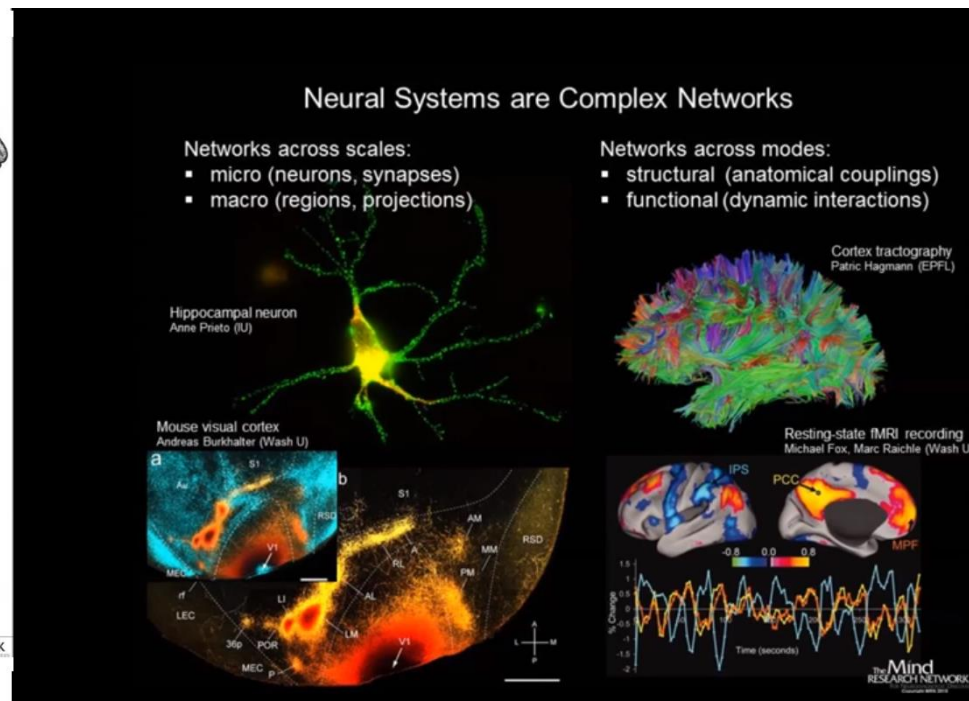


Bullmore & Sporns (2009) *Nature Rev Neurosci* 10, 186.

The Mind
RESEARCH NETWORK



CS – 590.21 Analysis and Modeling of Brain Networks

Department of Computer Science

University of Crete



Time: Tuesday & Thursday 16.00-18.00 (Lectures), Friday 16.00-18.00 (Labs/TAing)

Classroom: H.204 (Lectures), H. 208 (Lab/TAing)

<http://www.csd.uoc.gr/~hy590-21/>

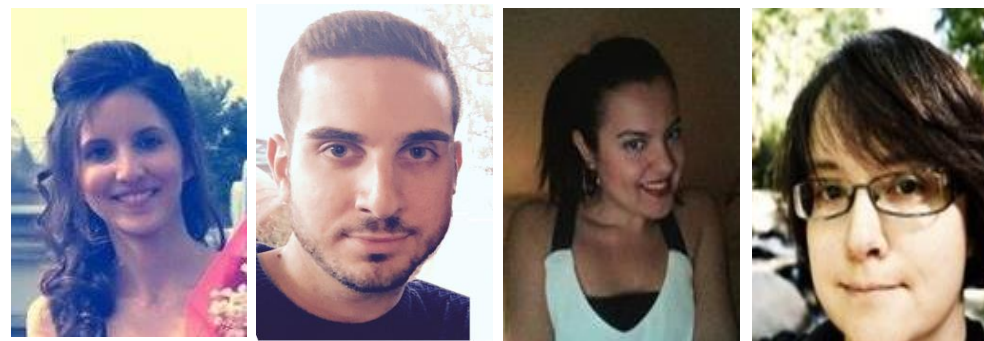


Stelios Smirnakis
Associate Professor

Harvard Medical School University of Crete



Maria Papadopoulou
Professor



Teaching Assistants: Eirini Troullinou (FORTH), Evripides Tzamousis (CSD), Maria Plakia (FORTH)

Datasets/measurements and neuroscience-driven feedback by Dr. Anna Palagina (Harvard Medical School)



ΙΔΡΥΜΑ ΣΤΑΥΡΟΣ ΝΙΑΡΧΟΣ
STAVROS NIARCHOS
FOUNDATION



Σύντομο βιογραφικό Στέλιου Συμυρνάκη

- Associate Professor of Neurology, **Harvard Medical School**
- Associate Neurologist, **Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School**
- Neurology Staff, Jamaica Plain **Veteran Administration Hospital, Harvard Medical School**

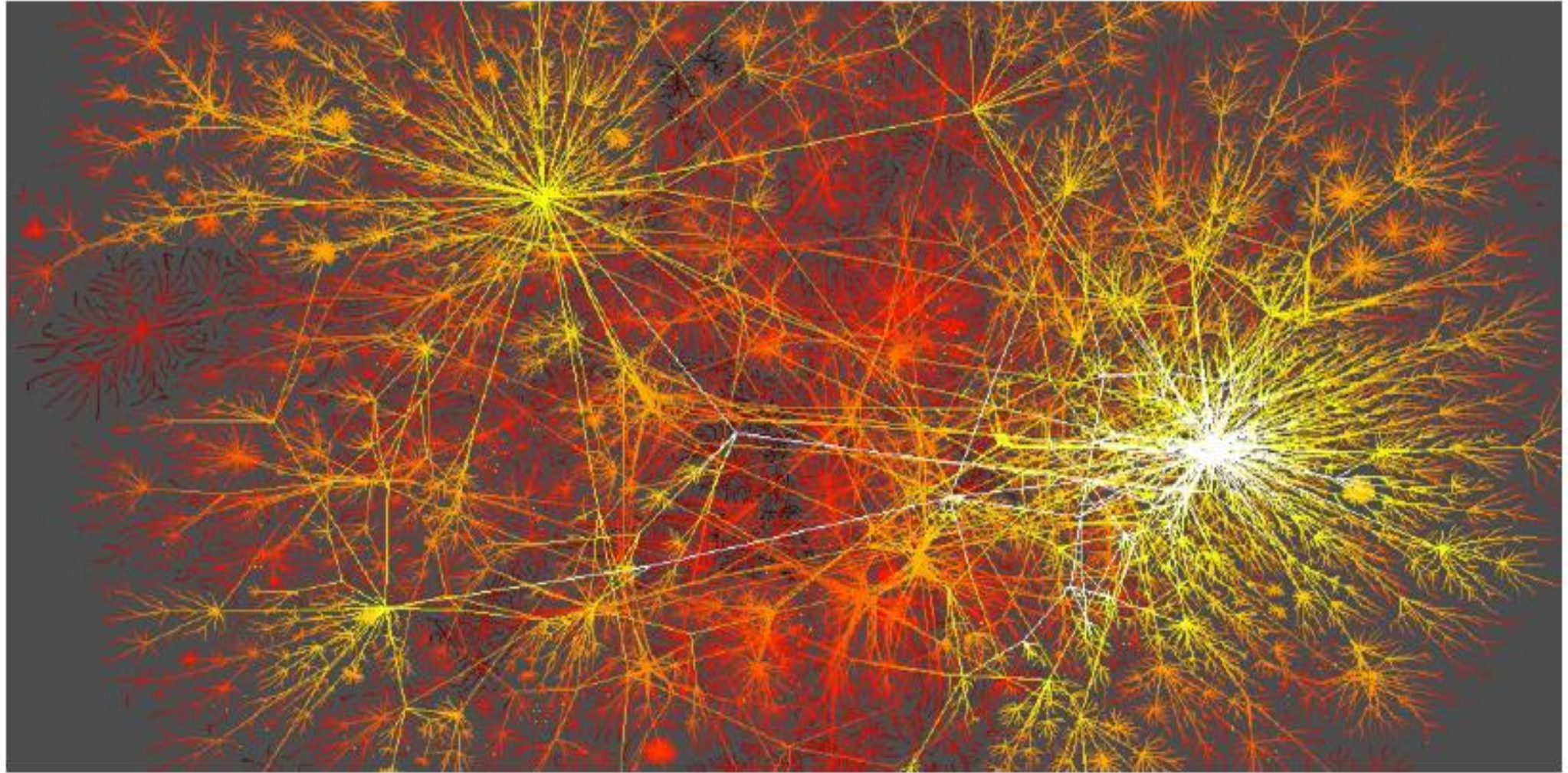
| | | | |
|---|-------|---------|---|
| Harvard College | B.A. | 6/87 | Physics |
| Harvard University, Physics GSAS | M.A. | 6/88 | Physics |
| Harvard University, Physics GSAS | Ph.D. | 6/97 | Physics/Neurophys |
| Harvard Medical School | M.D. | 6/97 | Medicine |
| Massachusetts General Hospital | NA | 97-98 | Internal Medicine |
| Massachusetts General & Brigham & Women's H. | NA | 98-2001 | Intern |
| Massachusetts General Hospital | NA | 2001-3 | Neurology |
| Max Planck Institute for Biological Cybernetics | NA | 2001-4 | Vascular/ICU Neurology Neural Plasticity/fMRI |

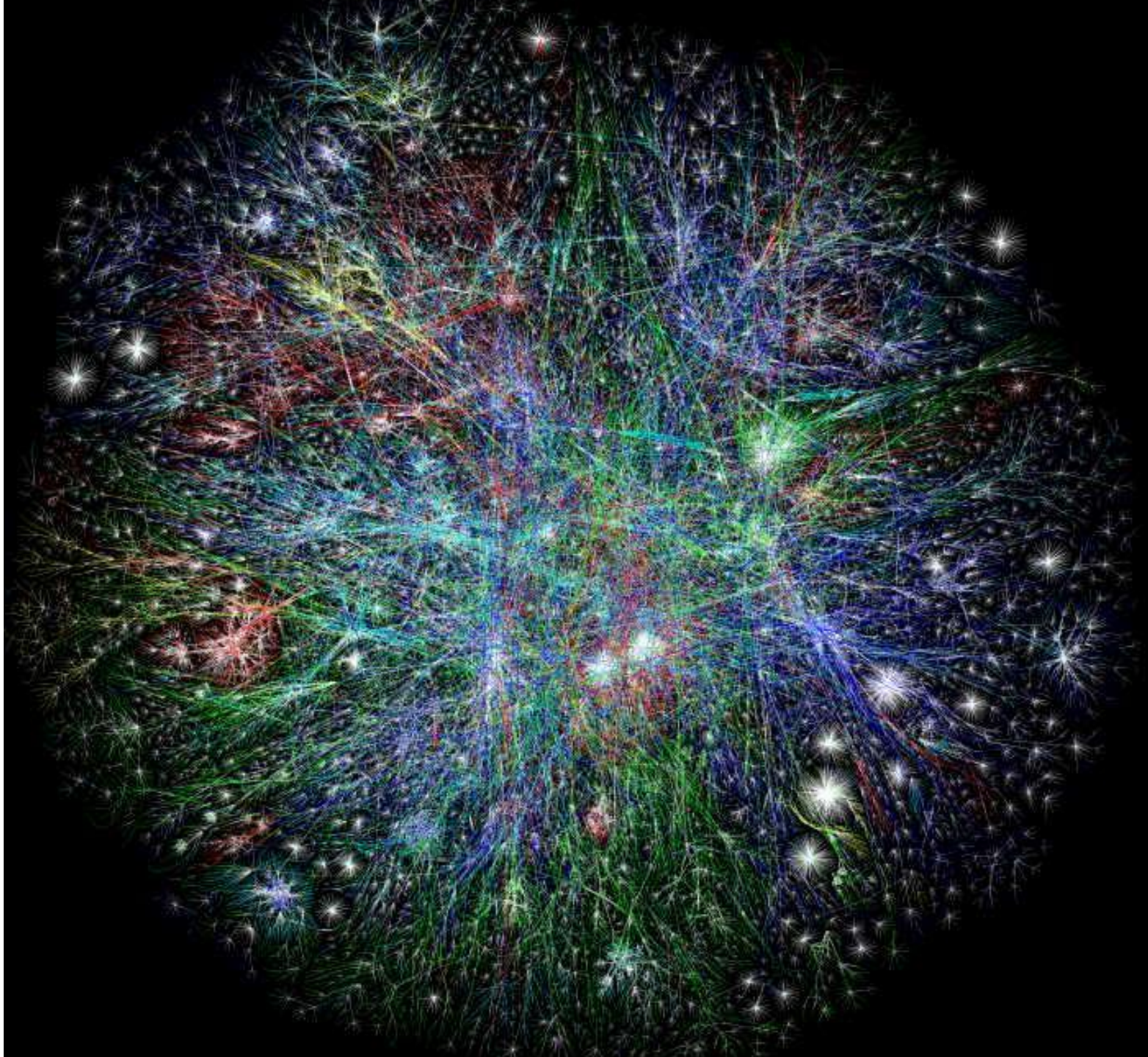
Σύντομο βιογραφικό Μαρίας Παπαδοπούλη

- Καθηγήτρια, τμ. Επιστήμης Υπολογιστών **Πανεπιστημίου Κρήτης** (2005-)
- Επισκέπτρια Καθηγήτρια, CSAIL **MIT** Fulbright Scholar (1/1/2017-31/5/2017)
- Επισκέπτρια Καθηγήτρια, **KTH Royal Institute of Technology-Sweden**
- Επίκουρη Καθηγήτρια, τμ. Επιστήμης Υπολογιστών, **University of North Carolina (2002-2004)**
- Διδακτορικό, τμ. Επιστήμης Υπολογιστών, **Columbia University**,
Ph.D. Thesis on Mobile Peer-to-Peer Computing, Advisor: H. Schulzrinne
- B.Sc., τμ. Επιστήμης Υπολογιστών, **Πανεπιστήμιο Κρήτης**

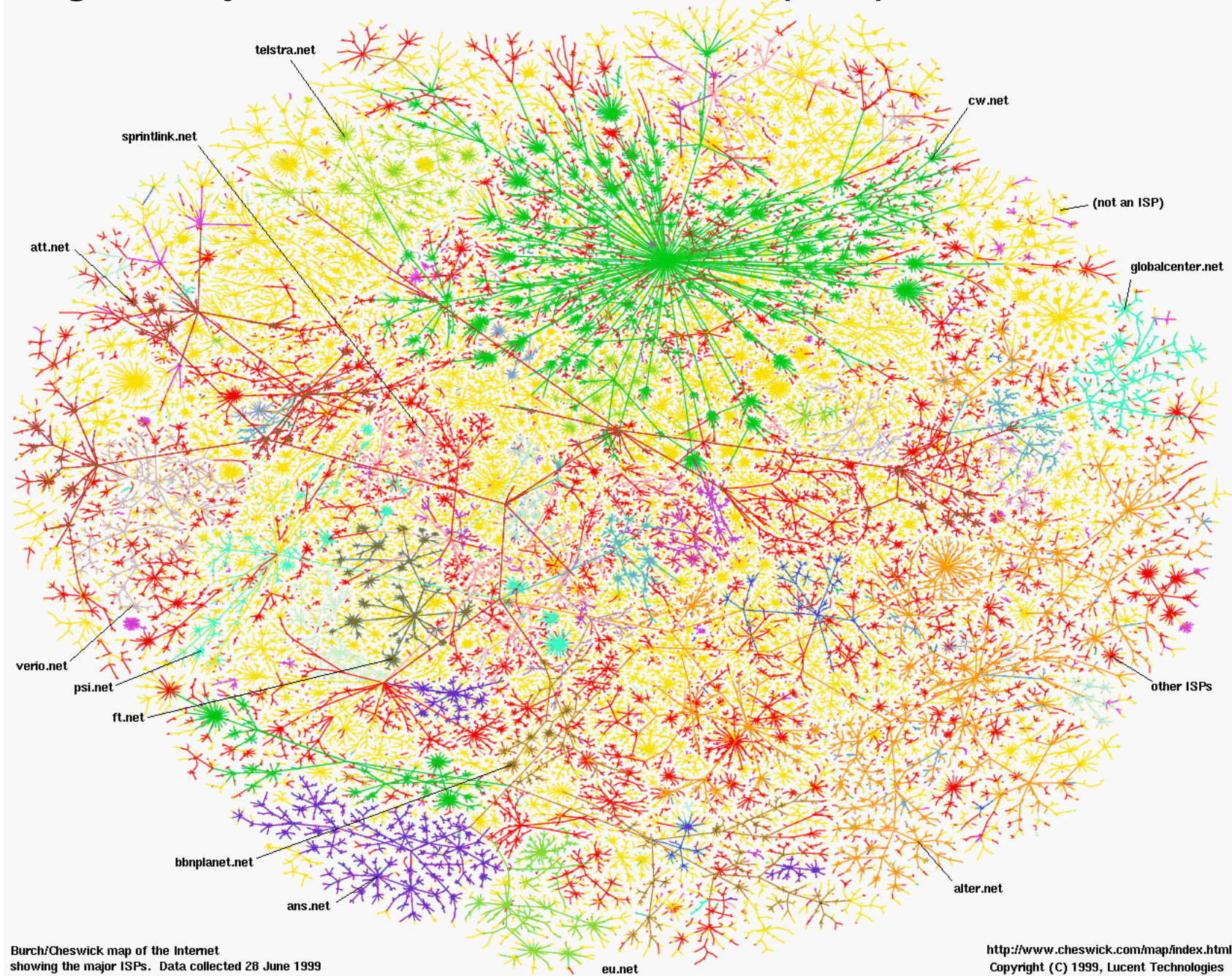
Δίκτυα Παντού!







Showing the major Internet Service Providers (ISPs)

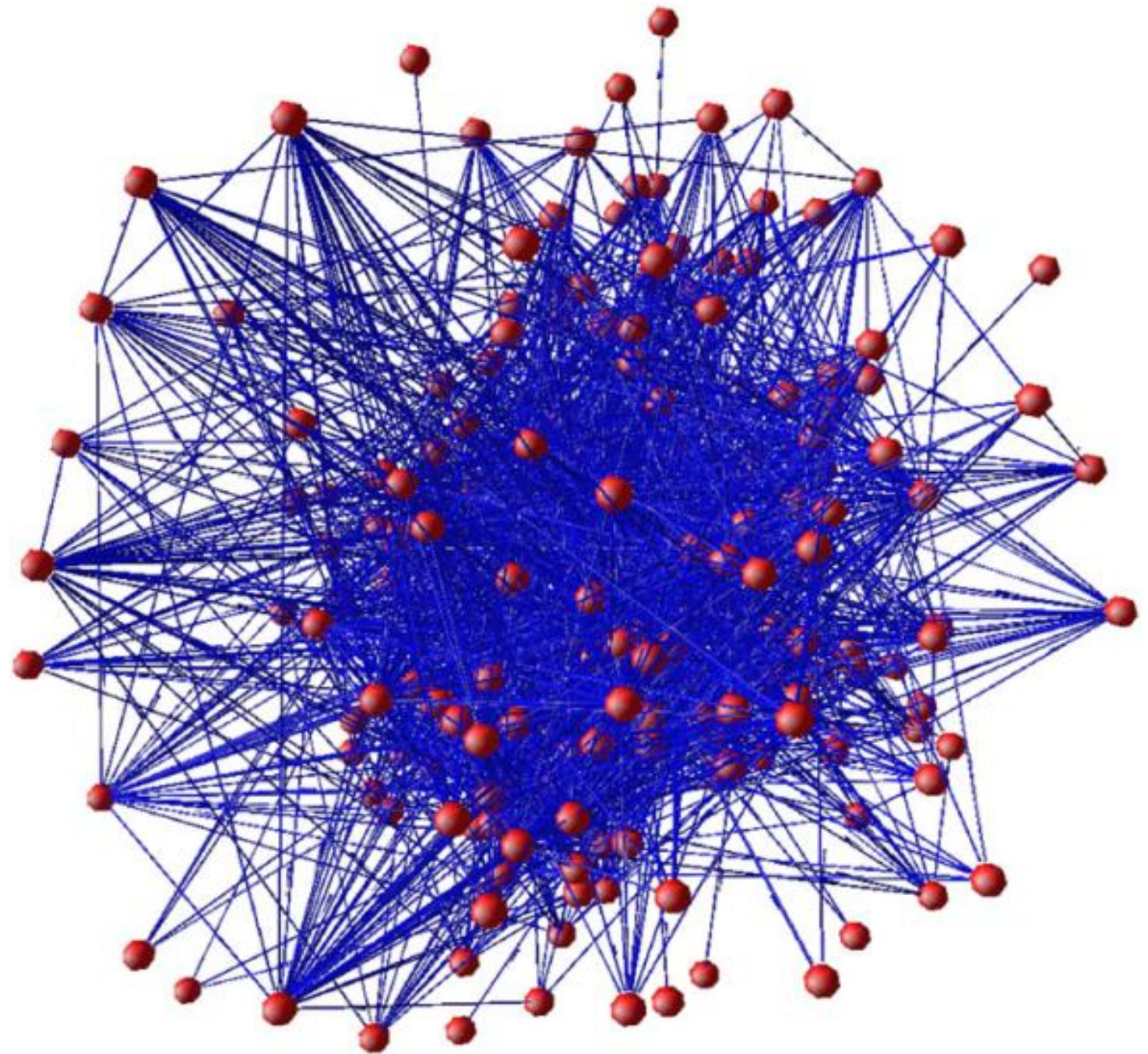








C. elegans neuronal net



)

- Περίπλοκα συστήματα, οργανισμοί & περιβάλλοντα αναπτύσσουν ή υποστηρίζονται από δίκτυα!
- Τα δίκτυα αυτά έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, δομές, τοπολογία, χωρητικότητα.
- Επεκτείνονται & εξελίσσονται σε διαφορετικές χωρο-χρονικές κλίμακες.

Πώς χαρακτηρίζουμε την απόδοσή τους; Ποιές επιπτώσεις μπορεί να έχει η τοπολογία του δικτύου;

Τι αντίκτυπο έχουν οι δυσλειτουργίες κάποιων τμημάτων τους στην ομαλή λειτουργία ολόκληρου του δικτύου και τελικά του οργανισμού;

- Η συνδεσιμότητα παίζει καταλυτικό ρόλο στην νευροανατομία, την ηλεκτροφυσιολογία, την αντίληψη.
- Η ανάλυση της αρχιτεκτονικής και συνδεσιμότητας του δικτύου και η σύνδεση του με λειτουργίες του εγκεφάλου.

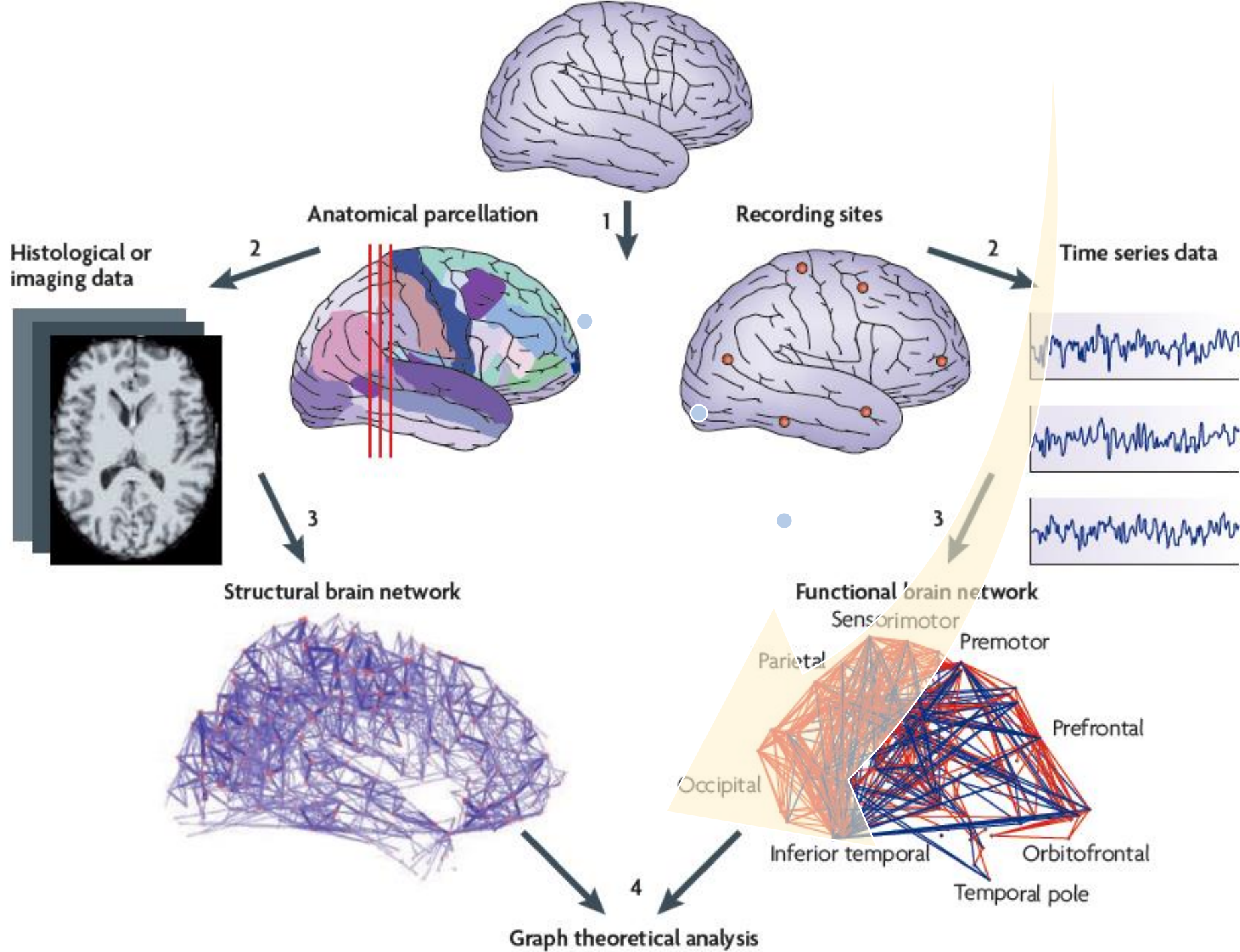
- Όταν ένας άνθρωπος είναι χαλαρός (cognitively at rest), αλλά σε εγρήγορση (quietly awake & alert), ο εγκέφαλος εκδηλώνει ένα δυναμικό μοτίβο (pattern) νευρωνικής λειτουργίας (brain activation pattern)
- **Αλλαγές στα ερεθίσματα που δέχεται έχουν ως αποτέλεσμα highly specific brain activation patterns.**

Such patterns are effects of **dynamic perturbations of a complex continually active network**

- Outcomes of **brain trauma & disease** include significant & long-lasting neurological deficits. These insults result in **structural network damage**. Their extent & location are important for **predicting** the nature & severity of cognitive dysfunction & the potential for recovery
- **Healthy** individuals exhibit significant variation in cognitive performance.

Draw **links between variations** in **behavior/cognition & variations in brain networks**

Brain & body are dynamically coupled through continual cycles of action & perception. By causing bodily movement, brain networks can structure their own inputs & modulate their internal dynamics.



Ενότητα 1 Fundamentals in neuroscience (Smirnakis)

| Week | Short description |
|-----------------|--|
| 2 October 2 | <p>Fundamentals in neuroscience Principles of brain organization, structures of neurons, Neurophysiology and biophysics of excitable cells; synaptic transmission; Network Anatomy, physiology and canonical circuits in mouse neocortex Focus on visual cortex of the mouse – layers – description Functional vs. Anatomical vs. Effective connectivity</p> <p>Prof Stelios Smirnakis</p> |
| 3 October 10 | <p>Multi-neuronal computations Desirable Computational properties of biological circuits Sensory representations and shannon information theory (To be decided)</p> <p>Prof Stelios Smirnakis</p> |

Ενότητα 2 Βασικά στατιστικής ανάλυσης και θεωρίας γράφων (Παπαδοπούλη)

| Week | Short description |
|------|---|
| 4 | <p>Graph-theoretical methods of analysis</p> <p>Graph theory Graph-theoretical properties: path length, degree of connectivity, diameter, clustering coefficient</p> <p>Network architectures: lattice/regular graphs, random graphs, small world, scale-free networks</p> |
| 5 | <p>Methods of statistical analysis – temporal correlation</p> <p>Statistics: Hypothesis testing, probabilities, CDFs</p> <p>Temporal correlation measures: Pearson correlation, autocorrelation, periodograms, STTC</p> |
| 6 | <p>Machine-learning methods of analysis</p> <p>Machine-learning algorithms basics, clustering, feature extraction, SVD</p> <p>Deep learning</p> <p>Relation of biological networks to computational networks (TBA)</p> |

Ενότητα 3 (Συναντήσεις για τις εργασίες φοιτητών – προετοιμασία – projects)

| Week | Short description |
|------|---|
| 7 | Group meetings - Break 1 week Identification and start of the implementation of the project |
| 8-9 | Group meetings - Implementation & discussions of the project |

Team work under the supervision of Stelios Smirnakis & Maria Papadopouli

Projects

Identification and implementation of the project

1. literature review (chapters from Sporns's textbook/neuroscience papers), or
2. data analysis on two photon data that will be provided.

The project involves the graph-theoretical analysis & pattern discovery of neuronal circuits under different conditions.

Literature project teams: students with background in neuroscience and biology and no programming experience

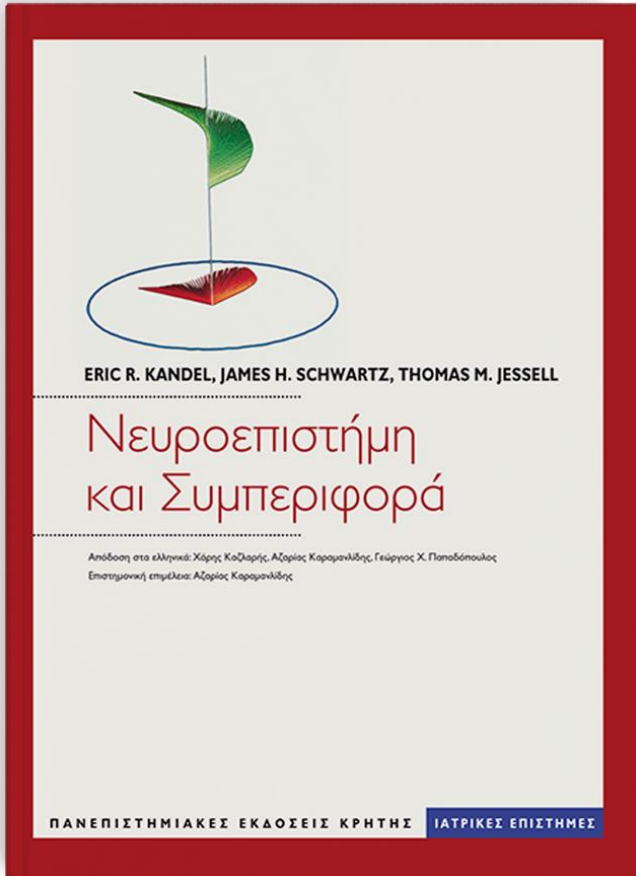
Analysis project teams: possibly interdisciplinary teams, with members that are willing to contribute with programming/analysis tasks

Ενότητα 4 – Monitoring & Probing Methods (Smirnakis)

| Week | Short description |
|------|--|
| 10 | Experimental methods for probing circuit function 2 photon imaging; optogenetics etc; patch clamping in vivo, in vitro Learning in neuronal networks Hebbian plasticity |

Ενότητα 5

| Week | Short description |
|-------|--|
| 11-12 | Invited Lectures & Student Presentations |



Νευρικά Κύτταρα & Συμπεριφορά

Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά

Eric Kandel, James Schwartz, and Thomas Kessell
Μετάφραση στα Ελληνικά, Χάρης Καζλαρής et al.

Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης

"Essentials of neural science and behavior", Simon & Shuster, 1995

Κρίσιμες λειτουργίες του εγκεφάλου που συσχετίζονται με τη μετάδοση σημάτων

- Επεξεργασία αισθητικών πληροφοριών
- Προγραμματισμός κινητικών & συναισθηματικών αποκρίσεων
- Μάθηση
- Μνήμη

Μορφολογία Νευρώνα

1. Κυτταρικό σώμα

Κέντρο μεταβολισμού του κυττάρου

2. Δεντρίτες

Κύριο μέρος της επιφάνειας υποδοχής του νευρώνα μαζί με το κυτταρικό σώμα δέχονται τα **συναπτικά σήματα** από τα προσυναπτικά κύτταρα

Μεταφέρει πληροφορίες προς το κύτταρο

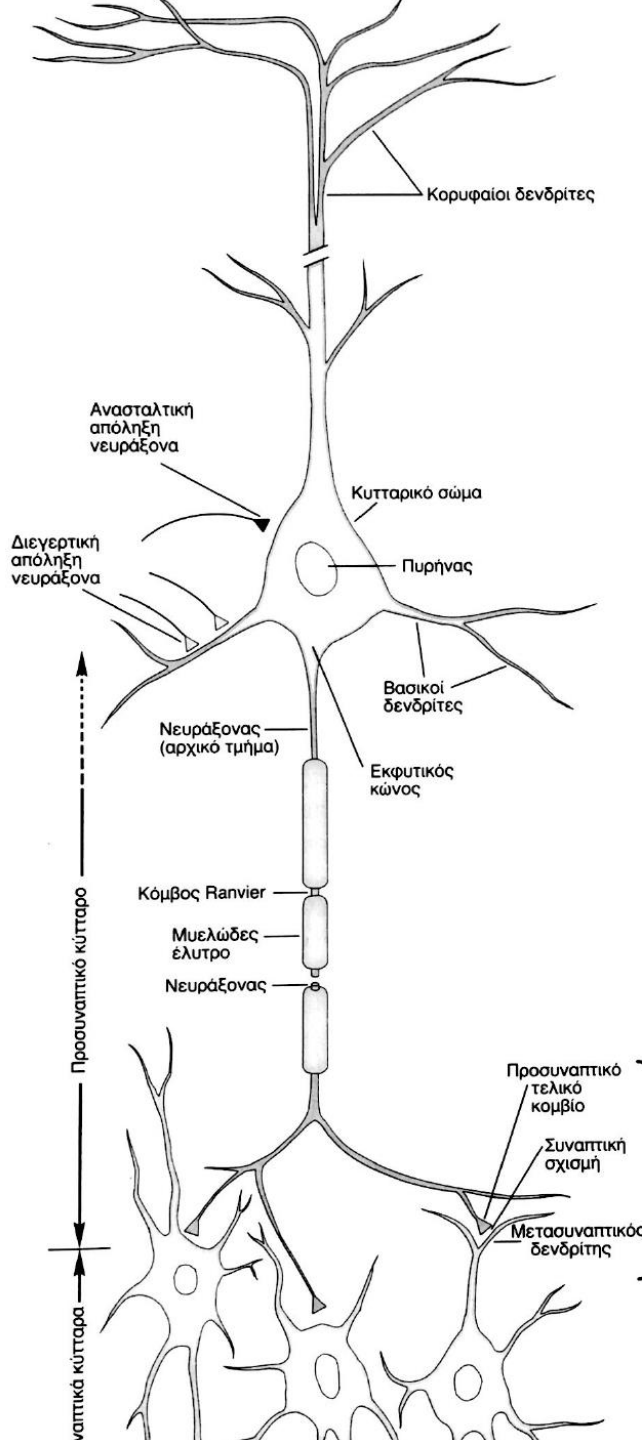
3. Νευράξονα

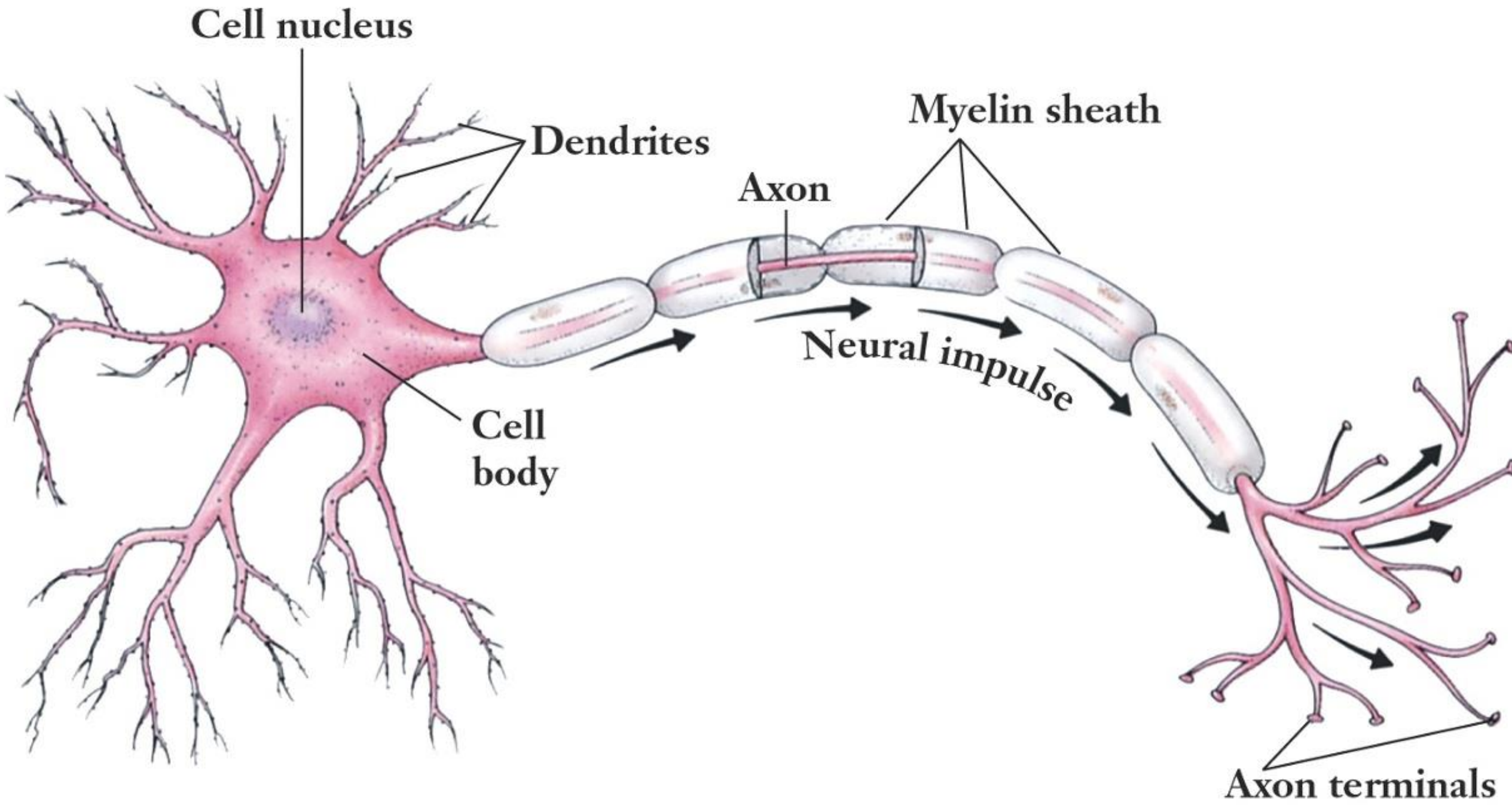
Στοιχείο διαβίβασης πληροφορίας **προς άλλους νευρώνες**

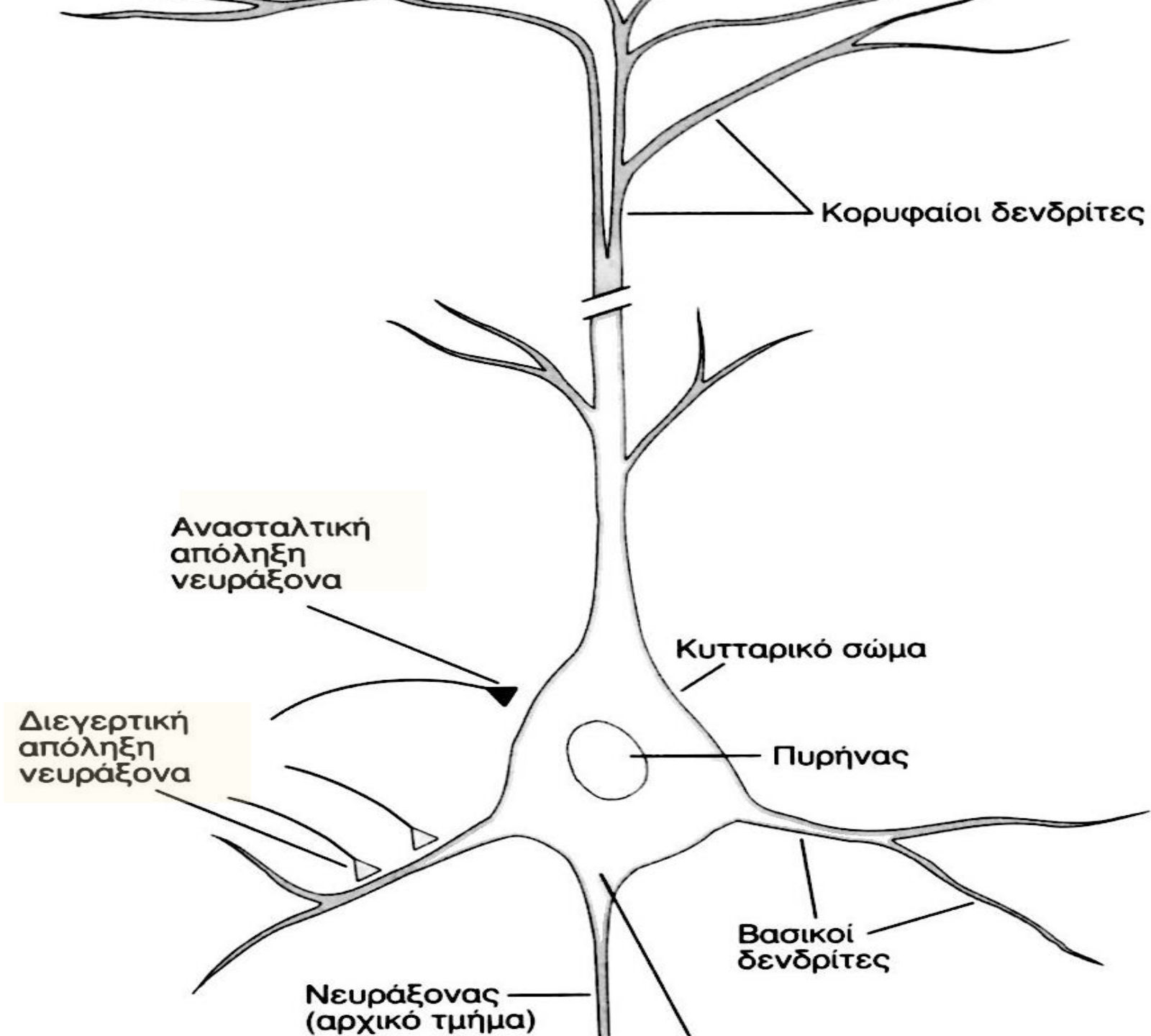
Κύρια μονάδα αγωγής τους νευρώνα

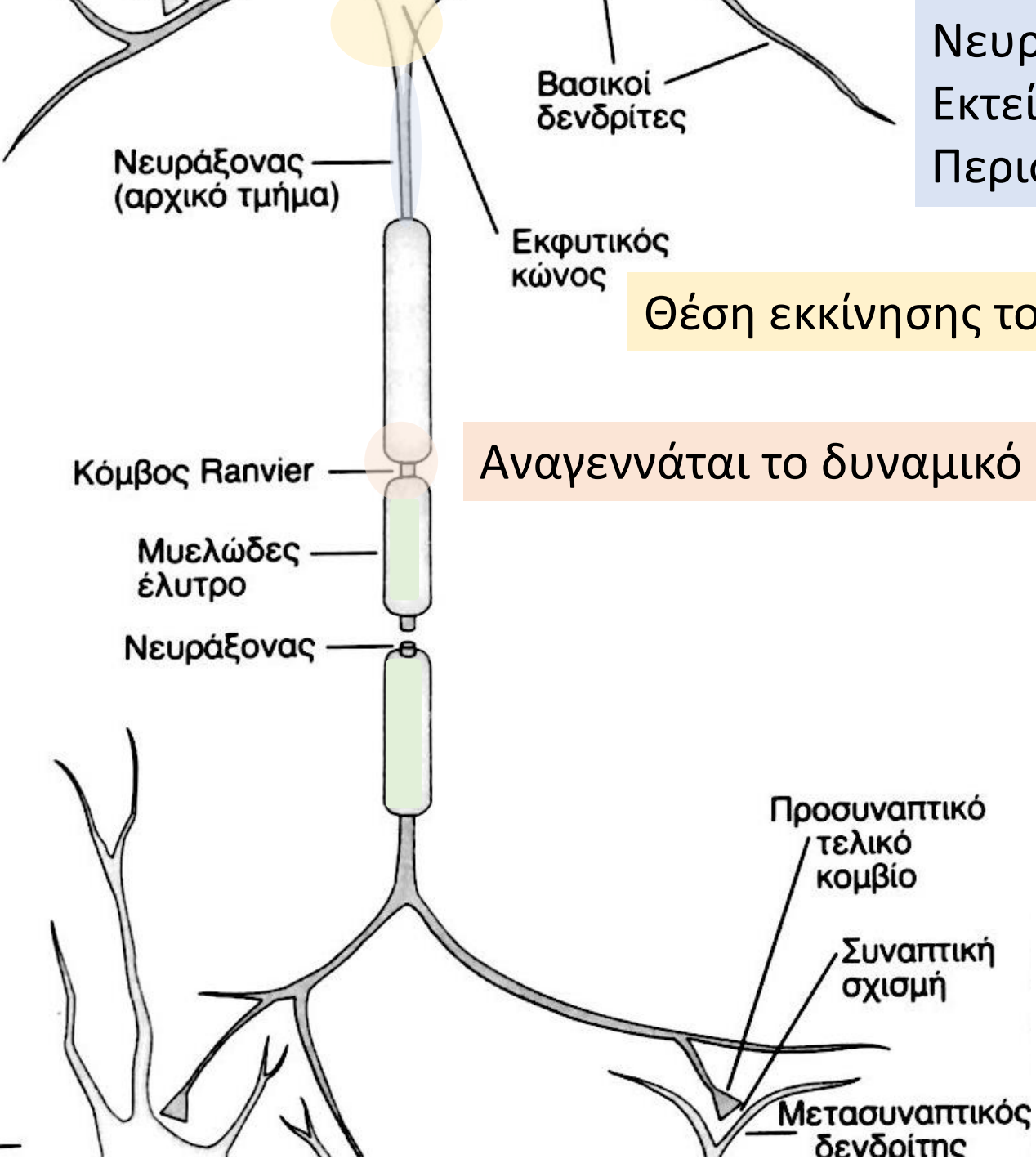
Μεταφέρει ηλεκτρικά σήματα

4. Προσυναπτικά τελικά κομβία







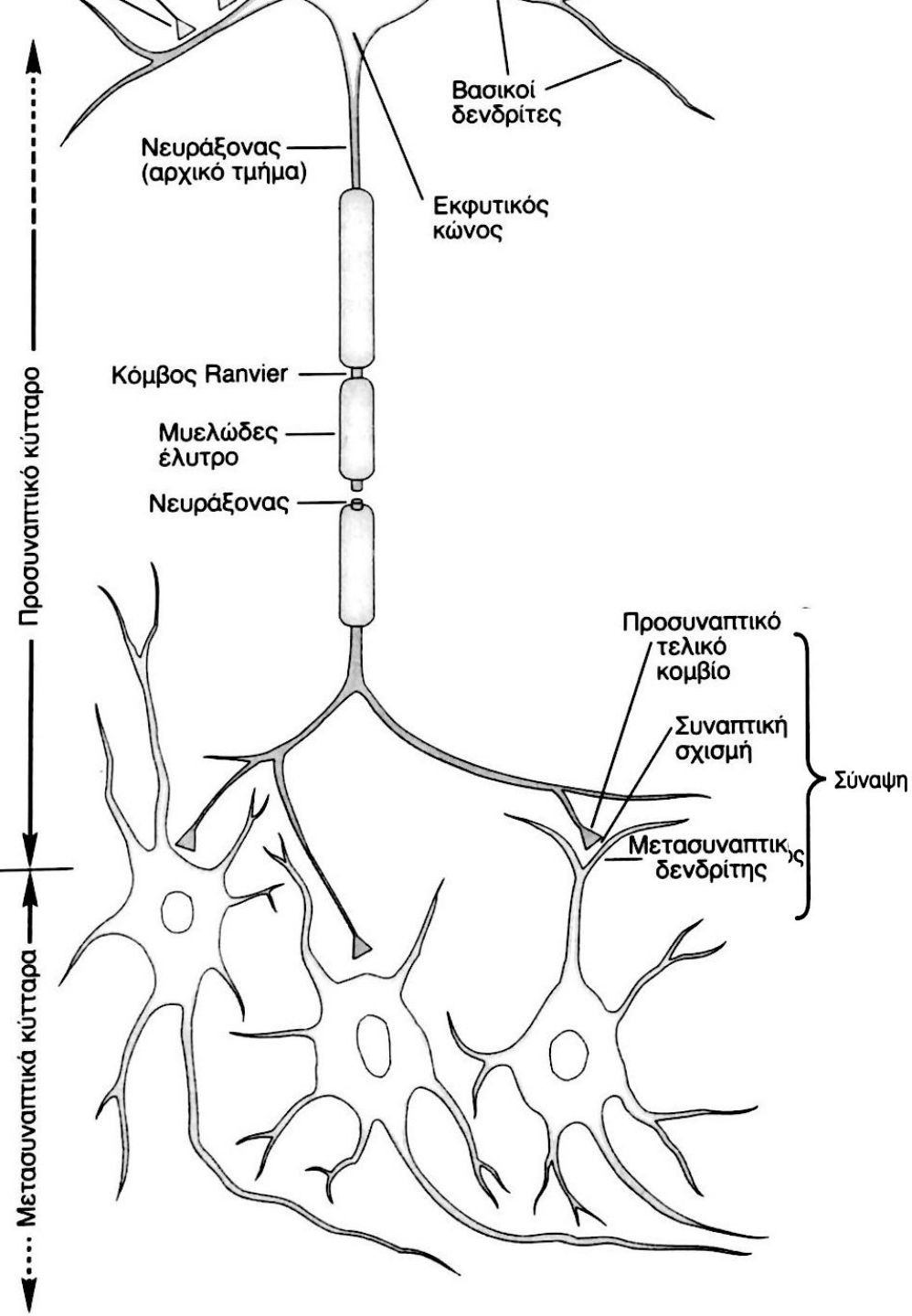


Νευράξονας: στοιχεία διαβίβασης νευρώνων
Εκτείνονται στο σώμα σε απόσταση > 1m
Περισσότεροι πολύ λεπτοί: διάμετρο [0,2μm, 20μm]

Θέση εκκίνησης του δυναμικού ενέργειας

Αναγεννάται το δυναμικό ενέργειας

Μυελώδες έλυτρο: λιπώδες μονωτικό έλυτρο για να διασφαλιστεί η ταχεία αγωγή των δυναμικών ενέργειας στους μεγάλους νευράξονες



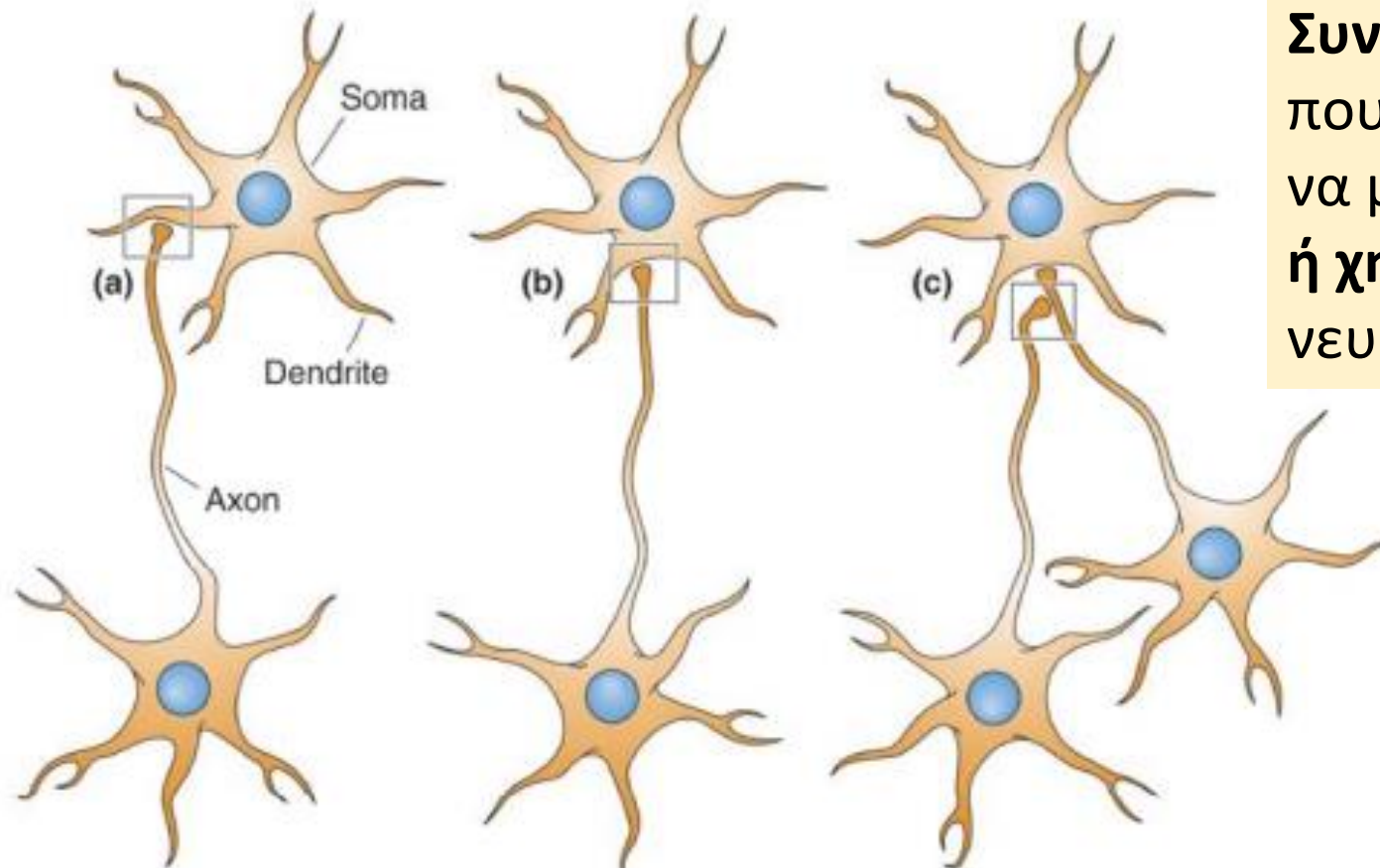
Προσυναπτικό: το κύτταρο που διαβιβάζει το σήμα
Μετασυναπτικό: το κύτταρο που δέχεται το σήμα

Οι κλάδοι ενός μόνο νευράξονα μπορούν να σχηματίζουν συνάψεις με άλλους 1000 νευρώνες

- Πώς οι νευρώνες παράγουν στερεότυπα σήματα τα οποία επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ τμημάτων ενός κυττάρου
- Πώς οι νευρώνες διασυνδέονται για να επιτρέψουν τη διακυτταρική επικοινωνία
- Πώς διαφορετικά σχέδια διασύνδεσης προκαλούν διαφορετικά είδη συμπεριφοράς
- Πώς τροποποιείται η συμπεριφορά υπό την επίδραση της εμπειρίας (συναπτική πλαστικότητα)

Συνάψεις στο ΚΝΣ (Παραδείγματα)

- Αξοδεντριτική (Axodendritic): Άξονας → Δεντρίτης
- Αξοσωματική (Axosomatic): Άξονας → Σώμα
- Αξοαξονική (Axoaxonic): Άξονας → Άξονας
- Δεντροδεντριτική (Dendrodendritic): Δεντρίτης → Δεντρίτης



Συνάψεις: Μικροσκοπικές δομές που επιτρέπουν σε ένα νευρώνα να μεταδώσει ένα **ηλεκτρικό ή χημικό σήμα** σε έναν άλλο νευρώνα

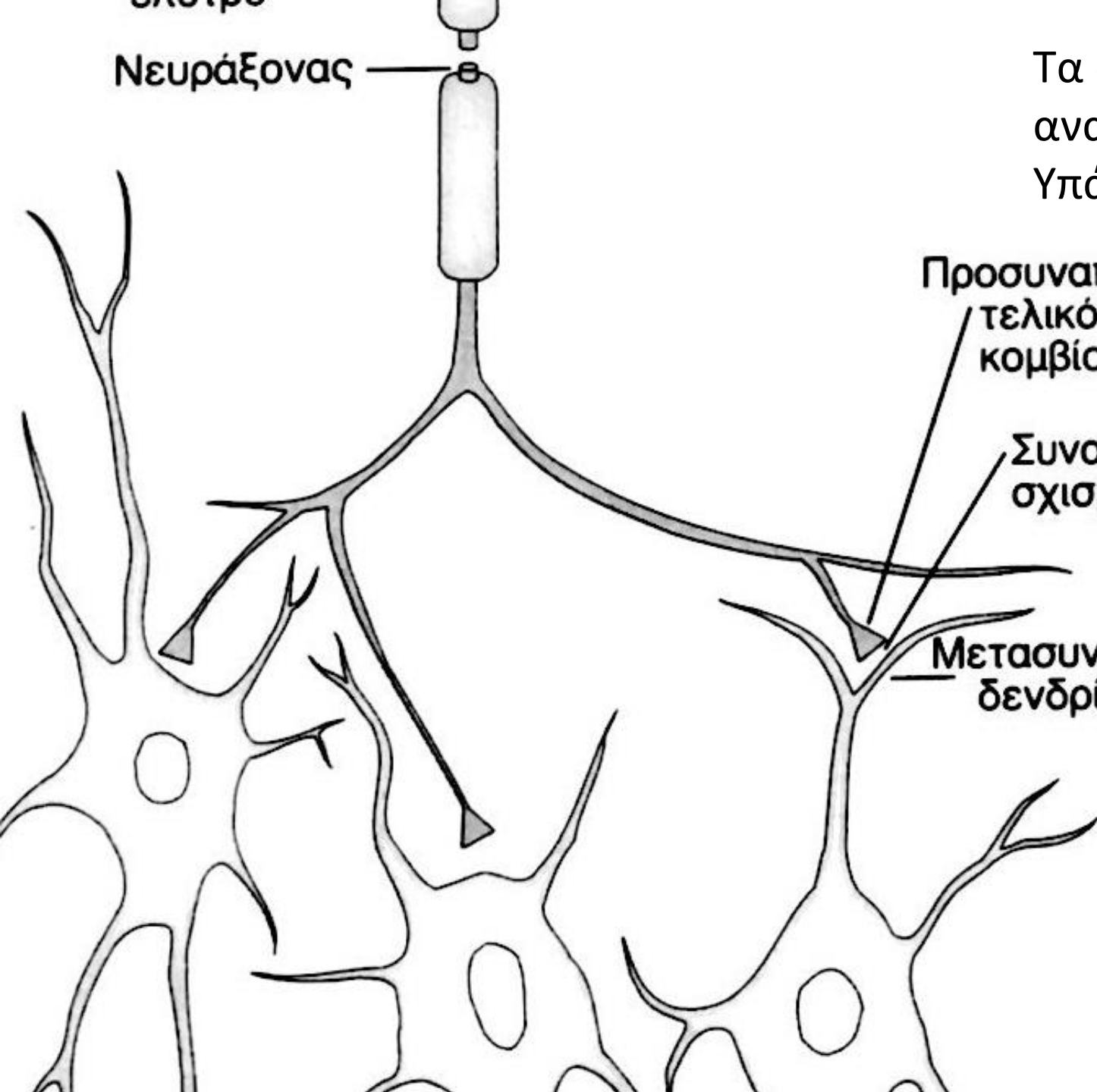
Νευράξονας

Τα συναπτικά κομβία **ΔΕΝ** επικοινωνούν ανατομικά με το μετασυναπτικό κύτταρο. Υπάρχει ένα διάστημα: η **συναπτική σχισμή**.

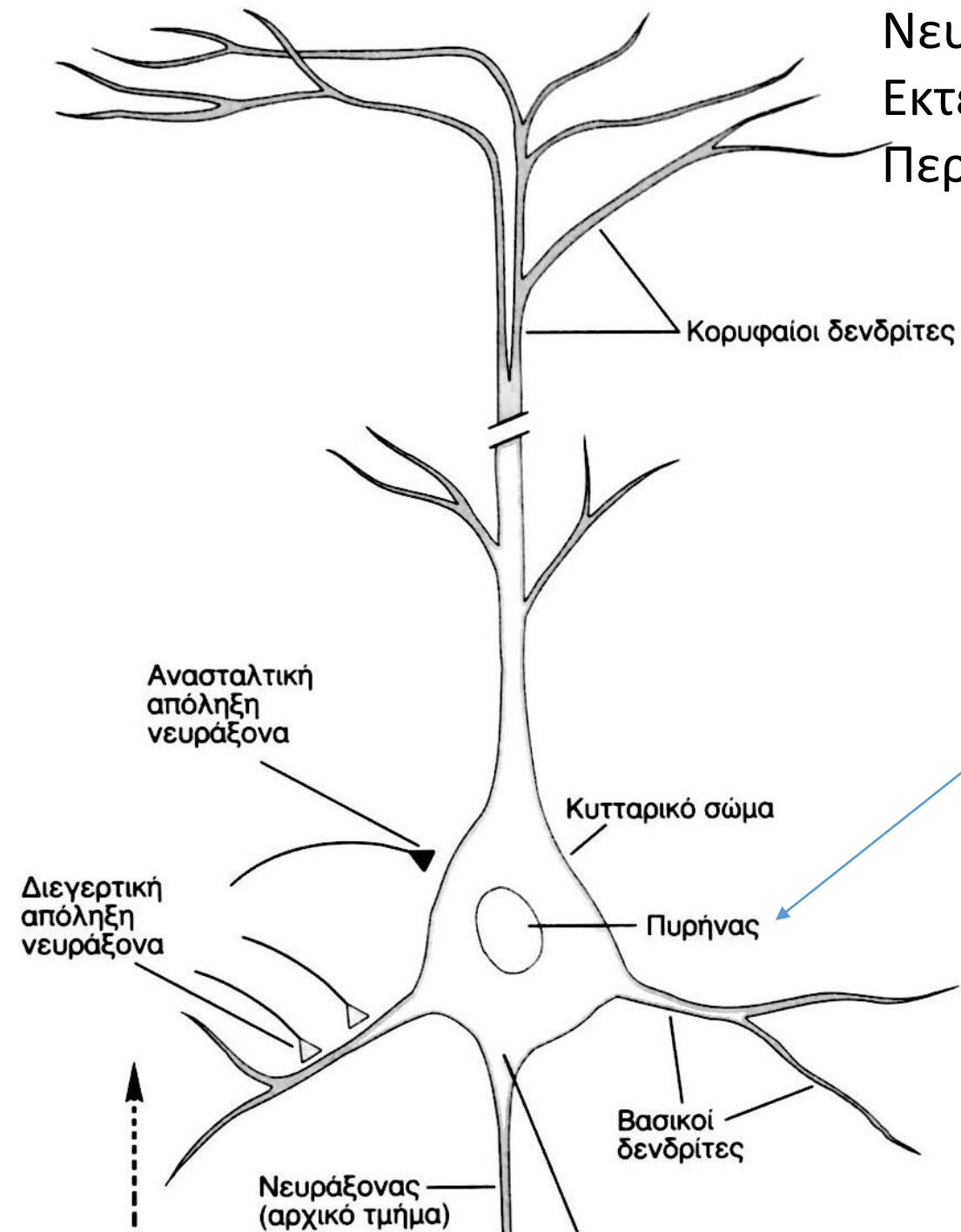
Προσυναπτικό
τελικό
κομβίο

Συναπτική
σχισμή

Μετασυναπτικό
δενδρίτης



Νευράξονας: στοιχεία διαβίβασης νευρώνων
Εκτείνονται στο σώμα σε απόσταση μεγαλύτερη από 1m
Περισσότεροι πολύ λεπτοί (διάμετρο μεταξύ **0,2, 20μm**)



Αποθηκεύει τις **γενετικές πληροφορίες**
(βρίσκονται τα γονίδια) & γίνεται η **σύνθεση των πρωτεϊνών**

Δυναμικά Ενέργειας – Ηλεκτρικά σήματα που διατρέχουν τον νευρώνα

- Προκαλούνται από **ποικίλα φυσικά γεγονότα του περιβάλλοντος** τα οποία έρχονται σε επαφή με το σώμα μας (**μηχανική επαφή, οσμογόνα, φως, ωστικά κύμματα**)
- **Θέσεις υποδοχής** (πχ **δεντρίτες, κυτταρικό σώμα**) προς τη **ζώνη εκκίνησης στον εκφυτικό κώνο**
- Μονόδρομα κατά μήκος του νευράξονα έως τις προσιναπτικές θέσεις απελευθέρωσης στα τελικά κομβία
- Σύντομες παροδικές νευρικές **ώσεις** του τύπου **όλον ή ουδέν**
- Εύρος: 100 millivolt (mV)
- Δημιουργούνται στον **εκφυτικό κώνο** και διατρέχουν τον νευρώνα, **χωρίς αποτυχία ή παραμόρφωση**, με ταχύτητες μεταξύ [1m/s,100m/s]
- Ηλεκτρικό ρεύμα: ιόντα που διαχέονται

Βάσεις της Σύγχρονης Συνδετικής Προσέγγισης του Εγκεφάλου

- Δυναμική Πόλωση
- Εξειδικευμένης σύνδεσης

Δυναμική Πόλωση

Κάθε νευρώνας έχει τα παρακάτω:

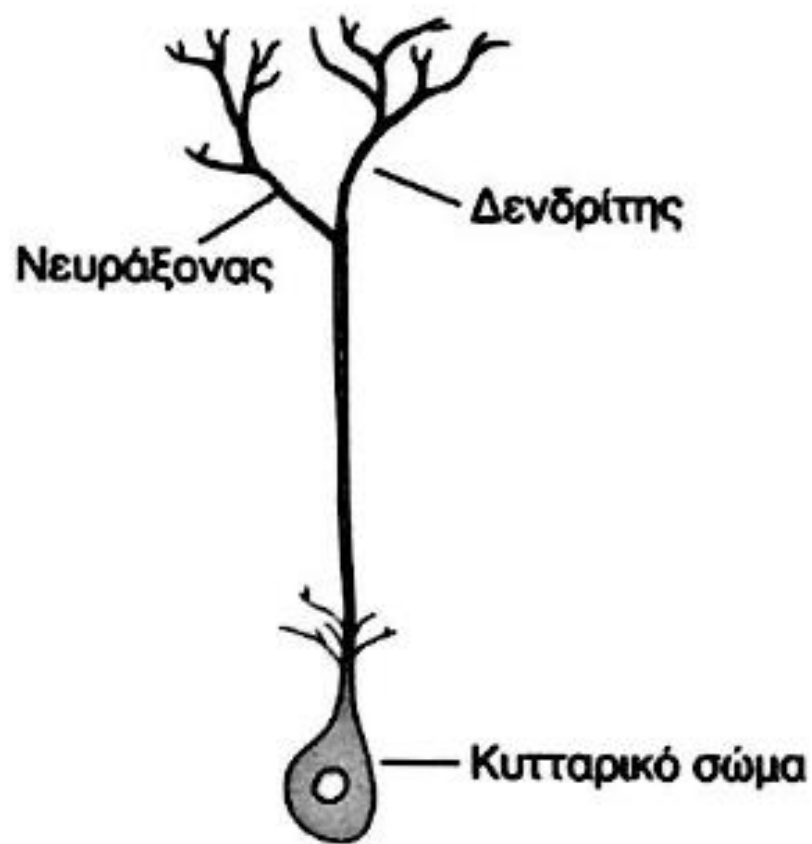
- μια συσκευή υποδοχής: το σώμα & τους δεντρίτες
- μια συσκευή εκπομπής: τον νευράξονα, και
- μια συσκευή για διανομή: τις τελικές απολήξεις της νευρικής ίνας

Εξειδίκευση Σύνδεσης

- **Δεν** υπάρχει **κυτταροπλασματική συνέχεια** μεταξύ των νευρωνικών κυττάρων
- Η συναπτική σχισμή στη σύναψη χωρίζει το προσυναπτικό τελικό κομβίο από το μετασυναπτικό κύτταρο
- Τα νευρικά κύτταρα **δεν επικοινωνούν** μεταξύ τους **αδιακρίτως**, ούτε **σχηματίζουν τυχαία δίκτυα**
- Κάθε κύτταρο επικοινωνεί με **ορισμένους μετασυναπτικούς κυτταρικούς στόχους**, αλλά όχι με άλλους & πάντα σε **εξειδικευμένες θέσεις συναπτικής επαφής**

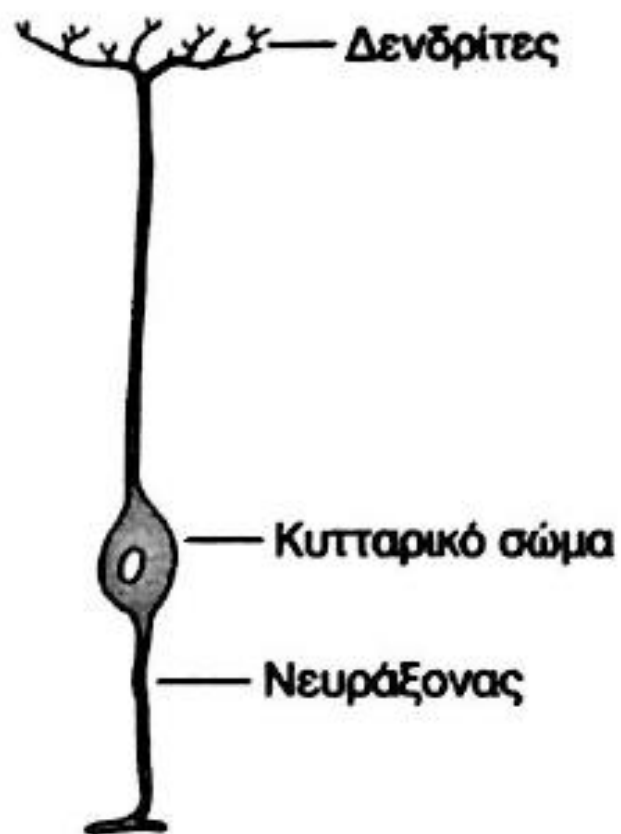
Η πληροφορία που μεταφέρεται με ένα δυναμικό ενέργειας καθορίζεται **όχι από τον τύπο του σήματος**, αλλά από την **οδό του εγκεφάλου** στην οποία οδεύει το σήμα

A Μονόπολο κύτταρο



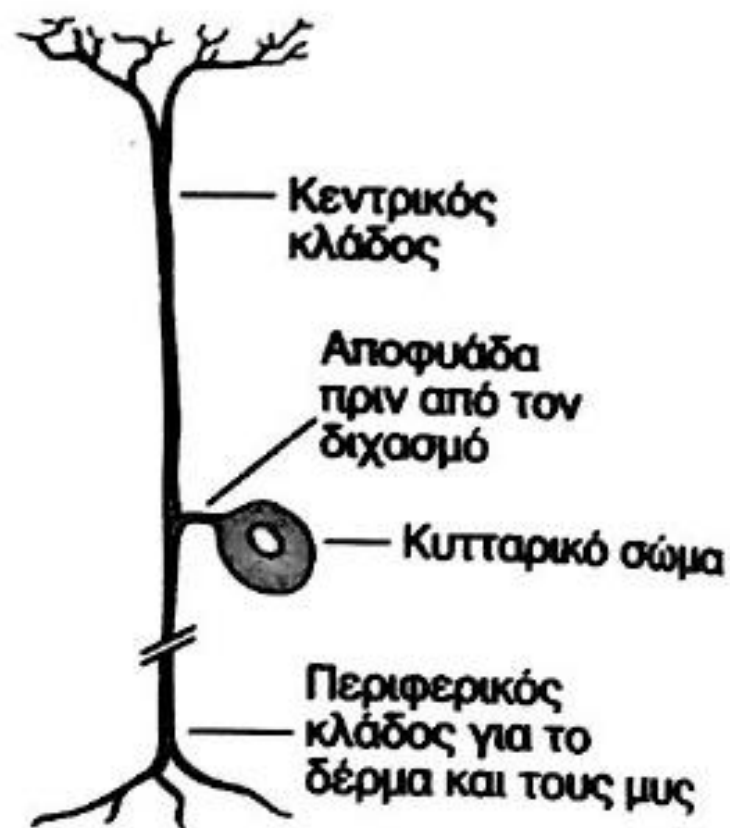
Νευρώνας ασπινδύλου

B Δίπολο κύτταρο



Δίπολο κύτταρο του αμφιβληστροειδούς

Γ Ψευδομονόπολο κύτταρο



Νευρικό κύτταρο νωτιαίου γαγγλίου

A Μονόπολο κύτταρο

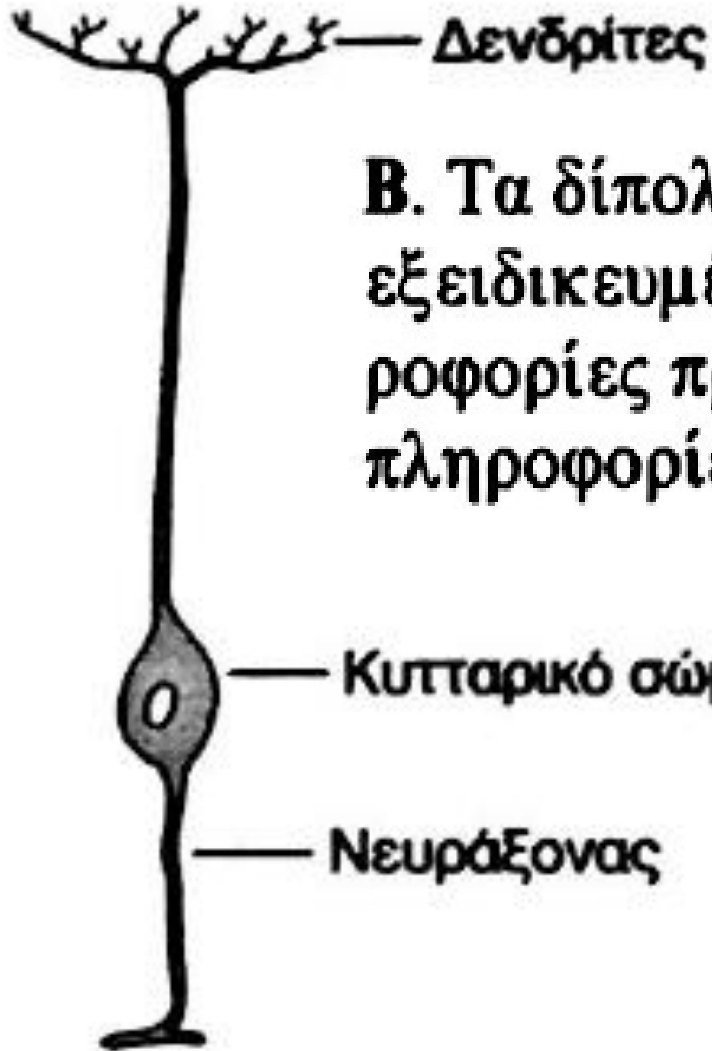


A. Τα μονόπολα κύτταρα έχουν μία αποφυάδα, διαφορετικά τμήματα της οποίας λειτουργούν ως επιφάνειες υποδοχής ή απολήξεις απελευθέρωσης. Τα μονόπολα κύτταρα είναι χαρακτηριστικά του νευρικού συστήματος των ασπονδύλων.

Νευρώνας ασπονδύλου

Β Δίπολο κύτταρο

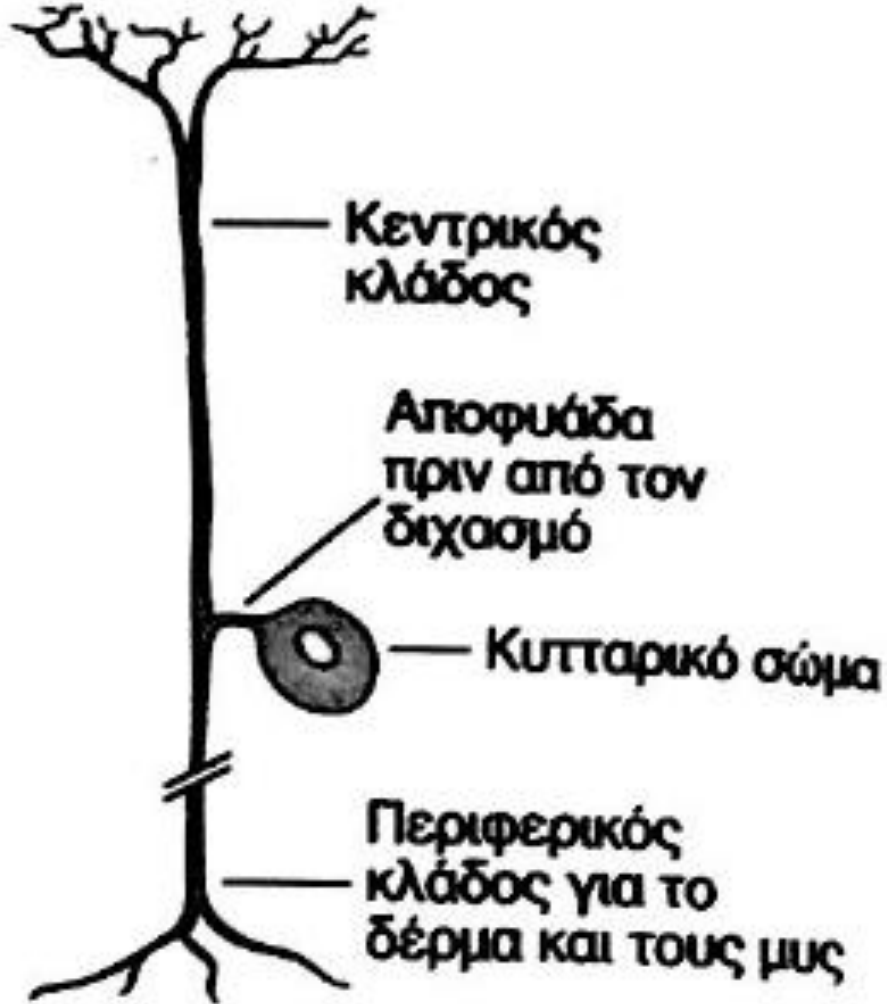
Πολλά δίπολα κύτταρα του **αμφιβληστροειδούς** & του **οσφρητικού επιθηλίου** είναι αισθητικοί



Β. Τα δίπολα κύτταρα έχουν δύο αποφυάδες, που είναι εξειδικευμένες λειτουργικά: ο δενδρίτης μεταφέρει πληροφορίες προς το κύτταρο και ο νευράξονας διαβιβάζει πληροφορίες σε άλλα κύτταρα.

Δίπολο κύτταρο
του αμφιβληστροειδούς

Γ Ψευδομονόπολο κύτταρο



Νευρικό κύτταρο
νωτιαίου γαγγλίου

Υποκατηγορία δίπολων κυττάρων

Νευρώνες που μεταφέρουν **αισθητικές πληροφορίες** στον νωτιαίο μυελό

Η αποφυάδα αποσχίζεται σε δύο κλάδους:

- **Περιφερειακό**, προς το δέρμα ή τους μύς
- **Κεντρικό**, προς τον νωτιαίο μυελό

Τα αισθητικά κύτταρα που μεταφέρουν στο νωτιαίο μυελό πληροφορίες σχετικά με τον **πόνο, την πίεση, την αφή**, αποτελούν ειδικές περιπτώσεις διπόλων κυττάρων

Υπερτερούν σε αριθμό στο νευρικό σύστημα των σπονδυλωτών

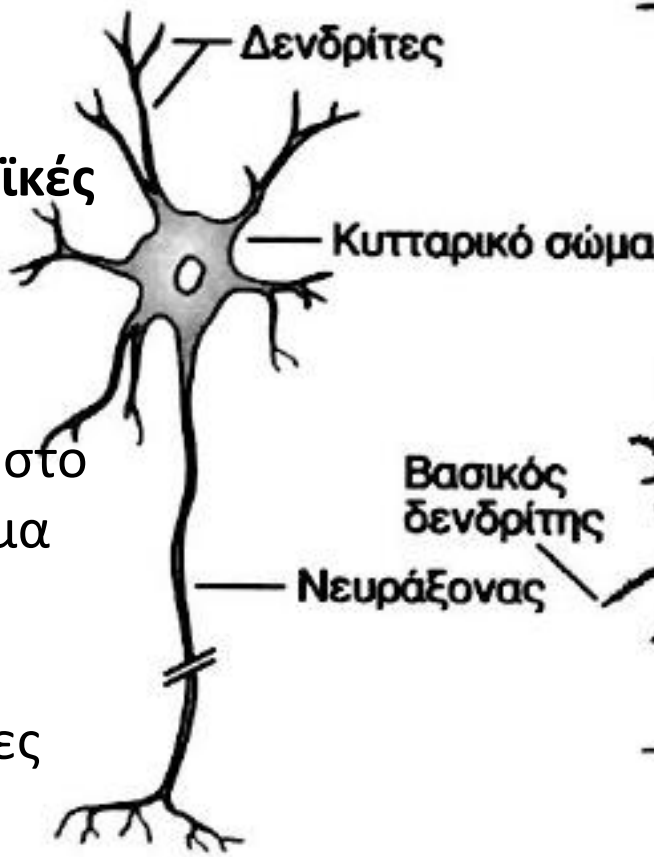
Δ Τρεις τύποι πολύπολων κυττάρων

Ο πιο συχνός τύπος νευρώνων ένας νευράξονας & πολλοί δεντρίτες

Νευρώνουν σκελετικές μυϊκές ίνες

2,000 επαφές στο κυτταρικό σώμα

8,000 επαφές στους δεντρίτες



Κινητικός νευρώνας του νωτιαίου μυελού



Πυραμιδοειδές κύτταρο του ιπποκάμπτου

Δέχονται 150,000 επαφές



Κύτταρο Purkinje της παρεγκεφαλίδας

σημαντικό ρόλο στον συντονισμό των κινήσεων.

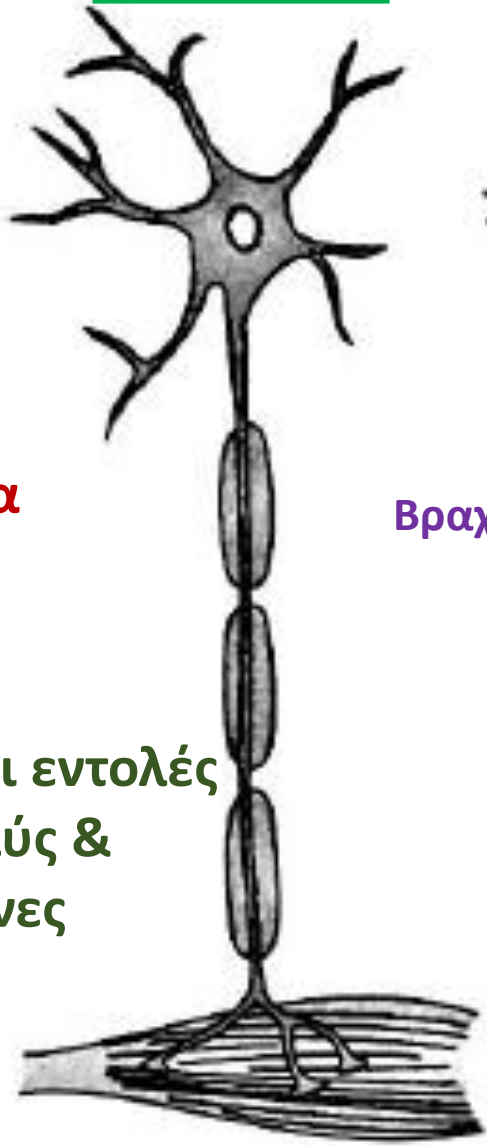
Στοιχείο Αισθητικός νευρώνας Κινητικός νευρώνας Τοπικός διάμεσος νευρώνας Προβλητικός διάμεσος νευρώνας Νευροενδοκρινές κύτταρο

Εισόδου
Εκκίνησης

Μεταφέρουν στο νευρικό σύστημα πληροφορίες για την αντίληψη & κινητικό συντονισμό



Δίνει εντολές σε μύς & αδένες



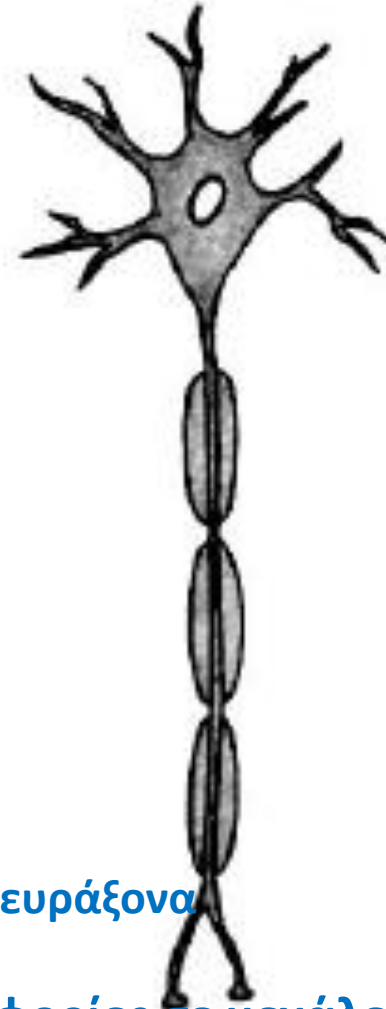
Μυς

Βραχύ νευράξονα



Επεξεργάζονται πληροφορίες σε τοπικά δίκτυα

Μακρύ νευράξονα



Μεταφέρουν πληροφορίες σε μεγάλες αποστάσεις από τη μια περιοχή του εγκεφάλου σε μια άλλη

Ανταλλαγή ουσιών μεταξύ αίματος & κυττάρων



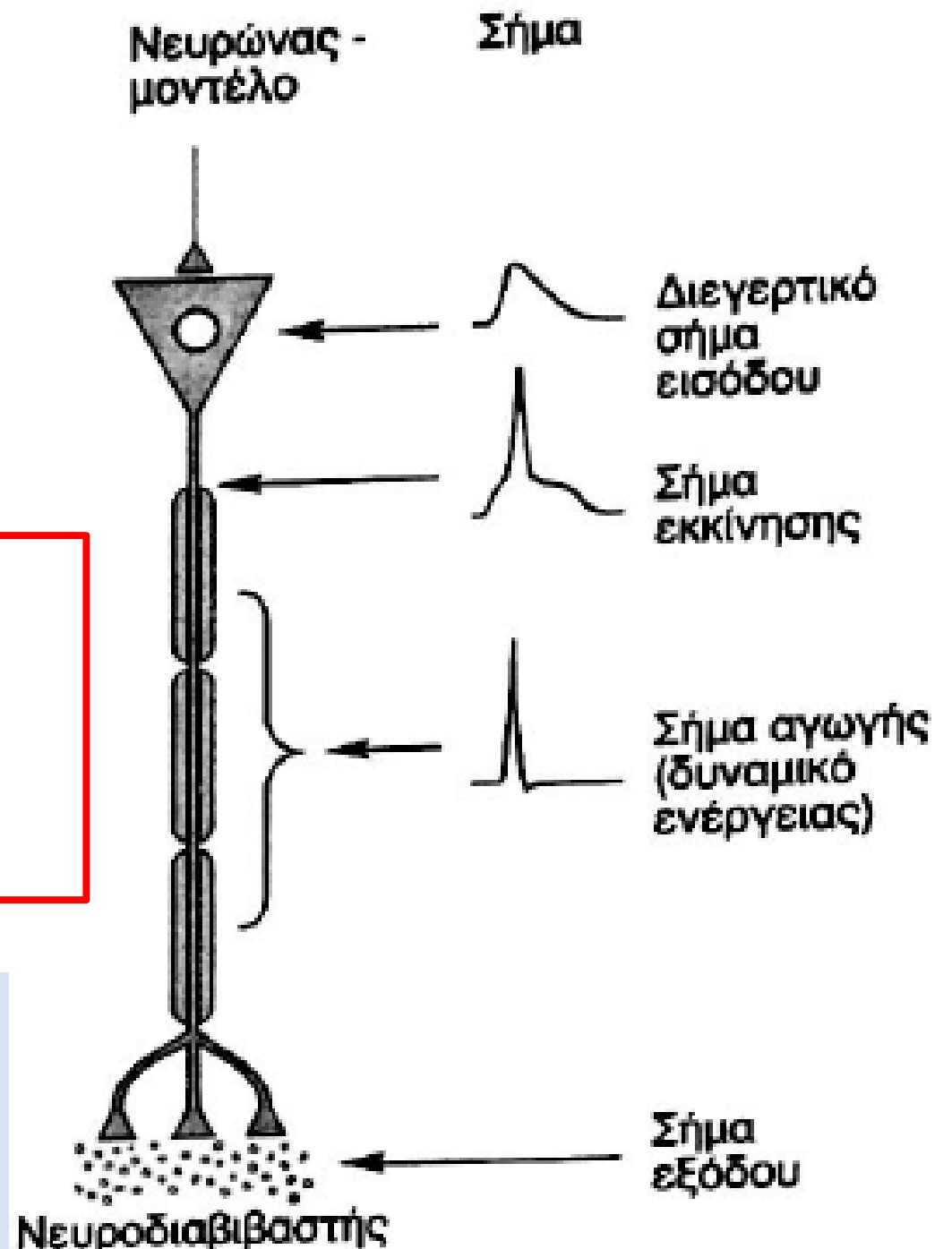
Τριχοειδές αγγείο

Βασικά Στοιχεία ενός Μοντέλου Νευρώνα

1. **Είσοδο** (υποδοχής)
2. **Ολοκλήρωση** (εκκίνησης)
3. **Αγωγή** (μετάδοσης)
4. **Έξοδο** (έκκρισης)

Κάθε στοιχείο παράγει ένα χαρακτηριστικό σήμα. Τα πρώτα 3 παράγουν ηλεκτρικό σήμα, ενώ το σήμα εξόδου αντιπροσωπεύεται από την απελευθέρωση ενός χημικού διαβιβαστή στη συναπτική σχισμή.

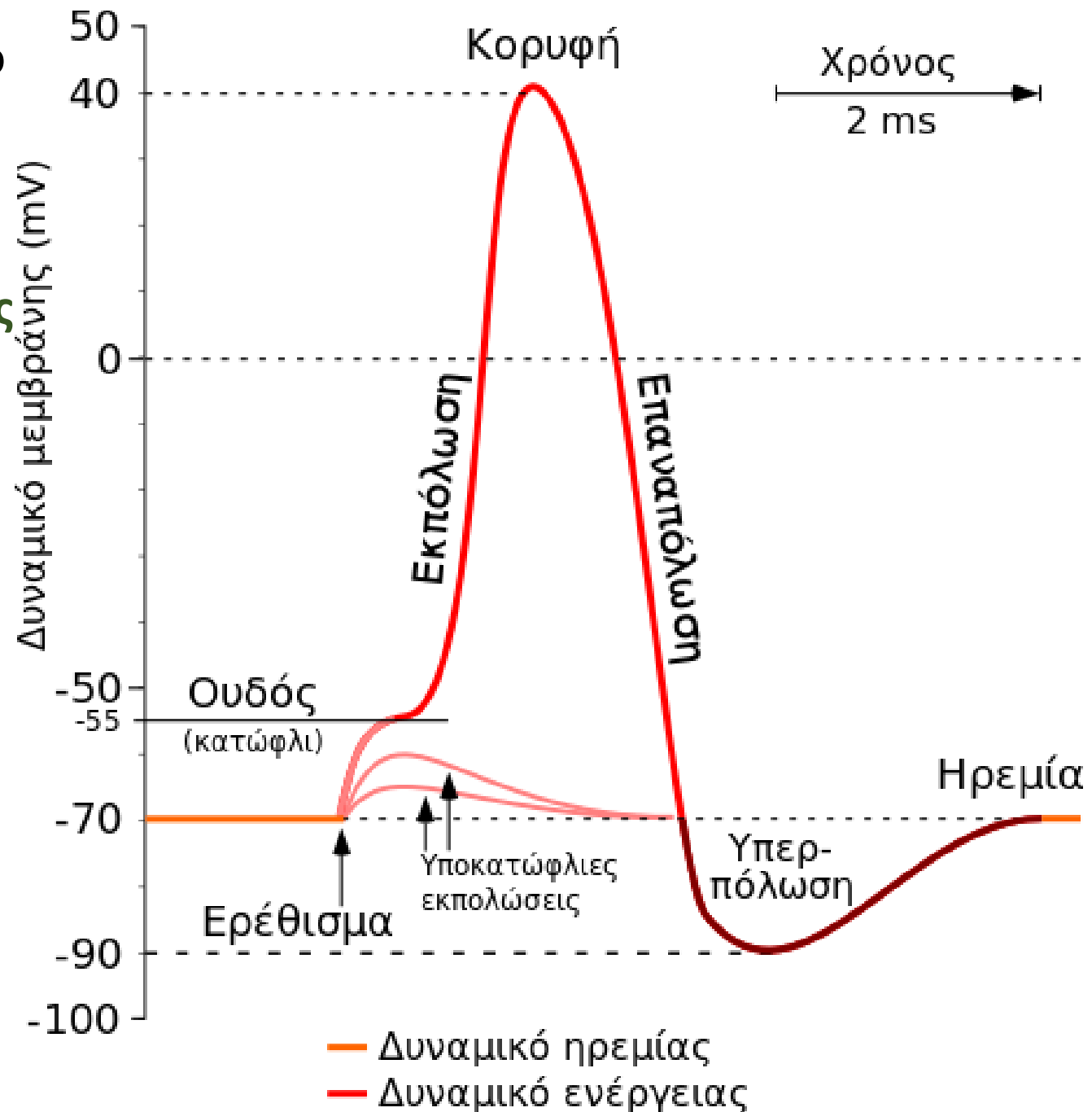
Η πληροφορία μετασχηματίζεται κατά τη μετάβασή της από το ένα στοιχείο στο άλλο & γίνεται πιο σύνθετη καθώς περνά από τον έναν νευρώνα στον άλλον.



- Το δυναμικό ενέργειας δημιουργείται από την **άνιση κατανομή ιόντων νατρίου, καλίου & χλωρίου** καθώς & οργανικών ανιόντων εκατέρωθεν της μεμβράνης & λόγω της **επιλεκτικής διαπερατότητας της μεμβράνης από το κάλιο & χαμηλής διαπερατότητας από το νάτριο**

- **Εσωτερικό** περιβάλλον της μεμβράνης **αρνητικό** σε σχέση με το εξωτερικό

- **Δυναμικό ηρεμίας:** εξαρτάται από το κύτταρο από -50mV μέχρι -150 mV



Όταν ερέθισμα προκαλέσει μια αρχική μεταβολή στο δυναμικό της μεμβράνης & το δυναμικό φθάσει στο επίπεδο πυροδότησης:

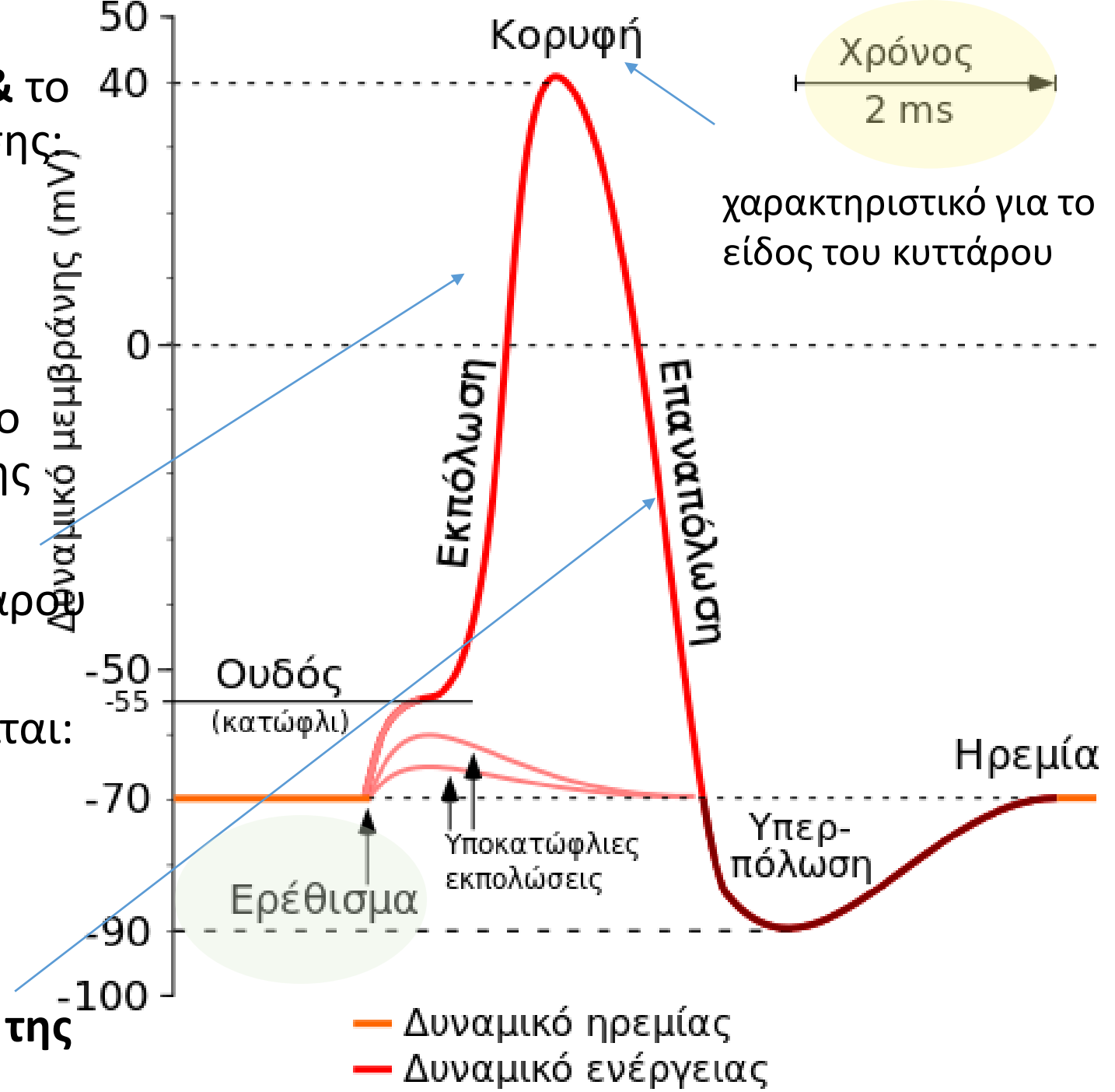
- **Ανοίγουν οι δίαυλοι Na^+**
- Το Na^+ εισέρχεται στο κύτταρο με μηχανισμό απλής διάχυσης
- Λόγω της άθροισης θετικών φορτίων στο εσωτερικό του κυττάρου (αντιστροφή της πολικότητας της μεμβράνης):

Θετικοποίηση του εσωτερικού του κυττάρου

Λόγω της μετατόπισης του δυναμικού της μεμβράνης σε θετικότερες τιμές προκαλείται:

- **Διάνοιξη των διαύλων K^+ &**
- **μετακίνηση του συσσωρευμένου K^+ στο εξωτερικό της μεμβράνης**

με συνέπεια την **επάνοδο του δυναμικού της μεμβράνης στην αρχική κατάσταση**



Χρόνος
2 ms
χαρακτηριστικό για το είδος του κυττάρου

— Δυναμικό ηρεμίας
— Δυναμικό ενέργειας

Δίαυλοι

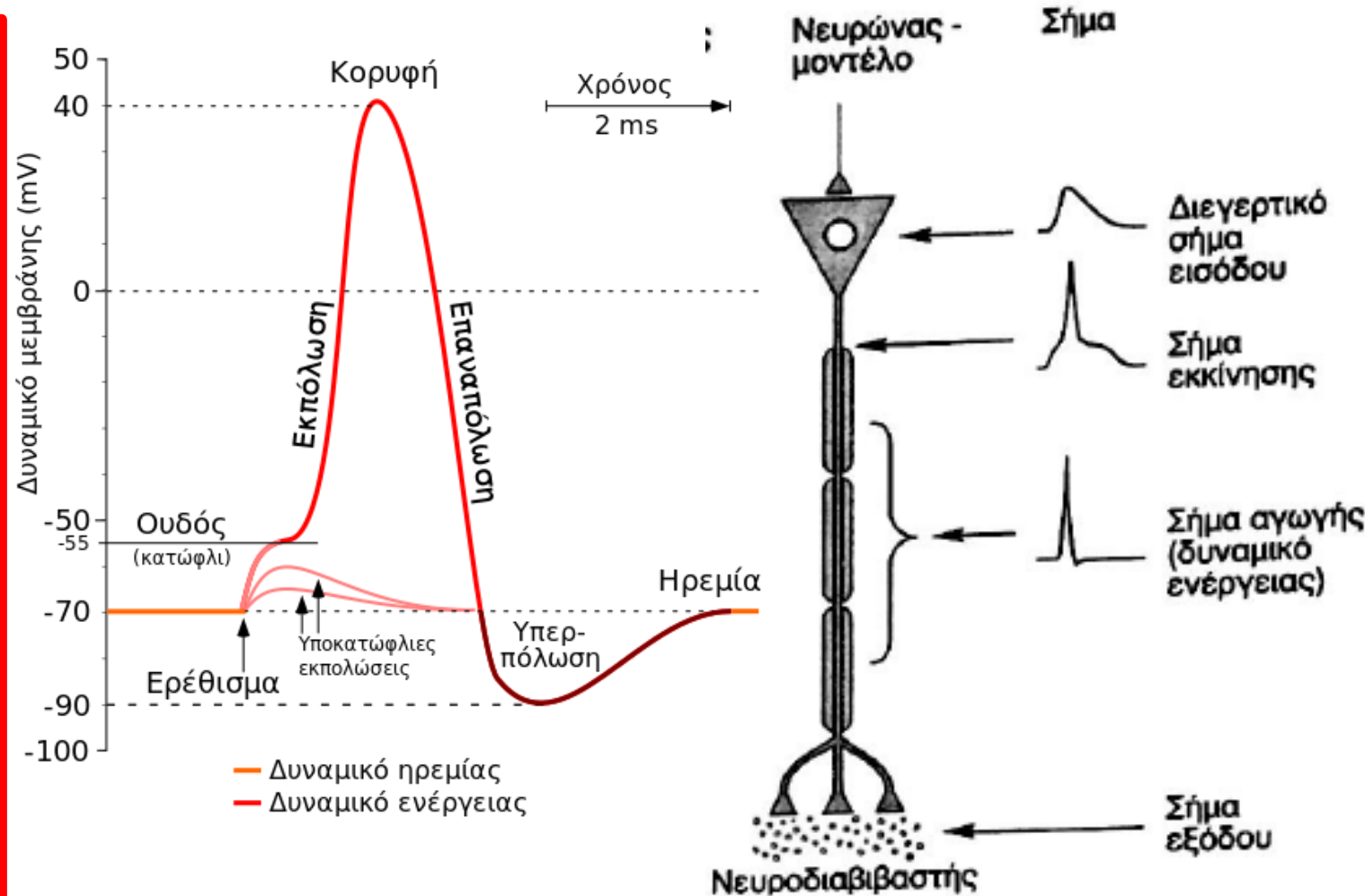
- Νευρώνες με **διαφορετικούς διαύλους ιόντων** μπορούν να κωδικοποιήσουν την **ίδια κατηγορία συναπτικού δυναμικού** σε **διαφορετικού τύπου εκπόλωσης**, και συνεπώς, μπορούν **να κωδικοποιούν & να άγουν διαφορετικά σήματα**
- Δημιουργούνται από **εξειδικευμένες πρωτεΐνες** της **κυτταρικής μεμβράνης**
- Προσδίδουν σε έναν νευρώνα ποικιλία ουδών, ιδιοτήτων διεγερσιμότητας & τύπων εκπόλωσης
- **Άγουν ιόντα**
- **Αναγνωρίζουν & επιλέγουν συγκεκριμένα ιόντα**
- **Ανοίγουν & κλείνουν αποκρινόμενοι** σε ειδικά ηλεκτρικά, μηχανικά ή χημικά σήματα
- Εξασφαλίζουν **ταχεία ροή ρεύματος**, στην οποία οφείλονται οι μεταβολές του δυναμικού της μεμβράνης

Η πρόσδεση του διαβιβαστή στα μόρια του υποδοχέα δημιουργεί συναπτικό δυναμικό στο μετασυναπτικό κύτταρο.

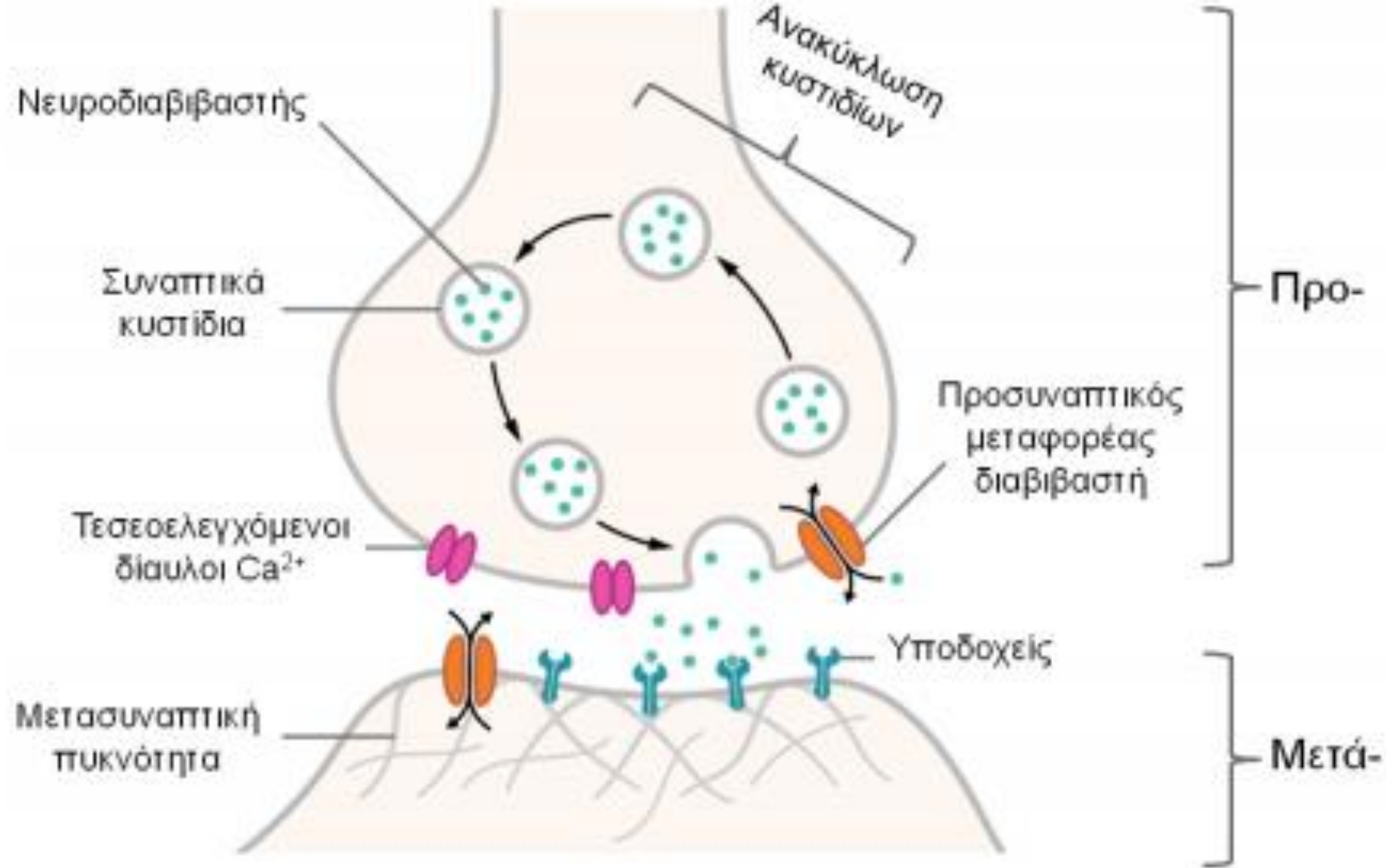
Το δυναμικό είναι **διεγερτικό ή ανασταλτικό**

- **Διεγερτικός** νευροδιαβιβαστής προκαλεί **εκπόλωση**, άρα φέρνει το δυναμικό της μεμβράνης πιο κοντά στην ουδό του δυναμικού ενέργειας

- **Ανασταλτικός** νευροδιαβιβαστής προκαλεί **υπερπόλωση** άρα απομακρύνει τη μεμβράνη του κυττάρου από την ουδό του δυναμικού ενέργειας



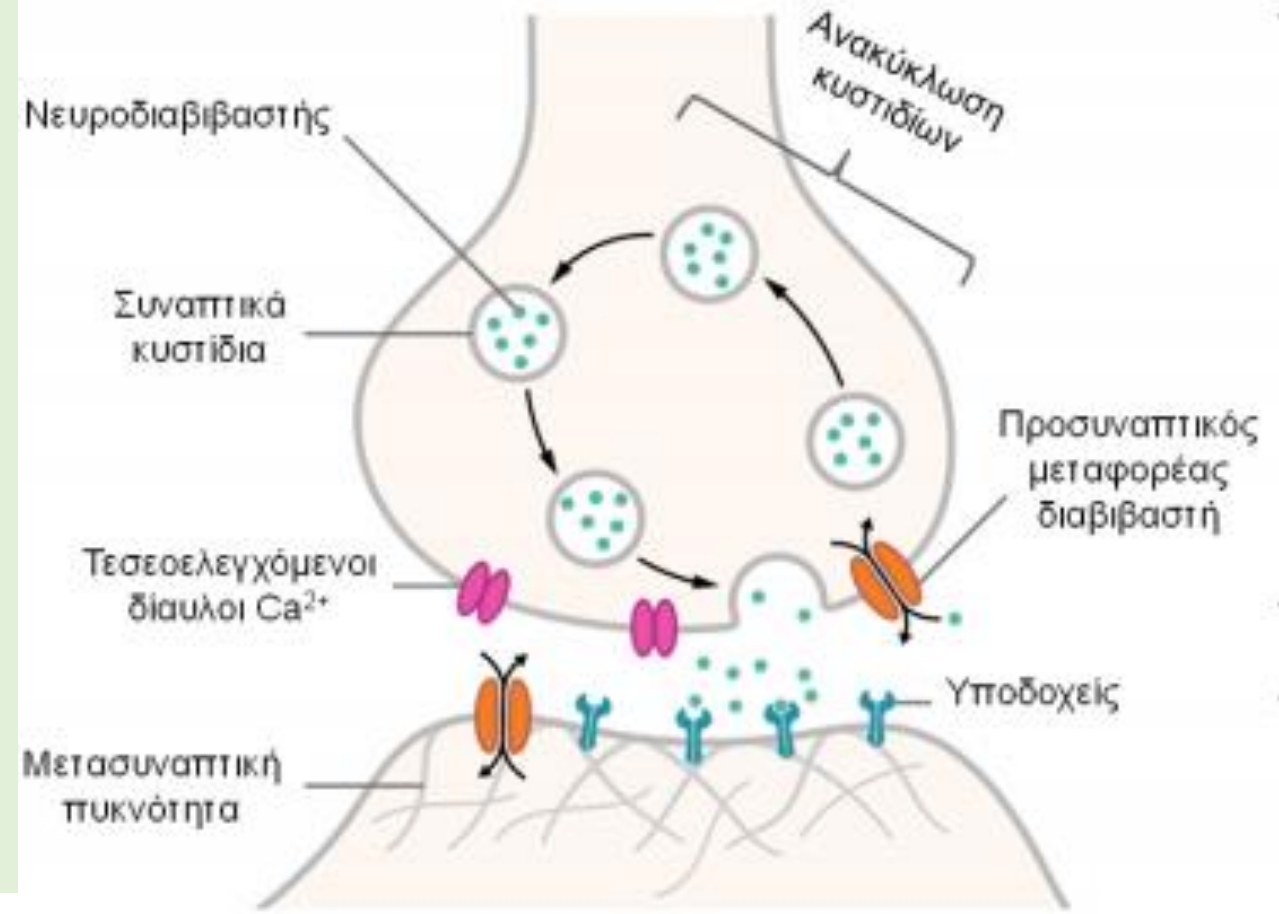
Οι βασικές ιδιότητες της ηλεκτρικής μετάδοσης σημάτων είναι όμοιες σε όλα τα νευρικά κύτταρα



Για την επιτυχή έκλυση νευροδιαβιβαστή

Απαιτείται η έκλυση δυναμικού ενέργειας από το προσυναπτικό κύτταρο

- Το δυναμικό ενέργειας προκαλεί την ενεργοποίηση διαύλων ασβεστίου
- Αύξηση ενδοκυττάριας συγκέντρωσης ασβεστίου
- Το μέγεθος του εισερχόμενου ρεύματος ασβεστίου επηρεάζει την ποσότητα νευροδιαβιβαστή που θα εκλυθεί, και κατά επέκταση το μέγεθος του μετασυναπτικού δυναμικού



- Ο νευροδιαβιβαστής είναι αποθηκευμένος σε κυστίδια είτε κοντά στην μεμβράνη του τερματικού του άξονα είτε προσδεμένα πάνω στο κυτταροσκελετό
- Συγκεκριμένες πρωτεΐνες σχηματίζουν πόρους συγχώνευσης των δύο μεμβρανών δηλ. του κυστιδίου και του κυττάρου, ώστε να γίνει η ένωση τους & η απελευθέρωση του νευροδιαβιβαστή στο εξωκυττάριο περιβάλλον

- **Δυναμικό ηρεμίας της μεμβράνης:** Διαφορά ηλεκτρικού φορτίου (65mV) κατά μήκος κυτταρικής μεμβράνης
- Δημιουργείται από την **άνιση κατανομή ιόντων νατρίου, καλίου & χλωρίου** καθώς & οργανικών ανιόντων εκατέρωθεν της μεμβράνης & λόγω της **επιλεκτικής διαπερατότητας της μεμβράνης από το κάλιο & χαμηλής διαπερατότητας από το νάτριο**
- Εσωτερικό περιβάλλον της μεμβράνης **αρνητικό** σε σχέση με το εξωτερικό
- Άνιση κατανομή ιόντων μέσω μιας ειδικής μεμβρανικής πρωτεΐνης: μεταφέρει νάτριο έξω & κάλιο μέσα στο κύτταρο

Υπερπόλωση: αύξηση δυναμικού

- **Λιγότερο πιθανή** η γένεση σήματος διαβιβαστή
- **Ανασταλτική**

Εκπόλωση: μείωση δυναμικού

- **Αυξάνει την ικανότητα** του κυττάρου να δημιουργήσει δυναμικό ενέργειας
- **Διεγερτική**

Τύποι Σημάτων

Δυναμικά Ενέργειας

- Μεταδιδόμενα τύπου **όλον ή ουδέν**
- **Πάντοτε ίδια τιμή για το ίδιο κύτταρο**
- Δημιουργούνται από μια **στιγμαία εισροή νατρίου** δια μέσου τασεοευαίσθητων **διαύλων νατρίου**
- **Ζώνη εκκίνησης** ή σημείο έναρξης της ώσης στον **εκφυτικό κώνο**
- Μερικοί νευρώνες έχουν μια επιπλέον ζώνη εκκίνησης στους δεντρίτες (όπου η ουδός για το δυναμικό ενέργειας είναι χαμηλό)

Τοπικά

- Το στοιχείο εισόδου παράγει **διαβαθμισμένα τοπικά σήματα**
- Στους αισθητικούς νευρώνες:
Η ροή ρεύματος αρχίζει από την **επιφάνεια υποδοχής**, όπου ορισμένα **πρωτεϊνικά μόρια** είναι ευαίσθητα σε **αισθητικά ερεθίσματα**

Για να μεταδοθεί επιτυχώς στο υπόλοιπο νευρικό σύστημα, το **σήμα πρέπει να ενισχυθεί**, να αναγεννηθεί

Πίνακας 2-1 Στοιχεία των τοπικών σημάτων (δυναμικά υποδοχέα και συναπτικά δυναμικά) και των μεταδιδόμενων σημάτων (δυναμικά ενέργειας)

| | <i>Εύρος</i> | <i>Διάρκεια</i> | <i>Άθροιση</i> | <i>Δράση του σήματος</i> | <i>Τρόπος μετάδοσης</i> |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|
| <i>Τοπικά σήματα</i> | | | | | |
| <i>Δυναμικά υποδοχέα</i> | Μικρό (0,1–10 mV) | Μικρή (5–100 ms) | Διαβαθμισμένη | Υπερπόλωση ή εκπόλωση | Παθητική |
| <i>Συναπτικά δυναμικά</i> | Μικρό (0,1–10 mV) | Μικρή έως μεγάλη (5 ms–20 min) | Διαβαθμισμένη | Υπερπόλωση ή εκπόλωση | Παθητική |
| <i>Μεταδιδόμενα σήματα</i> | | | | | |
| <i>Δυναμικά ενέργειας</i> | Μεγάλο (70–110 mV) | Μικρή (1–10 ms) | Όλον ή ουδέν | Εκπόλωση | Ενεργητική |

Μόρια υποδοχέων για ανασταλτική και διεγερτική χημική νευροδιαβίβαση βρίσκονται σε διάφορα σημεία του νευρώνα

- Ανασταλτικές στο κυτταρικό σώμα
- Διεγερτικές συνάψεις στους δεντρίτες

Οι **ανασταλτικοί νευρώνες** απελευθερώνουν διαβιβαστή που υπερπολώνει το δυναμικό μεμβράνης του μετασυναπτικού κυττάρου και επομένως μειώνει την πιθανότητα εκπόλωσης

Μεταδιδόμενα σήματα των νευρώνων: δυναμικά ενέργειας

- Δημιουργούνται από μια στιγμιαία εισροή νατρίου δια μέσου τασεοευαίσθητων διαύλων νατρίου
- Όταν η κυτταρική μεμβράνη εκπολώνεται, η αλλαγή στο δυναμικό της ανοίγει τους διαύλους αυτούς, επιτρέποντας στο νάτριο να μειώσει τη διαφορά συγκέντρωσης του ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον του κυττάρου και στο εσωτερικό του.
- Το αρχικό τμήμα του νευράξονα έχει
 - Μεγαλύτερη πυκνότητα τασεοευαίσθητων διαύλων νατρίου
 - Χαμηλότερο ουδό για την παραγωγή ενός δυναμικού ενέργειας

Σήματα

- Ανασταλτικά ή διεργετικά
- Ανασταλτικοί νευρώνες απελευθερώνουν διαβιβαστή που υπερπολώνει το δυναμικό μεμβράνης του μετασυναπτικού κυττάρου και επομένως μειώνει την πιθανότητα εκπόλωσης

Οι βασικές ιδιότητες της ηλεκτρικής μετάδοσης σημάτων είναι **όμοιες** σε όλα τα νευρικά κύτταρα.

- Η **πολυπλοκότητα των διασυνδέσεων** επιτρέπει σε σχετικώς όμοια νευρικά κύτταρα να μεταδίδουν μοναδικές πληροφορίες.

- Συγκεκριμένες πλευρές της επεξεργασίας πληροφοριών περιορίζονται σε ειδικές περιοχές του εγκεφάλου

πχ οι πληροφορίες για καθεμία

από τις αισθήσεις υφίστανται επεξεργασία

σε χωριστές περιοχές

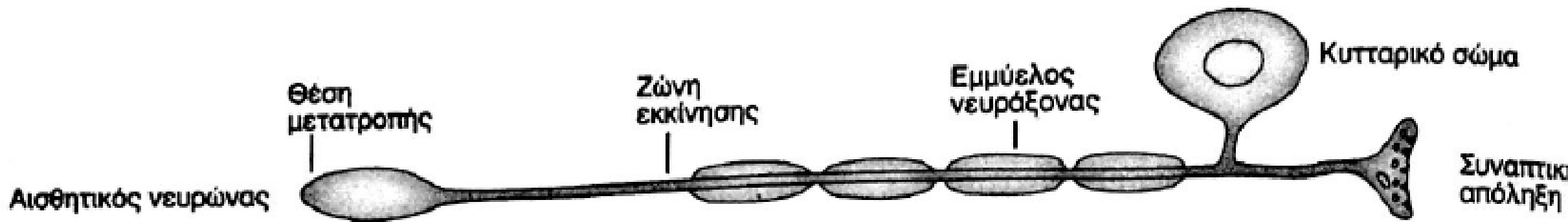
Δύο τύποι χαρτών: έναν για αισθητικές πληροφορίες & έναν για κινητικές εντολές
Δεν είναι γνωστή σε βάθος η διασύνδεση τους.

Η κινητοποίηση αρκετών ομάδων νευρώνων ή αρκετών οδών για τη μετάδοση όμοιων πληροφοριών

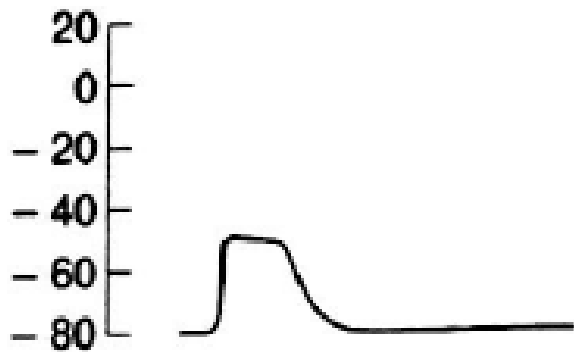
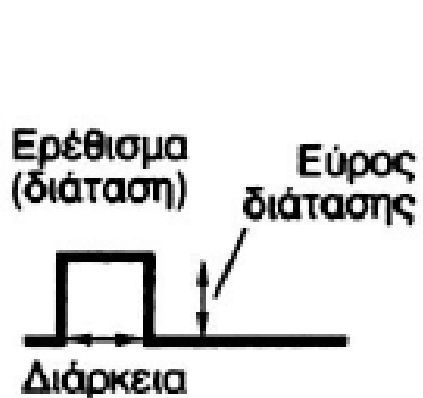
Αυξάνει την αξιοπιστία των λειτουργιών μέσα στο κεντρικό νευρικό σύστημα

Η πολυπλοκότητα των συνδέσεων μεταξύ των πολλών στοιχείων και όχι η πολυπλοκότητα των επιμέρους στοιχείων είναι εκείνη η οποία καθιστά εφικτή την επεξεργασία πολύπλοκων πληροφοριών

B. Το σήμα εκκίνησης μετατρέπει το σήμα εισόδου σε δυναμικά ενέργειας που θα μεταδοθούν κατά μήκος του νευράξονα. Δυναμικό ενέργειας δημιουργείται μόνο όταν το δυναμικό υποδοχέα (στους αισθητικούς νευρώνες) ή το συναπτικό δυναμικό (στους κινητικούς νευρώνες) είναι μεγαλύτερο από έναν ορισμένο *ουδό διέγερσης*. Όταν το σήμα εισόδου υπερβαίνει αυτόν τον ουδό, κάθε περαιτέρω αύξηση στο εύρος του σήματος εισόδου αυξάνει τη *συχνότητα* με την οποία δημιουργούνται τα δυναμικά ενέργειας και όχι το εύρος τους. Έτσι, η διαβαθμισμένη φύση των σημάτων εισόδου μεταφράζεται σε έναν κώδικα δυναμικών ενέργειας στη ζώνη εκκίνησης. Η *διάρκεια* του σήματος εισόδου καθορίζει τον αριθμό των δυναμικών ενέργειας.



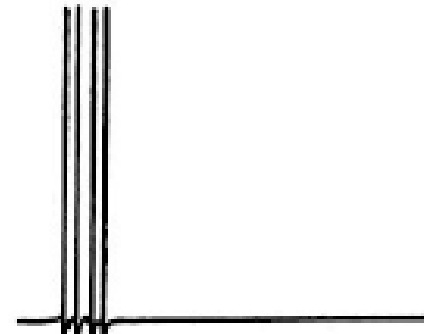
Α Δυναμικό υποδοχέα (ή συναπτικό)



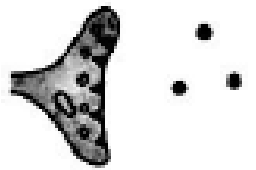
Β Ολοκληρωμένη ενέργεια



Γ Δυναμικό ενέργειας

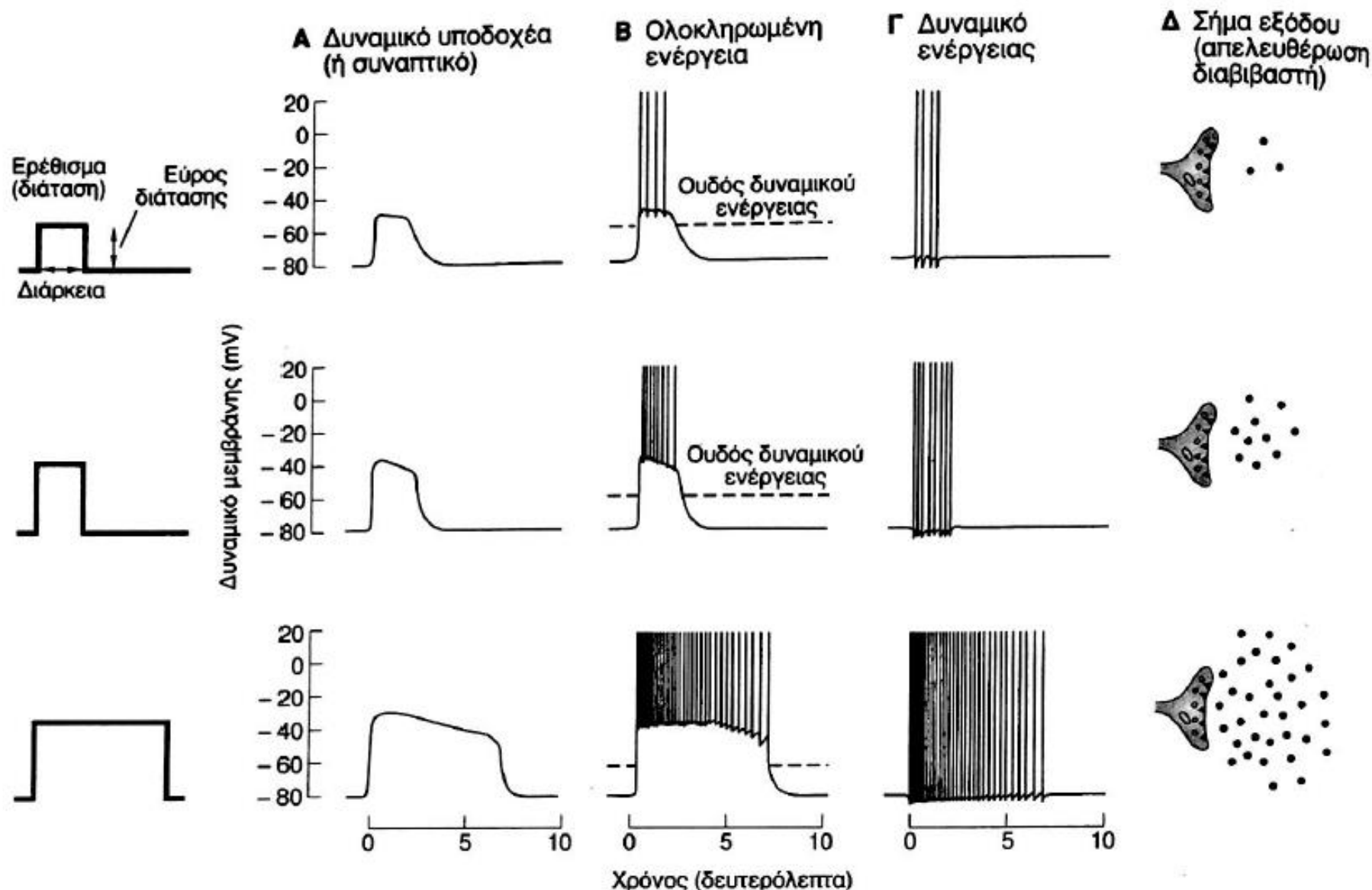
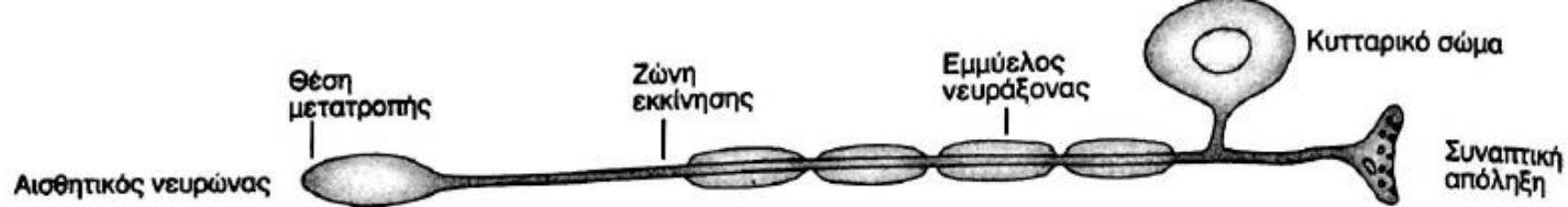


Δ Σήμα εξόδου (απελευθέρωση διαβιβαστή)



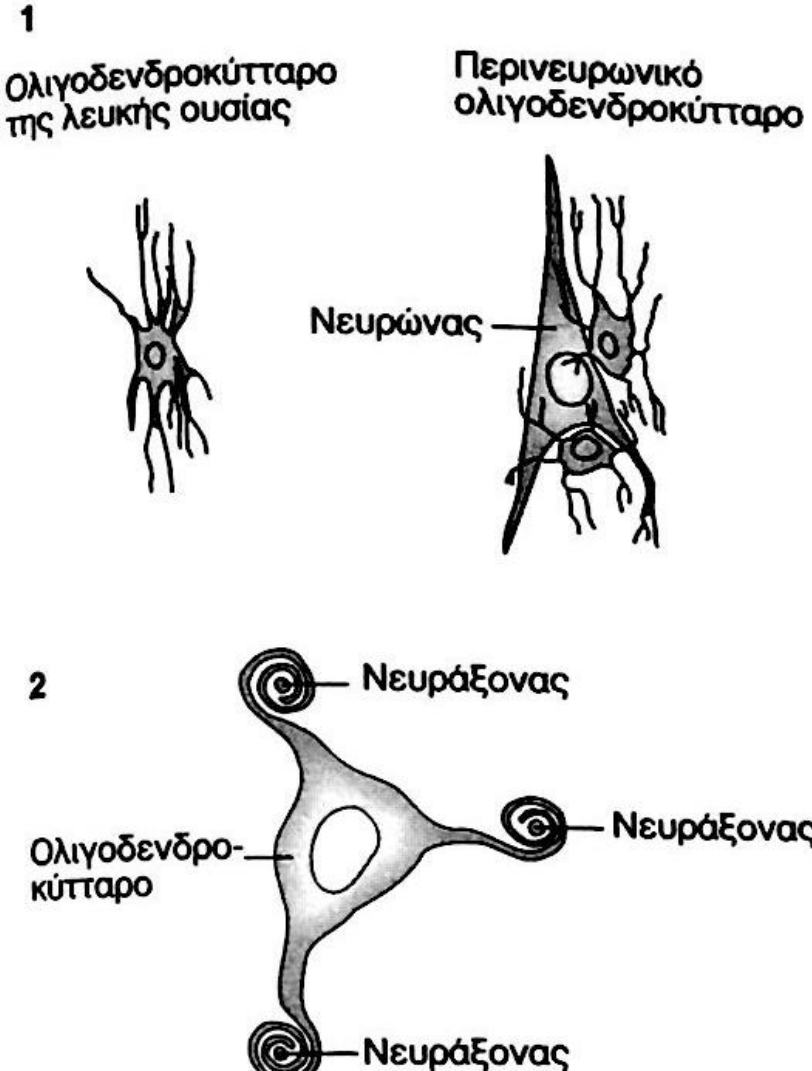
Όταν το σήμα εισόδου υπερβαίνει αυτόν τον ουδό, κάθε περαιτέρω αύξηση στο εύρος του σήματος εισόδου αυξάνει τη συχνότητα με την οποία δημιουργούνται τα δυναμικά ενέργειας και όχι το εύρος τους. Έτσι, η διαβαθμισμένη φύση των σημάτων εισόδου μεταφράζεται σε έναν κώδικα δυναμικών ενέργειας στη ζώνη εκκίνησης. Η διάρκεια του σήματος εισόδου καθορίζει τον αριθμό των δυναμικών ενέργειας.

Δ. Όταν το δυναμικό ενέργειας φθάνει στη συναπτική απόληξη, το κύτταρο απελευθερώνει έναν χημικό διαβιβαστή που λειτουργεί ως σήμα εξόδου. Ο συνολικός αριθμός των δυναμικών ενέργειας ανά μονάδα χρόνου καθορίζει επακριβώς την ποσότητα νευροδιαβιβαστή που θα απελευθερωθεί από το κύτταρο.

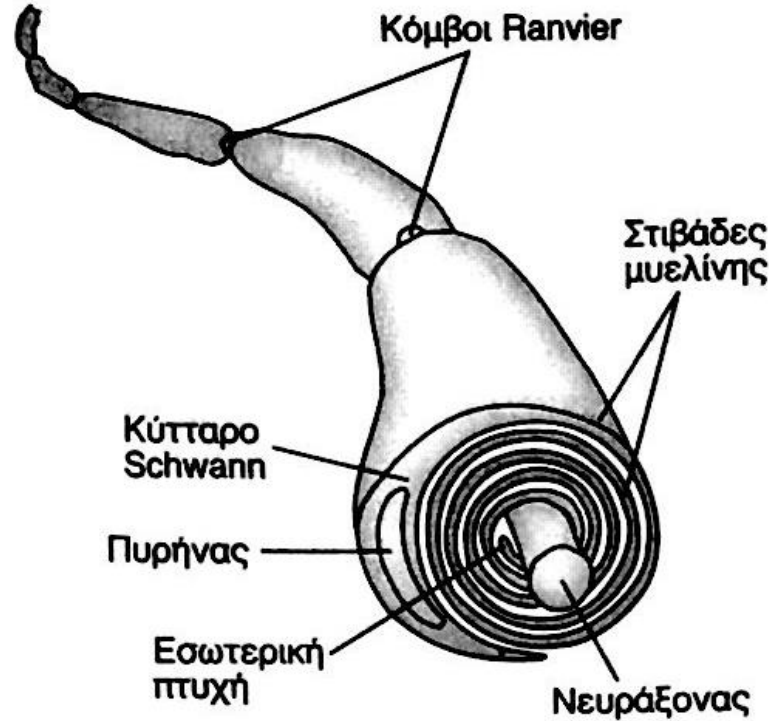


Κύριοι Τύποι Νευρογλοιακών Κυττάρων

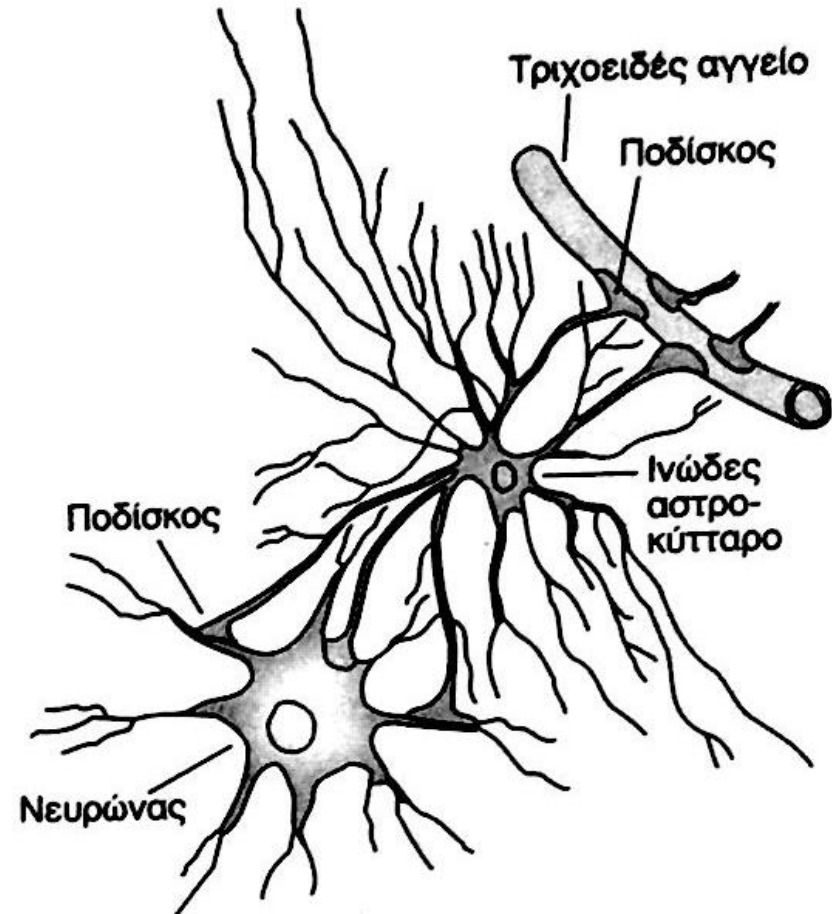
A Ολιγοδενδροκύτταρο

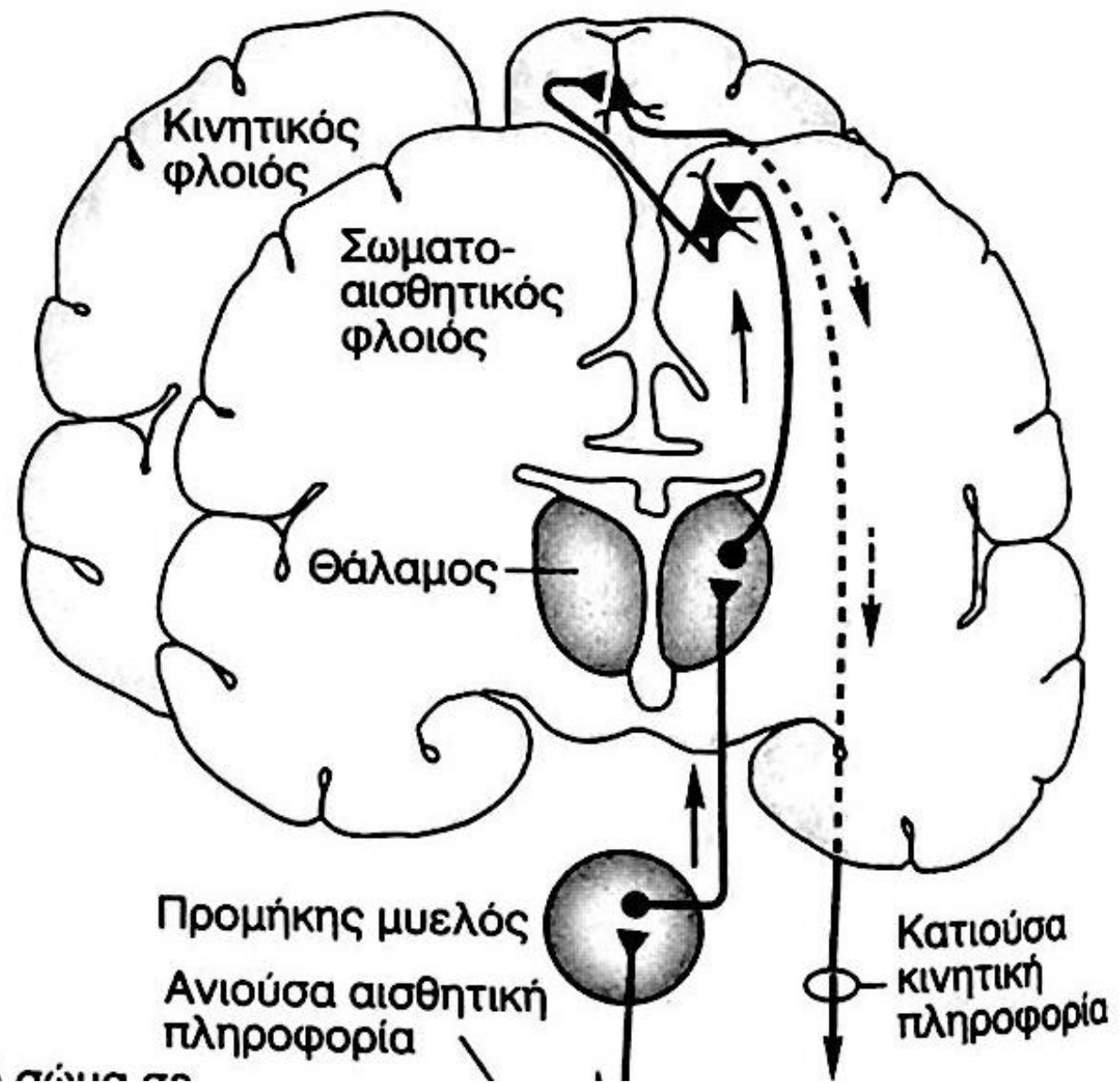


B Κύτταρο Schwann



Γ Αστροκύτταρο





Μητρικό σύστημα