

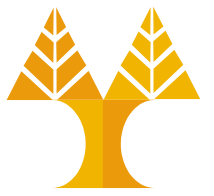


HMY 370

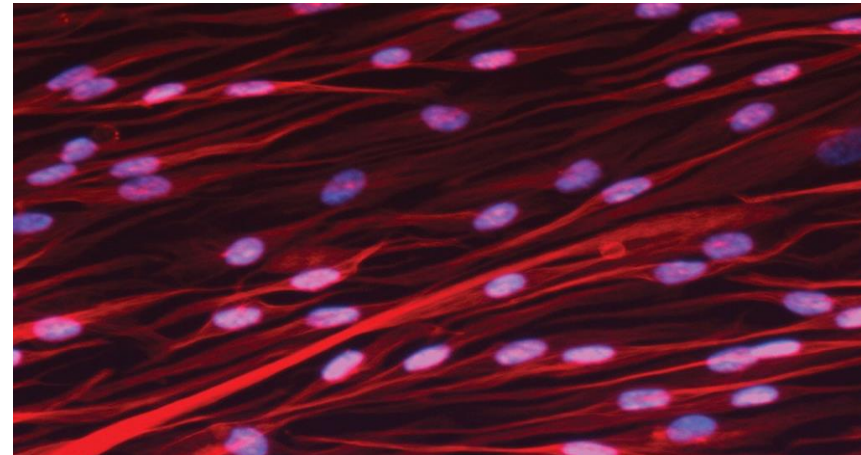
Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Μηχανική

Διεγέρσιμοι Ιστοί και Νευρικό Σύστημα

Διεγέρσιμοι (Excitable) Ιστοί



- **Διεγέρσιμοι ιστοί = ιστοί με ηλεκτρική δραστηριότητα**
 - Αλλαγές στο δυναμικό της μεμβράνης τους παράγουν ηλεκτρικά σήματα
 - Νευρικός ιστός → Μεταφορά πληροφορίας
 - Μυϊκός ιστός → Σύσπαση

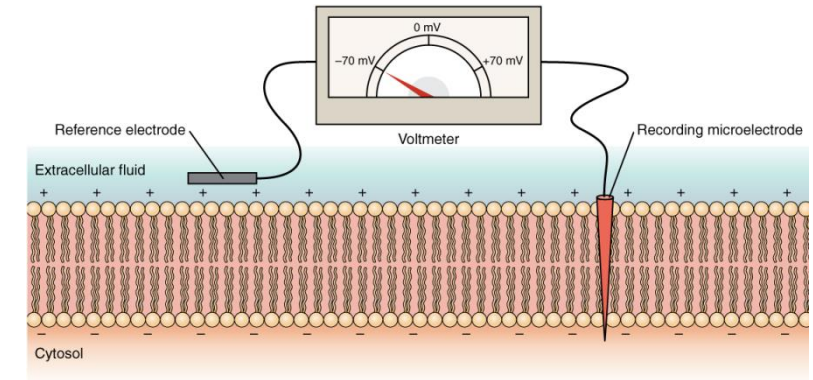


Δυναμικό Ηρεμίας της Μembrάνης



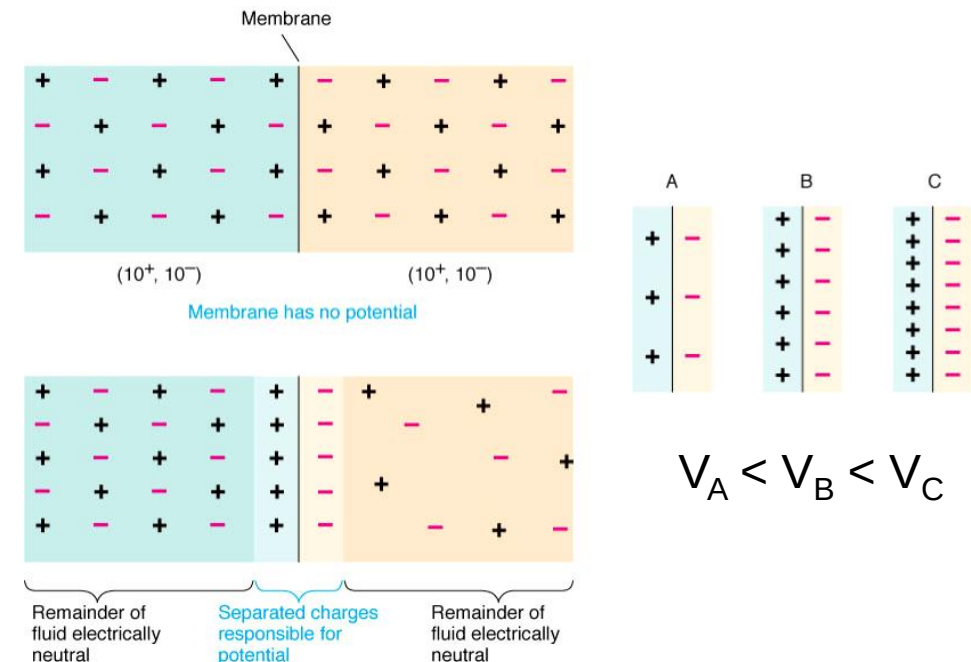
- Όλα τα κύτταρα διαθέτουν ηλεκτρικό δυναμικό

- Εξωκυτταρικό υγρό = 0 mV (η “γείωση”)
- Το εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικό
 - Ερυθρά αιμοσφαίρια = - 9 mV
 - Σκελετικοί Μύες = -100 mV
 - Νευρώνες = - 70 mV



- Το ηλεκτρικό δυναμικό προέρχεται από ιόντα

- Αντίθετα φορτία έλκονται και όμοια απωθούνται
- Δυναμικό της μεμβράνης → αντίθετα φορτία κατά μήκος της μεμβράνης
 - Διαχωρισμός φορτίων (περισσότερα + στη μία πλευρά, περισσότερα - στην άλλη) → ηλεκτρικό δυναμικό
 - Περισσότερα φορτία → $\uparrow V$



Δυναμικό Ηρεμίας της Μembrάνης (Membrane Rest Potential)

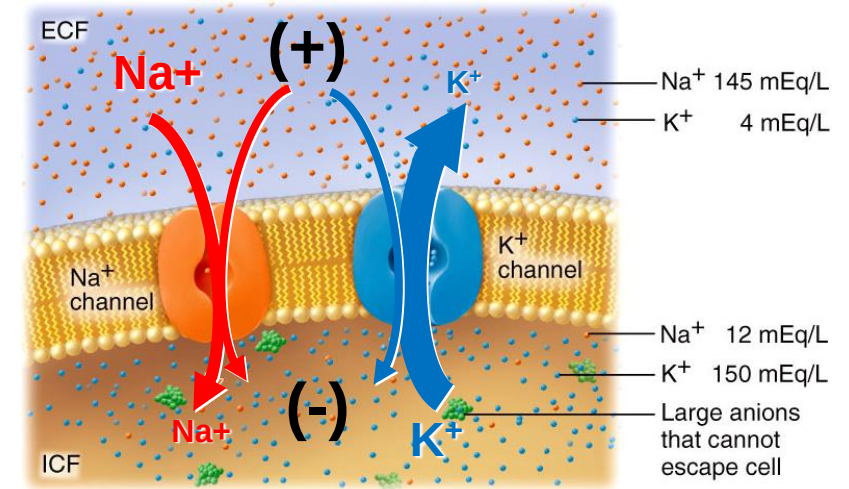


- **Ροή ιόντων μέσα από τα διαύλους διαρροής**

- Επιλεκτική Περαιτότητα
 - Δίαυλοι Na^+ και K^+ σε αναλογία 1:50-75
- Διαφορά Συγκέντρωσης εναντία σε Διαφορά Δυναμικού
 - Ιόντα ρέουν από ψηλή σε χαμηλή συγκέντρωση
 - (+) ιόντα τείνουν να ρέουν προς (-) δυναμικό και ανάποδα
- Οι συγκεντρώσεις τείνουν να φτάσουν σε μια ισορροπία

- **Δυναμικό Μembrάνης**

- Συνάρτηση των συγκεντρώσεων και της επιλεκτικής περαιτότητας της κυτταρικής μεμβράνης



Ιόν	Συγκέντρωση (millmoles/liter)		Σχετική Περαιτότητα
	Εξωκυτταρική	Ενδοκυτταρική	
Na^+	150	15	1
K^+	5	150	50-75
A^- (Πρωτεΐνες)	0	65	0

Δυναμικό Ηρεμίας της Μembrάνης



• Δυναμικό Ισορροπίας Ιόντων

- Κάθε ιόν τείνει να φτάσει στο δυναμικό ισορροπίας του (=δυναμικό στο οποίο δεν υπάρχει ροή ιόντων)
 - Εξίσωση Nerst
 - $E_{Na^+} \approx +30 \text{ mV}$
 - $E_{K^+} \approx -90 \text{ mV}$

• Δυναμικό Μembrάνης

- Συνολικό δυναμικό σε σταθερή κατάσταση → συνδυασμός όλων των ιόντων
 - Εξίσωση GHK
 - $E_m \approx -70 \text{ mV}$

• Σταθερή κατάσταση και όχι κατάσταση ισορροπίας

- A- παγιδευμένες μόνο μέσα στα κύτταρα
- Na^+ και K^+ δεν βρίσκονται στα δυναμικά ισορροπίας τους
 - Συνεχής ροή μέσα από διαύλους διαρροής ($K^+ > Na^+$)
 - Η συγκέντρωση του Na^+ και K^+ συντηρείται από αντλίες Na^+/K^+ (πολύ κρίσιμος ρόλος) → απαιτείται συνεχής κατανάλωση ενέργειας

Nerst Equation

$$E_I = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_o}{C_i}$$

GHK (Goldman-Hodgkin-Katz) equation (for monovalent molecules)

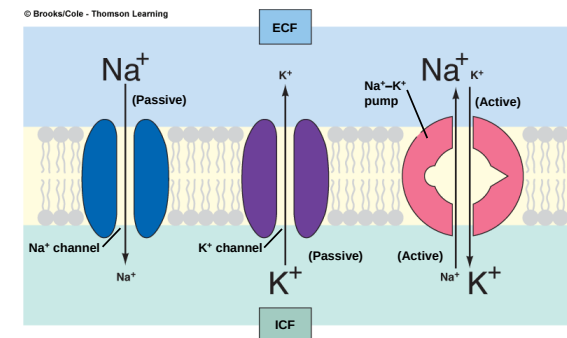
$$E_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{\sum P_{C^+} [C^+]_o + \sum P_{A^-} [A^-]_i}{\sum P_{C^+} [C^+]_i + \sum P_{A^-} [A^-]_o}$$

R: Σταθερά αερίων = 8.314472 ([Volts Coulomb]/[Kelvin mol])

F: Σταθερά Faraday = 96 485.3383 (Coulomb/mol)

z: Σθένος

T: Απόλυτη θερμοκρασία = 273.16 + °C (Kelvin)



Διεγέρσιμοι Ιστοί

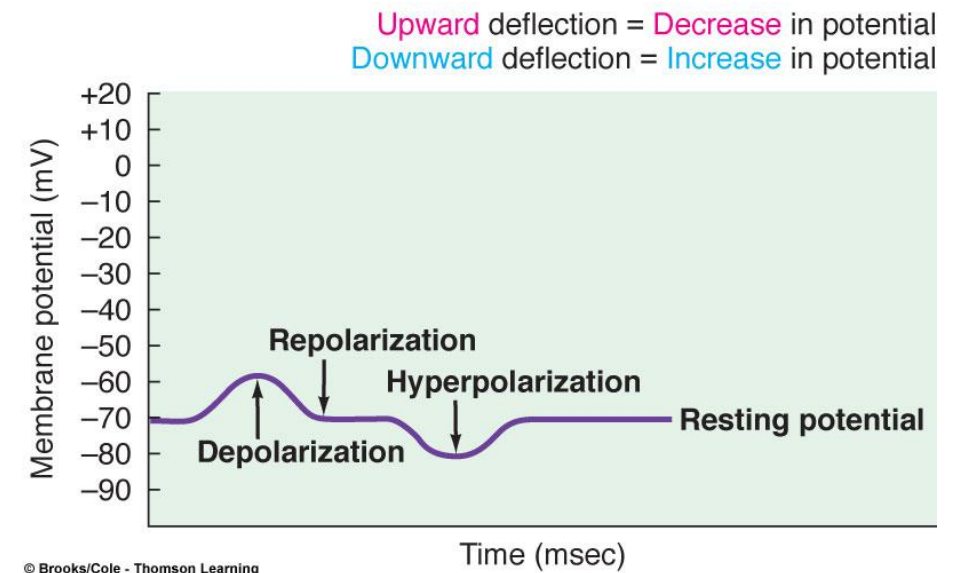


- **Αλλαγές στο δυναμικό της μεμβράνης**

- Χρησιμεύουν ως σήματα
- Πόλωση
 - Όταν υπάρχει ένα δυναμικό (είτε + ή -) μεμβράνης
- Εκπόλωση
 - Μείωση της πόλωσης, π.χ. $-70 \text{ mV} \rightarrow -50 \text{ mV}$
- Επαναπόλωση
 - Επιστροφή στο δυναμικό ηρεμίας
- Υπερπόλωσης
 - Αύξηση της πόλωσης, π.χ. $-70 \text{ mV} \rightarrow -90 \text{ mV}$

- **Ηλεκτρικά σήματα**

- Βαθμιδωτά Δυναμικά (Graded Potentials)
- Δυναμικά Ενεργείας (Action Potentials)

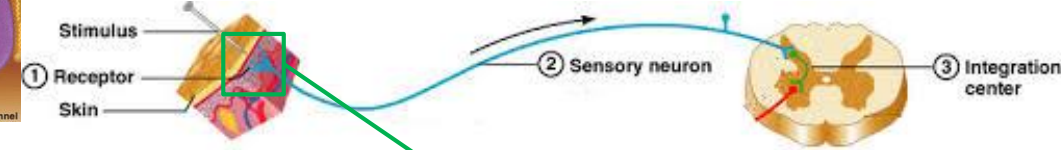
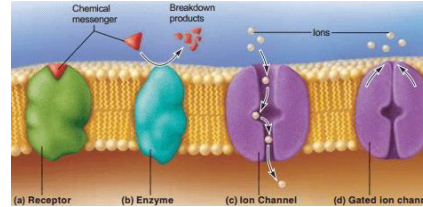


Βαθμιδωτά Δυναμικά (Graded Potentials)



- **Τα δυναμικά των αισθητήρων!**

- Αλληλεπίδραση υποδοχέων με
 - Χημικούς αγγελιοφόρους
 - Άλλα ερεθίσματα (π.χ. φως, ρεύμα, κλπ)
 - Αυτόματη μεταβολή του δυναμικού από εγγενείς διαρροές ιόντων (π.χ. βηματοδότηση της καρδιάς)

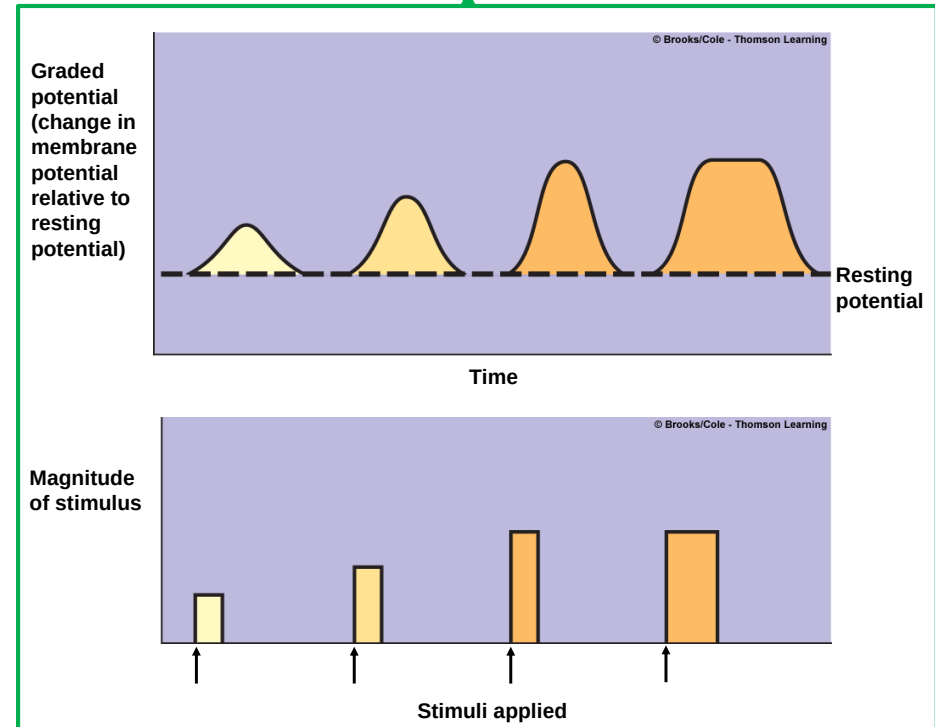


- **Οι αλλαγές στο δυναμικό προκαλούνται από μετακίνηση ιόντων**

- Ανοίγουν δίαυλοι ιόντων

- **Τοπικές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης**

- Περιορισμένα σε μια μικρή περιοχή
 - Το υπόλοιπο κύτταρο είναι ακόμη στο δυναμικό ηρεμίας
- Πλάτος και διάρκεια ανάλογα με το ερέθισμα



Βαθμιδωτά Δυναμικά (Graded Potentials)

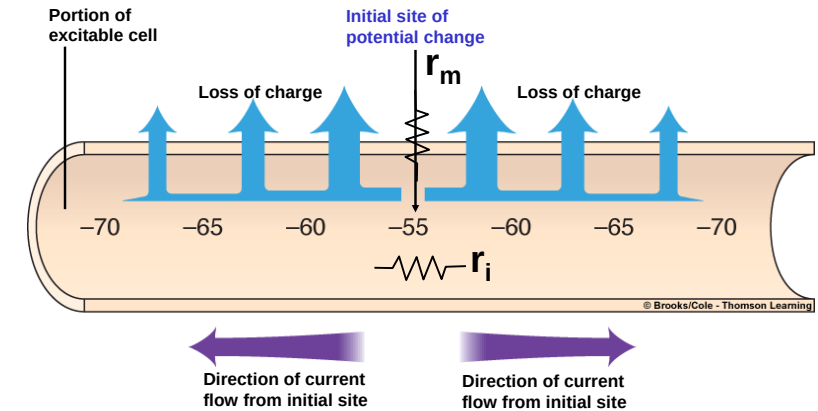


- Τα βαθμιδωτά δυναμικά εξασθενούν σε μικρές αποστάσεις

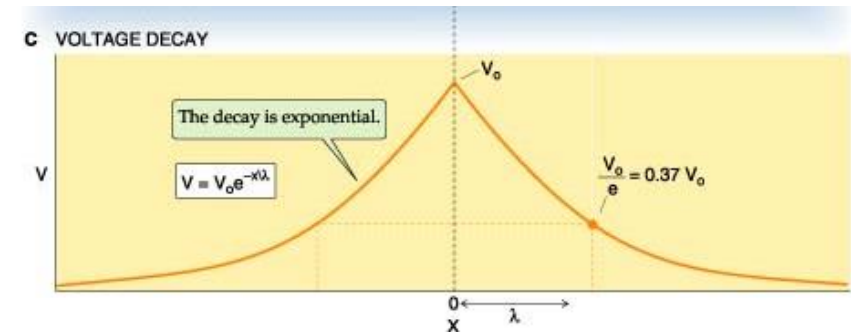
- Απώλεια φορτίου
- Το πλάτος μειώνεται καθώς το δυναμικό απομακρύνεται από το αρχικό σημείο
- Εξαφανίζονται εντελώς σε λίγα mm

$$V = V_0 e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad \lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_i}}$$

- $\uparrow r_i \rightarrow \downarrow \lambda$
 - r_i αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού διατομής
 - $\uparrow$ διάμετρος $\rightarrow \downarrow r_i$
- $\uparrow r_m \rightarrow \uparrow \lambda$
 - Περισσότερη ροή κατά μήκος του άξονα, εξαιτίας της μειωμένης απώλεια ιόντων μέσω της μεμβράνης



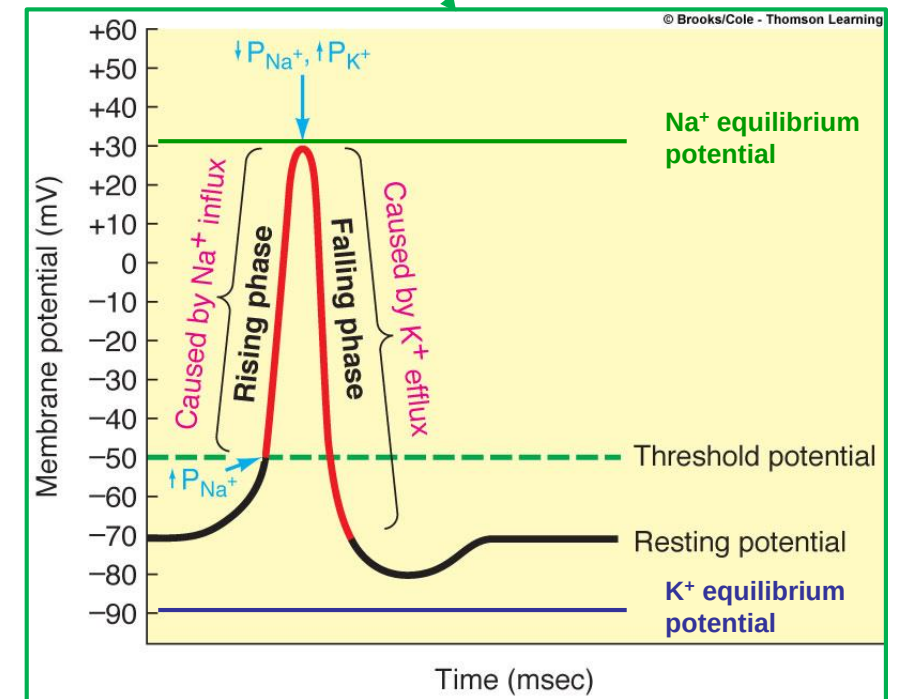
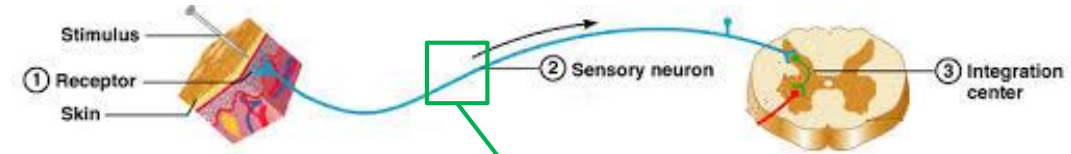
* Numbers refer to the local potential in mV at various points along the membrane.



Δυναμικά Ενέργειας (Action Potentials)



- Τα δυναμικά που
 - Μεταφέρουν πληροφορία στους νευρώνες
 - Προκαλούν συσπάσεις στους μύες
- Μεγάλες (~ 100 mV) μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης
 - Ξεκινούν μετά από βαθμιδωτά δυναμικά
 - Ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις
 - Σε αντίθεση με τα βαθμιδωτά δυναμικά
- Σταθερή διάρκεια και πλάτος για κάθε συγκεκριμένο τύπο κυττάρου
 - “Όλα ή τίποτα” (binary!)
 - Διάρκεια 1-4 ms $\rightarrow f = 250$ -1kHz!

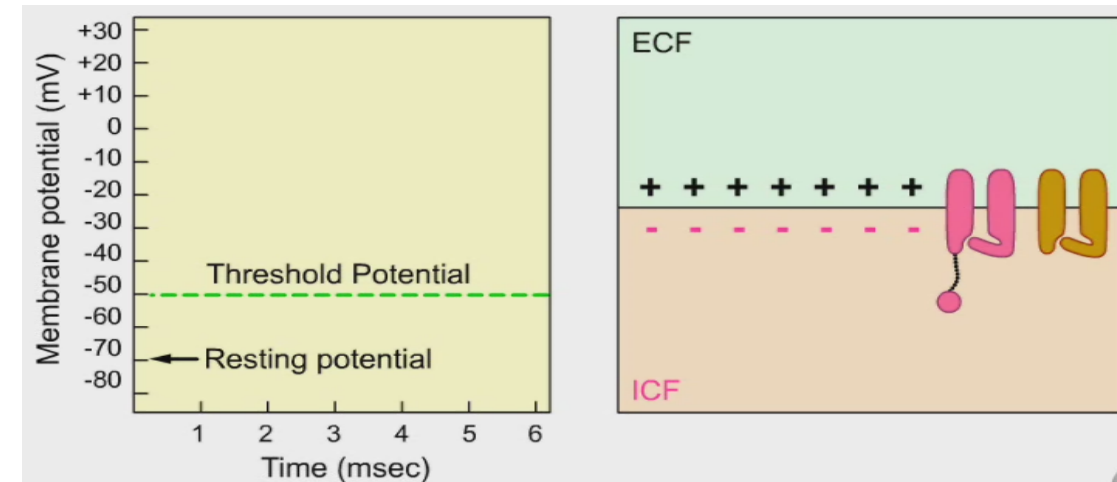
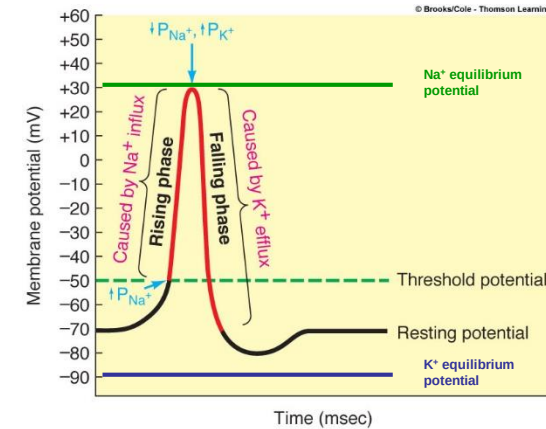


Δυναμικά Ενέργειας (Action Potentials)



- **Μεταβολές κατά τη διάρκεια ενός δυναμικού ενέργειας**

- Σταδιακή εκπόλωση μέχρι ένα κατώφλι δυναμικού (-50 ως -55 mV)
 - Από συνδιασμό βαθιδωτών δυναμικών
 - Εάν δεν επιτευχθεί δεν θα υπάρξει ΔΕ
- Ταχεία εκπόλωση (+30 mV)
 - Ανοίγουν τάσεοελεγχόμενοι δίαυλοι Na^+
- Ταχεία επαναπόλωση οδηγεί σε υπερπόλωση (-80 mV)
 - Απενεργοποίηση των διαύλων Na^+
 - Άνοιγμα τάσεοελεγχόμενων διαύλων K^+
- Αποκαθιστάτε το δυναμικό ηρεμίας (-70 mV)
 - Όλοι οι τάσεοελεγχόμενοι δίαυλοι είναι κλειστοί

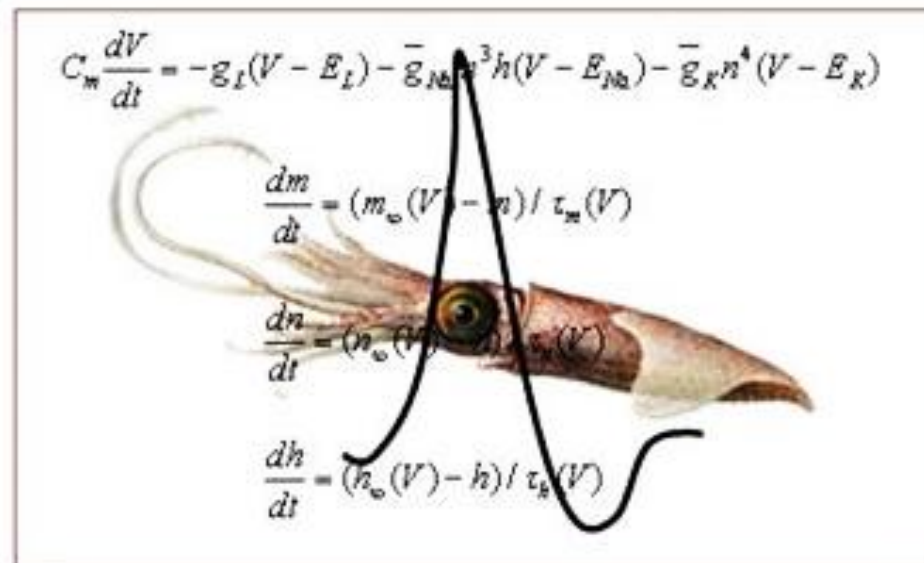


Hodgkin & Huxley



- Οι Sir Alan Lloyd Hodgkin και Sir Andrew Huxley
 - Περιέγραψαν το μοντέλο το 1952 για να εξηγήσουν τους ιοντικούς μηχανισμούς που καθορίζουν την αρχικοποίηση και τη διάδοση των δυναμικών ενεργείας στο γιγαντιαίο άξονα του καλαμαριού.
- Το μοντέλο προτάθηκε πολύ πριν γίνουν καλά γνωστοί οι μηχανισμοί των διαύλων
 - Απίστευτο!
- Για τη δουλειά αυτή βραβεύτηκαν με Νόμπελ

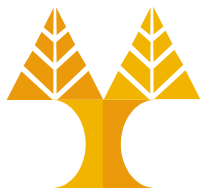
Hodgkin



Huxley



Μοντέλο Ισοδύναμου Ηλεκτρικού Κυκλώματος



- **Δυναμικό Μembrάνης**

- Διαφορετικές συγκεντρώσεις ιόντων → πηγές (E)
 - E από τις εξισώσεις Nerst για κάθε ιον
- Αγωγιμότητες ηρεμίας
- Νόμος του Ohm

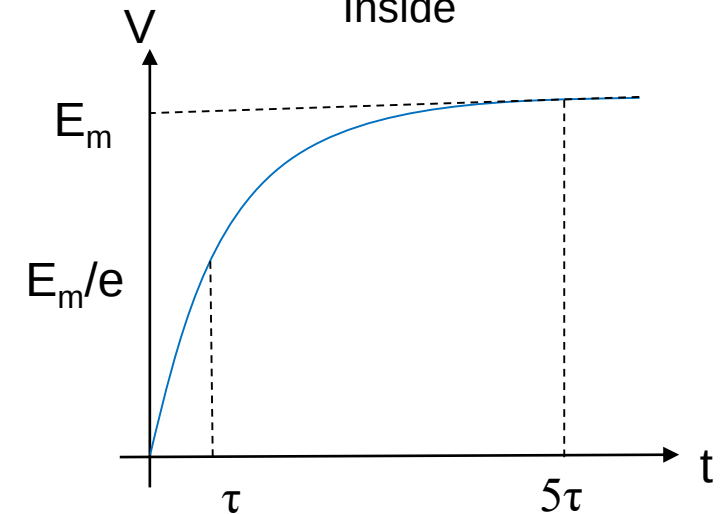
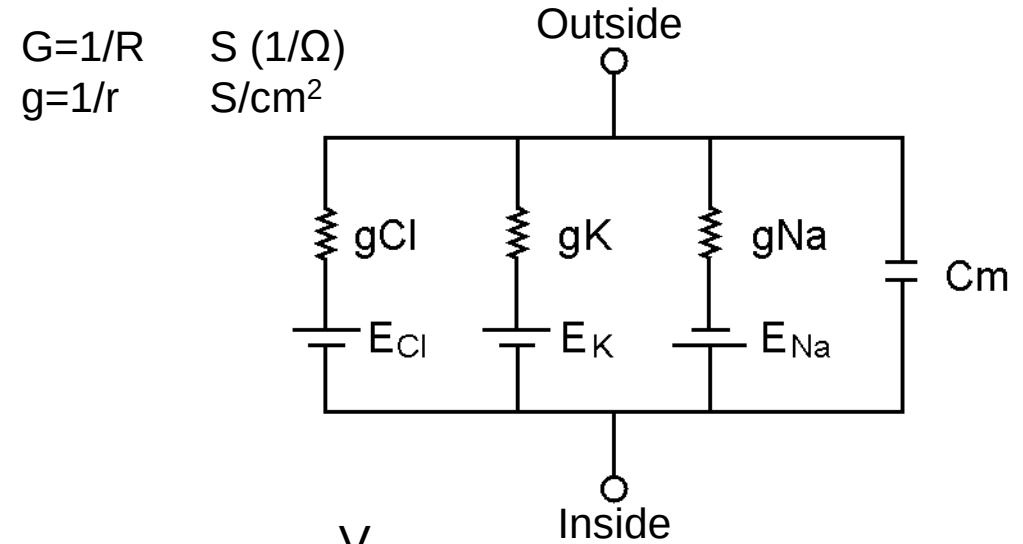
$$E_m = \frac{(g_K E_K) + (g_{Na} E_{Na}) + (g_{Cl} E_{Cl})}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$$

- **Στην παρουσία ρεύματος**

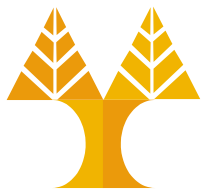
$$E_m = IR + E_m = \frac{I + (g_K E_K) + (g_{Na} E_{Na}) + (g_{Cl} E_{Cl})}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$$

- **Χρόνος που παίρνει για να φτάσει στο δυναμικό**

$$\tau = RC = \frac{C}{g_{Na} + g_K + g_{Cl}} \quad t = 5\tau$$



Νευρικό (Nervous) Σύστημα

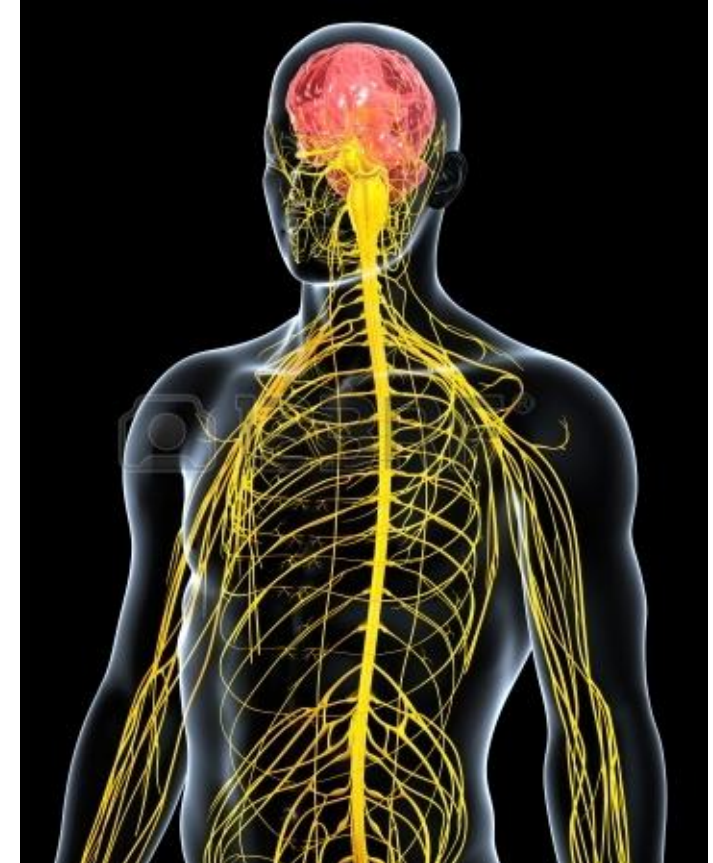


- **Λειτουργικά μέρη του νευρικού συστήματος:**

- Εγκέφαλος (brain)
- Νωτιαίος Μυελός (spinal cord)
- Νεύρα (nerves)
- Εξειδικευμένα όργανα αισθήσεων
 - Όραση, Ακοή, Γεύση, Όσφρηση

- **Λειτουργίες**

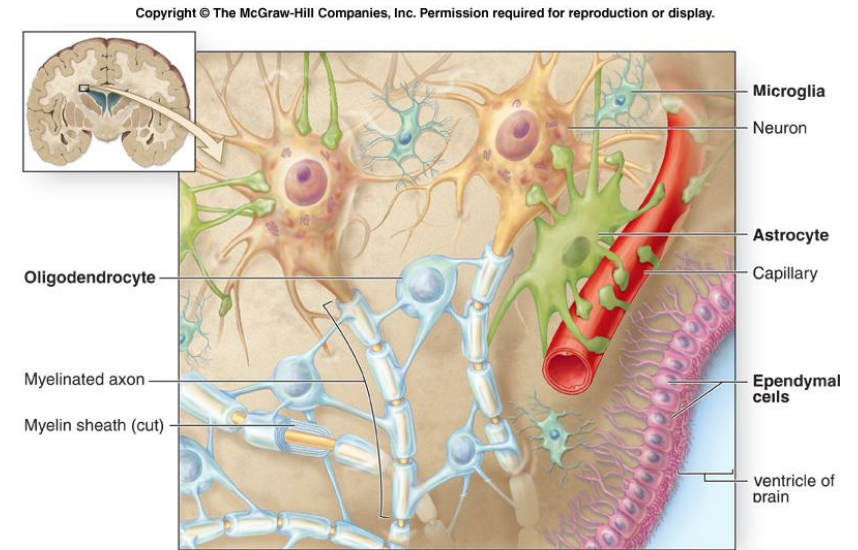
- Ηλεκτροχημική επικοινωνία (είσοδοι – αισθητήρες και έξοδοι - όργανα)
- Ανιχνεύει, ερμηνεύει και ανταποκρίνεται σε αλλαγές στο περιβάλλον



Κύτταρα του Νευρικού Συστήματος



- Οι δύο κύριες κατηγορίες κυττάρων είναι:
 - Νευρώνες (Neurons) – διεγέρισιμοι
 - Γλοιακά Κύτταρα (Glial cells or neuroglia) - υποστηρικτικά
- Γλοιακά Κύτταρα
 - 90 % των κυττάρων του ΚΝΣ (50 % του όγκου)
 - Επικοινωνούν χημικά (χωρίς ηλεκτρικούς παλμούς)
 - Ρόλος
 - Υποστηρίζουν δομικά και μεταβολικά τους νευρώνες
 - Διαμορφώνουν την συναπτική λειτουργία (σημαντικός ρόλος στη μνήμη και την μάθηση)
 - Παρέχουν ανοσοποιητική κάλυψη
 - Συνθέτουν το Εγκεφαλονωτιαίο Υγρό (ENY)
 - Καρκίνοι του νευρικού συστήματος
 - Οι περισσότεροι προέρχονται από τα γλοιακά κύτταρα.
 - Οι νευρώνες δεν διαιρούνται



Νευρώνες

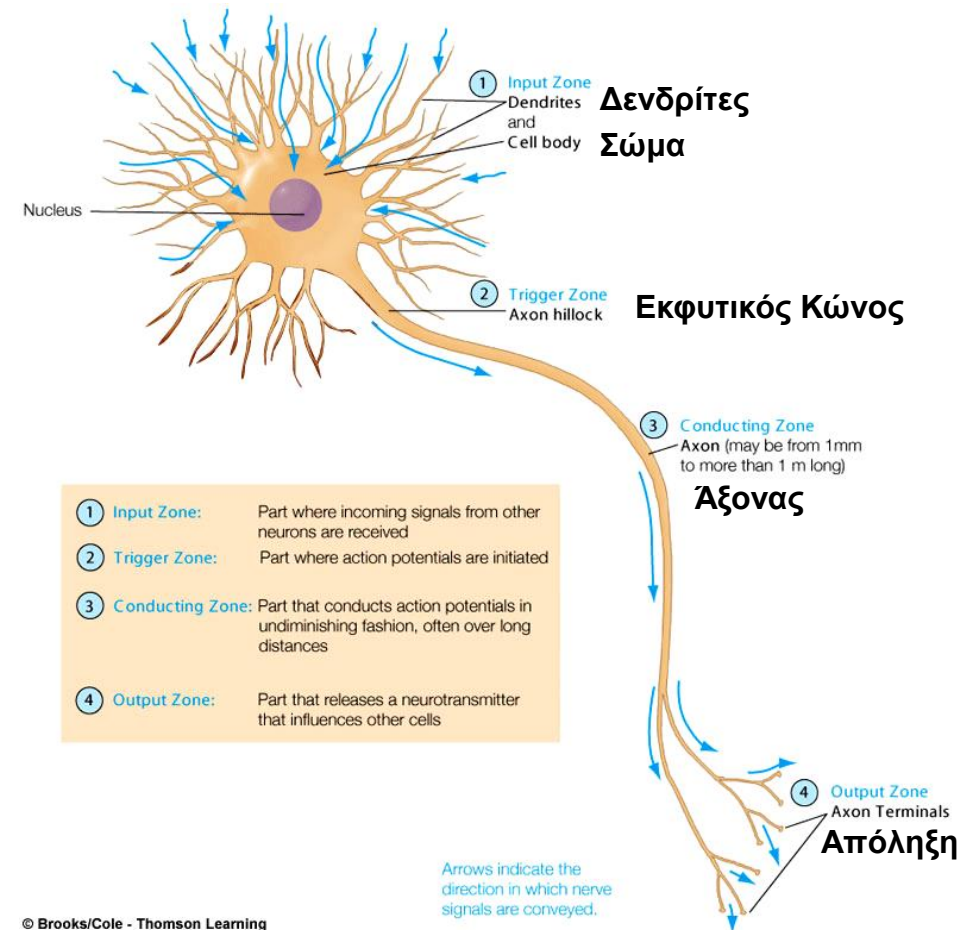


- **Διεγέρσιμα κύτταρα**

- Επικοινωνούν με
 - Δυναμικά Ενεργείας: ηλεκτρικά σήματα
 - Συνάψεις: χημικές διασυνδέσεις

- **Δομή του Νευρώνα**

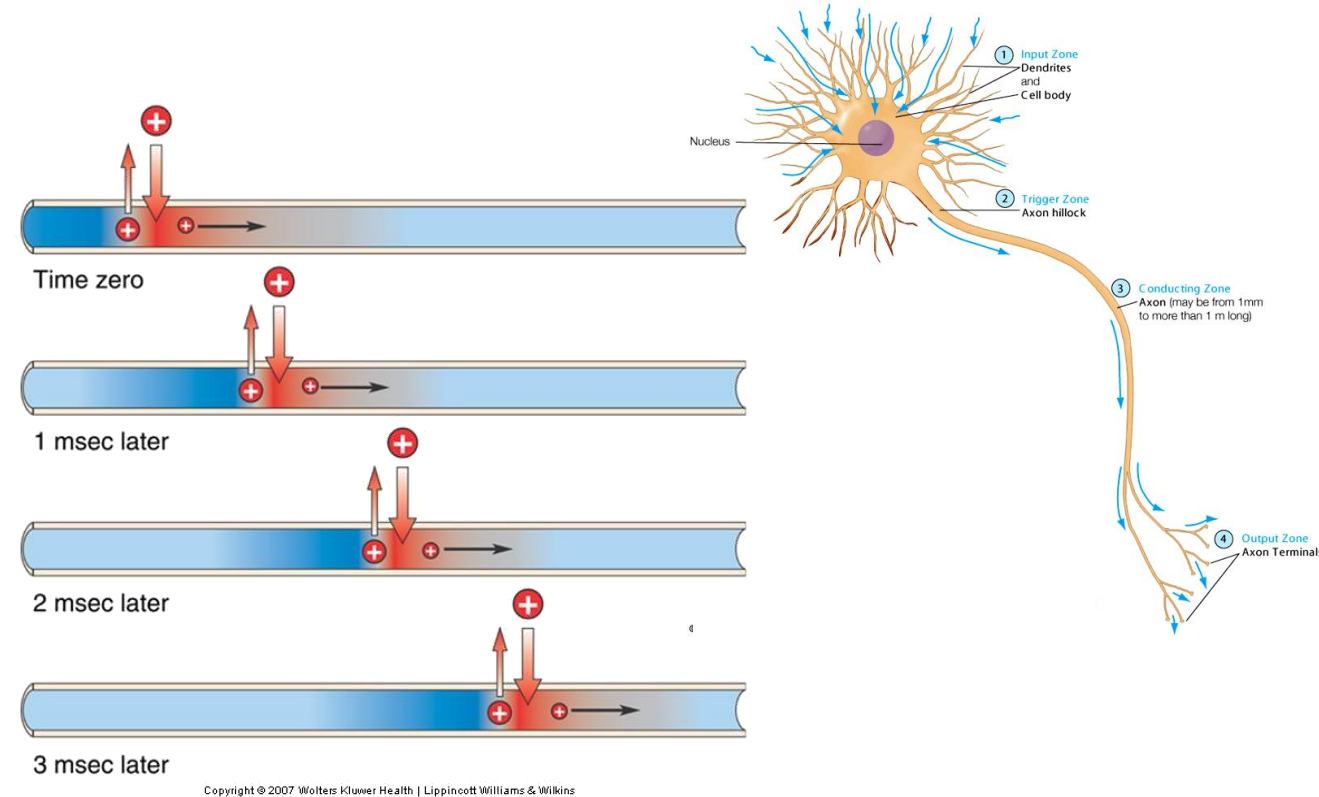
- Δενδρίτες (έως και 400 000)
 - Είσοδοι: Αισθητήρες ή συνάψεις από άλλους νευρώνες
 - Βαθμιδωτά δυναμικά
- Σώμα του νευρώνα
 - Επεξεργασία: Ολοκλήρωση
 - Σταθμισμένη άθροιση των βαθμιδωτών δυναμικών
- Εκφυτικός Κώνος
 - Αποτέλεσμα: Δυναμικά Ενεργείας
 - Αν το σταθμισμένο αθροισμα των ΒΔ > Κατώφλι
- Άξονας ή νευρική ίνα
 - Μετάδοση: Δυναμικά Ενεργείας
 - Ηλεκτρικά σήματα
- Απόληξη του άξονα
 - Έξοδος: Σύναψη με άλλους νευρώνες ή όργανα
 - Χημική επικοινωνία





• Διάδοση Δυναμικών Ενεργείας

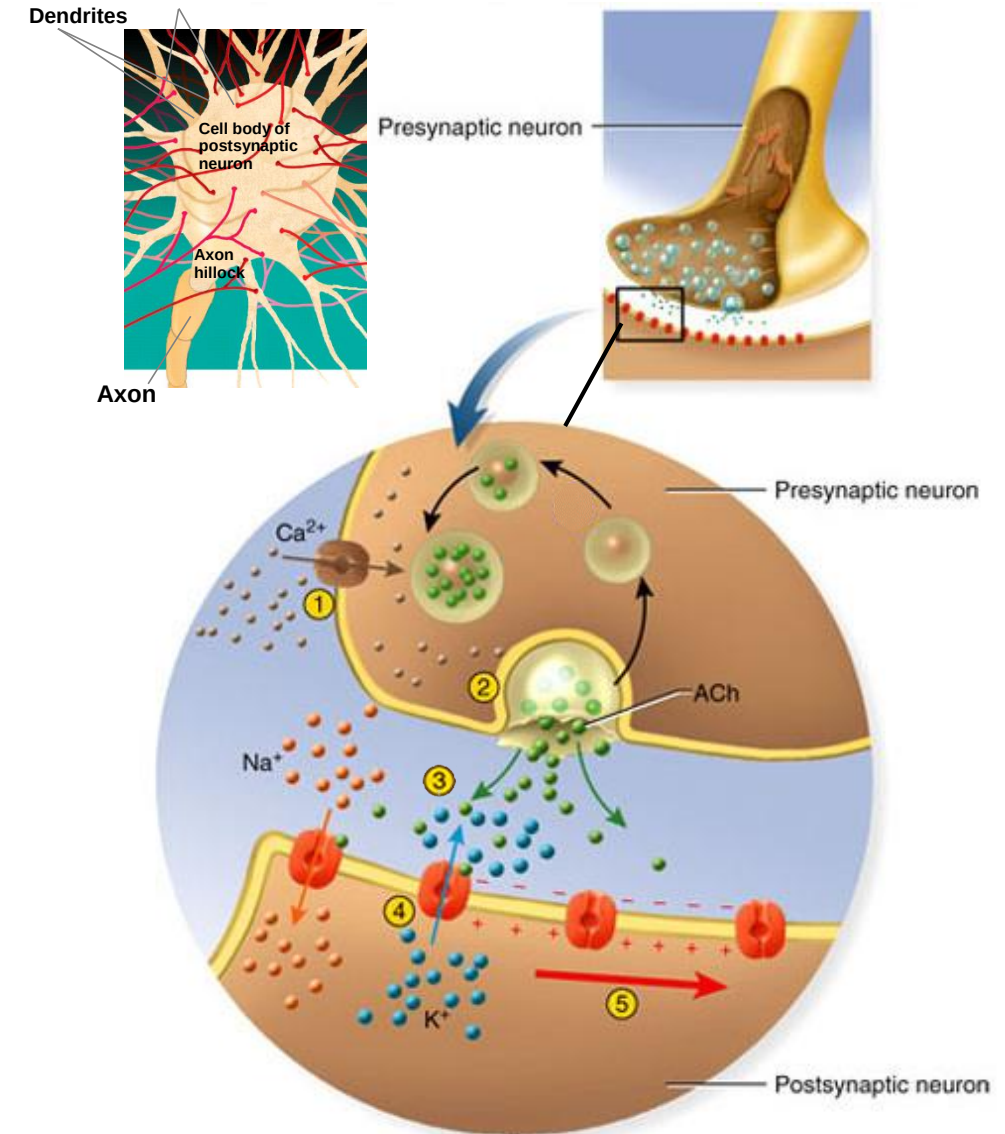
- Τα ΔΕ ξεκινούν από τον Εκφυτικό Κώνο
 - Διαθέτει τασεοελεγχόμενους διαύλους
- Όταν το ΔΕ ενεργοποιηθεί τότε διατρέχει όλο τον άξονα αναλλοίωτο
- Ροή ιόντων → εκπόλωση παραπλήσιων περιοχών στο κατώφλι δυναμικού
 - Καθώς το ΔΕ ξεκινά στη παραπλήσια περιοχή, το αρχικό ΔΕ τελειώνει
- Το ίδιο ΔΕ δεν μεταδίδεται απλά δημιουργούνται καινούργια σε διαδοχικές θέσεις

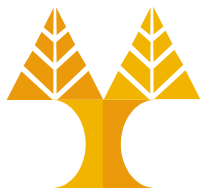


Σύναψη



- **Επικοινωνία μεταξύ δύο νευρώνων ή νευρώνα-οργάνου**
 - Ένας νευρώνας εννερώνει (καταλήγει ή παρέχει σήμα) σε άλλους νευρώνες, μύες, αδένες, ή όργανα
 - Οι περισσότερες είσοδοι είναι πάνω σε δενδρίτες
- **Χημική επικοινωνία μέσω μιας σύναψης (χημική σύνδεση)**
 - Δεν υπάρχει άμεση ροή ιόντων αλλά ροή νευροδιαβιβαστή
 - Επικοινωνία προς μια κατεύθυνση
- **Στάδια Συναπτικής Επικοινωνίας**
 1. ΔΕ φτάνει στην απόληξη
 2. Εξωκυττάρωση κυστιδίων και απελευθέρωση νευροδιαβιβαστή
 3. Διάχυση του νευροδιαβιβαστή
 4. Πρόσδεση σε εξειδικευμένους υποδοχείς
 5. Άνοιγμα διαύλων ιόντων
 - Παραγωγή βαθμιδωτών δυναμικών
- **Η σύναψη μπορεί να είναι**
 - Διεγερτική: ροή κατιόντων → εκπόλωση, ή
 - Ανασταλτική: ροή ανιόντων → υπερπόλωση



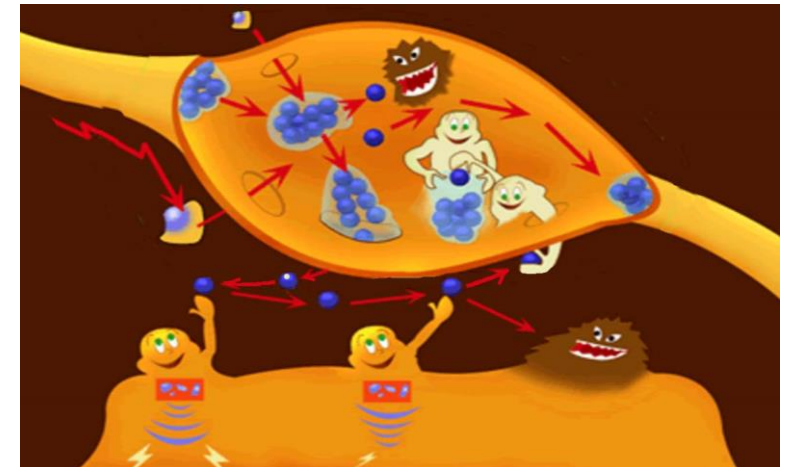


- **Νευροδιαβιβαστές (Neurotransmitters) και Υποδοχείς (Receptors)**

- Πολλά είδη νευροδιαβιβαστών και διάφορα είδη υποδοχέων για κάθε νευροδιαβιβαστή
 - Ο ίδιος νευροδιαβιβαστής σε συνδυασμό με διαφορετικούς υποδοχείς → διαφορετικές αποκρίσεις (σε διαφορετικές συνάψεις)
 - Κάθε σύναψη → ένας συγκεκριμένος συνδυασμός νευροδιαβιβαστή-υποδοχέα → παράγει την ίδια απόκριση

- **Εκκαθάριση του νευροδιαβιβαστή**

- Αφαίρεση ή αδρανοποίηση, ώστε να σταματήσει το σήμα
 - Αδρανοποίηση με ειδικά ένζυμα εντός της μετασυναπτικής μεμβράνης
 - Επαναπρόσληψη πίσω στο άξονα → ανακύκλωση

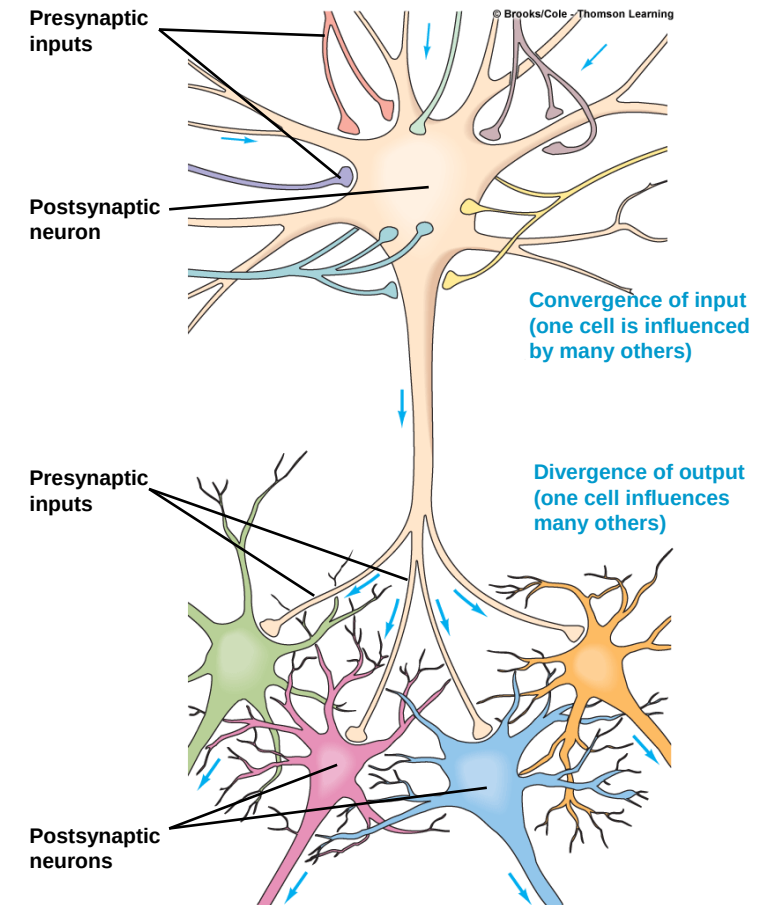


Συναπτική Ολοκλήρωση



• Μετασυναπτική Ολοκλήρωση

- Ο νευρώνας είναι ένα πολύπλοκο υπολογιστικό σύστημα
 - Συνάψεις = είσοδοι
 - Δενδρίτες = επεξεργαστές
 - Άξονες/ΔΕ = έξοδοι
- Είσοδος: Βαθμιδωτά δυναμικά
 - Μόνο όταν είναι ταυτόχρονα και κοντινά αθροίζονται
 - Λόγω του ότι φθίνουν πολύ γρήγορα
 - Αν το άθροισμα (ανάλογα με το συνδυασμό των εισόδων) είναι πάνω από το κατώφλι → αρχικοποιούνται ΔΕ
- Παρουσία και συχνότητα των ΔΕ
 - Αποτέλεσμα συνδυασμού (ολοκλήρωσης) πληροφοριών από διάφορες πηγές
 - Πληροφορίες που δεν είναι σημαντικές δεν μεταδίδονται καθόλου
- Οι νευρώνες είναι συνδεδεμένοι σε ένα πολύπλοκο δίκτυο (10^{11} νευρώνες και 10^{14} συνάψεις μόνο στον εγκέφαλο!)
 - Συγκλίνουσες (Converging) οδοί
 - Αποκλίνουσες (Diverging) οδοί
 - Μαζικά παράλληλη επεξεργασία



Arrows indicate direction in which information is being conveyed.

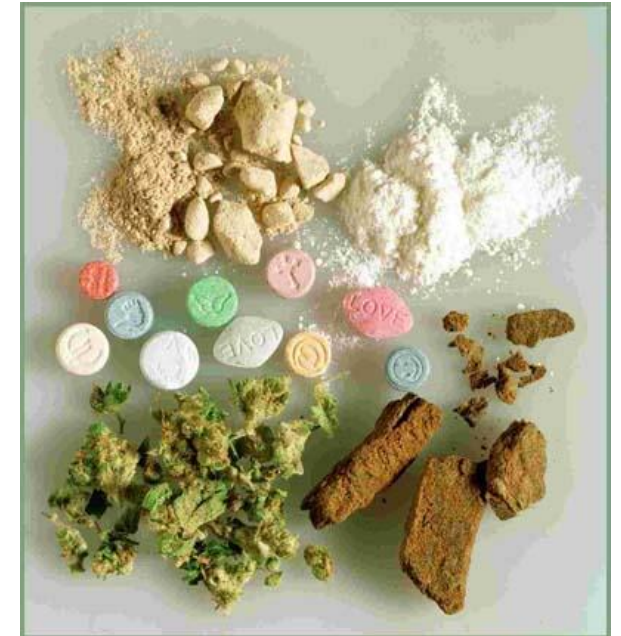


- **Πιθανές επιδράσεις στον νευροδιαβιβαστή**

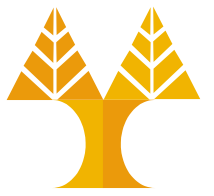
- Αλλοίωση της σύνθεσης, απελευθέρωσης ή εκκαθάρισης
 - Τροποποίηση της αλληλεπίδρασης του με τον υποδοχέα
- Αντικατάσταση του με ένα υποκατάστατο, είτε περισσότερο ή λιγότερο ισχυρό

- **Παραδείγματα Φαρμάκων**

- Κοκαΐνη → εμποδίζει την επαναπρόσληψη του νευροδιαβιβαστή
δοπαμίνη → κέντρα ευχαρίστησης στον εγκέφαλο παραμένουν ενεργοποιημένα
- Τοξίνη του τετάνου → εμποδίζει την απελευθέρωση του ανασταλτικού νευροδιαβιβαστή GABA → ανεξέλεγκτη μυϊκή διέγερση → ανεξέλεγκτοι μυϊκοί σπασμοί → παράλυση
- Ατενολόλη → παρεμποδίζει τη δράση της νορεπινεφρίνης → μειώνει την αρτηριακή πίεση



Οργάνωση του Νευρικού Συστήματος



- **Κεντρικό Νευρικό Σύστημα**

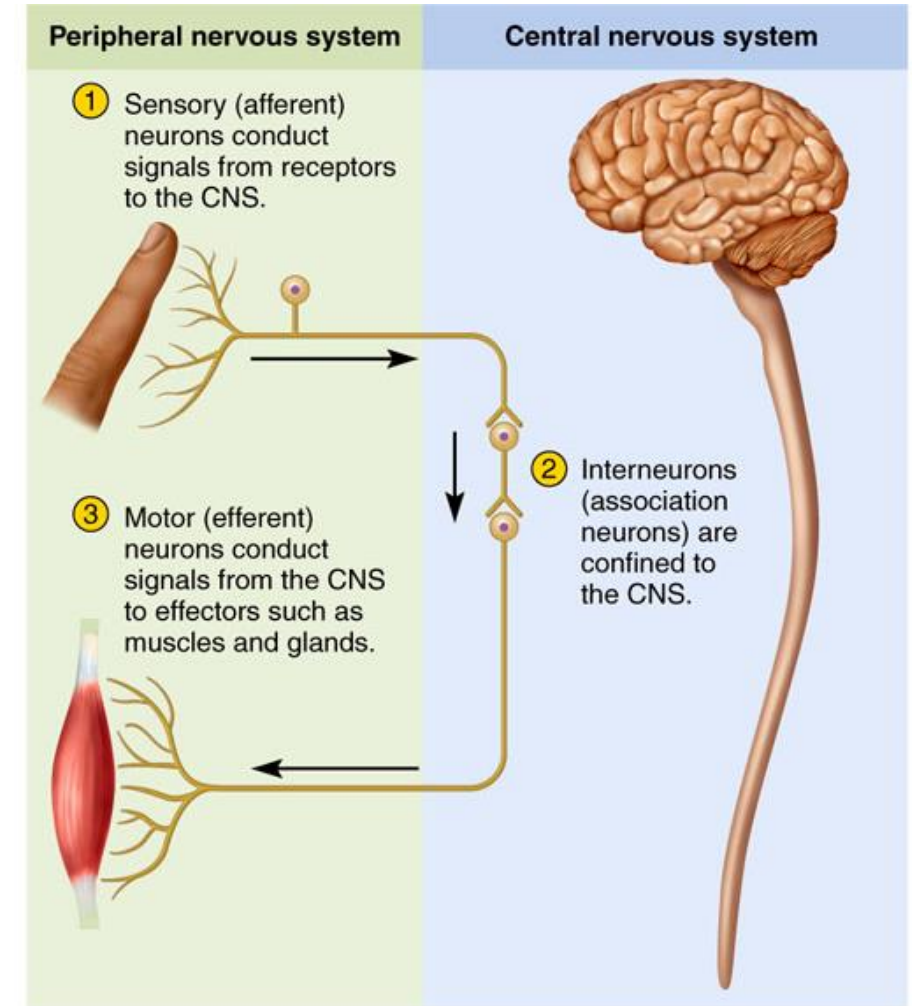
- Νωτιαίος Μυελός
- Εγκέφαλος

- **Περιφερικό Νευρικό Σύστημα**

- Προσαγωγοί Νευρώνες (Afferent neurons)
 - Σήματα, από το εξωτερικό και το εσωτερικό του σώματος, στο κεντρικό νευρικό σύστημα ή σε ανώτερα κέντρα επεξεργασίας
- Απαγωγοί Νευρώνες (Efferent neurons)
 - Σήματα από το κεντρικό νευρικό σύστημα προς την περιφέρεια (όργανα και αδένες) ή προς κατώτερα κέντρα επεξεργασίας
- Περισσότερα στη διάλεξη για τις αισθήσεις

- **Διάμεσοι Νευρώνες (Interneurons)**

- Βρίσκονται μόνο στο ΚΝΣ
- Ευθύνονται για
 - Ολοκλήρωση της προσαγόμενης πληροφορίας και σχηματισμό αντανακλαστικών αποκρίσεων
 - Στον εγκέφαλο → Ανώτερες διανοητικές (mental) λειτουργίες



Εγκέφαλος

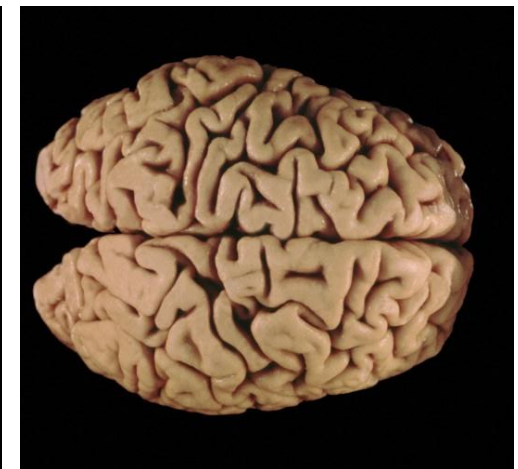
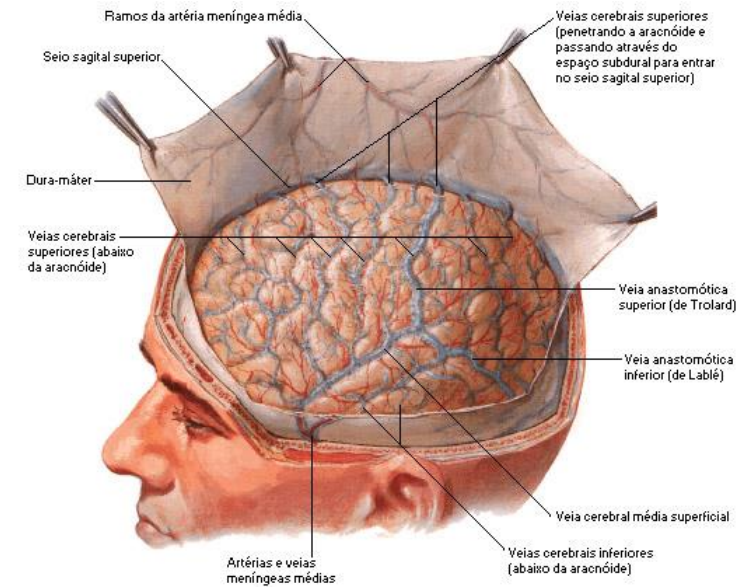


- **Μέσα στο κρανίο**

- Καλυμμένος από μεμβράνες (Μήνιγγα) που προστατεύουν και τρέφουν

- **Κύρια μέρη του εγκεφάλου**

- Τελικός Εγκέφαλος
 - Δύο ημισφαίρια
 - Μεσολόβιο
- Στέλεχος
- Παρεγκεφαλίδα





• Λοβοί (lobes) του Εγκεφαλικού Φλοιού

• Μετωπιαίος (Frontal)

- Στρατηγικός Σχεδιασμός (χαρακτήρας)
- Επεξεργασία της σκέψης
- Εκούσια (Voluntary) κίνηση
- Γλώσσα (παραγωγή ομιλίας)

• Βρεγματικός (Parietal)

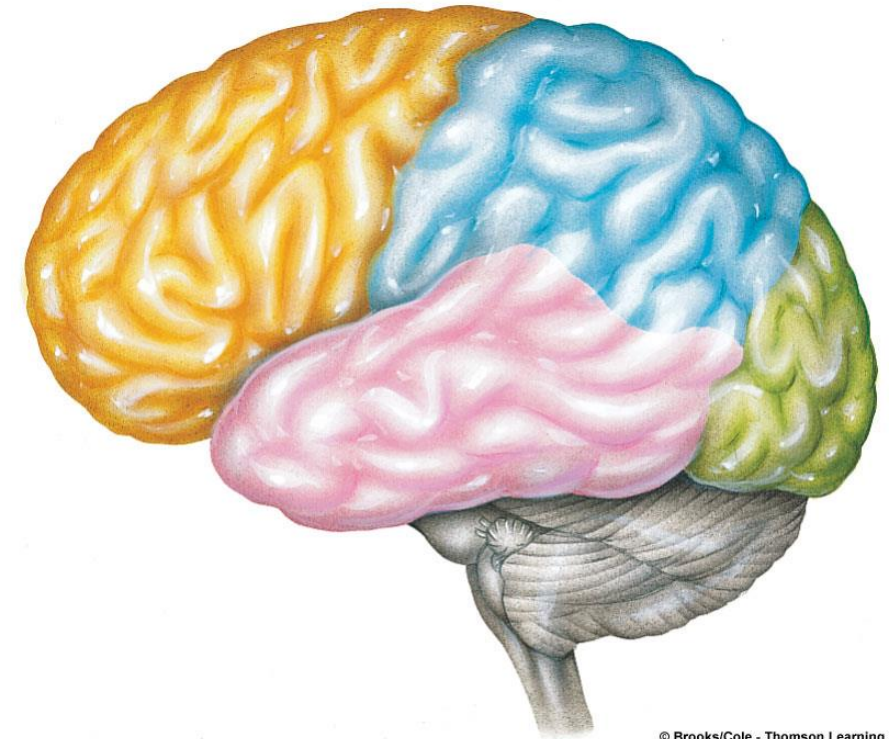
- Σωματοαισθητική επεξεργασία
- Αισθητηριακή Ολοκλήρωση (Sensory Integration)
- Ανώτερη οπτική επεξεργασία (κίνηση)
- Γλώσσα (κατανόηση της ομιλίας)

• Κροταφικός (Temporal)

- Ακουστική και Οσφρητική επεξεργασία
- Συναισθήματα, Κίνητρα συμπεριφοράς
- Μνήμη/Μάθηση
- Ανώτερη οπτική επεξεργασία (αναγνώριση)

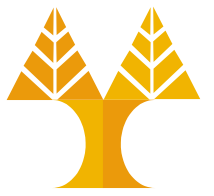
• Ινιακός (Occipital)

- Κύρια οπτική επεξεργασία



© Brooks/Cole - Thomson Learning

Ημισφαίρια



- **Εγκεφαλικός Φλοιός**

- Φαία ουσία (σώματα, επεξεργασία)
- Λευκή Ουσία (άξονες, επικοινωνία)

- **Μεσολόβιο**

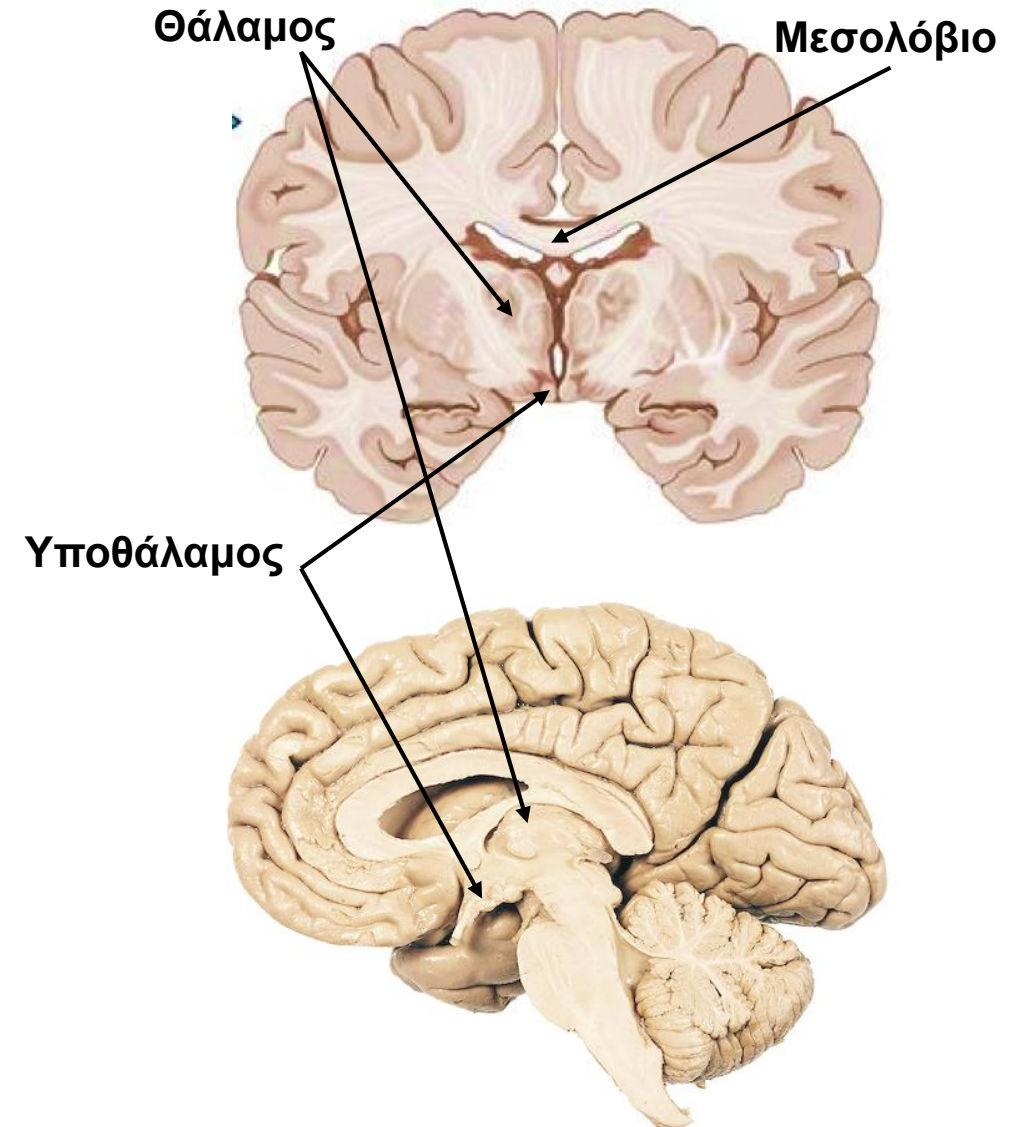
- Άξονες (Λευκή Ουσία) → επικοινωνία ημισφαιρίων

- **Θάλαμος (Thalamus)**

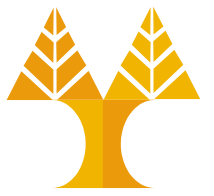
- Σταθμός αναμετάδοσης των αισθητήριων πληροφοριών καθ' οδόν προς τον φλοιό
 - Κατευθύνει την προσοχή (π.χ. αφύπνιση όταν κλαίει το μωρό)

- **Υποθάλαμος (Hypothalamus)**

- Ομοιοστατικός Έλεγχος
- Κέντρο συντονισμού του Αυτόνομου Νευρικού Συστήματος (ΑΝΣ)
- Επηρεάζει συναισθηματικές και συμπεριφορικές μορφές έκφρασης



Στέλεχος και Παρεγκεφαλίδα



- **Στέλεχος**

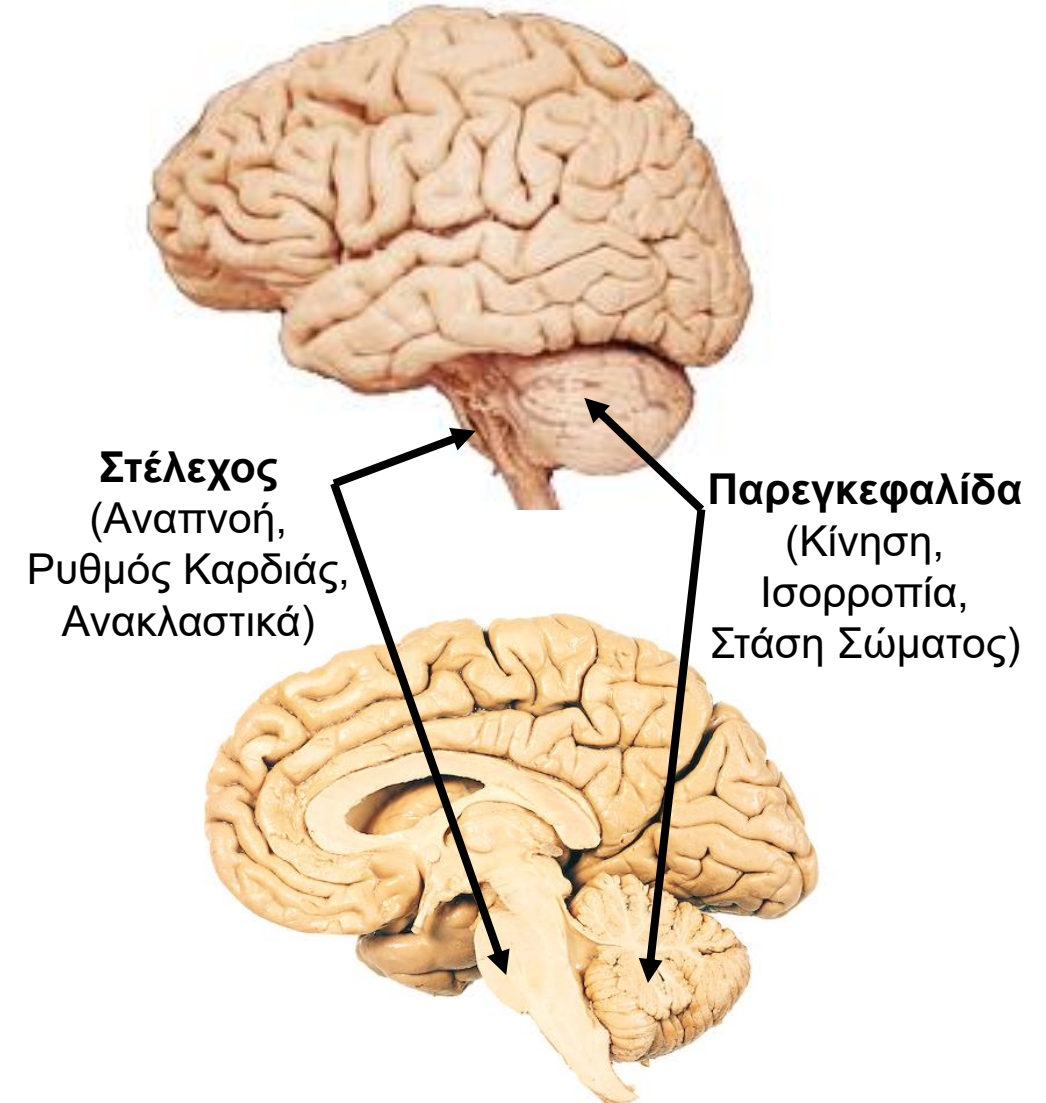
- Αναπνοή, ρυθμός της καρδιάς και σημαντικά αντανακλαστικά (βήχας)
- Όταν καταστραφεί επέρχεται εγκεφαλικός θάνατος

- **Παρεγκεφαλίδα**

- Ισορροπία και συντονισμός της κίνησης

- **Τα πιο “παλαιά”**

- Παρέχουν τον ελάχιστο δυνατό έλεγχο που χρειάζεται για να διατηρηθεί ο άνθρωπος στην ζωή



Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα



- **Ομοιόσταση**

- Συντονίζεται από τον υποθάλαμο
- Εκτελείται (μέσω του εγκεφαλικού στελέχους) από το αυτόνομο νευρικό σύστημα (ΑΝΣ = ΣΝΣ+ΠΝΣ)

- **Συμπαθητικό νευρικό σύστημα (ΣΝΣ)**

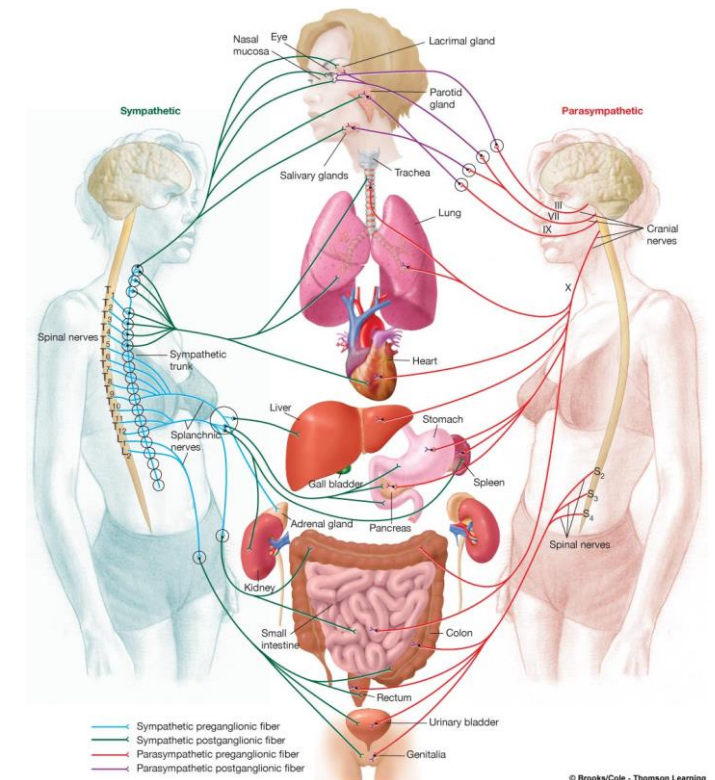
- Κυριαρχεί σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ή αγχώδεις καταστάσεις (“φυγή-ή-πάλη”)
- Προωθεί αποκρίσεις που προετοιμάζουν το σώμα για έντονη σωματική δραστηριότητα
- Ο νευροδιαβιβαστής είναι η επινεφρίνη (γνωστή και ως αδρεναλίνη)

- **Παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα (ΠΝΣ)**

- Κυριαρχεί σε ήσυχες, χαλαρές καταστάσεις (“ξεκούραση και πέψη”)
- Προωθεί δραστηριότητες συντήρησης του σώματος, όπως π.χ. η πέψη
- Ο νευροδιαβιβαστής είναι η ακετυλοχολίνη

- **Σε γενικές γραμμές παράγουν αντίθετα αποτελέσματα σε κάθε συγκεκριμένο όργανο**

- Διπλή εννεύρωση (ΣΝΣ και ΠΝΣ) → ακριβής έλεγχος της δραστηριότητας του οργάνου



Αυτόνομο (Autonomic) Νευρικό Σύστημα



Όργανο	Ενεργοποίηση ΣΝΣ	Ενεργοποίηση ΠΝΣ
Καρδιά	Αυξημένος ρυθμός, Αυξημένη δύναμη σύσπασης	Μειωμένος ρυθμός, μειωμένη σύσπαση
Αιμοφόρα αγγεία	Συστολή (εκτός από μύες → διαστολή)	Διαστολή αγγείων πέους και κλιτορίδας
Πνεύμονες	Διαστολή αεραγωγών, Μείωση παραγωγής βλέννας	Συστολή βρογχιολίων, Αύξηση παραγωγής βλέννας
Πεπτικό Σύστημα	Μείωση κινητικότητας, Συστολή σφιγκτήρων (δεν επιτρέπουν εκκένωση), Μείωση εκκρίσεων στο πεπτικό	Αυξημένη κινητικότητα, Χαλάρωση σφιγκτήρων, Αύξηση εκκρίσεων στο πεπτικό
Ουροδόχος Κύστη	Χαλάρωση	Σύσπαση (εκκένωση)
Μάτι	Διαστολή κόρης, Ρύθμιση για εστίαση μακριά	Συστολή της κόρης, Ρύθμιση για εστίαση κοντά
Ήπαρ (αποθήκευση γλυκογόνου)	Παραγωγή γλυκόζης	Τίποτα
Λιπώδη Κύτταρα	Λιπόλυση (απελευθέρωση λιπιδίων)	Τίποτα