

Μοριακή Φυσιολογία-Νευροβιολογία

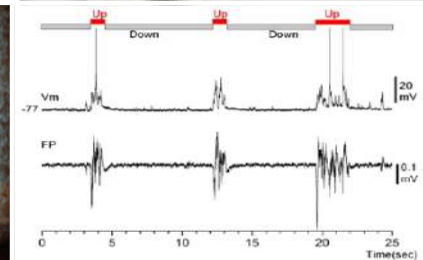
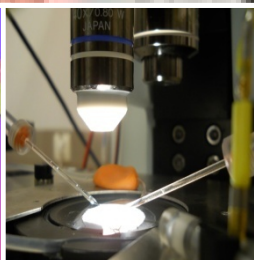
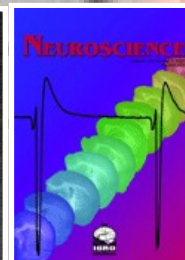
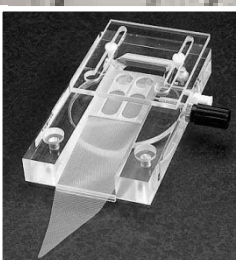
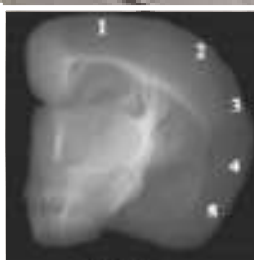
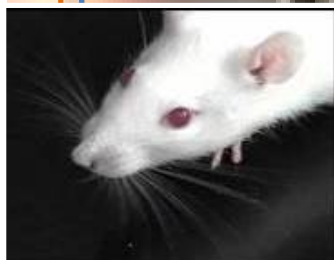
Μάθημα 6^ο (ΜΕΡΟΣ Α):
Εισαγωγή στην Ηλεκτροφυσιολογία (μέρος 3^ο)

Η δυναμική των συνάψεων

Η ηλεκτροφυσιολογία της πλασματικής μεμβράνης των νευρώνων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακό Σπουδών
Κατεύθυνση: Βιολογική Τεχνολογία
Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

Διδάσκων: Παύλος Ρήγας, PhD
Ακαδημαϊκός Υπότροφος 2018-2019 του Παν. Πατρών



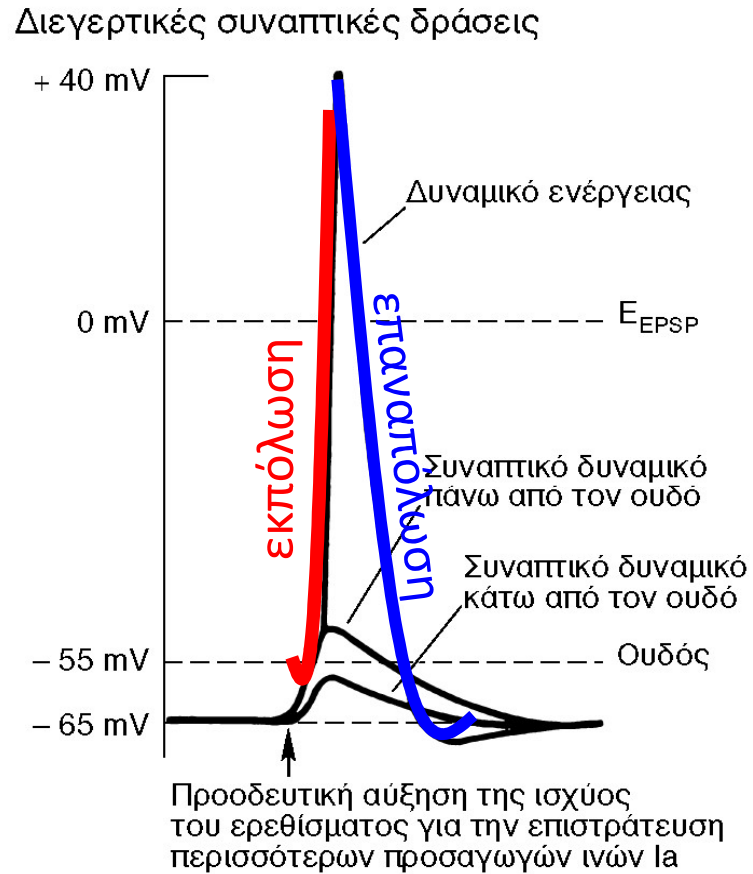
Περίγραμμα 6^{ου} μαθήματος

ΜΕΡΟΣ Α

- Νευροφυσιολογία της πλασματικής μεμβράνης των νευρώνων (συνέχεια):
 - Δυναμικό Ηρεμίας:
 - ✓ Η φυσιολογική σημασία του δυναμικού ηρεμίας
 - Δυναμικό ενέργειας του νευρικού κυττάρου
 - ✓ Τοπικά και μεταδιδόμενα σήματα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων
 - ✓ Κωδικοποίηση της αισθητικής & συναπτικής πληροφορίας μετασυναπτικά
 - Διαβαθμισμένα δυναμικά του νευρικού κυττάρου
 - ✓ Εκπολωτικά και Υπερπολωτικά ρεύματα
 - ✓ Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

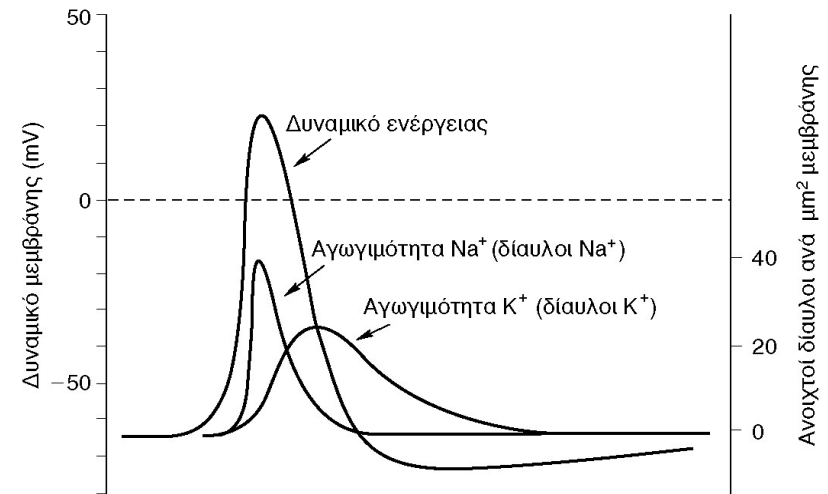
- το κύτταρο δαπανά ενέργεια για τη διατήρηση των ενδοκυττάρων συγκεντρώσεων των ιόντων K^+ και Na^+
- δηλαδή για τη διατήρηση του δυναμικού ηρεμίας του νευρώνα σε επαρκώς αρνητικά επίπεδα
- Η φυσιολογική τιμή του δυναμικού ισορροπίας είναι σημαντική για πολλές φυσιολογικές λειτουργίες:
 - Παράδειγμα 1: το δυναμικό ενέργειας
 - Παράδειγμα 2: η απορρόφηση γλυκόζης στο λεπτό έντερο

http://www.physiologyweb.com/lecture_notes/resting_membrane_potential/resting_membrane_potential_physiological_significance_of_the_membrane_potential.html



Εκπόλωση= Είσοδος Na^+ που ξεκινά @ -55mV (ρεύμα προς το κύτταρο)

Επαναπόλωση= Έξοδος K^+ που ξεκινά @ 0mV (ρεύμα από το κύτταρο)



Εικόνα 10-7 Το δυναμικό ενέργειας οφείλεται στο διαδοχικό άνοιγμα τασεοελεγχόμενων διαύλων Na^+ και K^+ .

Τασεοεξαρτώμενα Κανάλια

- Οι ελεγχόμενοι δίαυλοι (κανάλια) των ιόντων δεν είναι διαρκώς ανοιχτοί.
- Τα τασεοεξαρτώμενα κανάλια ιόντων Na^+ και K^+ , ανοίγουν ανάλογα με την διαφορά δυναμικού (*τάση*) της μεμβράνης του νευρικού κυττάρου.
- Όταν $V_m = -70\text{mV}$: κανάλια Na^+ και K^+ είναι κλειστά.
- Όταν $V_m = -55\text{mV}$ (κατώφλιο δυναμικό): κανάλια Na^+ ανοίγουν.
- Όταν $V_m > 0\text{mV}$: κανάλια K^+ ανοίγουν.

Ο ρόλος του δυναμικού ηρεμίας στη δημιουργία φυσιολογικού δυναμικού ενεργείας

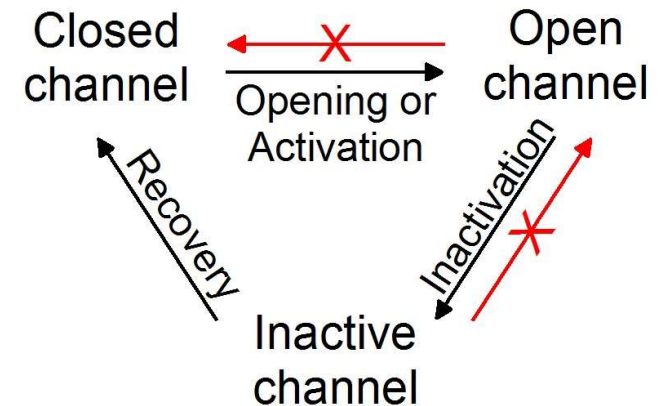
Η φυσιολογική σημασία του δυναμικού ηρεμίας

- Προκειμένου ένας νευρώνας ή ένα μυϊκό κύτταρο (γραμμωτών, καρδιακών και λείων μυών) να παράξει ένα δυναμικό ενέργειας, το δυναμικό της μεμβράνης θα πρέπει να εκπολωθεί από το δυναμικό ηρεμίας (~ -70mV) στο κατώφλιο δυναμικό (~-50mV). **Επειδή, στο κατώφλιο δυναμικό ενεργοποιούνται τα τάση-εξαρτώμενα κανάλια Na⁺ και K⁺.**

- Η φυσιολογική δημιουργία δυναμικών ενέργειας εξαρτάται από τη φυσιολογική τιμή του δυναμικού ηρεμίας:

- Τα τάση-εξαρτώμενα κανάλια Na⁺ των νευρώνων, των σκελετικών και των καρδιακών μυϊκών κυττάρων μετά το άνοιγμά τους εισέρχονται σε μια μη-αγώγιμη κατάσταση απενεργοποίησης (inactivation) και δεν μπορούν να ξανα-ανοίξουν αν πρώτα δεν από-απενεργοποιηθούν (de-inactivation)

- Η επαναφορά από την απενεργοποιημένη κατάσταση είναι **τάση-εξαρτώμενη**. Επομένως, η επιστροφή του δυναμικού της μεμβράνης στο δυναμικό ηρεμίας είναι καθοριστικής σημασίας για την επαναφορά αυτών των καναλιών στην ανοιχτή (κι επομένως λειτουργική κατάσταση).



© *PhysiologyWeb* at www.physiologyweb.com

Figure 4. Na⁺ channel activation, inactivation, and recovery from inactivation.

Neuronal voltage-gated Na⁺ channels can exist in one of three different conformations: closed state, open state, and inactive state. At the resting membrane potential, Na⁺ channels are closed (non-conducting; $p_{Na} = 0$). Membrane depolarization to the threshold voltage leads to the opening (activation) of voltage-gated Na⁺ channels (channels conduct ions; $p_{Na} > 0$). The channels then spontaneously enter an inactive state (non-conducting state; $p_{Na} = 0$). Recovery from inactivation is a time- and voltage-dependent process and takes about 3-5 ms. Channels in the open state do not directly return to the closed state without entering the inactive state first. Inactive channels cannot enter the open state without returning to the closed state first. Even though the channel does not conduct Na⁺ ions in either the closed or inactive state ($p_{Na} = 0$), the two states represent separate and distinct conformations of the channel.

http://www.physiologyweb.com/lecture_notes/resting_membrane_potential/resting_membrane_potential_physiological_significance_of_the_membrane_potential.html

- If due to a pathophysiological condition (such as elevated extracellular K^+ levels), **the resting membrane potential approaches the threshold potential for neuronal** and muscle voltage-gated Na^+ channels, the channels would enter the inactive state, from which they cannot recover.
- The consequence of this will be devastating for the organism in that neurons can no longer fire and cardiac myocytes can no longer contract to pump blood through the circulatory system.
- It should be clear that this situation will result in the death of the organism!

http://www.physiologyweb.com/lecture_notes/resting_membrane_potential/resting_membrane_potential_physiological_significance_of_the_membrane_potential.html

- Na^+ -coupled cotransporters use the energy stored in the electrochemical gradient of Na^+ to drive ions and molecules against an electrochemical or a concentration gradient across cell membranes.

Example: the Na^+ /glucose cotransporter (SGLT), which couples the simultaneous cotranslocation of 2 Na^+ ions and 1 glucose molecule across the apical membrane (i.e., brush border membrane) of epithelial cells in the small intestine (leading to **glucose absorption**) and kidney proximal tubules (leading to **glucose reabsorption**) (Fig. 1).

http://www.physiologyweb.com/lecture_notes/resting_membrane_potential/resting_membrane_potential_physiological_significance_of_the_membrane_potential.html

Ο ρόλος του δυναμικού της μεμβράνης στη λειτουργία δευτερογενών ενεργών μεταφορέων: απορρόφηση γλυκόζης

Η φυσιολογική σημασία του δυναμικού ηρεμίας

- In the small intestine, this process is essential for the **absorption** of glucose contained in ingested food across the wall of the small intestine. Once inside the cell, glucose leaves the cell down a concentration gradient via the activity of a facilitative glucose transporter (GLUT) present in the basolateral membrane. After transport across the wall of the small intestine, glucose enters the circulation via mucosal capillaries..

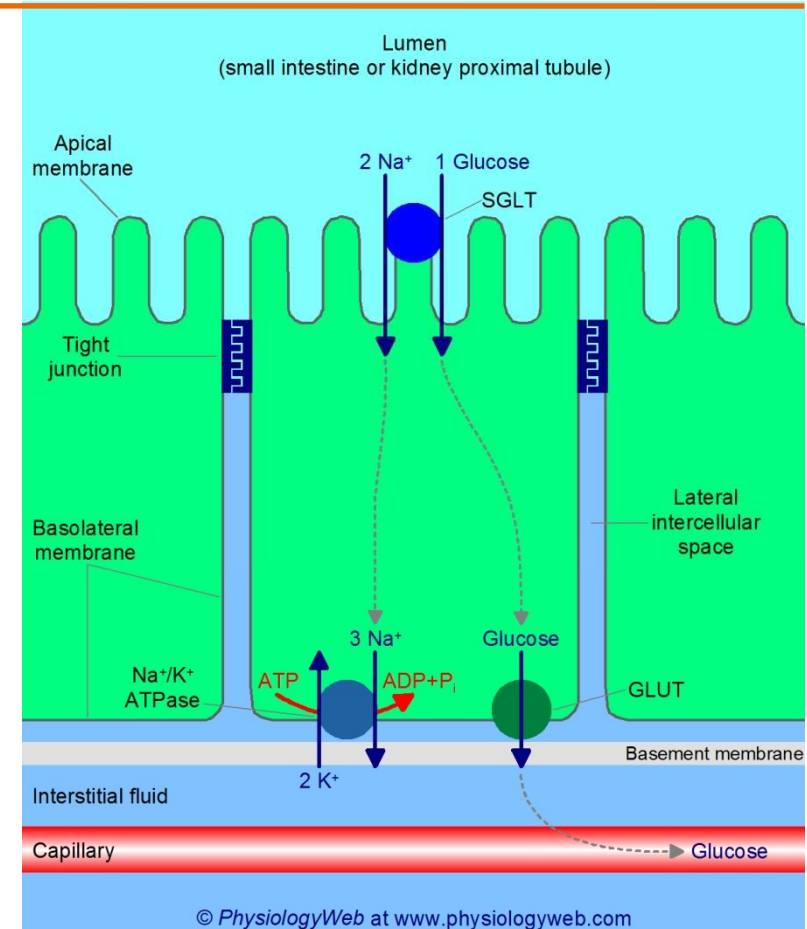
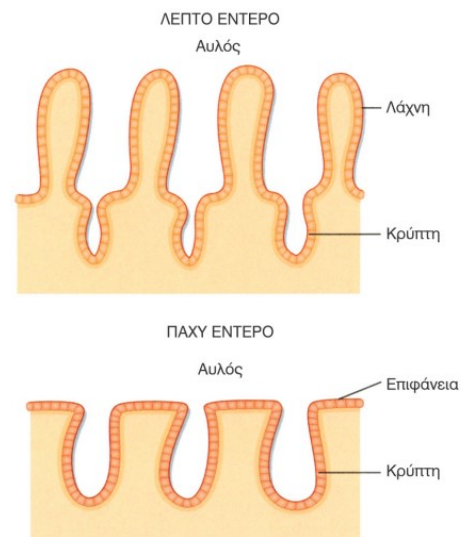


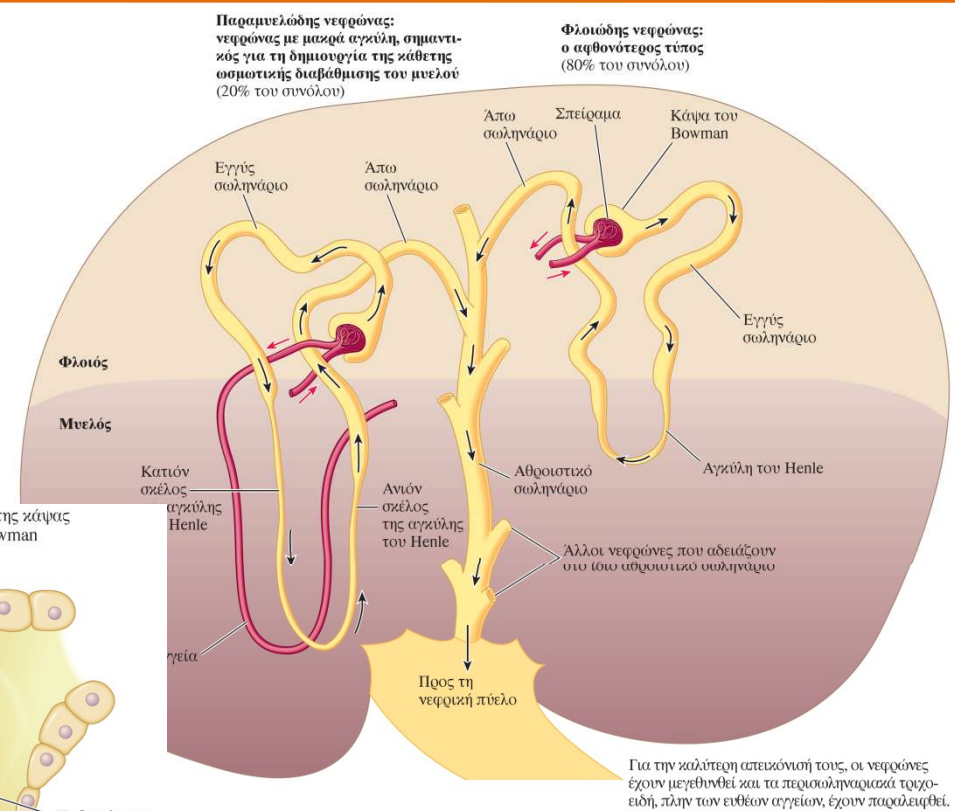
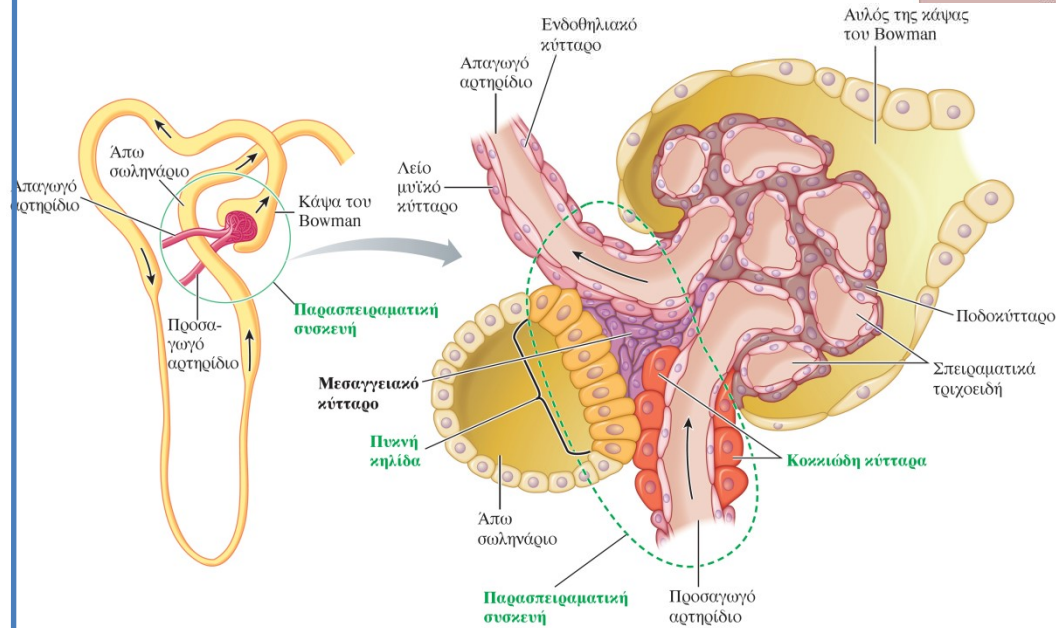
Figure 1. Transepithelial glucose transport in the small intestine and kidney proximal tubules.

Transport of glucose from the lumen across the apical membrane and into the cell is carried out by the Na⁺/glucose cotransporter (SGLT). SGLT is a secondary active transporter and, thus, couples the downhill movement of Na⁺ down its electrochemical gradient to the uphill movement of glucose against a concentration gradient. Transport of glucose out of the cell across the basolateral membrane is carried out by the facilitative glucose transporter GLUT

Ο ρόλος του δυναμικού της μεμβράνης στη λειτουργία δευτερογενών ενεργών μεταφορέων: επαναρρόφηση γλυκόζης

Η φυσιολογική σημασία του δυναμικού ηρεμίας

•In the kidneys, glucose is filtered out of the glomerular capillaries to enter the Bowman's space and later the lumen of the proximal tubule. In healthy individuals, all of the glucose present within the lumen of the proximal tubule is **reabsorbed** across the wall of the proximal tubule. Reabsorbed glucose then enters the peritubular capillaries to reenter the circulation.



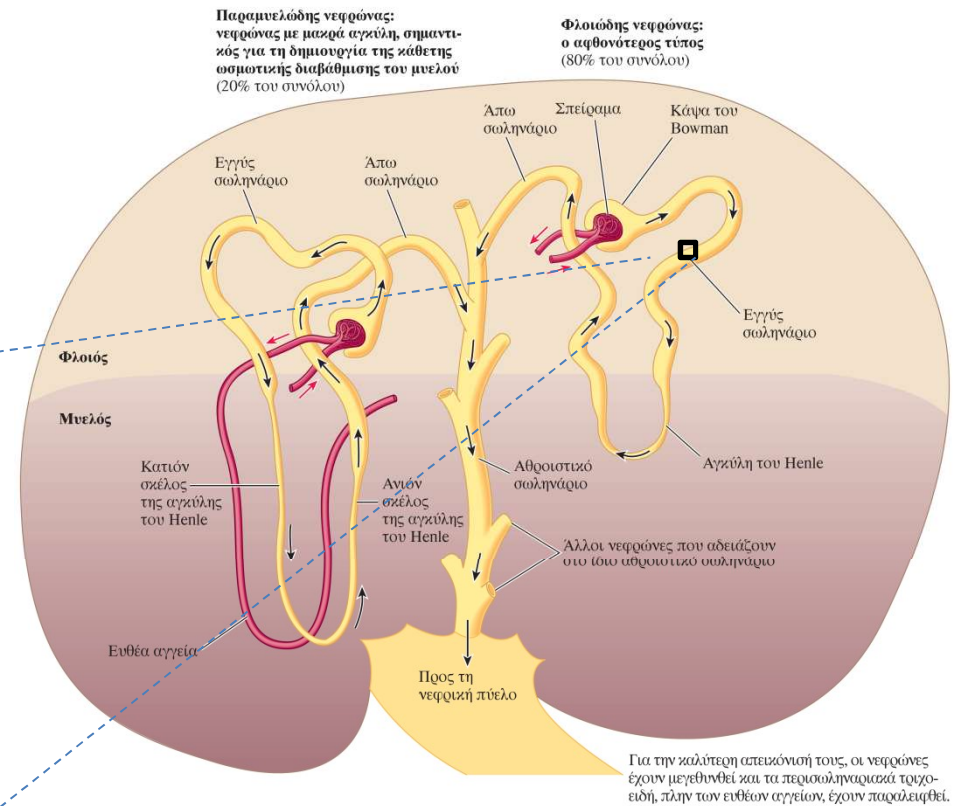
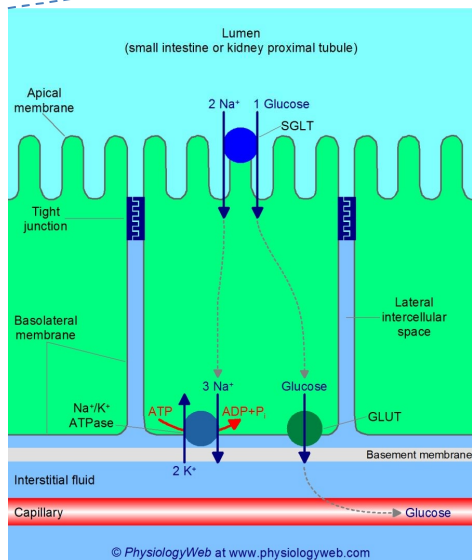
Για την καλύτερη απεικόνισή τους, οι νεφρόνες έχουν μεγεθυνθεί και τα περισοληναριακά τριχοειδή, πλην των ευθέων αρτηρίων, έχουν παραλειφθεί.

Εισαγωγή στη φυσιολογία του ανθρώπου
Lauralee Sherwood

Ο ρόλος του δυναμικού της μεμβράνης στη λειτουργία δευτερογενών ενεργών μεταφορέων: επαναρρόφηση γλυκόζης

Η φυσιολογική σημασία του δυναμικού ηρεμίας

•In the kidneys, glucose is filtered out of the glomerular capillaries to enter the Bowman's space and later the lumen of the proximal tubule. In healthy individuals, all of the glucose present within the lumen of the proximal tubule is **reabsorbed** across the wall of the proximal tubule. Reabsorbed glucose then enters the peritubular capillaries to reenter the circulation.



Εισαγωγή στη φυσιολογία του ανθρώπου
Lauralee Sherwood

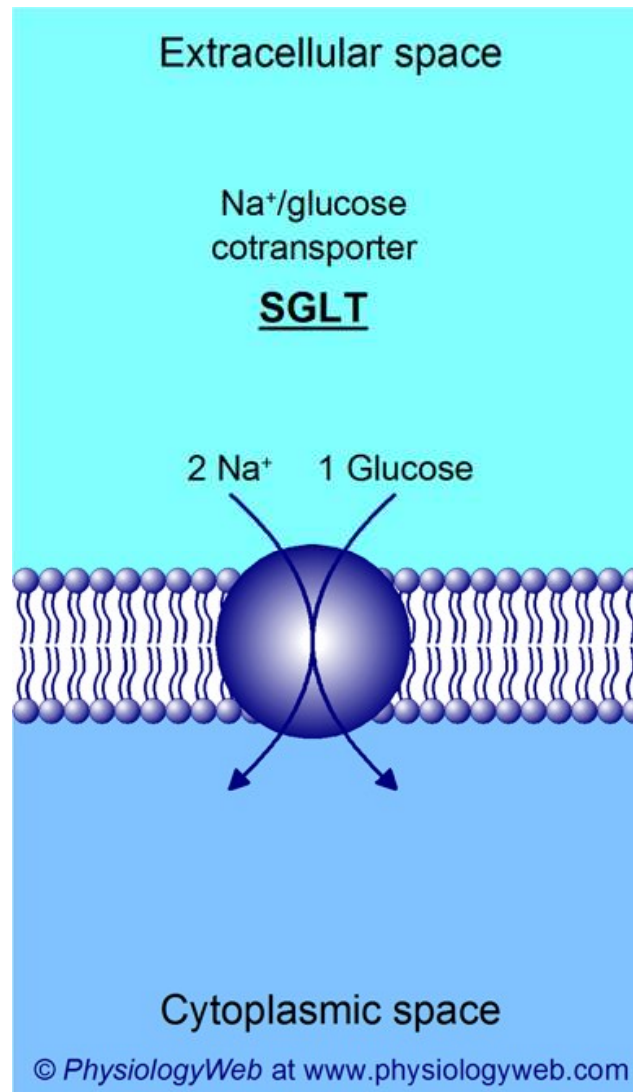


Figure 2. Ion/substrate coupling stoichiometry of the Na⁺/glucose cotransporter (SGLT).

For every cycle of its transport, the Na⁺/glucose cotransporter (SGLT) translocates 2 Na⁺ ions and 1 glucose molecule across the plasma membrane. Because net charge is translocated across the plasma membrane during the transport cycle, the process is electrogenic and, thus, sensitive to the voltage difference across the plasma membrane (see text for additional details). SGLT is found in the apical membrane (i.e., brush border membrane) of epithelial cells in the small intestine and kidney proximal tubules (see Fig. 1).

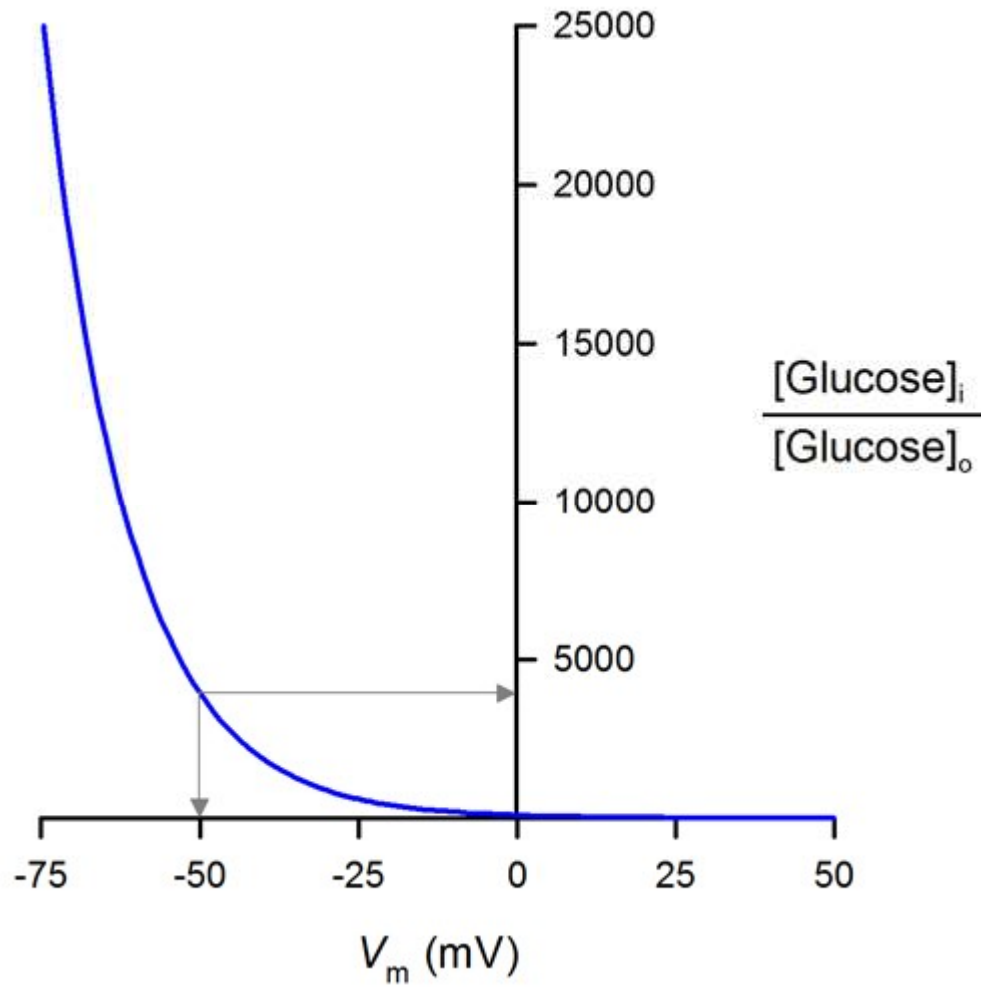
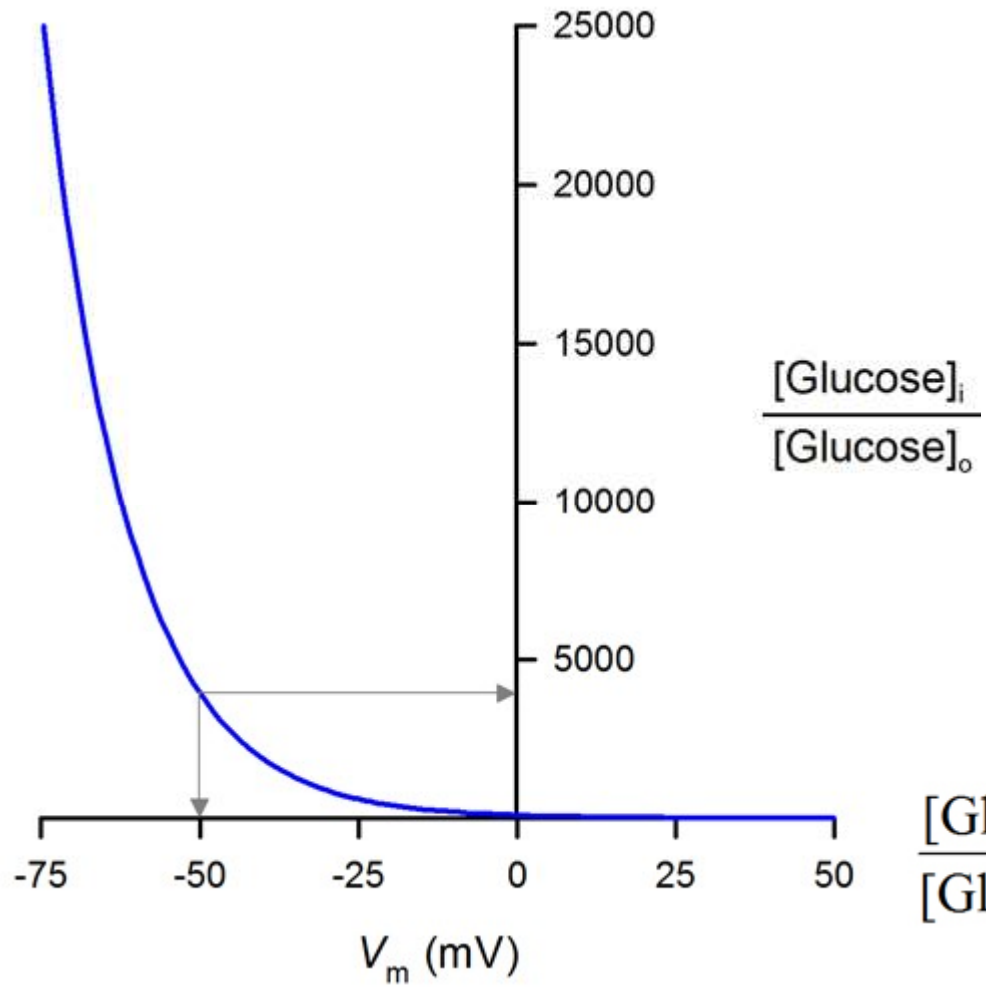


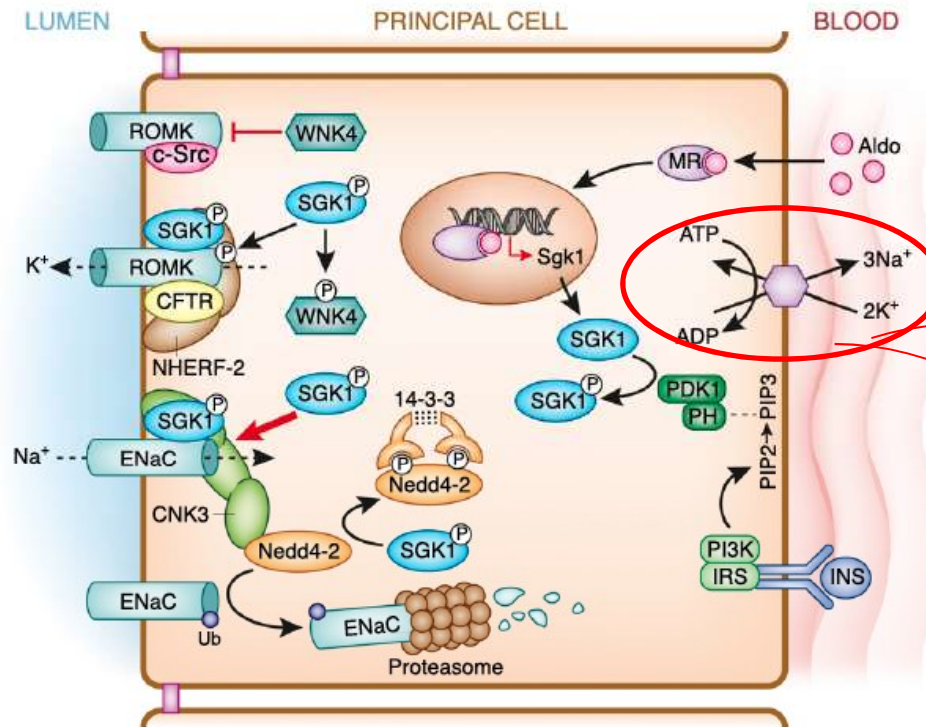
Figure 3. Graphical representation of the effect of the membrane potential (V_m) on concentrative capacity of the Na⁺/glucose cotransporter (SGLT).

The effect of the membrane potential (V_m) is shown on the concentrative capacity of the Na⁺/glucose cotransporter (SGLT). The concentrative capacity of SGLT is shown as the ratio of the intracellular to extracellular glucose concentration (see Equation 2). The higher this ratio, the greater is the concentrative capacity of the transporter. **Concentrative capacity increases exponentially as the membrane potential becomes more negative.** At a typical membrane potential of -50 mV, SGLT can accumulate glucose inside the cell to a level approximately 4,000 times higher than the extracellular concentration of glucose. To generate this plot, normal physiological values were used: $T = 37\text{ }^\circ\text{C} + 273 = 310\text{ K}$, $[Na^+]_o = 145\text{ mM}$, and $[Na^+]_i = 15\text{ mM}$. Standard values were used for R and F (see [fundamental physical constants](#)).



It can be seen in Fig. 3 that the membrane potential provides significant free energy for glucose accumulation inside epithelial cells of the small intestine and kidney proximal tubules. For a typical cell with the resting membrane potential of -50 mV, the ratio of intracellular to extracellular glucose concentration is approximately 4,000. That is to say that SGLT can concentrate glucose inside the cell to a level approximately 4,000 times higher than the concentration outside the cell. Clearly, this represents active transport of glucose into the cell. Specifically, this is Na⁺-coupled secondary active transport because secondary active transporters use the energy stored in ion gradients and not through the hydrolysis of ATP as utilized by primary active transporters. In the small intestine, this has physiological significance for glucose absorption from food within the lumen of the small intestine. In the kidney proximal tubules, this contributes to complete glucose removal from the lumen before the ultrafiltrate moves beyond the proximal tubules (to enter the loop of Henle).

$$\frac{[Glucose]_i}{[Glucose]_o} = \left(\frac{[Na^+]_o^2}{[Na^+]_i^2} \right) \times e^{-\left(\frac{2V_m F}{RT} \right)}$$



Pearce et al. 2015

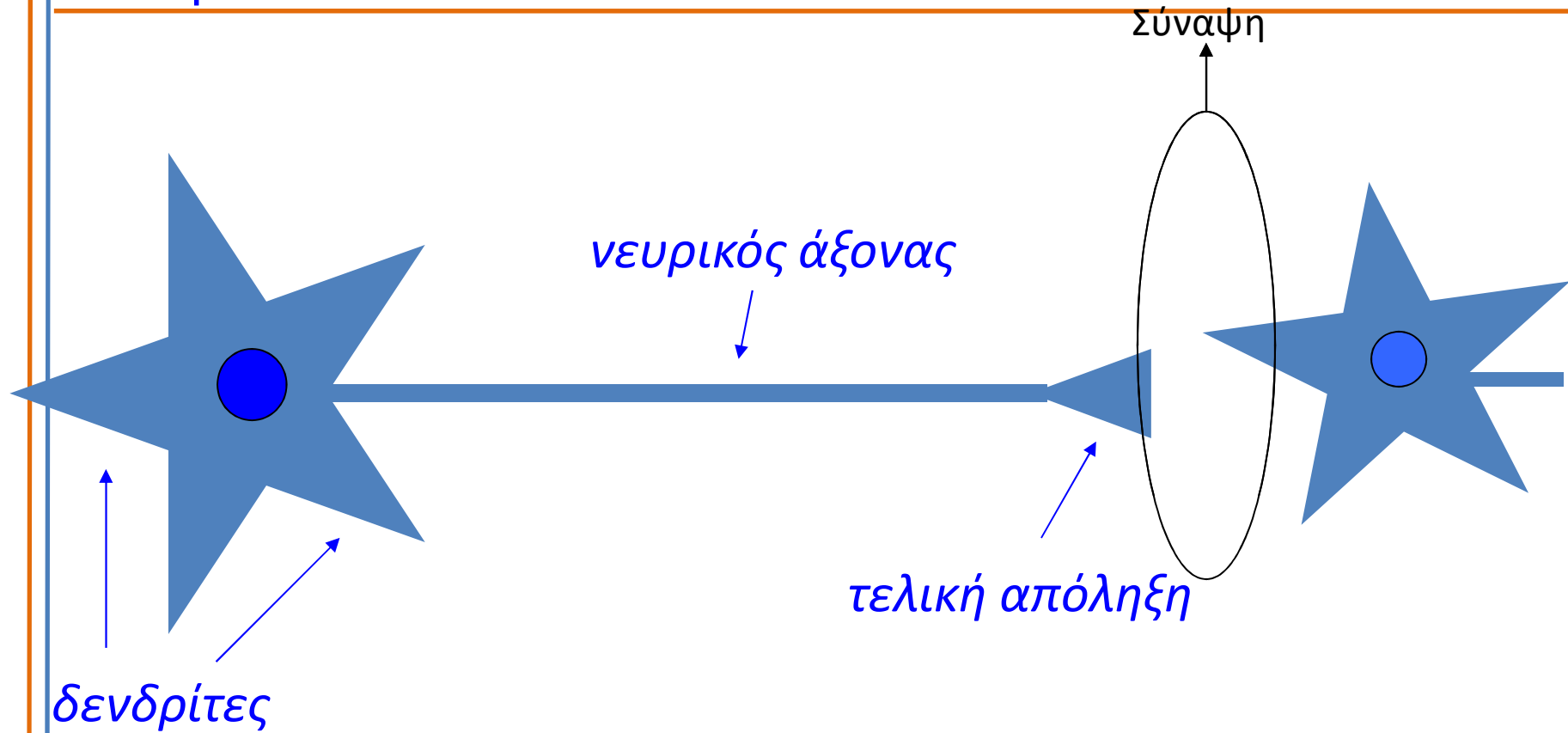
$$\frac{[\text{Glucose}]_i}{[\text{Glucose}]_o} = \left(\frac{[\text{Na}^+]_o^2}{[\text{Na}^+]_i^2} \right) \times e^{-\left(\frac{2V_m F}{RT} \right)}$$

Περίγραμμα 6^{ου} μαθήματος

ΜΕΡΟΣ Α

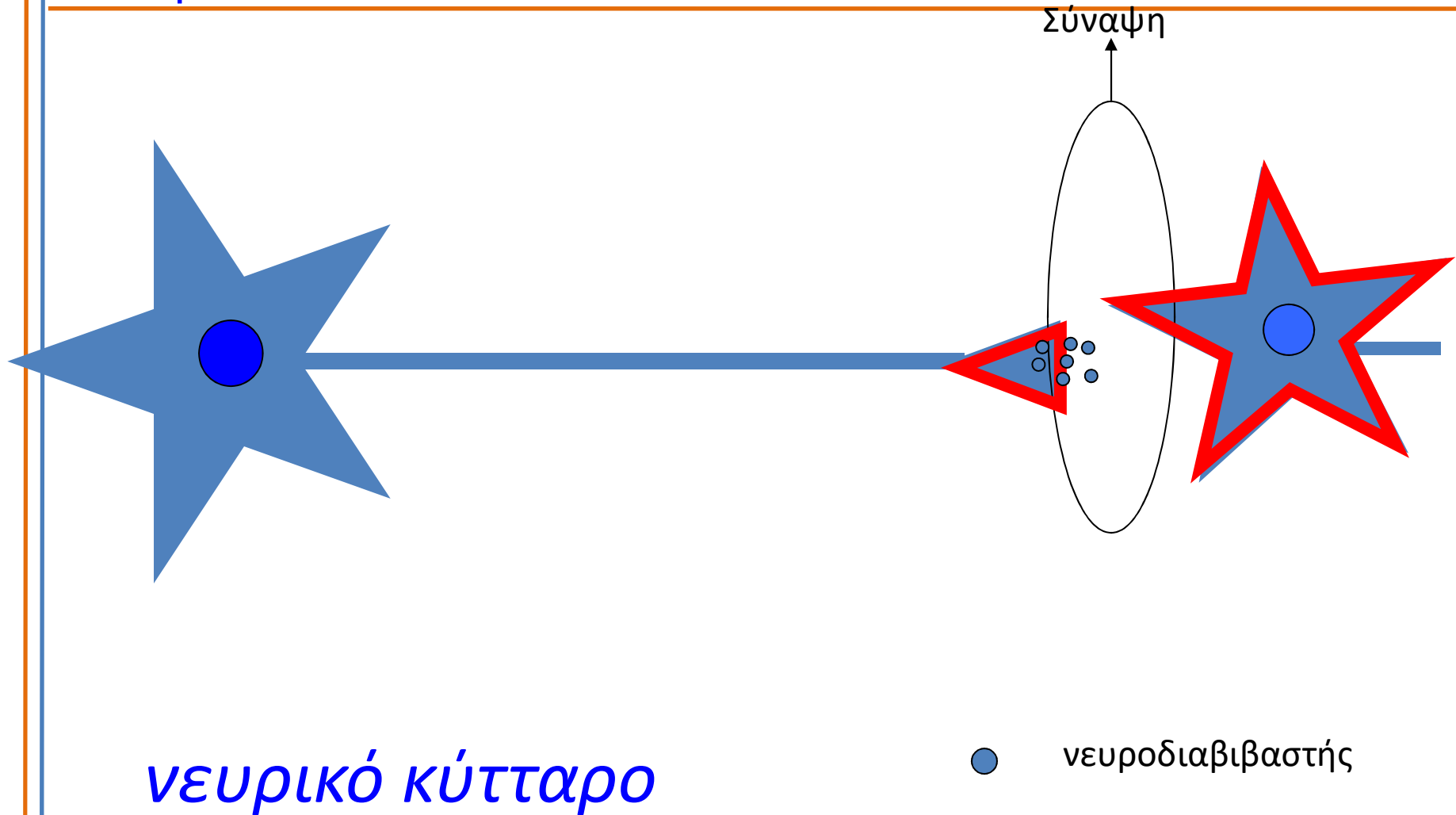
- Νευροφυσιολογία της πλασματικής μεμβράνης των νευρώνων (συνέχεια):
 - Δυναμικό Ηρεμίας:
 - ✓ Η φυσιολογική σημασία του δυναμικού ηρεμίας
 - Δυναμικό ενέργειας του νευρικού κυττάρου
 - ✓ Τοπικά και μεταδιδόμενα σήματα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων
 - ✓ Κωδικοποίηση της αισθητικής & συναπτικής πληροφορίας μετασυναπτικά
 - Διαβαθμισμένα δυναμικά του νευρικού κυττάρου
 - ✓ Εκπολωτικά και Υπερπολωτικά ρεύματα
 - ✓ Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

Τοπικά και μεταδιδόμενα σήματα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων



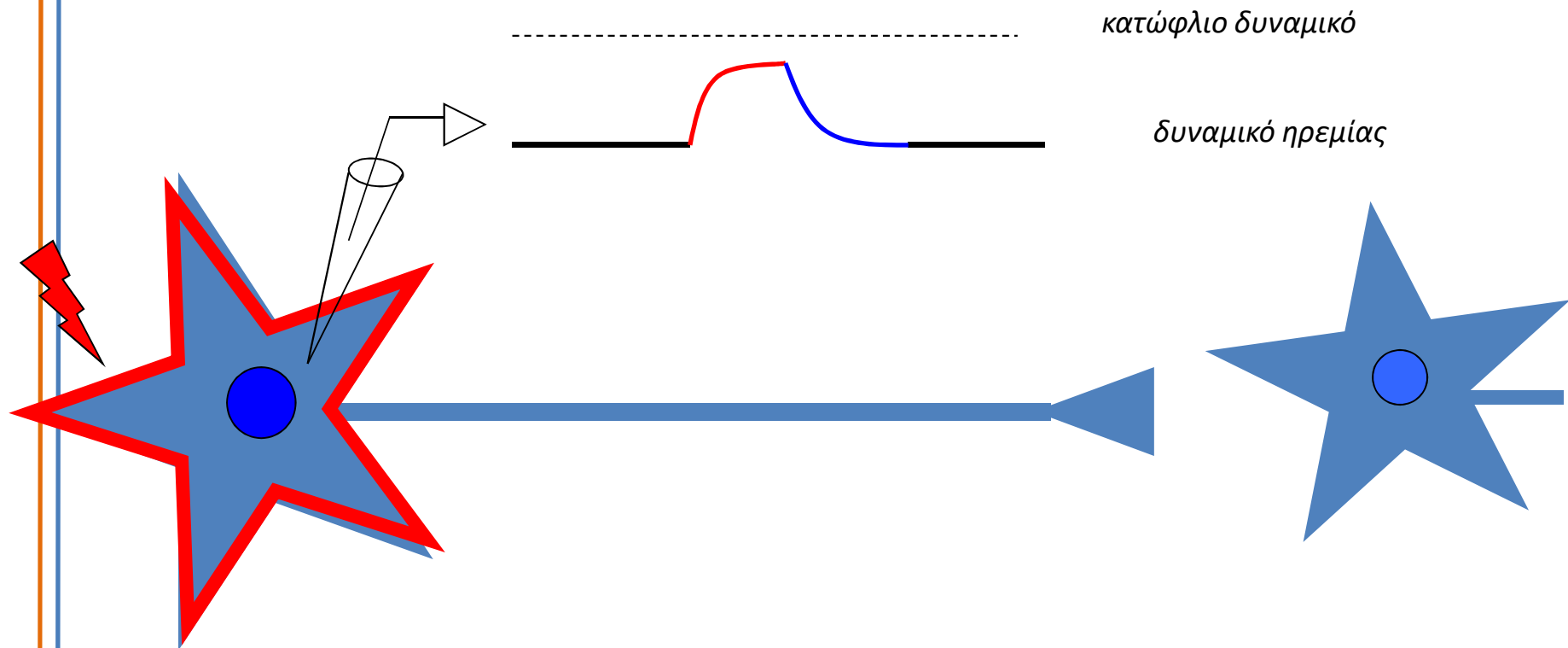
νευρικό κύτταρο

Τοπικά και μεταδιδόμενα σήματα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων



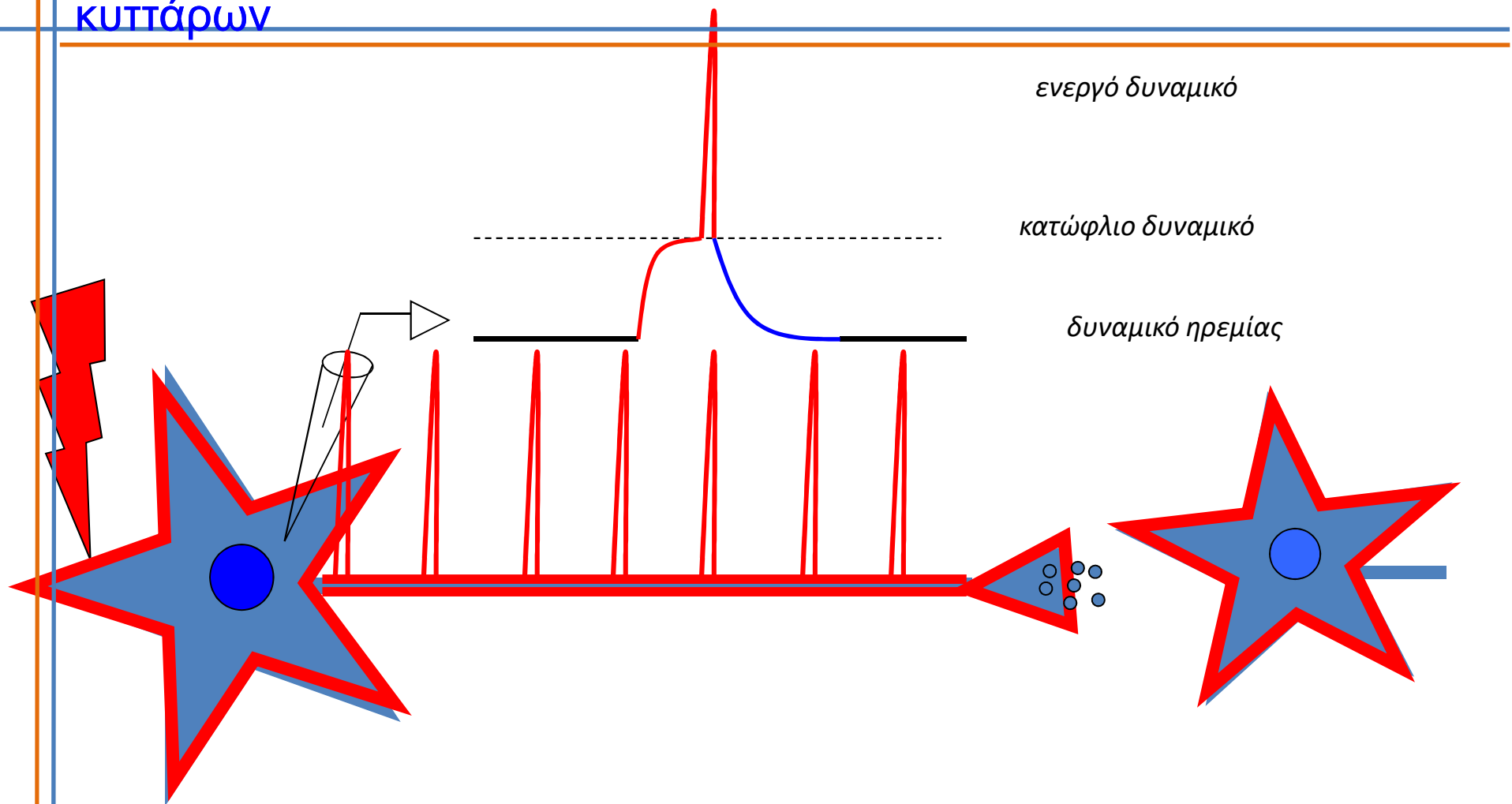
νευρικό κύτταρο

Τοπικά και μεταδιδόμενα σήματα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων



1. Μικρό ερέθισμα-Υποκατώφλια Εκπόλωση

Τοπικά και μεταδιδόμενα σήματα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων



2. Μεγάλο ερέθισμα-Υπερκατώφλια Εκπόλωση

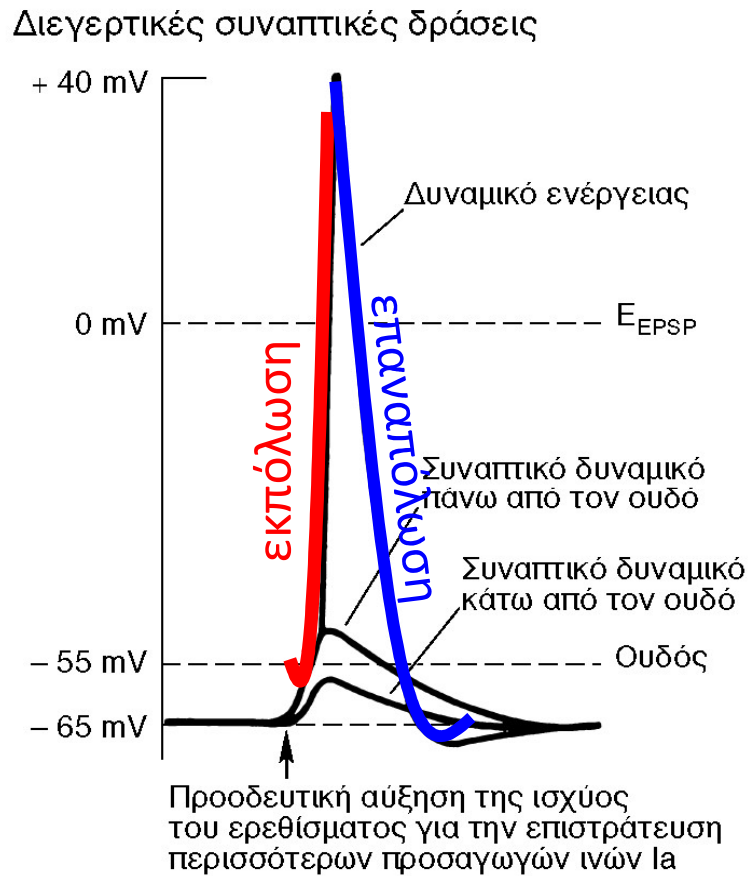
Τοπικά και Μεταδιδόμενα σήματα στη μεμβράνη των νευρικών κυττάρων

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>					
Δυναμικά υποδοχέα	Μικρό (0,1–10 mV)	Μικρή (5–100 ms)	Διαβαθμισμένη	Υπερπόλωση ή εκπόλωση	Παθητική
Συναπτικά δυναμικά	Μικρό (0,1–10 mV)	Μικρή έως μεγάλη (5 ms–20 min)	Διαβαθμισμένη	Υπερπόλωση ή εκπόλωση	Παθητική
<i>Μεταδιδόμενα σήματα</i>					
Δυναμικά ενέργειας	Μεγάλο (70–110 mV)	Μικρή (1–10 ms)	Όλον ή ουδέν	Εκπόλωση	Ενεργητική

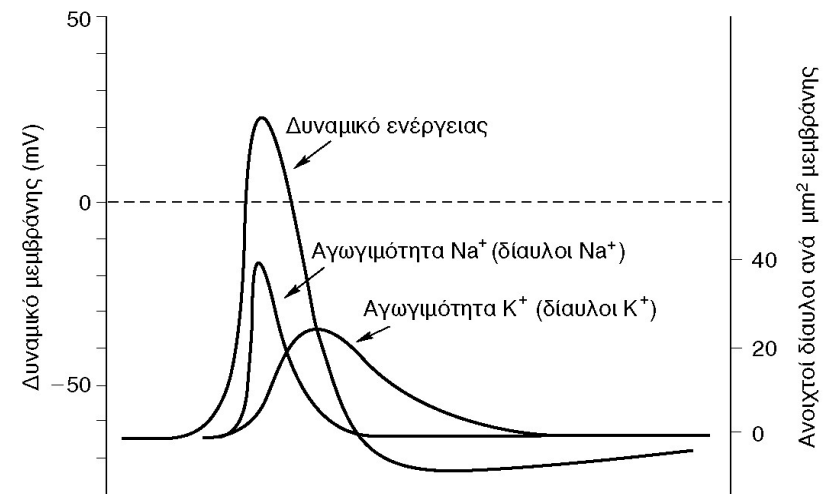
Κεφ.2. Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)

Το δυναμικό ενέργειας



Εκπόλωση= Είσοδος Na^+ που ξεκινά @ $-55mV$ (ρεύμα προς το κύτταρο)

Επαναπόλωση= Έξοδος K^+ που ξεκινά @ $0mV$ (ρεύμα από το κύτταρο)



Εικόνα 10-7 Το δυναμικό ενέργειας οφείλεται στο διαδοχικό άνοιγμα τασεοελεγχόμενων διαύλων Na^+ και K^+ .

Περίγραμμα 5^{ου} μαθήματος

- Νευροφυσιολογία της πλασματικής μεμβράνης των νευρώνων (συνέχεια):
 - Δυναμικό ενέργειας του νευρικού κυττάρου
 - ✓ Τοπικά και μεταδιδόμενα σήματα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων
 - ✓ Κωδικοποίηση της αισθητικής & συναπτικής πληροφορίας μετασυναπτικά
 - Διαβαθμισμένα δυναμικά του νευρικού κυττάρου
 - ✓ Εκπολωτικά και Υπερπολωτικά ρεύματα
 - ✓ Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

Τοπικά και Μεταδιδόμενα σήματα στη μεμβράνη των νευρικών κυττάρων

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

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

Στερεότυπο Φαινόμενο

Κεφ.2. Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)

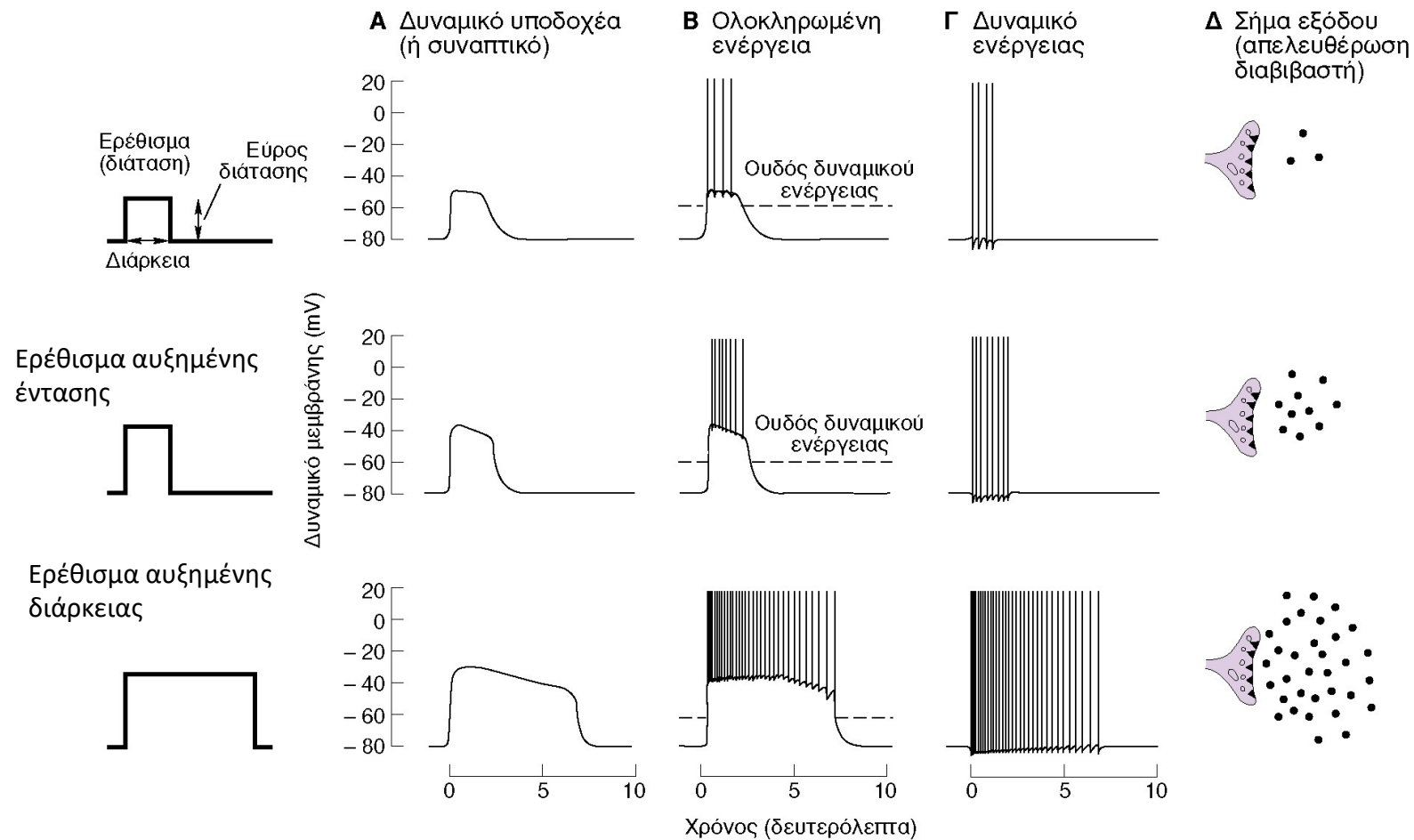
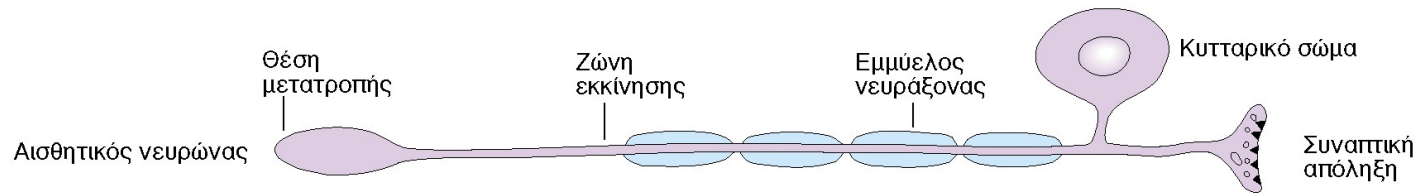
Κωδικοποίηση της αισθητικής & συναπτικής πληροφορίας μετασυναπτικά



Εικόνα 2-11 Edgar Douglas Adrian (1889-1977).

Ο Adrian ήταν ο πρώτος **κυτταρο-νευροφυσιολόγος**. Γεννήθηκε στο Λονδίνο και σπούδασε ιατρική στο Trinity College του Καίμπριτζ, έγινε εσωτερικός γιατρός στο National Hospital for Nervous Diseases στο Queens Square του Λονδίνου και κατόπιν στρατιωτικός γιατρός κατά τη διάρκεια του Πρώτου Παγκόσμιου Πολέμου. Μετά τον πόλεμο επέστρεψε στο Καίμπριτζ και στην έρευνα. Η πρώτη του ανακάλυψη ήταν ότι οι νευρικές ώσεις μεταδίδονται με τη μορφή *όλον ή ουδέν* (1925). Στη συνέχεια, ανέπτυξε τεχνικές αποκάλυψης και καταγραφής από μεμονωμένες αισθητικές ίνες. Αυτό τον οδήγησε να ανακαλύψει ότι υπάρχει μια απλή σχέση μεταξύ αισθητικότητας και συχνότητας ώσεων σε έναν επιμέρους αισθητικό νευρώνα (1928): «Η απλότητα της σχέσης είναι ταυτόχρονα πολύ φυσική και πολύ εντυπωσιακή. Σημαίνει ότι το μυαλό μας δέχεται όλες τις δυνατές πληροφορίες από τα μηνύματα των υποδοχέων που είναι συνδεδεμένοι με αυτό, αλλά σημαίνει επίσης ότι το νοητικό αντίστοιχο είναι πολύ πιστό αντίγραφο των φυσικών γεγονότων στα αισθητικά νεύρα». Αργότερα, πραγματοποίησε καταγραφές από μεμονωμένες κινητικές ίνες. Το 1932, ο Adrian τιμήθηκε, από κοινού με τον Charles Sherrington, με το βραβείο Νόμπελ.

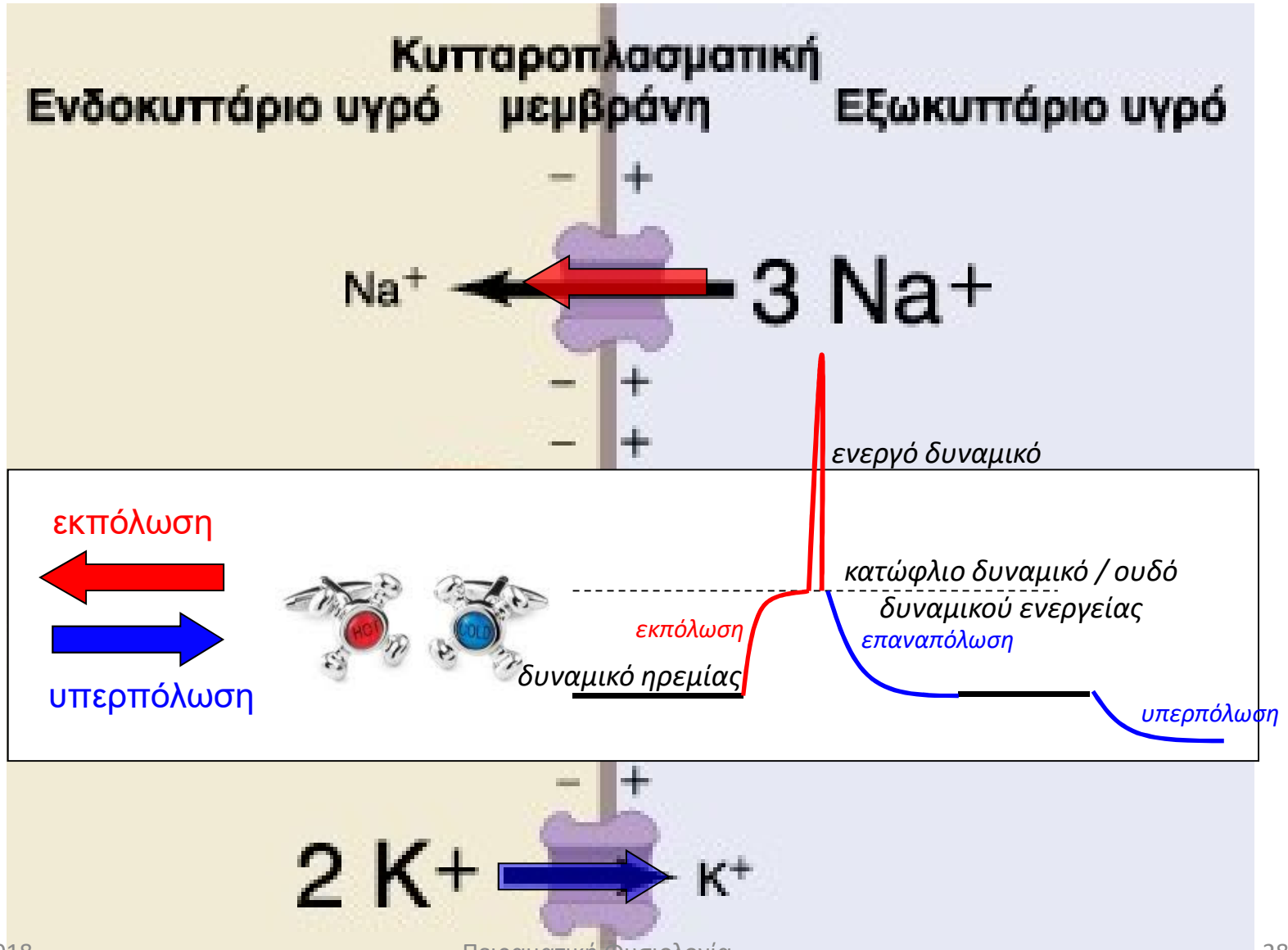
Κωδικοποίηση της αισθητικής & συναπτικής πληροφορίας μετασυναπτικά



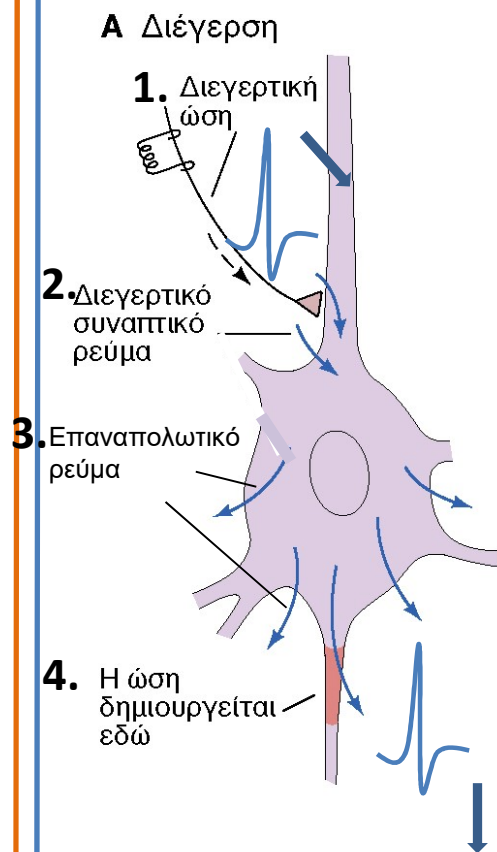
Κεφ.2. Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)

Σχεδιάγραμμα 4^{ου} μαθήματος

- Νευροφυσιολογία της πλασματικής μεμβράνης των νευρώνων (συνέχεια):
 - Δυναμικό ενέργειας του νευρικού κυττάρου
 - ✓ Τοπικά και μεταδιδόμενα σήματα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων
 - Διαβαθμισμένα δυναμικά του νευρικού κυττάρου
 - ✓ Εκπολωτικά και Υπερπολωτικά ρεύματα
 - ✓ Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

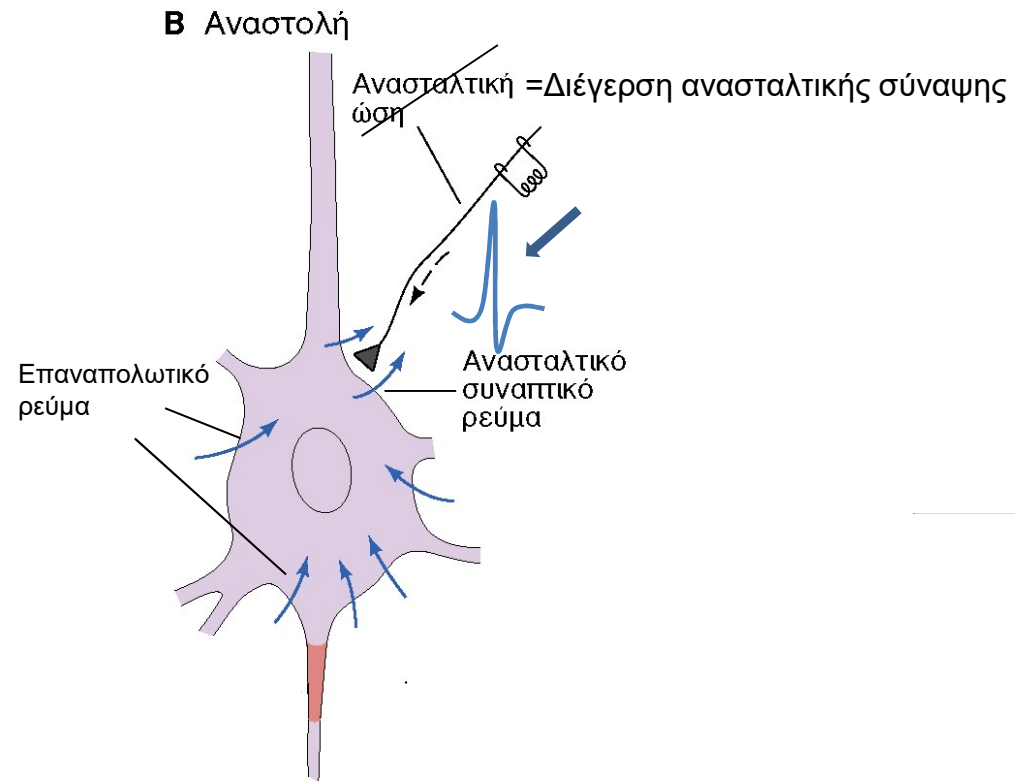


Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά



Προσυναπτικά γεγονότα	Μετασυναπτικά γεγονότα
Διέγερση/ενεργοποίηση μίας διεγερτικής σύναψης («διεγερτική ώση») (1)	Διεγερτικό συναπτικό ρεύμα (2)
	Επαναπολωτικό ρεύμα (3)
	Δημιουργία δυναμικού ενέργειας (νευρικής ώσης) στον εκφυτικό κώνο (4)

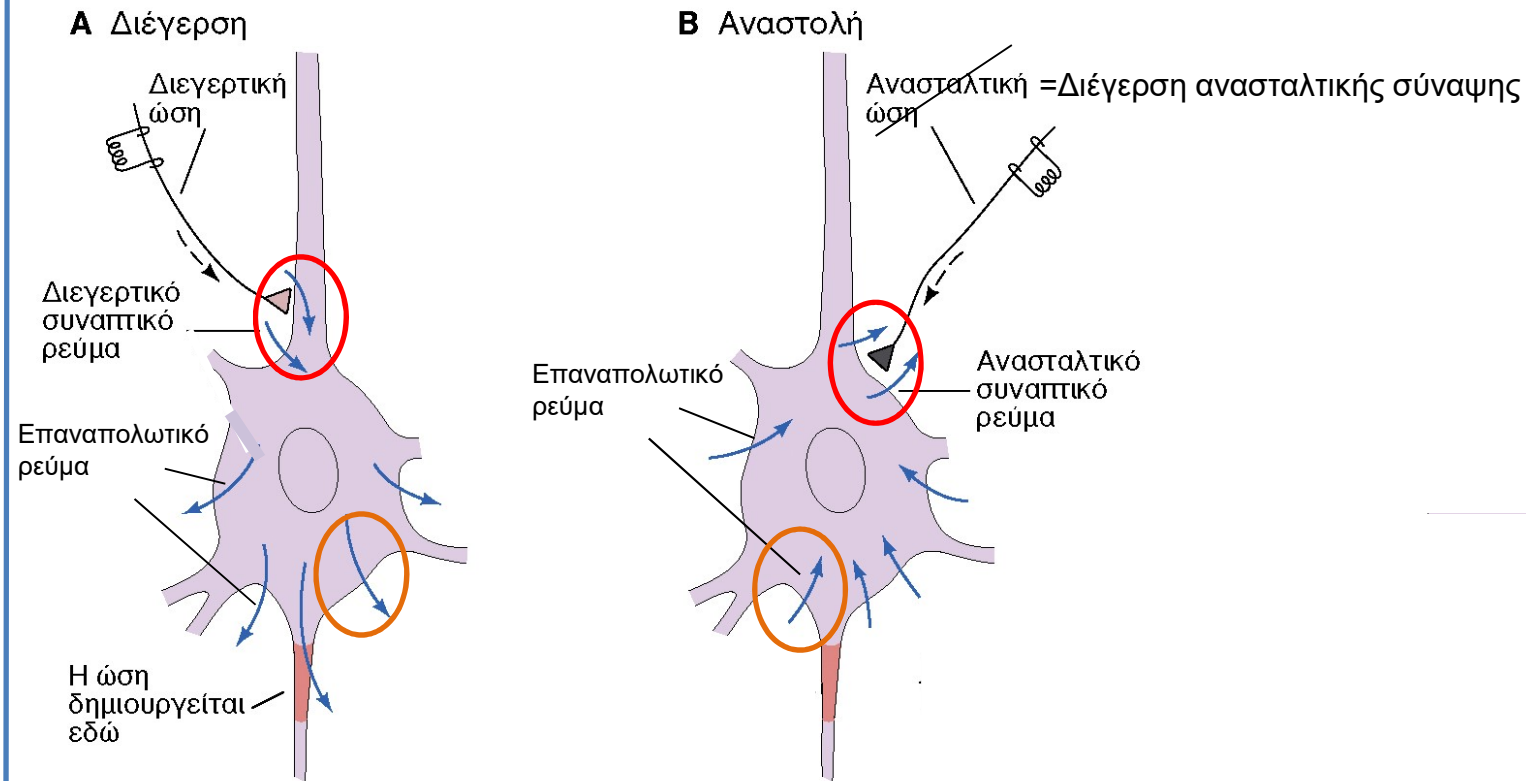
Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά.
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)



Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά.
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)

Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

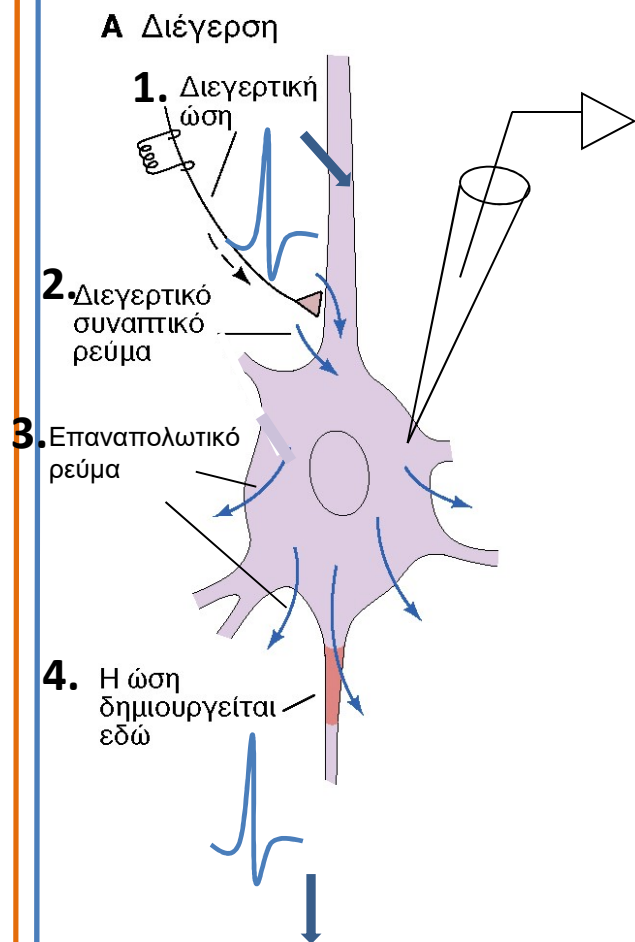
Συναπτικά δυναμικά της μεμβράνης



Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά.
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)

Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

Ποιά γεγονότα θα καταγράψαμε με μία ενδοκυττάρια καταγραφή που καταγράφει το δυναμικό της μεμβράνης;



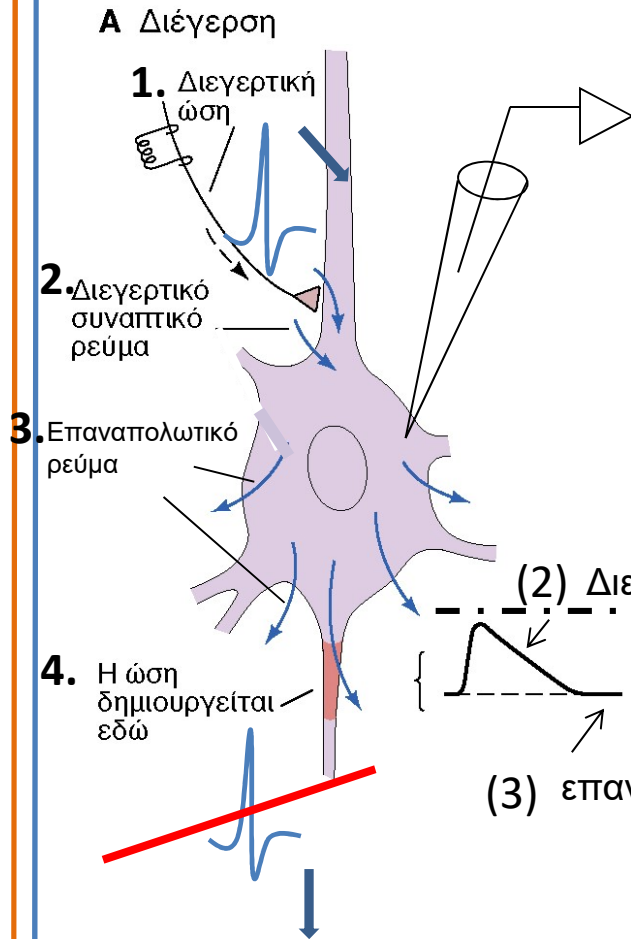
Προσυναπτικά γεγονότα	Μετασυναπτικά γεγονότα
Διέγερση/ενεργοποίηση μίας διεγερτικής σύναψης («διεγερτική ώση») (1)	Διεγερτικό συναπτικό ρεύμα/ διεγερτικό μετασυναπτικό δυναμικό (2)
	Επαναπολωτικό ρεύμα/ επαναπόλωση (3)
	Δημιουργία δυναμικού ενέργειας (νευρικής ώσης) στον εκφυτικό κώνο (4)

Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά.
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)

Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

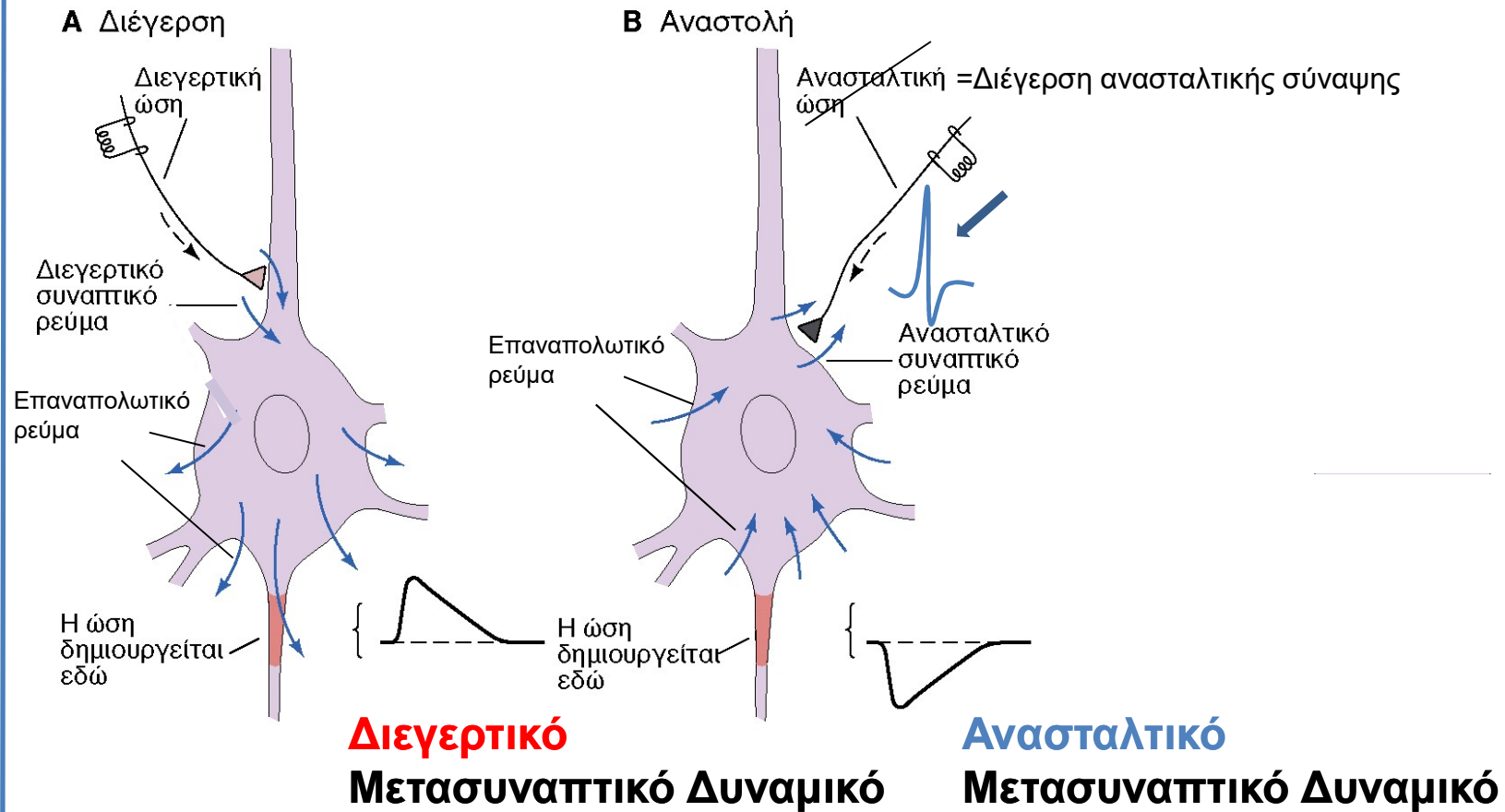
Ποιά γεγονότα θα καταγράψαμε με μία ενδοκυττάρια καταγραφή που καταγράφει το δυναμικό της μεμβράνης;

Προσυναπτικά γεγονότα	Μετασυναπτικά γεγονότα
Διέγερση/ενεργοποίηση μίας διεγερτικής σύναψης («διεγερτική ώση») (1)	Διεγερτικό συναπτικό ρεύμα/ διεγερτικό μετασυναπτικό δυναμικό (2)
	Επαναπολωτικό ρεύμα/ επαναπόλωση (3)
	Δημιουργία δυναμικού ενέργειας (νευρικής ώσης) στον εκφυτικό κώνο (4)



Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)

Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά



Kandel, Schwartz and Jessell: Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά.
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2011)

- **Excitatory Post Synaptic Potential, EPSP / Διεγερτικό Μετασυναπτικό Δυναμικό (ΔΜΣΔ)**
- **Inhibitory Post Synaptic Potential, IPSP / Ανασταλτικό Μετασυναπτικό Δυναμικό (ΑΜΣΔ)**
- **Excitatory Post Synaptic Current, EPSC / Διεγερτικό Μετασυναπτικό Ρεύμα (ΔΜΣΡ)**
- **Inhibitory Post Synaptic Current, IPSC / Ανασταλτικό Μετασυναπτικό Δυναμικό (ΑΜΣΡ)**

Πώς συσχετίζεται δυναμικό (V) και ένταση ρεύματος (I);

$$V=I \cdot R \quad \text{Νόμος του Ohm}$$

V= το δυναμικό της μεμβράνης (η διαφορά δυναμικού στις δυο πλευρές της κυτταρικής μεμβράνης)

I= το (καθαρό) ρεύμα ιόντων που περνά τη μεμβράνη μέσω του συνόλου των διαύλων της

R= η αντίσταση της μεμβράνης (αποδίδει τη «δυσκολία» με την οποία τα ιόντα περνούν από την μία πλευρά της μεμβράνης στην άλλη)

- **Excitatory Post Synaptic Potential, EPSP / Διεγερτικό Μετασυναπτικό Δυναμικό (ΔΜΣΔ)**
- **Inhibitory Post Synaptic Potential, IPSP / Ανασταλτικό Μετασυναπτικό Δυναμικό (ΑΜΣΔ)**
- **Excitatory Post Synaptic Current, EPSC / Διεγερτικό Μετασυναπτικό Ρεύμα (ΔΜΣΡ)**
- **Inhibitory Post Synaptic Current, IPSC / Ανασταλτικό Μετασυναπτικό Δυναμικό (ΑΜΣΡ)**

Πώς συσχετίζεται δυναμικό (V) και ένταση ρεύματος (I);

$$V=I \cdot R \quad \text{Νόμος του Ohm}$$

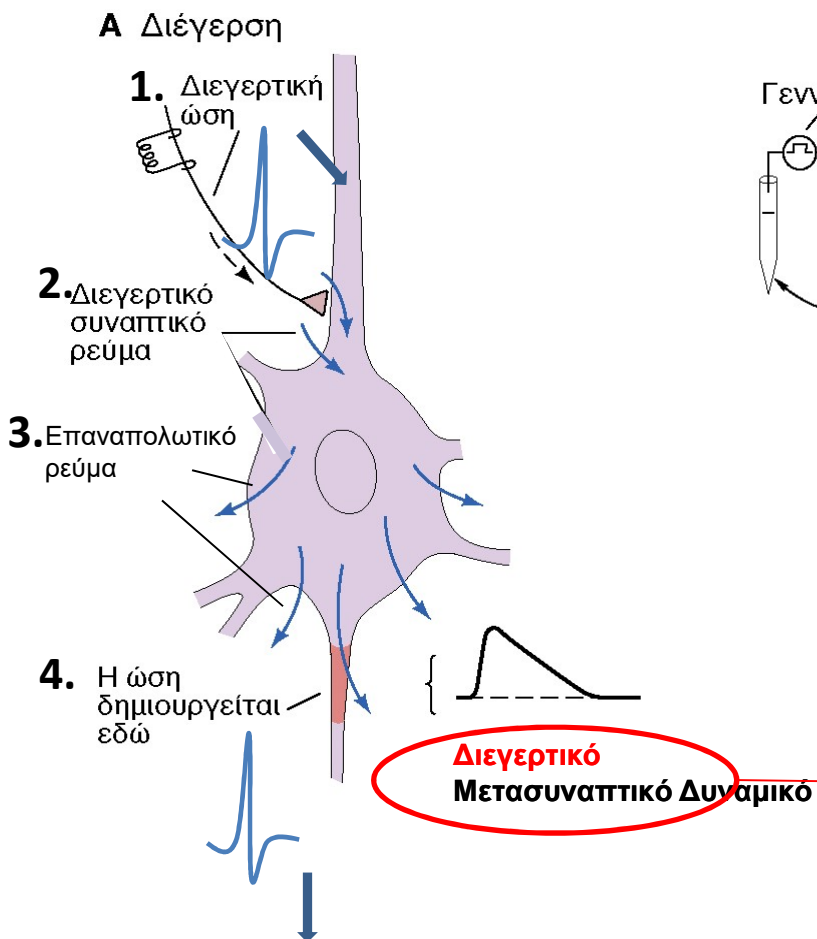
V= το δυναμικό της μεμβράνης (η διαφορά δυναμικού στις δυο πλευρές της κυτταρικής μεμβράνης)

I= το (καθαρό) ρεύμα ιόντων που περνά τη μεμβράνη μέσω του συνόλου των διαύλων της

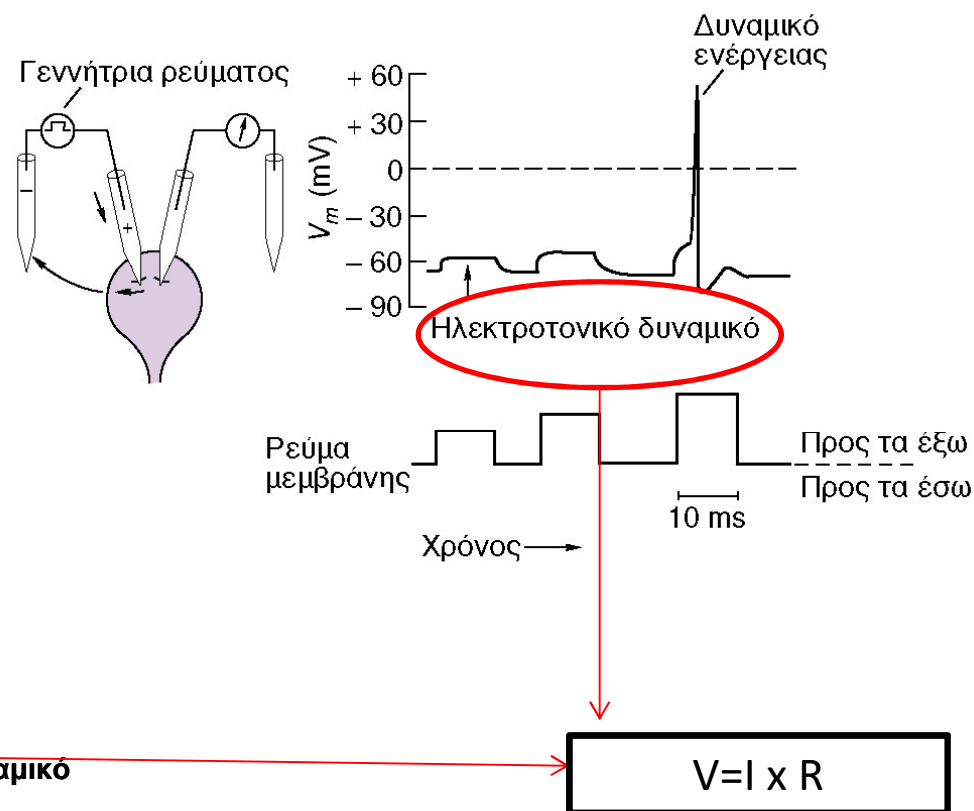
R= η αντίσταση της μεμβράνης (αποδίδει τη «δυσκολία» με την οποία τα ιόντα περνούν από την μία πλευρά της μεμβράνης στην άλλη)

Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

A. Διέγερση κυττάρου με διεγερτικό συναπτικό ρεύμα



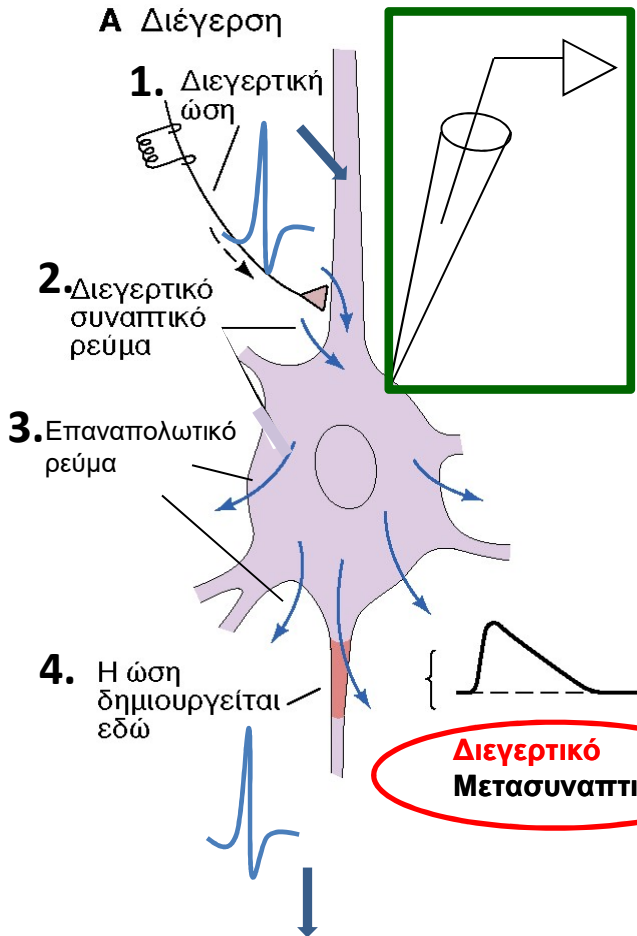
B. Διέγερση κυττάρου με τεχνητό εκπολωτικό ρεύμα



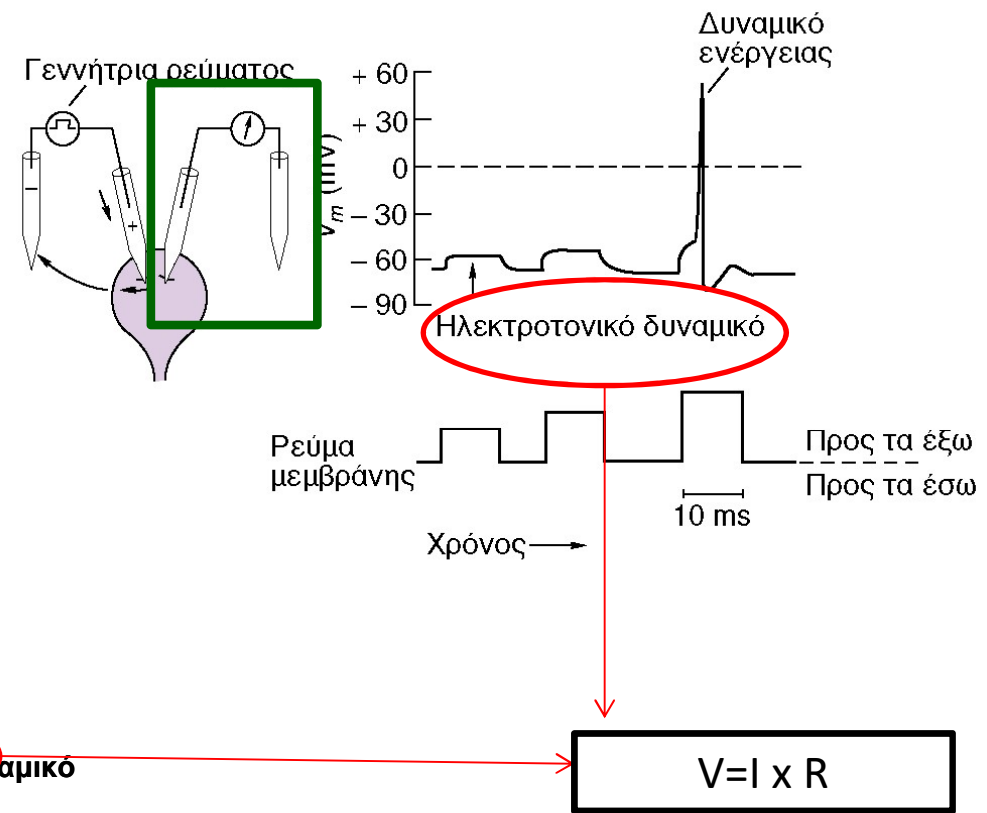
V: το μετράμε
I: το προκαλέσαμε: (α) συναπτικά, (β) με γεννήτρια ρεύματος
R: το υπολογίζουμε (μέσω νόμου Ohm)

Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

A. Διέγερση κυττάρου με διεγερτικό συναπτικό ρεύμα



B. Διέγερση κυττάρου με τεχνητό εκπολωτικό ρεύμα



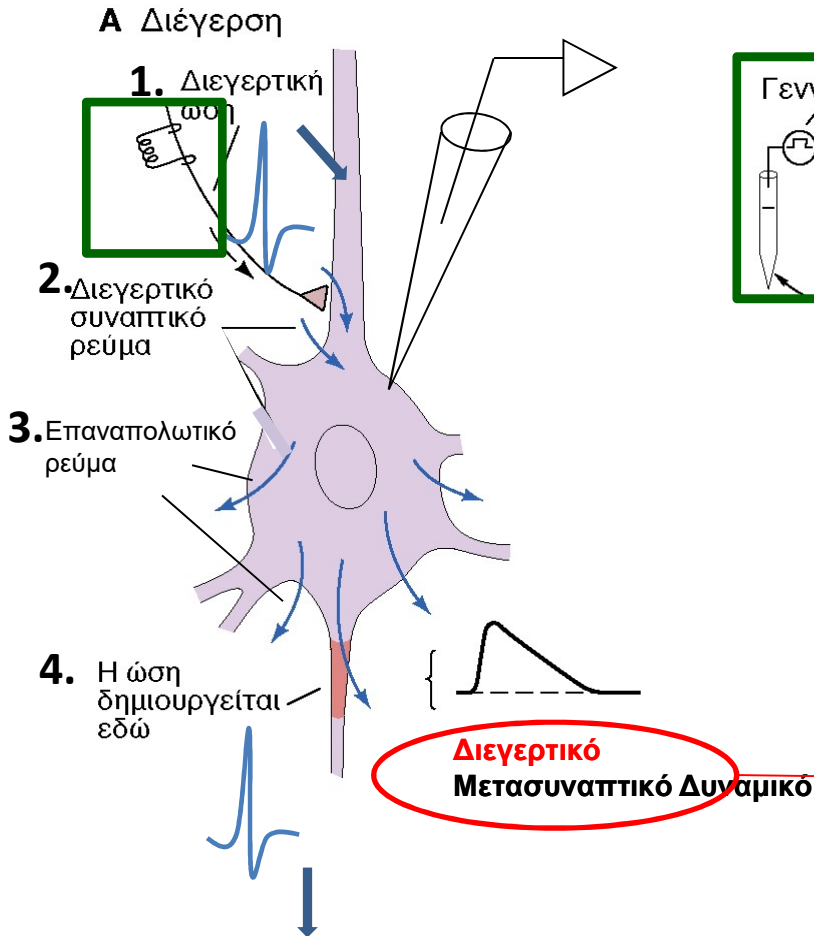
V: το μετράμε

I: το προκαλέσαμε: (α) συναπτικά, (β) με γεννήτρια ρεύματος

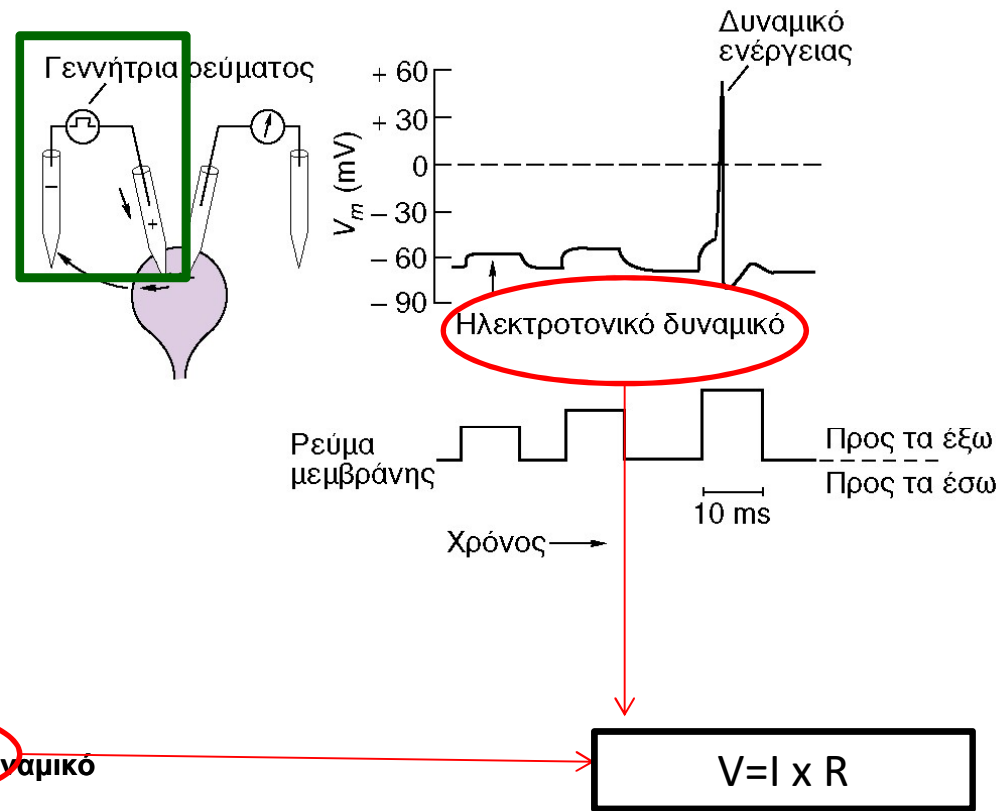
R: το υπολογίζουμε (μέσω νόμου Ohm)

Διεγερτικά και Ανασταλτικά Μετασυναπτικά Δυναμικά

A. Διέγερση κυττάρου με διεγερτικό συναπτικό ρεύμα



B. Διέγερση κυττάρου με τεχνητό εκπολωτικό ρεύμα



V: το μετράμε
 I: το προκαλέσαμε: (α) συναπτικά, (β) με γεννήτρια ρεύματος
 R: το υπολογίζουμε (μέσω νόμου Ohm)

Βιβλιογραφία

ΒΙΒΛΙΑ:

Kandel, ER, Schwartz, JH, and Jessell, TM: « Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά». Επιστημονική Επιμέλεια: Αζαρίας Καραμανλίδης,

Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης: Ηράκλειο (2011): Κεφάλαια 2, 7, 8, 9 &10

• Κυριακή Σιδηροπούλου: Βασικές Αρχές Λειτουργίας του νευρικού συστήματος.

<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/4829>

• Schmidt, R.F.: Fundamentals of Neurophysiology. Third Revised Edition (1985). Springer-Verlag: New York Berlin Heidelberg Tokyo

ΑΡΘΡΑ:

• Ben-Ari (2014) : The GABA excitatory/inhibitory developmental sequence: A personal journey.

Neuroscience 279 (2014) 187–219

• Briggs S.W. and Galanopoulou A.S. (2011): Altered GABA Signaling in Early Life Epilepsies. *Neural Plasticity* Volume, Article ID 52760

ΠΟΛΥΜΕΣΑ:

www.physiologyweb.com/lecture_notes/resting_membrane_potential/resting_membrane_potential_physiological_significance_of_the_membrane_potential.html

<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/neuron-membrane-potentials-topic/v/neuron-resting-potential-description>

<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/neuron-membrane-potentials-topic/v/neuron-resting-potential-mechanism>

ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ:

http://physiologyweb.com/calculators/ghk_equation_calculator.html

http://www.physiologyweb.com/lecture_notes/resting_membrane_potential/resting_membrane_potential_introduction.html