

9 Βιοηλεκτρισμός

- Πόλωση μεμβράνης
- Δυναμικό δράσης
- Διάδοση δυναμικού δράσης σε νευρώνες
- Ηλεκτρομυογράφημα
- Ηλεκτροκαρδιογράφημα
- Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Μαρία Κατσικίνη
katsiki@auth.gr
users.auth.gr/~katsiki

Βιβλιογραφία:

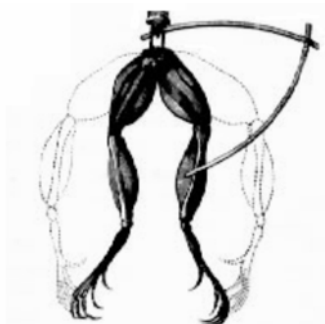
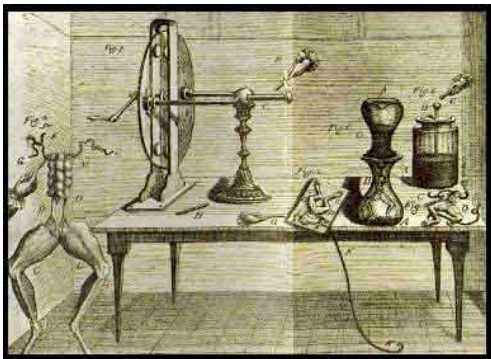
"Physics of the body", J. R. Cameron, J. G. Skofronick, R. M. Grant, Medical Physics Publishing
"Φυσική με εφαρμογές στις βιολογικές επιστήμες", Κ. Καμπάς, Ε. Πολυχρονιάδης, Εκδ. Γιαχούδη
"Physics in Biology and Medicine", P. Davidovits, Academic Press
"Bioelectricity: A Quantitative Approach", R. Plonsey & R. C. Barr, Springer Verlag
"Intermediate Physics for Medicine and Biology", R. K. Hobbie & B. J. Roth, Springer

Βιοηλεκτρισμός

Μελετά τα ηλεκτρικά σήματα που δημιουργούνται και διαδίδονται στο σώμα

Galvani (1786)

1^η παρατήρηση της αλληλεπίδρασης του ηλεκτρισμού με το σώμα (μύες)



Συστολή μύων όταν στα δύο άκρα τους τοποθετούνται δύο κομμάτια διαφορετικού μετάλλου ενωμένα μεταξύ τους

Αντίσταση ανθρώπινου σώματος: 500- 1500Ω

Αν ακουμπήσουμε ηλεκτροφόρο καλώδιο ($V=220V$) και το σώμα βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος $I\sim 150mA \rightarrow$ **ηλεκτροπληξία**

$I=10 mA \rightarrow$ ελαφρά παράλυση

$I=120 A \rightarrow$ διαταραχή της λειτουργίας του νευρικού συστήματος και απορύθμιση της καρδιάς

Βιοηλεκτρισμός

- Η κίνηση των μυών ελέγχεται από ηλεκτρικά σήματα που παράγονται στον εγκέφαλο
- Η έντασή τους είναι πολύ μικρή
 - μπορεί να μετρηθεί με ευαίσθητα γαλβανόμετρα & κατάλληλα ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στο εσωτερικό μυών & νεύρων

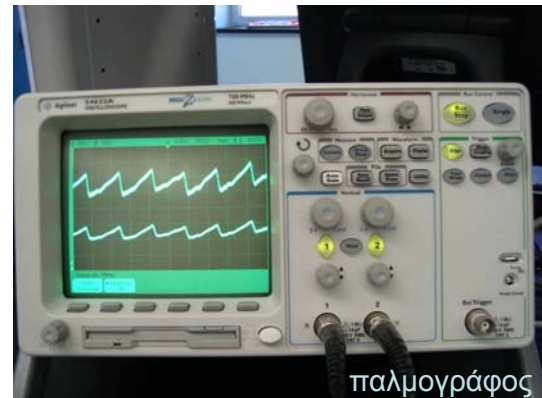


1880: μηχανισμός D' Arsonval

Ευαίσθητο αλλά με πολύ αργή απόκριση

- Διάρκεια παλμών από τους μύες: μερικά ms
- Πολύ αργή απόκριση για να καταγράψει π.χ. το ηλεκτρικό σήμα από τη συστολή της καρδιάς

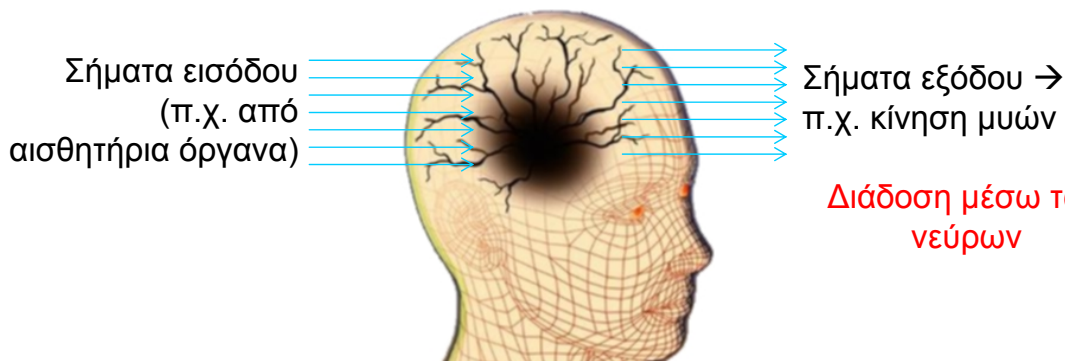
20^{ος} αιώνας: Παλμογράφος



Βιοηλεκτρισμός

Γιατί παράγεται ηλεκτρισμός στο σώμα;

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

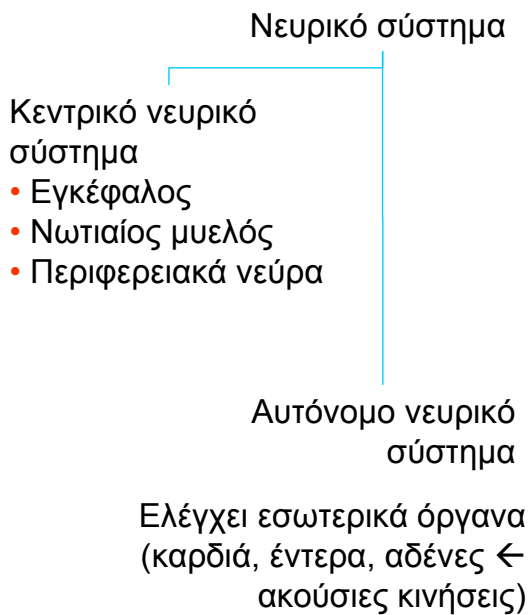


Πολύπλοκο σύστημα επικοινωνιών

Πώς παράγονται τα ηλεκτρικά σήματα στο σώμα;

- Μέσω πολύπλοκων ηλεκτροχημικών αντιδράσεων σε ειδικά κύτταρα.

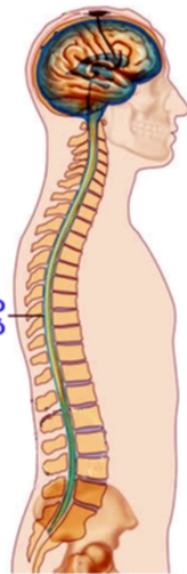
Νευρικό σύστημα



Εγκέφαλος
Προστατεύεται από μεμβράνες και «επιπλέει» σε ένα υγρό

εγκεφαλονωτιαίο υγρό

Νωτιαίος μυελός
Προστατεύεται από τη σπονδυλική στήλη



Νευρώνας

Νευρώνας: δομική μονάδα του νευρικού συστήματος.

Νευρικό κύτταρο

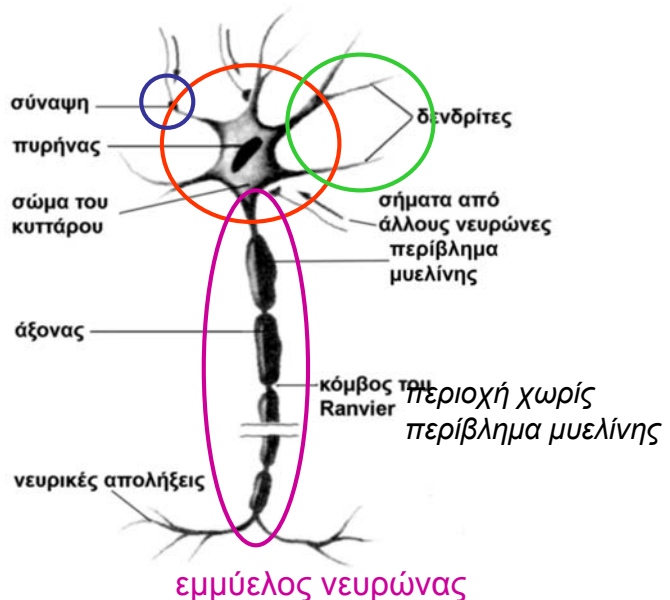
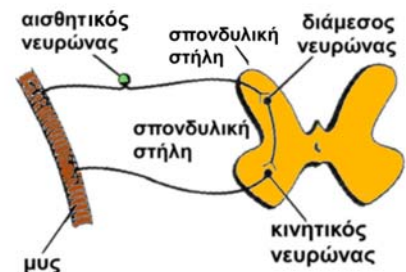
- Λήψη
- Μετάφραση/ερμηνεία
- Διαβίβαση ηλεκτρικών σημάτων

Σώμα: **Λήψη** σημάτων μέσω συνάψεων με άλλους **νευρώνες**

Δενδρίτης: μέρος του νευρώνα που λαμβάνει πληροφορία μέσω ερεθίσματος ή άλλου κυττάρου.

Αν το ερέθισμα είναι αρκετά ισχυρό τότε διαδίδεται ηλεκτρικό σήμα κατά μήκος του **άξονα** (μήκους έως 1m) και μεταφέρεται στους μύες, αδένες ή άλλους νευρώνες.

Αισθητικοί: λαμβάνουν ερεθίσματα από αισθητήρια όργανα
Κινητικοί: μεταφέρουν μηνύματα τα οποία ελέγχουν τα μυϊκά κύτταρα.
Διάμεσοι



Ηλεκτρικό δυναμικό

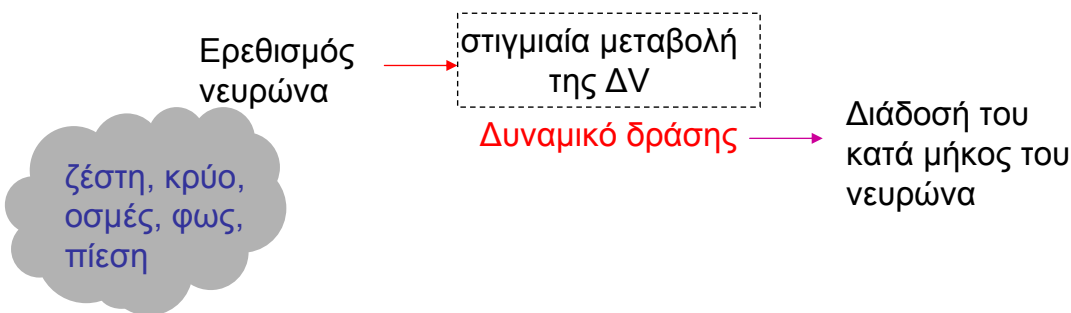
Μελέτη διάδοσης σημάτων σε νευρώνες: σε νευρώνα καλαμαριού ($\delta \sim 1\text{mm}$) (εύκολη διείδυση ηλεκτροδίων)



Κατά μήκος της μεμβράνης ενός νευρώνα υπάρχει διαφορά δυναμικού

πόλωση της μεμβράνης
 Δυναμικό στο εσωτερικό \neq δυναμικό στο εξωτερικό της

$V_{in} - V_{out} = -60\text{ έως } -90\text{mV}$ Δυναμικό ισορροπίας (ηρεμίας) της μεμβράνης



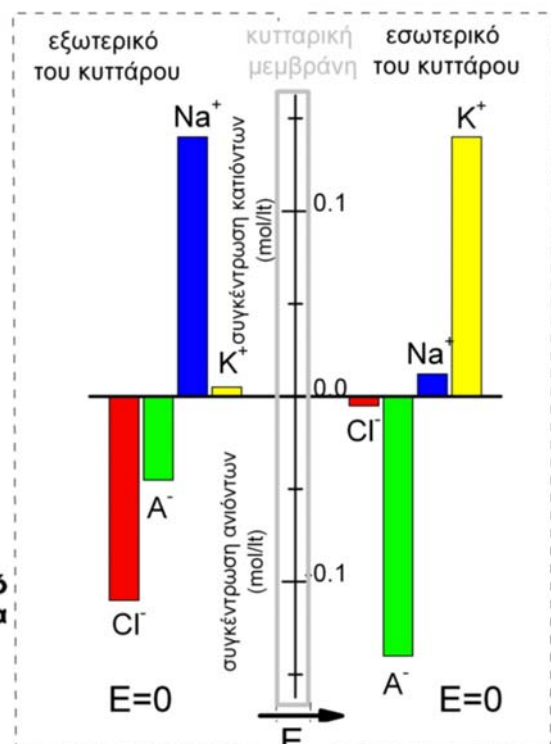
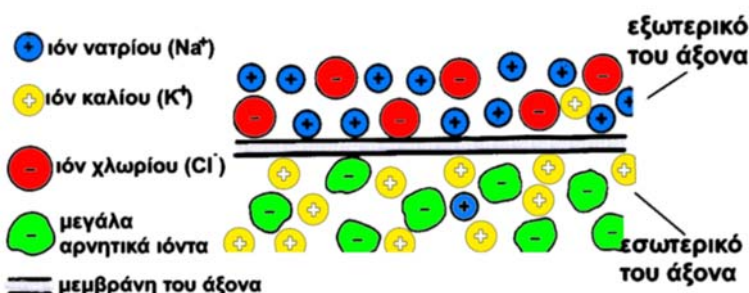
Πόλωση κυτταρικής μεμβράνης

Η ΔV επιτυγχάνεται λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης ιόντων (Na^+ , K^+ , Cl^- , ιόντα πρωτεΐνης: A^-) στο εσωτερικό και το εξωτερικό της μεμβράνης

Εξωτερικό: πολύ Na^+
 Εσωτερικό: πολύ K^+

Εκατέρωθεν της μεμβράνης το συνολικό φορτίο είναι μηδέν

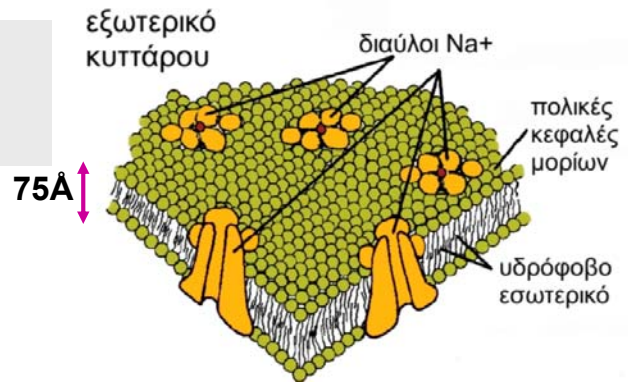
Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μηδέν εκατέρωθεν την μεμβράνης και $\neq 0$ στη μεμβράνη



Δομή της κυτταρικής μεμβράνης

Ρόλος: διαχωρίζει το εσωτερικό από το εξωτερικό του κυττάρου

Αποτελείται: κυρίως από λιπίδια (απαγορεύουν τη διάχυση ιόντων)



Σε μερικές περιοχές της υπάρχουν πολύπλοκες πρωτεϊνικές δομές: διαύλοι (channels) & αντλίες (pumps) που καθορίζουν τη συγκέντρωση των ιόντων. Η μεμβράνη είναι ημιπερατή (η επιλεκτική διαπερατότητά της καθορίζεται από διαύλους και αντλίες)

Ενεργές διαδικασίες καθώς κινούν τα ιόντα αντίθετα στη βαθμίδα συγκέντρωσης – απαιτείται ενέργεια

Διευκόλυνση της διάχυσης (με τη βοήθεια ligands/προσδεμάτων ή ηλεκτρικού πεδίου)

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μεμβράνης

● Δυναμικό $V_m \equiv V_{in} - V_{out}$

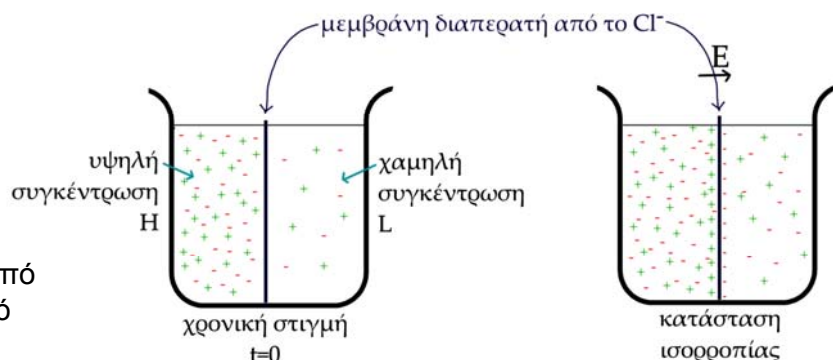
● Χωρητικότητα $\sim 1 \frac{\mu F}{cm^2}$

Video για τη λειτουργία της αντλίας Na^+/K^+ ATPase
http://www.youtube.com/watch?v=Q73uJ8WIY_E

Πόλωση κυτταρικής μεμβράνης

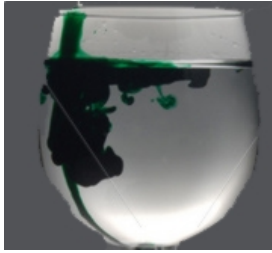
ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Πυκνό και αραιό διάλυμα KCl που διαχωρίζονται από μεμβράνη διαπερατή από τα ιόντα Cl^-



- 1 $t=0$: Ηλεκτρολυτικό διάλυμα K^+ και Cl^-
- 2 Ιόντα Cl^- διαπερνούν τη μεμβράνη (κίνηση αρνητικού φορτίου από αριστερά προς τα δεξιά)
- 3 Αριστερά: έλλειμμα / Δεξιά: περίσσεια αρνητικού φορτίου
- 4 Μεμβράνη ~ φορτισμένος πυκνωτής \rightarrow ηλεκτρικό πεδίο έντασης E
- 5 Ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού \rightarrow δυναμικό ισορροπίας
- 6 Αγωγή μέσω εκατέρωθεν της μεμβράνης \rightarrow συγκέντρωση του φορτίου πολύ κοντά στη μεμβράνη $\rightarrow E \neq 0$ μόνο πολύ κοντά στη μεμβράνη

Διάχυση



Αν σε ένα σημείο ενός δοχείου με νερό ρίξουμε μία σταγόνα μελάνη θα ΔΙΑΧΥΘΕΙ σε όλο το δοχείο

Υπάρχει η τάση να εξισωθεί η συγκέντρωση

ΔΙΑΧΥΣΗ: κίνηση ιόντων όταν υπάρχει βαθμίδα συγκέντρωσης

Νόμος του Fick

Σε μία διάσταση $\rightarrow j_x = -D \frac{\partial C}{\partial x}$

$$\bar{j}_D = -D \nabla C$$

\bar{j}_D → Ροή
 $-D$ → συντελεστής διάχυσης
 ∇C → συγκέντρωση

Ροή: αριθμός ιόντων που κινούνται ανά μονάδα χρόνου και μονάδα επιφάνειας της διατομής

Π.χ.

Na⁺ : D=1.3×10⁻⁵ cm²/sec

K⁺ : D=2.0×10⁻⁵ cm²/sec

Νόμος Nernst - Planck

$$\bar{j}_p = \bar{j}_d + \bar{j}_e = -D_p \left(\nabla C_p + \frac{Z_p C_p F}{RT} \nabla V \right)$$

Ροή φορτίων λόγω διαφοράς δυναμικού



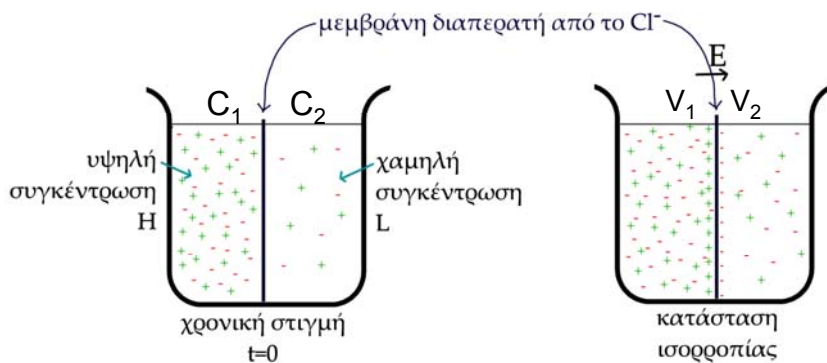
$$\bar{J}_p = F Z_p \bar{j}_p$$

Πυκνότητα ρεύματος

F: σταθερά Faraday

Z: φορτίο ιόντος

Πόλωση κυτταρικής μεμβράνης



Δυναμικό Nernst

$$V = V_1 - V_2 = \pm \frac{kT}{e} \ln \frac{C_1}{C_2} = \pm 2.3 \frac{kT}{e} \log \frac{C_1}{C_2}$$

+ διάχυση αρνητικών ιόντων
- διάχυση θετικών ιόντων

διάχυση λόγω διαφοράς συγκέντρωσης

! Δυναμικό Nernst αναπτύσσεται μόνο από τα ιόντα που μπορούν να διαχυθούν

Πόλωση κυτταρικής μεμβράνης

Σε κατάσταση ηρεμίας η κυτταρική μεμβράνη είναι διαπερατή στο K^+ και ελάχιστα διαπερατή στο Na^+

$C_1=0.005 \text{ mol/lit}$		$C_2=0.141 \text{ mol/lit}$
εξωτερικό του κυττάρου		εσωτερικό του κυττάρου

Δυναμικό Nernst $\rightarrow V = -2.3 \frac{kT}{e} \log \frac{C_1}{C_2} = -2.3 \frac{(1.38 \times 10^{-23}) \cdot 300}{1.6 \times 10^{-19}} \log \frac{0.005}{0.141} = 89 \text{ mV}$

Δηλαδή διαφορά δυναμικού του εσωτερικού ως προς το εξωτερικό = -89mV

Δυναμικό ισορροπίας

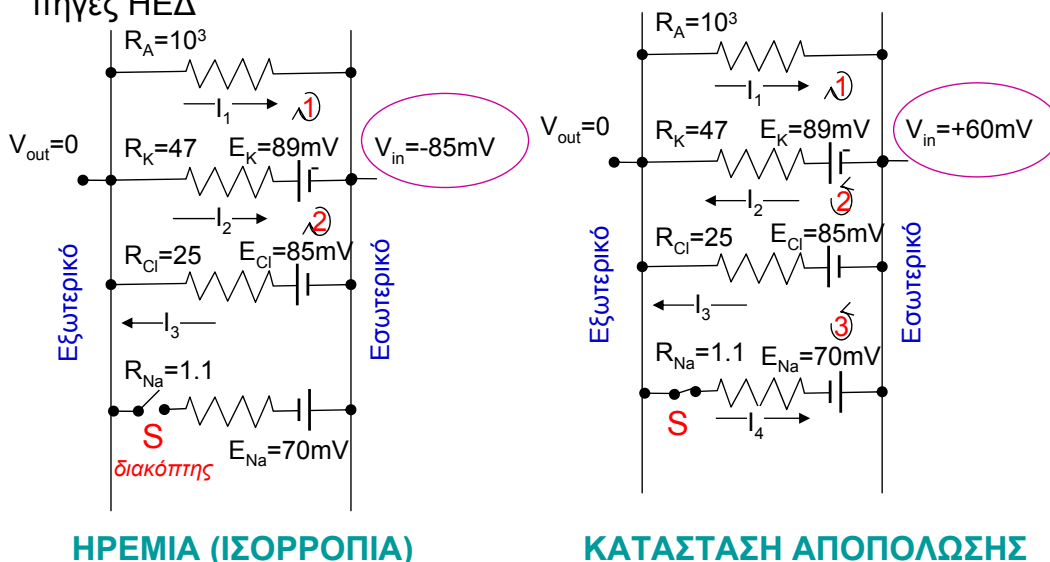
$k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ (σταθερά Boltzmann)
 $e=1.6 \times 10^{-19} \text{ Cb}$

Πόλωση κυτταρικής μεμβράνης

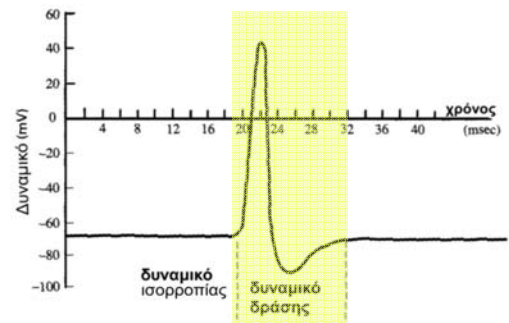
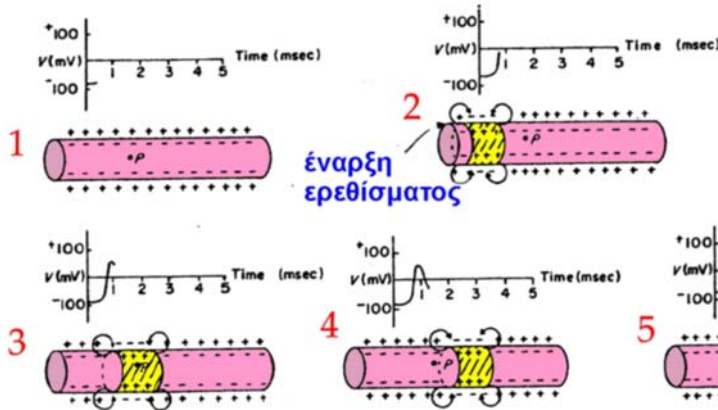
Αλλαγή πολικότητας (αποπόλωση)

Η μεμβράνη των μυϊκών και νευρικών κυττάρων παρουσιάζει ηλεκτρικό σήματος γίνεται διαπερατή στα Na^+ με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται θετικό δυναμικό στο εσωτερικό.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ: το δυναμικό Nernst αναπαρίσταται από πηγές ΗΕΔ



Δυναμικό δράσης



ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ

Cl⁻: ίδια συμπεριφορά όπως και στο δυναμικό ισορροπίας.

Το ηλεκτρικό σήμα αλλάζει τη διαπερατότητα της μεμβράνης σε Na⁺ και K⁺

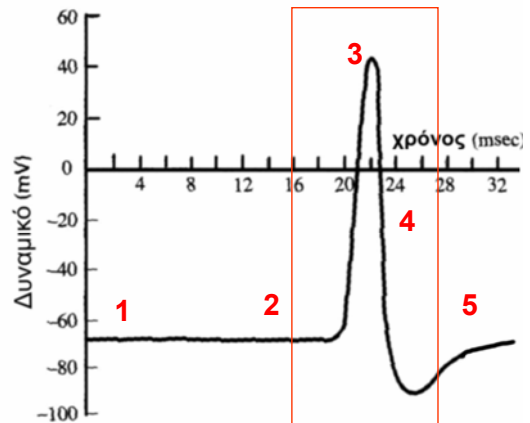
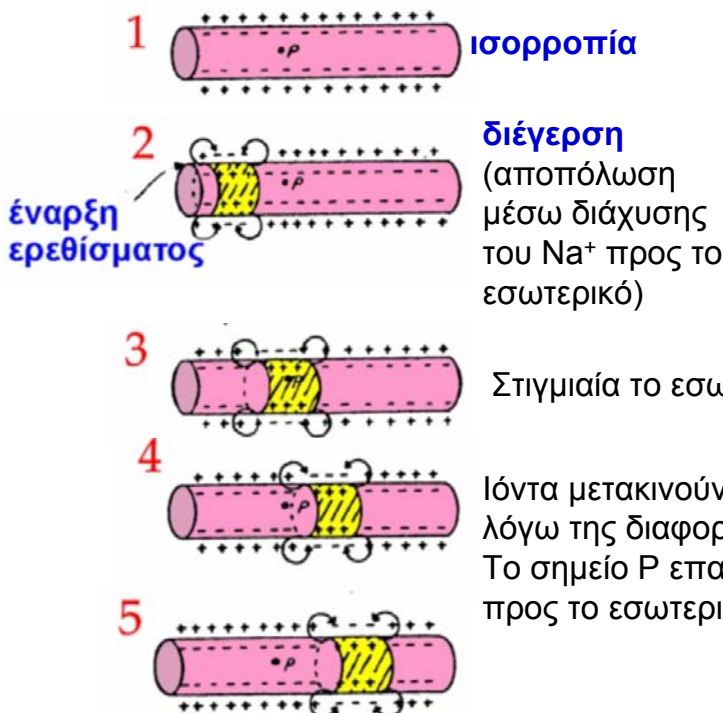
Na⁺: αργή διάχυση προς το εσωτερικό του κυττάρου

K⁺: αργή διάχυση προς το εξωτερικό του κυττάρου (καθυστερεί σε σχέση με τη διάχυση του Na⁺ [μέσω διαύλων που ανοίγουν λόγω της τάσης – τασεοενεργών])

Αντληση (χημική / μεταβολική διεργασία – απαιτείται παραγωγή ενέργειας):

επαναφέρει το K⁺ στο εσωτερικό και το Na⁺ στο εξωτερικό του κυττάρου ώστε να αποκατασταθεί ισορροπία

Δυναμικό δράσης



Δυναμικό δράσης
(διάρκεια μερικά ms
Καρδιακά κύτταρα 100-300ms)

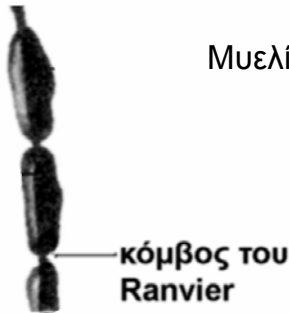
Διάδοση ηλεκτρικών σημάτων σε νευρώνες

Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του δυναμικού δράσης στους νευρώνες

Αντίσταση στο εσωτερικό του άξονα : **R**
(ελαττώνεται όσο αυξάνει η διάμετρός του)

Χωρητικότητα μεμβράνης : **C**
(αυξάνεται όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο που αποθηκεύεται)

Εκφόρτιση πυκνωτή σε κύκλωμα RC (εκθετική μείωση, $\tau=RC$): $\propto e^{-\frac{t}{RC}}$



Μυελίνη: μονωτής με χαμηλή χωρητικότητα

Ταχύτητα διάδοσης σημάτων σε εμύελους νευρώνες
> ταχύτητα σε αμύελους

Ταχύτητα διάδοσης μικρή στους κόμβους και μικρότερο δυναμικό δράσης → «διαπήδηση» σήματος

Νευρώνας καλαμαριού (αμύελος, $\delta=1\text{mm}$) → 20 – 50m/s

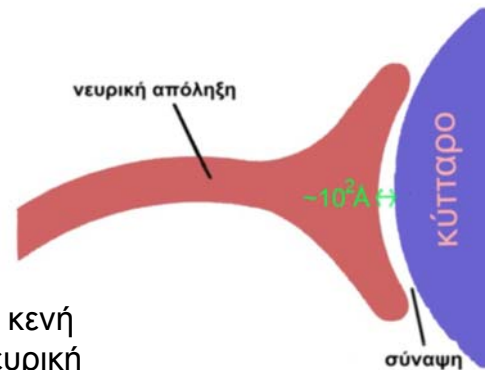
Νευρώνας ανθρώπου (εμύελος, $\delta=10\mu\text{m}$) → 100m/s

Σύναψη

Διάδοση παλμού από νευρικά κύτταρα σε μυϊκά

με ηλεκτρική αγωγή

με χημικές ουσίες που απελευθερώνονται στην κενή περιοχή ανάμεσα στη νευρική απόληξη και το κύτταρο.



Ένα κύτταρο έχει πολλές συνάψεις

- Για να ξεκινήσει το δυναμικό δράσης στο κύτταρο δέκτη χρειάζεται να ενεργοποιηθούν πολλές συνάψεις.
- Το δυναμικό δράσης που προκαλείται από νευρικό κύτταρο είναι πάντα του ίδιου μεγέθους
- Το δυναμικό δράσης που προκαλείται στο μυϊκό κύτταρο προκαλεί σύσπαση της μυϊκής ίνας (π.χ. των μυών της καρδιάς)

Ηλεκτρομυογράφημα

καταγραφή του δυναμικού των μυών κατά τη διάρκεια της συστολής του

Οι μύες αποτελούνται από κινητήριες μονάδες καθεμία εκ των οποίων συνδέεται μέσω ενός νευρώνα στον εγκέφαλο ή τη σπονδυλική στήλη

Δυναμικό δράσης : διαβιβάζεται από τα κινητικά νεύρα στους μύες και τους αναγκάζει να συσταλούν

Ανάλογα με το ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση είναι δυνατό να ληφθεί πληροφορία μόνο από μια κινητήρια μονάδα ή από μία ομάδα.

Το σήμα ενισχύεται και απεικονίζεται σε ένα παλμογράφο
Μπορεί να μετατραπεί σε ήχο: ένταση του ήχου = ανάλογη του ύψους του δυναμικού δράσης

Ηλεκτρομυογράφημα

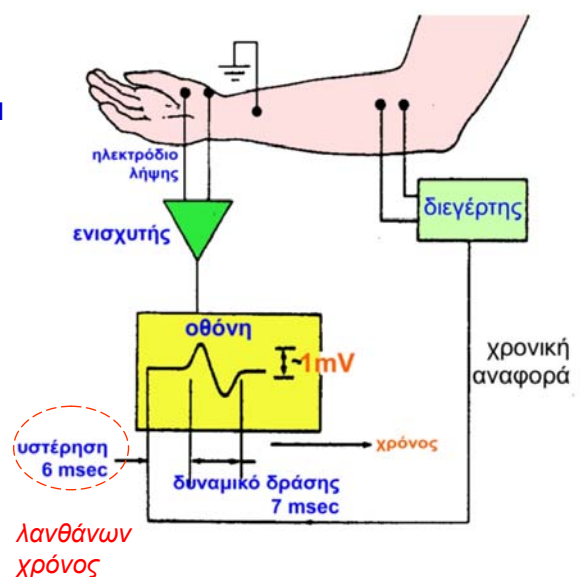
Εκούσια συστολή → όχι καλά καθορισμένο δυναμικό και χρόνος δράσης

Συνηθέστερη είναι η καταγραφή ηλεκτρομυογραφήματος από μυ που διεγείρεται εξωτερικά → ταυτόχρονη διέγερση των μυϊκών μονάδων

Παλμός διέγερσης: $t=0.1-0.5ms$, $V=100V$

Το δυναμικό δράσης καθυστερεί την εμφάνισή του στην οθόνη κατά ένα χρονικό διάστημα [λανθάνων χρόνος] (χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ διέγερσης και απόκρισης).

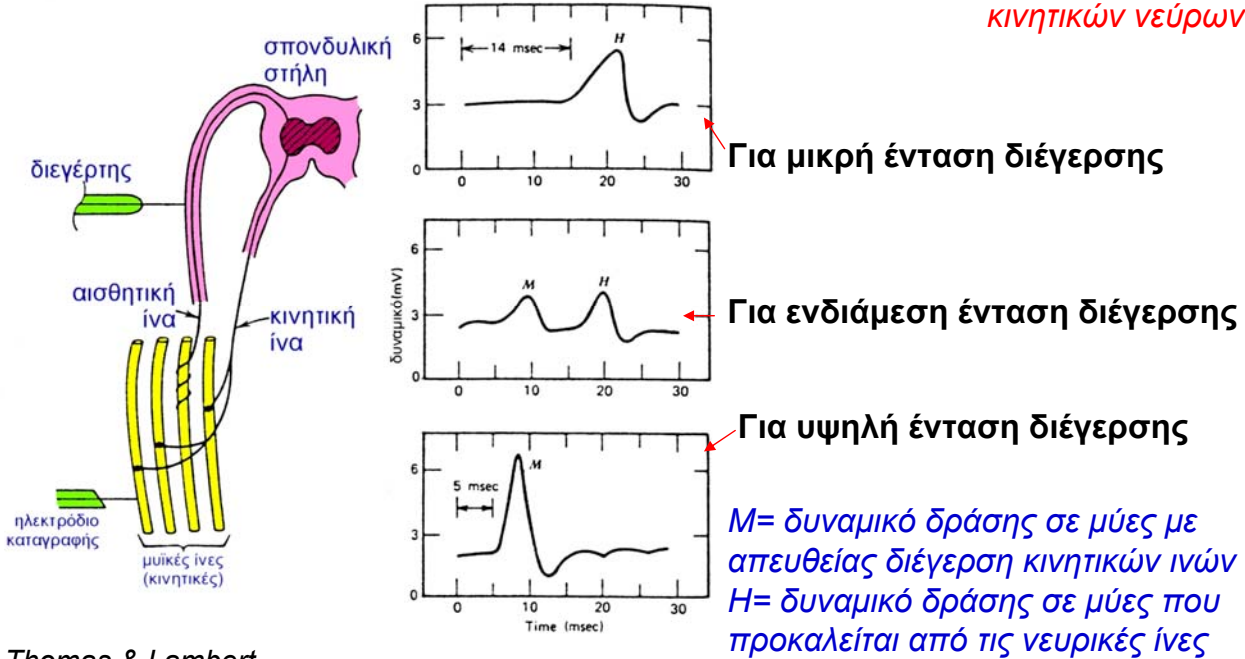
Το δυναμικό δράσης και η υστέρηση συγκρίνονται για δυο ίδια μέλη του σώματος (π.χ. δεξί & αριστερό χέρι) ή με φυσιολογικά δεδομένα



Ηλεκτρομυογράφημα

Εκτός από τη διέγερση των μυϊκών νευρών είναι δυνατό να διεγερθούν και **αισθητικά**.

Μεταφέρουν πληροφορία στο κεντρικό νευρικό σύστημα → ακολουθεί διέγερση των κινητικών νευρών



Thomas & Lambert,
Applied Physiology 15, 1 (1960)

Ηλεκτρομυογράφημα (ΗΜΓ)

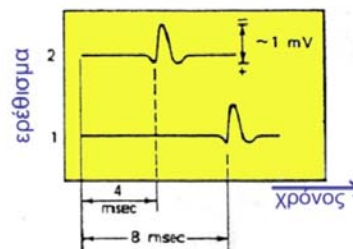
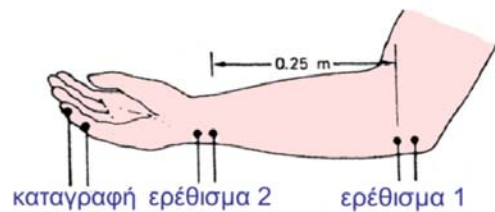
Προσδιορισμός της ταχύτητας διάδοσης (αγωγής) του δυναμικού δράσης στα κινητικά νεύρα

Δύο ερεθίσματα

t_1 : λανθάνων χρόνος 1^{ου} ερεθίσματος
 t_2 : λανθάνων χρόνος 2^{ου} ερεθίσματος
 D: απόσταση μεταξύ δύο ερεθισμάτων

$$\text{Ταχύτητα αγωγής} \quad v = \frac{D}{t_1 - t_2}$$

$$v = \frac{0.25}{(8 - 4) \cdot 10^{-3}} = 62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Video για το ηλεκτρομυογράφημα
http://www.youtube.com/watch?v=k0uSpYd_lcs

Ηλεκτροκαρδιογράφημα

Συγχρονισμένοι οι δύο κόλποι
Συγχρονισμένες οι δύο κοιλίες

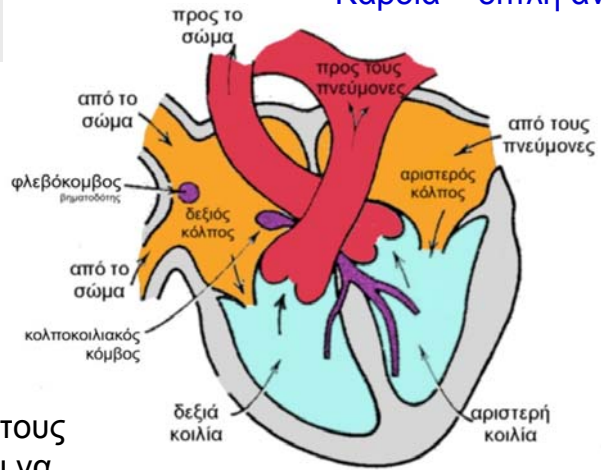
Δεξιός κόλπος : λαμβάνει αίμα από τις φλέβες στο σώμα και το διοχετεύει στη δεξιά κοιλία η οποία το προωθεί στους πνεύμονες όπου οξυγονώνεται.

Αριστερός κόλπος : λαμβάνει αίμα από τους πνεύμονες. Η συστολή του το αναγκάζει να προωθηθεί στην αριστερή κοιλία που το διοχετεύει στο σώμα.

Η ρυθμική λειτουργία καθορίζεται από μυϊκά κύτταρα στο φλεβόκομβο και επηρεάζεται από τις ανάγκες του οργανισμού κλπ ερεθίσματα

Φλεβόκομβος=βηματοδότης: αποπόλωση των μυών των κόλπων → κολπική συστολή → άντληση αίματος στις κοιλίες
Ακολουθεί επαναπόλωση → διέλευση του σήματος στον κολποκοιλιακό κόμβο → αποπόλωση των μυών των κοιλιών → κοιλιακή συστολή → διοχέτευση αίματος στους πνεύμονες και στη γενική κυκλοφορία.

Καρδιά = διπλή αντλία



Video για τη λειτουργία της καρδιάς

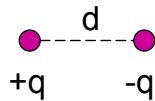
<http://video.about.com/heartdisease/How-the-Heart-Functions.htm>

Επανάληψη ηλεκτρισμού

Σημειακό φορτίο δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο με δυναμικό:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

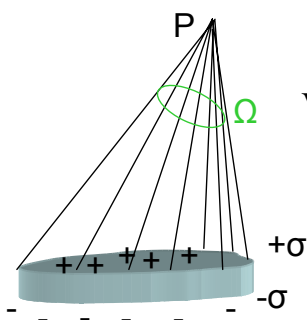
Ηλεκτρικό δίπολο (δύο ίσα και αντίθετα φορτία σε απόσταση d)



$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \theta}{r^2}$$

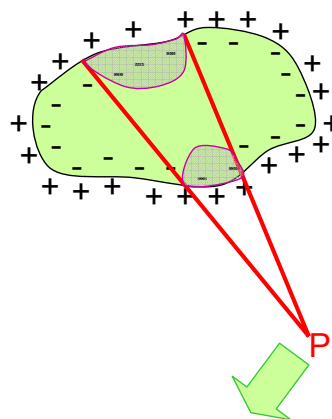
$p=qd$ (δίπολική ροπή)
 r : απόσταση από δίπολο
 $\theta = (\hat{r}, \hat{d})$

Ηλεκτρικό δίπολικό στρώμα (δύο επιφανειακές κατανομές φορτίου $\pm\sigma$ σε απόσταση d



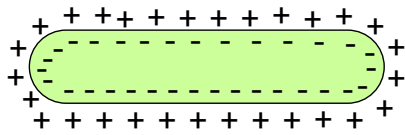
$$V = \frac{\sigma d}{4\pi\epsilon_0} \Omega$$

στερεά γωνία

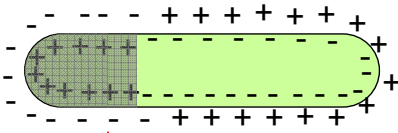


Δυναμικό στο P=0

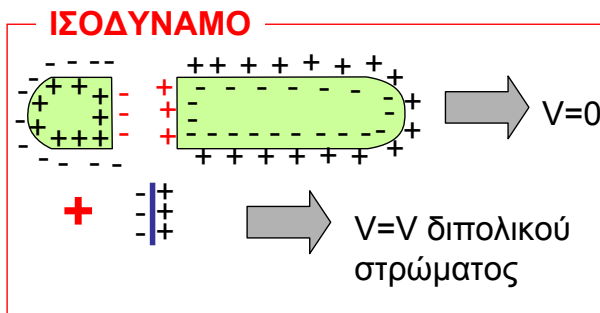
Επανάληψη ηλεκτρισμού



πολωμένο μυϊκό κύτταρο



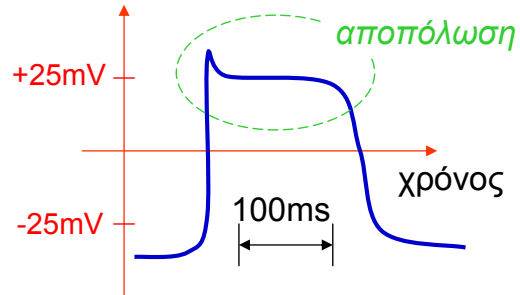
αποπολωμένη περιοχή



Καθώς κινείται το σημείο της αποπόλωσης αλλάζει το δυναμικό σε σημείο εκτός του κυττάρου

Περιοδική κίνηση των μυών της καρδιάς = περιοδική μεταβολή του δυναμικού.

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΡΑΣΗΣ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΜΥΟΣ

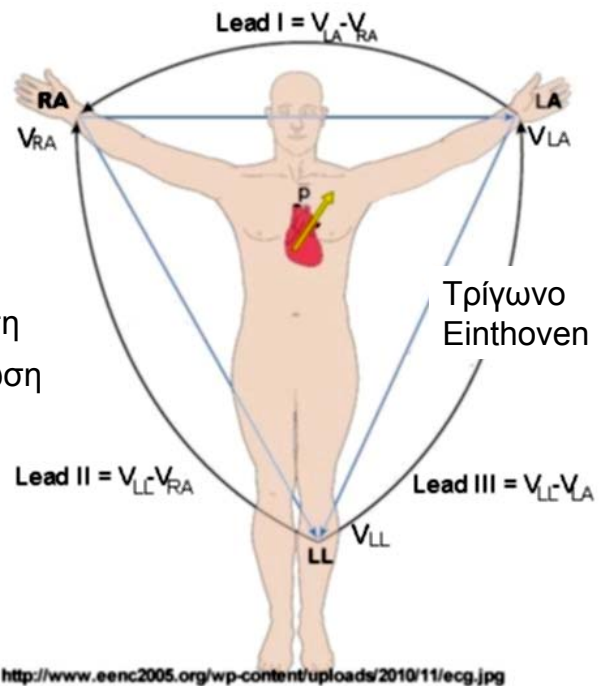
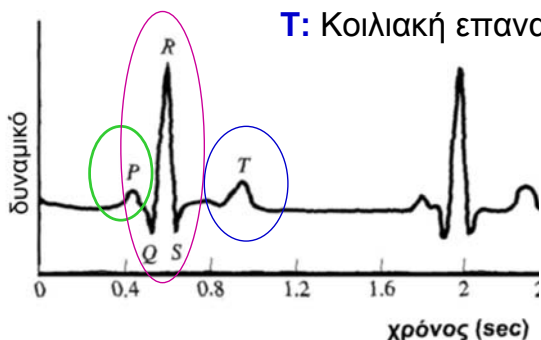


Ηλεκτροκαρδιογράφημα

καταγραφή του ρεύματος που διαρρέει στην επιδερμίδα του κορμού κατά την αποπόλωση και επαναπόλωση των μυών της καρδιάς
 Η καταγραφή γίνεται μεταξύ συγκεκριμένων σημείων του σώματος.

Η ροή ρεύματος στους μύες της καρδιάς δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο (όπως αυτό ρεύματος του διαρρέει βρόχο) το οποίο καταγράφεται με τη βοήθεια ηλεκτροδίων σε κατάλληλες θέσεις του σώματος.

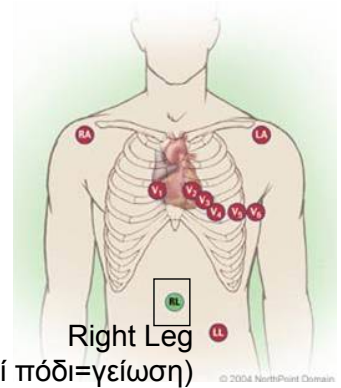
- P:** Κολπική αποπόλωση
- QRS:** Κοιλιακή αποπόλωση
- T:** Κοιλιακή επαναπόλωση



Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ)

Εκτός από τα Lead I, II, III (απαγωγές) καταγράφονται μια σειρά από διαφορές δυναμικού.

Από τη μορφή των καρδιογραφημάτων προκύπτουν πληροφορίες για τα διάφορα στάδια λειτουργίας της καρδιάς και ανιχνεύονται παθολογικές καταστάσεις.



$$\text{Lead I} = V_{LA} - V_{RA}$$

$$\text{Lead II} = V_{LL} - V_{RA}$$

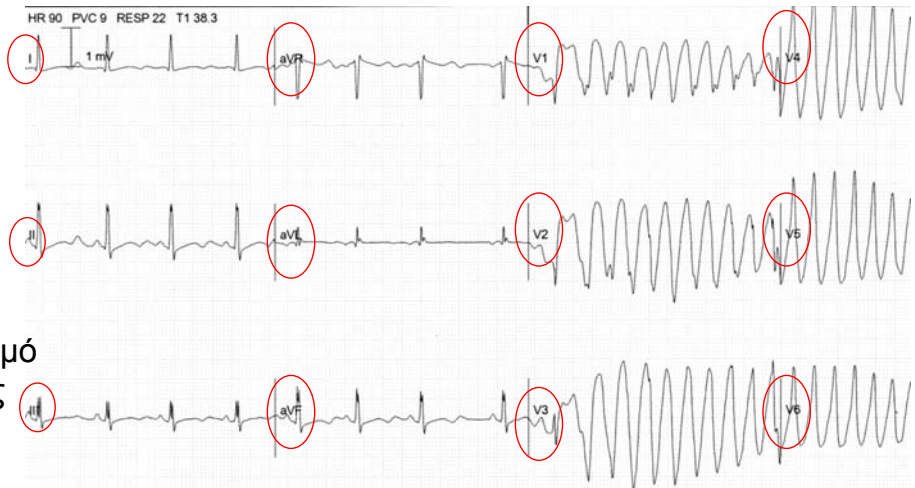
$$\text{Lead III} = V_{LL} - V_{LA}$$

$$aV_R = V_{RA} - (V_{LA} + V_{LL})/2$$

$$aV_L = V_{LA} - (V_{RA} + V_{LL})/2$$

$$aV_F = V_{LL} - (V_{RA} + V_{LA})/2$$

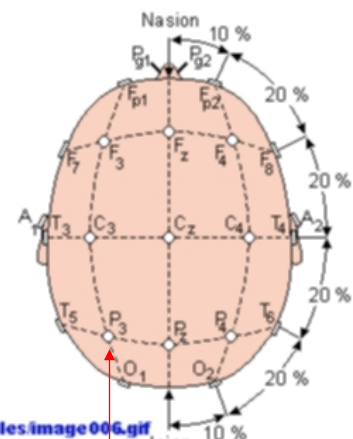
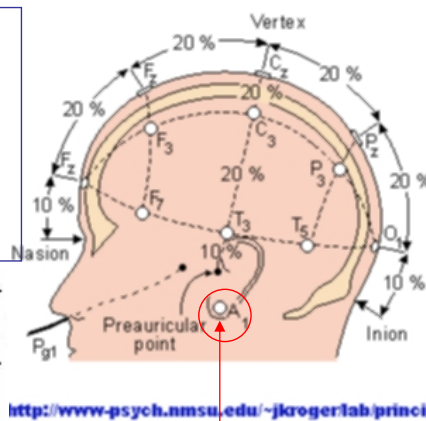
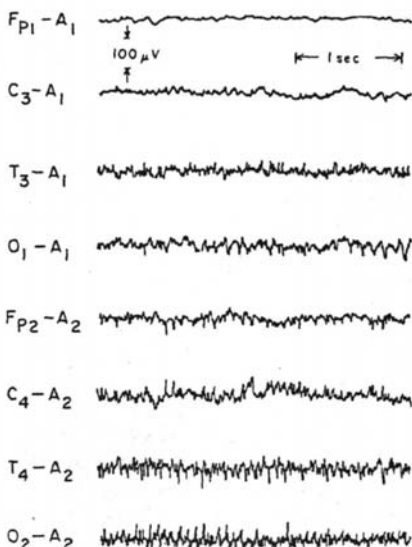
$V_1 \dots V_6 \rightarrow$ προσανατολισμό του διπόλου της καρδιάς



Video για το ηλεκτροκαρδιογράφημα
http://www.youtube.com/watch?v=nK0_28q6WoM&feature=related

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)

Καταγραφή ηλεκτρικών σημάτων στην επιφάνεια του κρανίου που προέρχονται από τους νευρώνες του φλοιού του εγκεφάλου



Ηλεκτρόδιο αναφοράς (A_1 ή A_2)

Ηλεκτρόδια με τη μορφή δίσκων

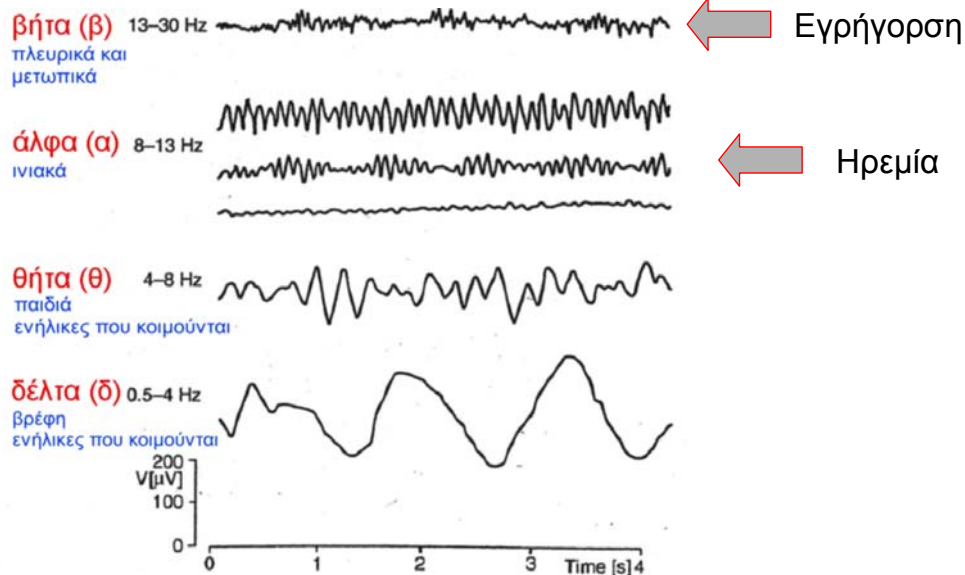
Συνήθως συγκρίνονται σήματα από συμμετρικά σημεία του εγκεφάλου.
 Διαφορετικά \rightarrow ανωμαλία/ασθένεια

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)

Ύψος σήματος ~50μV

συχνά υπάρχουν παρεμβολές (ηλεκτρονικός θόρυβος, σήματα μυϊκές κινήσεις των ματιών κλπ)

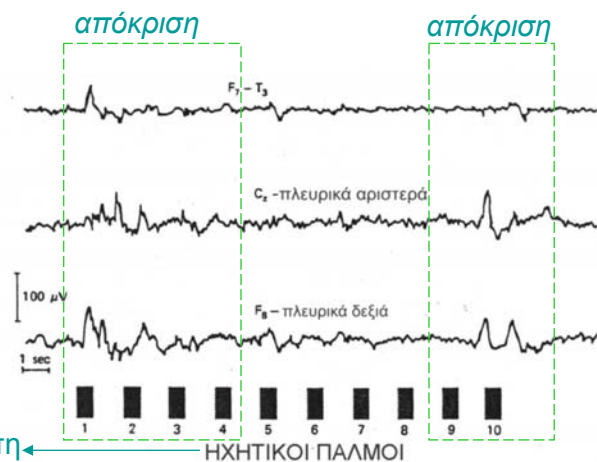
Οι συχνότητες των σημάτων εξαρτώνται από τη λειτουργία του εγκεφάλου



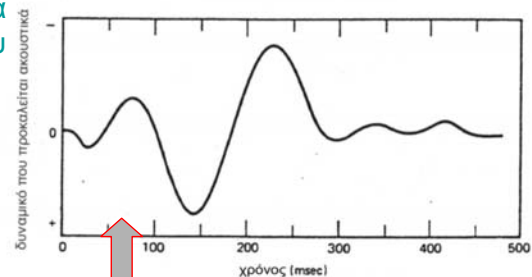
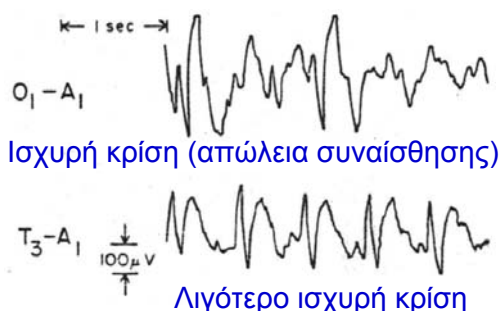
Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)

Τα ΗΕΓ χρησιμοποιούνται:

- για διάγνωση ασθενειών (π.χ. επιληψία, καρκινικοί όγκοι)
- για την παρακολούθηση ασθενούς κατά την εγχείριση όταν δεν μπορεί να γίνει καρδιογράφημα (ένδειξη επιπέδου αναισθησίας)
- για την παρακολούθηση διαφόρων σταδίων του ύπνου
- μελέτη της δραστηριότητας του εγκεφάλου υπό την επίδραση ερεθισμάτων (φωτεινές λάμπες, ηχητικοί παλμοί κλπ).



ΕΠΙΛΗΨΙΑ



Μέσος όρος απόκρισης για 64 ερεθίσματα