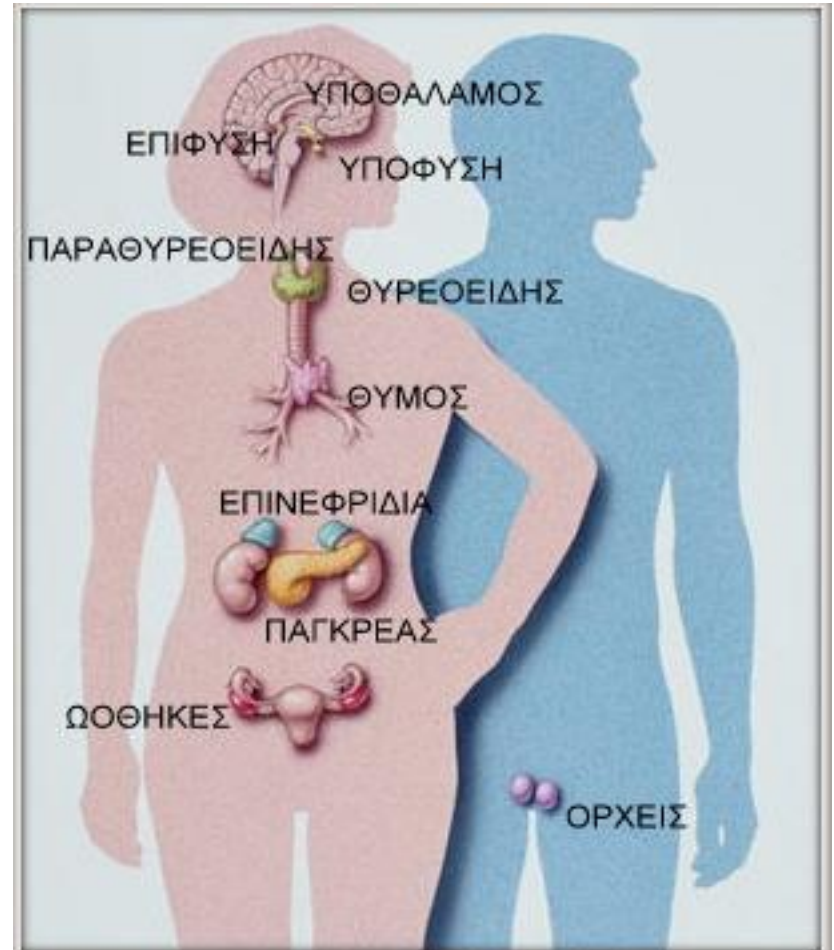


# 10<sup>0</sup> ΜΑΘΗΜΑ: ΕΝΔΟΚΡΙΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ – ΟΡΜΟΝΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ & ΑΣΚΗΣΗ



# Ενδοκρινικό σύστημα

- Ενδοκρινικό σύστημα
- Θέσεις κύριων ενδοκρινών αδένων



# Ενδοκρινικό σύστημα

Αποτελείται από:

- **αδένα**
- **ορμόνη**
- **όργανο στόχο ή υποδοχέα**

# Ορμόνες

- Είναι **χημικά μόρια – ‘μηνύματα’**
- παράγονται από τους **ενδοκρινείς αδένες**
- απελευθερώνονται στην **κυκλοφορία του αίματος**
- κατευθύνονται σε συγκεκριμένα **κύτταρα στόχους**  
**και**
- συντονίζουν την συμπεριφορά τους

# Ορμόνες

- Ρυθμίζουν την αύξηση, την ανάπτυξη, το μεταβολισμό, την αναπαραγωγή και ενισχύουν την ικανότητα του οργανισμού να αντεπεξέρχεται τόσο στο σωματικό όσο και το ψυχικό στρες.
- Διατηρούν την ομοιοστασία παρεμβαίνοντας διορθωτικά σε οποιαδήποτε διαταραχή της.

# Κατηγορίες ορμονών

- **Στεροειδείς (λιποδιαλυτές)**
- **Μη στεροειδείς (υδατοδιαλυτές)**
  - πρωτεϊνικές, πεπτιδικές
  - αμινο-ορμόνες

# Στεροειδείς ορμόνες

- Προέρχονται από τη χοληστερόλη και έχουν παρόμοια χημική διάρθρωση
- Διαχέονται εύκολα διαμέσου των μεμβρανών

Περιλαμβάνουν ορμόνες:

- Του φλοιού επινεφριδίων (κορτιζόλη, αλδοστερόνη)
- Των ωοθηκών, όρχεων (οιστρογόνα, τεστοστερόνη)
- Του πλακούντα (οιστρογόνα, προγεστερόνη)

# Μη στεροειδείς ορμόνες

- Δεν είναι λιποδιαλυτές, διαπερνούν τις κυτταρικές μεμβράνες δυσκολότερα σε σχέση με τις λιποδιαλυτές
- Παράγωγα του αμινοξέος τυροσίνη

## **Θυρεοειδικές ορμόνες**

- Θυροξίνη (T4)
- Τρι-ιωδιοθυρονίνη (T3 )

## **Κατεχολαμίνες**

- Επινεφρίνη ή αδρεναλίνη
- Νορεπινεφρίνη ή νοραδρεναλίνη



# Σύμπλεγμα ορμόνης - υποδοχέα

- Οι υποδοχείς των μη στεροειδών ορμονών βρίσκονται επάνω στην κυτταρική μεμβράνη
- Οι υποδοχείς των στεροειδών ορμονών βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα κάθε κυττάρου
- Κάθε ορμόνη είναι ειδικευμένη για έναν μόνο τύπο υποδοχέα με τον οποίο συνδέεται.

# Πως λειτουργεί μια ορμόνη;

Υπάρχουν δύο μηχανισμοί δράσης των ορμονών:

- Βιοχημική δράση
- Επίδραση στα γονίδια (ενεργοποίηση)

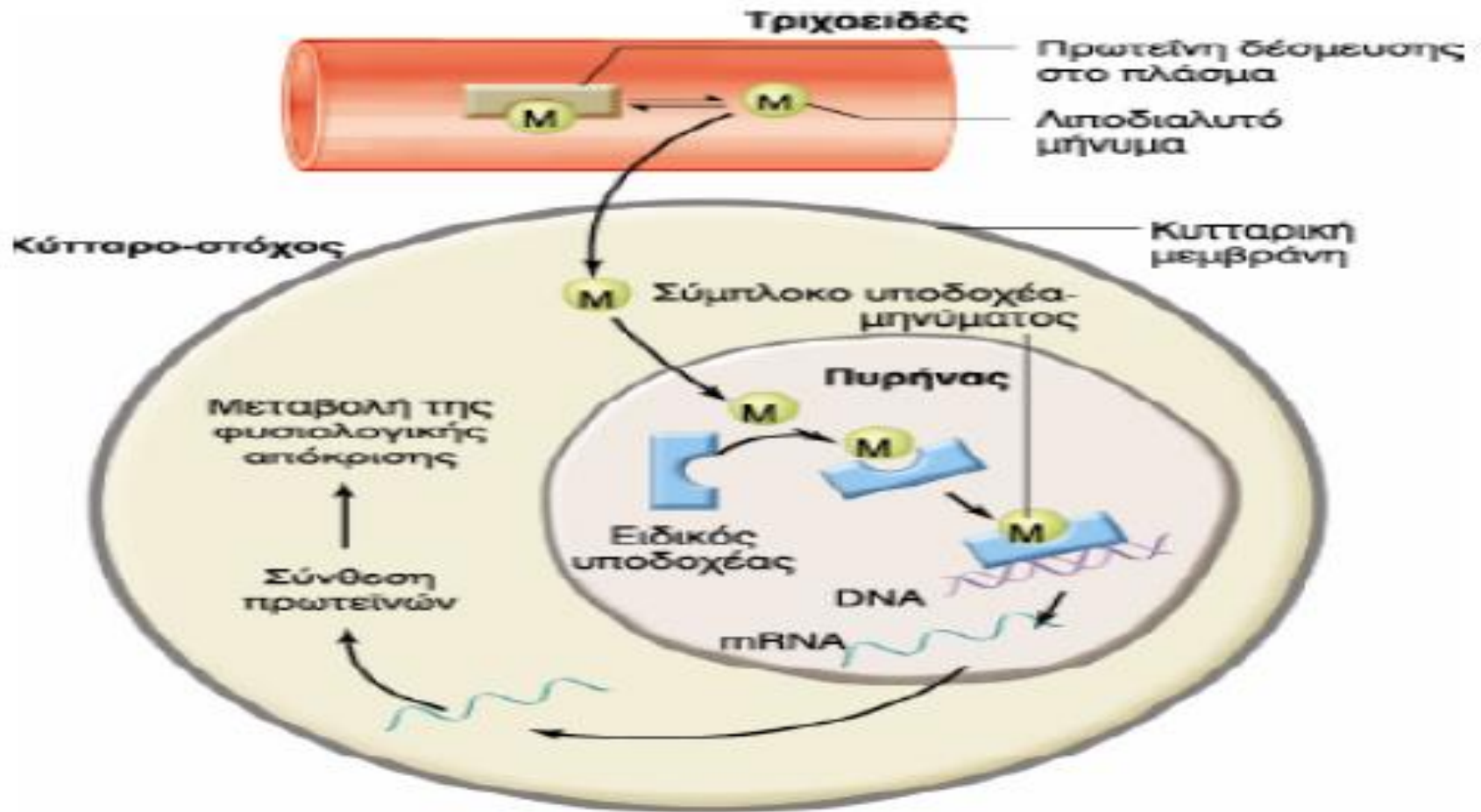
# Βιοχημική δράση

- Η ορμόνη φτάνει στο **κύτταρο-στόχο**
- Προσδένεται στον **ειδικό υποδοχέα που υπάρχει για αυτήν** στη μεμβράνη του κυττάρου-στόχου
- Η πρόσδεση αυτή ενεργοποιεί στο εσωτερικό του κυττάρου μια σειρά από **βιοχημικές αντιδράσεις που οδηγούν σε μια** συγκεκριμένη συμπεριφορά στο κύτταρο.

# Επίδραση στα γονίδια

- Η ορμόνη εισέρχεται στο εσωτερικό του κυττάρου διασχίζοντας την κυτταρική μεμβράνη
- Ενώνεται με τον **πρωτεϊνικό υποδοχέα της που βρίσκεται στο κυτταρόπλασμα**
- Μεταφέρεται στον πυρήνα - **Αλληλεπιδρά με το DNA και επηρεάζει την μεταγραφή ορισμένων γονιδίων**

# Μηχανισμός Δράσης



# Απελευθέρωση ορμονών

- Οι ορμόνες απελευθερώνονται σε σχετικά σύντομα κύματα
- Έχουν συγκεκριμένη διάρκεια δράσης
- Παρουσιάζουν περιοδικότητα

# Κιρκάδιος κύκλος ορμονών

- Η έκκριση και η συγκέντρωση των ορμονών δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του 24ωρου αλλά παρουσιάζει “κυκλικές” διακυμάνσεις.
- Αυτό το φαινόμενο που είναι διαφορετικό για κάθε ορμόνη (διαφορετική περίοδος βιορυθμού) και αναφέρεται ως ο κιρκάδιος κύκλος των ορμονών.

# Κιρκάδιος κύκλος ορμονών

- Η κυκλική διακύμανση στη συγκέντρωση φαίνεται να ελέγχεται από την “κυκλική” δραστηριότητα των νευρικών οδών οι οποίες συμμετέχουν στην απελευθέρωση των ορμονών.
- Για παράδειγμα, η έκκριση της αυξητικής ορμόνης σχετίζεται με τον ύπνο. Η συγκέντρωση της αυξάνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια του ύπνου



# Μεταβολισμός ορμονών

Η συγκέντρωση τους στο αίμα και η γενικότερη δράση τους καθορίζεται από:

- τον ρυθμό έκκρισης των ορμονών από τα ενδοκρινή κύτταρα
- τον ρυθμό απομάκρυνσης τους είτε μέσω απέκκρισης είτε μέσω της μεταβολικής τροποποίησης τους

# Μεταβολισμός ορμονών

- Οι ορμόνες μεταβολίζονται και απεκκρίνονται κυρίως από τους νεφρούς και το ήπαρ, αλλά και σε μερικές περιπτώσεις από τα ίδια τα κύτταρα πάνω στα οποία δρουν (πεπτιδικές ορμόνες).

# Μεταβολισμός ορμονών

- Οι κατεχολαμίνες και οι πεπτιδικές ορμόνες έχουν μικρό χρόνο ημιζωής κυρίως λόγω της γρήγορης απομάκρυνσής τους από το αίμα, μέσω της εύκολης απέκκρισης τους
- Οι στεροειδείς και οι θυρεοειδικές ορμόνες απομακρύνονται με πολύ πιο αργούς ρυθμούς (από πολλές ώρες μέχρι και αρκετές μέρες) λόγω της μεγαλύτερης δυσκολίας στην απέκκριση ή τον καταβολισμό.

# Μεταβολισμός ορμονών

- Οι κατεχολαμίνες και οι πεπτιδικές ορμόνες μπορεί να έχουν δράση μόνο αμέσως μετά την έκκριση τους,
- σε αντίθεση με τις στεροειδείς και τις θυρεοειδικές ορμόνες που μπορούν να δρουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αφού εισέλθουν στην κυκλοφορία.

# Μεταβολισμός ορμονών

Το μέγεθος της απόκρισης εξαρτάται από:

- τη **συγκέντρωση ορμονών** στην κυκλοφορία και από
- τον **αριθμό των ορμονοϋποδοχέων** που βρίσκονται στο κύτταρο

# Παράγοντες που επηρεάζουν την ορμονική απόκριση κατά την άσκηση

- Προπονητική κατάσταση
- Διατροφή
- Φύλο
- Ηλικία
- Περιβάλλον
- Ώρα
- Γενετική

# Ορμόνες υπόφυσης

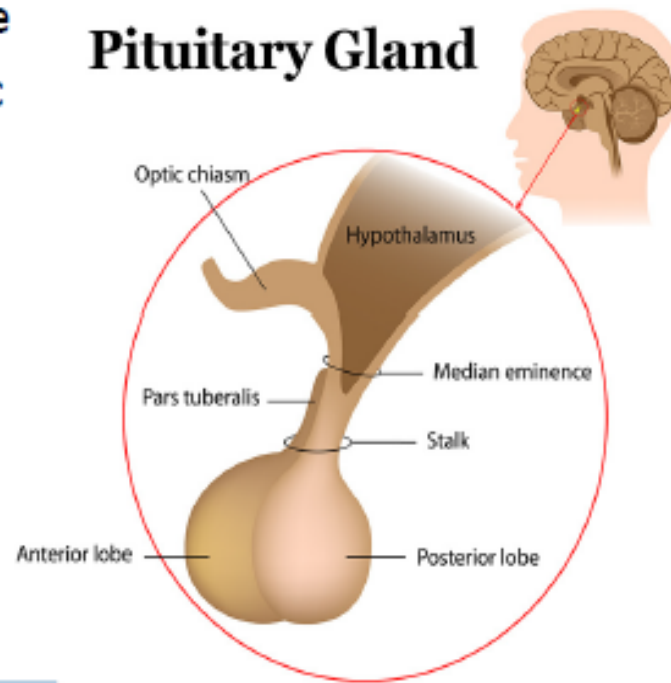
## Αδενο-υπόφυση (πρόσθιο τμήμα)

- ❑ **Θυρεοτροπίνη (TSH- Thyroid-Stimulating Hormone)**
- ❑ **Αδενοκορτικοτροπίνη (ACTH- Adrenocorticotropic Hormone)**
- ❑ **Ωχρινοτροπίνη (LH- Luteinizing Hormone)**
- ❑ **Θυλακιοτρόπος ορμόνη (FSH- Follicle-Stimulating Hormone)**
- ❑ **Αυξητική ορμόνη (GH- Growth Hormone)**
- ❑ **Προλακτίνη (PRL- Prolactin)**
- ❑ **Μελανινοτρόπος ορμόνη (MSH- Melanocyte-Stimulating Hormone)**

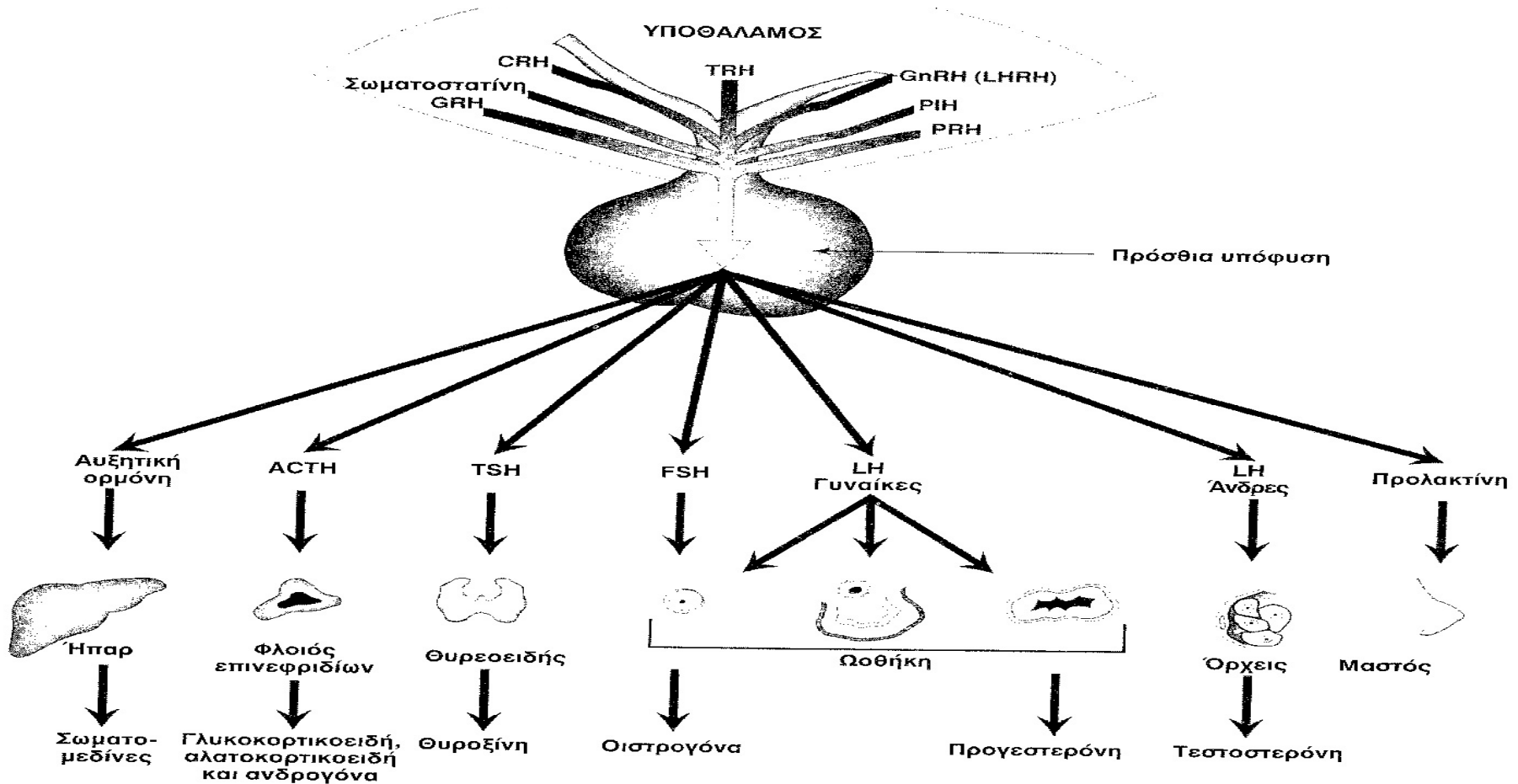
## Νευρο-υπόφυση (οπίσθιο τμήμα)

- ❑ **Αντιδιουρητική (ADH: Antidiuretic Hormone)**
- ❑ **Οξυτοκίνη (Oxytocin)**

## Pituitary Gland



# Υπόφυση-ορμόνες- όργανα, στόχοι



**Σχήμα 25.2**  
 Οι εκλυτικές ορμόνες του υποθαλάμου και οι δράσεις των ορμονών της πρόσθιας υπόφυσης. GRH = εκλυτική ορμόνη της αυξητικής ορμόνης· TRH = ορμόνη που διεγείρει την απελευθέρωση θυρεοτροπίνης· CRH = ορμόνη που διεγείρει την απελευθέρωση γοναδοτροπινών (ορμόνη που διεγείρει την απελευθέρωση ωχρινοποιητικής ορμόνης)· PIH = ορμόνη που αναστέλλει την απελευθέρωση προλακτίνης (ντοπαμίνη)· και PRH = ορμόνη που διεγείρει την απελευθέρωση προλακτίνης· ACTH = κορτικοτρόπος ορμόνη· TSH = θυρεοτρόπος ορμόνη· FSH = θυλακιοτρόπος ορμόνη· LH = ωχρινοποιητική ορμόνη.



# Αυξητική ορμόνη (GH) – Ρύθμιση

Η έκκρισή της (σε κατάσταση ηρεμίας) ρυθμίζεται από τα υποθαλαμικά πεπτίδια:

- **σωματοστατίνη** – αναστολή έκκρισης GH
- **γκρελίνη**- αύξηση έκκρισης GH
- **εκλυτική ορμόνη της αυξητικής (Growth Hormone Releasing Hormone** – διεγείρει τη σύνθεση και έκκριση της)
- Μέγιστη η έκκρισή της κατά την εφηβεία – κατόπιν ακολουθεί σταδιακή πτώση

# Αυξητική ορμόνη (GH) – Ρύθμιση κατά την άσκηση

Κατά τη διάρκεια της άσκησης ο μηχανισμός ρύθμισης δεν είναι απόλυτα γνωστός, η έκκριση της GH πιθανόν επηρεάζεται από παράγοντες όπως:

- η συγκέντρωση γαλακτικού οξέος, και  $H^+$
- η θερμοκρασία του σώματος
- οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα  $O_2$
- η συγκέντρωση κατεχολαμινών
- η δραστηριότητα του κινητικού κέντρου
- τα κεντρομόλα νευρικά σήματα (αισθητήρες στους μύς)

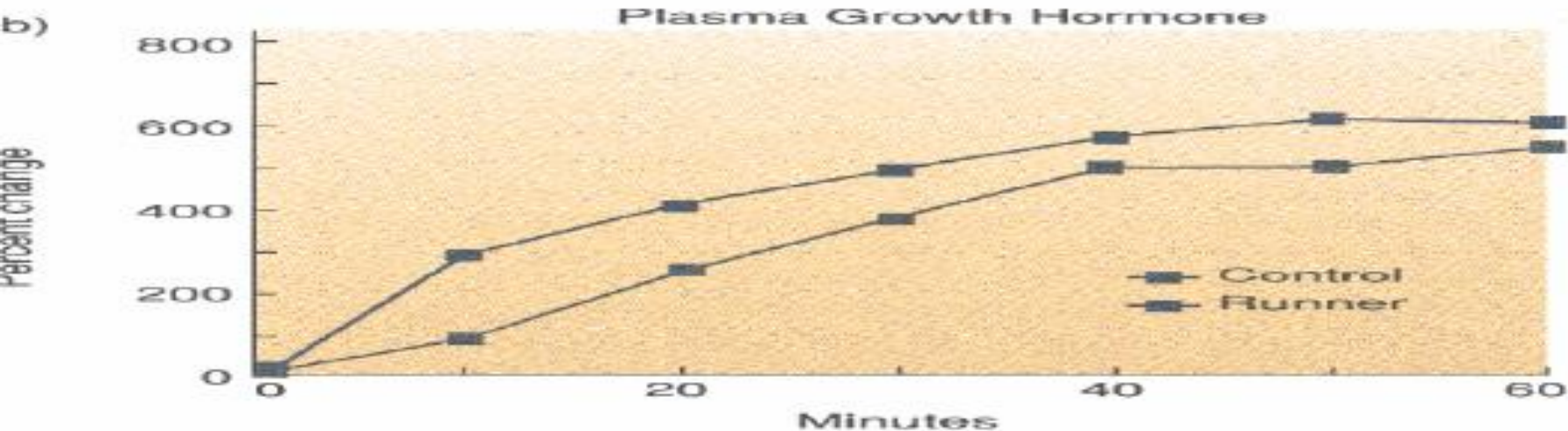
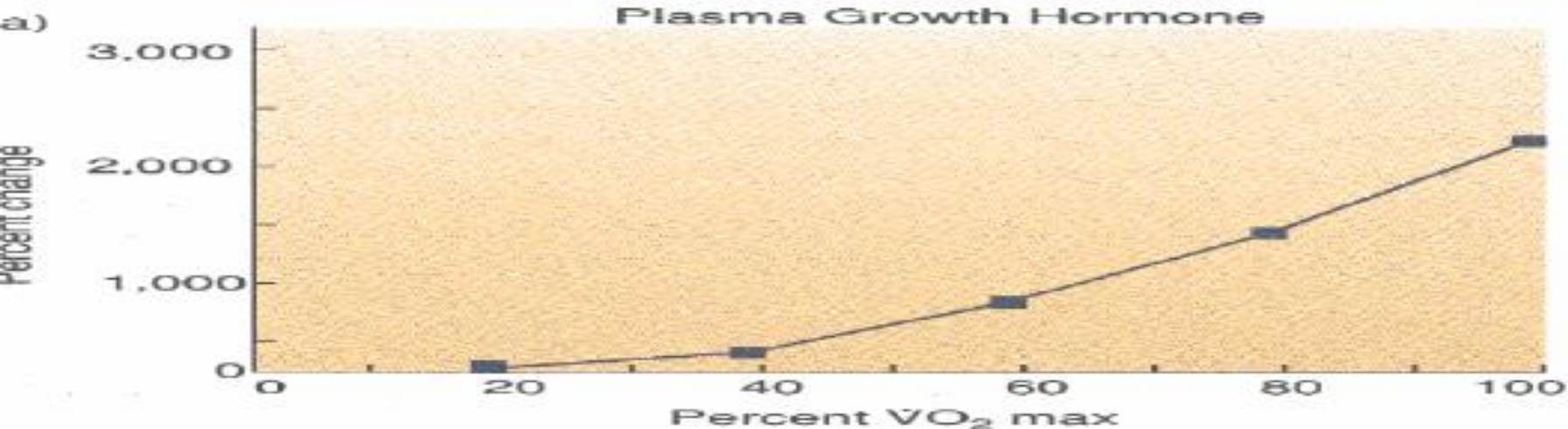
# Αυξητική ορμόνη (GH) – δράσεις

- Αυξάνει τη γλυκονεογένεση στο ήπαρ
- Μειώνει τη δράση της ινσουλίνης, να διευκολύνει την πρόσληψη γλυκόζης από τα μυϊκά και λιπώδη κύτταρα
- Αυξάνει την απόκριση των λιποκυττάρων στα λιπολυτικά σήματα

# Αυξητική ορμόνη – Μεταβολές κατά την άσκηση

- Η άσκηση αποτελεί ισχυρό παράγοντα διέγερσης της έκκρισης GH
- Θετική συσχέτιση ανάμεσα στην ένταση της άσκησης και την έκκριση GH
- Η έκκριση GH παρατηρείται 10-20' από την έναρξη της άσκησης και η μεγαλύτερη συγκέντρωση, αμέσως μετά το τέλος της άσκησης και για 1-2h.
- Η μεγαλύτερη απόκριση παρουσιάζεται σε πρωτόκολλα άσκησης με αντιστάσεις μέτριας-υψηλής έντασης (10RM) που δραστηριοποιούν μεγάλες μυϊκές ομάδες, σε συνδυασμό με μικρά διαλείμματα (<1') και μεγάλο συνολικά όγκο προπόνησης.

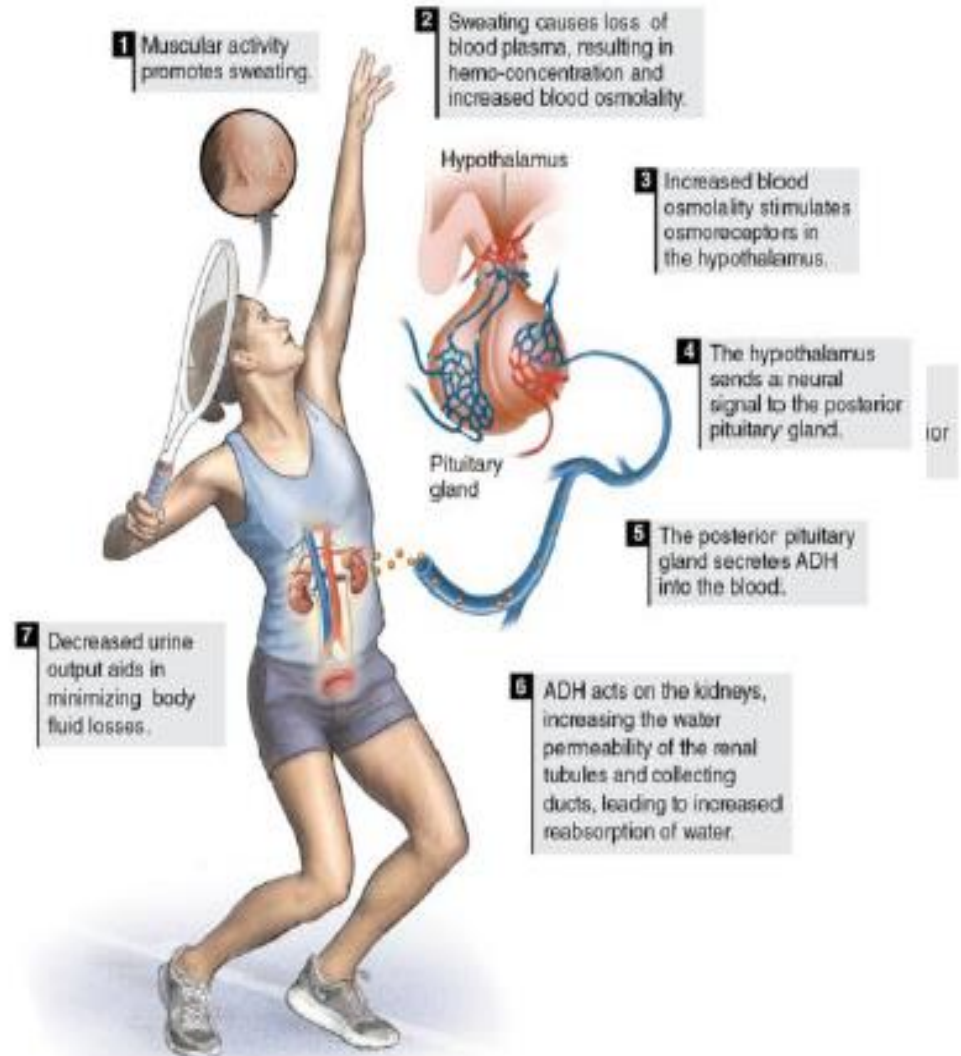
# Αυξητική ορμόνη – Μεταβολές κατά την άσκηση





# Αντιδιουρητική ορμόνη - ADH

- Κατά την άσκηση προκαλείται αύξηση των ηλεκτρολυτών στο πλάσμα (αύξηση ωσμωτικότητας) σε συνδυασμό με μείωση του όγκου πλάσματος (λόγω της εφίδρωσης).
- Υποθάλαμος – διέγερση οπίσθιου λοβού υπόφυσης- έκκριση **ADH**
- Η έκκριση μειώνεται όταν υπάρχει παροχή υγρών

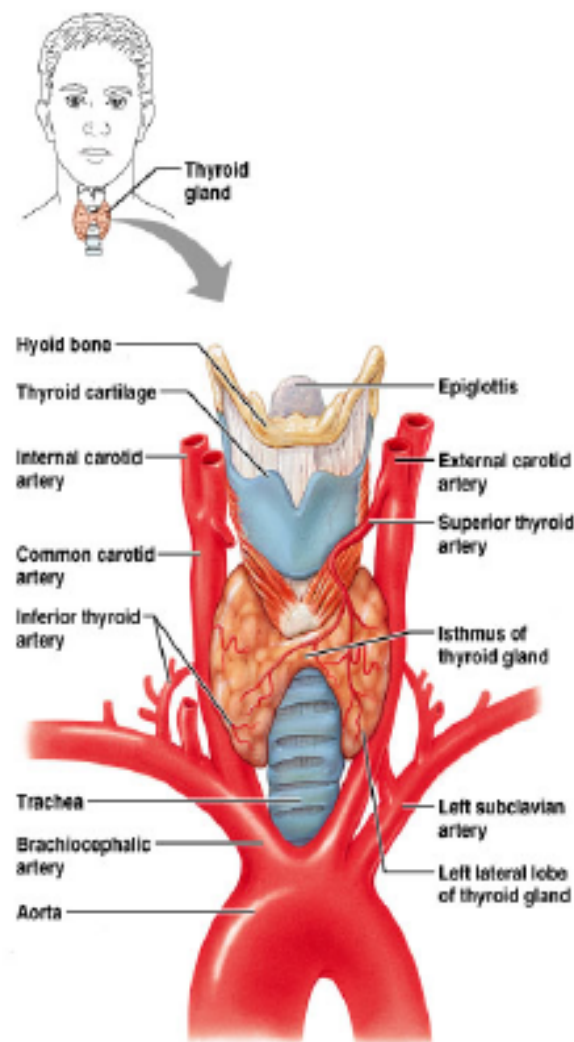


# Θυρεοειδής αδέννας

- **Θυροξίνη (T4)** – Αύξηση κατά την υπομέγιστη αερόβια άσκηση
- **Τρι-ιωδιοθυρονίνη (T3)** μείωση κατά την παρατεταμένη άσκηση (>1h)  
Αυξάνουν τον μεταβολικό ρυθμό

Ελέγχονται από τη θυρεοειδοτρόπο (TSH)  
ορμόνη της υπόφυσης

- **Καλσιτονίνη** – μειώνει τη συγκέντρωση ασβεστίου στο πλάσμα δρώντας σε νεφρούς και οστά



(a)

# Παραθυρεοειδείς αδένες

## Παραθορμόνη (ΡΤΗ)

Είναι ο κύριος ρυθμιστής της συγκέντρωσης ασβεστίου στο πλάσμα. Ασκεί δράση σε:

- Οστά
- Έντερο
- νεφρά

Οι μεταβολές της συγκέντρωσης ΡΤΗ φαίνεται ότι επηρεάζονται από την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης.

Πιθανότατα υπάρχει ένα κατώφλι διέγερσης της άσκησης που τροποποιεί την ΡΤΗ. Η ρύθμιση επηρεάζεται επίσης από, την περιεκτικότητα των οστών σε ιχνοστοιχεία, το φύλο, την ηλικία, το προπονητικό επίπεδο, την επίδραση κατεχολαμινών, γαλακτικού οξέος και την συγκέντρωση ασβεστίου.



# Επινεφρίδια

Ορμόνες των επινεφριδίων

Μυελός των επινεφριδίων:

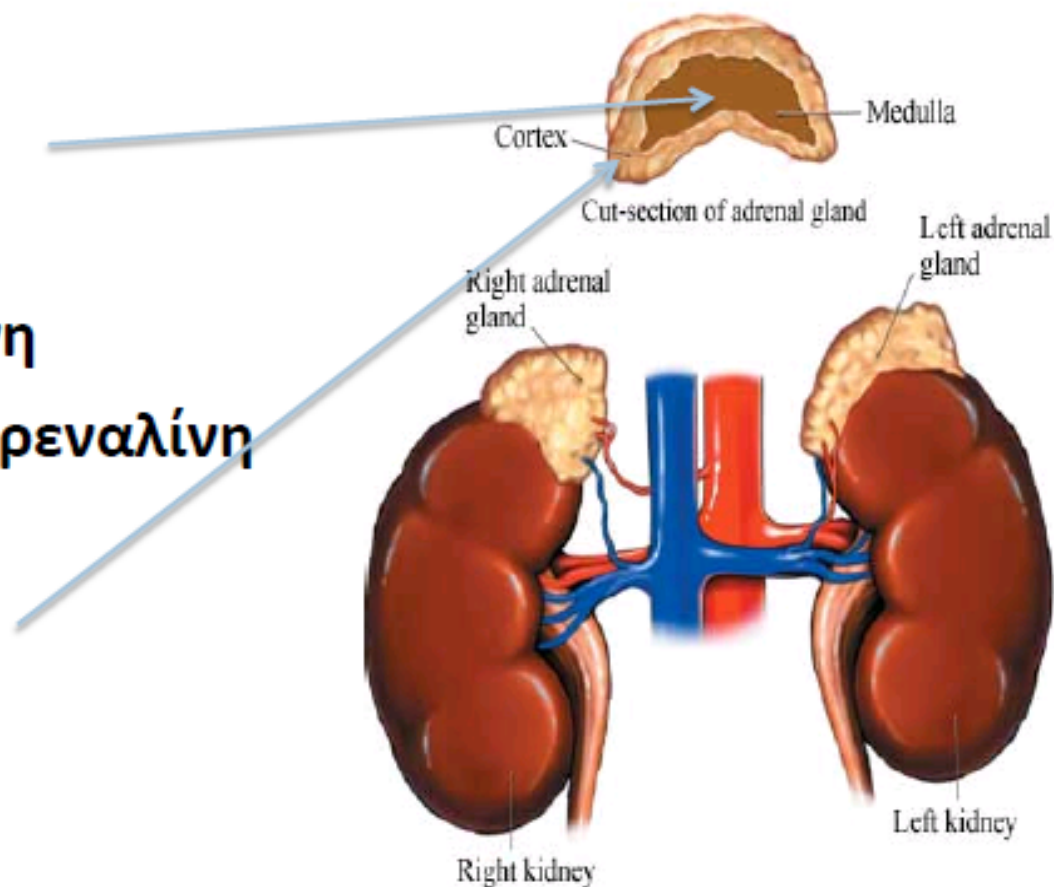
**Κατεχολαμίνες\***

- **Επινεφρίνη ή αδρεναλίνη**
- **Νορεπινεφρίνη ή νοραδρεναλίνη**
- **Ντοπαμίνη**

Φλοιός των επινεφριδίων:

- **Αλδοστερόνη**
- **Κορτιζόλη**

*\*Εκκρίνονται και από νευρικά κύτταρα*



# Κατεχολαμίνες

Αποτελούν μέρος του συμπαθητικού νευρικού συστήματος

- Επηρεάζουν υποδοχείς του καρδιοαγγειακού, αναπνευστικού, γαστρεντερικού συστήματος, του ήπατος, των μυών και του λιπώδους ιστού.
- Η Ε και ΝΕ επηρεάζουν κυρίως το καρδιοαγγειακό σύστημα και το μεταβολισμό των θρεπτικών στοιχείων κατά τη διάρκεια της άσκησης.

# Δράσεις κατεχολαμινών

- Αύξηση καρδιακής λειτουργίας
- Ενεργοποίηση γλυκογονόλυσης στο ήπαρ και στους μυς
- Ενεργοποίηση γλυκονεογένεσης στο ήπαρ
- Ενεργοποίηση λιπόλυσης στο λιπώδη ιστό
- Διέγερση έκκρισης γλυκαγόνης και αναστολή έκκρισης ινσουλίνης από το πάγκρεας

# Κατεχολαμίνες - Επινεφρίνη

39

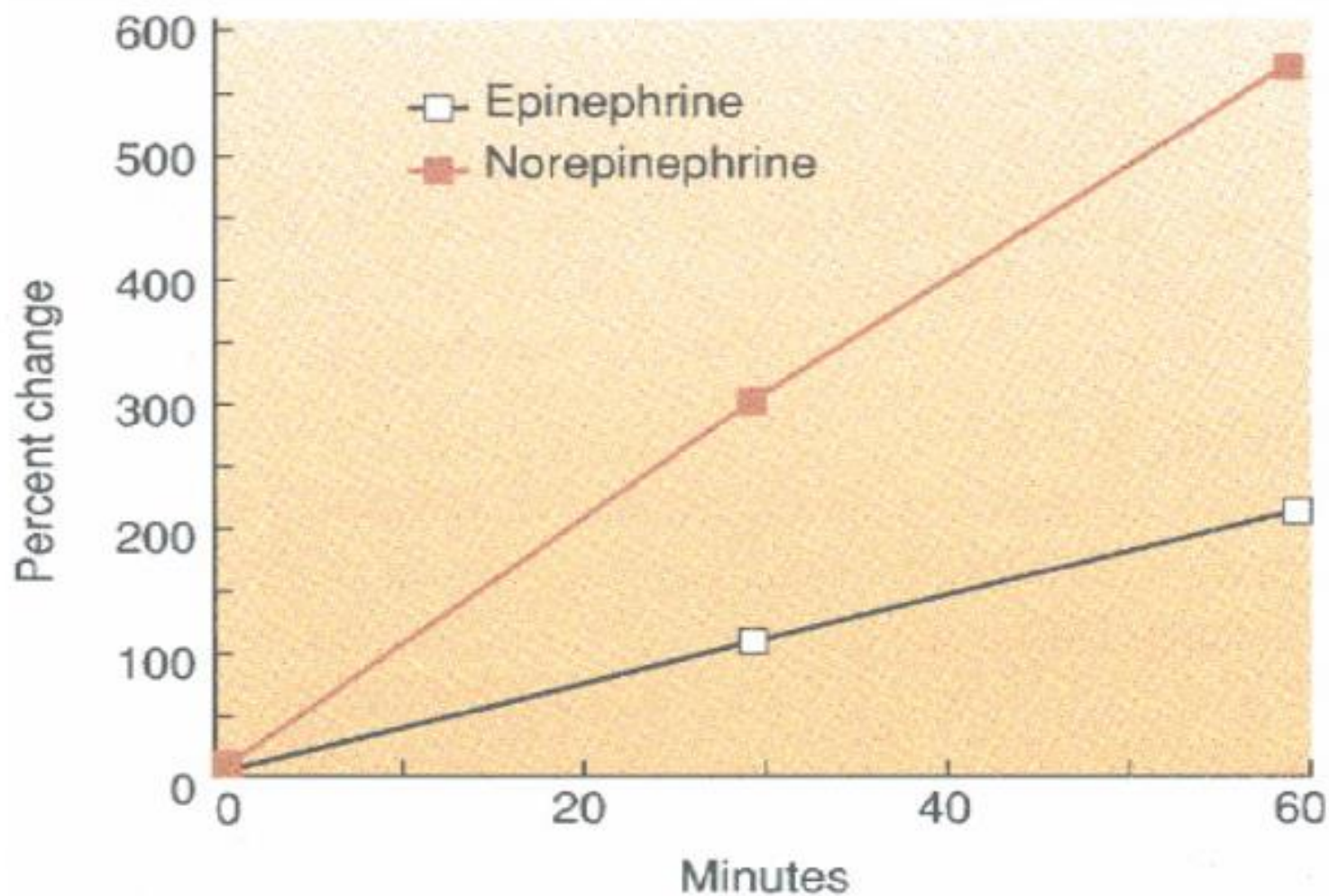
- Η έκκριση επινεφρίνης αυξάνεται με την άσκηση
- Ο βαθμός αύξησης σχετίζεται άμεσα με τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης
- Διπλασιάζεται μετά από 30' άσκησης μέτριας έντασης (60%  $\text{VO}_2\text{max}$ )
- Σε υψηλότερες εντάσεις η αύξηση είναι πολύ μεγαλύτερη.

# Κατεχολαμίνες-Νορεπινεφρίνη

- Υπάρχει σε υψηλές συγκεντρώσεις μέσα στις συμπαθητικές συναπτικές σχισμές.
- Η άσκηση αυξάνει τη συμπαθητική δραστηριότητα στις μείζονες «αποθήκες καυσίμων» (ήπαρ, μυς, λιπώδης ιστός).
- Ο βαθμός αύξησής της σχετίζεται άμεσα με τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης.
- Ταχύτερη και εντονότερη απόκριση (σε σχέση με την επινεφρίνη) σε χαμηλούς ρυθμούς έργου.

# Μεταβολές στα επίπεδα κατεχολαμινών κατά τη διάρκεια άσκησης (~60 %VO<sub>2</sub>max)

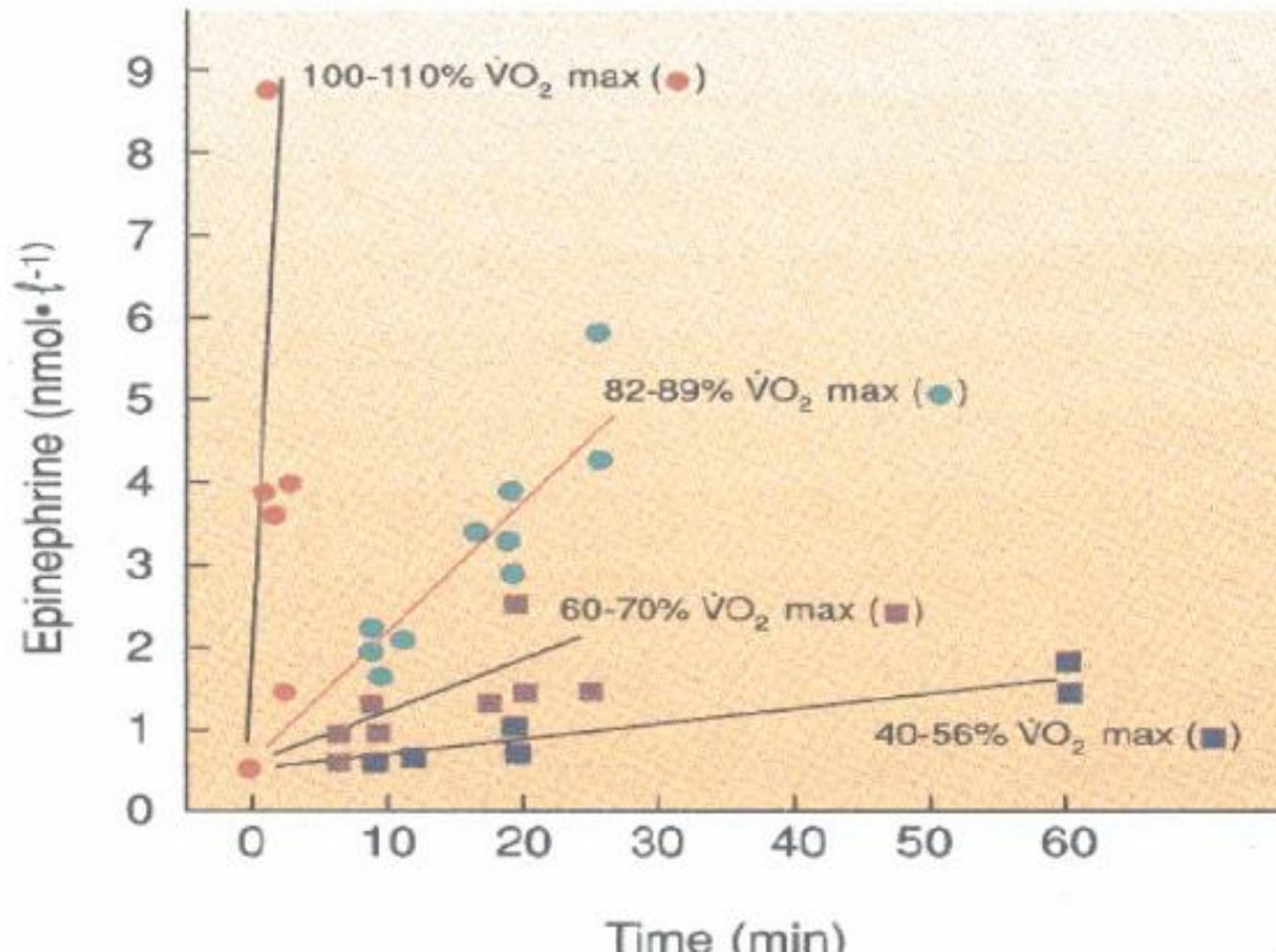
41





# Μεταβολές στα επίπεδα επινεφρίνης – Διαφορετικές εντάσεις

42



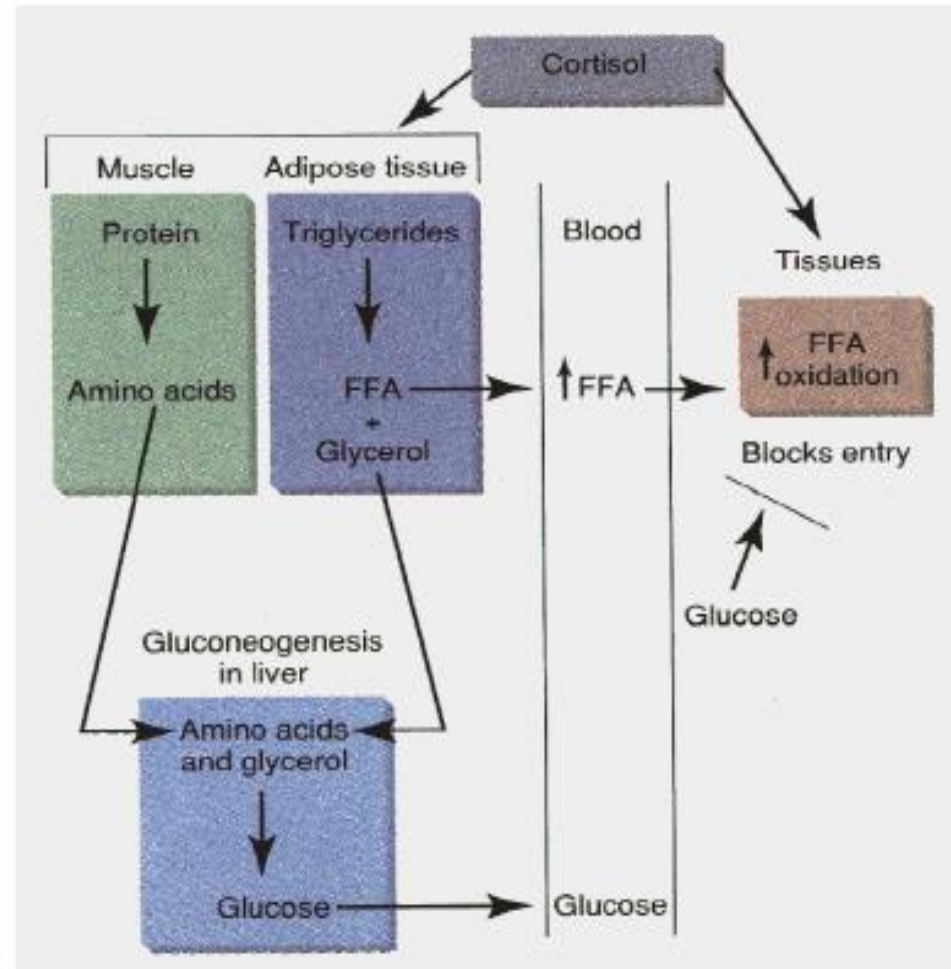
# Ορμόνες του φλοιού των επινεφριδίων

- **Αλδοστερόνη** (αλατοκορτικοειδή) - υπεύθυνη για τη διατήρηση της συγκέντρωσης του  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  στο πλάσμα
- **Κορτιζόλη** (γλυκοκορτικοειδή) - εμπλέκεται στη διατήρηση του ελέγχου της γλυκόζης στο αίμα. Ο άξονας *υποθαλάμου-υπόφυσης-επινεφριδίων* ενεργοποιείται από την άσκηση και προκαλεί αύξηση της κορτιζόλης εάν η διάρκεια είναι  $>15'$ .



# Κορτιζόλη

- Αύξηση του καταβολισμού των πρωτεϊνών
- Αύξηση της γλυκονεογένεσης μείωση της πρόσληψης γλυκόζης από τα μυϊκά κύτταρα και τα λιπώδη κύτταρα
- Αύξηση της διάσπασης ΤΓ



# Κορτιζόλη

- Αύξηση της συγκέντρωσής της στο αίμα με οξεία άσκηση αντοχής και έντασης  $>60\% \text{VO}_2 \text{ max}$
- Μείωση με ένταση  $<50\% \text{VO}_2 \text{ max}$
- Αύξηση μετά από έντονη άσκηση με αντιστάσεις
- Οι αθλητές παρουσιάζουν ίδιες ή υψηλότερες συγκεντρώσεις ηρεμίας από μη αθλούμενους, αλλά μικρότερη αύξηση μετά από έντονη οξεία άσκηση

# Βιταμίνη D

- Τα επίπεδα της φαίνεται να έχουν σημαντική επίδραση στο ανοσοποιητικό σύστημα των αθλητών (ειδικά αντοχής).
- Η επάρκεια της σχετίζεται με αύξηση των αντι-φλεγμονοδών κυτοκινών μετά την άσκηση και ειδικά μετά από μυϊκούς τραυματισμούς.

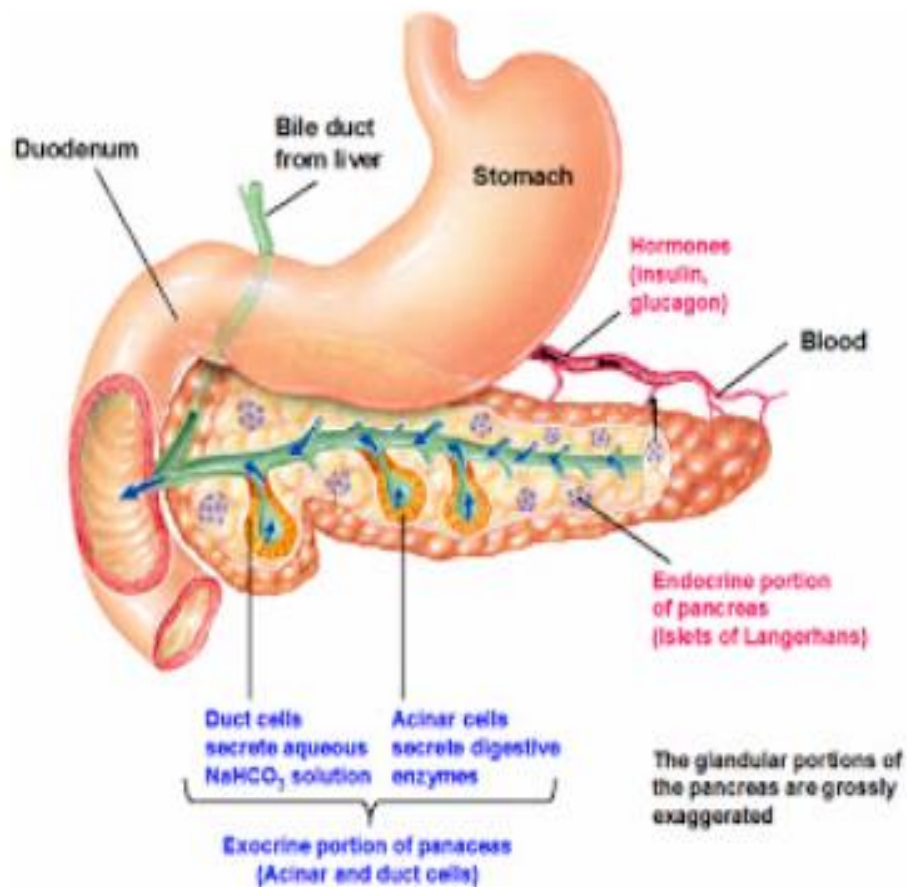
# Πάγκρεας-Παγκρεατικές ορμόνες

□ **Ινσουλίνη**

□ **Γλυκαγόνη**

□ **Σωματοστατίνη**

(ανασταλτική δράση στην έκκριση ινσουλίνης και γλυκαγόνης)



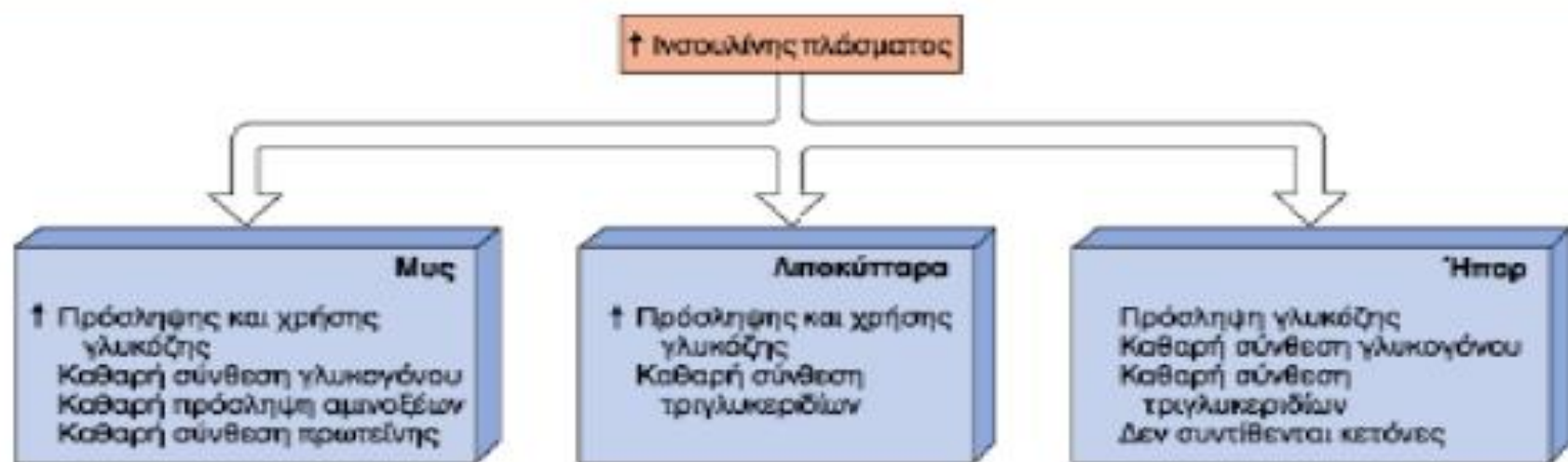
# Παγκρεατικές ορμόνες

- Η ρύθμιση των παγκρεατικών εκκρίσεων είναι περίπλοκη. Βρίσκεται υπό των έλεγχο :
- θρεπτικών ουσιών
- ορμονών και
- αυτόνομων νεύρων



# Επιδράσεις της ινσουλίνης

(α)

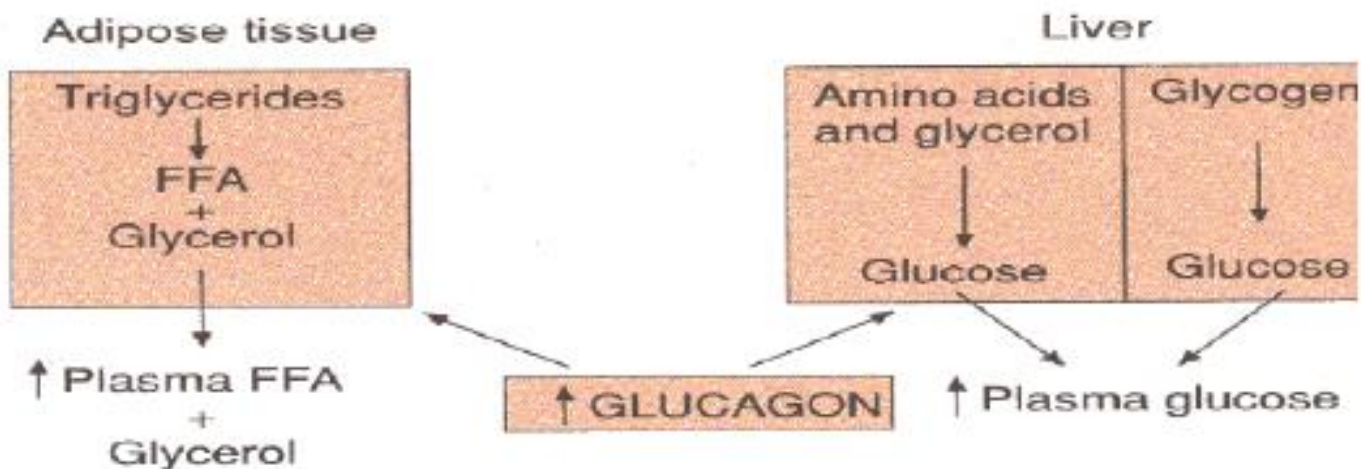
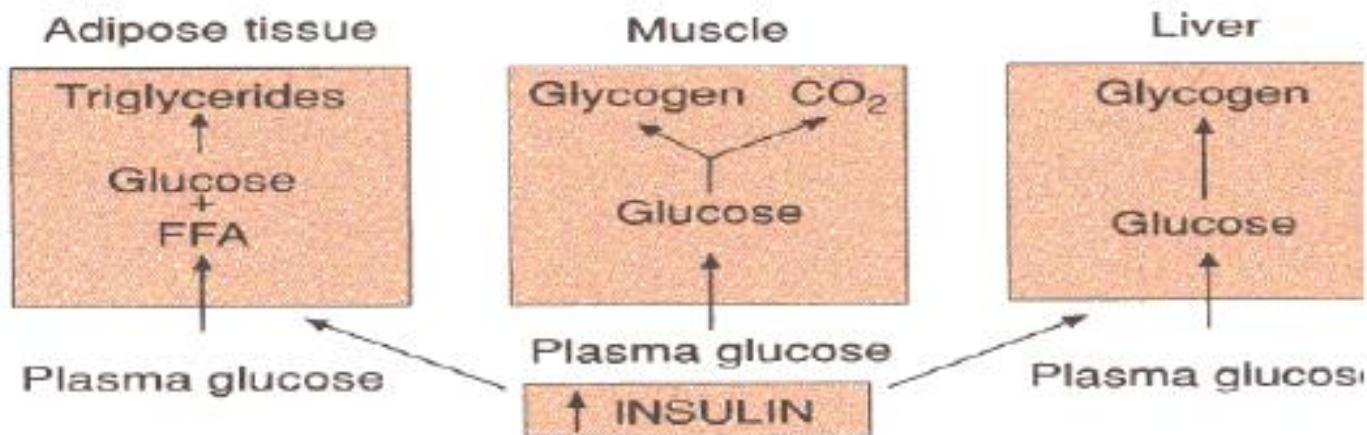


(β)



# Επιδράσεις της ινσουλίνης - γλυκαγόνης

50



# Ινσουλίνη

- Άμεση απόκριση στις συγκεντρώσεις γλυκόζης (ιδίως κατά την άσκηση)
- Μείωση της έκκρισης των β-κυττάρων
- Ο βαθμός μείωσής της σχετίζεται άμεσα με τη διάρκεια της άσκησης
- -50% στα επίπεδα πλάσματος μετά από 2 ώρες άσκηση
- Μικρότερη η μείωση σε υψηλής έντασης άσκηση

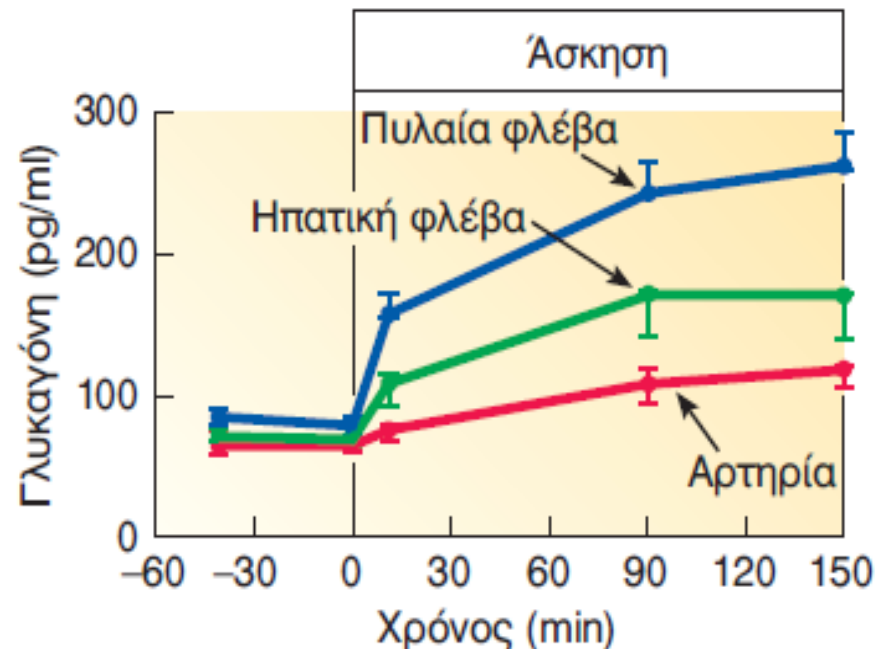


# Γλυκαγόνη

- Ισχυρή διεγερτική δράση απελευθέρωσης γλυκόζης από το ήπαρ
- Σε άσκηση <45min μικρές αυξήσεις ή μη ανιχνεύσιμες μεταβολές
- Σε υψηλής έντασης άσκηση μπορεί να παρατηρηθεί και μείωση των επιπέδων γλυκαγόνης του περιφερικού αίματος.
- Άσκηση >1h οδηγεί σε αδιαμφισβήτητη αύξηση
- Κατά την άσκηση μέτριας έντασης και μεγάλης διάρκειας (>1,5h) η συγκέντρωση της στην πυλαία φλέβα τετραπλασιάζεται

# Γλυκαγόνη

53



● **Εικόνα 6.4** Οι συγκεντρώσεις γλυκαγόνης στις αρτηρίες, την πυλαία φλέβα και την ηπατική φλέβα κατά την ανάπαυση και την άσκηση μέτριας έντασης.

(Wasserman D. H., D. B. Lacy και D. P. Bracy, 1993. Relationship of arterial to portal vein immunoreactive glucagon during exercise. *J. Appl. Physiol.* 75:724-729.)

# Γλυκαγόνη

- Σημαντικό ερέθισμα για την έκκρισή της είναι η μείωση της γλυκόζης κατά την παρατεταμένη άσκηση
- Η αύξηση της γλυκαγόνης μπορεί να ανασταλεί με τη διατροφική πρόσληψη γλυκόζης (υδατανθράκων) πριν ή κατά τη διάρκεια της άσκησης.

# Ομοιοστασία γλυκόζης – ορμόνες

55

- Αυξητική ορμόνη
- Κορτιζόλη
- Θυρεοειδικές ορμόνες
  
- Επινεφρίνη
- Νορεπινεφρίνη
- Γλυκαγόνη
- Ινσουλίνη

# Ομοιοστασία γλυκόζης

- Τα επίπεδα της ινσουλίνης μειώνονται με την άσκηση
- Η είσοδος της γλυκόζης κατά τη διάρκεια της άσκησης αυξάνεται.

# Ομοιοστασία γλυκόζης κατά την άσκηση

7

## Πρόληψη υπογλυκαιμίας:

- Κινητικότητα γλυκόζης από το ήπαρ
- Διάσπαση ΤΓ λιπώδους ιστού σε ΕΛΟ και γλυκερόλη και χρησιμοποίηση των ΕΛΟ
- Σύνθεση γλυκόζης στο ήπαρ από ΑΑ, ΓΟ, και γλυκερόλη
- Φραγμός εισόδου γλυκόζης στο κύτταρο για να αυξηθεί η οξείδωση των λιπιδίων σαν ενεργειακή πηγή

# Γλυκογονόλυση – Γλυκονεογένεση - ήπαρ

- Η διέγερση της **γλυκογονόλυσης** συντελείται μέσω σηματοδοτικών μηχανισμών εντός του ήπατος.
- Η **γλυκονεογένεση** ρυθμίζεται από την αυξημένη προσφορά πρόδρομων γλυκονεογενετικών ουσιών στο ήπαρ και από **μηχανισμούς** που οδηγούν στην αυξημένη απορρόφηση των ουσιών αυτών και τη μετατροπή τους σε γλυκόζη εντός του ήπατος.
- Η άσκηση διεγείρει και τις τρεις διαδικασίες

# Γλυκογονόλυση – Γλυκονεογένεση

Η αυξημένη πρωτεόλυση στους σκελετικούς μυς και στο έντερο, η λιπόλυση στον λιπώδη ιστό, και η γλυκόλυση στους μυς αυξάνουν το σχηματισμό:

- αμινοξέων
- γλυκερόλης
- γαλακτικού οξέος και
- πυροσταφυλικού

με αποτέλεσμα μεγαλύτερη διαθεσιμότητα πρόδρομων ουσιών για σχηματισμό γλυκόζης. Ως απόκριση στην άσκηση αυξάνεται και η απορρόφηση αλανίνης και γλουταμίνης (γλυκονεογενετικά αμινοξέα)



# Ρύθμιση της απελευθέρωσης γλυκόζης από το ήπαρ

- Η επαγόμενη από την άσκηση αύξηση της ηπατικής **γλυκογονόλυσης** και **γλυκονεογένεσης** συμβαδίζει με το ρυθμό χρήσης της γλυκόζης στους μυς.
- Η ευγλυκαιμία (φυσιολογική γλυκόζη αίματος) διατηρείται εντός στενών ορίων.
- Εάν η ηπατική παραγωγή γλυκόζης δεν αυξάνονταν παράλληλα με τη χρήση της, θα προέκυπτε απότομη μείωση της γλυκόζης πλάσματος.
- (Άσκηση μέτριας έντασης προκαλεί αύξηση της χρήσης γλυκόζης κατά  $3\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{min})$ ). Εάν δεν υπάρξει απόκριση του ήπατος στο ερέθισμα της άσκησης, τα επίπεδα γλυκόζης θα μειώνονταν με ρυθμό  $1,5\text{mg}/\text{dL}$  ανά λεπτό – εκδήλωση συμπτωματικής υπογλυκαιμίας σε μόλις 30 λεπτά.

# Ρύθμιση της απελευθέρωσης γλυκόζης από το ήπαρ

- Η σχετική συμβολή της ηπατικής γλυκογονόλυσης και γλυκονεογένεσης εξαρτάται από την ένταση και διάρκεια της άσκησης.
- Η αρχική αύξηση της ηπατικής παραγωγής γλυκόζης αποδίδεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην αύξηση της γλυκογονόλυσης.
- Η αύξηση της γλυκονεογένεσης που παρατηρείται κατά την παρατεταμένη άσκηση διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην καθυστέρηση της εξάντλησης του ηπατικού και μυϊκού γλυκογόνου.

# Πρόσληψη γλυκόζης από τους μυς



- Αιματική ροή
- Στραταλόγηση τριχοειδών
- Χωρικοί φραγμοί
- Μεταφορέας #
- Δράση μεταφορέα
- Εξοκινάση #
- Διαμερισματοποίηση εξοκινάσης
- Χωρικοί φραγμοί

● **Εικόνα 6.6** Ενοποιημένος έλεγχος της πρόσληψης γλυκόζης από τους μυς. Η πρόσληψη γλυκόζης από τους μυς απαιτεί τρία βήματα, στενά συζευγμένα. Η γλυκόζη πρέπει να μεταφερθεί στους μυς, να διέλθει μέσω της κυτταρικής μεμβράνης και να φωσφορυλιωθεί εντός των μυϊκών κυττάρων. Η ροή της γλυκόζης κατά την άσκηση μπορεί να ρυθμιστεί σε οποιοδήποτε από αυτά τα τρία βήματα. Στην εικόνα παρατίθενται οι δυνητικοί ρυθμιστικοί μηχανισμοί. (1998, *Adv. Exp. Med. Biol.* 441:1-16, Review.)

# Μεταβολές στον αριθμό και ρυθμό δράσης των μεταφορέων γλυκόζης

Η μυϊκή συστολή αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ενεργοποίηση του γονιδίου έκφρασης των μεταφορέων γλυκόζης **GLUT-4** (Glucose Transporter).

Αυξημένη γονιδιακή έκφραση και συγκέντρωση πρωτεΐνης

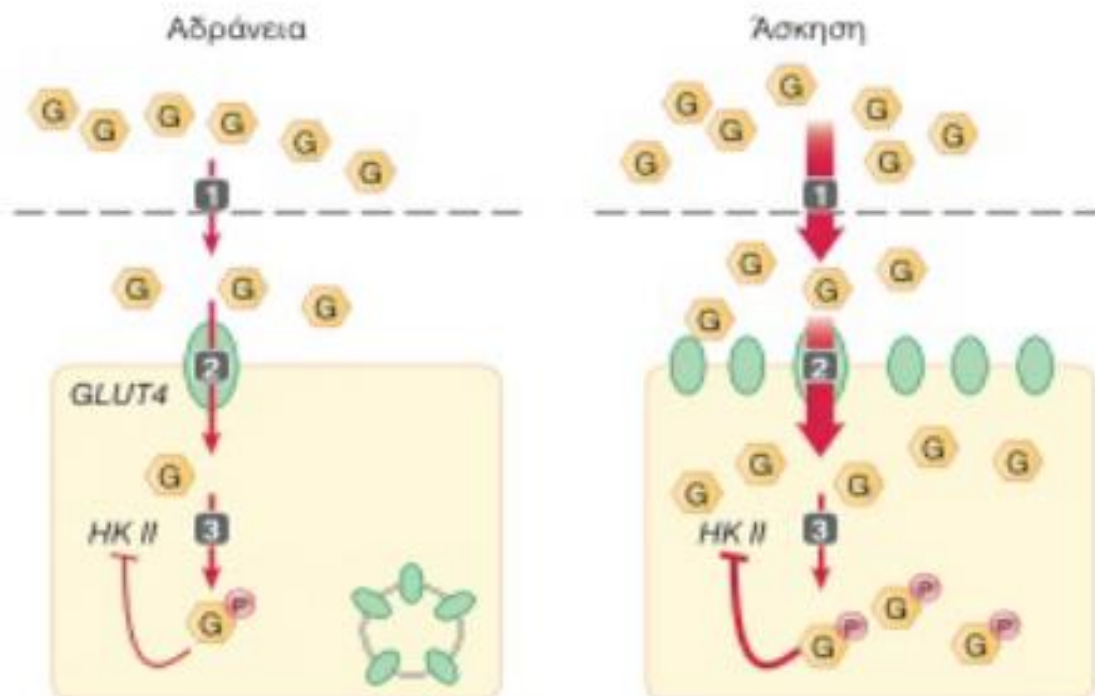
Η υποξία αποτελεί ακόμα ένα παράγοντα μεταφοράς των GLUT-4 προς την κυτταρική μεμβράνη

# Μεταβολές στον αριθμό και ρυθμό δράσης των μεταφορέων γλυκόζης

- Η συγκέντρωση GLUT-4 στα μυϊκά κύτταρα σε κατάσταση ηρεμίας είναι χαμηλή καθιστώντας τον μυ σχεδόν αδιαπέραστο στη γλυκόζη.
- Στη διάρκεια της άσκησης όμως καθίσταται βασικός 'καταναλωτής' γλυκόζης.
- Η άσκηση και η ινσουλίνη είναι τα δύο κύρια ερεθίσματα για τη μετατόπιση των GLUT-4 προς την επιφάνεια της κυτταρικής μεμβράνης.



# Μεταβολές στον αριθμό και ρυθμό δράσης των μεταφορέων γλυκόζης

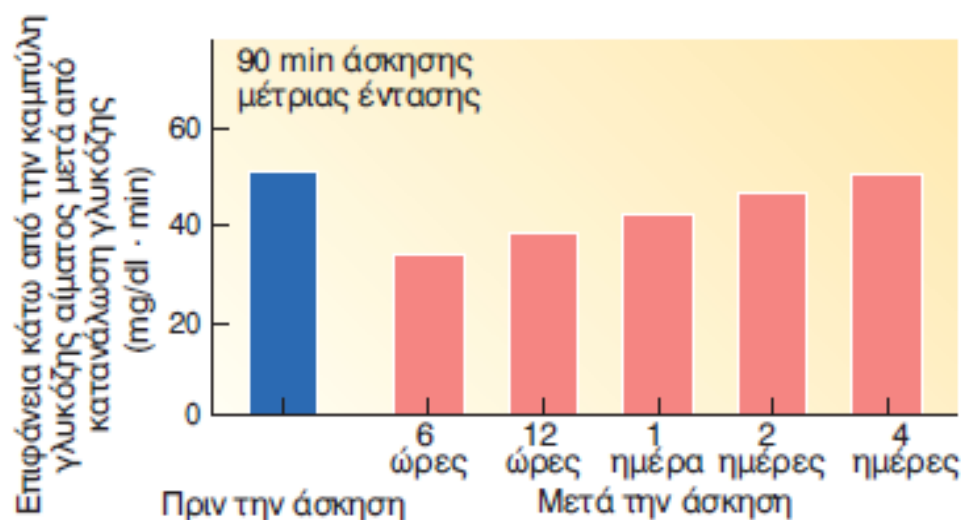


● **Εικόνα 6.7** Τα τρία βήματα που απαιτούνται για την πρόσληψη γλυκόζης από τους μύς. Η άσκηση καθιστά τη μεμβράνη των μυϊκών κυττάρων πιο διαπερατή, διεγείροντας τη μετατόπιση των μεταφορικών πρωτεϊνών GLUT4 από τα ενδοκυττάρια αποθηκευτικά κυστίδια στην κυτταρική μεμβράνη. Η υπεραιμία που παρατηρείται κατά την άσκηση είναι σημαντική για τη διατήρηση της παροχής γλυκόζης στους μύς σε επαρκή επίπεδα. Η αναδραστική αναστολή της εξοκινάσης από την 6-φωσφορική γλυκόζη χρησιμεύει στη ρύθμιση της εισροής γλυκόζης για μεταβολισμό. (© Cengage Learning, 2013)

# Ευαισθησία στην ινσουλίνη

- Η άσκηση ευαισθητοποιεί τον οργανισμό στη δράση της ινσουλίνης.
- Η αυξημένη αποτελεσματικότητα της ινσουλίνης οφείλεται εν μέρει, στην αυξημένη ροή αίματος προς τον εργαζόμενο μυ και στην στρατολόγηση τριχοειδών.
- Αυξάνεται με αυτόν τον τρόπο η έκθεση του μυός στην κυκλοφορούσα ινσουλίνη.
- Η ευαισθησία στην ινσουλίνη αυξάνεται και μετά το τέλος της άσκησης και διαρκεί από μερικές ώρες έως και ημέρες.

# Ανοχή στη γλυκόζη & άσκηση



● **Εικόνα 6B.2** Η ανοχή στη γλυκόζη αυξάνεται μετά την άσκηση. Μία και μόνη συνεδρία άσκησης μπορεί να επιφέρει αποτελέσματα που διαρκούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά το πέρας της άσκησης. Η ανοχή στη γλυκόζη υπολογίζεται με βάση τη διακύμανση των επιπέδων γλυκόζης αίματος μετά την κατανάλωση γλυκόζης. Η διακύμανση των επιπέδων γλυκόζης σχετίζεται άμεσα με τη δυσανεξία στη γλυκόζη. Μία και μόνη συνεδρία άσκησης μπορεί να βελτιώσει την ανοχή στη γλυκόζη για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την άσκηση. Παρουσιάζεται η ανοχή στη γλυκόζη 90 λεπτά πριν από έντονη άσκηση και σε διάφορες χρονικές στιγμές μετά.

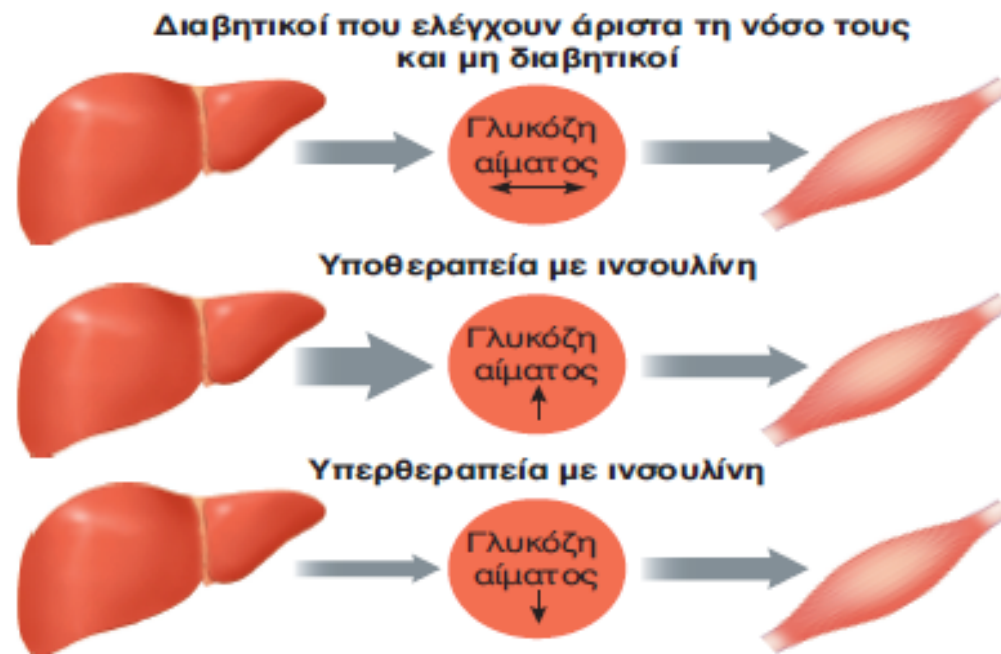


# Έκφραση GLUT-4 στους σκελετικούς μυς



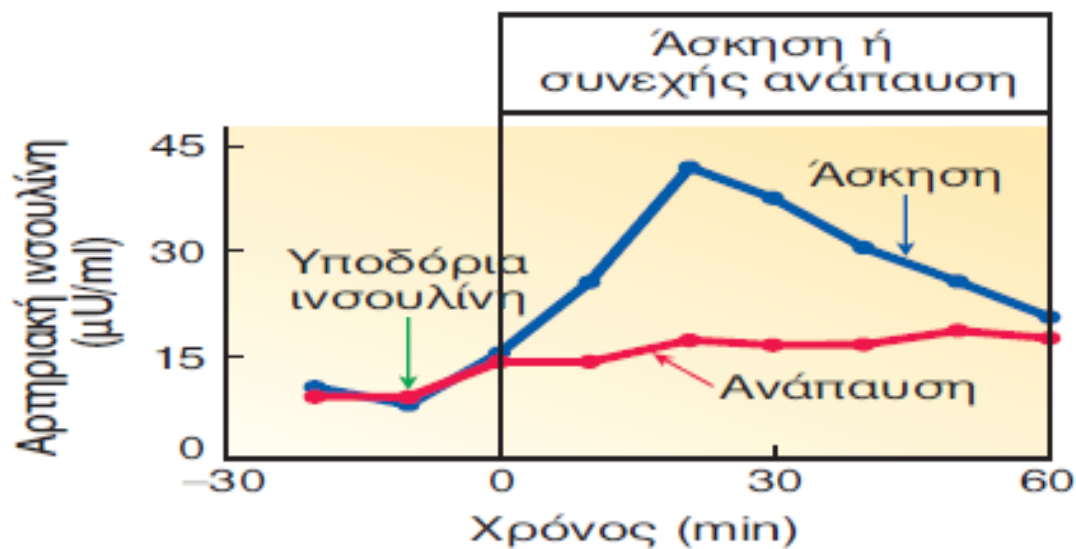
● **Εικόνα 6B.4** Έκφραση του GLUT4 στους σκελετικούς μυς με τακτική σωματική δραστηριότητα. Η έκφραση του GLUT4 στους προπονημένους μυς αυξάνεται μετά από πρόγραμμα άσκησης 12 εβδομάδων. Ο GLUT4 είναι μία πρωτεΐνη απαραίτητη προκειμένου να διεγείρει η ινσουλίνη την πρόσληψη γλυκόζης από τους σκελετικούς μυς. OD, Οπτική πυκνότητα (Optical Density). (Τροποποιημένο από 1993 *Am. J. Physiol.* 264(6 Pt. 1):E855-862. PMID:8333511.)

# Μεταβολές γλυκόζης με την άσκηση σε διαβητικούς



● **Εικόνα 6B.5** Ινσουλινοθεραπεία και ρύθμιση της γλυκόζης αίματος σε άτομα με διαβήτη. Κατά την άσκηση μέτριας έντασης σε υγιή άτομα και άτομα με διαβήτη που ελέγχουν άριστα τη νόσο τους διατηρείται ευγλυκαιμία (πάνω). Κατά την άσκηση μέτριας έντασης τα άτομα με διαβήτη που υποθεραπεύονται με ινσουλίνη θα εμφανίσουν αύξηση της γλυκόζης αίματος (μέση). Κατά την άσκηση μέτριας έντασης τα άτομα με διαβήτη που υπερθεραπεύονται με ινσουλίνη θα εμφανίσουν μείωση της γλυκόζης αίματος. (Τροποποιημένο από 1979. *Diabetes*. 28(2):147-163 Ανασκόπηση. Δε διατίθεται περίληψη. PMID:369929)

# Μεταβολές γλυκόζης με την άσκηση σε διαβητικούς



● **Εικόνα 6B.7** Η επίδραση της άσκησης στην απορρόφηση της ινσουλίνης που ενίεται υποδόρια. Η άσκηση μπορεί να επιταχύνει την απορρόφηση της ινσουλίνης σε άτομα που την λαμβάνουν με υποδόριες ενέσεις, αυξάνοντας τον κίνδυνο υπογλυκαιμίας. (© Cengage Learning 2013)

# Κυτοκίνες

- Μεγάλη και ετερόκλητη οικογένεια πρωτεϊνικών ή γλυκοπρωτεϊνικών ρυθμιστών που παράγονται σε όλο τον οργανισμό.
- Κάθε μόριο αυτής της οικογένειας αποκρίνεται στην άσκηση με διαφορετικό τρόπο.
- Πολλές κυτοκίνες (IL-4, IL-6, IL-10, IL-12) απελευθερώνονται κατά την άσκηση.

# ΚΥΤΟΚΙΝΕΣ

- Η **ιντερλευκίνη 6 (IL-6)** είναι η πρώτη που αποκρίνεται στην άσκηση και έντονα, παρουσιάζοντας αύξηση έως και 100 φορές.
- Εκτός από αντιφλεγμονώδεις έχει και μεταβολικές δράσεις.
- Μια σημαντική πηγή απελευθέρωσης της είναι ο σκελετικός μυς.
- Έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι η IL-6 αποτελεί έναν μηχανισμό γνωστοποίησης της μεταβολικής κατάστασης του εργαζόμενου μυός στα άλλα όργανα.

# ΚΥΤΟΚΙΝΕΣ

- Οι κυτοκίνες που εκκρίνονται από τους μυς ονομάζονται **μυοκίνες**.
- Ο ακριβής ρόλος τους και η ρύθμισή τους είναι άγνωστα σε μεγάλο βαθμό και αποτελούν αντικείμενο εντατικών ερευνών.
- Αρκετές κυτοκίνες απελευθερώνονται και από τα λιποκύτταρα και ονομάζονται λιποκίνες ή αδιποκίνες.



# Λεπτίνη, Λιπονεκτίνη, Ρεζιστίνη

- Η **λεπτίνη**, η **λιπονεκτίνη** (αδιπονεκτίνη) η **βισφατίνη** η **απελίνη** και η **ρεζιστίνη** είναι ορμόνες που παράγονται από τον λιπώδη ιστό και παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του μεταβολισμού και τον έλεγχο του βάρους.
- Δεν παρατηρείται μεταβολή στην απελευθέρωση των παραπάνω ορμονών από τον λιπώδη ιστό, ως απόκριση σε μία συνεδρία άσκησης.

# Φαιοποίηση (browning) λευκού λίπους

75

- Μετατροπή του λευκού λίπους (White adipose tissue-WAT) σε φαιό (Brown adipose tissue – BAT)
- Επαναπρογραμματισμός των γονιδίων των λιποκυττάρων
- Αύξηση της θερμογένεσης
- Η άσκηση και η έκθεση στο ψύχος επάγουν τη φαιοποίηση του λευκού λίπους μέσω περίπλοκων μηχανισμών.



# Θερμογενίνη - Uncoupling Protein (UCP-1)

76

- Η UCP-1 εντοπίζεται στην εσωτερική μιτοχονδριακή μεμβράνη, όπου αποσυνδέει την οξείδωση των υποστρωμάτων από τη σύνθεση ATP, με αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας με μορφή θερμότητας.
- Η κατανάλωση ενέργειας μέσω θερμογένεσης στον φαιό λιπώδη ιστό ρυθμίζεται από το συμπαθητικό νευρικό σύστημα (SNS) με απελευθέρωση νοραδρεναλίνης (NA)
- Αποσύνδεση (uncoupling) την οξείδωση των υποστρωμάτων από τη σύνθεση ATP

# Θερμογενίνη - Uncoupling Protein (UCP-1)

- Η νοραδρεναλίνη διεγείρει τους  $\alpha$  και  $\beta$ -αδρενεργικούς υποδοχείς, πυροδοτώντας πολλές κυτταρικές λειτουργίες, όπως τη λιπόλυση, τον πολλαπλασιασμό των φαιών λιποκυττάρων, τη μιτοχονδριογένεση και την αυξημένη έκφραση και ενεργοποίηση της UCP-1.

Ρυθμιστές της ενεργοποίησης της UCP-1 είναι:

- η ιριζίνη
- το ρετινοϊκό οξύ και
- η τριωδοθυρονίνη,

4 ακόμη ισομορφές (UCP-2,-3,-4,-5) Ρόλο στη ρύθμιση της ενεργειακής ισορροπίας και του σωματικού βάρους

# Ιριζίνη (Irisine)

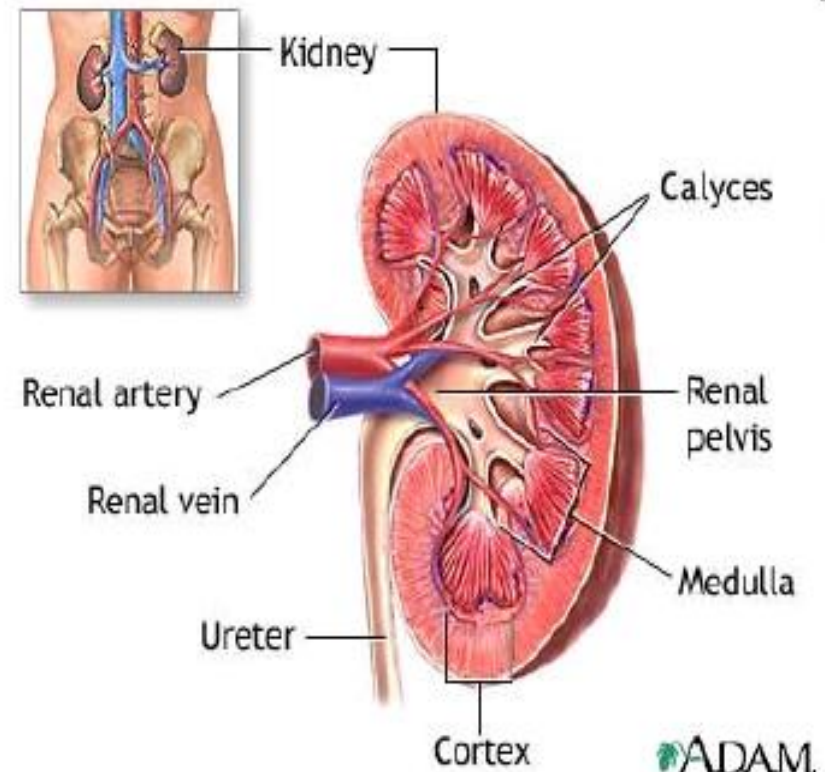
- Ορμόνη που παράγεται από τα μυϊκά κύτταρα κατά τη διάρκεια της άσκησης και είναι βασικός ρυθμιστής έκφρασης της UCP-1 στον φαιό λιπώδη ιστό.
- Σημαντικό ρόλο στη μετατροπή λευκού λίπους σε φαιό – Αύξηση της θερμογέννεσης.
- Υψηλότερες συγκεντρώσεις στο αίμα μετά από άσκηση υψηλής έντασης και αντιστάσεων.

# β-ενδορφίνη

- Είναι ένα ενδογενές οπιοειδές το οποίο εκκρίνεται από τον υποθάλαμο και την υπόφυση.
- Εμπλέκεται στο **αίσθημα ευφορίας** που αισθάνεται ο αθλητής με την άσκηση.
- Αυξάνεται με την άσκηση. Η ένταση θα πρέπει να είναι αρκετά αυξημένη (>70%  $\text{VO}_2\text{max}$ ) για να παρουσιαστούν μεταβολές στα επίπεδα της.
- Η δυναμική και αναερόβια άσκηση έχει μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση της β-ενδορφίνης σε σχέση με την άσκηση αντιστάσεων και την αερόβια άσκηση.

# Νεφροί

- **Ερυθροποιητίνη (ΕΡΟ)**-  
Ρύθμιση παραγωγής ερυθρών αιμοσφαιρίων
- Υποξία και άσκηση προκαλούν αύξηση της έκφρασης ΕΡΟ
- **Ρενίνη** – έλεγχος πίεσης αίματος, επιπέδων καλίου και ισορροπίας του όγκου των υγρών



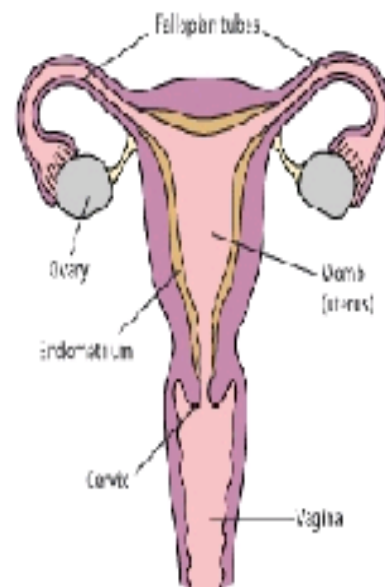


# Γονάδες (όρχεις – ωοθήκες)

- Όρχεις – τεστοστερόνη
- Ωοθήκες – οιστρογόνα – προγεστερόνη
- Σχέση έντασης και διάρκειας προπόνησης – σύστασης και μάζας σώματος - οιστρογόνων

## Reproductive: Ovaries and Testes

By: Oscar Campuzano and Alexandra Root



# Τεστοστερόνη οξείες & χρόνιες επιδράσεις

32

## Οξείες επιδράσεις

- Αύξηση της συγκέντρωσής της στο αίμα με οξεία άσκηση αντοχής ή με αντιστάσεις
- Οι αυξήσεις σχετίζονται γενικά με την ποσότητα (όγκο) της άσκησης

## Χρόνιες επιδράσεις

- Η χρόνια άσκηση αντοχής, μειώνει την τεστοστερόνη ηρεμίας, ενώ η χρόνια άσκηση με αντιστάσεις την αυξάνει.

# Προσταγλανδίνες

- Θεωρούνται μια ξεχωριστή κατηγορία ‘τοπικών’ ορμονών - προέρχονται από αραχιδονικό οξύ.
- Συνδέονται με κυτταρικές μεμβράνες των περισσότερων κυττάρων στο σώμα.
- Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι.
- Αυξάνουν την αγγειακή διαπερατότητα, ευαισθητοποιούν νευρικές απολήξεις, προάγουν τη φλεγμονή.
- Κατά την άσκηση αυξάνονται οι αγγειοδιασταλτικές προσταγλανδίνες.



# Ορμονικό σύστημα και άσκηση

- Η χρόνια άσκηση μετριάζει συνήθως τις ορμονικές αποκρίσεις που παρουσιάζονται στην οξεία άσκηση.
- Αρκετές οξείες και χρόνιες ορμονικές αποκρίσεις στην άσκηση (όπως η αύξηση της ευαισθησίας στην ινσουλίνη και η αύξηση αναβολικών ορμονών), μπορούν να αξιοποιηθούν στην αντιμετώπιση προβλημάτων υγείας με τρόπο ασφαλέστερο και οικονομικότερο από τη φαρμακευτική αγωγή.

# Ορμονικό σύστημα και άσκηση

5

- Σύμφωνα με τις περισσότερες έρευνες η άσκηση με αντιστάσεις (βάρη) μπορεί να επιφέρει την άμεση ανταπόκριση του ενδοκρινικού συστήματος και τη σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση των ορμονών άνω του φυσιολογικού.

# Ορμονικό σύστημα και άσκηση

- Η απόκριση του ενδοκρινικού και του αυτόνομου νευρικού συστήματος είναι καθοριστικής σημασίας για τη ρύθμιση του μεταβολισμού των υδατανθράκων και των λιπιδίων κατά την άσκηση.
- Η ενδοκρινική απόκριση στην άσκηση εμφανίζει συνέργεια και με άλλα ερεθίσματα.
- Κατεχολαμίνες, γλυκαγόνη, κορτιζόλη – διεγείρονται συνεργικά σε συνθήκες υπογλυκαιμίας ή υποξίας.
- Η απορρόφηση θρεπτικών συστατικών μεταβάλλει πολλές ορμονικές αποκρίσεις κατά την άσκηση (χρονισμός γευμάτων)

# Ορμονικό σύστημα και άσκηση

7

Ο ρόλος του ενδοκρινικού συστήματος στην προσαρμοστική ικανότητα είναι περίπλοκος και περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση πολλών ορμονών και παρακρινικών παραγόντων.

Η αξιολόγηση της δράσης των ορμονών δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως κυρίως λόγω του ότι:

- Η μέτρηση της συγκέντρωσης των ορμονών σε αρτηρίες και φλέβες δεν αντιπροσωπεύει πάντοτε τη συγκέντρωση στο σημείο δράσης
- Δεν έχει αποσαφηνιστεί επαρκώς η προέλευση των σημάτων που πυροδοτούν τις αποκρίσεις αυτές.