

David Sadava  
David M. Hillis  
H. Craig Heller  
Sally D. Hacker



# Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Γενική Βιολογία · Γενετική · Εξέλιξη

## Κεφάλαιο 32

Νευρώνες, Γλοία, Νευρικά Συστήματα

Πρώτη ελληνική έκδοση  
Ενδέκατη αμερικανική Έκδοση

Επιστημονική επιμέλεια  
της ελληνικής έκδοσης  
Μαρία Γαζούλη



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ

32.1 Neurons and Glia Are Unique Cells of Nervous Systems

32.2 Neurons Generate and Transmit Electric Signals

32.3 Neurons Communicate with Other Cells

32.4 Neurons and Glia Form Information- Processing Circuits

## 32.1 Neurons and Glia Are Unique Cells of Nervous Systems

Nervous systems have two types of cells:

- Neurons, or nerve cells, generate and conduct electric signals.
- Glia (2 types):

Macroglia modulate neuron activity and provide support.

Microglia are small phagocytic cells derived from blood stem cells.

Microglia are activated by foreign matter or damage to nerve tissue, and are the first and major immune defense mechanism in the nervous system.

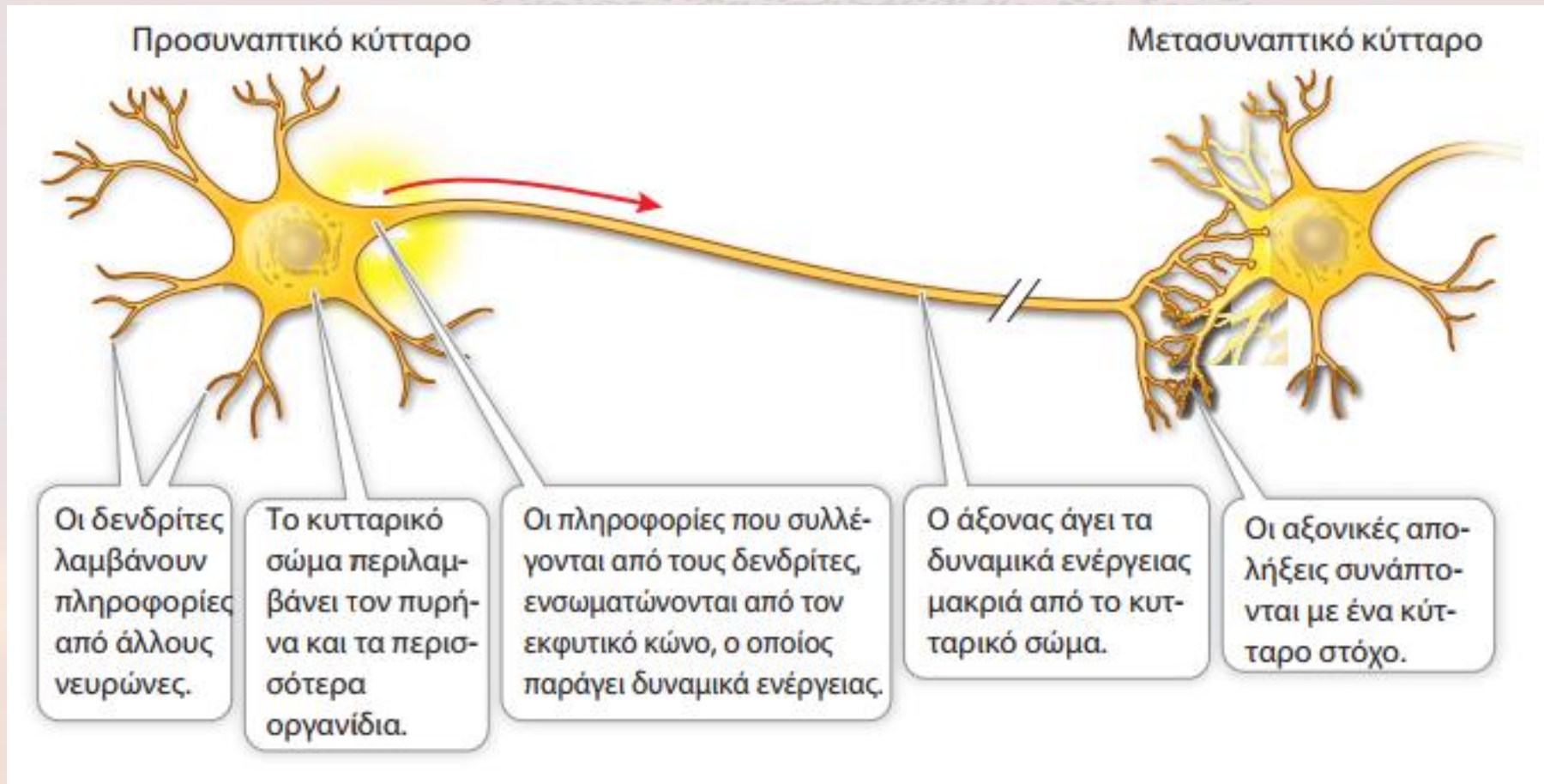
Vertebrates have a **central nervous system (CNS)**, including the brain and spinal cord—the sites of information processing and storage.

**Peripheral nervous system (PNS)** provides communication between the central division and all of the rest of the body.

## Neuron structure

- **Cell body**—contains the nucleus and organelles.
- **Dendrites**—bring information to the cell body.
- **Axon**—carries information away from the cell body.
- **Axon terminals**—at the tip of the axon.

## Εικόνα 32.1 Ένας Αντιπροσωπευτικός Νευρώνας

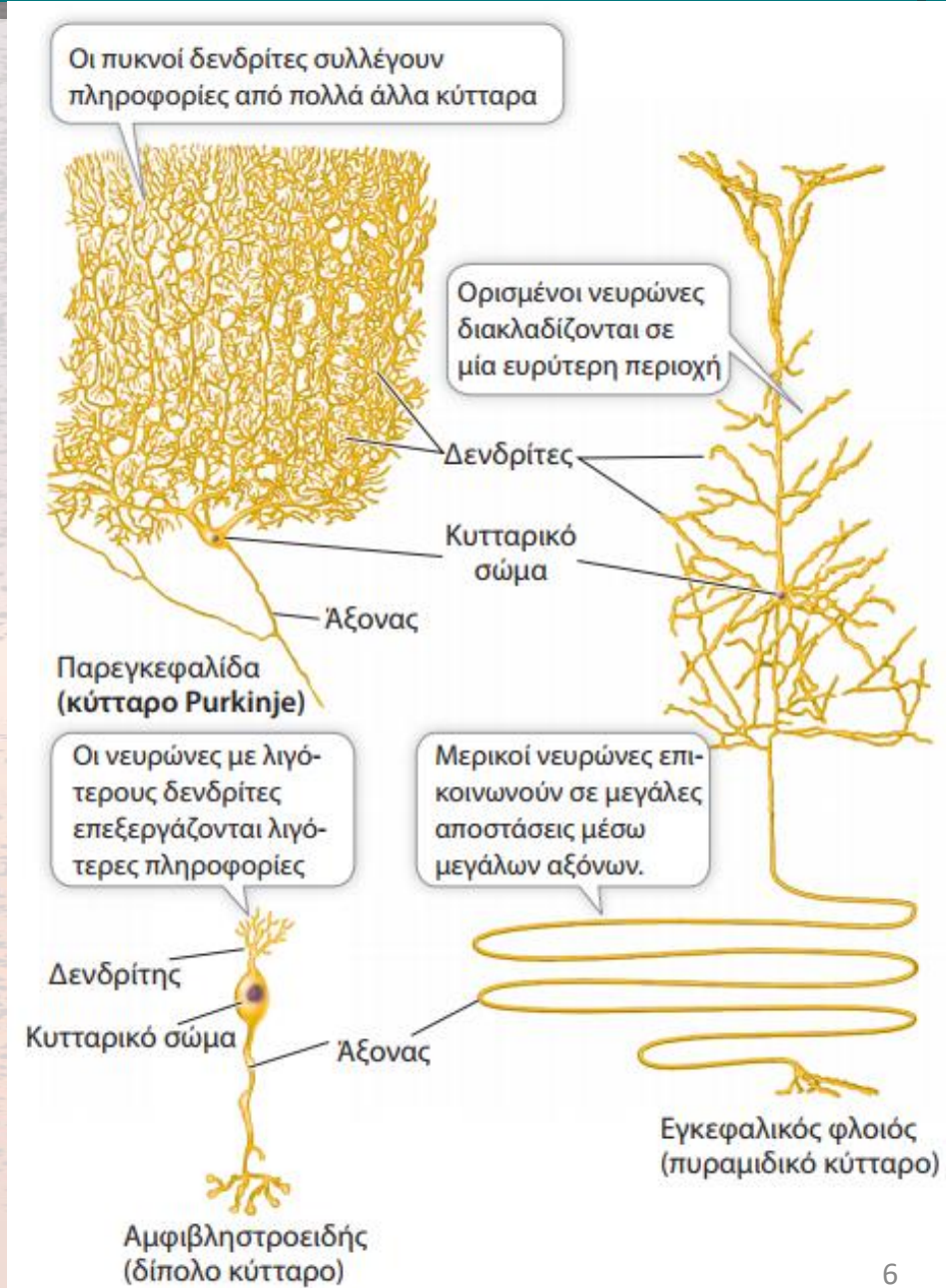


**Εικόνα 32.1 Ένας Αντιπροσωπευτικός Νευρώνας** Το διάγραμμα αναπαριστά τα τυπικά χαρακτηριστικά των περισσότερων νευρώνων. Η μορφή αυτών των χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένων των μήκους του άξονα, πυκνότητας και προτύπων διακλάδωσης των δενδριτών, ποικίλλουν σημαντικά σε διάφορους τύπους νευρώνων.

## Εικόνα 32.2 Οι Νευρώνες Έχουν Πολλές και Ποικίλες Μορφές

- Neuron form reflects function
- Number of dendrites reflects number of sources of information coming to the neuron.
- Some neurons communicate over very short distances; others communicate over extremely long distances and have very long axons.

**Εικόνα 32.2** Οι Νευρώνες Έχουν Πολλές και Ποικίλες Μορφές  
Οι μορφολογικές διαφορές των νευρώνων, προερχόμενων από διάφορα μέρη του νευρικού συστήματος των θηλαστικών, σχετίζονται με τις ειδικές λειτουργικές προσαρμογές τους. Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζονται δύο τύποι νευρώνων που απαντώνται στον ανθρώπινο εγκέφαλο (ένα κύτταρο Purkinje και ένα πυραμιδικό κύτταρο) και ένας αισθητικός νευρώνας του αμφιβληστροειδούς χιτώνα του ανθρώπινου ματιού.



## 32.1 Neurons and Glia Are Unique Cells of Nervous Systems

- All neurons process and communicate information through changes in electric potential across their membranes.
- Small changes in membrane electric potential generate large, rapidly reversed changes in membrane potential called action potentials (APs).
- Axon terminals come extremely close to the membrane of the target cell, forming a synapse.
- When the AP reaches the axon terminals, the synapse transfers the information from the presynaptic cell to the postsynaptic cell.
- **Electrical synapses** allow the action potential to pass directly between two neurons.
- **In vertebrates, most synapses are chemical:**
  - An AP arriving at the terminal causes it to release **neurotransmitter chemicals** which diffuse to receptors on the postsynaptic cell.
- Binding of the neurotransmitter to the postsynaptic cell may excite or inhibit it.
- Neurons integrate information by summing excitatory and inhibitory inputs.

## 32.1 Neurons and Glia Are Unique Cells of Nervous Systems

- **Glial cells** outnumber neurons in the human brain.
- In brain and spinal cord, glia called **oligodendrocytes** wrap around neuron axons, forming concentric layers of insulating cell membrane.
- Glia called **Schwann cells** wrap the axons of other nerves.
- Oligodendrocytes and Schwann cells produce myelin that covers axons.
- Some diseases affect myelin and impair conduction of action potentials.
- Multiple sclerosis is an autoimmune disease; antibodies to proteins in myelin in the brain and spinal cord are produced.
- Glia called **astrocytes** contribute to the blood–brain barrier, which protects the brain from toxic substances in the blood.
- Astrocytes have several other functions:
  - Take up neurotransmitter from the synapse and thus control communication between pre- and postsynaptic cells.
  - Store glycogen that can supply neuron with fuel.
  - Release neurotransmitters that can alter the activities of neurons.
  - Aid in repair and regeneration of neurons.
  - Make contact with both blood vessels and neurons and can signal changes in the composition of the blood.

Projections of one astrocyte may make contact with more than 100,000 synapses. **Tripartite synapse:** The idea that a synapse includes the pre- and postsynaptic neurons as well as connections from astrocytes.



**Εικόνα 32.3 Τα Γλοιακά Κύτταρα Μονώνουν τους Άξονες**

(Α) Τα κύτταρα Schwann παράγουν στιβάδες μυελίνης, η οποία αποτελεί ένα τύπο κυτταρικής μεμβράνης που παρέχει ηλεκτρική μόνωση στον άξονα. Στα διαστήματα μεταξύ των κυττάρων Schwann, στους κόμβους του Ranvier, ο άξονας είναι εκτεθειμένος. Τα δυναμικά ενέργειας άγονται κατά μήκος του άξονα «πηδώντας» από κόμβο σε κόμβο, όπως περιγράφεται στη Βασική Έννοια 32.2. (Β) Ένας εμμύελος άξονας, όπως φαίνεται σε εγκάρσια τομή στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

**(Α) Κύτταρα Schwann**

Κύτταρα Schwann που παράγουν μυελίνη

Θέση και διεύθυνση ανάπτυξης της μυελίνης

Κόμβοι του Ranvier

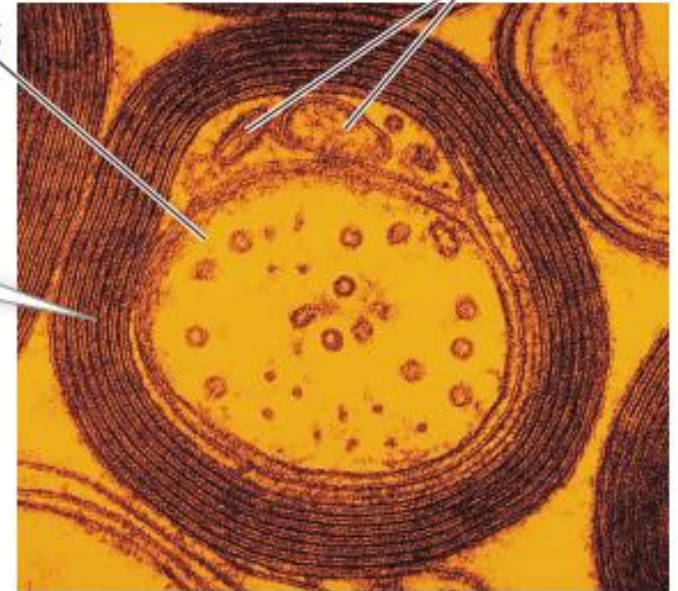
Πυρήνας του Schwann κυττάρου

Άξονας

Πολλαπλές στιβάδες μυελίνης μονώνουν τον άξονα.

**(Β) Εγκάρσια τομή ενός εμμύελου άξονα**

Μιτοχόνδρια

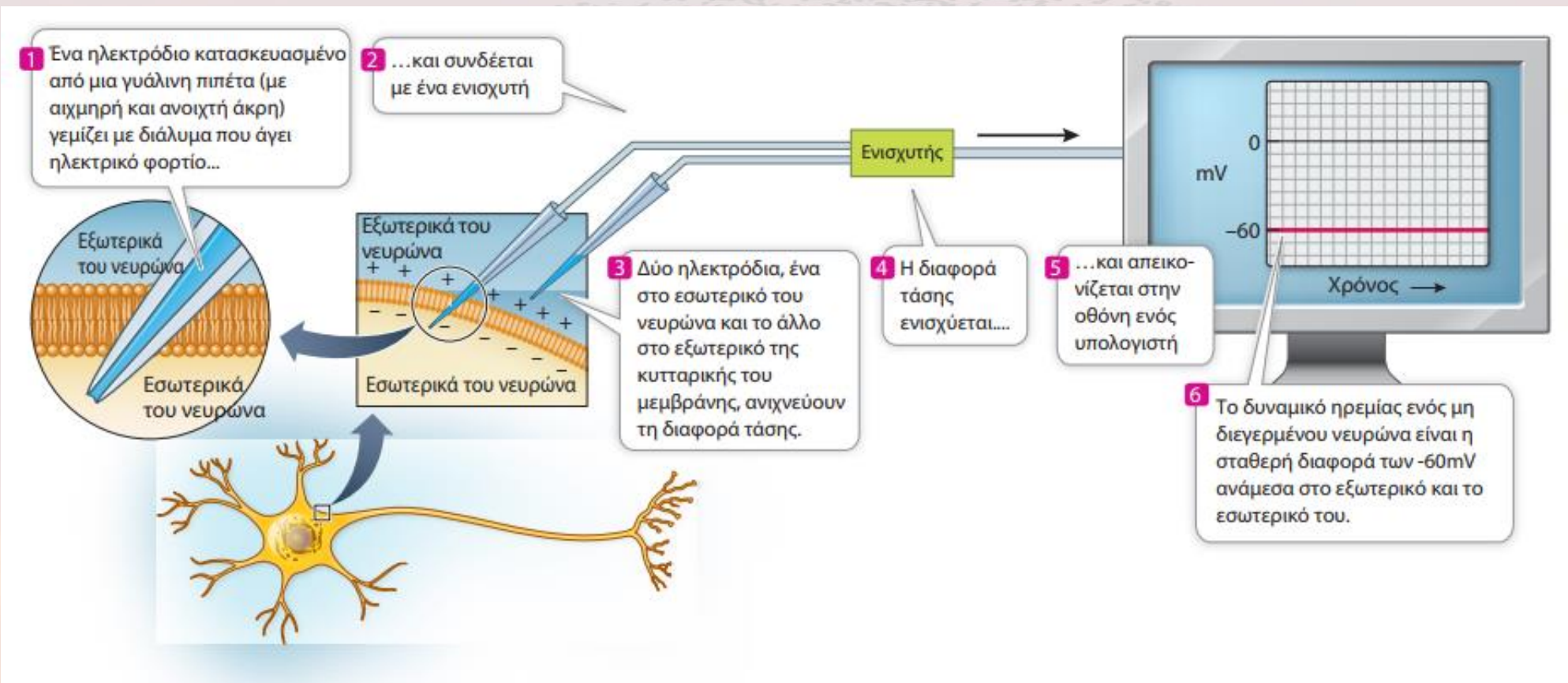


0,1 μm

## 32.2 Neurons Generate and Transmit Electric Signals

- Sodium-potassium pumps in all animal cells create gradients of  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  across the cell membrane.
- The inside of the cell is usually negative relative to the outside because “leak channels” allow some ions ( $\text{K}^+$ ) to diffuse out.
- **Membrane potential:** Electrical charge difference across a cell membrane.
- **Resting potential** is the steady state membrane potential of a neuron—
  - Due to a balance between the tendency of  $\text{K}^+$  ions to diffuse down their concentration gradient and the electrical potential that holds them back.
- **Voltage (electric potential difference):** Force that causes charged particles to move between two points.
- In solutions and across cell membranes, electric current is carried by ions.
- Major ions in neurons: sodium ( $\text{Na}^+$ ), potassium ( $\text{K}^+$ ), calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), chloride ( $\text{Cl}^-$ ).
- Membrane potentials are measured with electrodes.
- The resting potential of an axon is  $-60$  to  $-70$  millivolts (mV).
- The inside of the cell is negative at rest. A stimulus that changes the permeability of the membrane allows ions to move quickly across.

## Εικόνα 32.4 Καταγραφή του Μεμβρανικού Δυναμικού



**Εικόνα 32.4** Καταγραφή του Μεμβρανικού Δυναμικού Ένα ηλεκτρόδιο κατασκευάζεται από μια γυάλινη πιπέτα με πολύ αιχμηρή άκρη, η οποία περιέχει ένα διάλυμα που άγει ηλεκτρικά φορτία. Η διαφορά της τάσης κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης μπορεί να καταγραφεί εάν τοποθετηθούν δύο ηλεκτρόδια, ένα στο εσωτερικό του νευρώνα και το άλλο στο εξωτερικό της κυτταρικής του μεμβράνης.

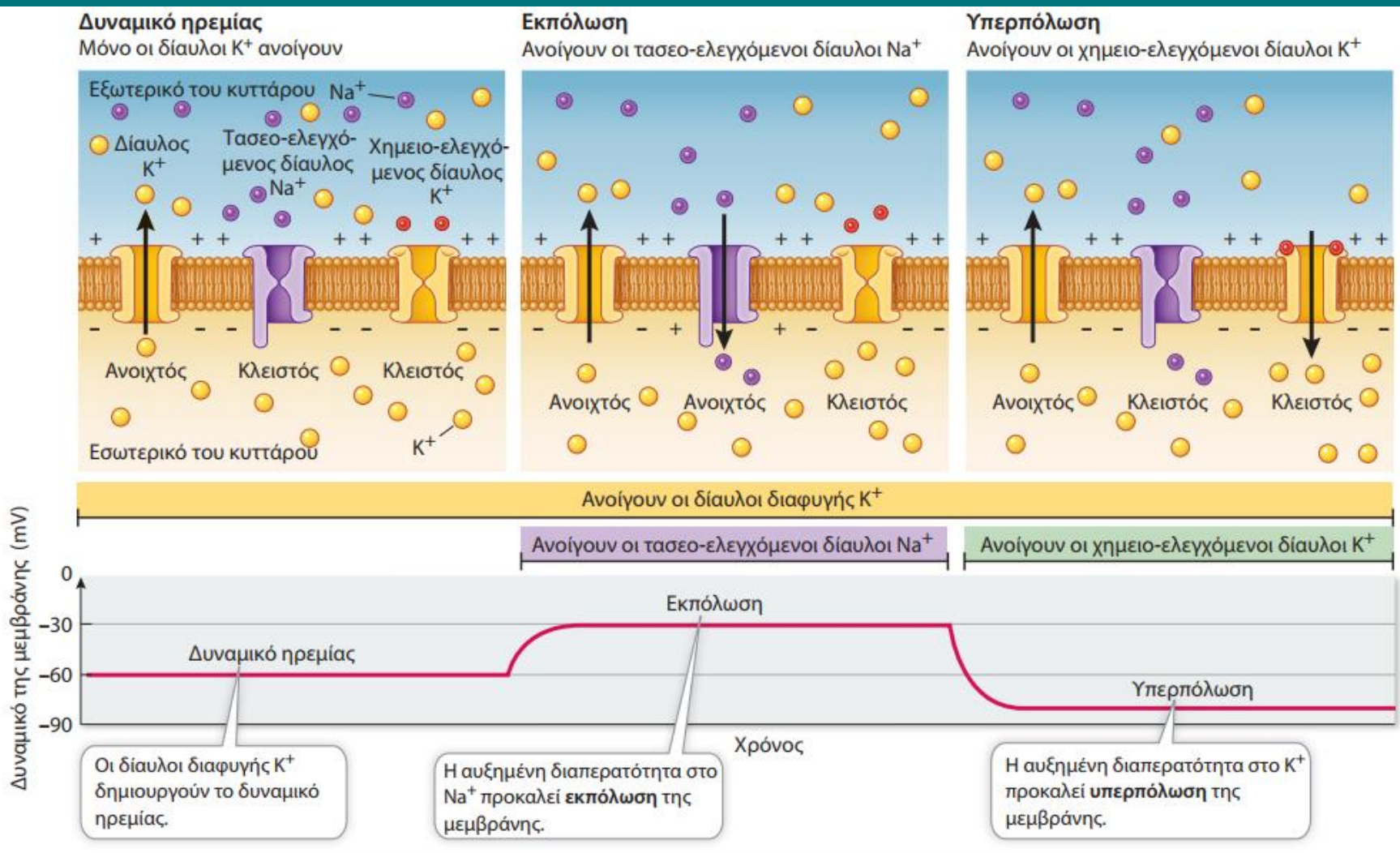
## 32.2 Neurons Generate and Transmit Electric Signals

- An action potential is a sudden, rapid reversal in the voltage across a portion of the cell membrane.
- For 1 or 2 milliseconds, positively charged ions flow into the cell, making the inside of the cell more positive than the outside.
- Ion transporters and channels generate membrane potentials.
- The **sodium–potassium pump** moves  $\text{Na}^+$  to the outside and  $\text{K}^+$  to the inside; requires energy; establishes concentration gradients.
- Ion channels in the membrane allow ions to pass through, but are selective—there are different channels for each type of ion.
- Ions can move in either direction; net movement depends on concentration gradient and voltage difference. These two motive forces are called an **electrochemical gradient**.
- **Potassium channels are open in the resting membrane and  $\text{K}^+$  ions diffuse out of the cell.**
- **This leaves behind unbalanced negative charges inside the cell.**
- **$\text{K}^+$  ions diffuse back into the cell because of the negative electrical potential.**

## 32.2 Neurons Generate and Transmit Electric Signals

- Some ion channels are “gated.”
  - **Voltage-gated channels** respond to change in voltage across membrane.
  - **Chemically-gated channels** depend on specific molecules that bind or alter the channel protein.
  - **Mechanically-gated channels** respond to force applied to membrane.
- Opening and closing of gated channels alter membrane potential.
- If Na channels open suddenly, Na<sup>+</sup> diffuses in and the inside of the cell becomes less negative.
- When the inside of a neuron becomes less negative (or more positive) in comparison to its resting condition, its cell membrane is depolarized.
- If gated K<sup>+</sup> channels open and K<sup>+</sup> efflux increases over the normal leak rate, the membrane potential becomes even more negative, and the cell membrane is hyperpolarized.

# Εικόνα 32.7 Οι Μembrάνες Μπορούν να Εκπολωθούν ή να Υπερπολωθούν

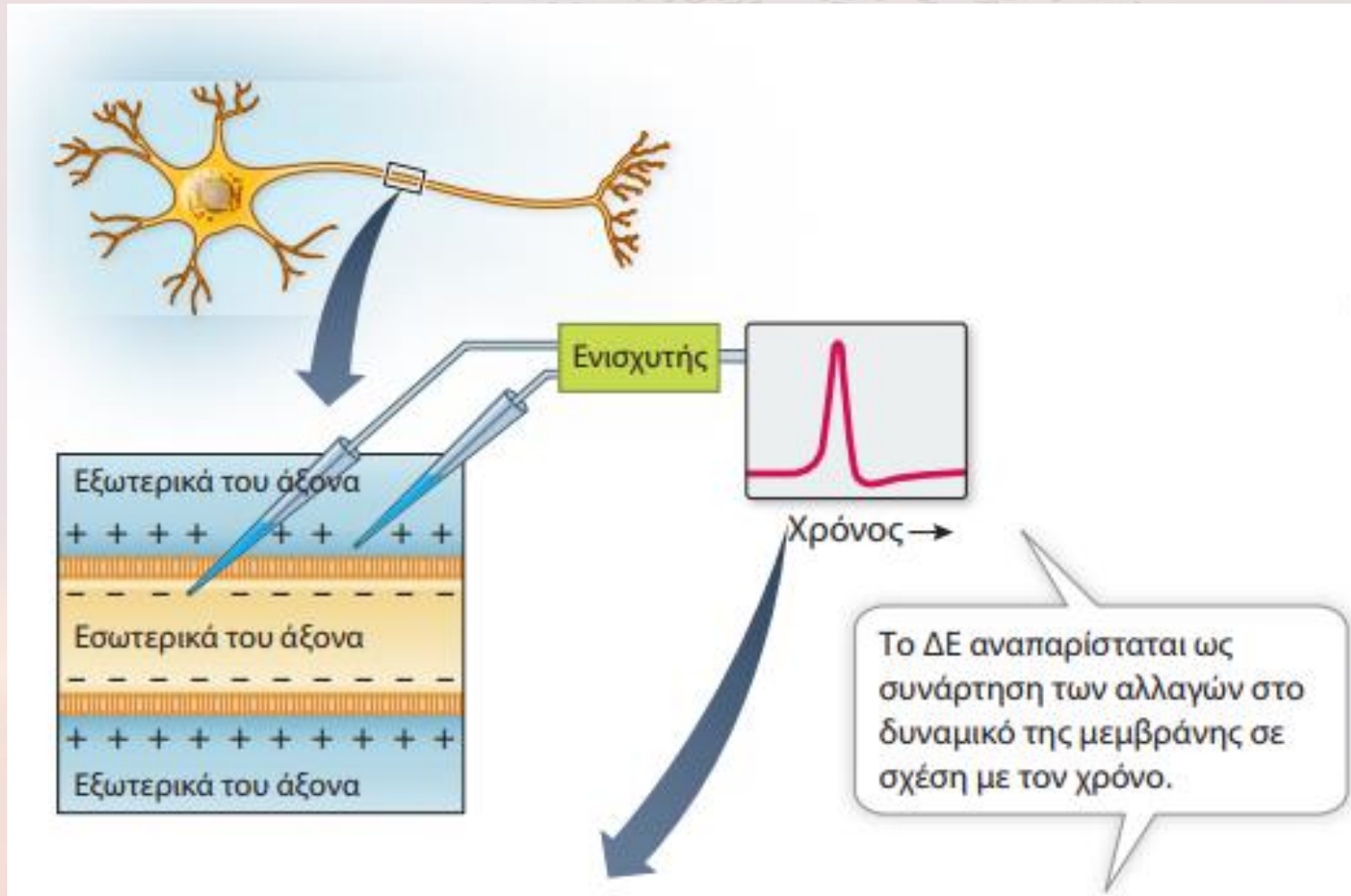


**Εικόνα 32.7 Οι Μembrάνες Μπορούν να Εκπολωθούν ή να Υπερπολωθούν** Το δυναμικό ηρεμίας παράγεται κυρίως από διαύλους διαφυγής  $K^+$ , με μικρή συμβολή των διαύλων διαφυγής  $Na^+$  (δεν απεικονίζονται εδώ). Η μεταστροφή από το δυναμικό ηρεμίας σε ένα λιγότερο αρνητικό δυναμικό της μεμβράνης, η οποία προκαλείται από την αυξημένη διαπερατότητα στο  $Na^+$ , καλείται εκπόλωση. Η υπερπόλωση της μεμβράνης συμβαίνει όταν το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται πιο αρνητικό, καθώς αυξάνεται η διαπερατότητα της μεμβράνης στο  $K^+$ .

copyright @ 2023 ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ 14

## 32.2 Neurons Generate and Transmit Electric Signals

- **Graded membrane potentials** are changes from resting potential proportional to the stimulus magnitude.
- Graded potentials are a means of integrating input—the membrane can respond proportionally to depolarization or hyperpolarization.
- The changes in membrane potential are summed.
- **Action potentials** are sudden, transient, large changes in membrane potential, generated by the action of voltage-gated Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> channels.
- At resting potential, the channels are closed. Slight depolarization causes them to open. That graded potential can spread by local current flow to the **axon hillock**.
- Voltage-gated Na<sup>+</sup> channels are concentrated in the hillock.
- Na channels open and Na<sup>+</sup> rushes into the axon. The influx of positive ions causes more depolarization—a positive feedback effect.
- When the membrane is depolarized about 5 to 10 mV above resting potential, a threshold is reached:
  - A large number of sodium channels open and an action potential is generated.
- The axon returns to resting potential as voltage-gated Na<sup>+</sup> channels close and voltage-gated K<sup>+</sup> channels open.

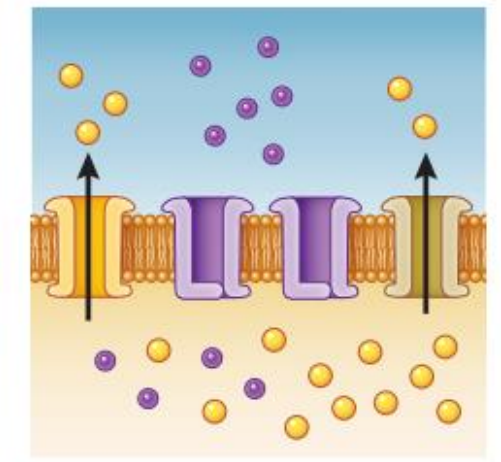
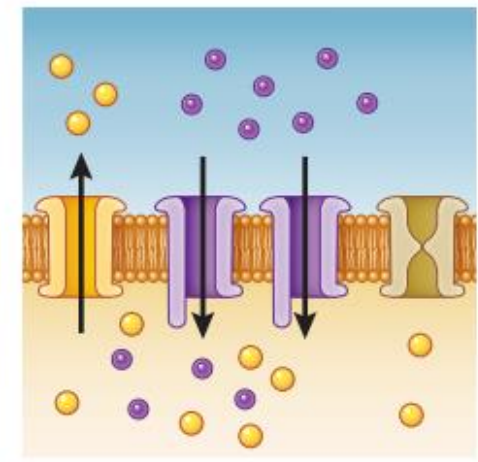
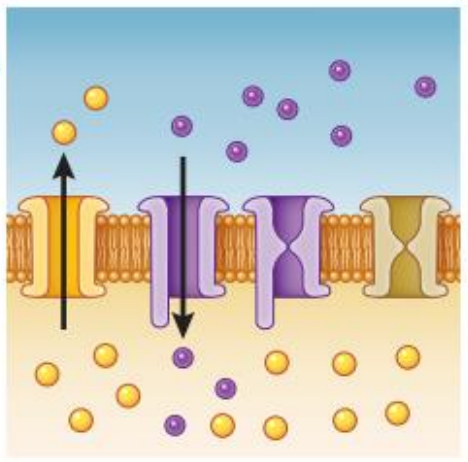
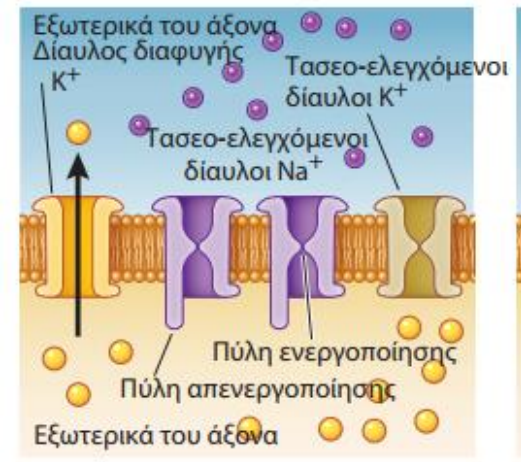
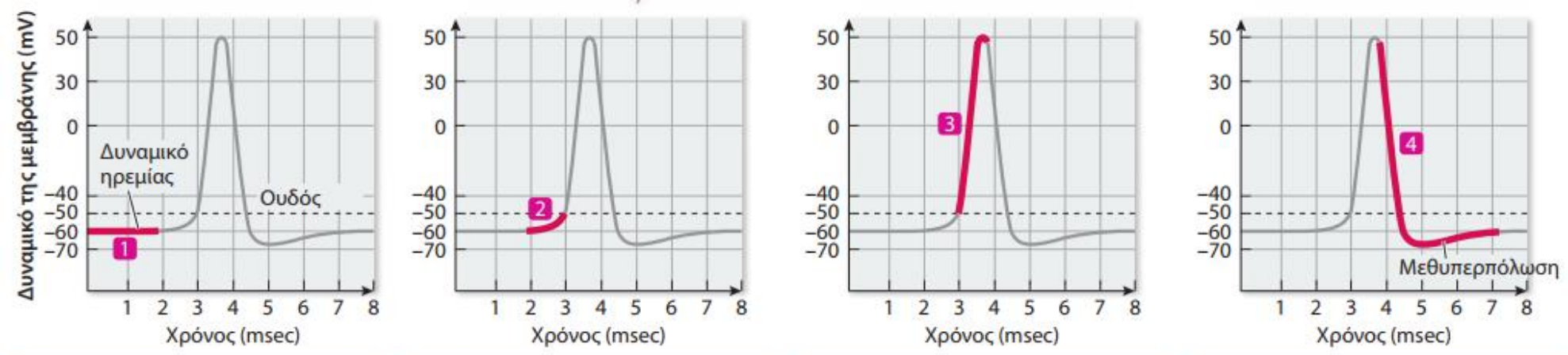


**Εικόνα 32.8** Η Πορεία που Ακολουθεί ένα Δυναμικό Ενέργειας

Τα δυναμικά ενέργειας προκαλούνται από ταχείες μεταβολές στους τασεο-ελεγχόμενους διαύλους  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$ .



## Εικόνα 32.8 Η Πορεία που Ακολουθεί ένα Δυναμικό Ενέργειας (Συνέχεια)



**1** Οι διάυλοι διαφυγής  $K^+$  δημιουργούν το δυναμικό ηρεμίας. Οι τασσο-ελεγχόμενοι διάυλοι παραμένουν κλειστοί.

**2** Η διάνοιξη μερικών τασσο-ελεγχόμενων διαύλων  $Na^+$  έχει ως αποτέλεσμα την εκπόλωση του κυττάρου έως την τιμή του ουδού.

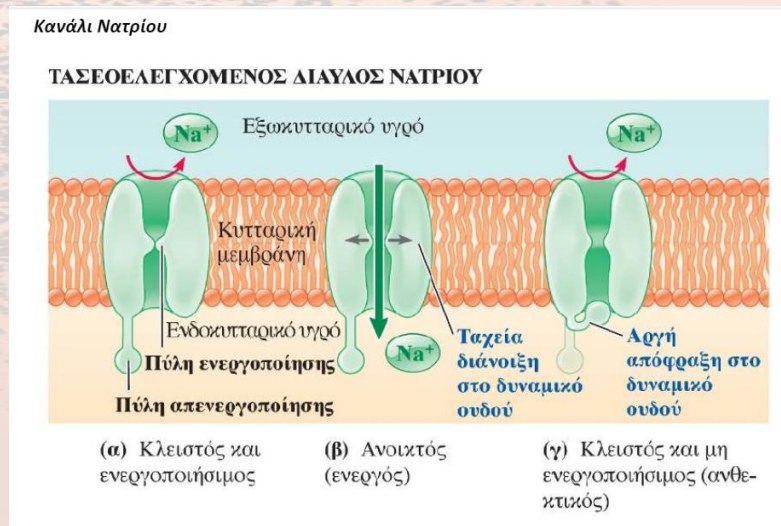
**3** Η διάνοιξη των πυλών ενεργοποίησης επιπλέον τασσο-ελεγχόμενων διαύλων  $Na^+$  προκαλεί αυξημένης έντασης εκπόλωση, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός ΔΕ.

**4** Οι πύλες απενεργοποίησης των διαύλων  $Na^+$  κλείνουν και ανοίγουν οι διάυλοι  $K^+$  προκαλώντας επανοπόλωση ή ακόμα και υπερπόλωση του κυττάρου.

**5** Όλοι οι τασσο-ελεγχόμενοι διάυλοι κλείνουν και το κύτταρο επιστρέφει στην κατάσταση ηρεμίας. Οι πύλες απενεργοποίησης των διαύλων  $Na^+$  ανοίγουν ξανά.

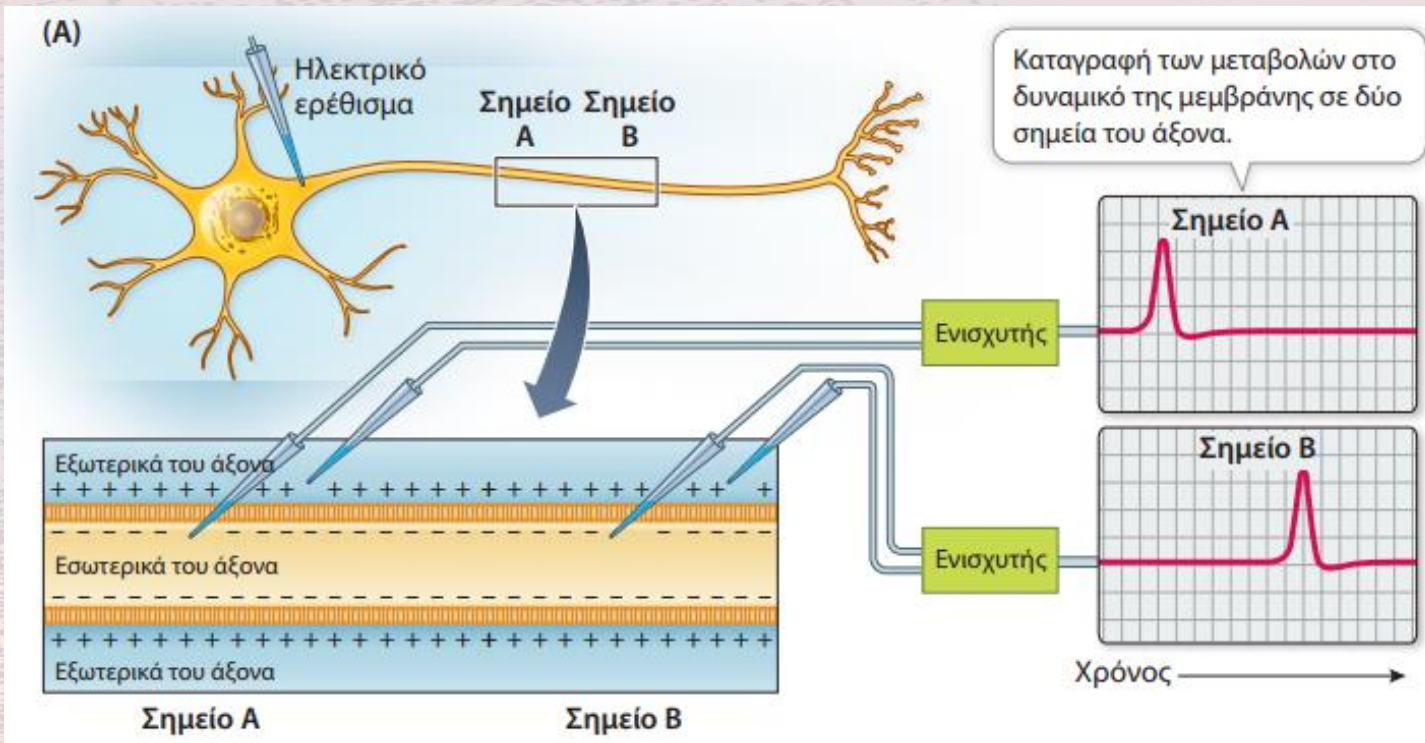
# 32.2 Neurons Generate and Transmit Electric Signals

- Voltage-gated Na<sup>+</sup> channels cannot open during the **refractory period**.
- The channels have two gates:
  - **Activation gate**—closed at rest but opens quickly at threshold.
  - **Inactivation gate**—open at rest and closes at threshold; reopens 1–2 milliseconds later than the activation gate closes.
- Voltage-gated K<sup>+</sup> channels contribute to the refractory period by remaining open.
- Efflux of K<sup>+</sup> ions makes the membrane potential less negative than the resting potential for a brief period.
- After-hyperpolarization or undershoot: The dip in membrane potential after an action potential.



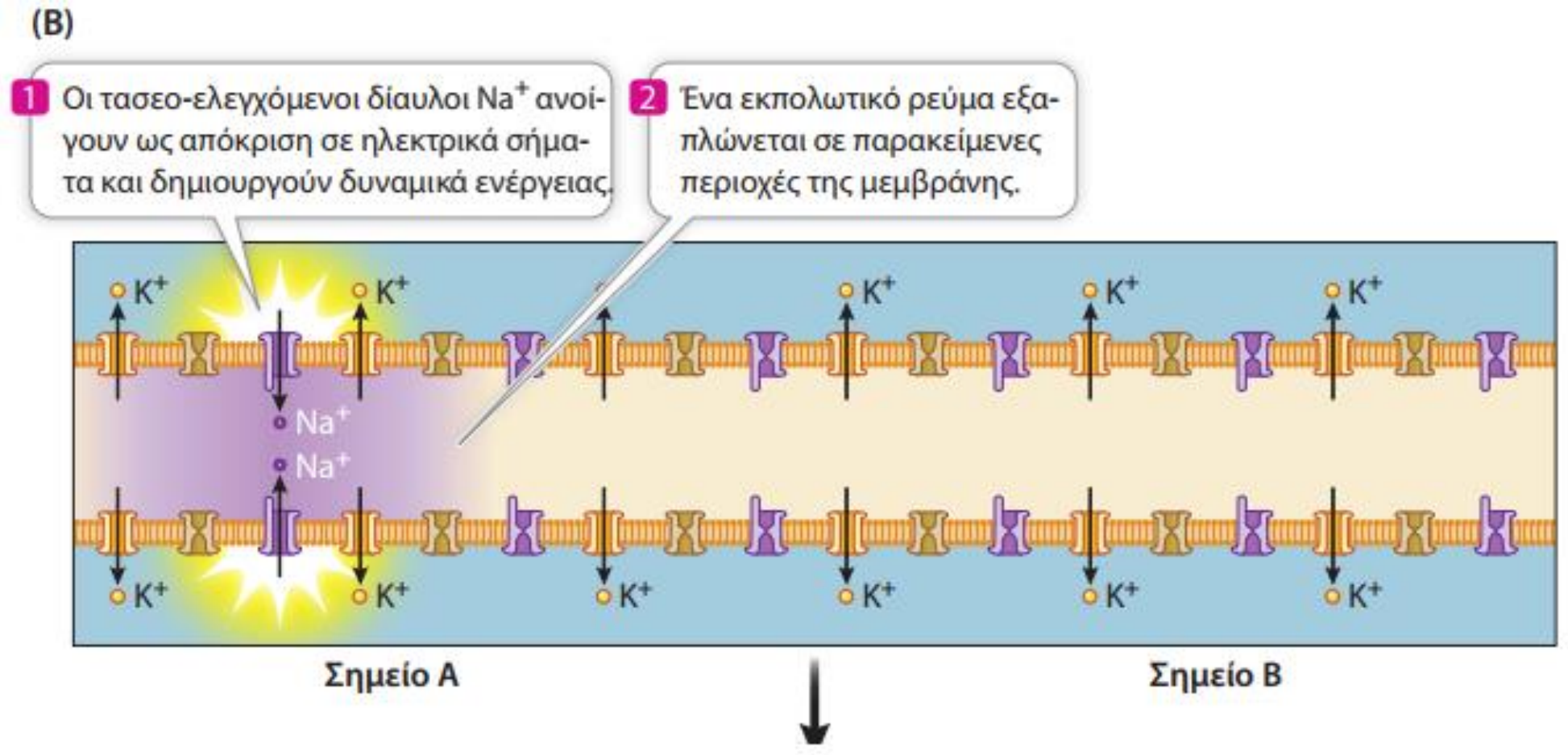
# Εικόνα 32.9 (Α) Τα Δυναμικά Ενέργειας Ταξιδεύουν Κατά Μήκος των Αξόνων

- Action potentials can travel over long distances with no loss of signal.
- An action potential is an all or-none event—positive feedback to voltage-gated Na<sup>+</sup> channels ensures the maximum action potential.
- An action potential is self regenerating because it spreads to adjacent membrane regions.



**Εικόνα 32.9** Τα Δυναμικά Ενέργειας Ταξιδεύουν Κατά Μήκος των Αξόνων

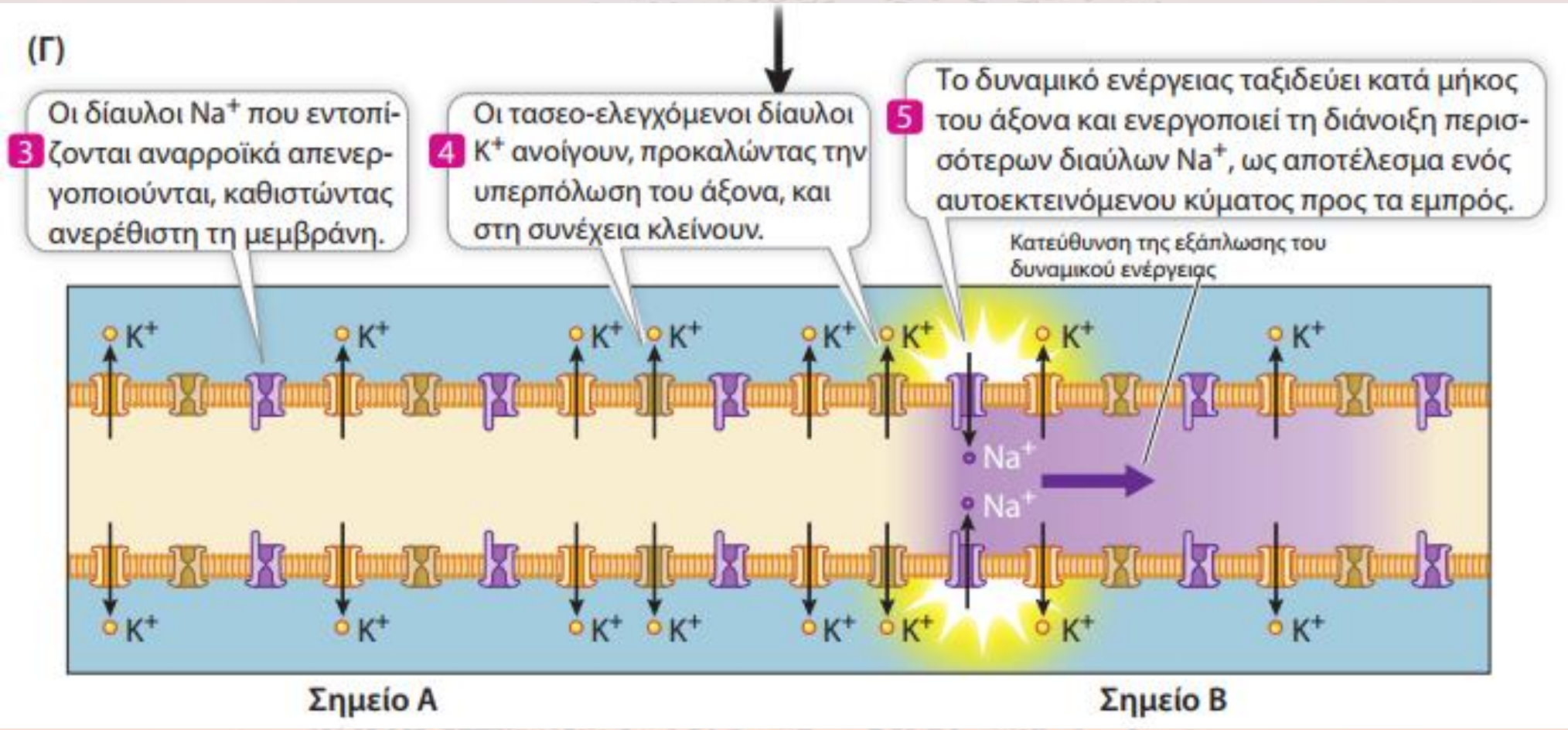
(Α) Δεν υπάρχει απώλεια της έντασης του σήματος καθώς το δυναμικό ενέργειας ταξιδεύει κατά μήκος ενός άξονα.



**Εικόνα 32.9** Τα Δυναμικά Ενέργειας Ταξιδεύουν Κατά Μήκος των Αξόνων

(B) Όταν σε μια περιοχή της μεμβράνης πυροδοτείται ένα δυναμικό ενέργειας, το ιοντικό ρεύμα ρέει προς τις παρακείμενες περιοχές της μεμβράνης και τις εκπολώνει.

### Εικόνα 32.9 (Γ) Τα Δυναμικά Ενέργειας Ταξιδεύουν Κατά Μήκος των Αξόνων



**Εικόνα 32.9 Τα Δυναμικά Ενέργειας Ταξιδεύουν Κατά Μήκος των Αξόνων**

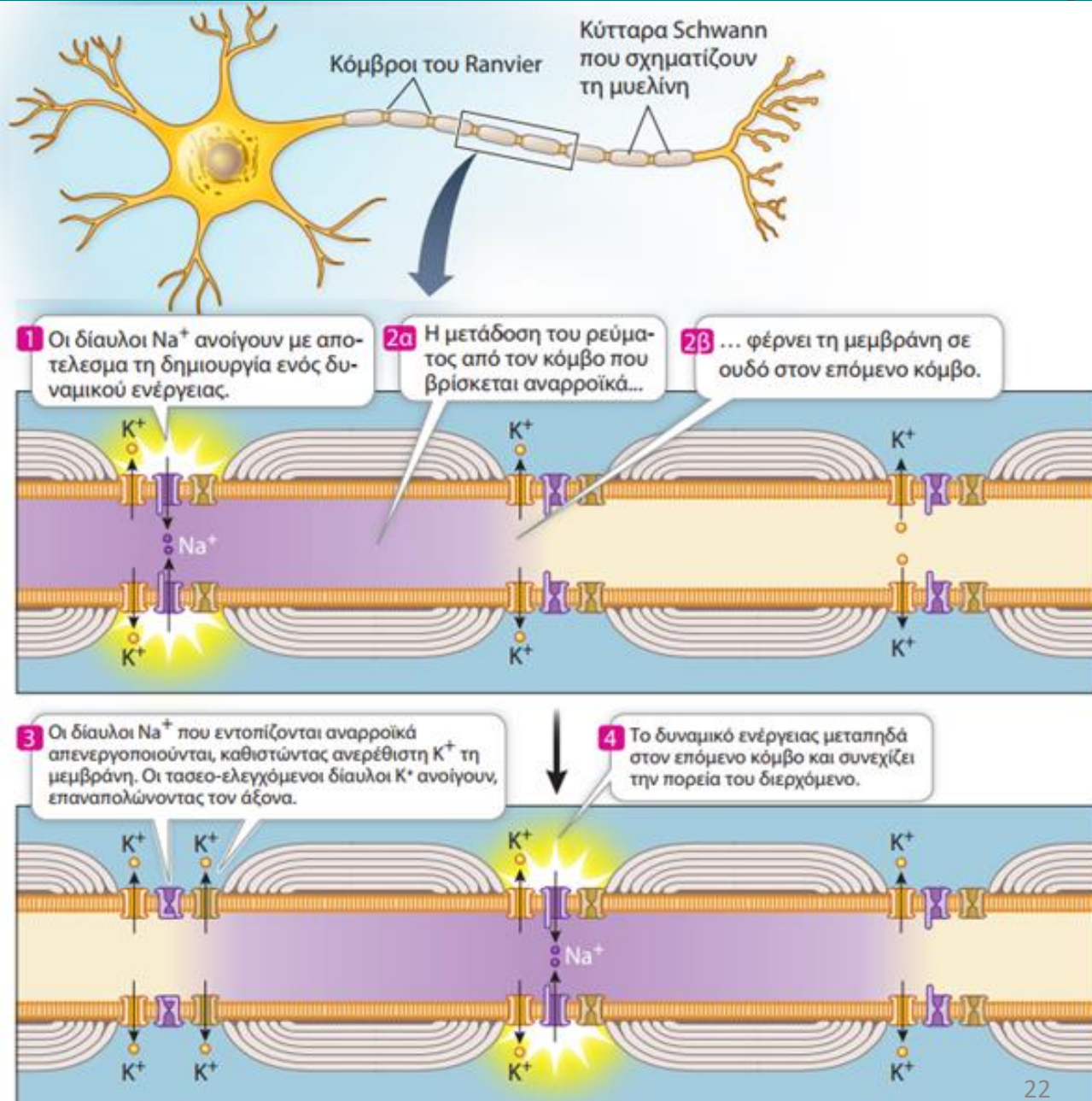
(Γ) Το κύμα εκπόλωσης εξαπλώνεται και προκαλεί τη διάνοιξη περισσότερων διαύλων  $\text{Na}^+$ , με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου δυναμικού ενέργειας σε παρακείμενο σημείο της μεμβράνης. Παράλληλα, οι διάυλοι  $\text{Na}^+$  είναι απενεργοποιημένοι στη ζώνη πυροδότησης του δυναμικού ενέργειας, ενώ οι διάυλοι  $\text{K}^+$  εξακολουθούν να είναι ανοιχτοί, καθιστώντας αυτό το τμήμα του άξονα ανίκανο να δημιουργήσει ένα δυναμικό ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, το δυναμικό ενέργειας δεν μπορεί να μετακινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση, αλλά κινείται προς τα εμπρός, αναγεννώντας συνεχώς τον εαυτό του.

### Εικόνα 32.10 Τα Δυναμικά Ενέργειας Άγονται «Κατά Άλματα»

- Action potentials travel faster in myelinated than in nonmyelinated axons.
- The nodes of Ranvier are regularly spaced gaps in the myelin along an axon.
- Action potentials are generated at the nodes and the positive current flows down the inside of the axon.
- When positive current reaches the next node, the membrane is depolarized— another axon potential is generated.
- Action potentials appear to jump from node to node, a form of propagation called saltatory conduction.

**Εικόνα 32.10** Τα Δυναμικά Ενέργειας Άγονται «Κατά Άλματα»

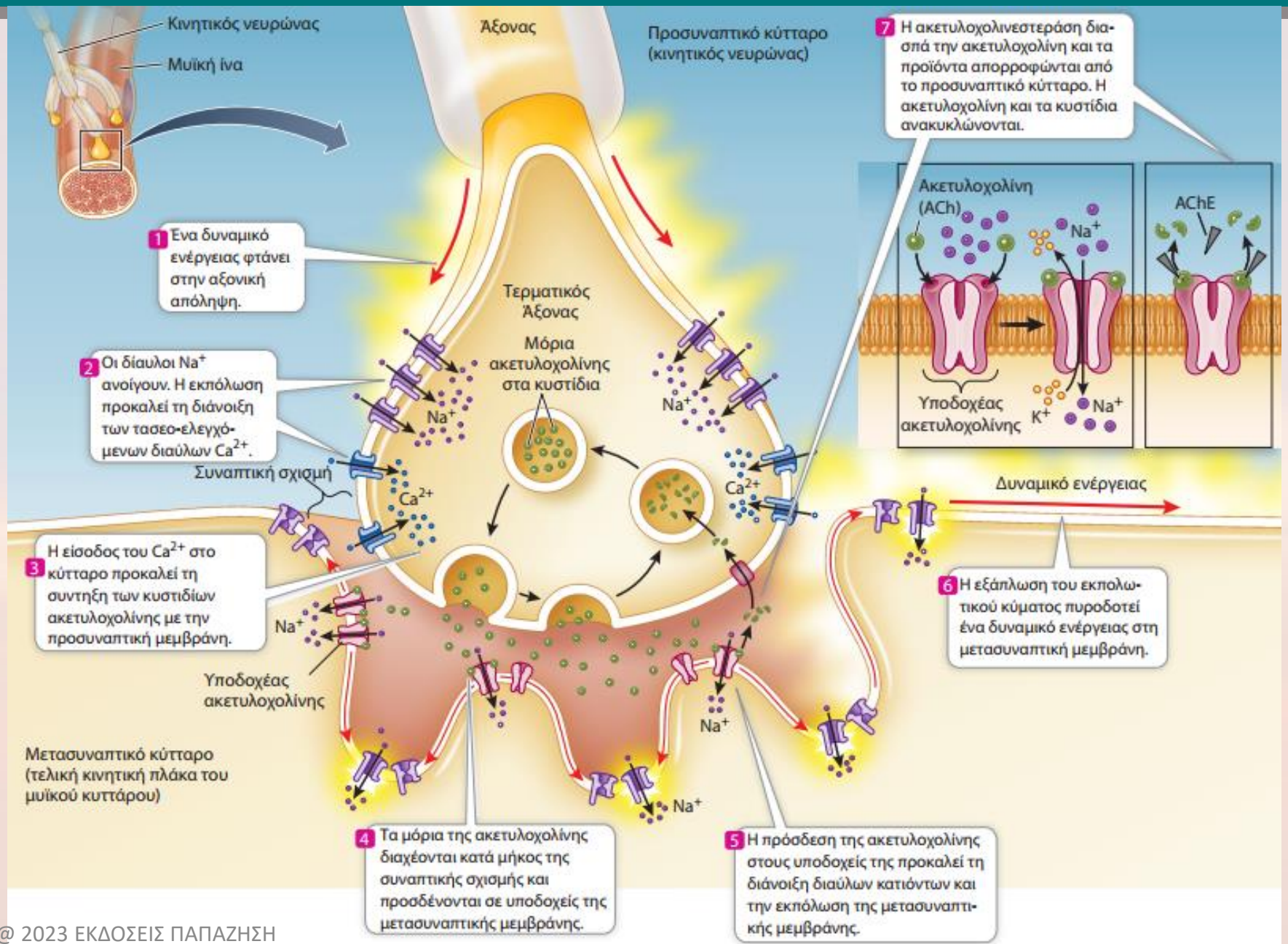
Σε εμύελους άξονες τα δυναμικά ενέργειας άγονται «κατά άλματα» από κόμβο σε κόμβο, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό ταχύτερη μετάδοση των πληροφοριών.



## 32.3 Neurons Communicate with Other Cells

- Neurons communicate with other neurons or target cells at synapses.
- **Electrical synapse:** Action potential spreads directly to the postsynaptic cell.
- **Chemical synapse:** Neurotransmitters from a presynaptic cell induce changes in membrane potential of a postsynaptic cell.
- **Neuromuscular junctions** are chemical synapses between motor neurons and skeletal muscle cells.
- **The neurotransmitter is acetylcholine (ACh).**
- ACh diffuses across the **synaptic cleft** to the **motor end plate** on the muscle cell.
- An action potential causes release of the neurotransmitter ACh when voltage-gated  $\text{Ca}^{2+}$  channels open and  $\text{Ca}^{2+}$  enters the axon terminal.
- Vesicles release ACh into the synaptic cleft by exocytosis.
- Hundreds of proteins are involved at the synapse. Some are targets for toxins. Botulinum and tetanus toxins from *Clostridium* bacteria act on proteins needed for docking of vesicles to the presynaptic membrane, resulting in diseases that are often fatal.
- ACh diffuses across the synaptic cleft and binds to receptors on the motor end plate.
- The receptors are chemically gated ion channels that allow  $\text{Na}^{+}$  and  $\text{K}^{+}$  to flow through.
- The increase in  $\text{Na}^{+}$  depolarizes the membrane.
- Synapses between motor neurons and muscle cells are excitatory. ACh always causes depolarization.
- Other synapses can be inhibitory if the postsynaptic response is hyperpolarization.
- A neuron has many synapses and may receive different chemical messages.

# Εικόνα 32.11 Η Συναπτική Διαβίβαση των Χημικών Συνάψεων Ξεκινάει με την Άφιξη ενός Δυναμικού Ενέργειας

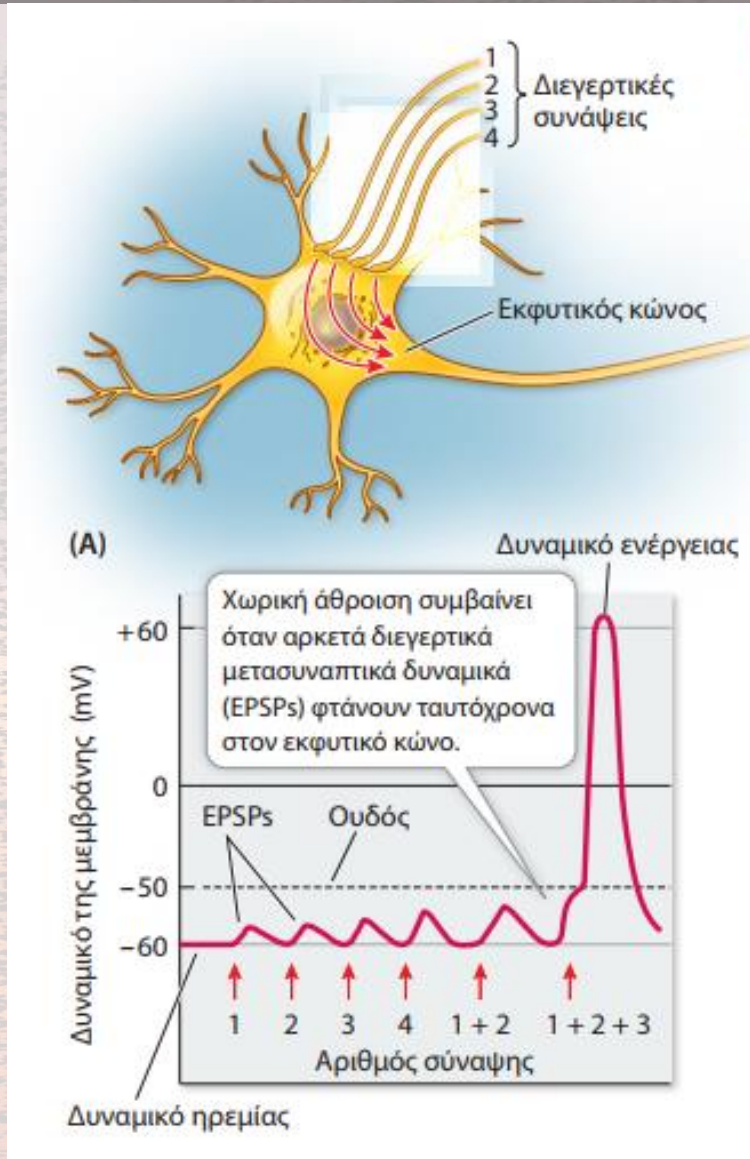




**Εικόνα 32.11** Η Συναπτική Διαβίβαση των Χημικών Συνάψεων Ξεκινάει με την Άφιξη ενός Δυναμικού Ενέργειας Η νευρομυϊκή σύναψη είναι μια τυπική χημική σύναψη. Τα γεγονότα που περιγράφονται εδώ είναι παρόμοια και για άλλους νευροδιαβιβαστές σε άλλες συνάψεις. Τόσο οι χημειο-ελεγχόμενοι όσο και οι τασεο-ελεγχόμενοι υποδοχείς ACh απαντώνται στην τελική κινητική πλάκα των μυϊκών κυττάρων. Αυτοί οι υποδοχείς, αν και αποτελούν μη εκλεκτικούς διαύλους κατιόντων, είναι περισσότερο διαπερατοί σε  $\text{Na}^+$  παρά σε  $\text{K}^+$  (ένθετο). Η πρόσδεση της ACh σε έναν χημειο-ελεγχόμενο υποδοχέα προκαλεί τη διάνοιξη του πόρου αυτού του διαύλου, και η επακόλουθη αύξηση της διαπερατότητάς σε  $\text{Na}^+$  έχει ως αποτέλεσμα την εκπόλωση της μετασυναπτικής μεμβράνης. Το εκπολωτικό κύμα εξαπλώνεται πέρα από την τελική κινητική πλάκα, ενεργοποιώντας με τον τρόπο αυτό τασεο-ελεγχόμενους διαύλους  $\text{Na}^+$  στη μεμβράνη των μυϊκών κυττάρων, η οποία εκπολώνεται, και πυροδοτείται ένα δυναμικό ενέργειας. Το ένζυμο ακετυλοχολινεστεράση (AChE) διασπά την ACh στη σύναψη, με αποτέλεσμα το κλείσιμο των χημειο-ελεγχόμενων διαύλων. Τα προϊόντα αυτής της διάσπασης (οξικό άλας και χολίνη) απορροφώνται από την προσυναπτική μεμβράνη και χρησιμοποιούνται για την εκ νέου σύνθεση περισσότερης ACh.

## Εικόνα 32.12 Ο Μετασυναπτικός Νευρώνας Αθροίζει τις Πληροφορίες

- Neurons have many dendrites that can form synapses with axons of other neurons.
- The mix of excitatory and inhibitory activity determines whether the graded membrane potential is more positive or more negative than resting.
- Summation of excitatory and inhibitory postsynaptic potentials is how the nervous system integrates information.
- Each neuron receives 1,000 or more synaptic inputs, but has only one output: an action potential in a single axon.
- For most neurons, summation takes place in the axon hillock, which is not insulated by glia and has many voltage-gated Na<sup>+</sup> channels.
- Postsynaptic potentials from synapses anywhere on the dendrites or the cell body spread to the axon hillock by local current flow.



**Εικόνα 32.12 Ο Μετασυναπτικός Νευρώνας Αθροίζει τις Πληροφορίες** Οι μεμονωμένοι νευρώνες μπορούν να αθροίσουν διεγερτικά και ανασταλτικά μετασυναπτικά δυναμικά στον χώρο (A) και στον χρόνο (B). Όταν η άθροιση των δυναμικών εκπολώσει τον εκφυτικό κώνο στην τιμή του ουδού, ο νευρώνας δημιουργεί ένα δυναμικό ενέργειας.

➤ The main neurotransmitters in the brain are amino acids:

- Glutamate—excitatory
- Glycine—inhibitory
- $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA)—inhibitory

Other neurotransmitters in the brain:

- Monoamines: such as dopamine, norepinephrine, and serotonin
- Peptides: endorphins and enkephalins— modulate pain
- Peptide: substance P—transmits pain sensations
- Nitric oxide—intercellular messenger

Each neurotransmitter has multiple receptor types. For example, ACh has two and can have different effects in different tissues:

- Nicotinic receptors are mainly excitatory.
- Muscarinic receptors tend to be inhibitory.

Neurotransmitters must be cleared from the synaptic cleft after release in order to stop their action:

### 1. Breakdown by enzymes

- ACh is destroyed by acetylcholinesterase (AChE).
- If AChE is inhibited, ACh stays in the synaptic cleft and causes spastic muscle paralysis and death.

Some nerve gases and insecticides inhibit AChE.

### 2. Neurotransmitters can simply diffuse away from the cleft, or be taken up by active transport by glial cell membranes.

- The antidepressant drug Prozac slows reuptake of the neurotransmitter serotonin, thus enhancing serotonin's activity at the synapse.

Many drugs affect synaptic interactions.

**Agonists** mimic or potentiate the effect of a neurotransmitter.

**Antagonists** block the actions of a neurotransmitter.

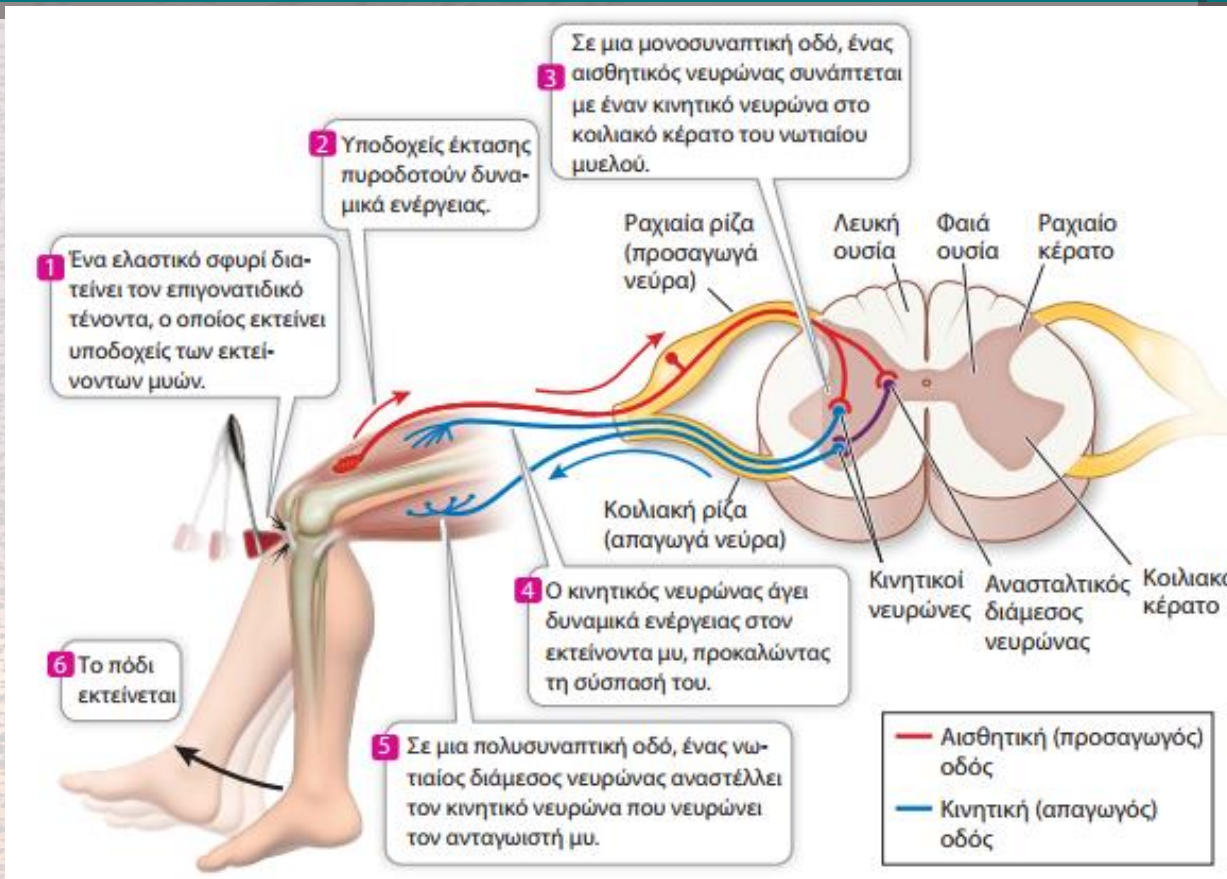
- Example: Morphine is an agonist at the endorphin receptor and blocks pain.

## 32.4 Neurons and Glia Form Information-Processing Circuits

- Neurons are organized into neural networks.
- **Afferent neurons** carry sensory information to the nervous system.
- Information comes from sensory cells that convert stimuli into action potentials.
- **Efferent neurons** carry commands to effectors such as muscles and glands.
- **Interneurons** integrate and store information and communicate between afferent and efferent neurons.
- More complex animals must process and integrate larger amounts of information.
- Neurons are organized into clusters called **ganglia**.
- In bilaterally symmetrical animals, the ganglia are often paired.
- Ganglia may be enlarged and fused at the anterior end to form a brain.



- In vertebrates, most cells of the nervous system are in the central nervous system (CNS; brain and spinal cord).
- Sensory and effector neurons and their supporting cells are the peripheral nervous system.
- Reflexes are autonomic—do not require conscious information processing.
- • Example: The knee-jerk reflex is a spinal reflex involving just a few neurons that connect in the spinal cord.
- In the nervous system, gray matter is rich in neural cell bodies; white matter contains myelinated axons.
- Afferent (sensory) axons in a spinal nerve enter the spinal cord through the dorsal root; efferent (motor) axons leave through the ventral root.



**Εικόνα 32.14** Ένα Νευρωνικό Δίκτυο στον Νωτιαίο Μυελό Ελέγχει το Αντανακλαστικό του Τινάγματος του Γονάτου

Η αισθητική (προσαγωγός) πληροφορία εισέρχεται στον νωτιαίο μυελό μέσω των ραχιαίων κεράτων, και η κινητική (απαγωγός) πληροφορία εξέρχεται μέσω των κοιλιακών κεράτων. Οι πληροφορίες ταξιδεύουν έως τον εγκέφαλο μέσω της λευκής ουσίας. Οι διάμεσοι νευρώνες σχηματίζουν συνδέσεις μέσα στον νωτιαίο μυελό, διαμορφώνοντας με τον τρόπο αυτό ένα σύνθετο και συντονισμένο πρότυπο συμπεριφοράς.

# Εικόνα 32.15 Ο Εγκέφαλος Διαφορετικών Ειδών Ποικίλλει σε Μέγεθος και Πολυπλοκότητα

**Εικόνα 32.15** Ο Εγκέφαλος Διαφορετικών Ειδών Ποικίλλει σε Μέγεθος και Πολυπλοκότητα. Οι εγκέφαλοι τεσσάρων ειδών σπονδυλωτών με παρόμοια σωματική μάζα, παρουσιάζουν τεράστιες διαφορές. Σημειώστε ότι το εγκεφαλικό στέλεχος, το οποίο εμπλέκεται στη φυσιολογική ρύθμιση και στη στερεοτυπική συμπεριφορά, διαφέρει λιγότερο ανάμεσα σε αυτά τα είδη, σε σχέση με τον τελεγκέφαλο, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την πολύπλοκη συμπεριφορά και τη μάθηση.

**Ε:** Ποια πιστεύετε ότι είναι η πιο καλά ανεπτυγμένη αισθητική συμπεριφορά στον χοίρο;

