

Φυσιολογία Ενδοκρινικού συστήματος

Ενδοκρινικό σύστημα και ομοιόσταση

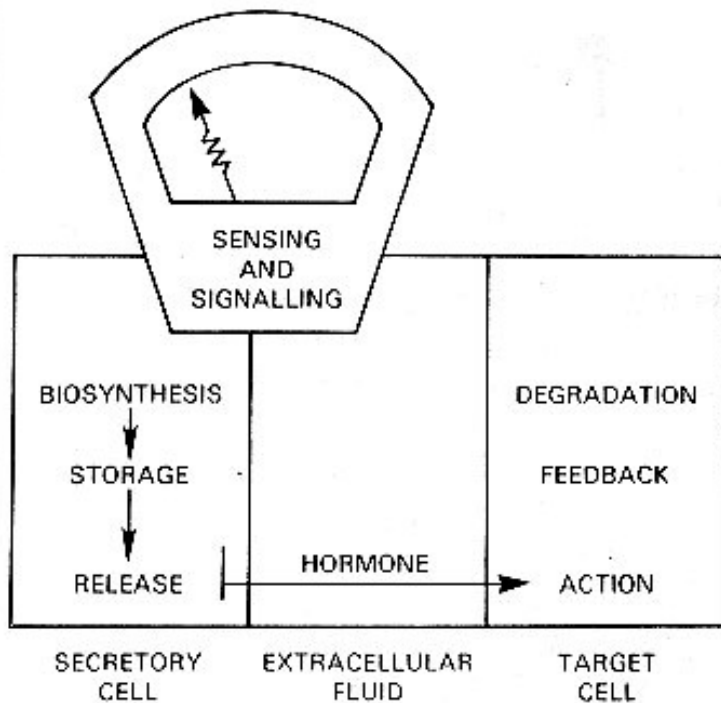
- Η ιδέα ότι οι ορμόνες που δρουν σε απομακρυσμένα κύτταρα-στόχους για να διατηρήσουν τη σταθερότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος ήταν μια σημαντική πρόοδος στην κατανόηση της φυσιολογίας.
- Η έκκριση μιας ορμόνης που προκαλείται από μια αλλαγή στο περιβάλλον και η προκύπτουσα δράση στο κύτταρο στόχο επανέφερε το περιβάλλον στο φυσιολογικό.
- Η επιθυμητή επιστροφή στο status quo έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της ομοιόστασης.

Ernest Henry Starling

(1866-1927)

- Εκτός από τον νόμο του για την καρδιά, ο Starling ανακάλυψε τη λειτουργική σημασία των πρωτεϊνών του ορού.
- Το 1902 μαζί με τον Bayliss απέδειξε ότι η σεκρετίνη διεγείρει την παγκρεατική έκκριση.
- Το 1924 μαζί με τον E. B. Vernay έδειξε την επαναρρόφηση του νερού από τα σωληνάρια του νεφρού.
- Ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο **ορμόνη**

Ανίχνευση και σηματοδότηση



- Οι ενδοκρινείς «αδένες» συνθέτουν και αποθηκεύουν ορμόνες. Αυτοί οι αδένες έχουν ένα σύστημα αίσθησης και σηματοδότησης που ρυθμίζει τη διάρκεια και το μέγεθος της απελευθέρωσης ορμονών μέσω ανάδρασης από το κύτταρο στόχο.

Ενδοκρινικό Vs Νευρικού Συστήματος

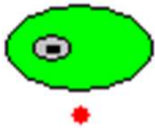
- Τα κύρια συστήματα επικοινωνίας στο σώμα
- Ενσωματώνουν ερεθίσματα και αντιδράσεις σε αλλαγές στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον
- Και τα δύο είναι ζωτικής σημασίας για τις συντονισμένες λειτουργίες των εξαιρετικά διαφοροποιημένων κυττάρων, ιστών και οργάνων
- Σε αντίθεση με το νευρικό σύστημα, το ενδοκρινικό σύστημα είναι ανατομικά ασυνεχές.

Νευρικό σύστημα

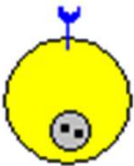


- Το νευρικό σύστημα ασκεί έλεγχο από σημείο σε σημείο μέσω των νεύρων, παρόμοιο με την αποστολή μηνυμάτων μέσω συμβατικού τηλεφώνου.
- Ο νευρικός έλεγχος είναι ηλεκτρικός και γρήγορος.

Οι ορμόνες ταξιδεύουν μέσω της κυκλοφορίας του αίματος στα κύτταρα-στόχους

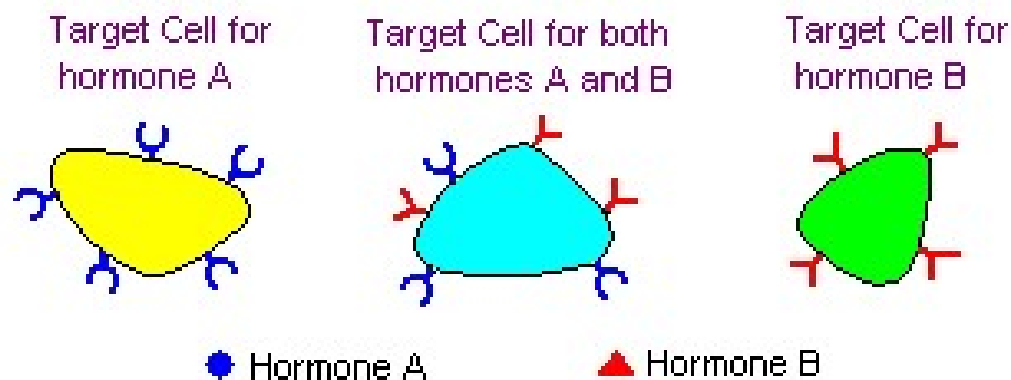


- Το **ενδοκρινικό σύστημα** εκπέμπει τα ορμονικά του μηνύματα σε όλα ουσιαστικά τα κύτταρα με έκκριση στο αίμα και στο εξωκυττάριο υγρό. Όπως μια ραδιοφωνική εκπομπή, απαιτεί από έναν δέκτη να λάβει το μήνυμα - στην περίπτωση των ενδοκρινικών μηνυμάτων, τα κύτταρα πρέπει να φέρουν έναν υποδοχέα για την ορμόνη που εκπέμπεται για να ανταποκριθούν.



Ένα κύτταρο είναι ένας στόχος επειδή έχει έναν συγκεκριμένο υποδοχέα για την ορμόνη

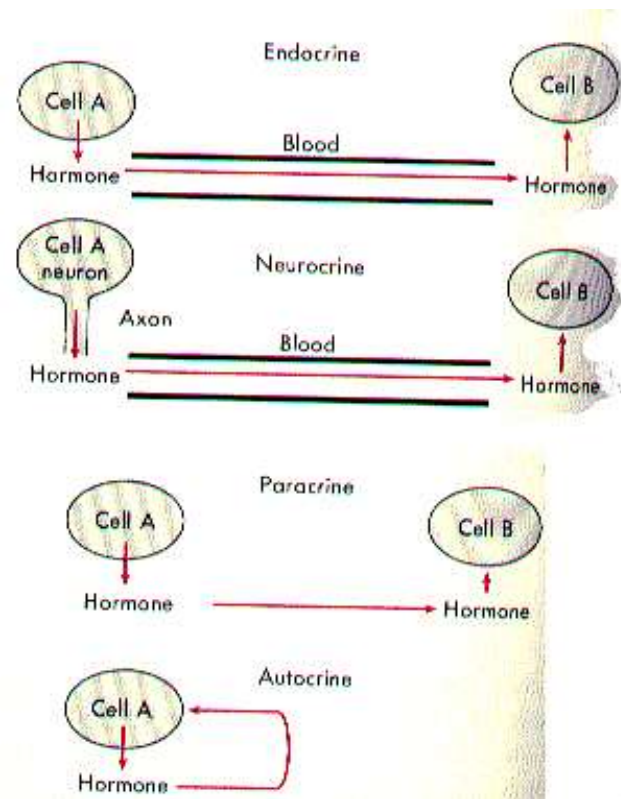
- Οι περισσότερες ορμόνες κυκλοφορούν στο αίμα, έρχονται σε επαφή ουσιαστικά με όλα τα κύτταρα. Ωστόσο, **μια δεδομένη ορμόνη συνήθως επηρεάζει μόνο έναν περιορισμένο αριθμό κυττάρων, τα οποία ονομάζονται **κύτταρα στόχοι****. Ένα κύτταρο στόχος ανταποκρίνεται σε μια ορμόνη επειδή φέρει **υποδοχείς** για την ορμόνη.



Οι κύριες λειτουργίες του ενδοκρινικού συστήματος

- Διατήρηση του εσωτερικού περιβάλλοντος στο σώμα (διατήρηση του βέλτιστου βιοχημικού περιβάλλοντος).
- Ρύθμιση της ανάπτυξης.
- Έλεγχος, διατήρηση και υποκίνηση της αναπαραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της γαμετογένεσης, της συνουσίας, της γονιμοποίησης, της εμβρυϊκής ανάπτυξης και ανάπτυξης και θρέψης του νεογνού.

Τύποι σηματοδότησης από κύτταρο σε κύτταρο



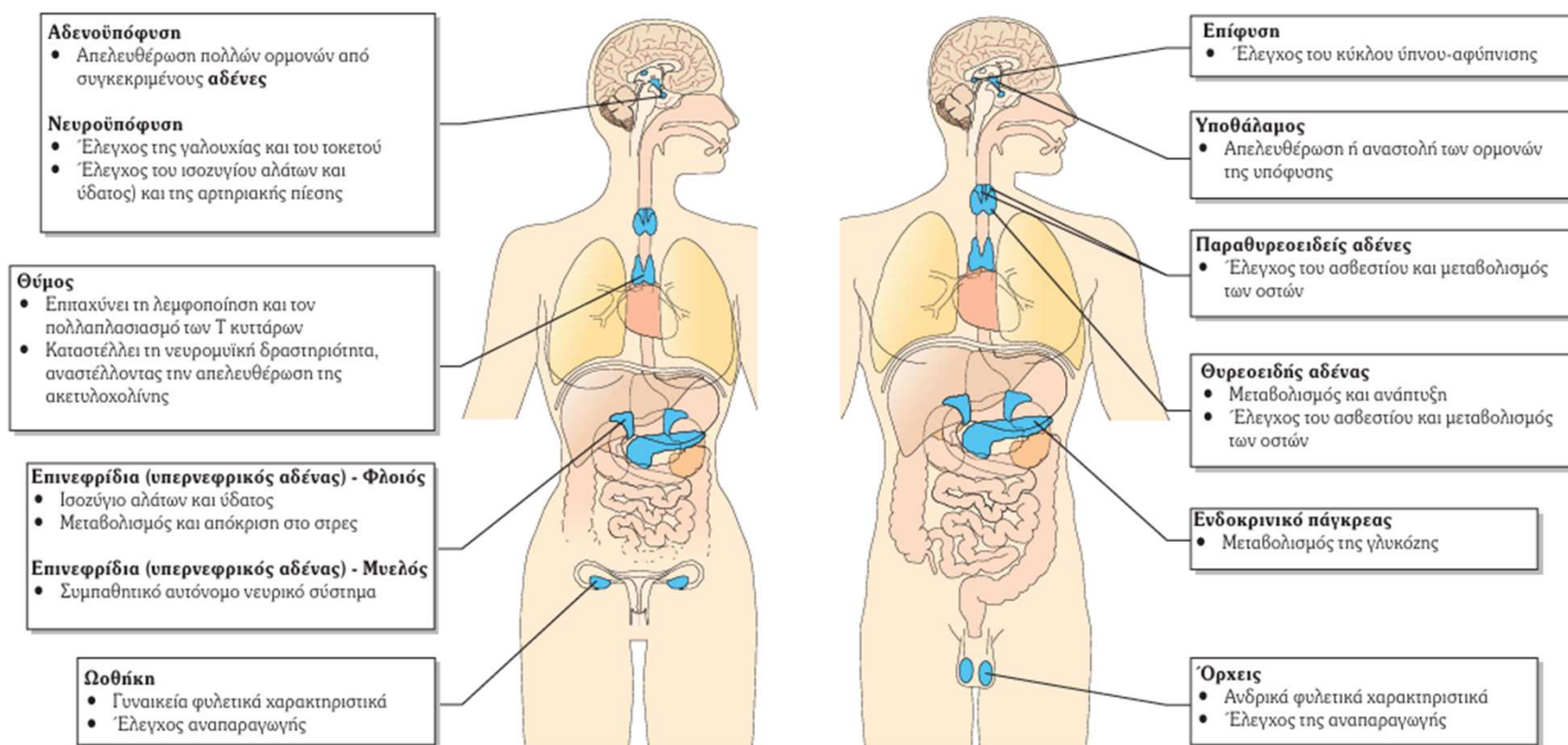
- Οι κλασικές ενδοκρινικές ορμόνες ταξιδεύουν μέσω της κυκλοφορίας του αίματος στα κύτταρα-στόχους.
- Οι νευροορμόνες απελευθερώνονται μέσω των συνάψεων και ταξιδεύουν μέσω της κυκλοφορίας.
- Οι παρακρινικές ορμόνες δρουν σε γειτονικά κύτταρα και οι αυτοκρινείς ορμόνες απελευθερώνονται και δρουν στο κύτταρο που τις εκκρίνει.
- Επίσης, οι ενδοκρινείς ορμόνες δρουν μέσα στο κύτταρο που τις παράγει.

- **Ενδοκρινική δράση:** η ορμόνη εκρίνεται στο αίμα και δεσμεύεται σε απομακρυσμένα κύτταρα στόχους.
- **Παρακρινική δράση:** η ορμόνη δρα τοπικά διαχέοντας από την πηγή της στα κύτταρα στόχους της γειτονιάς.
- **Αυτοκρινή δράση:** η ορμόνη δρα στο ίδιο κύτταρο που την παρήγαγε.



Κύριες ορμόνες και συστήματα

- Οργάνωση του ενδοκρινικού συστήματος
- Ο υποθάλαμος παράγει παράγοντες απελευθέρωσης που διεγείρουν την παραγωγή ορμόνης της πρόσθιας υπόφυσης που δρουν στον περιφερικό ενδοκρινικό αδένά διεγείροντας την απελευθέρωση τρίτης ορμόνης
- Οι ορμόνες της οπίσθιας υπόφυσης συντίθενται σε σώματα νευρωνικών κυττάρων στον υποθάλαμο και απελευθερώνονται μέσω των συνάψεων στην οπίσθια υπόφυση.
 - Ωκυτοκίνη και αντιδιουρητική ορμόνη (ADH)



Εικόνα 11.1 Ενδοκρινικό σύστημα: θέση και λειτουργίες των κύριων ενδοκρινών αδένων.

Τύποι ορμονών

- Οι ορμόνες κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις δομικές ομάδες, με τα μέλη κάθε ομάδας να έχουν πολλές κοινές ιδιότητες:
- Πεπτίδια και πρωτεΐνες
- Παράγωγα αμινοξέων
- Στεροειδή
- Παράγωγα λιπιδικών οξέων - Εικοσανοειδή

Πεπτιδικές/πρωτεϊνικές ορμόνες

- Το μέγεθος κυμαίνεται από 3 αμινοξέα έως εκατοντάδες αμινοξέα.
- Συχνά παράγονται ως πρόδρομες ουσίες μεγαλύτερου μοριακού βάρους που διασπώνται πρωτεολυτικά στην ενεργή μορφή της ορμόνης.
- Οι πεπτιδικές/πρωτεϊνικές ορμόνες είναι υδατοδιαλυτές.
- Περιλαμβάνει τον μεγαλύτερο αριθμό ορμονών – ίσως σε χιλιάδες

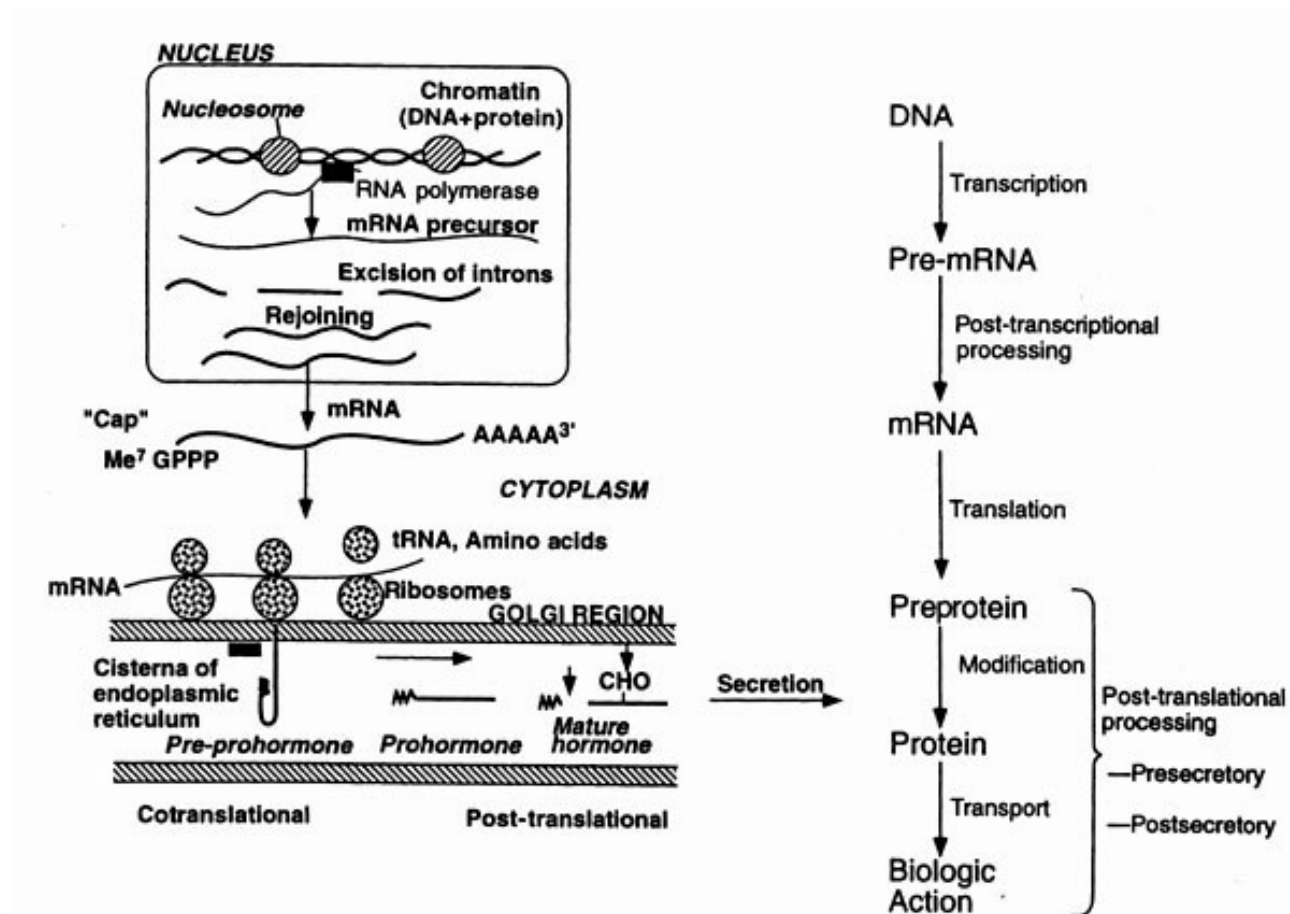
Πεπτιδικές/πρωτεϊνικές ορμόνες

- Κωδικοποιούνται από ένα συγκεκριμένο γονίδιο το οποίο μεταγράφεται σε mRNA και μεταφράζεται σε μια πρόδρομη πρωτεΐνη που ονομάζεται προπροορμόνη
- Οι προπροορμόνες συχνά τροποποιούνται για να περιέχουν υδατάνθρακες (γλυκοζυλίωση)
- Οι προπροορμόνες περιέχουν πεπτίδια σήματος (υδρόφοβα αμινοξέα) που τα στοχεύουν στο σωμάτια golgi όπου η αλληλουχία σήματος αφαιρείται για να σχηματίσει προορμόνη
- Η προορμόνη μετατρέπεται σε ενεργή ορμόνη και συσκευάζεται σε εκκριτικά κυστίδια

Πεπτιδικές/πρωτεϊνικές ορμόνες

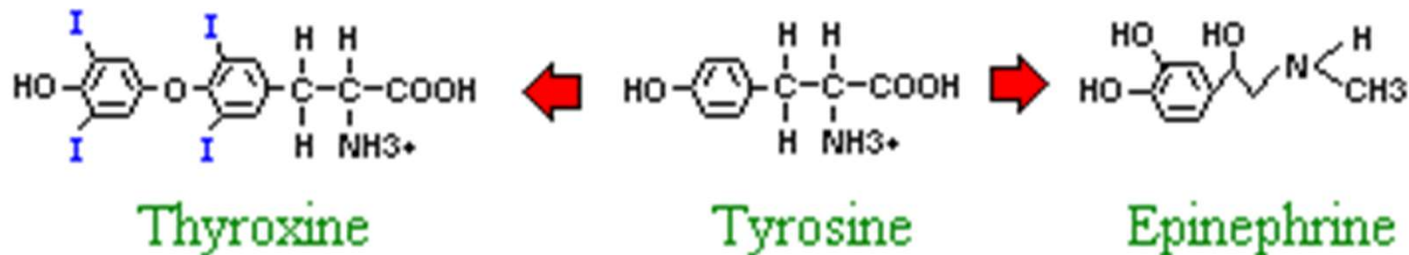
- Τα εκκριτικά κυστίδια μετακινούνται στην πλασματική μεμβράνη όπου περιμένουν ένα σήμα. Στη συνέχεια εξωκυτταρώνονται και εκκρίνονται στην κυκλοφορία του αίματος
- Σε ορισμένες περιπτώσεις η προορμόνη εκκρίνεται και μετατρέπεται στο εξωκυττάριο υγρό σε ενεργή ορμόνη: ένα παράδειγμα είναι η αγγειοτενσίνη που εκκρίνεται από το ήπαρ και μετατρέπεται σε ενεργή μορφή από ένζυμα που εκκρίνονται από τους νεφρούς και τους πνεύμονες.

Σύνθεση πεπτιδικών/πρωτεϊνικών ορμόνων



Αμινικές ορμόνες

- Υπάρχουν δύο ομάδες ορμονών που προέρχονται από το αμινοξύ τυροσίνη
- Θυρεοειδικές ορμόνες και Κατεχολαμίνες**



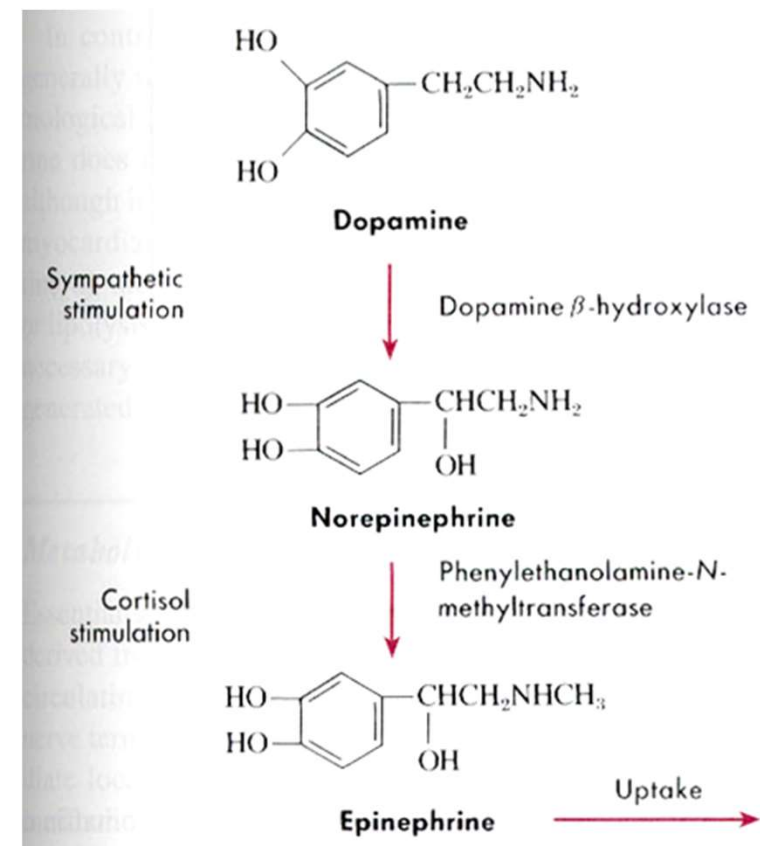
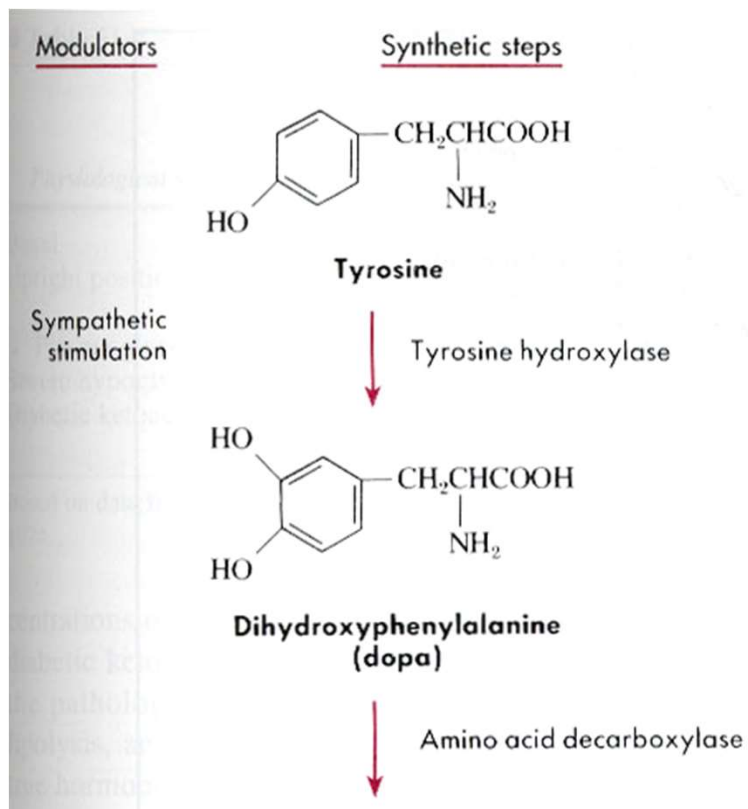
Θυρεοειδική Ορμόνη

- **Οι θυρεοειδικές ορμόνες** είναι βασικά μια «διπλή» τυροσίνη με την κρίσιμη ενσωμάτωση 3 ή 4 ατόμων ιωδίου.
- Η θυρεοειδική ορμόνη παράγεται από τον θυρεοειδή αδένα και είναι λιποδιαλυτή
- Οι θυρεοειδικές ορμόνες παράγονται με τροποποίηση ενός υπολείμματος τυροσίνης που περιέχεται στη θυρεοσφαιρίνη, τροποποιούνται για να δεσμεύουν το ιώδιο, στη συνέχεια διασπώνται πρωτεολυτικά και απελευθερώνονται ως T4 και T3. Στη συνέχεια, οι T3 και T4 συνδέονται με τη σφαιρίνη που δεσμεύει τη θυροξίνη για μεταφορά στο αίμα.

Ορμόνες κατεχολαμίνης

- Οι κατεχολαμίνες είναι τόσο νευροορμόνες όσο και νευροδιαβιβαστές.
- Αυτές περιλαμβάνουν επινεφρίνη και νορεπινεφρίνη
- Η επινεφρίνη και η νορεπινεφρίνη παράγονται από τον μυελό των επινεφριδίων και οι δύο είναι υδατοδιαλυτές
- Εκκρίνονται σαν πεπτιδικές ορμόνες

Σύνθεση κατεχολαμινών

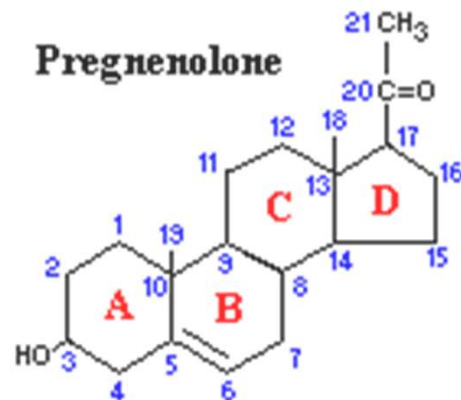


Αμινο Ορμόνες

- Δύο αμινοξέα χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση ορμονών:
- Η **τρυπτοφάνη** είναι ο πρόδρομος της σεροτονίνης και της επίφυσης ορμόνης μελατονίνης
- Το **γλουταμινικό οξύ** μετατρέπεται σε ισταμίνη

Στεροειδείς ορμόνες

- Όλες οι στεροειδείς ορμόνες προέρχονται από τη χοληστερόλη και διαφέρουν μόνο στη δομή του δακτυλίου και στις πλευρικές αλυσίδες που συνδέονται με αυτήν.
- Όλες οι στεροειδείς ορμόνες είναι λιποδιαλυτές



Τύποι στεροειδών ορμονών

- **Γλυκοκορτικοειδή:** Η κορτιζόλη είναι ο κύριος εκπρόσωπος στα περισσότερα θηλαστικά
- **Ορυκτοκορτικοειδή:** Η αλδοστερόνη είναι η πιο σημαντική
- **Ανδρογόνα** όπως η τεστοστερόνη
- **Οιστρογόνα**, συμπεριλαμβανομένης της οιστραδιόλης και της οιστρονής
- **Προγεσταγόνα** (γνωστά και ως προγεστίνες) όπως η προγεστερόνη

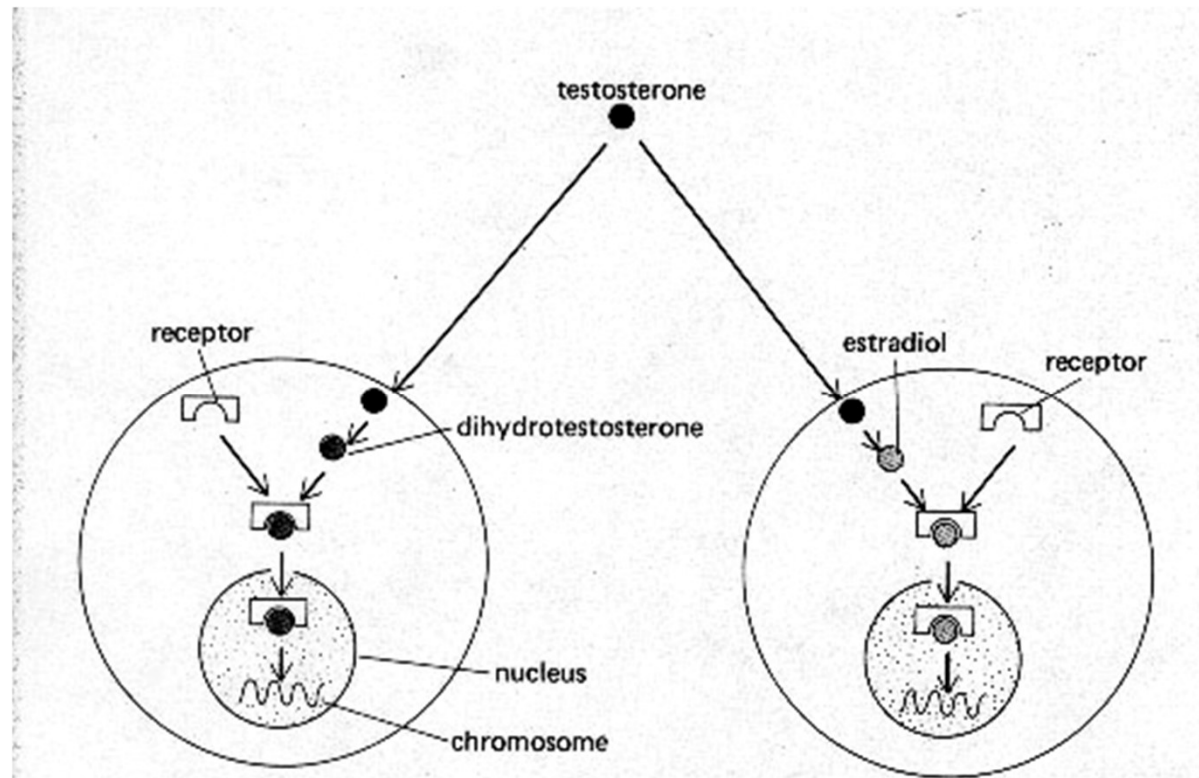
Στεροειδείς ορμόνες

- Δεν συσκευάζονται, αλλά συντίθενται και απελευθερώνονται αμέσως
- Προέρχονται από την ίδια μητρική ένωση: τη χοληστερόλη
- Τα ένζυμα που παράγουν στεροειδείς ορμόνες από τη χοληστερόλη βρίσκονται κυρίως στα μιτοχόνδρια
- Τα στεροειδή είναι λιποδιαλυτά και επομένως είναι ελεύθερα διαπερατά από τις μεμβράνες, επομένως δεν αποθηκεύονται στα κύτταρα

Στεροειδείς ορμόνες

- Οι στεροειδείς ορμόνες δεν είναι υδατοδιαλυτές, επομένως πρέπει να μεταφέρονται στο αίμα συμπλεγμένες σε συγκεκριμένες δεσμευτικές σφαιρίνες.
- Η σφαιρίνη που δεσμεύει τα κορτικοστεροειδή μεταφέρει κορτιζόλη
- Η σφαιρίνη που δεσμεύει στεροειδή για το φύλο μεταφέρει τεστοστερόνη και οιστραδιόλη
- Σε ορισμένες περιπτώσεις ένα στεροειδές εκκρίνεται από ένα κύτταρο και μετατρέπεται στο ενεργό στεροειδές από το κύτταρο στόχο: ένα παράδειγμα είναι το ανδρογόνο που εκκρίνεται από τη γονάδα και μετατρέπεται σε οιστρογόνο στον εγκέφαλο

Τα στεροειδή μπορούν να μετατραπούν σε ενεργό στεροειδές στο κύτταρο στόχο



Στεροειδογόνα Ένζυμα

Common name	"Old" name	Current name
Side-chain cleavage enzyme; desmolase	P450 _{SCC}	CYP11A1
3 beta-hydroxysteroid dehydrogenase	3 beta-HSD	3 beta-HSD
17 alpha-hydroxylase/17,20 lyase	P450 _{C17}	CYP17
21-hydroxylase	P450 _{C21}	CYP21A2
11 beta-hydroxylase	P450 _{C11}	CYP11B1
Aldosterone synthase	P450 _{C11AS}	CYP11B2
Aromatase	P450 _{aro}	CYP19

[illegible]

- Major progestagen
- Major mineralocorticoid
- Major glucocorticoid (species variation)
- Major gonadal estrogens
- Major gonadal androgen

Σύνθεση στεροειδών ορμονών

- Όλες οι στεροειδείς ορμόνες προέρχονται από τη χοληστερόλη. Μια σειρά ενζυματικών βημάτων στα μιτοχόνδρια των στεροειδογενών ιστών μετατρέπουν τη χοληστερόλη σε όλες τις άλλες στεροειδείς ορμόνες και ενδιάμεσα.
- Το περιοριστικό βήμα σε αυτή τη διαδικασία είναι η μεταφορά της ελεύθερης χοληστερόλης από το κυτταρόπλασμα στα μιτοχόνδρια. Αυτό το βήμα πραγματοποιείται από τη Στεροειδογόνο Οξεία Ρυθμιστική Πρωτεΐνη (StAR)

Σύνθεση στεροειδών ορμονών

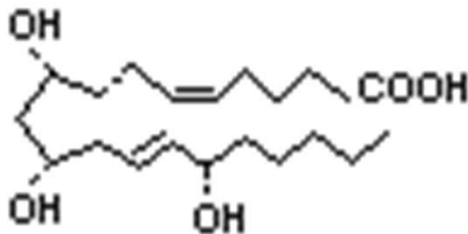
- Ο πρόδρομος της χοληστερόλης προέρχεται από τη χοληστερόλη που συντίθεται εντός του κυττάρου από οξικό άλας, από αποθήκες εστέρων χοληστερόλης σε ενδοκυτταρικά σταγονίδια λιπιδίων ή από πρόσληψη λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας που περιέχουν χοληστερόλη.
- Οι λιποπρωτεΐνες που λαμβάνονται από το πλάσμα είναι πιο σημαντικές όταν τα στεροειδογόνα κύτταρα διεγείρονται χρόνια.

Παράγωγα λιπαρών οξέων - Εικοσανοειδή

- Το αραχαδονικό οξύ είναι ο πιο άφθονος πρόδρομος για αυτές τις ορμόνες. Αποθήκες αραχαδονικού οξέος υπάρχουν στα λιπίδια της μεμβράνης και απελευθερώνονται μέσω της δράσης διαφόρων λιπασών. Τα συγκεκριμένα εικοσανοειδή που συντίθενται από ένα κύτταρο υπαγορεύονται από τα ένζυμα επεξεργασίας που εκφράζονται σε αυτό το κύτταρο.
- Αυτές οι ορμόνες αδρανοποιούνται γρήγορα με το μεταβολισμό και είναι τυπικά ενεργές μόνο για λίγα δευτερόλεπτα.

Παράγωγα λιπαρών οξέων - Εικοσανοειδή

- Τα **εικοσανοειδή** είναι μια μεγάλη ομάδα μορίων που προέρχονται από πολυακόρεστα λιπαρά οξέα.
- Οι κύριες ομάδες ορμονών αυτής της κατηγορίας είναι οι προσταγλανδίνες, οι προστακυκλίνες, τα λευκοτριένια και οι θρομβοξάνες



Prostaglandin F₂α

Ρύθμιση έκκρισης ορμονών

- Αίσθηση και σηματοδότηση: γίνεται αισθητή μια βιολογική ανάγκη, το ενδοκρινικό σύστημα στέλνει ένα σήμα σε ένα κύτταρο-στόχο του οποίου η δράση καλύπτει τη βιολογική ανάγκη.
- Βασικά χαρακτηριστικά αυτού του συστήματος απόκρισης ερεθίσματος είναι:
 - λήψη ερεθίσματος
 - σύνθεση και έκκριση ορμόνης
 - παροχή ορμόνης στο κύτταρο στόχο
 - πρόκληση απόκρισης κυττάρου στόχου
 - αποικοδόμηση της ορμόνης

Έλεγχος Ενδοκρινικής Δραστηριότητας

- Οι φυσιολογικές επιδράσεις των ορμονών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκέντρωσή τους στο αίμα και στο εξωκυττάριο υγρό.
- Σχεδόν αναπόφευκτα, μια ασθένεια προκύπτει όταν οι συγκεντρώσεις των ορμονών είναι είτε πολύ υψηλές είτε πολύ χαμηλές, και επομένως ο ακριβής έλεγχος των συγκεντρώσεων των ορμονών που κυκλοφορούν είναι ζωτικής σημασίας.

Έλεγχος Ενδοκρινικής Δραστηριότητας

- Η συγκέντρωση της ορμόνης όπως φαίνεται από τα κύτταρα-στόχους καθορίζεται από τρεις παράγοντες:
- Ρυθμός παραγωγής
- Ρυθμός παράδοσης
- Ρυθμός υποβάθμισης και αποβολής

Έλεγχος Ενδοκρινικής Δραστηριότητας

Ρυθμός παραγωγής:

Η σύνθεση και η έκκριση ορμονών είναι η πιο ρυθμιζόμενη πτυχή του ενδοκρινικού ελέγχου. Αυτός ο έλεγχος διαμεσολαβείται από κυκλώματα θετικής και αρνητικής ανάδρασης.

Έλεγχος Ενδοκρινικής Δραστηριότητας

Ρυθμός παροχής:

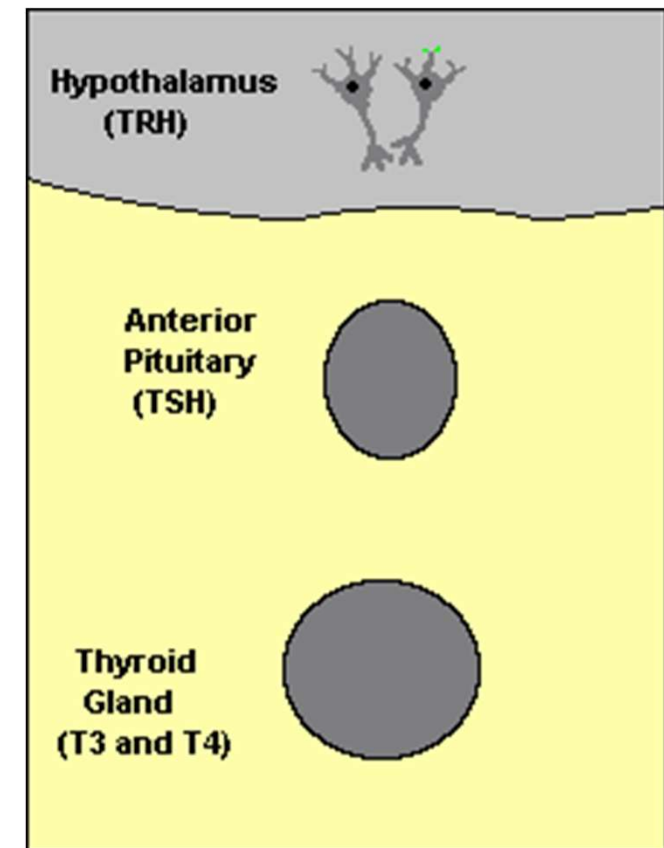
Ένα παράδειγμα αυτής της επίδρασης είναι η ροή του αίματος σε ένα όργανο-στόχο ή ομάδα κυττάρων-στόχων - η υψηλή ροή αίματος παρέχει περισσότερη ορμόνη από τη χαμηλή ροή αίματος.

Έλεγχος Ενδοκρινικής Δραστηριότητας

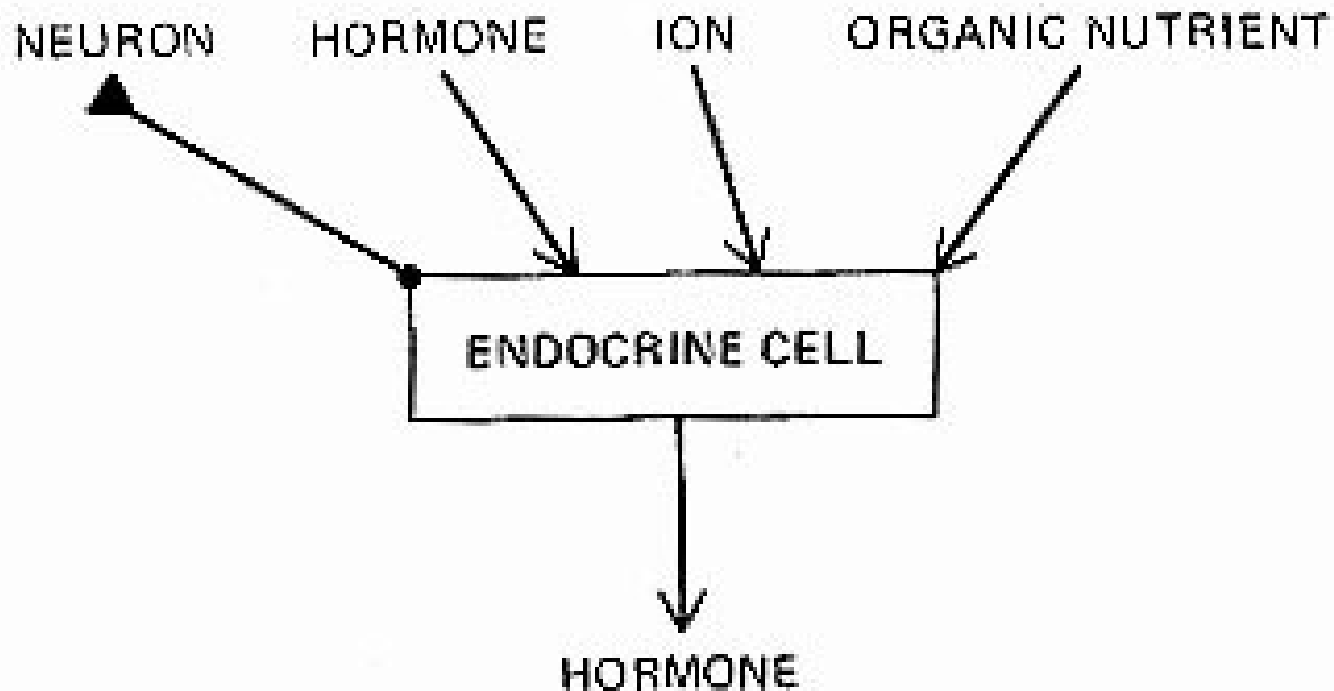
- **Ρυθμός αποδόμησης και αποβολής:**
- Οι ορμόνες, όπως όλα τα βιομόρια, έχουν χαρακτηριστικούς ρυθμούς αποσύνθεσης και μεταβολίζονται και απεκκρίνονται από το σώμα μέσω διαφόρων οδών.
- Η διακοπή της έκκρισης μιας ορμόνης που έχει πολύ μικρό χρόνο ημίσειας ζωής προκαλεί κατακόρυφη πτώση της συγκέντρωσης της ορμόνης στην κυκλοφορία, αλλά εάν ο βιολογικός χρόνος ημίσειας ζωής μιας ορμόνης είναι μεγάλος, οι αποτελεσματικές συγκεντρώσεις παραμένουν για κάποιο χρονικό διάστημα μετά τη διακοπή της έκκρισης.

Έλεγχος Ανατροφοδότησης στην Παραγωγή Ορμονών

- Οι κύκλοι ανάδρασης χρησιμοποιούνται εκτενώς για τη ρύθμιση της έκκρισης ορμονών στον άξονα υποθαλάμου-υπόφυσης. Ένα σημαντικό παράδειγμα αρνητικής ανάδρασης φαίνεται στον έλεγχο της έκκρισης θυρεοειδικών ορμονών



Επιρροές σε ενδοκρινικά κύτταρα



Νευρικός έλεγχος

- Οι νευρικές επρροές στον υποθάλαμο διεγείρουν τη σύνθεση και την έκκριση παραγόντων απελευθέρωσης που διεγείρουν την παραγωγή και απελευθέρωση ορμονών της υπόφυσης.

Χρονοτροπικός έλεγχος

- Ενδογενής νευρωνική ρυθμικότητα
- Ημερήσιοι ρυθμοί, κιρκάδιοι ρυθμοί (αυξητική ορμόνη και κορτιζόλη), κύκλος ύπνου-εγρήγορσης, εποχιακός ρυθμός

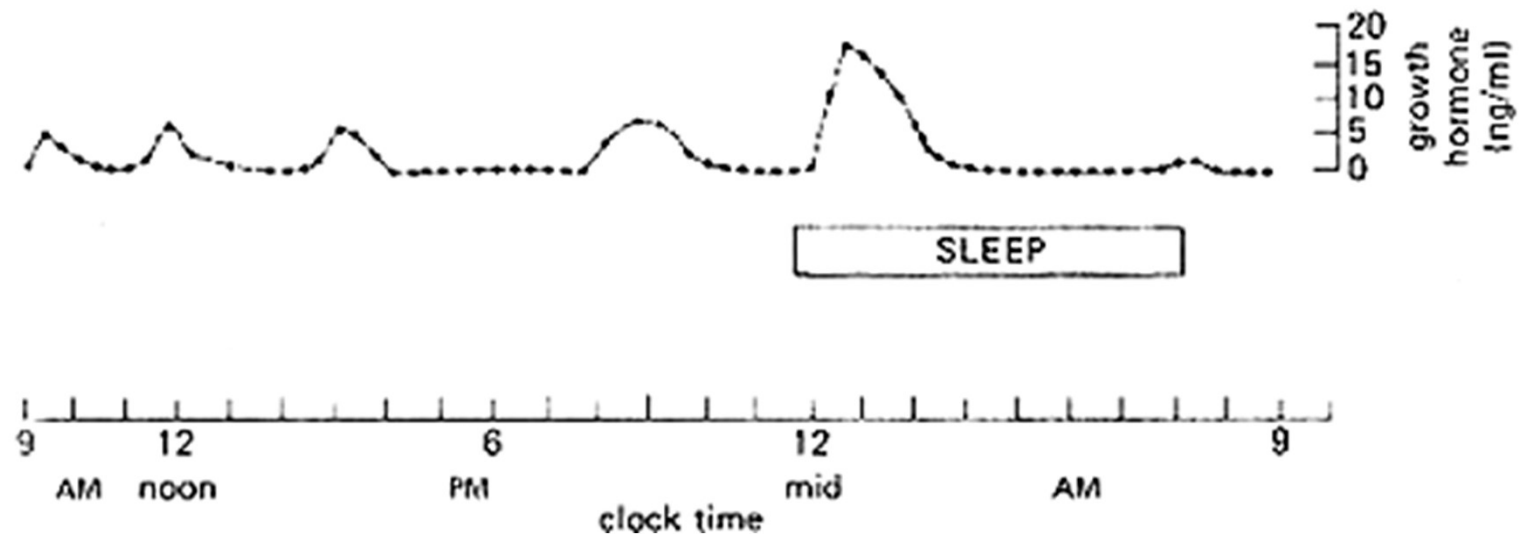
Επεισοδιακή έκκριση ορμονών

- Η σύζευξη απόκρισης-ερεθίσματος επιτρέπει στο ενδοκρινικό σύστημα να παραμένει ανταποκρινόμενο στις φυσιολογικές απαιτήσεις
- Τα εκκριτικά επεισόδια συμβαίνουν με διαφορετική περιοδικότητα
- Οι παλμοί μπορεί να είναι τόσο συχνοί όσο κάθε 5-10 λεπτά

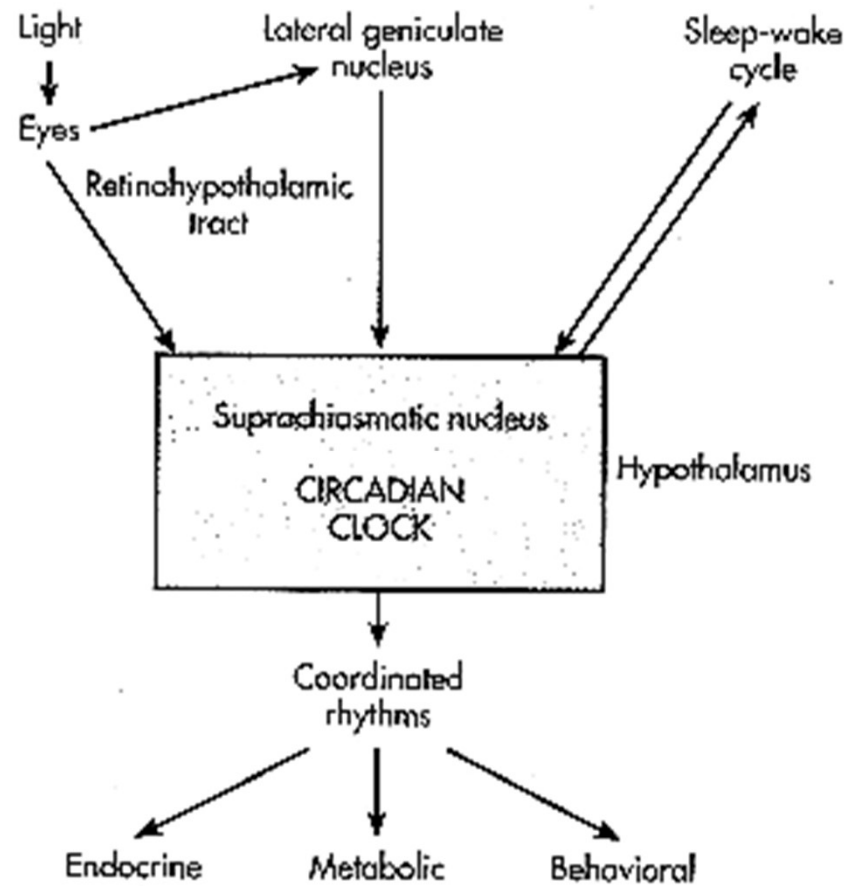
Επεισοδιακή έκκριση ορμονών

- Τα πιο εμφανή επεισόδια απελευθέρωσης συμβαίνουν με συχνότητα περίπου μίας ώρας - που αναφέρονται ως *κυκλικά*
- Ένα επεισόδιο απελευθέρωσης μεγαλύτερο από μία ώρα, αλλά λιγότερο από 24 ώρες, ο ρυθμός αναφέρεται ως *υπερδιαφανής*
- Εάν η περιοδικότητα είναι περίπου 24 ώρες, ο ρυθμός αναφέρεται ως *κιρκάδιος*
 - συνήθως αναφέρεται ως *ημερήσια* επειδή η αύξηση της εκκριτικής δραστηριότητας συμβαίνει σε μια καθορισμένη περίοδο της ημέρας.

Κιρκάδιος (χρονοτροπικός) έλεγχος



Κιρκάδιο Ρολόι



Φυσιολογική σημασία της παλμικής απελευθέρωσης ορμόνων

- Αποδεικνύεται με έγχυση GnRH
- Εάν χορηγείται μία φορά την ώρα, η έκκριση γοναδοτροπίνης και η γοναδική λειτουργία διατηρούνται κανονικά
- Μια πιο αργή συχνότητα δεν θα διατηρήσει τη λειτουργία των γονάδων
- Η ταχύτερη ή συνεχής έγχυση αναστέλλει την έκκριση γοναδοτροπίνης και μπλοκάρει την παραγωγή στεροειδών των γονάδων

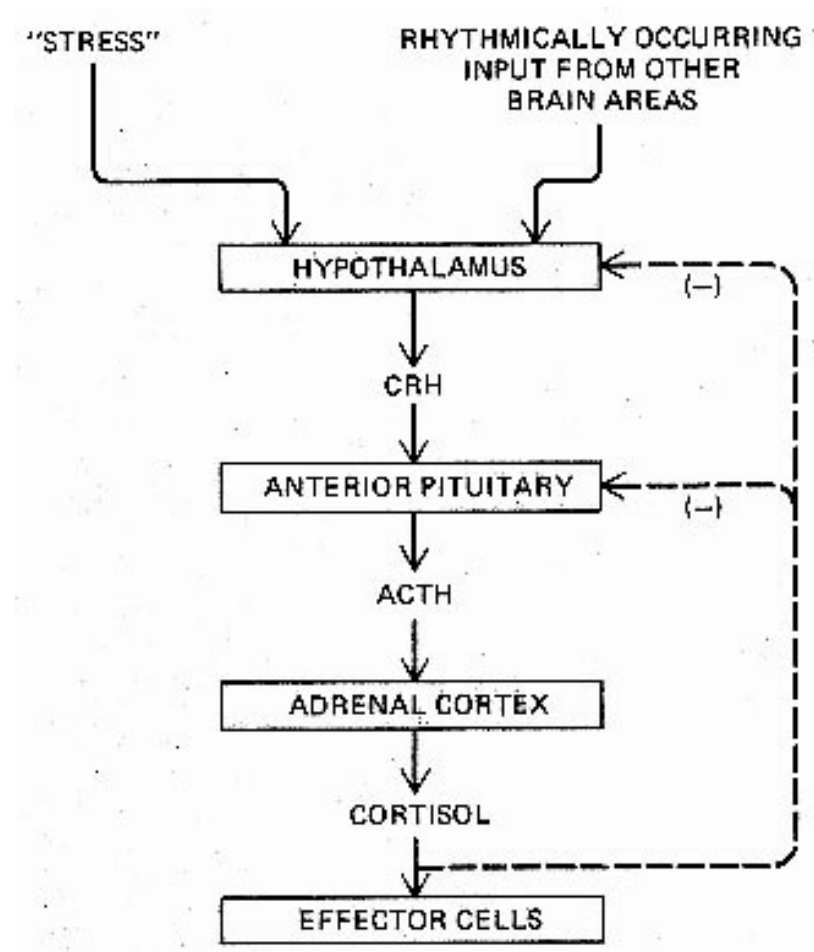
Κλινική συσχέτιση

- Μακράς δράσης εκλιτικής ορμόνης των γοναδοτροπίνων GnRH (όπως η λευπρολίνη) έχουν εφαρμοστεί στη θεραπεία της πρώιμης εφηβείας, στον χειρισμό των αναπαραγωγικών κύκλων (χρησιμοποιείται στην εξωσωματική γονιμοποίηση), για τη θεραπεία της ενδομητρίωσης, του λειομώματος της μήτρας κ.λπ.

Έλεγχος ανατροφοδότησης

- Η αρνητική ανάδραση είναι πιο συχνή: για παράδειγμα, η γοναδοτροπίνη LH από την υπόφυση διεγείρει τους όρχεις να παράγουν τεστοστερόνη η οποία με τη σειρά της ανατροφοδοτεί και αναστέλλει την έκκριση LH
- Η θετική ανατροφοδότηση είναι λιγότερο συχνή: παραδείγματα περιλαμβάνουν διέγερση LH των οιστρογόνων που διεγείρει την αύξηση της LH κατά την ωορρηξία

Αρνητική ανατροφοδότηση της κορτιζόλης



- **Γλυκόζη και ινσουλίνη:**

καθώς αυξάνεται η γλυκόζη διεγείρει το πάγκρεας να εκκρίνει ινσουλίνη

Έλεγχος ανατροφοδότησης της ινσουλίνης από τις συγκεντρώσεις γλυκόζης

