



Βιοϊατρική τεχνολογία

Ενότητα 3: Μεμβράνες - Ηλεκτρικά δυναμικά, Νευρικό & μυϊκό σύστημα

Αν. καθηγητής Αγγελίδης Παντελής

e-mail: paggelidis@uowm.gr

ΕΕΔΙΠ Μπέλλου Σοφία

e-mail: sbellou@uowm.gr

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σκοπός (1/2)

- Χαρακτηριστικά κυτταρικής μεμβράνης.
- Απλή και διευκολυνόμενη διάχυση.
- Ηλεκτροχημική ισορροπία και η εξίσωση Nernst.
- Ηλεκτρικά κυκλώματα και ενεργά δυναμικά.
- Το νευρικό σύστημα.
- Μορφή βιολογικού σήματος.
- Μεταφορά του σήματος.



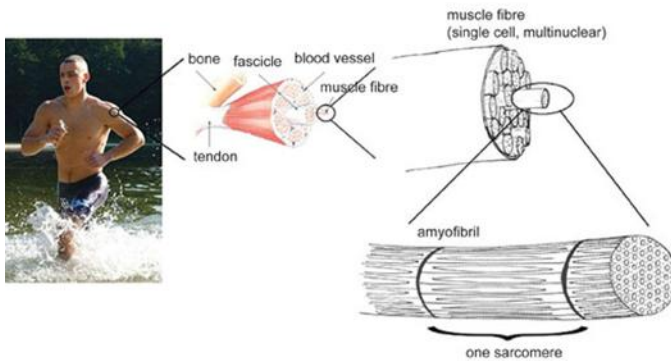
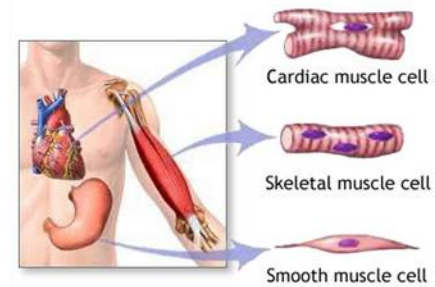
Σκοπός (2/2)



Μελέτη της φυσιολογίας και της λειτουργίας μετρήσιμων βιοσημάτων του ανθρώπου.



Μεμβράνες - Ηλεκτρικά δυναμικά, Νευρικό & μυϊκό σύστημα



Σοφία Μπέλλου, sbellou@uowm.gr



Βιοσήμα \equiv Βιολογικό σήμα (1/3)



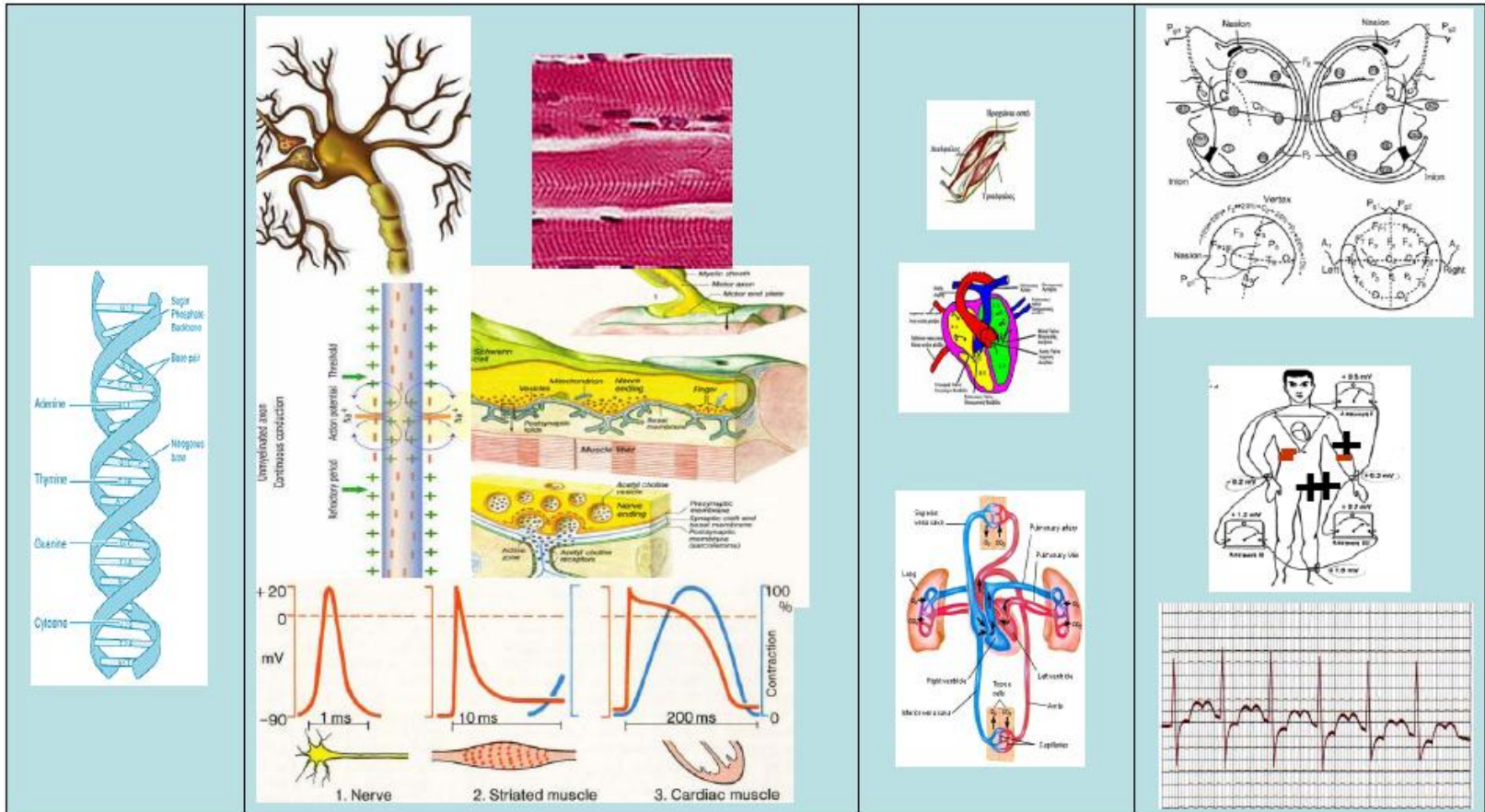
- Χρησιμοποιείται στη βιοϊατρική για την εξαγωγή πληροφορίας για το υπό εξέταση βιολογικό σύστημα.
- Περιέχει χρήσιμες πληροφορίες για την κατανόηση των σύνθετων παθοφυσιολογικών μηχανισμών ενός ζωντανού οργανισμού.
 - π.χ. καρδιακός ρυθμός, αρτηριακή πίεση, διέγερση μυών, διέγερση εγκεφάλου.

Βιοσήμα \equiv Βιολογικό σήμα (2/3)

- **Βιοσήματα:** Οι έξοδοι βιολογικών διεργασιών σε κάθε ζωντανό οργανισμό.
- Αυτά τα σήματα μπορεί να είναι:
 - **Ηλεκτρικά**, όπως η εκπόλωση μιας νευρικής ή μυϊκής κυτταρικής μεμβράνης.
 - **Μηχανικά**, όπως η πίεση αίματος στο κυκλοφορικό σύστημα.
 - **Χημικά**, όπως οι συγκεντρώσεις διαφόρων ιόντων, όπως το ασβέστιο και το κάλιο, στα κύτταρα.



Βιοσήμα \equiv Βιολογικό σήμα (3/3)



DNA

CELLULAR PROCESSES

ORGAN

SIGNAL

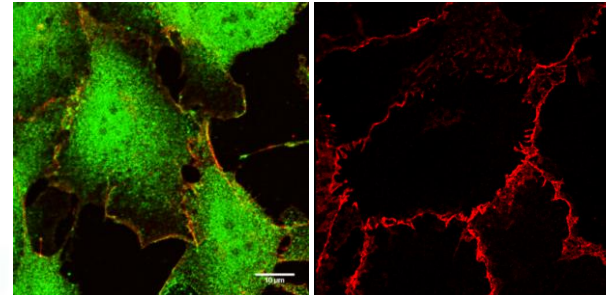
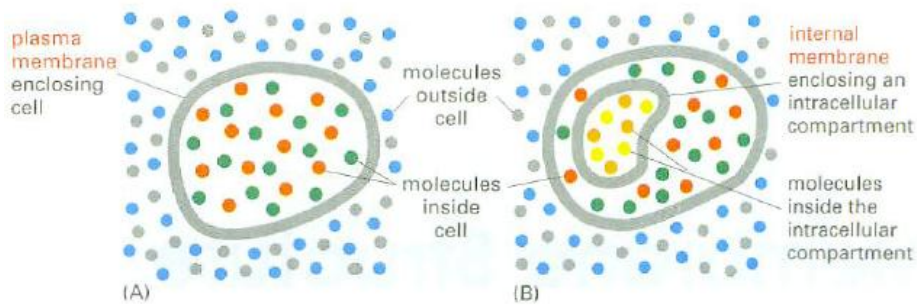


Δομή διάλεξης

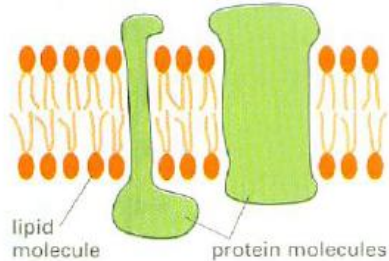
- Κύτταρο – Κυτταρική μεμβράνη.
- Νευρικό σύστημα – Νευρώνες.
- Ιδιότητες και μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων σε νευρώνες και ζωντανούς ιστούς.
- Το δυναμικού δράσης και οι διαδικασίες αποπόλωσης και επαναπόλωσης της μεμβράνης κατά τη μετάδοσή του.



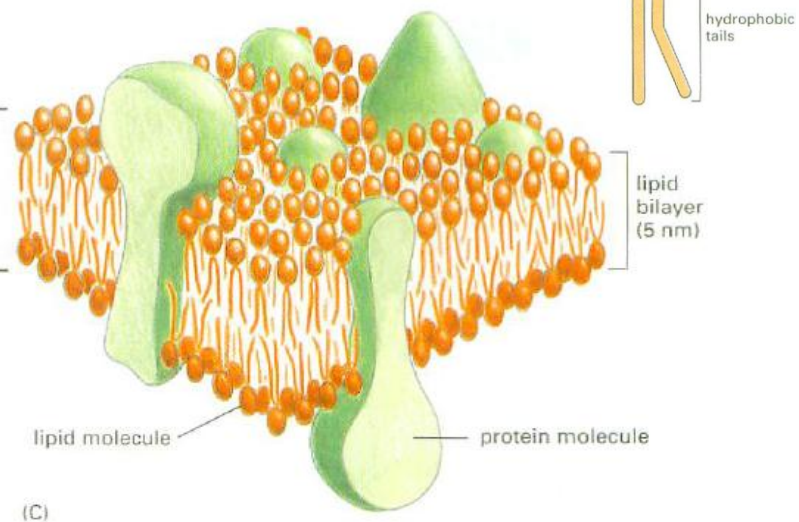
Η κυτταρική μεμβράνη



(A)



(B)

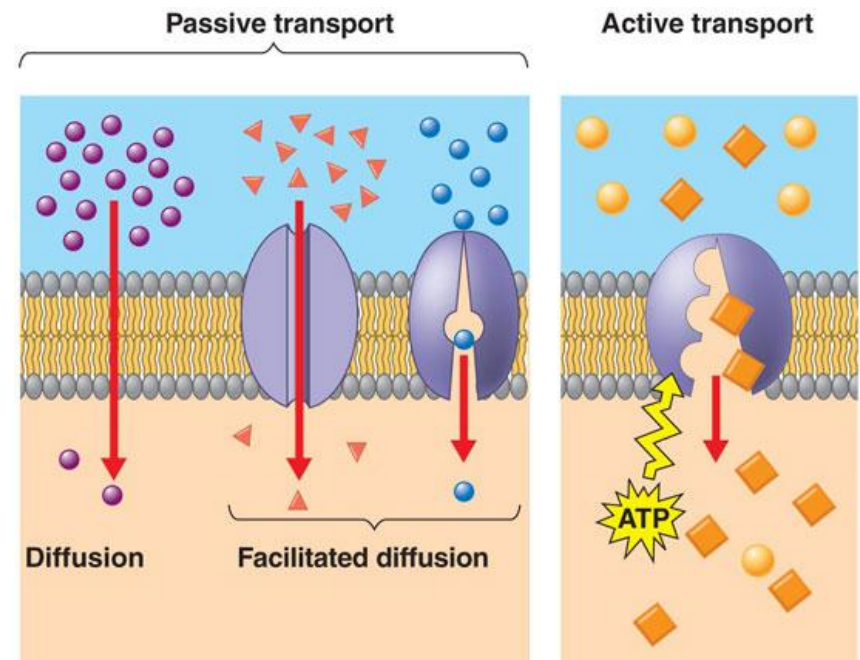


(C)



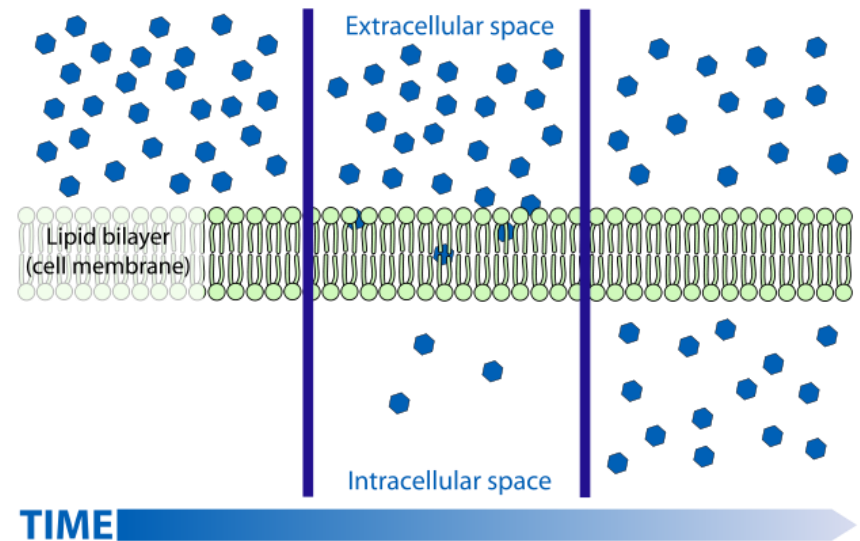
Είδη διαμεμβρανικής μεταφοράς

- Απλή διάχυση – Simple diffusion.
- Διευκολυνόμενη διάχυση – Facilitated diffusion.
- Ενεργός μεταφορά – Active transport.



Απλή διάχυση - Simple diffusion

- Μικρά μη πολικά μόρια (O_2 , CO_2) διαλύονται εύκολα σε λιπιδιακές διπλοστοιβάδες.
- Μη φορτισμένα πολικά μόρια (νερό-18, αιθανόλη-44) διαχέονται πολύ γρήγορα ενώ ή λίγο μεγαλύτερη γλυκερόλη (92 daltons) διαχέεται πιο αργά.
- Η γλυκόζη (144 daltons) δεν διαχέεται καθόλου διαμέσου της μεμβράνης.



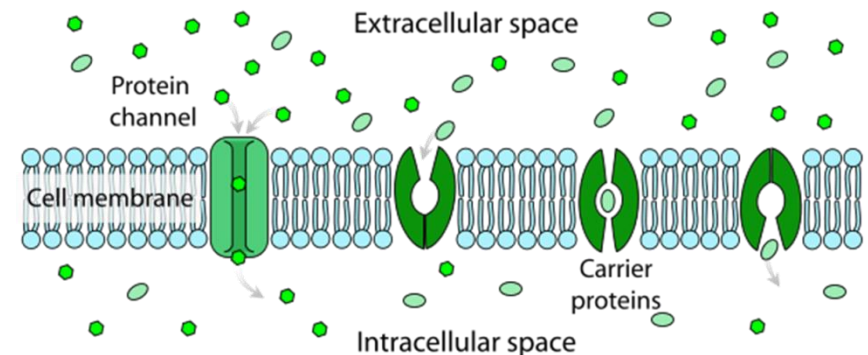
Η κυτταρική μεμβράνη δεν είναι διαπερατή από...

- 1. Ιόντα και φορτισμένα μόρια ανεξάρτητα του μεγέθους τους, όπως:**
 - K^+ , Na^+ , Ca^{2+} {ονομάζονται κατιόντα-cations καθώς όταν βρίσκονται σε ηλεκτρικό πεδίο κατευθύνονται προς την κάθοδο (αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο)}.
 - Cl^- , HCO_3^- (ονομάζονται ανιόντα-anions καθώς όταν βρίσκονται σε ηλεκτρικό πεδίο κατευθύνονται προς την άνοδο (θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο)).
- 2. Μεγάλα υδρόφιλα μόρια, όπως η γλυκόζη (glucose).**
- 3. Μακρομόρια, όπως οι πρωτεΐνες και το RNA.**



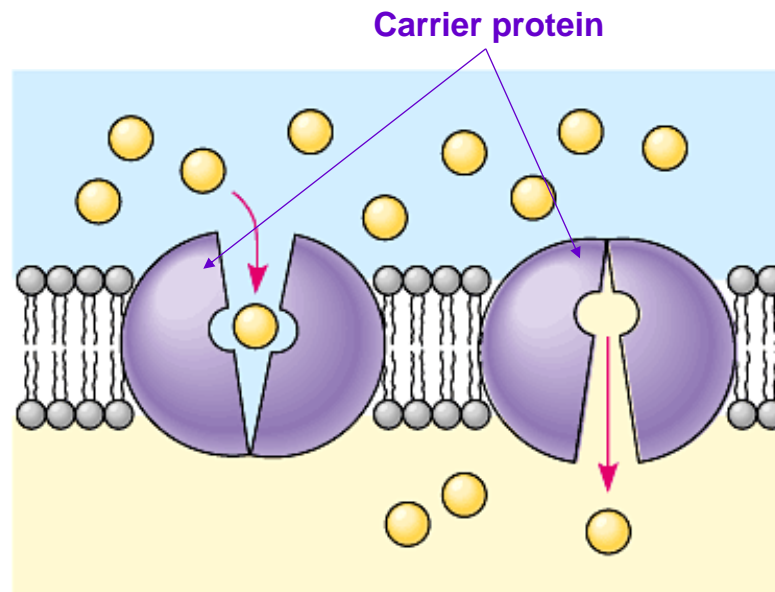
Διευκολυνόμενη διάχυση - Facilitated diffusion

- Κίνηση από την υψηλότερη στη χαμηλότερη συγκέντρωση, άρα δεν απαιτείται ενέργεια.
- Τα ιόντα και τα περισσότερα μεγάλα μόρια δεν μπορούν να διαχυθούν. Πρέπει να περάσουν μέσω των πρωτεϊνικών πόρων. Π.χ. γλυκόζη – αμινοξέα.
- Η μετακίνηση αυτών των μορίων εξαρτάται από πρωτεΐνες μεμβρανικής μεταφοράς.



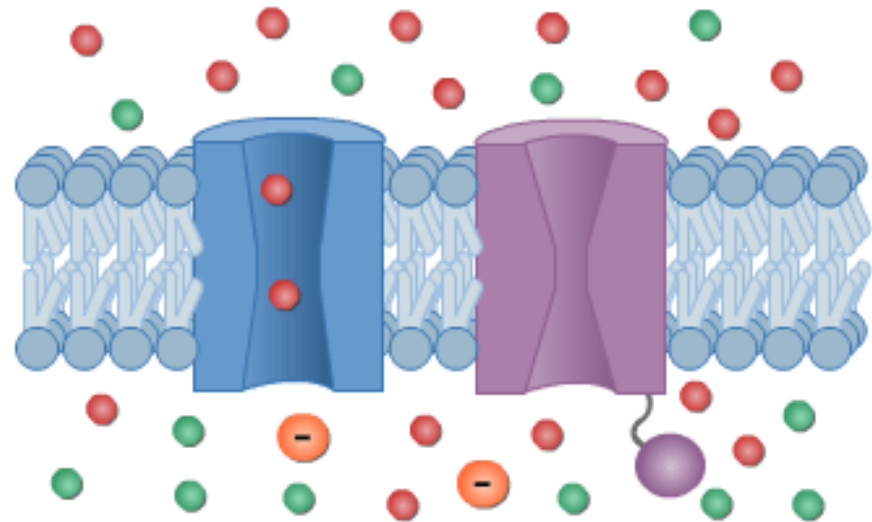
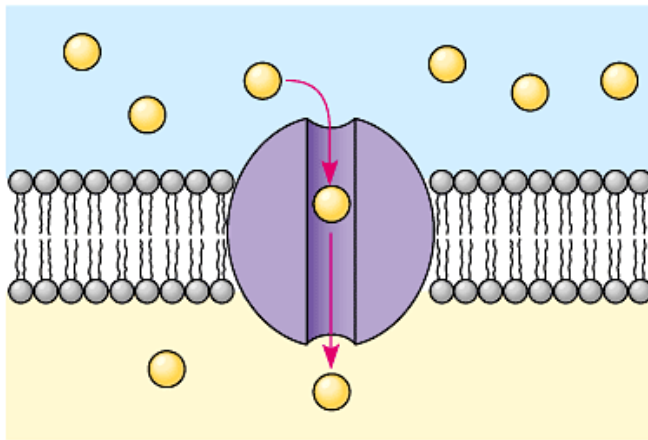
Πρωτεΐνες μεμβρανικής μεταφοράς – Πρωτεΐνες φορείς

Πρωτεΐνες φορείς (Carrier proteins): Προσδένουν ένα υδατοδιαλυτό μόριο στη μία πλευρά της μεμβράνης και το απελευθερώνουν στην άλλη πλευρά.



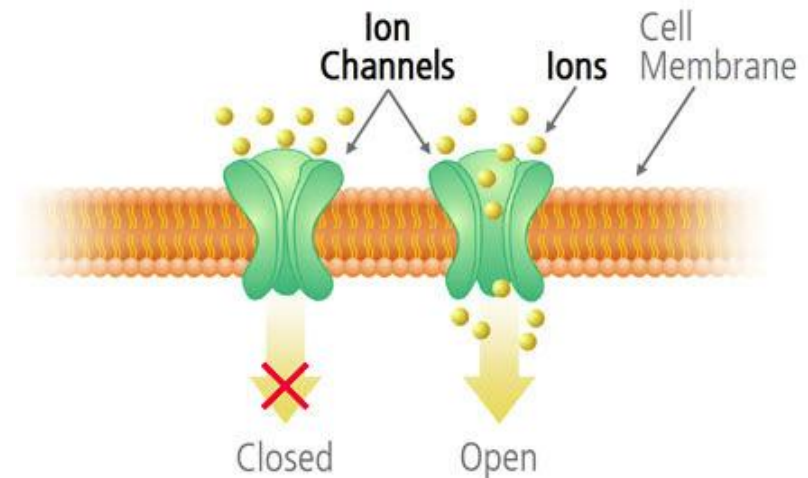
Πρωτεΐνες μεμβρανικής μεταφοράς – Πρωτεΐνες διάυλοι

Πρωτεΐνες διάυλοι: Σχηματίζουν μικρούς υδρόφιλους πόρους στη μεμβράνη, μέσω των οποίων διαχέονται τα διαλυτά μόρια.



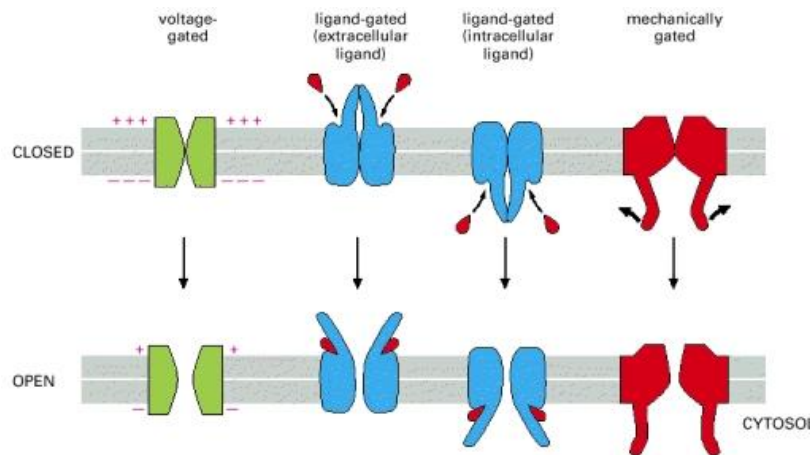
Ιοντικοί Δίαυλοι (Ion channels)

- Σχηματίζουν υδρόφιλους πόρους που επιτρέπουν την παθητική μετακίνηση μικρών υδατοδιαλυτών μορίων μέσα και έξω από το κύτταρο.
- Μεταφορείς των ανόργανων ιόντων Na^+ , K^+ , Cl^- και Ca^{2+} .
- **Ταχύτητα:** Σε **1 δευτερόλεπτο**, περισσότερο από **1 εκατομμύριο** ιόντα μπορούν να διέλθουν από ένα δίαυλο. 1000 φορές ταχύτερη μεταφορά συγκριτικά με οποιαδήποτε πρωτεΐνη – φορέα.



Η διάνοιξη και η σύγκλειση των διαύλων

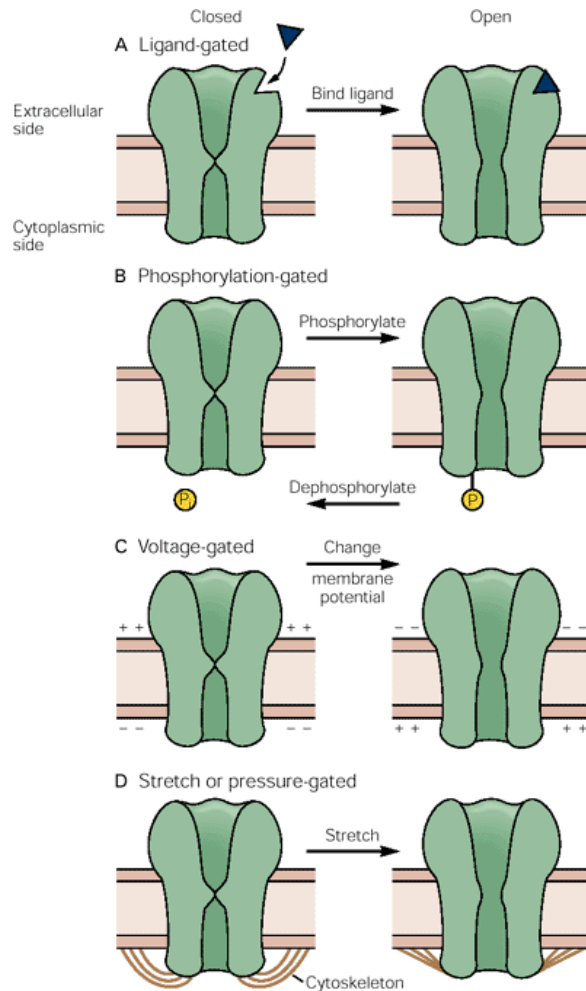
- **Εξάρτηση από το δυναμικό της μεμβράνης** - Δίαυλοι ελεγχόμενοι από την τάση – Τασοεξαρτώμενος διάυλος. Η πιθανότητα να ανοίξουν εξαρτάται από το δυναμικό της μεμβράνης του κυττάρου.
- **Εξάρτηση από χημικές μεταβολές**. Συμβαίνει όταν οι διάυλοι συνδέονται με συγκεκριμένες πρωτεΐνες και ανοίγουν.



Molecular Biology of the Cell. 4th edition. Alberts B, Johnson A, Lewis J, et al. New York: Garland Science; 2002.



Ion channels and stimuli



A. Πρόσδεση μορίου.

B. Φωσφορυλίωση
(προσθήκη φωσφορικής
ομάδας).

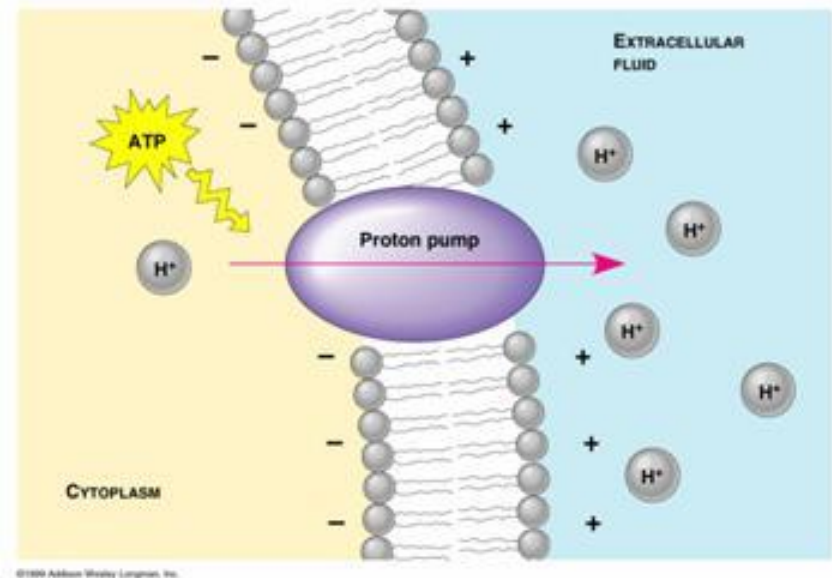
C. Μεταβολές
μεμβρανικού
δυναμικού.

D. Μηχανικό στρες.



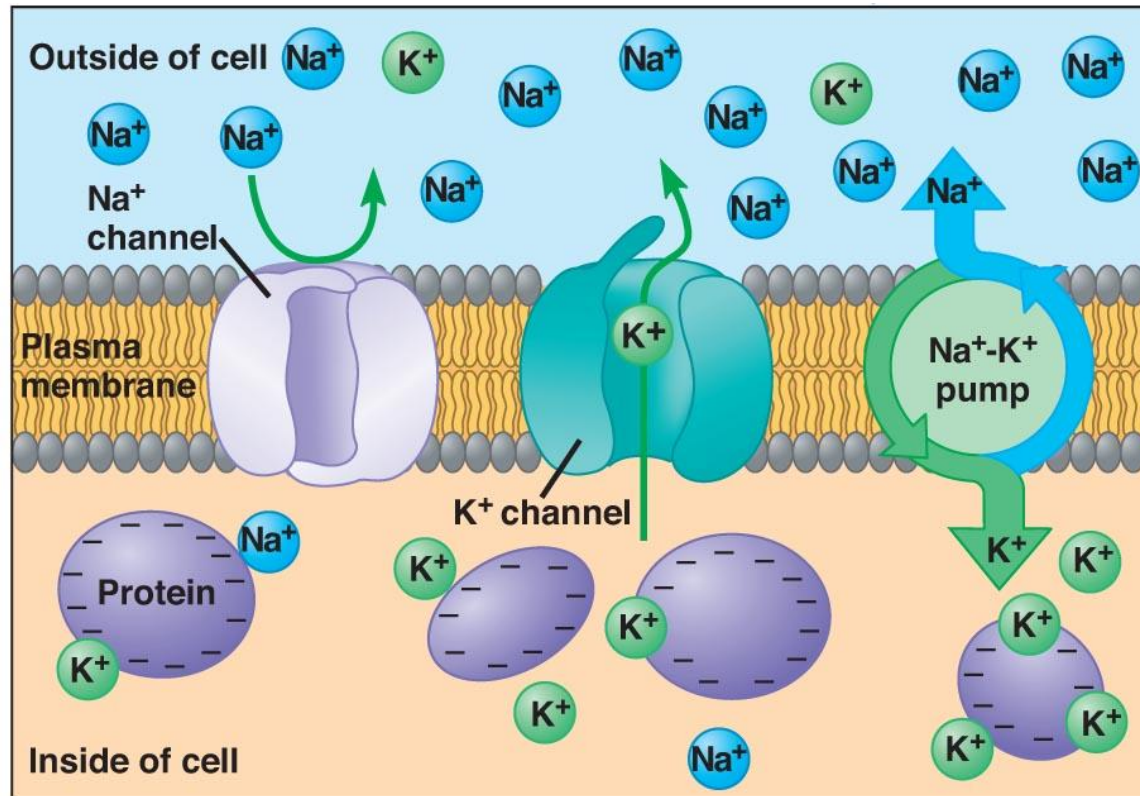
Ενεργός μεταφορά – Active transport

- Κίνηση μορίων **αντίθετα** από τη βαθμίδωση της συγκέντρωσης (από χαμηλή σε υψηλή).
- Δεν μπορούν να μεταφερθούν ούτε με απλή ούτε με διευκολυνόμενη διάχυση.
- Η μετακίνηση γίνεται με έναν μηχανισμό που ονομάζεται **ενεργός μεταφορά (active transport)**.
- Ονομάζεται ενεργός μεταφορά γιατί απαιτείται η κατανάλωση ενέργειας.



Δυναμικό ηρεμίας (Resting potential)

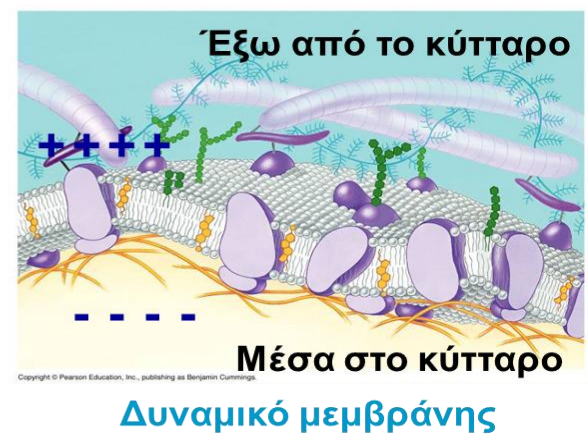
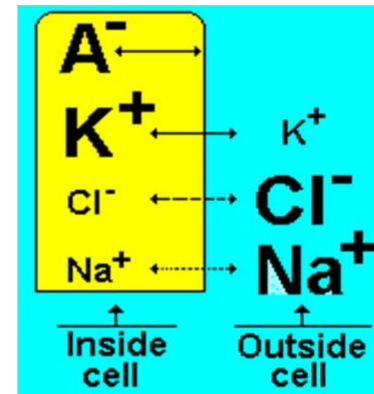
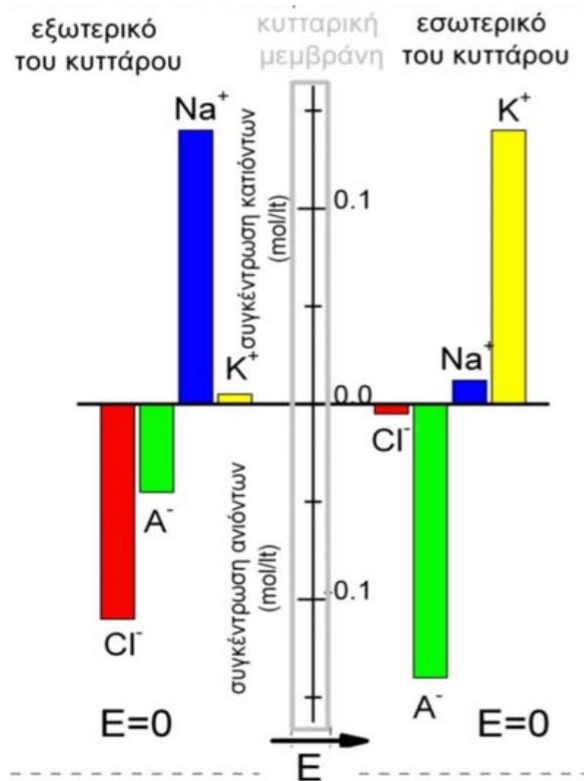
Δυναμικό ηρεμίας (Resting potential) στη μεμβράνη των ανθρώπινων κυττάρων.



Copyright © 2009 Pearson Education, Inc.



Πόλωση κυτταρικής μεμβράνης

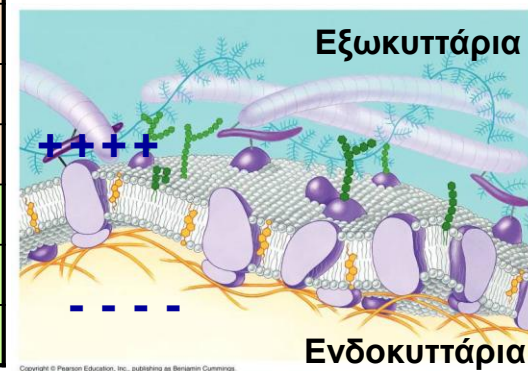
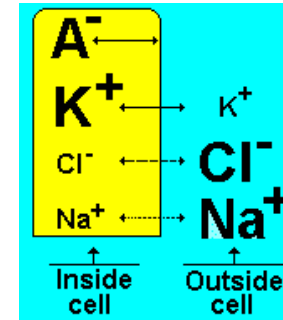


Οι συγκεντρώσεις ιόντων είναι πολύ διαφορετικές μέσα και έξω από το κύτταρο.



Ιοντική σύσταση των κυττάρων

Συστατικό	Ενδοκυττάρια συγκέντρωση (mM)	Εξωκυττάρια συγκέντρωση (mM)
Κατιόντα		
Na ⁺	5-15	145
K ⁺	140	5
Mg ²⁺	0.5	1-2
Ca ²⁺	10 ⁻⁷	1-2
H ⁺	7x10 ⁻⁵	4x10 ⁻⁵
Ανιόντα		
Cl ⁻	5-15	110
Μόνιμα ανιόντα	Υψηλή	0

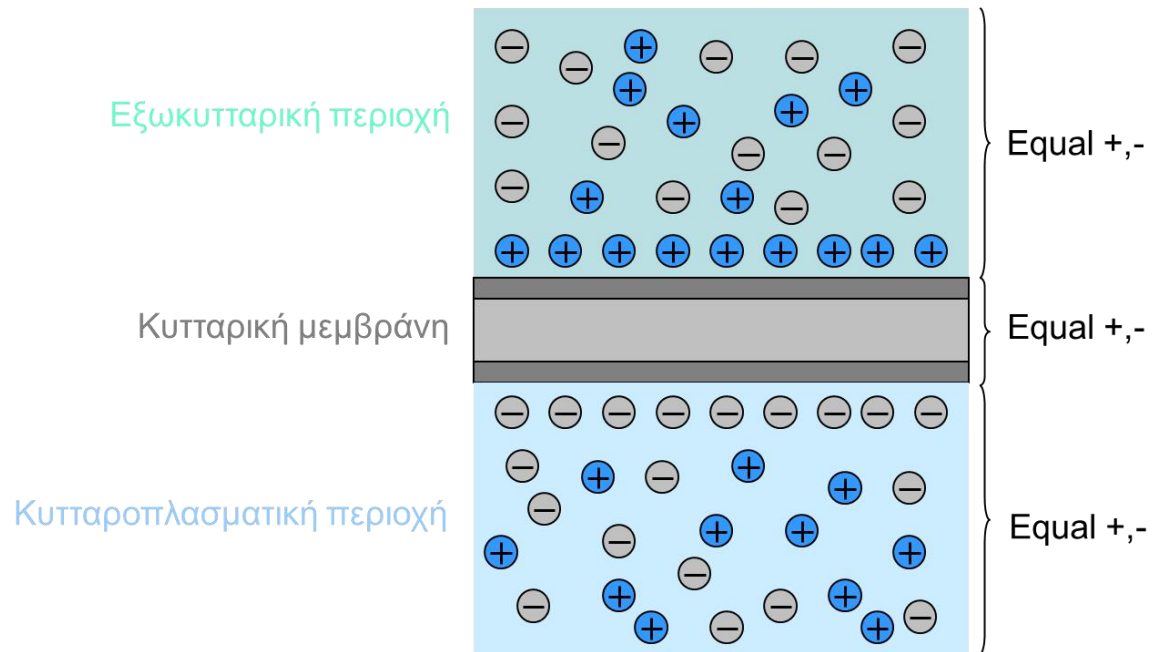
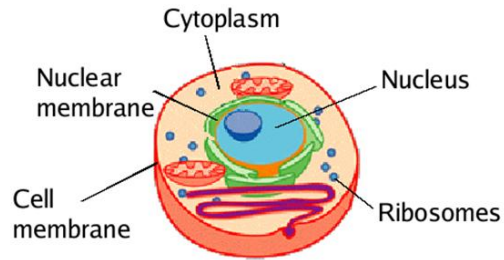


Δυναμικό μεμβράνης

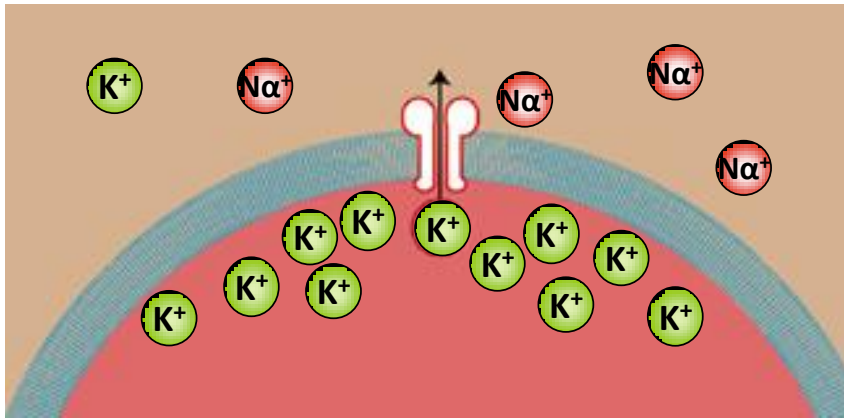
- Οι συγκεντρώσεις ιόντων είναι πολύ διαφορετικές μέσα και έξω από το κύτταρο.



Κατανομή ιόντων μέσα και έξω από το κύτταρο

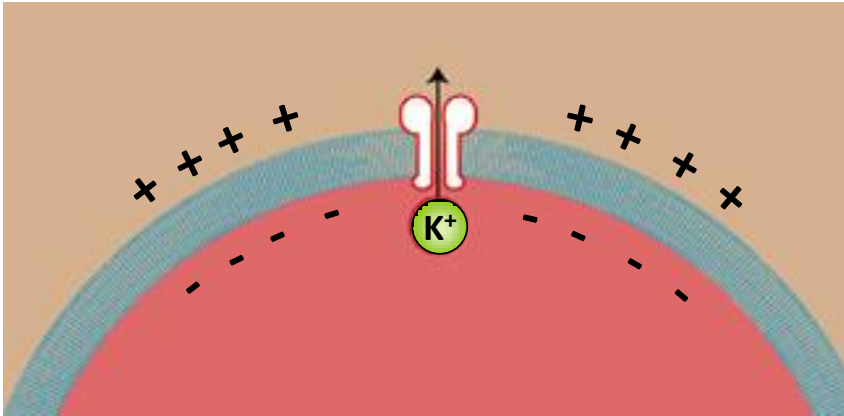


Έστω κίνηση μόνο K^+ μέσω της κυτταρικής μεμβράνης...



- Οι διάυλοι ιόντων είναι διαπερατοί μόνο από ιόντα Καλίου.
- Υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις K^+ μέσα στο κύτταρο και υψηλές συγκεντρώσεις Na^+ έξω από το κύτταρο.
- Τα ιόντα K κινούνται έξω από το κύτταρο (από υψηλή σε χαμηλή συγκέντρωση).
- Πλεόνασμα θετικών ιόντων έξω από το κύτταρο, πλεόνασμα αρνητικών ιόντων στο εσωτερικό του κυττάρου.

Έστω κίνηση μόνο K^+ μέσω της κυτταρικής μεμβράνης

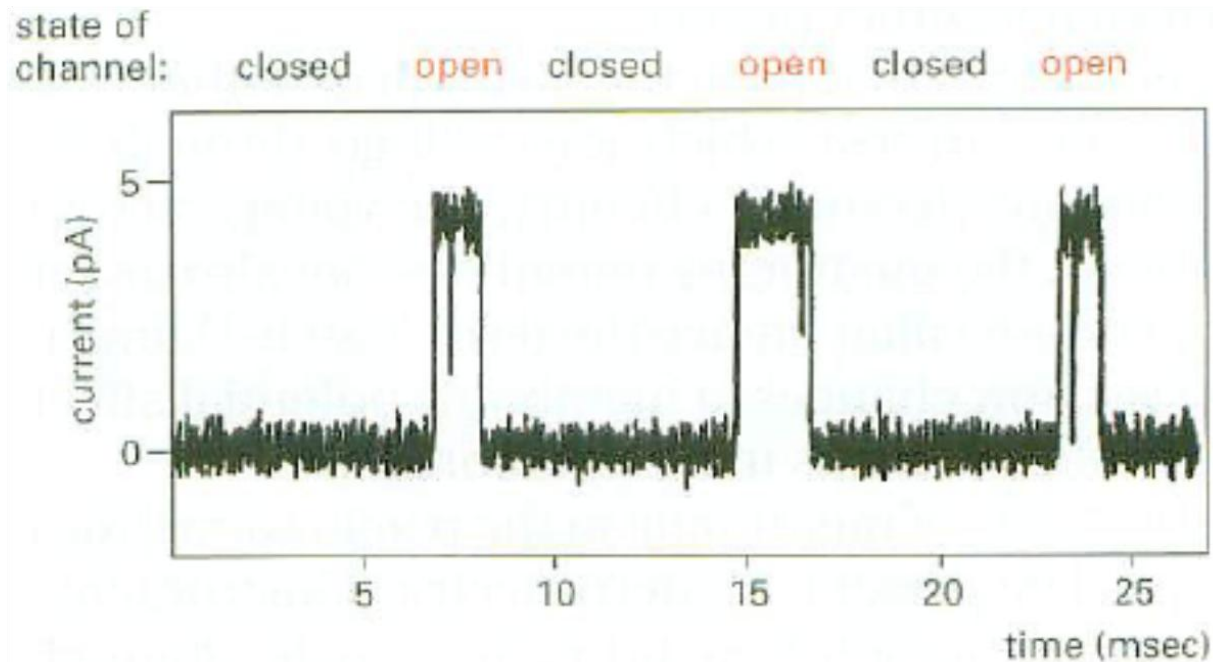


- Συσσώρευση θετικών και αρνητικών φορτίων εκατέρωθεν της μεμβράνης.
- Δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου.
- Το πλεόνασμα θετικών φορτίων στο εξωτερικό εμποδίζουν την περαιτέρω μετακίνηση K^+ από μέσα προς τα έξω.
- Τελική ισορροπία.

Αιτία κίνησης των ιόντων μέσα και έξω από το κύτταρο

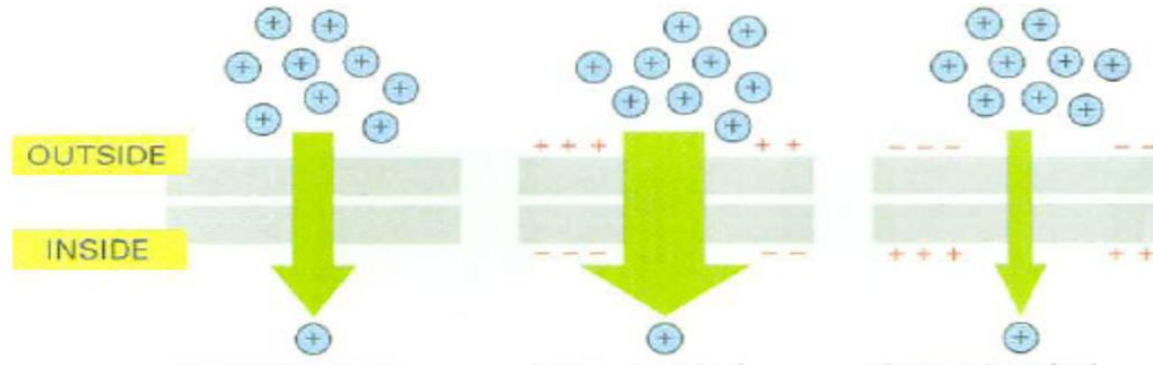
- Διαφορά στη συγκέντρωση.
- Διαφορά δυναμικού.

Καταγραφή του ρεύματος που διέρχεται από έναν και μόνο ιοντικό διάυλο



Ηλεκτροχημική βαθμίδωση

Οι ηλεκτρικές δυνάμεις και οι **βαθμιδώσεις** της συγκέντρωσης προωθούν την παθητική μεταφορά.



Ηλεκτροχημική βαθμίδωση

(δύναμη που ωθεί ένα φορτισμένο μόριο διαμέσου της μεμβράνης).

Συνισταμένη των δυνάμεων λόγω:

- Βαθμίδωσης της συγκέντρωσης.
- Διαφοράς δυναμικού μεταξύ δύο πλευρών της μεμβράνης.

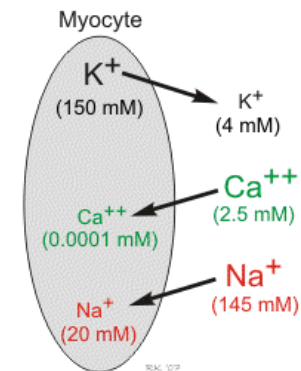


Ηλεκτροχημικό δυναμικό

- Το μέγεθος που μας επιτρέπει να συγκρίνουμε τη σχετική συμβολή ιοντικής συγκέντρωσης και ηλεκτρικού δυναμικού:

$$\Delta\mu(X) = \mu_A(X) - \mu_B(X) = RT \ln \frac{K_A^-}{K_B^-} + zF(E_{in} - E_{out})$$

$\Delta\mu$ = διαφορά ηλεκτροχημικού δυναμικού ανάμεσα στις πλευρές της κυτταρικής μεμβράνης
 R = σταθερά των ιδανικών αερίων
 T = απόλυτη θερμοκρασία
 z = αριθμός φορτίου των ιόντων
 F = σταθερά του Faraday
 $E_A - E_B$ = διαφορά δυναμικού εκατέρωθεν της μεμβράνης



$RT \ln \frac{K_A^-}{K_B^-}$: Η τάση των X^+ να κινηθούν από το A στο B λόγω της διαφοράς συγκέντρωσης

$zF(E_A - E_B)$: Η τάση των X^+ να κινηθούν από το A στο B λόγω της διαφοράς δυναμικού



Ηλεκτροχημική ισορροπία και η εξίσωση Nernst (1/2)

- Η ισορροπία επιτυγχάνεται όταν η δύναμη εξαιτίας της δημιουργίας ηλεκτρικού πεδίου γίνεται ίση με τη δύναμη εξαιτίας της βαθμίδωσης της συγκέντρωσης.

$$\Delta\mu(X) = \mu_A(X) - \mu_B(X) = RT \ln \frac{[X]_A}{[X]_B} + zF(E_A - E_B)$$

ΕΞΙΣΩΣΗ NERNST:
$$E_X = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X]_{out}^-}{[X]_{in}^-}$$

Για τα βιολογικά συστήματα:
$$E_X = \frac{60mV}{z} \log \frac{[X]_{out}^-}{[X]_{in}^-}$$



Ηλεκτροχημική ισορροπία και η εξίσωση Nernst (2/2)

Για τα βιολογικά συστήματα η **Εξίσωση Nernst**: $E_A - E_B = \frac{60mV}{z} \log \frac{[X_B]}{[X_A]}$

Δυναμικό διάχυσης των ιόντων νατρίου, Na:

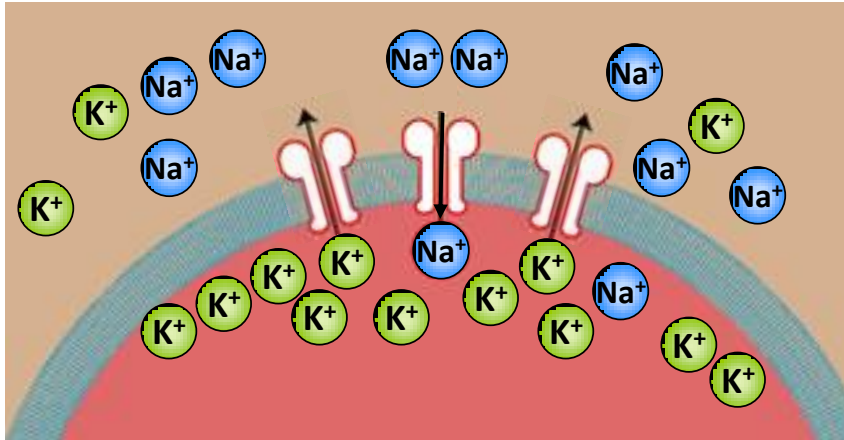
$$\frac{[X_B]}{[X_A]} = \frac{120}{9.2} = 13.04 \quad \longrightarrow \quad E_A - E_B \approx 67mV$$

Δυναμικό διάχυσης των ιόντων καλίου, K:

$$\frac{[X_B]}{[X_A]} = \frac{5.0}{141} = 0.0355 \quad \longrightarrow \quad E_A - E_B \approx -89mV$$



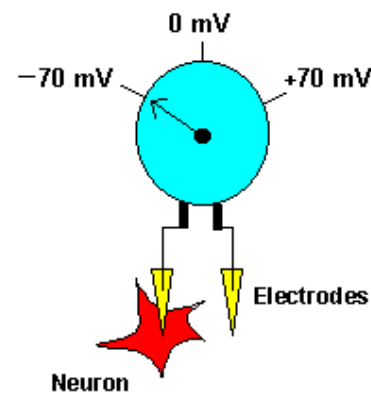
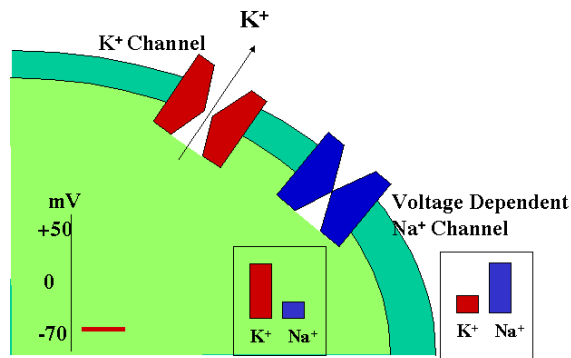
Έστω κίνηση κυρίως K^+ αλλά και λίγων Na^+ μέσω της κυτταρικής μεμβράνης...



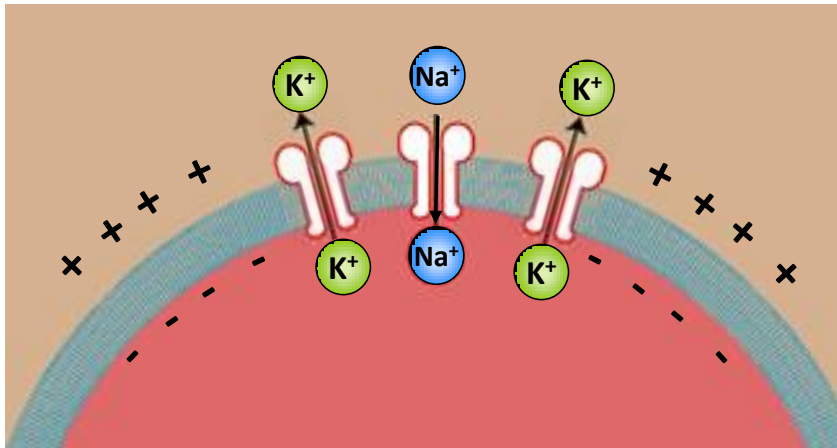
- Λίγοι διάυλοι Na^+ είναι ανοιχτοί.
- Τα ιόντα Na^+ δέχονται δύο δυνάμεις:
 - Από το αρνητικό φορτίο του εσωτερικού του κυττάρου (φορά προς το εσωτερικό του κυττάρου).
 - Από την αυξημένη συγκέντρωσή τους στο εξωτερικό του κυττάρου (φορά προς το εσωτερικό του κυττάρου).

Κατάσταση ηρεμίας (1/2)

- Τελικά η κατάσταση ηρεμίας χαρακτηρίζεται από μία τιμή διαφοράς δυναμικού πολύ διαφορετικό από το δυναμικό διάχυσης των Na^+ και οριακά πιο θετικό από το δυναμικό διάχυσης των K^+
- Το εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικά φορτισμένο ενώ το εξωτερικό του κυττάρου είναι θετικά φορτισμένο.
- Ανάλογα με τον τύπο του κυττάρου το **δυναμικό ηρεμίας** κυμαίνεται από **50-100mV** σε μυϊκά και νευρικά κύτταρα.
- $V_x = V_{in} - V_{out} \approx -70\text{mV}$



Ο ρόλος της αντλίας Na^+-K^+ (1/2)

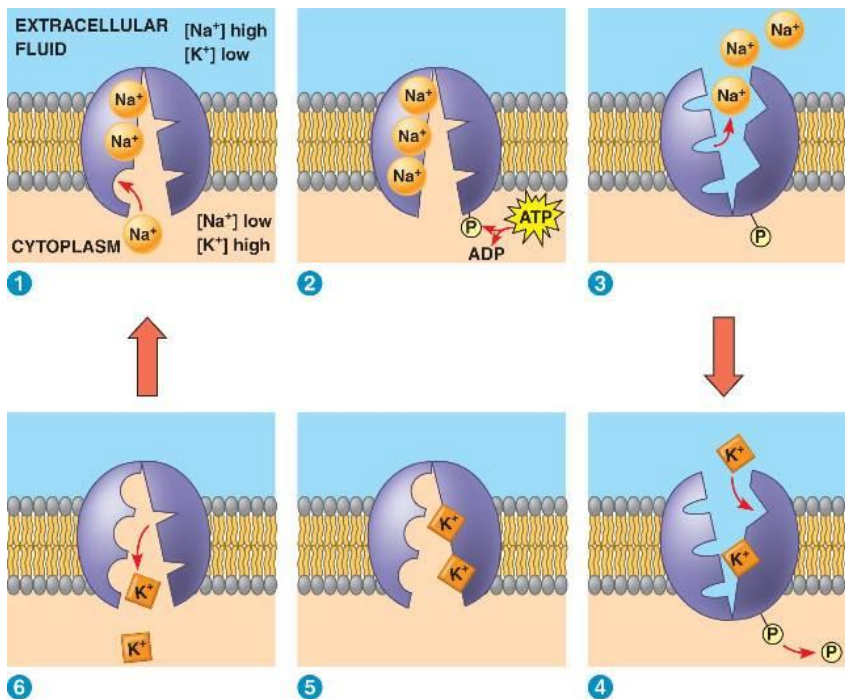


- Το δυναμικό ηρεμίας (-60mV) δεν είναι ούτε ίσο με το δυναμικό διάχυσης K^+ (-89mV) ούτε ίσο με το δυναμικό διάχυσης Na^+ ($+67\text{mV}$).
- Θα περίμενε κανείς να συνεχιζόταν η έξοδος K^+ και η είσοδος Na^+ .
- **ΠΡΟΣΟΧΗ!!!** Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την κατάρρευση του δυναμικού ηρεμίας!!!



Ο ρόλος της αντλίας Na^+-K^+ (2/2)

- Οι συγκεντρώσεις του Na^+ στον εξωτερικό χώρο και του K^+ οφείλεται σε ένα μηχανισμό κυτταρικής μεμβράνης, ενεργού μεταφοράς ιόντων (Na^+ προς το εξωκυττάριο χώρο και ιόντων K^+ στον ενδοκυττάριο χώρο), που συνήθως αναφέρεται ως **αντλία Νατρίου-Καλίου**.

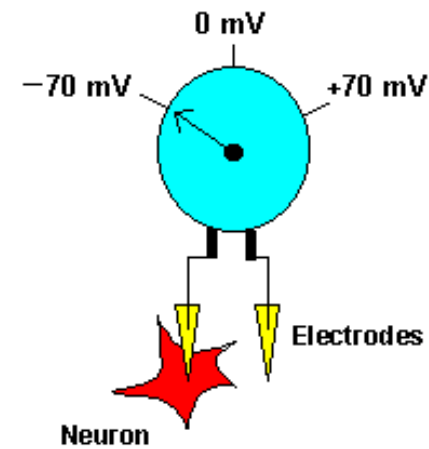
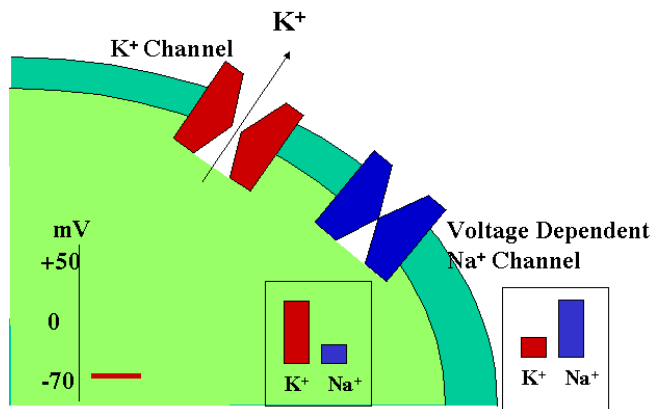


- Μετακίνηση ιόντων αντίθετα από την ηλεκτροχημική βαθμίδωση.
- Κατανάλωση ενέργειας.



Κατάσταση ηρεμίας (2/2)

- Στο δυναμικό ηρεμίας το κύτταρο δεν βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση αλλά υπάρχει μία ισορροπία όπου:
 1. Ιόντα Na^+ εισέρχονται του κυττάρου και ιόντα K^+ εξέρχονται του κυττάρου **μέσω διαύλων** και.
 2. Ιόντα Na^+ εξέρχονται του κυττάρου και ιόντα K^+ εισέρχονται του κυττάρου **μέσω της αντλίας Na^+-K^+** .



Το δυναμικό της μεμβράνης καθορίζεται από:

- Την κατάσταση των ιοντικών διαύλων και
- από τις συγκεντρώσεις των ιόντων στο κυτταροδιάλυμα και στον εξωκυττάριο χώρο.

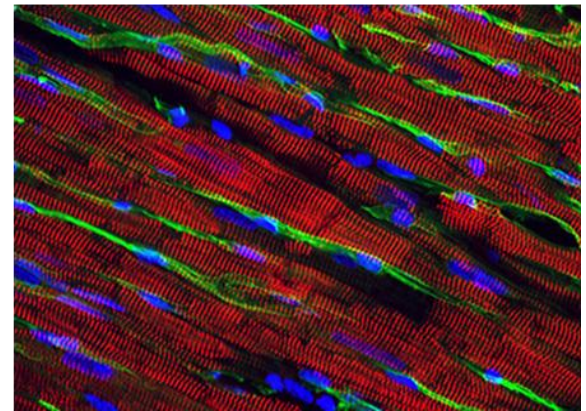
Πώς η αλληλεπίδραση μεταξύ του δυναμικού της μεμβράνης και των ιοντικών διαύλων χρησιμοποιείται για την ηλεκτρική σηματοδότηση;



Νευρικά και μυϊκά κύτταρα



Νευρικά και μυϊκά κύτταρα: Δύο είδη κυττάρων που διεγείρονται.

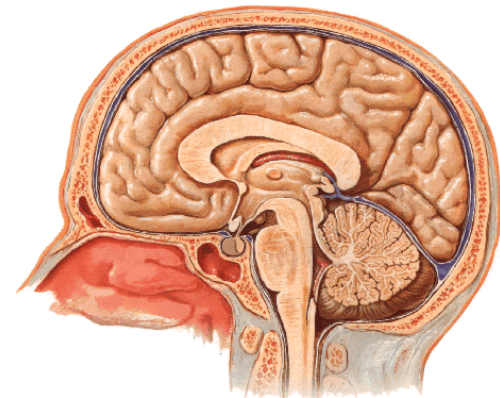


Το νευρικό σύστημα

ΔΙΚΤΥΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΣΕ ΕΝΑΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΝΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Το νευρικό σύστημα **ρυθμίζει** όλα τα άλλα συστήματα:

- Καρδιοαγγειακό σύστημα.
- Αναπνευστικό σύστημα.
- Ενδοκρινικό σύστημα.
- Αναπαραγωγικό σύστημα, κ.α.



Το νευρικό σύστημα **ανιχνεύει** τις αισθήσεις, **συντονίζει** την κίνηση και είναι το **κέντρο** της μνήμης, της συνειδητής σκέψης, των εκούσιων δραστηριοτήτων, όπως το βάδισμα και άλλων αυτόματων σωματικών λειτουργιών, όπως η έκκριση σάλιου.



Ανθρώπινο νευρικό σύστημα

Κεντρικό νευρικό σύστημα

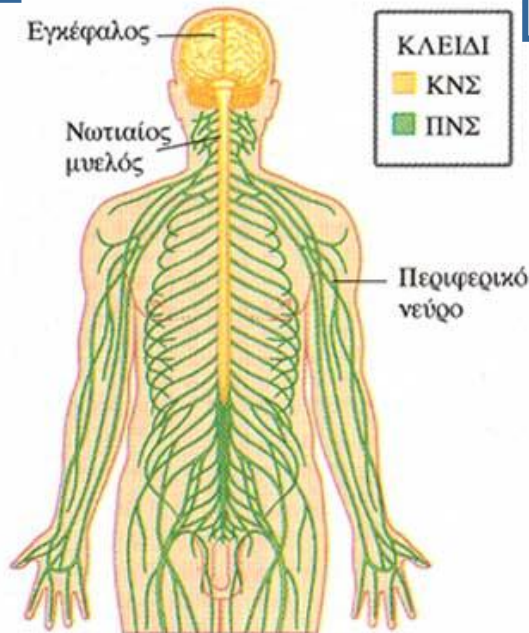
Επεξεργάζεται την πληροφορία και καθορίζει τη δράση

Εγκέφαλος
Νωτιαίος μυελός

Περιφερικό νευρικό σύστημα

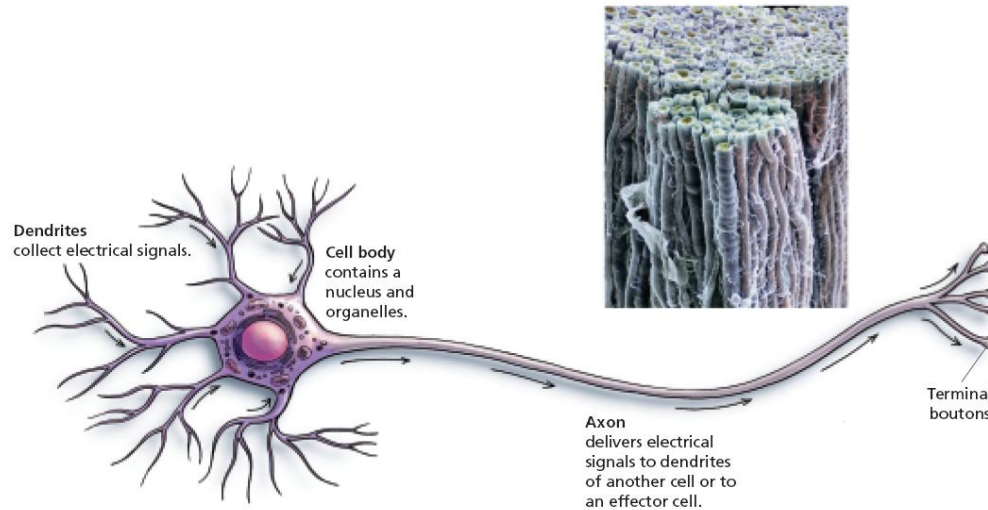
Παρέχει σημείο επαφής ανάμεσα στο κεντρικό νευρικό σύστημα και στο περιβάλλον

Εγκεφαλικά και νωτιαία νεύρα (νευρώνες) με τα γάγγλια τους



Το νευρικό κύτταρο (νευρώνας)

Το ανθρώπινο νευρικό σύστημα έχει περισσότερα από 10^{10} νευρικά κύτταρα .

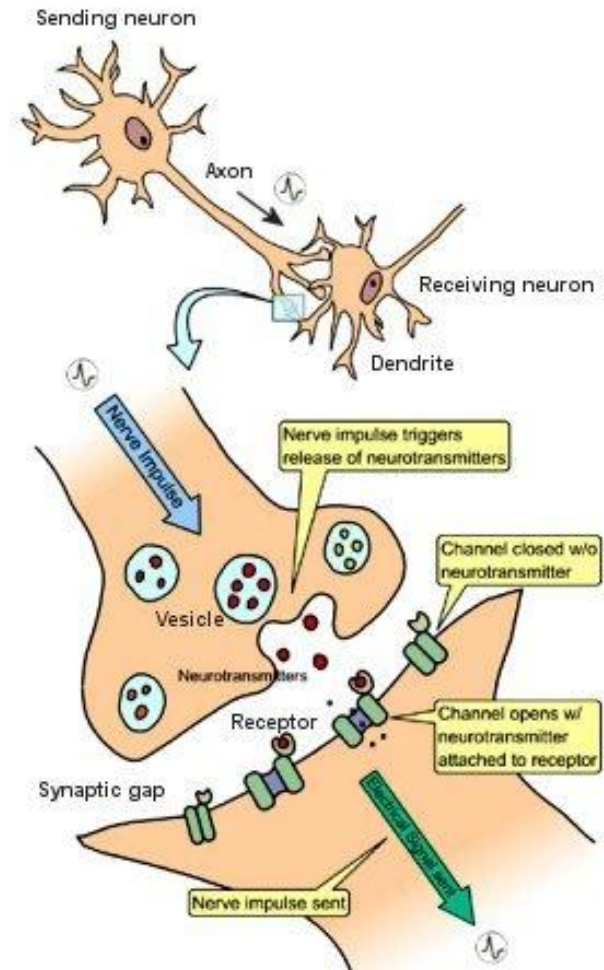


- **Κυτταρικό σώμα:** Περιέχει τον πυρήνα. Διαθέτει ιδιαίτερα ανεπτυγμένο βιοσυνθετικό εξοπλισμό για παραγωγή ενζύμων και χημικών ουσιών απαραίτητα για τις εξειδικευμένες λειτουργίες του νευρικού κυττάρου.
- **Δενδρίτες:** Εκτείνονται από το κύτταρο σαν κεραιές και δέχονται σήματα από τους άξονες άλλων νευρώνων. Μεταφέρουν το σήμα που δέχονται στον πυρήνα για επεξεργασία.
- **Άξονας:** Μεταβιβάζει το σήμα από το κυτταρικό σώμα σε απομακρυσμένα κύτταρα-στόχους. Το άκρο του διαιρείται σε πολλές διακλαδώσεις που καταλήγουν στις νευρικές απολήξεις.



Το νευρικό κύτταρο

- Το **μέγεθος** τους, ανάλογα με το είδος τους, ποικίλει από **4-140 μm**.
- Κάθε νευράξονας σχηματίζει έναν ορισμένο αριθμό επαφών (συνάψεων) με άλλους νευρώνες και κάθε νευρώνας έρχεται σε επαφή με ορισμένο αριθμό νευραξόνων.
- Ένας τυπικός νευρώνας σχηματίζει **1000-10.000 επαφές-συνάψεις** και **δέχεται πληροφορίες από 1000** περίπου άλλους νευρώνες.
- Οι νευρικές απολήξεις του νευρικού κυττάρου που φέρει το σήμα (**προσυναπτικό κύτταρο**) έρχονται σε επαφή με το **μετασυναπτικό κύτταρο**, με σκοπό τη μετάδοση της πληροφορίας.



Τι μορφή έχει ένα βιολογικό σήμα;

Κάθε σήμα-ερέθισμα:

- Ηλεκτρικό.
- Χημικό: Γεύση, φάρμακα, ναρκωτικά, οσμή.
- Μηχανικό: Αφή, πίεση, ήχος.
- Φώς (όραση).
- Θερμοκρασία (υποδοχείς ζεστού-κρύου).

έχει την ίδια μορφή:

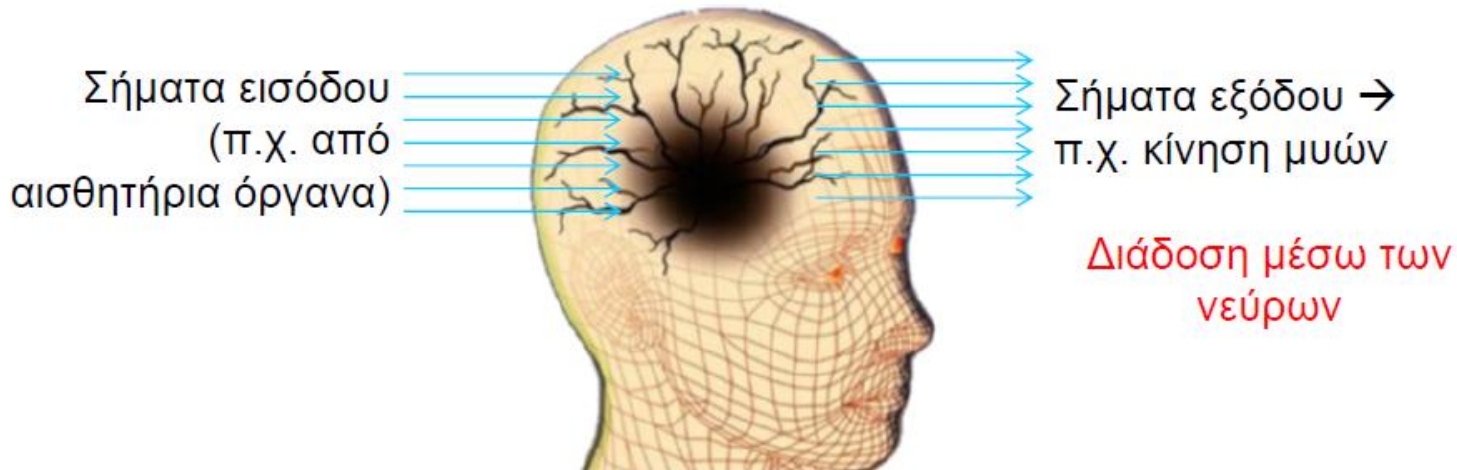
ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΗΣ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ.



Ηλεκτρισμός στο σώμα

Γιατί παράγεται ηλεκτρισμός στο σώμα;

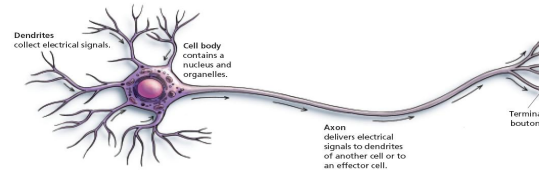
- έλεγχος της λειτουργίας
 - Νεύρων — Σήματα από και προς τα νεύρα
 - Μυών — Συστολή (σύσπασση) μυών με ηλεκτρική έλξη
 - Οργάνων — Λειτουργία του εγκεφάλου



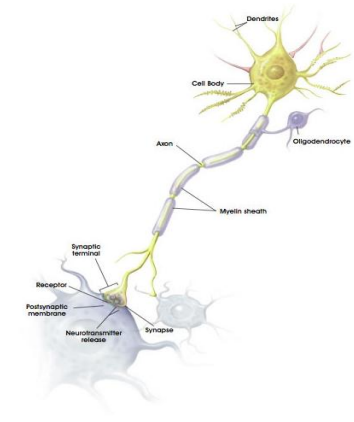
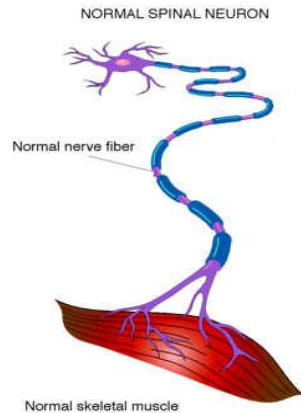
Πολύπλοκο σύστημα επικοινωνιών



Το σήμα μεταφέρεται...



1. Από τη μία άκρη του νευρικού κυττάρου στην άλλη άκρη του νευρικού κυττάρου.
2. Από ένα νευρικό κύτταρο σε ένα δεύτερο νευρικό κύτταρο.
3. Από ένα νευρικό κύτταρο σε ένα μυϊκό κύτταρο.



Μετάδοση του σήματος κατά μήκος του νευρικού κυττάρου



Μετάδοση σήματος κατά μήκος του νευρώνα

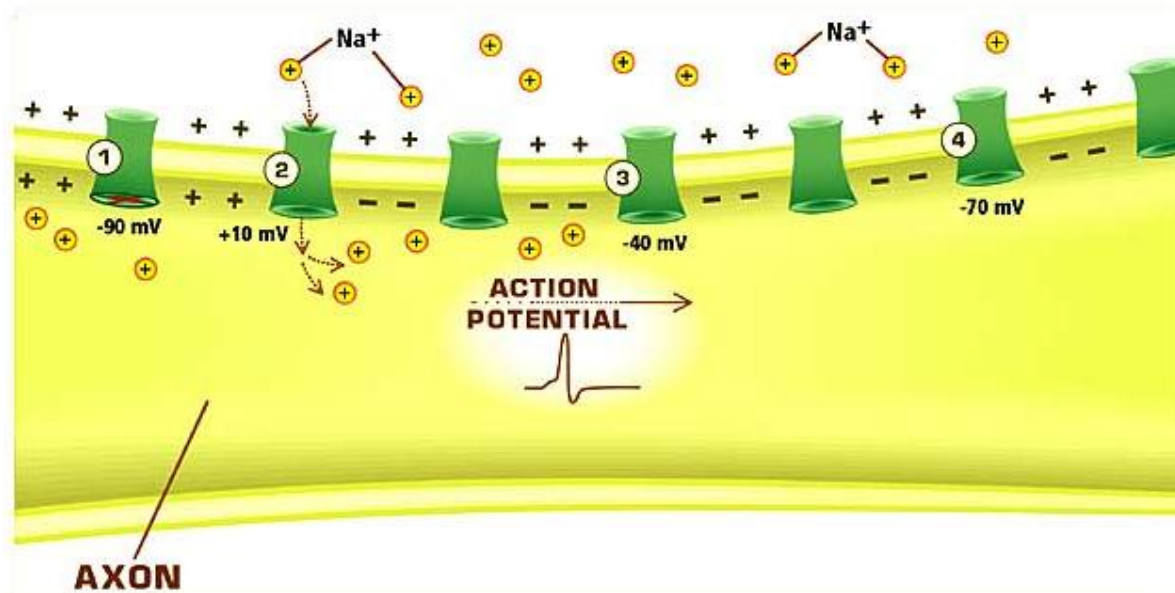
1. Ένας νευρώνας **διεγείρεται** όταν ένα σήμα (που προέρχεται από έναν άλλο νευρώνα) φθάσει σε συγκεκριμένη θέση στην επιφάνεια του.
2. Το σήμα αυτό προκαλεί μία **αλλαγή του δυναμικού** της μεμβράνης σε αυτή τη θέση.
3. Η αλλαγή του δυναμικού **μεταφέρεται** από τη συγκεκριμένη θέση στις απολήξεις του άξονα, οι οποίες θα αναμεταδώσουν το σήμα στα γειτονικά κύτταρα.

*Τα νευρικά σήματα μεταδίδονται με τα **δυναμικά ενέργειας**, που είναι ταχείς μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης*



Το δυναμικό ενέργειας (action potential) της νευρικής ίνας

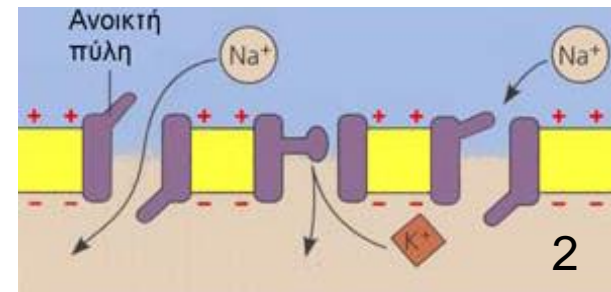
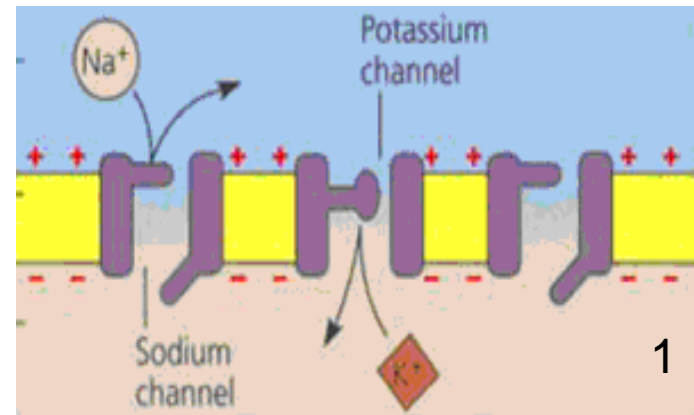
- Κάθε δυναμικό ενέργειας:
 - αρχίζει με απότομη μεταβολή του φυσιολογικού δυναμικού ηρεμίας, που είναι αρνητικό, σε θετικό και
 - τερματίζεται με εξίσου ταχεία επιστροφή, σε αρνητική τιμή δυναμικού.



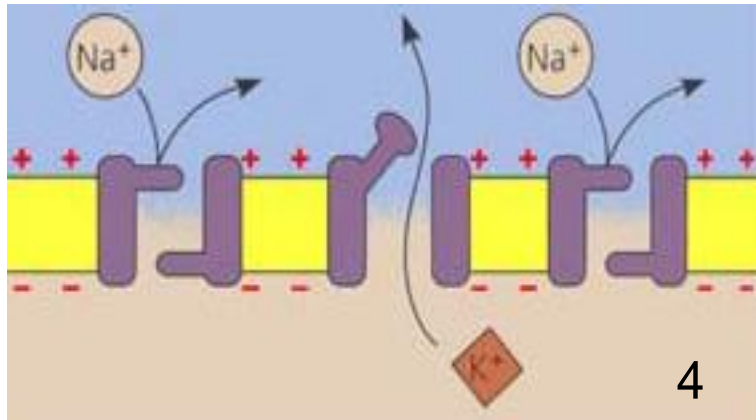
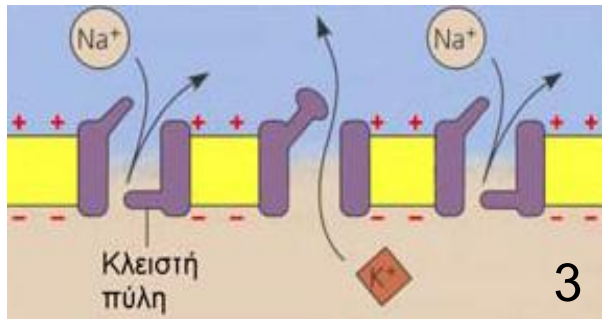
Το δυναμικό δράσης στη μεμβράνη του κυττάρου (1/3)

1. Κατάσταση ηρεμίας – Δυναμικό ηρεμίας: Τα κανάλια των ιόντων ανοιγοκλείνουν τυχαία, με πιθανότερη θέση την κλειστή θέση. Έτσι ιόντα δεν μπορούν να διαπεράσουν την κυτταρική μεμβράνη.

2. Διέγερση – Εκπόλωση (διάρκεια εκπόλωσης: 1msec): Ένα τοπικό ερέθισμα αναγκάζει μερικά κανάλια νατρίου να ανοίξουν με αποτέλεσμα ιόντα νατρίου να διαχυθούν στο εσωτερικό του κυττάρου. Το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται λιγότερο αρνητικό (εκπόλωση της μεμβράνης). Καθώς η μεμβράνη εκπολώνεται, ξεπερνώντας το δυναμικό κατωφλίου-ουδός (-50 έως -55 mV), παράγεται δυναμικό δράσης. Οι διαυλοι Na^+ μεταπίπτουν ταχύτατα σε μία ειδική αδρανή διαμόρφωση και δεν μπορούν να ανοίξουν πάλι.



Το δυναμικό δράσης στη μεμβράνη του κυττάρου (2/3)



3. Ενεργοποίηση των καναλιών καλίου: Όταν το δυναμικό ενέργειας φτάσει στο υψηλότερο σημείο ($\sim 30\text{mV}$) ενεργοποιούνται τα κανάλια καλίου. Έτσι, τα ιόντα K^+ αρχίζουν να διαρρέουν από το κύτταρο προς την κατεύθυνση της ηλεκτροχημικής τους βαθμίδωσης. Δηλαδή εξέρχονται του κυττάρου.

4. Υπερπόλωση: Ενώ οι διάυλοι νατρίου παραμένουν κλειστοί, οι πύλες καλίου αργούν να κλείσουν, με αποτέλεσμα το μεμβρανικό δυναμικό να γίνεται πιο αρνητικό από την τιμή του δυναμικού ηρεμίας.

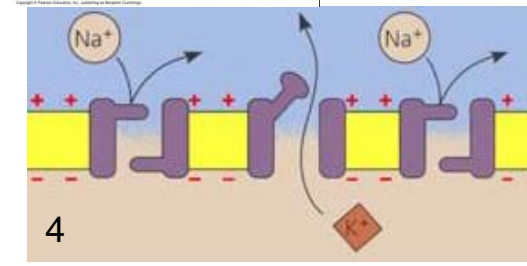
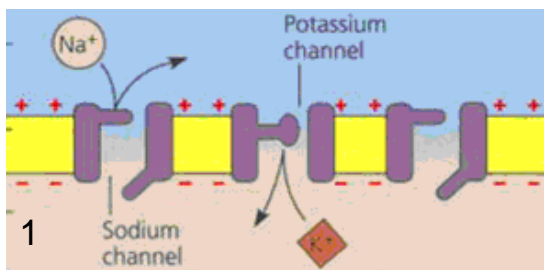
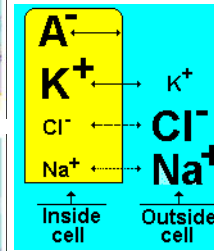
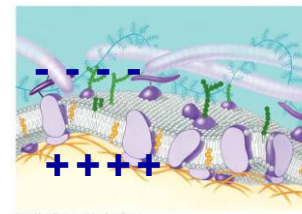
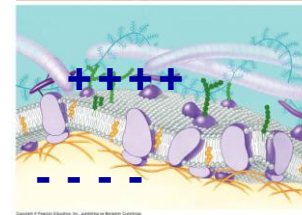
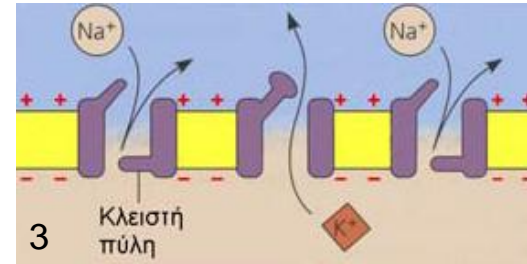
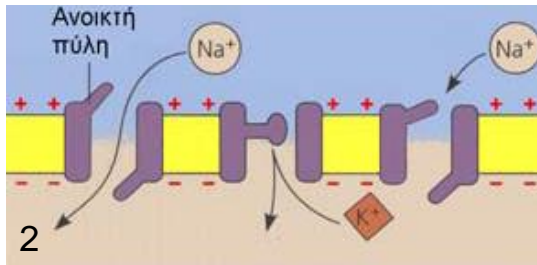


Οι όροι εκπόλωση και υπερπόλωση

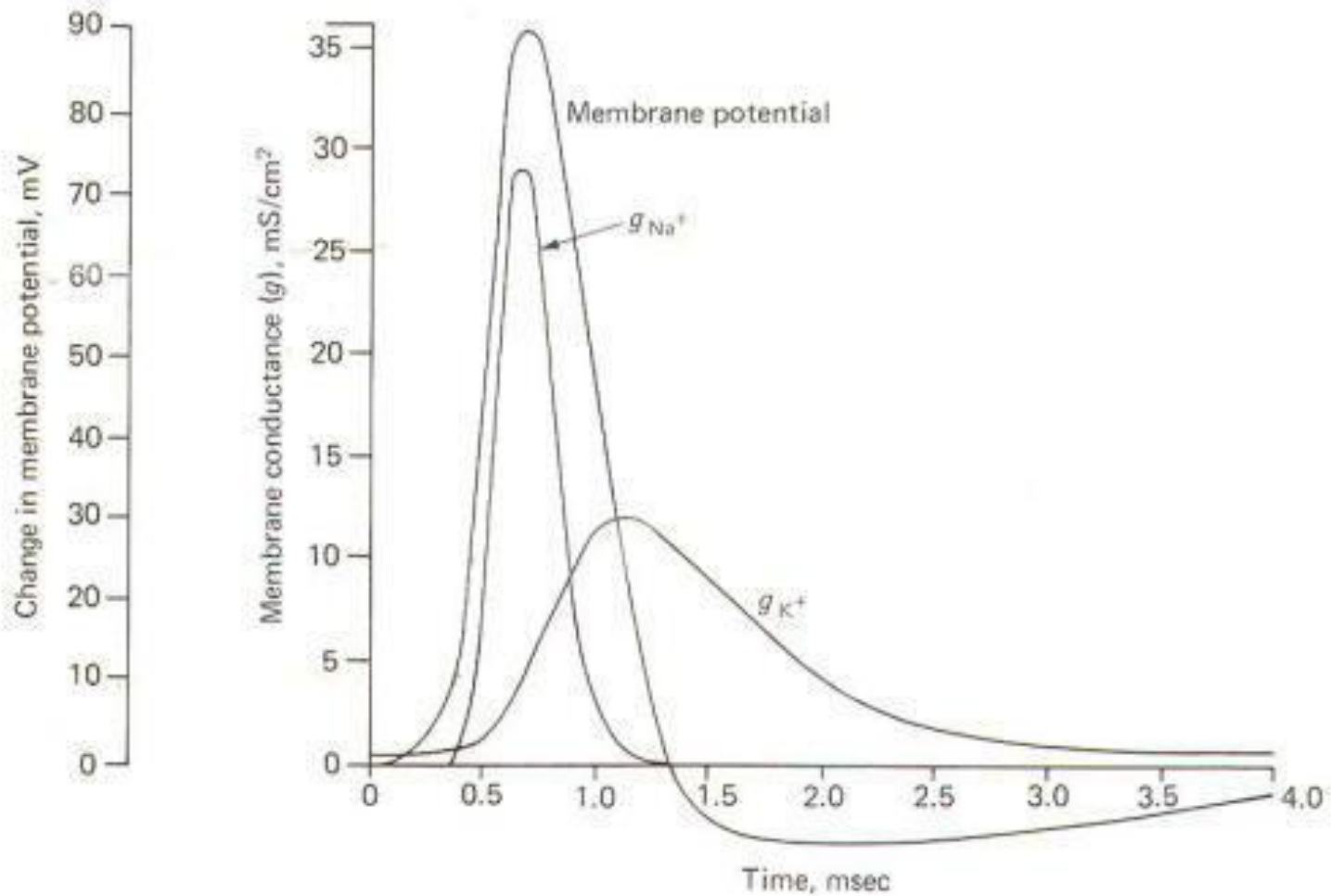
- **Εκπόλωση:** Μεταβολή μεμβρανικού δυναμικού από -90 mV σε $+30\text{ mV}$ (μείωση διαφοράς δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης).
- **Υπερπόλωση:** Μεταβολή μεμβρανικού δυναμικού από -90 mV σε -100 mV (αύξηση διαφοράς δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης).



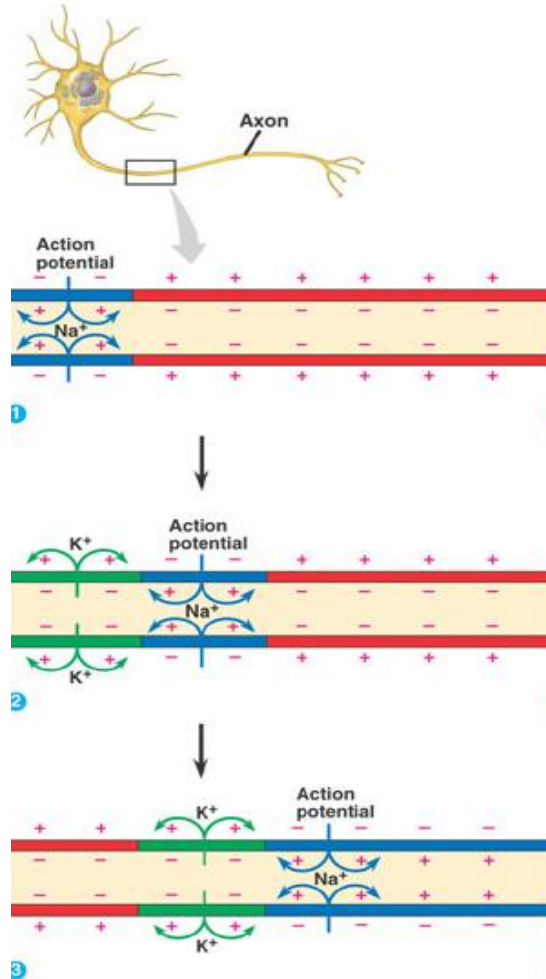
Το δυναμικό δράσης στη μεμβράνη του κυττάρου (3/3)



Αγωγιμότητα/cm² και ενεργό δυναμικό



Μετάδοση του σήματος κατά μήκος του νευρικού κυττάρου



Πόσο σημαντικό είναι το δυναμικό ηρεμίας;

Χωρίς το δυναμικό ηρεμίας τα κύτταρα:

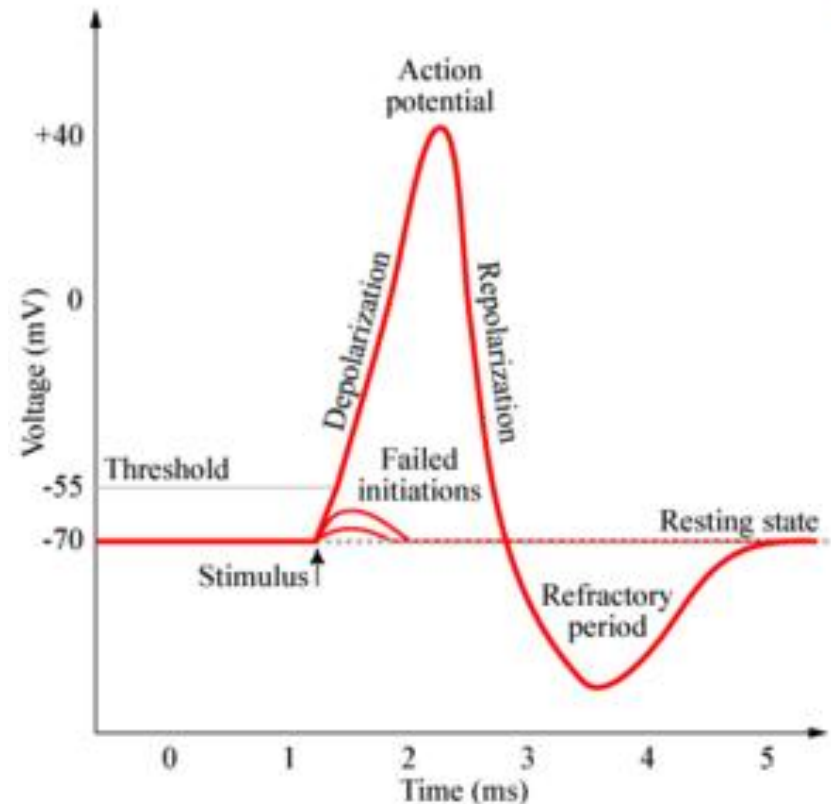
1. Δεν θα μπορούσαν να διεγερθούν.
2. Δεν θα μπορούσαν να παράγουν δυναμικά ενέργειας.
3. Δεν θα μπορούσαν να μεταδώσουν ένα παλμό.

**ΑΚΡΙΒΩΣ ΕΠΕΙΔΗ ΥΠΑΡΧΕΙ ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΗΡΕΜΙΑΣ
ΜΕΤΑΔΙΔΟΝΤΑΙ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΒΙΟΣΗΜΑΤΑ ΣΤΟΥΣ ΖΩΝΤΑΝΟΥΣ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ**



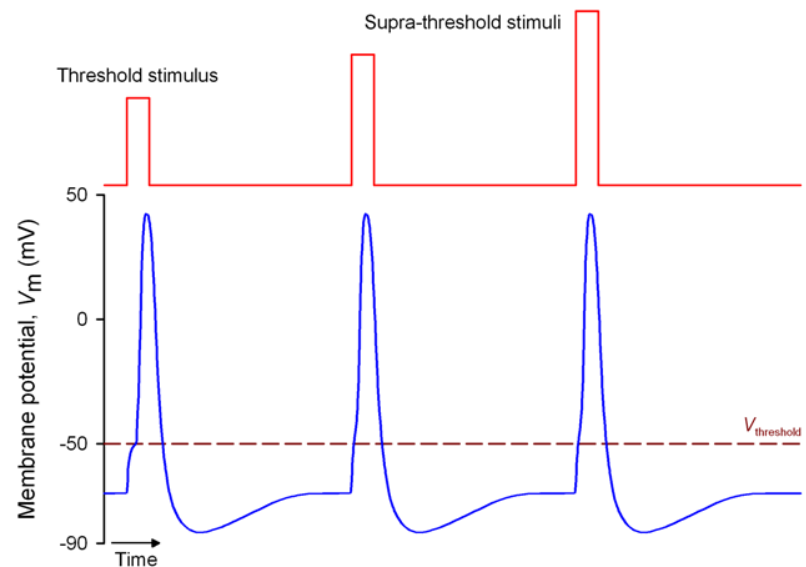
Ενεργό δυναμικό – «Όλα ή τίποτα (all-or-none)»

- Ένα ασθενές ερέθισμα (σε πλάτος ή σε διάρκεια) δεν προκαλεί αλλαγές στον ηλεκτρικό δυναμικό της μεμβράνης.
- Για ισχυρότερα ερεθίσματα, κάποιο θα προκαλέσει ένα ενεργό δυναμικό.
- **Δυναμικό κατωφλίου-ουδός:** Η ελάχιστη τιμή του μεμβρανικού δυναμικού που πρέπει να ξεπεραστεί για να προκληθεί ενεργό δυναμικό. Συνήθως -65 έως -55 mV.



Ενεργό δυναμικό – «Όλα ή τίποτα»

- Για ένα ερέθισμα ίσο ή και μεγαλύτερο του δυναμικού κατωφλίου, **το ενεργό δυναμικό έχει την ίδια μορφή** (σε μέγεθος και σε διάρκεια).
- Ένα σήμα 2, 10, 100 ή 1000 φορές μεγαλύτερο από το δυναμικό κατωφλίου προκαλεί το ίδιο ενεργό δυναμικό!
- Η μόνη απαίτηση είναι να ξεπερνάει το δυναμικό κατωφλίου και μόνο αυτή.



Χαρακτηριστικά δυναμικού ενέργειας

- Η ένταση και το σχήμα του δυναμικού ενέργειας δεν μεταβάλλονται καθώς αυτό οδεύει κατά μήκος της νευρικής ίνας.
- Η ένταση του δυναμικού δεν αυξάνεται σε συνάρτηση με την αύξηση της ισχύος του ερεθίσματος.
- Το ερέθισμα είτε αποτυγχάνει να πυροδοτήσει ένα δυναμικό ενέργειας είτε παράγει ένα δυναμικό πλήρους έντασης (απόκριση «όλον ή ουδέν»).



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

