

ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Φατούρος Γ. Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΜΕΤΑΒΟΛΟΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ

&

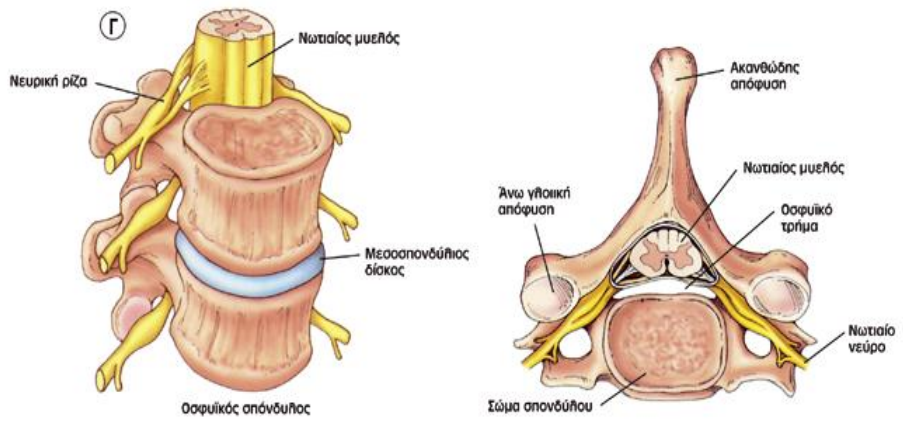
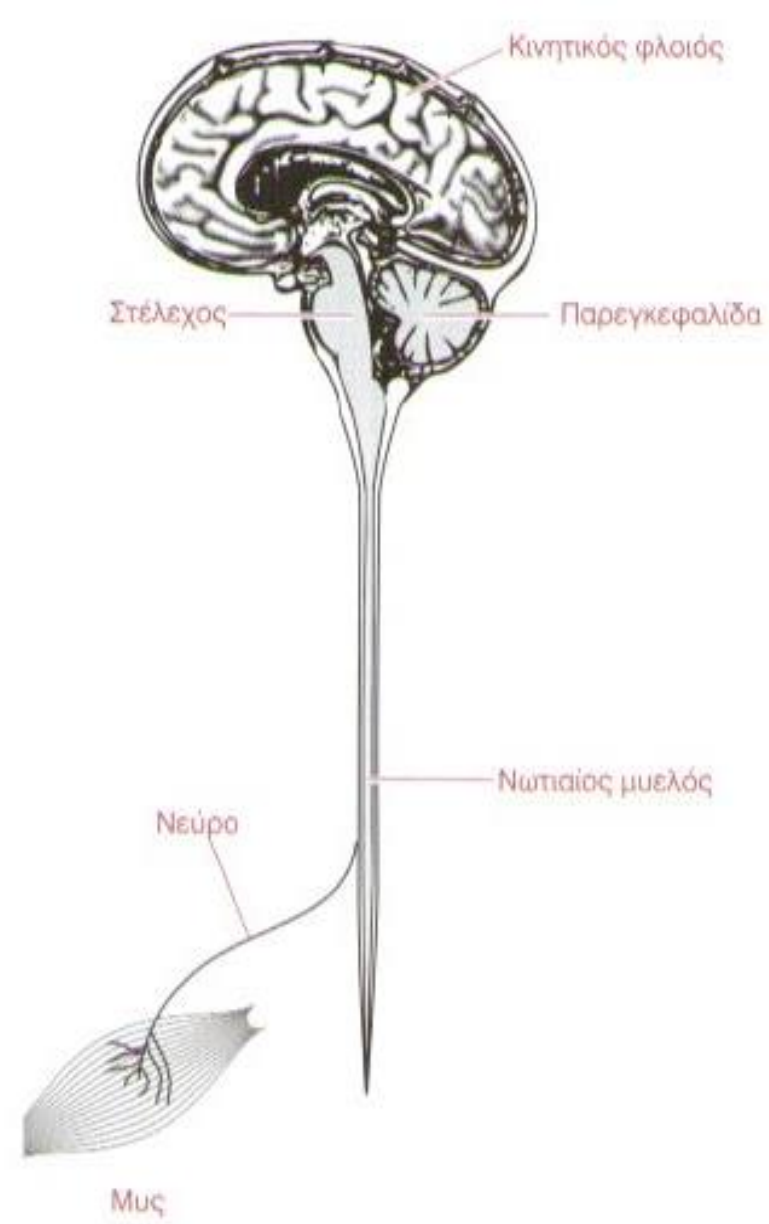
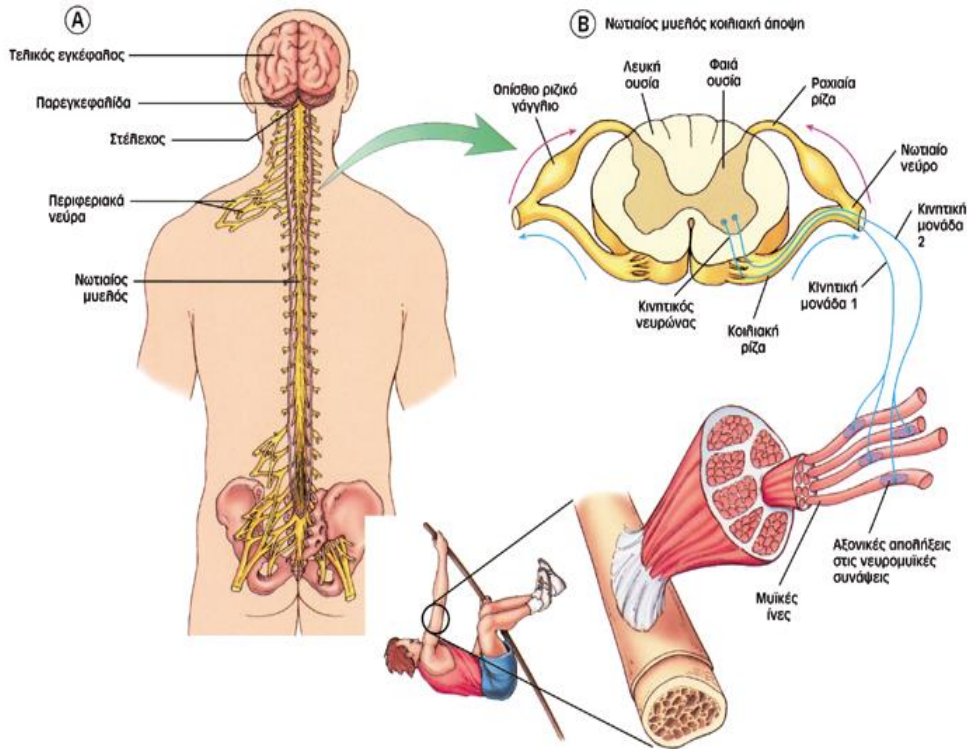
Η ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΜΥΪΚΗΣ ΣΥΣΠΑΣΗΣ

Βιοχημεία των νευρομυϊκών και μυϊκών διεργασιών της κίνησης

1. Μετάδοση νευρικού σήματος
2. Δυναμικό ηρεμίας
3. Δυναμικό δράσης
4. Νευρομυϊκή επαφή

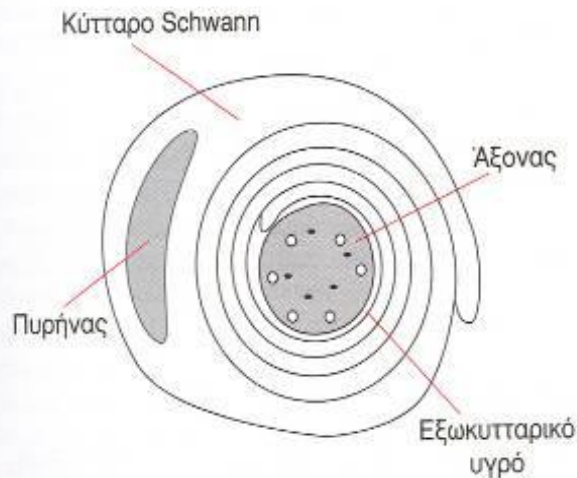
Ο Έλεγχος της Κίνησης από το Νευρικό Σύστημα



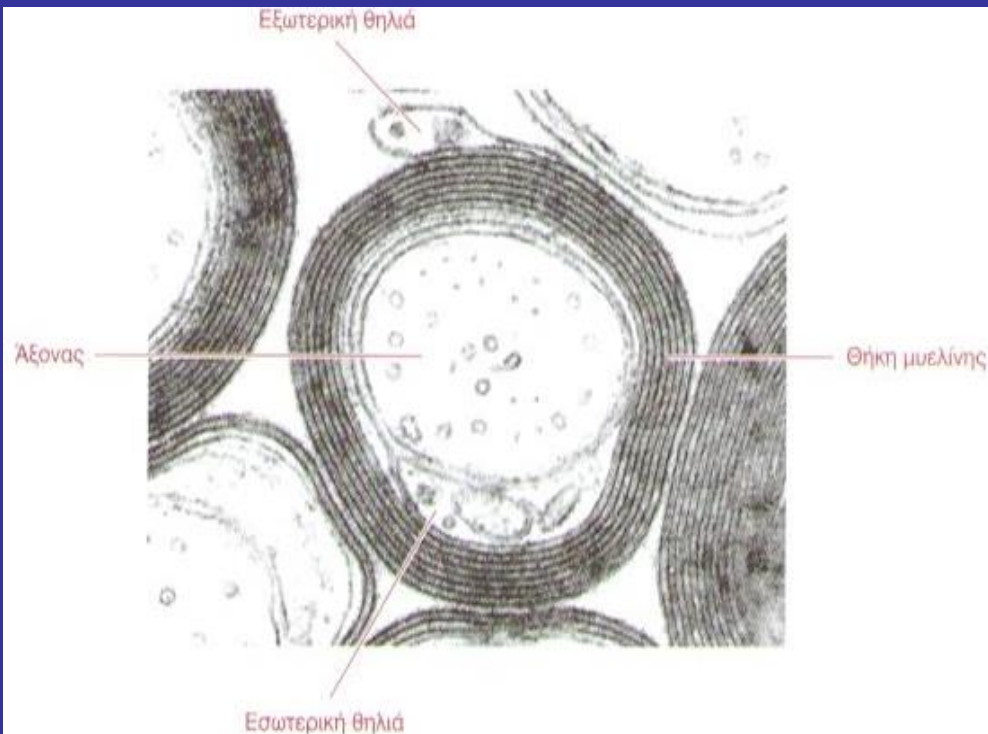


Το Νευρικό Κύτταρο

1. Νευρώνας (νεύρο): πολλά νευρικά κύτταρα στη σειρά.
2. Νευρικό κύτταρο: σώμα – δενδρίτες – άξονας – νευρικές απολήξεις
3. Μυελίνη – κόμβοι Ranvier – κύτταρα Schwann

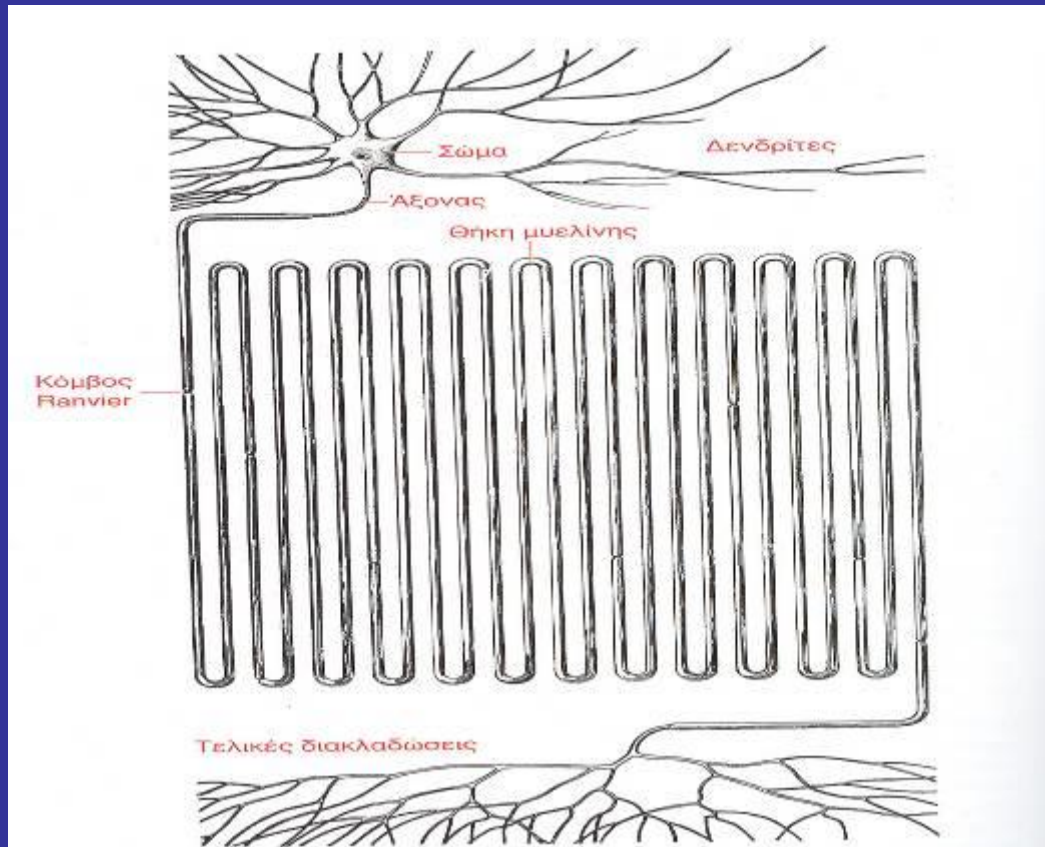


ΕΙΚΟΝΑ 6.2 Μυελίνη. Η θήκη της μυελίνης προέρχεται από κύτταρα που, στο περιφερειακό νευρικό σύστημα, ονομάζονται *κύτταρα του Schwann* και, στο κεντρικό νευρικό σύστημα, *ολιγοδενδρογλοϊακά κύτταρα*. Τα πρώτα είναι απλούστερα κι ένα από αυτά εικονίζεται εδώ σ' εγκάρσια τομή, τυλιγμένο γύρω από έναν άξονα. Στους κόμβους του Ranvier δεν παρεμβάλλεται εξωκυτταρικό υγρό μεταξύ του άξονα και της μυελίνης.



Τρόποι Μετάδοσης του Νευρικού Σήματος

1. Μέσα σε κάθε νευρώνα (ηλεκτρική μετάδοση)
2. Από νευρώνα σε νευρώνα (χημική μετάδοση)



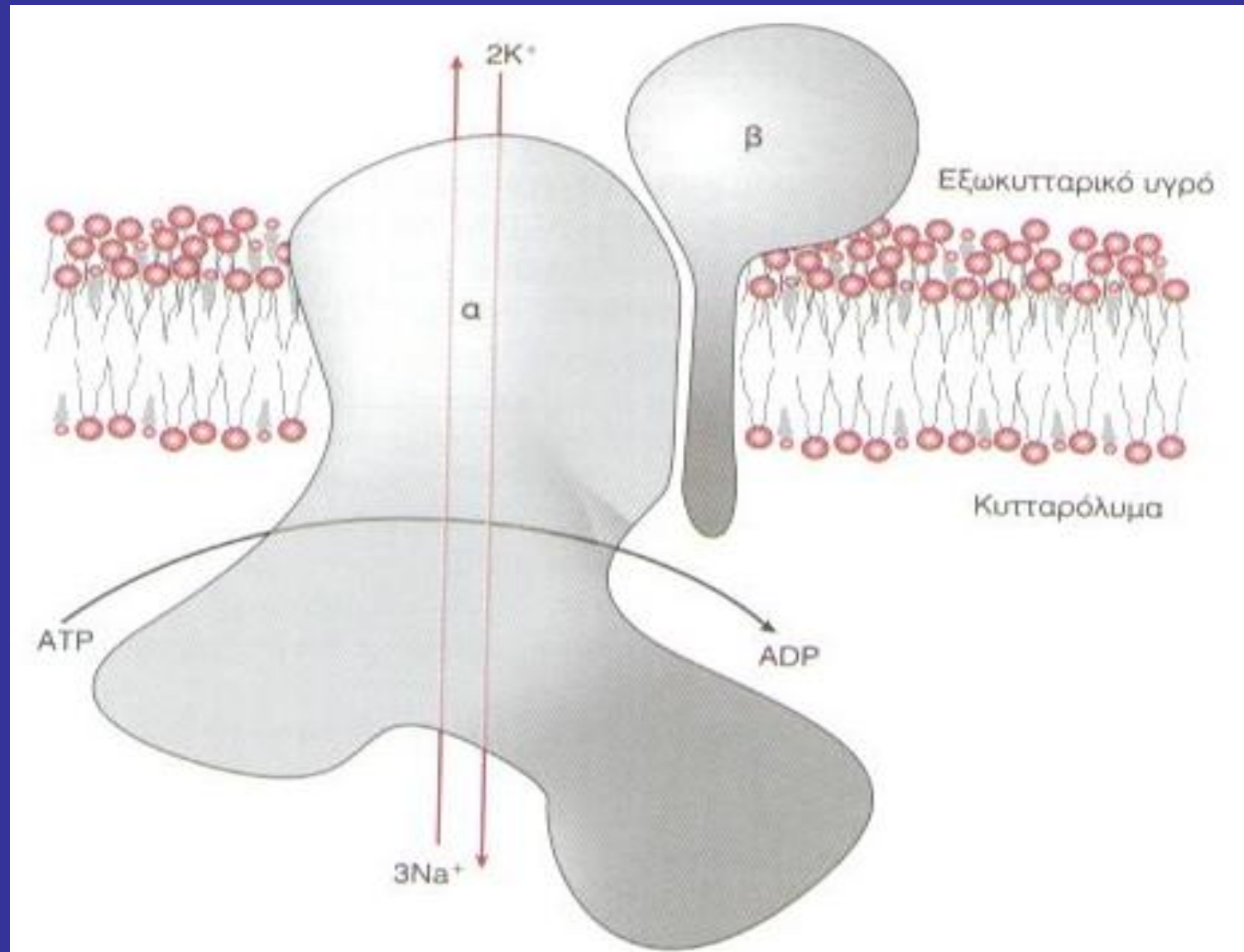
Η ηλεκτρική μετάδοση νευρικών σημάτων οφείλεται στις μετακινήσεις ιόντων Na^+ και K^+

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 Συγκεντρώσεις ιόντων στα σωματικά υγρά (σε mmol/L)

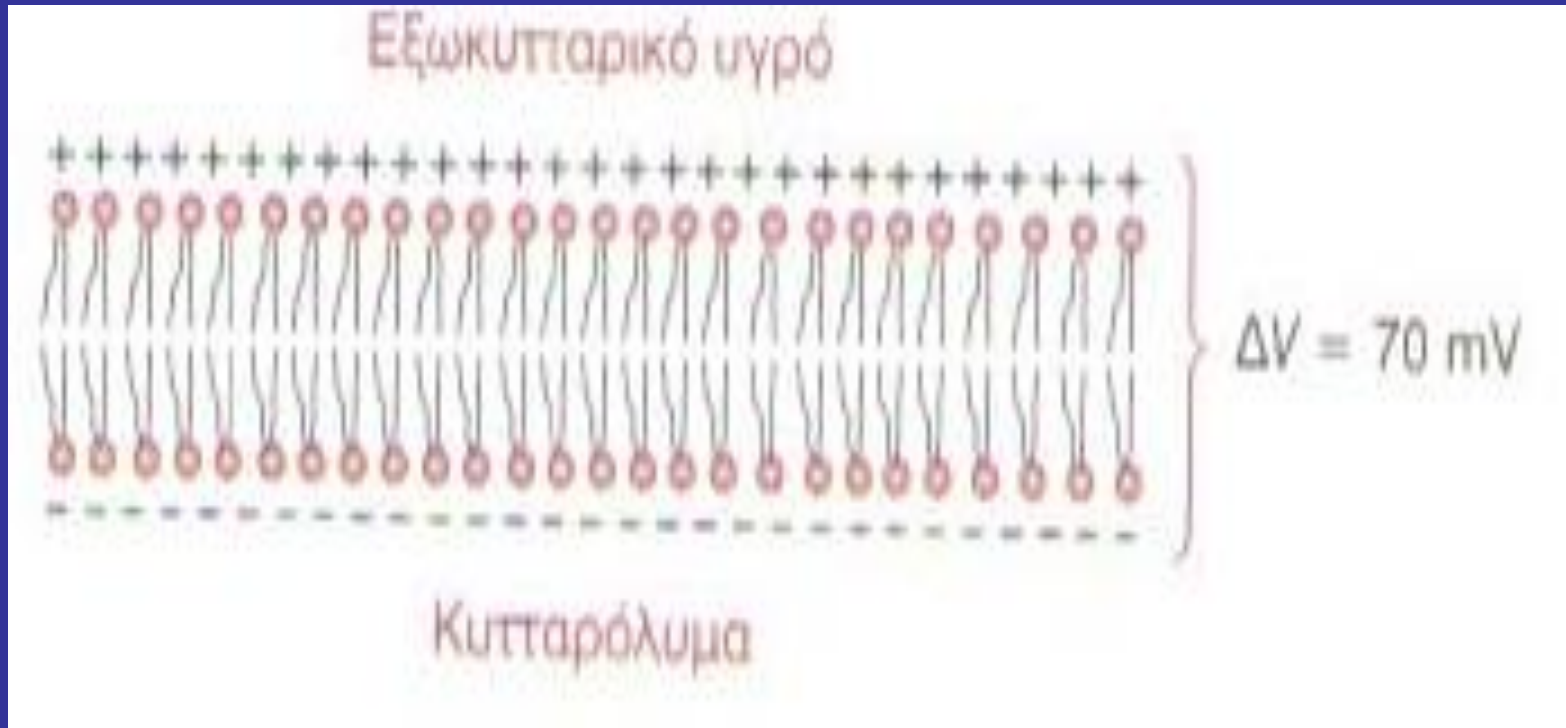
Ιόν	Κυτταρόπλάσμα	Εξωκυτταρικό υγρό	Πλάσμα*	Ιδρώτας
Na^+	3-10	133-144	136-145	40-80
K^+	148-156	3,8-4,4	3,5-5,1	4-8
Ca^{2+}	0-1	$\leq 1,7$	2,2-2,5	1,5-2
Mg^{2+}	15-20	0,5-1,7	0,6-1,1	0,5-2
Cl^-	2-3	112-115	98-107	30-70
HCO_3^-	7-10	21-28	21-29	0-36

*Πλάσμα είναι το υγρό του αίματος. Περισσότερα γι' αυτό στην ενότητα Δ.1.

Ο ρόλος της αντλίας $\text{Na}^+ - \text{K}^+$



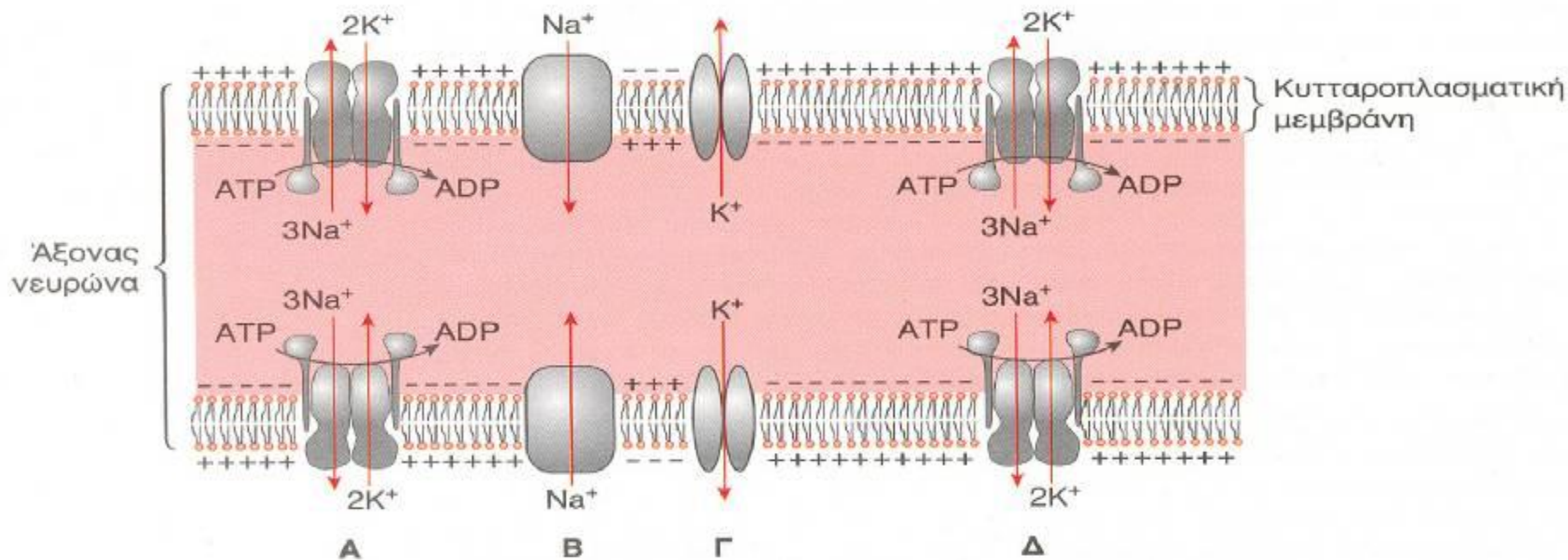
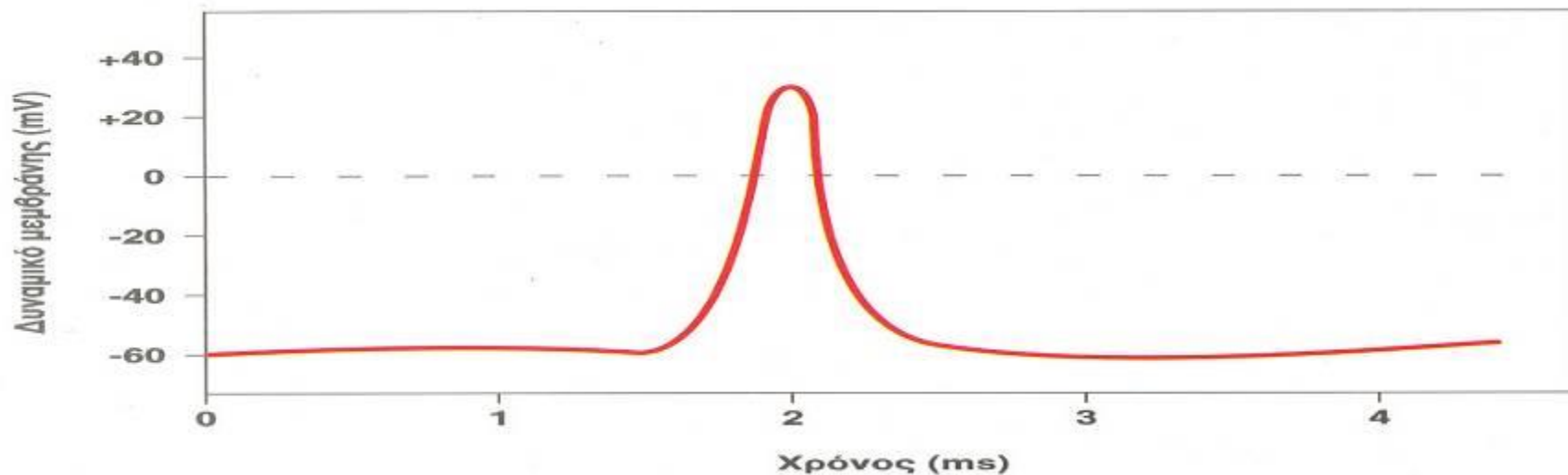
Το Δυναμικό Ηρεμίας



Το Δυναμικό Δράσης

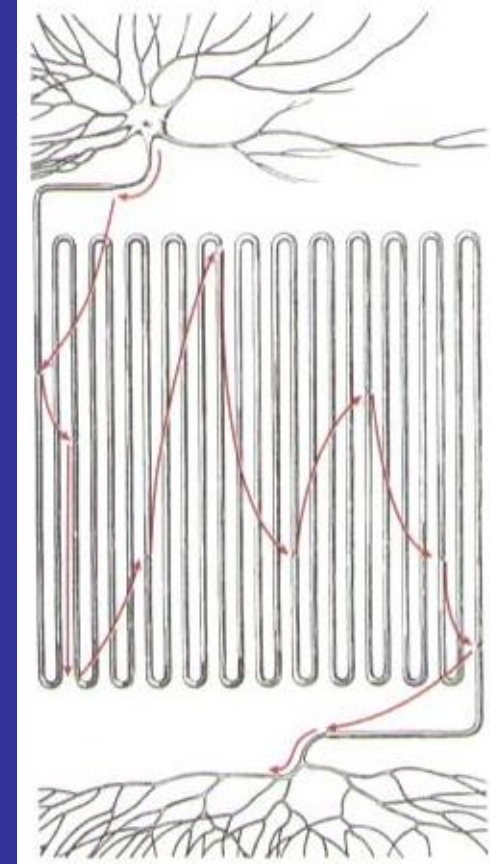
1. Ερέθισμα – γένεση δυναμικού δράσης
2. Διάδοση δυναμικού δράσης
3. Δίαυλοι νατρίου και καλίου.
4. Αντλία νατρίου-καλίου
5. Εκπόλωση – επαναπόλωση
6. Ο ρόλος της μυελίνης

Το Δυναμικό Δράσης



Διάδοση του Δυναμικού Δράσης

- Η στιγμιαία εκπόλωση της μεμβράνης σε ένα σημείο προκαλεί το άνοιγμα γειτονικών μορίων του διαύλου νατρίου με αποτέλεσμα την εκπόλωση της παρακείμενης περιοχής.
- Νευρικό σήμα = νευρική ώση
- Αλματική μετάδοση σήματος: από κόμβο του Ranvier σε κόμβο του Ranvier.
- Μυελίνη = ηλεκτρικός μονωτής:
 - περιορίζει την ηλεκτρική δραστηριότητα κατά μήκος του άξονα.
 - ελαχιστοποιεί την επίδραση σε γειτονικούς άξονες.
 - επιταχύνει τη διάδοση του νευρικού σήματος.
 - εξοικονομεί ενέργεια

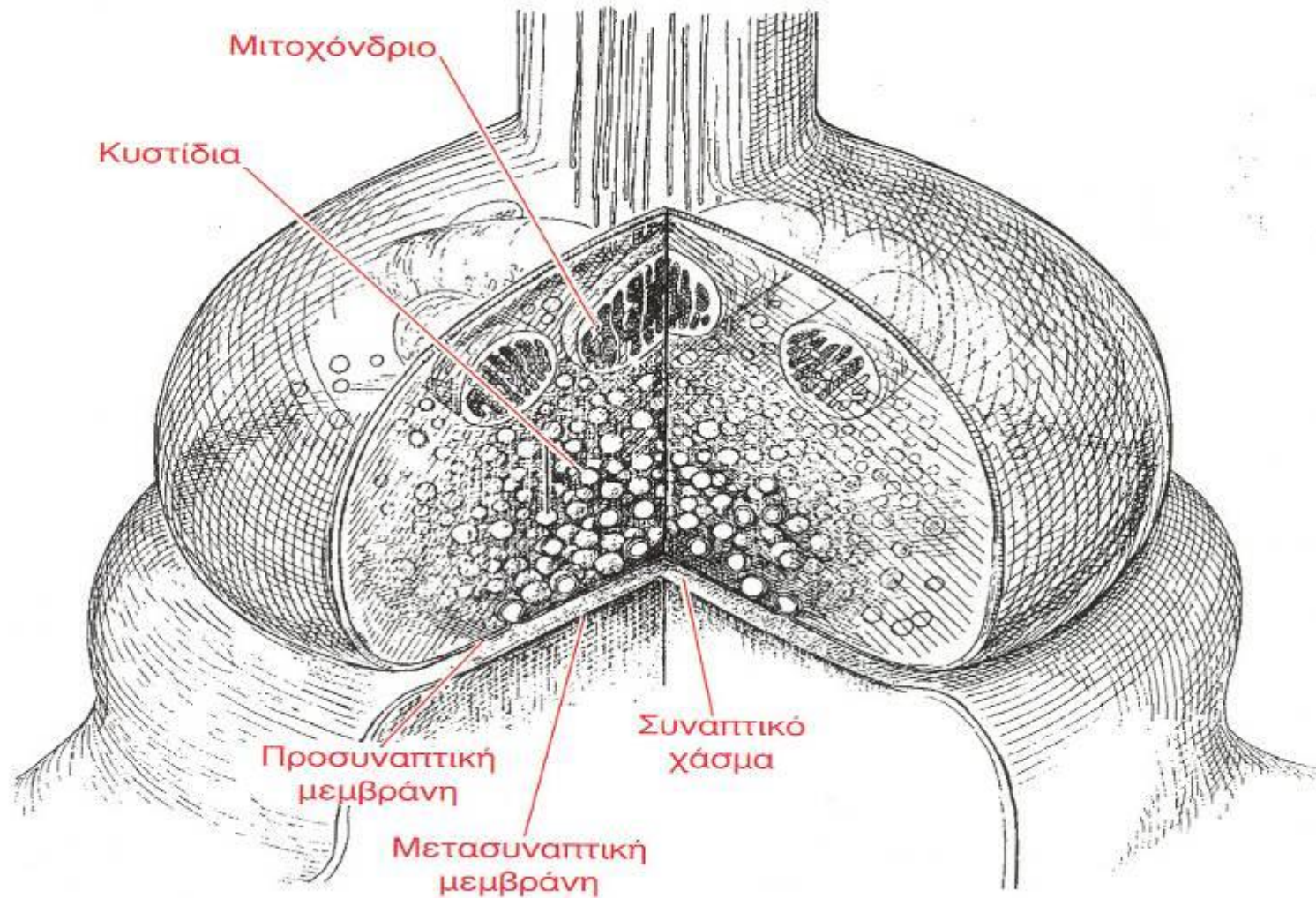


Αλματική μετάδοση

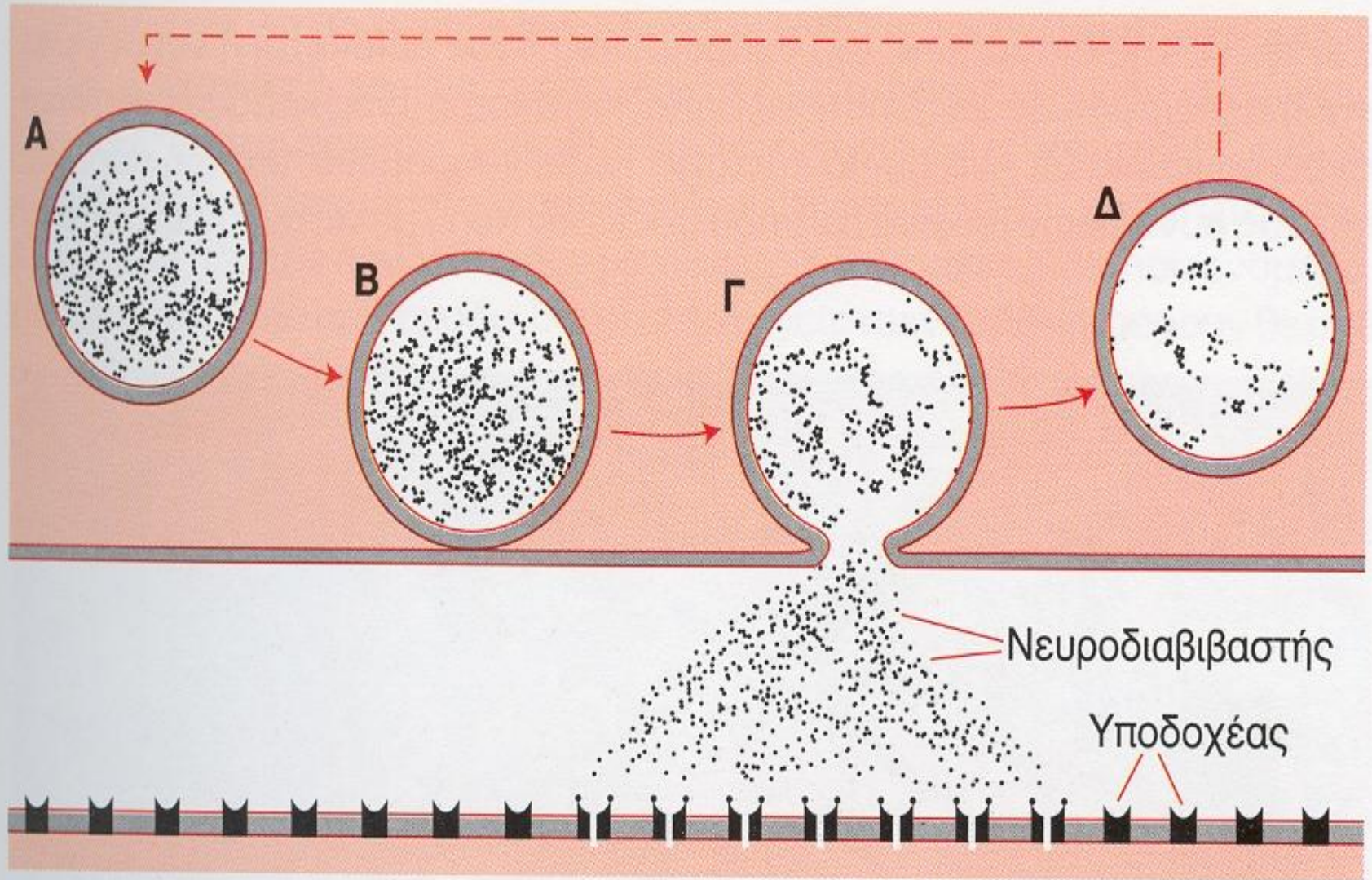
Μετάδοση από νευρώνα σε νευρώνα

1. Νευρική σύναψη
2. Προσυναπτική – μετασυναπτική μεμβράνη
3. Συναπτικό χάσμα (20-200 nm)
4. Μεγάλη ποικιλία νευροδιαβιβαστών
5. Κυστίδια νευροδιαβιβαστών
6. Ο ρόλος του ασβεστίου
7. Υποδοχείς στη μετασυναπτική μεμβράνη
8. Διακοπή της δράσης του νευροδιαβιβαστή

Μετάδοση από νευρώνα σε νευρώνα



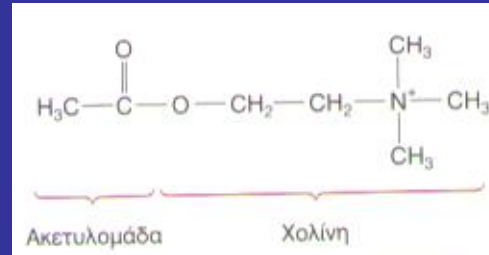
Μετάδοση από νευρώνα σε νευρώνα



Νευρομυϊκή Σύνδεση

1. Νευρομυϊκή επαφή
2. Κάθε νευρομυϊκή επαφή περιέχει πλήθος συνάψεων.

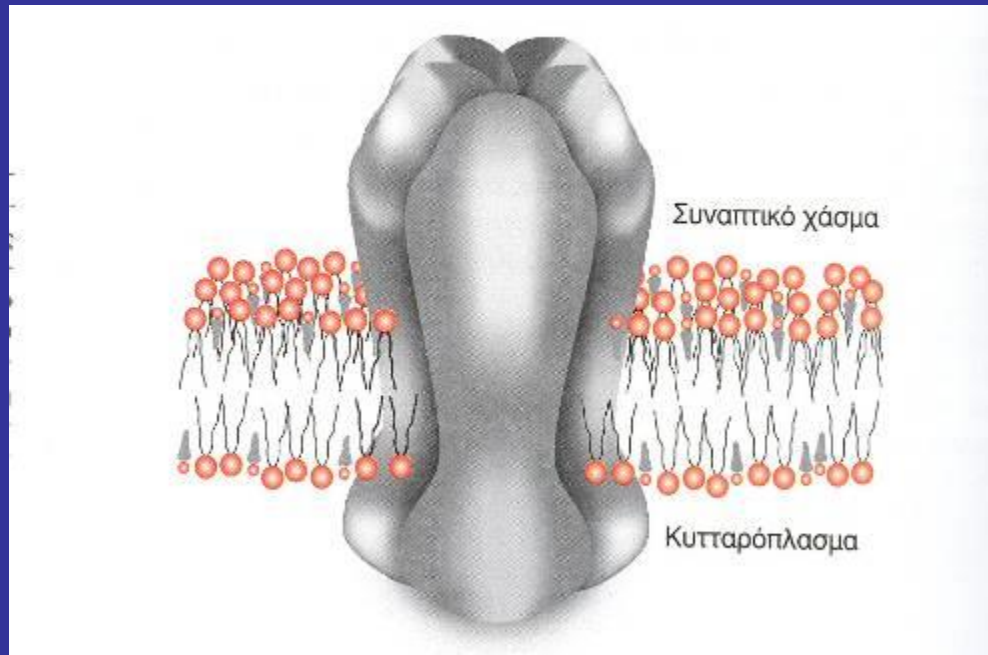
3. Νευροδιαβιβαστής:
ΑΚΕΤΥΛΟΧΟΛΙΝΗ



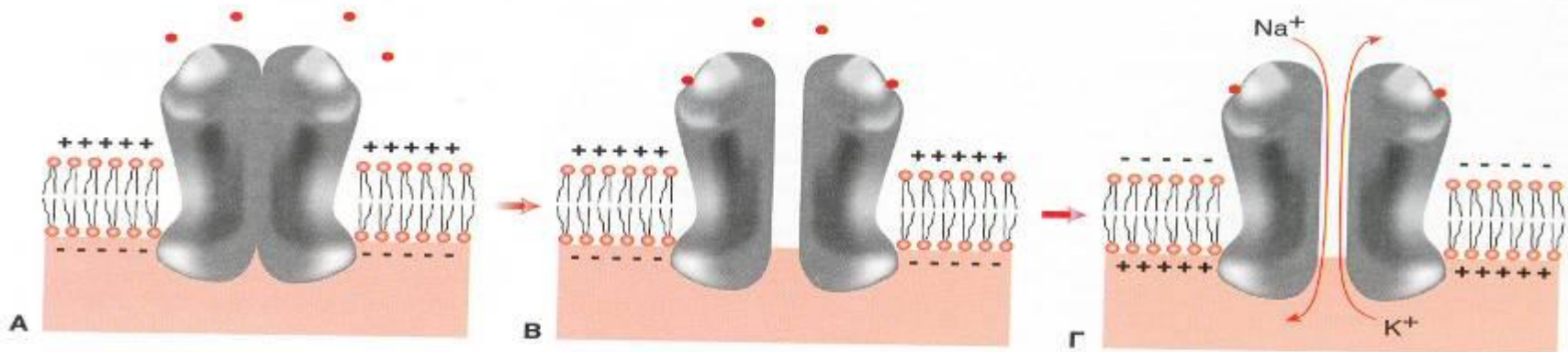
4. Νικοτινικός υποδοχέας της ακετυλοχολίνης
5. Κίνηση ιόντων νατρίου και καλίου
6. Μετασυναπτικό δυναμικό
7. Δράση αντλίας νατρίου - καλίου



Νευρομυϊκή Σύνδεση

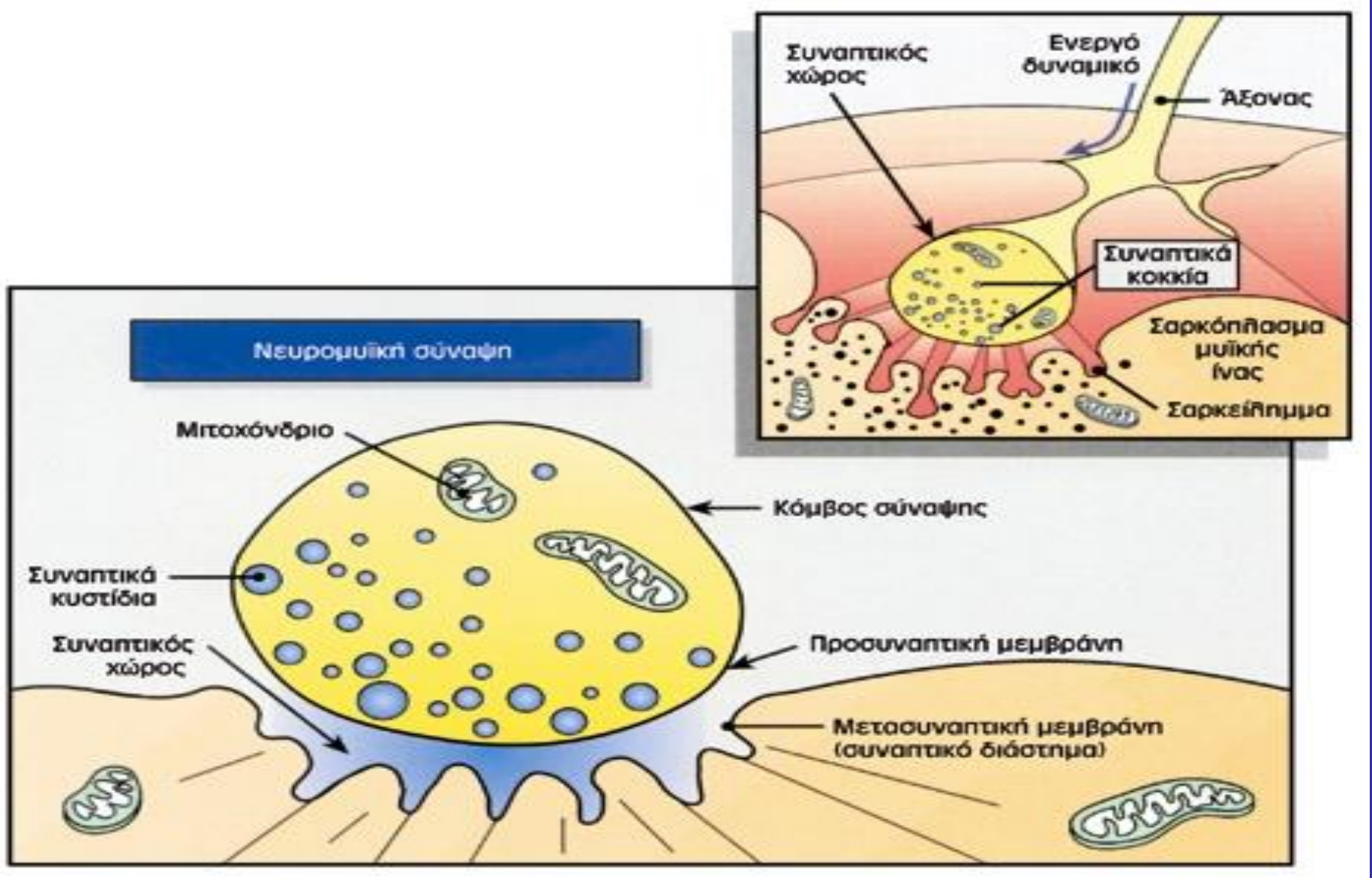


Ο νικοτινικός υποδοχέας της ακετυλοχολίνης



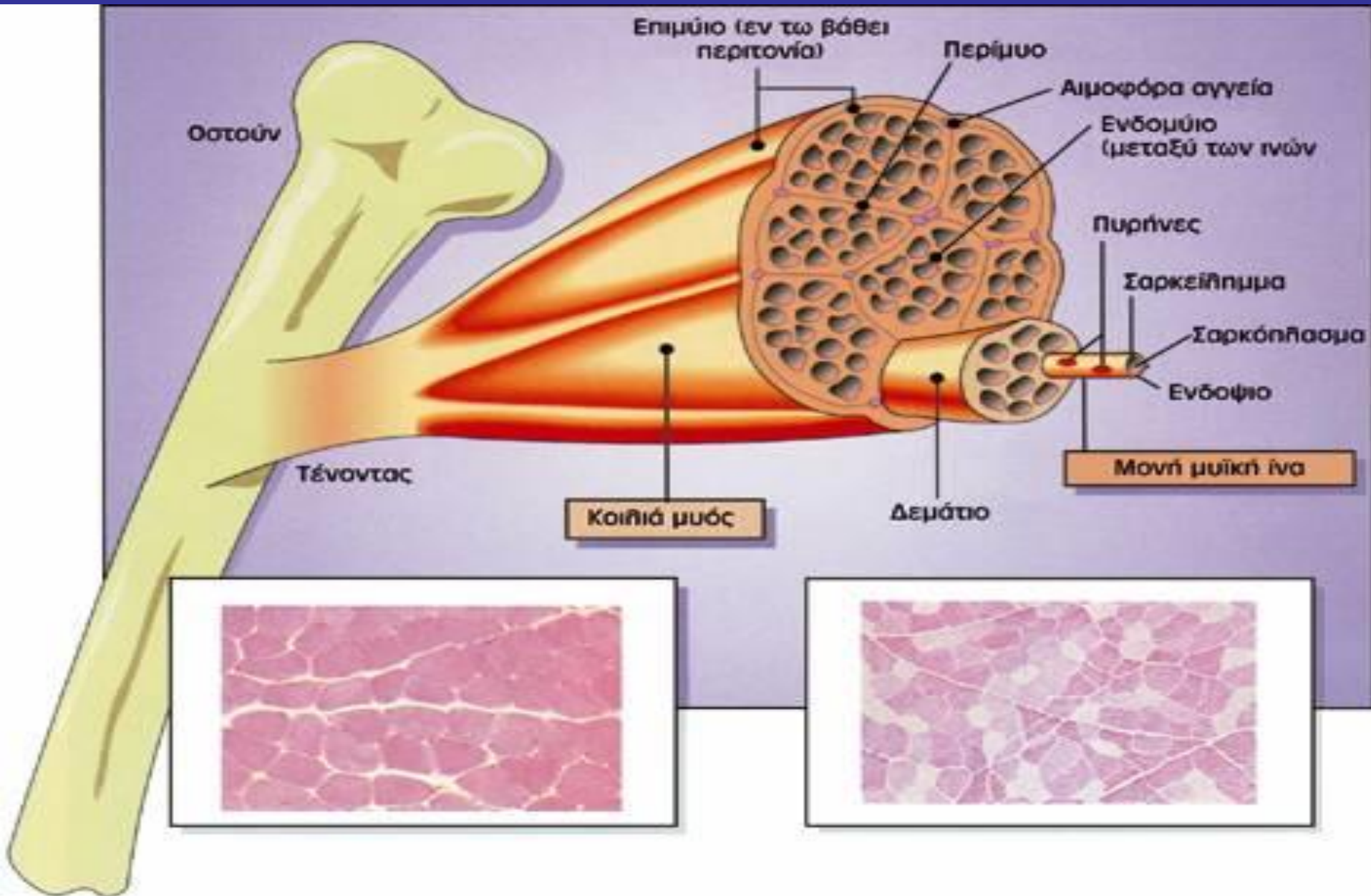
ΕΙΚΟΝΑ 6.11 Διαβίβαση στη νευρομυϊκή σύναψη. Η ακετυλοχολίνη προκαλεί την εμφάνιση δυναμικού δράσης στην κυτταροπλασματική μεμβράνη ενός μυϊκού κυττάρου μέσω της αλληλεπίδρασής της με τον υποδοχέα ακετυλοχολίνης. Μόρια ακετυλοχολίνης στο συναπτικό χάσμα (Α) συνδέονται με τον υποδοχέα και προκαλούν το άνοιγμα ενός πόρου στο κέντρο του (Β). Από τον πόρο ιόντα Na^+ ρέουν προς το κυτταρόπλασμα και ιόντα K^+ προς τον εξωκυτταρικό χώρο (Γ). Για να φράξουν ο πόρος, εικονίζονται δύο μόνο από τις πέντε υπομονάδες του υποδοχέα.

Νευρομυϊκή Σύνδεση

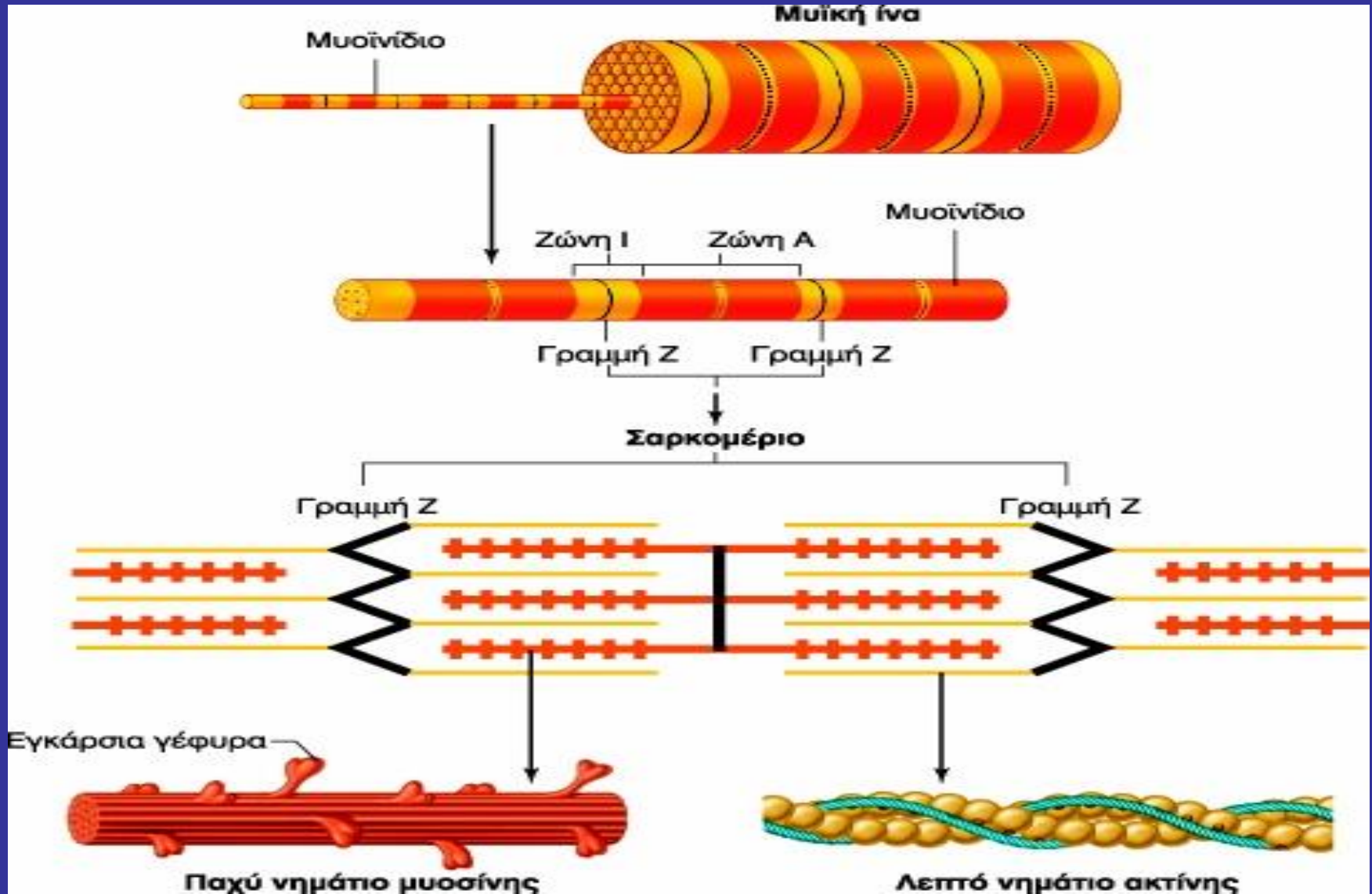


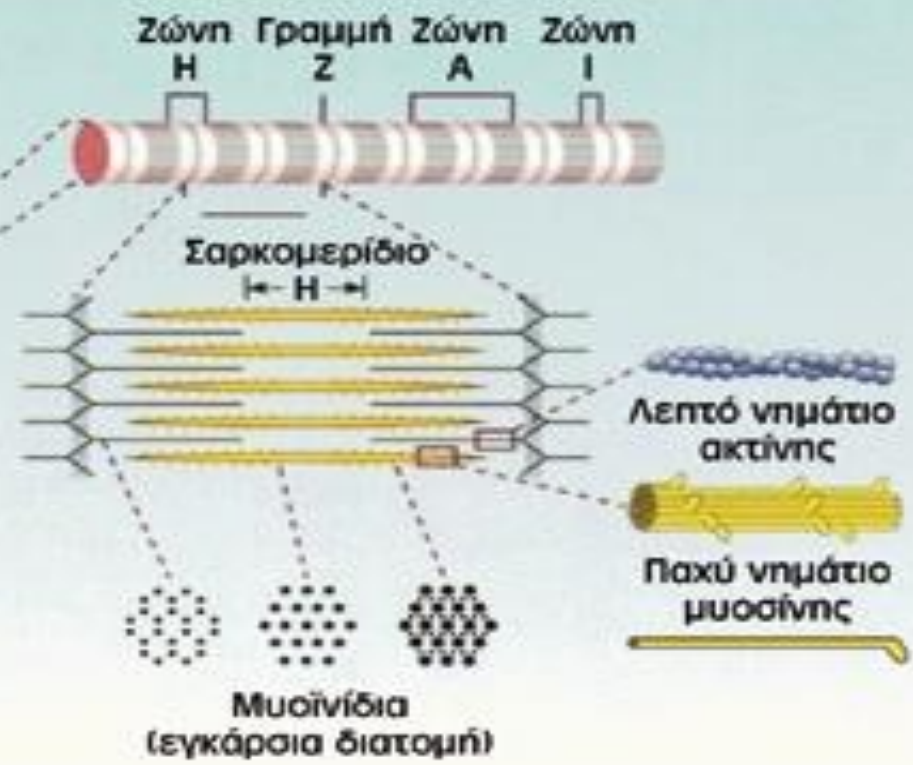
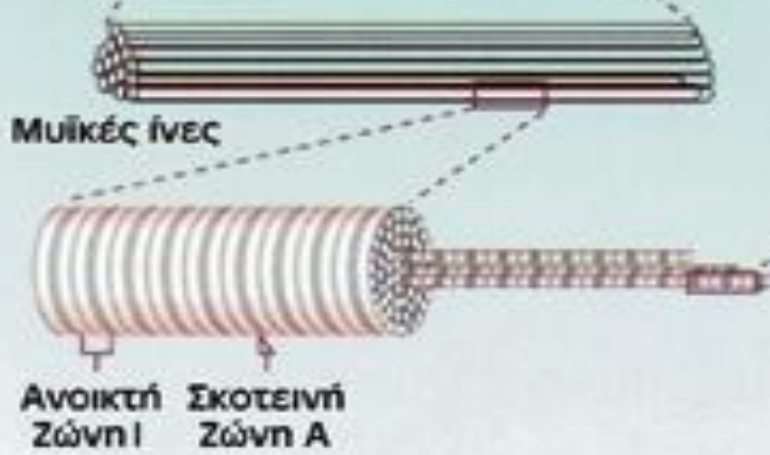
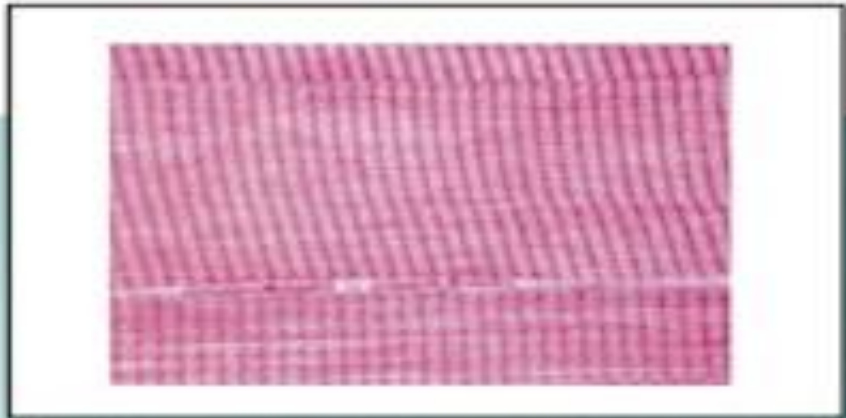
ΜΥΪΚΗ ΣΥΣΤΟΛΗ

Δομή του μυ



Δομή του μυϊκού κυττάρου





Μυϊκές Πρωτεΐνες

1. Μυοσίνη

2. ΑΤΡάση της μυοσίνης

3. Ακτίνη

4. Τιτίνη

5. Γραμμή Μ

6. Νεμπουλίνη

7. Πρωτεΐνη C

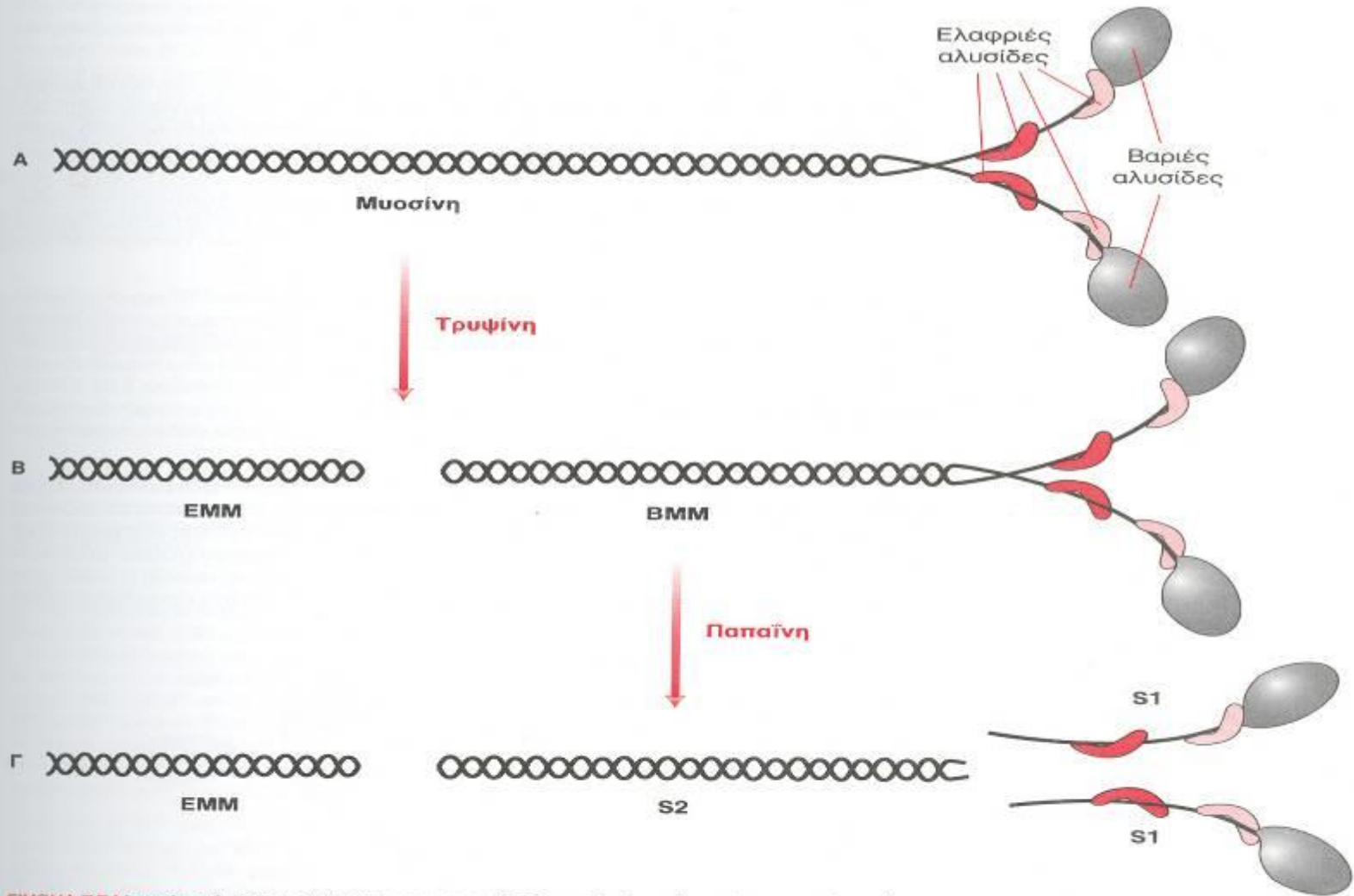
8. Κινάση της ελαφράς αλυσίδας της μυοσίνης

9. Τροπομυοσίνη

10. Τροπονίνη

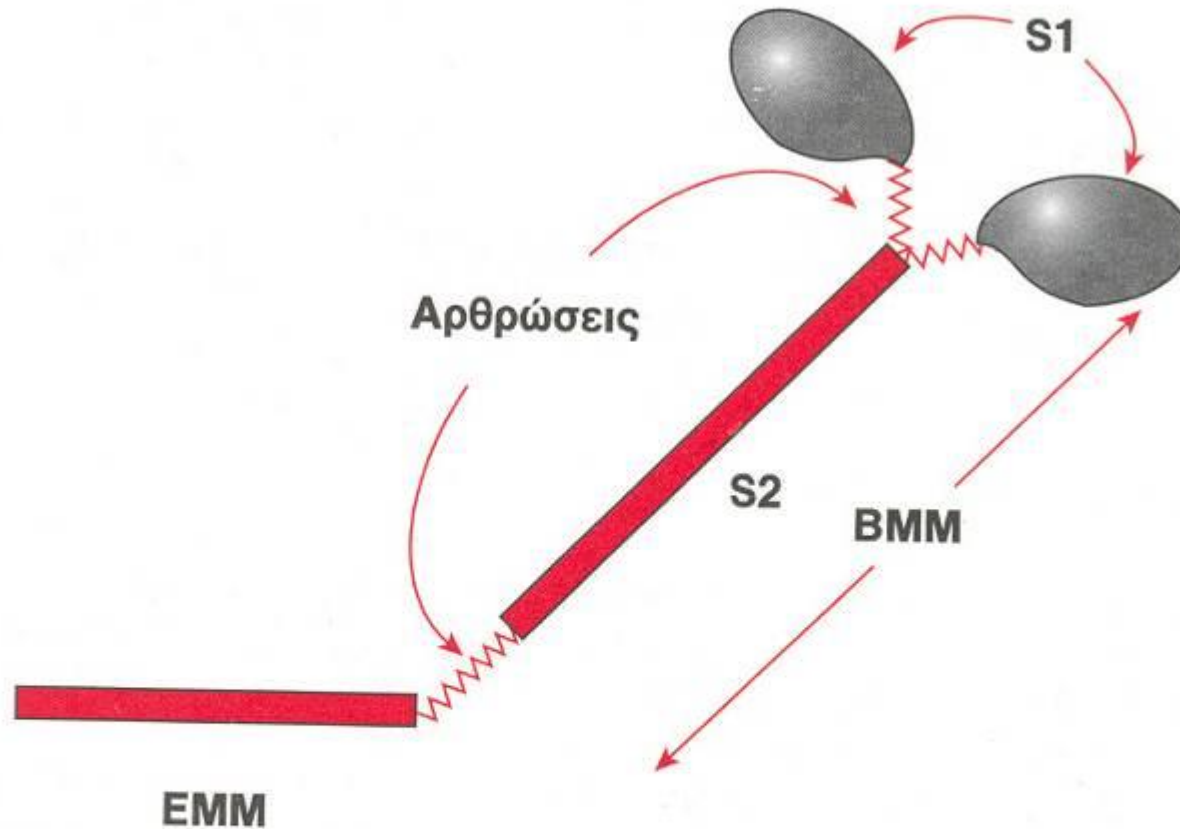
11. α-ακτινίνη

Μυϊκές Πρωτεΐνες - Μυοσίνη



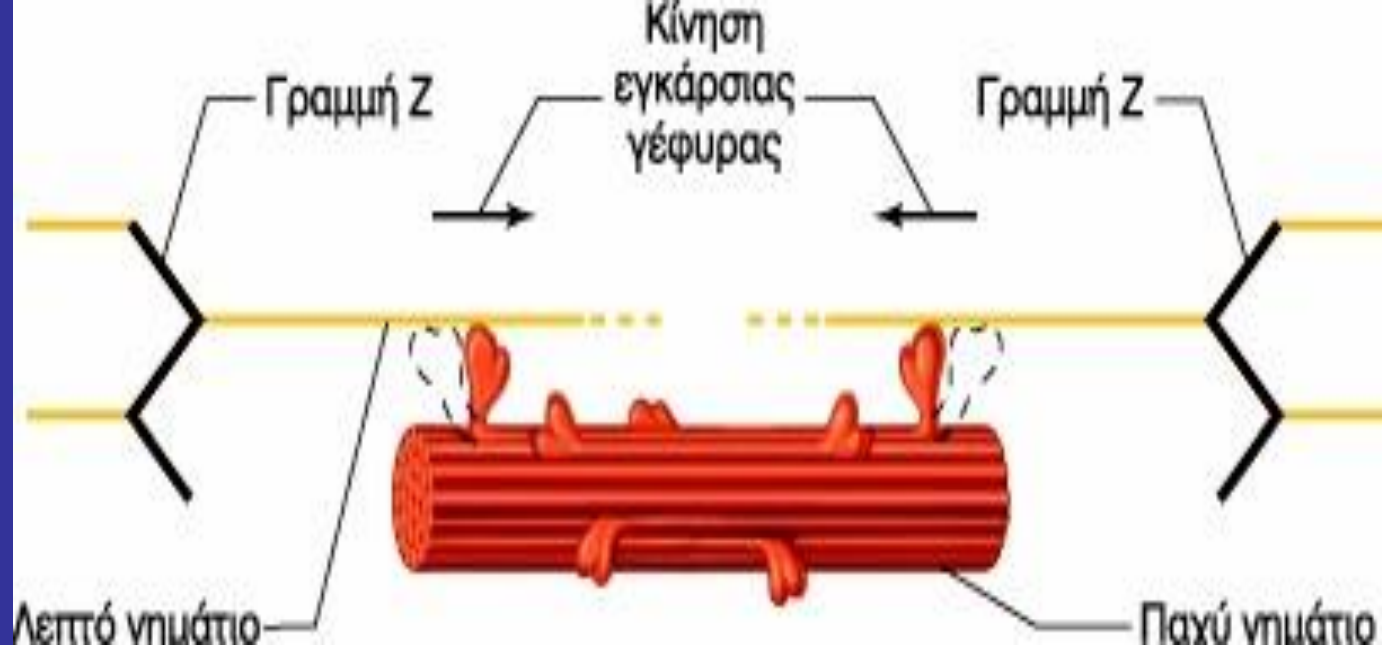
ΕΙΚΟΝΑ 7.5 Μυοσίνη. Α. Η μυοσίνη έχει τη μορφή δύο φιδιών τυλιγμένων το ένα γύρω από το άλλο. Αποτελείται από έξι πολυπεπτιδικές αλυσίδες: Δύο βαριές, που σχηματίζουν την ουρά και το μεγαλύτερο μέρος των δύο κεφαλών, και τέσσερις ελαφριές, που βρίσκονται ανά δύο στις κεφαλές. Β. Η μυοσίνη μπορεί να κοπεί με περιορισμένη πρωτεϊνόλυση. Κατεργασία με τρυψίνη (μια πρωτεϊνάση) τη χωρίζει σ' ελαφριά μερομυοσίνη (ΕΜΜ) και βαριά μερομυοσίνη (ΒΜΜ). Γ. Παραπέρα κατεργασία της ΒΜΜ με παπαΐνη (μια άλλη πρωτεϊνάση) τη διαιρεί σε δύο υποτιμήματα S1 κι ένα υποτιμήμα S2.

Μυϊκές Πρωτεΐνες - Μυοσίνη

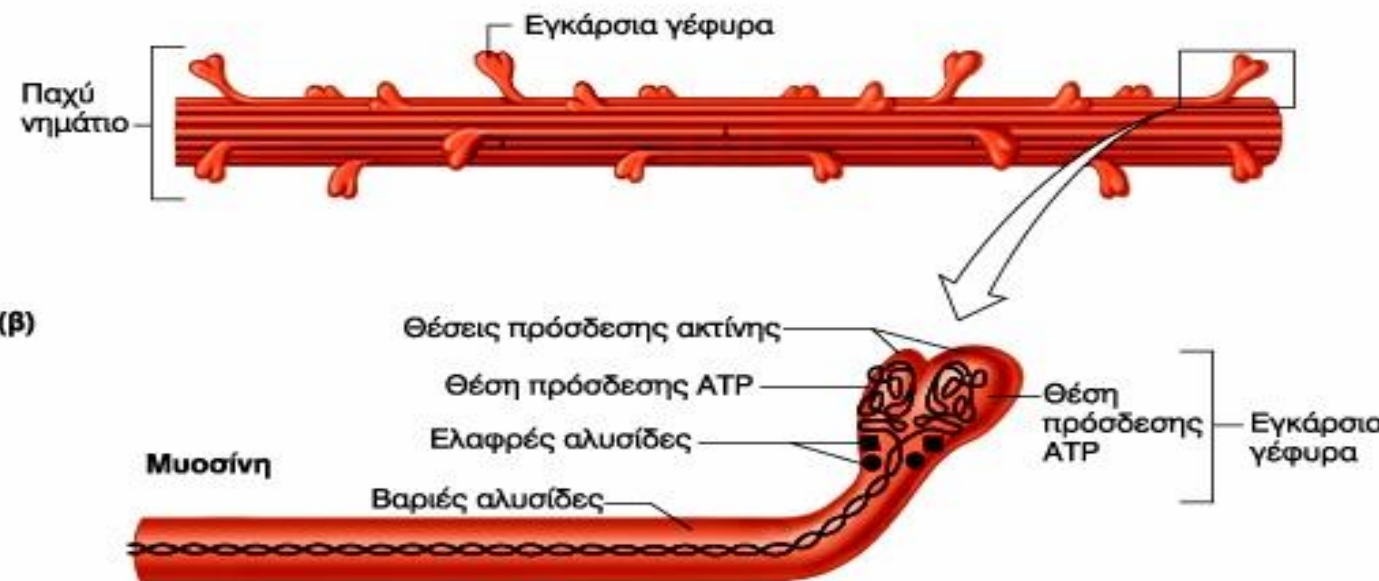


ΕΙΚΟΝΑ 7.6 Αρθρώσεις της μυοσίνης. Η μυοσίνη χωρίζεται σε λειτουργικές περιοχές που συνδέονται με δύο είδη αρθρώσεων. Οι αρθρώσεις επιτρέπουν στις κεφαλές S1 να μεταβάλλουν την επαφή τους με την ακτίνη κατά τη συστολή. [Από το βιβλίο *Biochemistry* του Lubert Stryer. Copyright © 1988 Lubert Stryer. Με την άδεια του οίκου W. H. Freeman and Company.]

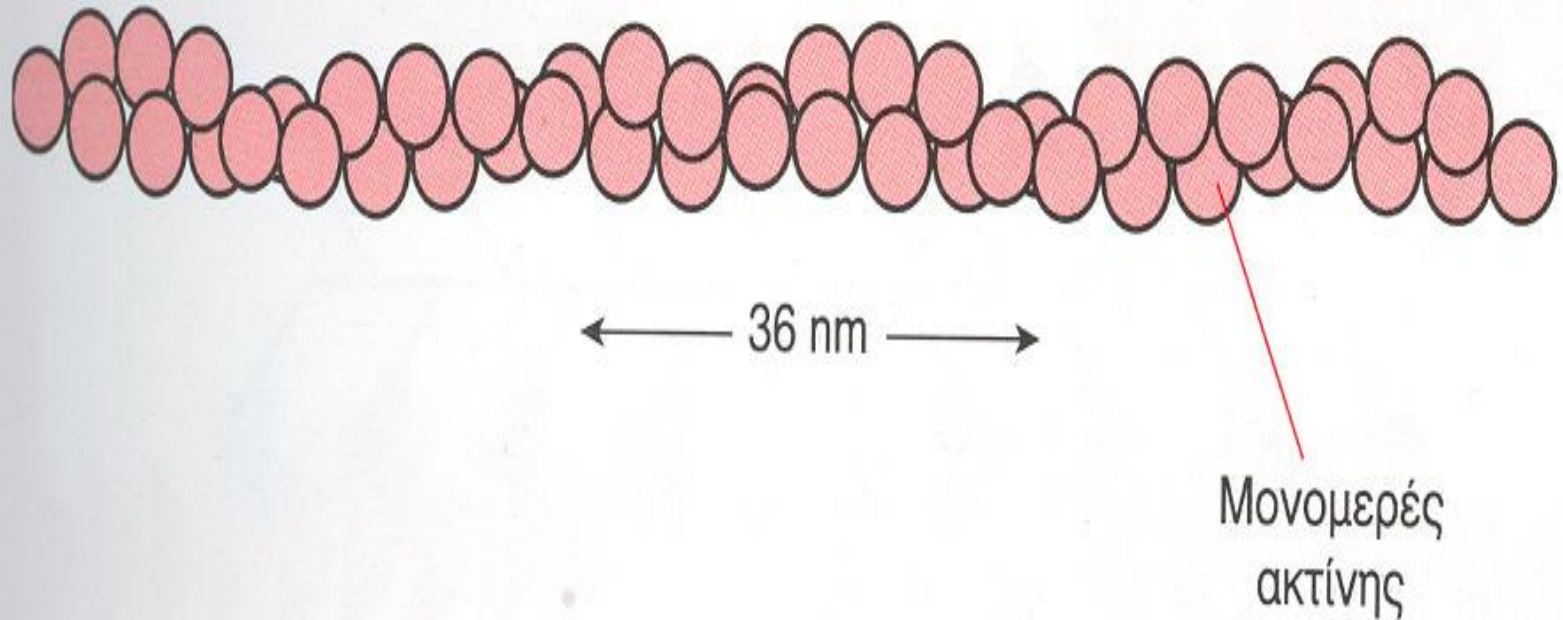
Μυϊκές Πρωτεΐνες - Μυοσίνη



(α)

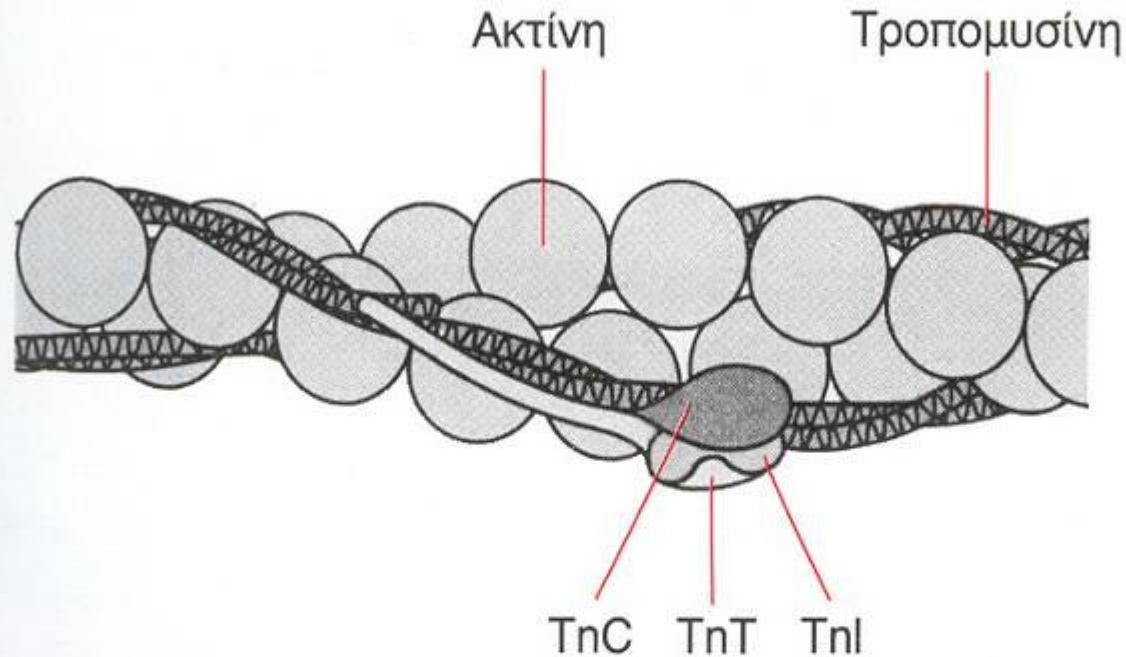


Μυϊκές Πρωτεΐνες - Ακτίνη



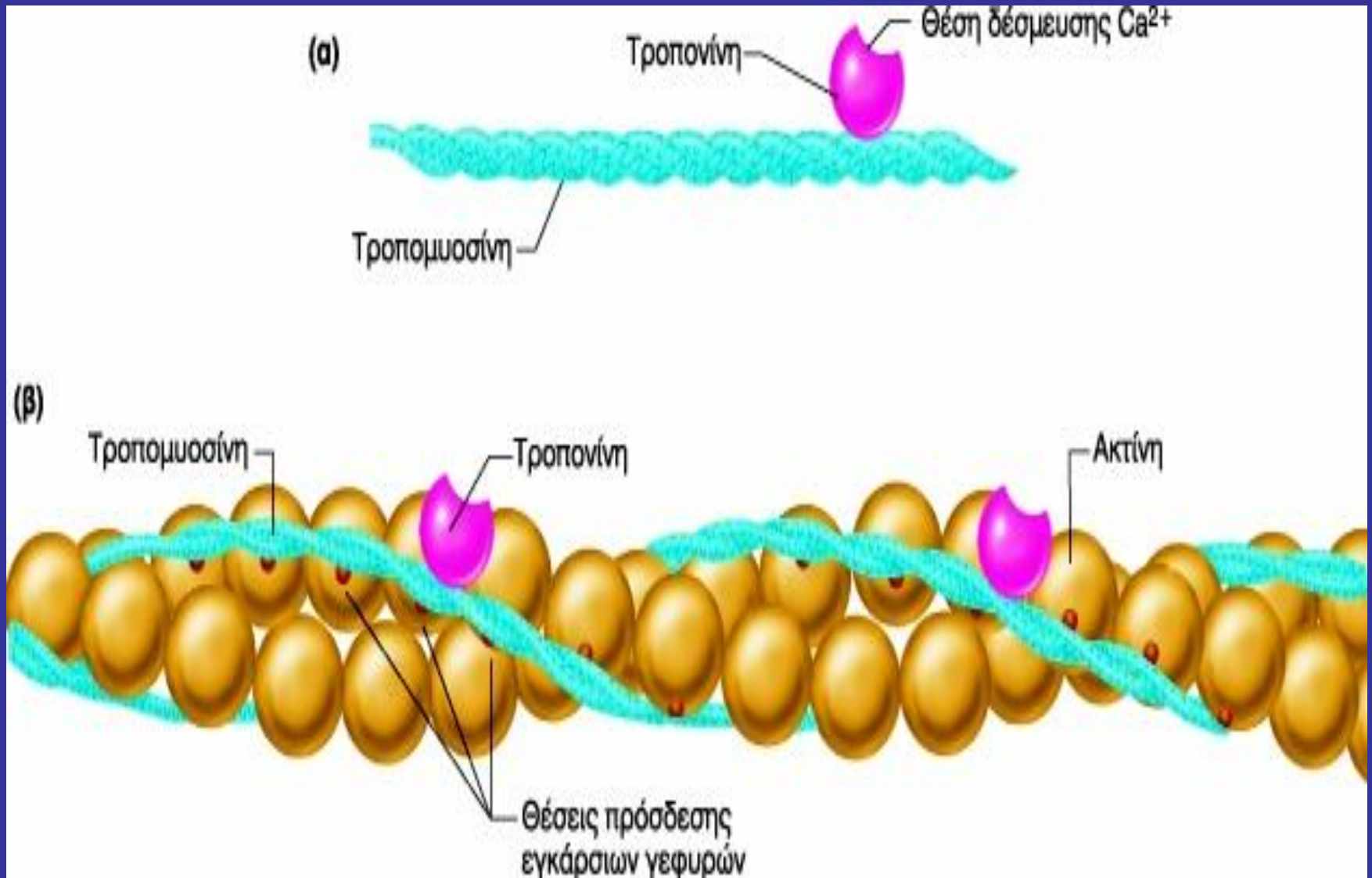
ΕΙΚΟΝΑ 7.7 Ακτίνη. Η F-ακτίνη σχηματίζεται από τη συγκόλληση ζευγών μονομερών ακτίνης, που στρίβουν σιγά-σιγά δίνοντας την εικόνα δύο ινών τυλιγμένων η μια γύρω από την άλλη. Μια πλήρης στροφή της F-ακτίνης περιλαμβάνει 13 μονομερή κι έχει μήκος 36 nm.

Μυϊκές Πρωτεΐνες – Τροπομυοσίνη & Ακτίνη

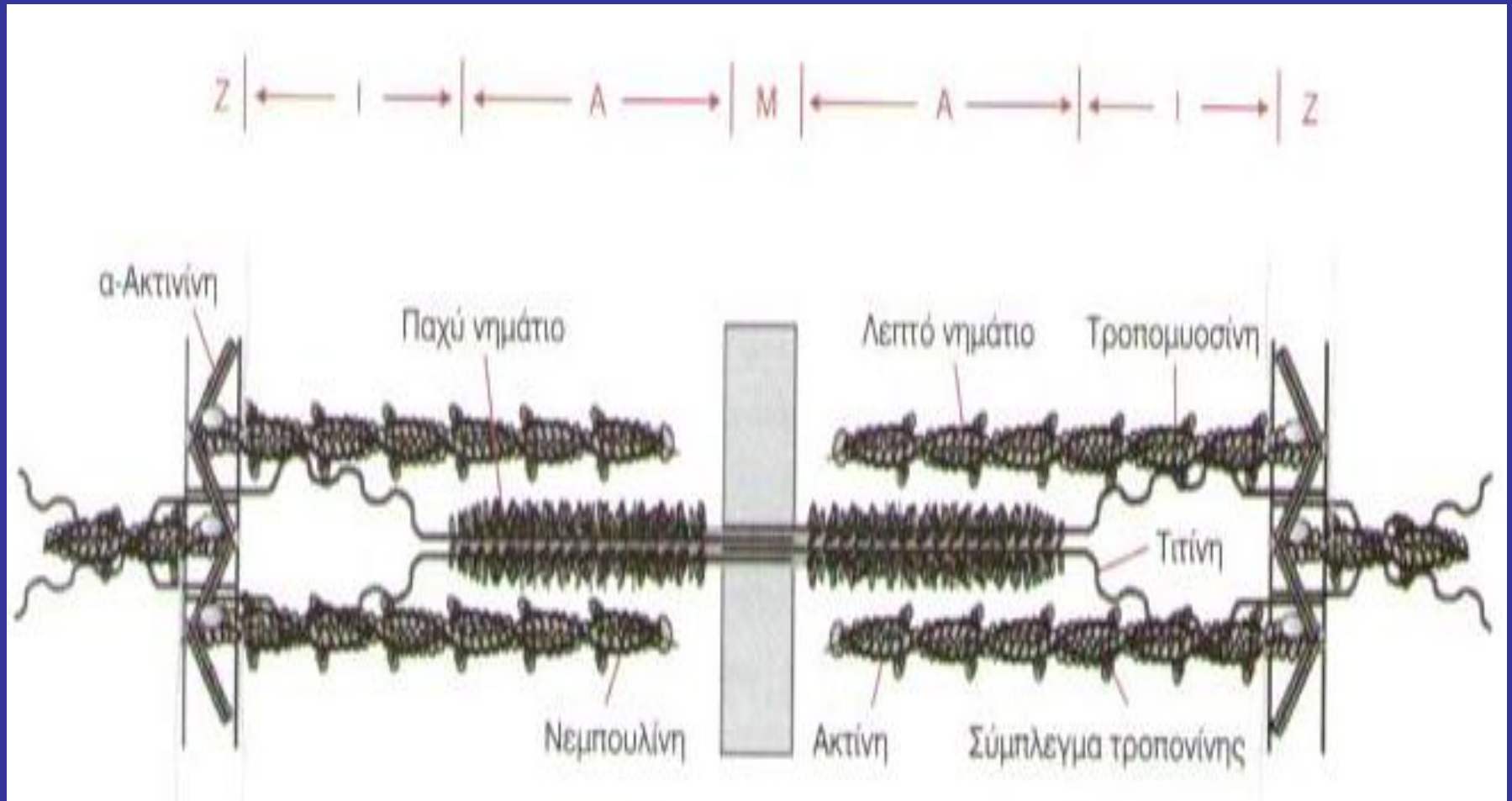


ΕΙΚΟΝΑ 7.10 Οι πρωτεΐνες του λεπτού νηματίου. Ένα λεπτό νημάτιο αποτελείται από μια ίνα F-ακτίνης, δύο σειρές μορίων τροπομυοσίνης και συμπλέγματα τροπονίνης τοποθετημένα σε κανονικά διαστήματα. Κάθε σύμπλεγμα τροπονίνης αποτελείται από μια TnC, που είναι ο δέκτης του Ca^{2+} , μια TnI, που συνδέεται με την ακτίνη, και μια TnT, που περιβάλλει κατά ένα μέρος την TnI κι εκτείνεται με μια μακριά ουρά κατά μήκος της τροπομυοσίνης. [Από το βιβλίο *Biochemistry* του Lubert Stryer. Copyright © 1988 Lubert Stryer. Με την άδεια του οίκου W. H. Freeman and Company.]

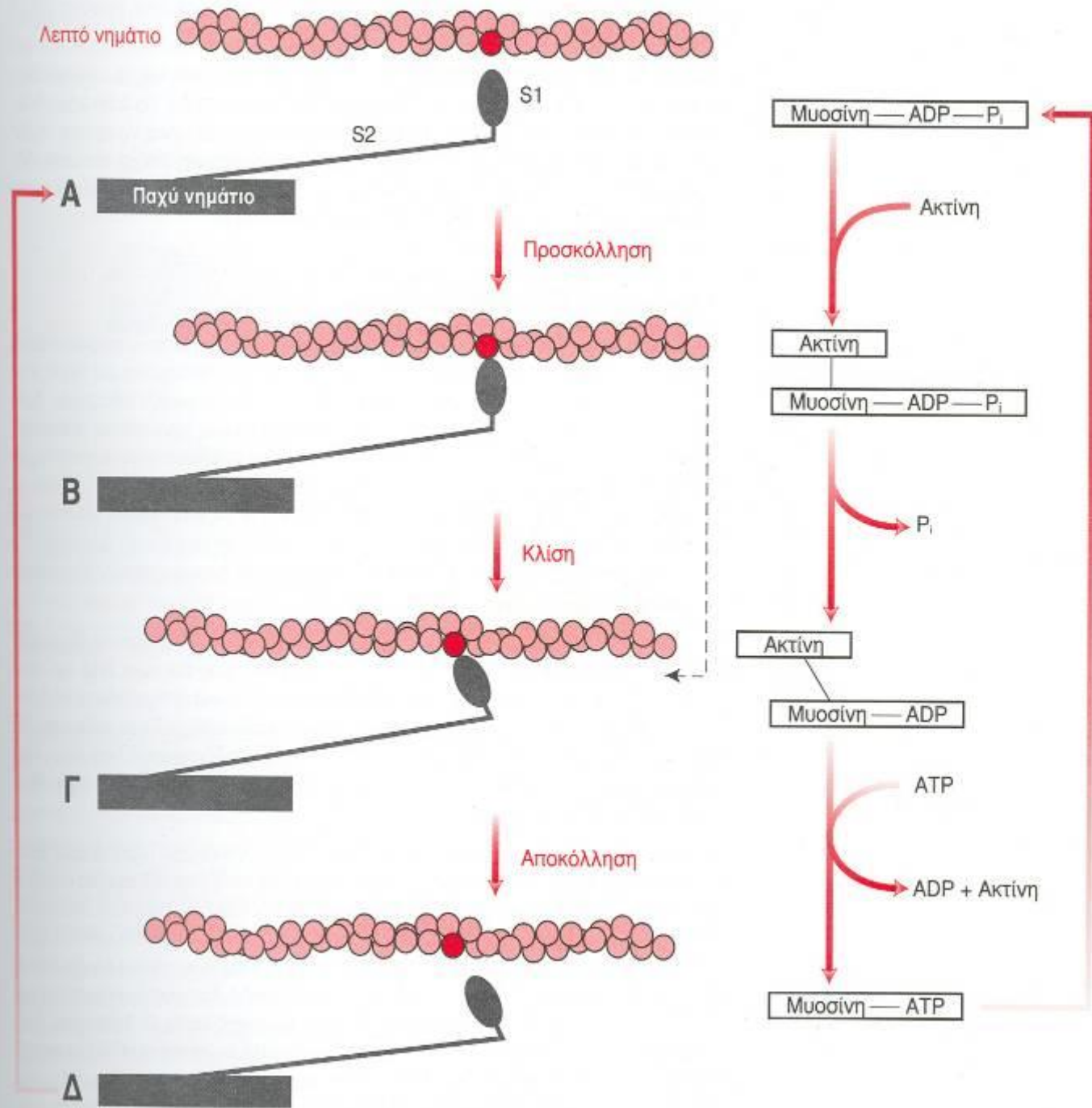
Μυϊκές Πρωτεΐνες – Τροπομυοσίνη & Ακτίνη



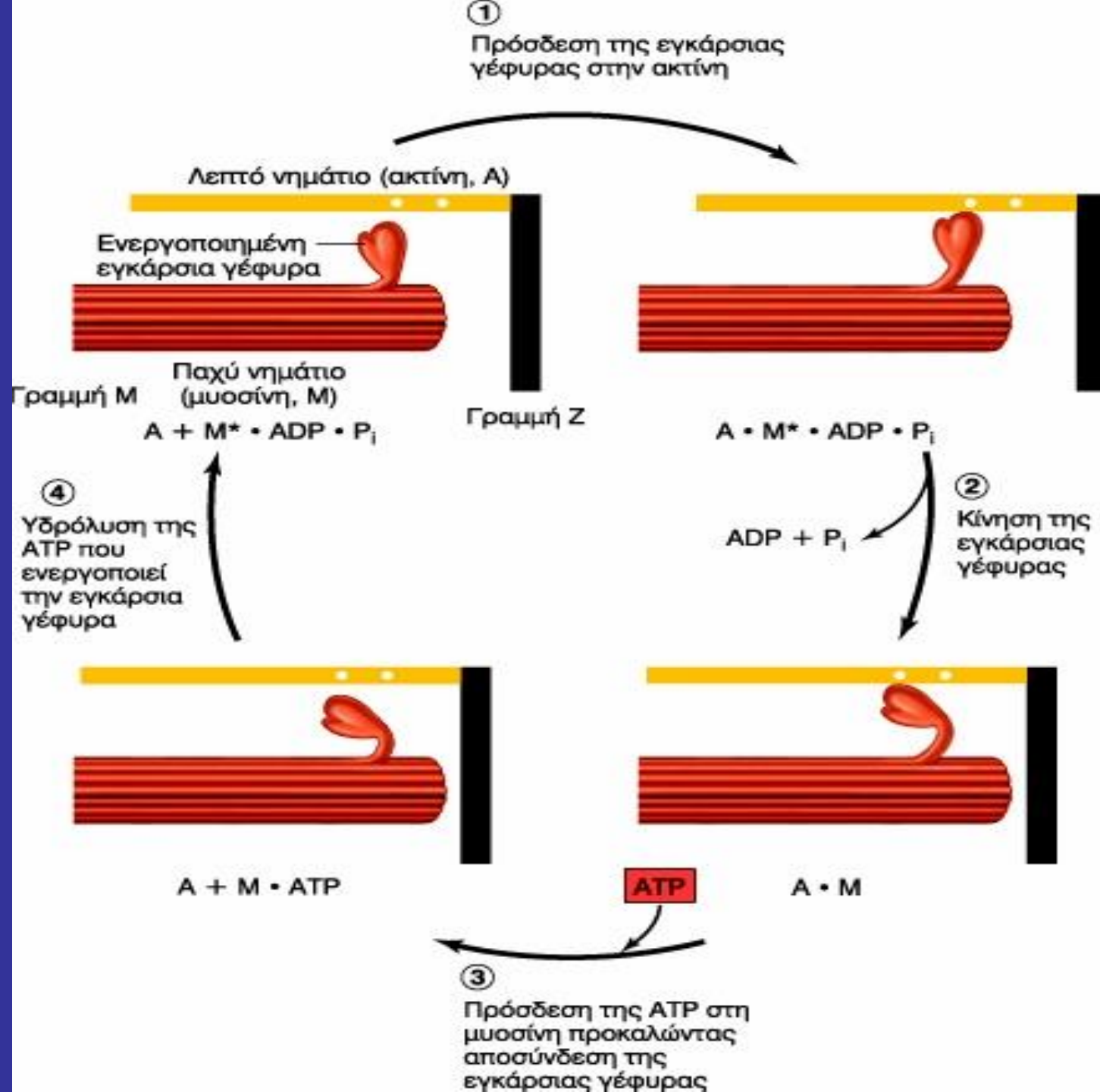
Αρχιτεκτονική του Σαρκομερίου



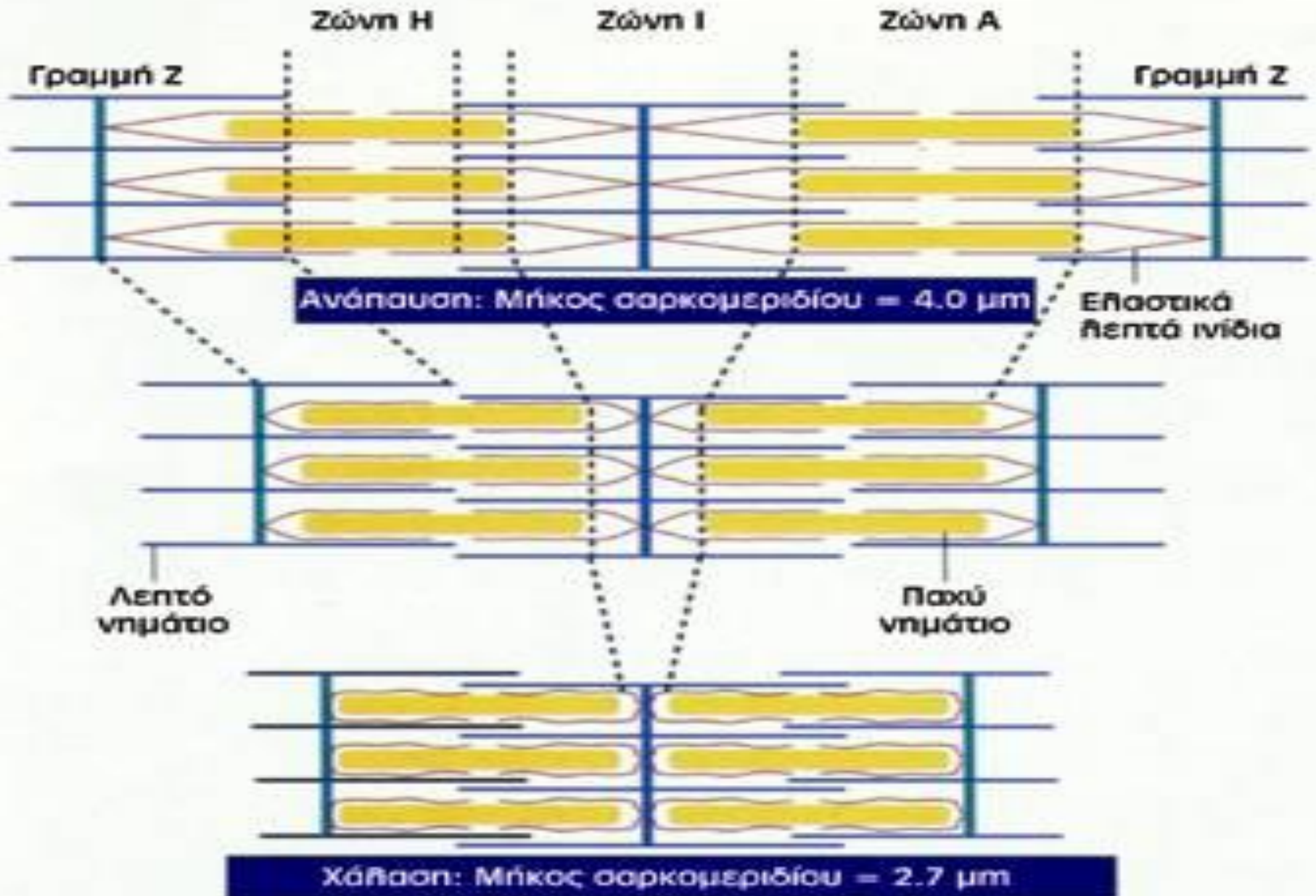
Μηχανισμός της μυϊκής σύσπασης



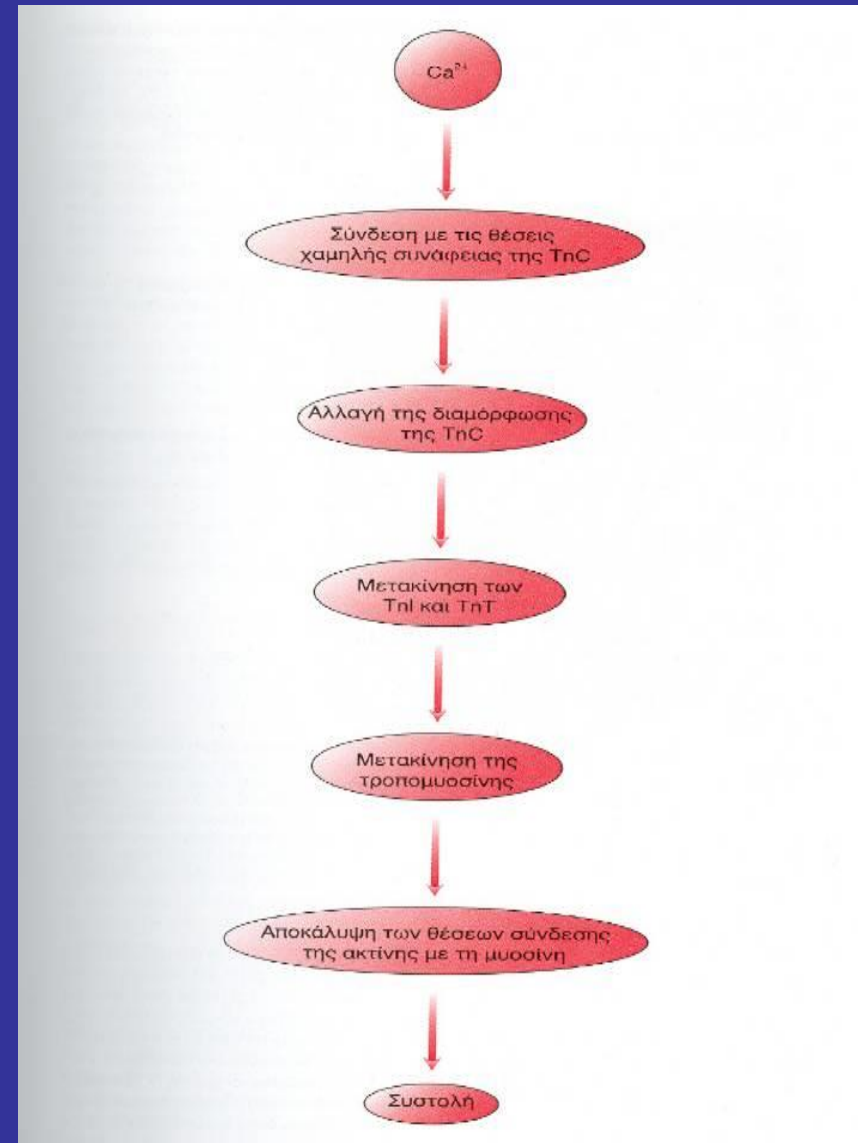
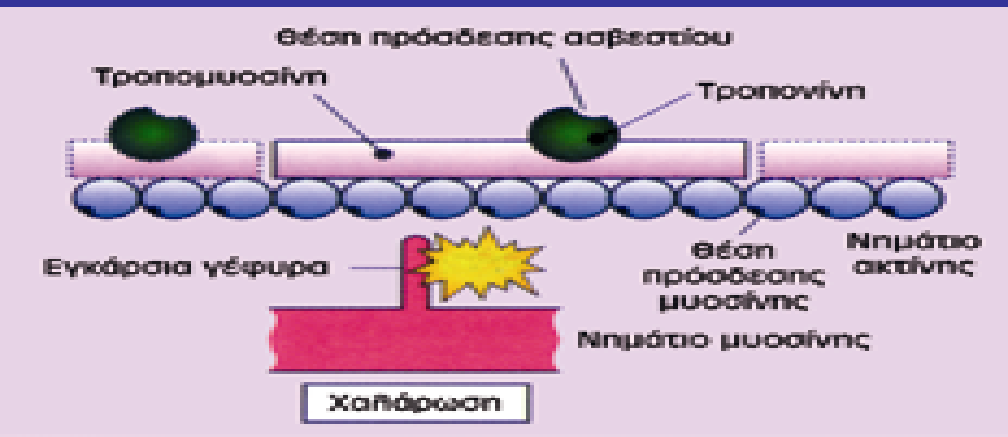
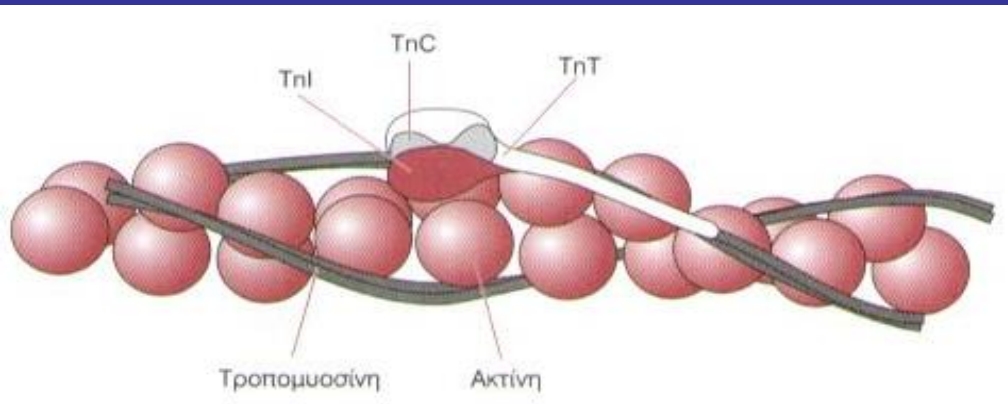
Μηχανισμός της μυϊκής σύσπασης



Βράχυνση του Σαρκομερίου

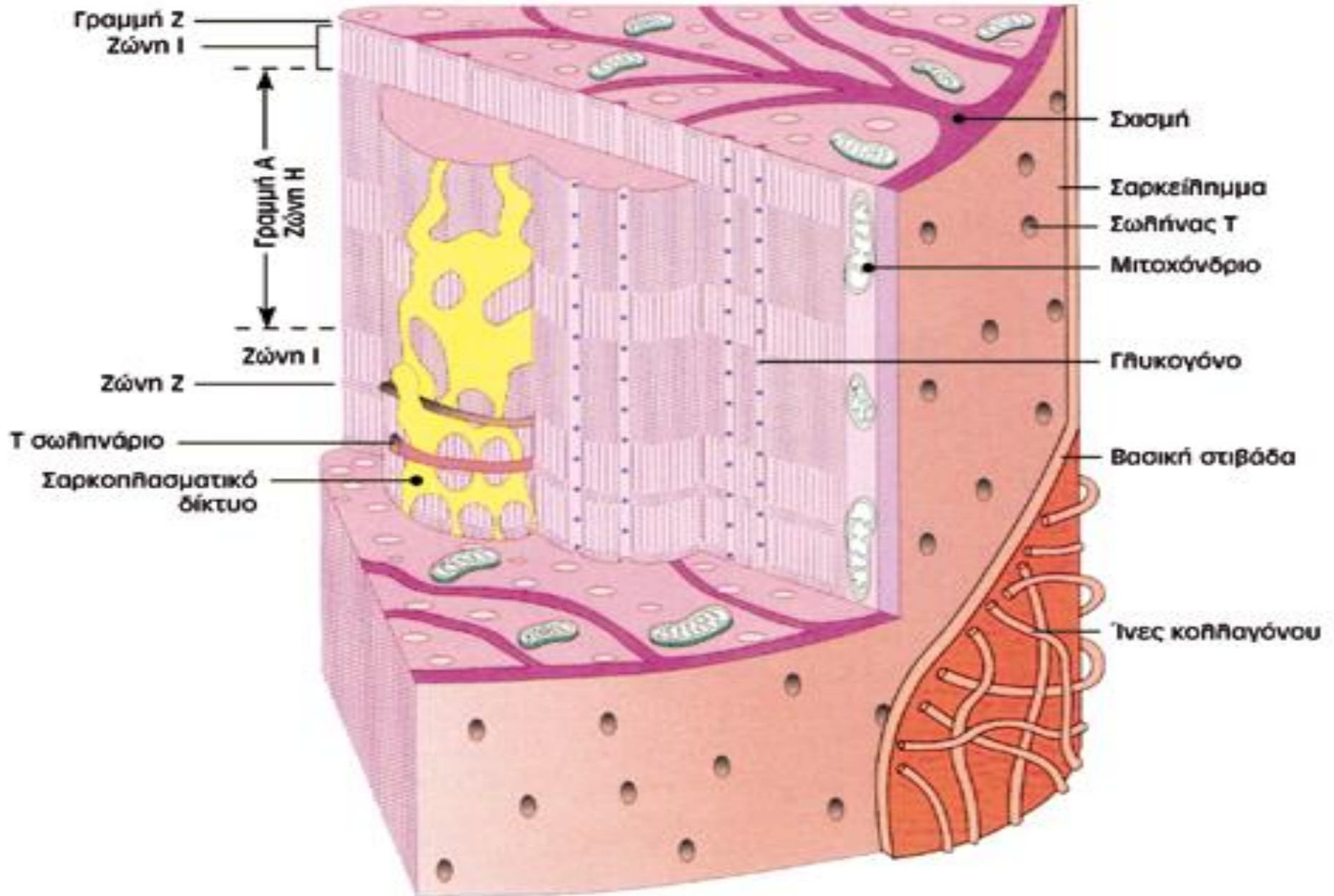


Ο Έλεγχος της Μυϊκής Συστολής

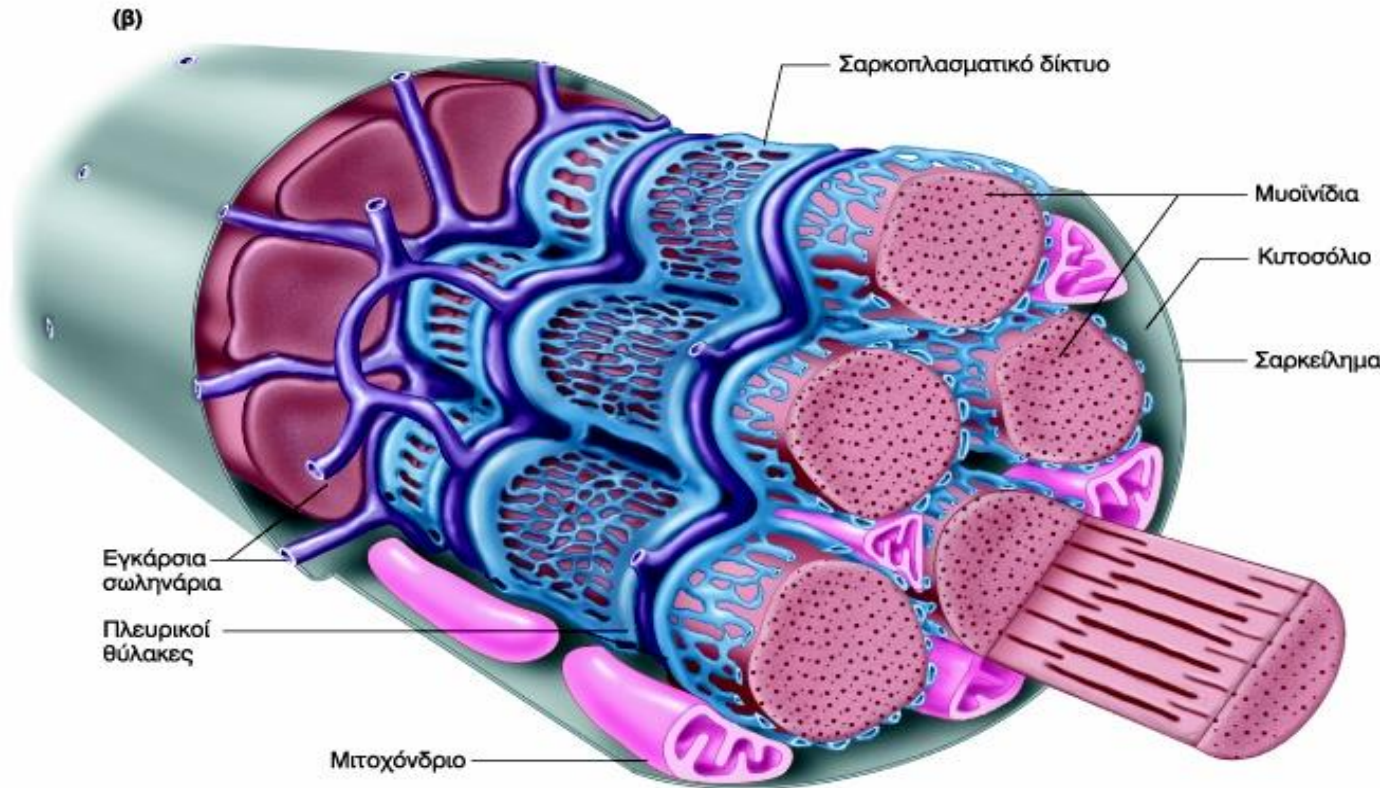
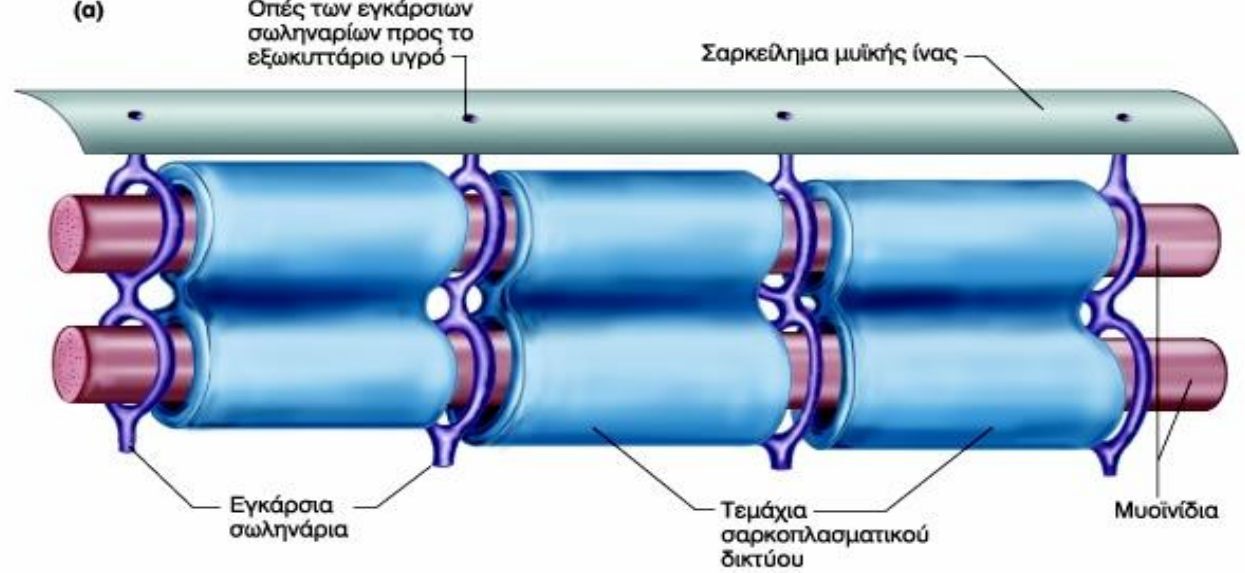


ΕΙΚΟΝΑ 7.12 Ο έλεγχος της μυϊκής συστολής. Το Ca^{2+} ελέγχει τη μυϊκή συστολή μέσω μιας σειράς πρωτεϊνικών αλληλεπιδράσεων, στις οποίες εμπλεκονται και οι τέσσερις κύριες μυϊκές πρωτεΐνες, δηλαδή (κατά σειρά) η τροπονίνη, η τροπομοσίνη, η ακτίνη και η μυσσίνη.

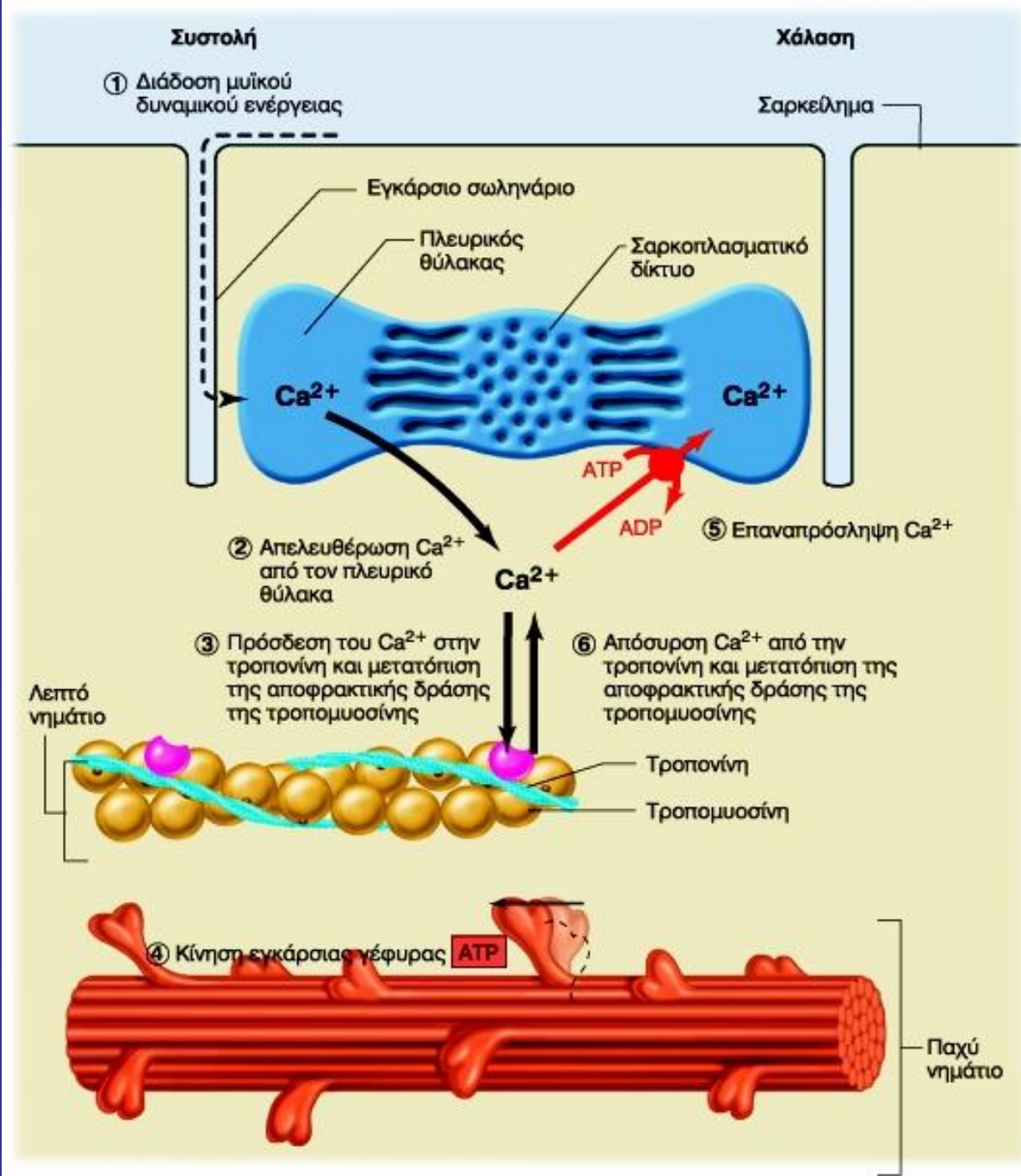
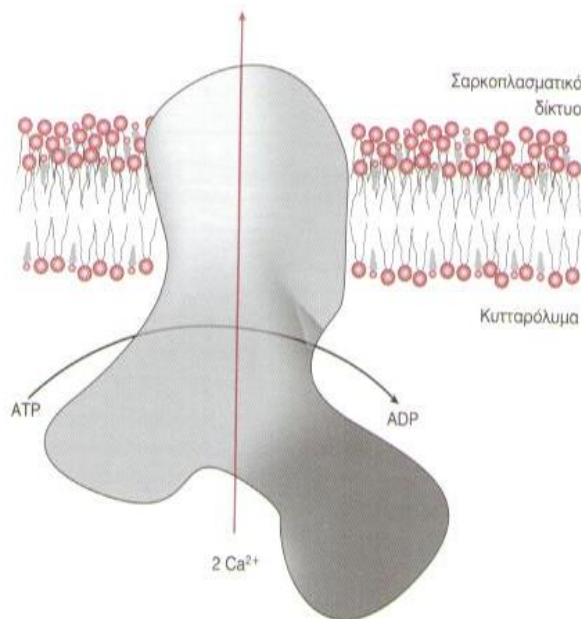
Σαρκοπλασματικό δίκτυο



Σαρκοπλασμα- τικό δίκτυο



Απελευθέρωση & Επαναπρόσληψη του ασβεστίου από το σαρκοπλασματικό δίκτυο



Μηχανισμός της μυϊκής σύσπασης

Δράση νευροδιαβιβαστή



Δυναμικό δράσης



Μετάδοση δυναμικού δράσης
στα εγκάρσια σωληνάρια



Άνοιγμα διαύλων ασβεστίου
στο σαρκοπλασματικό δίκτυο
και εκροή ασβεστίου στο
κυτταρόπλασμα



Σύνδεση ασβεστίου με την
τροπονίνη



Έλξη τροπομοσίνης



Σύνδεση ακτίνης - μωσίνης



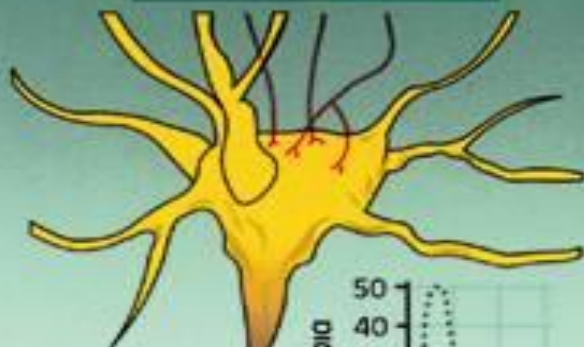
Ολίσθηση πρωτεϊνικών
νηματίων



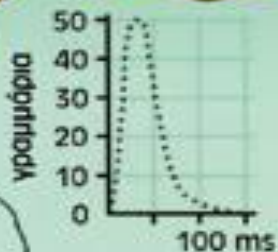
Μυϊκή σύσπλη

Είδη μυϊκών ινών

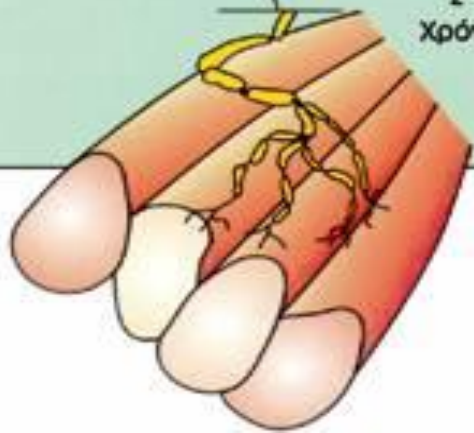
- Γρήγορη διέγερση
- Μεγάλη δύναμη
- Ταχύς κόματος



Διέγερση



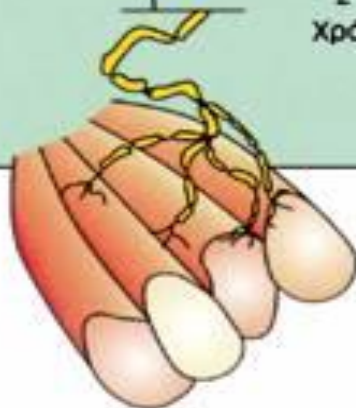
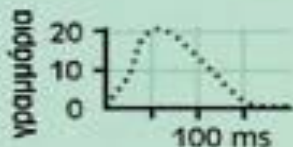
Κόματος



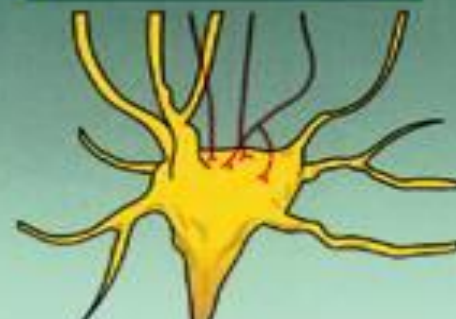
- Γρήγορη διέγερση
- Μεγάλη δύναμη
- Αντοχή στον κόματο



Διέγερση



- Βραχεία διέγερση
- Μικρή ισχύς
- Αντοχή στον κόματο



Διέγερση

