



Βιοϊατρική τεχνολογία

Ενότητα 5: Νευρικό & μυϊκό σύστημα (Part I) Ηλεκτρομυογράφημα

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.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

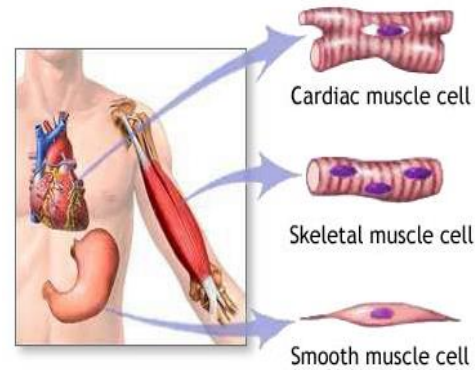
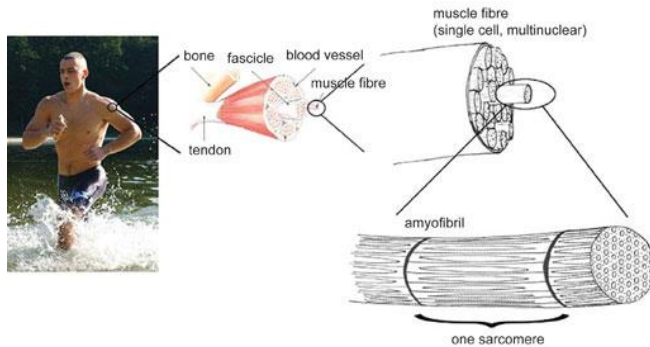


Σκοπός

- Ενεργά δυναμικά και τα χαρακτηριστικά τους.
- Οι όροι πόλωση και εκπόλωση.
- Παλμός στα ηλεκτρικά κυκλώματα.
- Ταχύτητα αγωγής στις νευρικές ίνες.



Ηλεκτρομυογράφημα

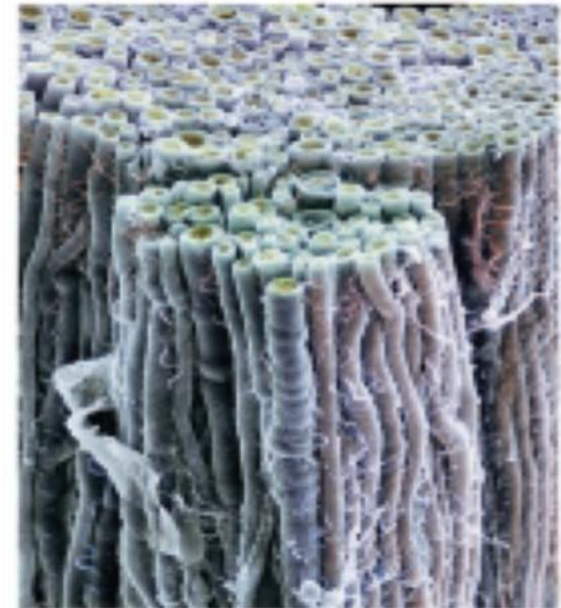
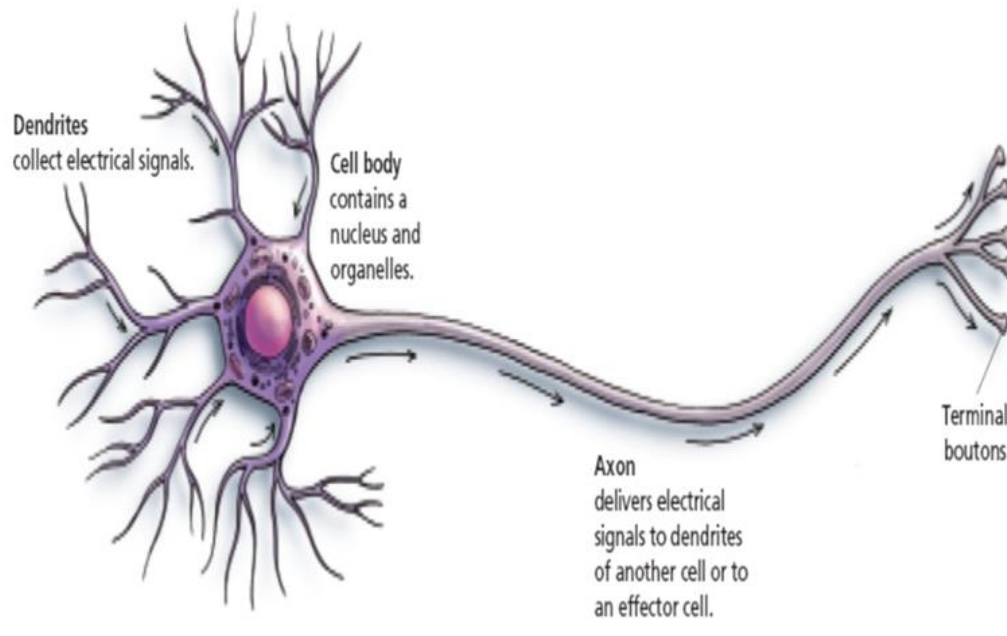


Σοφία Μπέλλου, sbellou@uowm.gr



Το νευρικό κύτταρο (νευρώνας) (1/2)

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



Το νευρικό κύτταρο (νευρώνας) (2/2)

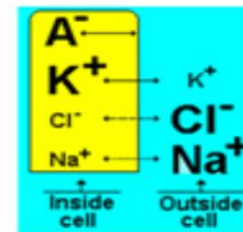
- **Κυτταρικό σώμα:** Περιέχει τον πυρήνα. Διαθέτει ιδιαίτερα ανεπτυγμένο βιοσυνθετικό εξοπλισμό για παραγωγή ενζύμων και χημικών ουσιών απαραίτητα για τις εξειδικευμένες λειτουργίες του νευρικού κυττάρου.
- **Δενδρίτες:** Εκτείνονται από το κύτταρο σαν κεραίες και δέχονται σήματα από τους άξονες άλλων 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.



Ιοντική σύσταση των κυττάρων

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

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

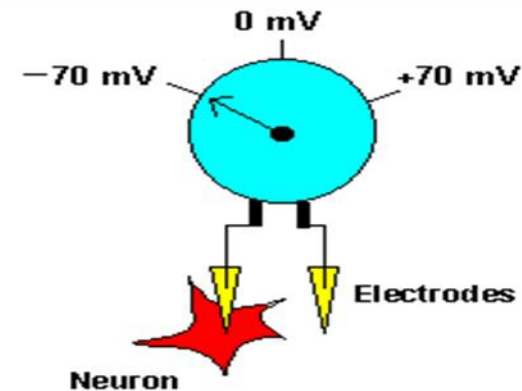
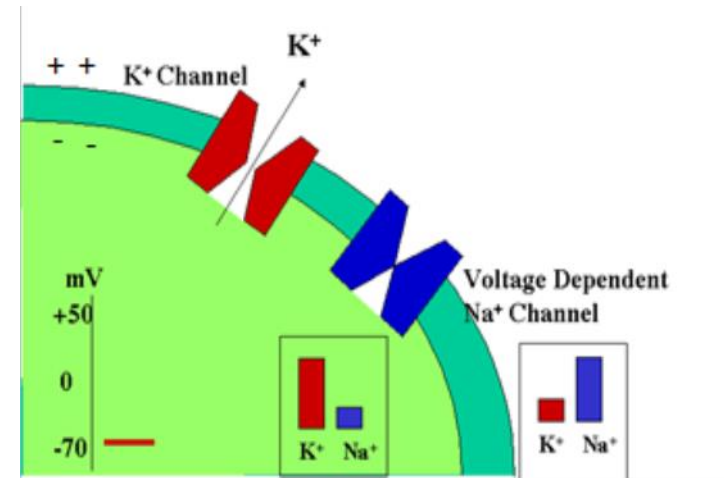


Τα περισσότερα ενδοκυττάρια συστατικά είναι αρνητικά φορτισμένα



Δυναμικό ηρεμίας – Resting potential

- Σε κατάσταση ηρεμίας υπάρχει **διαφορά δυναμικού** μέσα και έξω από το κύτταρο.
- 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.
- $V_m = V_{in} - V_{out} \approx -70mV$.



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.**



Μετάδοση της πληροφορίας

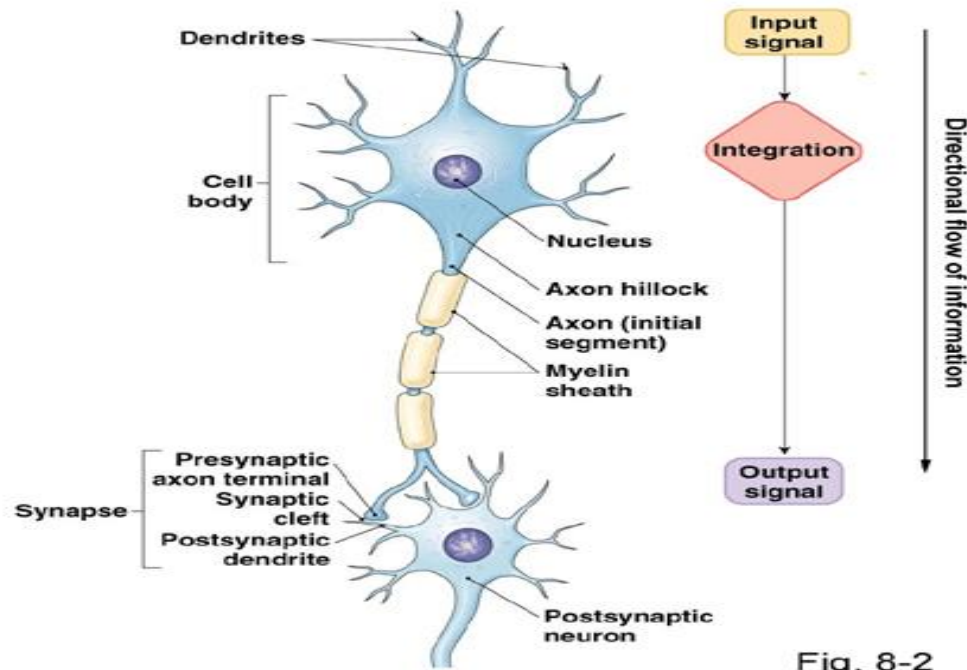
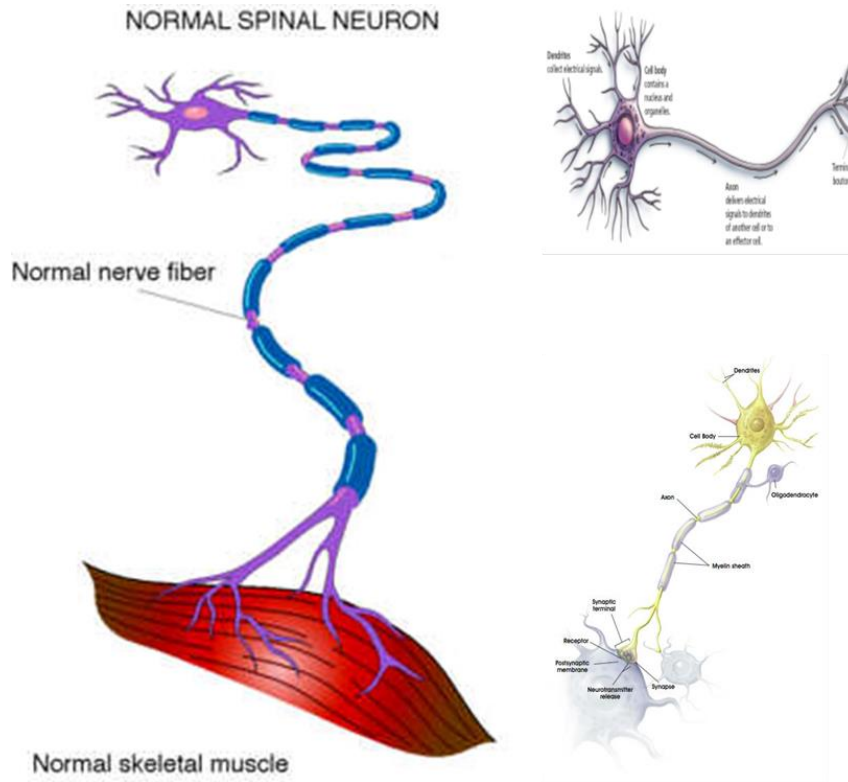


Fig. 8-2

Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



Το σήμα μεταφέρεται...



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



Μετάδοση του σήματος κατά μήκος του νευρικού κυττάρου



Μετάδοση σήματος κατά μήκος του νευρώνα (1/2)

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.*



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.

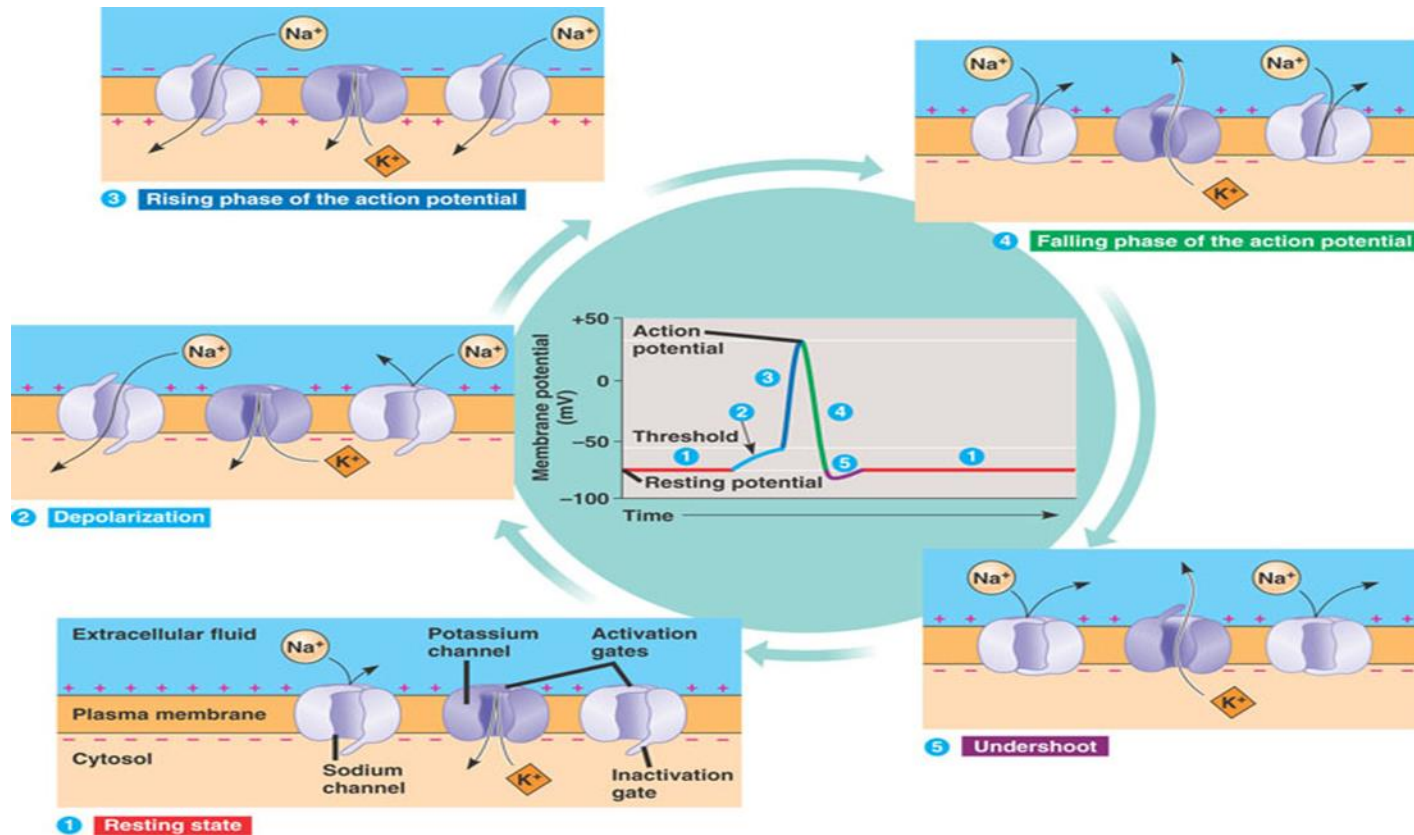


Το δυναμικό ενέργειας (action potential) της νευρικής ίνας

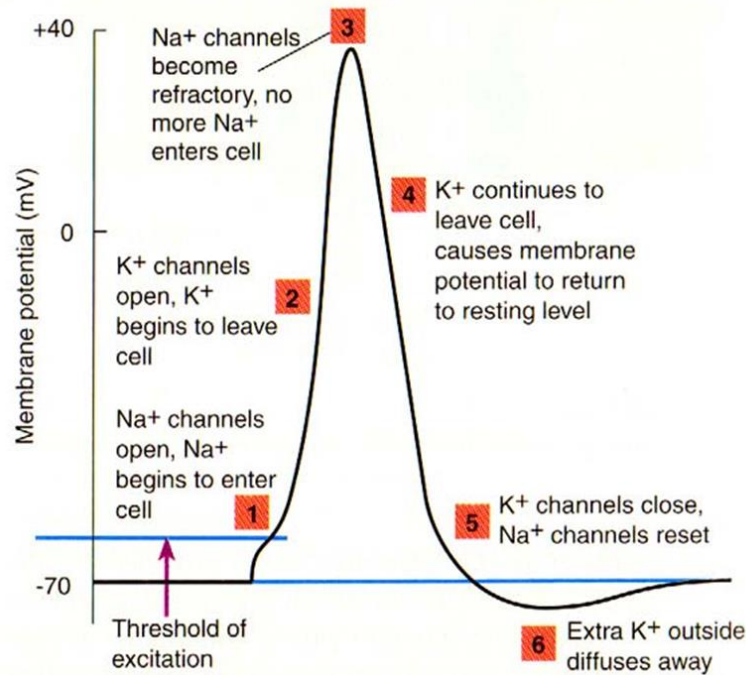
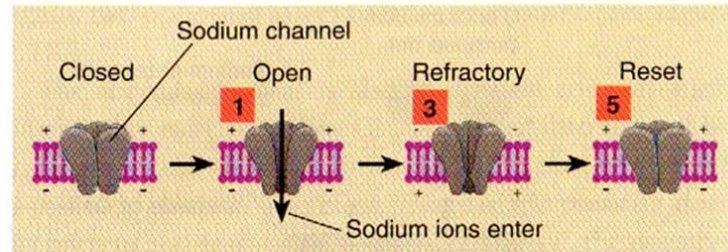
- Κάθε δυναμικό ενέργειας :
 - αρχίζει με απότομη μεταβολή του φυσιολογικού δυναμικού ηρεμίας, που είναι αρνητικό, σε θετικό και,
 - τερματίζεται με εξίσου ταχεία επιστροφή, σε αρνητική τιμή δυναμικού.



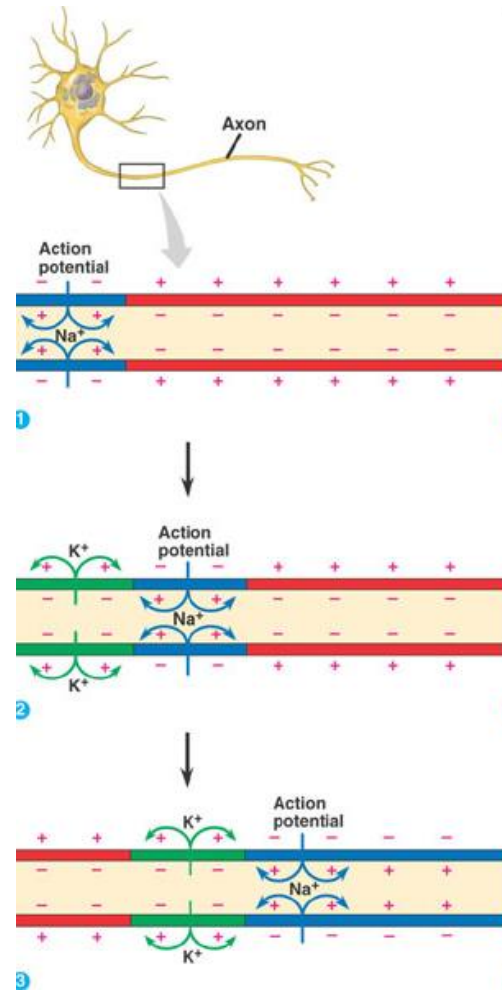
Δυναμικό ενέργειας (1/2)



Δυναμικό ενέργειας (2/2)



Μετάδοση του σήματος κατά μήκος του νευρικού κυττάρου (2/2)

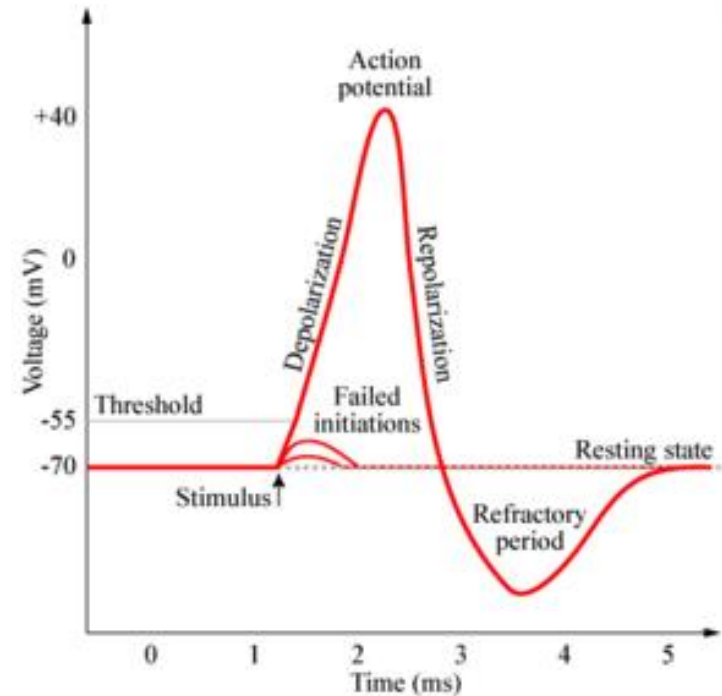


msjensen.cehd.umn.edu/1135/Links/Animations/Flash/0014-swf_action_potenti.swf



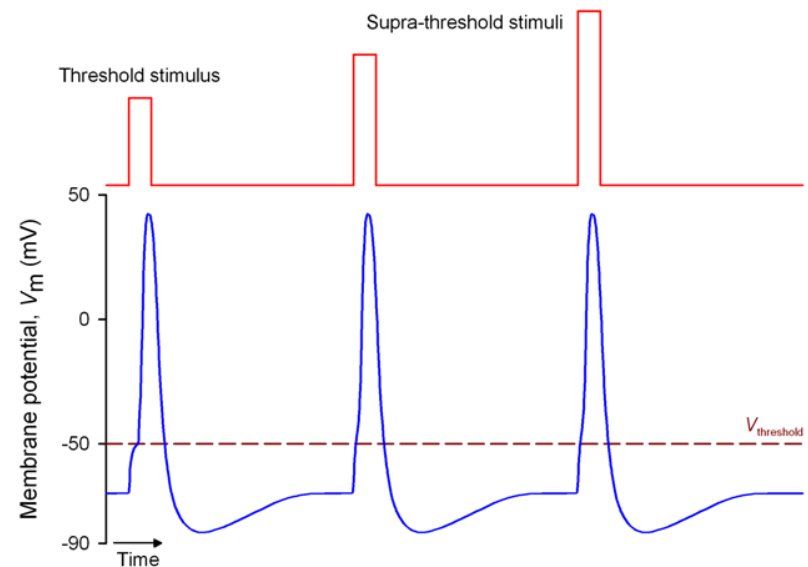
Ενεργό δυναμικό - «Όλα ή τίποτα (all-or-none)»

- 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.



Οι όροι εκπόλωση και υπερπόλωση

Η περίοδος αδράνειας (refractory period)

- **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).
- Η **περίοδος αδράνειας** διαρκεί όσο και η υπερπόλωση. Το κύτταρο βρίσκεται σε ανερέθιστη κατάσταση.



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**»).



Το ενεργό δυναμικό περιλαμβάνει περιορισμένη μετακίνηση ιόντων (1/2)

- Χωρητικότητα μεμβράνης ενός νευρικού κυττάρου: $1\mu\text{F}/\text{cm}^2$.
- Η μεταβολή του δυναμικού είναι περίπου 100mV .
- Όμως $Q = C \cdot V = (10^{-6}\text{F}/\text{cm}^2)(1.0 \cdot 10^{-1}\text{V}) = 1.0 \cdot 10^{-7}\text{C}/\text{cm}^2$ (1).
- $1 \text{ ιόν} \rightarrow 1,6 \cdot 10^{-19}\text{Cb}$.
- $1 \text{ Cb} \rightarrow 1 \text{ ιόν} / 1,6 \cdot 10^{-19}$ (2).
- (1),(2): $Q = 1.0 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \text{ ιόν} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2 = 6.25 \cdot 10^{11} \text{ ιόντα}/\text{cm}^2$
 $Q = 6250 \text{ ιόντα}/\mu\text{m}^2$

Για μεταβολή του δυναμικού κατά 100mV πρέπει να μετακινηθούν $6250 \text{ ιόντα}/\mu\text{m}^2$.



Το ενεργό δυναμικό περιλαμβάνει περιορισμένη μετακίνηση ιόντων (2/2)

- Διάμετρος κυττάρου: $10\mu\text{m}$.
- Επιφάνεια του κυττάρου: $4\pi r^2 = 314\mu\text{m}^2$.
- Όγκος του κυττάρου: $4\pi r^2/3 = 524\mu\text{m}^3$.

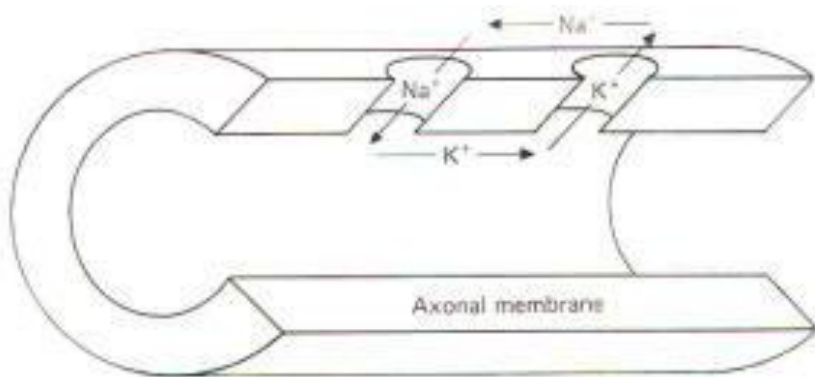
- Συγκέντρωση ιόντων Na^+ : $10\text{mM} \rightarrow 3.2 \times 10^9 \text{Na}^+$ στα $524\mu\text{m}^3$.
- Συγκέντρωση ιόντων K^+ : $150\text{mM} \rightarrow 4.7 \times 10^{10} \text{K}^+$ στα $524\mu\text{m}^3$.

- Απαιτείται μετακίνηση $Q = 6250$ ιόντα/ μm^2 .
- Δηλαδή, σε συνολική επιφάνεια $314\mu\text{m}^2$.
 $2 \times 10^6 \text{Na}^+$.
 $2 \times 10^6 \text{K}^+$.

Απαιτείται μεταβολή 0.06% της συγκέντρωσης Na και 0,004% της συγκέντρωσης K .



Electrical circuits and action potentials

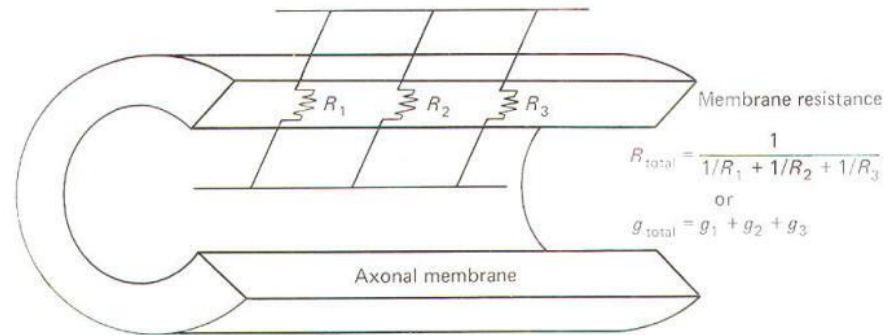
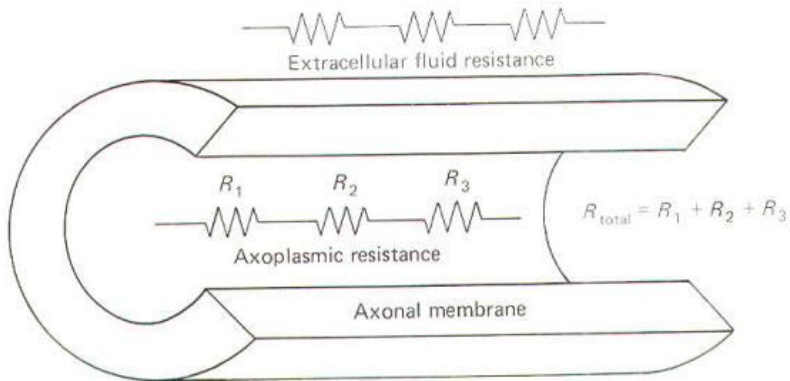


- Current: Movement of electrons.
- In biological systems: Movement of ions.
- Inward current: Na⁺ influx.
- Outward current: K⁺ influx.
- **Resistance** - Αντίσταση (R): Unit=Ohm. All things equal, current follows the path of least resistance in any circuit.
- **Conductance** – Αγωγιμότητα (g): Unit=siemen (S). Usually unit = mho:

$$g=1/R$$

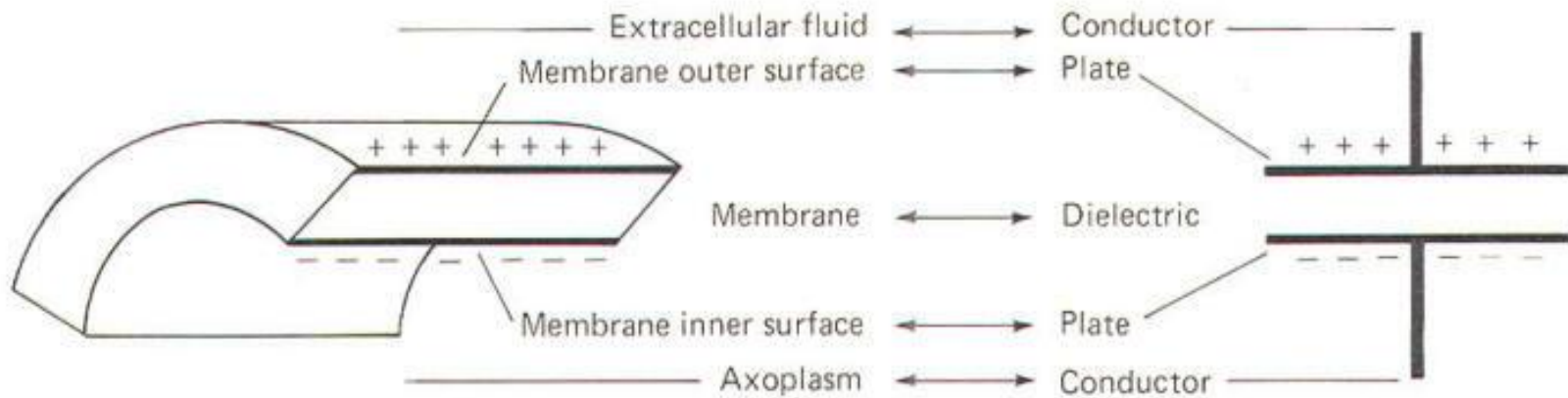


Resistance in neuronal axons



- **Extracellular & intracellular fluids:** Behave like series resistors.
- **Neuronal membranes:** Behave in part as if they were composed of parallel resistive elements.

Capacitance (χωρητικότητα) of cellular membrane



- The **neuronal membrane** behaves in part as if it were composed of **parallel capacitors**.

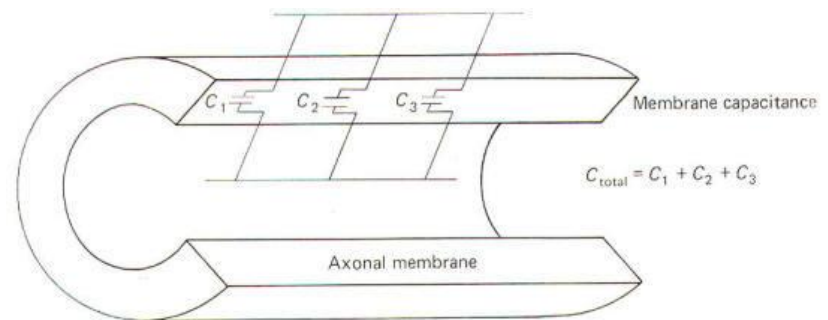
- Capacitance – C: Unit=farad (F).**

- **$C = Q / V$:**

- C: Capacitance.**

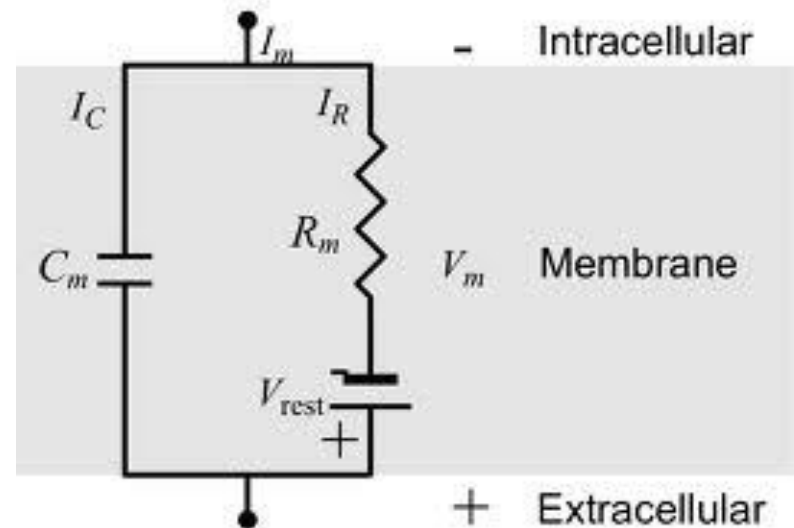
- Q: charge.**

- V: potential.**



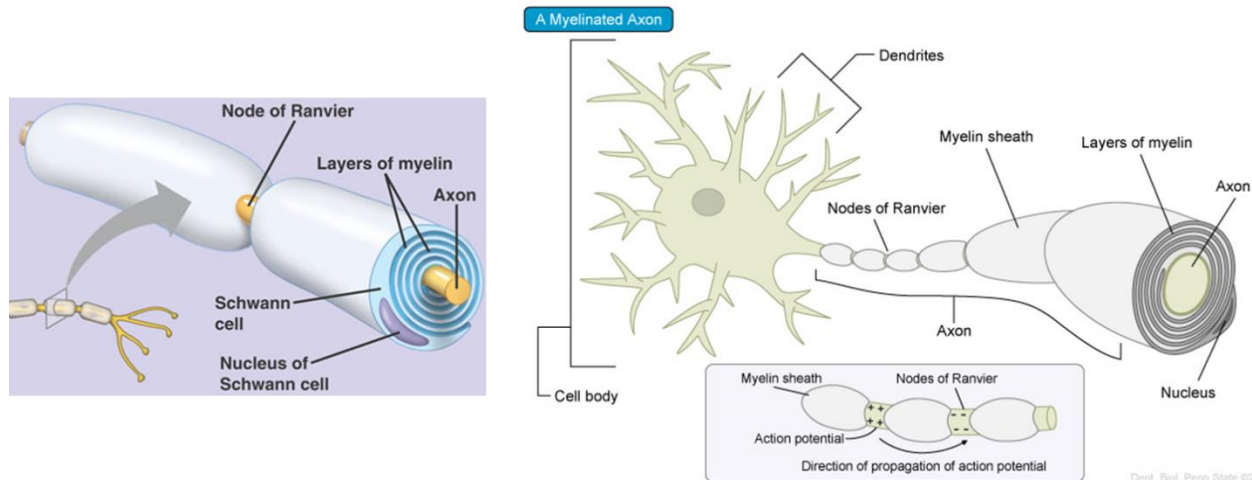
Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του δυναμικού δράσης

1. Αντίσταση στο εσωτερικό του άξονα: R (ελαττώνεται όσο αυξάνεται η διάμετρος του).
2. Χωρητικότητα μεμβράνης: C (αυξάνεται όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο που αποθηκεύει).



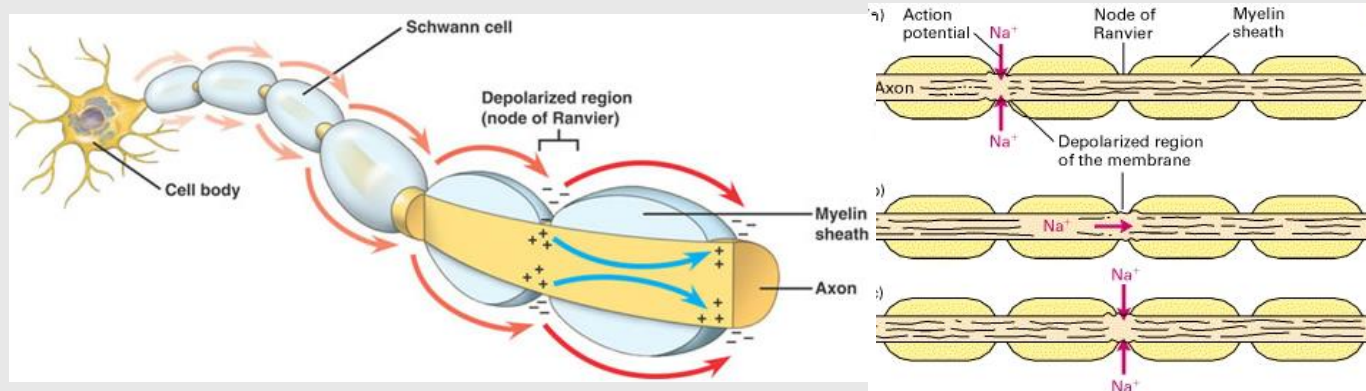
Ιδιαιτερότητες στη μετάδοση σήματος στα νευρικά κύτταρα (1/2)

- Εμμέλες και αμύελες νευρικές ίνες.
- Στα σπονδυλωτά, ορισμένες νευρικές ίνες καλύπτονται από **μυελίνη**.
- Η μυελίνη σχηματίζεται από περιελίξεις της κυτταρικής μεμβράνης των **κυττάρων Schwann** που τυλίγονται γύρω από τη νευρική ίνα.



Ιδιαιτερότητες στη μετάδοση σήματος στα νευρικά κύτταρα (2/2)

- Τα κενά διαστήματα που παρατηρούνται στο έλυτρο κάθε 1 έως 2nm είναι γνωστά ως **κόμβοι του Ranvier**.
- Τα διάφορα ιόντα διέρχονται με ευκολία μόνο μέσω των κόμβων του Ranvier.
- Επομένως, δυναμικά ενέργειας εκλύονται μόνο στα σημεία των κόμβων.
- Η αγωγή των δυναμικών γίνεται από κόμβο σε κόμβο (άλματα).



Η **σκλήρυνση κατά πλάκας** οφείλεται στην σταδιακή απομυελίνωση νευροαξόνων στο κεντρικό νευρικό σύστημα που οδηγεί σε απώλεια του μυϊκού ελέγχου.

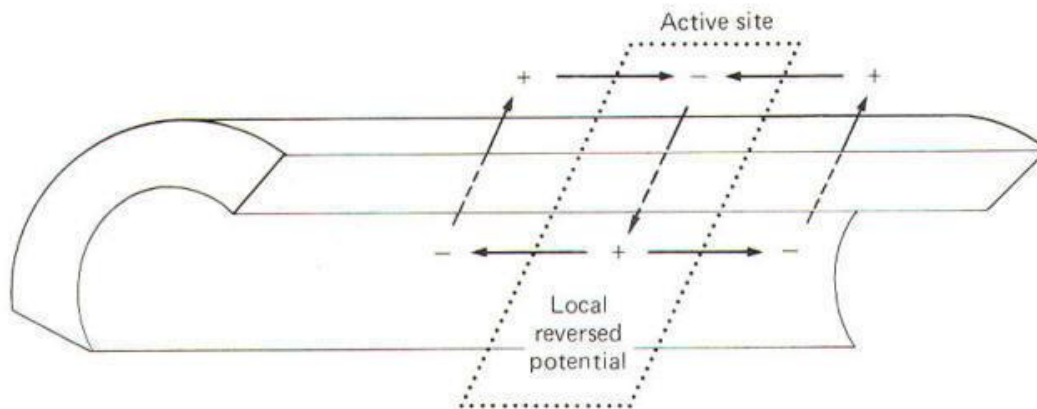
Ταχύτητα αγωγής στις νευρικές ίνες

- Η ταχύτητα αγωγής του σήματος αυξάνεται σημαντικά με τη μυελίνωση.
- Η ταχύτητα αγωγής αυξάνεται ανάλογα με τη διάμετρο της ίνας.
- Αύξηση στις εμμύελες ίνες από 5 έως 50 φορές.
- Το σήμα δεν υπόκειται σε απώλειες κατά τη διάδοση.

- **Λεπτές αμύελες ίνες:** 0,25 m/sec.
- **Μεγάλες εμμύελες ίνες:** 100 m/sec.



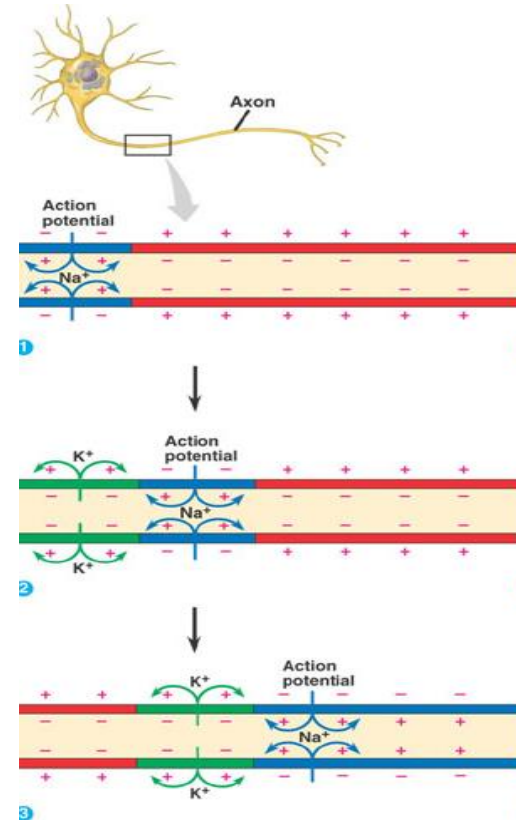
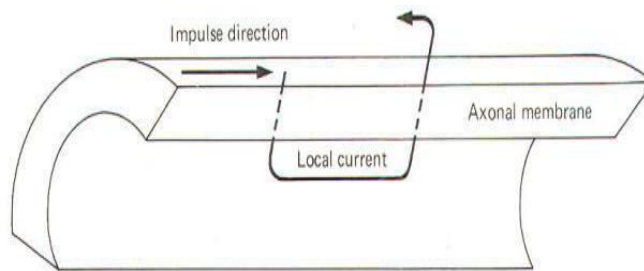
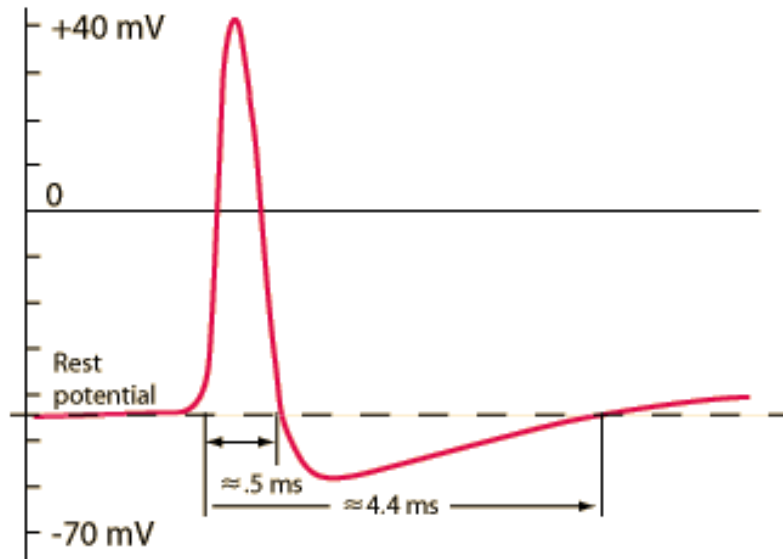
The pulse – Ο παλμός



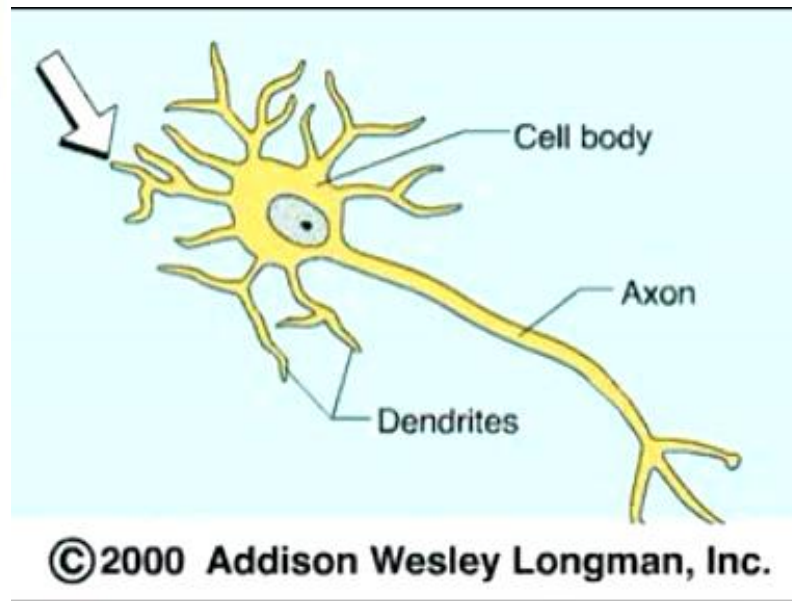
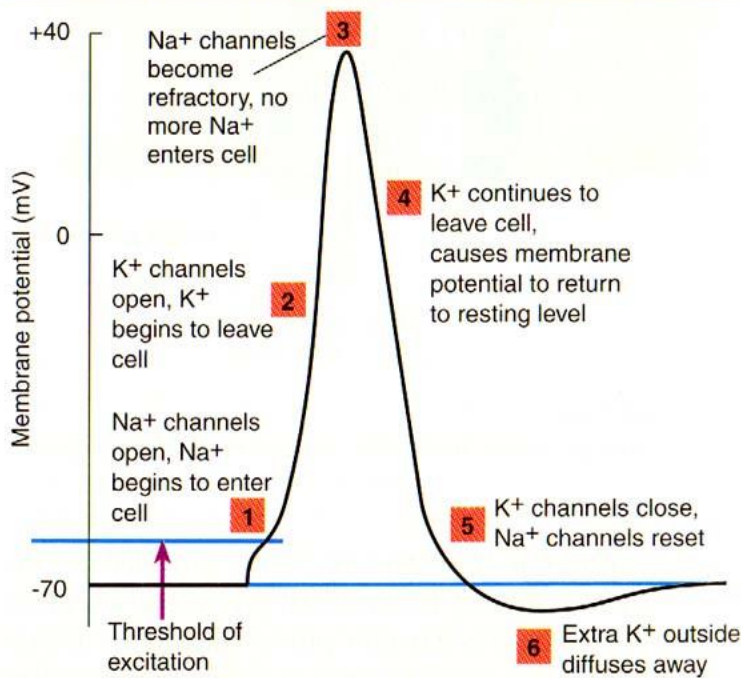
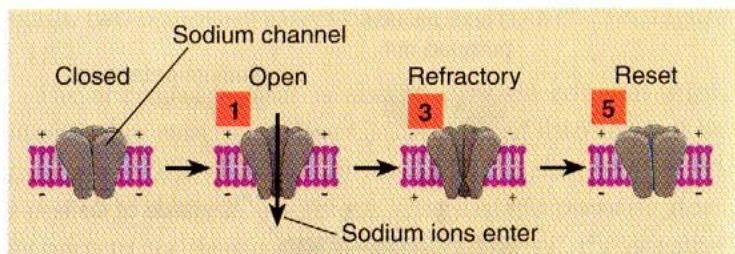
- **Η κατεύθυνση του ρεύματος είναι:**

- Προς το εσωτερικό του κυττάρου στην περιοχή της εκπόλωσης.
- Οριζόντια στις παρακείμενες περιοχές καθώς απομακρύνεται από το σημείο εκπόλωσης.
- Προς το εξωτερικό του κυττάρου στις παρακείμενες περιοχές που είναι ακόμη πολωμένες.
- Οριζόντια στις παρακείμενες περιοχές καθώς κατευθύνεται προς το σημείο της εκπόλωσης.

Διάδοση ενεργού δυναμικού προς μία κατεύθυνση



Video 1: How the action potential travels (1/3)



Διευθύνσεις υπευθύνων εργασιών

- κ.Αγγελίδης: paggelidis@uowm.gr
- κ.Τσαλικάκης: tsalikakis@gmail.com
- κ.Βουτσκίδης: pvoutskidis@uowm.gr
- κα.Παπαδοπούλου: rania_gr2002@yahoo.gr
- κα.Μπέλλου: sbellou@uowm.gr



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

