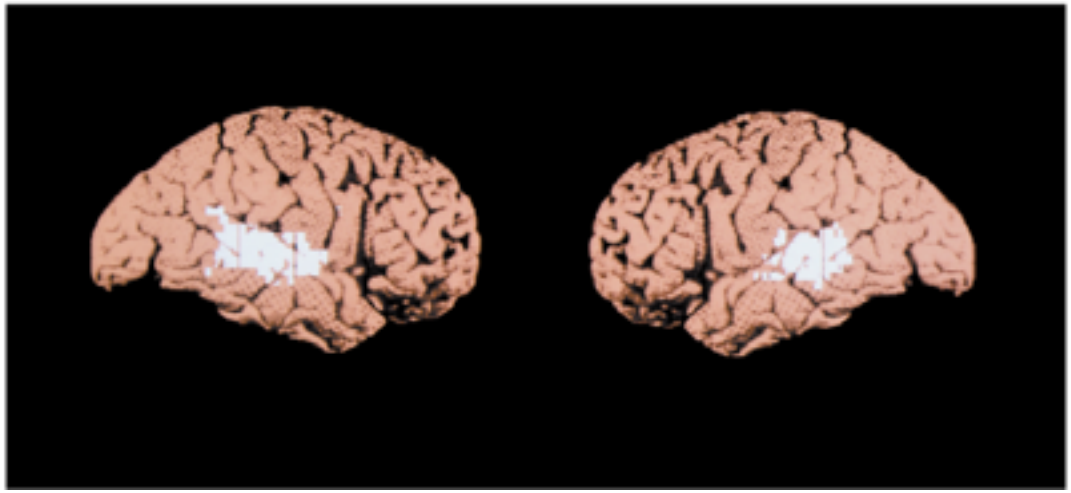


ΒΙΟ492: ΝΕΥΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

Δρ. Κυριακή Σιδηροπούλου
Λέκτορας Νευροφυσιολογίας
Γραφείο: Γ316δ
ΤΗΛ: 2810394071 (γραφείο), 2810394051, 2810394442 (εργ)
E-MAIL: sidirop@imbb.forth.gr

Νευροβιολογία/Νευροεπιστήμη

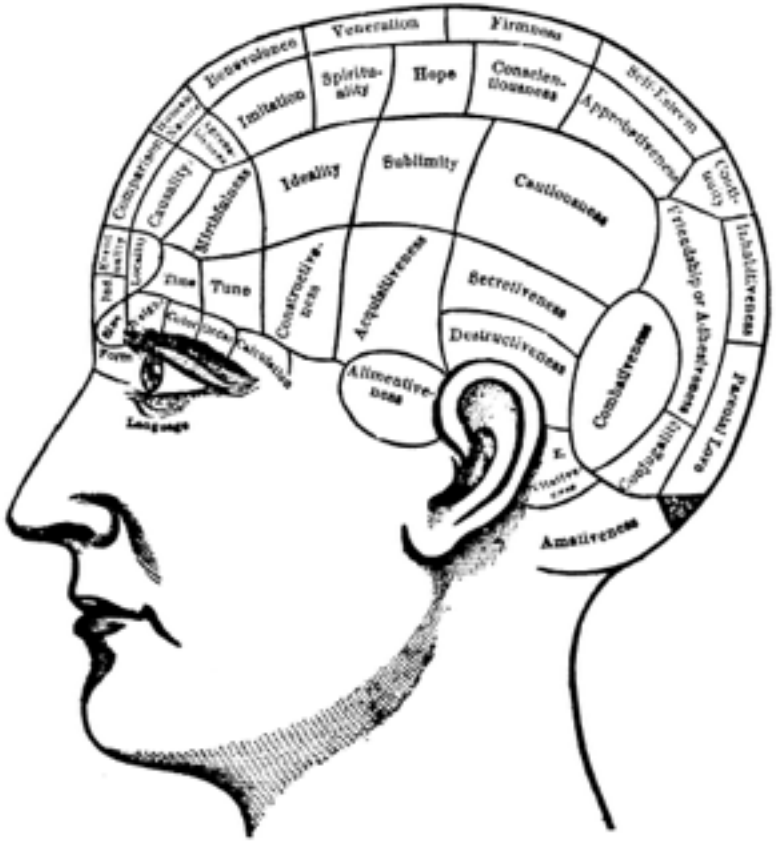
Η μελέτη/κατανόηση του νευρικού συστήματος

ΑΝΑΤΟΜΙΑ
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ
ΜΟΡΙΑΚΗ/ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ
ΓΕΝΕΤΙΚΗ
ΦΑΡΜΑΚΟΛΟΓΙΑ
ΨΥΧΟΛΟΓΙΑ
Υπολογιστικές επιστήμες
Φυσική/Μαθηματικά

Νευρικό Σύστημα

- Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
  - Εγκέφαλος
    - Φλοιός – Ημισφαίρια
    - Διάμεσος εγκέφαλος
    - Εγκεφαλικό στέλεχος
    - Παρεγκεφαλίδα
  - Νωτιαίος μυελός
- Περιφερειακό Νευρικό Σύστημα
  - Σωματικό
  - Αυτόνομο
    - Συμπαθητικό
    - Παρασυμπαθητικό

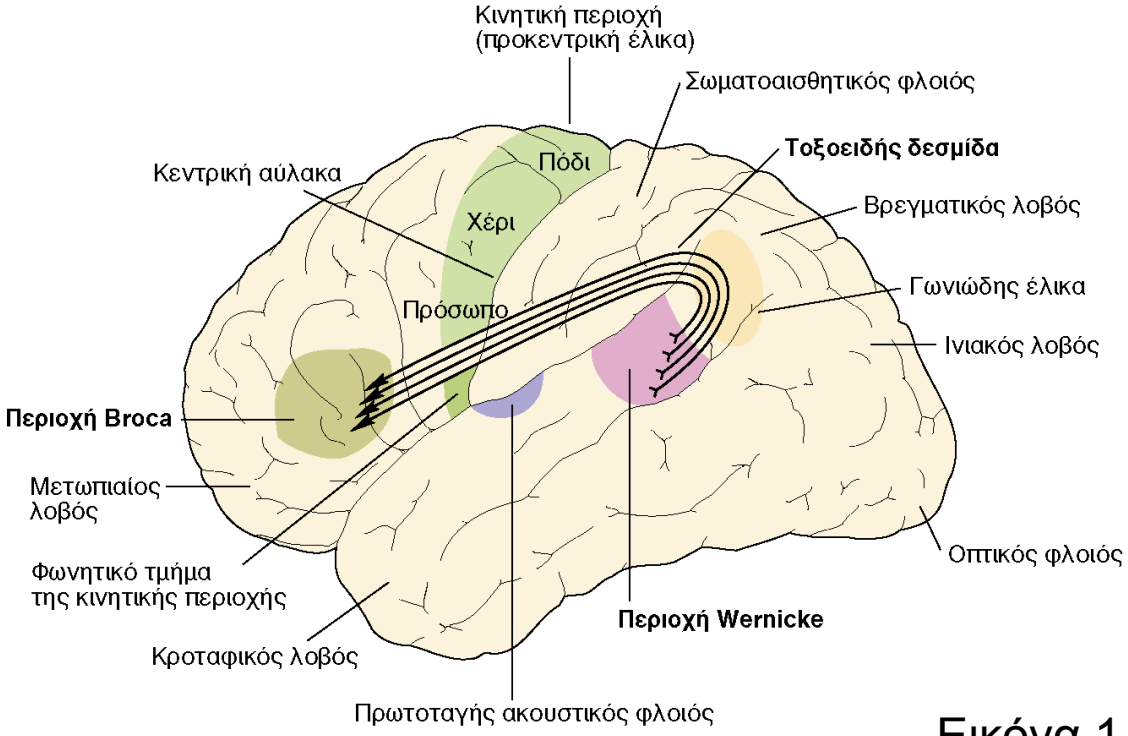
Νευρικό σύστημα και συμπεριφορά



Gall (1800)
Χωριστές περιοχές του εγκεφάλου έχουν ξεχωριστές λειτουργίες
π.χ. χρόνος, μίμηση, ελπίδα
Δηλαδή, ο εγκέφαλος αποτελείται από πολλά ανεξάρτητα όργανα

Flourens (1823)
Υποστήριξε ότι κάθε περιοχή του εγκεφάλου μπορεί να εκτελέσει οποιαδήποτε λειτουργία

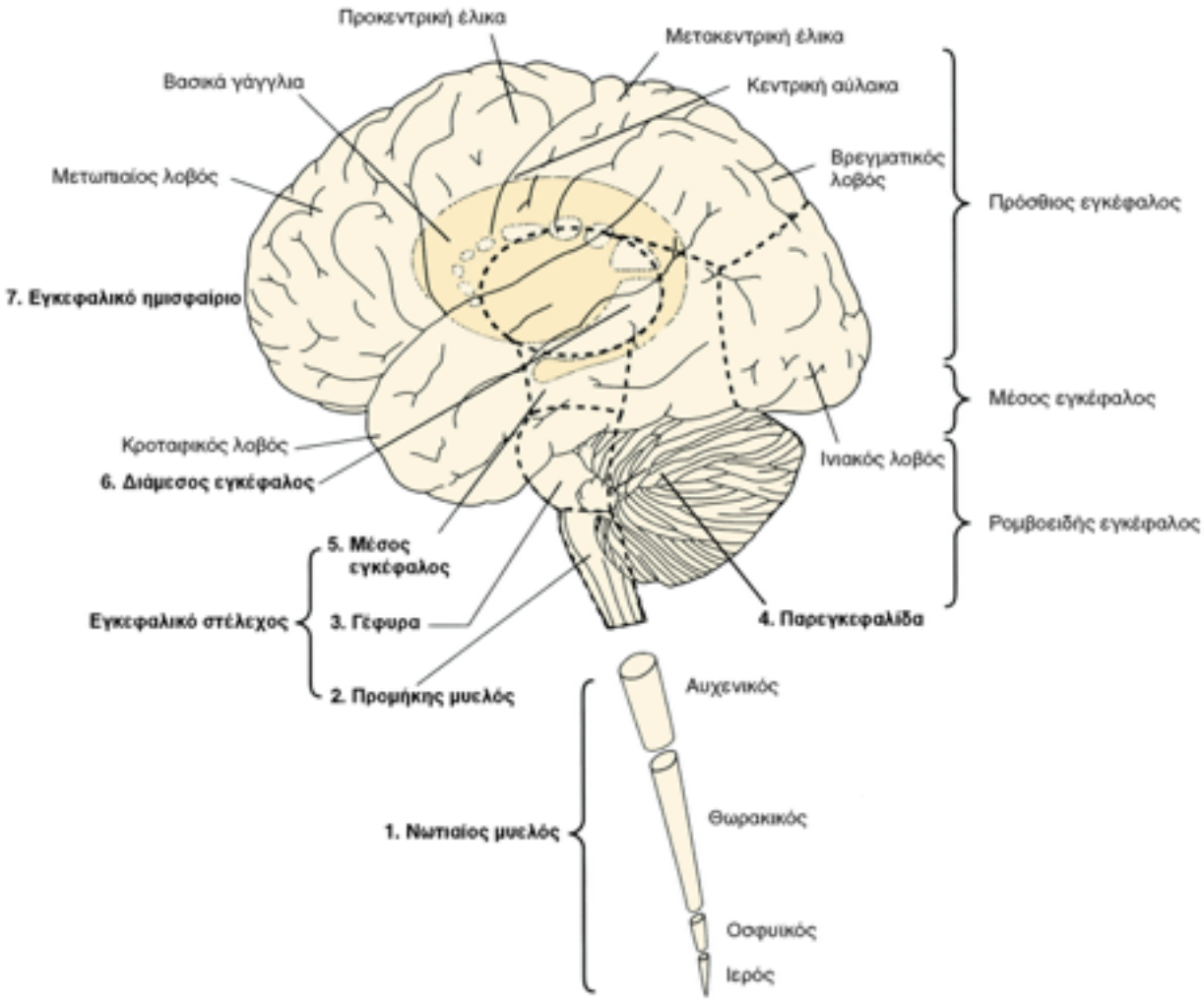
Νευρικό σύστημα και συμπεριφορά



Εικόνα 1.5

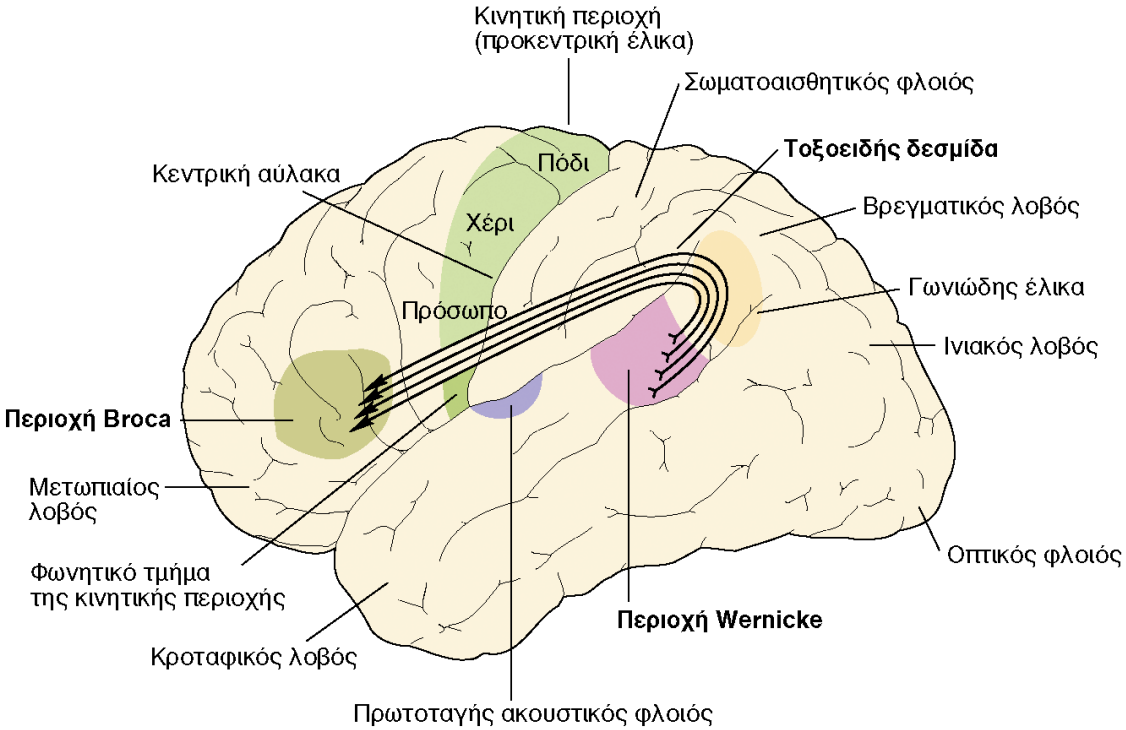
- Υπάρχει διαμερισματοποίηση του εγκεφάλου, κυρίως όσον αφορά τις διάφορες αισθήσεις, τη μνήμη, τη γλώσσα (παράλληλη επεξεργασία)
- Υπάρχει όμως και συνέργεια και ολοκλήρωση διαφορετικών λειτουργιών

Κεντρικό Νευρικό Σύστημα - Δομή



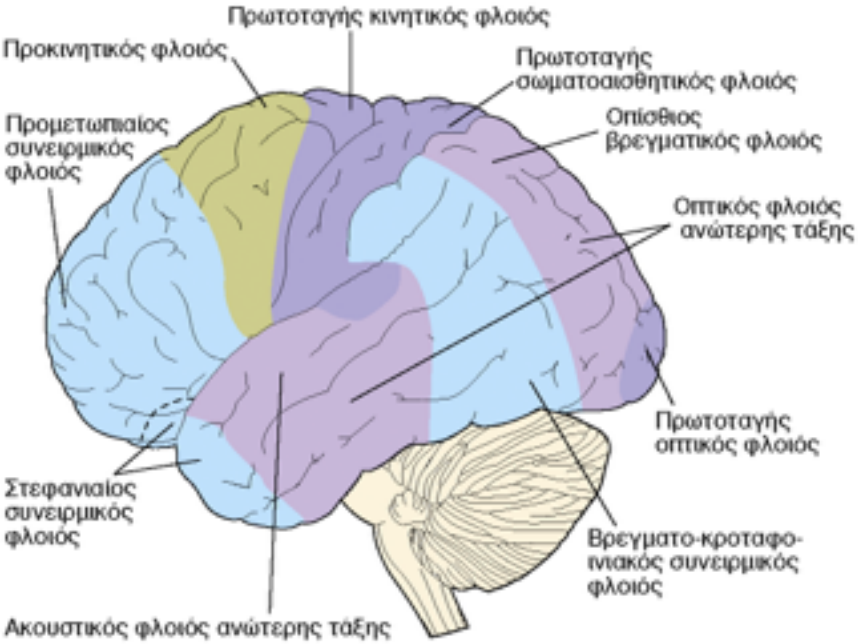
Εικόνα 1.4

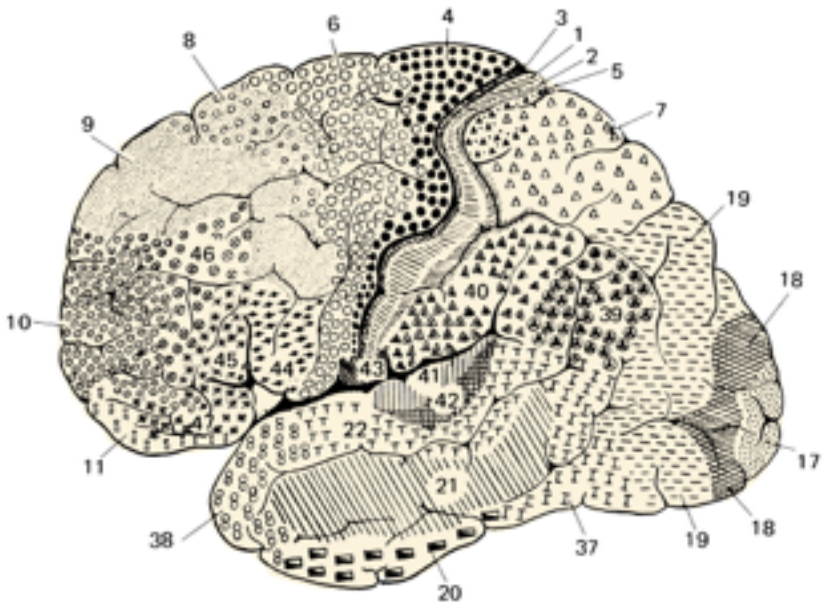
Λοβοί του εγκεφαλικού φλοιού



- Μετωπιαίος (frontal)
- Βρεγματικός (parietal)
- Κροταφικός (temporal)
- Ινιακός (occipital)

Περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού που φαίνονται εξωτερικά





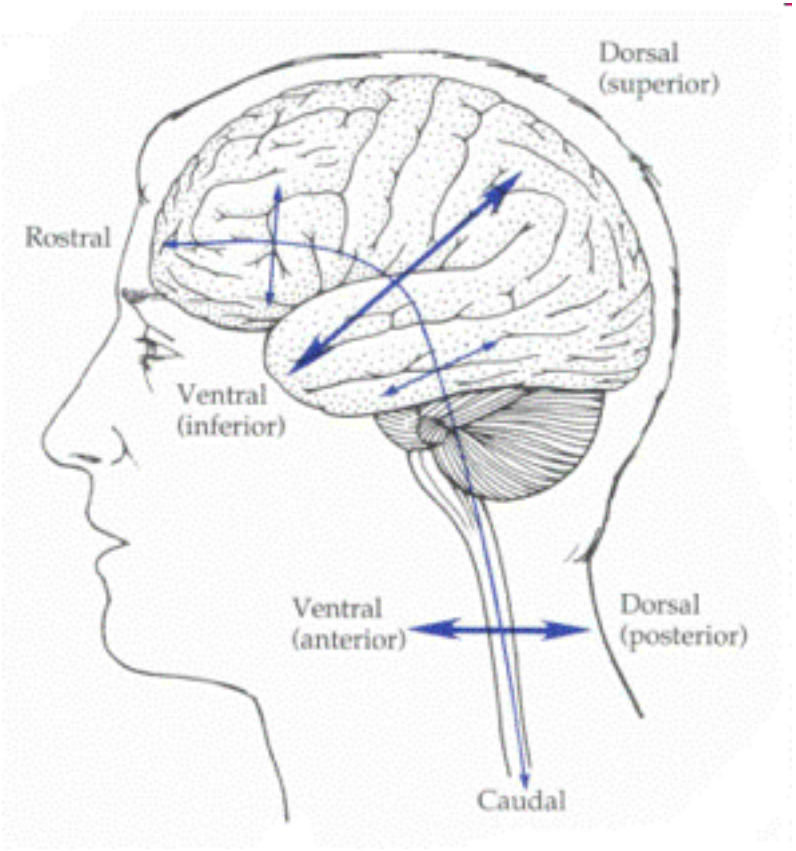
Περιοχές Broadman

Περιοχή 1, 2, 3: πρωτοταγής σωματοαισθητικός φλοιός
Περιοχή 17: πρωτοταγής οπτικός φλοιός
Περιοχή 41, 42: πρωτοταγής ακουστικός φλοιός

Λειτουργική ανατομία

- Μετωπιαίος λοβός - Πρωτοταγής κινητικός φλοιός
- Βρεγματικός λοβός - Πρωτοταγής σωματοαισθητικός φλοιός
- Ινιακός λοβός - Πρωτοταγής οπτικός φλοιός
- Κροταφικός λοβός - Πρωτοταγής ακουστικός φλοιός

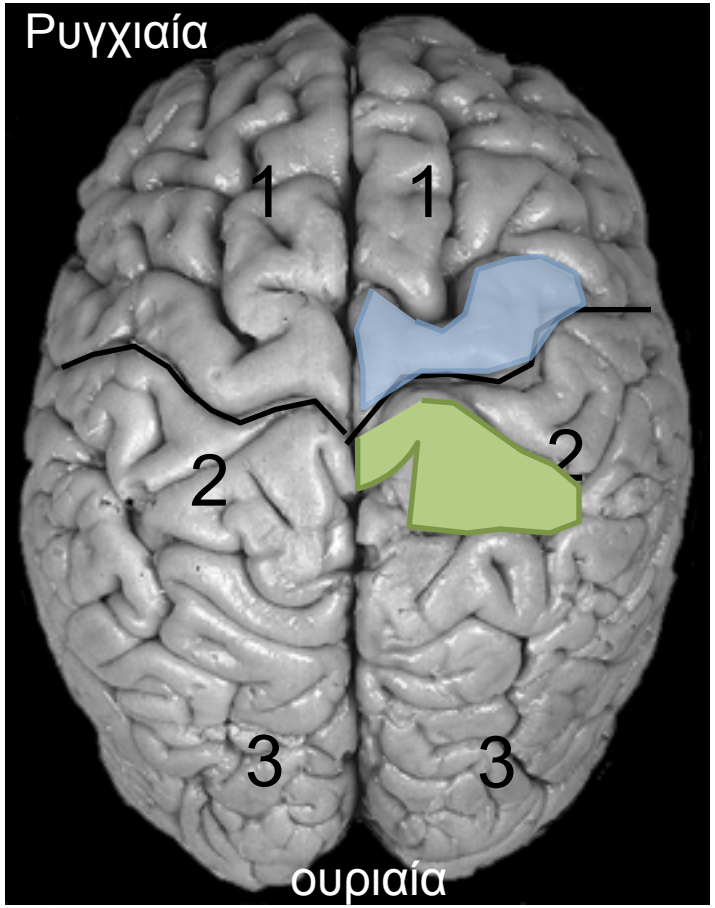
Συντεταγμένες του εγκεφάλου



- Ραχιαία
- Κοιλιακή
- Πρόσθια
- Οπίσθια
- Ρυγχιαία (
- ουριαία

Διάφορες όψεις του εγκεφάλου

Ραχιαία όψη των ημισφαιρίων

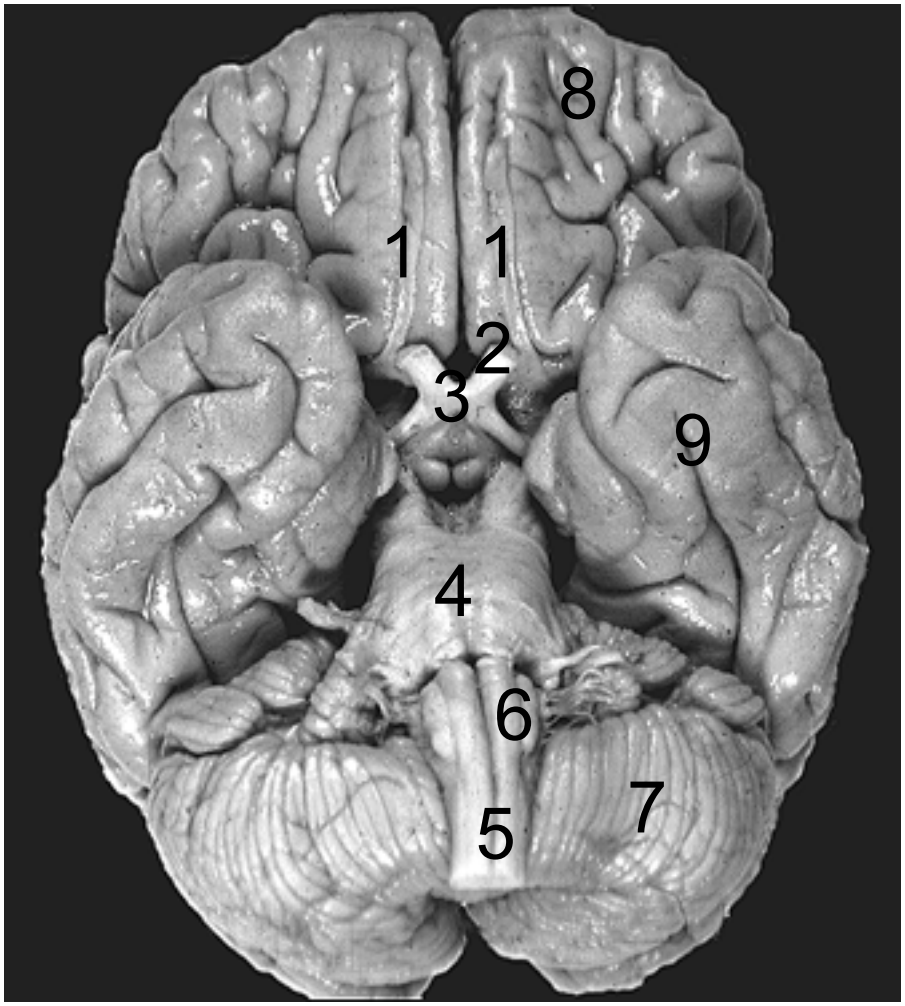


1. Μετωπιαίος
2. Βρεγματικός
3. Ινιακός
4. Κεντρική αύλακα
5. Προκεντρική έλικα
6. Μετάκεντρική έλικα

http://www.columbia.edu/itc/hs/medical/neuroanatomy/neuroanat/

Διάφορες όψεις του εγκεφάλου

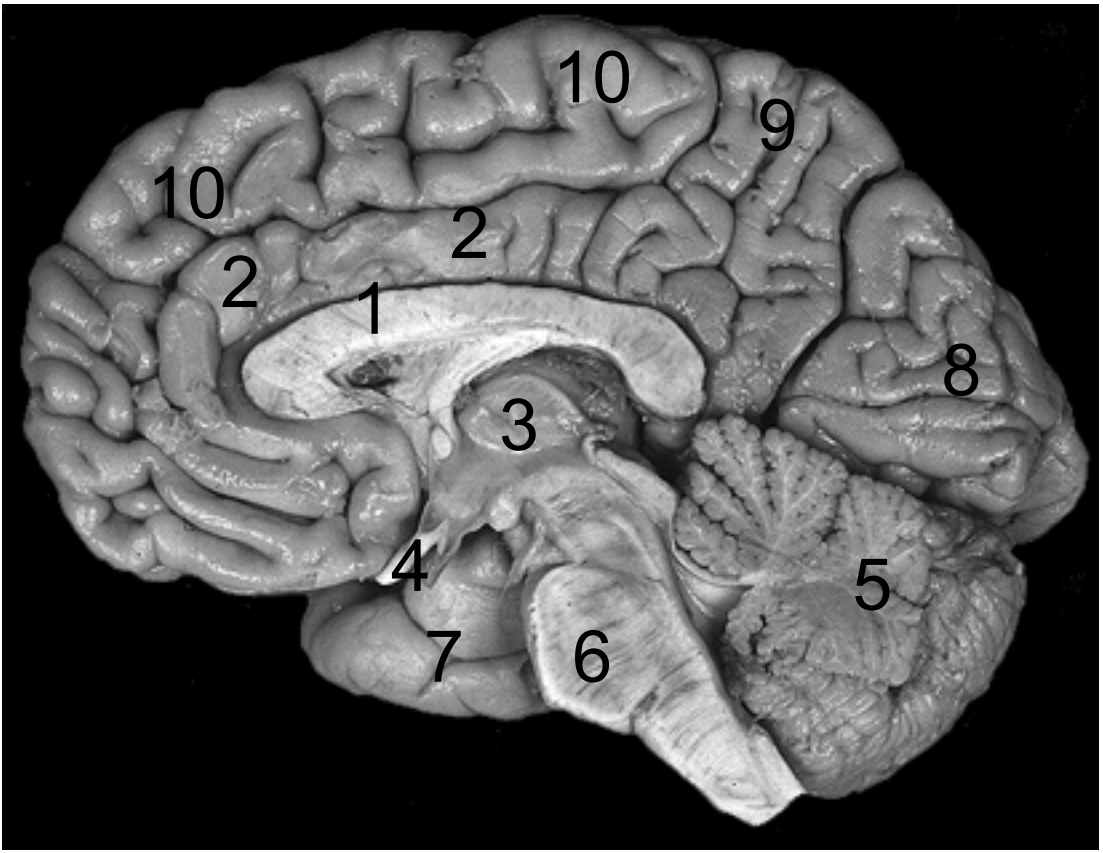
Κοιλιακή όψη των ημισφαιρίων



1. Οσφρητικός βολβός
2. Οπτικό νεύρο
3. Οπτικό χίασμα
4. Γέφυρα
5. Προμήκης μυελός
6. Πυραμίδες
7. Παρεγκεφαλίδα
8. Μετωπιαίος λοβός
9. Κροταφικός λοβός

http://www.columbia.edu/itc/hs/medical/neuroanatomy/neuroanat/

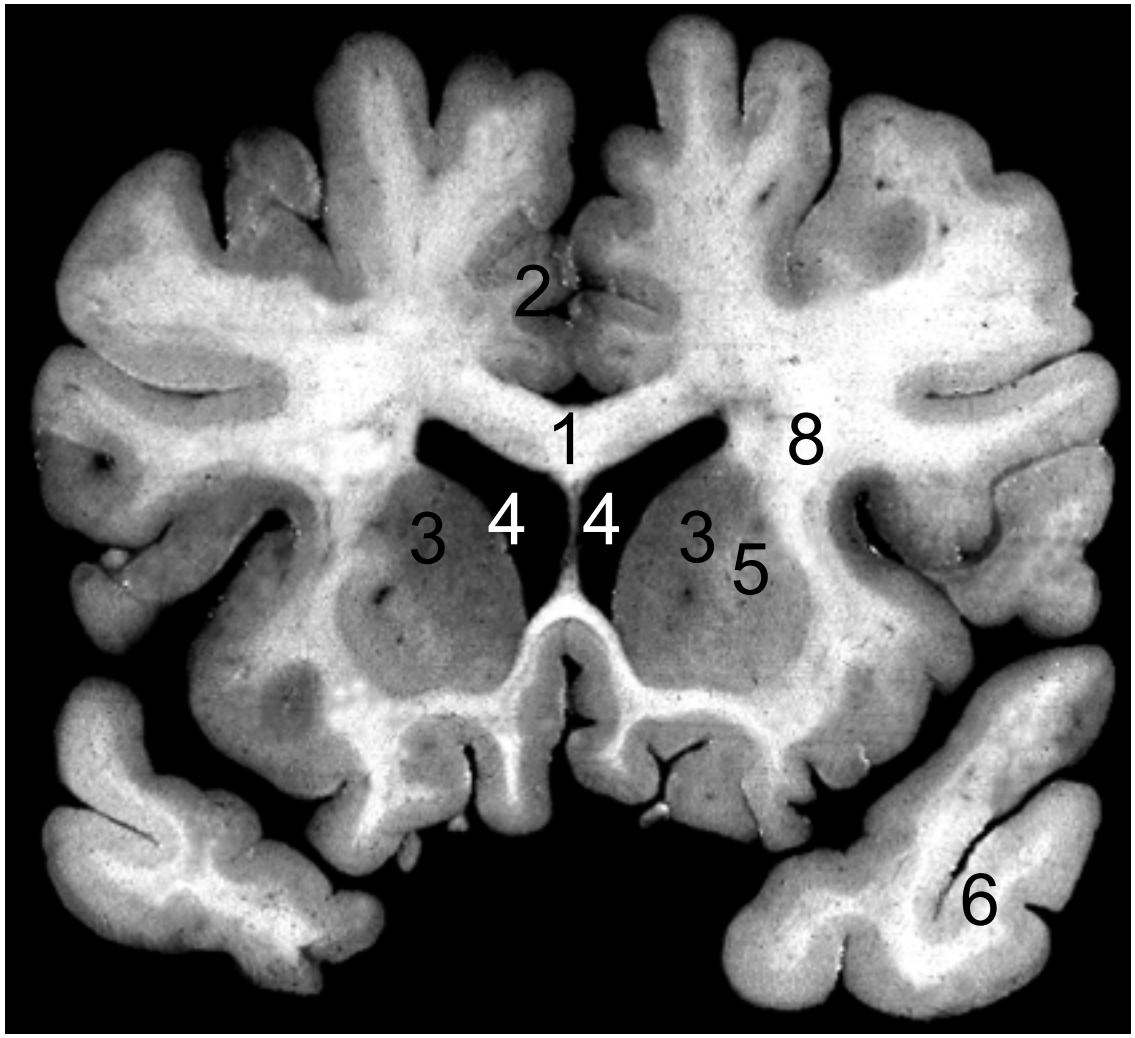
Μεσοπλευρική όψη



1. Μεσολόβιο
2. Έλικα του προσαγωγίου
3. Θάλαμος
4. Οπτικό χίασμα
5. Παρεγκεφαλίδα
6. Γέφυρα
7. Κροταφικό λοβός
8. Ινιακός λοβός
9. Βρεγματικό λοβός
10. Μετωπιαίος λοβός

http://www.columbia.edu/itc/hs/medical/neuroanatomy/neuroanat/

Κάθετες τομές



1. Μεσολόβιο
2. Έλικα του προσαγωγίου
3. Ραβδωτό
4. Πλάγια κοιλία
5. Έσω κάψα
6. Κροταφικός λοβός

http://www.columbia.edu/itc/hs/medical/neuroanatomy/neuroanat/

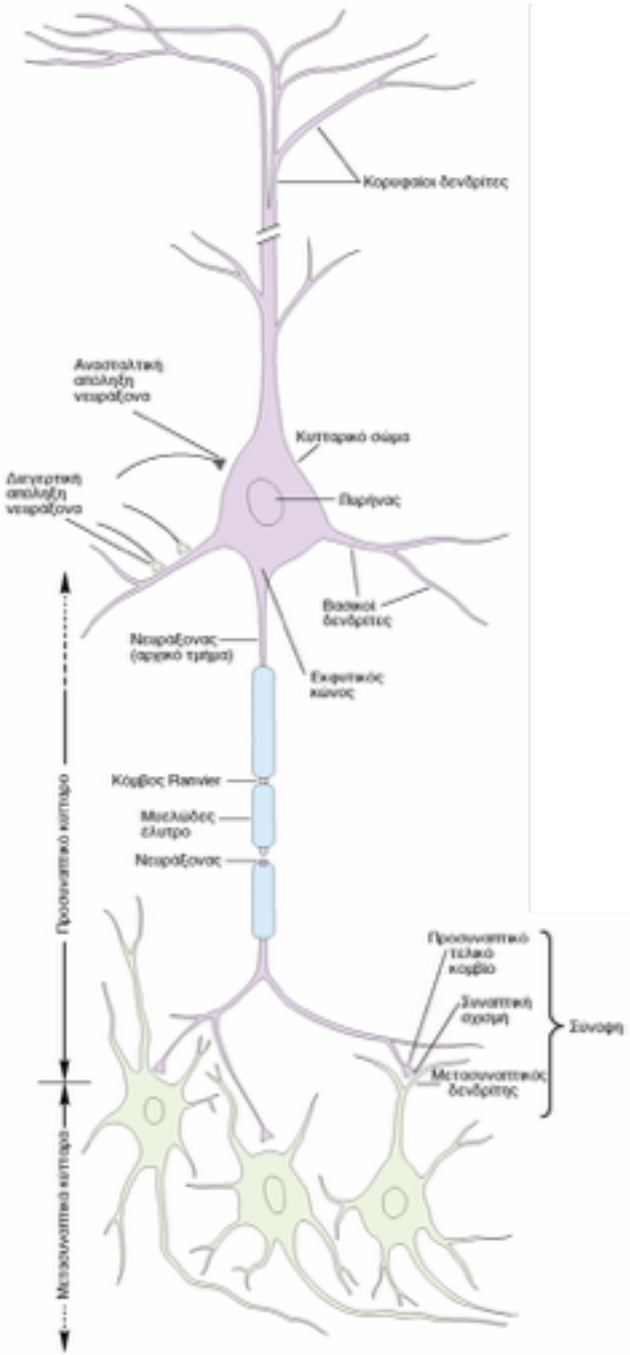
Λειτουργική ανατομία

- Βασικά γάγγλια – κίνηση
- Παρεγκεφαλίδα – κίνηση
- Αμυγδαλή – συναίσθημα, φόβος
- Ιππόκαμπος – μνήμη
- Υποθάλαμος – συναίσθημα/ενδοκρινική λειτουργία

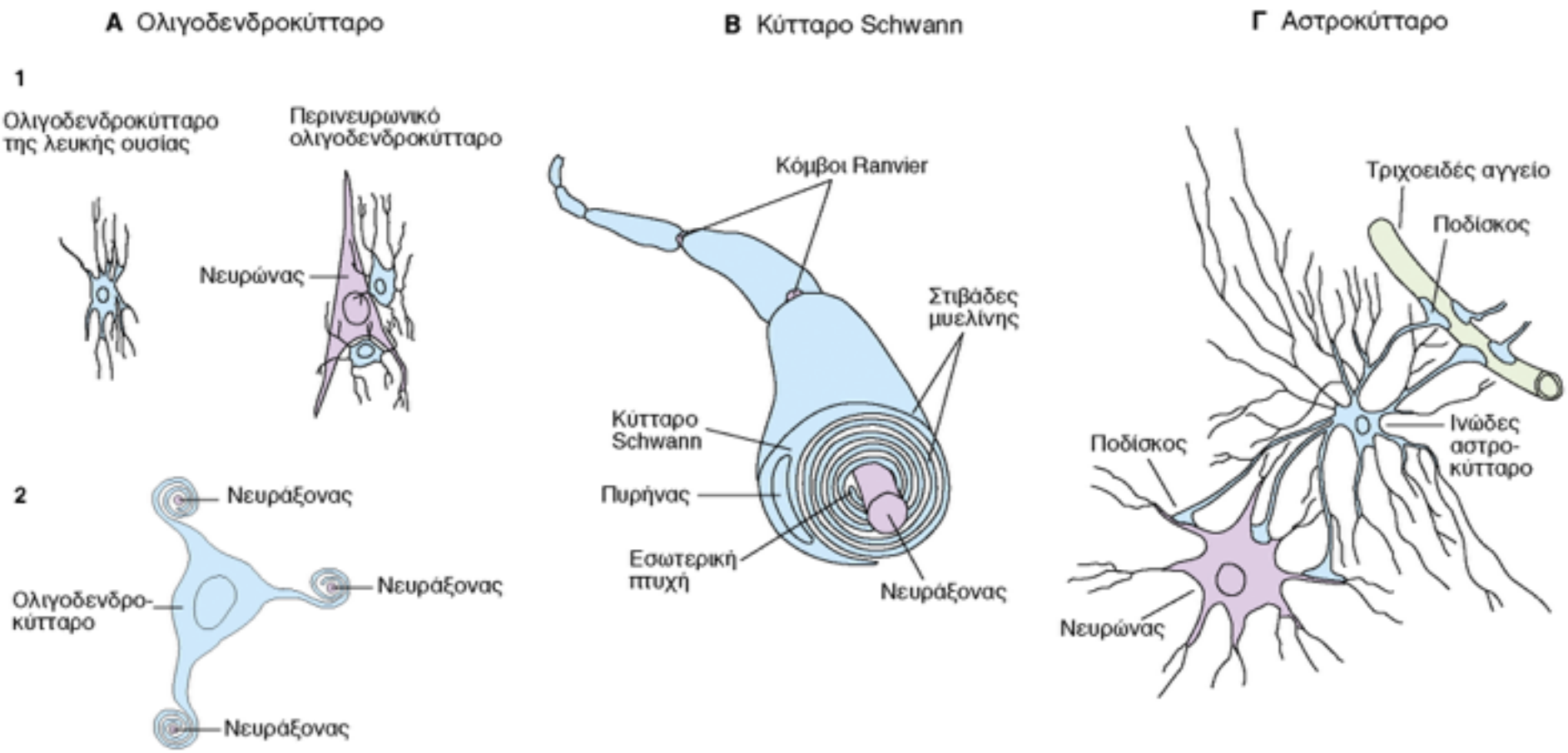
Κυτταρικοί τύποι στο νευρικό σύστημα

- Νευρικά κύτταρα
- Νευρογλοιακά κύτταρα

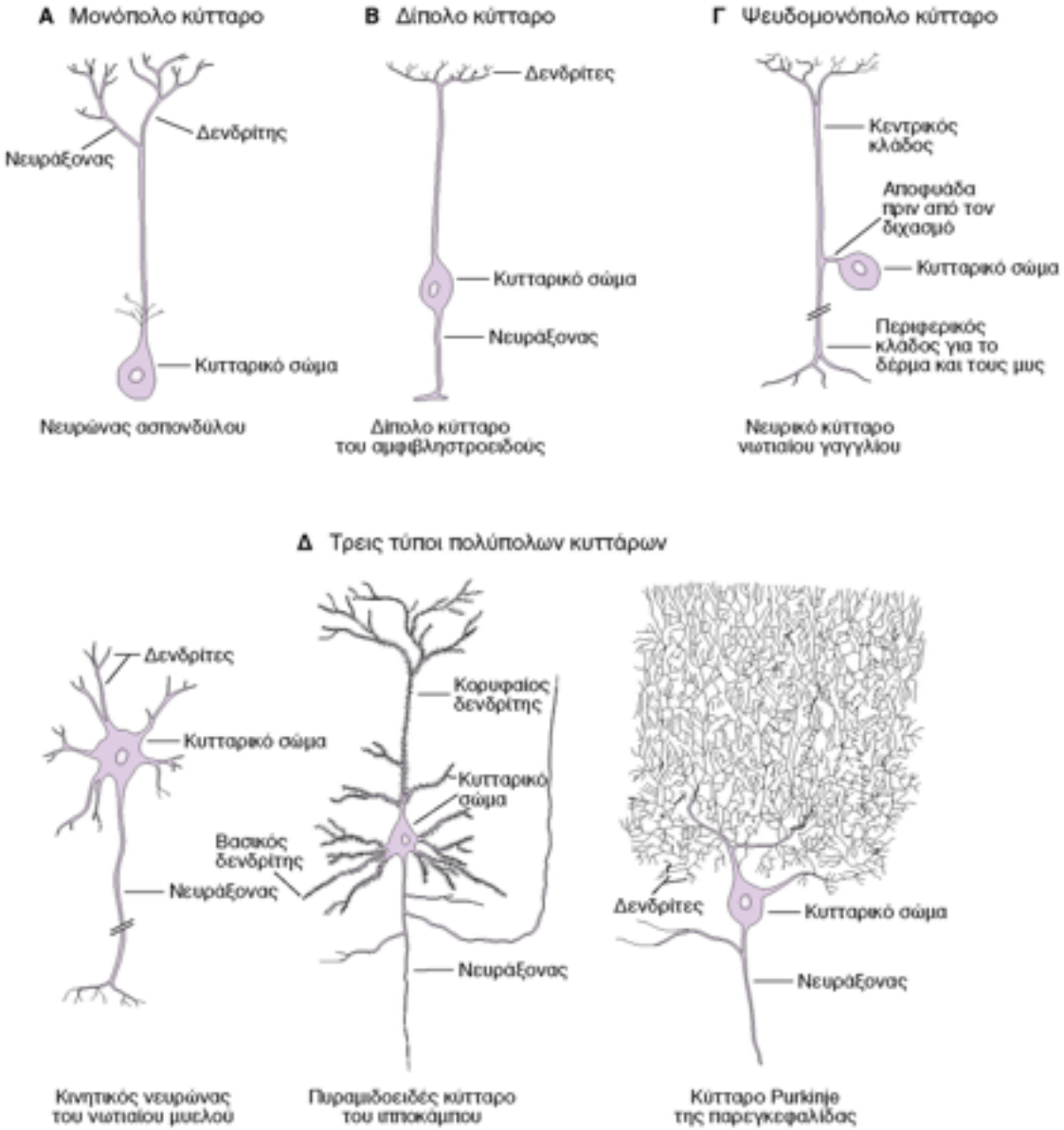
- Ο εγκέφαλος αποτελείται από 100 δισεκατομύρια νευρώνες



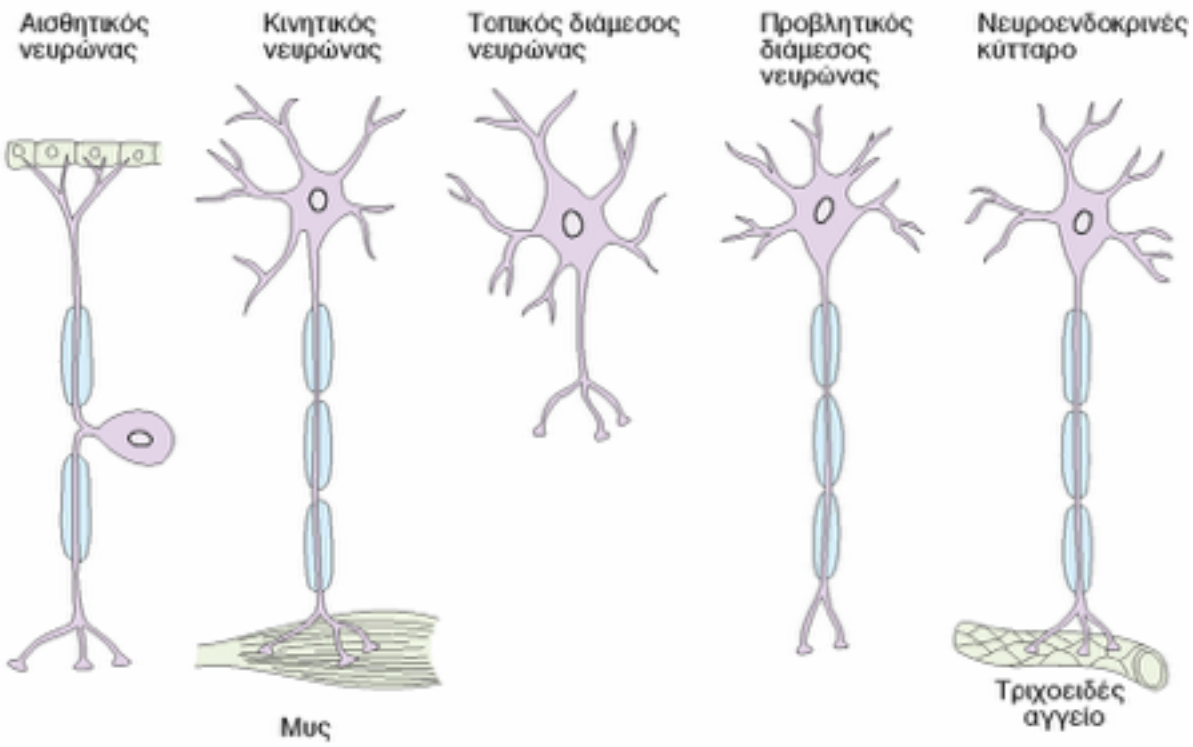
Νευρογλοιακά κύτταρα



Νευρικά κύτταρα



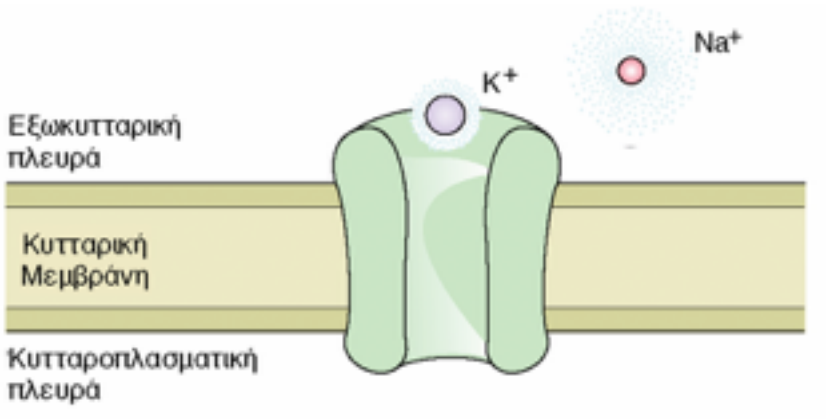
Νευρικά κύτταρα



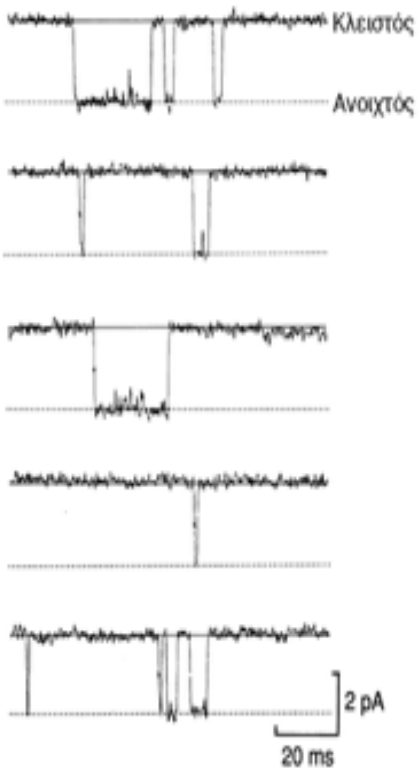
Χαρακτηριστικά νευρικών κυττάρων

- Ηλεκτρικά σήματα
- Συναπτική διαβίβαση (νευροδιαβιβαστής)
- Μυελίνωση
- Συνδεσιμότητα

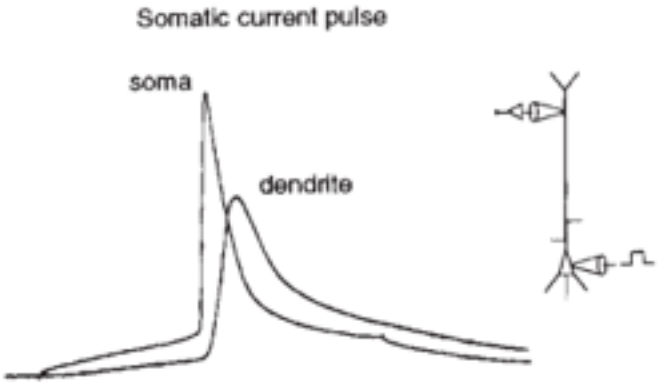
Ηλεκτρικά σήματα - Ρεύματα



Εικόνα 7-5 Β Καταγραφή της ροής ρεύματος διά μέσου ενός μεμονωμένου διαύλου ιόντων, καθώς ο δίαυλος μεταπηδά από την ανοιχτή στην κλειστή κατάσταση. (Ευγενική προσφορά B. Sakmann.)

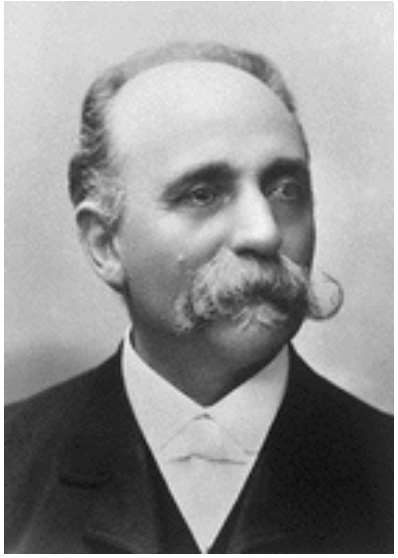


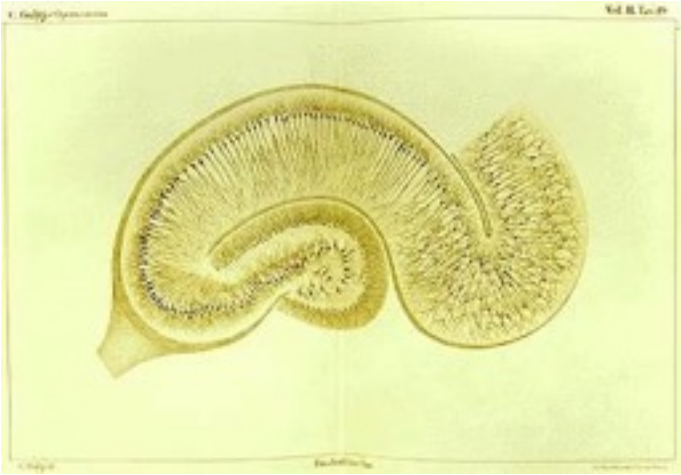
Ηλεκτρικά σήματα – δυναμικό ενεργείας



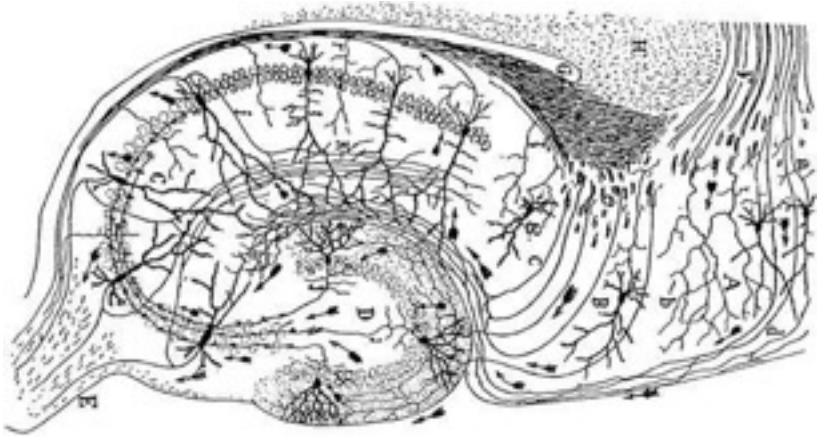
Stuart and Sakmann, 1994, Nature

Camillo Golgi – Ramon y Cajal

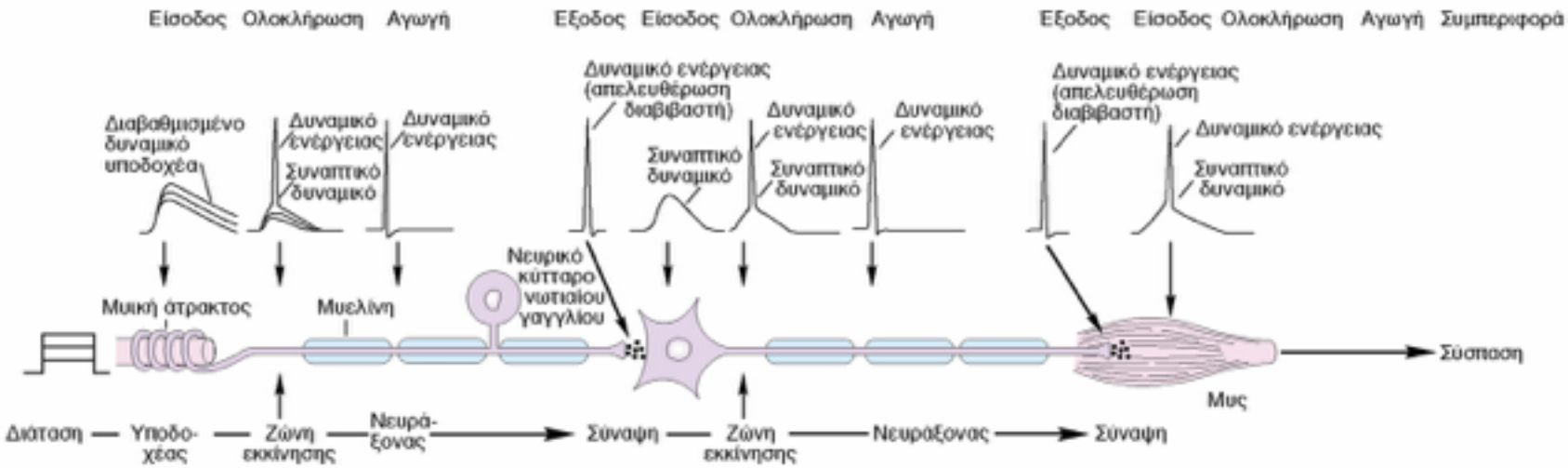




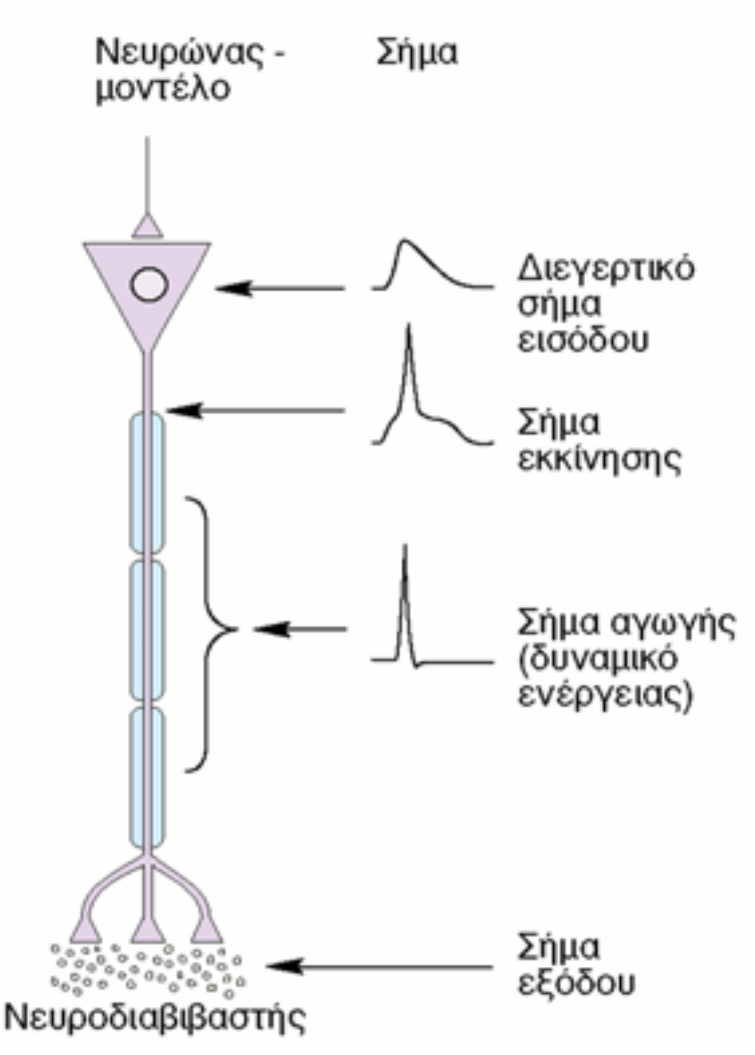
ΝΕΥΡΩΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ



Μετασχηματισμός σημάτων σε ένα νευρωνικό κύκλωμα



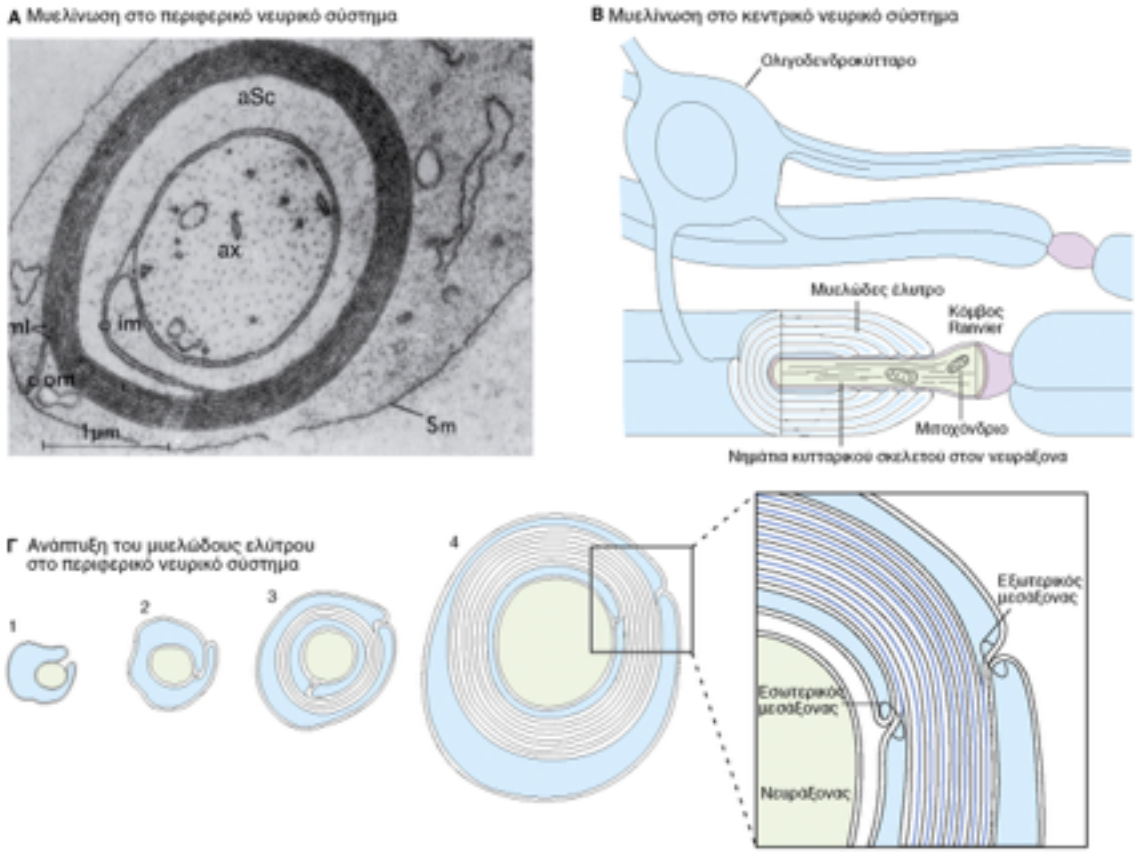
Μετάδοση σημάτων - Σύναψη



Ποικιλομορφία νευρικών κυττάρων

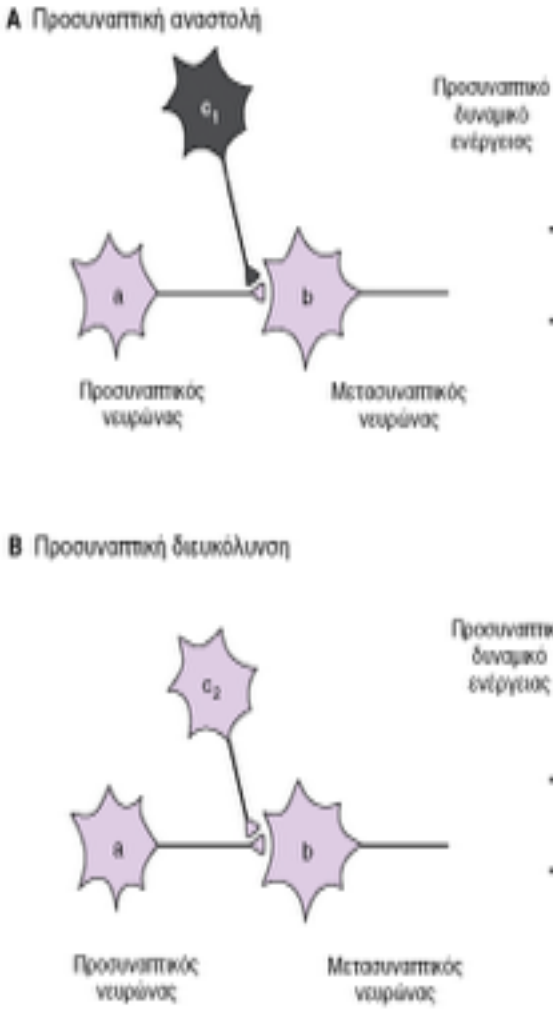
- Νευροδιαβιβαστής
  - Γλουταμινικό οξύ
  - GABA
  - Ντοπαμίνη
  - Ακετυλοχολίνη
  - Νορεπινεφρίνη
  - Σεροτονίνη

Μυελίνωση

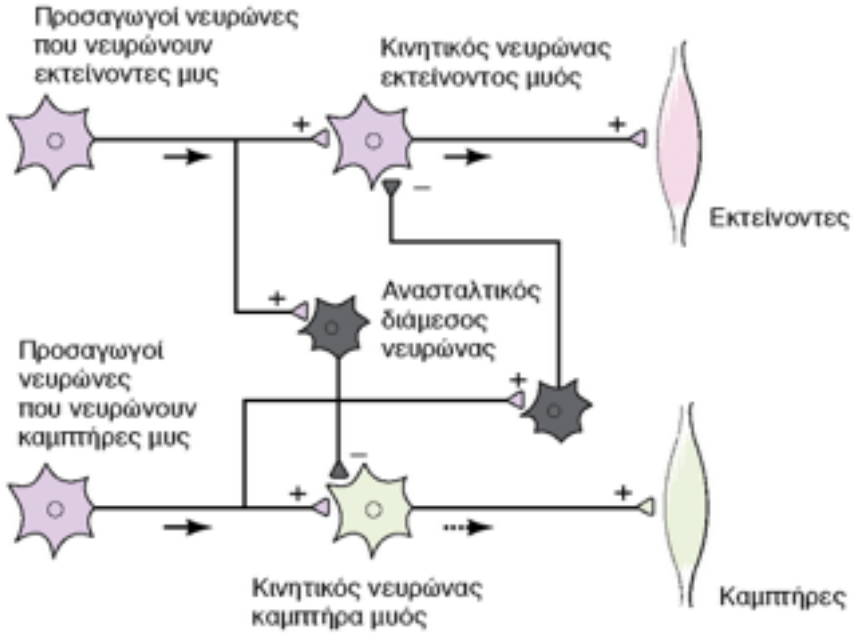

A Μυελίνωση στο περιφερικό νευρικό σύστημα
aSc
ax
ml
im
om
1μm
Sm
B Μυελίνωση στο κεντρικό νευρικό σύστημα
Ολιγοδενδροκύτταρο
Μυελώδες έλυτρο
Κόμβος Ranvier
Μιτοχόνδριο
Νημάτια κυτταρικού σκελετού στον νευράξονα
Γ Ανάπτυξη του μυελώδους ελύτρου στο περιφερικό νευρικό σύστημα
1
2
3
4
Εξωτερικός μεσάξονας
Εσωτερικός μεσάξονας
Νευράξονας

Συνδεσιμότητα

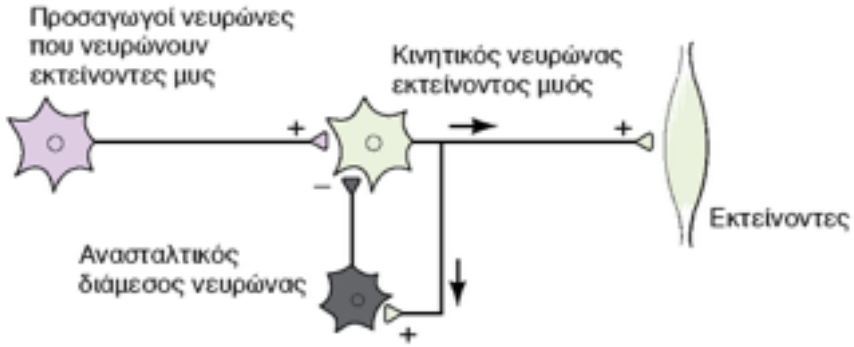
- Υπάρχουν 10^{11} νευρώνες στον ανθρώπινο εγκέφαλο
- Κάθε νευρώνας δέχεται 10.000 συνάψεις
- Κάθε νευρώνας δημιουργεί συνάψεις με πολλαπλά κύτταρα



A Ορθόδρομη αναστολή

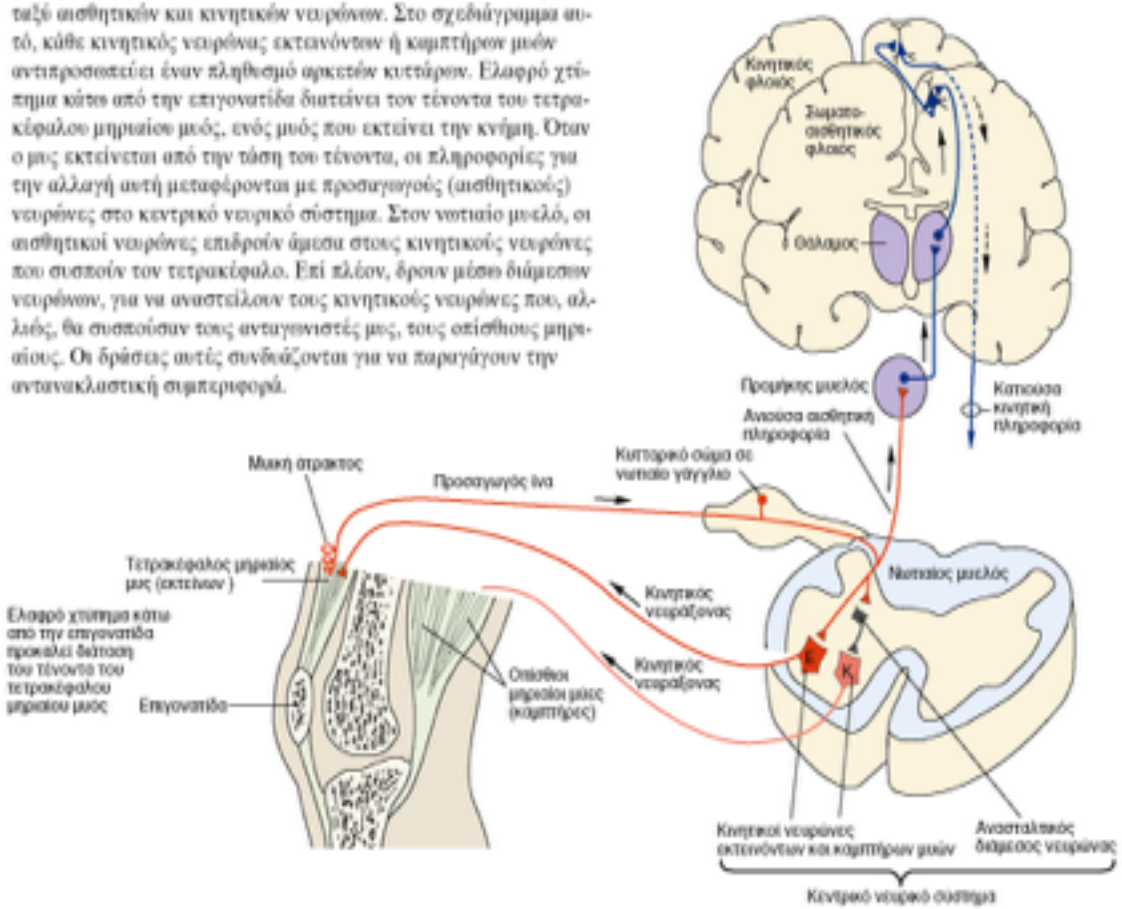


B Αναδραστική αναστολή



Νευρωνικό κύκλωμα και Συμπεριφορά

Εικόνα 2-6 Το αντανακλαστικό της επιγονατίδας είναι ένα παράδειγμα μονοσιναπτικού αντανακλαστικού συστήματος, μιας απλής συμπεριφοράς που ελέγχεται με απευθείας συνδέσεις μεταξύ αισθητικών και κινητικών νευρώνων. Στο σχεδιάγραμμα αυτό, κάθε κινητικός νευρώνας εκτεινόντων ή καμπτήρων μυών αντιπροσωπεύει έναν πληθυσμό αρκετών κυττάρων. Ελαφρό χτύπημα κάτω από την επιγονατίδα διατείνει τον τένοντα του τετρακέφαλου μηριαίου μυός, ενός μυός που εκτείνει την κνήμη. Όταν ο μυς εκτείνεται από την τάση του τένοντα, οι πληροφορίες για την αλλαγή αυτή μεταφέρονται με προσαγωγούς (αισθητικούς) νευρώνες στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Στον νωτιαίο μυελό, οι αισθητικοί νευρώνες επιδρούν άμεσα στους κινητικούς νευρώνες που συσπούν τον τετρακέφαλο. Επί πλέον, δρουν μέσω διάμεσων νευρώνων, για να αναστείλουν τους κινητικούς νευρώνες που, αλλιώς, θα συσπούσαν τους ανταγωνιστές μυς, τους οπίσθιους μηριαίους. Οι δράσεις αυτές συνδιάζονται για να παραγάγουν την αντανακλαστική συμπεριφορά.



Δομή μαθήματος

- Διαλέξεις
- Πρόοδος – 40%
- Παρουσίαση – 30%
- Εργασία – 30%

Καταληκτική ημερομηνία για δήλωση παρουσίασης/εργασίας

27 Φεβρουαρίου 2015

Θέματα εργασιών

Λειτουργία νευρογλοιακών κυττάρων

GABA

Κινητικό σύστημα (Brain-machine interface)

Αυτισμός

Προσοχή

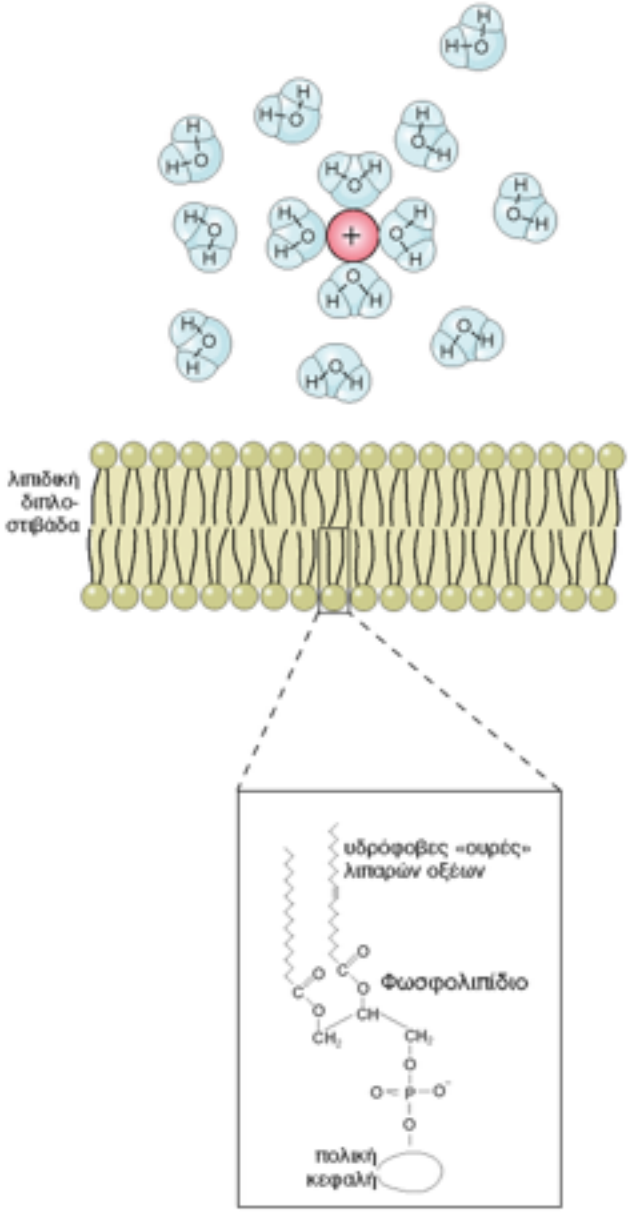
Μνήμη/μάθηση

Νευρο-ανοσολογία

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΥΡΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

- **ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ**
  - **ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΗΡΕΜΙΑΣ**
  - **ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**
- **ΔΙΑΥΛΟΙ ΙΟΝΤΩΝ**
- ΣΥΝΑΠΤΙΚΗ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗ
  - ΝΕΥΡΟΔΙΑΒΙΒΑΣΤΕΣ
  - ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΝΕΥΡΟΔΙΑΒΙΒΑΣΤΩΝ
  - ΣΥΝΑΠΤΙΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ
  - ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΝΑΠΤΙΚΗΣ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΙΟΝΤΩΝ



Κατανομή Ιόντων

Ιόν	Εξωκυττάριο υγρό	Ενδοκυττάριο υγρό
Na^+	145mM	15mM
K^+	4mM	150mM
Ca^{++}	2mM	10^{-8} M
Mg^{++}	2mM	0.5mM
P_i	2mM	40mM

ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Χημικό δυναμικό — Ηλεκτρικό δυναμικό

$$\Delta\mu(X)=\mu_{\varepsilon\xi\omega}(X)-\mu_{\mu\acute{\varepsilon}\sigma\alpha}(X)= RT\ln([X]_{\acute{\varepsilon}\xi\omega}/[X]_{\mu\acute{\varepsilon}\sigma\alpha})+ zF(E_{\acute{\varepsilon}\xi\omega}-E_{\mu\acute{\varepsilon}\sigma\alpha})$$

Ηλεκτροχημική ισορροπία
Εξίσωση Nerst

$$(E_{\acute{\varepsilon}\xi\omega}-E_{\mu\acute{\varepsilon}\sigma\alpha}) = (RT/zF)\ln([X]_{\acute{\varepsilon}\xi\omega}/[X]_{\mu\acute{\varepsilon}\sigma\alpha})$$

Hermann (Walther) Nernst
1864-1941
1920 Nobel Prize for chemistry

Δυναμικό ισορροπίας ιόντων

$$E_X=(60/z)*\log_{10}([X]_{\text{έξω}} / [X]_{\text{μέσα}})$$

Κάλλιο $E_k=(60/1)*\log_{10}(0,004/0,15) = - 90$ mV

Νάτριο $E_{Na}=(60/1)*\log_{10}(0,145/0,015) = + 60$mV

Ασβέστιο $E_{Ca}=(60/2)*\log_{10}(0,002/0,0000001) = + 120$mV

Υπολογισμός του δυναμικού της μεμβράνης

- ΕΞΙΣΩΣΗ GOLDMAN-HODGKIN-KATZ

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln\left(\frac{p_K[K]_o + p_{Na}[Na]_o + p_{Cl}[Cl]_i}{p_K[K]_i + p_{Na}[Na]_i + p_{Cl}[Cl]_o} \right)$$

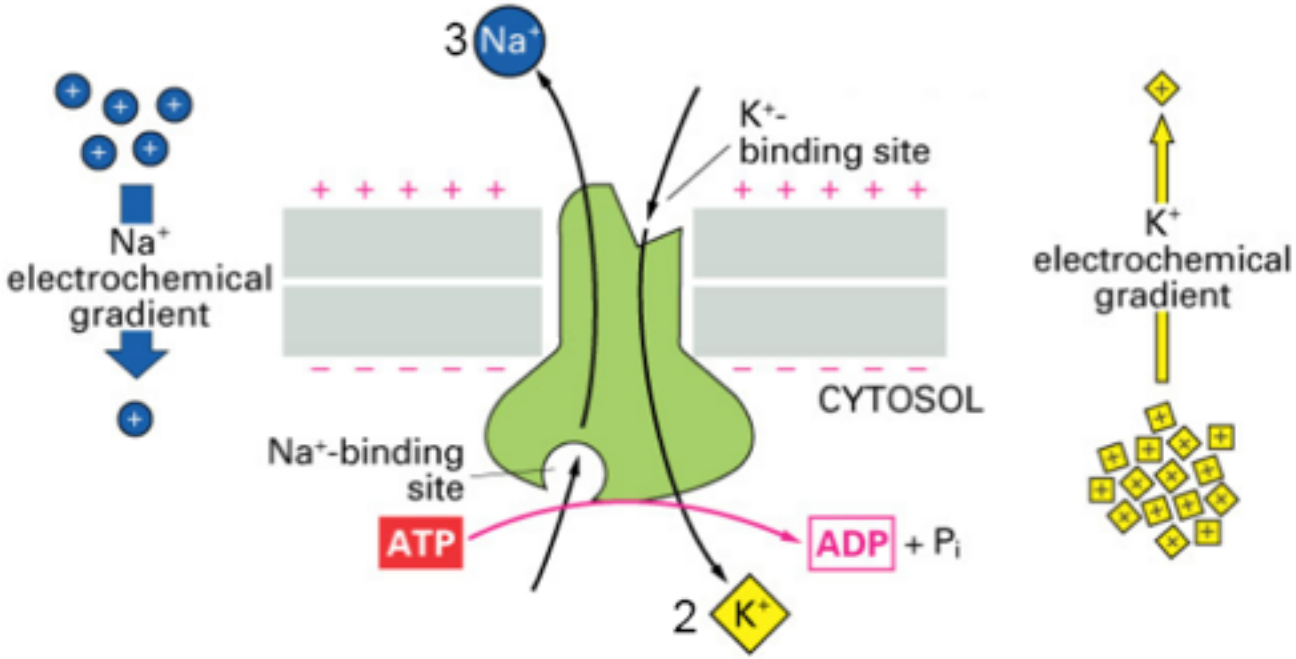
- ΒΑΣΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ
  - Το δυναμικό της μεμβράνης δεν μεταβάλλεται
  - Η κίνηση των ιόντων γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση Nerst
  - Τα διαφορετικά είδη ιόντων κινούνται ανεξάρτητα

Υπολογισμός του δυναμικού ηρεμίας της μεμβράνης

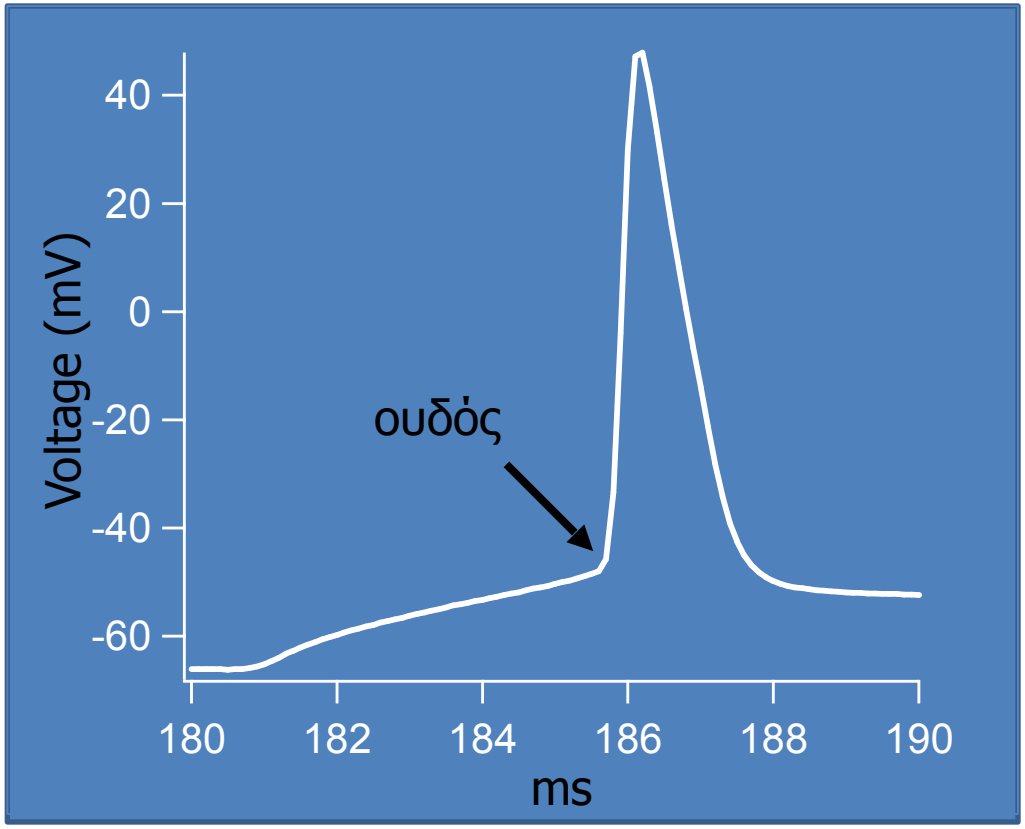
$$V_m = \frac{RT}{F} \ln\left(\frac{p_K[K]_o + p_{Na}[Na]_o + p_{Cl}[Cl]_i}{p_K[K]_i + p_{Na}[Na]_i + p_{Cl}[Cl]_o} \right)$$

- $P_K:P_{Na}:P_{Cl}$ = 1:0.03:0.1
- Vrest=(RT/F) *ln[(4*1+145*0.03+10*0.1)/(1*150+0.03*15+110*0.1)
- Vrest = 58*log[(4+4.35+1)/(150+0.45+11)] = 58 * log(9.35/161.45)
- Vrest = 58 *log(0.06)
- Vrest = 58* (-1.22) = -70mV

Μεμβρανικό Δυναμικό Ηρεμίας Κινητήριος Δύναμη



Δυναμικό ενεργείας

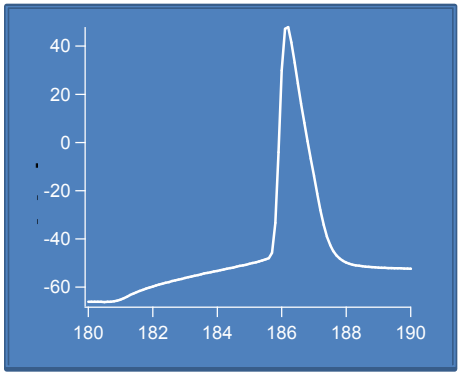


- Όλον ή ουδέν
- Ουδός
- Διάρκεια
- Ύψος
- Ανερέθιστη περίοδος

Υπολογισμός του δυναμικού της μεμβράνης κατά τη διάρκεια των δυναμικών ενεργείας

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln\left(\frac{p_K[K]_o + p_{Na}[Na]_o + p_{Cl}[Cl]_i}{p_K[K]_i + p_{Na}[Na]_i + p_{Cl}[Cl]_o} \right)$$

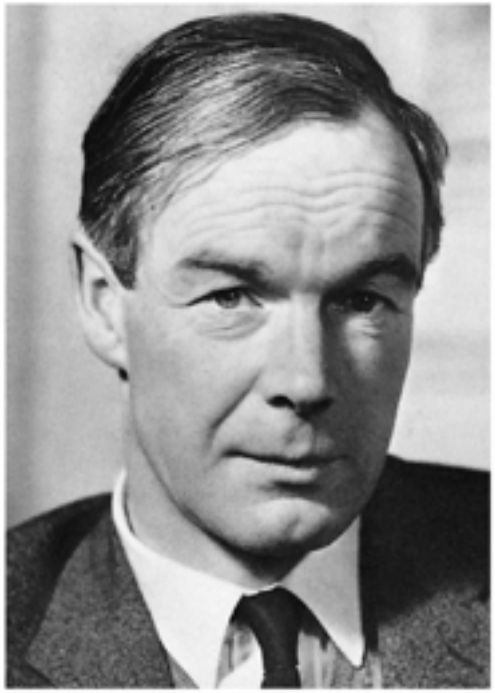
- $P_K:P_{Na}:P_{Cl}$ = 1:15:0.1
- V=(RT/F) *ln[(4*1+145*15+10*0.1)/(1*150+15*15+110*0.1) ⇔
- V = 58*log[(4+2175+1)/(150+225+11)] = 58 * log(2180/386)
- V = 58 *log(5.65)
- V = 58* 0.75 = 43.5 mV



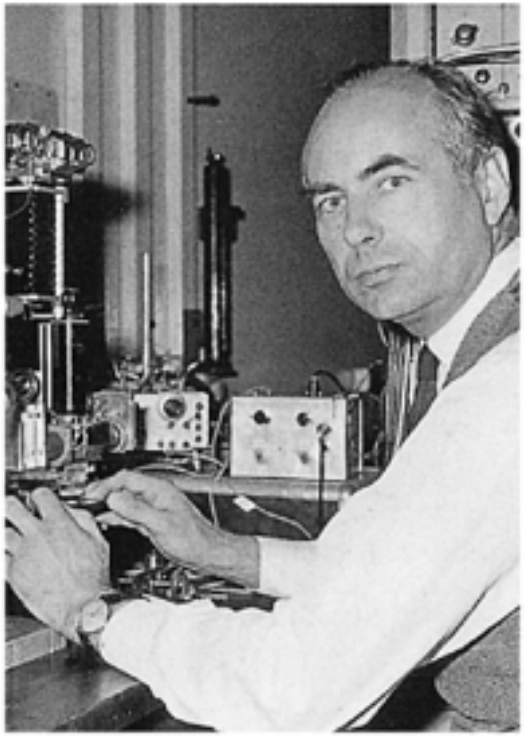
Γιγαντιαίος άξονας του καλαμαριού

http://www.iac-usnc.org/Methods/squid/dissection1.html

Καταγραφή δυναμικού ενεργείας



A.L. Hodgkin



A.F. Huxley

B. Katz

Καταγραφή δυναμικού ενεργείας

Action Potentials Recorded from Inside a Nerve Fibre

NERVOUS messages are invariably associated with an electrical change known as the action potential. This potential is generally believed to arise at a membrane which is situated between the axoplasm and the external medium. If this theory is correct, it should be possible to record the action potential between an electrode inside a nerve fibre and the conducting fluid outside it. Most nerve fibres are too small for this to be tested directly, but we have recently succeeded in inserting micro-electrodes into the giant axons of squids (*Loligo forbesi*)[1].

The following method was used. A 500 μ axon was partially dissected from the first stellar nerve and cut half through with sharp scissors. A fine cannula was pushed through the cut and tied into the axon with a thread of silk. The cannula was mounted with the axon hanging from it in sea water. The upper part of the axon was illuminated from behind and could be observed from the front and side by means of a system of mirrors and a microscope; the lower part was insulated by oil and could be stimulated electrically. Action potentials were recorded by connecting one amplifier lead to the sea water outside the axon and the other to a micro-electrode which

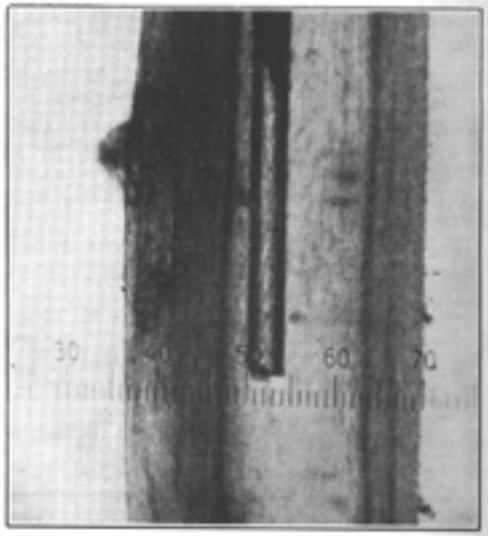


Fig. 1.

PHOTOMICROGRAPH OF ELECTRODE INSIDE GIANT AXON. 1 SCALE DIVISION = 33 μ.

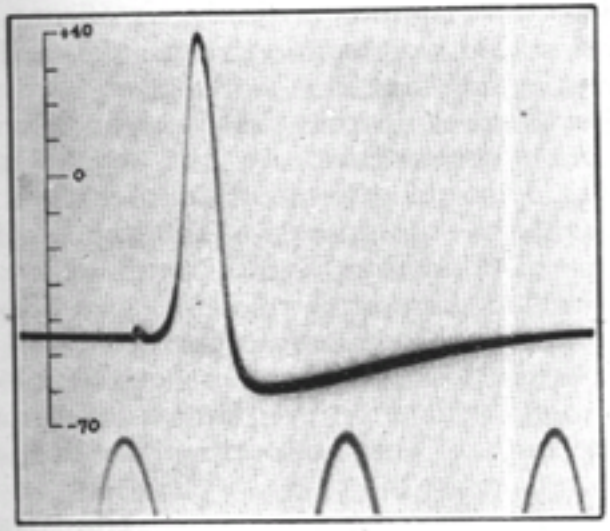
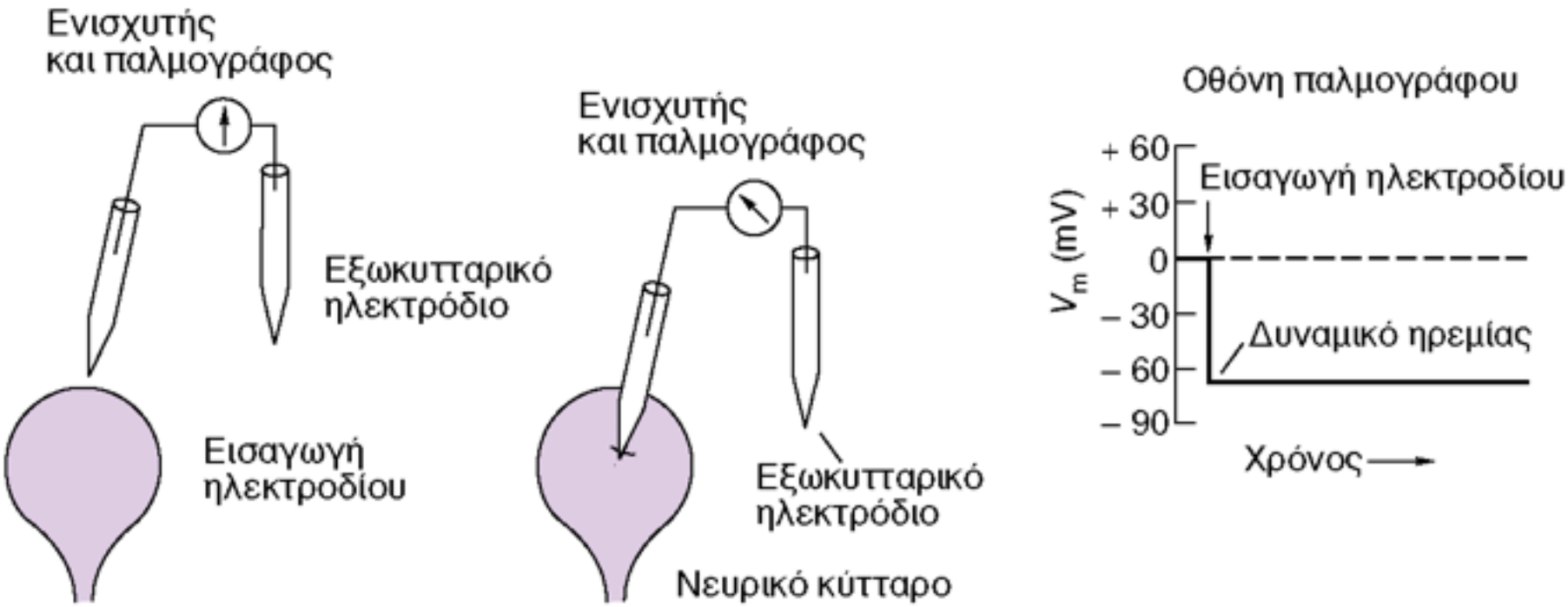


Fig. 2.

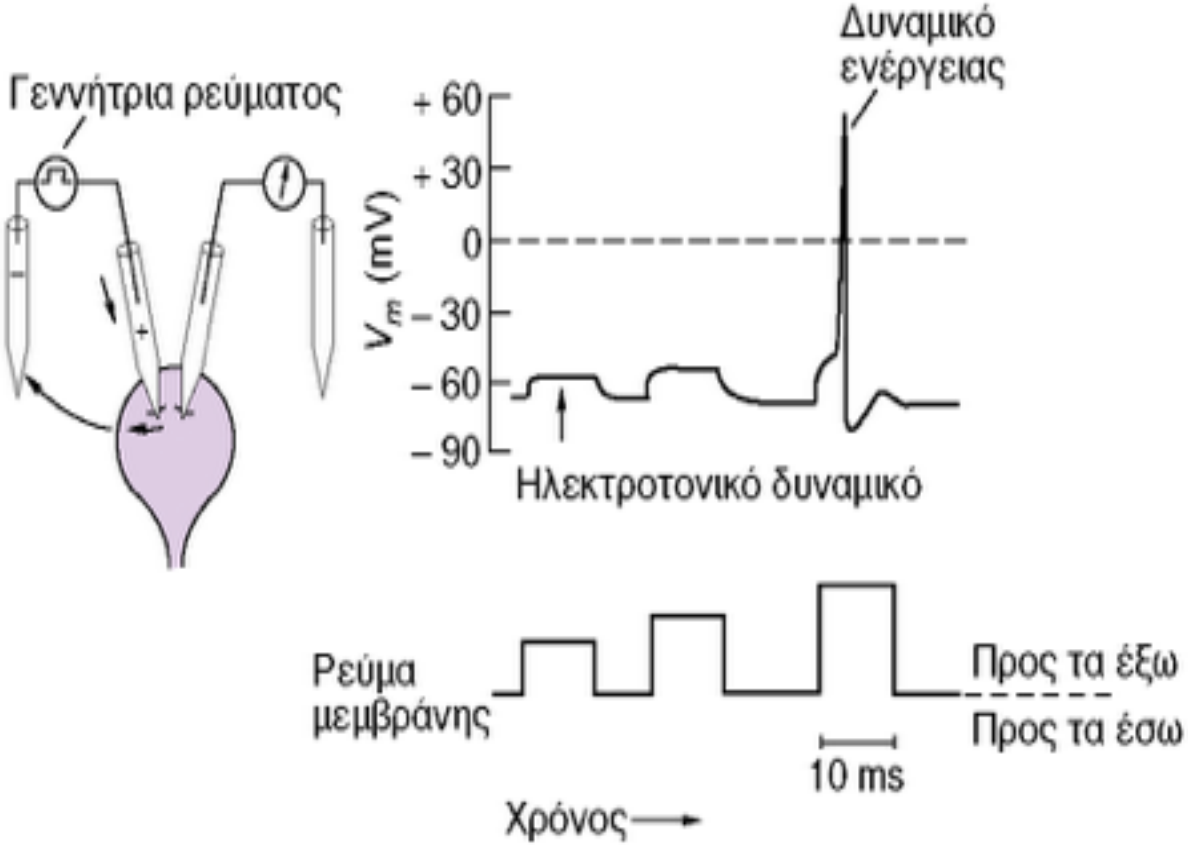
ACTION POTENTIAL RECORDED BETWEEN INSIDE AND OUTSIDE OF AXON. TIME MARKER, 500 CYCLES/SEC. THE VERTICAL SCALE INDICATES THE POTENTIAL OF THE INTERNAL ELECTRODE IN MILLIVOLTS, THE SEA WATER OUTSIDE BEING TAKEN AT ZERO POTENTIAL.

Hodgkin and Huxley, 1939, Nature

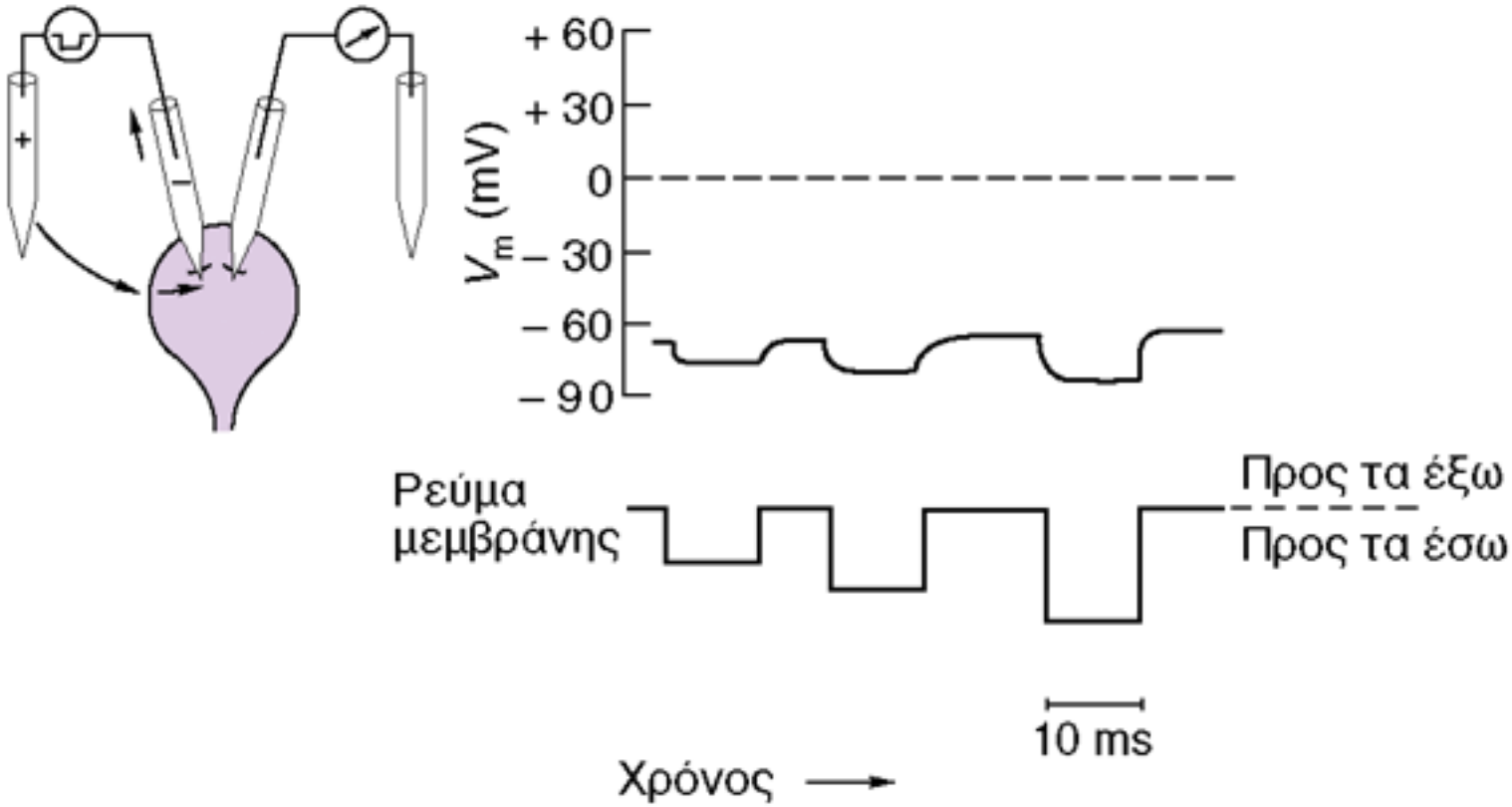
Καταγραφή του δυναμικού της μεμβράνης



Πειραματική μεταβολή στο δυναμικό της μεμβράνης



Πειραματική μεταβολή στο δυναμικό της μεμβράνης

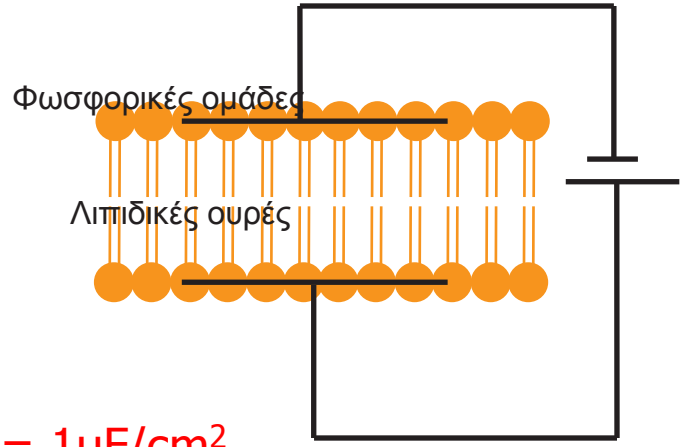


Ορολογία σχετικά με το δυναμικό της μεμβράνης

- Εκπόλωση --> Διέγερση
- Υπερπόλωση --> Αναστολή
- Δυναμικό ενεργείας
- Ουδός
- Υπο-ουδικό σήμα

ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΜΕ ΕΝΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- ΦΩΣΦΟΛΙΠΙΔΙΚΗ ΣΤΟΙΒΑΔΑ =ΠΥΚΝΩΤΗΣ

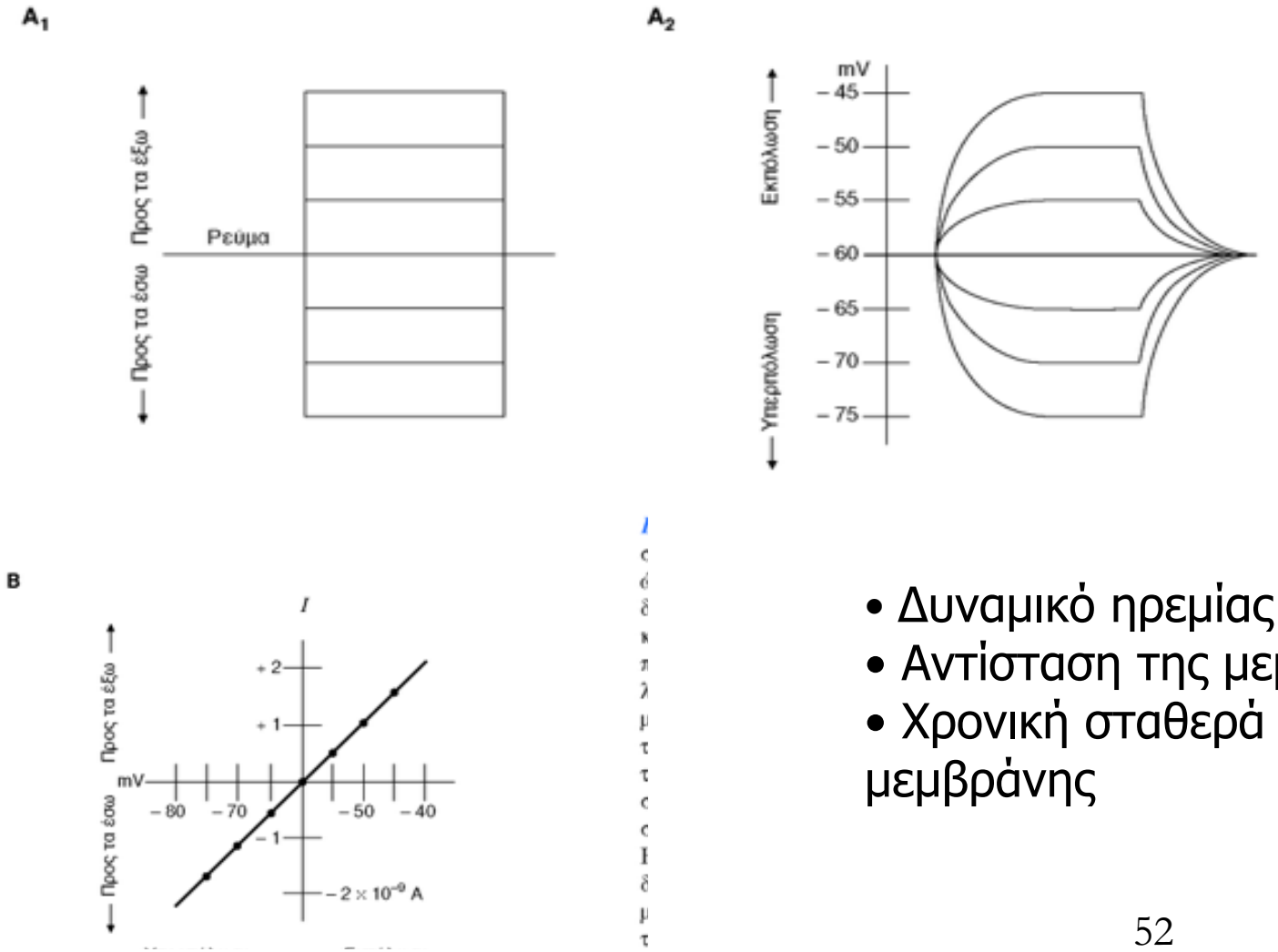


$C = 1\mu F/cm^2$

$$Q = C*\Delta V \iff I_m = C_m * (dV/dt)$$

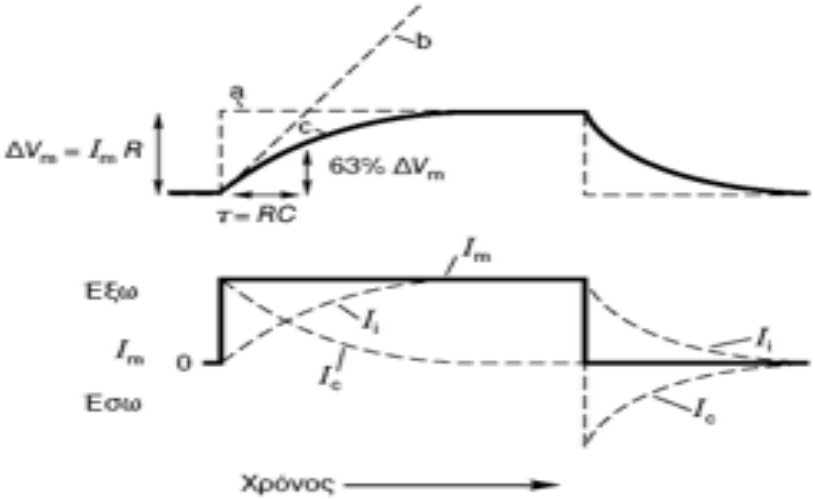
Q = φορτίο
C = χωριτικότητα
ΔV = διαφορά δυναμικού

ΠΑΘΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ



- Δυναμικό ηρεμίας
- Αντίσταση της μεμβράνης
- Χρονική σταθερά της μεμβράνης

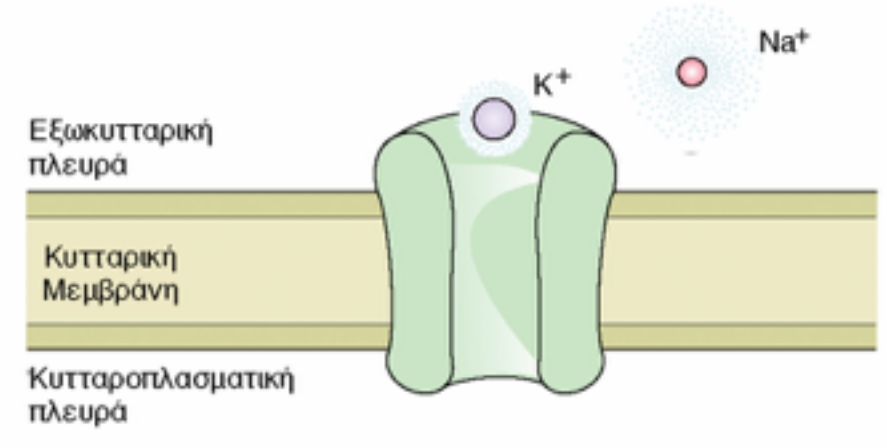
Χρονική σταθερά της μεμβράνης



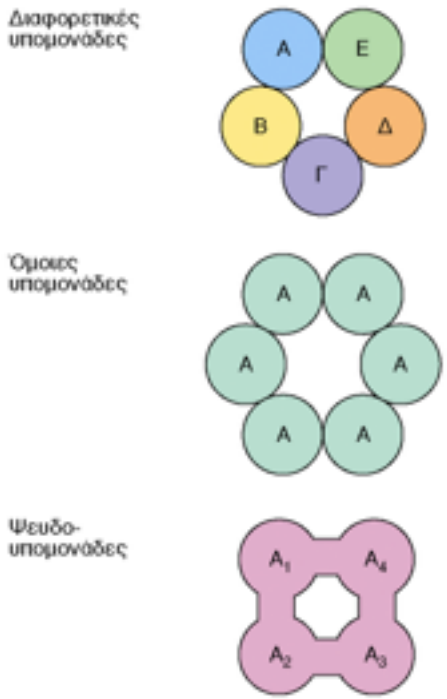
Εικόνα 9-3 Ο ρυθμός μεταβολής του δυναμικού μεμβρά-

ΔΙΑΥΛΟΙ ΙΟΝΤΩΝ

- Διαμεμβρανικές πρωτεΐνες
- Μεταφορά ιόντων
  - Παθητικά
  - Μεγάλη ταχύτητα
- Επιλεκτικότητα στο ιόν που μεταφέρουν
  - Δίαυλοι νατρίου
  - Δίαυλοι καλίου
  - Δίαυλοι ασβεστίου
- Ανοίγουν και κλείνουν ανάλογα με τα ερεθίσματα που δέχονται
  - Δυναμικό της μεμβράνης
  - Πρόσδεση μορίων

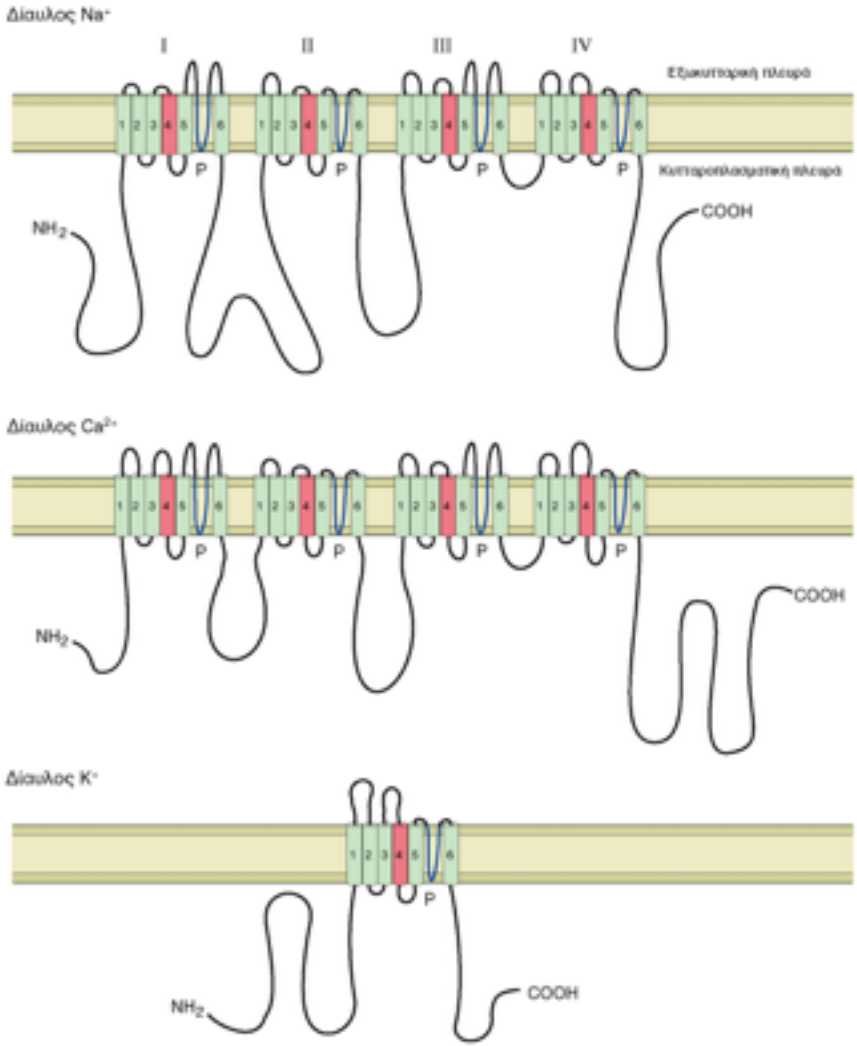


Δομή των διαύλων

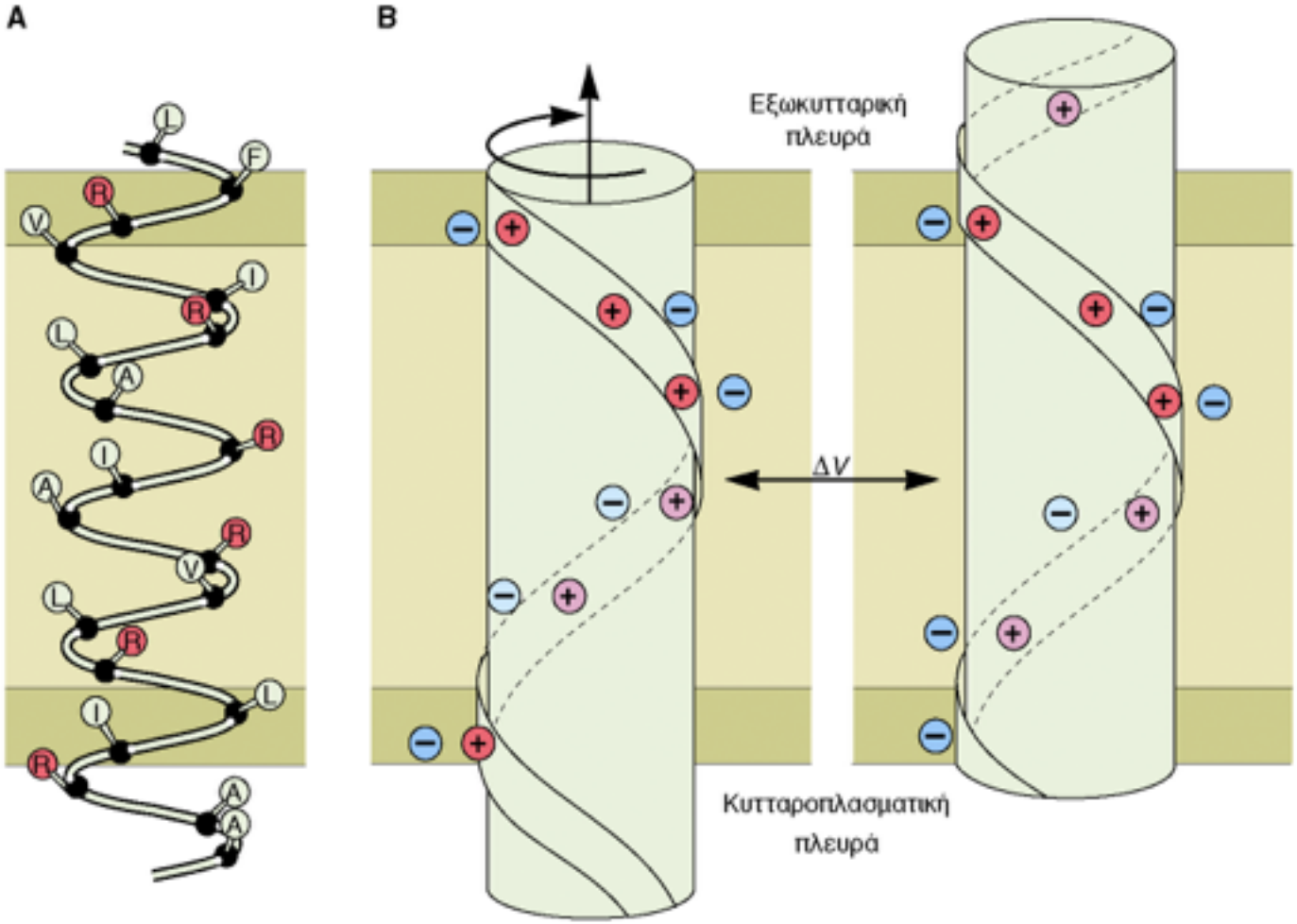


Εικόνα 7-6 Δίαυλοι ιόντων είναι δυνατόν να σχηματισθούν ως ετεροπολυμερή από διαφορετικές υπομονάδες (**επάνω**), ως ομοιοολιγομερή από έναν μόνον τύπο υπομονάδας (**μέσω**), ή από μία μόνο πολυπεπτιδική αλυσίδα που οργανώνεται σε επαναλαμβανόμενα μοτίβα, όπου κάθε μοτίβο αντιστοιχεί σε μία υπομονάδα (**κάτω**).

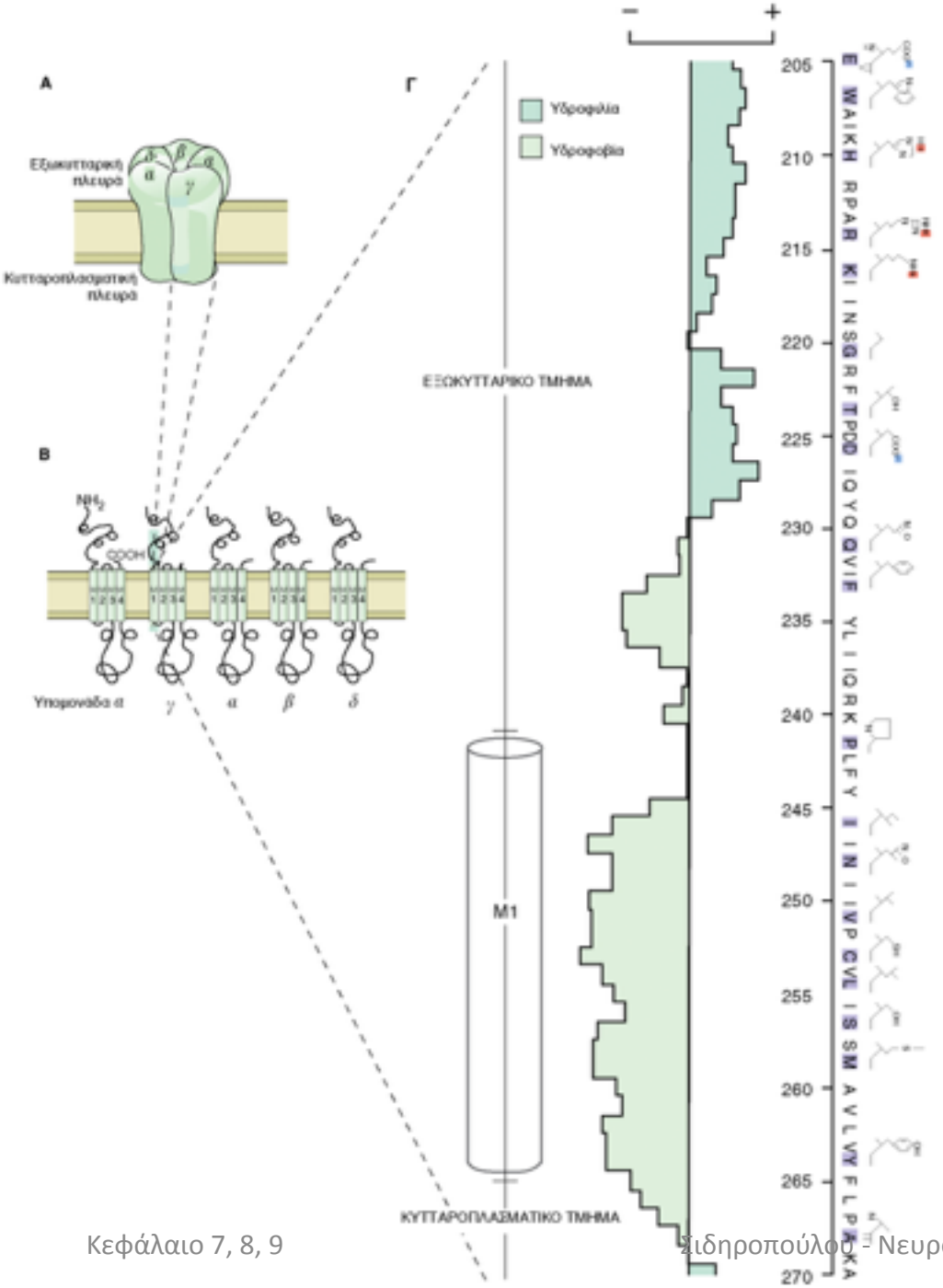
Μοριακή υπόσταση των διαύλων
Οικογένεια τασο-ελεγχόμενων διαύλων



Έλεγχος του διαύλου νατρίου από το δυναμικό της μεμβράνης

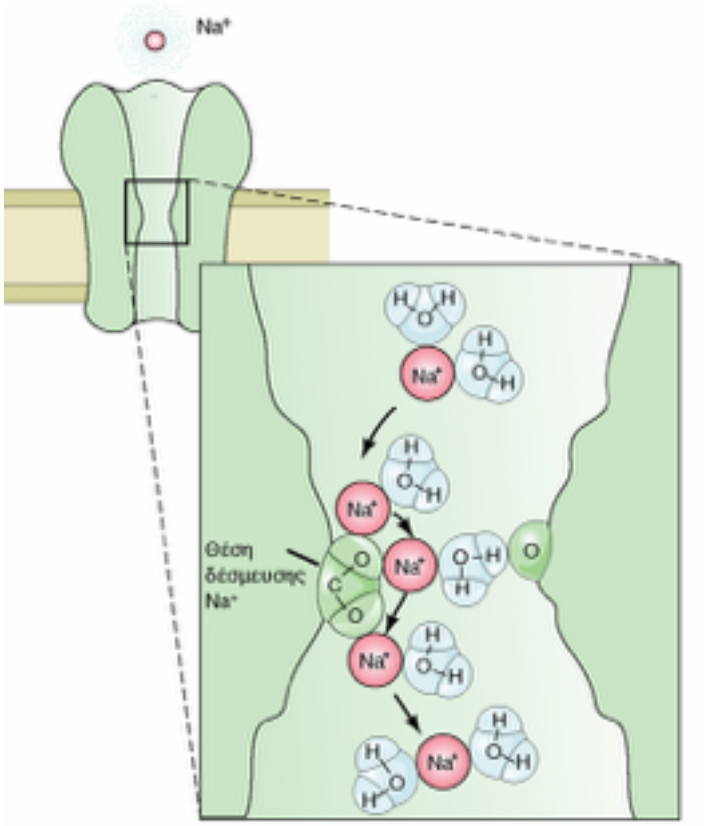


ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΔΙΑΥΛΩΝ ΙΟΝΤΩΝ



Νικοτινικός υποδοχέας της ακετυλοχολίνης

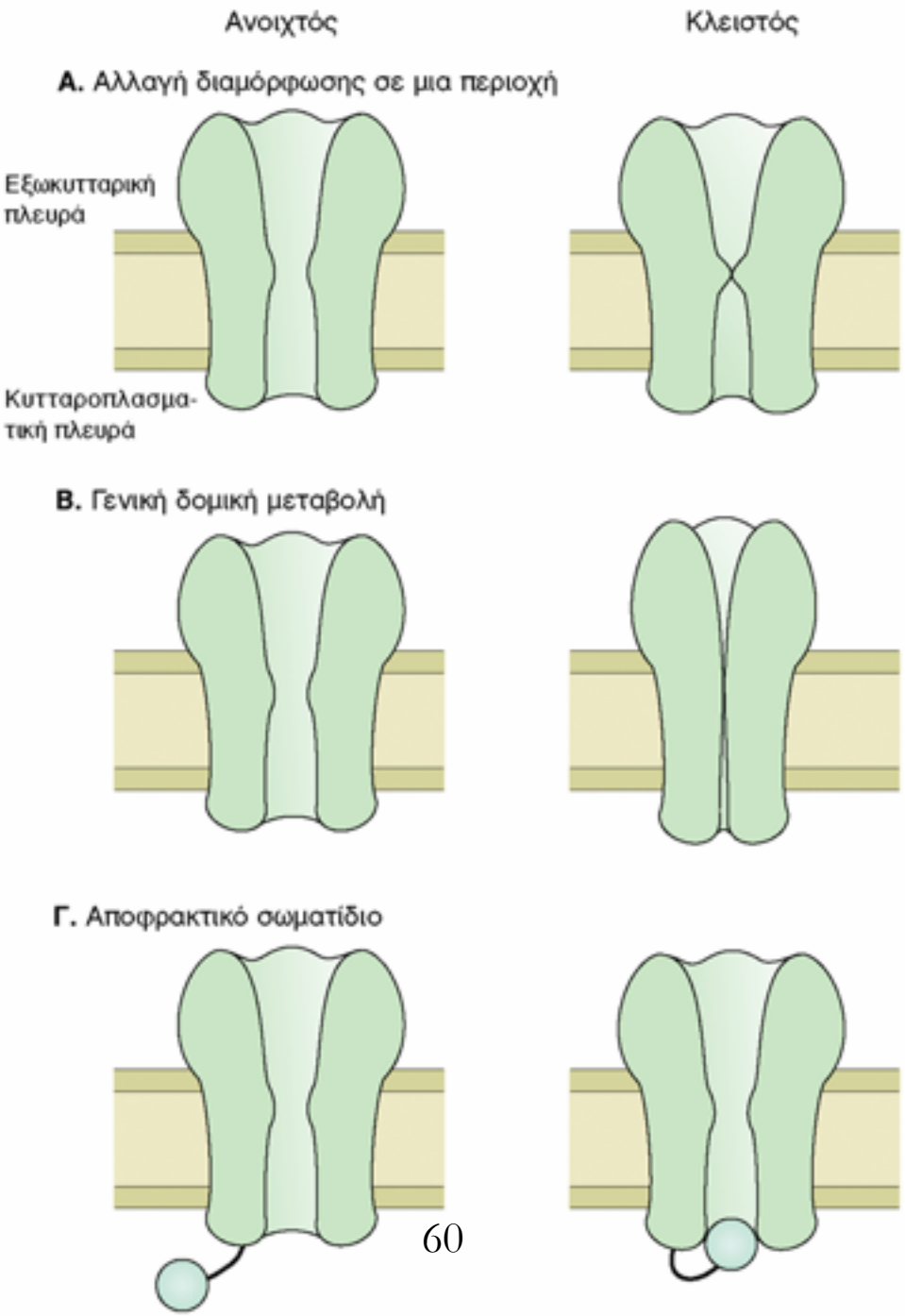
Επιλεκτικότητα των διαύλων



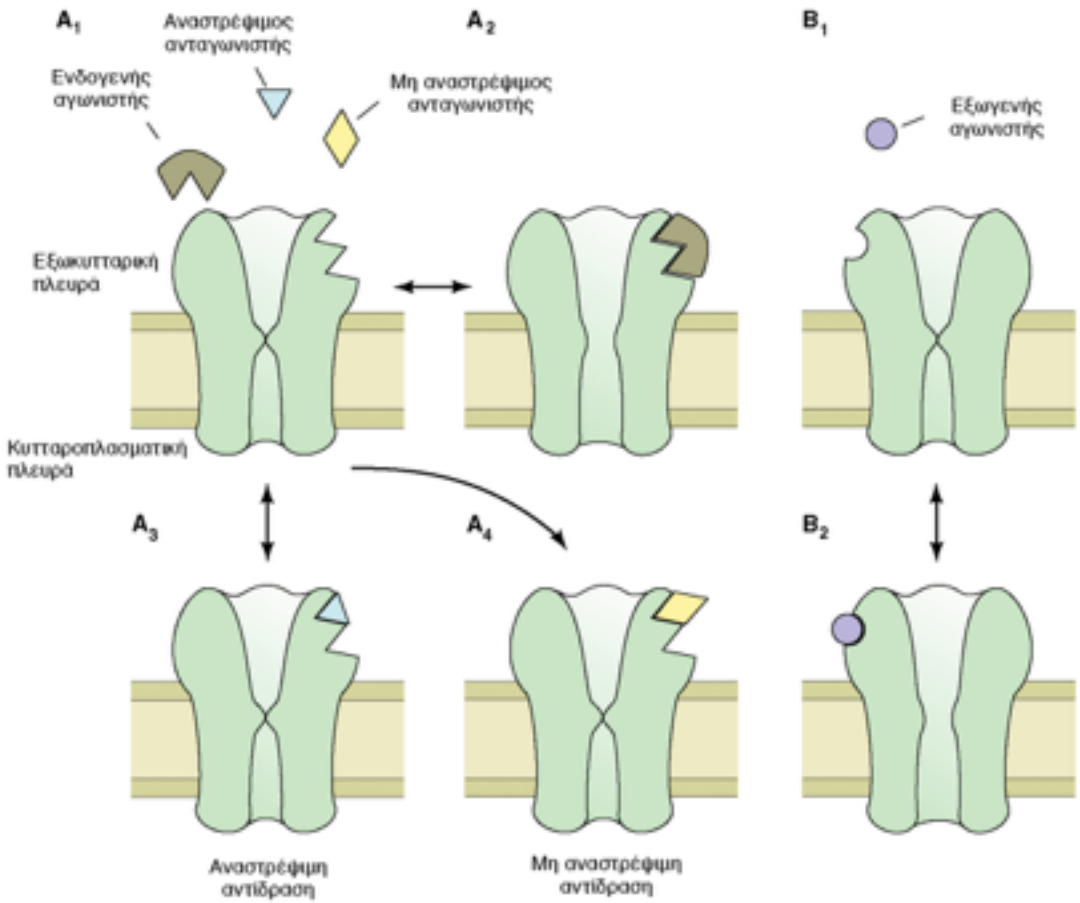
- Συνολικό μέγεθος του ιόντος (ιόν + μόρια νερού)
- Πόρος: ηθμός επιλογής
  - Χημικοί δεσμοί με τα αμινοξέα στο τοίχωμα του διαύλου
- Πύλη του διαύλου

ΔΙΑΥΛΟΙ ΙΟΝΤΩΝ

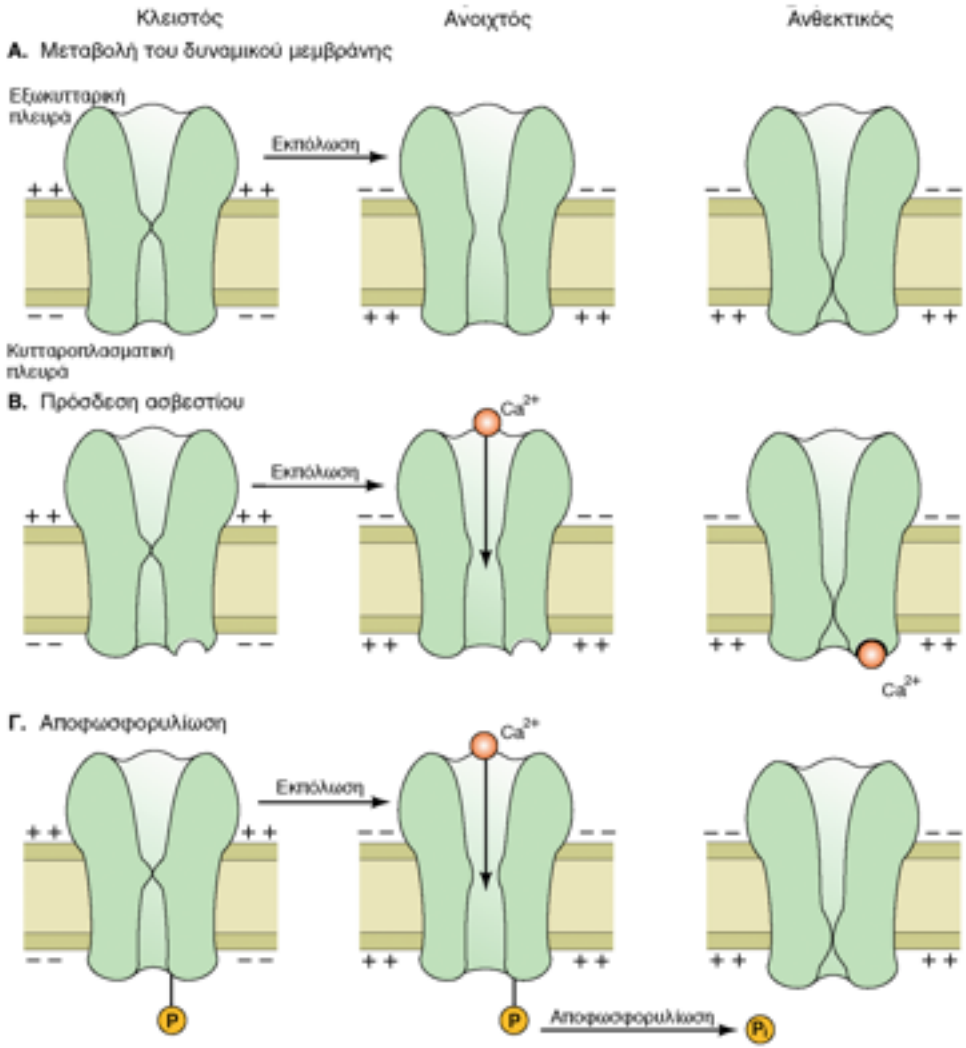
- Διαμεμβρανικές πρωτεΐνες
- Μεταφορά ιόντων
  - Παθητικά
  - Μεγάλη ταχύτητα
- Επιλεκτικότητα στο ιόν που μεταφέρουν
- Ανοίγουν και κλείνουν ανάλογα με τα ερεθίσματα που δέχονται

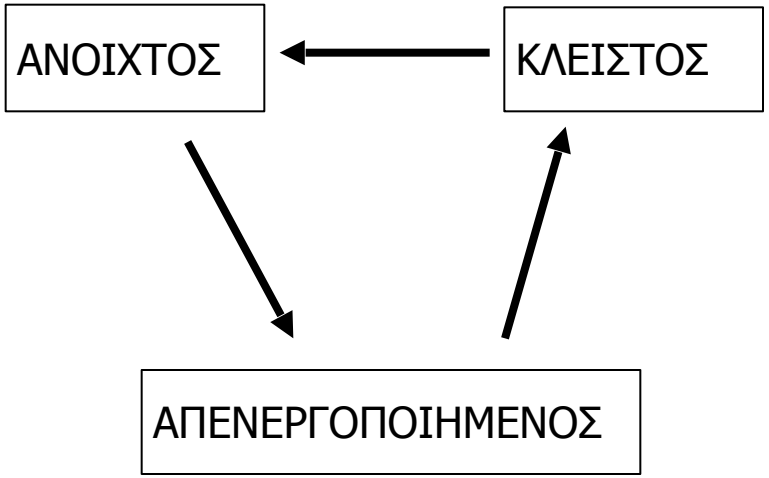


Ρύθμιση των διαύλων από εξωγενή μόρια



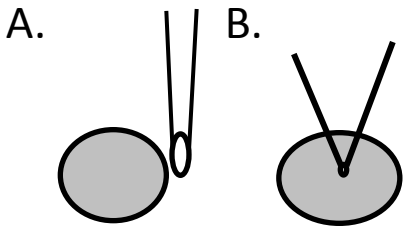
Μηχανισμοί που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των διαύλων



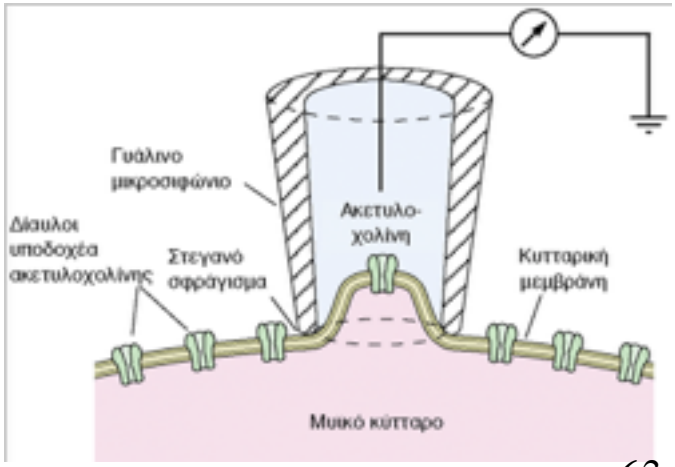


ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ

- ΕΞΩΚΥΤΤΑΡΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
  - ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

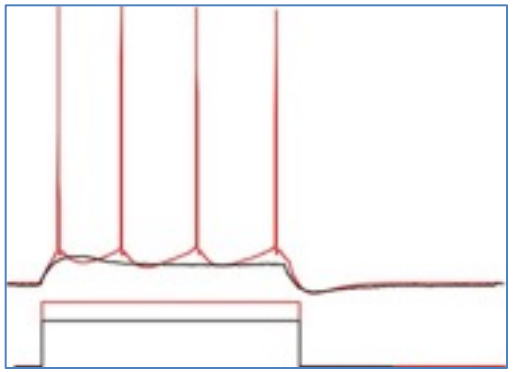


- ΕΝΔΟΚΥΤΤΑΡΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
  - ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ
  - ΡΕΥΜΑΤΑ ΙΟΝΤΩΝ
- ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ PATCH-CLAMP
  - ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ
  - ΡΕΥΜΑΤΑ ΙΟΝΤΩΝ

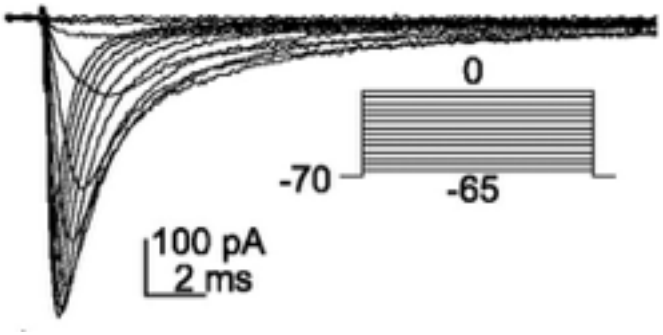


ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΘΗΛΩΣΗΣ ΚΗΛΙΔΑΣ

- ΚΑΘΗΛΩΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ
  - ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

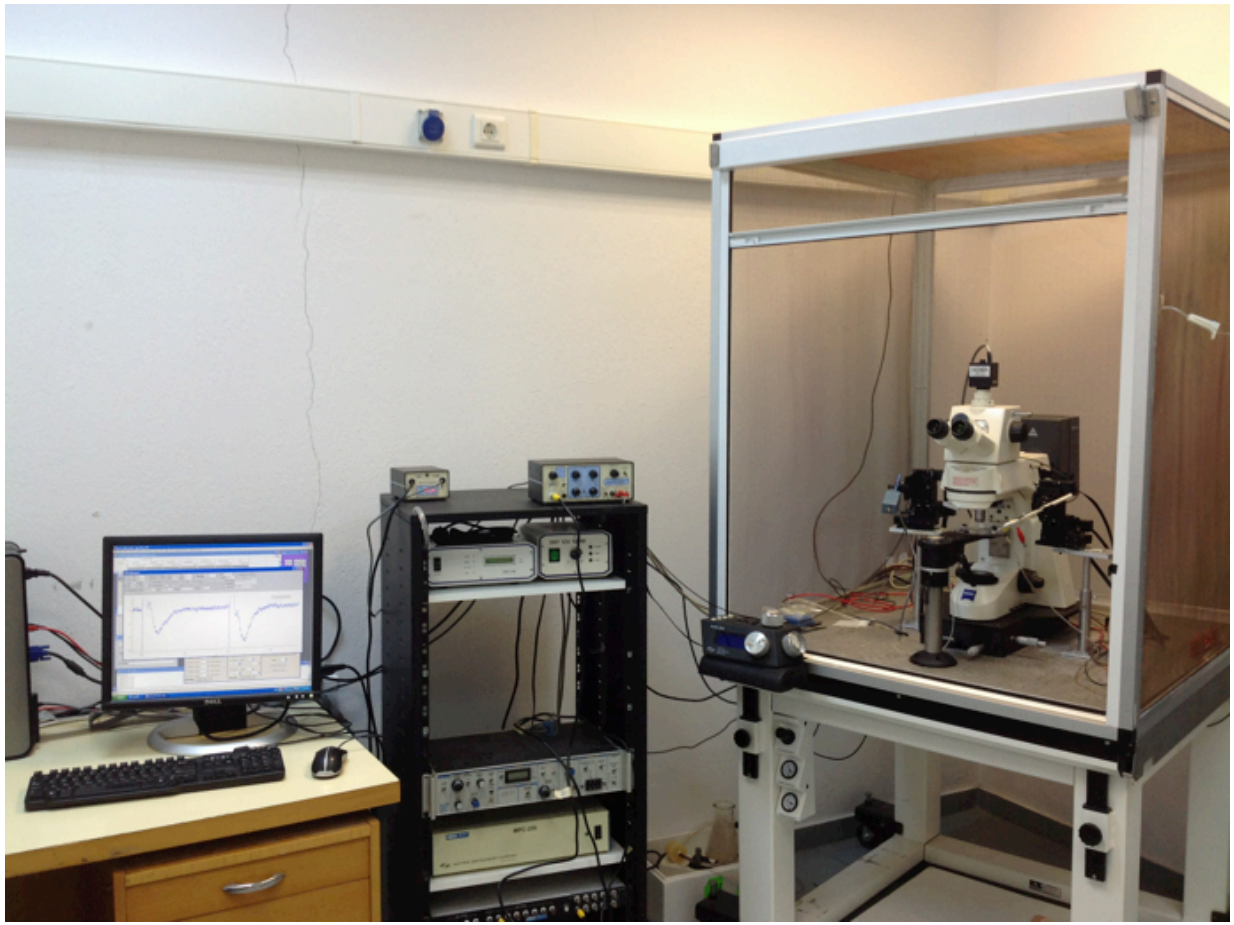


- ΚΑΘΗΛΩΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ
  - ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

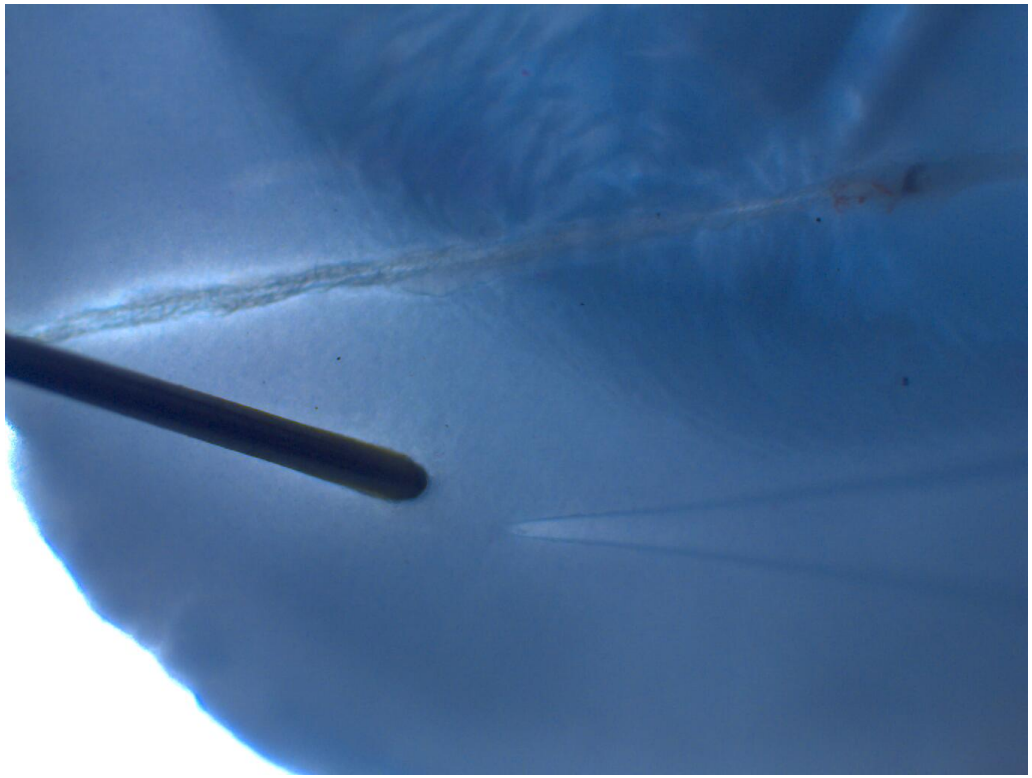


Maurice et al, 2001, Journal of Neuroscience,21(7): 2268-2277

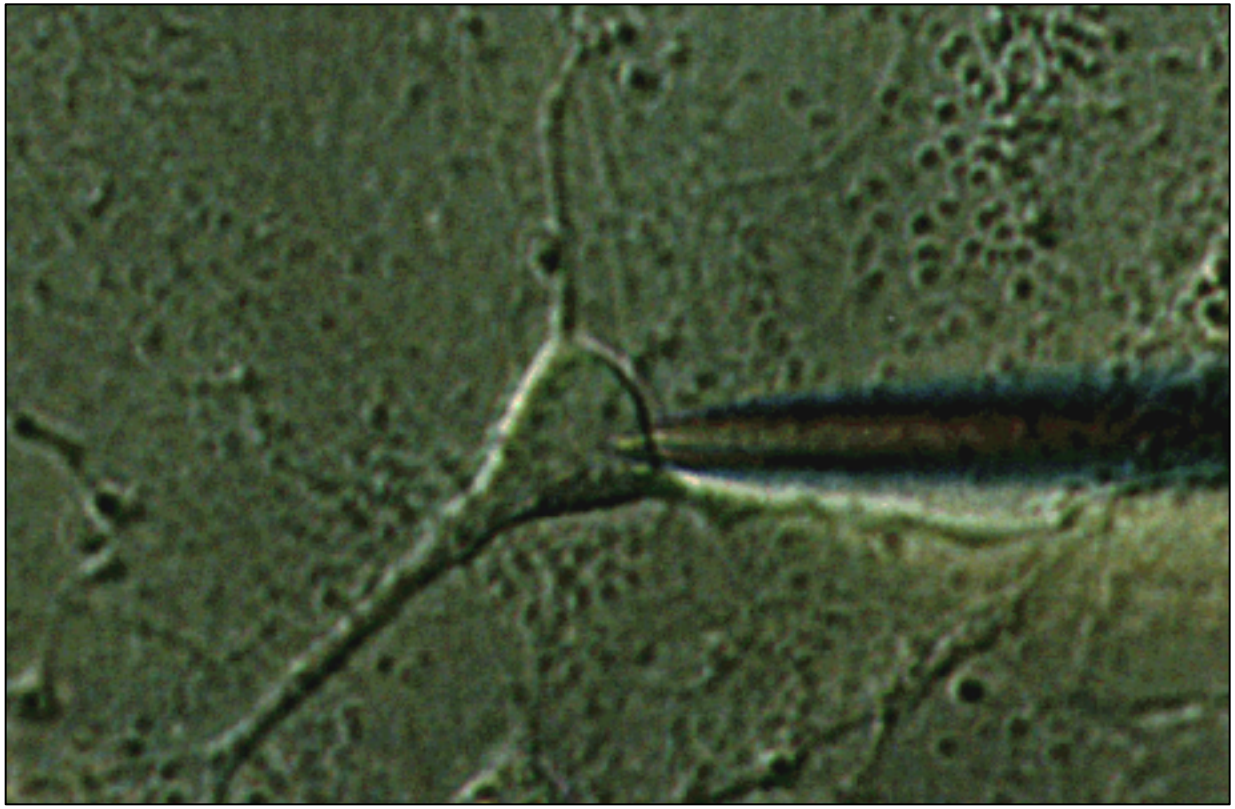
Δωμάτιο ηλεκτροφυσιολογίας



Επιφάνεια εργασίας (patch-clamp)



Διαδικασία της patch-clamp

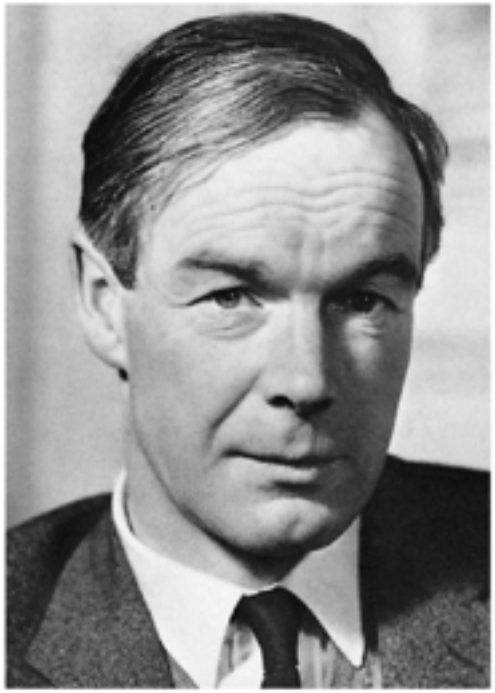


http://life.nthu.edu.tw/~g864264/Graph/pair.gif

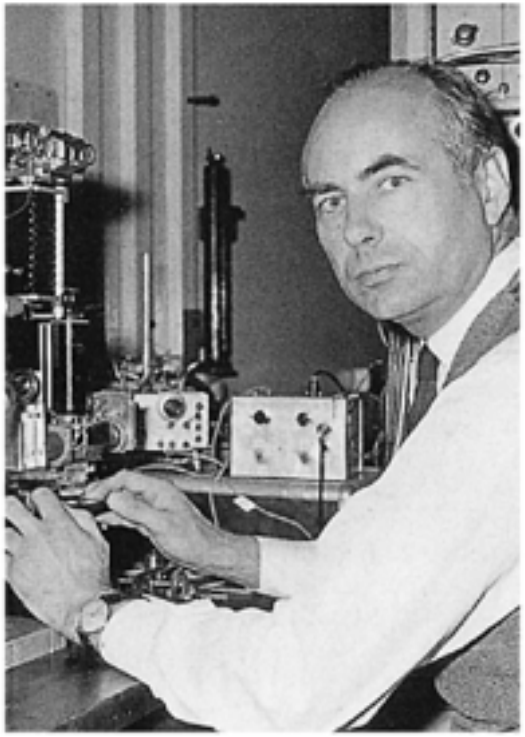
Γιγαντιαίος άξονας του καλαμαριού

http://www.iac-usnc.org/Methods/squid/dissection1.html

Καταγραφή δυναμικού ενεργείας



A.L. Hodgkin



A.F. Huxley

B. Katz

Τεχνική καθήλωσης τάσης

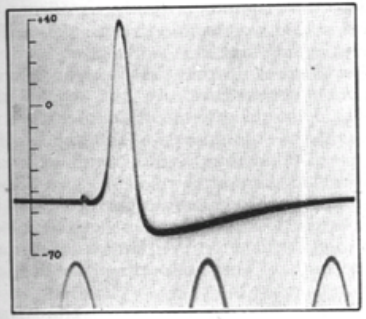
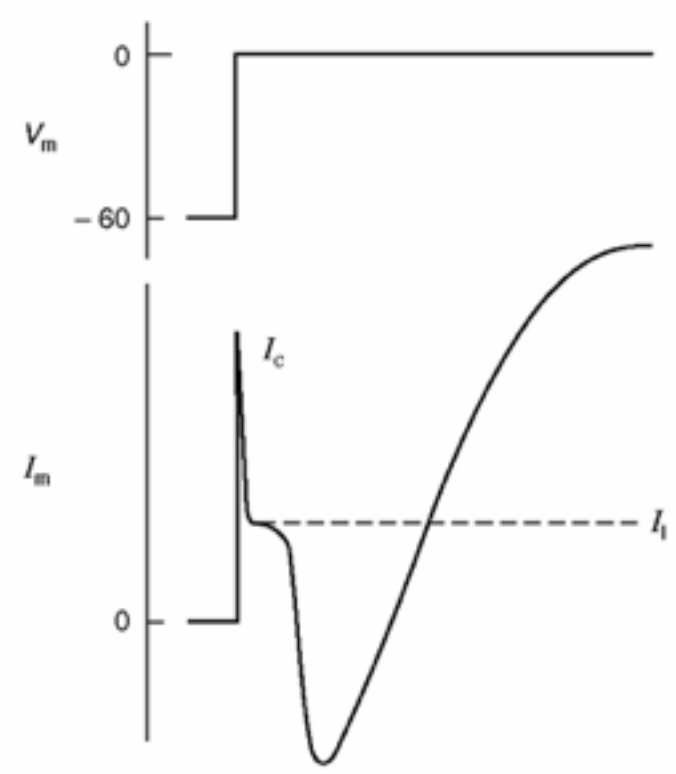
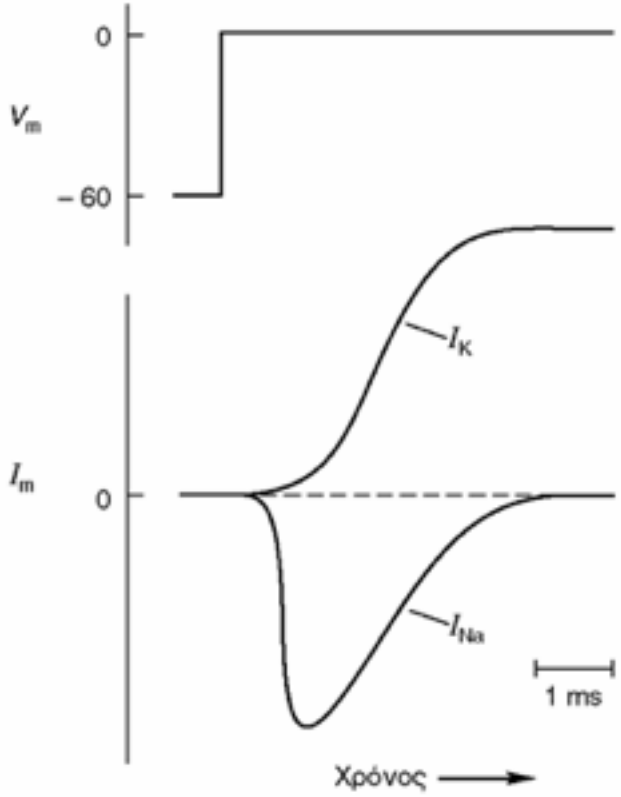


Fig. 2.

ACTION POTENTIAL RECORDED BETWEEN INSIDE AND OUTSIDE OF AXON. TIME MARKER, 500 CYCLES/SEC. THE VERTICAL SCALE INDICATES THE POTENTIAL OF THE INTERNAL ELECTRODE IN MILLIVOLTS, THE SEA WATER OUTSIDE BEING TAKEN AT ZERO POTENTIAL.





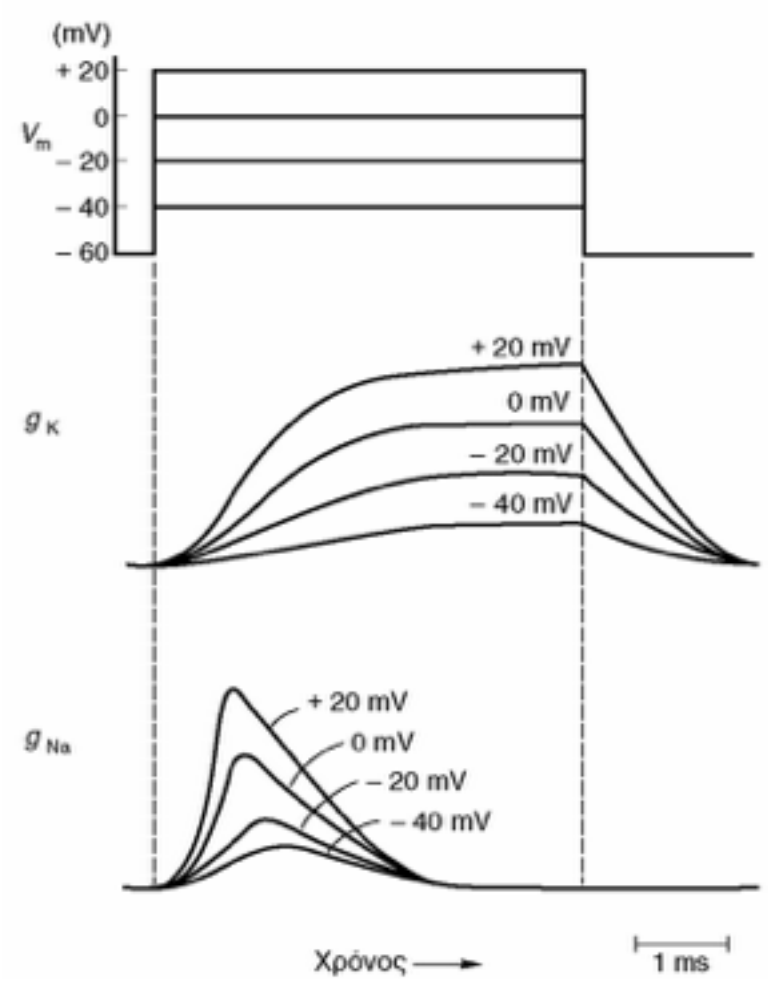
Απομόνωση ρευμάτων νατρίου και καλίου

- Τετραδοτοξίνη -> ‘μπλοκάρει’ τους διαύλους νατρίου
- Τετρα-αιθυλαμμώνιο (TEA) -> μπλοκάρει τους διαύλου καλίου

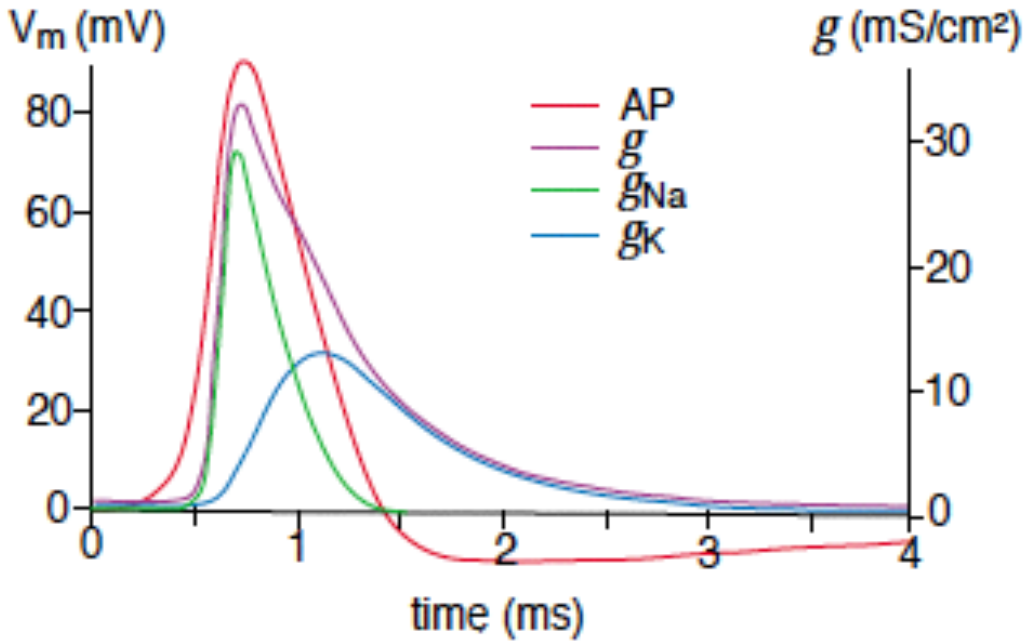
Τεχνική καθήλωσης τάσης
Υπολογισμός αγωγιμότητας των διαύλων

$$I_K = g_K * (V_m - E_K)$$

$$I_{Na} = g_{Na} * (V_m - E_{Na})$$



Ιοντική Βάση του Δυναμικού Ενεργείας

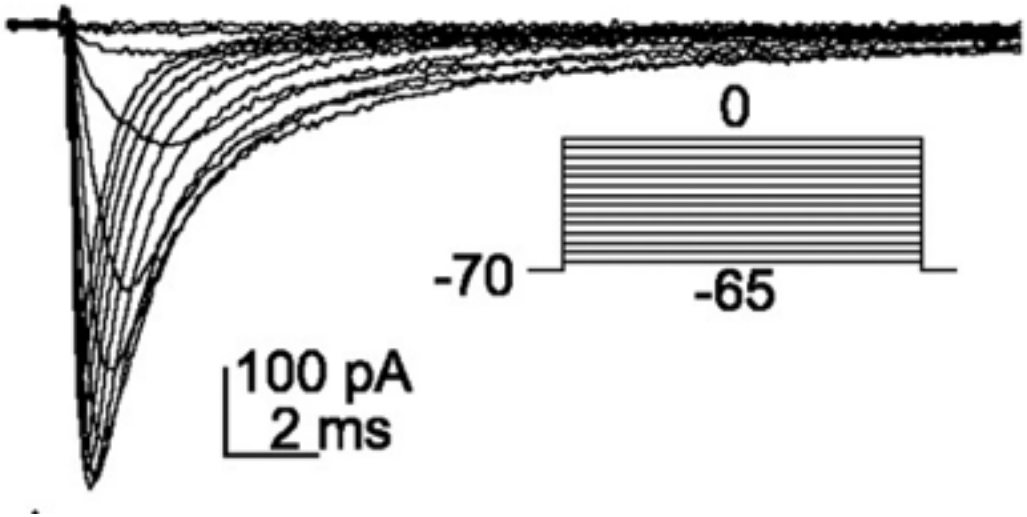


ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΥΛΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

- ΤΑΣΟ-ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΙ (VOLTAGE-GATED)
  - ΔΙΑΥΛΟΙ ΝΑΤΡΙΟΥ
  - ΔΙΑΥΛΟΙ ΚΑΛΙΟΥ
  - ΔΙΑΥΛΟΙ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ
- ΑΣΒΕΣΤΟ-ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΟΙ ΔΙΑΥΛΟΙ ΚΑΛΙΟΥ
- ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΙ ΑΠΟ ΝΕΥΡΟΔΙΑΒΙΒΑΣΤΕΣ (LIGAND-GATED)
  - ΝΙΚΟΤΙΝΙΚΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑΣ ΑΚΕΤΥΛΟΧΟΛΙΝΗΣ
  - ΥΠΟΔΟΧΕΙΣ ΤΟΥ ΓΛΟΥΤΑΜΙΝΙΚΟΥ ΟΞΕΩΣ
- ΜΗΧΑΝΟ-ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΙ ΔΙΑΥΛΟΙ
  - ΥΠΟΔΟΧΕΙΣ ΣΤΟ ΔΕΡΜΑ

Ρεύμα του διαύλου νατρίου

- Δίαυλοι νατρίου
  - Ταχέως ενεργοποιημένος δίαυλος νατρίου
  - Γρήγορη απενεργοποίηση

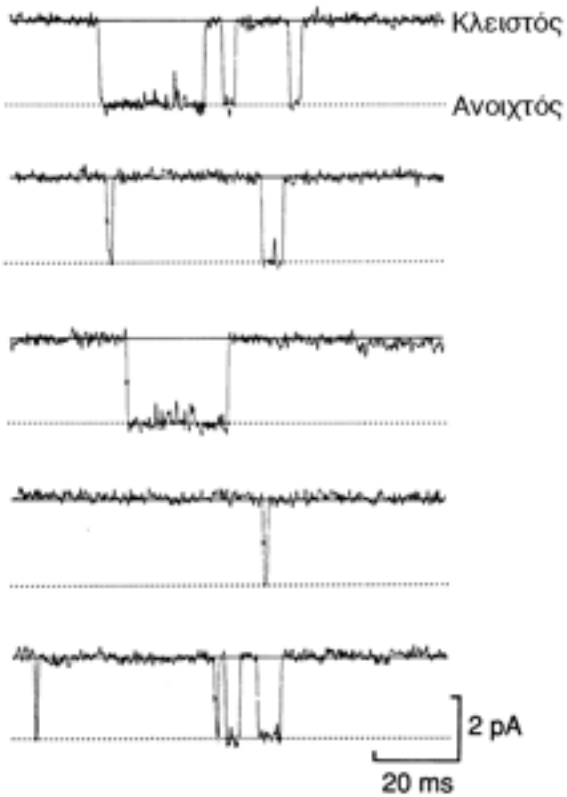


Maurice et al, 2001, Journal of Neuroscience

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

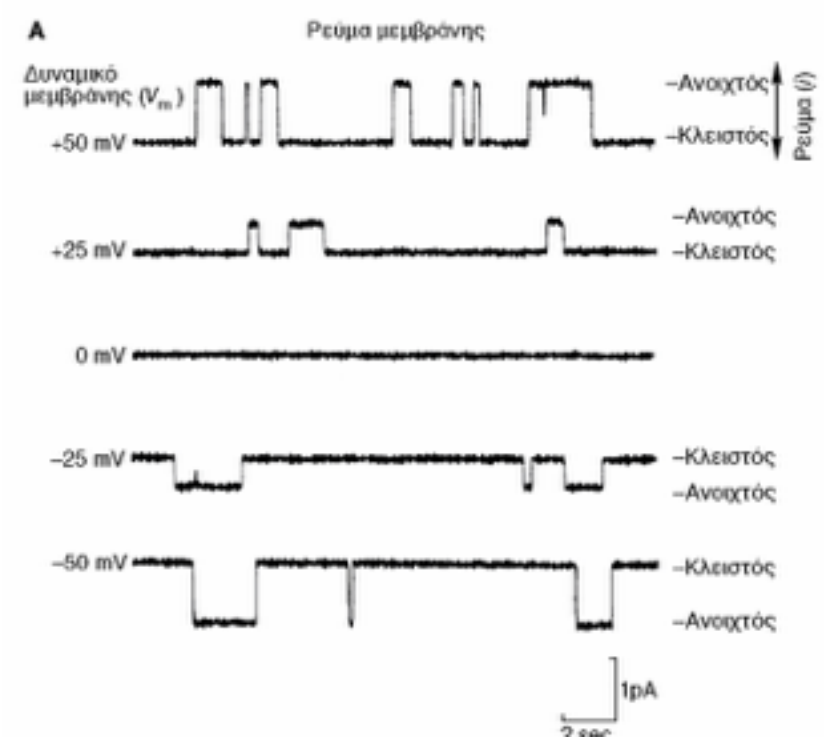
- Νόμος του Ohm: I = V / R
- ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ = 1/ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
- I = V * g

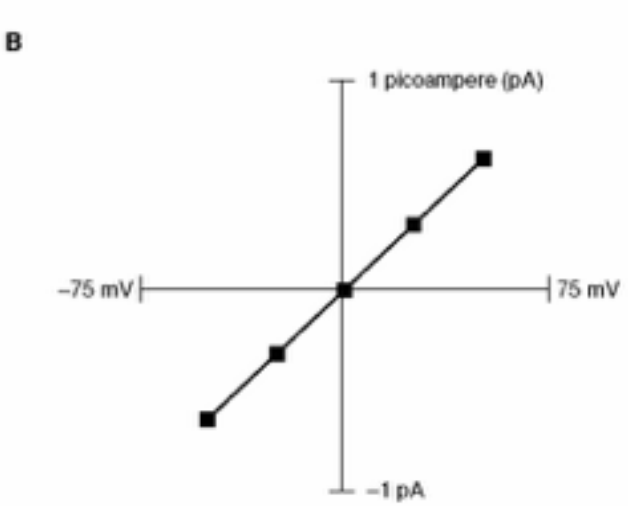
Εικόνα 7-5 Β Καταγραφή της ροής ρεύματος διά μέσου ενός μεμονωμένου διαύλου ιόντων, καθώς ο δίαυλος μεταπηδά από την ανοιχτή στην κλειστή κατάσταση. (Ευγενική προσφορά B. Sakmann.)



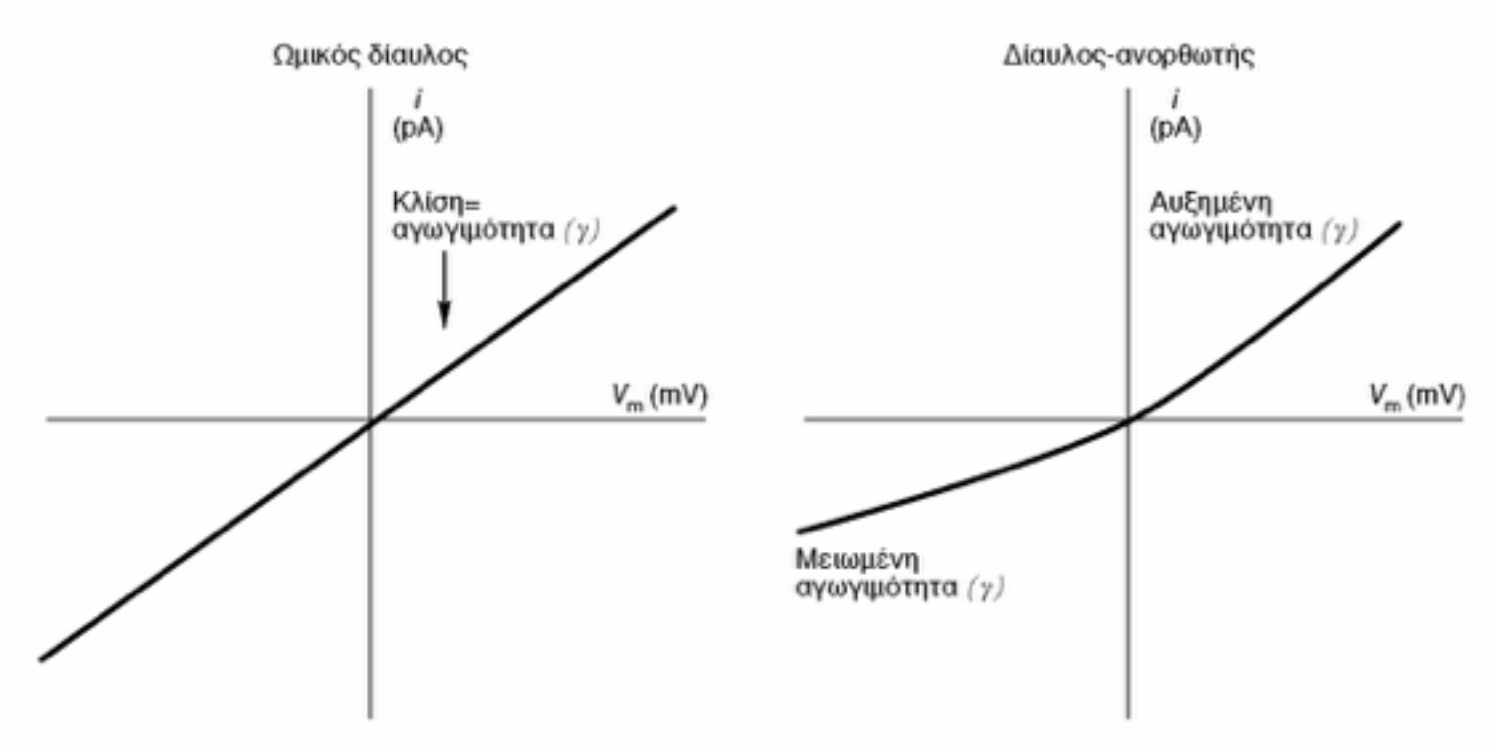
ΓΡΑΦΗΜΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ
Δυναμικό αναστροφής

ΔΙΑΥΛΟΣ ΓΡΑΜΙΚΙΔΙΝΗΣ



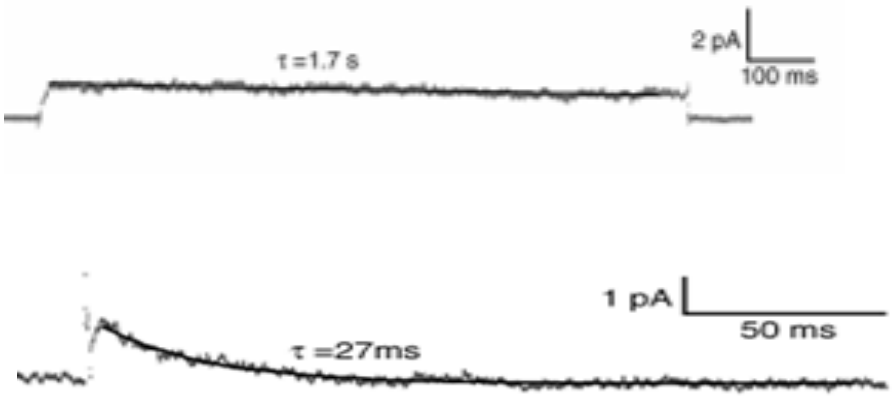


Σχέσεις δυναμικού-ρεύματος των διαύλων ιόντων



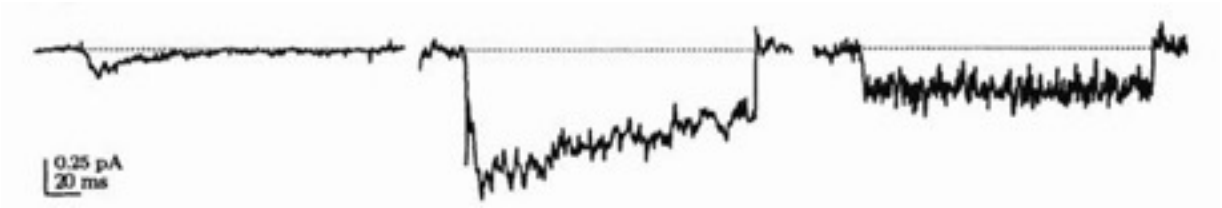
Ποικιλομορφία των διαύλων ιόντων

- Δίαυλοι καλίου
  - Βραδύς ανορθωτικός
  - Ταχύς παροδικός

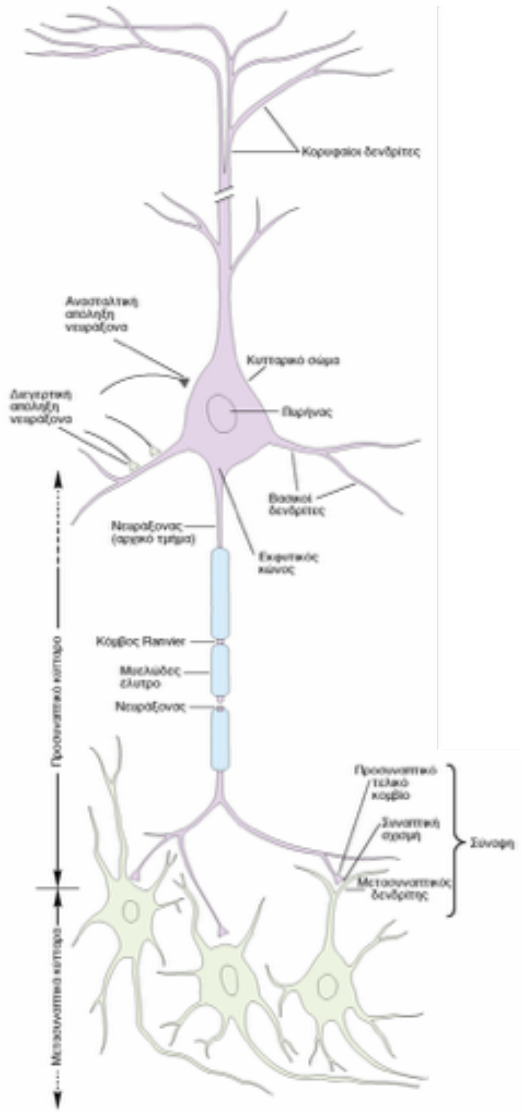


Ποικιλομορφία των διαύλων ιόντων

- Δίαυλοι ασβεστίου
  - Τύπου L
  - Τύπου N
  - Τύπου P/Q
  - Τύπου T

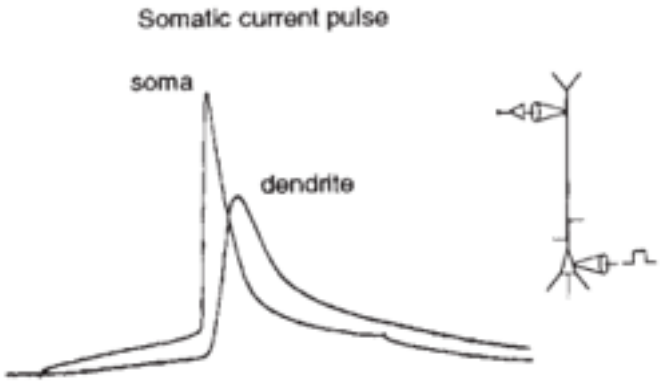


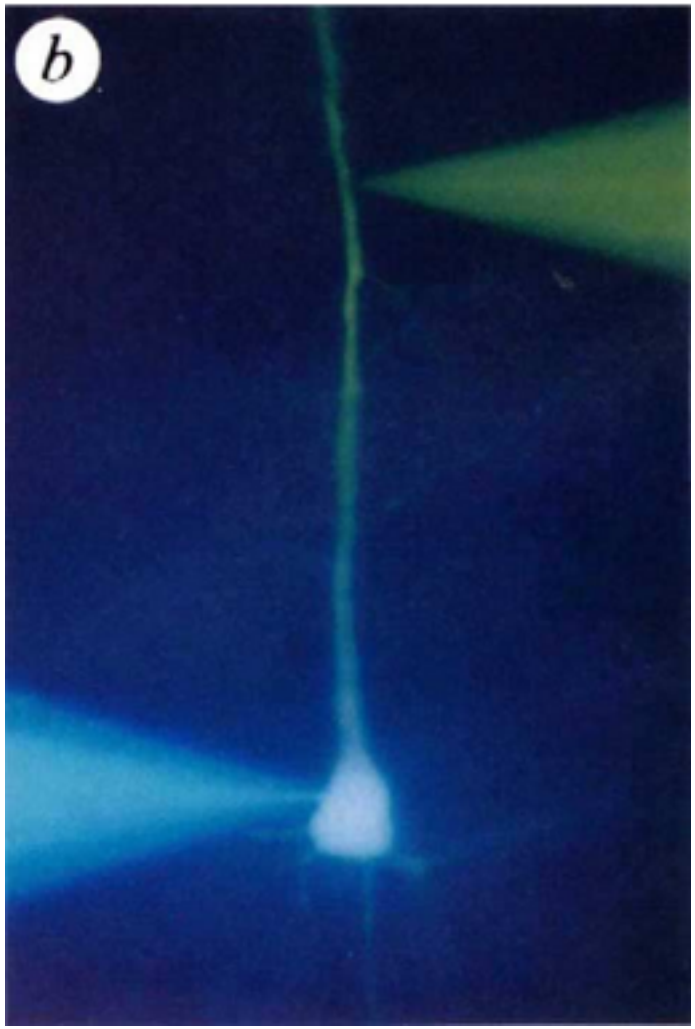
Κατανομή των διαύλων στο νευρώνα



- Άξονας: δίαυλοι νατρίου και καλίου
- Σώμα: όλοι οι δίαυλοι
- Δενδρίτες
  - δίαυλοι νατρίου σε μικρότερη συγκέντρωση
  - Δίαυλοι ασβεστίου

Οπισθόδρομα δυναμικά στους δενδρίτες



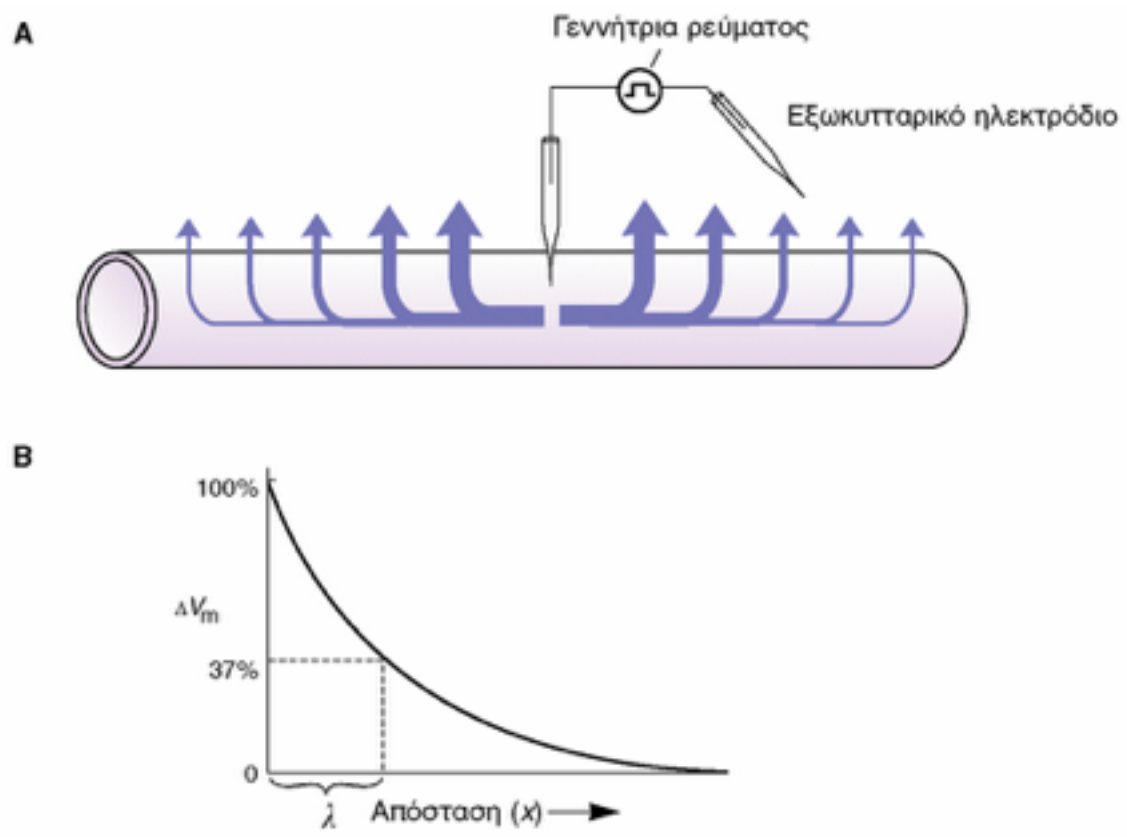


Stuart and Sakmann, 1994, Nature, 367:69-72

Μετάδοση σημάτων κατά μήκος δενδριτών και άξονα

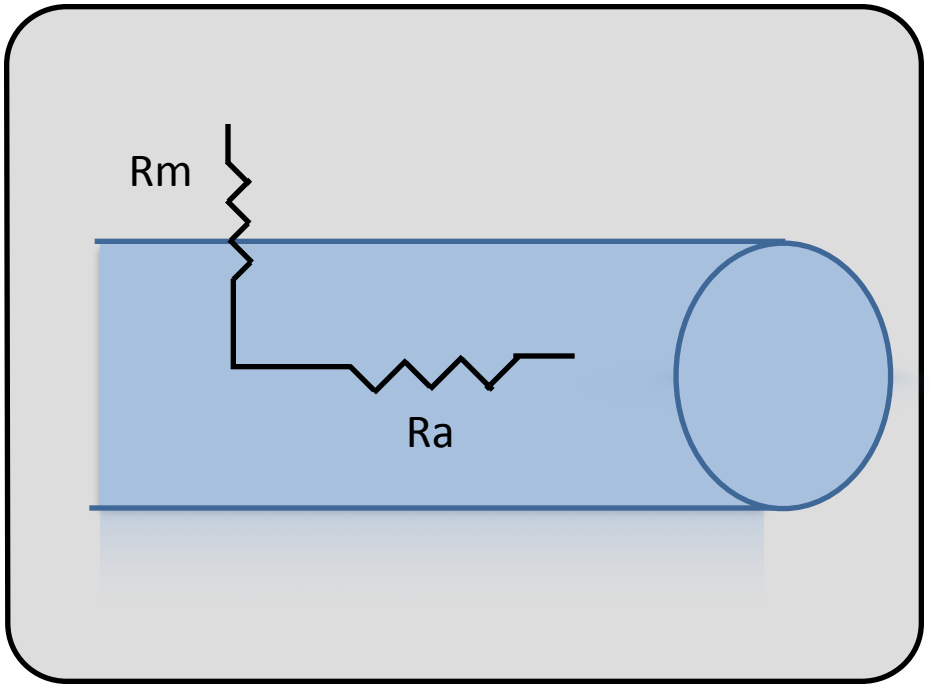
- Δενδρίτες
  - Μετασυναπτικά δυναμικά
  - Παθητική αγωγή
- Άξονας
  - Δυναμικά ενεργείας

ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΑΓΩΓΗ ΣΗΜΑΤΟΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΤΟΝΙΚΗ ΑΓΩΓΗ



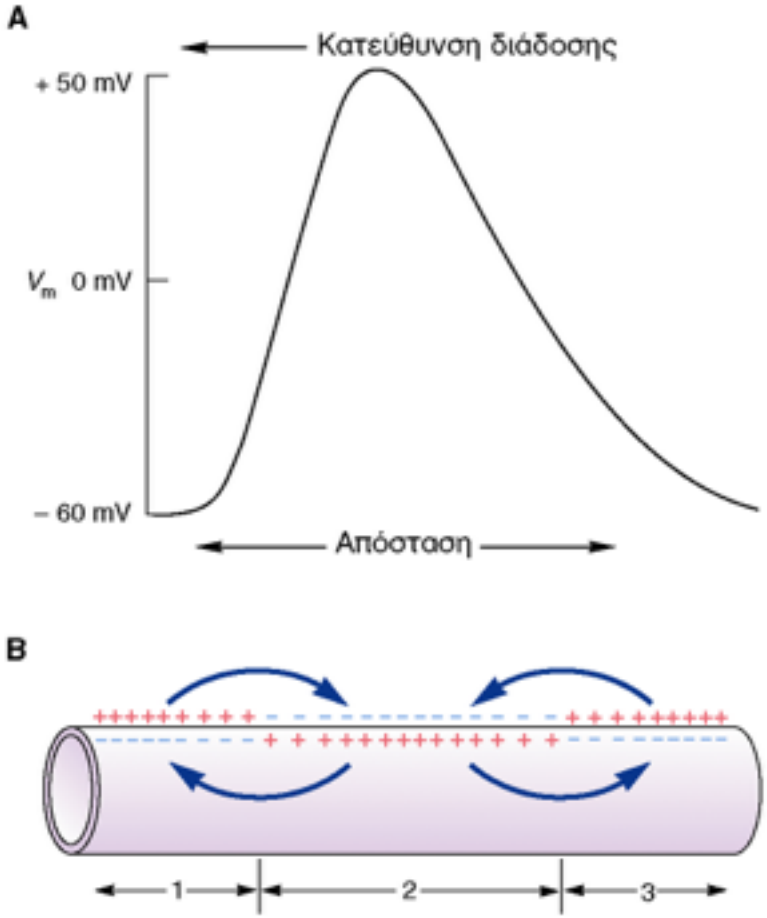
ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΑΓΩΓΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΟΝΙΚΗ ΑΓΩΓΗ

- ΣΤΑΘΕΡΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ
  - $\lambda = (r_m/r_a)^{1/2}$
- R_m : Αυξάνεται με το πάχος της μεμβράνης
- R_a :Μειώνεται ανάλογα με τη διάμετρο της αποφυάδας (άξονας/ δενδρίτης)



Kyriaki Sidiropoulou

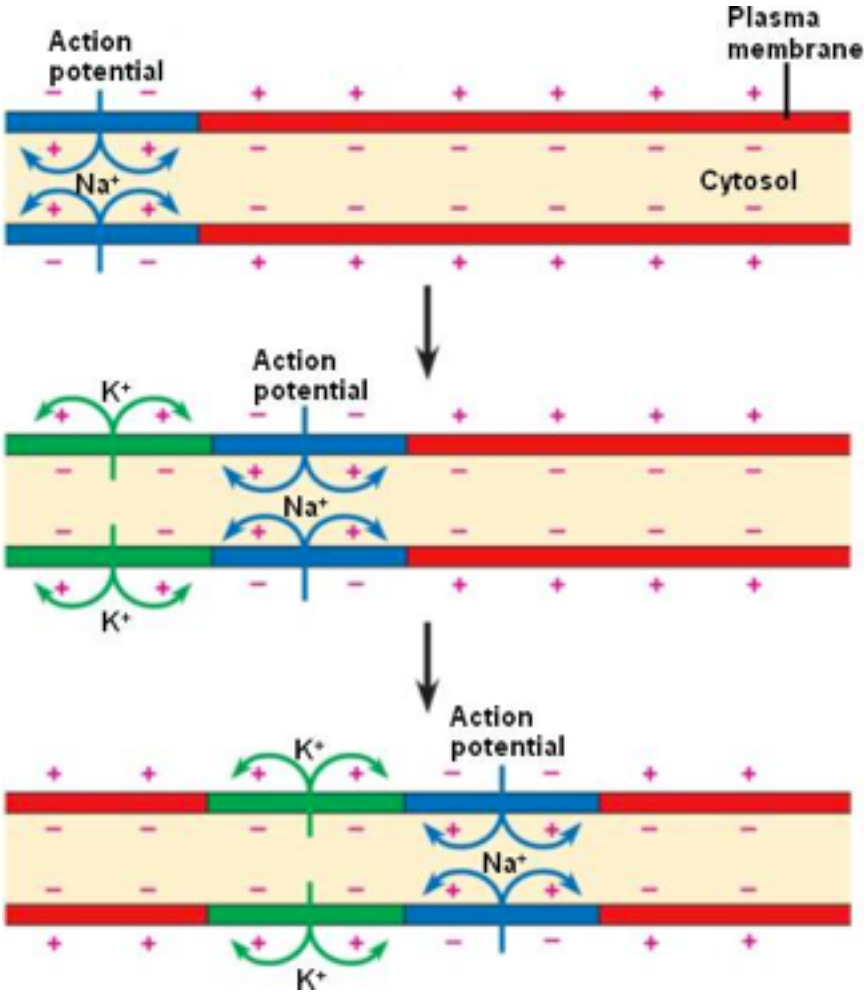
Μετάδοση του δυναμικού ενεργείας



Εικόνα 9-6 Η παθητική αγωγή θετικών (εκπολωτικών) φορτίων κατά μήκος του νευράξονα συμβάλλει στη διάδοση του δυναμικού ενέργειας.

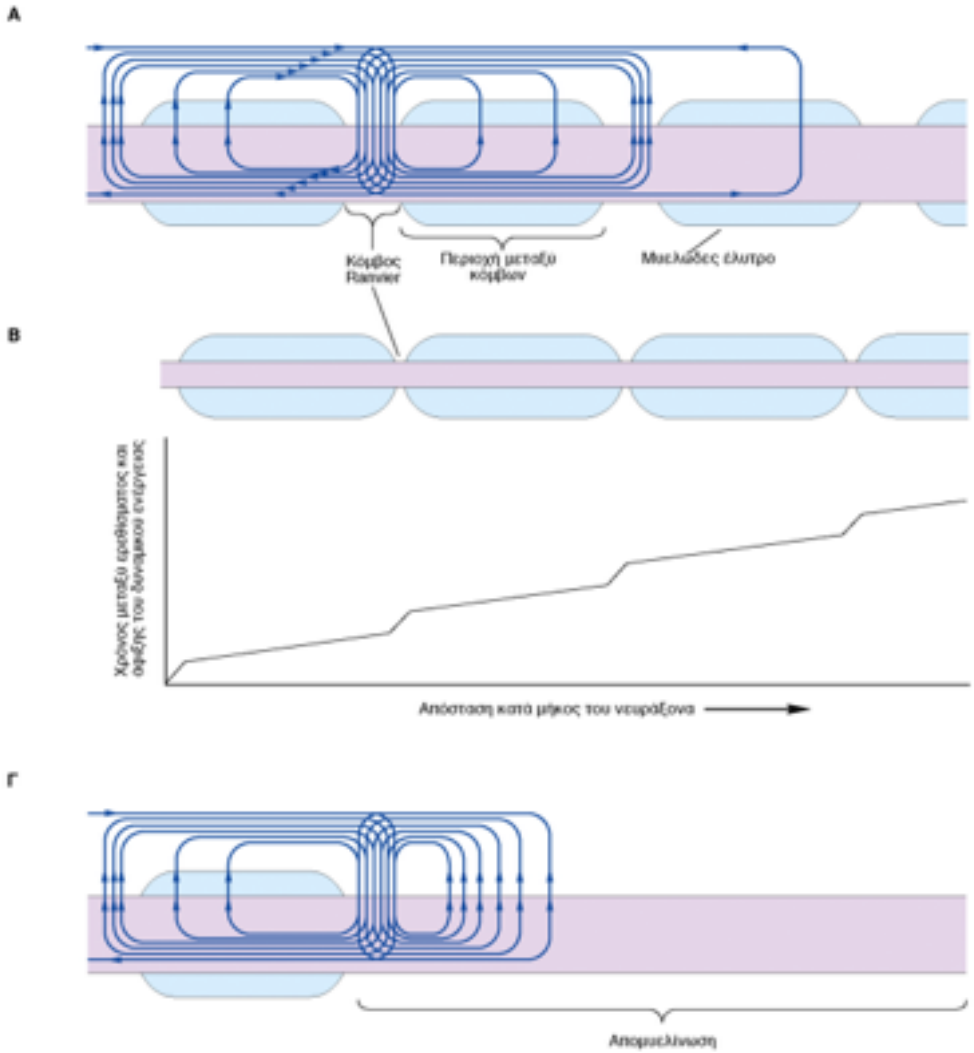
Μετάδοση δυναμικών ενεργείας

- Προς μία κατεύθυνση
- Απενεργεοποίση διαύλων νατρίου



http://bio1152.nicerweb.com/Locked/media/ch48/axon.html

Αλματώδης μετάδοση δυναμικών ενεργείας σε άξονες με μυελίνη



Απομυελινωτικές διαταραχές

- Σκλήρυνση κατά πλάκας
- Μείωση της ταχύτητας διάδοσης του δυναμικού ενεργείας
- Μείωση της ικανότητας αίσθησης, κίνησης