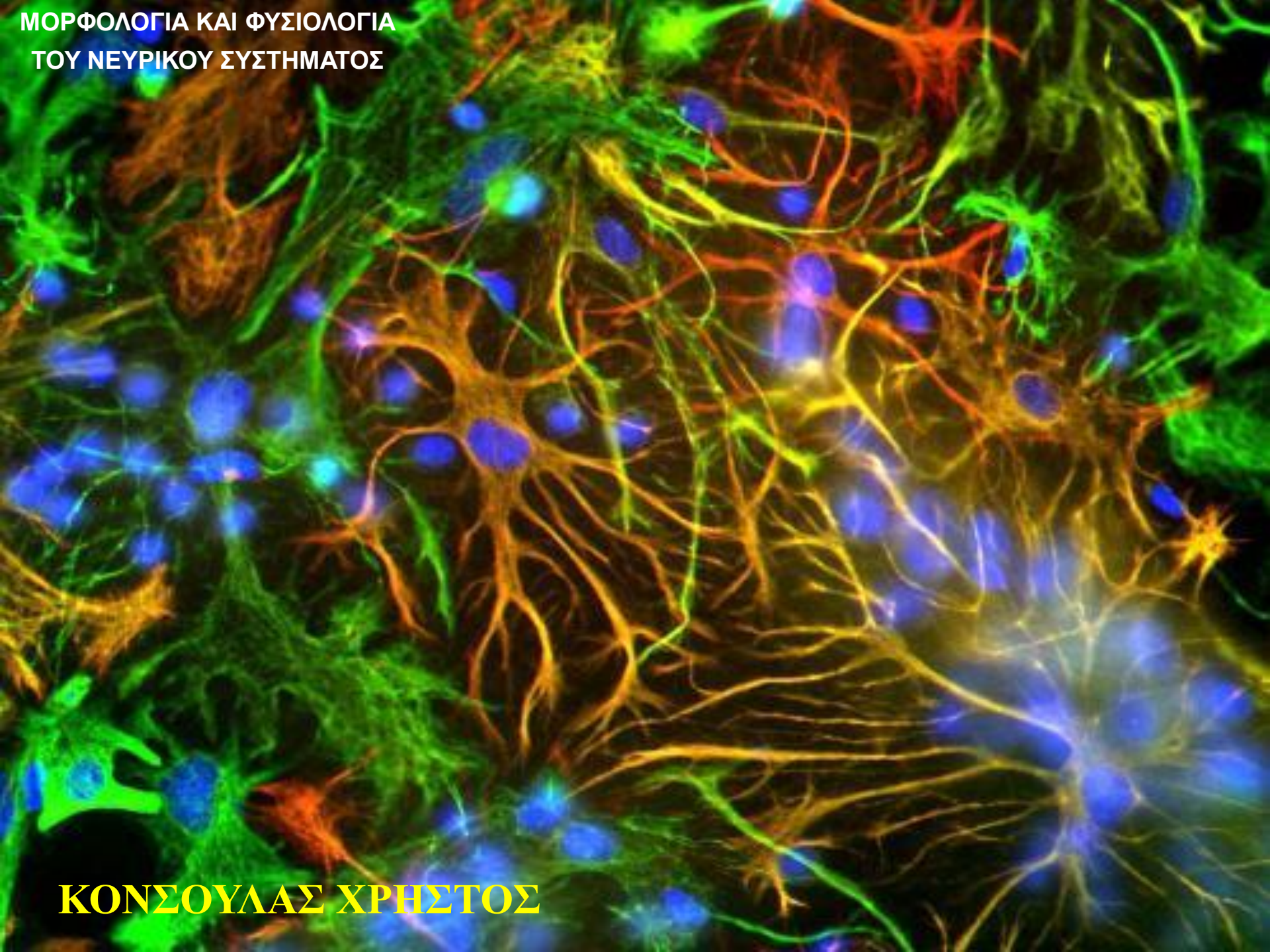


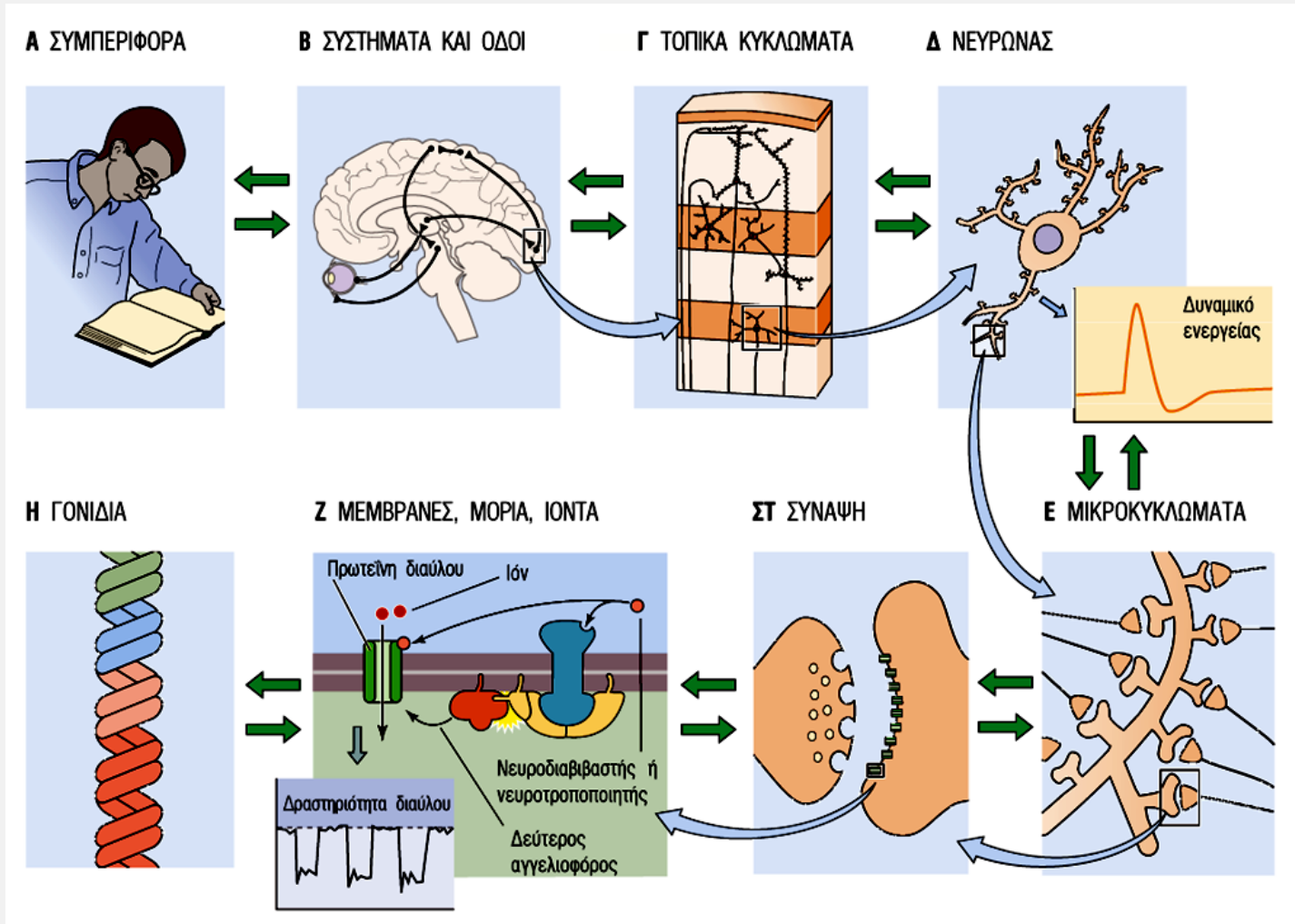
**ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ
ΤΟΥ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**



ΚΟΝΣΟΥΛΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Επίπεδα οργάνωσης: Γονίδια - Συμπεριφορά

- Έσχατη πρόκληση των επιστημών της ζωής είναι η κατανόηση της βιολογικής βάσης της συνείδησης και των νοητικών διεργασιών που αφορούν την αντίληψη, τη δράση, τη μνήμη και τη μάθηση.
- Η συμπεριφορά (από την κίνηση ως την σκέψη και τα συναισθήματα) είναι το αποτέλεσμα της εγκεφαλικής λειτουργίας.



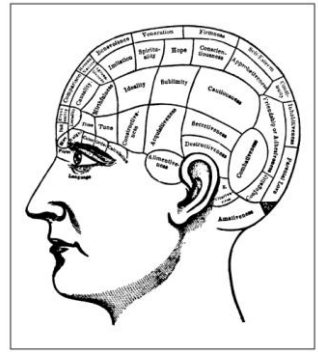
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Φρενολογία

(τα στοιχεία της συμπεριφοράς εδράζονται σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου).



Franz Joseph Gall
(1758-1828)



Βλάβη σε αριστερό μετωπιαίο και βρεγματικό λοβό καταργεί κατανόηση και εκφορά λόγου



Pierre Paul Broca
(1824 – 1880)



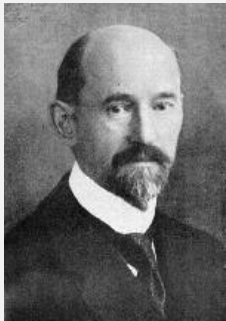
Carl Wernicke
(1848 – 1905)

Ανατομικές περιοχές φλοιού

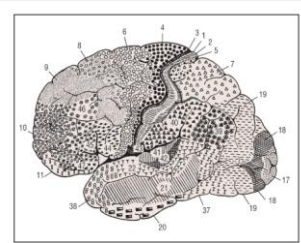
Τα νεύρα διεγείρονται με ηλεκτρικό ερεθισμό

Χρώση νευρώνων

Δόγμα του νευρώνα



Korbinian Brodmann
(1868 – 1918)



Luigi Aloisio Galvani
(1737 – 1798)



Camillo Golgi
(1843 – 1926)

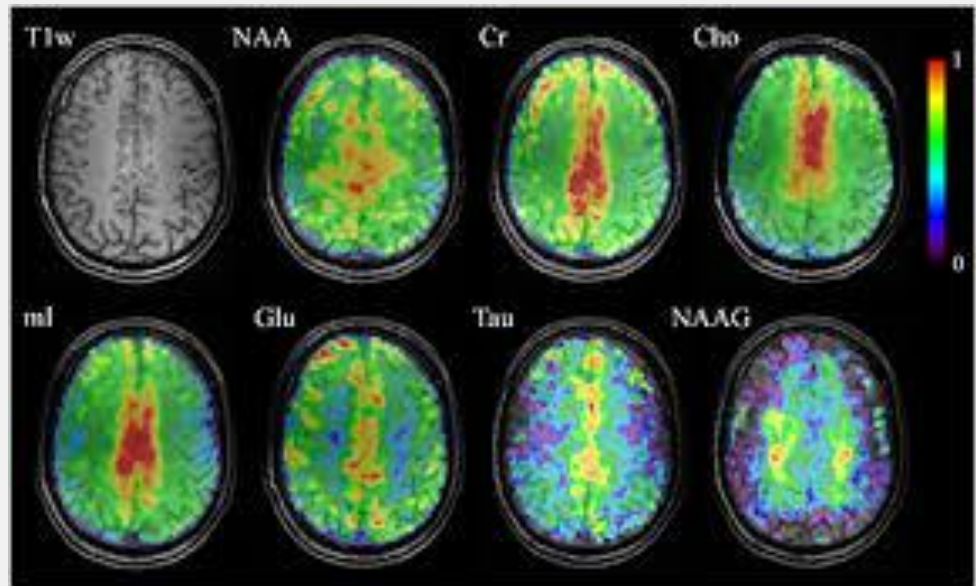


Santiago Ramón y Cajal
(1852 – 1934)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

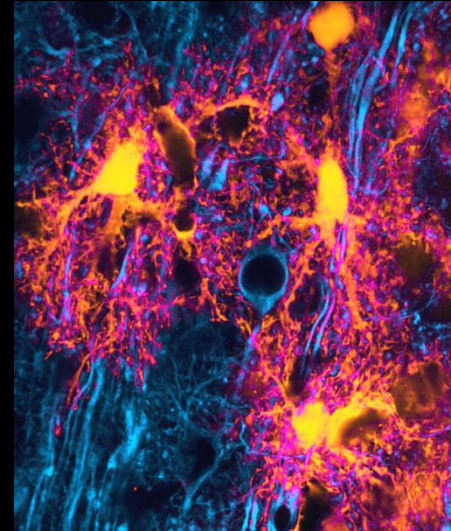
- ✓ Το κεντρικό νευρικό σύστημα (Κ.Ν.Σ. εγκέφαλος και νωτιαίος μυελός) περιέχει ~**100 δισεκατομύρια** νευρώνες και **10-50** φορές περισσότερα γλοιακά κύτταρα.
- ✓ Το ΚΝΣ είναι ένα πολύπλοκο όργανο, ενώ για τον σχηματισμό του συμμετέχει το **~40% των ανθρώπινων γονιδίων**.

Ο αριθμός των νευρώνων και των συνδέσεων τους ενέχονται για τον ασύλληπτο βαθμό λειτουργικής πολυπλοκότητας

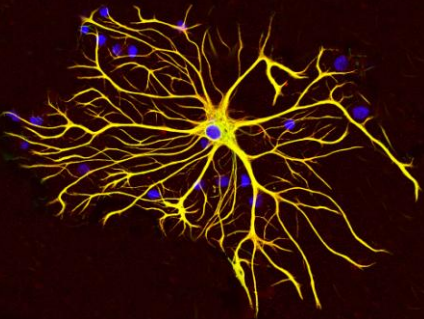


Γλοιακά κύτταρα

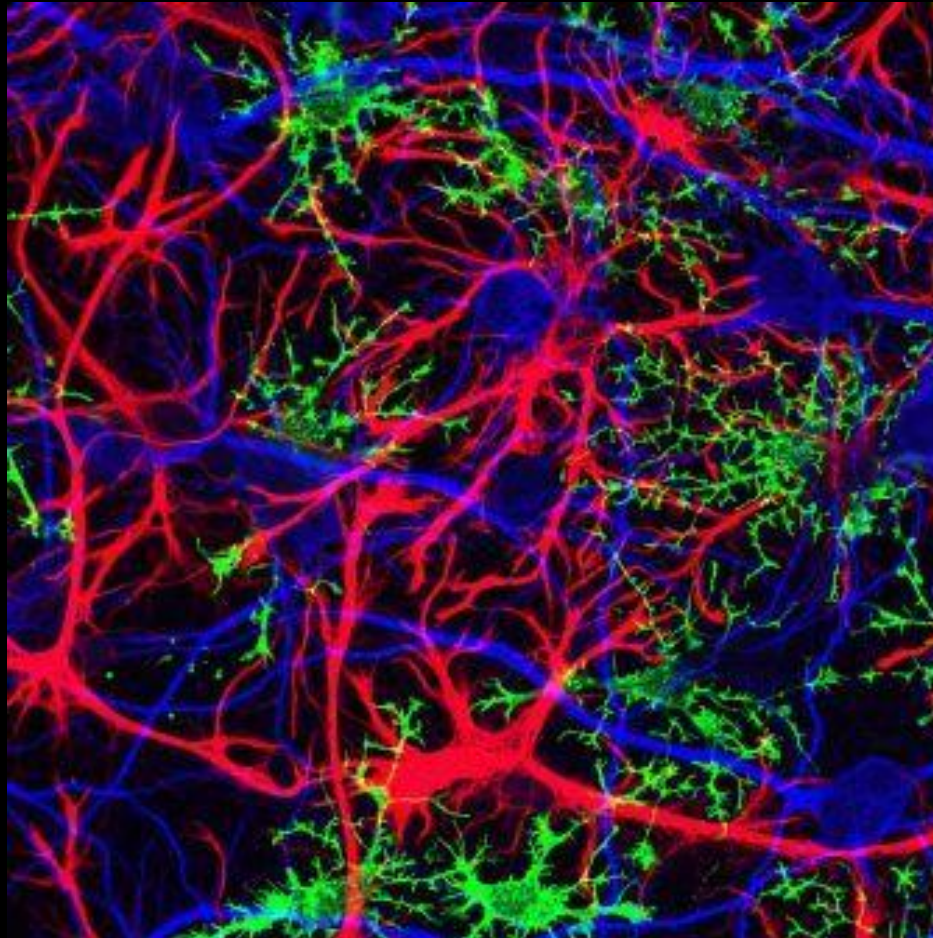
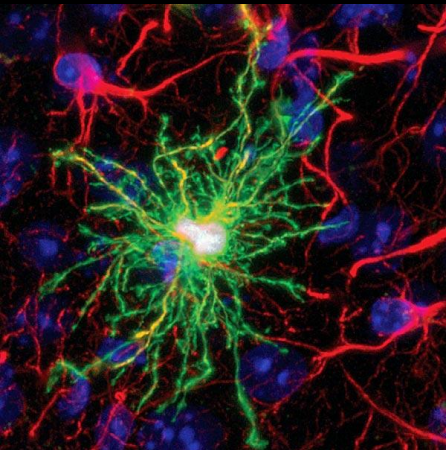
Μικρογλοία



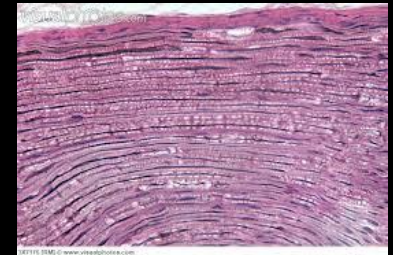
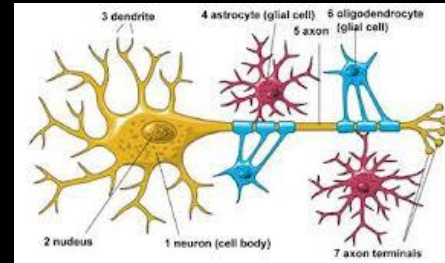
Αστροκύτταρο

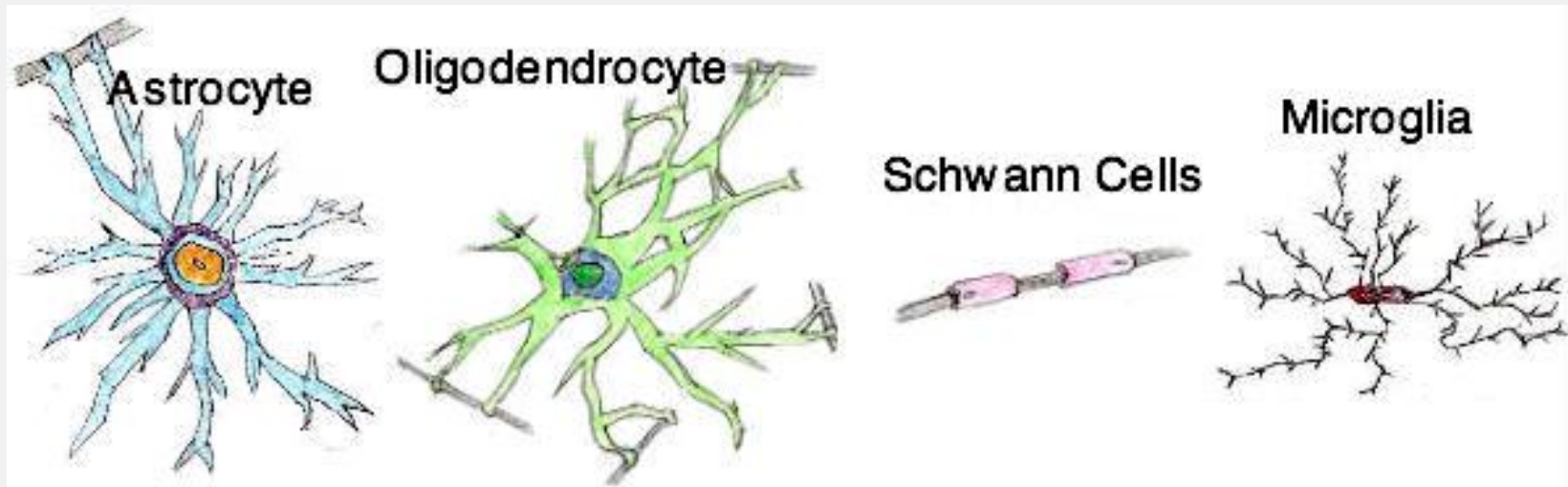


Ολιγοδενδροκύτταρο



Κύτταρα Schwann





Ολιγοδενδροκύτταρα + Schwann = Μυελίνη

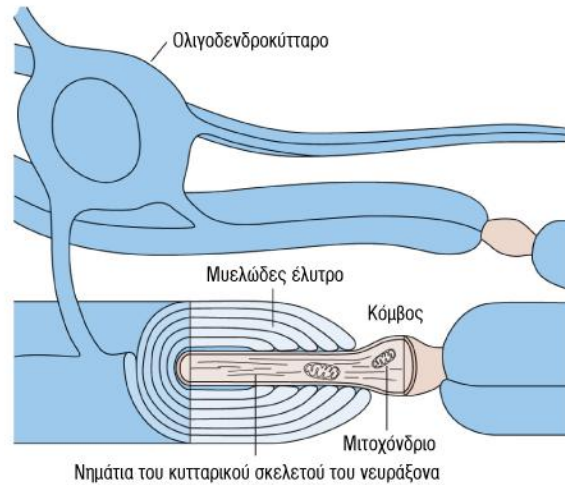
Αστροκύτταρα = στήριξη, μεταβολισμός, αγωγή.

Μικρογλοία = ανοσολογική αντίδραση, εκκαθαριστές κυτταρικών υπολειμμάτων

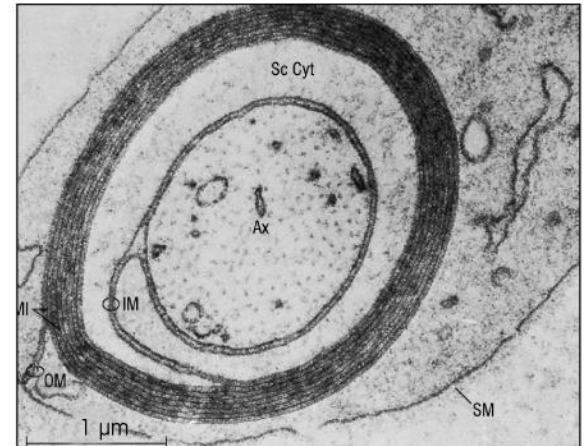
Μυελώδες Έλυτρο

ΚΝΣ, ΠΝΣ

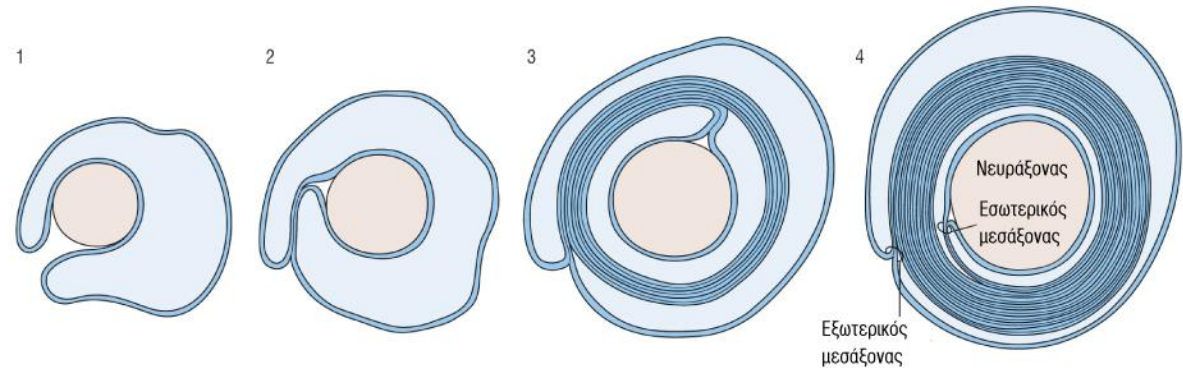
A Η μυελίνωση στο κεντρικό νευρικό σύστημα



B Η μυελίνωση στο περιφερικό νευρικό σύστημα



Γ Η ανάπτυξη του μυελώδους έλυτρου στο περιφερικό νευρικό σύστημα



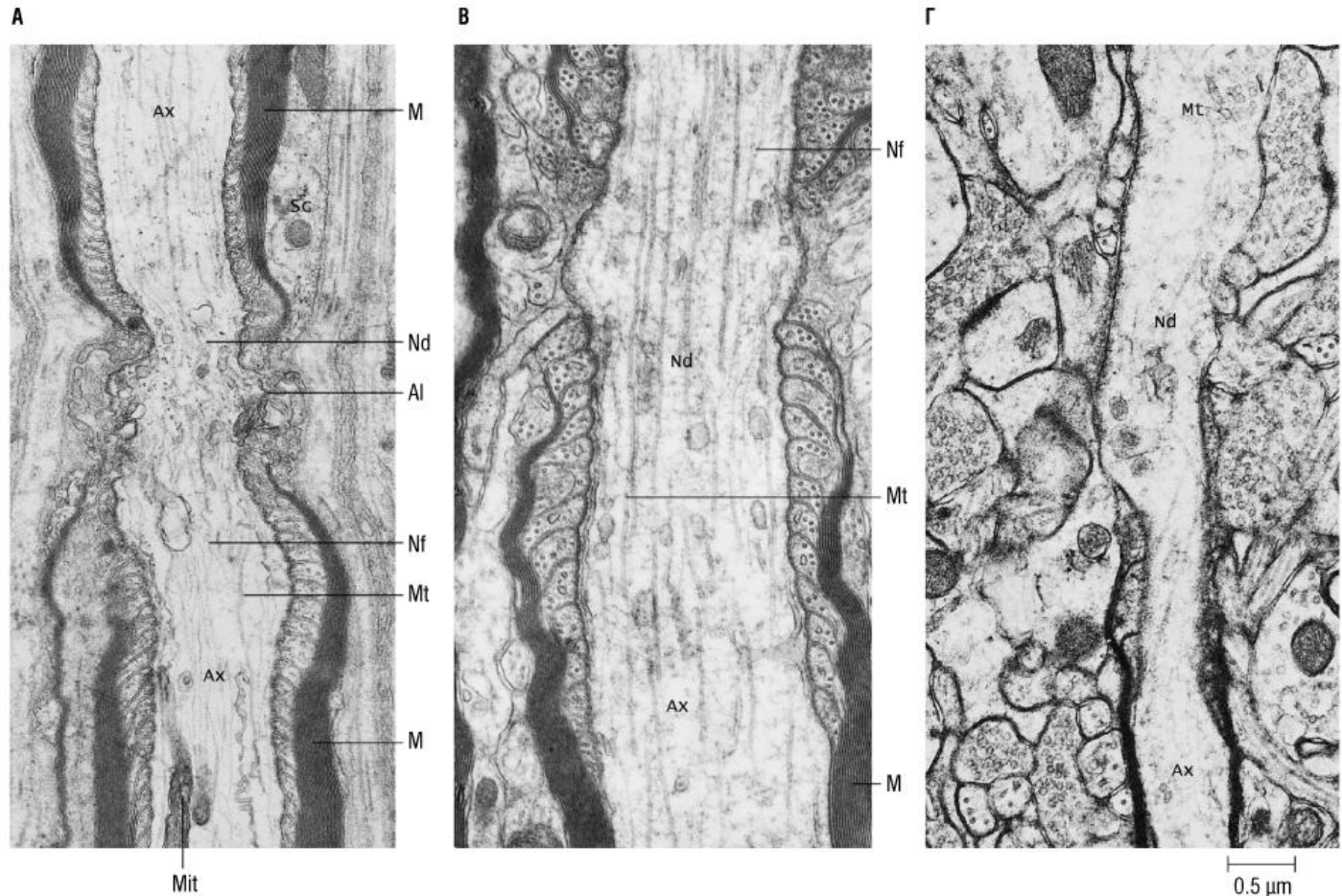
ΕΙΚΟΝΑ 4-17 Οι νευράξονες τόσο των κεντρικών όσο και των περιφερικών νευρώνων φέρουν μονωτικό μυελώδες έλυτρο.

A. Στο κεντρικό νευρικό σύστημα το μυελώδες έλυτρο σχηματίζεται από τα ολιγοδενδροκύτταρα. (Από Bunge 1968, προσαρμοσμένη.)

B. Ηλεκτρονική μικροφωτογραφία εγκάρσιας διατομής νευράξονα (Ax) από το ισχιακό νεύρο ποντικού. Τα ελικοειδή πέταλα του μυελώδους ελύτρου (MI) ξεκινούν από μια δομή που ονομάζεται εσωτερικός μεσάξονας (IM), επισημαί-

νεται με κύκλο). Το ελικοειδές έλυτρο εξακολουθεί να αναπτύσσεται και φαίνεται να αναφύεται από τη μεμβράνη της επιφανείας (SM) του κυττάρου Schwann, η οποία συνεχεται με τον εξωτερικό μεσάξονα (OM, επισημαίνεται με κύκλο). Το κυτταρόπλασμα του κυττάρου Schwann (Sc Cyt) εξακολουθεί να υπάρχει, δίπλα στον νευράξονα. Τελικά εκθλιβεται και το έλυτρο γίνεται συμπαγές. (Από Dyck και συν. 1984.)

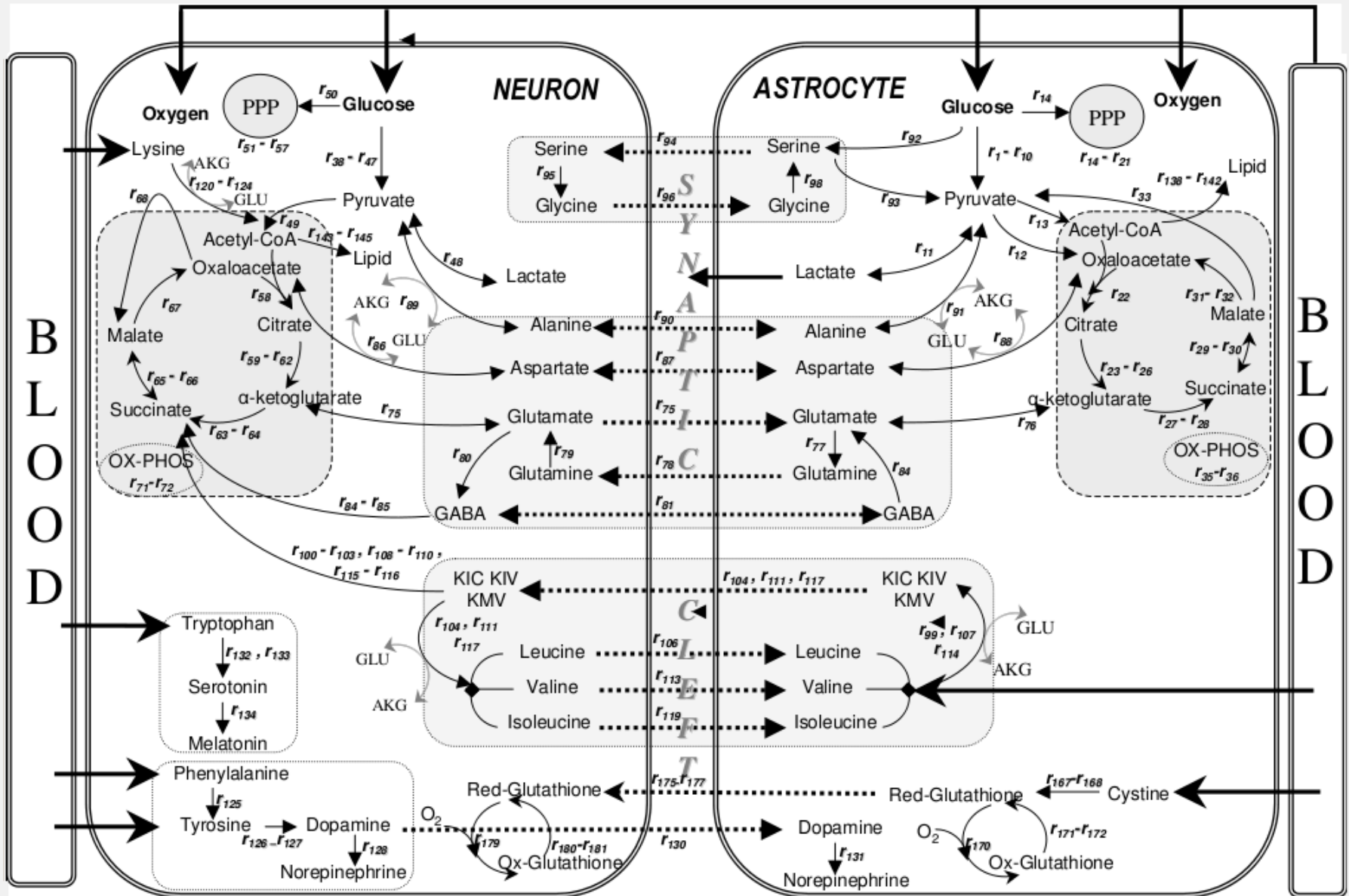
Γ. Μια περιφερική νευρική ίνα, καθώς μυελινώνεται από ένα κύτταρο Schwann. (Από Williams και συν. 1989, προσαρμοσμένη.)



ΕΙΚΟΝΑ 4-11 Το μονωτικό μυελώδες έλυτρο του νευράξονα έχει ομοιόμορφα κατανομημένα αμύελα χάσματα που λέγονται κόμβοι Ranvier. Σ' αυτές τις ηλεκτρονικές μικροφωτογραφίες φαίνονται περιοχές κόμβων Ranvier σε νευράξονες του περιφερικού νευρικού συστήματος **(Α)**, του νωτιαίου μυελού **(Β)** και του φλοιού των εγκεφαλικών ημισφαιρίων **(Γ)**. Και στις τρεις μικροφωτογραφίες, ο νευράξονας **(Αx)** έχει κατακόρυφη κατεύθυνση από επάνω προς τα κάτω. Ο νευράξονας καλύ-

πτεται από πολλές στιβάδες μυελίνης **(Μ)**, που λείπει στους κόμβους **(Νd)**, όπου το αξονείλημα **(Αl)** είναι γυμνό. (Στο περιφερικό νευρικό σύστημα το υποστηρικτικό κύτταρο που είναι υπεύθυνο για τη μυελίνωση είναι το κύτταρο Schwann **(Sc)**, ενώ στο κεντρικό νευρικό σύστημα είναι το ολιγοδενδροκύτταρο.) Τα στοιχεία του κυτταρικού σκελετού που φαίνονται μέσα στον νευράξονα είναι οι μικροσωληνίσκοι **(Μt)** και τα νευρονημάτια **(Νf)**. Φαίνονται επίσης κάποια μιτοχόνδρια **(Μit)**. (Από Peters και συν. 1991.)

Σχέση νευρώνα-αστροκυττάρου και τριχοειδών

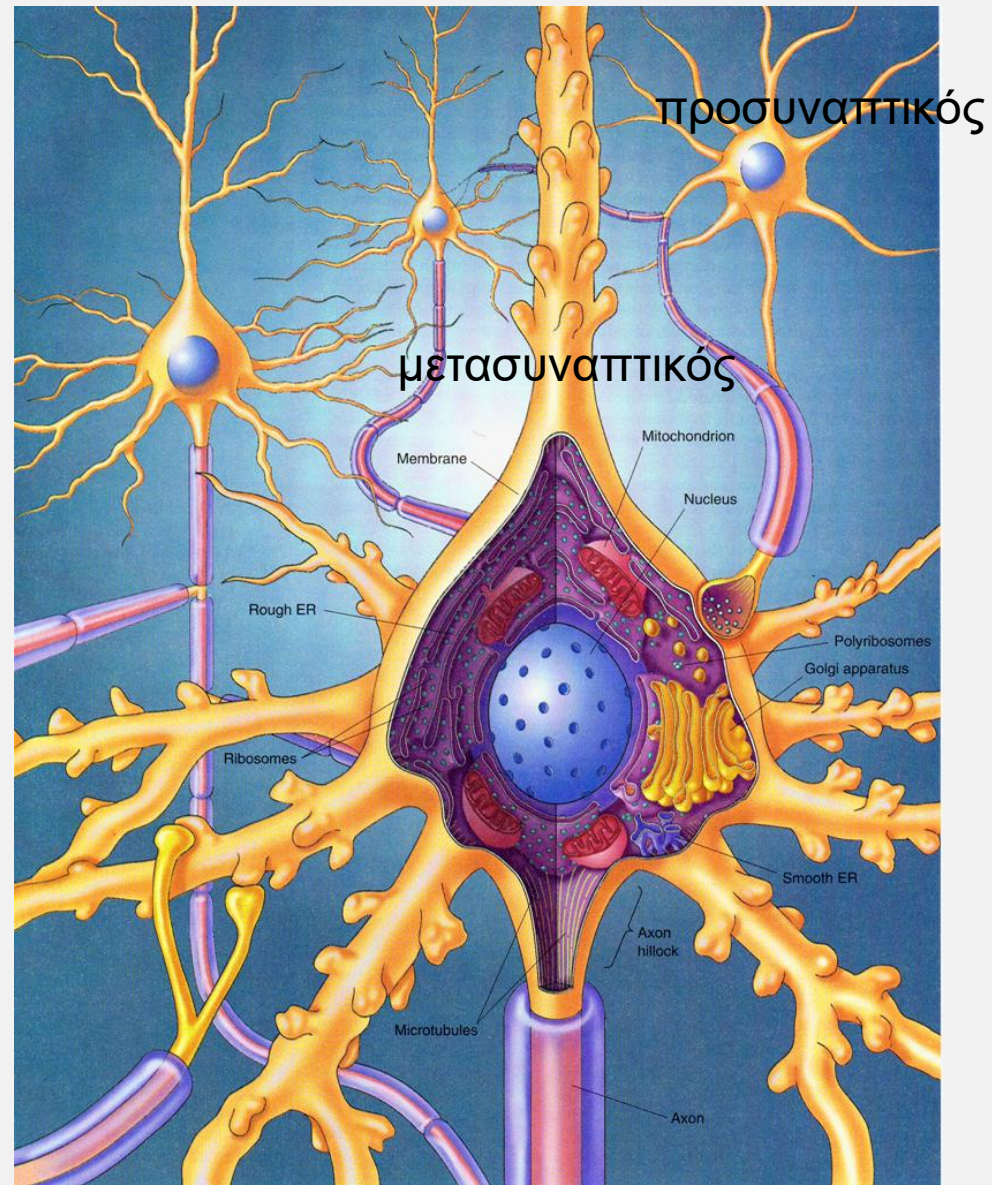


ΝΕΥΡΩΝΑΣ

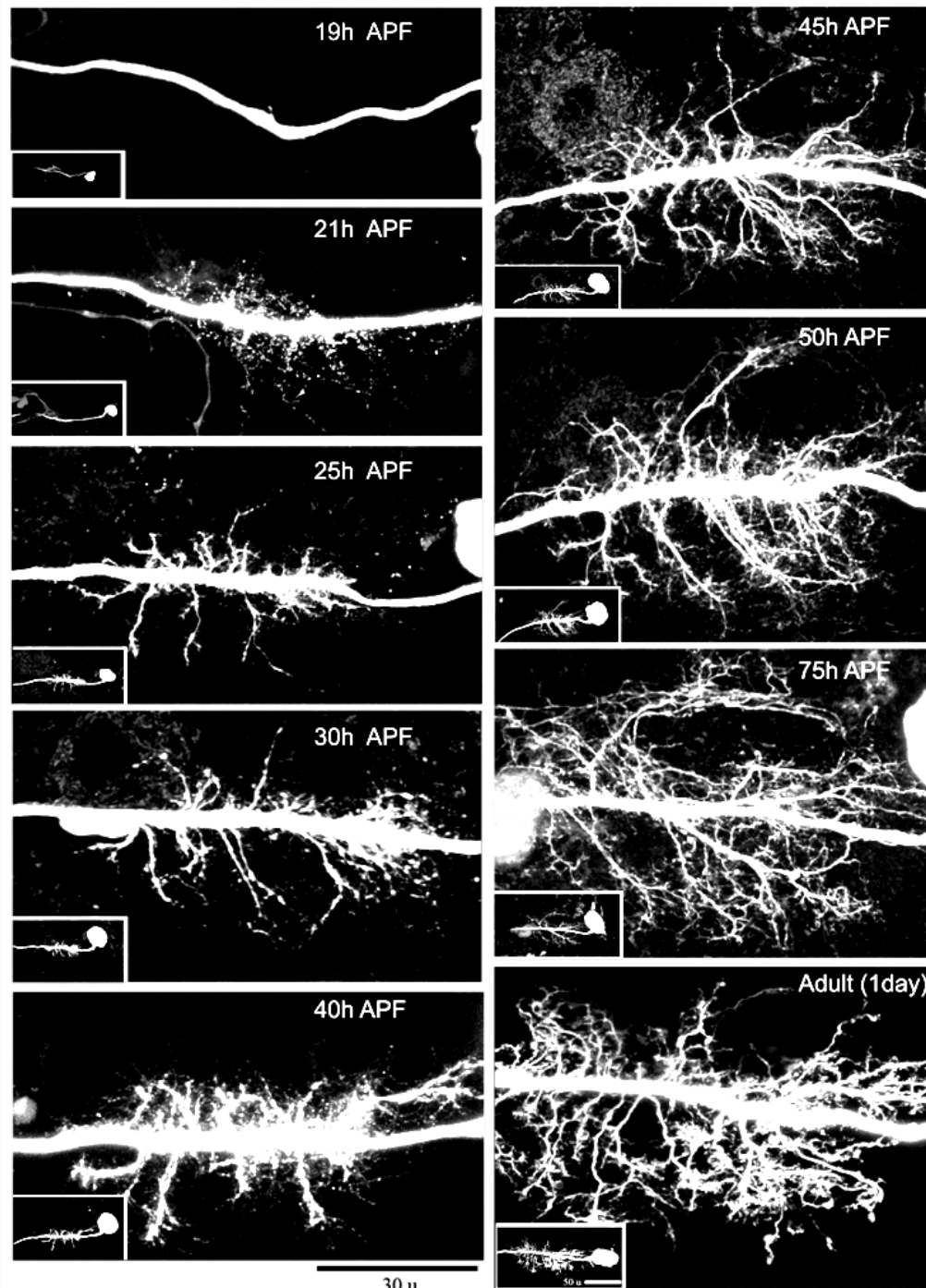
- Μορφολογία - Σχήμα
- Κατεύθυνση πληροφορίας
- Ολοκλήρωση σήματος (signal integration)
- Συνδέσεις - Συνάψεις

Μορφολογία

- ❖ Το **κυτταρικό σώμα** φέρει τον πυρήνα και τα οργανίδια.
- ❖ Οι **δενδρίτες** λαμβάνουν και επεξεργάζονται σήματα. Άκανθες.
- ❖ Οι **άξονες** άγουν σήματα. Τελικές απολήξεις. **Μυελίνη/Κόμβοι Ranvier.**

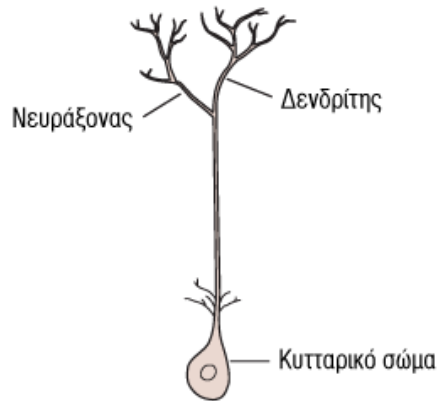


Ανάπτυξη δενδριτικών κλάδων



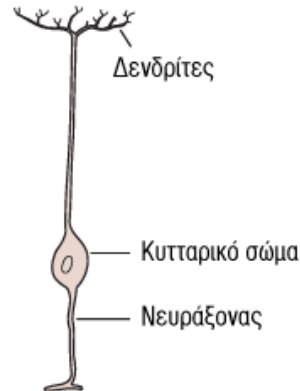
Τύποι νευρώνων

A Μονόπολο κύτταρο



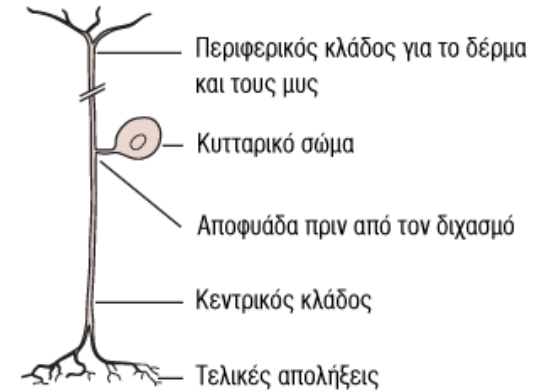
Νευρώνας ασπόνδυλου

B Δίπολο κύτταρο



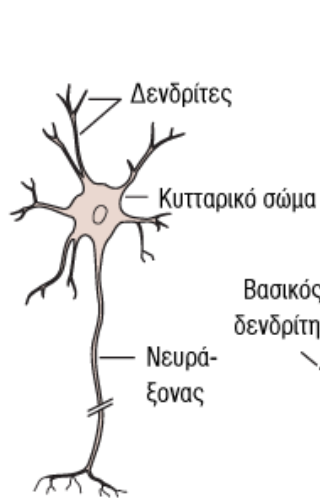
Δίπολο κύτταρο
αμφιβληστροειδούς

Γ Ψευδομονόπολο κύτταρο

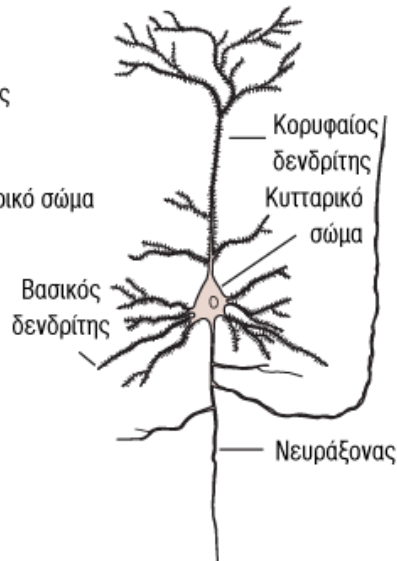


Κύτταρο νωπιαίου γαγγλίου

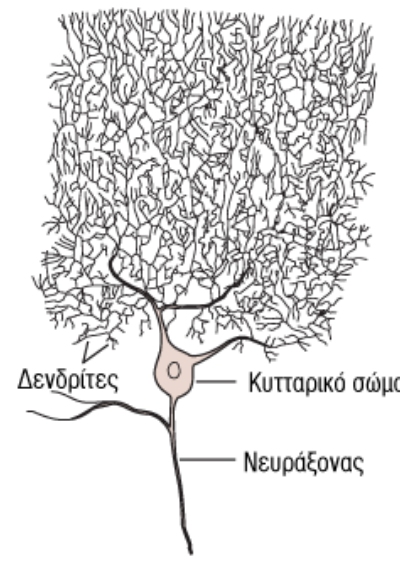
Δ Τρεις τύποι πολύπολων κυττάρων



Κινητικός νευρώνας νωπιαίου μυελού

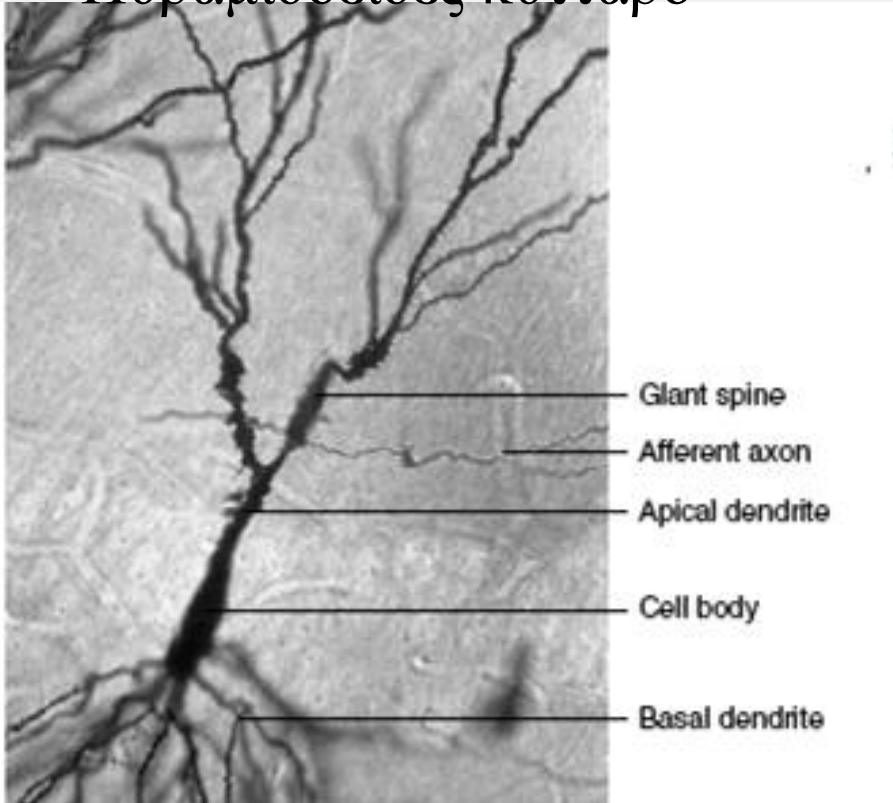


Πυραμιδοειδές κύτταρο ιππόκαμπου

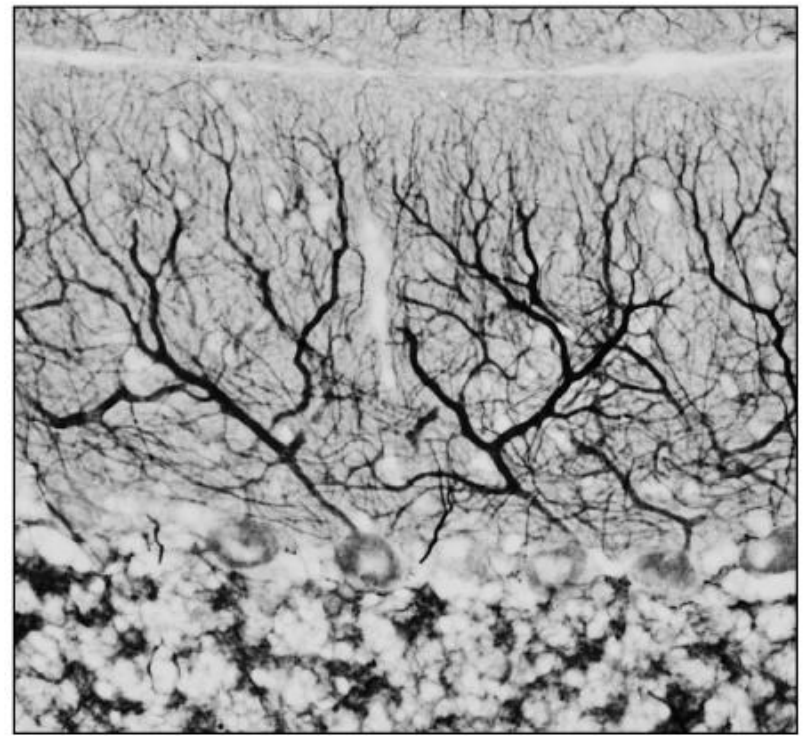


Κύτταρο Purkinje παρεγκεφαλίδας

Πυραμιδοειδές κύτταρο



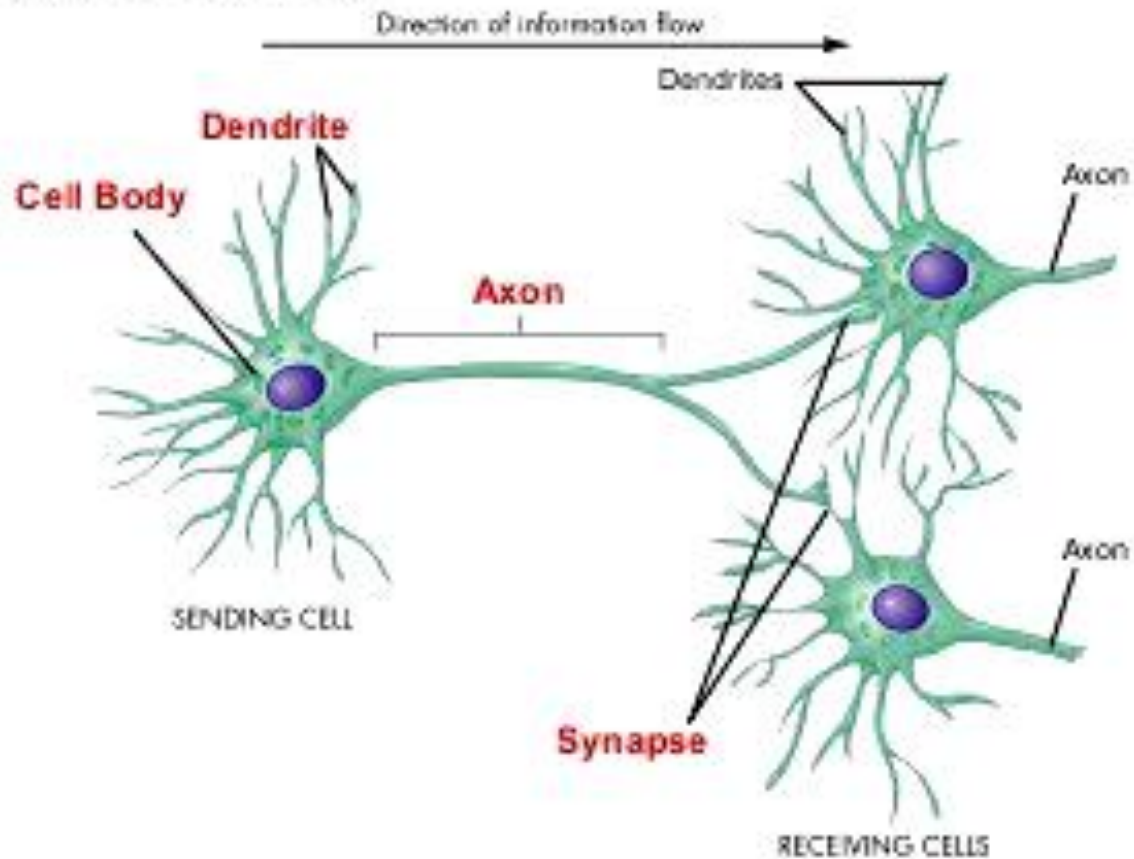
Κύτταρο Purkinje της παρεγκεφαλίδας



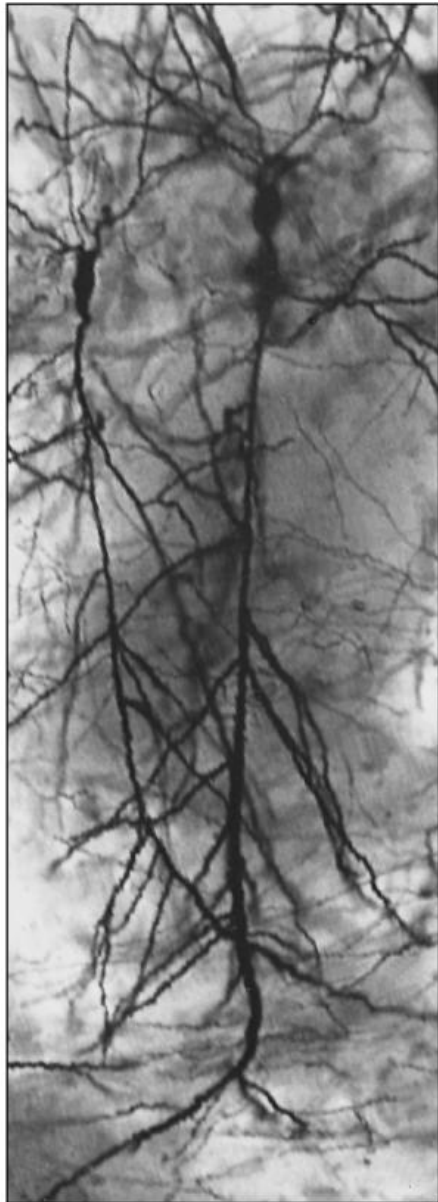
20 μm

Συνάψεις

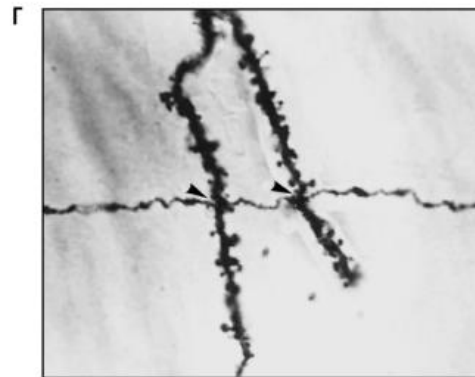
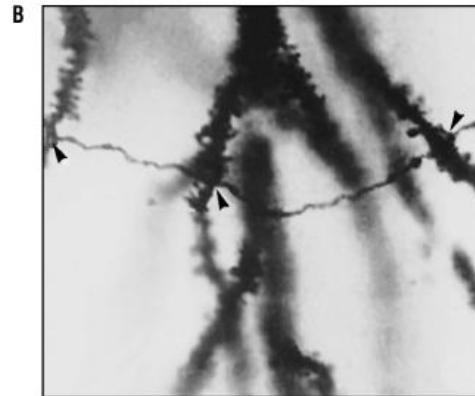
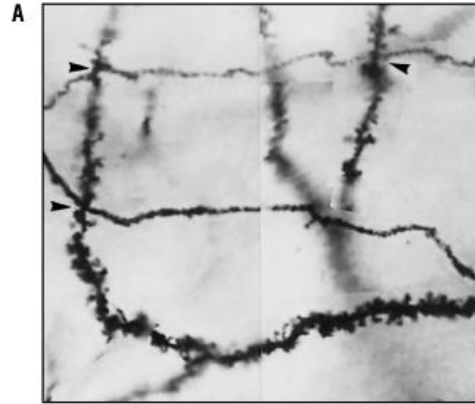
Neuron (Nerve cell) Anatomy



Συνάψεις



50 μm



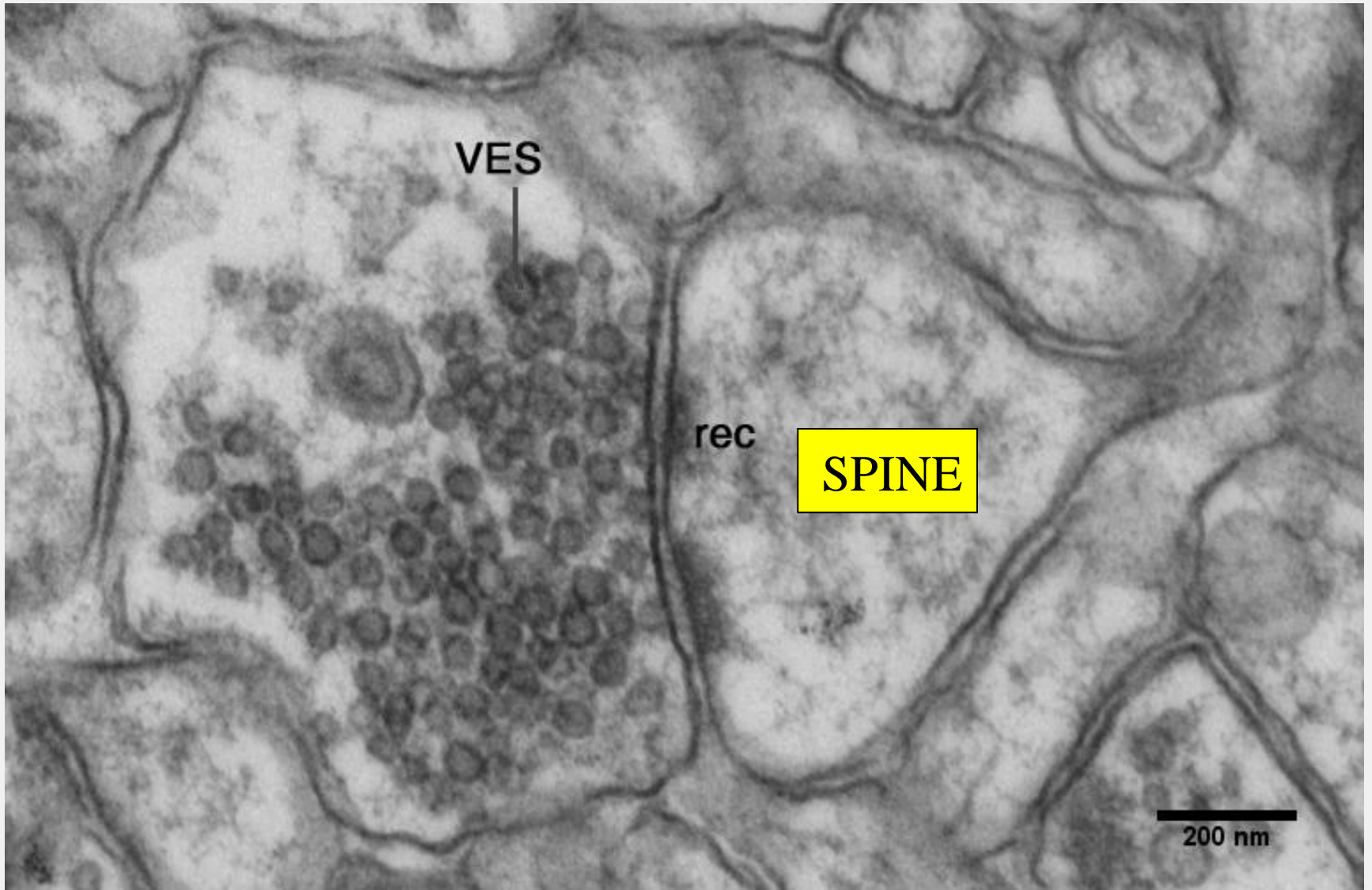
ΕΙΚΟΝΑ 4-15 Τα πυραμιδοειδή κύτταρα της περιοχής CA3 του ιπποκάμπου σχηματίζουν συνάψεις με τους δενδρίτες των κυττάρων της CA1 μέσα στην ακτινωτή στιβάδα.

Αριστερά: Μικροφωτογραφία πυραμιδοειδούς κυττάρου της CA1 που έχει χρωματιστεί με τη μέθοδο Golgi, όπου φαίνονται οι δενδρίτες του που επεκτείνονται σε μήκος 350 μm μέσα στην ακτινωτή στιβάδα.

Δεξιά: Στις τρεις μικροφωτογραφίες φαίνονται συνάψεις που σχηματίζουν τα κύτταρα της CA3 με κύτταρο της CA1. **A.** Οι νευράξονες δύο νευρώνων CA3 σχηματίζουν συνάψεις με έναν δενδρίτη ενός νευρώνα CA1, σε απόσταση 50 μm από το κυτταρικό σώμα του. **B.** Ο νευράξονας ενός κυττάρου της CA3 σχηματίζει συνάψεις με δένδριτες σε απόσταση 259 μm από το κυτταρικό σώμα τους. **Γ.** Ο νευράξονας ενός κυττάρου της CA3 σχηματίζει συνάψεις με δύο δένδριτες σε απόσταση 263 μm από το κυτταρικό σώμα. (Από Sorra και Harris 1993.)

10 μm

Συνάψεις



Τα μεμβρανικά οργανίδια κατανέμονται εκλεκτικά

Κυτταρικό σώμα και δενδρίτες:

Μιτοχόνδρια (παράγουν ATP)

Υπεροξειδοσωμάτια (καταστρέφουν τοξίνες, H_2O_2)

Κενοτοπιώδης συσκευή

(κοκκώδες ε.δ., λείο ε.δ., Golgi, εκκριτικά κυστίδια, ενδοσωμάτια, λυσοσωμάτια, άλλα κυστίδια).

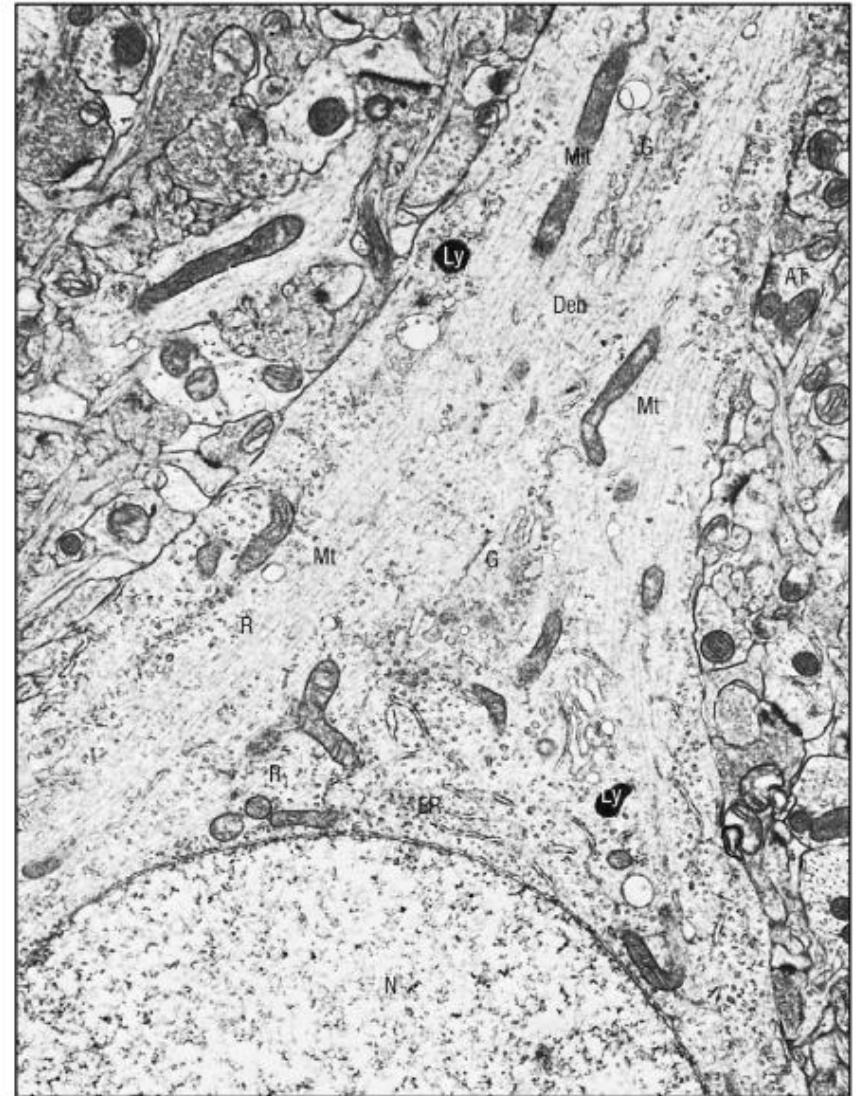
Νευράξονας:

Δεν διαθέτει:

Ριβοσωμάτια, κοκκώδες ε.δ., Golgi, λυσοσωμάτια
όχι πρωτεϊνοσύνθεση.

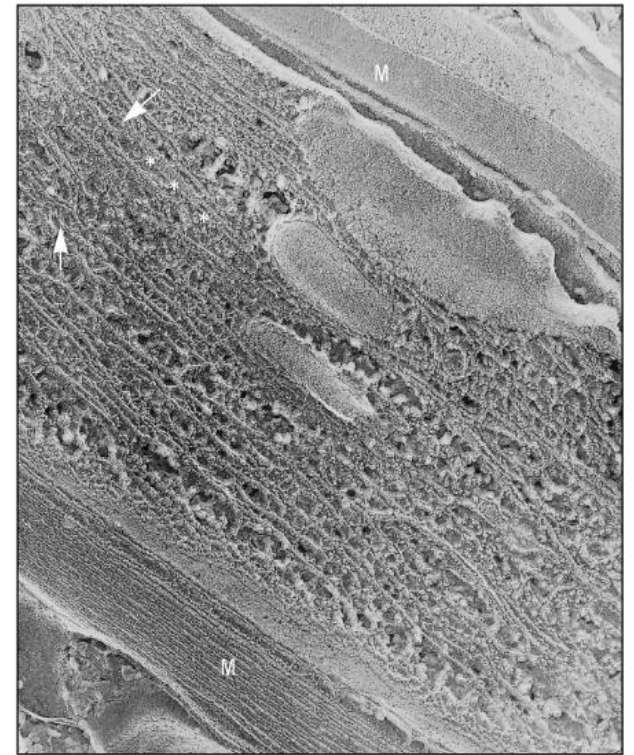
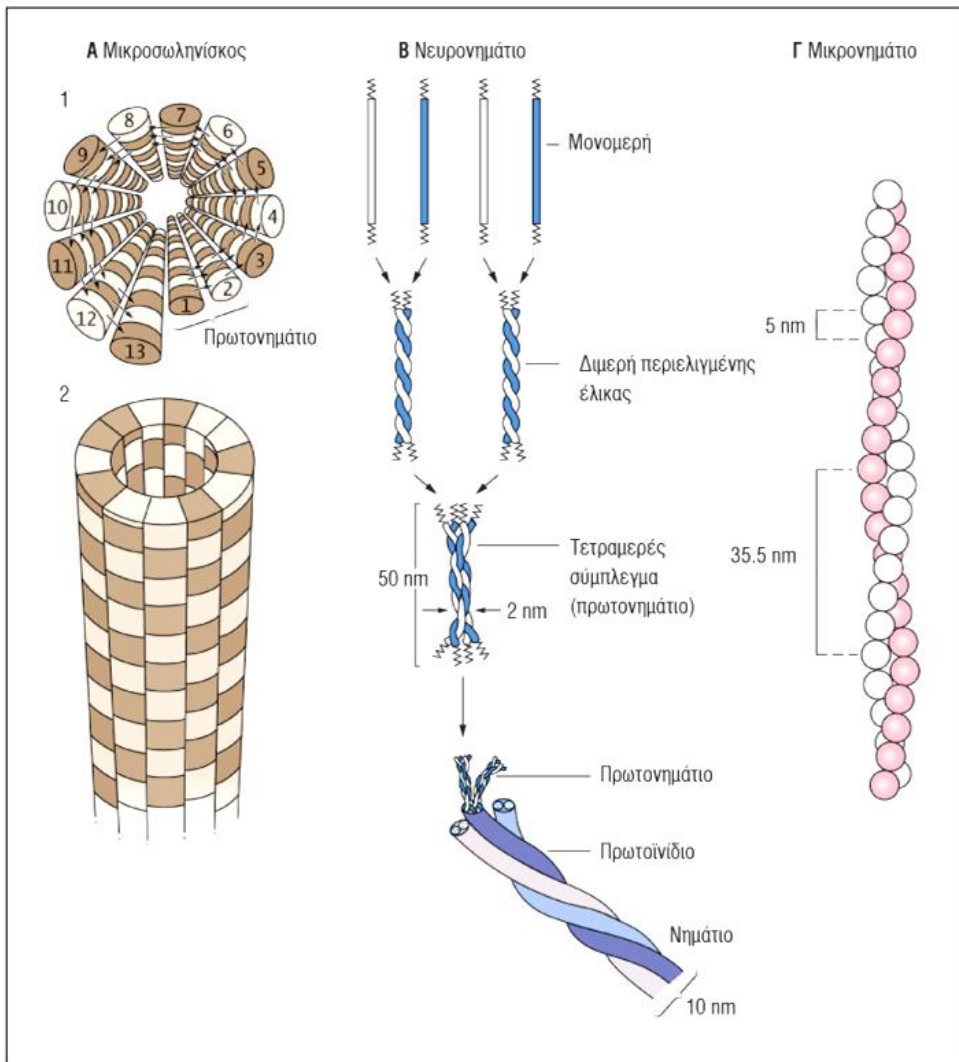
Διαθέτει:

Συναπτικά κυστίδια, μεμβράνες πρόδρομων
κυστιδίων, μιτοχόνδρια, ε.δ.



0.65 μm

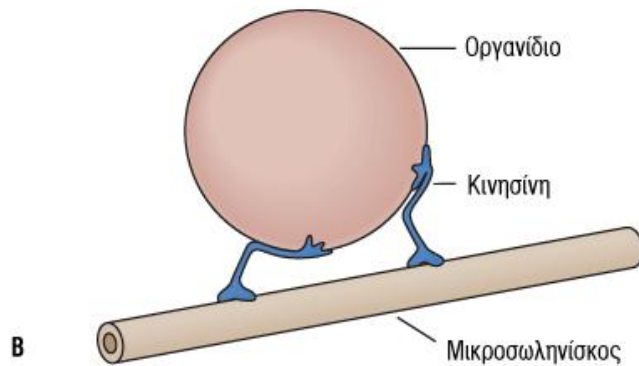
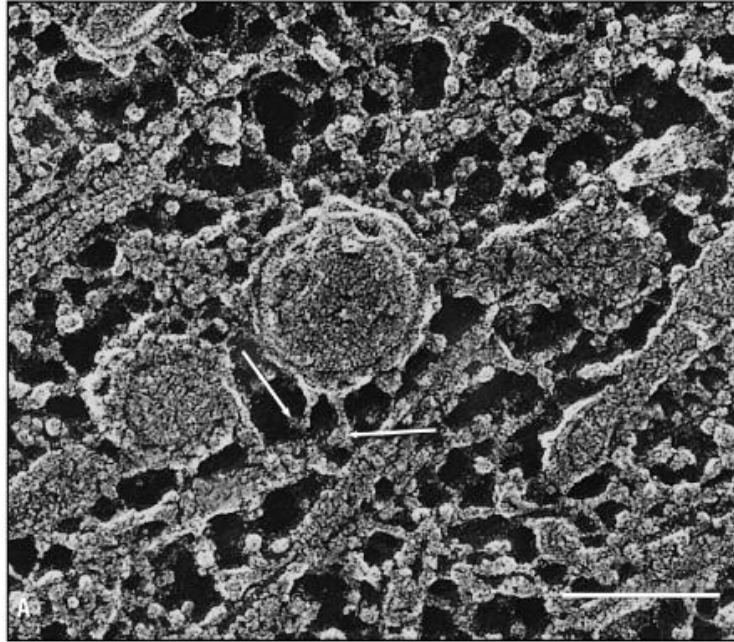
Κυτταρικός σκελετός



ΕΙΚΟΝΑ 4-6 Ο κυτταρικός σκελετός ενός νευράξονα όπως φαίνεται με την τεχνική της καταφυκτικής χάραξης. Στην εικόνα φαίνεται η στενότατη διάταξη των μικροσωληνίσκων και των νευρονημάτων που συνδέονται μεταξύ τους με γέφυρες. Οι μικροσω-

Ο κυτταροσκελετός καθορίζει το σχήμα και την κατανομή των οργανιδίων
Οι **μικροσωληνίσκοι** αποτελούνται από 13 πρωτονημάτια (ζεύγη υπομονάδων τομπουλίνης α και β), διμερή με πολικότητα. Τα **νευρονημάτια** αποτελούνται από έλικες τομπουλίνης.
Τα **μικρονημάτια** αποτελούνται από πολυμερισμένα μονομερή σφαιροειδούς ακτίνης.

Κινησίνη



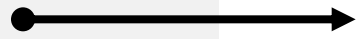
ΕΙΚΟΝΑ 5-11 Η κινησίνη είναι το μόριο-κινητήρας της ορθόδρομης μεταφοράς μέσα στον νευράξονα.

A Σ' αυτήν την ηλεκτρονική μικροφωτογραφία, που ελήφθη από νωτιαίο μυελό επίμοις με την τεχνική της καταφυκτικής χάραξης, φαίνονται πολλές ραβδοειδείς δομές που συνδέουν τα οργανίδια (μεγάλες στρογγυλές δομές) με τους μικροσωληνίσκους (**MT**). Πολλές από αυτές τις ενδιάμεσες γέφυρες έχουν σφαιρικά άκρα που φαίνονται να έρχονται σε επαφή με τους μικροσωληνίσκους (**βέλη**). Η ράβδος στο κάτω δεξιό τμήμα της εικόνας αντιστοιχεί σε μήκος 100 nm.

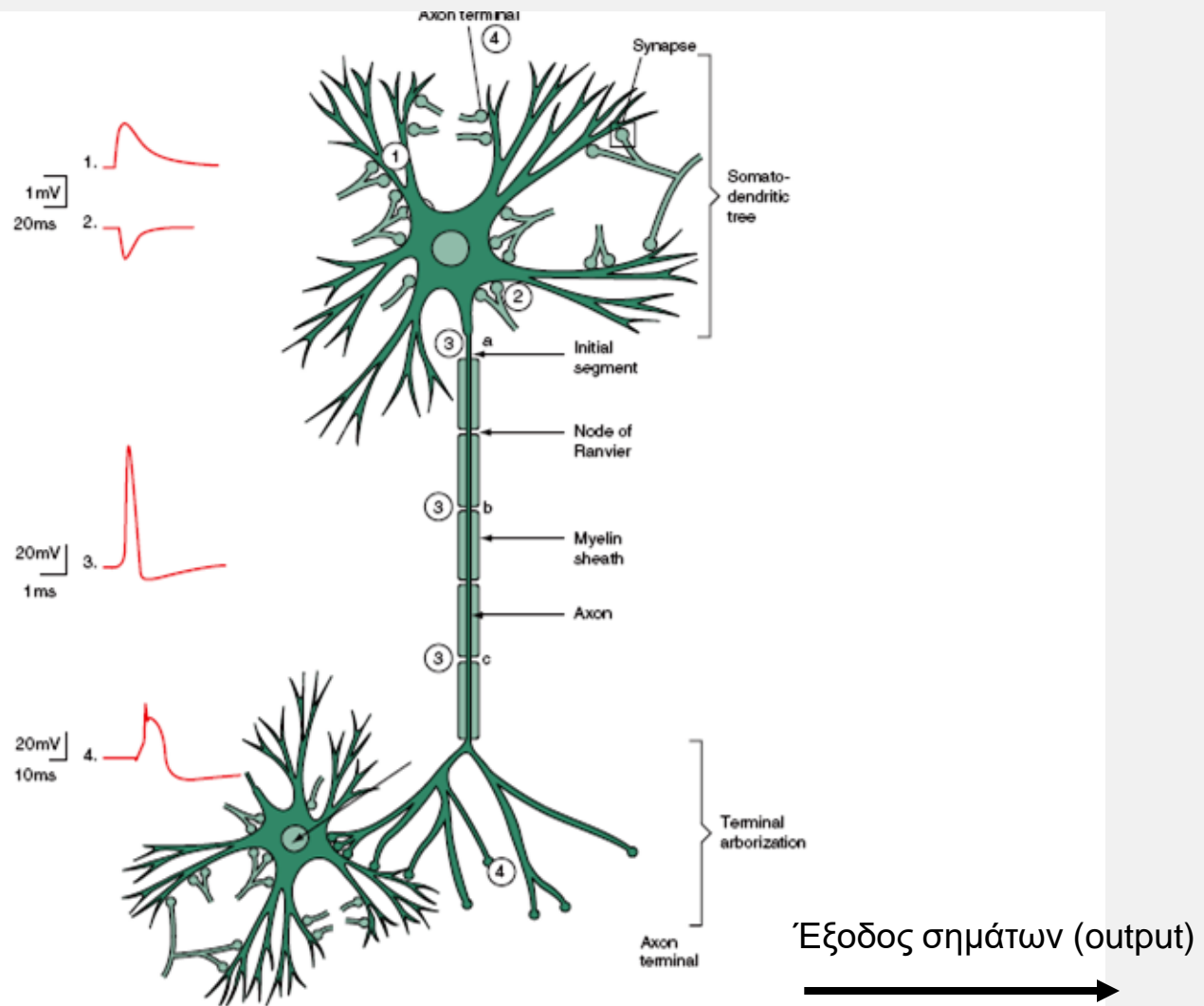
B. Ένα μοντέλο του τρόπου με τον οποίο η κινησίνη πιθανώς μετακινεί τα οργανίδια κατά μήκος των μικροσωληνίσκων. Η κινησίνη περιέχει ένα ζεύγος σφαιρικών κεφαλών, που συνδέονται με τους μικροσωληνίσκους, και μια ουρά με σχήμα βεντάλιας, που συνδέεται με το οργανίδιο προς μεταφορά. Κοντά στο κέντρο του μορίου της κινησίνης υπάρχει μια περιοχή που λειτουργεί ως άρθρωση. Οι ομοιότητες μεταξύ της κινησίνης και της μυοσίνης των μυών οδήγησαν στην ιδέα ότι η κινησίνη μετακινεί τα οργανίδια "περπατώντας" επάνω στις ράγες που σχηματίζουν οι μικροσωληνίσκοι. (Από Hirokawa και συν. 1989, προσαρμοσμένη.)

Μικροσωληνίσκοι στον **Άξονα**: - κοντά στο σώμα, **δενδρίτες**: + κοντά στο σώμα.

Πολικότητα νευρώνα



Είσοδος σημάτων (input)



Έξοδος σημάτων (output)



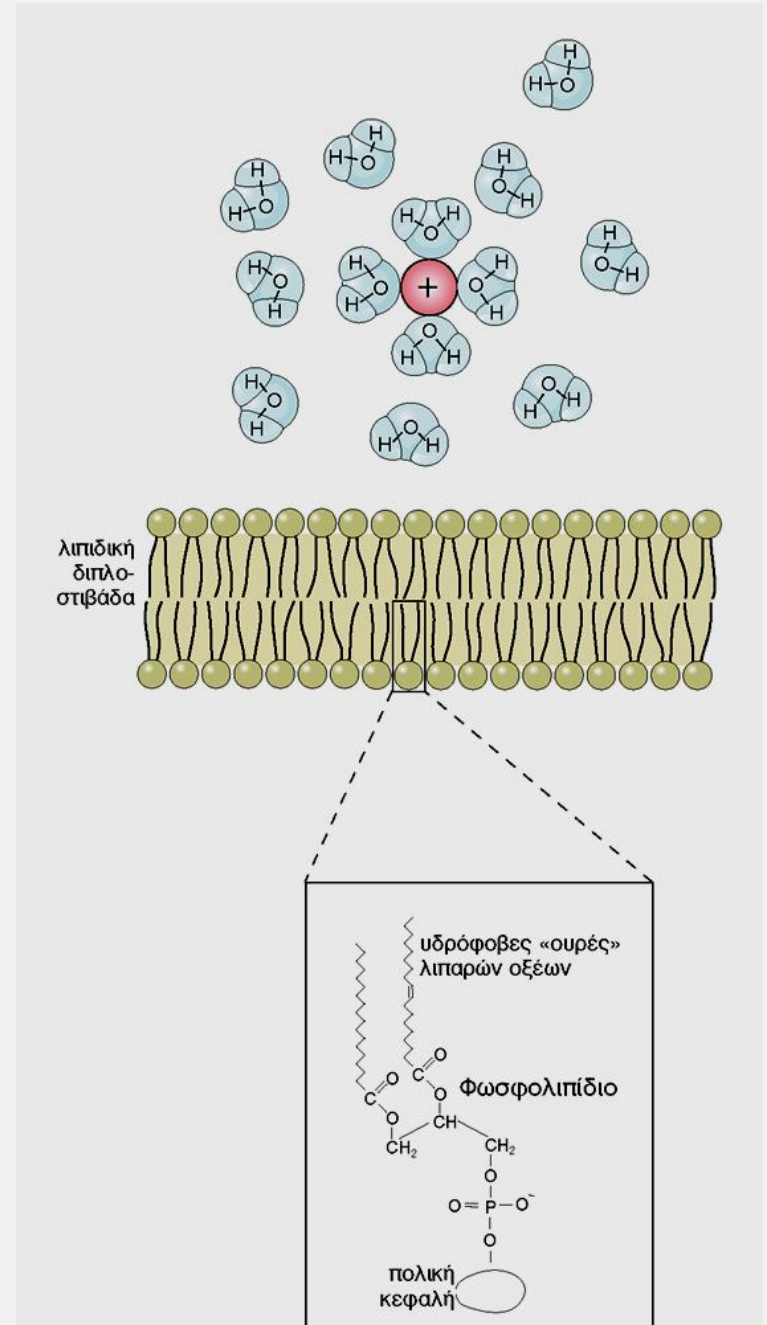
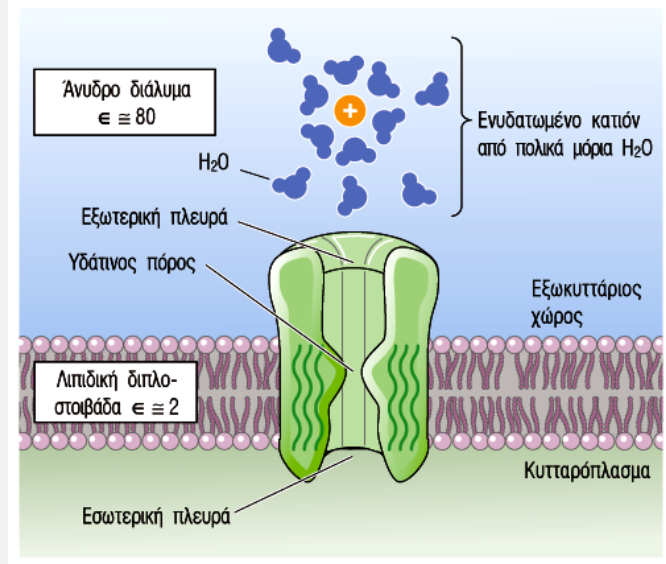
- ✓ Συλλέγει πληροφορίες (είσοδος σημάτων).
- ✓ Επεξεργάζεται πληροφορίες.
- ✓ Παράγει απαντήσεις ανάλογα με τις πληροφορίες που δέχτηκε (έξοδος σημάτων).

ΔΙΑΥΛΟΙ ΙΟΝΤΩΝ

Τα ιόντα ΔΕΝ μπορούν να διαχυθούν εκατέρωθεν των κυτταρικών μεμβρανών

Ενυδάτωση ιόντων

- Το άτομο του O_2 προσελκύει ηλεκτρόνια, άρα φέρει αρνητικό φορτίο.
- Τα άτομα του H χάνουν ηλεκτρόνια, άρα φέρουν θετικό φορτίο.
- Τα κατιόντα έλκονται ηλεκτροστατικά από το άτομο O^- .
- Τα ανιόντα έλκονται ηλεκτροστατικά από τα άτομα H^+ .



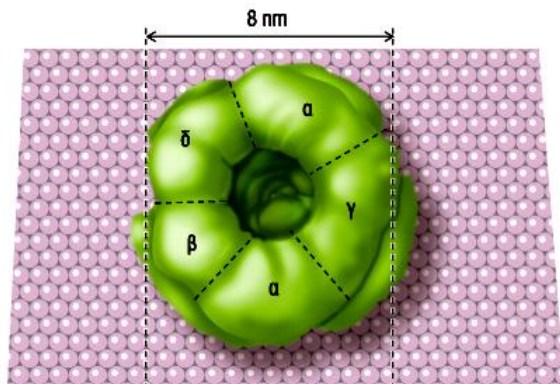
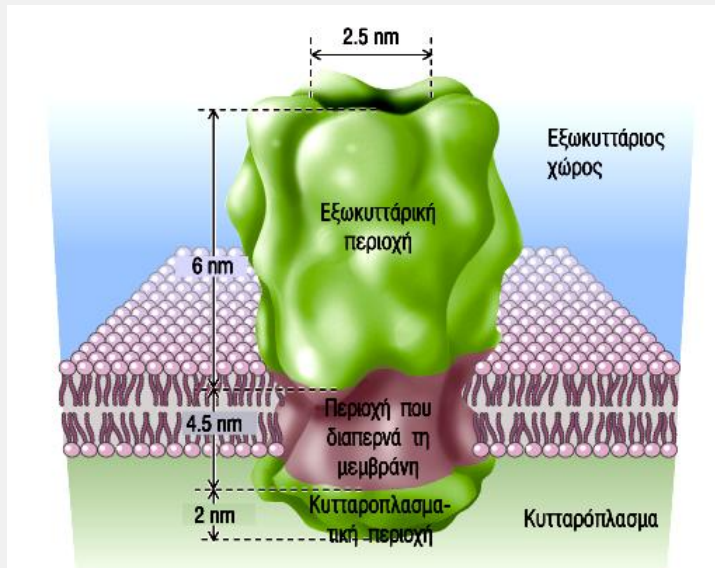
ΔΟΜΗ ΔΙΑΥΛΩΝ

Διάυλοι Ιόντων: Μεγάλες διαμεμβρανικές πρωτεΐνες με υδατανθρακικές ομάδες στην επιφάνεια.

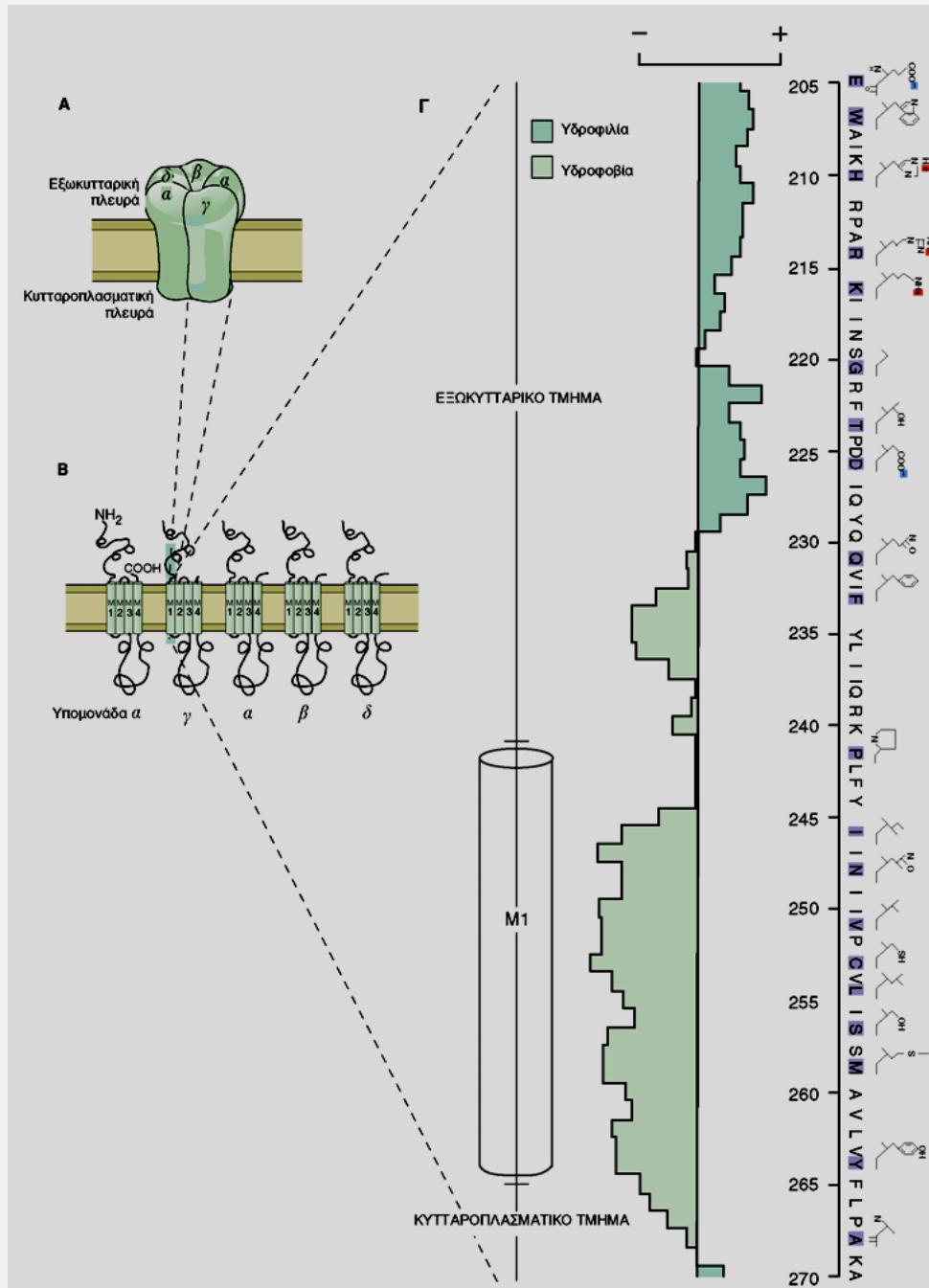
*Γονίδια που κωδικεύουν διαύλους έχουν κλωνοποιηθεί

*Πρωτοταγής δομή αμινοξέων γνωστή

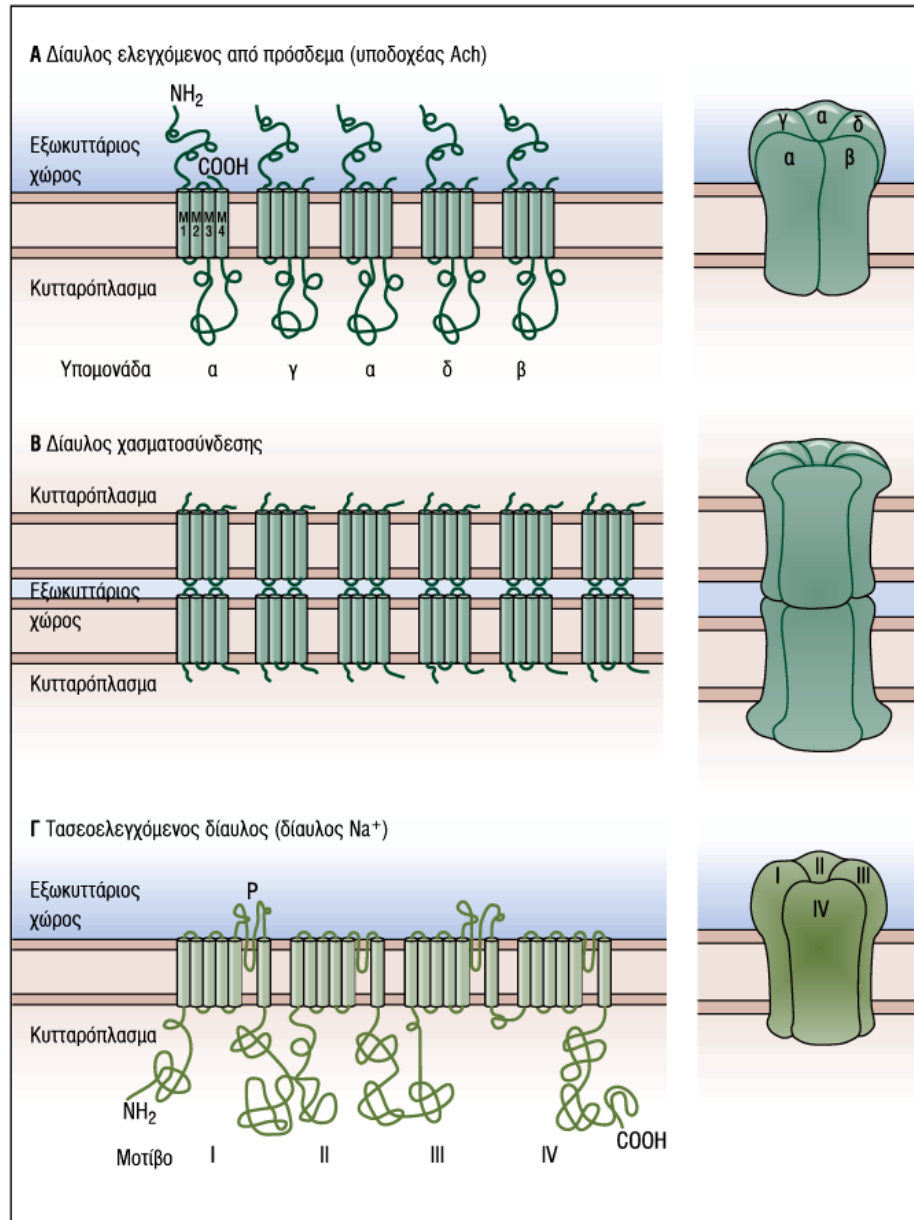
*Μοντέλα δευτεροταγούς δομής (έλικες α, πτυχώσεις β)



Νικοτινικός Υποδοχέας Ακετυλοχολίνης



Τρεις Οικογένειες Διαύλων



Τεχνική παγίδευσης περιοχής

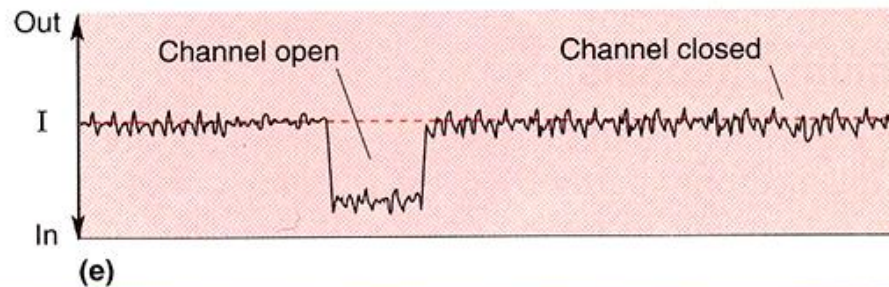
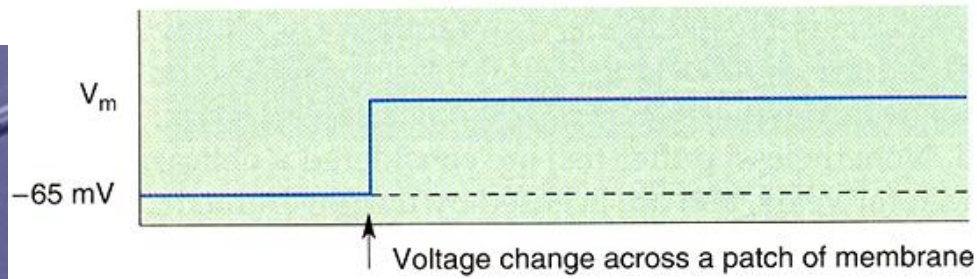
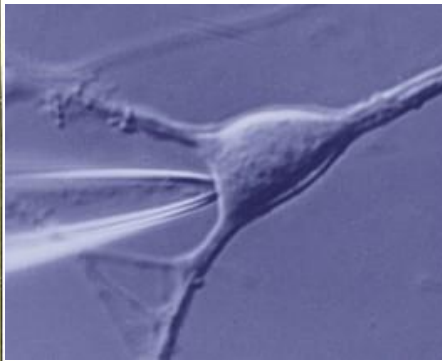
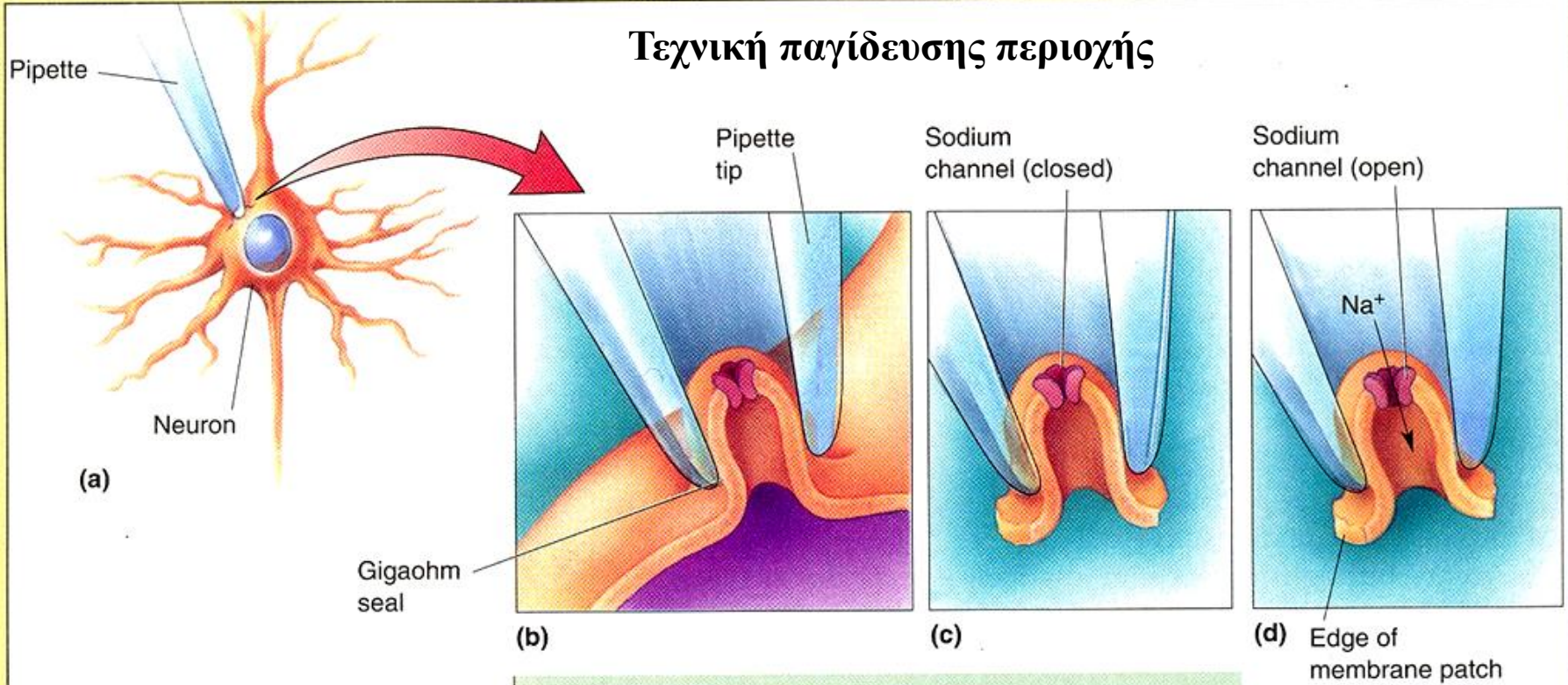


Figure A

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Na⁺=145

HCO₃⁻=24

Pi=2

K⁺=4

Na⁺=15

Cl⁻=110

Ca⁺=1

K⁺=150

Mg⁺=1.5

πρωτεΐνη=0.2

Ca⁺=1.5

Cl⁻=10

γλυκόζη=5.6

γλυκόζη=1

Mg⁺=12

HCO₃⁻=10

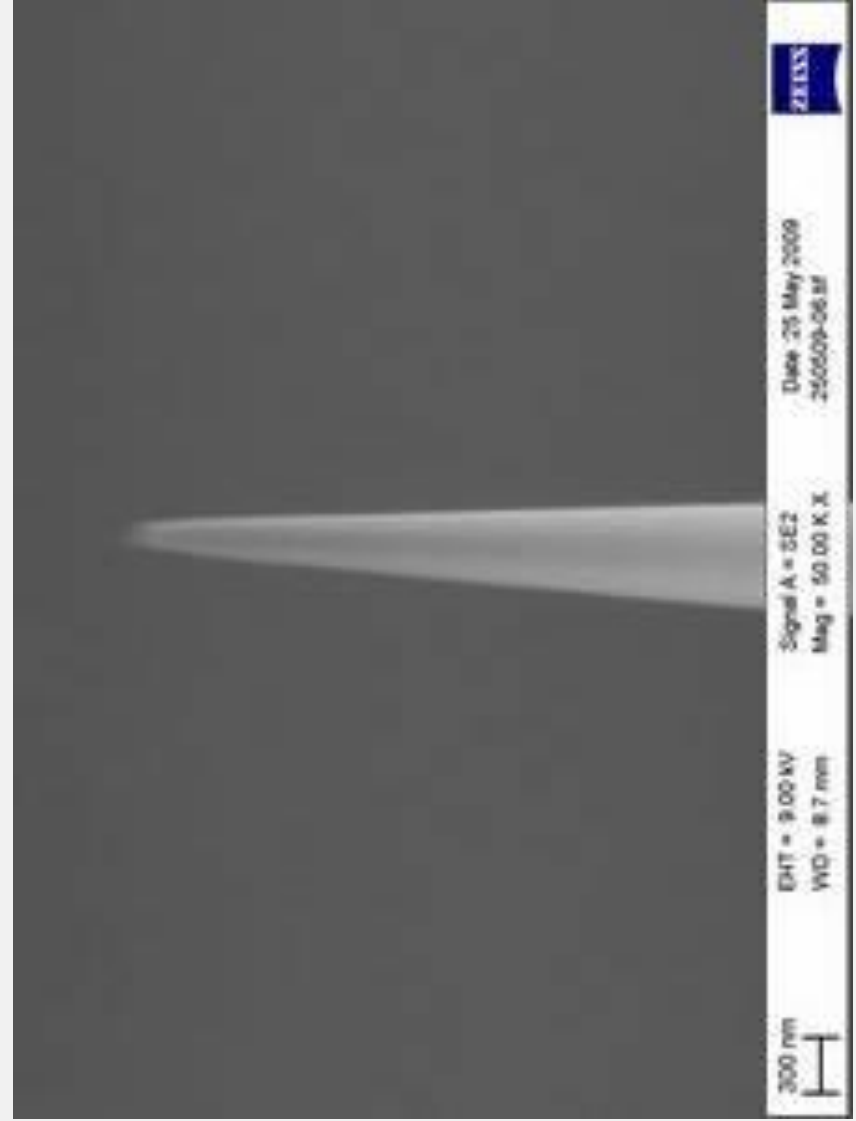
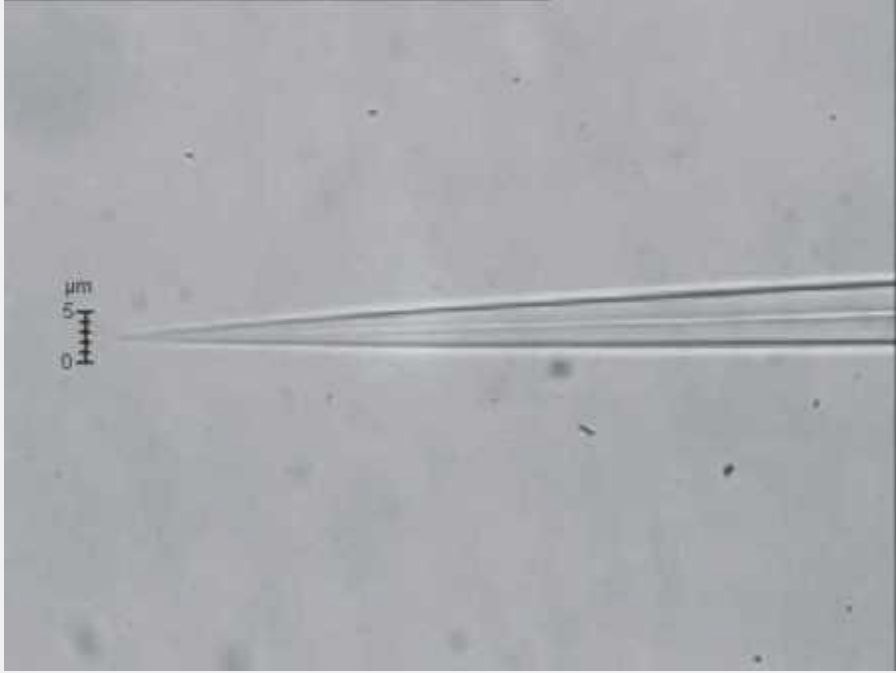
ATP=0

πρωτεΐνη=4

ATP=4

Pi=40

ΜΙΚΡΟ-ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ

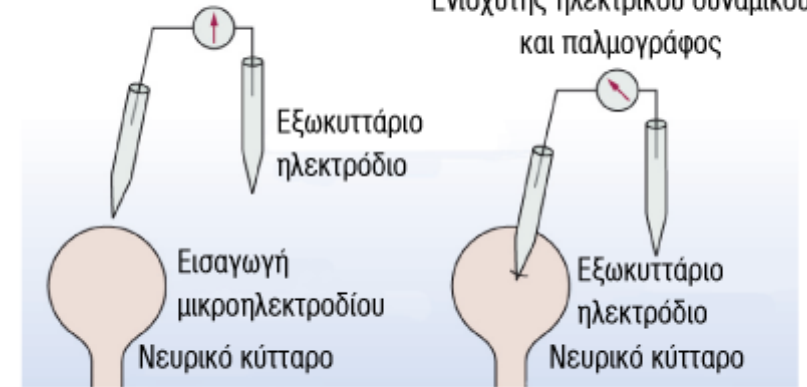


Μεμβρανικό Δυναμικό Ηρεμίας

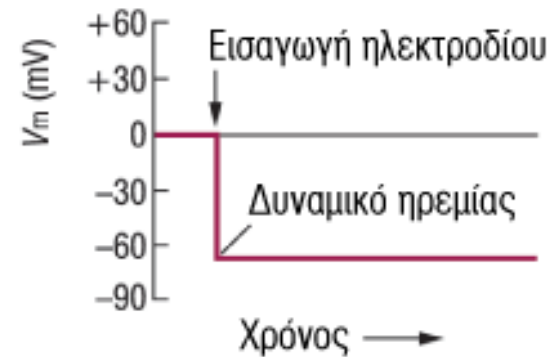
Διαχωρισμός φορτίων εκατέρωθεν της μεμβράνης.
Κυτταρόπλασμα και εξωκυτταρικό υγρό είναι ηλεκτρικά ουδέτερα.

Εισαγυτής ηλεκτρικού δυναμικού και παλμογράφος

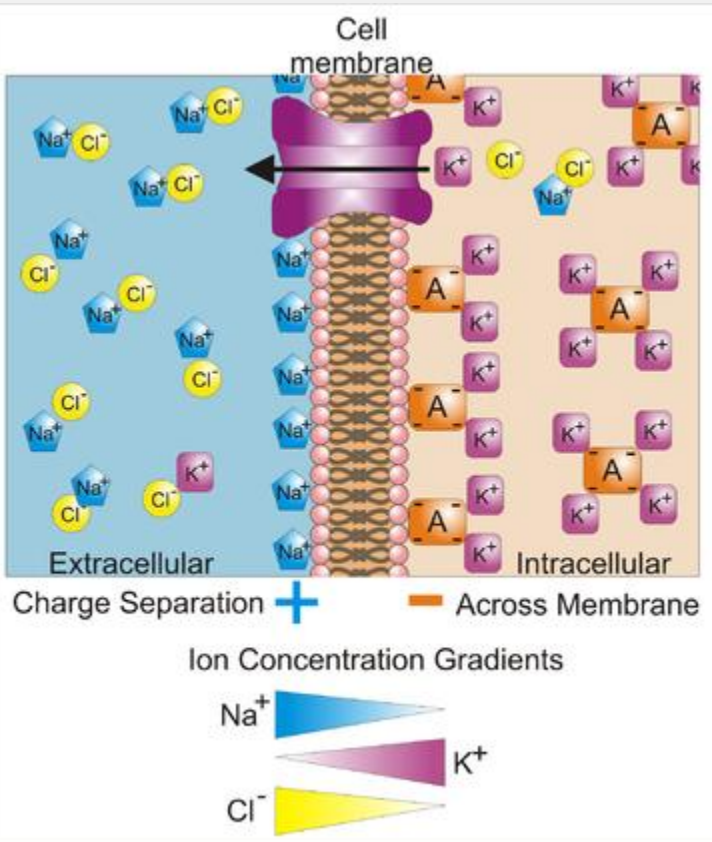
Εισαγυτής ηλεκτρικού δυναμικού και παλμογράφος



ΕΙΚΟΝΑ 7-2Α Η διάταξη καταγραφής.



ΕΙΚΟΝΑ 7-2Β Η εικόνα του ταλαντοσκοπίου.



Membrane potential

Nernst= Equilibrium potential

$$E_i = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{[i]_o}{[i]_i}$$

R= gas constant (8,3 Joule/mole x K)

T= temperature in Kelvin ($T_k = T_c + 273.5$)

F= Faraday constant ($9,6 \times 10^4$ Coul/mole)

Z= valence

Equilibrium Potential: Nernst Equation

$$E_x \text{ (mV)} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[x]_{\text{out}}}{[x]_{\text{in}}} = \frac{61.5}{z} \log \frac{[x]_{\text{out}}}{[x]_{\text{in}}}$$

At T = 37 C, you can reduce RT/F to 61.5 mV when converting ln to log form; still need to account for z (valence)

Given:

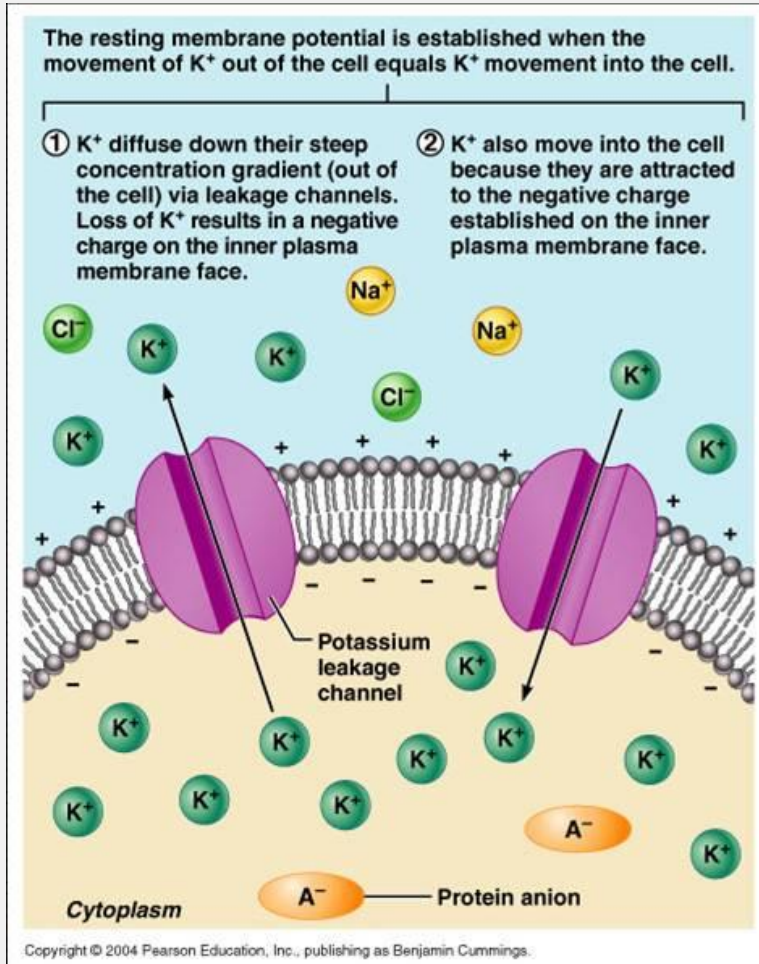
$$[K^+]_{\text{in}} = 120 \text{ mM}$$

$$[K^+]_{\text{out}} = 4.5 \text{ mM}$$

$$E_K = \frac{61.5}{+1} \log (4.5/120)$$

$$= 61.5 \log (0.0375)$$

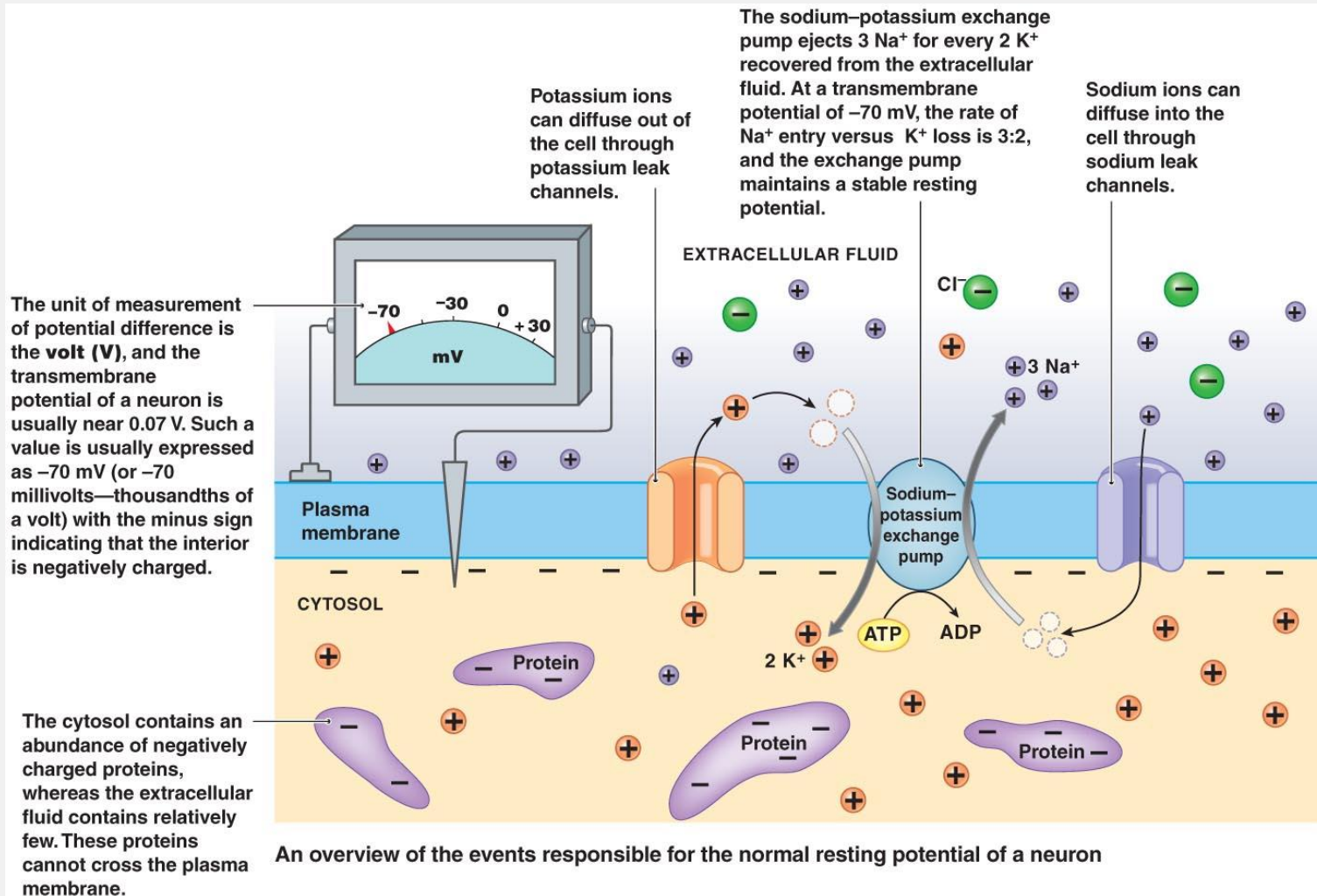
$$= 61.5 (-1.43) = -88 \text{ mV}$$



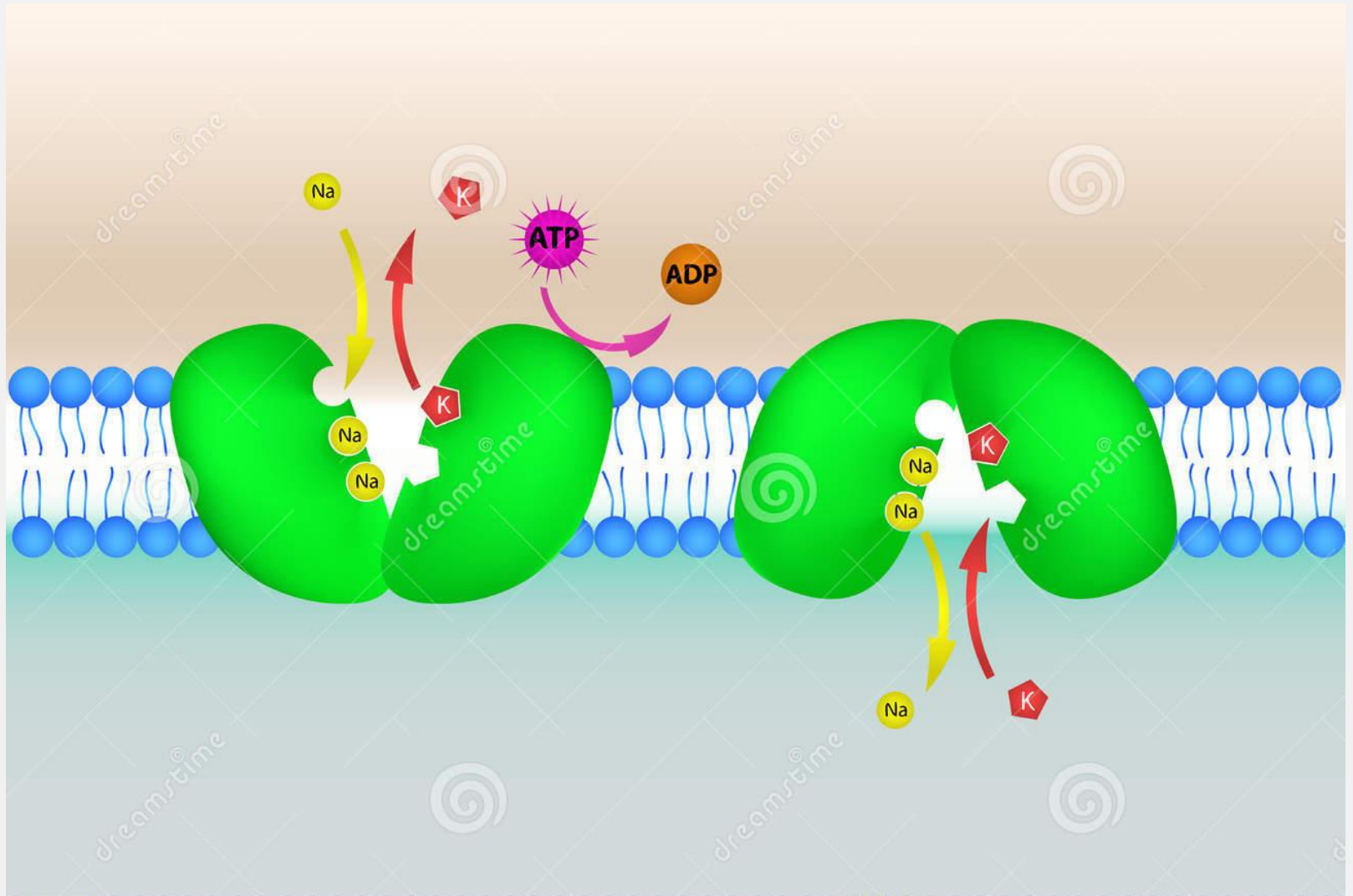
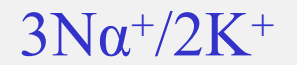
Membrane potential

Goldman

$$E_k = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o}$$



Na⁺-K⁺/Pump



Download from
Dreamstime.com

This watermarked comp image is for previewing purposes only.

ID 36072623

© Extender01 | Dreamstime.com

Ηλεκτρικό μοντέλο

Νόμος του Ohm:

$$V = I R = I/G$$

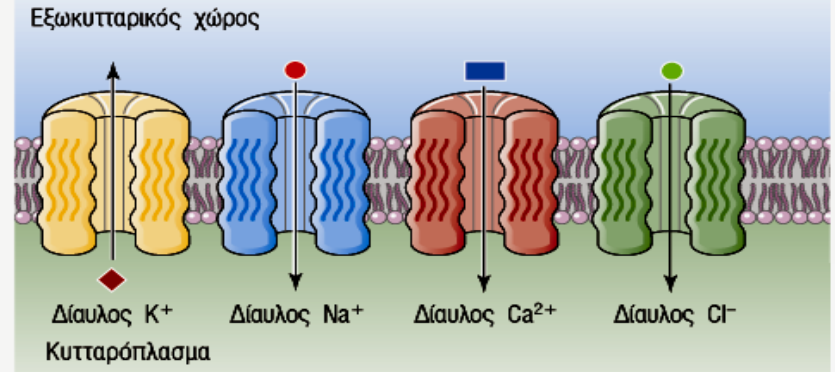
$$V_m = mV$$

$$I_m = \text{amps}$$

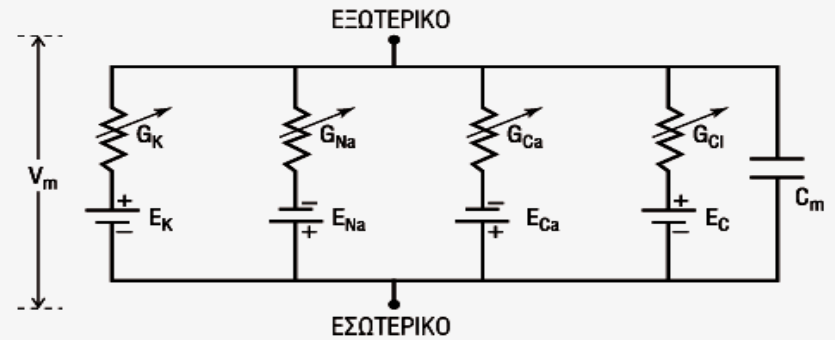
$$R_m = \text{ohm} \times \text{cm}^2$$

$$G_m = \text{siemens/cm}^2$$

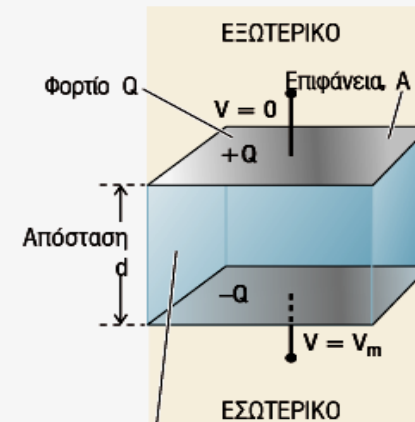
A ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ



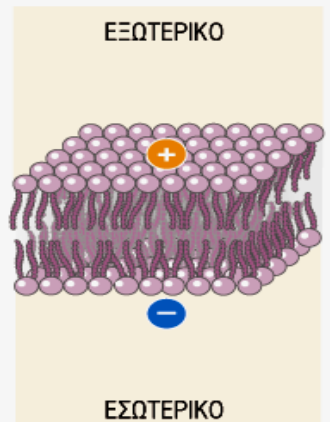
B ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ



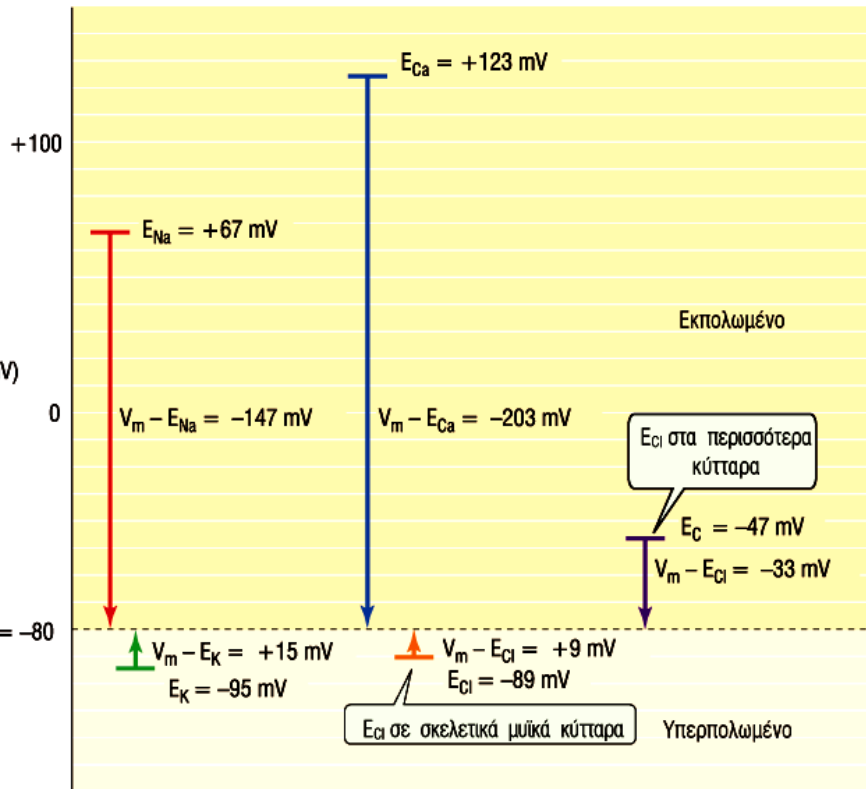
Γ ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΜΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΣ ΠΛΑΚΕΣ



ΛΙΠΙΔΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ



Διηλεκτρική σταθερά του μέσου, ϵ



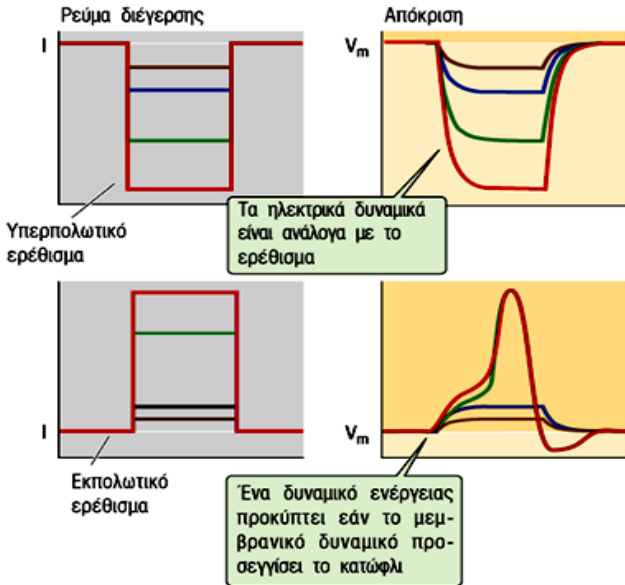
$$I_x = G_x (V_m - E_x)$$

$$\text{Κινητήρια δύναμη} = G_x (V_m - E_x)$$

ΗΛΕΚΤΡΟΤΟΝΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

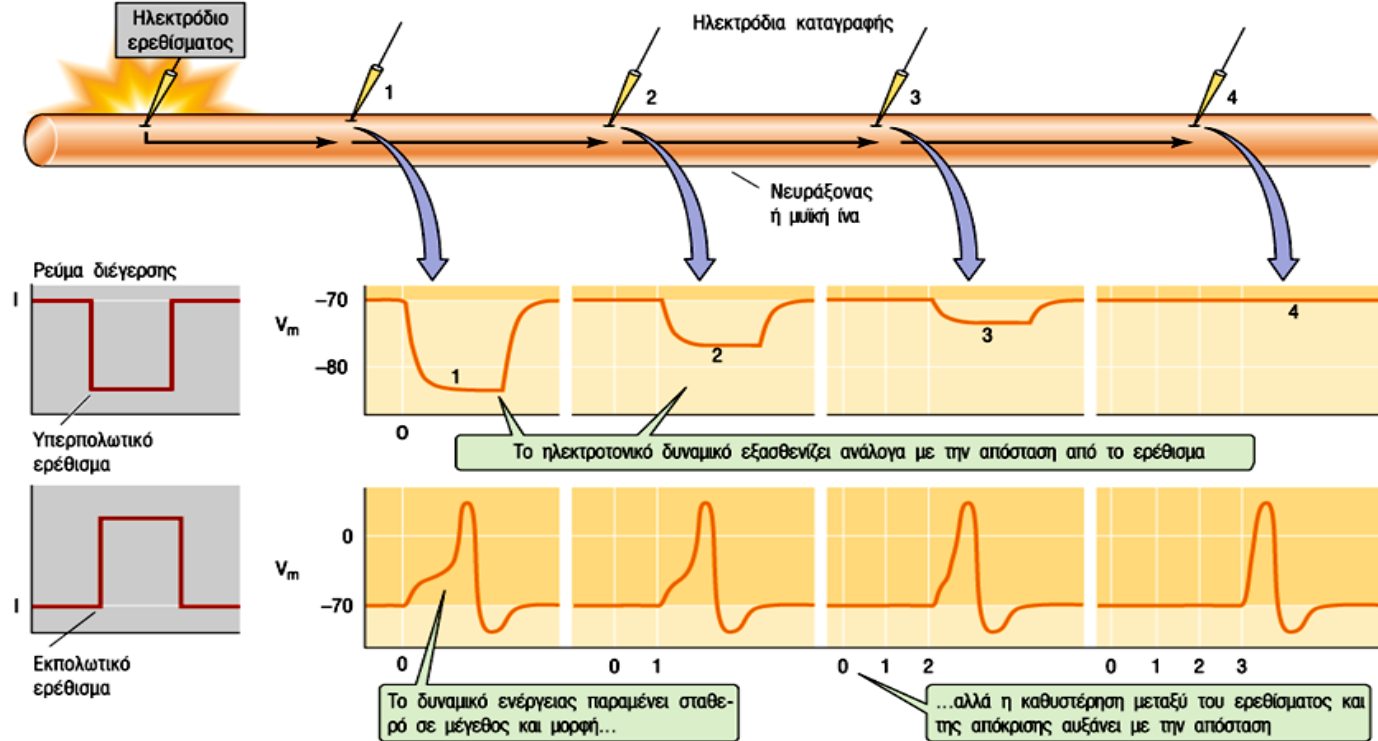
ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

A ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΩΤΟ ΡΕΥΜΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

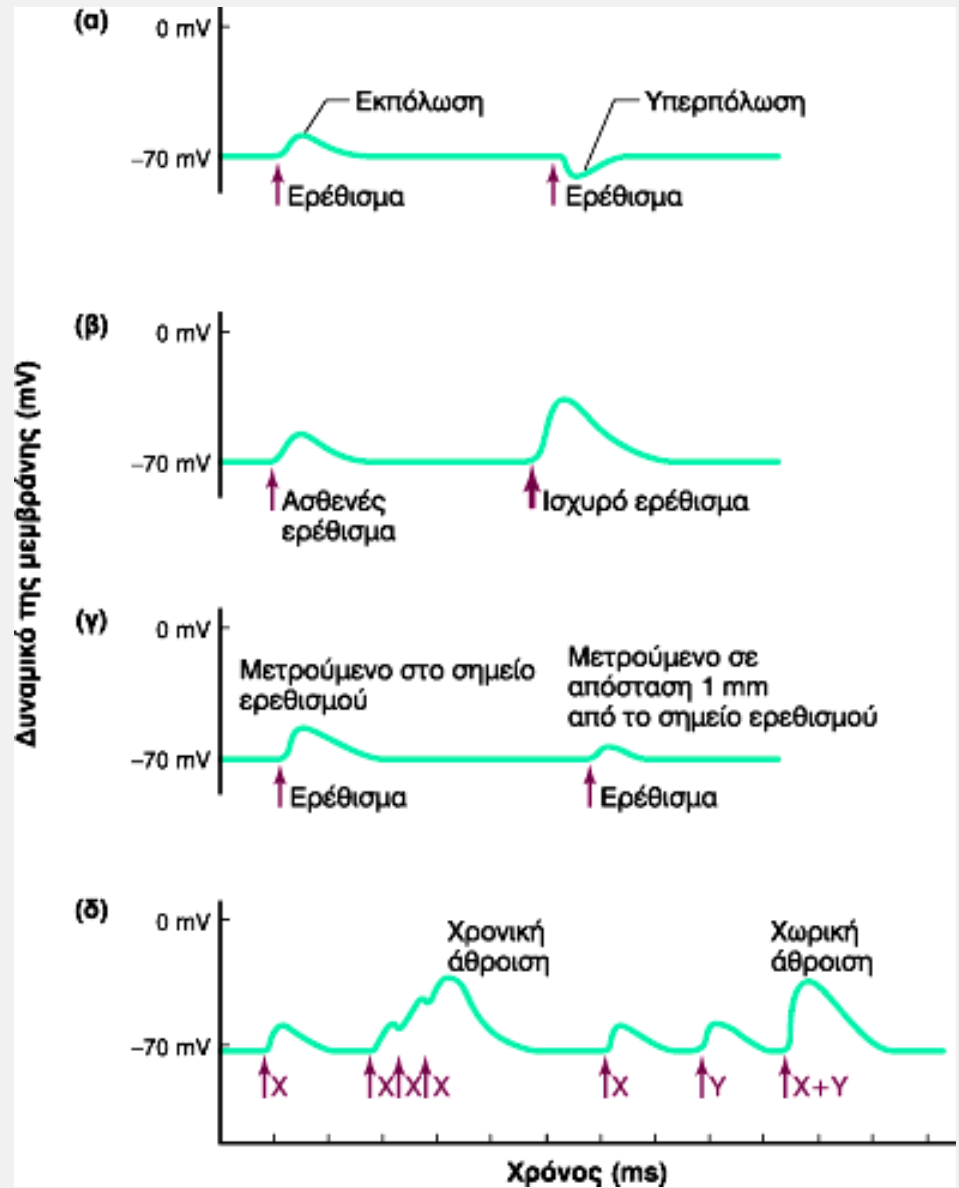
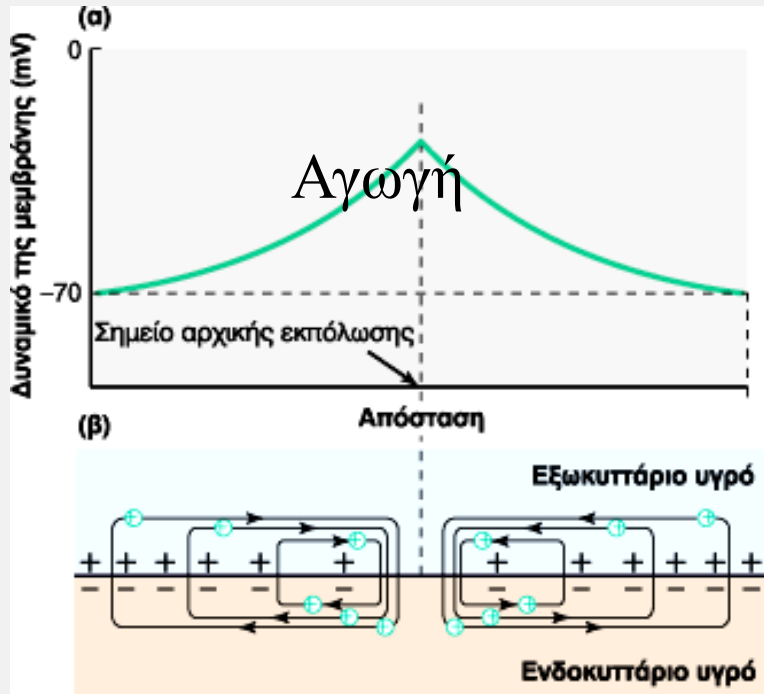


ΗΛΕΚΤΡΟΤΟΝΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

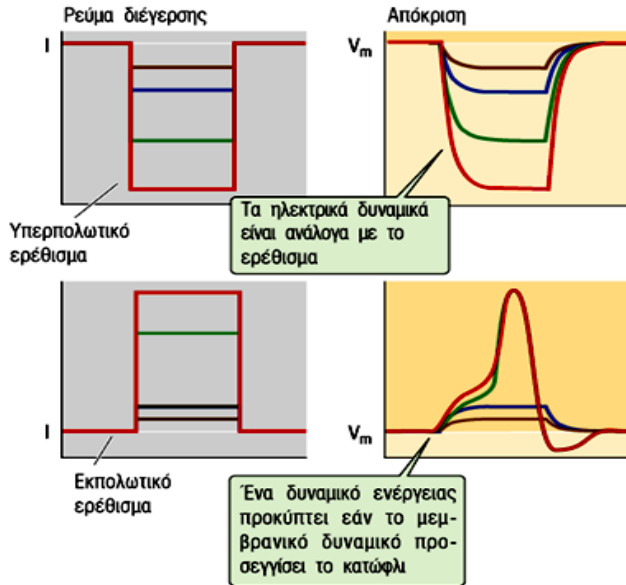
B ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΑ ΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ



ΗΛΕΚΤΡΟΤΟΝΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

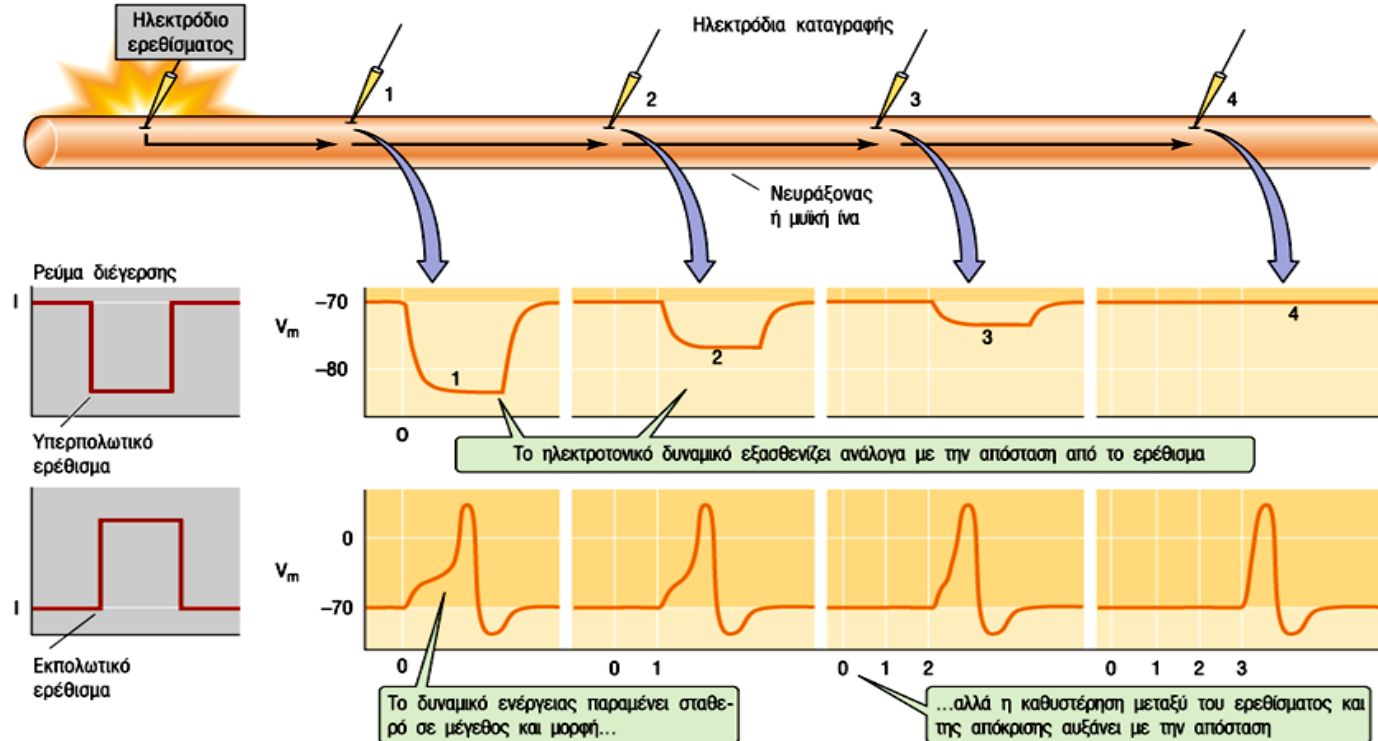


A ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΩΤΟ ΡΕΥΜΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

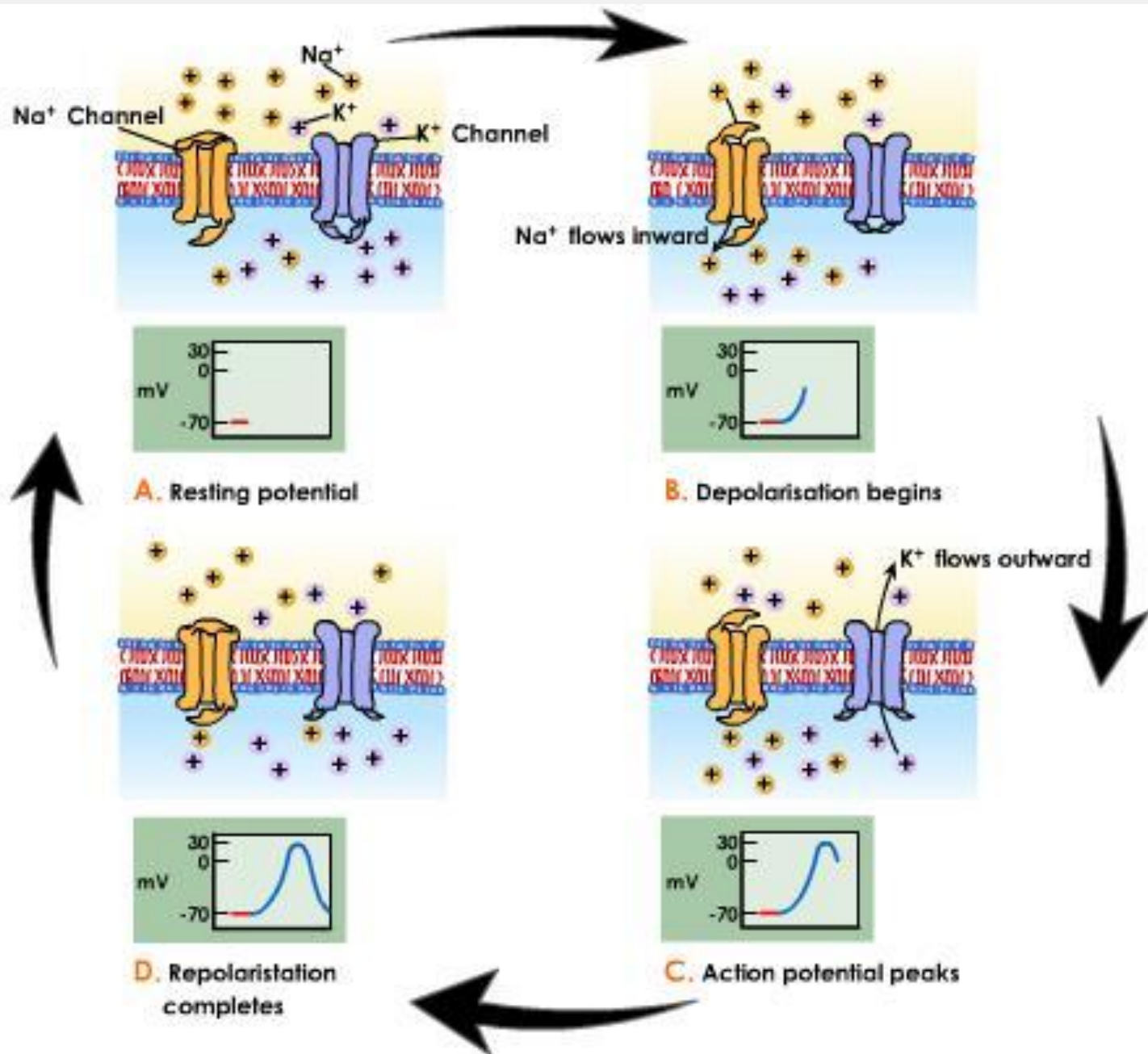


ΗΛΕΚΤΡΟΤΟΝΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

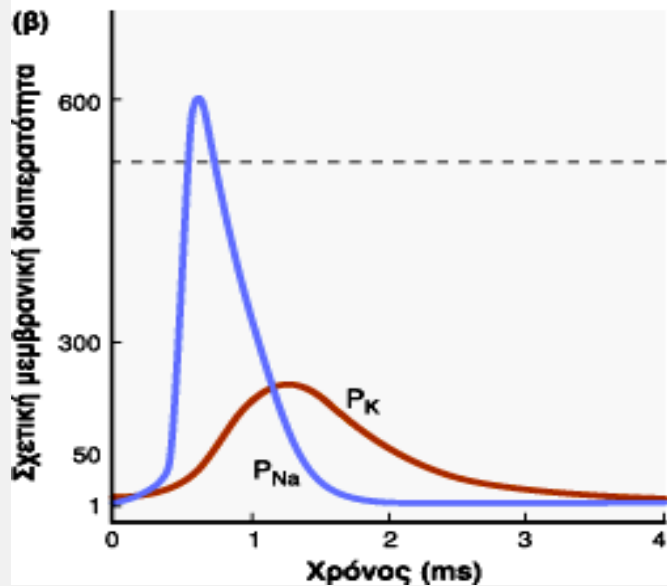
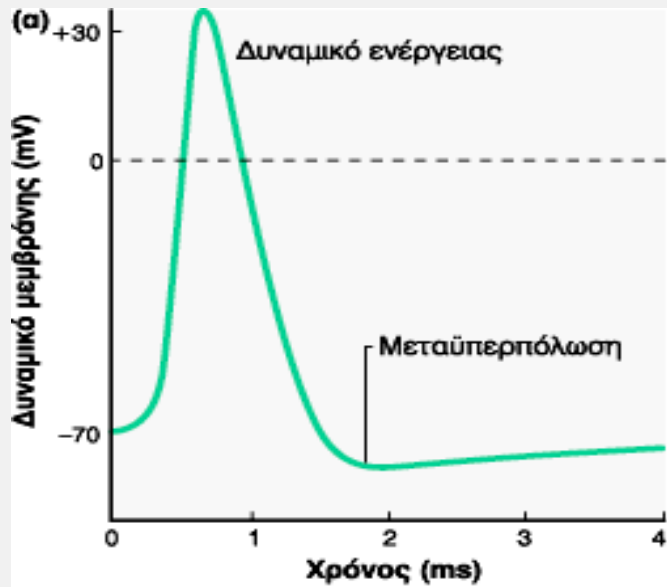
B ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΑ ΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ



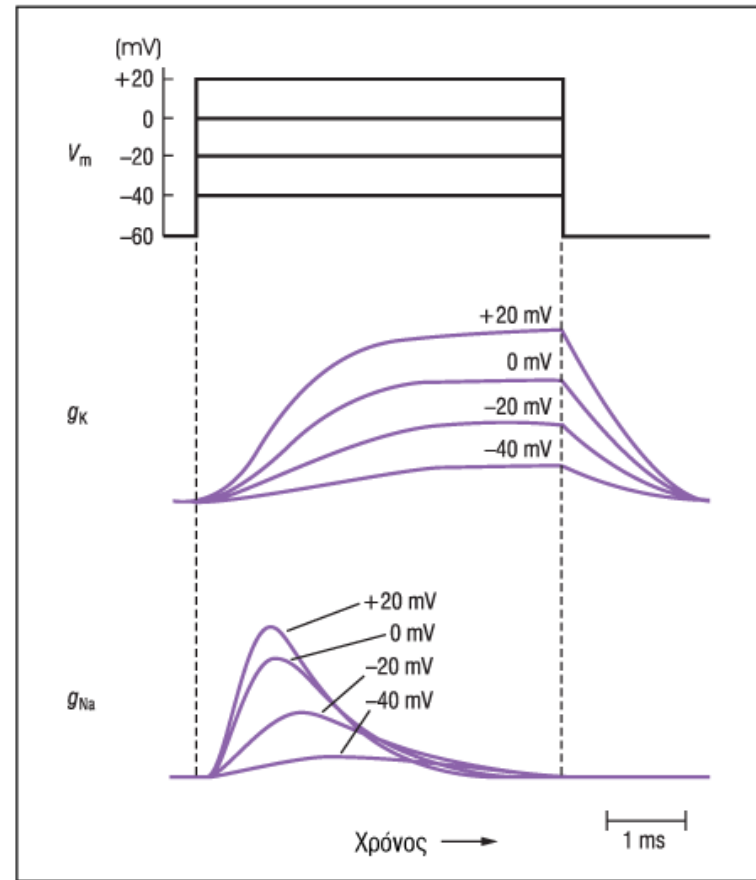
Δυναμικό ενέργειας



Αλλαγές στην αγωγιμότητα



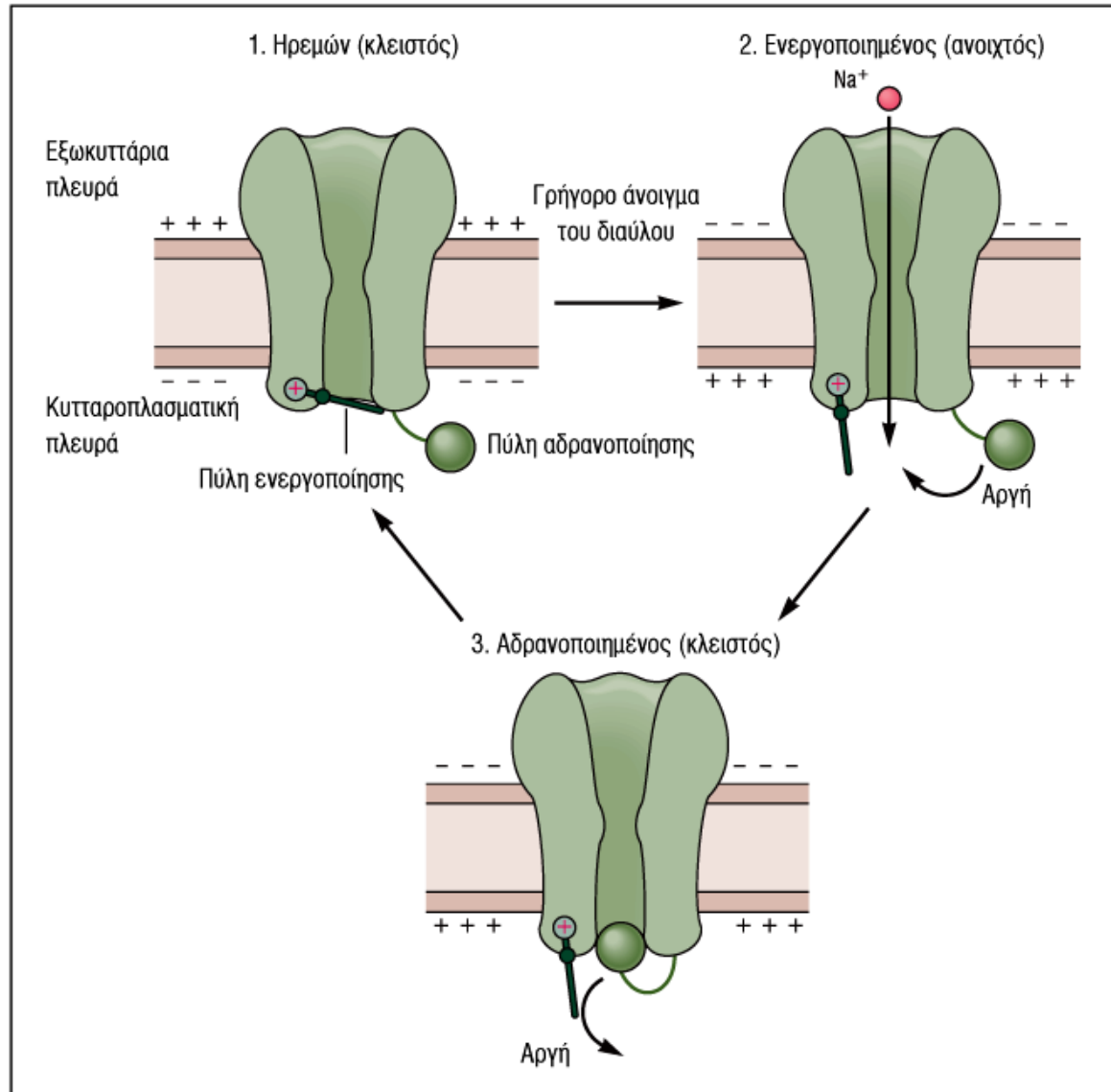
Ταχύτητα διάνοιξης



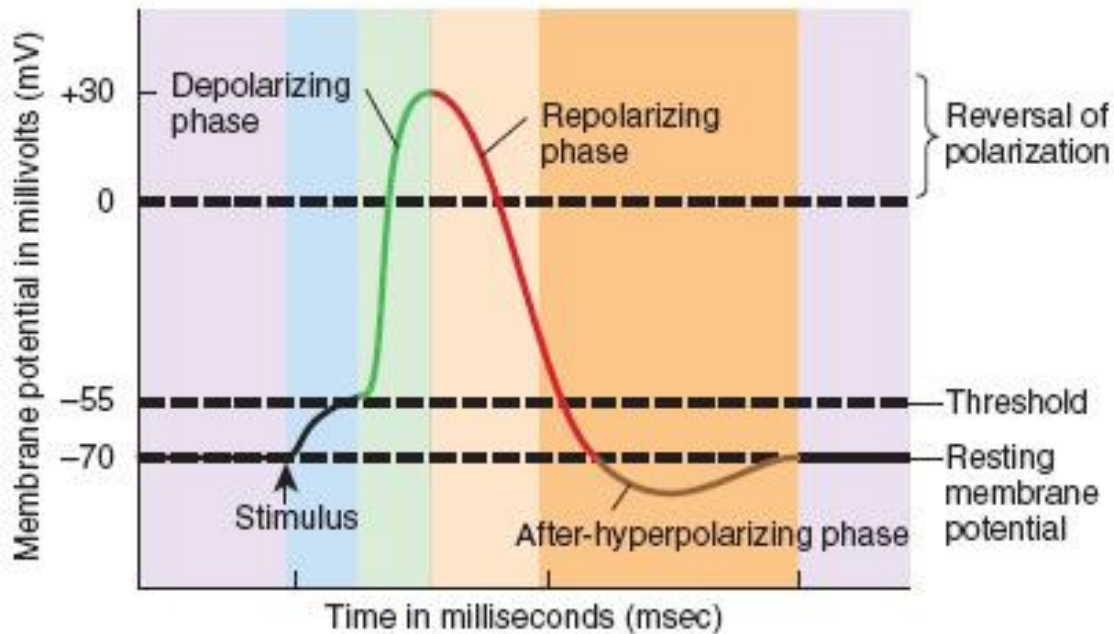
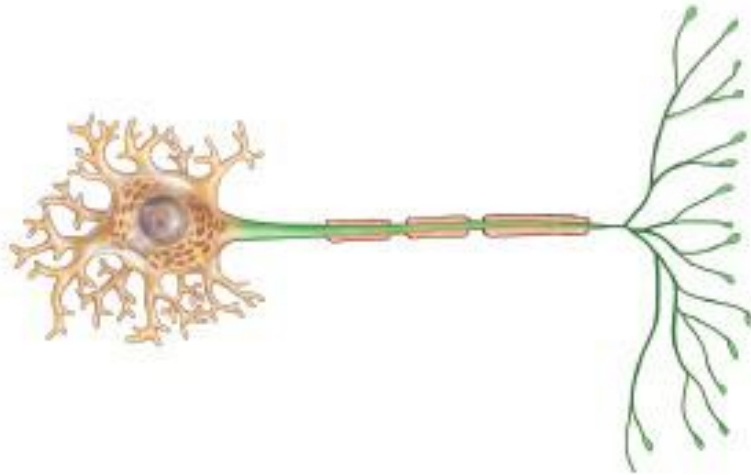
ΕΙΚΟΝΑ 9-6 Τα πειράματα καθήλωσης τάσης φανερώνουν ότι οι δίαυλοι Na^+ ανοίγουν και κλείνουν ταχύτερα από τους διαύλους K^+ μέσα σε ένα μεγάλο εύρος δυναμικών της μεμβράνης. Οι αυξομειώσεις της αγωγιμότητας του Na^+ (g_{Na}) και του K^+ (g_K) που απεικονίζονται εδώ απηχούν τη μετάπτωση χιλιάδων τασεοελεγχόμενων διαύλων ανάμεσα στην ανοιχτή και την κλειστή διάταξή τους.

Αδρανοποίηση διαύλων Na^+

ΕΙΚΟΝΑ 9-9 Οι τασεοελεγχόμενοι διάυλοι Na^+ έχουν δύο πύλες, οι οποίες αντιδρούν στην εκπόλωση με αντίθετους τρόπους. Στην κατάσταση ηρεμίας (κλειστός), η πύλη ενεργοποίησης είναι κλειστή και η πύλη αδρανοποίησης ανοιχτή (1). Με την εκπόλωση, η πύλη ενεργοποίησης ανοίγει ταχύτατα και επιτρέπει τη διέλευση ιόντων Na^+ (2). Καθώς οι πύλες αδρανοποίησης κλείνουν, οι διάυλοι Na^+ μεταπίπτουν στην κατάσταση αδρανείας (κλειστοί). (3). Με την επαναπόλωση, αρχικά κλείνει η πύλη ενεργοποίησης και στη συνέχεια ανοίγει η πύλη αδρανοποίησης, καθώς ο διάυλος επιστρέφει στην κατάσταση ηρεμίας (1).



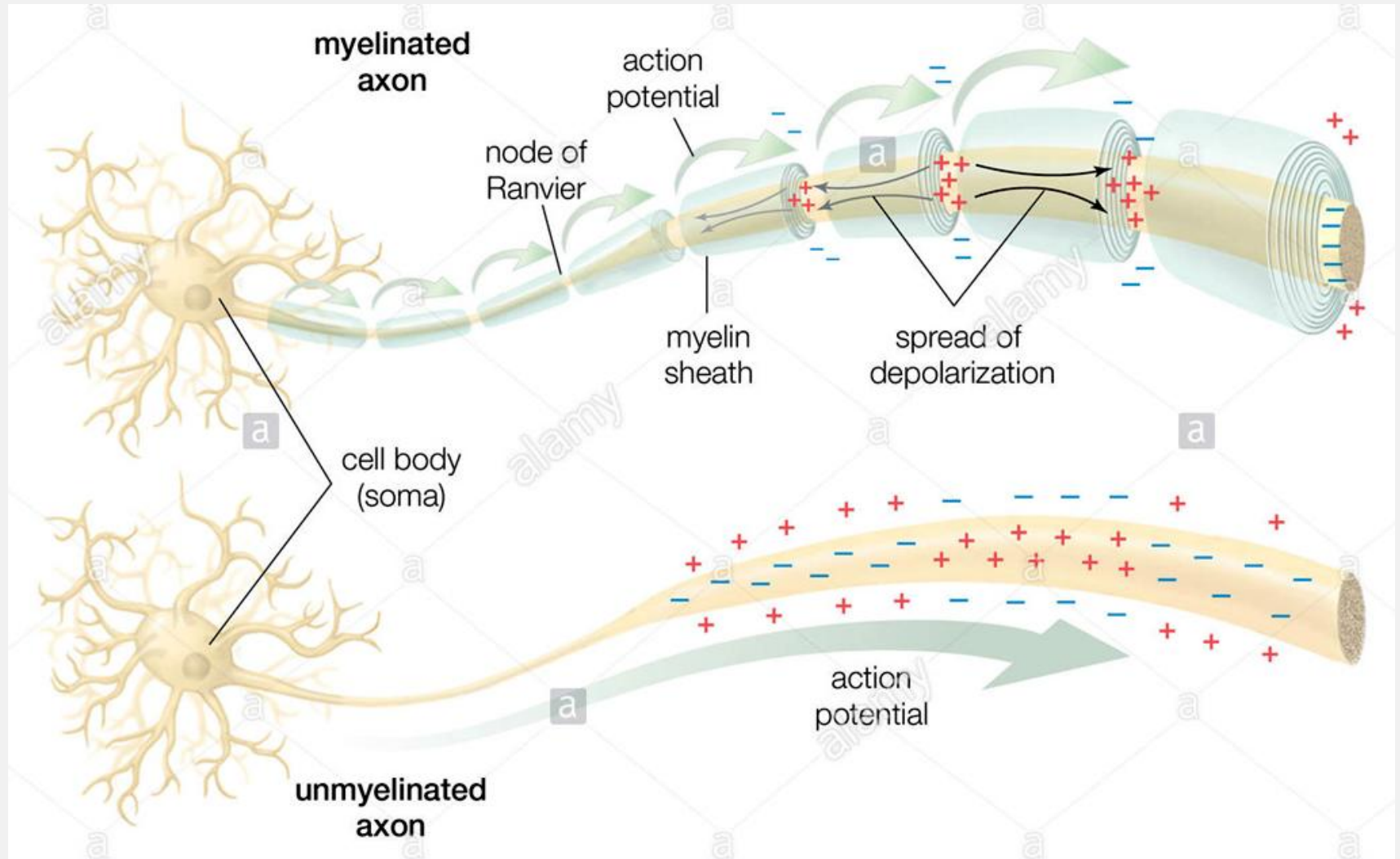
Δυναμικό ενέργειας – Ανερέθιστη περίοδος



Key:

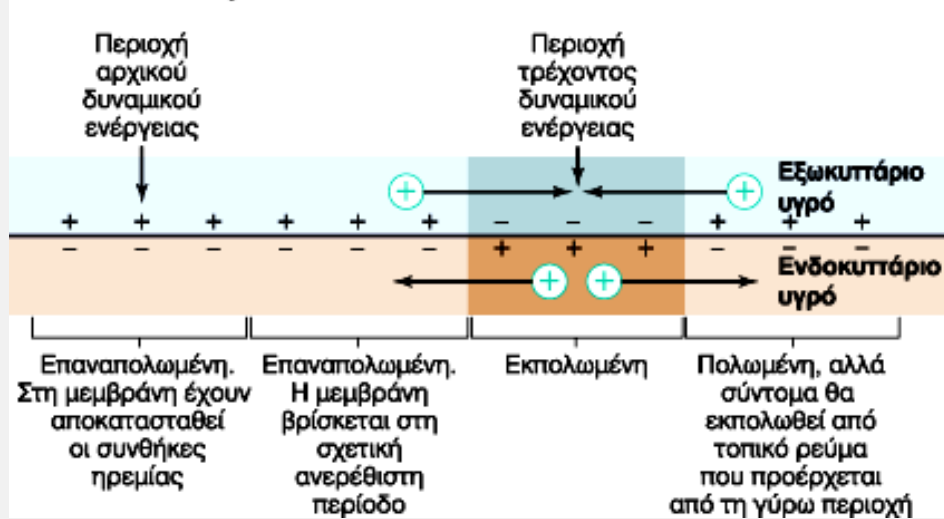
- Resting membrane potential: Voltage-gated Na^+ channels are in the resting state and voltage-gated K^+ channels are closed
 - Stimulus causes depolarization to threshold
 - Voltage-gated Na^+ channel activation gates are open
 - Voltage-gated K^+ channels are open; Na^+ channels are inactivating
 - Voltage-gated K^+ channels are still open; Na^+ channels are in the resting state
- Absolute refractory period
- Relative refractory period

Διάδοση Δυναμικού Ενέργειας

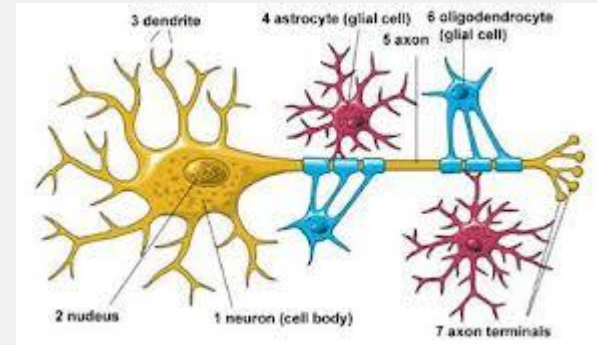


Δυναμικό ενέργειας σε αμύελο άξονα

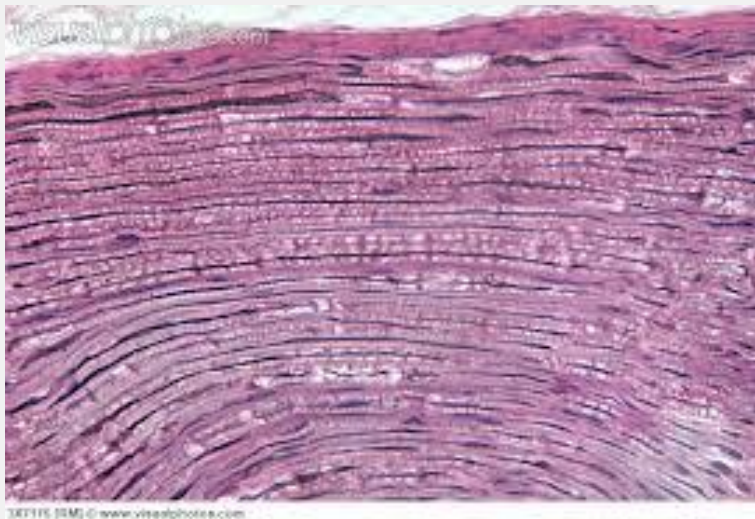
Κατεύθυνση διάδοσης
δυναμικού ενέργειας



Διάδοση Δυναμικού Ενέργειας



Δυναμικό ενέργειας σε εμύελο άξονα



3&7115 2&85 © www.vivaabphoto.com

