

«Βιοσήματα»
MED1114 (684 για Οδοντ/κη)

Κωνσταντίνος Λουκάς
Αναπλ. Καθηγητής

Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής
Ιατρική Σχολή ΕΚΠΑ

Βιβλιογραφία

1. Cameron JR, Φυσική του ανθρωπίνου σώματος^{1,2}
2. Herman IP, Φυσική του ανθρωπίνου σώματος^{1,2}
3. Hobbie RK, Intermediate physics for medicine and biology¹
4. Σημειώσεις στο e-class

[1] Βιβλιοθήκη Επιστημών Υγείας

[2] Βιβλιοθήκη Οδοντιατρικής

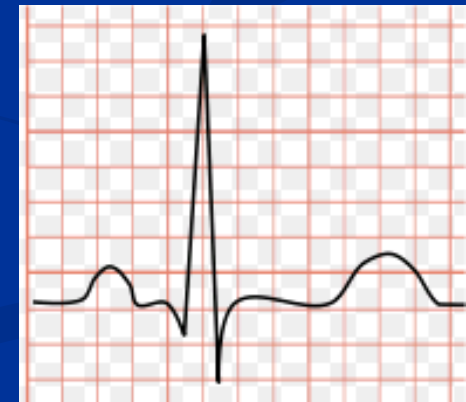
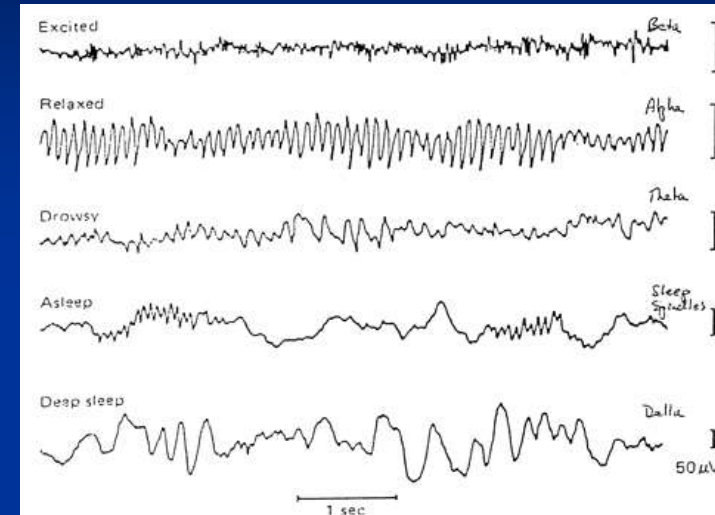
Βιβλιοθήκη & Κέντρο Πληροφόρησης ΕΚΠΑ: <http://www.lib.uoa.gr/>

Περιγραφή Παρουσίασης

- Νευρικός Πάλμος
- ΗΚΓ
- ΗΜΓ
- ΗΕΓ
- ΗΑΓ, ΗΟΓ
- Νευροανάδραση, ΜΕΓ

Τι είναι το βιοσήμα

- Χωρική-, Χρονική-, Χωρο-Χρονική καταγραφή ενός βιολογικού γεγονότος. Παρέχει κλινικές πληροφορίες σχετικά με συγκεκριμένες λειτουργίες του σώματος και, κατά συνέπεια, την κατάσταση του ασθενούς.
- **Παθητικά**: εξωτερική πηγή, ακτινοβολία αλληλοεπιδρά με το σώμα (x-Ray, CT,...)
- **Ενεργά**: παράγονται από το σώμα (ΗΚΓ, ΗΕΓ,...)
- Θα εξετάσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά των **ενεργών βιοσημάτων** (ηλεκτρικά σήματα ως αποτέλεσμα ηλεκτροχημικής δράσης ορισμένων τύπων κυττάρων).



Νευρικό Σύστημα

■ ΚΝΣ, περιλαμβάνει:

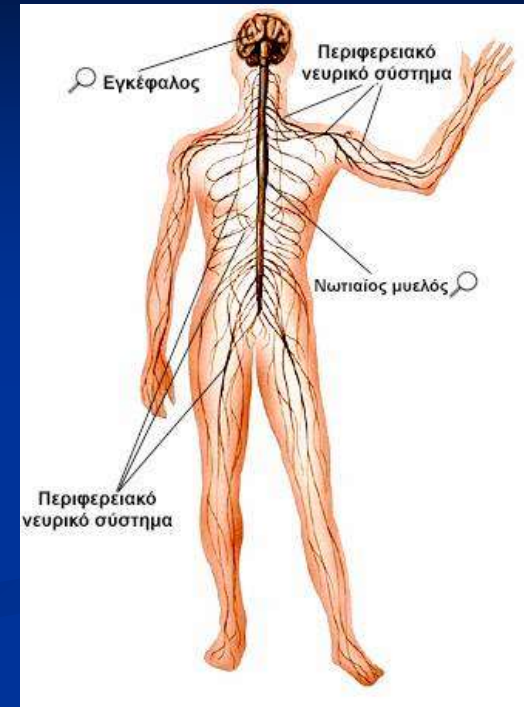
- Εγκέφαλος (~1.5Kgr, πλέει στο ΕΝΥ)
- Νωτιαίος μυελός (σωληνοειδή μορφή νευρ. ιστού, μεταφέρει σήματα από τον εγκέφαλο στο σώμα και αντίστροφα)

■ ΠΝΣ, περιλαμβάνει:

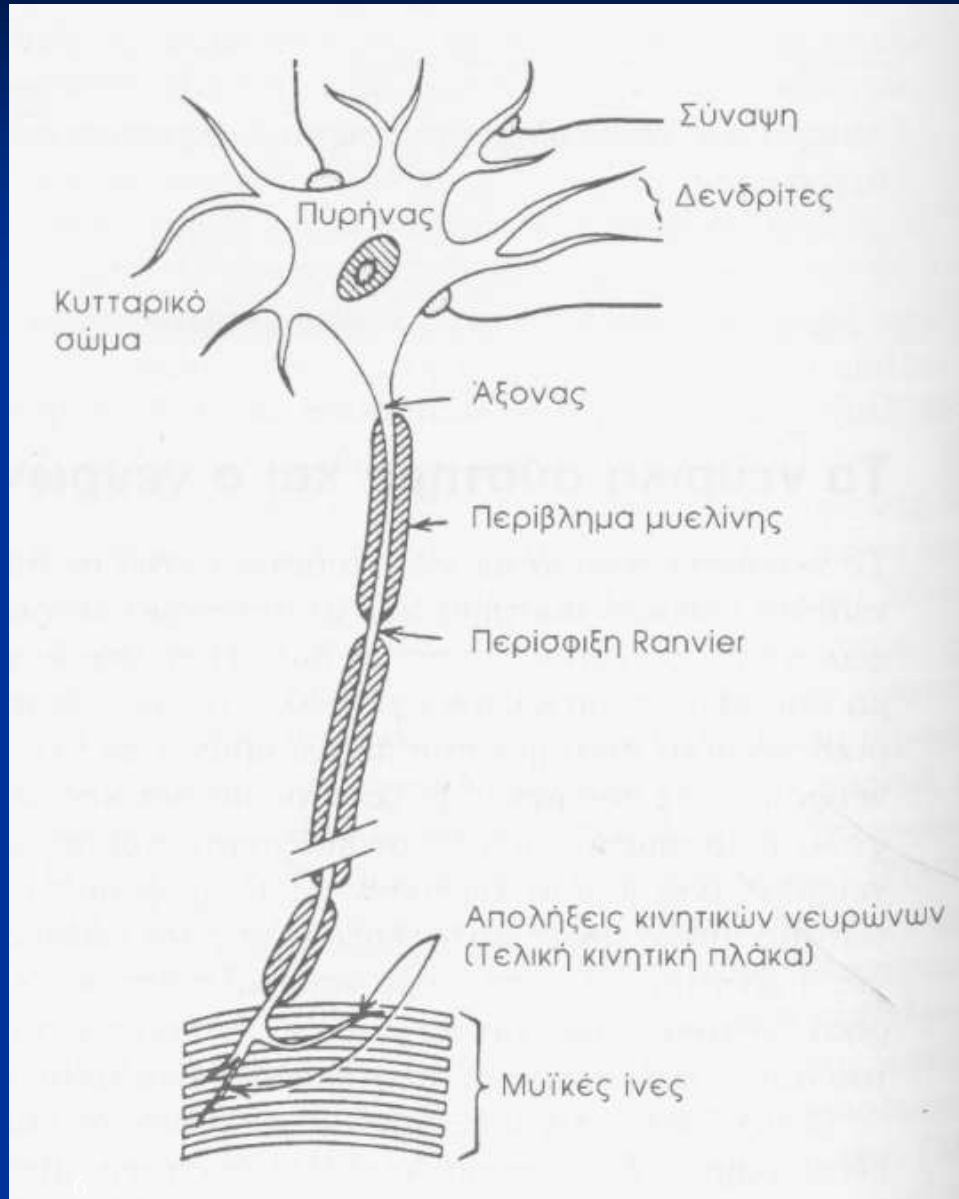
- Νεύρα (δέσμη αξόνων-νευρικών ινών)
- Γάγγλια

■ Νευρικές ίνες

- **Αισθητικές:** πληροφορίες προς νωτιαίο μυελό, εγκέφαλο.
- **Κινητικές:** Από εγκέφαλο, νωτιαίο μυελό προς μυς, αδένες.



Νευρώνας

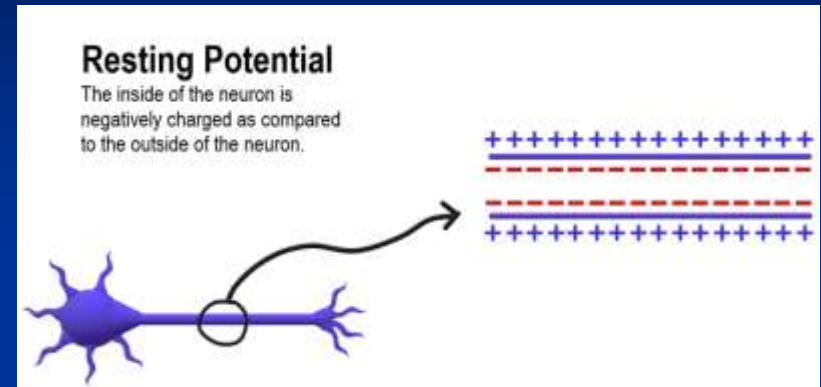


- Λήψη, Ερμηνεία, Μετάδοση πληροφοριών (ηλεκτροχημικά σήματα).
- **Δενδρίτες**: λήψη από άλλους νευρώνες.
- **Συνάψεις**: περιοχές λειτουργικής επαφής για τη μετάδοση των σημάτων, συναπτική σχισμή.
- **Σώμα**: Ολοκλήρωση, Εκφυτικός Κώνος, ζώνη εκκίνησης ΔΔ.
- **Άξονας** (νευρ. ίνα): Διάδοση.
- Μόνο αν το ερέθισμα είναι αριετά ισχυρό-**όλο** ή **ουδέν**.
- ...→ Συνάψεις → Δενδρίτες → Σώμα → Άξονας → ...

Ηλεκτρικά Δυναμικά Νευρώνα

■ Δυναμικό Ηρεμίας (ΔH)

- Σταθερή διαφορά δυναμικού, ο νευρώνας δεν έχει διεγερθεί από κάποιο ερέθισμα.

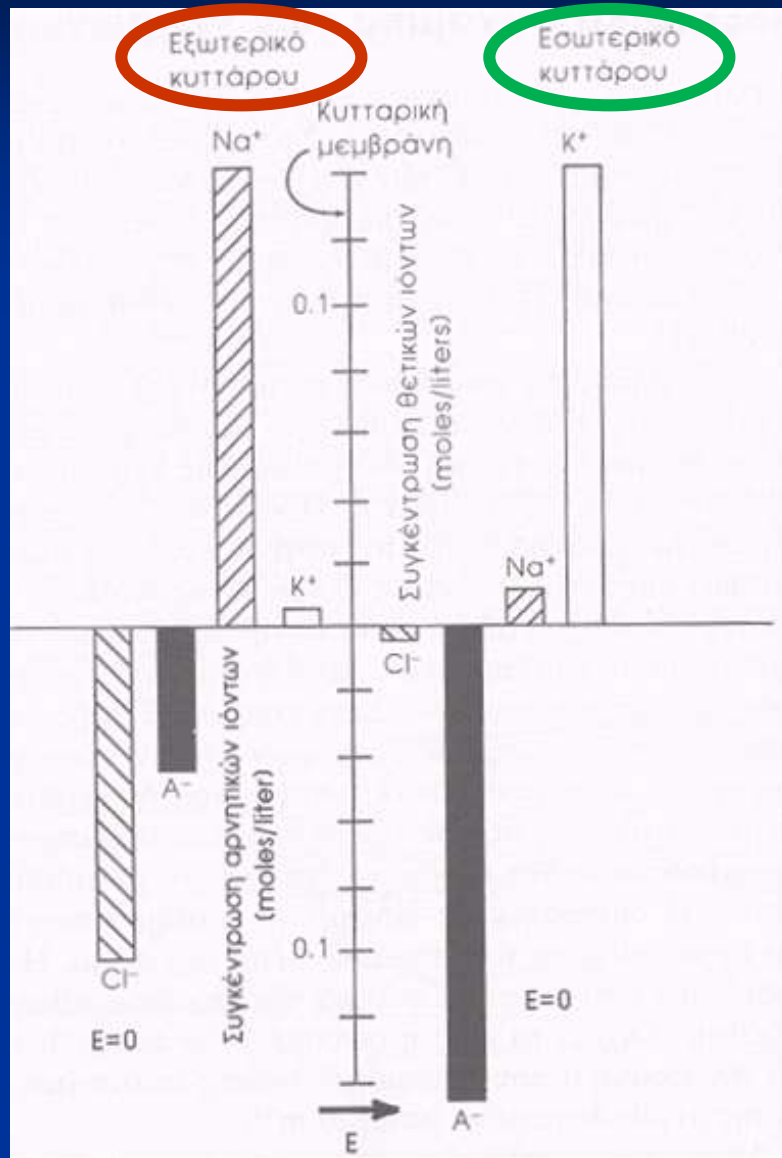


- Είναι πολωμένος (αρνητικά φορτισμένη η εσωτερική επιφάνεια και θετικά φορτισμένη η εξωτερική).

■ Δυναμικό Δράσης ($\Delta \Delta$)

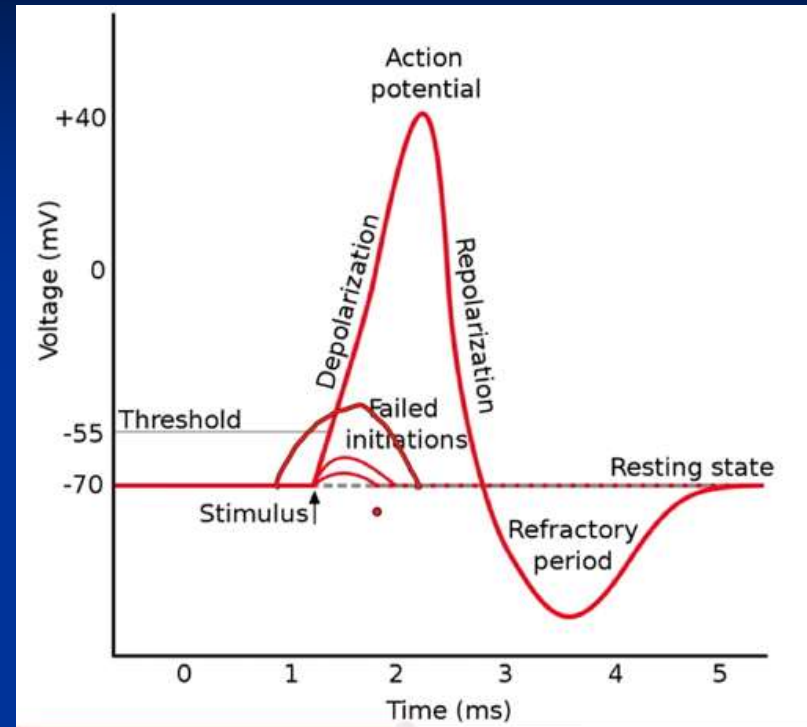
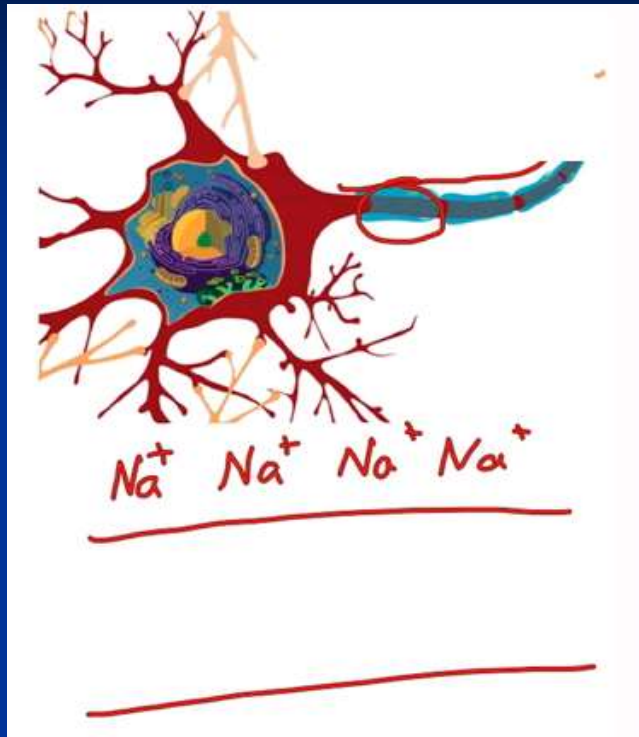
- Ο νευρώνας διεγείρεται από ισχυρό ερέθισμα.

Δυναμικό Ηρεμίας



- Διαφ. δυναμικού μεταξύ των 2 πλευρών της μεμβράνης (ο νευρώνας είναι πολωμένος):
 - $\Delta V \approx -70 \text{ mV}$ (- 60 έως -90 mV).
- Ανομοιομορφη κατανομή ιόντων (Συγκέντρώσεις σταθερές!).
 - Εσωτερικό: ↑ Πρωτεϊνικά ανιόντα
 - $\text{K}^+, \text{Na}^+ \rightarrow$ διαφορετική βαθμίδ. συγκ/σης.
 - Διευκολυνόμενη Διάχυση (διάλυτοι διαρροής), $\delta.\text{K}^+ \gg \delta.\text{Na}^+$ ($\approx \times 50$ - $\times 100$)
 - ($E_{\text{K}^+} \approx -90 \text{ mV}$, $E_{\text{Na}^+} \approx +60 \text{ mV}$, $E_{\text{Cl}^-} \approx -70 \text{ mV}$)
 - Ενεργός Μεταφορά: Αντλία K^+/Na^+ : $2 \rightarrow / \leftarrow 3$ (αντίθετα από βαθμίδωση συγκέντρωσης...απαιτείται ενέργεια, ATP).

Δυναμικό Δράσης: 1. ερέθισμα > κατώφλι



Action potential: Δυναμικό Δράσης

Threshold: Κατώφλι

Stimulus: Ερέθισμα

Depolarization: Εκπόλωση

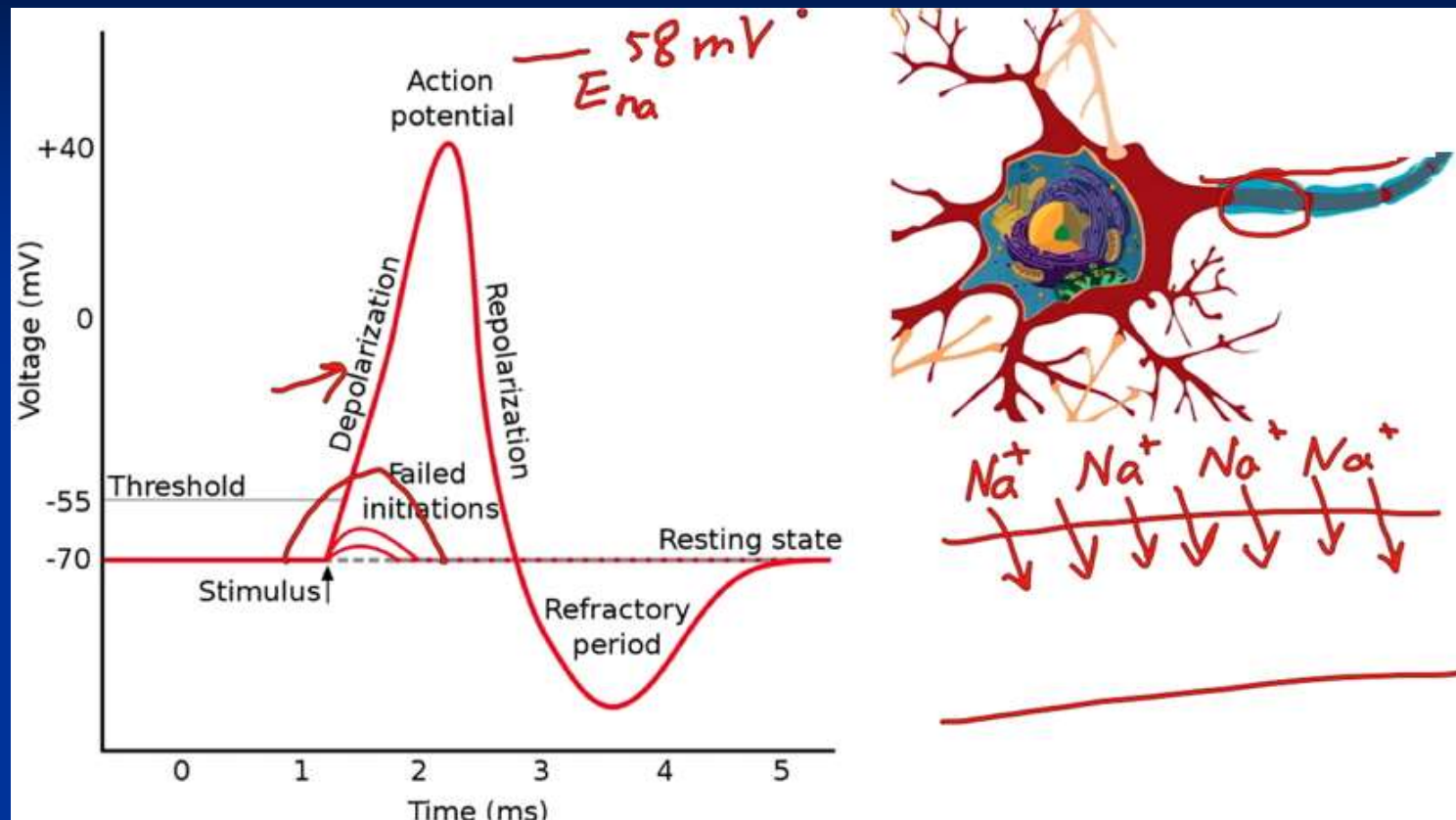
Repolarization: Επαναπόλωση

Failed initiation: Αποτυχία εκκίνησης

Refractory period: Περίοδος ανερεθιστότητας (σχετική)

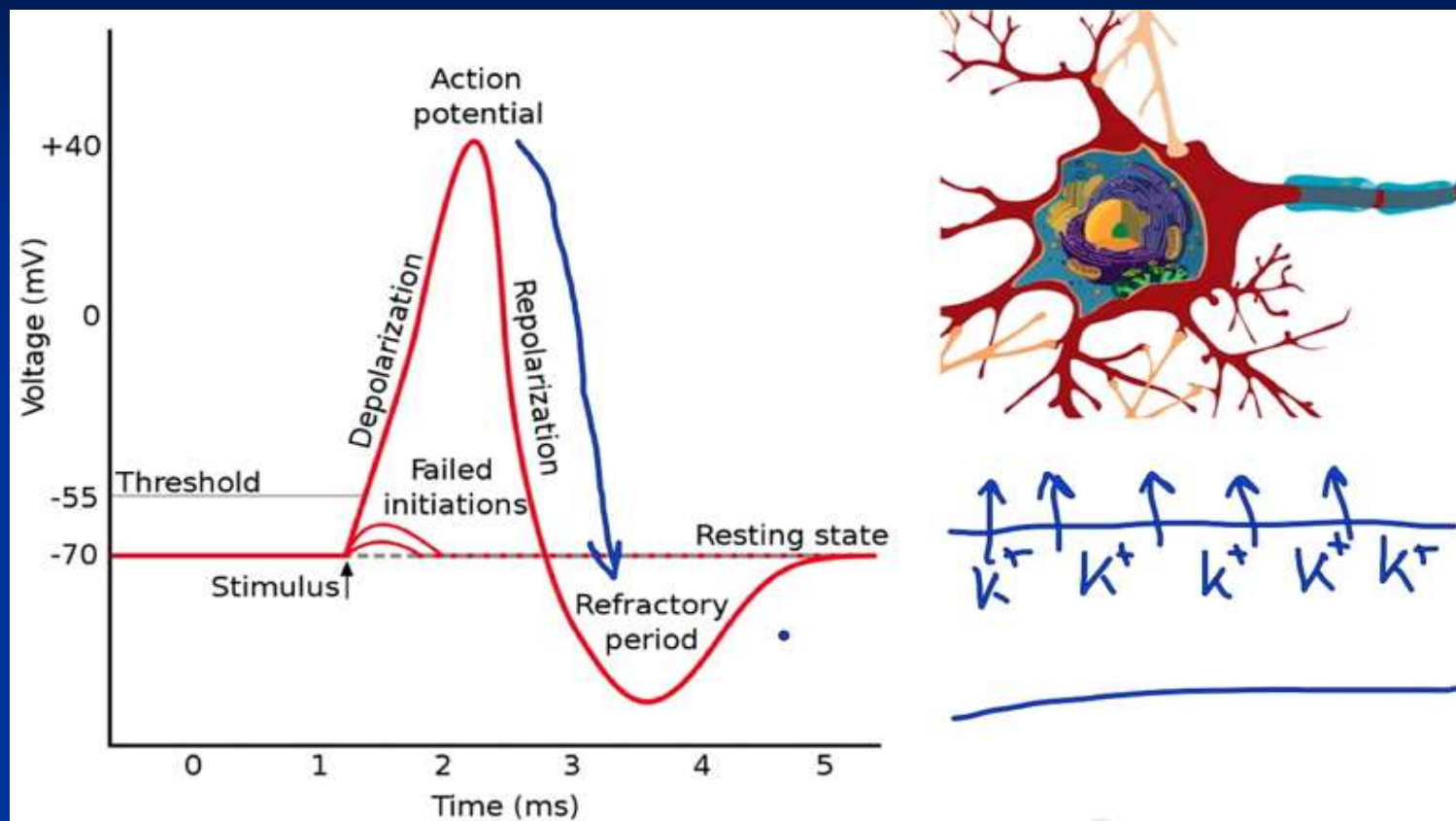
Resting rate: Περίοδος ηρεμίας

Δυναμικό Δράσης: 2. Εκπόλωση



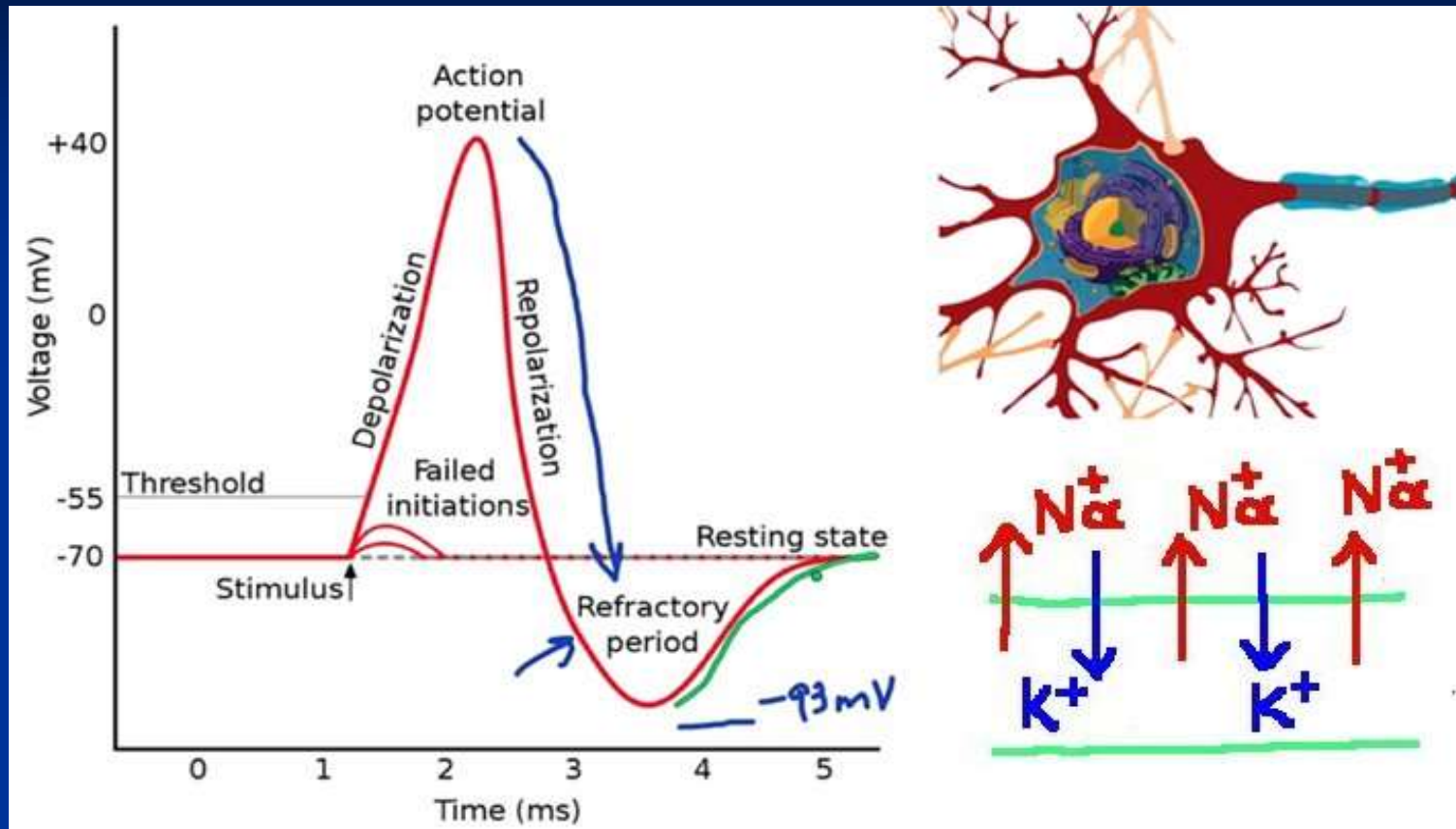
- Δίαυλοι (τάσο-ελεγχόμενοι) Na^+ ανοίγουν γρήγορα εξαιτίας της νέας διαφοράς δυναμικού στη μεμβράνη (λόγω διέγερσης).
- Εισροή Na^+ (κατά μήκος διαβάθμισης συγκέντρωσης).
- Εσωτερικό: $\uparrow$ συγκέντρωση Na^+ .

Δυναμικό Δράσης: 3. Επαναπόλωση

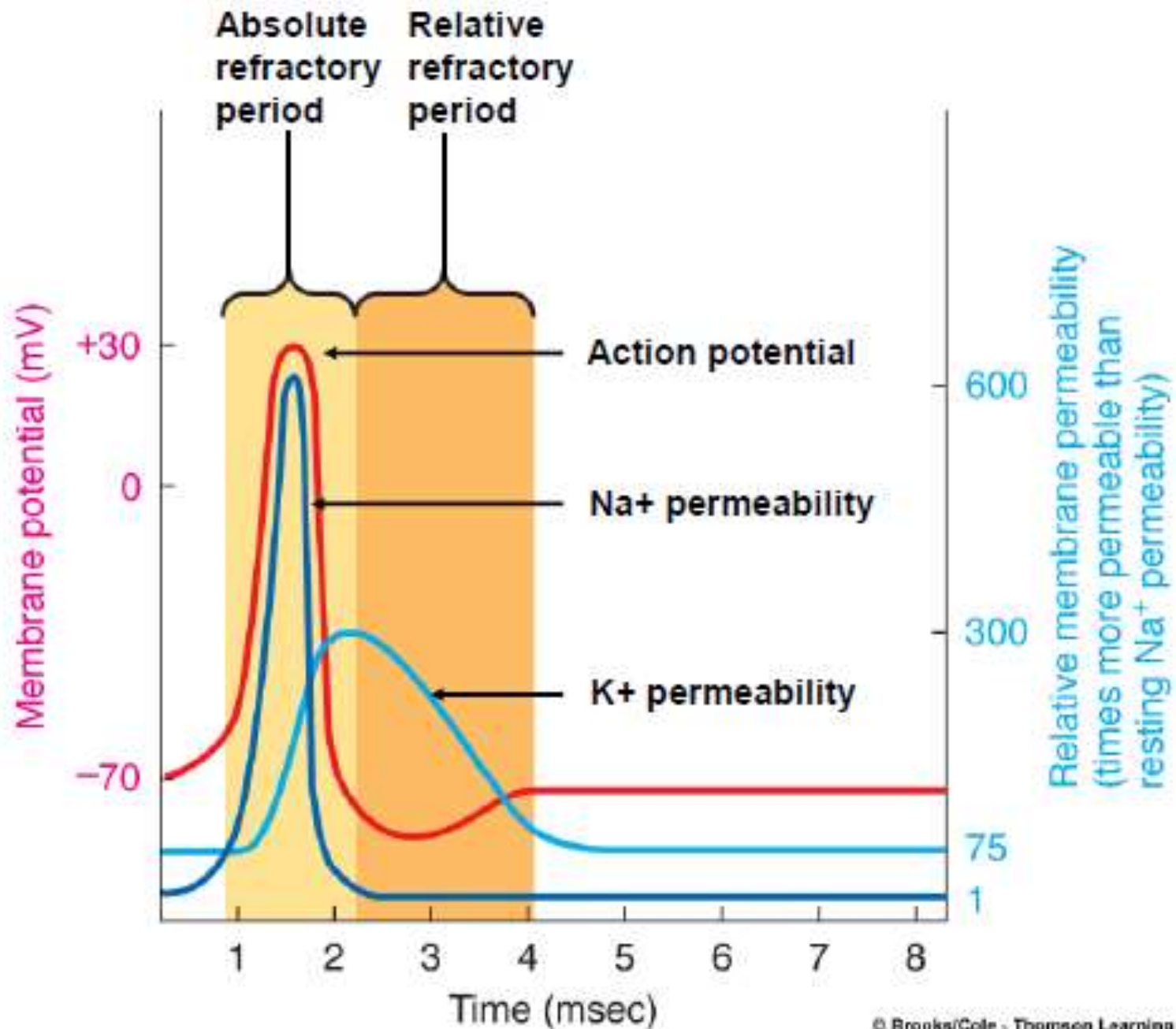


- Δίαυλοι Na^+ κλείνουν γρήγορα, και...
- ...δίαυλοι (τάσο-ελεγχόμενοι) K^+ ανοίγουν αργά.
- Εκροή ιόντων K^+ (κατά μήκος διαβάθμισης συγκέντρωσης).
- Εξωτερικό: $\uparrow$ συγκέντρωση K^+ .

Δυναμικό Δράσης: 4. Υπερπόλωση, Επαναφορά



- Δίαυλοι K^+ κλείνουν αργά.
- Υπερπόλωση (δυναμικό μεμβράνης $< \Delta H$).
- Επαναφορά στο ΔH , Αντλίες K^+/Na^+ : $2\downarrow/3\uparrow$.
- Νευρώνας έτοιμος να ανταποκριθεί και πάλι.

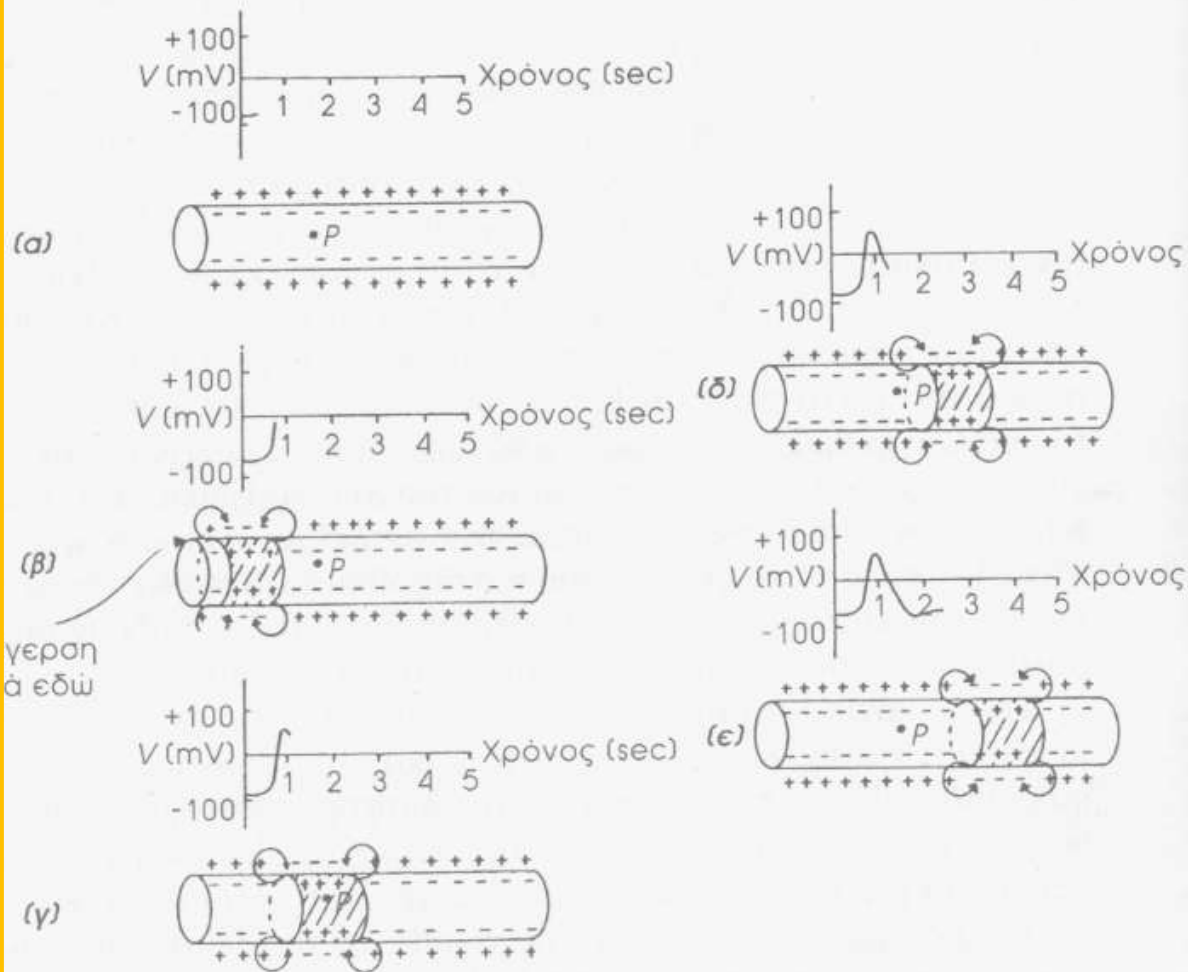


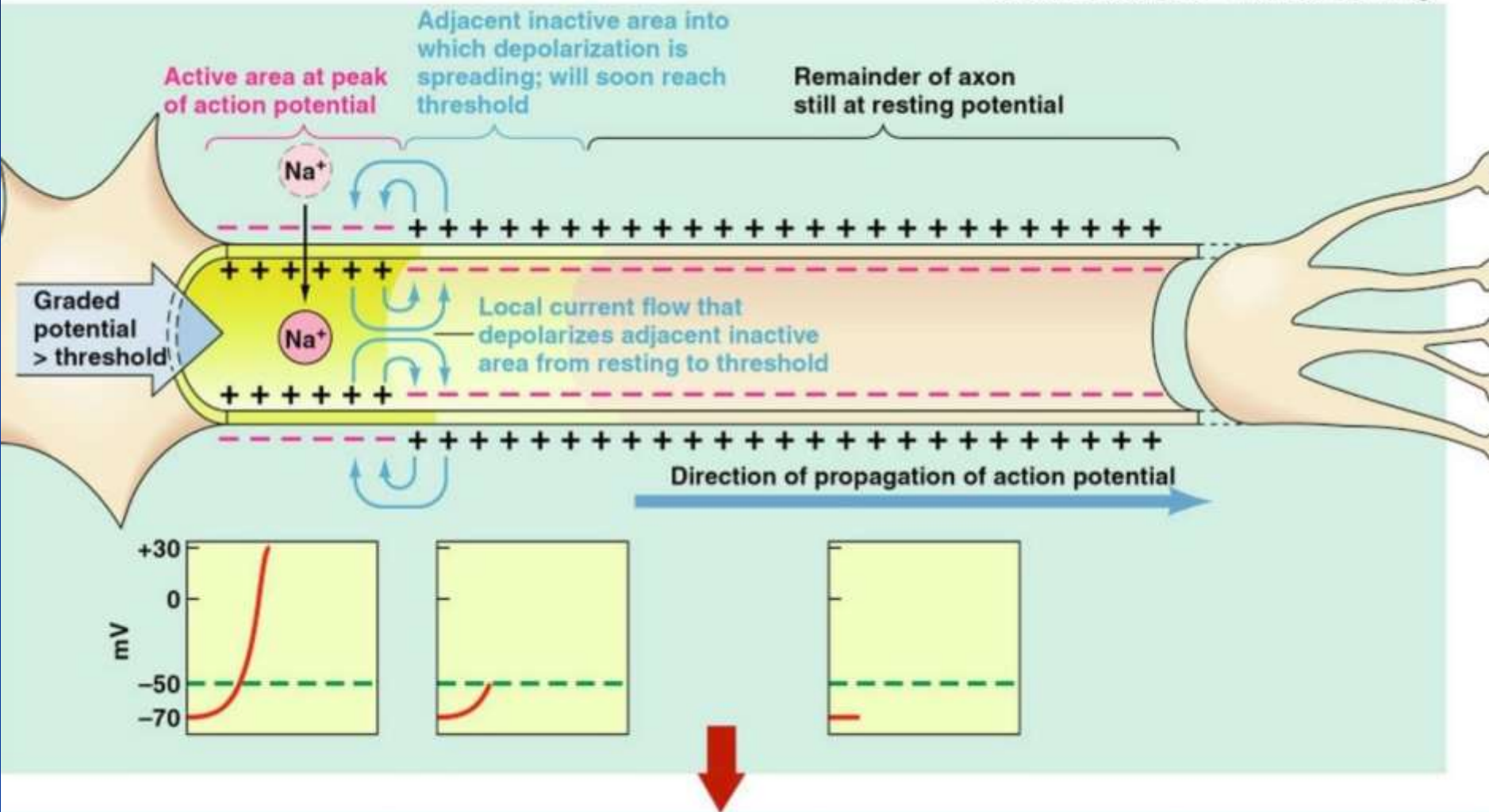
Διάδοση ΔΔ

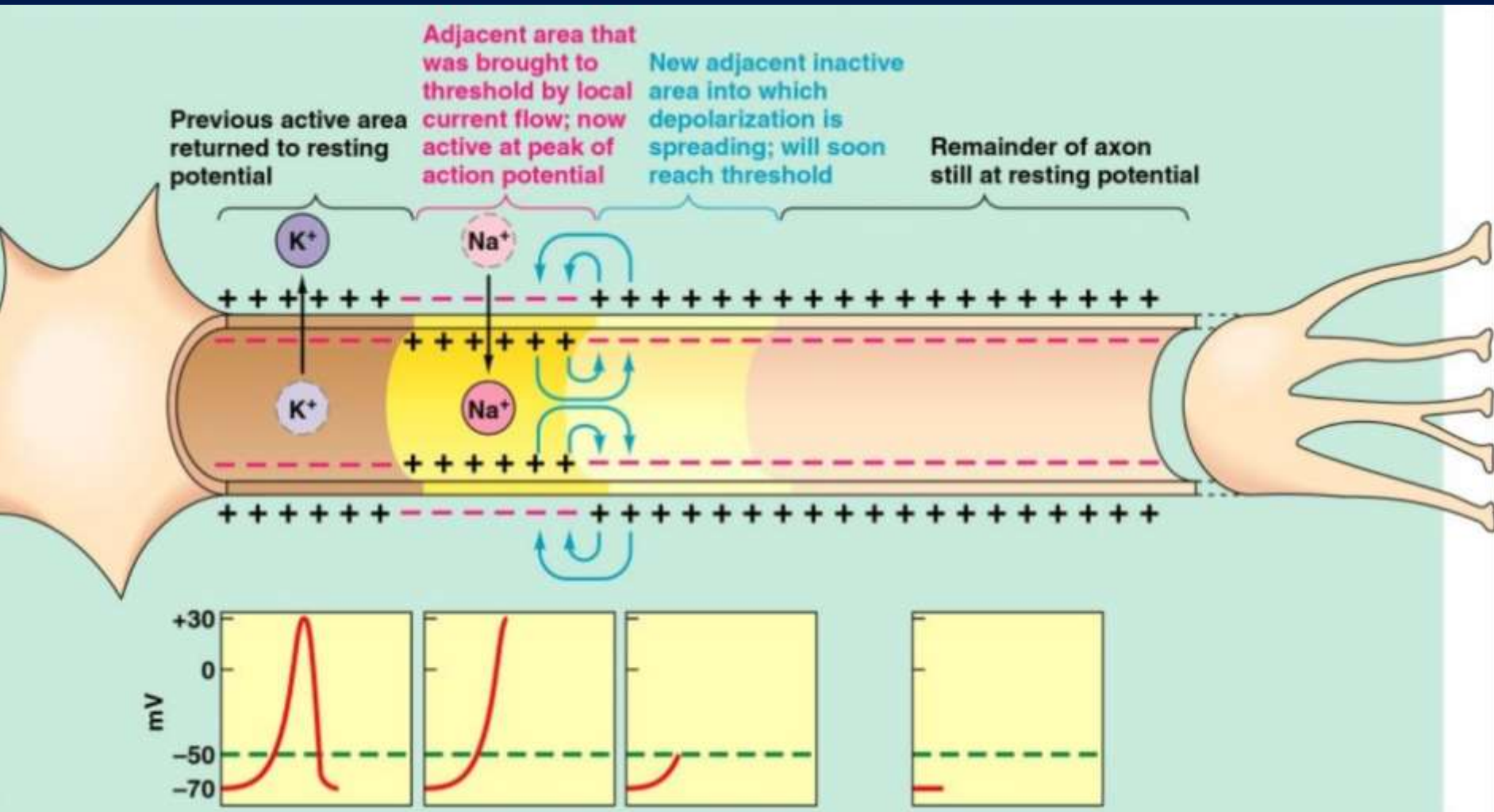
- Το φαινόμενο δεν είναι μόνο χρονικό, εξελίσσεται και κατά μήκος του άξονα.

- Διέγερση $\rightarrow$ εισροή Na^+ $\rightarrow$ εκπόλωση μεμβράνης $\rightarrow$ Η αναστροφή δυναμικού στη διεγερμένη περιοχή προκαλεί κίνηση ιόντων στην κατεύθυνση που δείχνουν τα βέλη (β), τα οποία με τη σειρά τους εκπολώνουν την δεξιά περιοχή (γ-ε).

- Εντωμεταξύ, το αρχικό σημείο ερεθισμού επαναπολώνεται (τα K^+ μετακινούνται έξω για την αποκατάσταση του δυναμικού ηρεμίας).







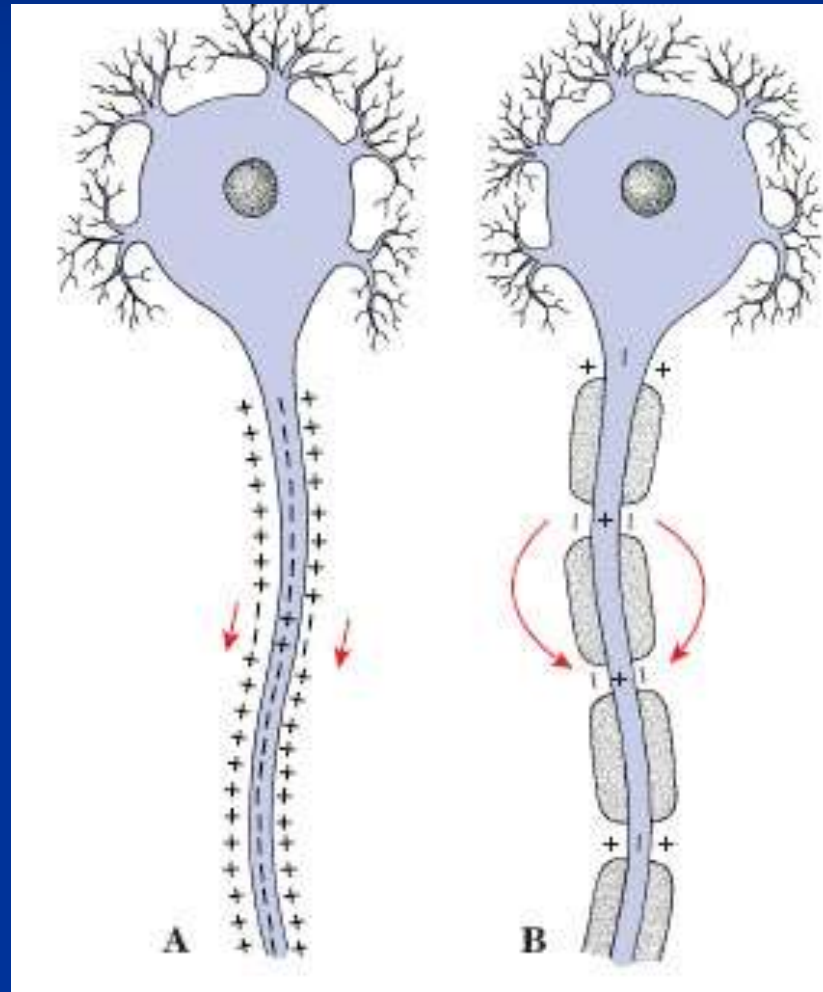
Διάδοση παλμού (Αμύελες vs. Εμμύελες ίνες)

- **Μυελίνη:** λιπώδες μονωτικό στρώμα. Καλύπτει τις μεμβράνες μερικών αξόνων.
- **Περισφίξεις Ranvier:** μη μονωμένα διαστήματα.

Συνεχής αγωγή
παλμού

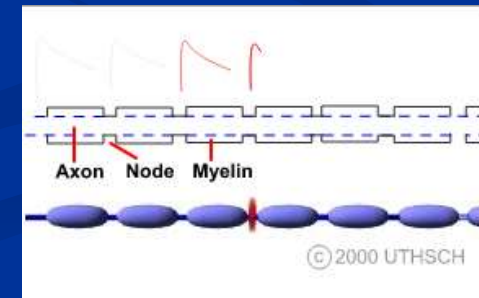
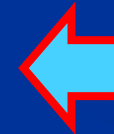


Το ΔΔ διαδίδεται σε όλο
το μήκος του άξονα.

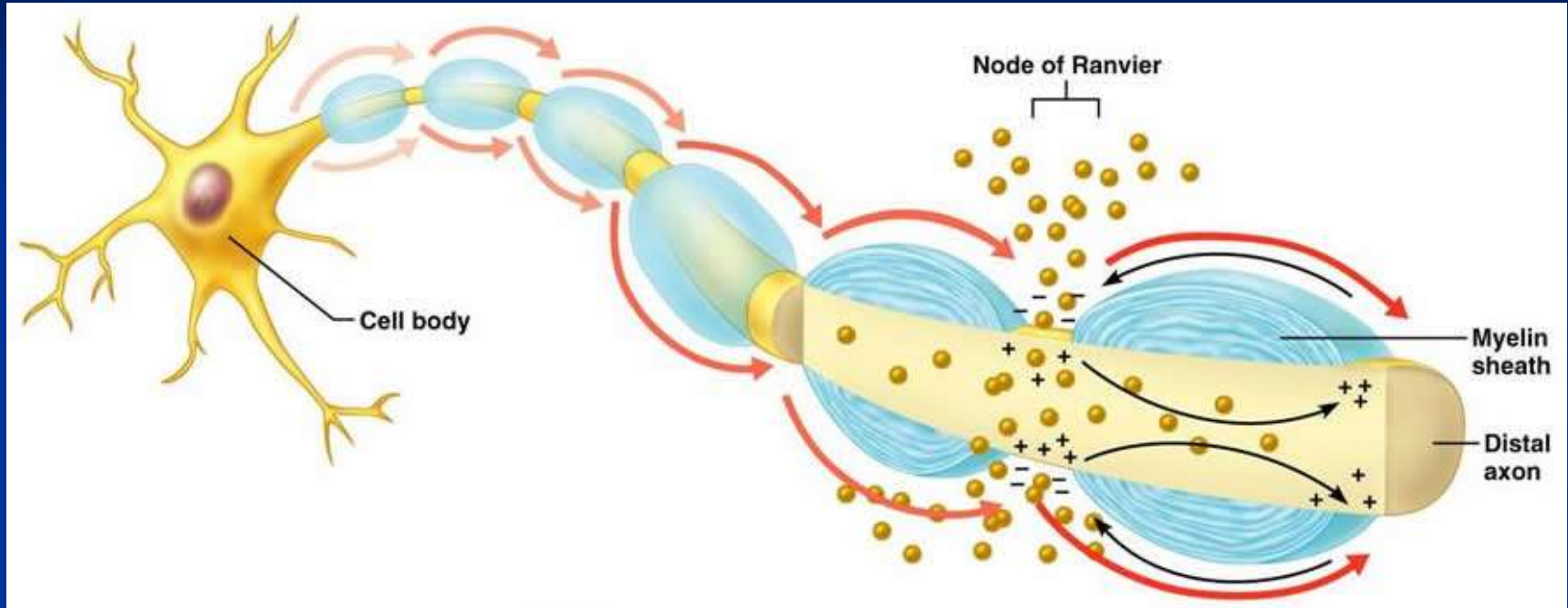


Οι εμμύελες ίνες
διαδίδουν το ΔΔ πολύ
πιο γρήγορα.

Αγωγή
παλμού κατά
άλματα



Διάδοση παλμού (Εμμύελες ίνες)



- Η αλλαγή του δυναμικού που προκαλείται από το ΔΔ σε έναν κόμβο εξαπλώνεται παθητικά στην ενδο-κομβική περιοχή κατά μήκος του άξονα. Το δυναμικό μειώνεται.
- Εξετάστε το σημείο στο οποίο το παθητικά διαδιδόμενο δυναμικό φτάνει στον επόμενο κόμβο. Θα ξεκινήσει ένα «νέο» ΔΔ. Το ερέθισμα για αυτό το ΔΔ είναι η ειποπόλωση που προκύπτει από το άκρο της μυελίνης. Κάθε κόμβος λειτουργεί ως «σταθμός αναμετάδοσης» που ανανεώνει το μειωμένο σήμα.

Διάδοση παλμού (παράγοντες R , C)

- Δύο παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του δυναμικού δράσης:
 - Χωρητικότητα C μεμβράνης (σχετίζεται με το αποθηκευμένο φορτίο), μεταξύ των 2 πλευρών της.
 - Ηλεκτρική αντίσταση R στο εσωτερικό του άξονα.
- Για να κατανοήσουμε το ρόλο αυτών των 2 παραγόντων, προσομοιάζουμε τη μεμβράνη με πυκνωτή C & το εσωτερικό του άξονα με αντίσταση R (ηλεκτρικό ανάλογο νευρώνα).



Διάδοση παλμού (παράγοντες R, C)

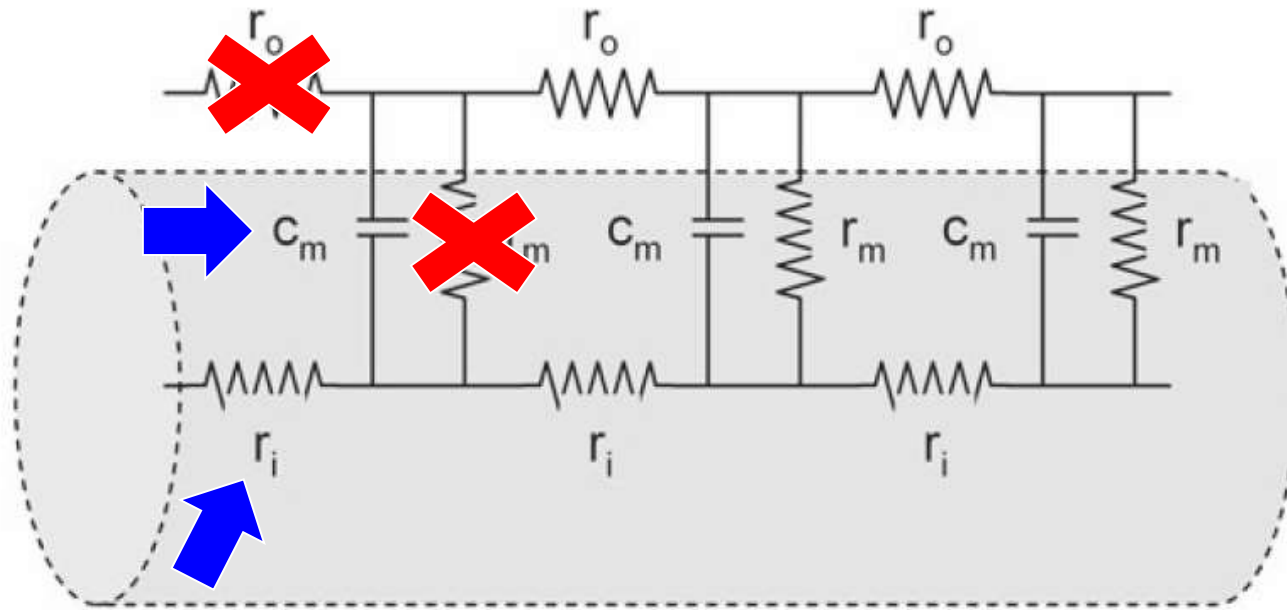


Fig. 12.17 Distributed circuit model of an axon, with resistance inside the axon r_i , membrane resistance r_m and capacitance c_m , and resistance outside the axon r_o , each per unit length

$$c_m \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} = -J_m + \frac{1}{2\pi a r_i} \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial x^2}.$$

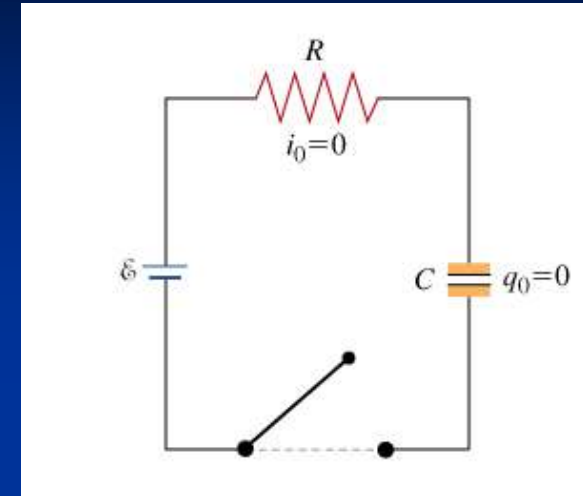
*Herman,
Chap. 12*

Ηλεκτρικό ανάλογο – Κύκλωμα RC, I

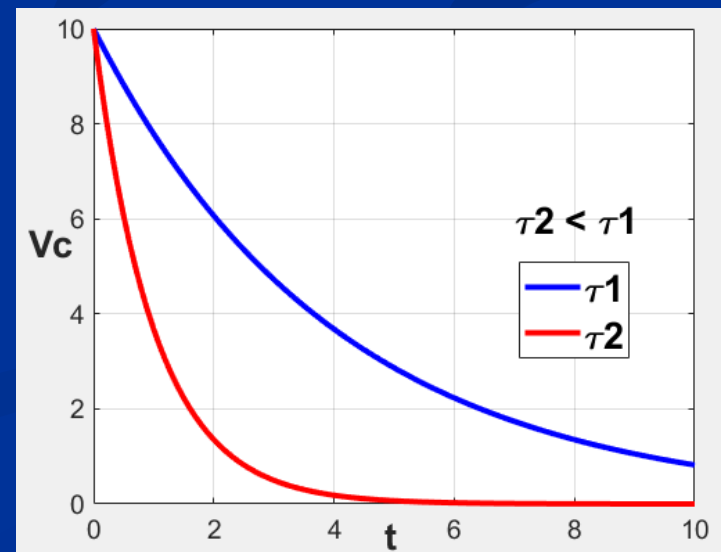
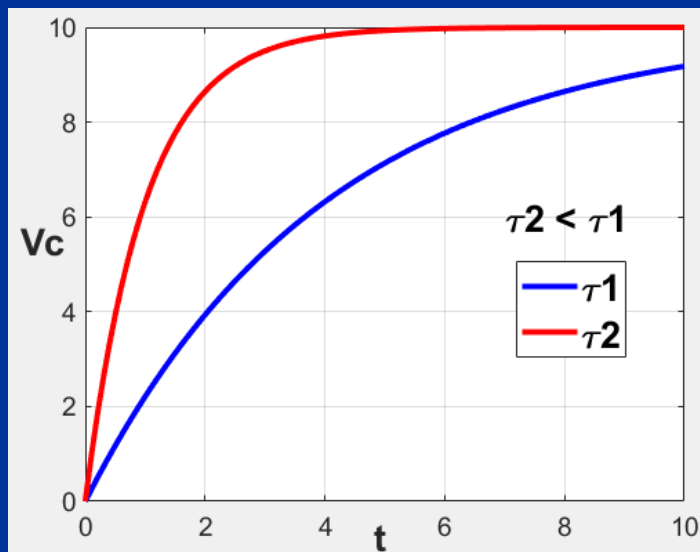
- Φόρτιση: $V_C = V_0(1 - e^{-t/\tau})$
- Εκφόρτιση: $V_C = V_0 e^{-t/\tau}$
- Περιβλήμα Μυελίνης: καλός μονωτής με $\downarrow C$
(μικρότερο αποθηκευμένο φορτίο στο τμήμα αυτό)
- Όμως: $\downarrow C \Rightarrow$ γρήγορη εκφόρτιση/φόρτιση $\Rightarrow$
- $u(\text{εμμύελα}) > u(\text{αμύελα})$, u : ταχύτητα

Σταθ. χρόνου
κυκλώματος

$$\tau = RC$$



Το δυναμικό δράσης φτάνει ταχύτερα
στον επόμενο κόμβο Ranvier



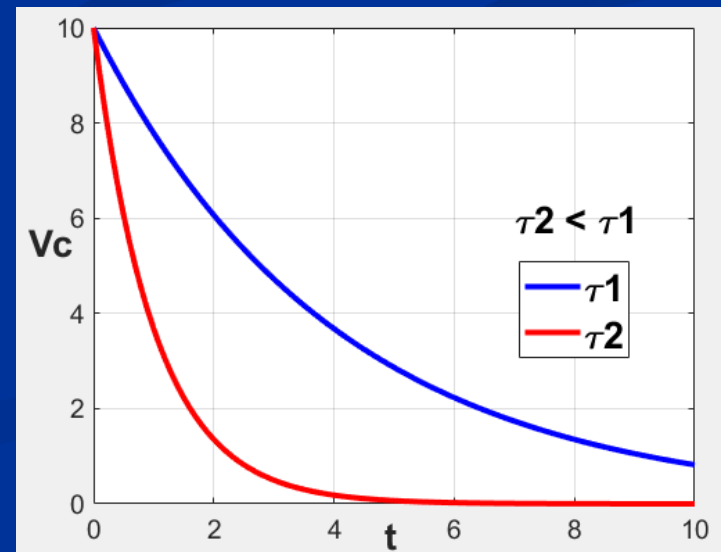
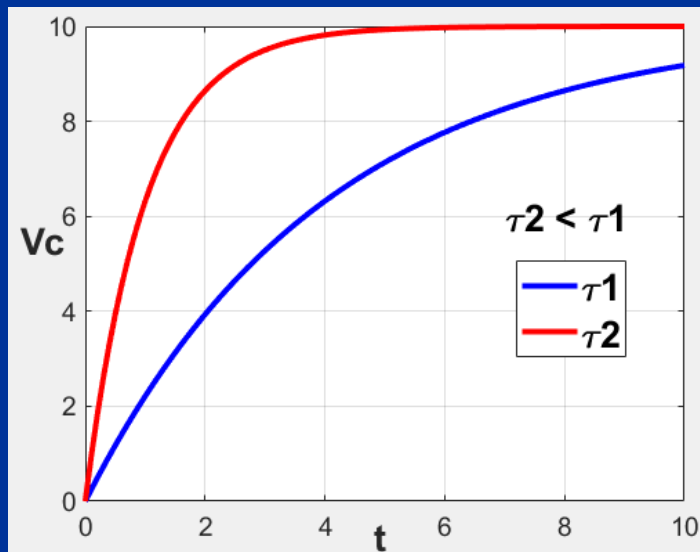
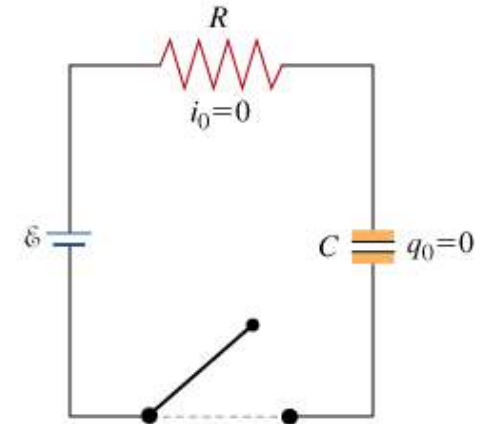
Ηλεκτρικό ανάλογο – Κύκλωμα RC, II

- Φόρτιση: $V_C = V_0(1 - e^{-t/\tau})$
- Εκφόρτιση: $V_C = V_0 e^{-t/\tau}$
- C: χωρητικότητα μεμβράνης
- R: Εσωτ. αντίσταση άξονα ($R = \rho * L / S$):

- $\uparrow$ διάμετρος $\Rightarrow \downarrow R \Rightarrow \uparrow$ ταχύτητα διάδοσης παλμού

Σταθ. χρόνου
κυκλώματος

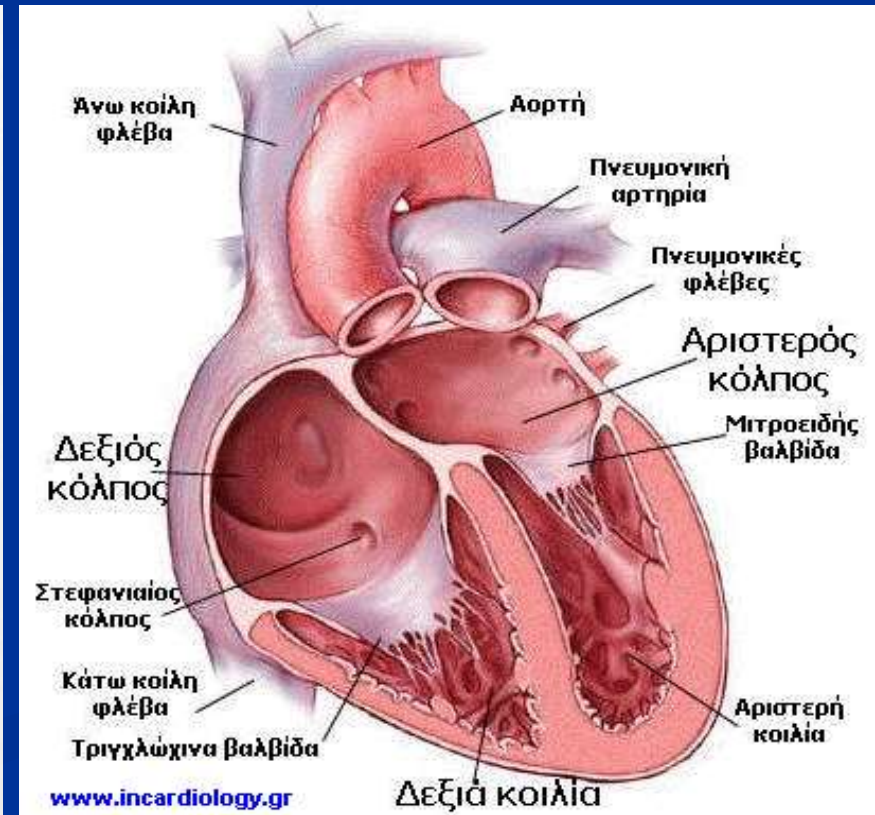
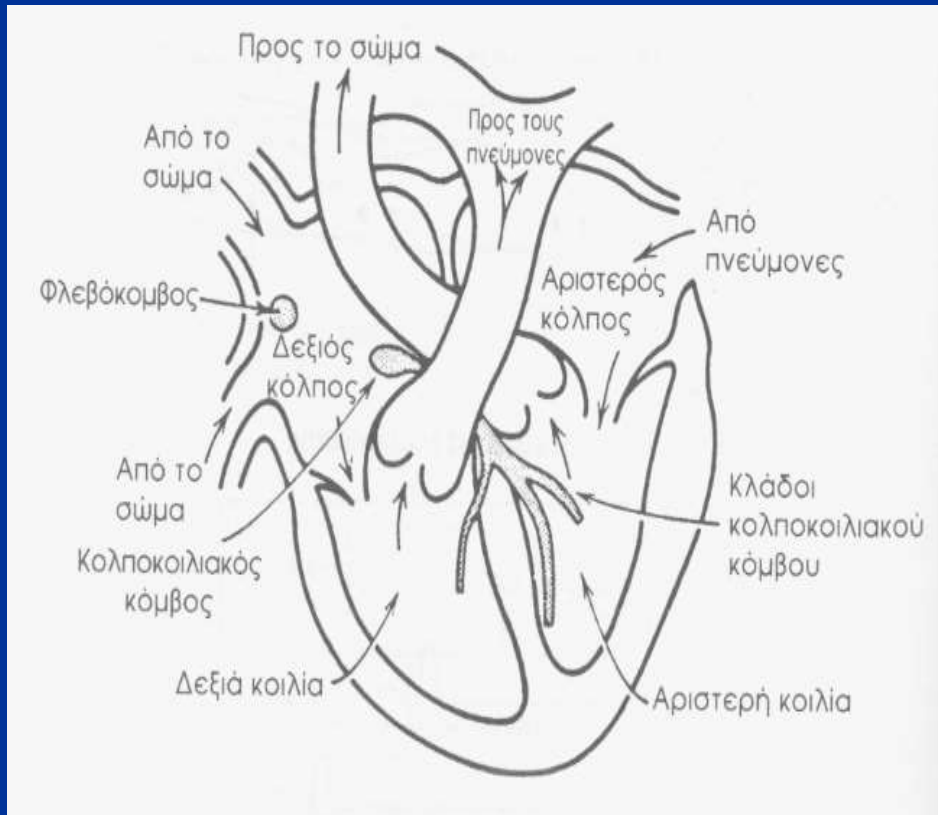
$$\tau = RC$$



ΗλεκτροΚαρδιοΓραφημα (ΗΚΓ)

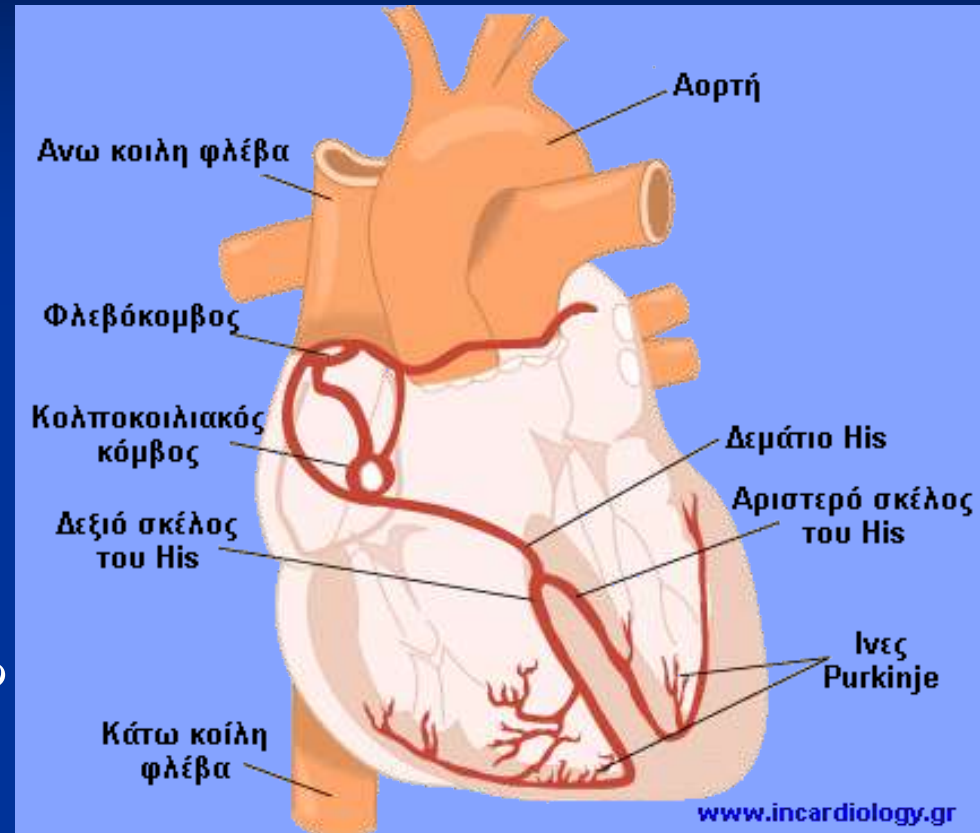
Καρδιακός Μυς

- **Δεξ. κόλπος:** δέχεται φλεβικό αίμα από ά/κ κοίλη φλέβα + στεφανιαίο κόλπο.
- **Δεξ. κοιλία:** αντλεί αίμα στην πνευμονική κυκλοφορία.
- **Αρ. κόλπος:** δέχεται οξυγονωμένο αίμα από πνευμονικές φλέβες.
- **Αρ. κοιλία:** αντλεί αίμα στη συστηματική κυκλοφορία (μέσω αορτής).



Το ερεθισματαγωγό σύστημα της καρδιάς

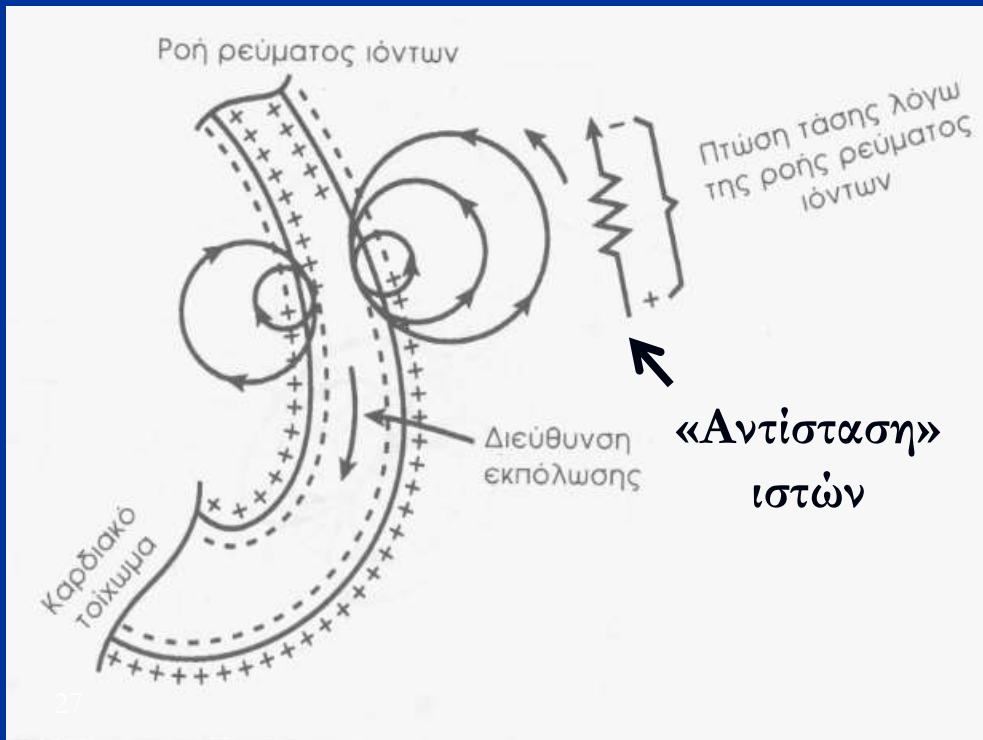
- Η καρδιά χαρακτηρίζεται από την ικανότητα να **συστέλλεται χωρίς εξωτερικό ερέθισμα**, που να προέρχεται από άλλα όργανα, χάρη στην ύπαρξη ειδικού ηλεκτρικού συστήματος (**ερεθισματαγωγό σύστημα της καρδιάς**).
- Το ερέθισμα παράγεται στο **φλεβόκομβο** [βηματοδότης... → εκπ./συστολή κόλπων] → κολποκοιλιακό κόμβο [→ εκπ./συστολή κοιλιών] → διάχυση στις κοιλίες: δεμάτιο His (διακλάδωση) → Ίνες Purkinje.
- Ο ρυθμός στο φλεβόκομβο ελέγχεται από το ΑΝΣ.



ΗΚΓ – κύμα εκπόλωσης

«Πολύπλευρη» επιφανειακή καταγραφή (μέσω ηλεκτροδίων) των ηλεκτρικών δυναμικών που παράγονται κατά την επέκταση του κύματος διέγερσης στον καρδιακό μυ.

- **Κύμα εκπόλωσης** (κινείται προς το κάτω μέρος του καρδιακού τοιχώματος) **δημιουργεί ρεύματα ιόντων.**
- Το δυναμικό στο θωρακικό τοίχωμα οφείλεται στη ροή ρεύματος στην αντίσταση των ιστών.



Το κύμα διέγερσης προκαλεί την αλληλουχία:

Φλεβόκομβος = βηματοδότης:
εμπόλωση κόλπων → κολπική
συστολή → άντληση αίματος στις
κοιλίες
(Ακολουθεί επαναπόλωση κόλπων)

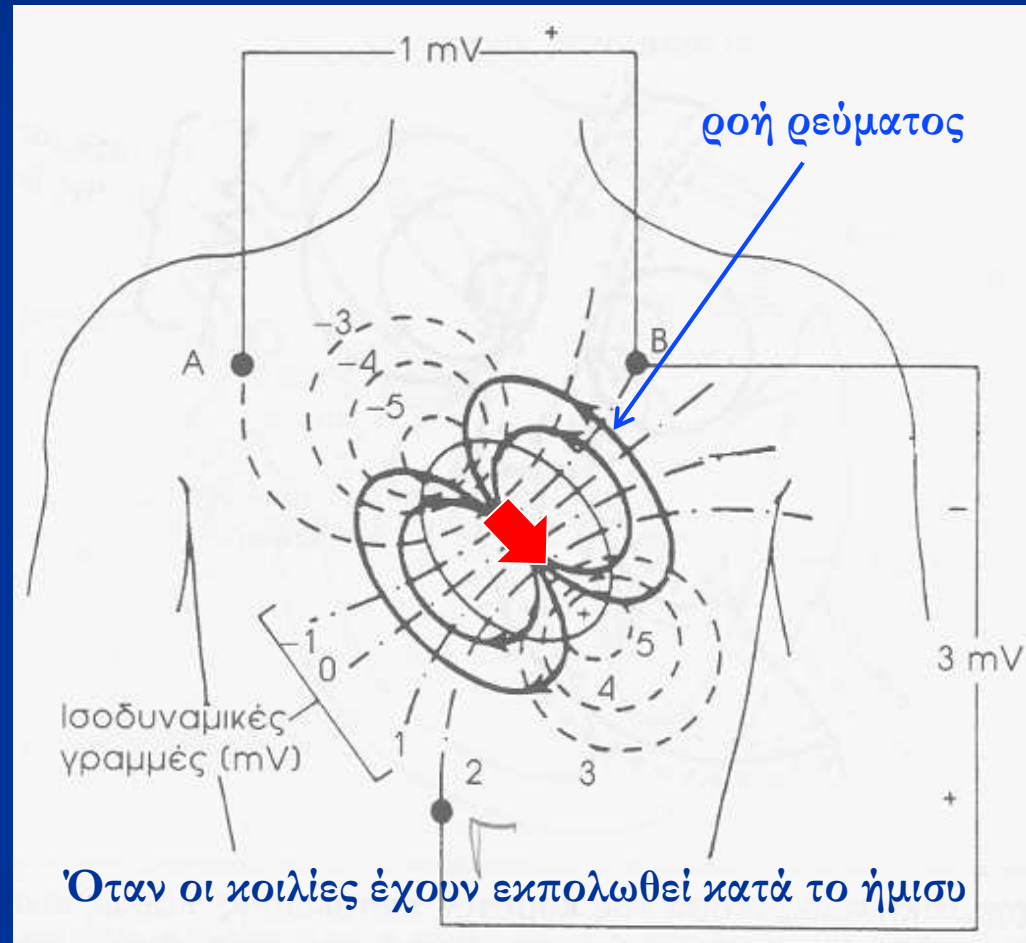
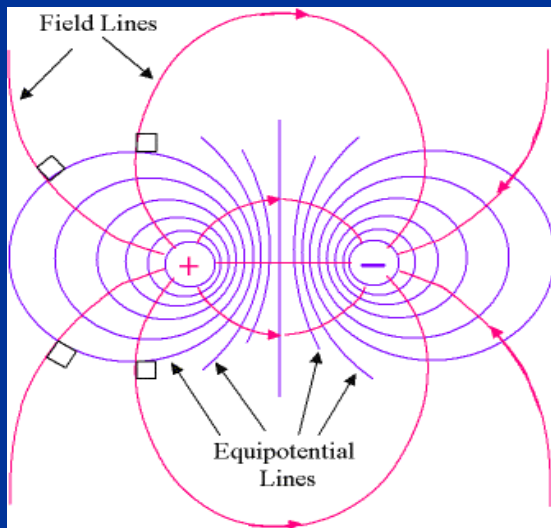
Διέλευση του σήματος στον
κολποκοιλιακό κόμβο:
εμπόλωση κοιλιών → κοιλιακή
συστολή → διοχέτευση
αίματος στους πνεύμονες (δι) και
στη γενική κυκλοφορία (ακ).
(Ακολουθεί επαναπόλωση κοιλιών)

Ηλεκτρικό Δίπολο - Ισοδυναμικές Γραμμές στην Επιφάνεια

- Άρα λοιπόν: εκπόλωση καρδιάς $\rightarrow$ ρεύματα ιόντων στους ιστούς $\rightarrow$ πτώση τάσης $\rightarrow$ καταγρ. δυναμικού στην επιφάνεια του θώρακα... Ισοδυναμικές γραμμές αντίστοιχες με ηλεκτρικού διπόλου (δίπολο ρεύματος)

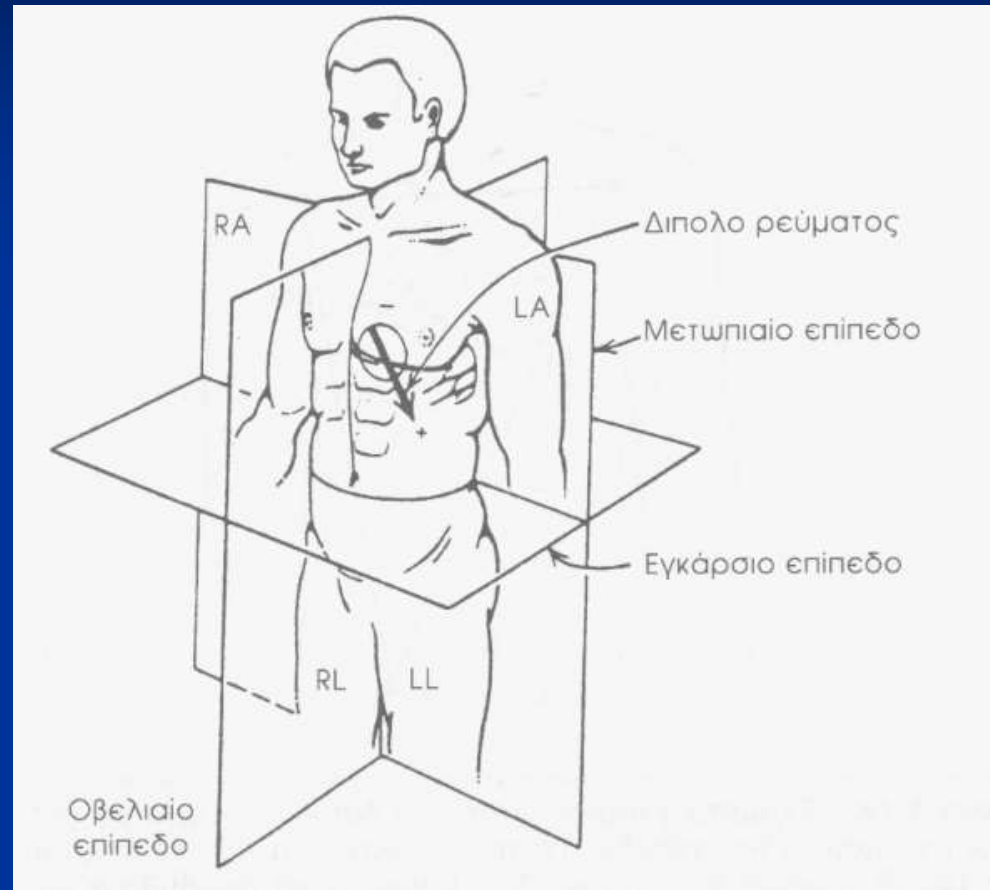
- Μεταβολή μέτρου +
κατεύθυνσης ηλεκτρικού διπόλου
ρεύματος ∇t

↓
Προβολή διανύσματος σε
διαφορετικούς άξονες



Ηλεκτρικό Δίπολο Ρεύματος – ΗΚΓικά επίπεδα

- Το ηλεκτρικό (καρδιακό) δυναμικό που καταγράφεται στην επιφάνεια του σώματος είναι η **στιγμαία προβολή του ηλ. διπόλου** σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.
- Καθώς το διάνυσμα (δίπολο) αλλάζει στο χρόνο, το ίδιο συμβαίνει και με την προβολή του σε κάθε επίπεδο (άρα και το δυναμικό που καταγράφουμε).



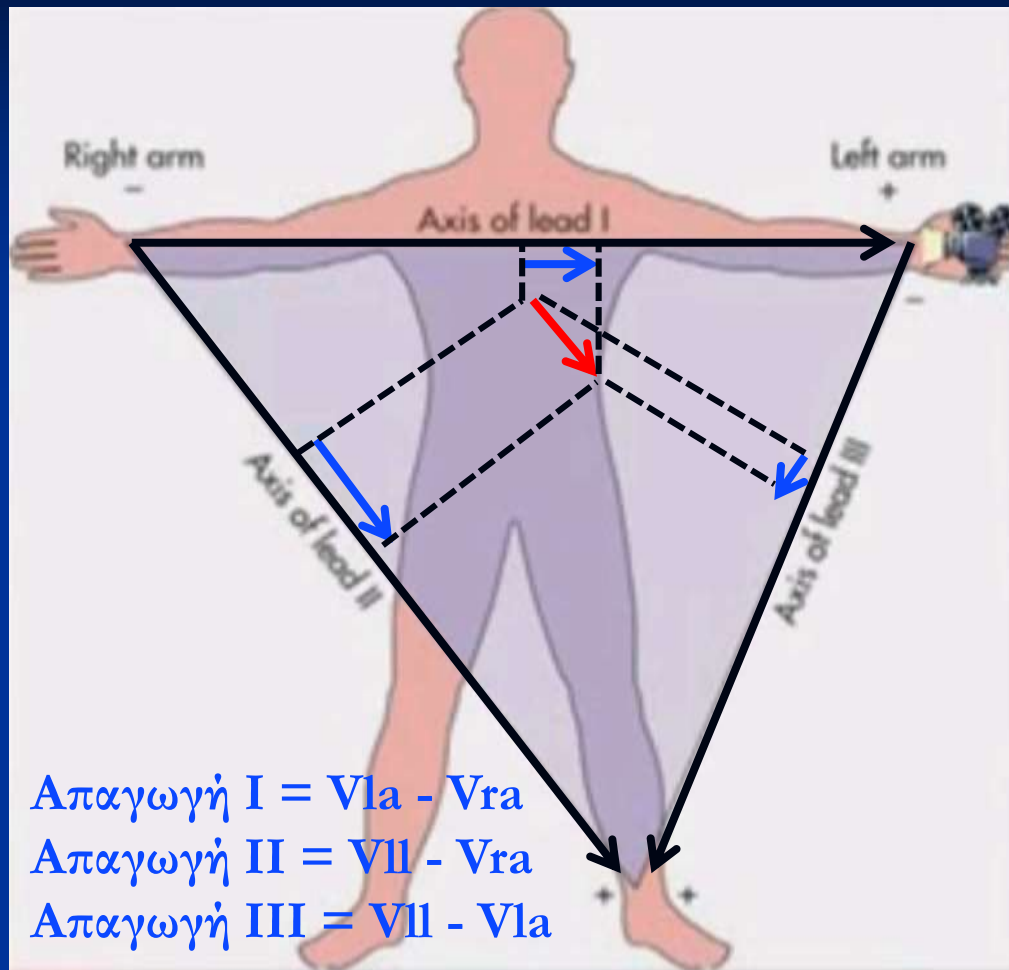
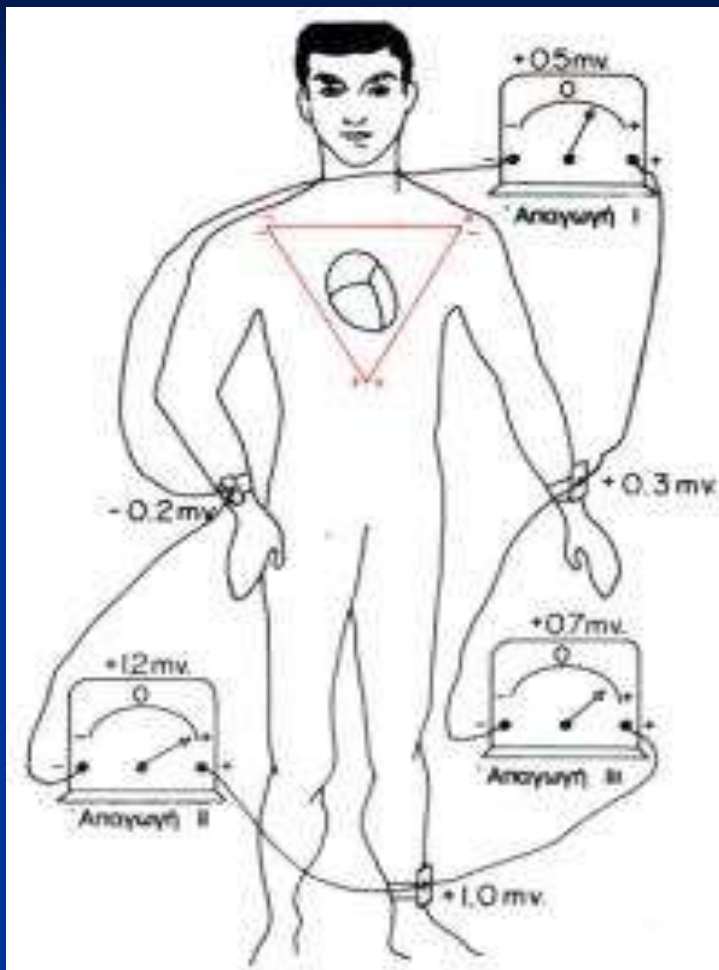
Το Δίπολο ρεύματος και τα 3 ΗΚΓικά επίπεδα.

ΗΚΤ – Ηλεκτροόδια - Απαγωγές

- 12 απαγωγές
 - 6 απαγωγές μετρούν προβολές στο μετωπιαίο επίπεδο:
 - 3 διπολικές (κλασσικές, των άκρων): I, II, III.
 - 3 ενισχυμένες: aVr, aVl, aVf (μονοπολικές, χωρίς επιπλέον ηλεκτροόδια).
 - 6 θωρακικές απαγωγές (μονοπολικές) που μετρούν προβολές στο εγκάρσιο επίπεδο (V1,...V6).

Επιπλέον υλικό: <http://www.bem.fi/book/15/15.htm>

Κλασικές Απαγωγές – Τρίγωνο Einthoven



$$\begin{aligned}\text{Απαγωγή I} &= V_{Ia} - V_{ra} \\ \text{Απαγωγή II} &= V_{II} - V_{ra} \\ \text{Απαγωγή III} &= V_{II} - V_{Ia}\end{aligned}$$

- **Απαγωγές:** ΔV μεταξύ των διαφόρων συνδυασμών ηλεκτροδίων.
- Η διάταξη απαγωγών σχηματίζει **τρίγωνο**, με την καρδιά στο κέντρο (Kirchoff: $V_I + V_{III} = V_{II}$).

ΗΚΤ - Καταγραφή

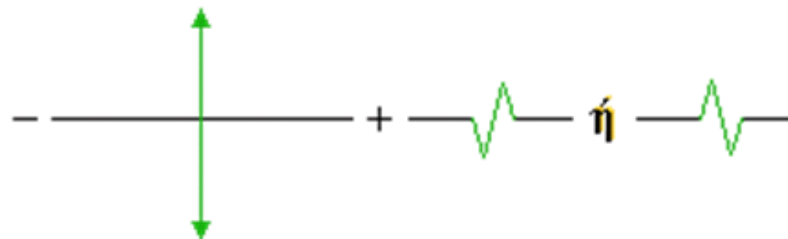
1. Όταν το κύμα εκπόλωσης οδεύει από το αρνητικό προς το θετικό ηλεκτρόδιο του ηλεκτροκαρδιογράφου, η γραφίδα κινείται προς τα πάνω και καταγράφει θετική απόκλιση.



2. Όταν το κύμα της εκπόλωσης οδεύει από το θετικό προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο, η κίνηση της γραφίδας είναι προς τα κάτω.

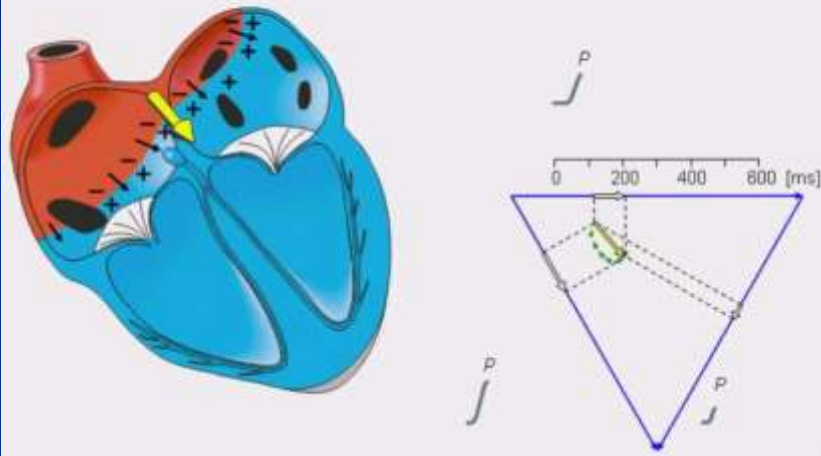


3. Όταν το κύμα εκπόλωσης επεκτείνεται κάθετα προς μια απαγωγή θα καταγραφεί διφασική απόκλιση.

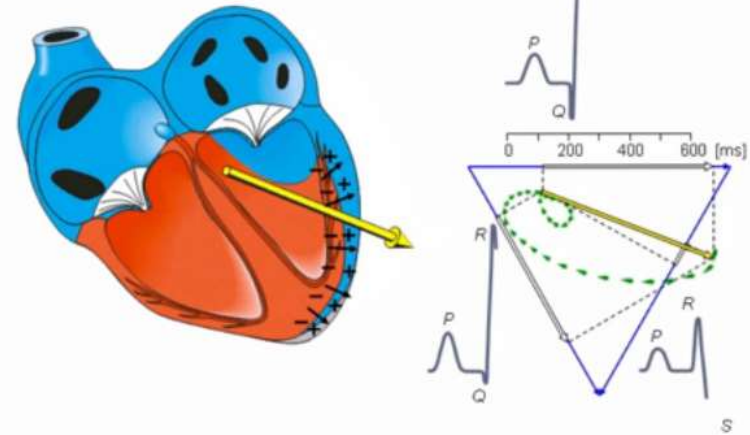


Ειπόλωση/Επαναπόλωση – καταγραφή ΗΚΓ

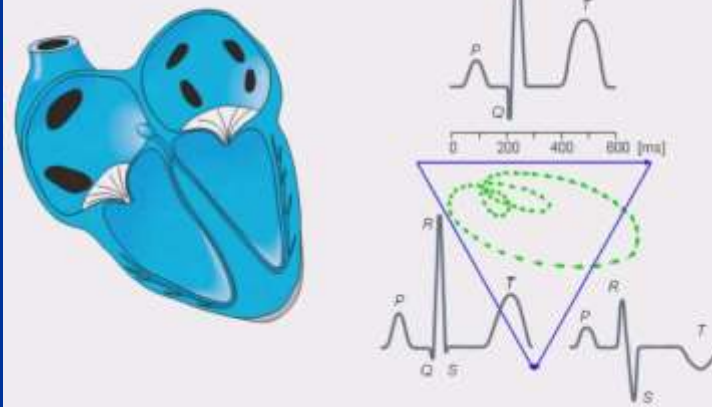
ATRIAL DEPOLARIZATION
80 ms



LEFT VENTRICULAR DEPOLAR.
240 ms

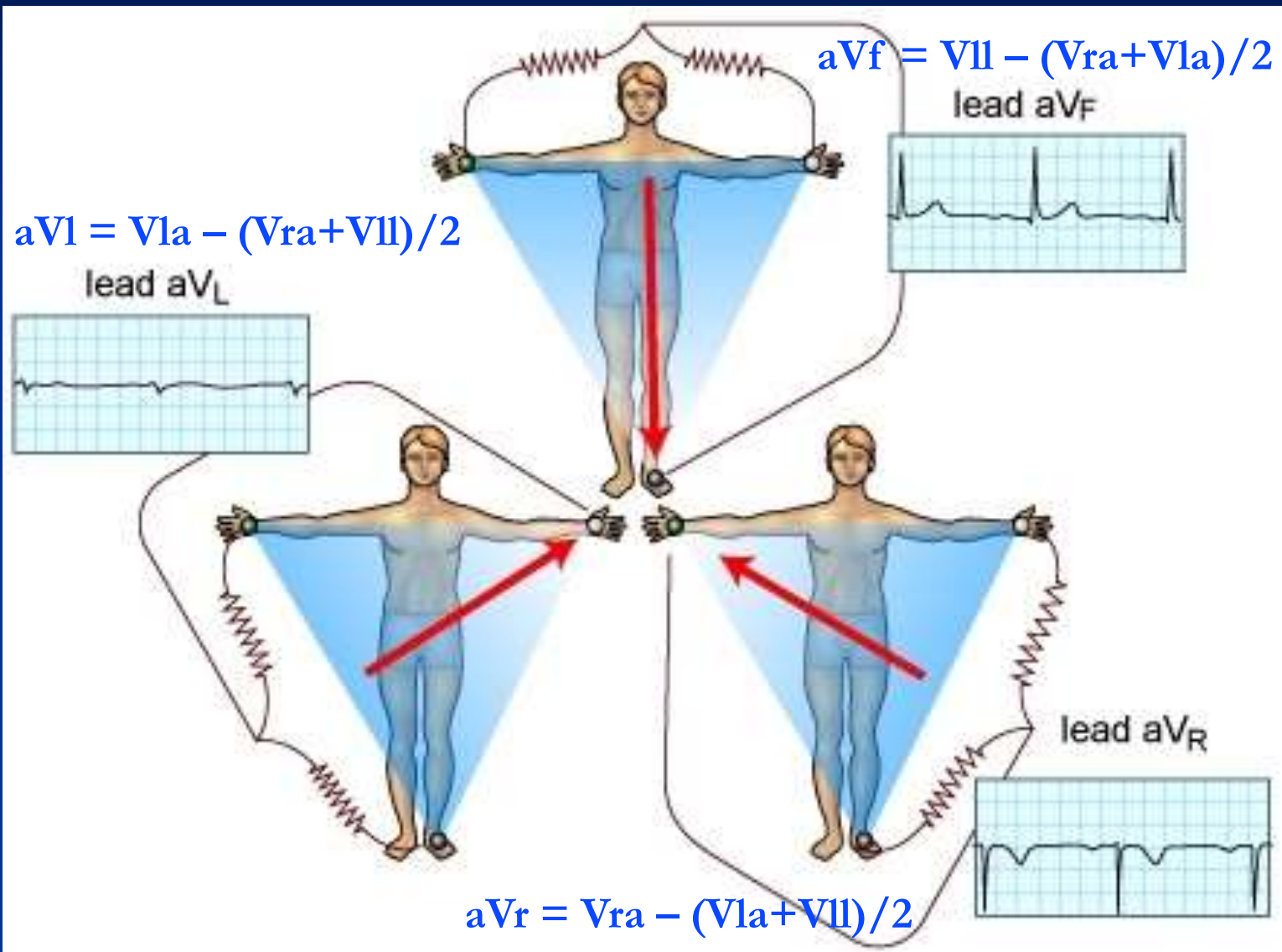


VENTRICLES REPOLARIZED
600 ms

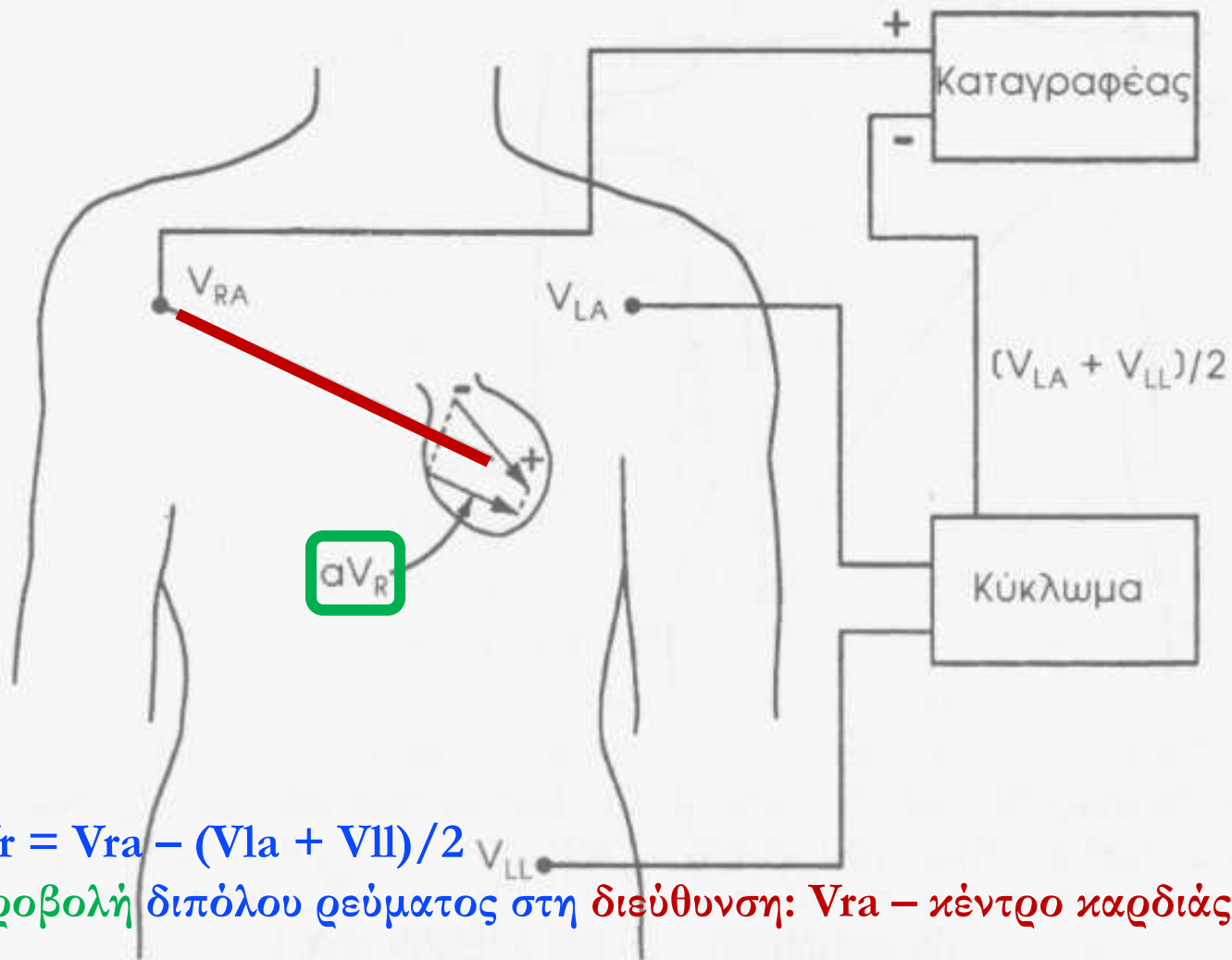


...

Ενισχυμένες Απαγωγές



Ενισχυμένες Απαγωγές (aVr)

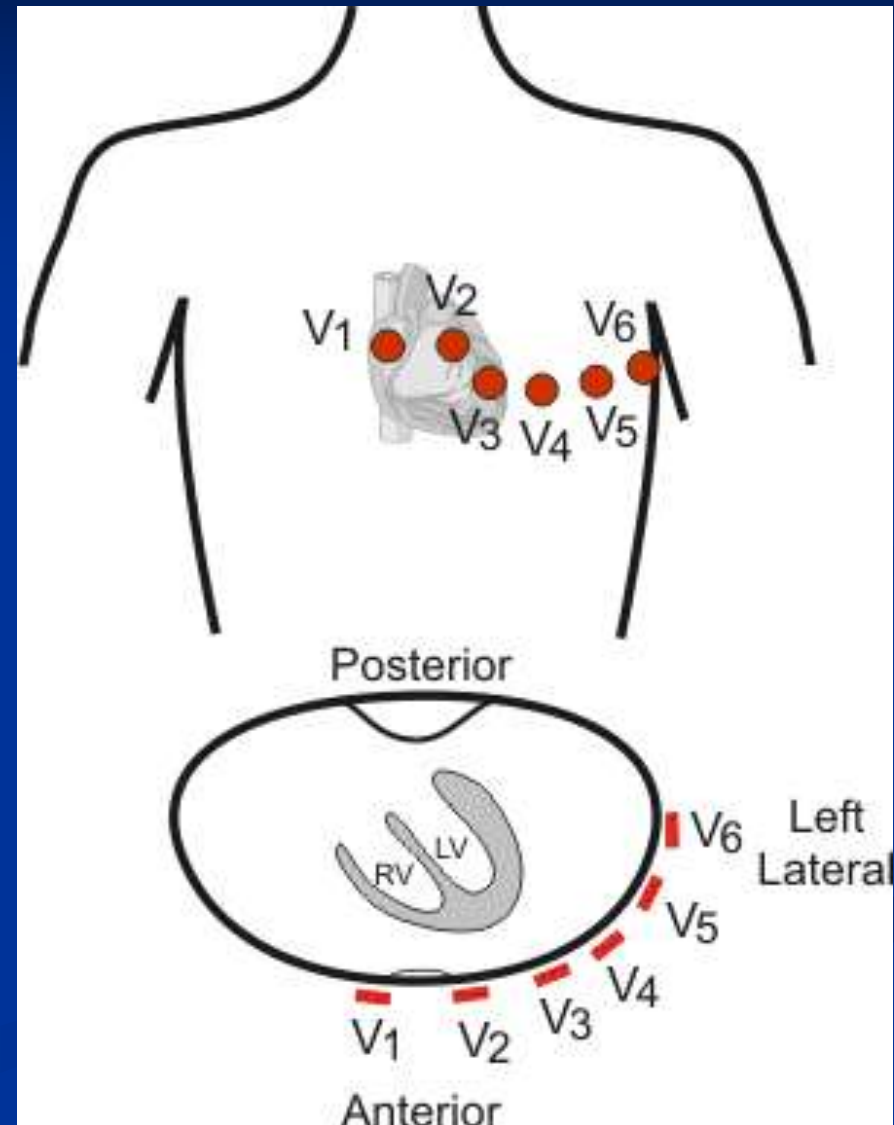


$$aVr = Vra - (Vla + Vll)/2$$

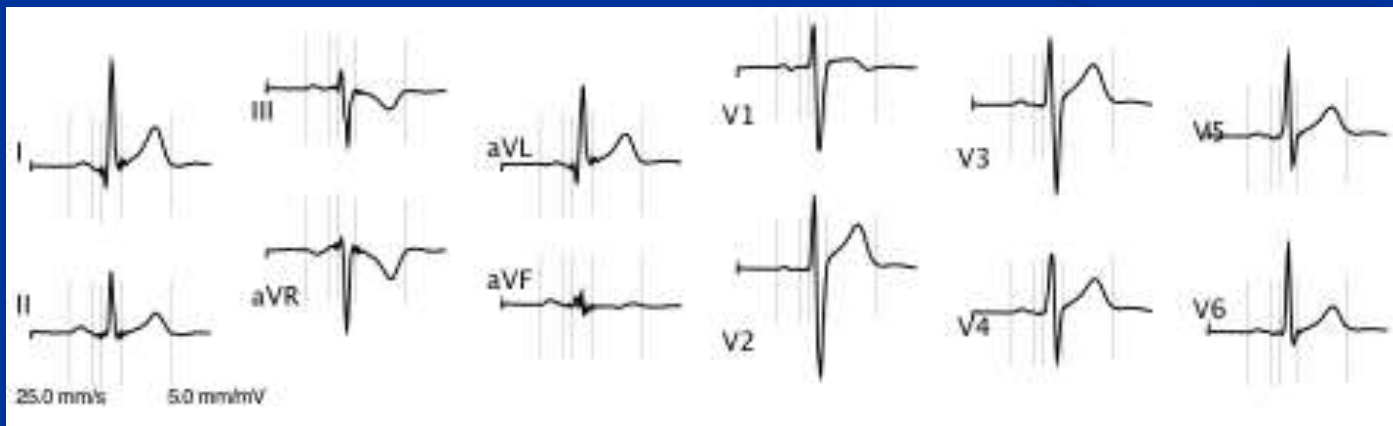
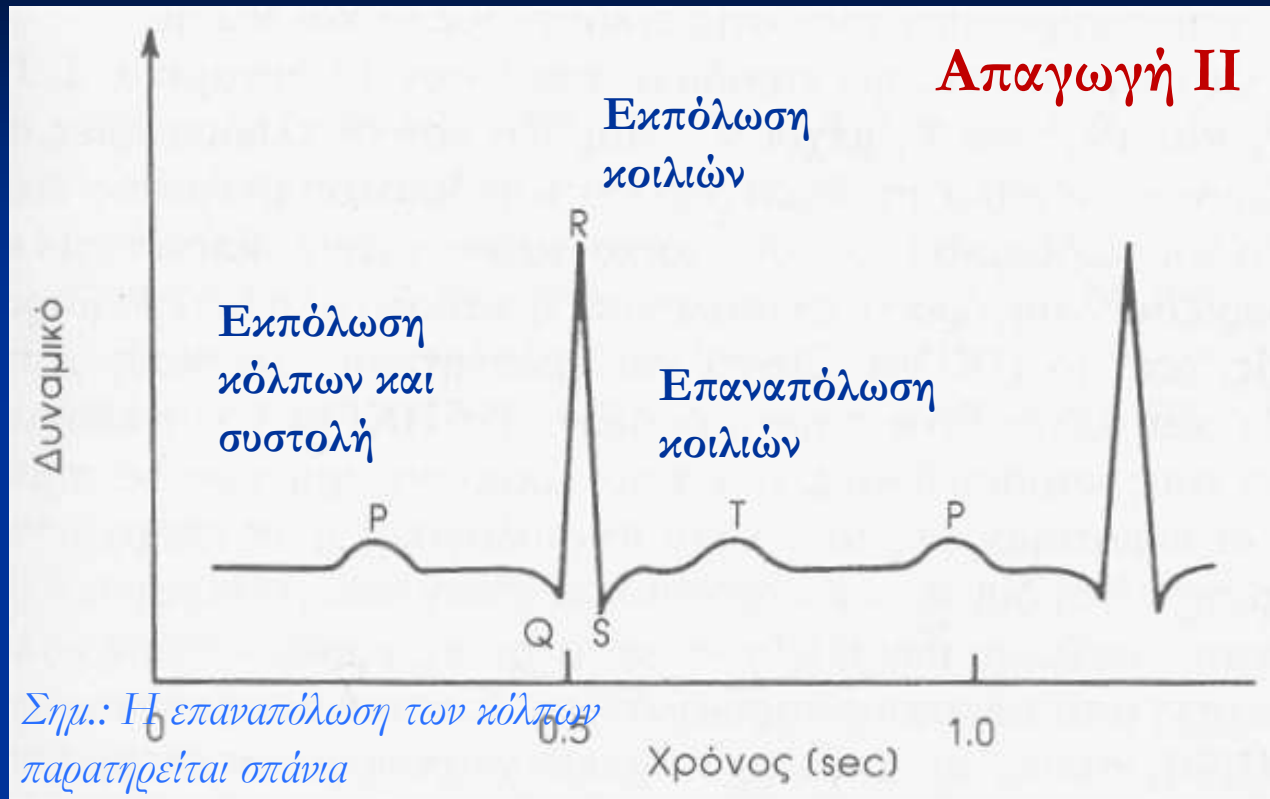
Προβολή διπόλου ρεύματος στη διεύθυνση: Vra – κέντρο καρδιάς.

Προκάρδιες Απαγωγές – Εγκάρσιο επίπεδο

- Κατά την κλινική εξέταση λαμβάνονται συνήθως 6 ΚΓΤα στο μετωπιαίο & 6 στο εγκάρσιο.
- Μονοπολικές απαγωγές (1 φυσικό ηλεκτρόδιο & 1 εικονικό).
- Το (-) αντιστοιχεί σε ένα εικονικό «ηλεκτρόδιο»:
 - δίνει τη μ.τ. των Vra, Vla, VIl,
 - εικονικό ηλεκτρόδιο στο κέντρο του τριγώνου Einthoven.
- Το (+) ηλεκτρόδιο μετακινείται στο θωρακικό τοίχωμα (Απαγωγές V1-V6).

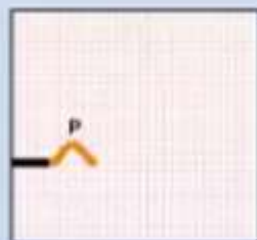
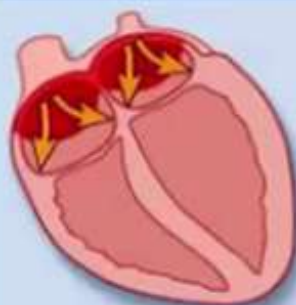


ΗΚΓ – Τα κύρια χαρακτηριστικά του καρδιακού κύκλου



Key

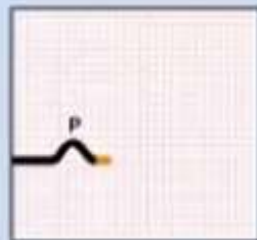
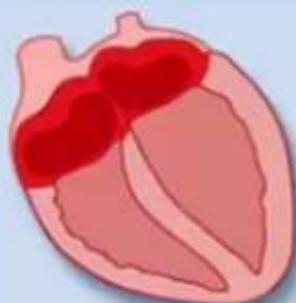
- Wave of depolarization
- Wave of repolarization



① Atria begin depolarizing.



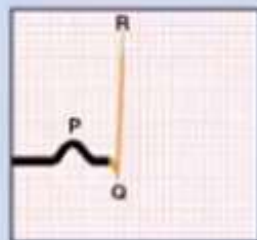
④ Ventricular depolarization complete.



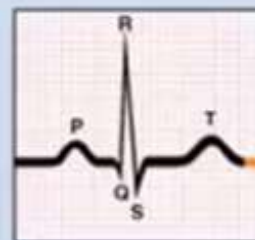
② Atrial depolarization complete.



⑤ Ventricular repolarization begins at apex and progresses superiorly.



③ Ventricular depolarization begins at apex and progresses superiorly as atria repolarize.



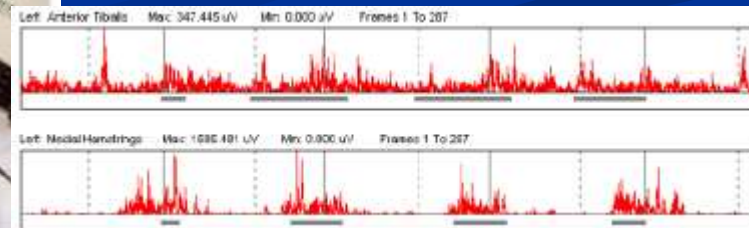
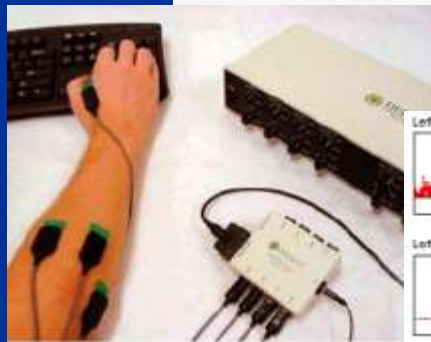
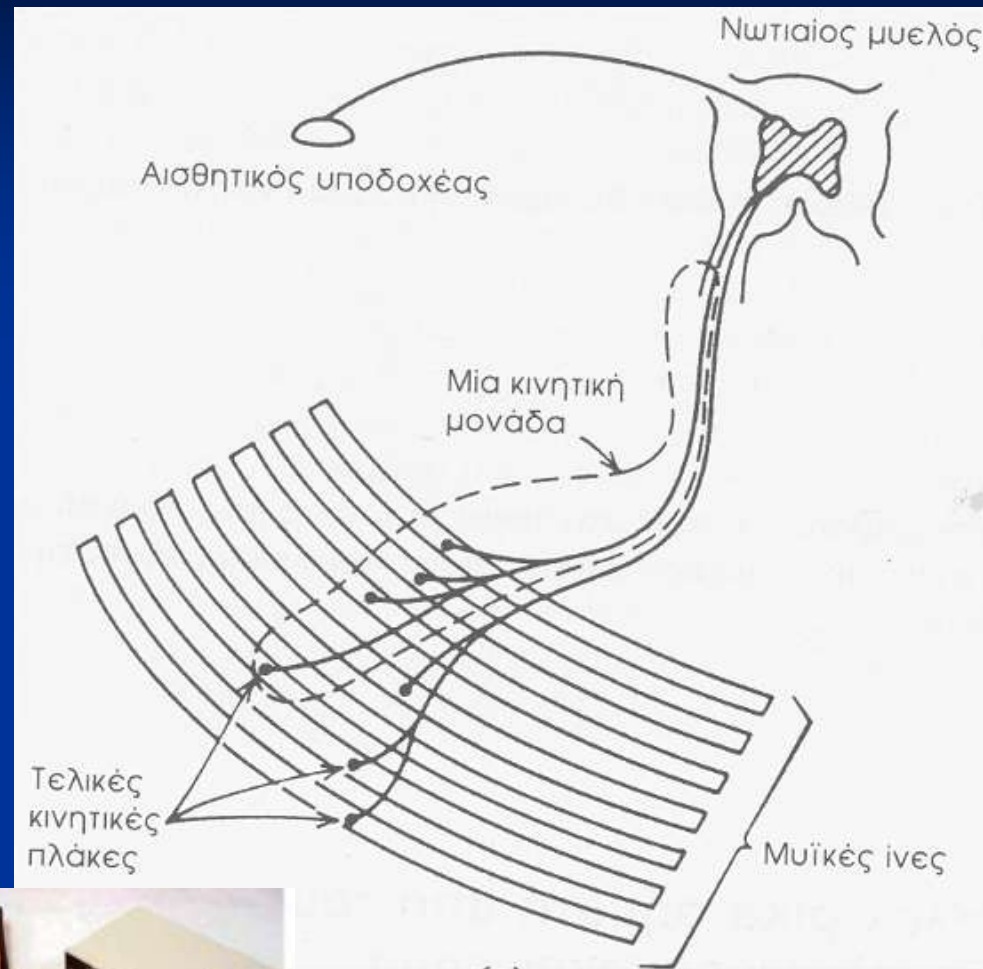
⑥ Ventricular repolarization complete; heart is ready for the next cycle.

ΗλεκτροΜυοΓραφημα (ΗΜΓ)

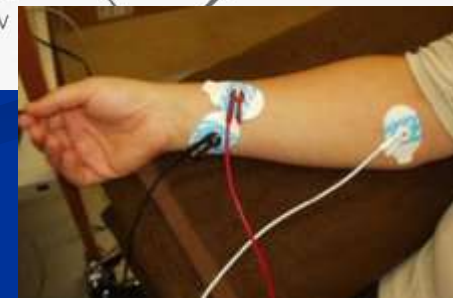
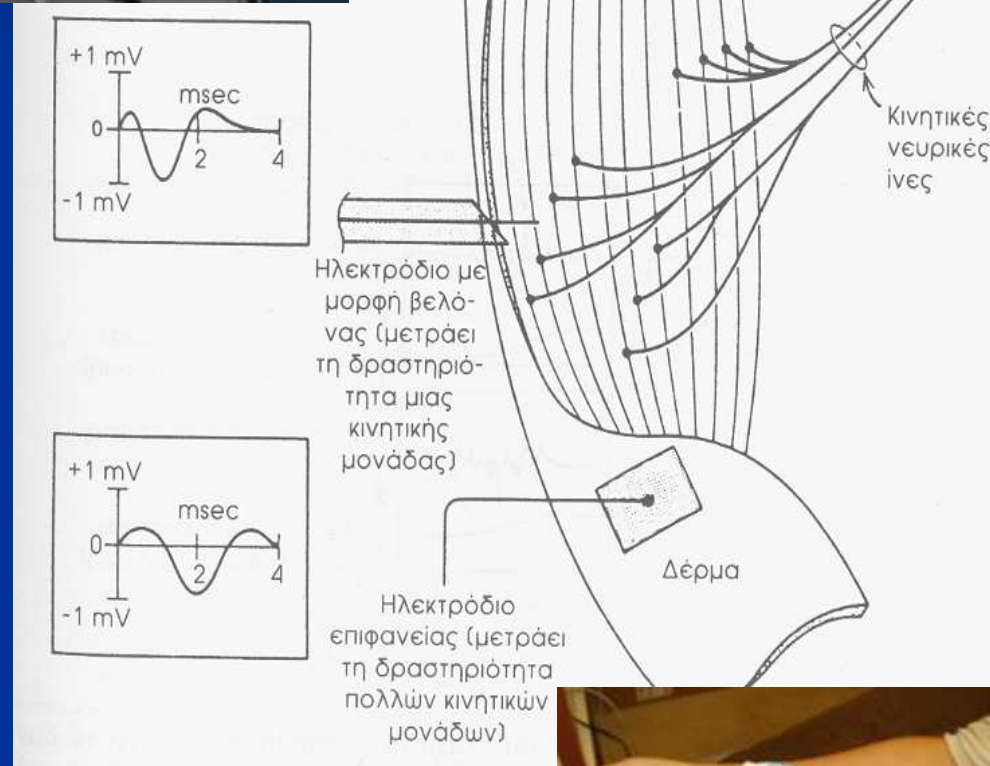
Νευρώνας και Μυϊνά Κύτταρα

HMF: καταγραφή μεταβολής δυναμικών στους μυς κατά τη συστολή τους.

- 1 μυς: πολλές κινητικές μονάδες (κ.μ.).
- 1 κ.μ.: νευρώνας (ξεινιά από εγκέφαλο/νωτ. μυελό) & μυϊκές ίνες που συνδέεται.
- Σύνδεση στις ΤΚΠ.
- Το δυναμικό δράσης μεταφέρεται στις ΤΚΠ $\Rightarrow$ συστολή μυών.



Ηλεκτρομυογράφημα - Καταγραφή



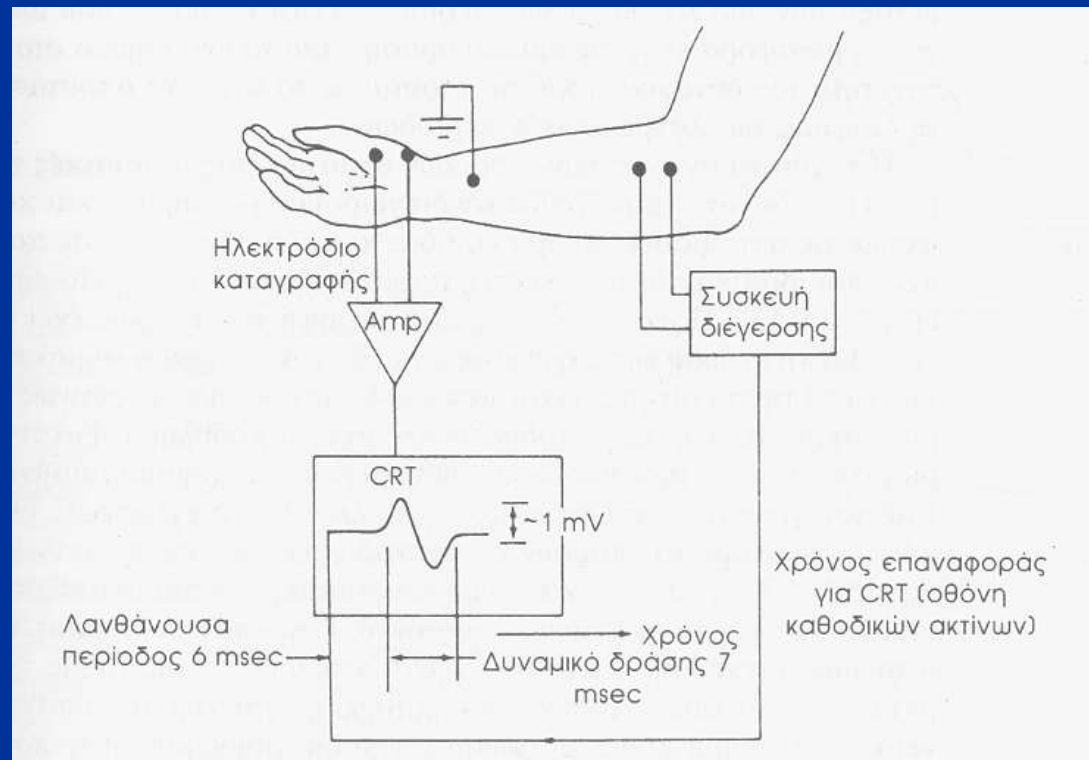
- Διαφορά δυναμικού που μετράται μεταξύ δύο σημείων με ηλεκτρόδια.
- Ηλεκτρόδιο βελόνας (ενδομυϊκά, δραστηριότητα 1 κ.μ.).
- Ηλεκτρόδιο επιφανείας (δραστηρ. πολλών κ.μ., τα πιο κοινά, λιγότερο επεμβατικά).
- Τοποθέτηση ηλεκτροδίων
 - Πάνω από τον μυ που εξετάζεται, στην κύρια κατεύθυνση των μυϊκών ινών.
 - Τοποθετούμαι και ηλεκτρόδιο αναφοράς σε μία ηλεκτρικά ανενεργή περιοχή του σώματος.

Ηλεκτρομυογράφημα – Διέγερση κ.μ.

- Το ΗΜΓ μπορεί επίσης να ληφθεί από **μυς/κ.μ.** που **διεγείρονται ηλεκτρικά**.
 - Προτιμάται απ' την ειούσια σύσπαση ($\Delta t \sim 100$ ms, οι κ.μ. δεν διεγείρονται ταυτόχρονα...επίσης 1 κ.μ. μπορεί να παράγει πολλά $\Delta\Delta$ ανάλογα με το σήμα που στέλνει το ΚΝΣ.).

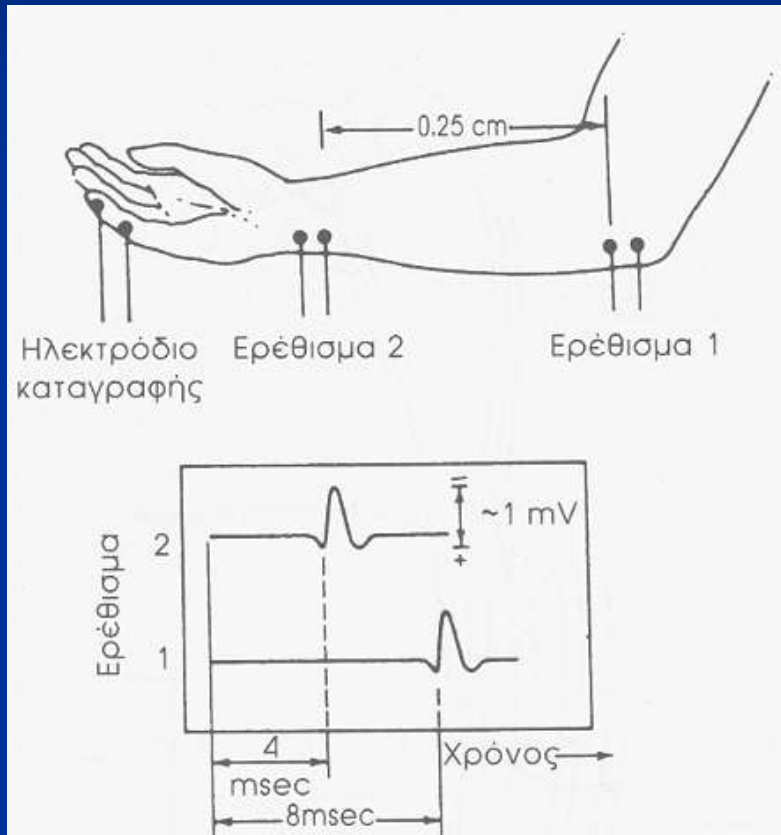
Ηλ. Διέγερση

- Οι κ.μ. διεγείρονται σχεδόν ταυτόχρονα.
- Παλμός ερεθισμού: 0.1-0.5 ms, 100mV.
- Μεσολαβεί *Λανθάνουσα Περίοδος* (ερέθισμα - αντίδραση).

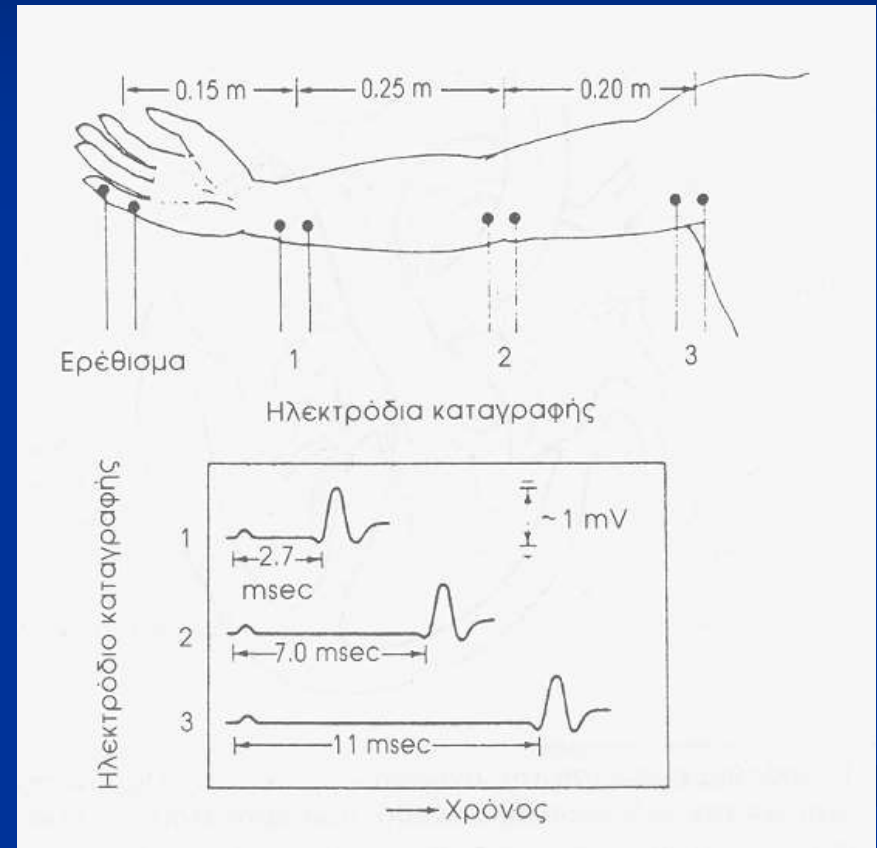


Ταχύτητα διάδοσης νευρικού σήματος

- Ταχύτητα αγωγής στις **κινητικές ίνες**.



- Ταχύτητα αγωγής στις **αισθητικές ίνες** (καταγράφουμε αντιδράσεις).



Τυπικές τιμές v : 40-60 m/s. Πρόβλημα για $v < 10$ m/s (βλάβη των νεύρων προκαλεί μείωση της ταχύτητας αγωγής των νευρικών σημάτων).

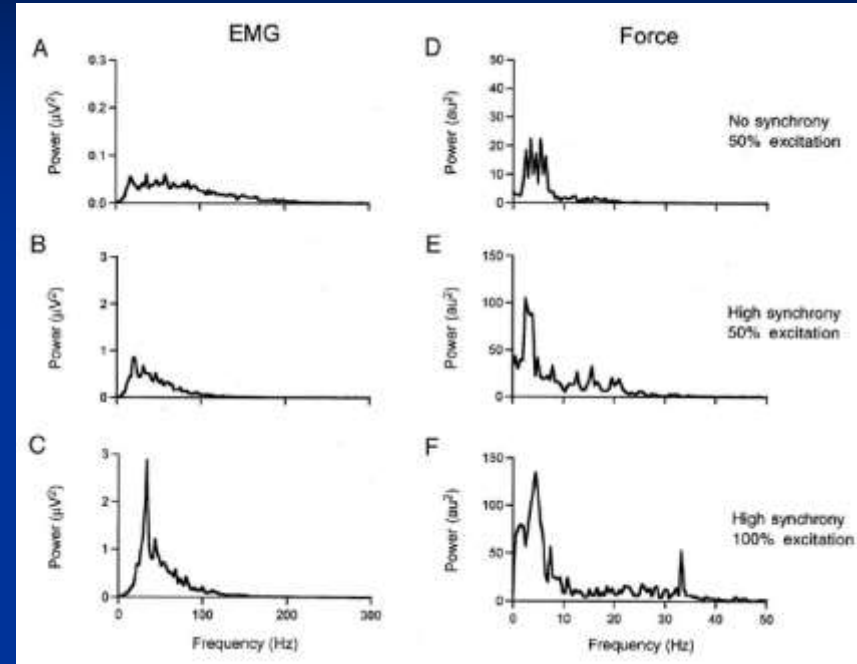
Ηλεκτρομυογράφημα – εφαρμογές

■ Πληροφορίες από το ΗΜΓ

- Συγχρονισμός διαφόρων μυών σε μια ακολουθία κίνησης.
- Δύναμη κατά τη συστολή...παράδειγμα →

■ Εφαρμογές

- Διάγνωση παθήσεων μυών.
- Εκτίμηση Αποκατάστασης (*Rehabilitation*).

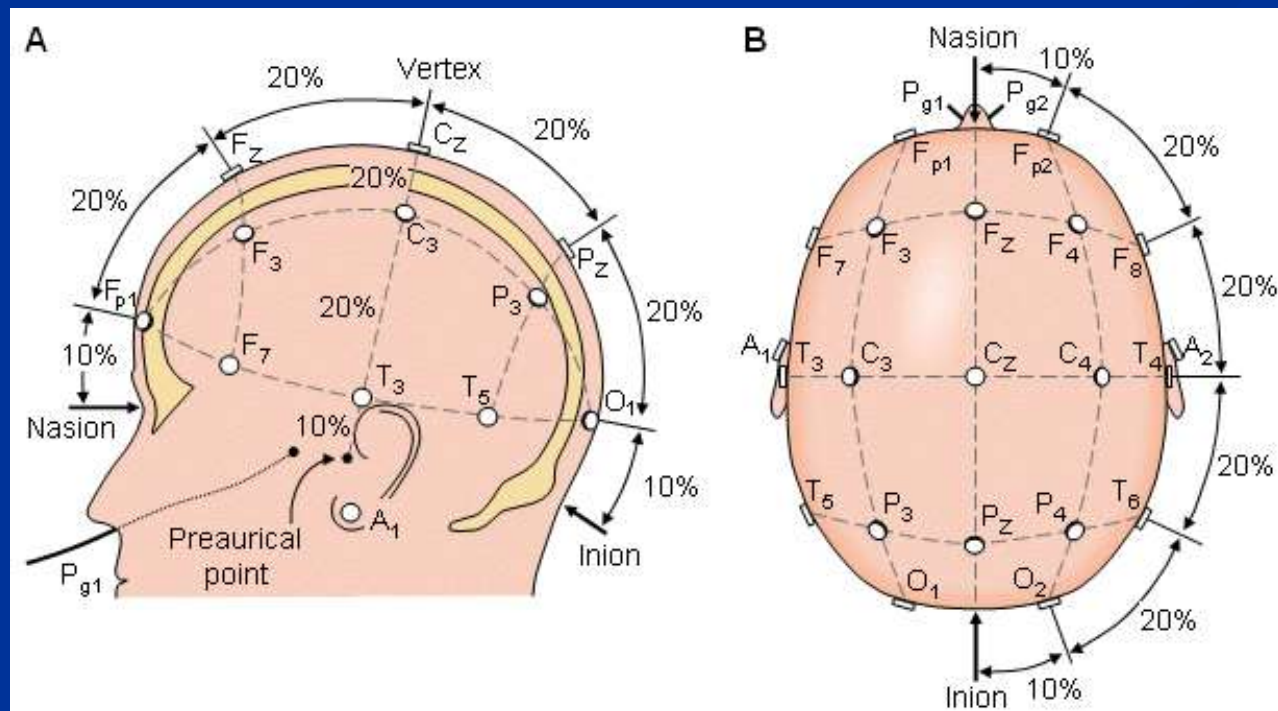


- Λειτουργική ανάλυση (π.χ. *functional characteristics of EMG for a quick movement of the hand: frequency spectrum vs. angular velocity, etc.*).
- Ενεργά προσθετικά (*myoelectric Prosthetic Arm, uses the EMG signals from the patient to control movement of the prosthetic arm*).
- Εμβιομηχανική, Αθλητιατρική.

ΗλεκτροΕγκεφαλοΓραφημα (ΗΕΓ)

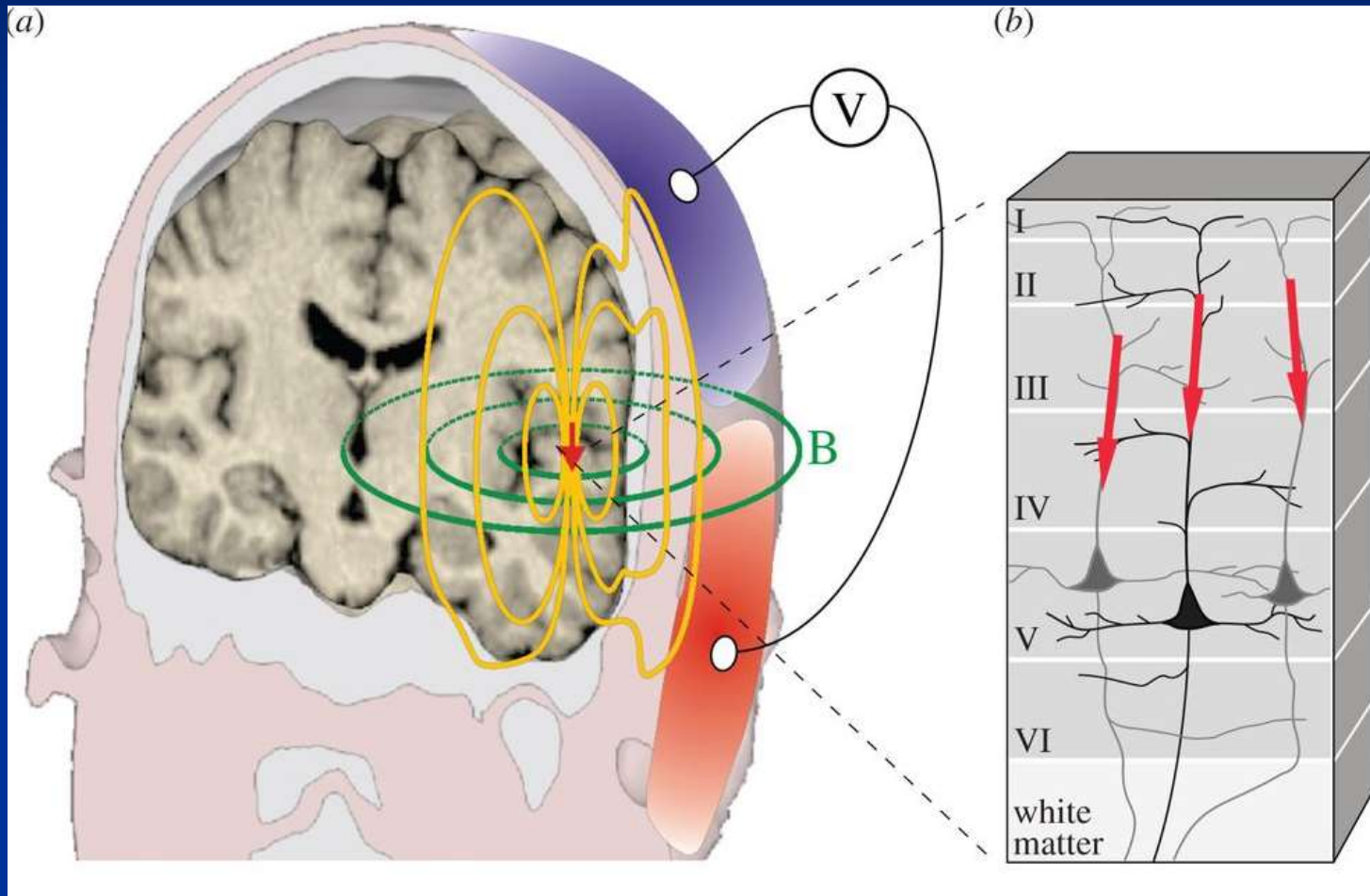
ΗΕΓ - ηλεκτροδία

- Καταγραφή ηλεκτρ. δραστηριότητας των νευρώνων του φλοιού (τάξης μV).
- Ακριβής τρόπος παραγωγής (?)
 - Διαφορετικές ομάδες νευρώνων συγχρονίζονται σε διαφορετικές στιγμές.
- Συνήθως συγκρίνονται σήματα από συμμετρικά σημεία του εγκεφάλου.
- Σύστημα 10-20, 21 επιφανειακά ηλεκτρόδια (& 1 στο λοβίο κάθε αυτιού):



Επιπλέον υλικό:
<http://www.bem.fi/book/13/13.htm>

Τα ηλεκτρικά ρεύματα (κόκκινο βέλος) στους ενεργούς νευρώνες προκαλούν «volume/secondary currents» (κίτρινες γραμμές) εντός του κεφαλιού (αγώγιμος εγκέφαλος), τα οποία δημιουργούν μια κατανομή δυναμικού (V) στο τριχωτό της κεφαλής.



 Electric currents
in Active Neurons.

 Volume currents
within the head.

ΗΕΓ - ηλεκτροόδια



↳ However, recently electrode-caps allowed additional (64-128) electrodes to be used.



<http://www.bnlz.org/race/eeg2.htm>



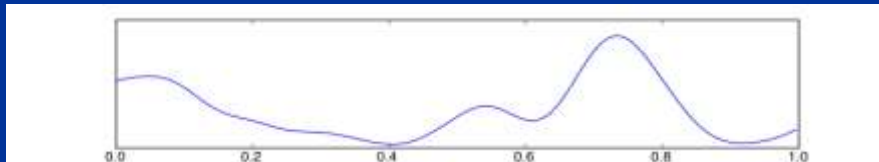
<http://leng9.ucsd.edu/~phammon/>



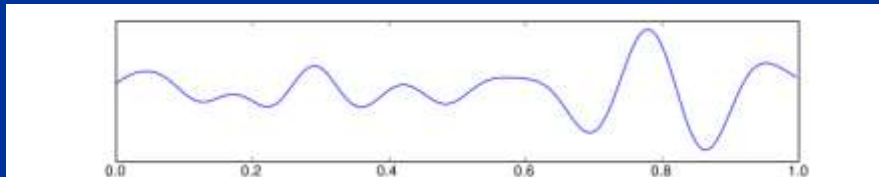
<http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/other/eeg/>

Παραδείγματα κυμάτων

- Το φάσμα της συχνότητας του ΗΕΓ εκτείνεται από τιμές <1 Hz μέχρι μερικές δεκάδες Hz.
- Μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερις περιοχές συχνοτήτων (ρυθμοί).



Delta waves (0.5-4Hz), **Νεογνά, Ενηλ. σε ύπνο.**

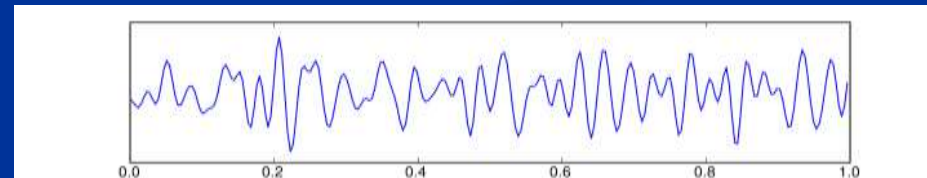


Theta waves (4-8Hz), **Παιδιά, Ενηλ. σε ύπνο.**



Ενήλικες σε ηρεμία (ινιακά)

Alpha waves (8-13Hz)



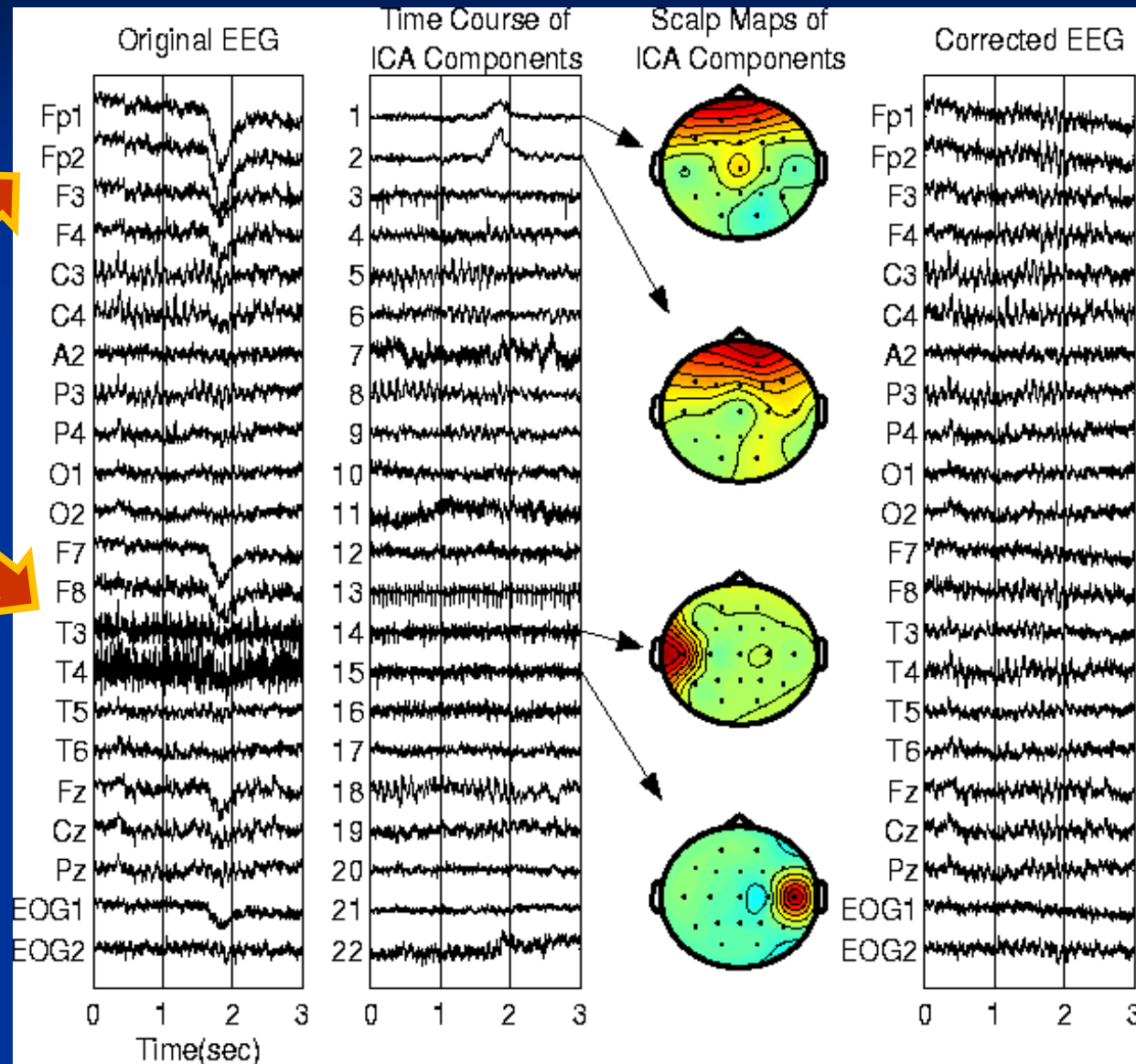
Beta waves (13-30Hz)

Σε εγρήγορση (μετωπικά, βρεγματικά)

ΗΕΓ – θόρυβος από άλλα σήματα

Συχνά υπάρχουν παρεμβολές:

- Κίνηση ματιών, βλεφαρισμός (eye blinks),
- Σφίξιμο δοντιών – σιαγόνα.
- Καρδιακός μυς (π.χ. στα βρέφη),
- Εξωτερικές πηγές ΗΜ ...



Απεικόνιση Εγκεφαλικής Λειτουργίας

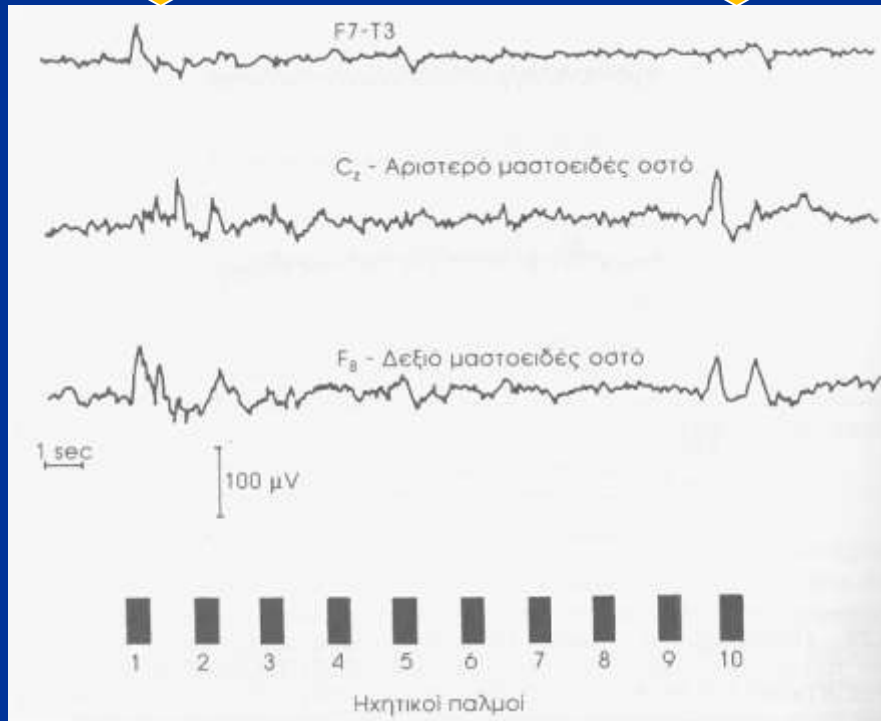


EEG powered by BCILAB | SIFT

<http://www.youtube.com/watch?v=dAIQeTeMJ-I>

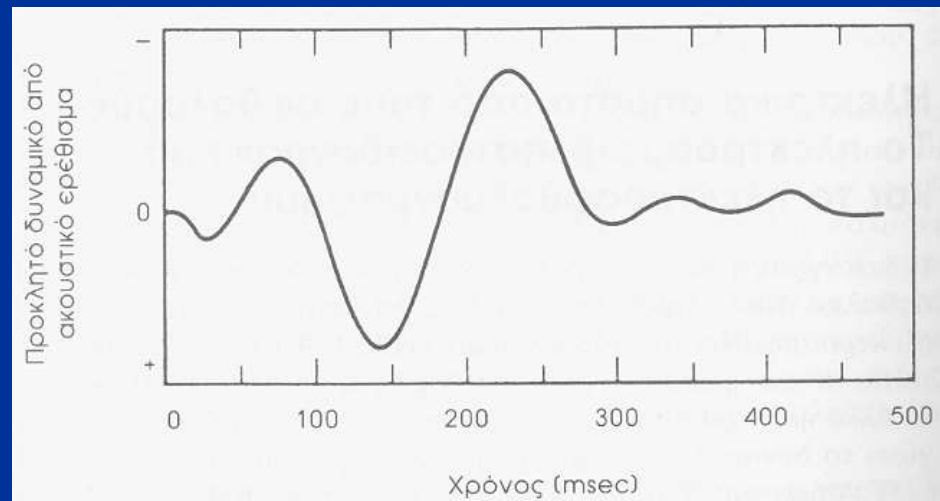
Προκλητά Δυναμικά

Αντιδράσεις στους **πρώτους και τελευταίους**.
Έλλειψη στο ενδιάμεσο καλείται **εθισμός**.



Ηχητικοί παλμοί (2 Hz) κατά τη διάρκεια του ύπνου (αρχ. στάδια)

Τα προκλητά δυναμικά μπορεί να είναι π.χ. και λόγω οπτικού εξωτερικού ερεθίσματος (Vis. Evok. Potential)

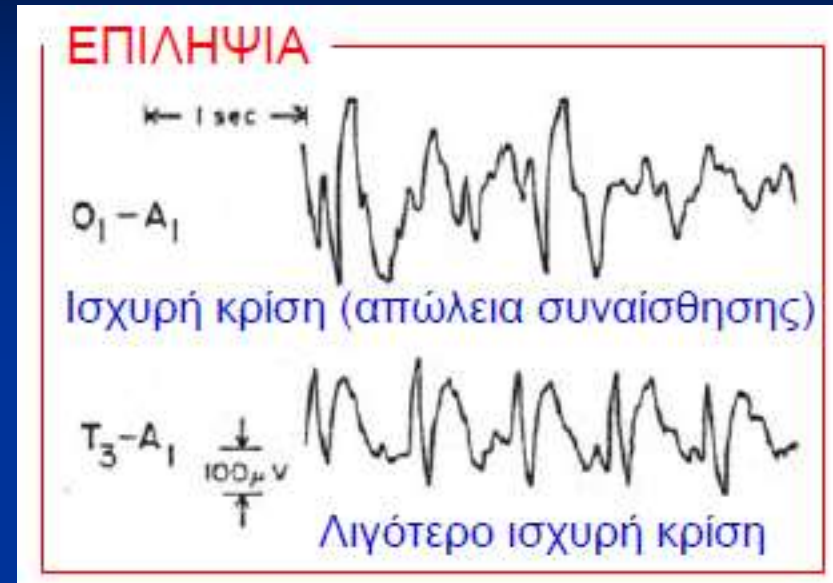


Μέσος όρος από 64 ηχητικά ερεθίσματα (επειδή η προκλητή αντίδραση είναι μικρή - απαλοιφή θορύβου - ενίσχυση σήματος)

Εφαρμογές ΗΕΓ

Τα ΗΕΓ χρησιμοποιούνται:

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



Ηλεκτρικά σήματα από τον οφθαλμό

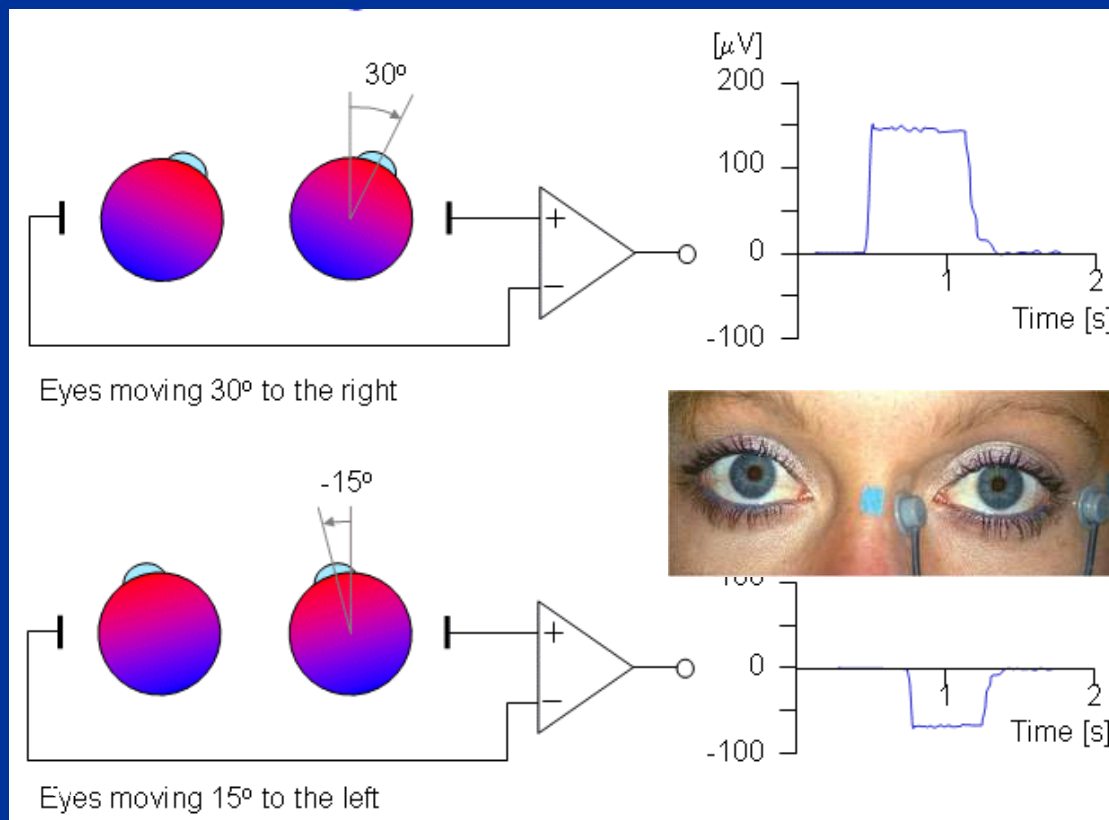
ΗλεκτροΑμφιβληστροειδοΓραφημα (ΗΑΓ)

- Πολύπλοκο, Σ(πολλών επιδράσεων στον οφθαλμό). Καταγραφή της χρονικής μεταβολής του δυναμικού στον αμφιβληστροειδή όταν διεγείρεται με σύντομη λάμψη του φωτός.
- Κύμα Α: Αντανakiλά τη γενική φυσιολογική κατάσταση των φωτοϋποδοχέων στον εξωτερικό αμφιβληστροειδή.
- Κύμα Β, πιο ενδιαφέρον, αντανakiλά την κατάσταση των εσωτερικών στρωμάτων του αμφιβληστροειδούς.
- Εφαρμογές: παθήσεις αμφιβληστροειδή

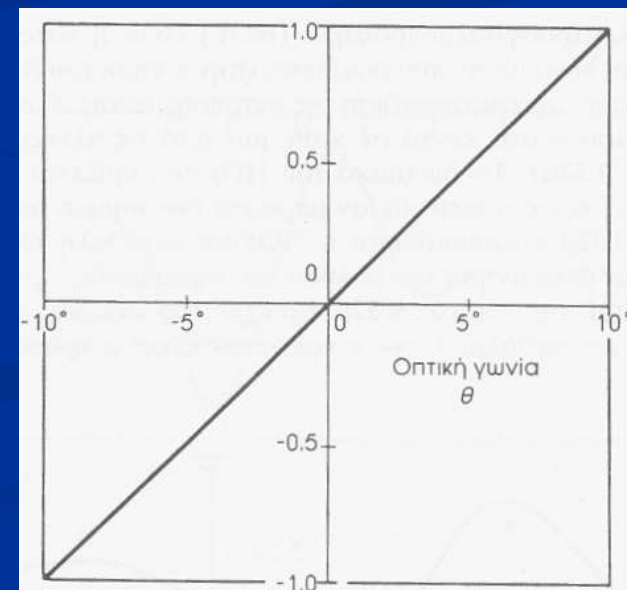


ΗλεκτροΟφθαλμοΓραφημα (ΗΟΓ)

- Μεταβολή δυναμικού λόγω κίνησης οφθαλμού. Κυρίως στην έρευνα.
- Το δυναμικό του ΗΟΓτος ορίζεται $V = 0$ όταν οφθαλμός κοιτάει κατευθείαν μπροστά σε σημείο αναφοράς: $\theta = 0^\circ$ (καμπύλη βαθμονόμησης).
- Εφαρμογές: κίνηση του βολβού κατά το νυσταγμό (ακούσια ρυθμική κίνηση ματιών), αξιολόγηση ικανότητας ανάγνωσης και οπτικής κόπωσης.



Καμπύλη βαθμονόμησης
 V - οπτική γωνία



Άλλες Τεχνικές

Νευροανάδραση

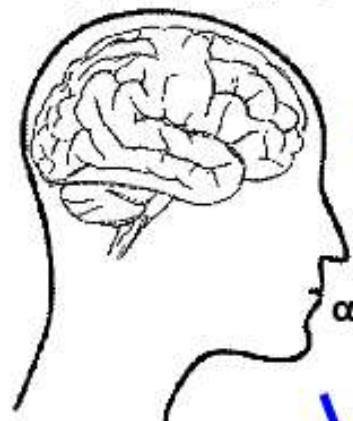
- Καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας (π.χ. EEG).
- Επεξεργασία EEG. Όταν αντίδραση επιθυμητή ο ασθενής «ανταμείβεται».
- Η ανταμοιβή μπορεί να είναι ηχητική, οπτική, μέσω video game (!),..
- Εφαρμογή: ADHD (Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής – Υπερκιν/τας)



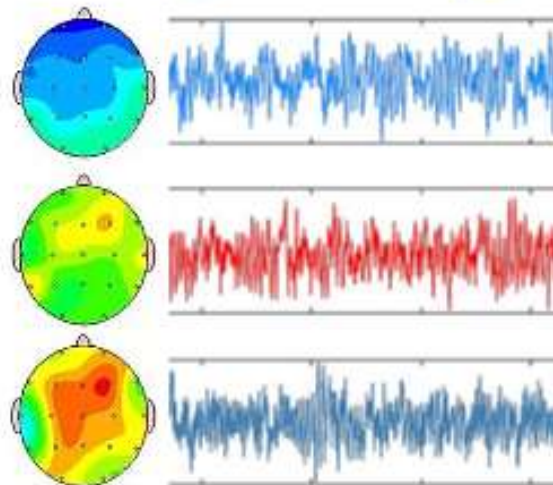
Νευροανάδραση

Ατομική εκπαίδευση που ενισχύει συγκεκριμένες επιθυμητές δραστηριότητες.

Συνεχής οπτικοακουστική ανατροφοδότηση διεγείρει τον εγκέφαλο προκειμένου να επιτύχει τη μέγιστη απόδοση.



Βρόγχος
ανατροφοδότησης

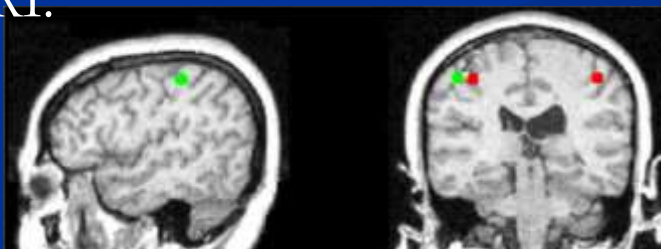
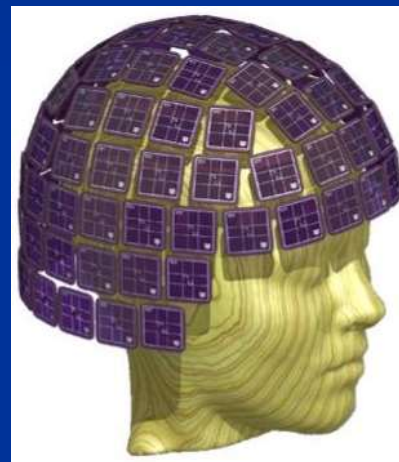
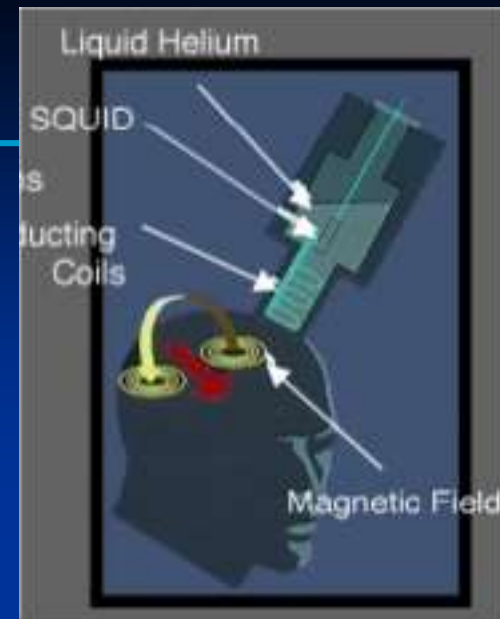


Πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα πρότυπα (patterns) της εγκεφαλικής δραστηριότητας, βάσει των οποίων προσαρμόζεται η ανατροφοδότηση.

Μαγνητικά Σήματα

ΜαγνητοΕγκεφαλοΓραφημα (MEG)

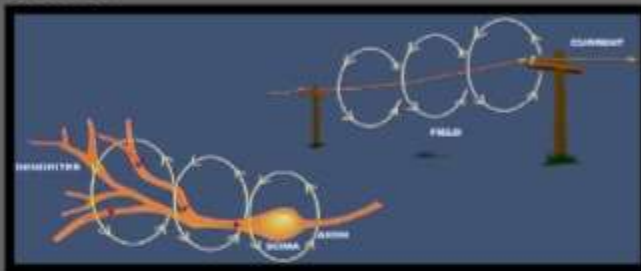
- Μαγν. πεδίο έξω από το κρανίο λόγω ηλεκτρ. δραστηρ. νευρώνων (ροή ηλ. φορτίων, α κύμα: 10^{-13} T, γη: $\sim 10^{-5}$).
- Υπερευαίσθητοι ανιχνευτές – μαγνητόμετρα (SQUID).
- Συνήθως χρησιμοποιούμε ερέθισμα.
- Πολύ καλή χωρική...και χρονική διακριτική ικανότητα ($\sim$ ΗΕΓ).
- Ωστόσο, τα σήματα είναι πολύ ασθενή! θωράκιση, επεξεργασία,...).
- Οι μετρήσεις μπορούν να επεξεργαστούν ώστε να βρούμε τη θέση των «νευρωνικών πηγών» (neural sources), και να τις προβάλλουμε σε εικόνα MRI.



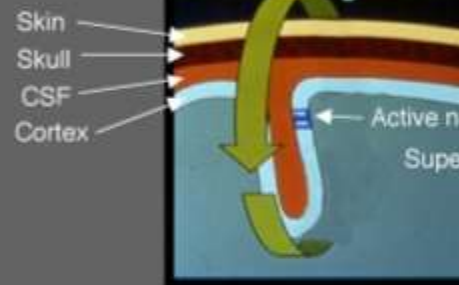
MEG

Basic Principles of MEG

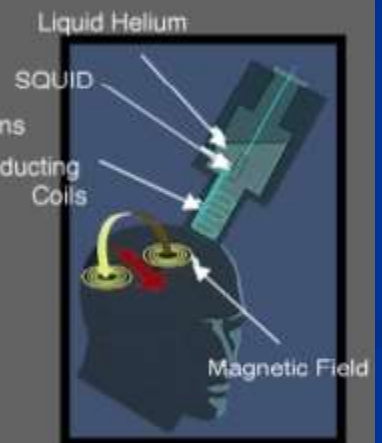
Sources of Magnetic Fields



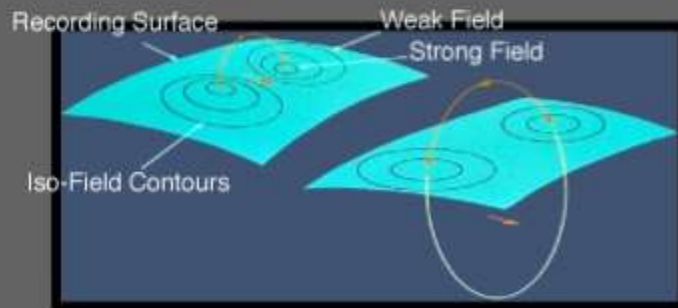
Orientation of Neurons



Detection Device



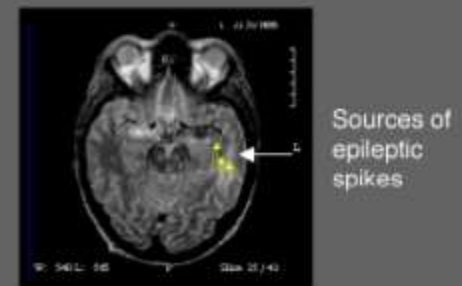
Magnetic Field Pattern



Model



Result



Πηγή: <http://web.mit.edu/kitmitmeg/whatis.html>

Παράδειγμα ΜΕΓ

- Σε κάθε θέση, 2 μετρήσεις (x,y). Μέση τιμή από 66 ακουστικά ερεθίσματα.
- Οι μετρήσεις αντιστοιχούν στη μεταβολή της B στις x και y κατευθύνσεις.

