



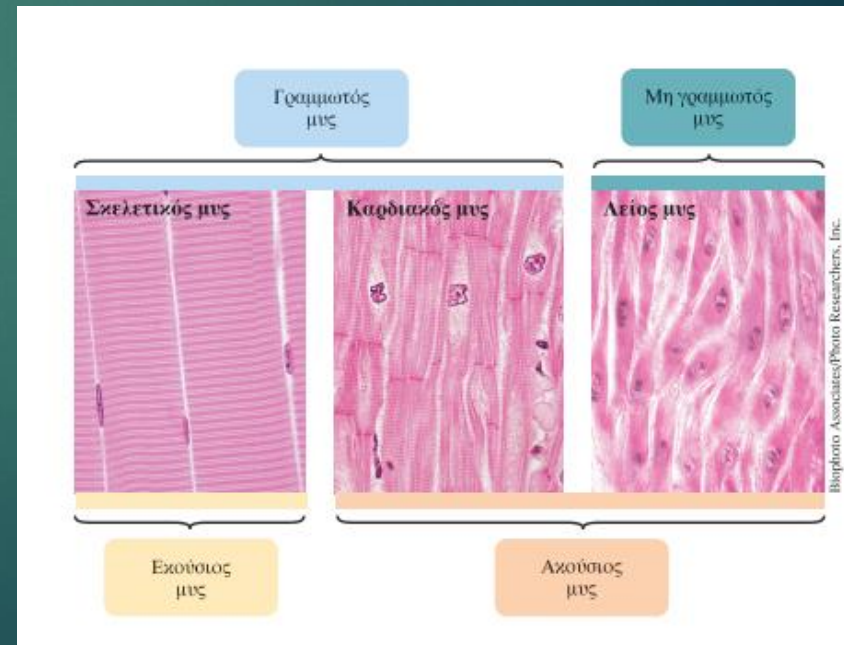
Λείοι μύες

Στέλιος Ραβανίδης MSc, PhD

sravanidis@nurs.uoa.gr

Λείοι μύες

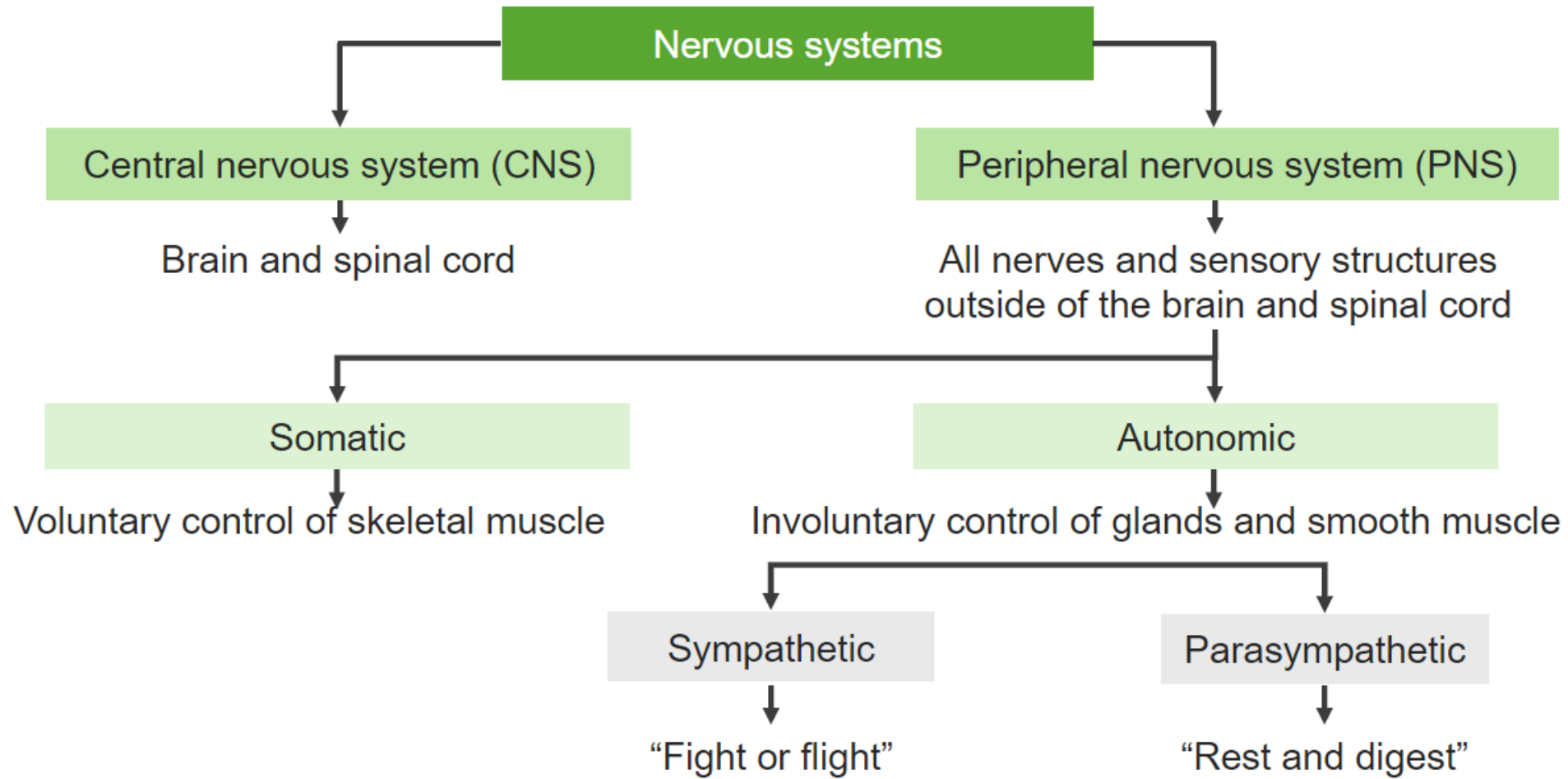
- ▶ Συμμετέχουν στις λειτουργίες των οργάνων που βοηθούν στην ρύθμιση του εσωτερικού περιβάλλοντος
- ▶ Μέγεθος λείων μυϊκών κυττάρων << μέγεθος γραμμωτών μυϊκών κυττάρων -> επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο πολύ μικρών δομών
- ▶ **Αναπόσπαστο κομμάτι των οργάνων που πρέπει να είναι ενεργοποιημένοι συνεχώς (π.χ. για να διατηρούν συσταλμένες τις αρτηρίες, φλέβες ή να συμμετέχουν στις λειτουργίες του πεπτικού συστήματος)**
- ▶ Οι λείοι μύες στο έντερο πρέπει να είναι σε θέση να συστέλλονται και να χαλαρώνουν σε φάσεις ανάλογα με τους διαφορετικούς τύπους νευρικών, χημικών και φυσικών σημάτων που εμπλέκονται στην πέψη



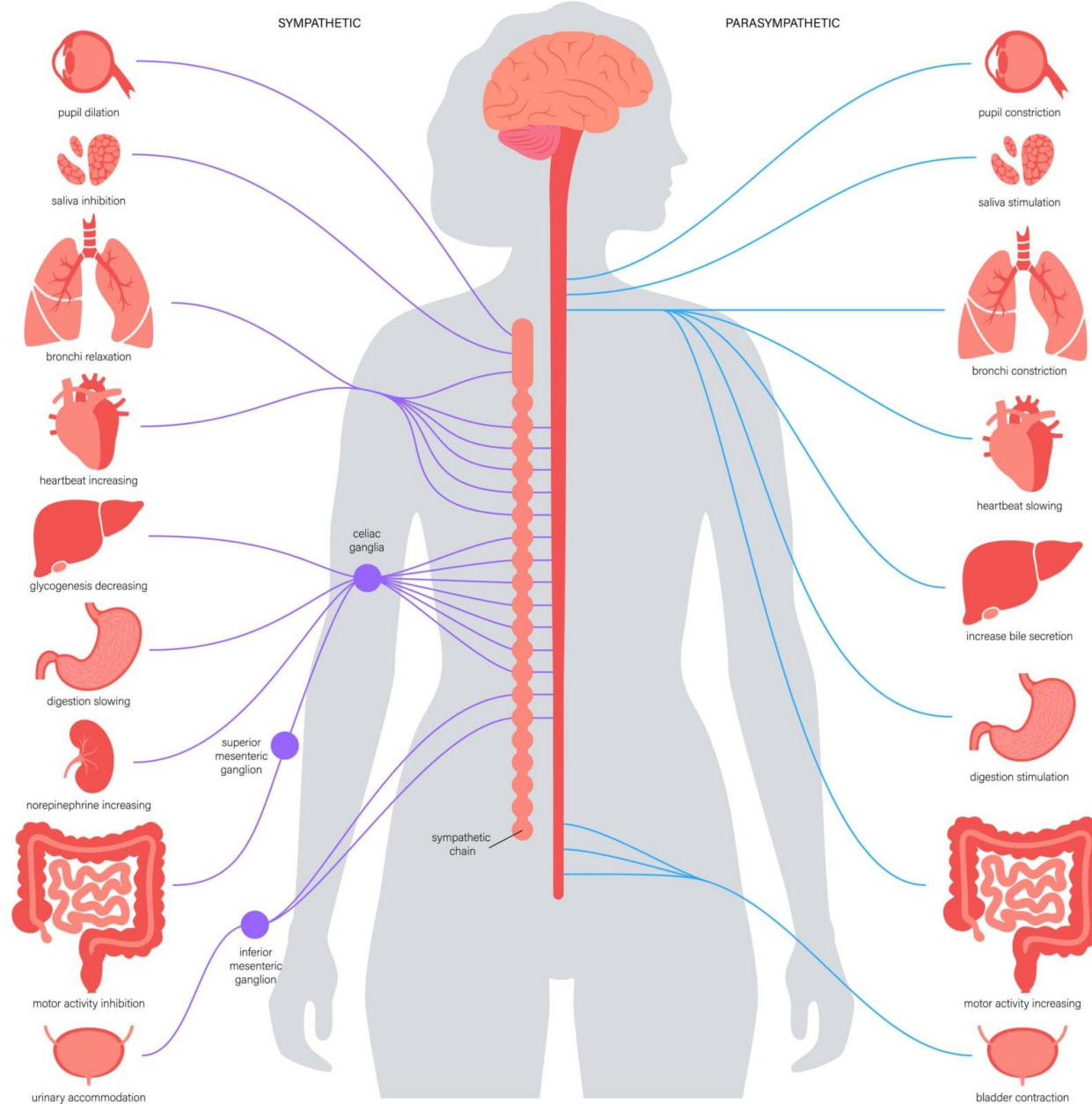
Λείοι μύες

- ▶ Συστολή του λείου μυός γίνεται ακούσια και ρυθμίζεται από νευροδιαβιβαστές των αυτόνομων νευρώνων (**πολυδύναμοι**), ορμόνες, τοπικές χημικές ουσίες, και άλλες φυσικές δυνάμεις (**μονοδύναμοι**)
- ▶ Λείος μυς είναι διεγέρσιμος συνεπώς δημιουργεί ΔΕ και συστέλλεται σε απόκριση σημάτων από το ΑΝΣ (πολυδύναμοι). Ωστόσο υπάρχουν παράγοντες που τους κινητοποιούν και προκαλούν σύσπαση χωρίς τη δημιουργία ΔΕ (μονοδύναμοι)
- ▶ Συστολή και επίπεδα Ca^{2+} παρουσιάζουν διαβάθμιση σε μεταβολές του ΔΗ ή ως απόκριση σε μεταβολές της συγκέντρωσης ενός αγγειοδραστικού παράγοντα
- ▶ Ενώ η χάλαση του σκελετικού μυός είναι παθητική διαδικασία, ο λείος μυς μπορεί να χαλαρώνει ενεργά είτε από υπερπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης ή μετά από έκθεση σε αγωνιστές που ενεργοποιούν τη χάλαση των μυϊκών κυττάρων (**διαβαθμισμένη απόκριση**)

Περιφερικό νευρικό σύστημα

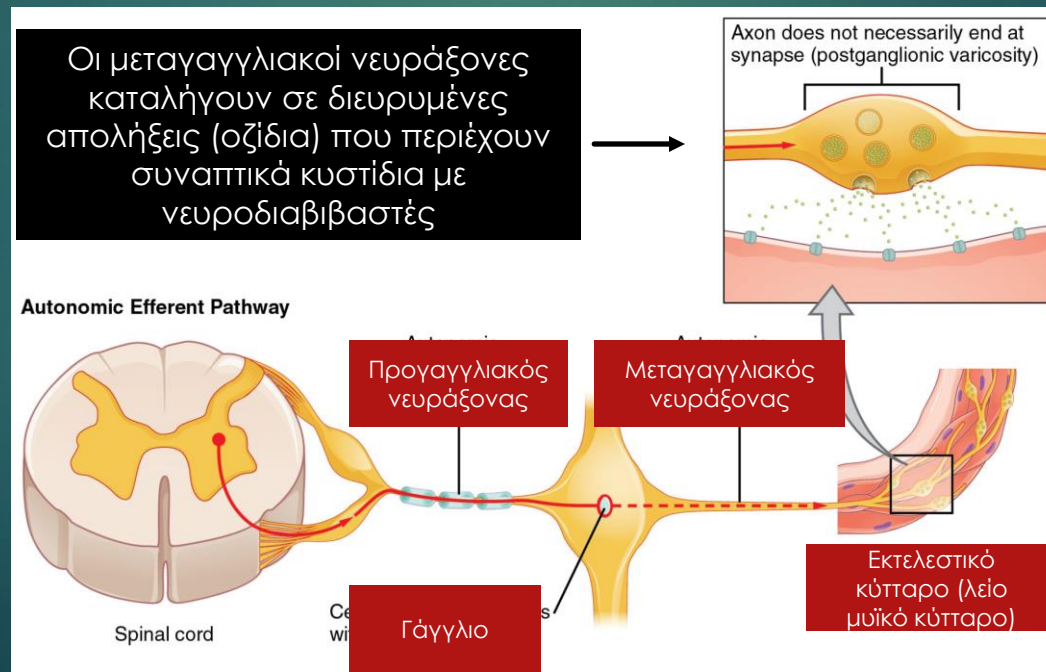


Αυτόνομο νευρικό σύστημα



Αυτόνομο νευρικό σύστημα

- ▶ Ρύθμιση ακούσιων λειτουργιών
- ▶ Συμπαθητικό (αδρενεργικό) ενεργοποιείται σε καταστάσεις στρες αυξάνοντας καρδιακούς παλμούς και ενέργεια
- ▶ Παρασυμπαθητικό (χολινεργικό) προάγει τη χαλάρωση, την πέψη και την ηρεμία
- ▶ Στο ΑΝΣ, η απαγωγός οδός αποτελείται από μια αλυσίδα δύο νευρώνων η σύναψη των οποίων παρεμβάλλεται μεταξύ του ΚΝΣ και των εκτελεστικών κυττάρων

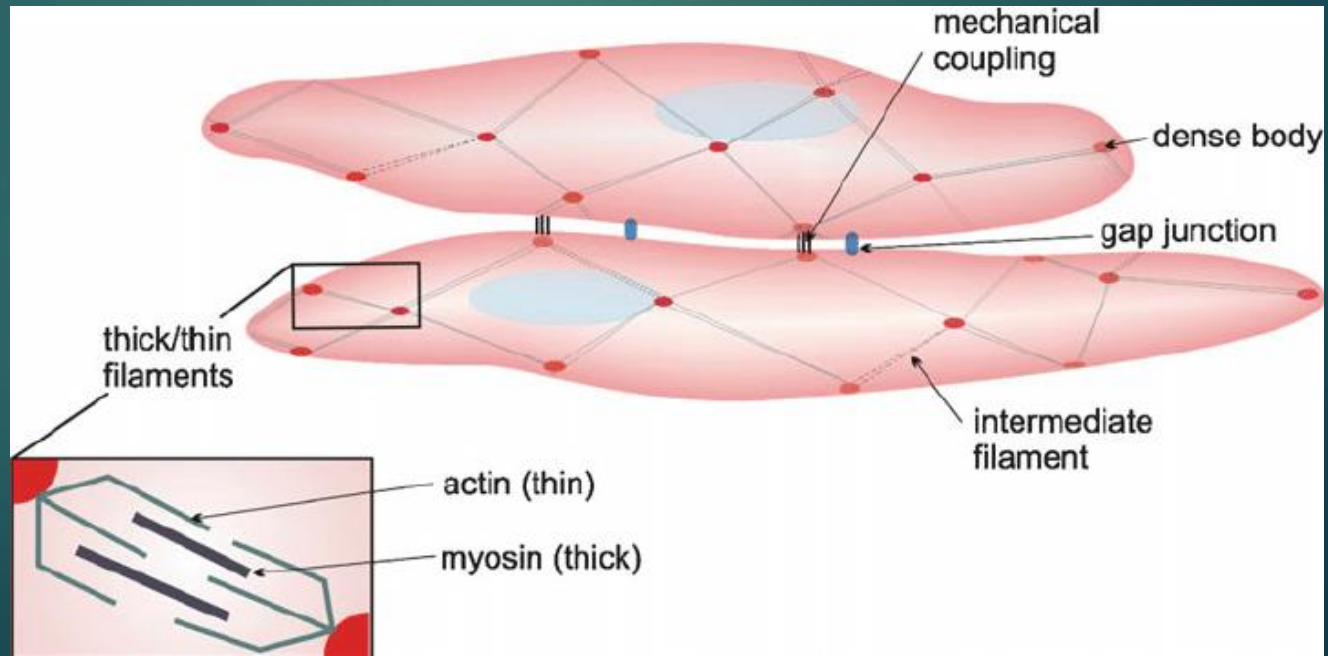


Διαφορές στην νευρομυϊκή σύναψη μεταξύ σκελετικών και λείων μυών

- ▶ **Διάχυτες Συνάψεις:** Οι απολήξεις των αυτόνομων νευρώνων δεν καταλήγουν σε μία μόνο μυϊκή ίνα. Αντίθετα, σχηματίζουν διακλαδώσεις που φέρουν διογκώσεις, τις λεγόμενες **κιρσότητες**
- ▶ **Απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών:** Οι κιρσότητες περιέχουν κυστίδια με νευροδιαβιβαστές (όπως νοραδρεναλίνη ή ακετυλοχολίνη). Όταν φτάνει το νευρικό ερέθισμα, οι νευροδιαβιβαστές απελευθερώνονται στο μεσοκυττάριο χώρο και διαχέονται σε μια ομάδα λείων μυϊκών κυττάρων, όχι μόνο σε ένα
- ▶ **Συναπτική σχισμή:** Η απόσταση μεταξύ της νευρικής απόληξης (κιρσότητας) και του λείου μυϊκού κυττάρου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη νευρομυϊκή σύναψη των σκελετικών μυών, γεγονός που καθιστά τη **μετάδοση του σήματος πιο αργή.**
- ▶ **Κυτταρική επικοινωνία:** Επειδή η νευρική απόληξη δεν αγγίζει όλα τα μυϊκά κύτταρα, το σήμα μεταδίδεται από κύτταρο σε κύτταρο μέσω **χασματοσυνδέσεων**. Αυτό επιτρέπει στα λεία μυϊκά κύτταρα την ταυτόχρονη συστολή τους

Χασματοσυνδέσεις

- ▶ Τα λεία μυϊκά κύτταρα (**κυρίως τα μονοδύναμα**) είναι συζευγμένα ηλεκτρικά λόγω των χασματοσυνδέσεων, οι οποίες παρέχουν μια χαμηλής αντίστασης οδό για τη μετάδοση ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ των κυττάρων (**αυτοδιέγερση – κύτταρα βηματοδότες**)
- ▶ Οι μυϊκές ίνες διεγείρονται και συσπώνται ως μία μονάδα παράγοντας δικά τους ΔΕ
- ▶ Αργή συστολή και εντοπίζονται σε τοιχώματα διατάσιμων, κοίλων οργάνων

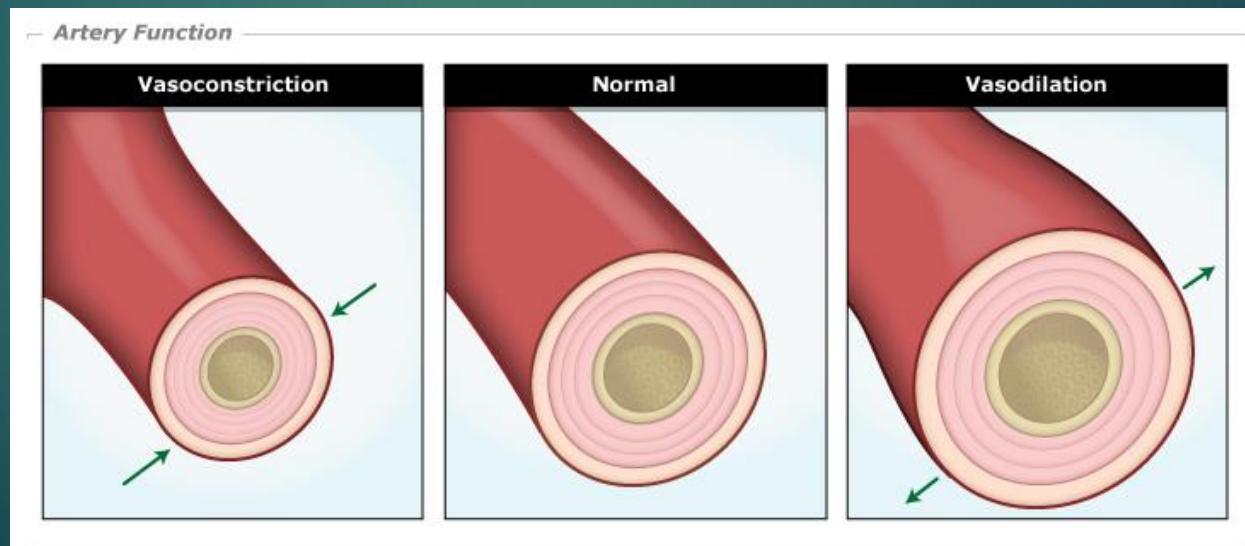


Πολυδύναμοι λείοι μύες

- ▶ Νευρογενής διέγερση (αυτόνομο νευρικό σύστημα)
- ▶ Αποτελούνται από ξεχωριστές μονάδες που λειτουργούν ανεξάρτητα
- ▶ Ελάχιστες χασματικές συνδέσεις
- ▶ Κάθε μονάδα πρέπει να διεγερθεί ξεχωριστά για να συσπαστεί
- ▶ Εντοπίζονται στα τοιχώματα μεγάλων αγγείων, μεγάλους αεραγωγούς, μύες του οφθαλμού που προσαρμόζουν τον φακό καθώς και την ίριδα του οφθαλμού και στην βάση του θύλακα των τριχών

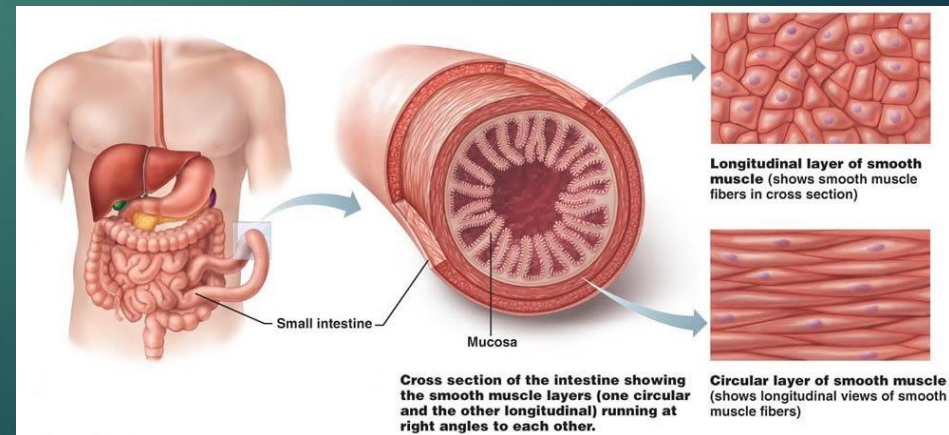
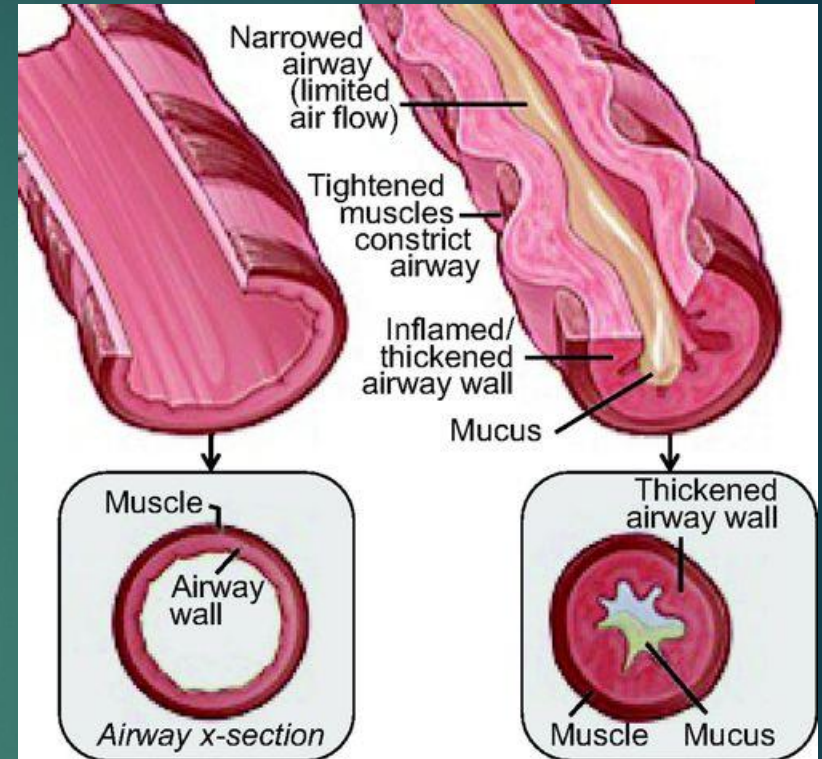
Λείοι μύες (αγγεία)

- ▶ Απλούστερη διάταξη: αρτηρίες & φλέβες του κυκλοφορικού συστήματος όπου οι μύες κυκλώνουν την περιφέρεια του αγγείου
- ▶ Βράχυνση μυός -> μείωση διαμέτρου
- ▶ Ο λείος μυς στις φλέβες και αρτηρίες είναι συνεχώς (τονικά) μερικώς συσπασμένος
- ▶ Σε μεγαλύτερες αρτηρίες μπορεί να υπάρχουν πολλά στρώματα μυϊκών κυττάρων -> δύναμη συστολής μεγαλύτερη -> αντιστάθμιση της διαστολικής δύναμης όταν εκτίθενται σε υψηλή αρτηριακή πίεση



Λείοι μύες

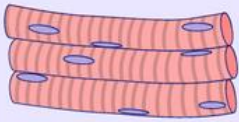

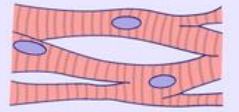
- ▶ Κυκλική διάταξη στους αεραγωγούς όπου ρυθμίζει την αντίσταση της ροής του αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται
- ▶ Σφιγκτήρες μυς (ουρογεννητικό, γαστρεντερικό) συμμετέχουν σε σύνθετες αντανακλαστικές συμπεριφορές
- ▶ Εντερικά τμήματα: σχετικά λεπτό εξωτερικό στρώμα κατά μήκος του εντέρου και εσωτερικό παχύτερο στρώμα με κυκλική διάταξη
- ▶ Εναλλασσόμενες συντονισμένες συσπάσεις και χαλαρώσεις των δύο στρωμάτων προωθούν το περιεχόμενο του εντέρου



Λεία vs σκελετικά μυϊκά κύτταρα

► Τα λεία μυϊκά κύτταρα στερούνται της υπερμικροσκοπικής οργάνωσης που παρατηρείται στα σκελετικά μυϊκά κύτταρα

- 1) Λεπτά νημάτια δεν έχουν σύμπλοκο τροπονίνης
- 2) Διαφορετική διάταξη μυοσίνης στα παχέα νημάτια
- 3) Δεν υπάρχει περιοδική διάταξη συστολής ανάλογη του σαρκομερίου
- 4) Δικτυωτός συνδετικός ιστός μαζί με ίνες κολλαγόνου και ελαστίνης αποτελούν τη θεμελιώδη ουσία που συνδέουν τα κύτταρα (**στρώμα**)

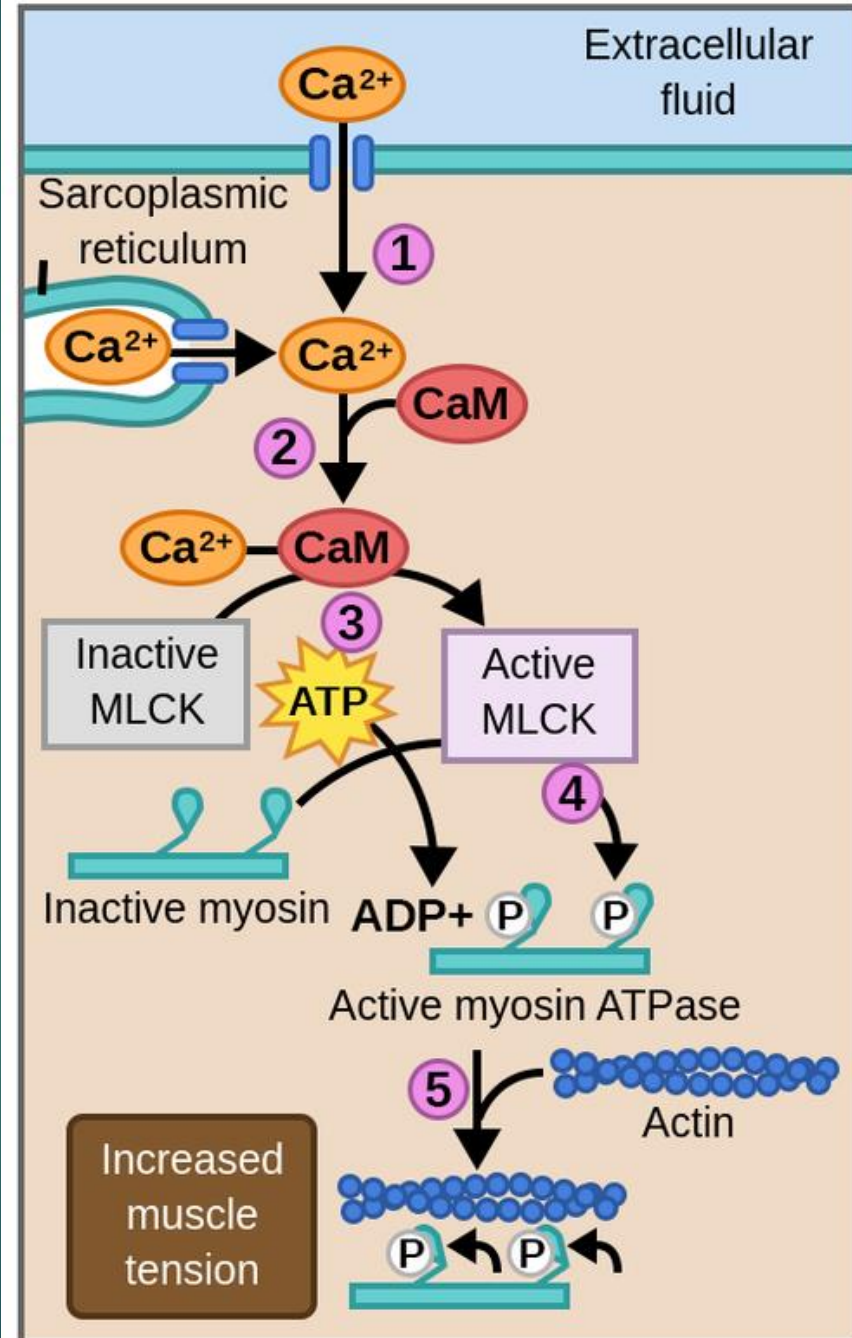
	Main features	Histology
Skeletal muscle	<ul style="list-style-type: none">• Fibers: striated, tubular and multi nucleated• Voluntary• Usually attached to skeleton	
Smooth muscle	<ul style="list-style-type: none">• Fibers: non-striated, spindle-shaped, and uninucleated• Involuntary• Usually covering wall of internal organs	
Cardiac muscle	<ul style="list-style-type: none">• Fibers: striated, branched and uninucleated• Involuntary• Only covering walls of the heart	

Συστολή

Είσοδος Ca^{2+} μέσω διαφόρων οδών (τασσελεγχόμενοι διαυλοι, διαυλοι ελεγχόμενο από συνδέτη μεταξύ άλλων) μετά από εκπόλωση της μεμβράνης. Ταυτόχρονα επάγεται η απελευθέρωση Ca^{2+} από το ΣΔ

- 1) Αύξηση ενδοκυττάριας $[\text{Ca}^{2+}]$
- 2) Δέσμευση Ca^{2+} στην **καλμοδουλίνη** (CaM)
- 3) Ενεργοποίηση της MLCK (κινάση)
- 4) Η MLCK φωσφορυλιώνει τις ελαφριές αλυσίδες που συνδέονται με την μυοσίνη αυξάνοντας την δραστηριότητα ATPασης της τελευταίας
- 5) Αλληλεπίδραση με νημάτια ακτίνης και εκκίνηση του κύκλου γεφυρών συστολής

Smooth Muscle Contraction

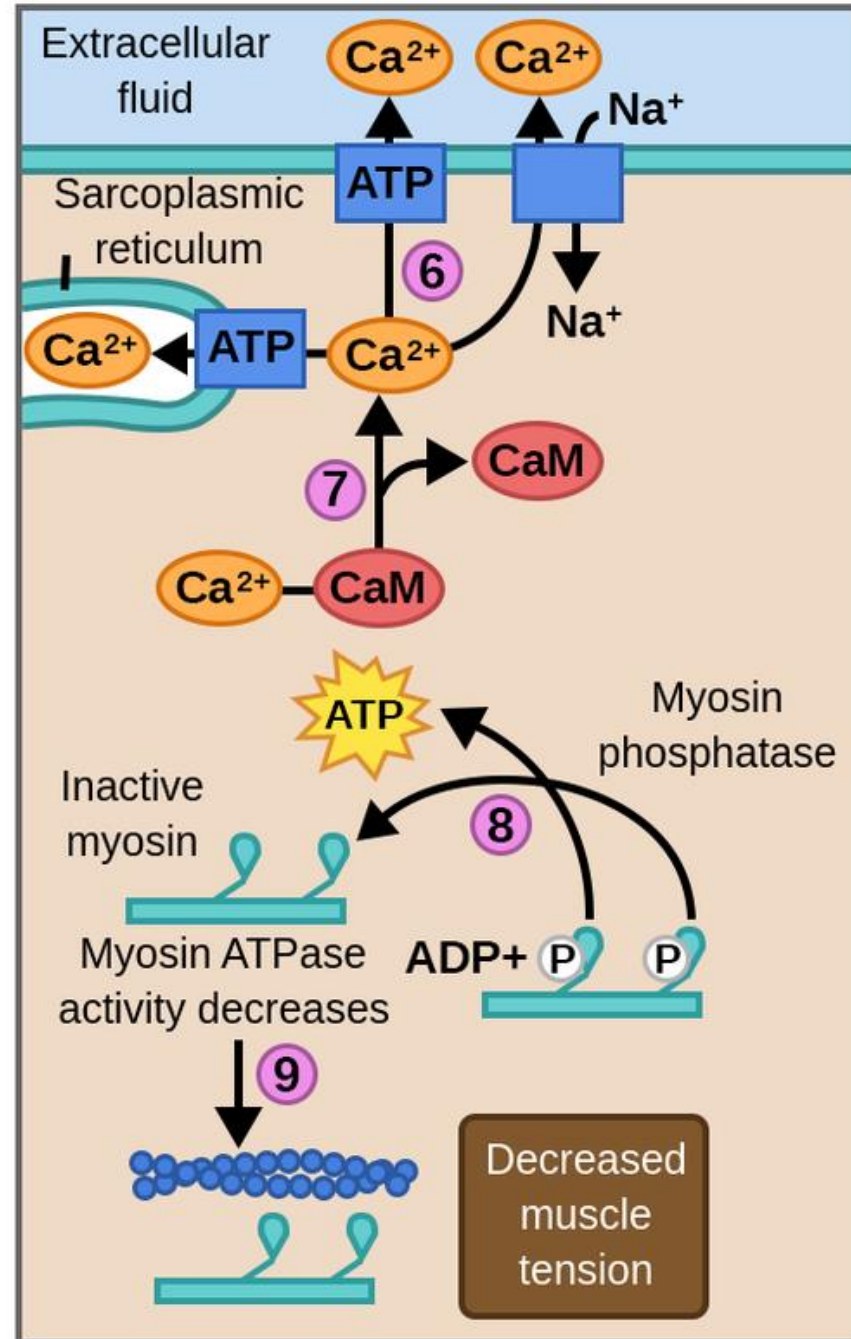


Χάλαση

Μείωση νευροδιαβιβαστών επαναπόλωση της μεμβράνης
απελευθέρωσης επάγει την

- 1) Μείωση ενδοκυττάριας $[Ca^{2+}]$. Ταυτόχρονα μια αντλία Na^+/Ca^{2+} προωθεί την ενεργητική εκροή του Ca^{2+} προς τον εξωκυττάριο χώρο, ενώ επαναπροσλαμβάνεται πίσω και στο ΣΔ
- 2) Μείωση δραστηριότητας MLCK εξαιτίας της απόσπασης του Ca^{2+} από την CaM
- 3) Υπερισχύει η αποσφωρυλίωση της μυοσίνης έναντι της φωσφορυλίωση της
- 4) Εξαιτίας της μειωμένης συγγένειας της αποσφωρυλιωμένης μυοσίνης προς την ακτίνη ο κύκλος νεφρωτών συστολής αναστέλλεται

Smooth Muscle Relaxation



Ενεργειακή προσαρμογή



- ▶ Η συσταλτική δραστηριότητα των λείων μυών δεν μπορεί να ταξινομηθεί απόλυτα σε μονήρη σύσπαση ή σε τétανο όπως στον σκελετικό μυ.
- ▶ Οι λείοι μύες μπορούν να έχουν συστολές μεγάλης διάρκειας (τονική συστολή) (π.χ. αγγειακός μυς) -> κατάσταση συγκράτησης
- ▶ Δεν πρόκειται για κατάσταση ακαμψίας αλλά για βραδύτερο ρυθμό συστολής (κάθε γέφυρα συστολής παραμένει συνδεδεμένη περισσότερο από το τέλος του κύκλου)
- ▶ Χαμηλότερα επίπεδα κατανάλωσης ATP και Ca^{2+}

Σύγκριση ρόλου Ca^{2+} στην συστολή

Λείοι μύες

Διέγερση μυός

Αύξηση επιπέδων Ca^{2+} (κυρίως από εξωκυττάρια πηγές)

Βιοχημικές αντιδράσεις (σύνδεση σε CaM)

Φωσφορυλίωση μυοσίνης

Δημιουργία γέφυρας συστολής

Σύσπαση

Σκελετικοί μύες

Διέγερση μυός

Αύξηση επιπέδων Ca^{2+} (ολοκληρωτικά από το ΣΔ)

Αλλαγή στην στερεοδιαμόρφωση της τροπονίνης & τροπομυοσίνης

Αποκάλυψη θέσεων πρόσδεσης μυοσίνης-ακτίνης

Δημιουργία γέφυρας συστολής

Σύσπαση