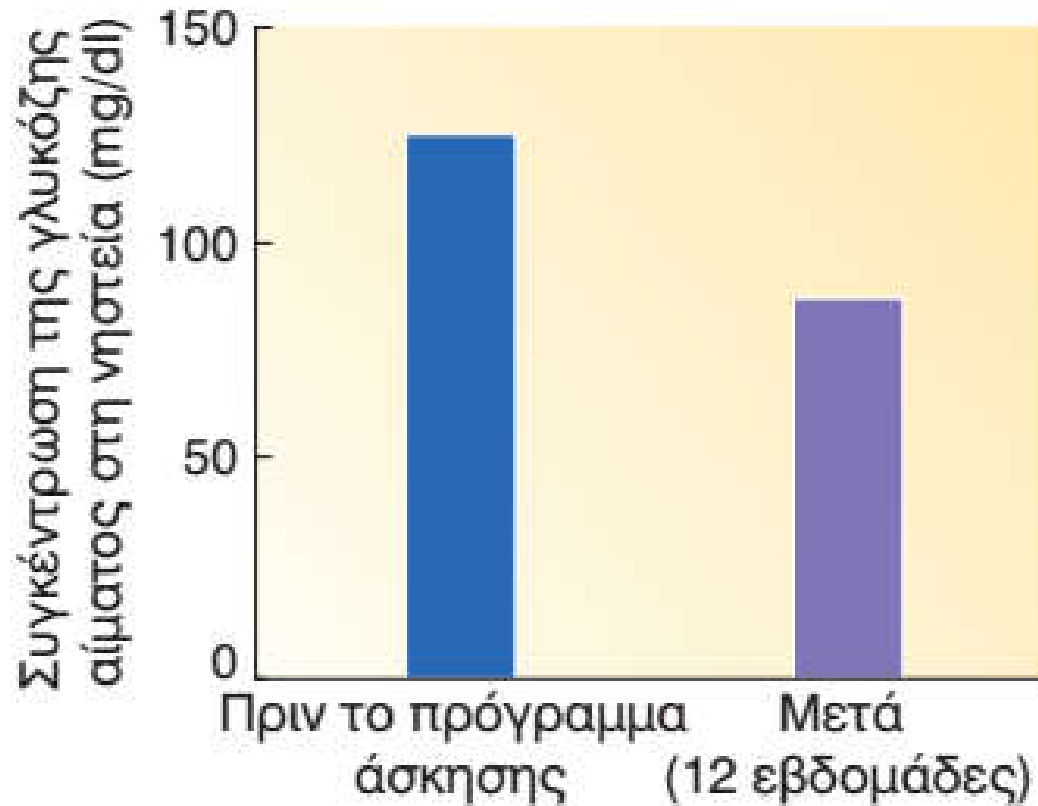
Η χρήση της γλυκόζης κατά την άσκηση σε συνάρτηση με τέσσερις διαφορετικές συγκεντρώσεις ινσουλίνης. **Η άσκηση προκαλεί μία μετατόπιση της καμπύλης δόσης-απόκρισης προς τα αριστερά, δηλ. η δράση της ινσουλίνης ενισχύεται στη διάρκεια της άσκησης από την ίδια την άσκηση.**

## Έκφραση του GLUT4 στους σκελετικούς μυς λόγω τακτικής σωματικής δραστηριότητας



Η έκφραση του GLUT4 στους προπονημένους μυς αυξάνεται μετά από πρόγραμμα άσκησης 12 εβδομάδων. Ο GLUT4 είναι μία πρωτεΐνη απαραίτητη προκειμένου να διεγείρει η ινσουλίνη την πρόσληψη γλυκόζης από τους σκελετικούς μυς.  
*OD, Οπτική πυκνότητα (Optical Density).*

## Η σχέση της σωματικής δραστηριότητας με τα επίπεδα γλυκόζης αίματος στη νηστεία



Ένα πρόγραμμα τακτικής άσκησης μπορεί να επιφέρει μείωση της γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης και της γλυκόζης νηστείας σε άτομα με διαβήτη τύπου 2. Και οι δύο αυτές παράμετροι είναι δείκτες του ελέγχου της γλυκόζης.



# Πρόληψη υπογλυκαιμίας και υπεργλυκαιμίας κατά την άσκηση

## Πριν την άσκηση

1. Εκτίμηση έντασης, διάρκειας και ενεργειακών απαιτήσεων της άσκησης.
2. Λήψη ενός γεύματος 1-3 ώρες πριν την άσκηση.
3. Χορήγηση ινσουλίνης ανάλογα με τις αναμενόμενες ανάγκες.
  - a. Χορήγηση ινσουλίνης >1 ώρα πριν την άσκηση ούτως ώστε η κορύφωση της δράσης της ινσουλίνης να μην συμπίπτει με το χρονικό διάστημα της άσκησης.
  - β. Μείωση της δόσης ινσουλίνης για αντιστάθμιση της αυξημένης ινσουλινικής δράσης κατά την άσκηση.
4. Εκτίμηση μεταβολικού ελέγχου.
  - a. Αν η γλυκόζη αίματος είναι <5 mmol/L (90 mg/dl), μάλλον θα χρειαστούν επιπλέον θερμίδες πριν την άσκηση.
  - β. Αν η γλυκόζη αίματος είναι 5-15 mmol/L (90-270 mg/dl), μάλλον δεν θα χρειαστούν επιπλέον θερμίδες πριν την άσκηση.
  - γ. Αν η γλυκόζη αίματος είναι >15 mmol/L (270 mg/dl), συνιστάται αναβολή της άσκησης για αργότερα και μέτρηση κετονικών σωμάτων στα ούρα.
    - I. Αν τα κετονικά σώματα στα ούρα είναι αρνητικά, η άσκηση μπορεί να πραγματοποιηθεί και δεν απαιτούνται επιπλέον θερμίδες.
    - II. Αν τα κετονικά σώματα στα ούρα είναι θετικά, συνιστάται λήψη ινσουλίνης και αναβολή της άσκησης μέχρι ότου εξαλειφθούν τα κετονικά σώματα.
5. Η ινσουλίνη δεν πρέπει να ενίεται στα ασκούμενα μέλη του σώματος.

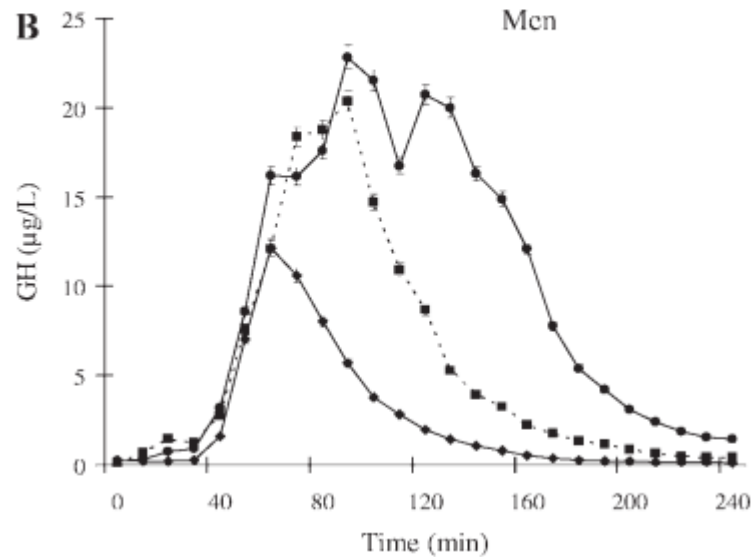
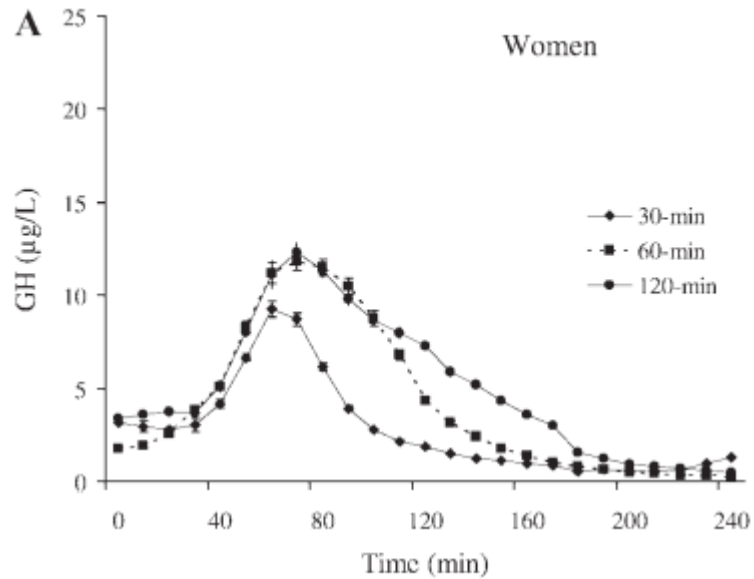
## Κατά την άσκηση

1. Παρακολούθηση γλυκόζης αίματος αν η άσκηση διαρκεί πολύ.
2. Επαρκής αναπλήρωση της απώλειας υγρών.
3. Λήψη συμπληρωματικού γεύματος με υδατάνθρακες (30-40 g για ενήλικες, 15-25 g για παιδιά) ανά 30 λεπτά για παρατεταμένες περιόδους άσκησης, αν χρειάζεται.

## Μετά την άσκηση

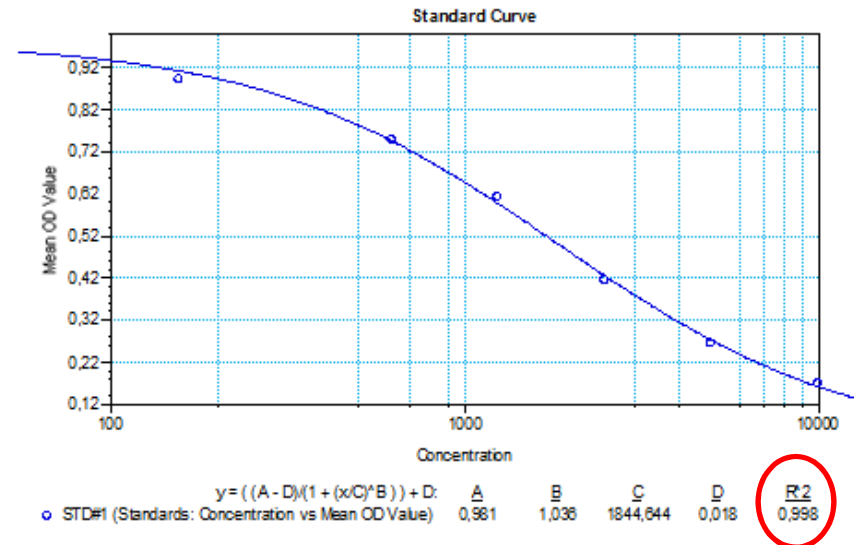
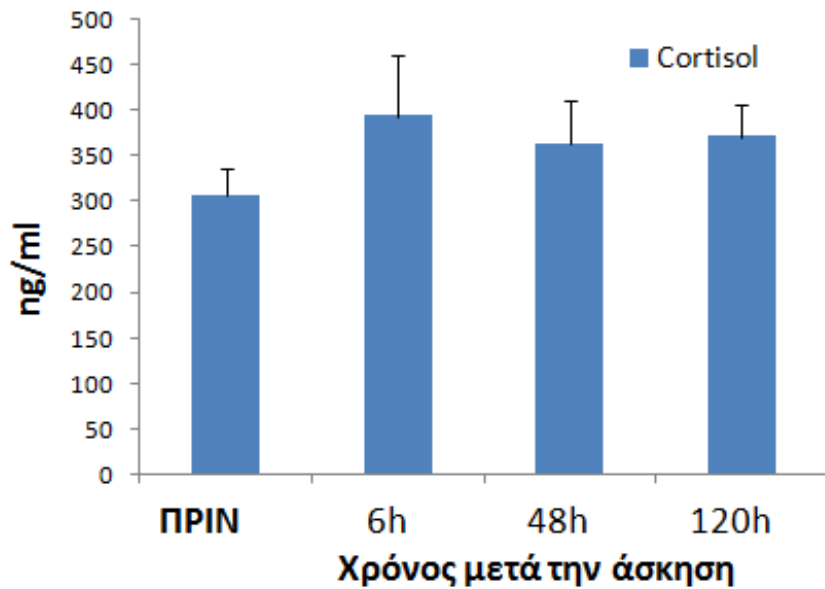
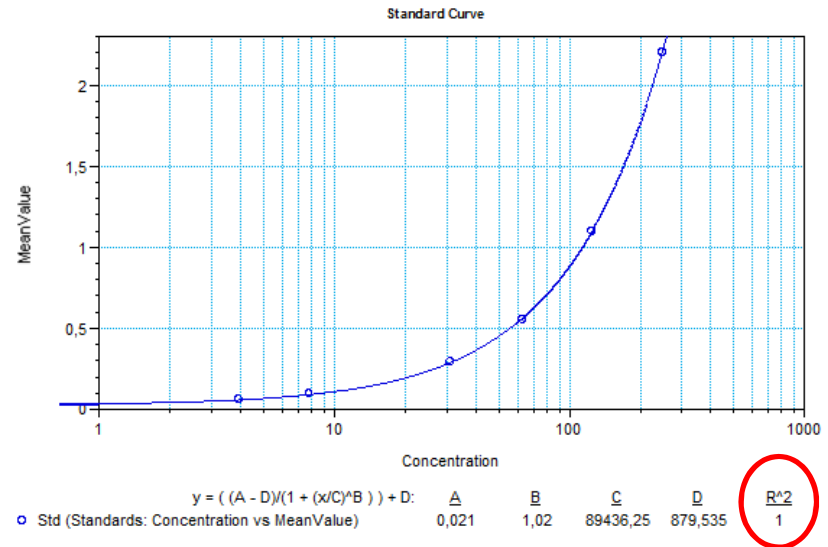
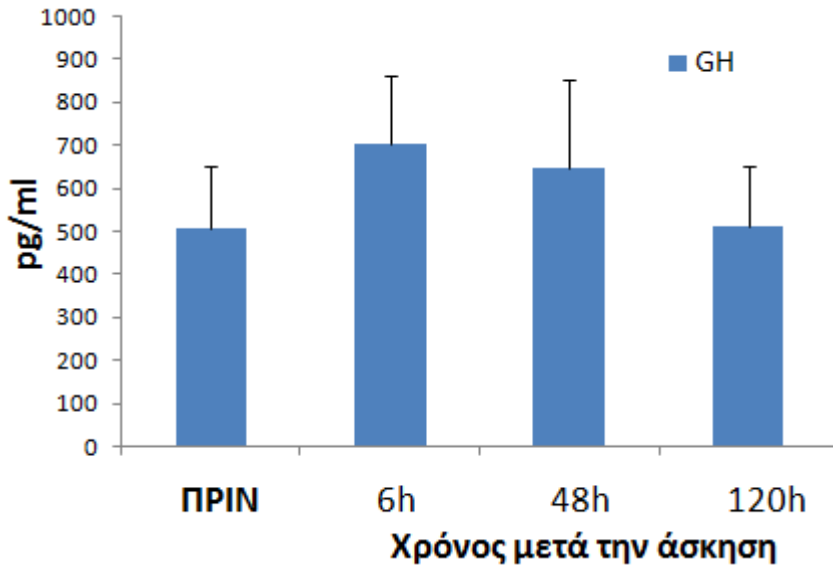
1. Παρακολούθηση γλυκόζης αίματος, ακόμη και τη νύχτα, εάν η ποσότητα άσκησης ήταν μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη.
2. Προσαρμογή της δόσης ινσουλίνης ώστε να ελαττωθεί η άμεση και η όψιμη δράση της ινσουλίνης (τα σχήματα εντατικής ινσουλινοθεραπείας παρέχουν αυξημένη ευελιξία στη ρύθμιση των δόσεων ινσουλίνης).
3. Αύξηση προσλαμβανόμενων θερμίδων για 12 – 24 ώρες μετά την άσκηση, ανάλογα με την ένταση και την διάρκεια της άσκησης και με τον κίνδυνο υπογλυκαιμίας.

# Ασκησιογενείς ορμονικές αποκρίσεις



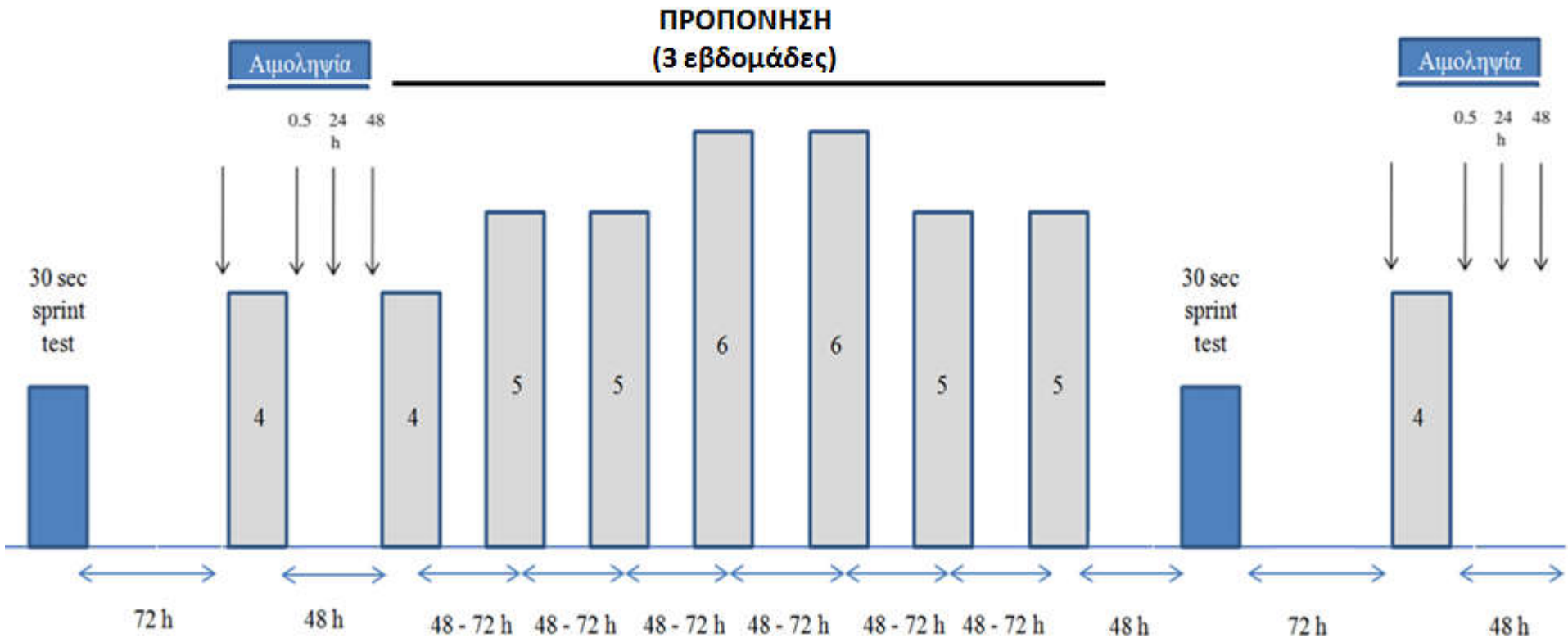
When exercise intensity is constant, exercise duration significantly increases GH and that this relationship is sex-dependent.

# Ορμονικές αποκρίσεις μετα από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη

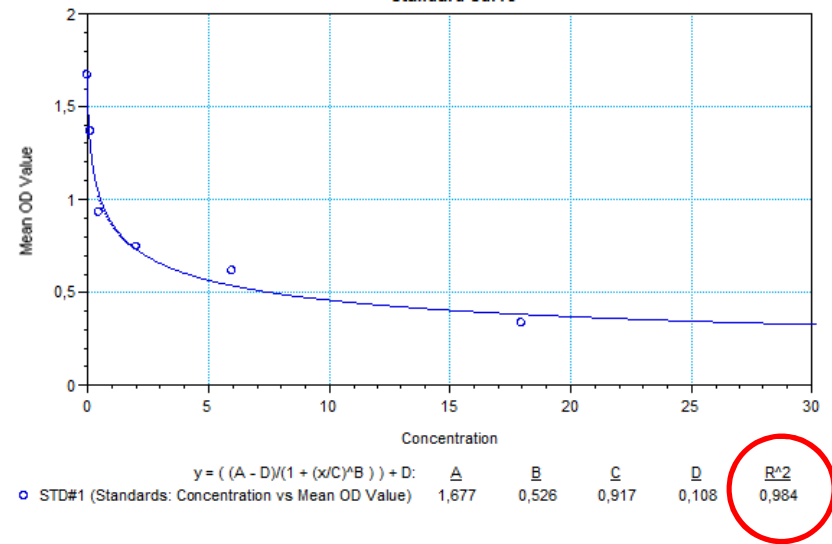
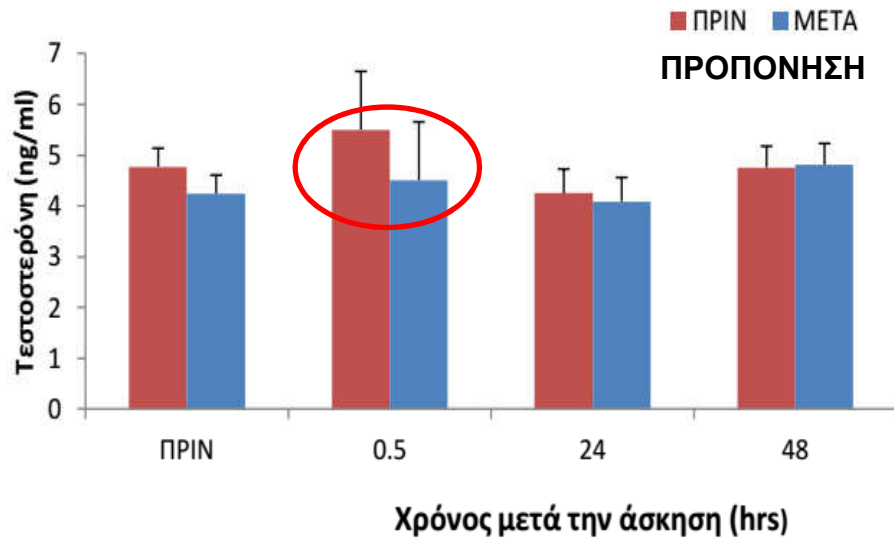


(Μέσος όρος ± τυπικό σφάλμα του μέσου, n=10. One-way ANOVA,  $p > 0.05$ ) Πρότυπες καμπύλες αναφοράς της ELISA για GH και κορτιζόλη

# Ορμονικές αποκρίσεις μετα από ΗΙIT



# Ορμονικές αποκρίσεις μετα από ΗΙΤ

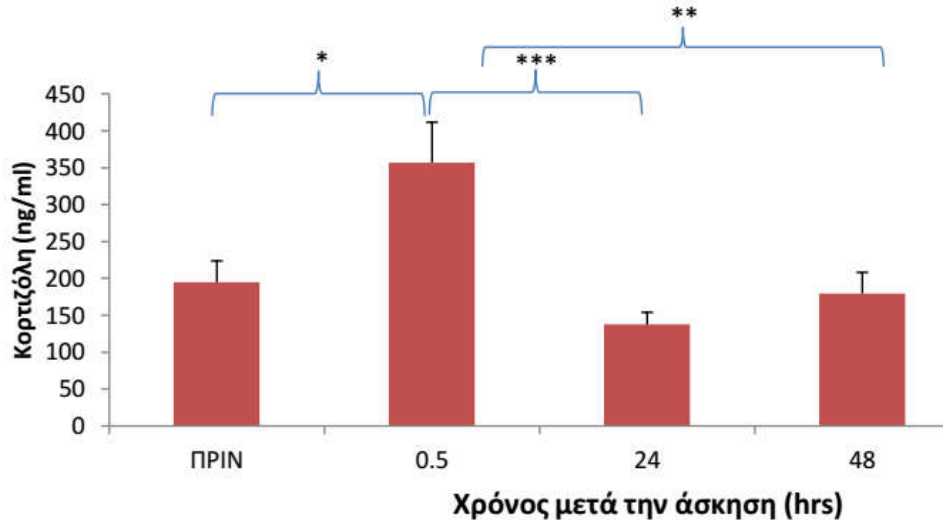


Επίπεδα της τεστοστερόνης σε διαφορετικά χρονικά σημεία πριν και μετά από μία συνεδρία άσκησης ΗΙΤ, καθώς και μετά από αντίστοιχη προπόνηση 3 εβδομάδων (Μέσος όρος ± τυπικό σφάλμα του μέσου, n=8. Two-way ANOVA, p>0.05).

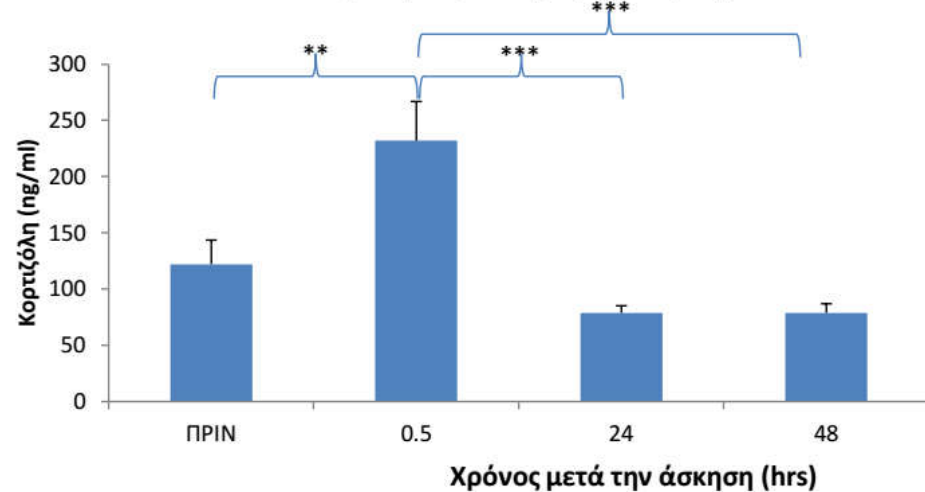
Πρότυπη καμπύλη αναφοράς της ELISA για την τεστοστερόνη

# Ορμονικές αποκρίσεις μετα από ΗΙΤ

Πριν τις 3 εβδομάδες προπόνησης

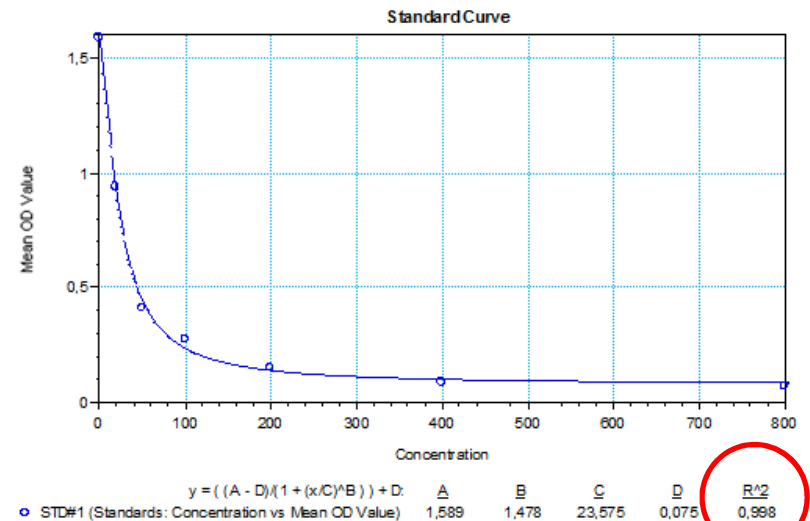


Μετά τις 3 εβδομάδες προπόνησης

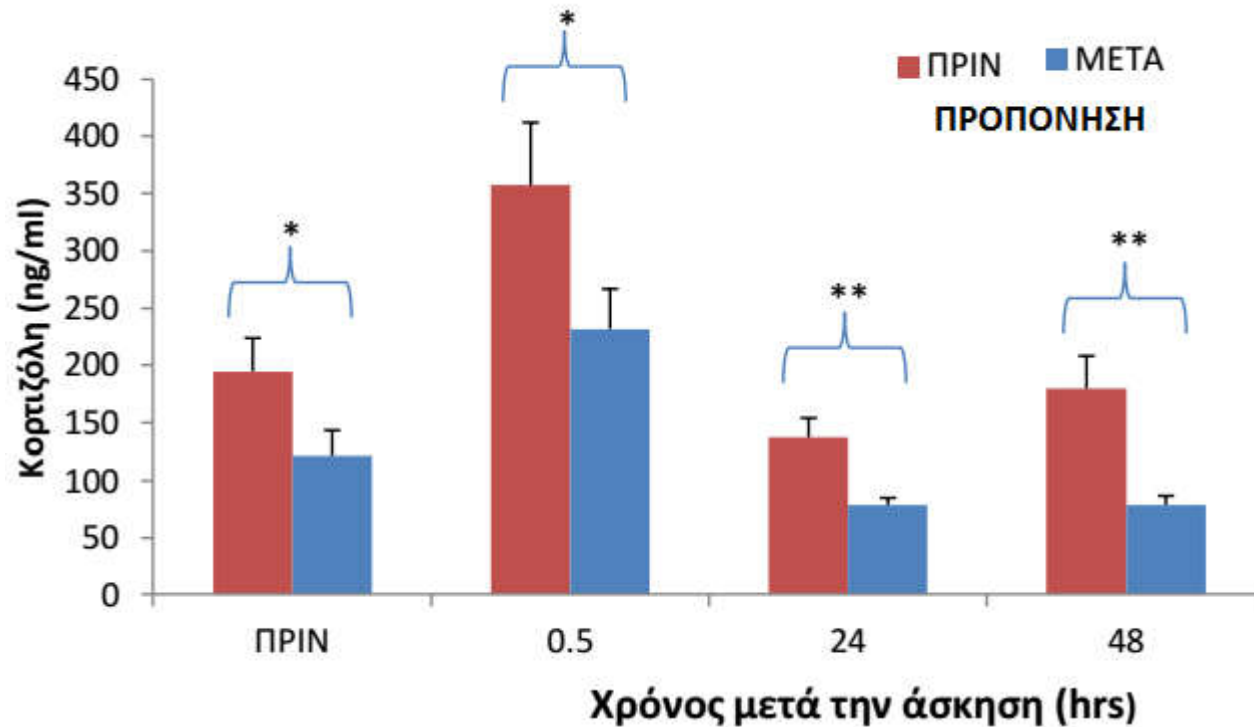


Μεταβολές της κορτιζόλης σε διαφορετικά χρονικά σημεία μετά από μία συνεδρία άσκησης ΗΙΤ, πριν και μετά από αντίστοιχη προπόνηση 3 εβδομάδων (Μέσος όρος  $\pm$  τυπικό σφάλμα του μέσου, n=8. One-way ANOVA, \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ ).

Πρότυπη καμπύλη αναφοράς της ELISA για την κορτιζόλη

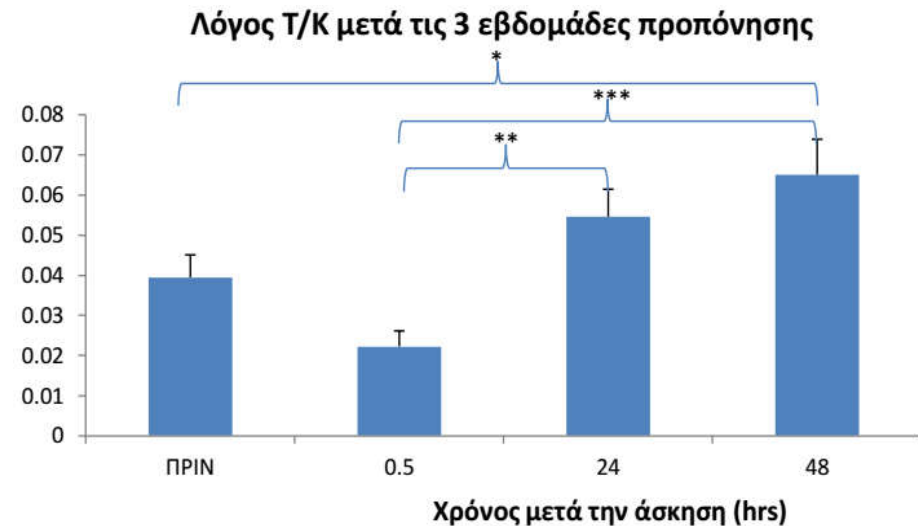
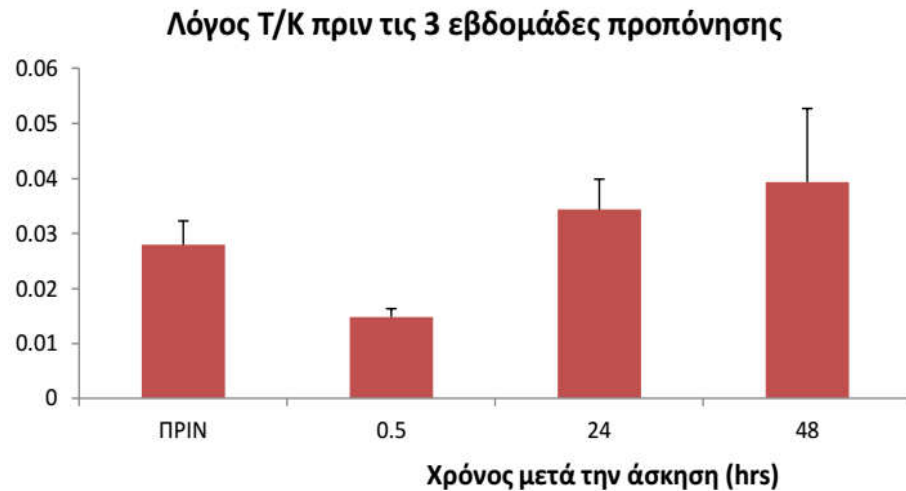


# Ορμονικές αποκρίσεις μετα από ΗΙΤ



Επίπεδα της κορτιζόλης σε διαφορετικά χρονικά σημεία πριν και μετά από μία συνεδρία άσκησης ΗΙΤ, καθώς και μετά από αντίστοιχη προπόνηση 3 εβδομάδων (Μέσος όρος  $\pm$  τυπικό σφάλμα του μέσου,  $n=8$ . Two-way ANOVA, \*:  $p<0.05$ , \*\*:  $p<0.01$ ).

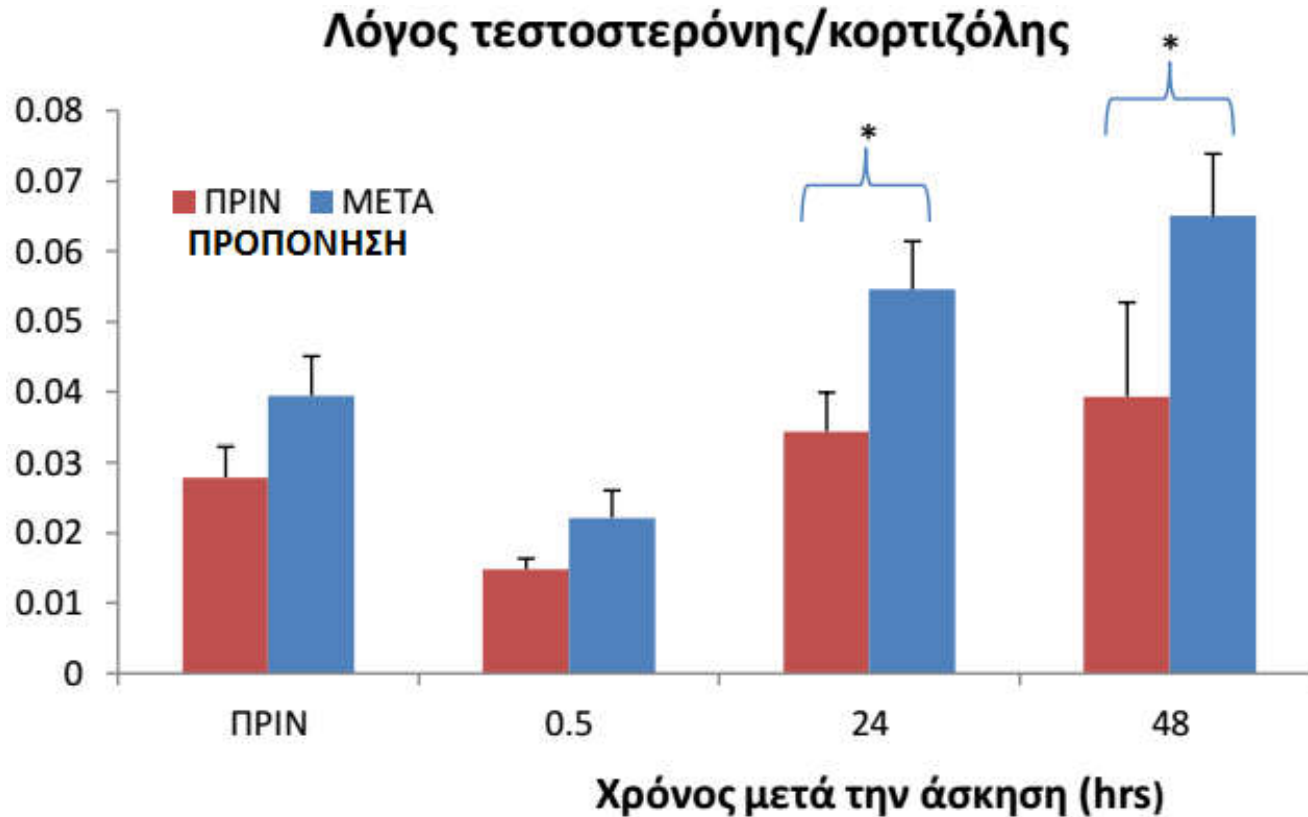
# Ορμονικές αποκρίσεις μετα από ΗΙIT



Μεταβολές του λόγου τεστοστερόνης/κορτιζόλης (T/K) σε διαφορετικά χρονικά σημεία μετά από μία συνεδρία άσκησης ΗΙIT, πριν και μετά από αντίστοιχη προπόνηση 3 εβδομάδων (Μέσος όρος  $\pm$  τυπικό σφάλμα του μέσου, n=8. One-way ANOVA, \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ ).



# Ορμονικές αποκρίσεις μετα από ΗΙΤ



Λόγος τεστοστερόνης/κορτιζόλης (T/K) σε διαφορετικά χρονικά σημεία πριν και μετά από μία συνεδρία άσκησης ΗΙΤ, καθώς και μετά από αντίστοιχη προπόνηση 3 εβδομάδων (Μέσος όρος  $\pm$  τυπικό σφάλμα του μέσου, n=8. Two-way ANOVA, \*:  $p < 0.05$ ).

