



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ



ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΩΜΑ (I)

Γιάννης Τσούγκος

ΓΕΝΙΚΑ:

.....πολλούς αιώνες πριν μελετηθεί επιστημονικά ο ηλεκτρισμός οι άνθρωποι γνώριζαν τα ηλεκτρικά ψάρια (σαλάχια και χέλια) που παράγουν ηλεκτρισμό.....

- *Luigi Galvani (1784)*: μετά από σύνδεση των άκρων του μυός ενός νεκρού βατράχου με διαφορετικά μέταλλα, ο μυς συσπάται
- *Alessandro Volta*: ανακάλυψε την μπαταρία (πρώτη πηγή σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος)
- *Jacques D' Arsonval (1880)*: ανακάλυψε το γαλβανόμετρο (όργανο μέτρησης του ηλεκτρικού ρεύματος)
- *20ος αιώνας*: ανακάλυψη παλμογράφου (ανιχνεύει πολύ σύντομα ηλεκτρικά σήματα από έναν νευρώνα)

ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ

Όλες οι λειτουργίες και δραστηριότητες του ανθρώπινου σώματος σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό.....

- έλεγχος μυών: δυνάμεις μυών προκαλούνται από την έλξη αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων
- λειτουργία νεύρων: όλα τα ηλεκτρικά σήματα από και προς τον εγκέφαλο σχετίζονται με την ροή ηλεκτρικού ρεύματος

ΔΗΛΑΔΗ:

Για την πραγματοποίηση ειδικών λειτουργιών του σώματος παράγονται ηλεκτρικά σήματα, ως αποτέλεσμα ηλεκτροχημικής δράσης συγκεκριμένων τύπων κυττάρων.....

Καταγραφή σημάτων από:

Καρδιά → ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ)

Εγκέφαλο → ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)

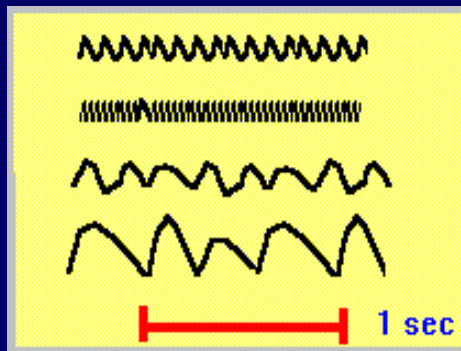
Μυς → ηλεκτρομυογράφημα (ΗΜΓ)

ΠΟΙΑ ΑΛΛΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΟΥΝ????

Νευρολογία

Ηλεκτροεγκεφαλογράφοι (EEG)

- Μέτρηση ηλεκτρικών σημάτων του εγκεφάλου π.χ.:

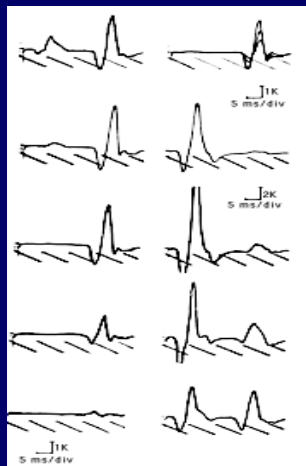


- *Κόστος Αγοράς: ~15.000 €*
- *Κόστος Εγκατάστασης: 0 €*
- *Συντήρηση 5-8% Ετησίως*

Νευρολογία

ΗλεκτροΜυογράφοι (EMG)

- Μέτρηση ηλεκτρικών σημάτων από τους μύες π.χ.:



- *Κόστος Αγοράς: ~10.000 €*
- *Κόστος Εγκατάστασης: 0 €*
- *Συντήρηση 5-8% Ετησίως*



ΤΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

εγκεφαλονωτιαίο

αυτόνομο

κεντρικό

περιφερικό

συμπαθητικό

παρασυμπαθητικό

• **εγκέφαλος**
(περιβάλλεται από 3 μεμβράνες και πλέει μέσα σε ΕΝΥ)

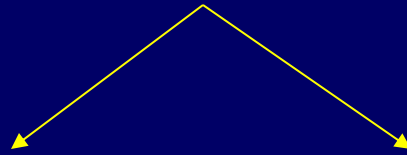
• **νωτιαίος μυελός**
(προστατεύεται μέσα στην σπονδυλική στήλη, συνδέεται με τον εγκέφαλο, περιβάλλεται από ΕΝΥ)

• νεύρα
• γάγγλια

• έλεγχος εσωτερικών οργάνων όπως:
καρδιά, έντερο, αδένες

Ο νευρικός ιστός αποτελείται από **νευρικά κύτταρα (νευρώνες)** που επιτελούν την κύρια νευρική λειτουργία (παραγωγή και μεταβίβαση των νευρικών ώσεων) και από **νευρογλοιακά κύτταρα** (συμβάλλουν στην στήριξη και θρέψη των νευρικών κυττάρων).

ΝΕΥΡΩΝΑΣ

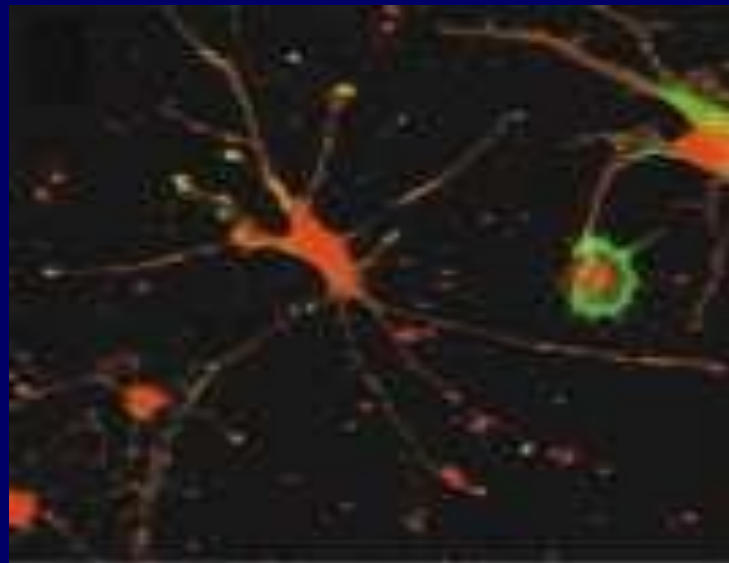
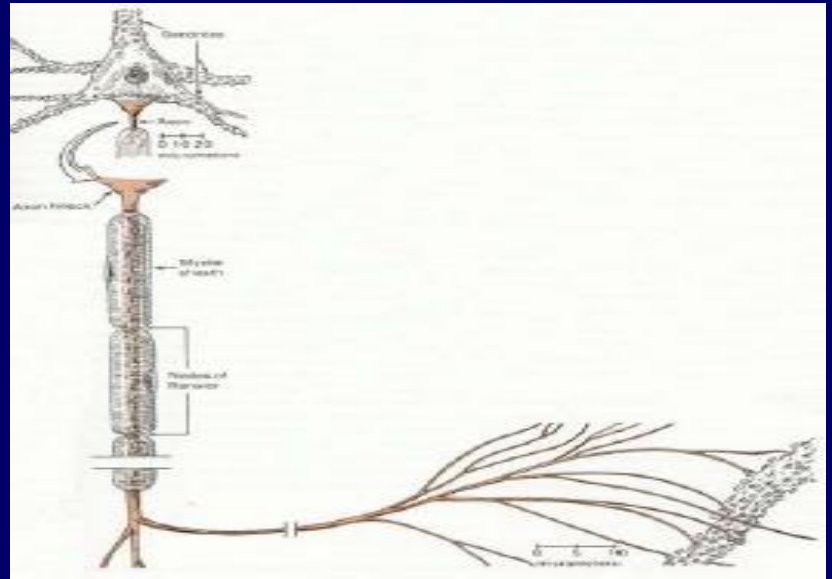


κυτταρικό σώμα →

- στα άκρα του έχει τους δενδρίτες διαμέσου των οποίων λαμβάνει ηλεκτρικά μηνύματα από άλλους νευρώνες
- το σημείο επαφής ονομάζεται **σύναψη**

νευρική ίνα ή άξονας →

- συνδέεται με το κυτταρικό σώμα από όπου και μεταφέρει το ηλεκτρικό σήμα σε άλλους νευρώνες ή σε μύες ή σε αδένες
- το μήκος του μπορεί να φτάνει μέχρι και το 1m και διακρίνονται σε 2 είδη:
 - **εμμύελες** → καλύπτονται από μυελίνη (λιπώδες μονωτικό στρώμα), αλλά παρουσιάζουν μικρά μη μονωμένα διαστήματα ανά μερικά mm (περίσφυξη Ranvier) και μεταφέρουν πιο γρήγορα τα δυναμικά δράσης σε σχέση με τις.....
 - **αμύελες** → δεν καλύπτονται από μυελίνη



ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΗΡΕΜΙΑΣ =

διαφορά δυναμικού κατά μήκος της μεμβράνης

- αρνητική στο εσωτερικό
- θετική στο εξωτερικό
- εύρος τιμών: -60 ως -90 mV

(συμβατικά θεωρούμε ότι το εξωκυττάριο υγρό έχει δυναμικό μηδέν και η πολικότητα του δυναμικού της μεμβράνης εκφράζεται σύμφωνα με την κατεύθυνση που έχει η περίσσεια του φορτίου στο εσωτερικό της μεμβράνης)

Συνοπτικά:

- μέσω της αντλίας ιόντων Na^+ - K^+ που υπάρχει στην πλασματική μεμβράνη γίνεται ενεργητική μεταφορά ιόντων καλίου προς το εσωτερικό του κυττάρου και ιόντων νατρίου προς το εξωτερικό του κυττάρου
- για κάθε 3 ιόντα Na^+ που εξέρχονται εισέρχονται 2 ιόντα K^+
- επιπλέον στο εσωτερικό των κυττάρων υπάρχει μεγάλος αριθμός ανιόντων που δεν διαχέονται ή διαχέονται ελάχιστα

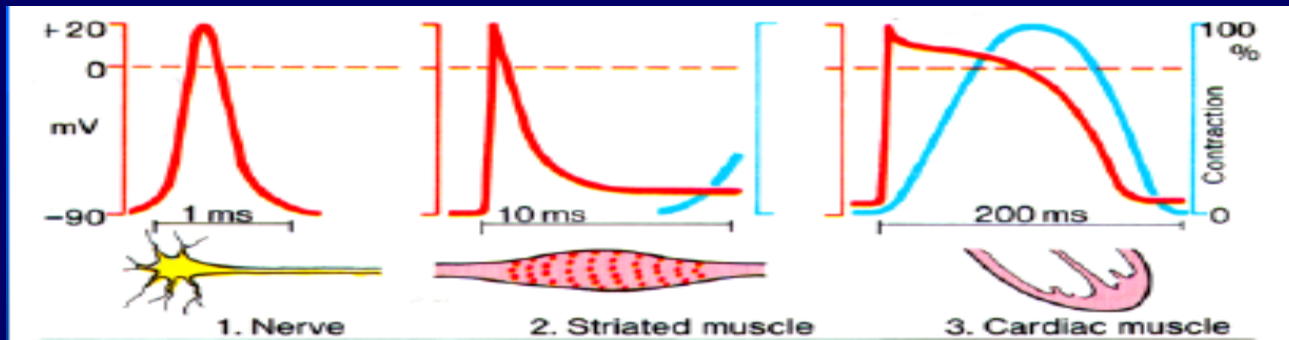
ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΡΑΣΗΣ =

Πρόκειται για γρήγορη μεταβολή του δυναμικού της μεμβράνης κατά την οποία παρατηρείται αλλαγή της τάξης των 100 mV, ενώ στη συνέχεια η μεμβράνη επαναπολώνεται ανακτώντας το δυναμικό ηρεμίας.

Η διάδοση του δυναμικού δράσης αποτελεί τον κύριο τρόπο για την μεταβίβαση των σημάτων μέσα στο σώμα.

Συνοπτικά:

- όταν σε έναν άξονα επιδράσει κάποιο ερέθισμα (χημικό, μηχανικό, ηλεκτρικό), στο σημείο εκείνο τα τοιχώματα της μεμβράνης γίνονται διαπερατά για το ιόντα νατρίου
- τα ιόντα νατρίου εισέρχονται στο εσωτερικό του κυττάρου λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσής τους στον εξωκυττάριο χώρο
- η εσωτερική μεμβράνη γίνεται ηλεκτροθετικότερη της εξωτερικής → αναστροφή δυναμικού → δυναμικό δράσης
- στη συνέχεια αποκαθίσταται το δυναμικό ηρεμίας και μεταδίδεται το δυναμικό δράσης κατά μήκος της νευρικής ίνας (=νευρική ώση)



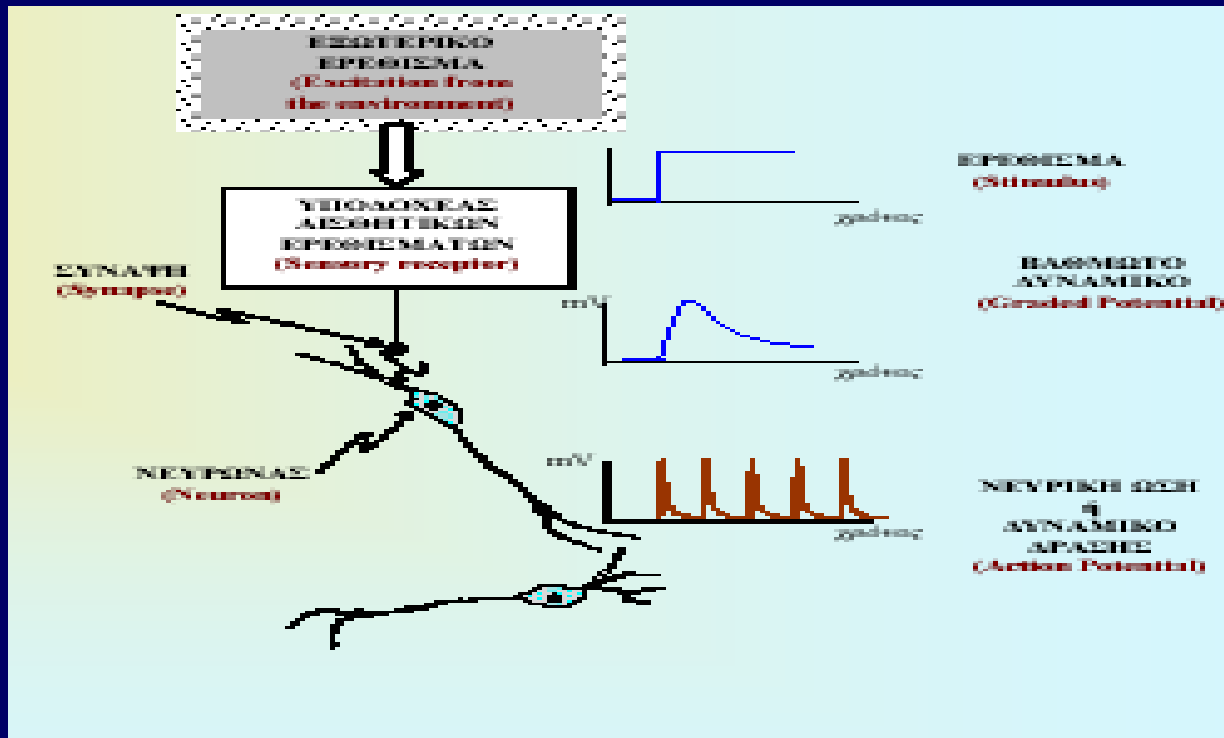
Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα μετάδοσης του δυναμικού δράσης:

- ηλεκτρική αντίσταση (R) στο εσωτερικό του άξονα
- χωρητικότητα (C) μεταξύ των 2 πλευρών της μεμβράνης

ΔΗΛΑΔΗ:

Η ταχύτητα διάδοσης ενός δυναμικού δράσης εξαρτάται από τον ρυθμό φόρτισης ή εκφόρτισης ενός κυκλώματος $R-C$.

Στις εμμύελες νευρικές ίνες έχουμε μεγάλη ταχύτητα διάδοσης εξαιτίας της μικρής χωρητικότητας, εκτός από τα σημεία όπου υπάρχουν οι περισφύξεις Ranvier, όπου και το δυναμικό δράσης ταξιδεύει πιο αργά («αγωγή κατά άλματα»)



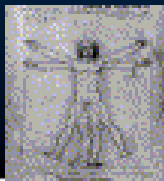
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ:

1. Ποιο είναι το πλεονέκτημα των εμμύελων σε σχέση με τις αμύελες νευρικές ίνες;
2. Ποιο είναι το τυπικό δυναμικό ηρεμίας ενός κυττάρου;
3. Ποια είναι η τυπική ταχύτητα διάδοσης ενός δυναμικού δράσης σε ένα νευρικό κύτταρο; Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης;

Εισαγωγή

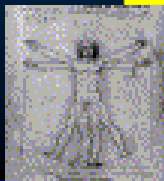
Παρουσίαση μεθόδων και τεχνικών επεξεργασίας σημάτων που προέρχονται από βιολογικά συστήματα

- ηλεκτροκαρδιογράφημα (καρδιά)
- ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (εγκέφαλος)
- ηλεκτρομυογράφημα (μύες)
- πίεση αίματος (κυκλοφορικό σύστημα)



Τι είναι σήμα;

- Σήμα είναι το αποτέλεσμα της μέτρησης ενός φυσικού μεγέθους
- Ένα σήμα εκφράζει την κατάσταση ενός συστήματος που εξελίσσεται
- Παραδείγματα σημάτων
 - Φωνή
 - Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG)
- Τα σήματα περιέχουν Πληροφορία

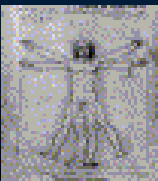


Βιολογικά σήματα (Βιοσήματα)

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 πιέσεις των αερίων αίματος PO_2 και PCO_2 .



Βιοσήματα

Τα βιοσήματα είναι συνήθως κρυμμένα μαζί με άλλα σήματα και θόρυβο.

- 50 Hz δικτύου
- θόρυβος από μετακινήσεις

Είναι σήματα μικρού εύρους.

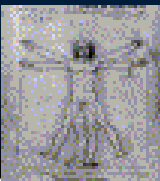
Οι βιολογικές διεργασίες που παράγουν τα βιοσήματα είναι πολύπλοκες και δυναμικές με πολλές συνεχώς μεταβαλλόμενες παραμέτρους.

Επομένως: είναι απαραίτητη η επεξεργασία των βιοσημάτων για την εξαγωγή πληροφορίας.



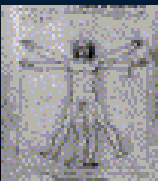
Βιοσήματα

- Η επεξεργασία των βιοσημάτων έχει σαν σκοπό να φιλτράρει το σήμα που ενδιαφέρει από τον υπάρχοντα θόρυβο και να μειώσει το πλεόνασμα δεδομένων σε λίγες παραμέτρους.
- Οι παράμετροι που προκύπτουν μπορεί να έχουν ενδιαφέρον στην υποστήριξη της ιατρικής διάγνωσης ή στη διερεύνηση της βιολογικής διαδικασίας.

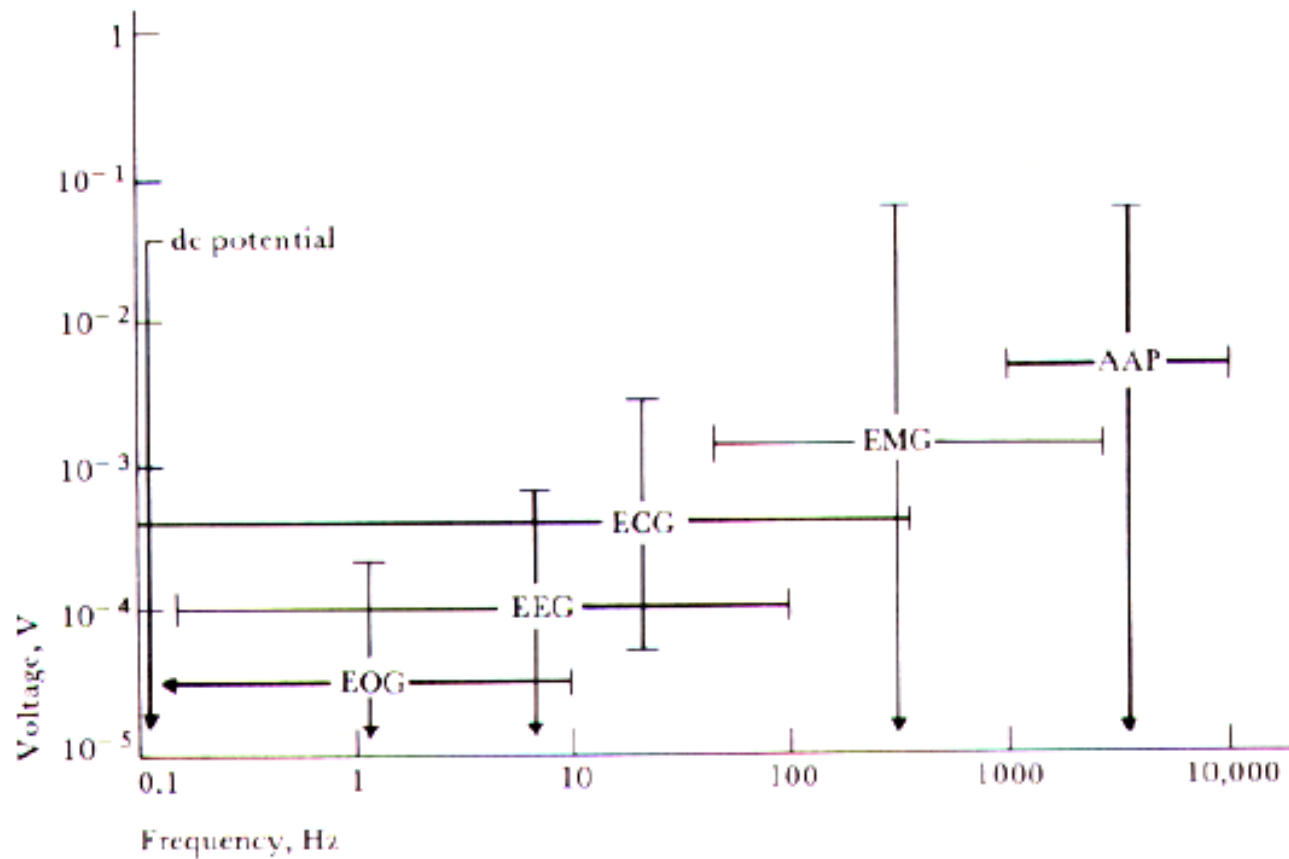


Βιολογικά Σήματα

- Σήματα μικρού εύρους - ανάγκη μεγάλης ενίσχυσης
- Φάσμα συχνοτήτων 0-100 Hz
- Σήματα με θόρυβο:
 - 50 Hz δικτύου
 - θόρυβος από μετακινήσεις
- Η πληροφορία δεν μπορεί να εξαχθεί άμεσα από το καταγραφόμενο σήμα

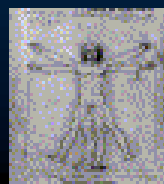


Πλάτη & Συχνότητες Βιολογικών Σημάτων



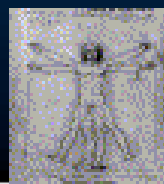
Κατηγορίες σημάτων

- Σήματα συνεχούς χρόνου
- Σήματα συνεχούς χρόνου - διακριτού πλάτους
- Σήματα διακριτού χρόνου
- Ψηφιακά σήματα



Επεξεργασία σήματος

- Ως “επεξεργασία σήματος” ονομάζουμε το σύνολο των μεθόδων που εφαρμόζονται κατά το χειρισμό σημάτων
- Στόχοι
 - Εξαγωγή της πληροφορίας που φέρουν τα σήματα
 - Μεταβολή του σήματος αυτού καθ’ εαυτού
- Τα σήματα αναπαρίστανται σα χρονικές ή/και χωρικές συναρτήσεις



Περιοδικά Σήματα

$$s(t) = s(t + nT)$$

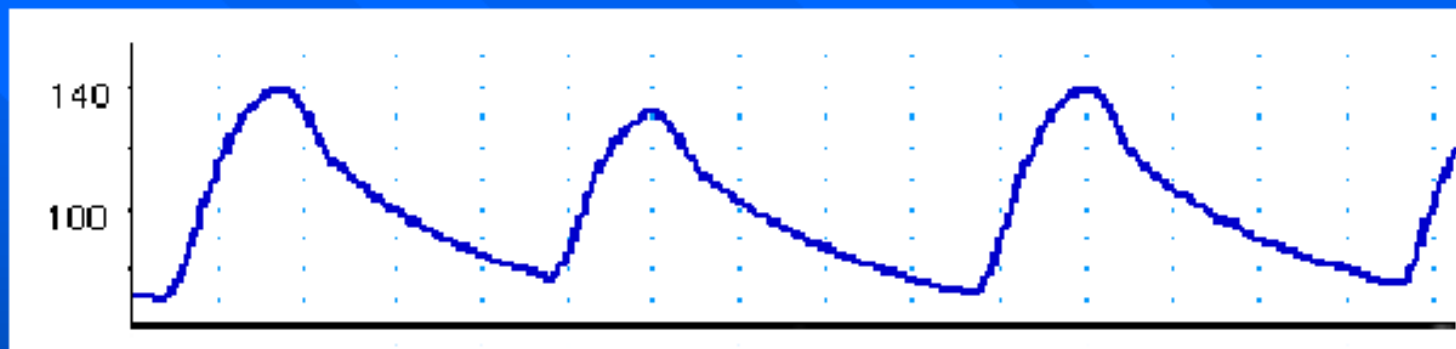
Ακέραιος

Περίοδος

- Το περιοδικό σήμα αποτελείται από μία βασική κυματομορφή διάρκειας T seconds.
- Η βασική κυματομορφή επαναλαμβάνεται άπειρες φορές στον άξονα του χρόνου.
- Το πιο απλό περιοδικό σήμα είναι το ημιτονοειδές σήμα.

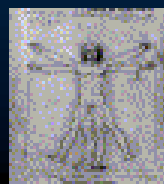


«Σχεδόν» Περιοδικά Σήματα



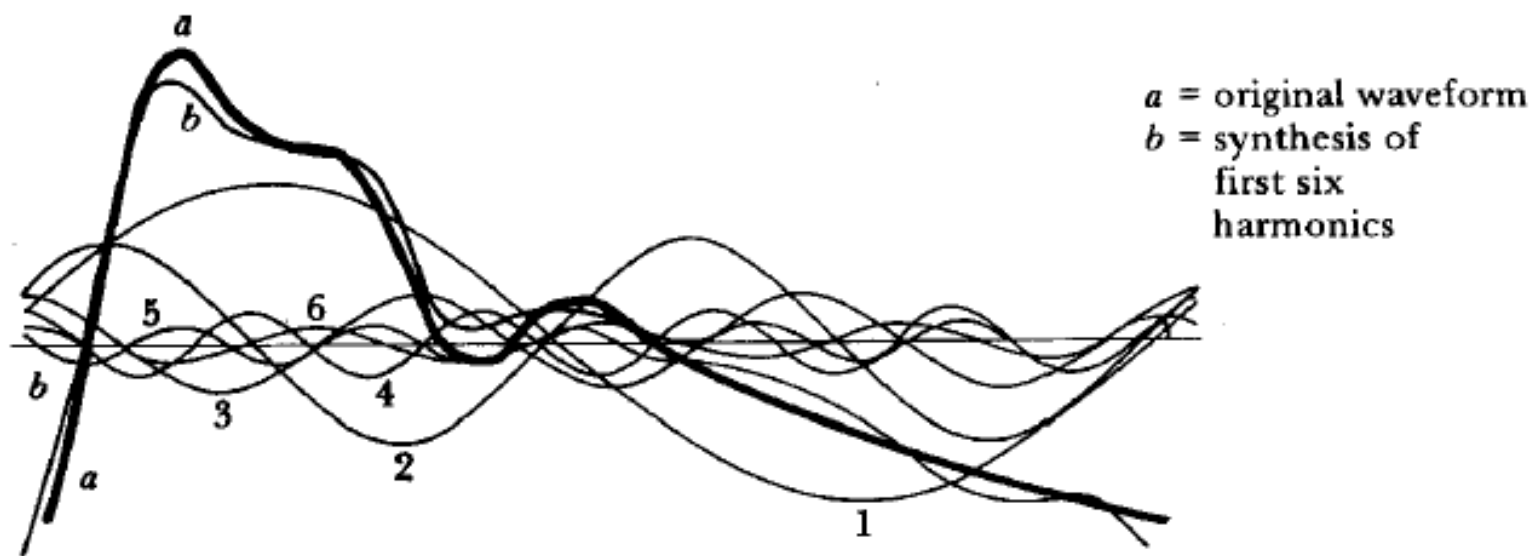
Σήμα της αρτηριακής πίεσης αίματος :
μοντελοποιείται από ένα πολύπλοκο περιοδικό
σήμα με:

- τη διάρκεια ενός καρδιακού παλμού ως περίοδο
- την κυματομορφή της πίεσης αίματος ως τη βασική κυματομορφή



«Σχεδόν» Περιοδικά Σήματα

Οι πρώτες 6 αρμονικές της κυματομορφής αρτηριακής πίεσης :

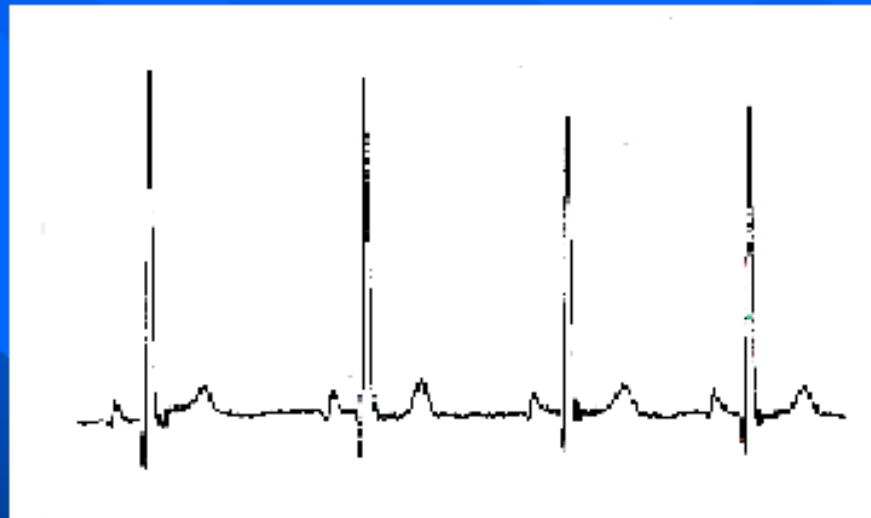


Αρμονική Πλάτος(%)

1	100
2	63.2
3	29.6
4	22.2
5	14.8
6	11.8



«Σχεδόν» Περιοδικά Σήματα



■ ΗΚΤ

- Το RR διάστημα μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερό.
- Το PQRST τμήμα μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν το ίδιο σε κάθε παλμό.

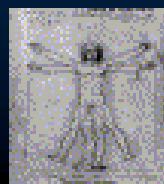


Λήψη Βιολογικού Σήματος



Το σύστημα λήψης του ψηφιακού σήματος ΔΕΝ πρέπει να εισάγει παραμόρφωση που μπορεί να παρερμηνευθεί ή να καταστρέψει αλλαγές του σήματος που φανερώνουν παθολογικά φαινόμενα.

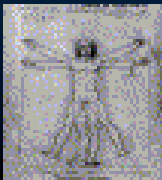
- Αναλογικό φίλτρο με σταθερό κέρδος και γραμμική φάση
 - αφαιρεί θόρυβο
 - αντισταθμίζει χαρακτηριστικά αισθητήρων
 - περιορισμός αναλογικού σε εύρος (φαινόμενα αναδίπλωσης)



Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία και Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα Προκλητά Δυναμικά

2007



Στοιχεία Φυσιολογίας

Εγκεφάλου

Βασικά δομικά στοιχεία του εγκεφάλου:

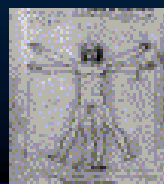
- νευρικά κύτταρα - νευρώνες
- νευρογλοία - διατροφή και στήριξη νευρώνων

Νευρώνας: αυτόνομος και αποτελείται από:

- κυρίως νευρικό κύτταρο (σώμα)
- αποφυάδες (νευρίτες)

Κυρίως νευρικό κύτταρο: περιλαμβάνει:

- » πυρήνα
- » κυτταρικό σώμα



Στοιχεία Φυσιολογίας

Εγκεφάλου

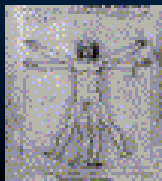
Αποφυάδες (Νευρίτες):

1) Μοναδικός νευροάξονας (άξονας) κάθε νευρώνα

«Εξοδος» κυττάρου. Νηματοειδής προέκταση κυρίως νευρικού κυττάρου.

- Κυκλοφορία νευρικών ώσεων (δυναμικά δράσης) κυτταρικού σώματος στον άξονα με κατεύθυνση προς την απόληξή του.

- Κατάληξη αξόνων στην «προσυναπτική» μεμβράνη (συμμετοχή στο σχηματισμό σύναψης - περιοχή ηλεκτροχημικής επαφής του νευρώνα με άλλους νευρώνες για τη μετάδοση σημάτων)



Στοιχεία Φυσιολογίας

Εγκεφάλου

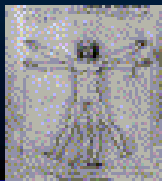
Αποφυάδες (Νευρίτες):

2) Δενδρίτες - διακλαδισμένες αποφύσεις νευρώνων

«Είσοδοι» κυττάρου

- Σε επαφή με τις απολήξεις διαφόρων αξόνων (προερχόμενοι από γειτονικούς ή απομακρυσμένους νευρώνες) μέσω συνάψεων.

- Συλλογή μέσω «μετασυναπτικών» μεμβρανών των σημάτων που εκπέμπονται από τις αξονικές απολήξεις και μετάδοση αυτών στο κυτταρικό σώμα του νευρώνα στον οποίο ανήκουν



Στοιχεία Φυσιολογίας

Εγκεφάλου

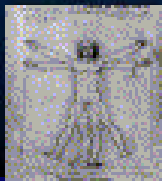
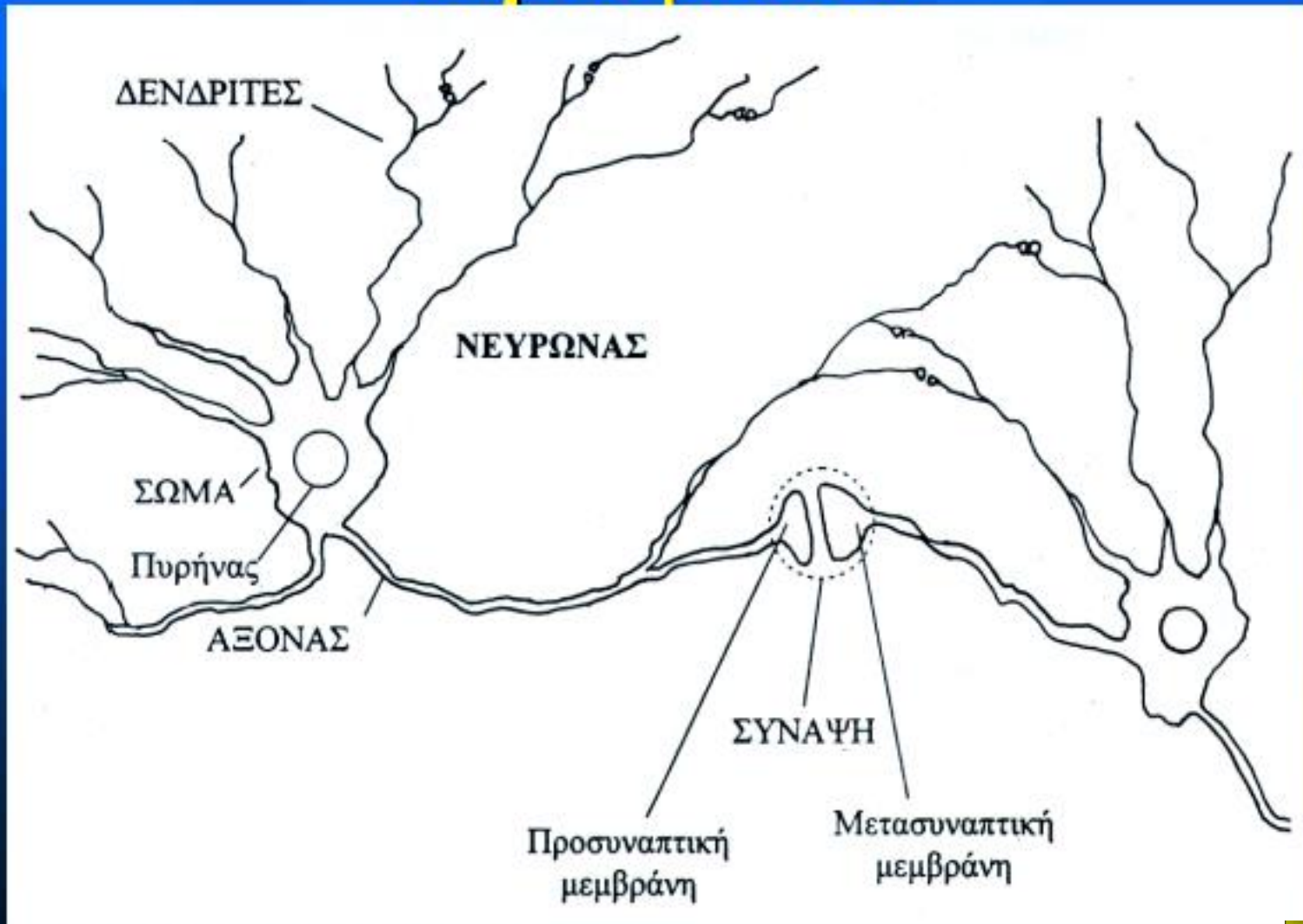
Σύναψη: διάρθρωση της απόληξης του άξονα ενός νευρώνα με δενδρίτη άλλου νευρώνα.

Μεταβίβαση δράσης από την προσυναπτική μεμβράνη στη μετασυναπτική μέσω της πολύ λεπτής σχισμής που τις χωρίζει - συναπτικό χάσμα.

- Η σύναψη μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά ή και πάνω στο σώμα ενός νευρώνα
- Σε μία σύναψη μπορεί να συμμετέχουν τρεις νευρώνες ταυτόχρονα, οπότε απολήξεις δύο αξόνων οδεύουν στο ίδιο σημείο του δενδρίτη.



Στοιχεία Φυσιολογίας Εγκεφάλου



Στοιχεία Φυσιολογίας

Εγκεφάλου

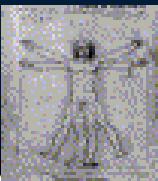
■ Νευρική ώση

Ηλεκτρικό σήμα που παράγεται στο νευρικό κύτταρο και διαδίδεται στον άξονά του

■ Νευρομεταβιβαστές

Χημικές ουσίες που παράγονται στους νευρώνες και ελευθερώνονται στις απολήξεις των αξόνων.

- Μεταβίβαση νευρικού σήματος στο επίπεδο των συνάψεων που λειτουργούν με χημική διαδικασία.



Στοιχεία Φυσιολογίας

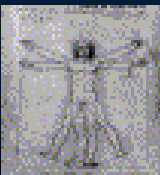
Εγκεφάλου

Κυτταρική μεμβράνη: καλύπτει το νευρώνα με τον άξονα και τους δενδρίτες.

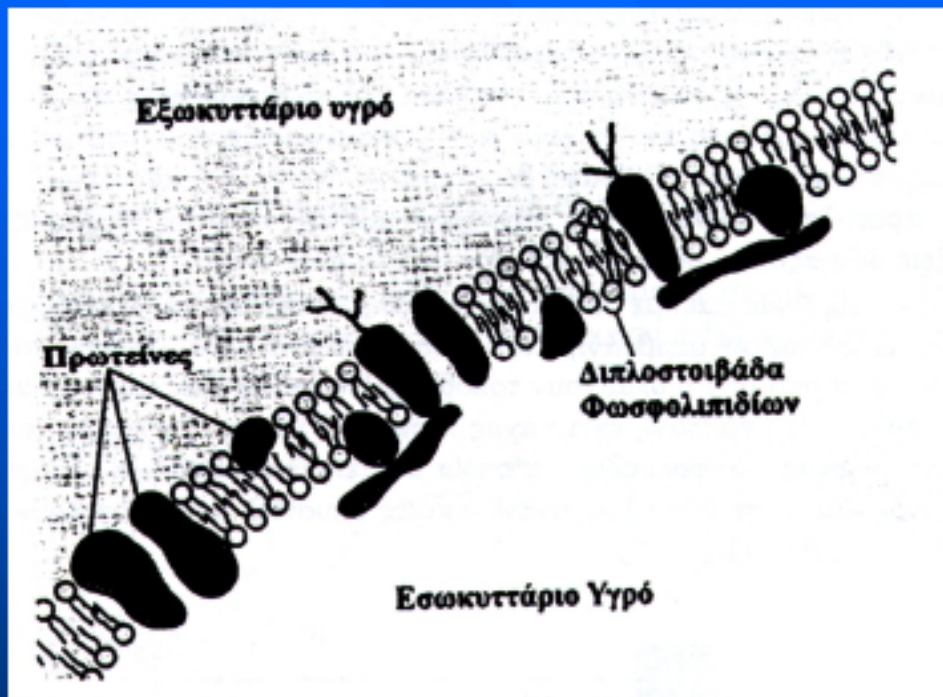
Διπλό (διμοριακό) στρώμα από φωσφολιπίδια + διαφορετικά είδη πρωτεϊνών τοποθετημένα εγκαρσίως

Πάχος ~ 8-10 nm

Φωσφολιπίδια: έχουν υδρόφιλη κεφαλή και υδρόφοβο τμήμα (ουρά) μορίου



Μεμβράνη Κυττάρων



Οργάνωση φωσφολιπιδίων σε διπολικό στρώμα μέσα σε υδατικό μέσο:

- Απομάκρυνση υδρόφοβων ουρών από υδατικό μέσο.
- Τοποθέτηση υδρόφιλων κεφαλών μεταξύ ύδατος & ουρών.

Διμοριακό στρώμα: αδιαπέραστο από τα περισσότερα βιολογικά ενεργά μόρια (π.χ. αμινοξέα, ιόντα).

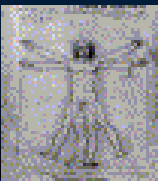
ΟΜΩΣ η ύπαρξη των πρωτεϊνών κάνει τη μεμβράνη ημιπερατή για ορισμένες ουσίες.



Μεμβράνη Κυττάρων

Λειτουργία πρωτεϊνών ως δίοδοι ιόντων

- 1) **Δίοδοι ελεγχόμενοι από τάση:** η λειτουργία τους εξαρτάται από την τάση που επιβάλλεται διαμεμβρανικά.
- 2) **Χημικά ελεγχόμενοι δίοδοι:** η λειτουργία τους εξαρτάται από την παρουσία κάποιων χημικών ουσιών και χημικών φαινομένων.
- 3) **Μη ελεγχόμενες δίοδοι:** η λειτουργία τους δεν ελέγχεται από εξωτερικές συνθήκες.



Δυναμικό Ηρεμίας

Δυναμικό Ηρεμίας κυττάρου: Διαφορά δυναμικού κατά μήκος της μεμβράνης

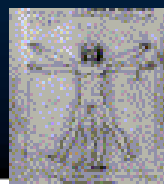
- Αρνητική στο εσωτερικό
- Θετική στο εξωτερικό

Δυναμικό ηρεμίας κυττάρου: είναι αρνητικό.

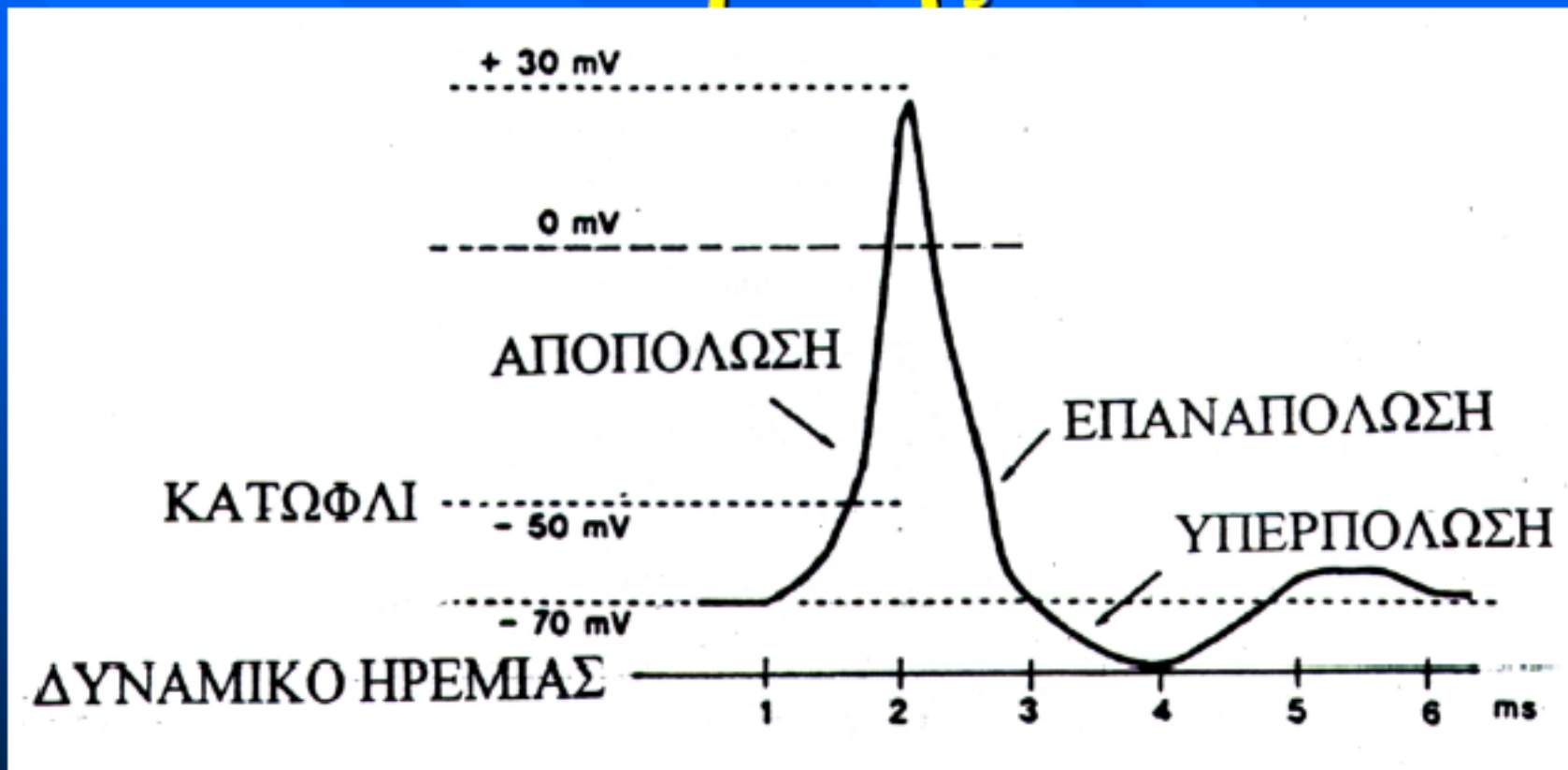
Εύρος τιμών : -60 ως -100 mV.

~ -70 mV για νευρικά και μυϊκά κύτταρα

Οφείλεται σε άνιση κατανομή ιόντων, η οποία διατηρείται από τη μεταβολική δραστηριότητα του κυττάρου, μέχρι κάποιο είδος αναταραχής να διαταράξει αυτή την ισορροπία.



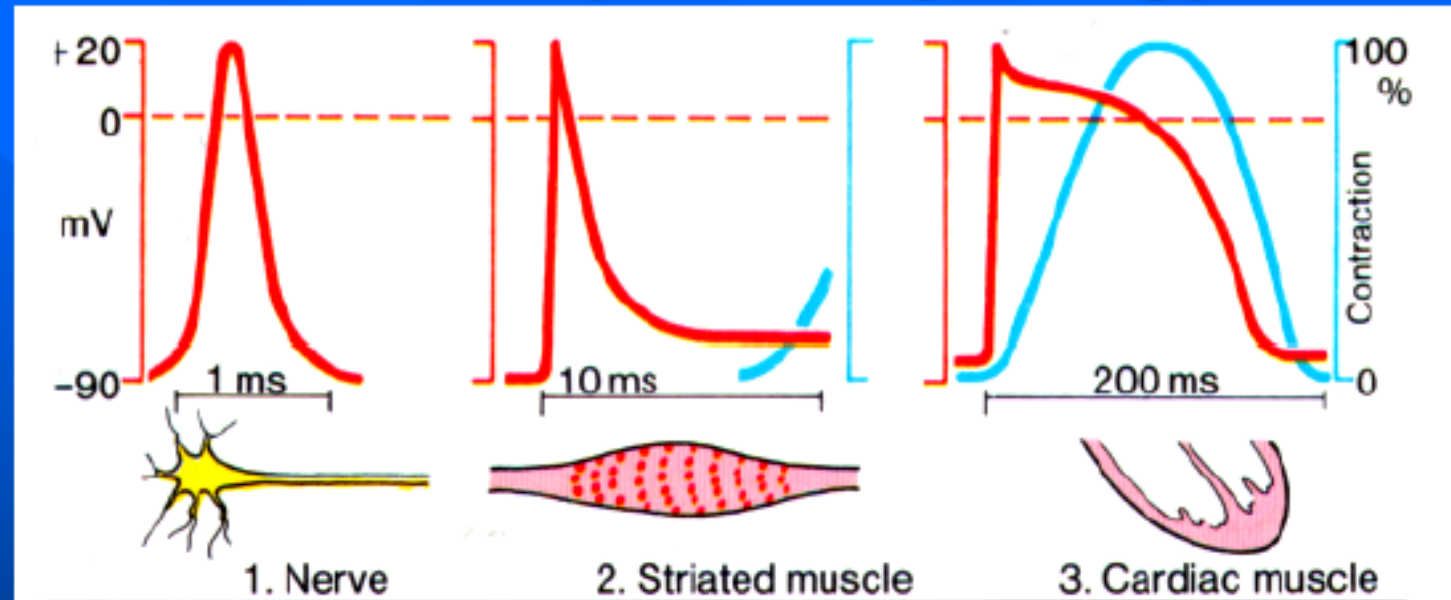
Κυματομορφή Δυναμικού Δράσης



Διαφορά δυναμικού εσωκυτταρικού - εξωκυτταρικού δυναμικού συναρτήσει του χρόνου σε ένα σημείο της μεμβράνης.



Δυναμικό Δράσης



Νεύρα και κύτταρα μυών :

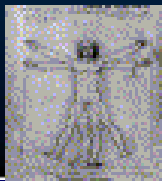
Γρήγορη επαναπόλωση μετά την εκπόλωση.

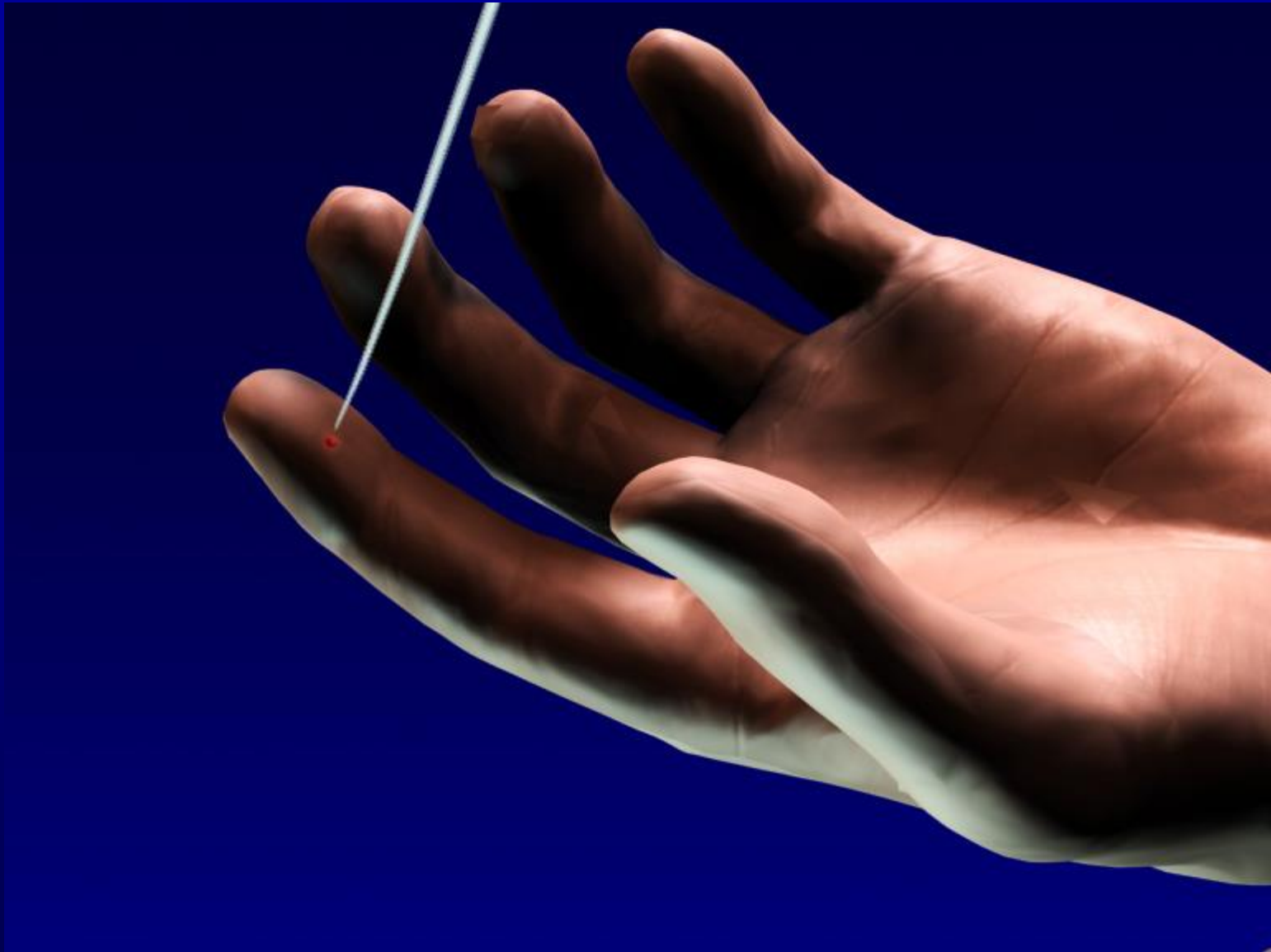
Διάρκεια δυναμικού δράσης πολύ μικρή ~ 1 msec.

Καρδιακός μυς :

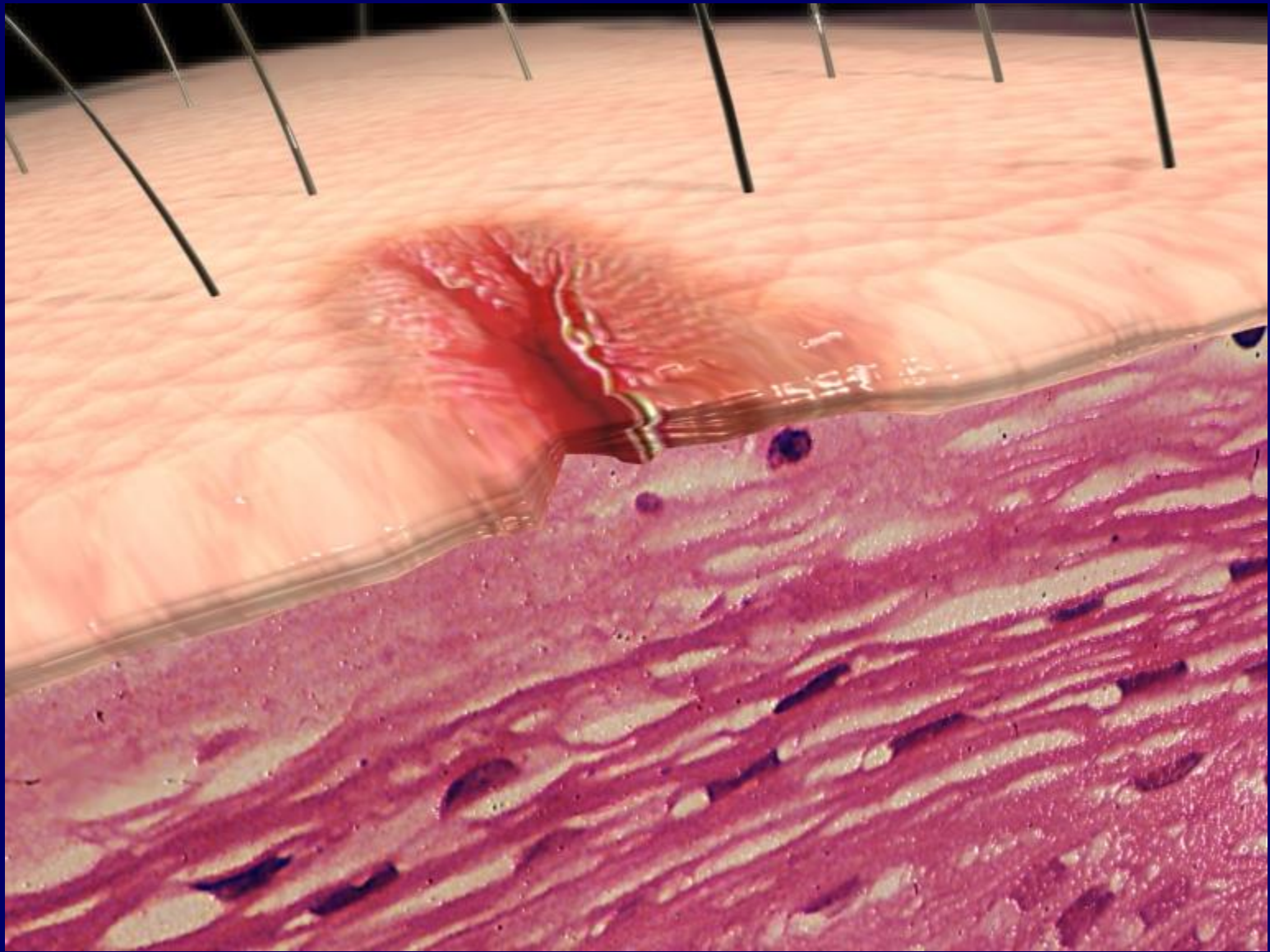
Πιο αργή επαναπόλωση.

Διάρκεια δυναμικού δράσης ~ 150 - 300 msec.

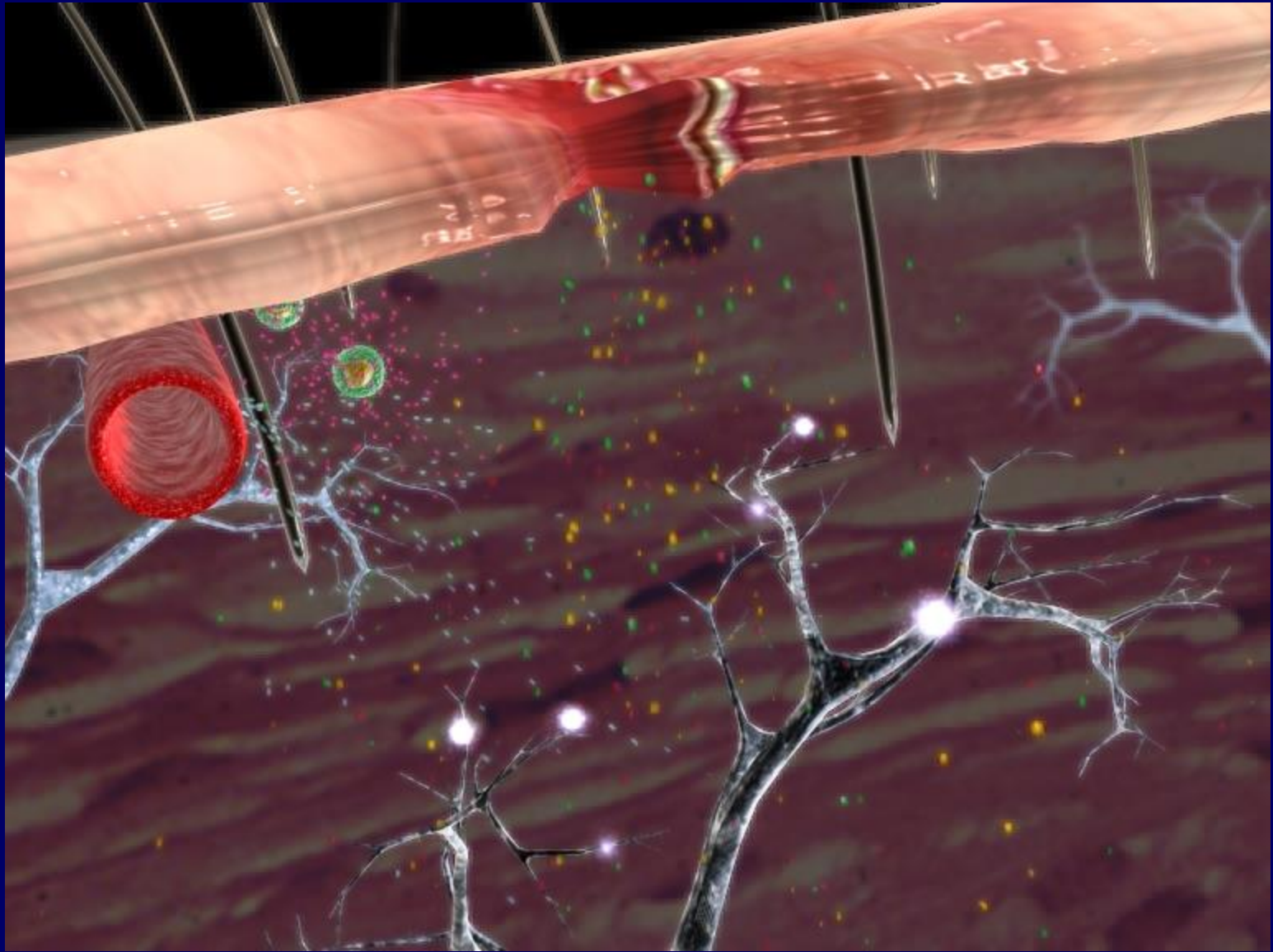




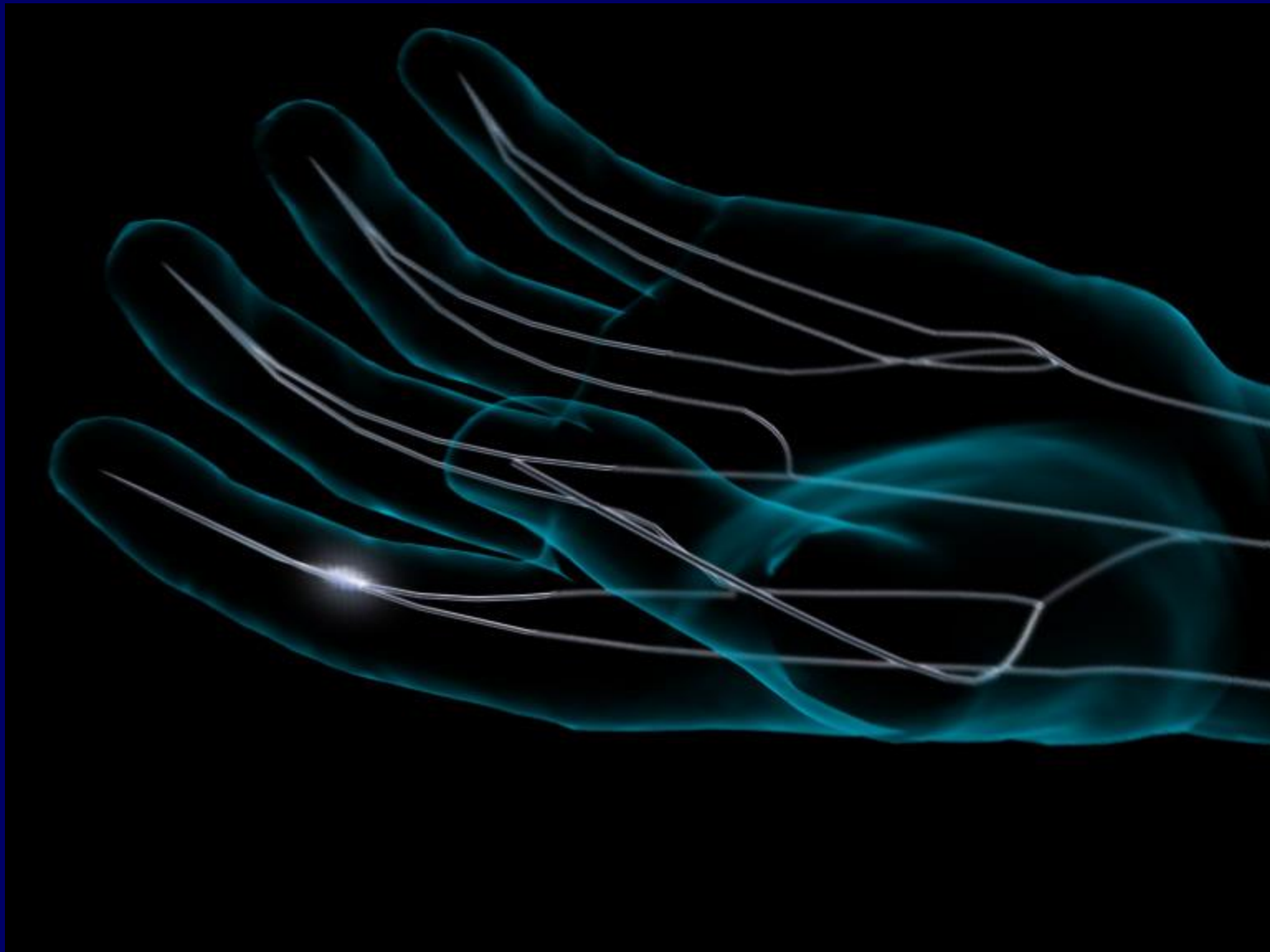
Εξωτερικό ερέθισμα...



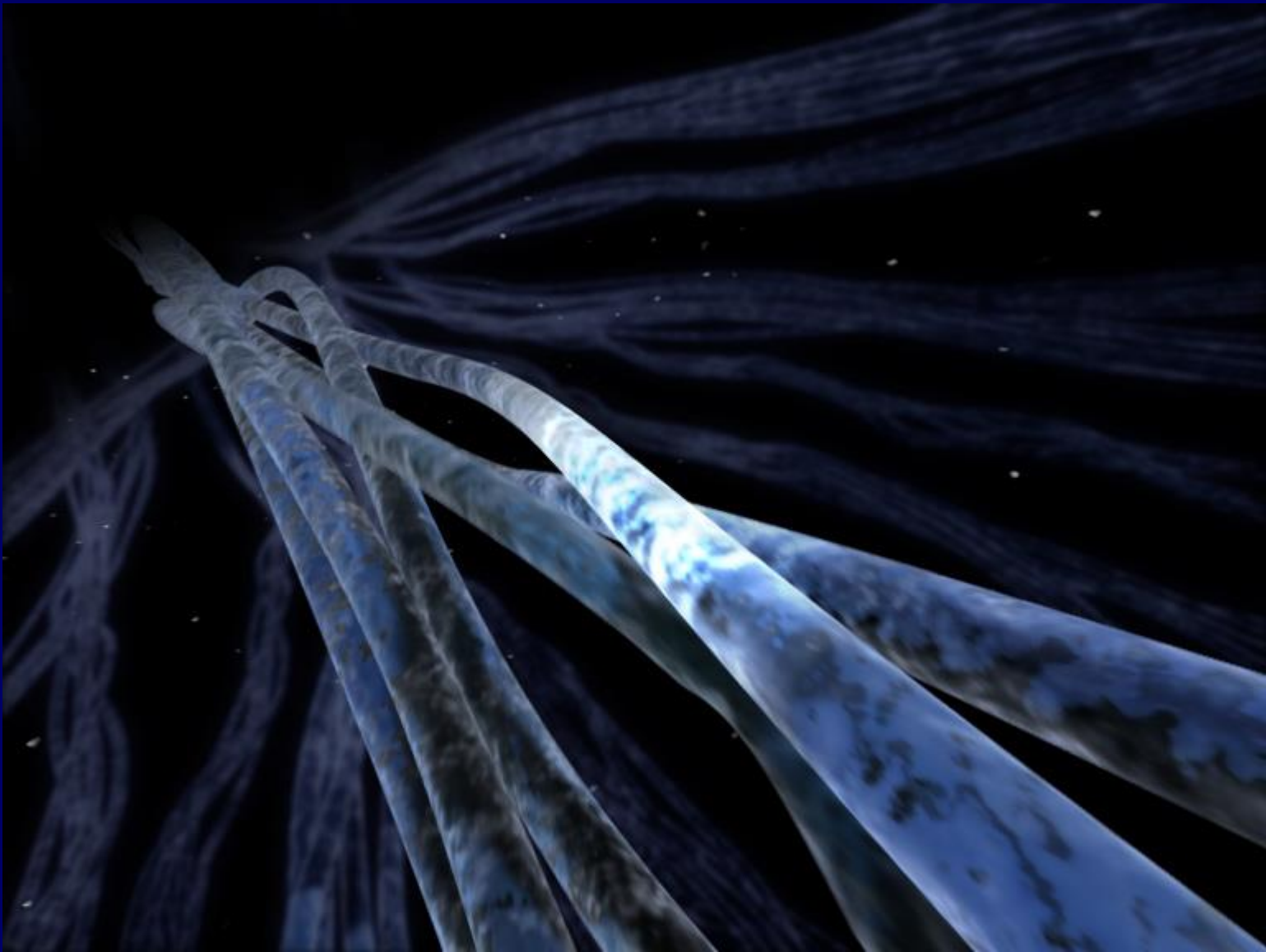
Τραυματισμός του ιστού



Απελευθέρωση διαφόρων χημικών ουσιών (π.χ. ακετυλοχολίνη και σεροτονίνη) λόγω της βλάβης των ενδοθηλιακών κυττάρων.

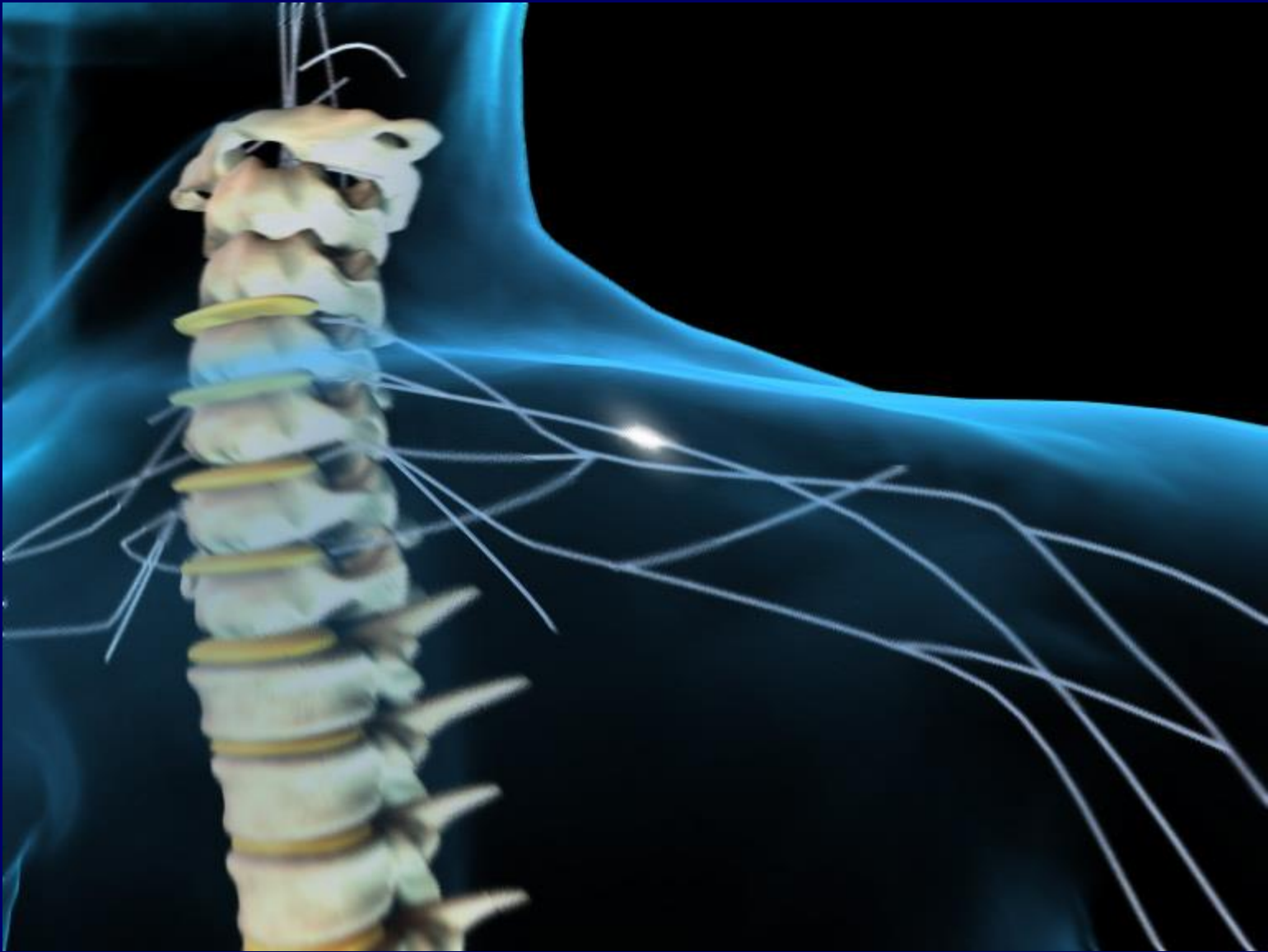


Οι αισθητήριοι νευρώνες διεγείρονται.. Διαταραχή του δυναμικού ηρεμίας..

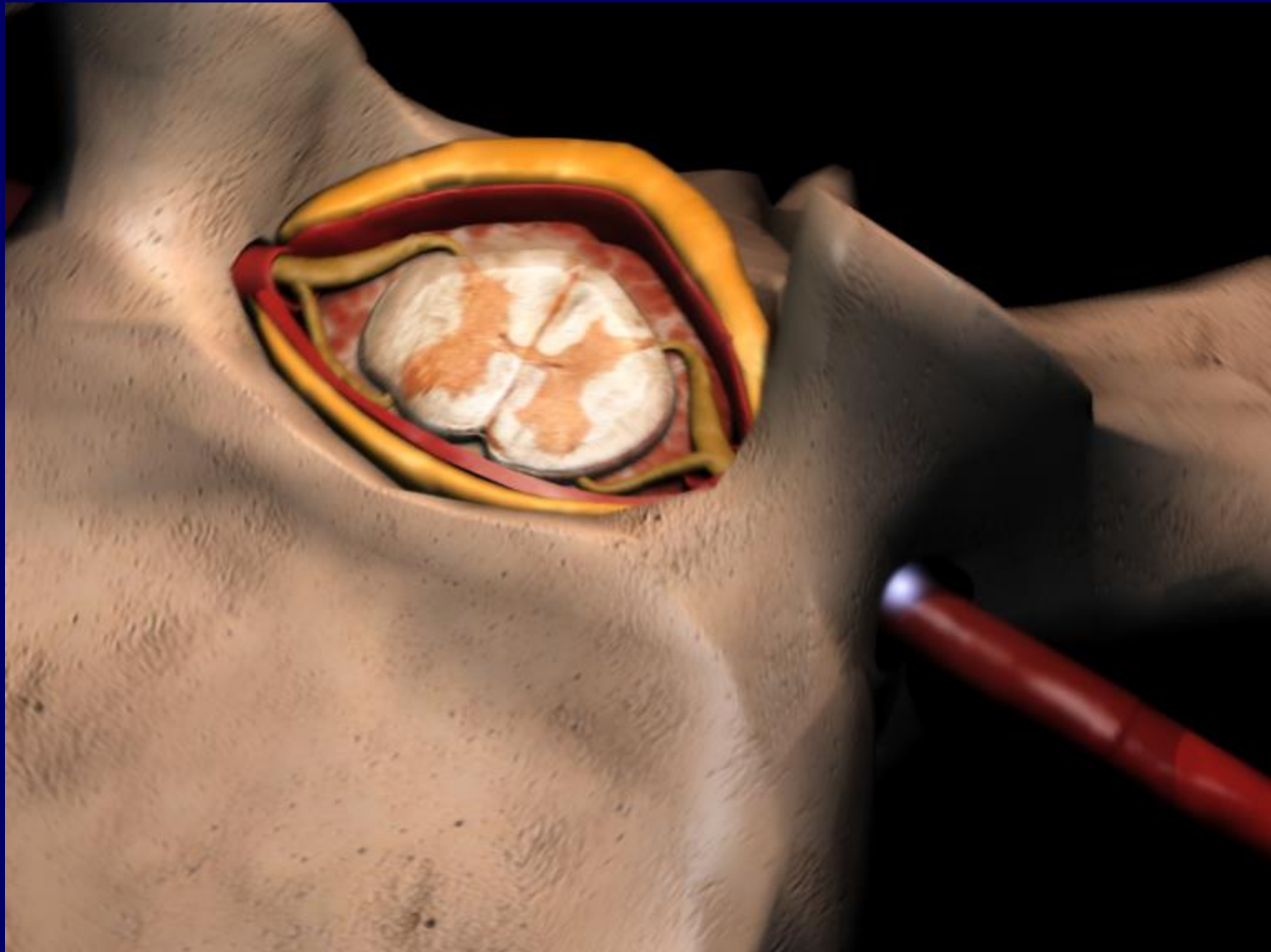


Δημιουργία δυναμικού δράσης..

Για την εκκίνηση της διάδοσης του δυναμικού δράσης απαιτείται αλλαγή στο δυναμικό της μεμβράνης κατά 20 mV..



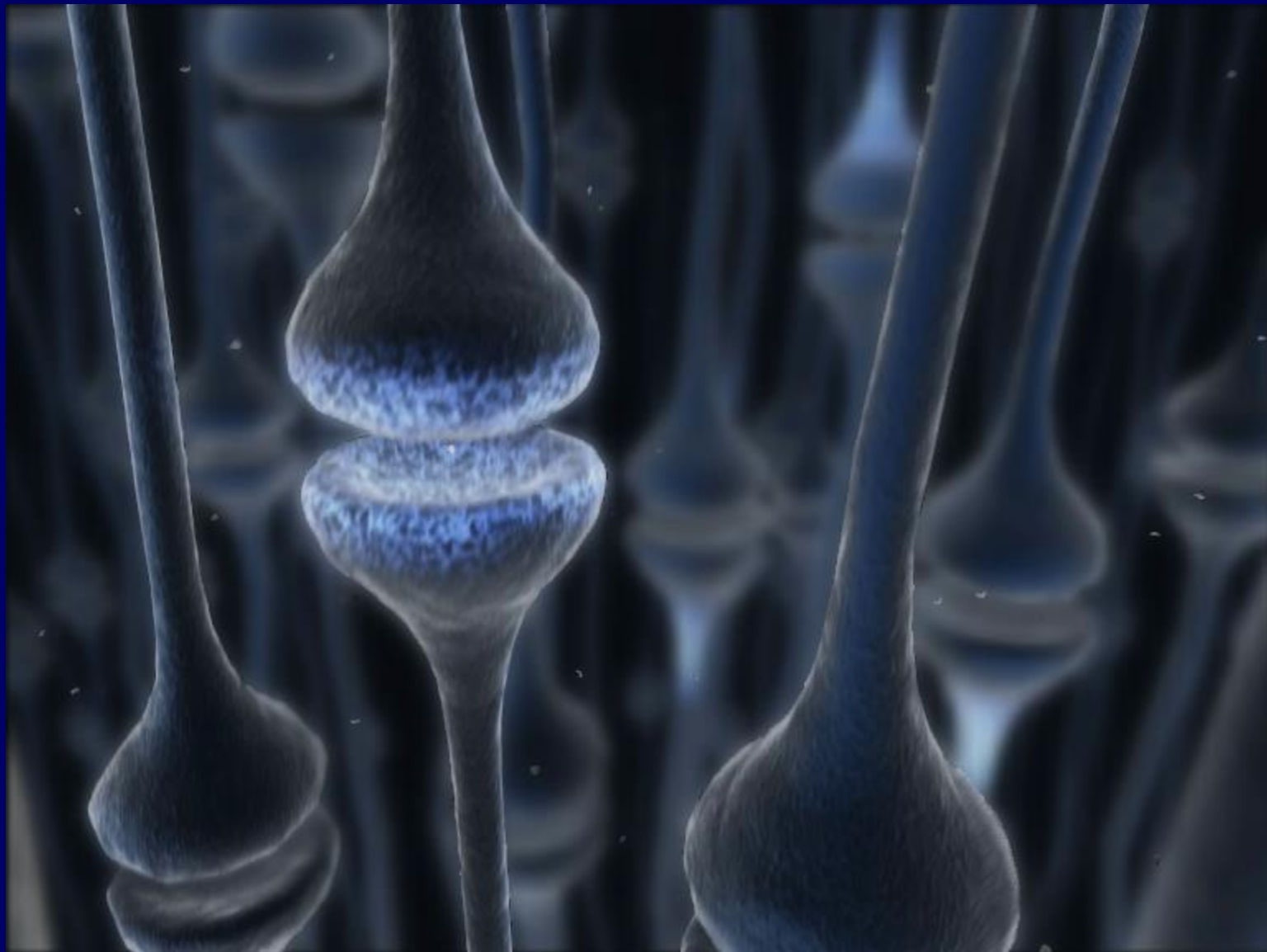
Τα δυναμικά δράσης φθάνουν στις συνδέσεις μεταξύ των αισθητήριων ινών και των νευρώνων του νωτιαίου μυελού

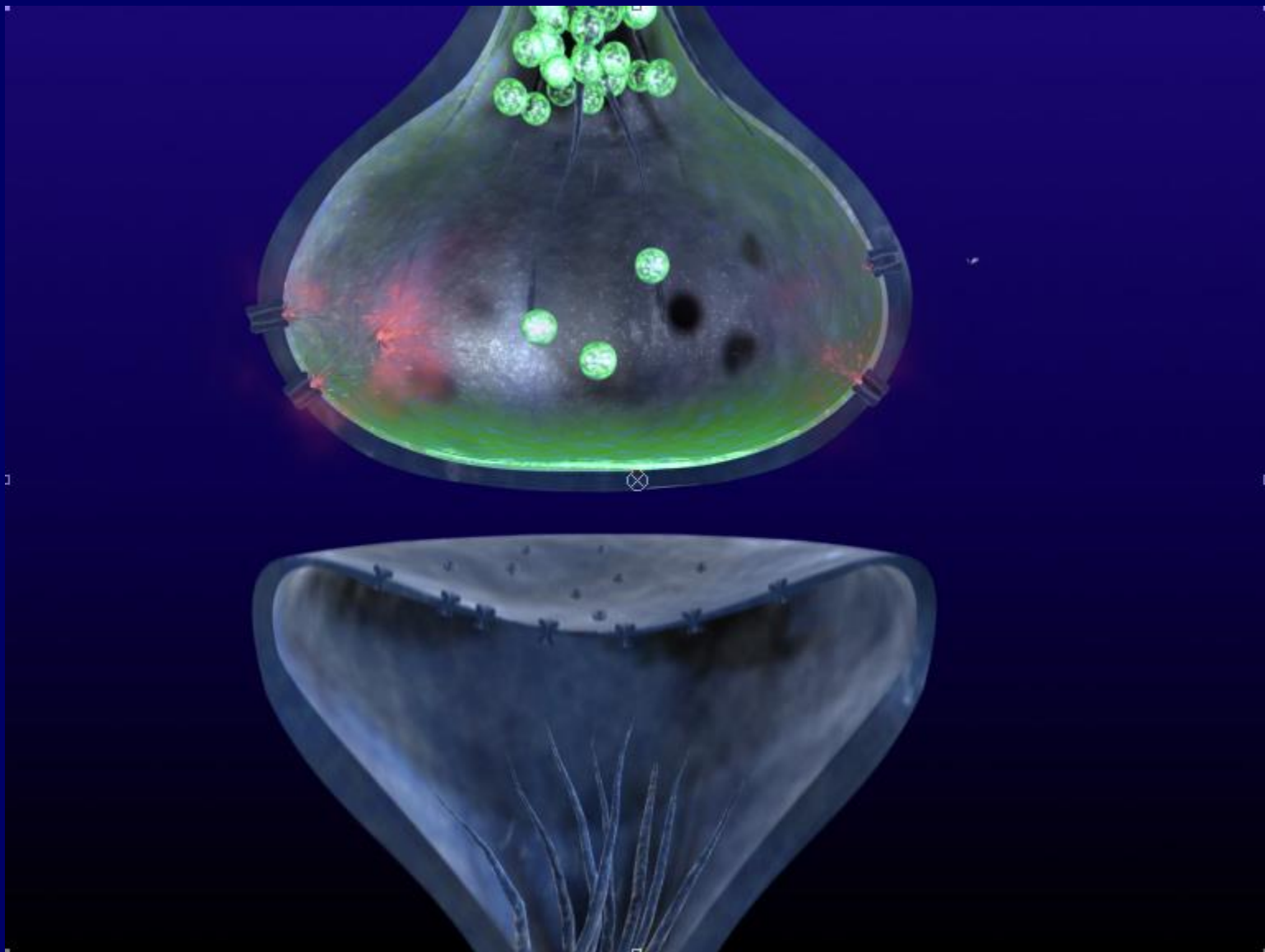


Απεικόνιση της δημιουργίας δυναμικών δράσης μέσα στο νοτιαίο μυελό των ραχιαίων οστών.

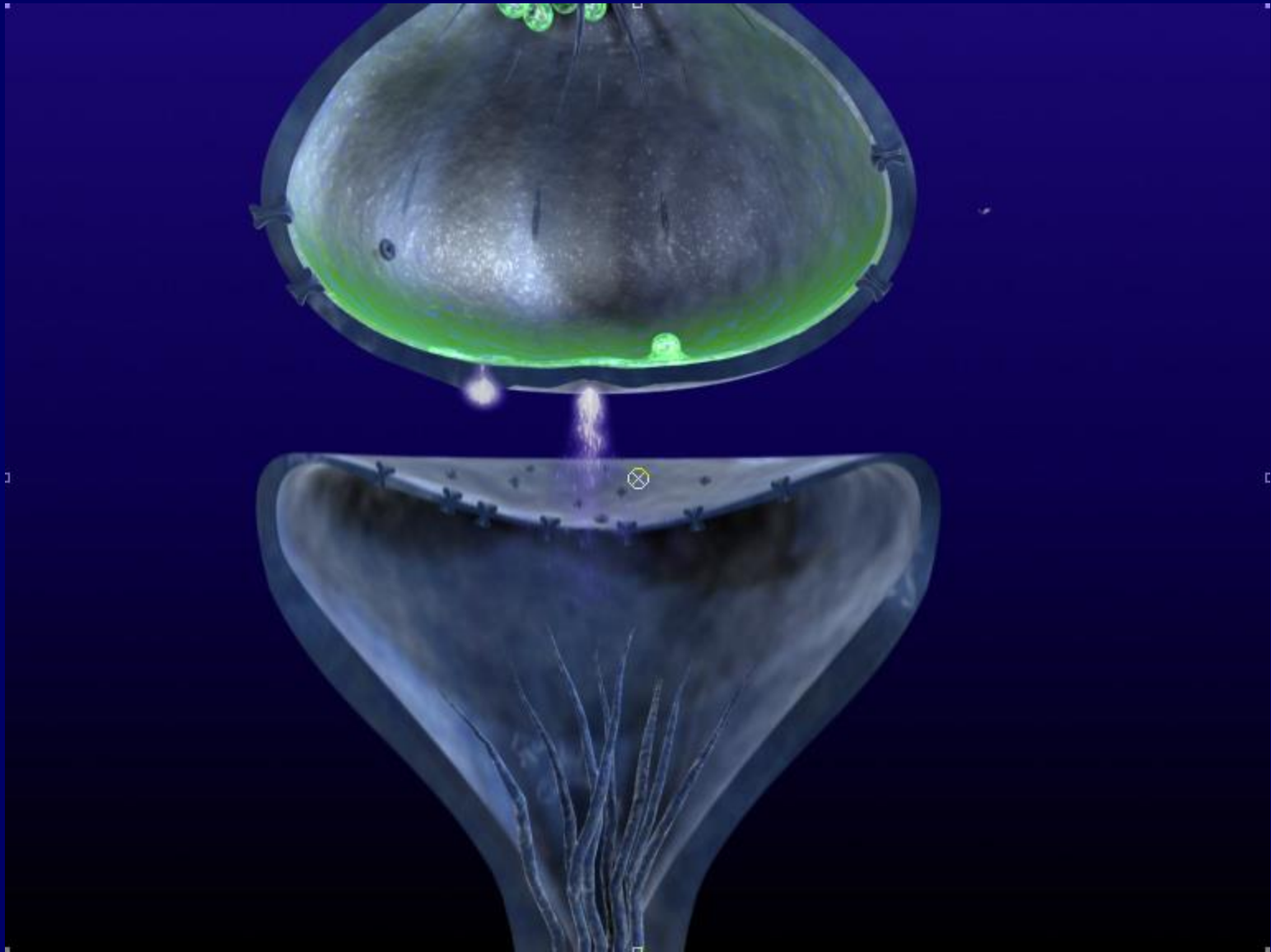


Πιο ειδικά η άφιξη του δυναμικού δράσης προκαλεί την (εξαρτώμενη της τάσης) δημιουργία προσανατολισμένης κίνησης ιόντων Καλίου.

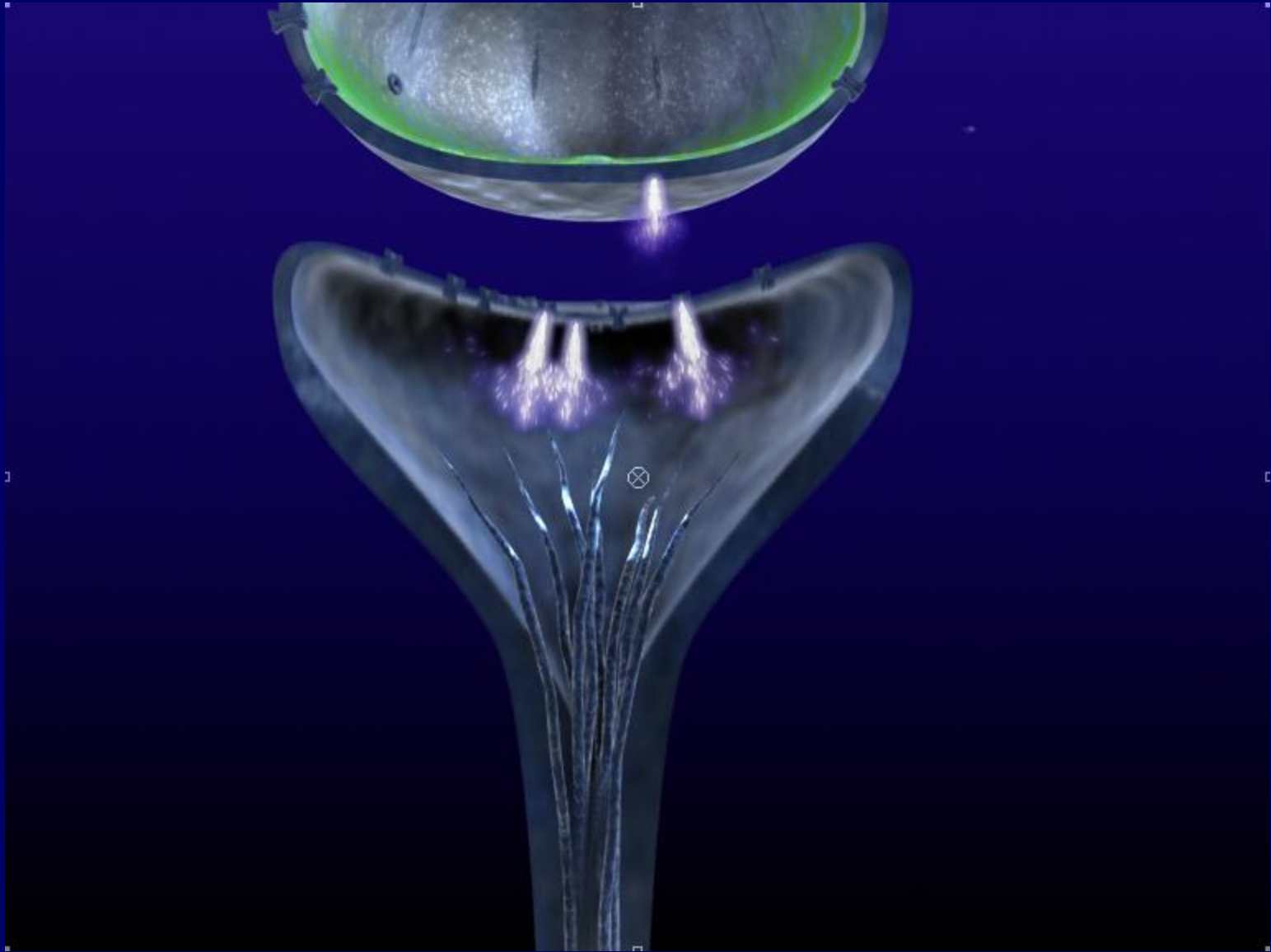




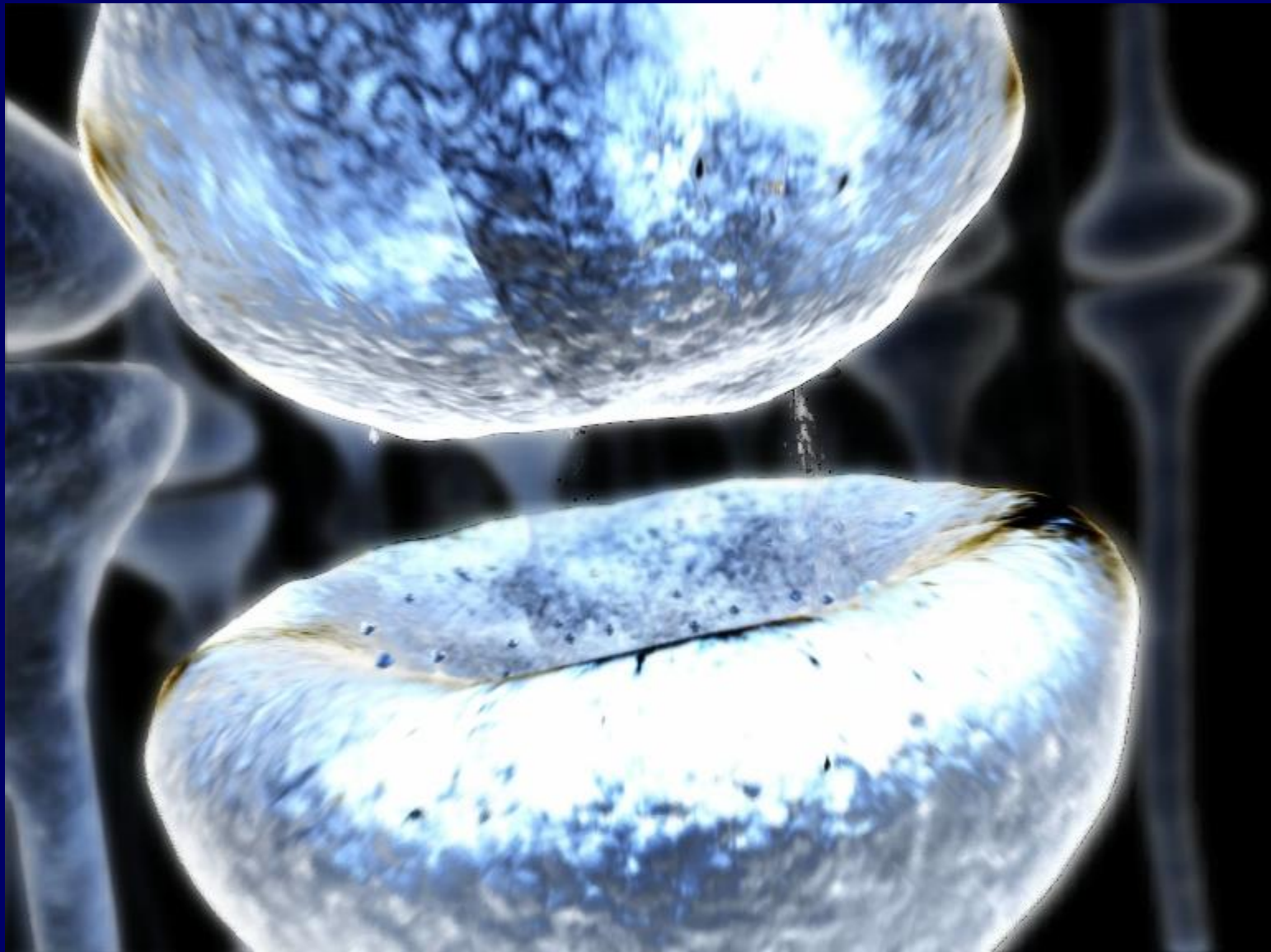
Η ενεργοποίηση της μεμβράνης επιτρέπει την εισροή του ασβεστίου στα αισθητήρια τερματικά των νευρικών ινών, το οποίο διεγείρει τις κύστες που περιέχουν μόρια νευροδιαβιβαστών στην προσυναπτική μεμβράνη, και απελευθερώνουν το περιεχόμενό τους στην μετασυναπτική μεμβράνη



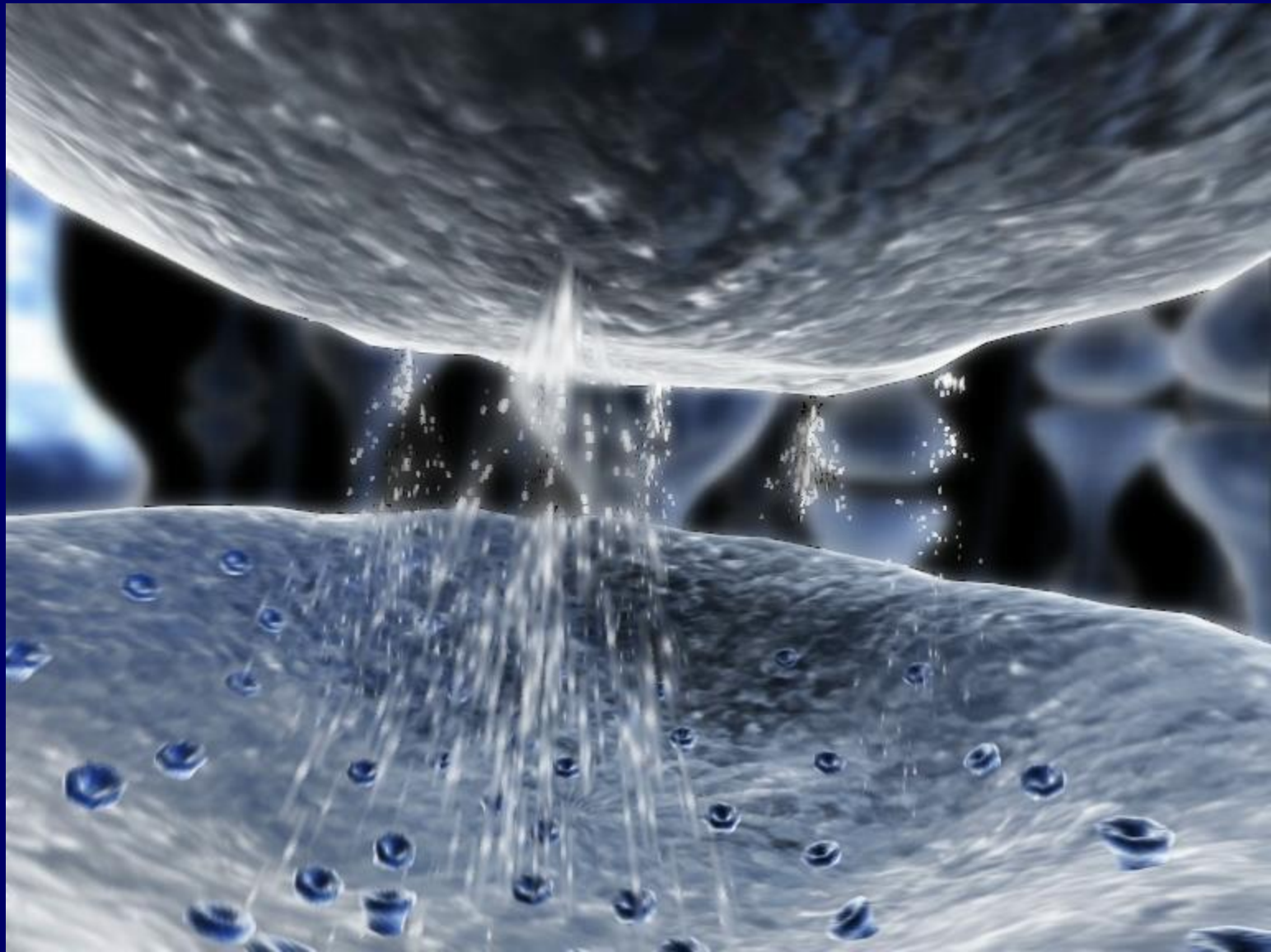
Μόρια νευροδιαβιβαστών (π.χ. άλας γλουταμινικού οξέως) διαχέονται από τις απολήξεις των αξόνων προς τη μετασυναπτική μεμβράνη

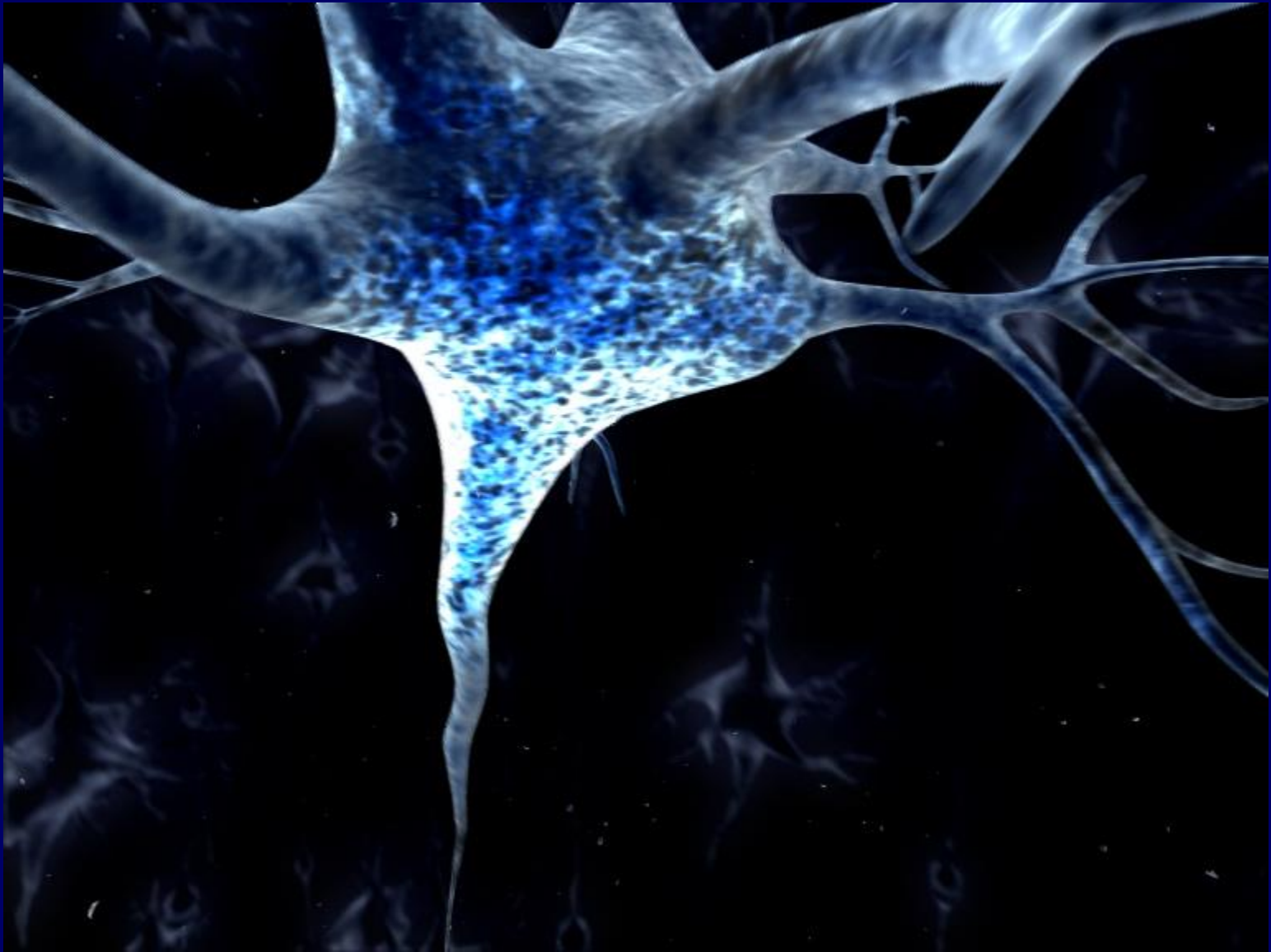


Οι νευροδιαβιβαστές προσαρτώνται στους κατάλληλους υποδοχείς της μετασυναπτικής μεμβράνης.



Η ενεργοποίηση των υποδοχέων στην μετασυναπτική μεμβράνη, είτε μέσω των γ-πρωτεϊνικών ενζύμων, είτε άμεσα μέσω ιοντικών δράσεων, επιτρέπει την εκροή καλίου και εισροή ασβεστίου και νατρίου στο κύτταρο





Η εισροή του νατρίου επιτρέπει τη συνέχεια των δυναμικών δράσης από τις αισθητήριες ίνες, και τη μετάδοση των ιοντικών ώσεων κατά μήκος των δενδριτών των νευρώνων.



Τελικά (~διάρκεια μερικών msec) το σήμα φτάνει στον εγκέφαλο..



Η διαδικασία αυτή είναι αμφίδρομη...