

Μυϊκή συστολή Σκελετικοί μύες

Η συστολή των σαρκομεριδίων μετατρέπεται σε παραγωγή έργου για τον οργανισμό

- Κίνηση του οργανισμού
- Μετακίνηση φορτίου

Χημειο-μηχανική μετατροπή

- 1 σαρκομερίδιο
 - Μήκος σύσπασης: 10nm
 - Δύναμη: $5 \cdot 10^{-12}$ N
- 1 μυϊκό κύτταρο
 - $3 \cdot 10^5$ N στο βέλτιστο μήκος τους

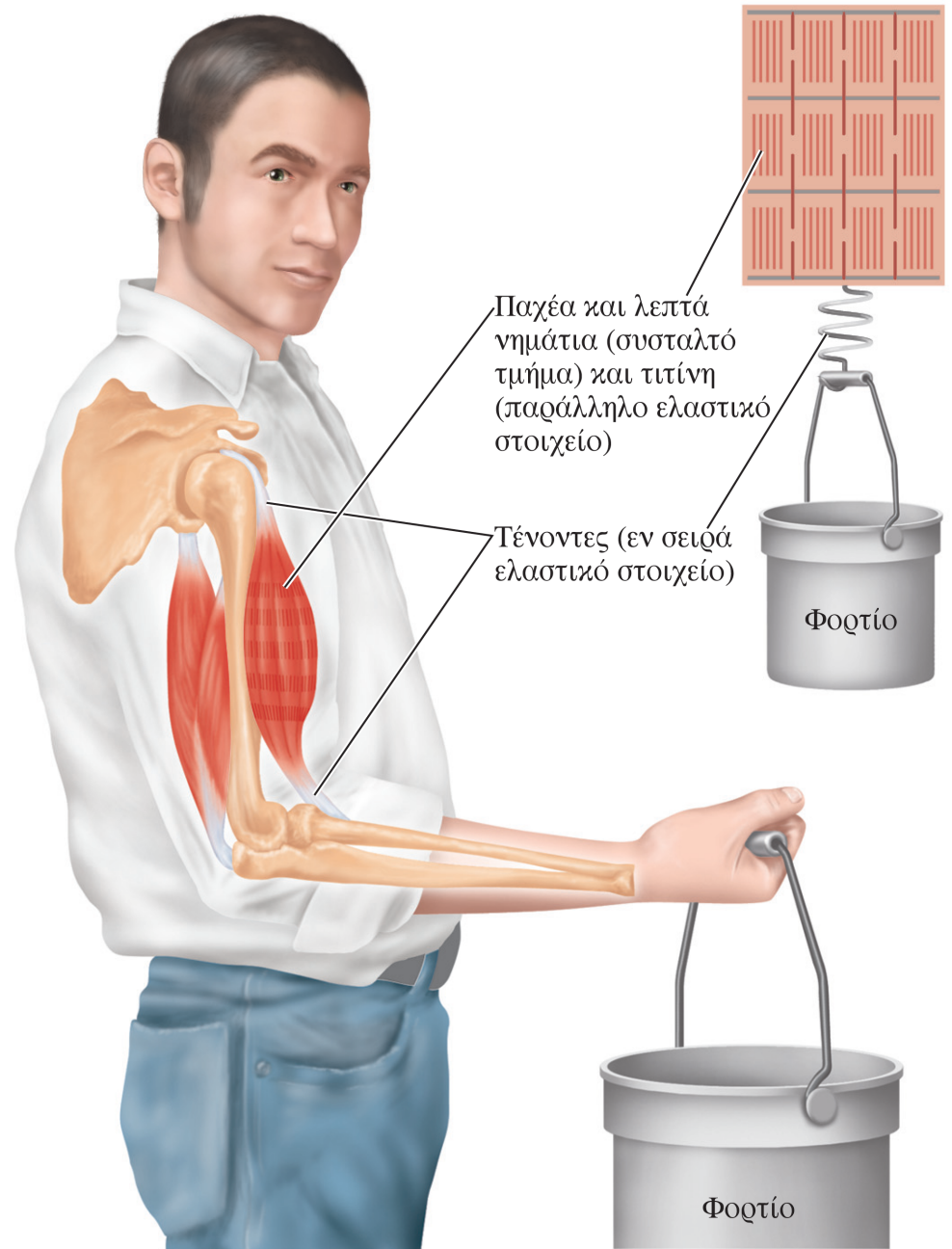
Χημειο-μηχανική μετατροπή

- Μηχανικές μεταβλητές της απόδοσης του μυός
 - Δύναμη
 - Μήκος
 - Χρόνος
- Παράγωγες μεταβλητές
 - Έργο = δύναμη * απόσταση
 - Ταχύτητα = μήκος * χρόνος

Ισομετρική και ισοτονική συστολή

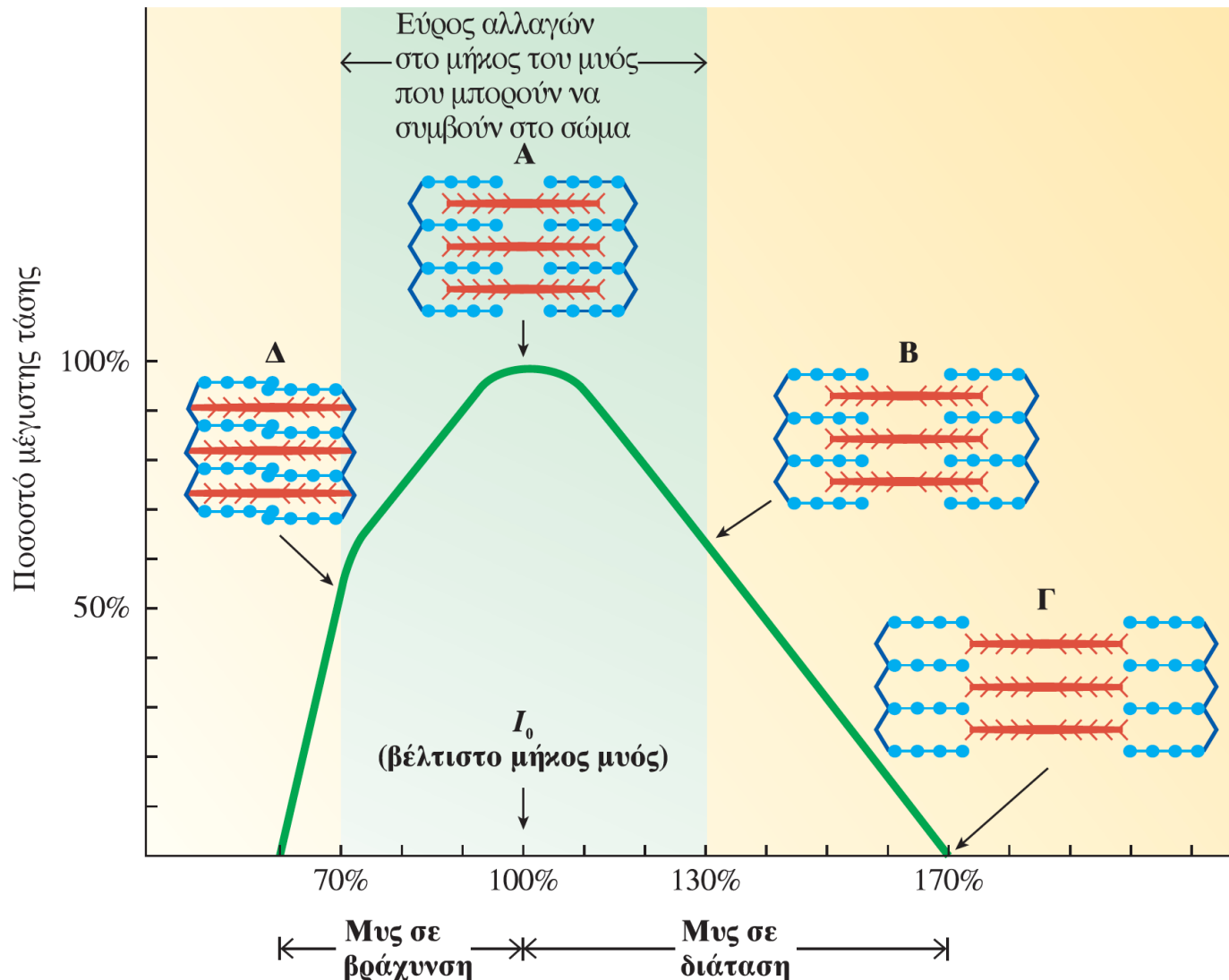
<https://www.youtube.com/watch?v=pbXML3m2hSE>

Ισομετρική συστολή



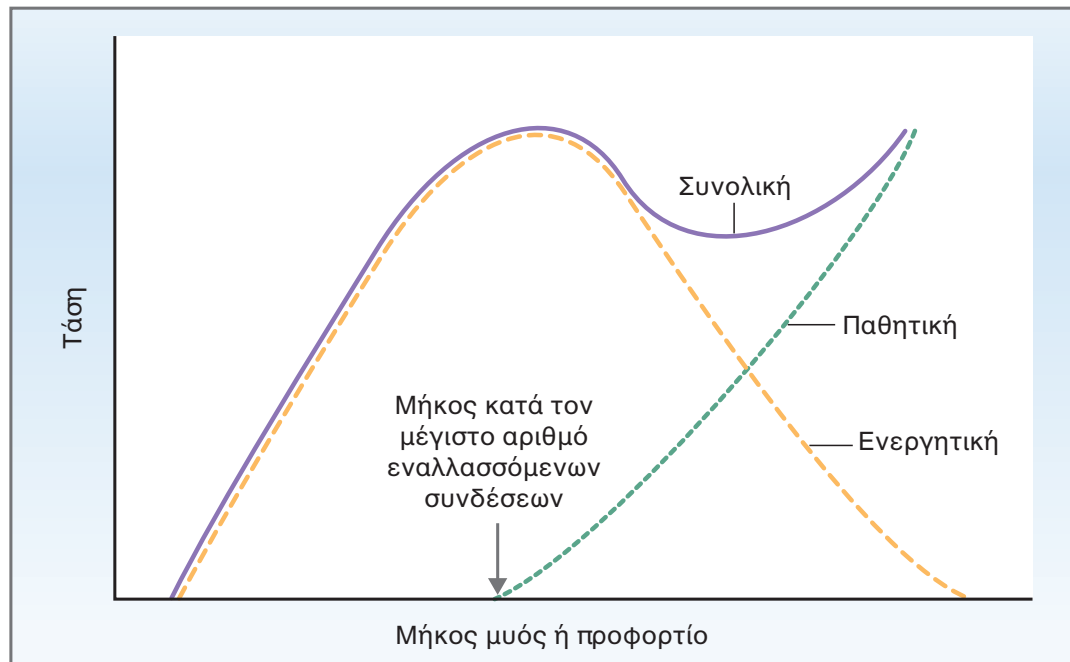
Ισομετρική συστολή

Σχέση μήκους-δύναμης



Μήκος του μυός ως % ποσοστό του βέλτιστου μήκους

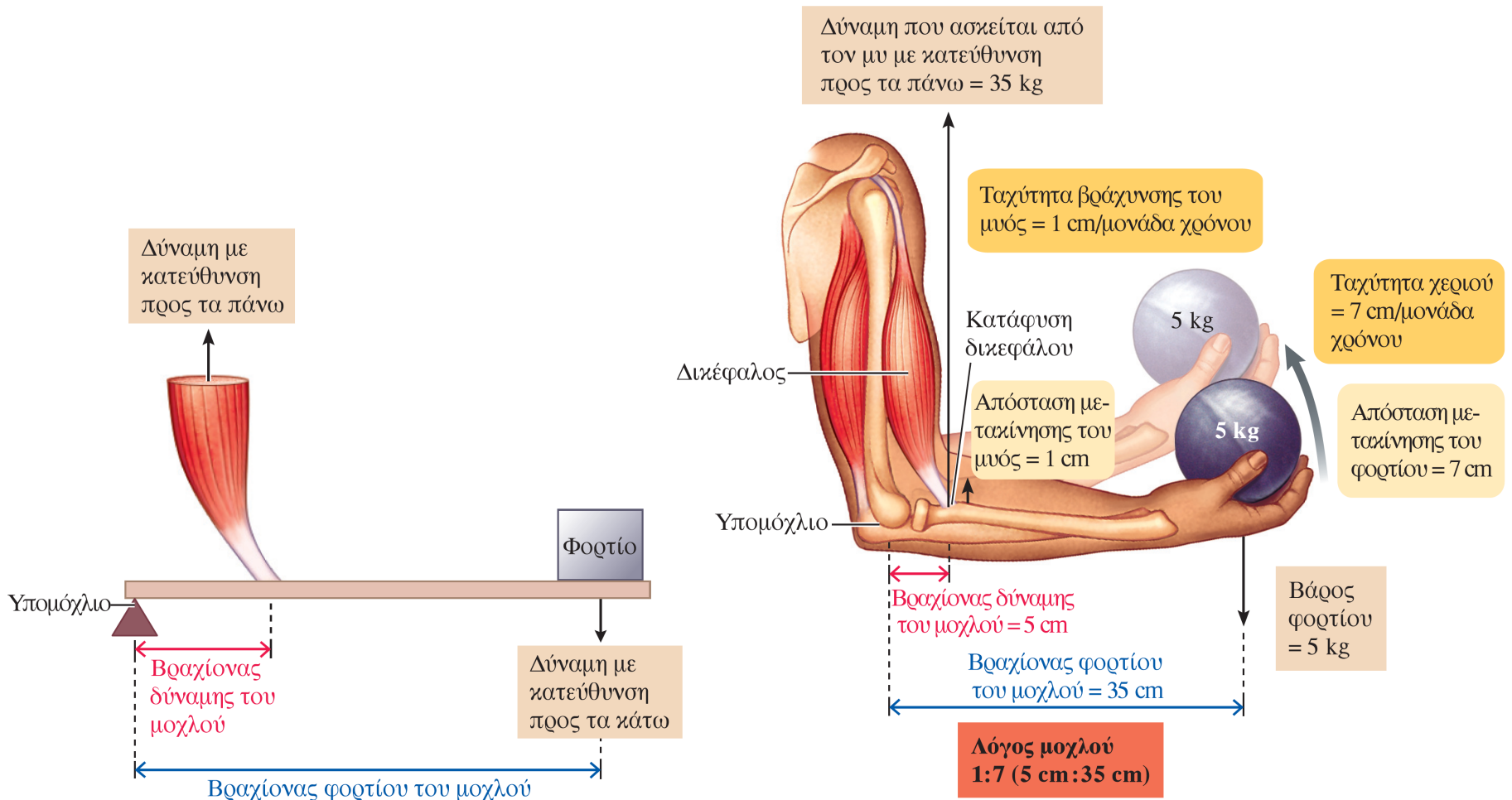
Ισομετρική συστολή



Εικόνα 1 -26. Η σχέση μήκους-τάσης στους σκελετικούς μυς. Η μέγιστη ενεργός τάση παράγεται σε εκείνο το μήκος της μυϊκής ίνας όπου υπάρχει μέγιστη αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των παχέων και λεπτών νημάτων.

Η δύναμη που παράγεται είναι ανάλογη του αριθμού εγκάρσιων γεφυρών που αλληλεπιδρούν με νημάτια της ακτίνης

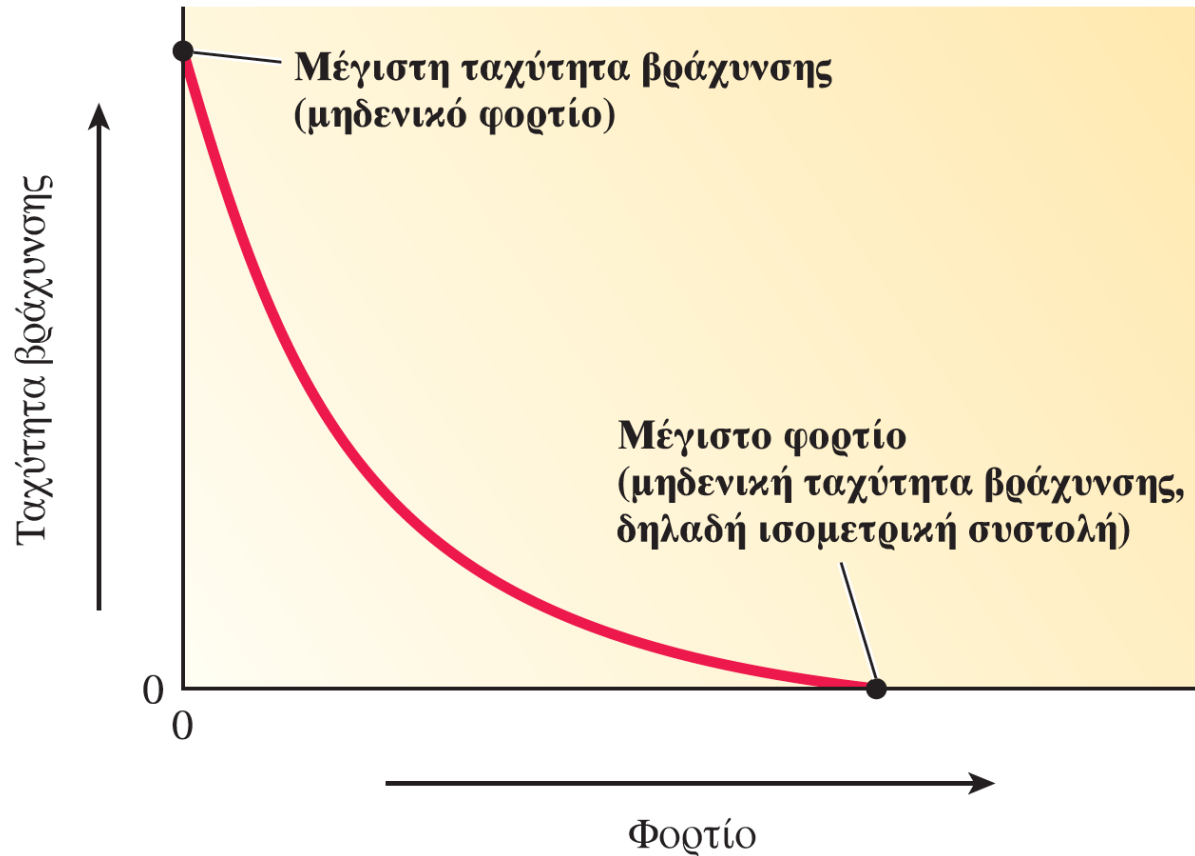
Ισοτονική συστολή

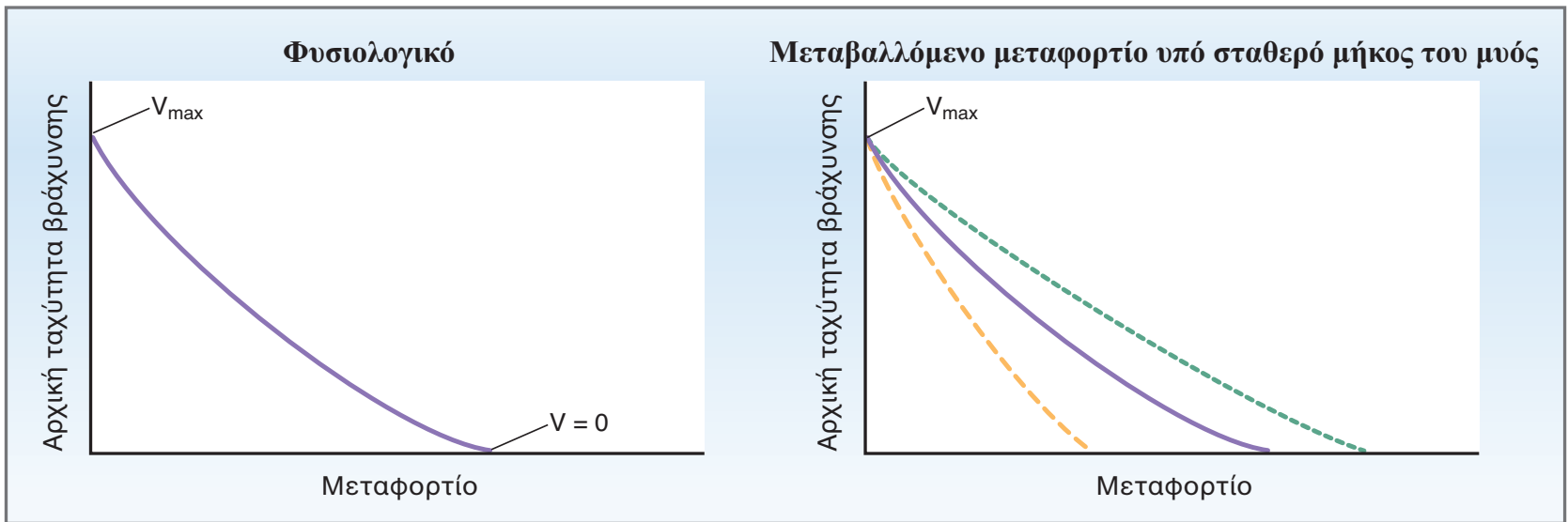


(α) Συχνότερος τύπος μοχλού στο σώμα

(β) Κάμψη της άρθρωσης του αγκώνα ως παράδειγμα συστήματος μοχλού στο σώμα

Ισοτονική συστολή



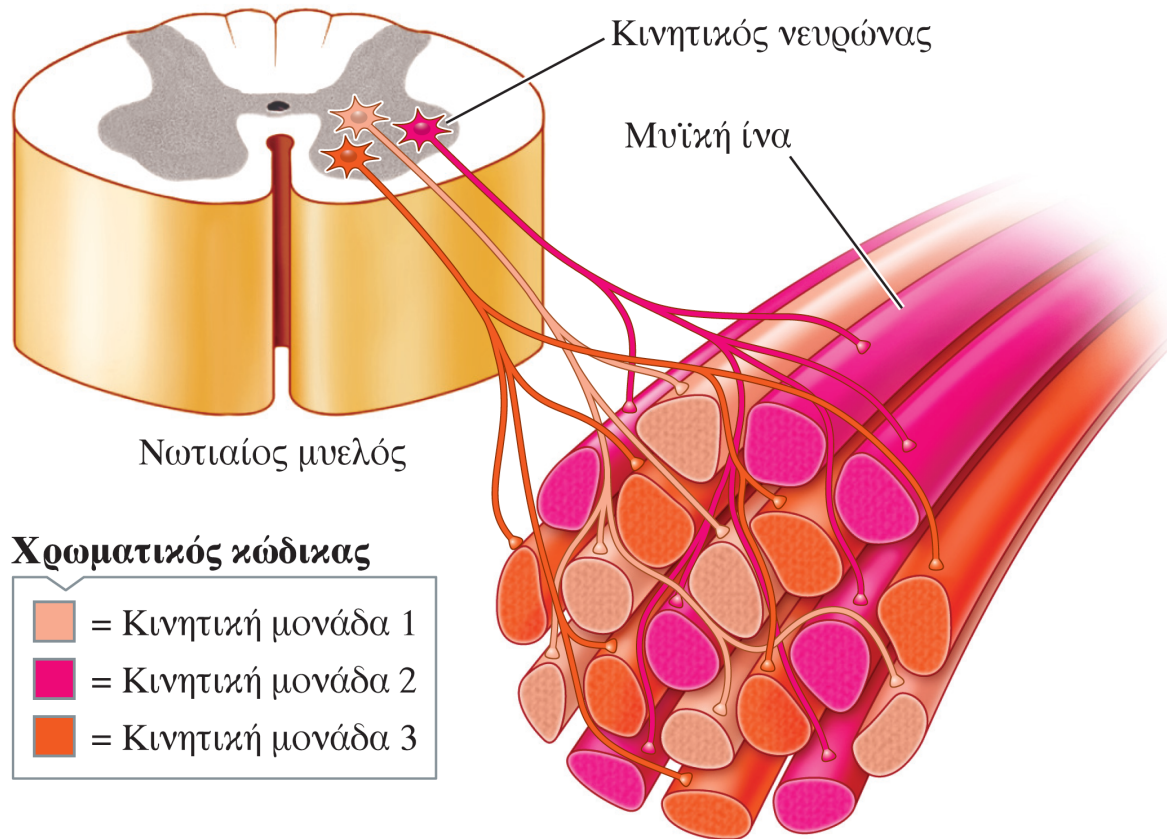


Εικόνα 1 -27. Η αρχική ταχύτητα βράχυνσης ως συνάρτηση του μεταφορτίου στους σκελετικούς μυς.

Ρύθμιση της μυϊκής συστολής και της δύναμης που παράγεται

- Είδος της κινητικής μονάδας
- Επιστράτευση κινητικών μονάδων
- Αύξηση της ηλεκτρικής διέγερσης του κινητικού νευρώνα

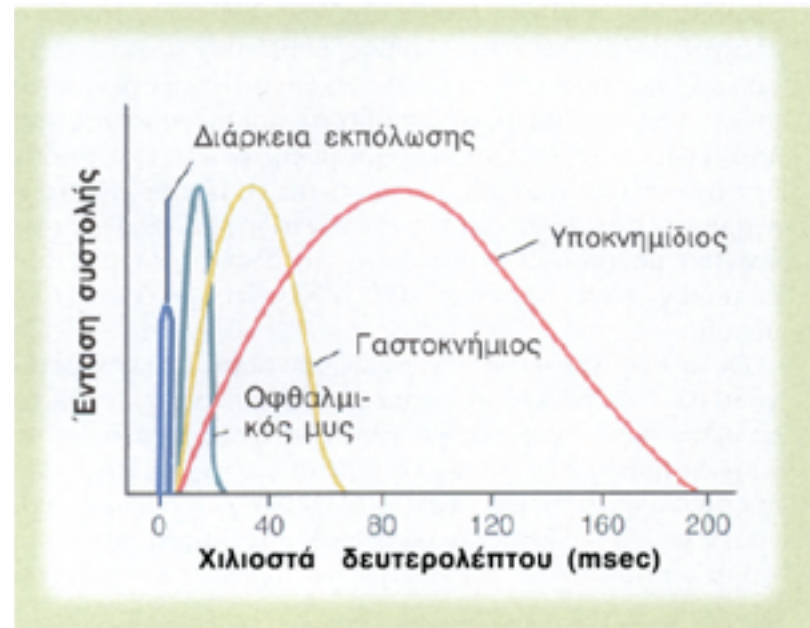
Κινητική μονάδα



- Ο νευράξονας του κινητικού νεύρου
- Όλες οι μυϊκές ίνες με τις οποίες συνάπτεται

Κινητική μονάδα σε σχέση με το μέγεθος του μυ

- Στους μικρούς μύες, ο λόγος εννεύρωσης των κινητικών μονάδων (αριθμός μυϊκών ινών ανά νευράξονα) είναι μικρός
- Στους μεγάλους μύες, ο λόγος εννεύρωσης των κινητικών μονάδων (αριθμός μυϊκών ινών ανά νευράξονα) είναι μεγάλος.



Σχήμα 6-12

Είδη κινητικών μονάδων

- Ταχείες γλυκολυτικές
- Ταχείες οξειδωτικές
- Βραδείες οξειδωτικές

Ταχείες και βραδείες κινητικές μονάδες

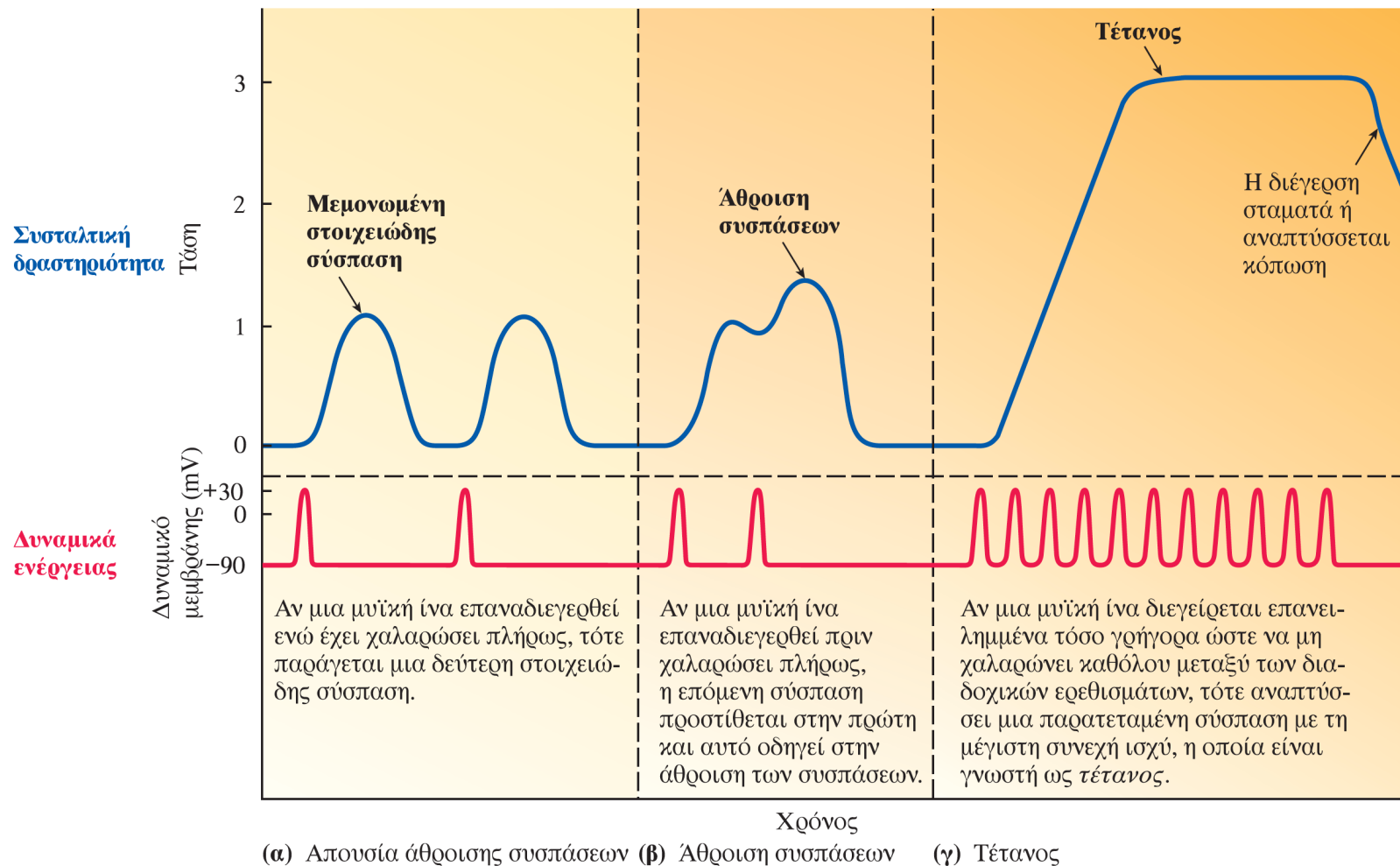
- Ταχείες ίνες

- Μεγάλη ταχύτητα βράχυνσης
- Γλυκολυτικές
- Υψηλός ρυθμός κατανάλωσης ATP
- Εμφανίζουν κάματο γρήγορα
- Αναερόβιο μεταβολισμό (γλυκόλυση)
- αυξημένα επίπεδα γλυκολυτικών ενζύμων

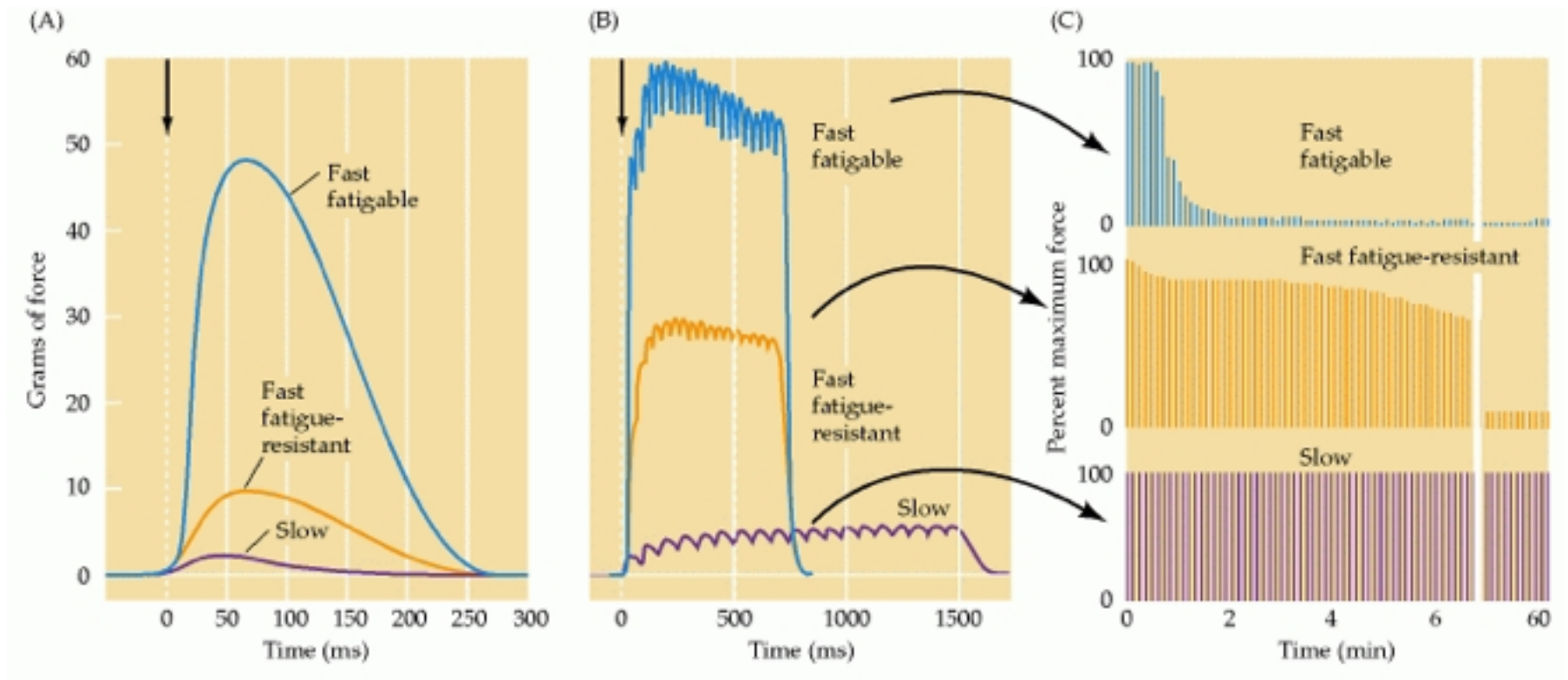
- Βραδείες ίνες

- Μέση ταχύτητα βράχυνσης
- Μεγάλη παροχή αίματος και πολλά μιτοχόνδρια
- Εμφανίζουν κάματο αργά
- Αερόβιο μεταβολισμό (οξειδωτική φωσφορυλίωση)
- αυξημένα επίπεδα μιτοχονδρίων

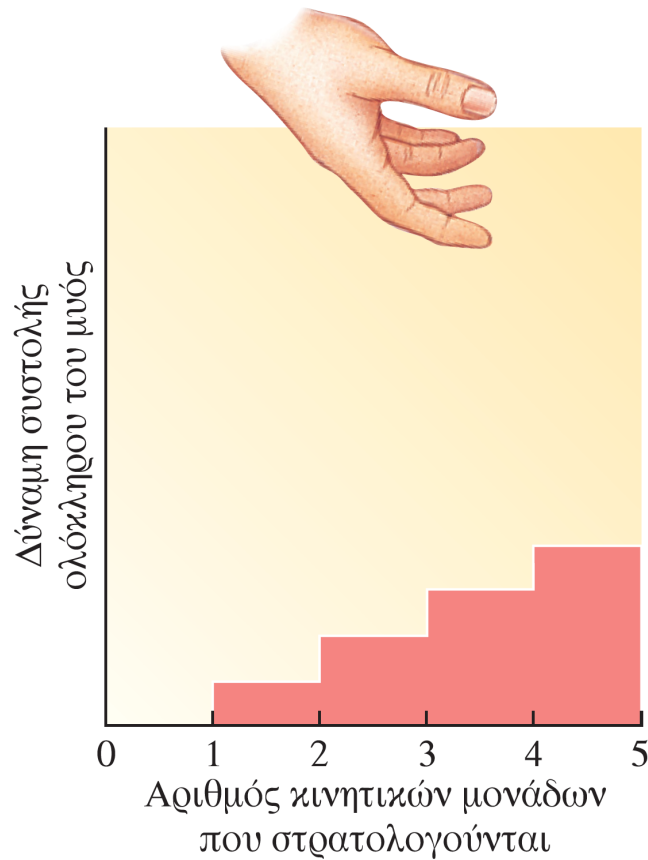
Ηλεκτρική διέγερση του κινητικού νευρώνα



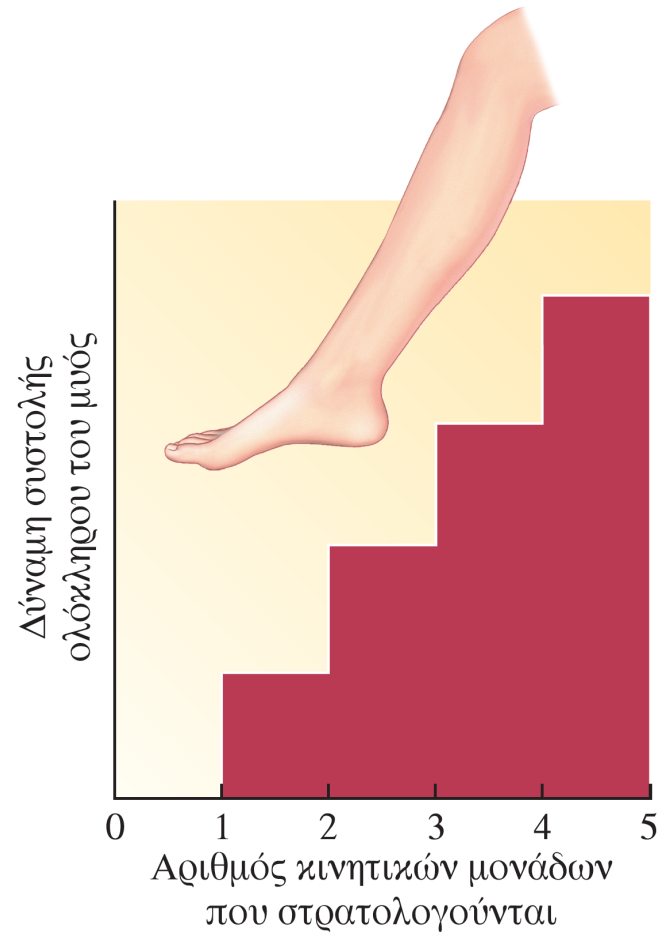
Ανταπόκριση των διαφόρων τύπων κινητικών μονάδων σε ηλεκτρική διέγερση



Επιστράτευση κινητικών μονάδων



(α) Μικρές κινητικές μονάδες



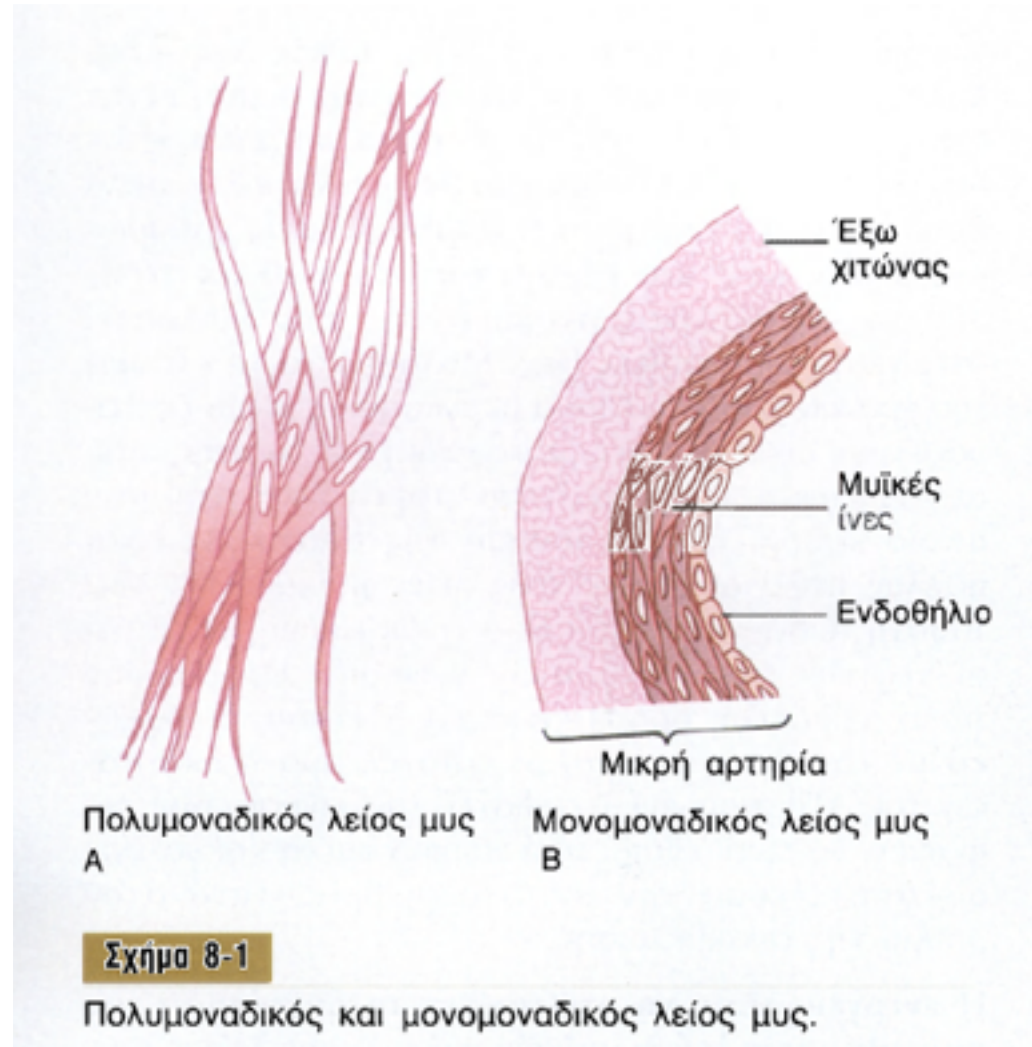
(β) Μεγάλες κινητικές μονάδες

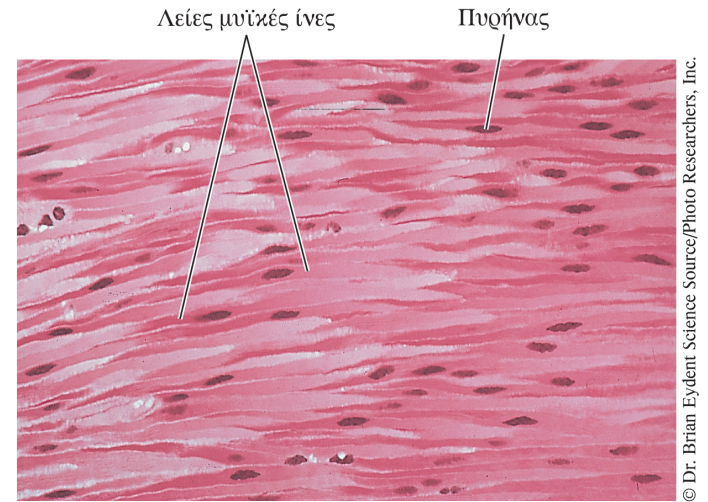
ΜΥΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Συστολή σκελετικών μυών
Μηχανική σκελετικών μυών
Λείοι μύες

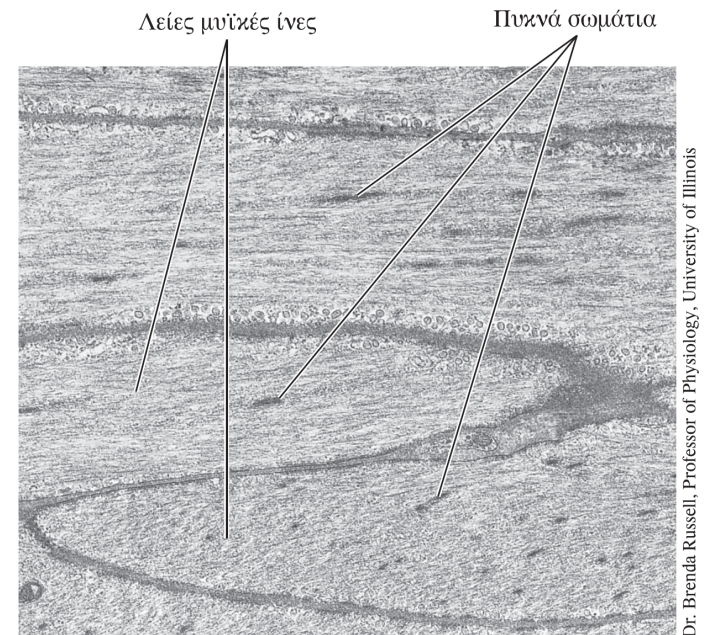
Λείος μυς

- Αρτηρίες
 - Στομάχι
 - Γαστρεντερικός σωλήνας
 - Κύστη
- Φασική/
τονική συστολή



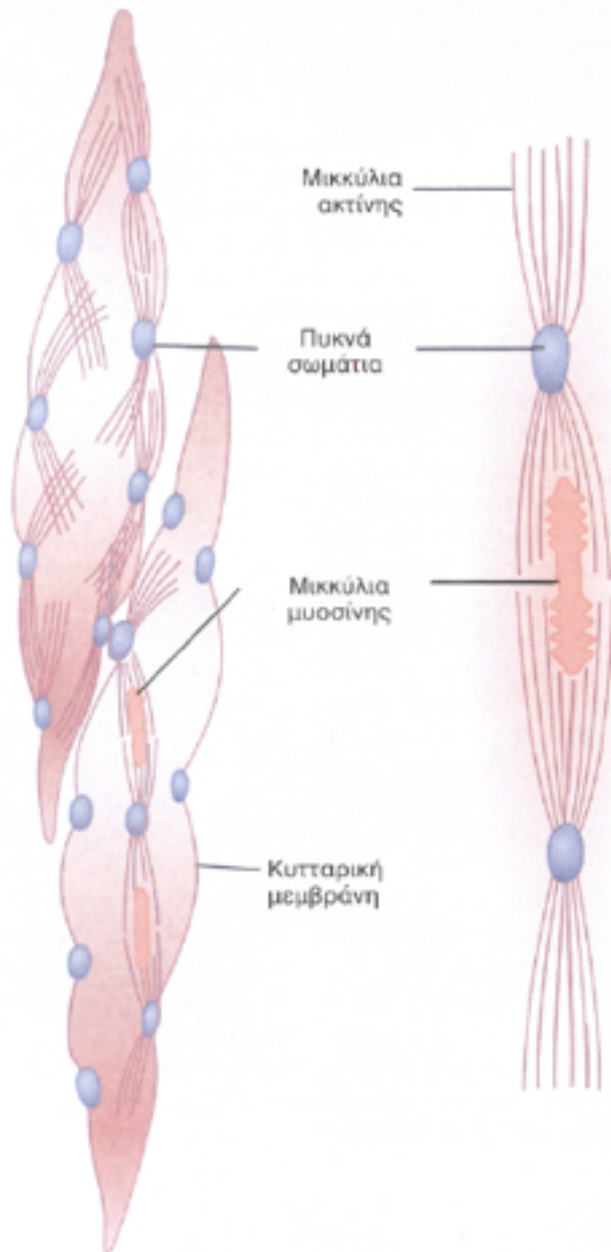


(α) Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο λείων μυϊκών ινών (σχετικά μικρή μεγέθυνση)

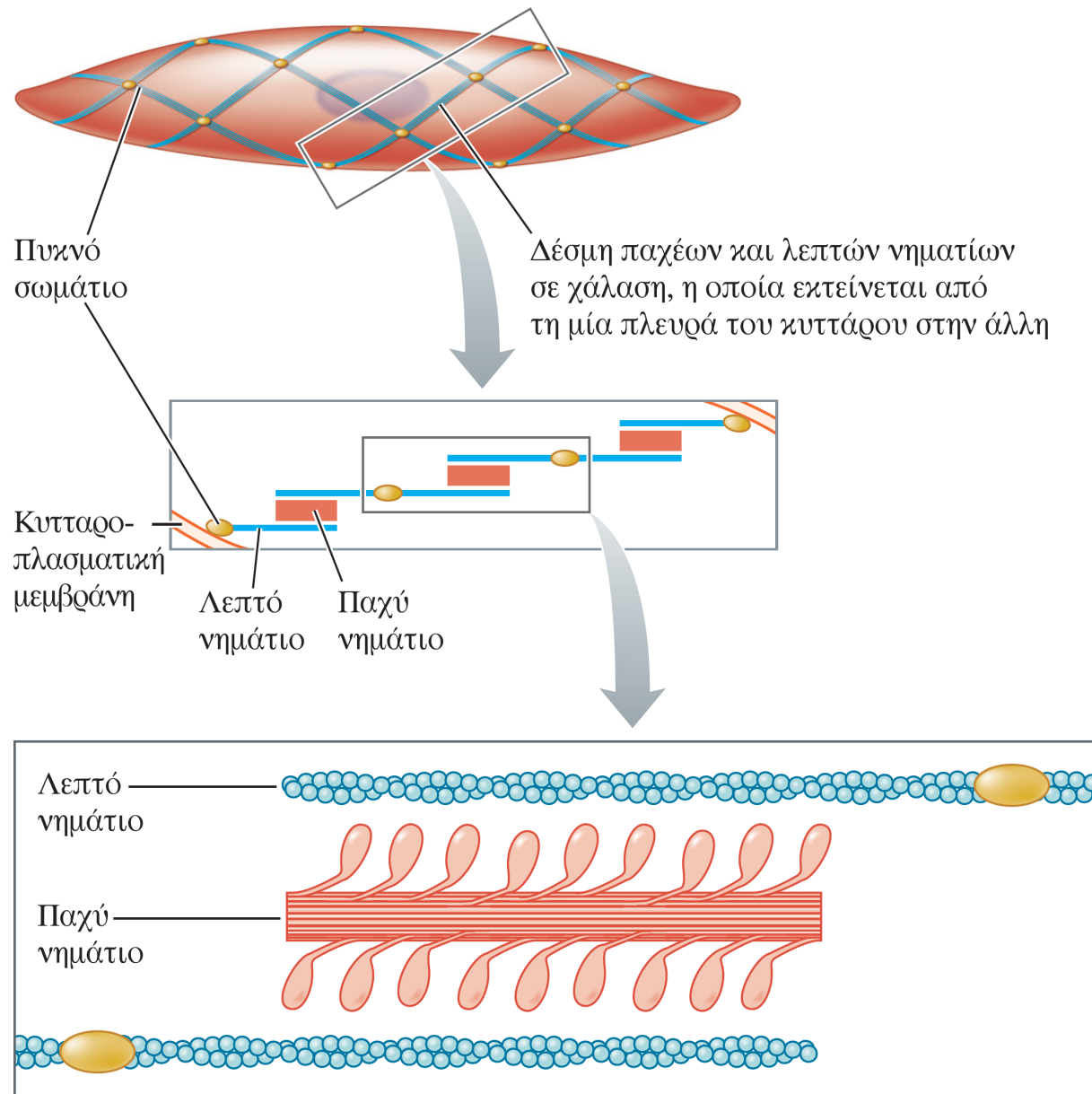


(β) Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο λείων μυϊκών ινών

Δομή του λείου μυ



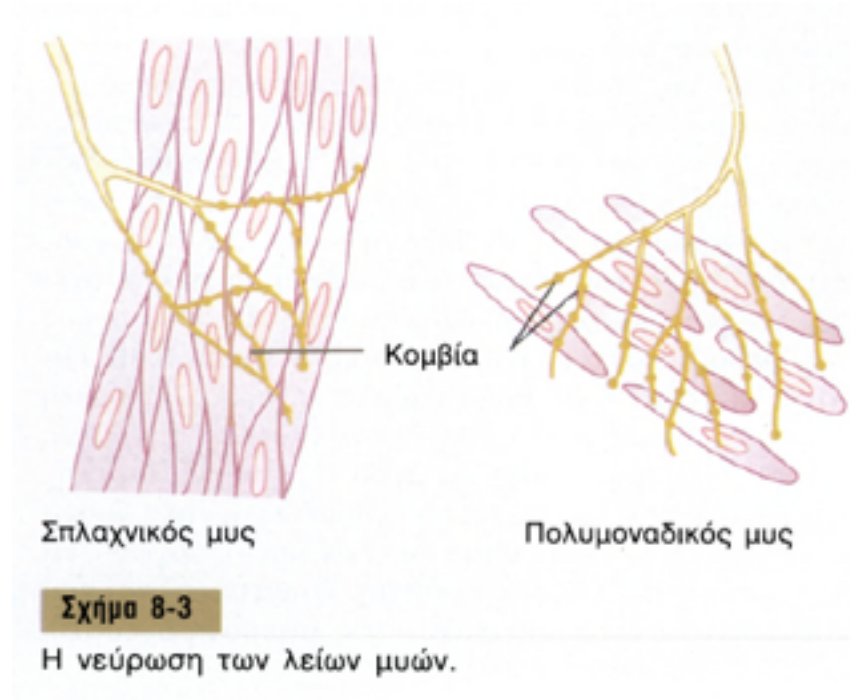
- Χασματοσυνδέσεις
- Πυκνά σωμάτια
- Ενδιάμεσα νημάτια
 - Δεσμίνη
 - Βιμεντίνη
- Ακτίνη
- Μυοσίνη
- Έκκριση ελαστίνης και κολλαγόνου

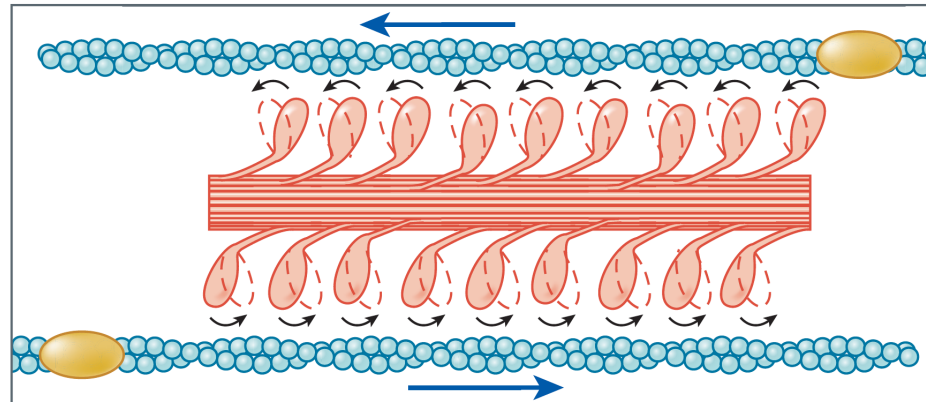
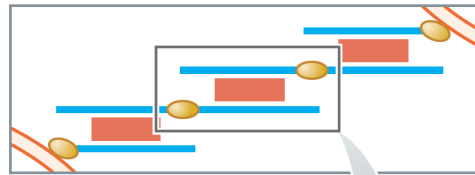
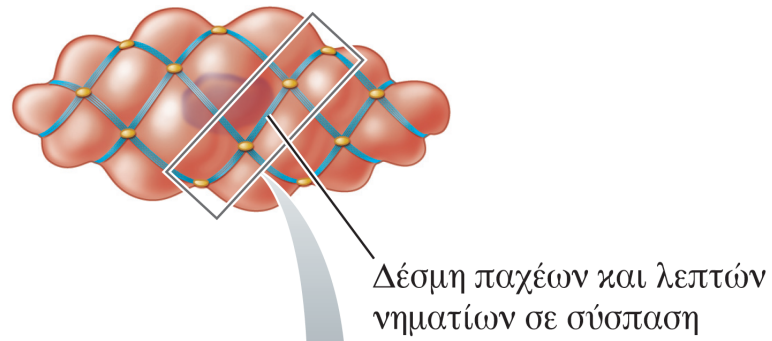


(α) Λεία μυϊκή ίνα σε χάλαση

Εννεύρωση λείων μυϊκών κυττάρων

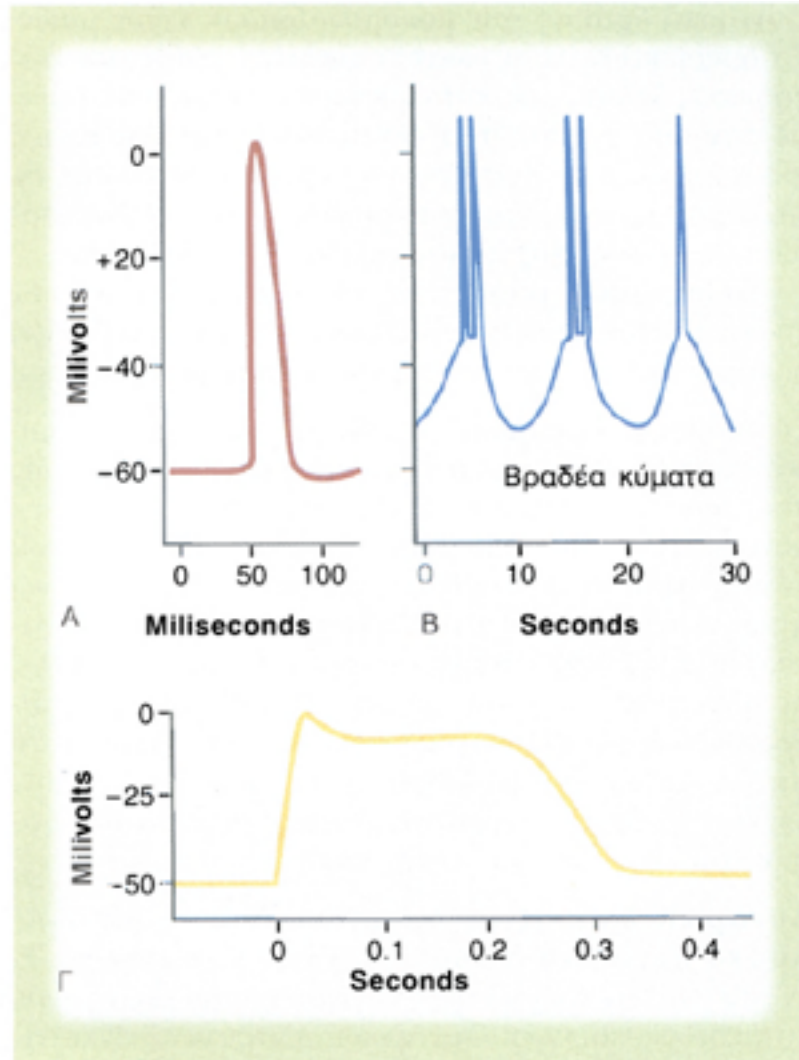
- Κάθε λείο μυϊκό κύτταρο είναι αποδέκτης πολλών νευρικών απολήξεων
- Συμπαθητικό/ Παρασυμπαθητικό
- Ποικιλομορφία στην απόκριση
 - Ασβέστιο





(β) Λεία μυϊκή ίνα σε σύσπαση

Δυναμικά ενεργείας



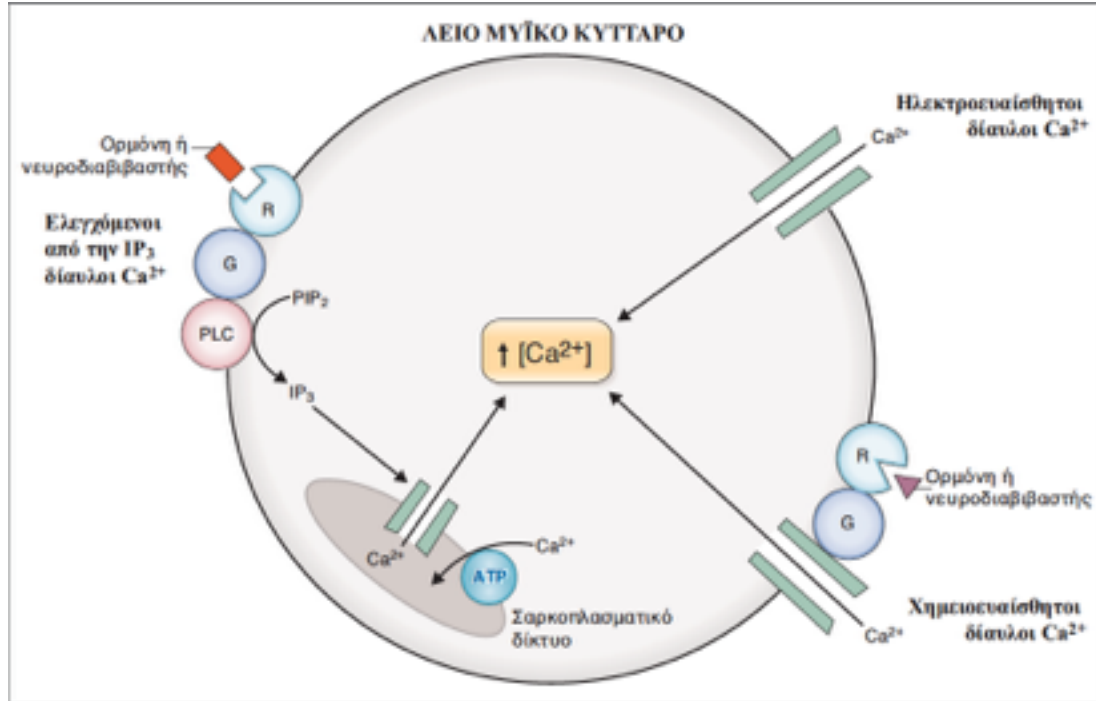
Σχήμα 8-4

Σχέση Δυναμικού ενεργείας- Παραγόμενης Δύναμης

Η διέγερση των λείων μυϊκών κυττάρων μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους

1. Δυναμικό ενεργείας
2. Εκπόλωση του μυϊκού κυττάρου
3. Ορμόνες
4. Χημικά ερεθίσματα (αυξομείωση οξυγόνου/διοξειδίου του άνθρακα, ιόντων υδρογόνου, ιόντων καλίου)
5. Μηχανικοί υποδοχείς (πίεσης, όγκου)

Πηγές της αύξησης $[Ca^{++}]$

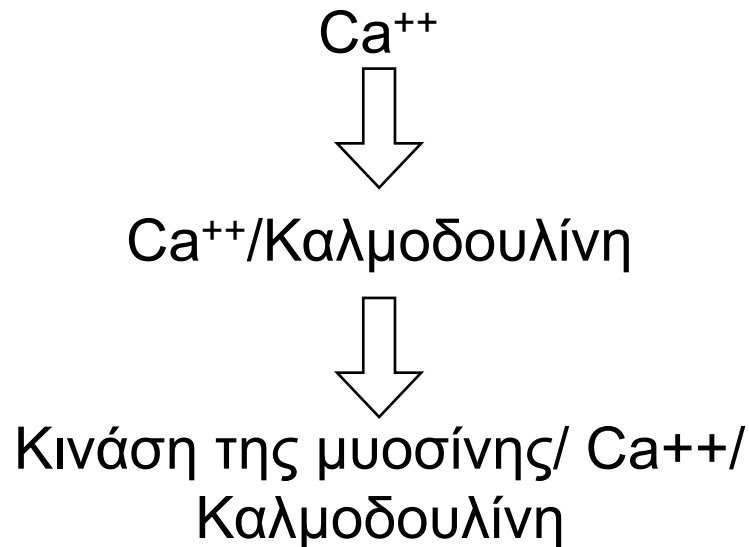


Είσοδος ασβεστίου

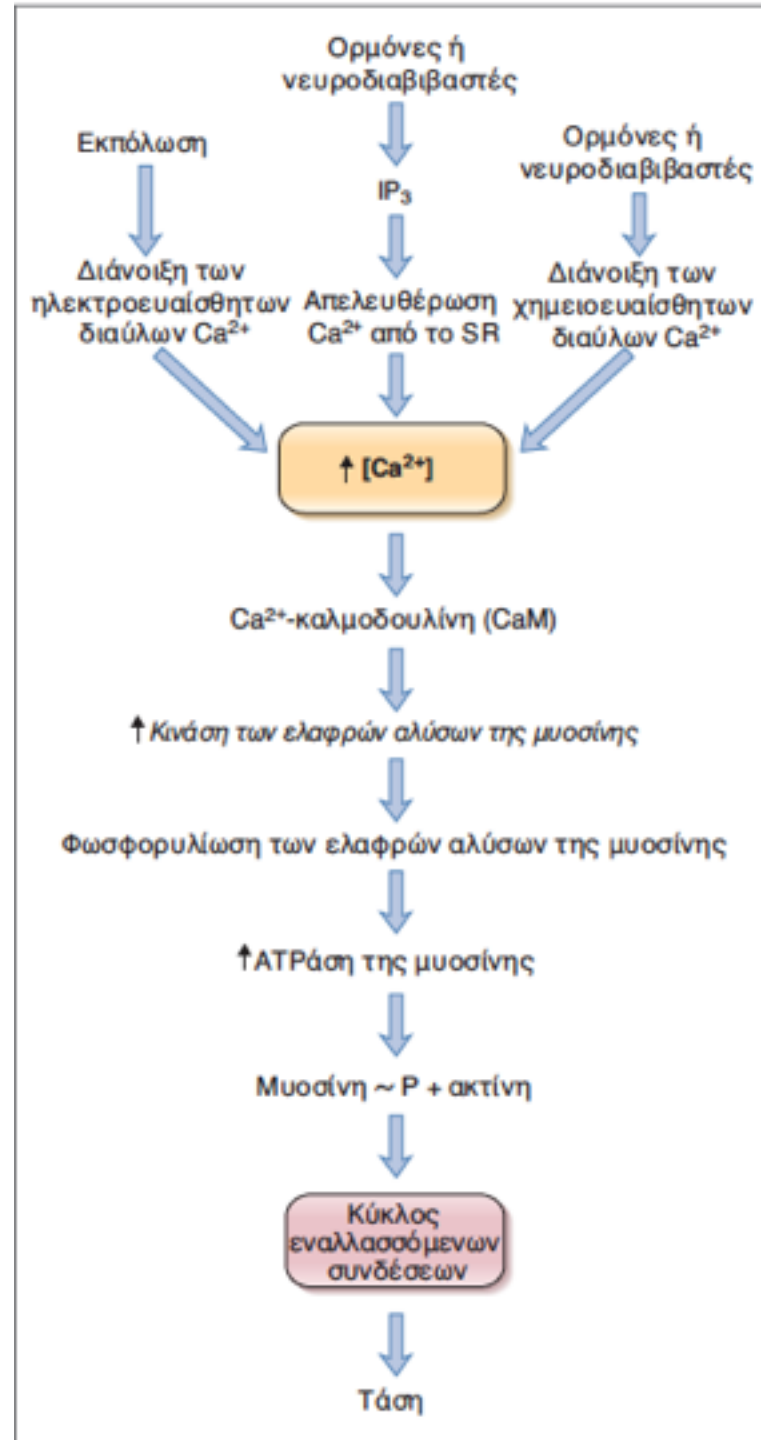
- Τασο-ελεγχόμενοι διάλυτοι ασβεστίου
- Δίαυλοι συνδεδεμένοι με υποδοχείς
- IP_3 υποδοχέας
- Χημειο-ευαίσθητοι διάλυτοι ασβεστίου

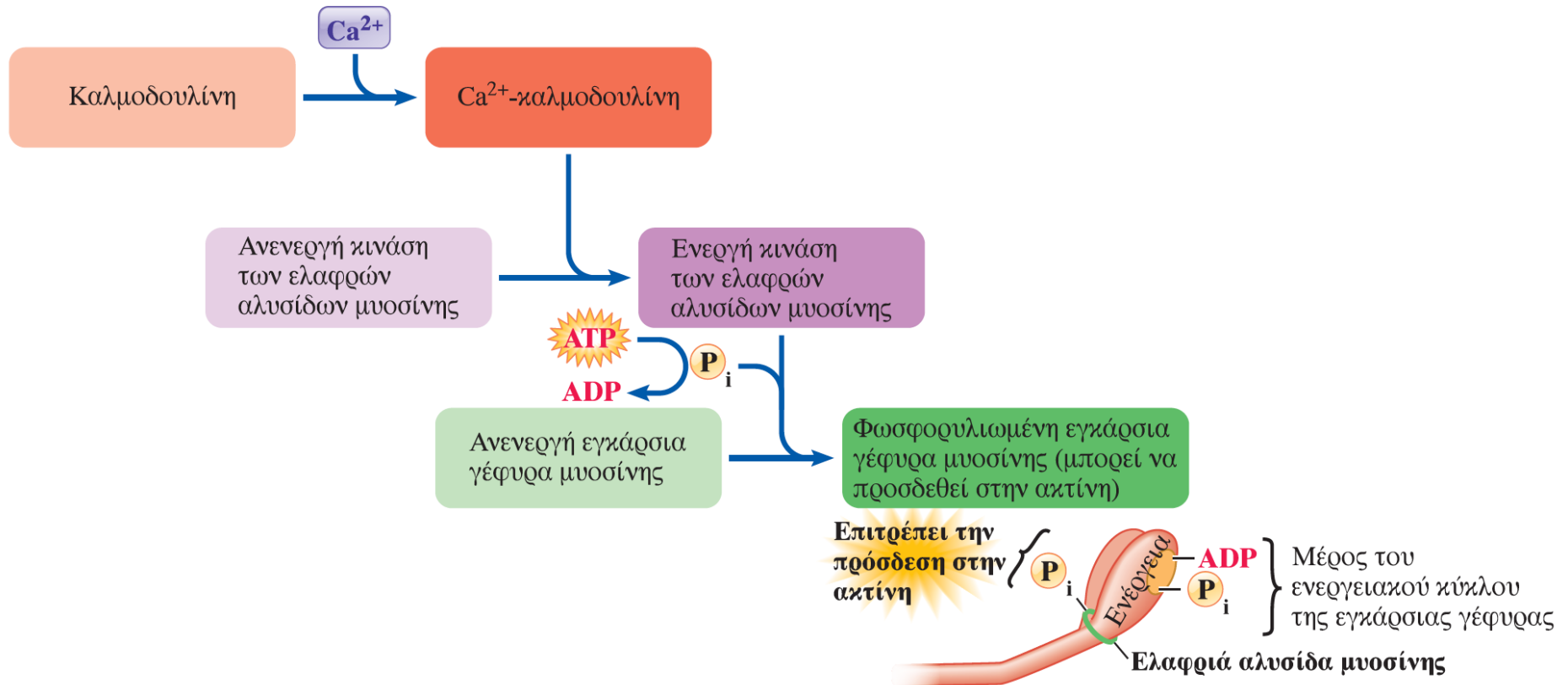
Συστολή λείων μυϊκών κυττάρων

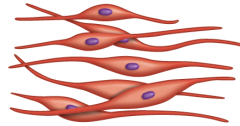
- Απουσία τροπονίνης
- Κινάση της μυοσίνης (Ca^{++} - καλμοδουλίνη)
- Φωσφατάση της μυοσίνης



Συστολή/Χάλαση λείων μυϊκών κυττάρων







Λείος μυς

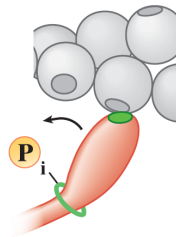
Διέγερση μυός

Αύξηση του κυτταροπλασματικού Ca^{2+} (κυρίως από το εξωκυτταρικό υγρό)

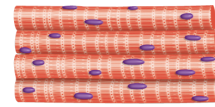
Σειρά βιοχημικών γεγονότων

Φωσφορυλίωση των εγκάρσιων γεφυρών μυοσίνης στα παχέα νημάτια

Πρόσδεση των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης στην ακτίνη



Συστολή



Σκελετικός μυς

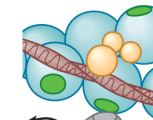
Διέγερση μυός

Αύξηση του κυτταροπλασματικού Ca^{2+} (αποκλειστικά από το σαρχοπλασματικό δίκτυο)

Επαναδιευθέτηση του συμπλέγματος τροπονίνης-τροπομυοσίνης

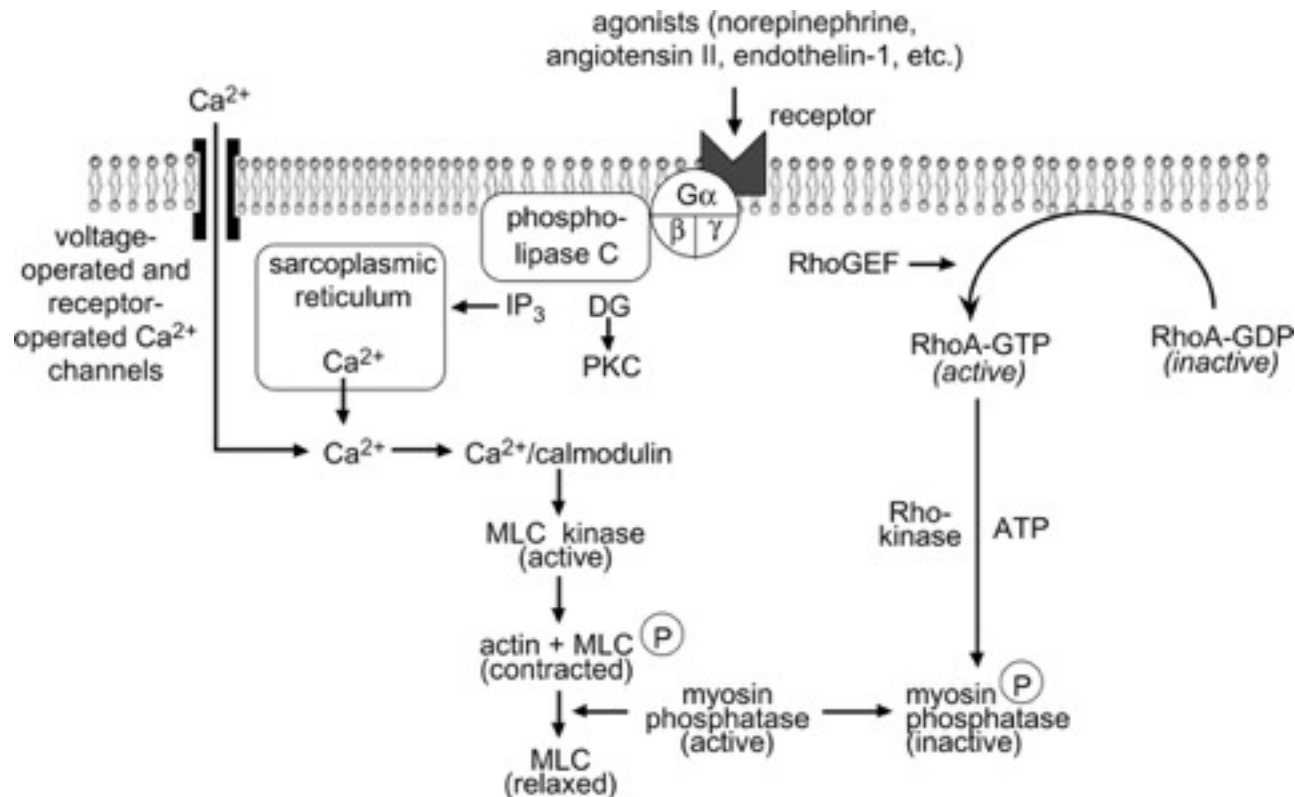
Αποκάλυψη στο λεπτό νημάτιο της ακτίνης των θέσεων στις οποίες προσδένονται οι εγκάρσιες γέφυρες

Πρόσδεση των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης στην ακτίνη



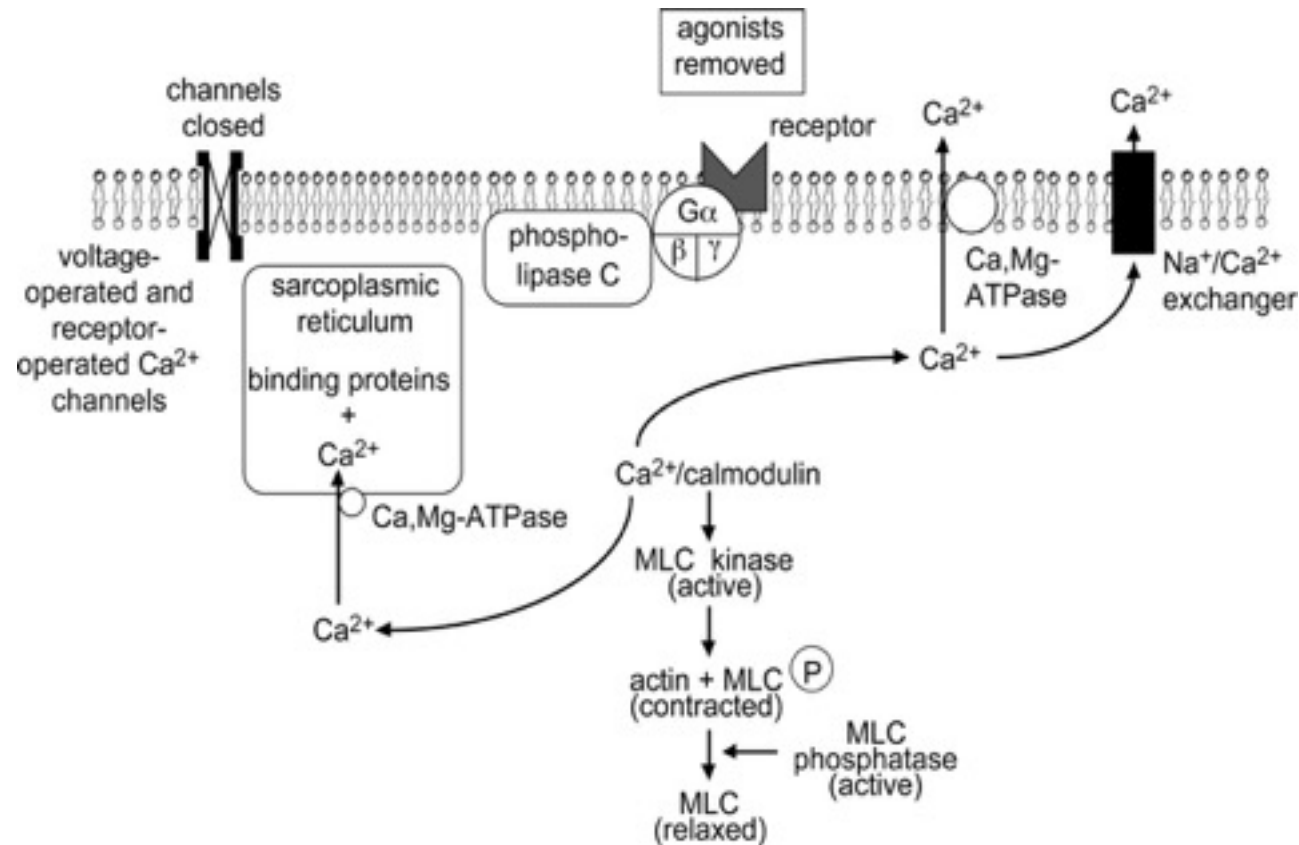
Συστολή

Συστολή λείων μυϊκών κυττάρων



Webb, 2003, Adv Physiol Edu

Χάλαση λείων μυϊκών κυττάρων



Παράγοντες για τη διακοπή της συστολής

- Μείωση επιπέδων ασβεστίου
- Αύξηση της ενεργότητας του ενζύμου φωσφατάση της μυοσίνης
- Έξοδος ασβεστίου
 - Αντλίες Ca^{++}
 - Κυτταρική μεμβράνη
 - Σαρκοπλασματικό δίκτυο
 - Ανταλλακτήρας $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$

Διαταραχές στα επίπεδα ασβεστίου

- Αυξημένα επίπεδα ασβεστίου συμβάλλουν στην αυξημένη συστολή λείων μυϊκών κυττάρων
- Άσθμα
- Εγκεφαλικό επεισόδιο
- Έμφραγμα του μυοκαρδίου
- Νιμοδιπίνη, Νιφεδιπίνη

Φασική/Τονική Συστολή

- Φασική συστολή: συστολή του μυ σε μια συγκεκριμένη στιγμή
 - Απότομη αύξηση στα επίπεδα ασβεστίου
- Τονική συστολή: συστολή του μυ ανά τακτά χρονικά διαστήματα
 - Επαναλαμβανόμενες αυξομειώσεις στα επίπεδα ασβεστίου

Ιδιότητες του λείου μύ εξαιτίας της κινάσης της μυοσίνης

- Μικρές συγκεντρώσεις ασβεστίου για τη συστολή
- Ταχείες συστολές
 - αυξημένα επίπεδα: φωσφορυλίωση
- Βραδείες συστολές
 - Μειωμένα επίπεδα: φωσφορυλίωση
- Μειωμένοι ρυθμοί κατανάλωση ATP ανά κύκλο
- Οξειδωτική φωσφορυλίωση
- Δεν παρουσιάζουν κάματο