

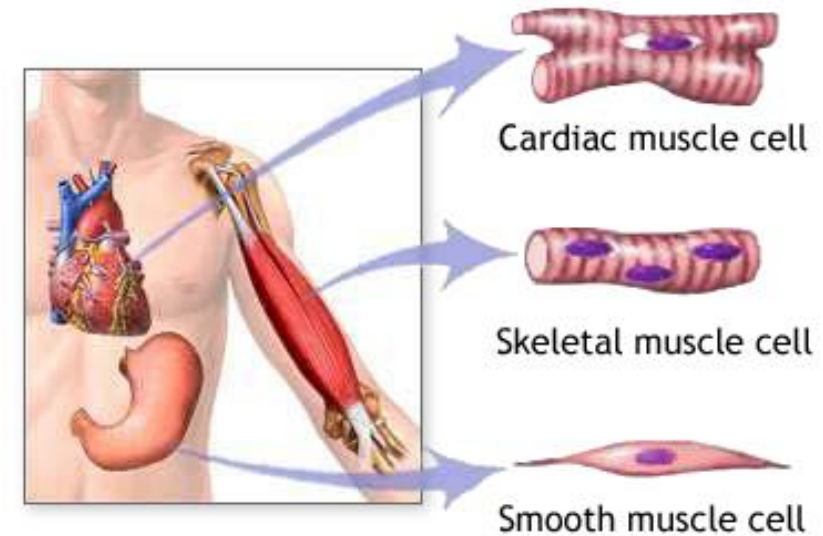
HMY 370

Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Μηχανική

Μυοσκελετική Φυσιολογία



- **Αποτελούν τη μεγαλύτερη ομάδα ιστών στο σώμα**
 - Σκελετικός (30-40% BW), λείος και καρδιακός (10% BW)
- **Ελεγχόμενη σύσπαση των μυών επιτρέπει**
 - Σκόπιμη κίνηση ολόκληρου του σώματος ή μερών του σώματος
 - Χειρισμό αντικειμένων
 - Προώθηση του περιεχομένου διαφόρων κοίλων εσωτερικών οργάνων
 - Κένωση του περιεχομένου ορισμένων οργάνων προς το εξωτερικό περιβάλλον
- **Τρεις τύποι μυών**
 - Σκελετικός μυς (εκούσιος)
 - Συνθέτει το μυϊκό σύστημα
 - Καρδιακός μυς (ακούσιος)
 - Βρίσκεται μόνο στην καρδιά
 - Λείος μυς (ακούσιος)
 - Εμφανίζεται σε όλα τα συστήματα του σώματος ως μέρος της δομής των κοίλων οργάνων και αγωγών

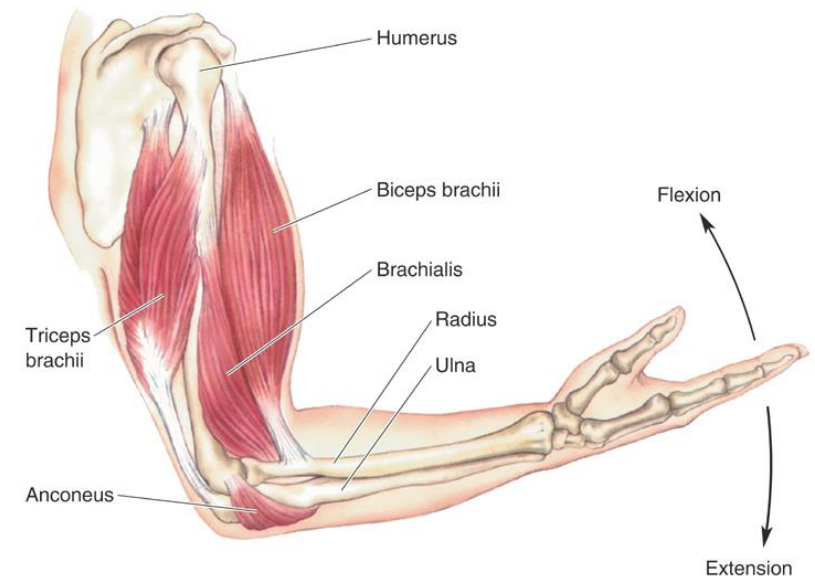


ADAM.

Δομή των σκελετικών μυών



- Ο μυς αποτελείται από ομάδες μυϊκών ινών συνδεδεμένων με τα οστά
 - Συνδετικός ιστός καλύπτει τον μυ και τον χωρίζει εσωτερικά σε δέσμες
 - Ο συνδετικός ιστός εκτείνεται πέρα από τα άκρα του μυός και σχηματίζει τους τένοντες
 - Οι τένοντες συνδέουν του μύες με τα οστά

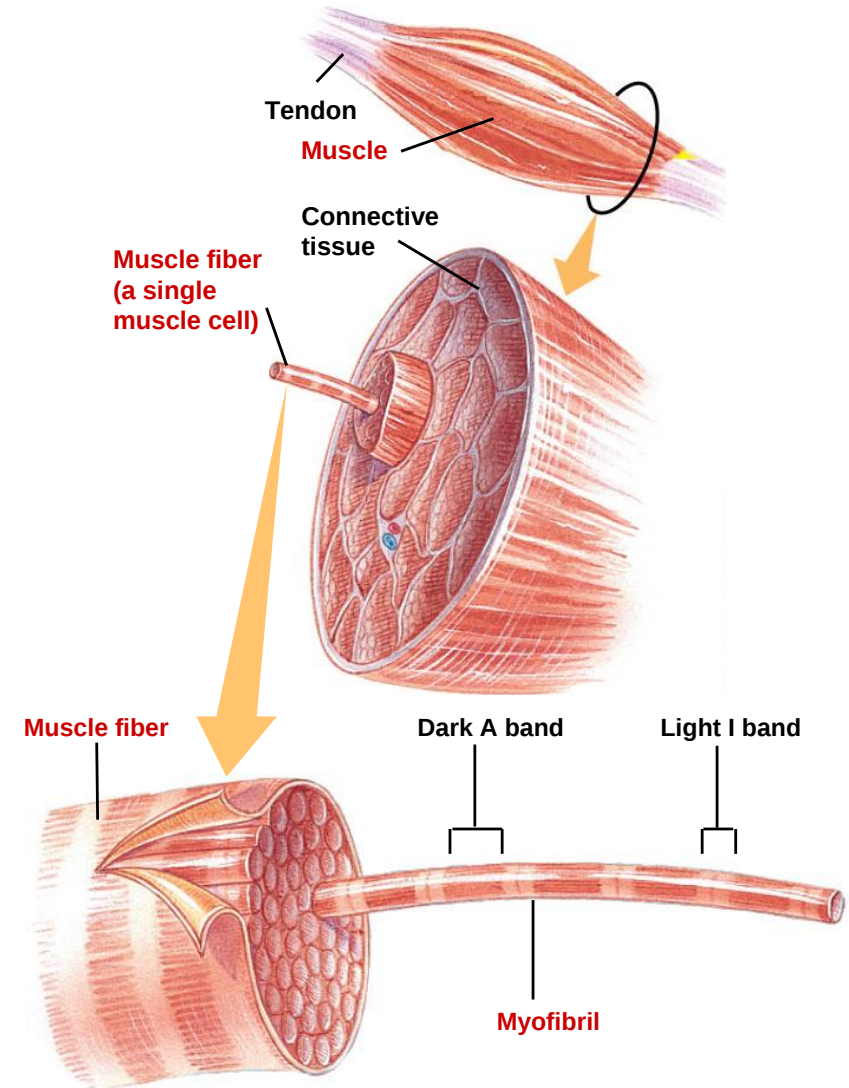


Neuroscience: Exploring the Brain, 3rd Ed, Bear, Connors, and Paradiso Copyright © 2007 Lippincott Williams & Wilkins

Δομή των σκελετικών μυών



- Ο μυς αποτελείται από έναν αριθμό μυϊκών ινών
 - Παράλληλα η μια προς την άλλη
 - Συγκρατούνται μεταξύ τους με συνδετικό ιστό
- Ένα σκελετικό μυϊκό κύτταρο (γνωστό και ως μια μυϊκή ίνα)
 - Μεγάλο, επίμηκες, και κυλινδρικό σχήμα
 - Οι ίνες συνήθως εκτείνονται σε όλο το μήκος του μυός



Σύσπαση

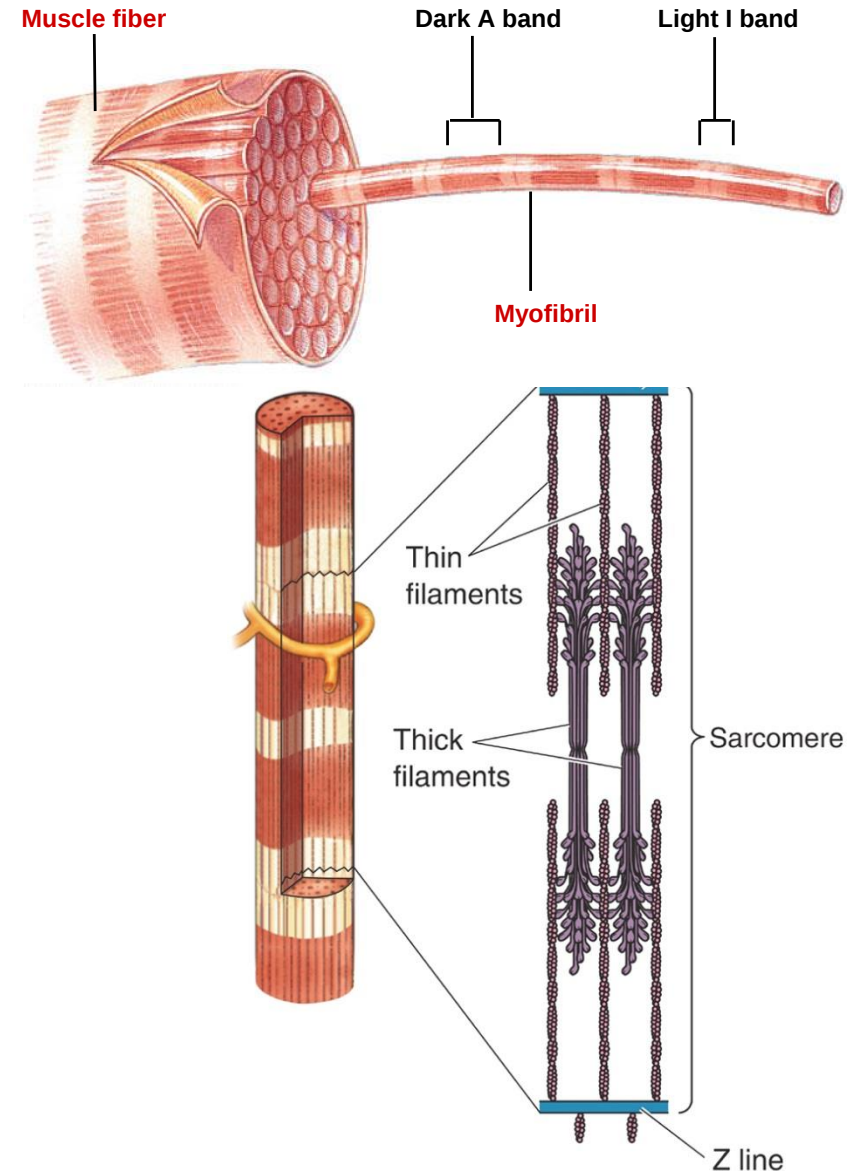


- **Μυϊκή ίνα (Muscle fiber)**

- Κύτταρο (cell)
- Πολλά μυϊκά ινίδια (myofibrils)

- **Μυϊκά Ινίδια (Myofibrils)**

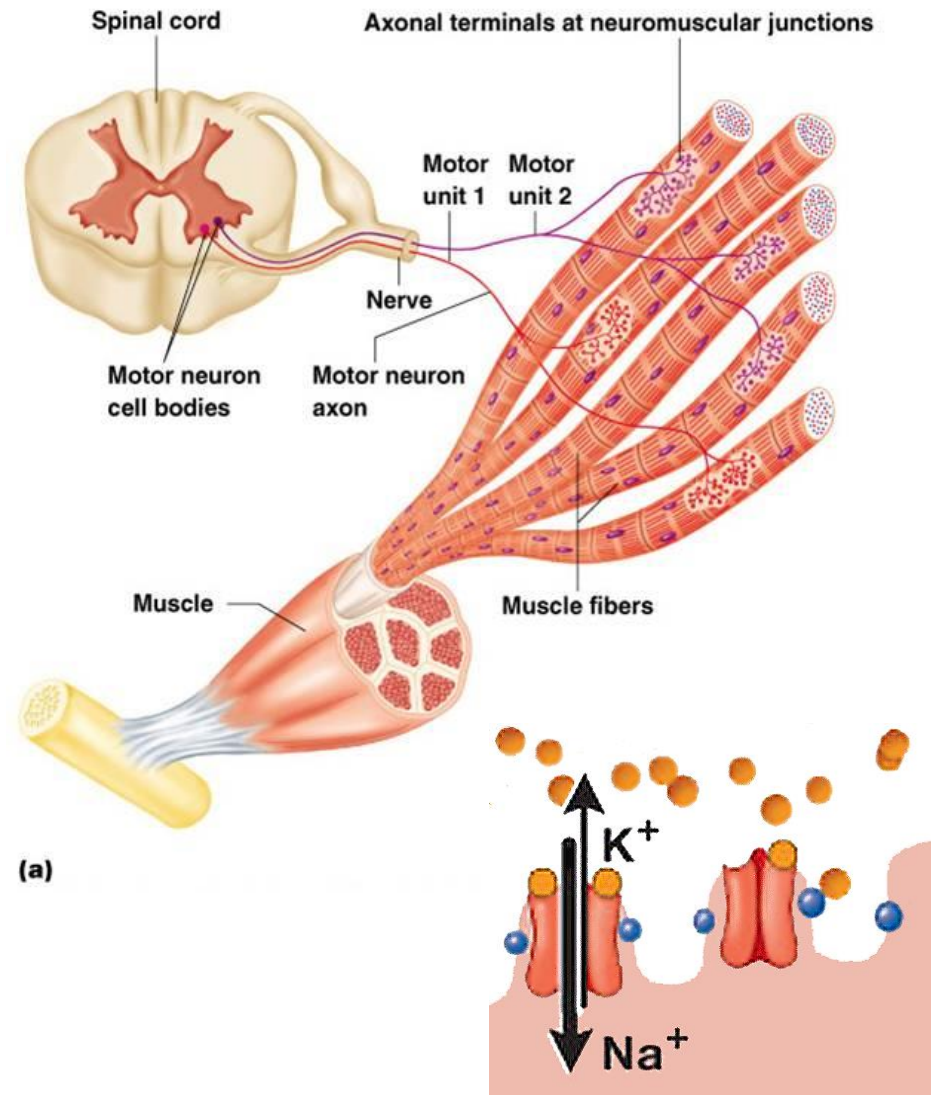
- Συσταλτικές (contractile) μονάδες της μυϊκής ίνας
- Προκαλούν την σύσπαση
 - Χρειάζονται ενέργεια (ATP)
- Αν δεν υπάρχει ATP
 - Μεταθανάτια ακαμψία (Rigor Mortis)



Νευρομυϊκή Σύναψη



- **Κινητικός νευρώνας → νευρομυϊκή σύναψη με ένα μυϊκό κύτταρο**
 - Ένας νευρώνας μπορεί να στείλει άξονες σε μία ή περισσότερες μυϊκές ίνες
- **Νευροδιαβιβαστής = ακετυλοχολίνη (ACh)**
- **Εστέραση της Ακετυλοχολίνης (Acetylcholinesterase)**
 - Αδρανοποιεί την ACh
 - Τερματίζει τα μετασυναπτικά δυναμικά και τα δυναμικά ενεργείας
 - Εξασφαλίζει άμεσο τερματισμό της σύσπασης



Νευρομυϊκή Σύναψη



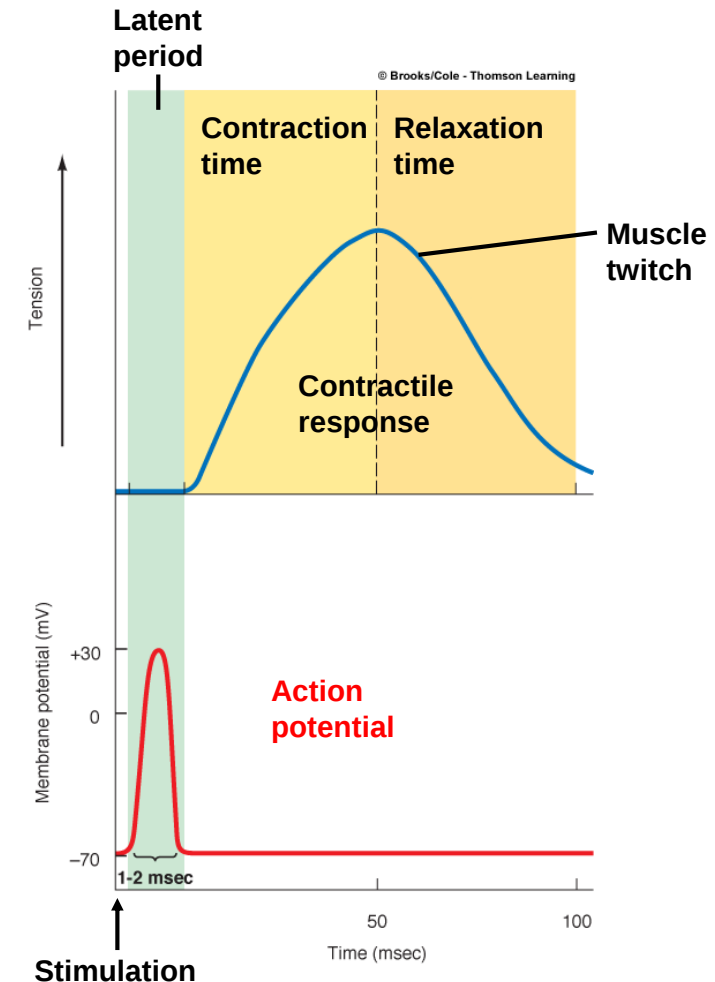
- **Η νευρομυϊκή σύναψη είναι ευάλωτη σε χημικούς παράγοντες και ασθένειες**
 - Αυξημένη ACh → σπασμοί → παράλυση → θάνατος (αναπνευστική ανεπάρκεια)
 - Μειωμένη ACh → καθόλου συσπάσεις → παράλυση → θάνατος (αναπνευστική ανεπάρκεια)
- **Δηλητήρια / Ασθένειες**
 - Δηλητήριο αράχνης Black Widow → Εκρηκτική έκκριση ACh
 - Τοξίνη Αλλαντίασης (Botulism toxin) → Παρεμποδίζει την απελευθέρωση ACh
 - Από τρόφιμα μολυσμένα με *Clostridium Botulinum* → αλλαντίαση
 - Από πλαστικούς χειρουργούς!
 - Curare → Απενεργοποιεί τους υποδοχείς ACh
 - Δηλητηριώδη βέλη ιθαγενών του Αμαζονίου
 - Οργανοφωσφορικά (Organophosphates) → Αναστολή της AChE
 - Φυτοφάρμακα και στρατιωτικό αέριο νεύρων
 - Βαριά μυασθένεια (Myasthenia gravis) → Αδρανοποιεί τους υποδοχείς της ACh
 - Αυτοάνοση πάθηση (αντισώματα έναντι των υποδοχέων ACh)
 - Το αντίδοτο είναι neostigmine (αναστέλλει την AChE)



Σύνδεση Διέγερσης-Σύσπασης



- **Συσταλτική δραστηριότητα**
 - ΔΕ (1-2 msec)
 - Σύσπαση (~ 50 msec)
 - Χαλάρωση (~ 50 msec)
- **Σύσπαση - Συρρίκνωση μιας μυϊκής ίνας από ένα μόνο ΔΕ**
 - Παράγεται από μόνο δυναμικό ενεργείας
 - Σύντομη και ασθενής σύσπαση
 - Πάρα πολύ σύντομη και πολύ αδύναμη για να είναι χρήσιμη
 - Κατά κανόνα δεν παρουσιάζεται υπό φυσιολογικές συνθήκες στο σώμα



Σύνδεση Διέγερσης-Σύσπασης

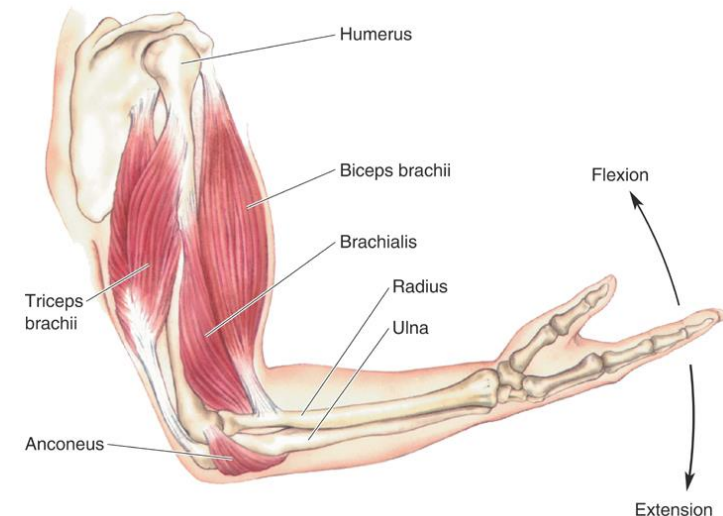
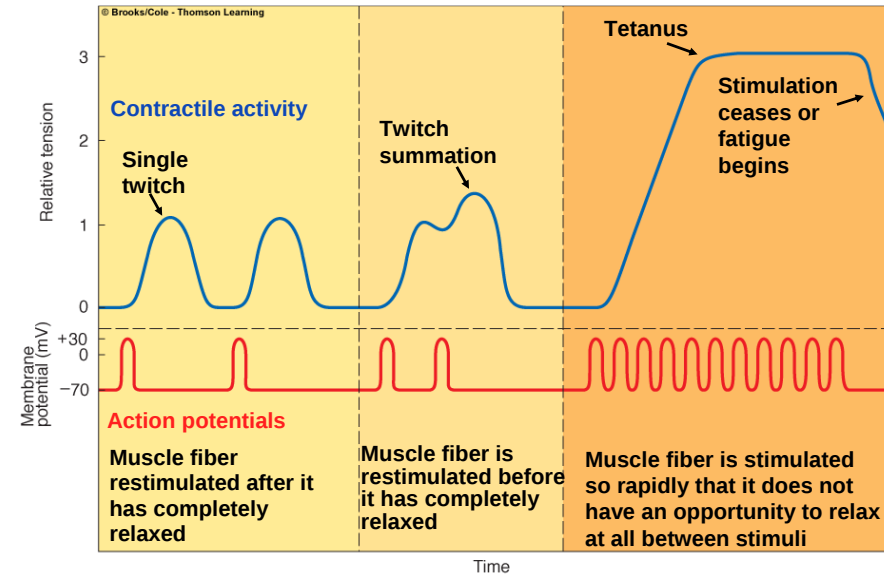


• Άθροιση συσπάσεων

- Ξεχωριστές συσπάσεις μπορεί να προστεθούν
 - Πολλαπλά ΔΕ πριν τελειώσει η σύσπαση
- Η σύσπαση συνεχίζεται και αθροίζεται μέχρι ένα όριο.

• Σύσπαση των μυών

- Οι συσπάσεις ολόκληρων μυών μπορεί να είναι ποικίλης δύναμης
- Δύο παράγοντες ρυθμίζουν τη διαβάθμιση της δύναμης
 - Η ένταση που αναπτύσσεται από κάθε ίνα που συσπάται
 - Ο αριθμός των μυϊκών ινών που συσπώνται παράλληλα μέσα σε ένα μυ



Κινητικές Μονάδες



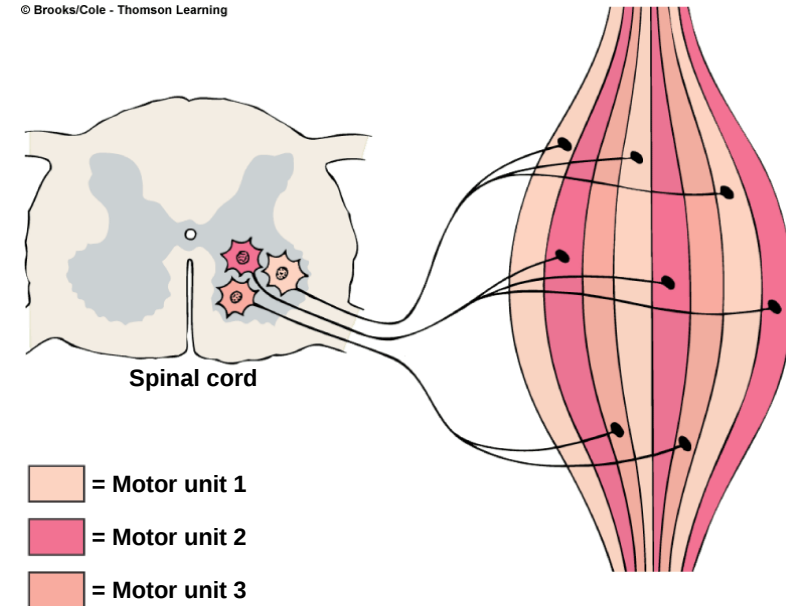
• Κινητική Μονάδα

- Ένας κινητικός νευρώνας και οι μυϊκές ίνες που εννερώνει
- Αριθμός των μυϊκών ινών ανά κινητική μονάδα και ο αριθμός των κινητικών μονάδων ανά μυ ποικίλλουν
 - Μύες που παράγουν ακριβείς, λεπτές κινήσεις → λιγότερες ίνες ανά κινητική μονάδα
 - Μύες που εκτελούν ισχυρές, τραχείς κινήσεις → μεγαλύτερος αριθμός ινών ανά κινητική μονάδα

• Επιστράτευση Κινητικών Μονάδων

- Ασύγχρονη επιστράτευση των κινητικών μονάδων → καθυστέρηση ή πρόληψη της κόπωσης
 - Οι μυϊκές ίνες που κοπώνονται πιο εύκολα επιστρατεύονται αργότερα
- Γρήγορες και αργές κινητικές μονάδες

© Brooks/Cole - Thomson Learning





• Τύποι Κινητικών Μονάδων

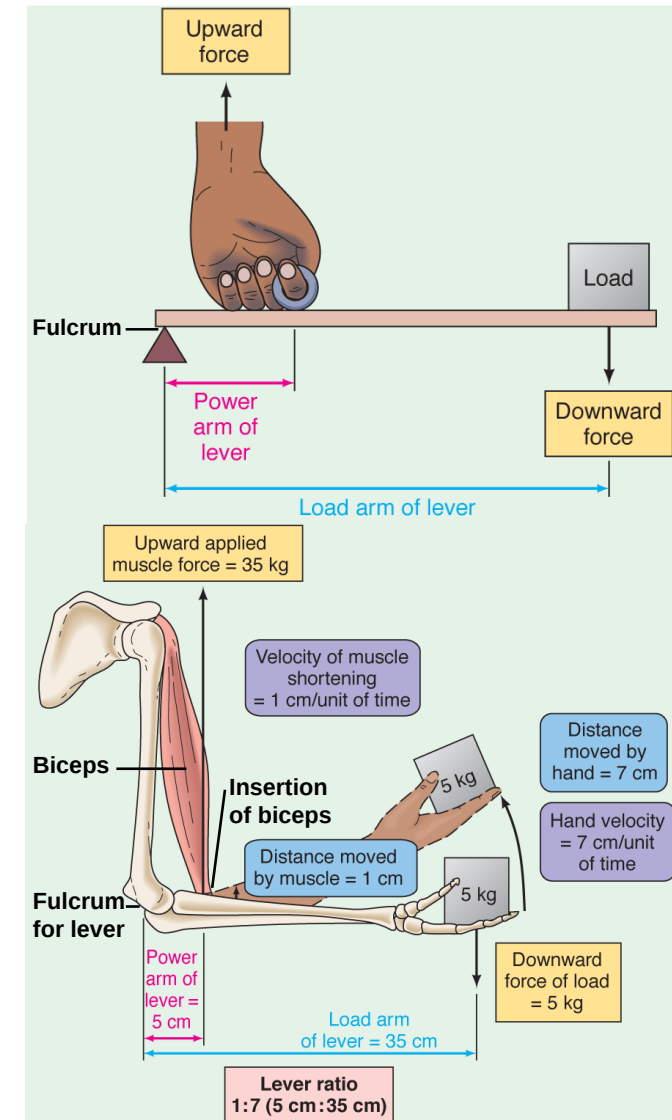
- Αργές κινητικές μονάδες
 - Αργοί νευρώνες
 - Κόκκινες ίνες (αργή κόπωση)
 - Περιέχουν περισσότερα μιτοχόνδρια και μυοσφαιρίνη και να αιματώνονται περισσότερο → κόκκινο κρέας
 - Αργή σύσπαση, μπορούν να διατηρήσουν τη σύσπαση παρατεταμένα
- Γρήγορες κινητικές μονάδες
 - Ταχύτεροι νευρώνες
 - Λευκές ίνες (κόπωση σε σύντομο χρονικό διάστημα)
 - Λίγα μιτοχόνδρια, αναερόβιος μεταβολισμός
 - Γρήγορη σύσπαση και κόπωση





• Συστήματα μοχλών

- Οστά, μύες και αρθρώσεις αλληλεπιδρούν για να σχηματίσουν συστήματα μοχλών
 - Τα οστά λειτουργούν ως μοχλοί
 - Οι αρθρώσεις λειτουργούν ως υπομόχλια
 - Οι σκελετικοί μύες παρέχουν δύναμη και κινούν τα οστά
- Οι μύες συνήθως ασκούν περισσότερη δύναμη από ό, τι το πραγματικό βάρος του φορτίου!
 - Πλεονεκτήματα: μεγαλύτερη ταχύτητα, μεγαλύτερη απόσταση



Προσαρμογή & Επισκευή Μυών



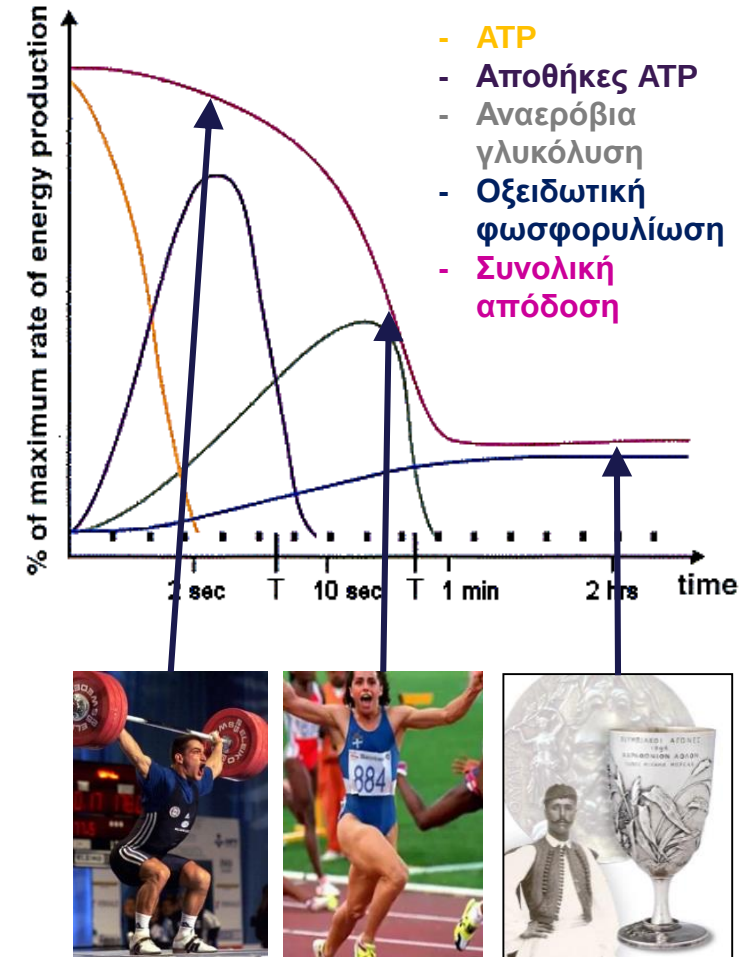
- **Οι μύες έχουν ψηλό βαθμό πλαστικότητας**
 - Αντοχή → Βελτίωση της οξειδωτικής ικανότητας
 - Από τακτική αερόβια άσκηση
 - Τριχοειδή αγγεία και αύξηση των μιτοχονδρίων
 - Αύξηση Δύναμης → Υπερτροφία
 - Από αναερόβια άσκηση υψηλής έντασης
 - Διάμετρος των μυϊκών ινών αυξάνεται Κυρίως γρήγορες ίνες
 - Μείωση Δύναμης → Ατροφία
 - Ατροφία μη-χρήσης (π.χ. εξερεύνηση του διαστήματος)
 - Ατροφία απονεύρωσης (π.χ. παράλυση)
- **Οι μύες έχουν περιορισμένες ικανότητες επισκευής**
 - Δεν δημιουργείται καινούργιος μυς
- **Τεστοστερόνη και άλλα στεροειδή**
 - Αυξάνουν τον όγκο των μυϊκών κυττάρων
 - Κατάχρηση στεροειδών → προβλήματα



Μεταβολισμός των Σκελετικών Μυών



- Σύσπαση – χαλάρωση απαιτούν ATP
- Πηγές Ενέργειας για τη σύσπαση
 - Αποθηκευμένο ATP
 - Μικρής διάρκειας ή εκρηκτική άσκηση (~ 12,5 kcal)
 - Π.χ. δρόμος 100 μέτρων ή άρση βαρών
 - Γλυκόλυση σε αναερόβιες συνθήκες
 - Διάσπαση γλυκόζης χωρίς οξυγόνο (~ 20 kcal)
 - Εξάντληση ενέργειας και $\downarrow$ pH $\rightarrow$ πόνος και κόπωση των μυών
 - Π.χ. δρόμος 200 μέτρων
 - Οξειδωτική φωσφορυλίωση
 - Αερόβια άσκηση ή άσκηση αντοχής (Μόνο εάν υπάρχει επαρκές O₂)
 - Π.χ. μαραθώνιος
 - Χρησιμοποιεί γλυκόζη ή λιπαρά οξέα
 - Γλυκόζη στους μύες (Περιορισμένη. ~ 150g ή 600 kcal - Οι αθλητές έχουν περισσότερη. 2000 kcal οι δρομείς μαραθωνίου)
 - Γλυκόζη του ήπατος (Περιορισμένη. ~ 80 - 200g ή 320-800 kcal)
 - Λιπαρά οξέα (Πολλά! ~ 15kg ή 135.000 kcal)





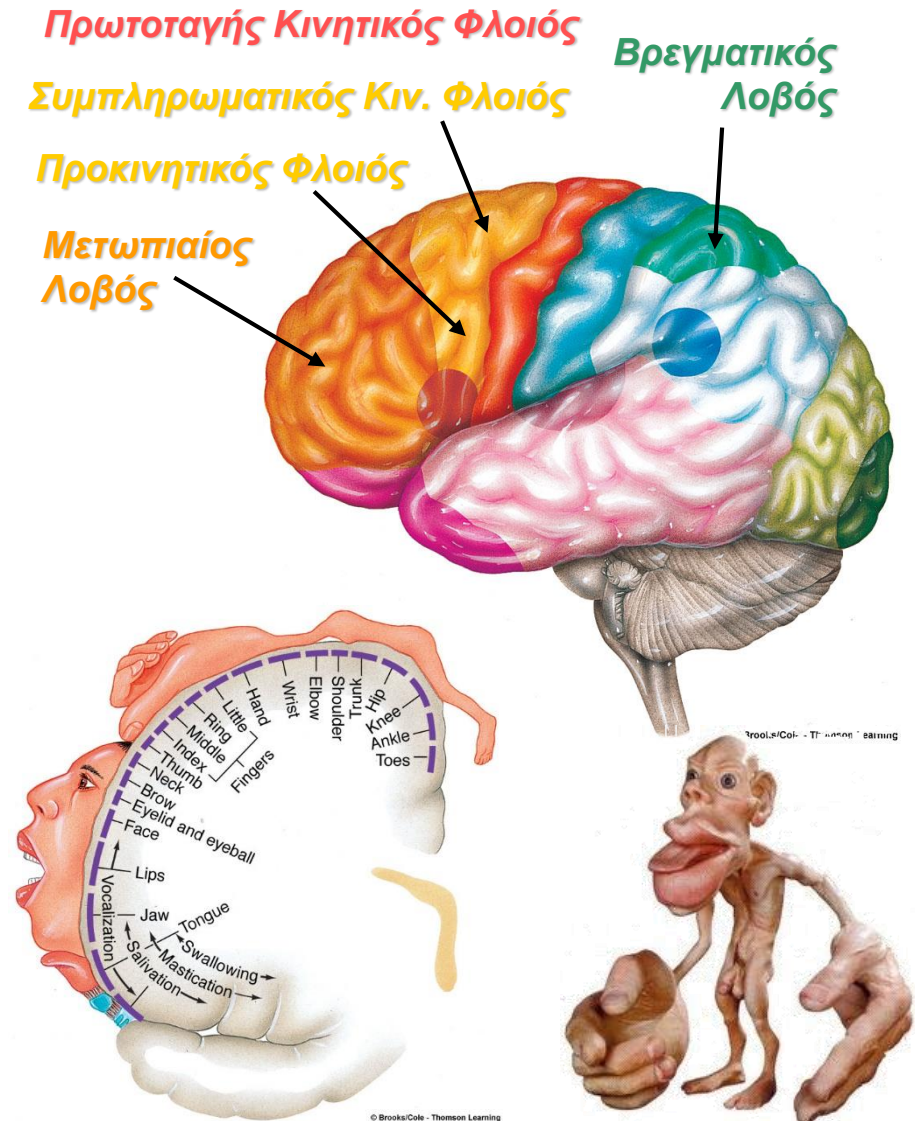
- Η μυϊκή δραστηριότητα δεν μπορεί να διατηρηθεί επ' αόριστον → **Κόπωση**
- **Μυϊκή κόπωση**
 - Εμφανίζεται κατά την άσκηση όταν οι μύες δεν μπορούν πλέον να ανταποκριθούν σε κάθε διέγερση με το ίδιο βαθμό συσταλτικής δραστηριότητας
 - Μηχανισμός άμυνας που προστατεύει από το να φτάσουν οι μύες στο σημείο όπου να μην μπορούν πλέον να παράγουν ATP
- **Κεντρική Κόπωση**
 - Εμφανίζεται όταν το ΚΝΣ δεν ενεργοποιεί πλέον επαρκώς τους κινητικούς νευρώνες των ασκούμενων μυών
 - Συχνά ψυχολογική βάση: Δυσφορία, πλήξη ή κούραση
 - Οι μηχανισμών που εμπλέκονται στην κεντρική κόπωση είναι ελάχιστα κατανοητοί
- **Ανάκτηση**
 - Υπερκατανάλωση O_2 μετά την άσκηση βοηθά
 - Αναπλήρωση θρεπτικών ουσιών και ηλεκτρολυτών (1-2 ημέρες μετά από ένα μαραθώνιο)



Έλεγχος της Κίνησης



- **Μετωπιαίος Λοβός (Προμετωπιαίος) → Στρατηγική**
 - Με εισόδους από τον βρεγματικό λοβό (χάρτης του σώματος και του κόσμου)
- **Μετωπιαίος Λοβός (Προκινητικός και Συμπληρωματικός Κινητικός Φλοιός) → Προγραμματισμός**
 - Δραστηριοποιείται πριν την κίνηση
- **Μετωπιαίος Λοβός (Κινητικός Φλοιός) → Εκτέλεση**
 - Ελέγχει την κίνηση στην αντίθετη πλευρά του σώματος
 - Περιοχές του σώματος χαρτογραφούνται τοπογραφικά

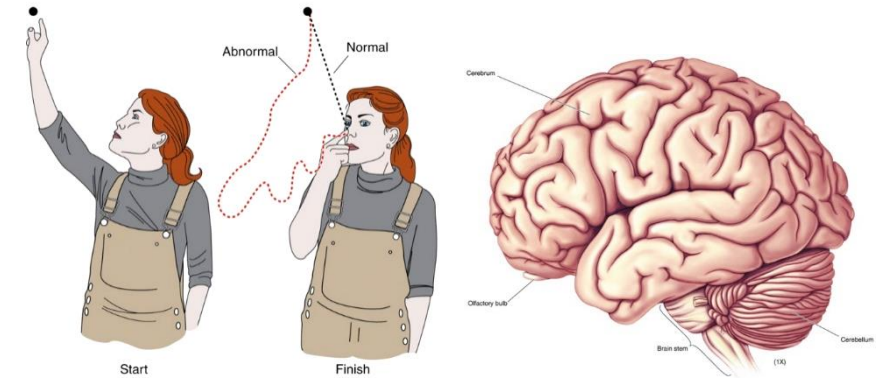


Έλεγχος της Κίνησης



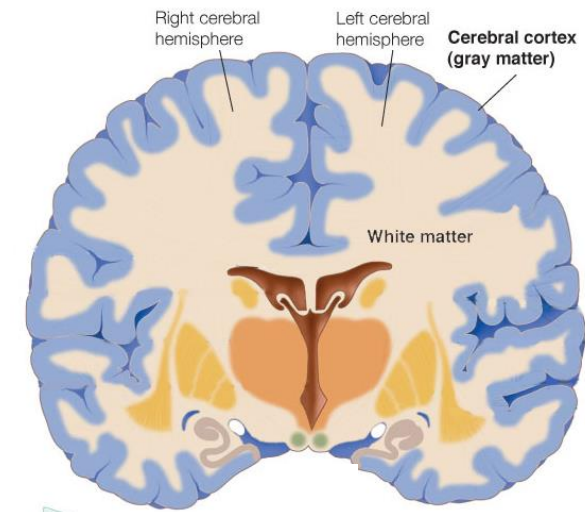
• Παρεγκεφαλίδα → Συντονισμός

- Ισορροπία
- Συντονισμός της εθελούσιας κίνησης
- Διαδικαστική μνήμη (π.χ. κινητικές δεξιότητες που αποκτήθηκαν μέσω επαναλαμβανόμενης εξάσκησης)
- Ασθένειες της Παρεγκεφαλίδας = Προθετικός τρομός (κατά την διάρκεια της κίνησης)



• Βασικά Γάγγλια → Αρχικοποίηση και διόρθωση

- Επιλέγουν και συντηρούν σωστή κίνηση και ταυτόχρονα καταστέλλουν ανεπιθύμητες κινήσεις
- Ελέγχουν και συντονίζουν αργές και συνεχείς συσπάσεις
 - Ιδιαίτερα αυτές που έχουν να κάνουν με στάση και στήριγμα του σώματος
- Νόσος του Parkinson
 - Αυξημένος μυϊκός τόνος ή ακαμψία
 - Τρόμος (κατά την στάση)
 - Βραδύτητα στην έναρξη και διεξαγωγή κινητικών συμπεριφορών



Έλεγχος της Κίνησης

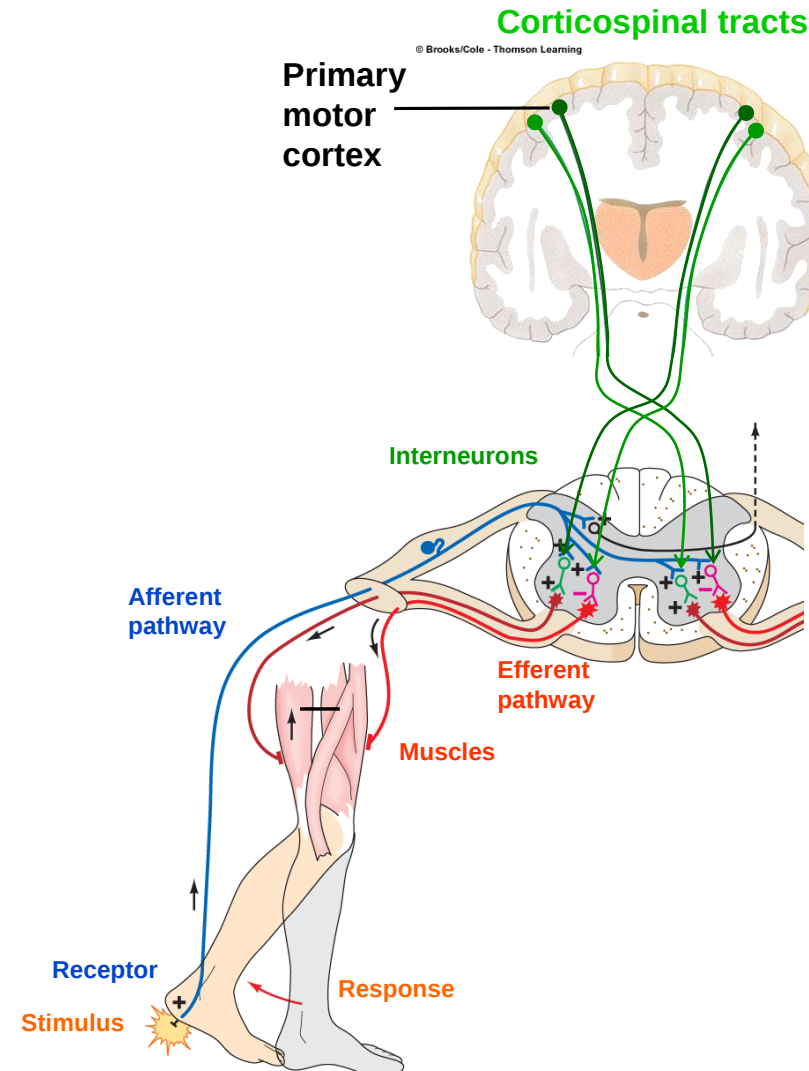


- **Διαδρομή προς μύες**

- Πρωτοταγής κινητικός φλοιός
- Άνω κινητικοί νευρώνες
- Στέλεχος (περνούν στην άλλη πλευρά)
- Νωτιαίος μυελός
- Κάτω κινητικοί νευρώνες

- **Διάμεσοι νευρώνες και προσαγωγοί νευρώνες (από αισθητήρες)**

- Υπεύθυνοι για τα αντανακλαστικά (π.χ. απόσυρση)





- **Αισθητήρες και Ανάδραση**

- Απαραίτητα για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο περίπλοκων κινήσεων και για την ισορροπία
- Πληροφορίες από όλους τους μύες και τις αρθρώσεις → αίσθηση ιδιοδεκτικότητας

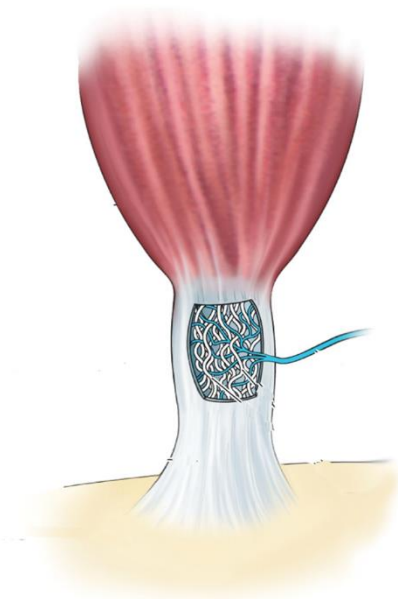
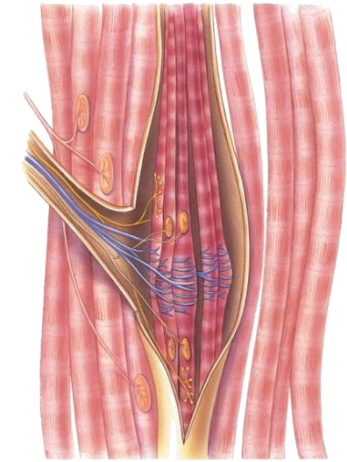
- **Δύο τύποι αισθητήρων των μυών**

1. **Μυϊκές άτρακτοι (Muscle spindles)**

- Παράλληλα με τον μυ
- Παρακολούθηση του μήκους του μυός
- Εξειδικευμένες μυϊκές ίνες → συγχρονισμένη σύσπαση με το μυ

2. **Τενόντιο Όργανο του Gogli (Gogli Tendon Organ)**

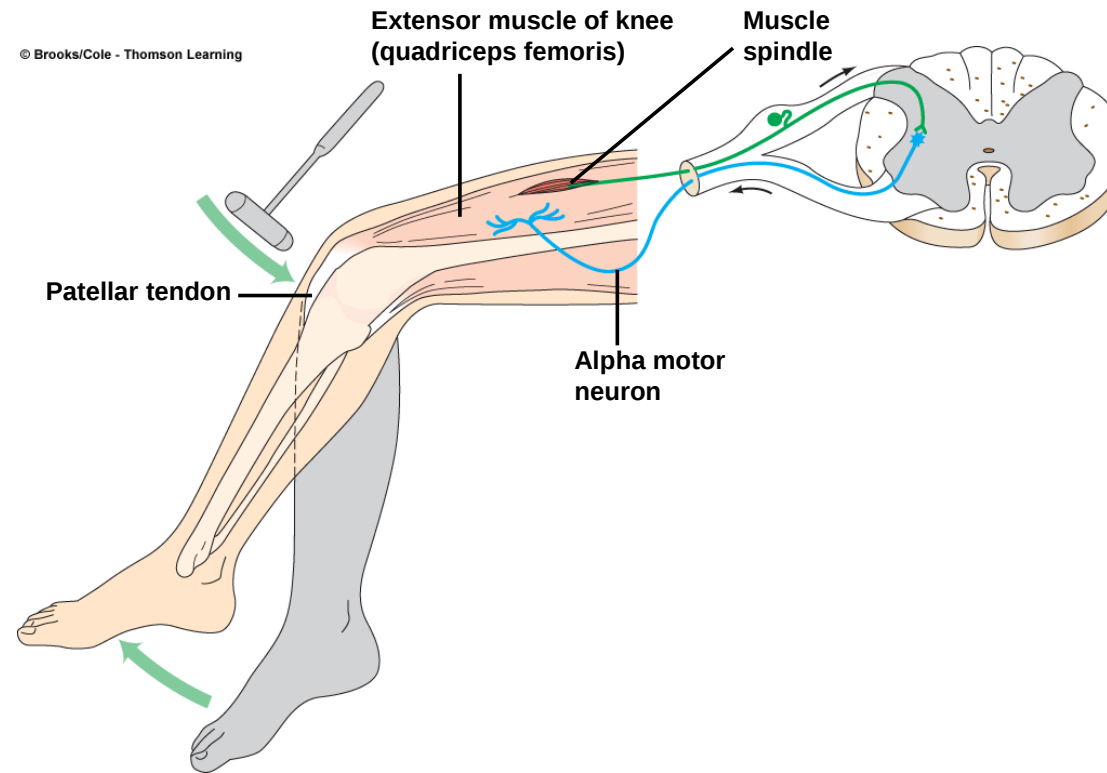
- Σε σειρά με τον μυ
- Τέντωμα του τένοντα ασκεί πίεση στις απολήξεις των νευρώνων
- Παρακολούθηση της ολικής δύναμης του μυός
- Πληροφορίες φτάνουν μέχρι και την ενσυνείδητη επίγνωση (conscious awareness)
 - Αισθανόμαστε τη δύναμη (αλλά όχι το μήκος) στους μύες





- **Μυοτακτικό αντανακλαστικό**

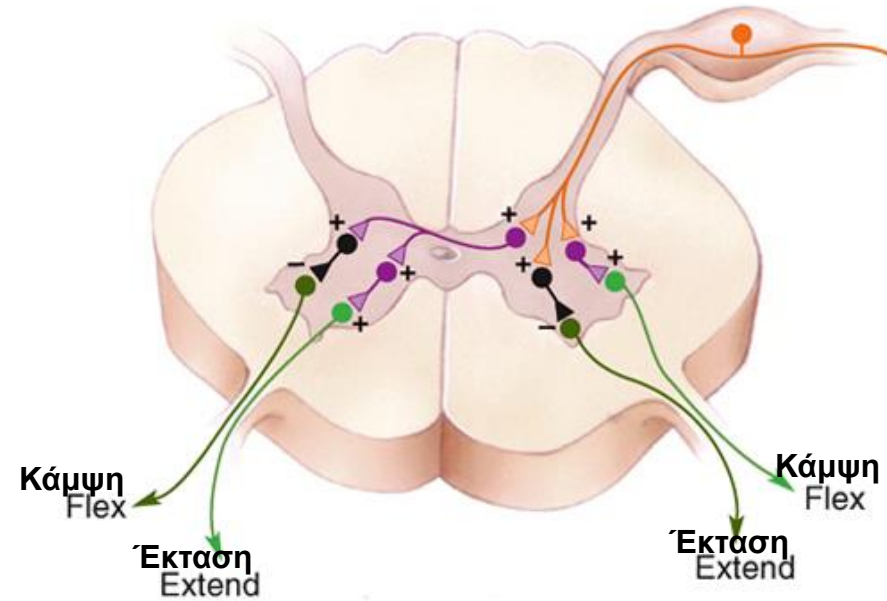
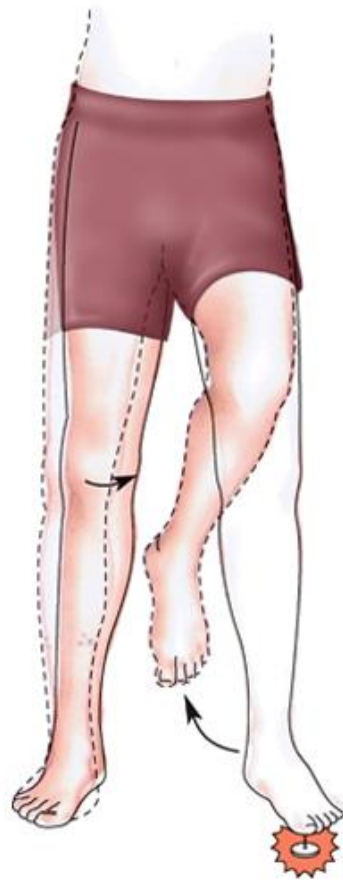
- Τέντωμα του μυός → Ο μυς τείνει να επανέλθει στο προηγούμενο μήκος
- Βρόγχος ανάδρασης
- Παράδειγμα
 - Αντανακλαστική εκτίναξη του ποδιού



Μυϊκοί Αισθητήρες



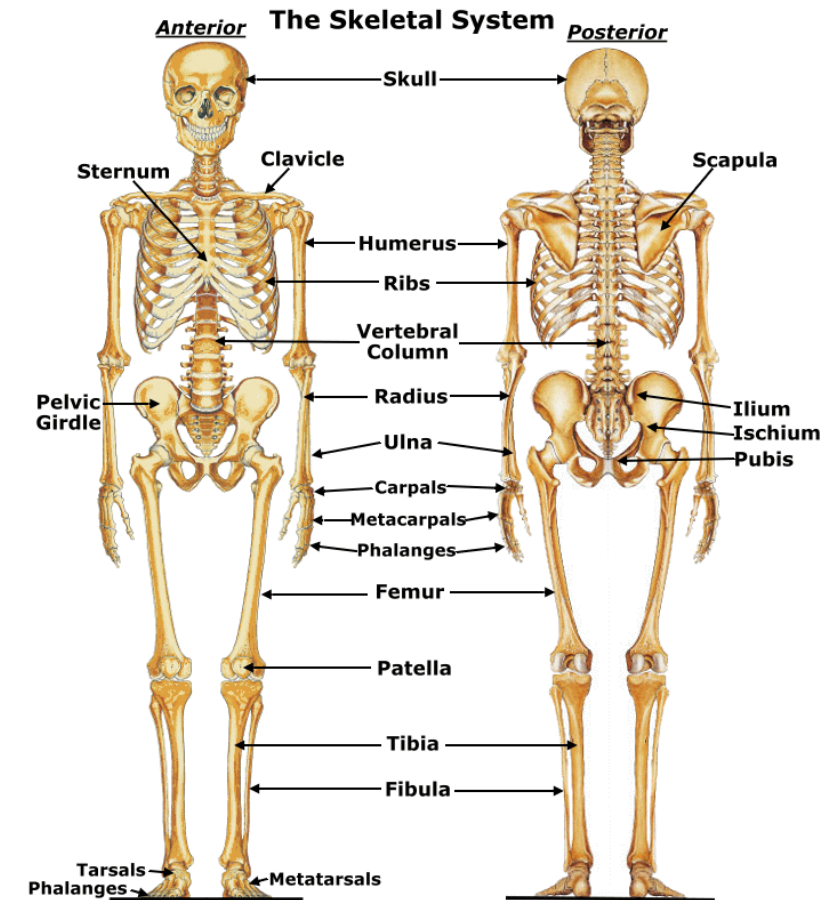
- Πιο πολύπλοκα αντανακλαστικά



Σκελετικό Σύστημα



- Τα οστά είναι φτιαγμένα από διάφορους ιστούς
 - Κατά κύριο λόγο κολλαγόνο και υδροξυαπατίτη - $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
 - Περίπου 206 οστά στο ανθρώπινο σώμα
- Λειτουργίες του σκελετικού συστήματος
 - ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ:
 - Σκληρό πλαίσιο που υποστηρίζει και σταθεροποιεί τα μαλακά όργανα του σώματος.
 - ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ:
 - Περιβάλλει όργανα όπως τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό.
 - ΚΙΝΗΣΗ:
 - Επιτρέπει την προσκόλληση των μυών, συνεπώς, είναι τα οστά που χρησιμοποιούνται ως μοχλοί.
 - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ:
 - Μέταλλα και λιπίδια αποθηκεύονται στο υλικό των οστών.
 - ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΙΜΟΣΦΑΙΡΙΩΝ:
 - Ο μυελός των οστών είναι υπεύθυνος για την παραγωγή κυττάρων του αίματος.



Οστά και Αρθρώσεις



- **Οστό**

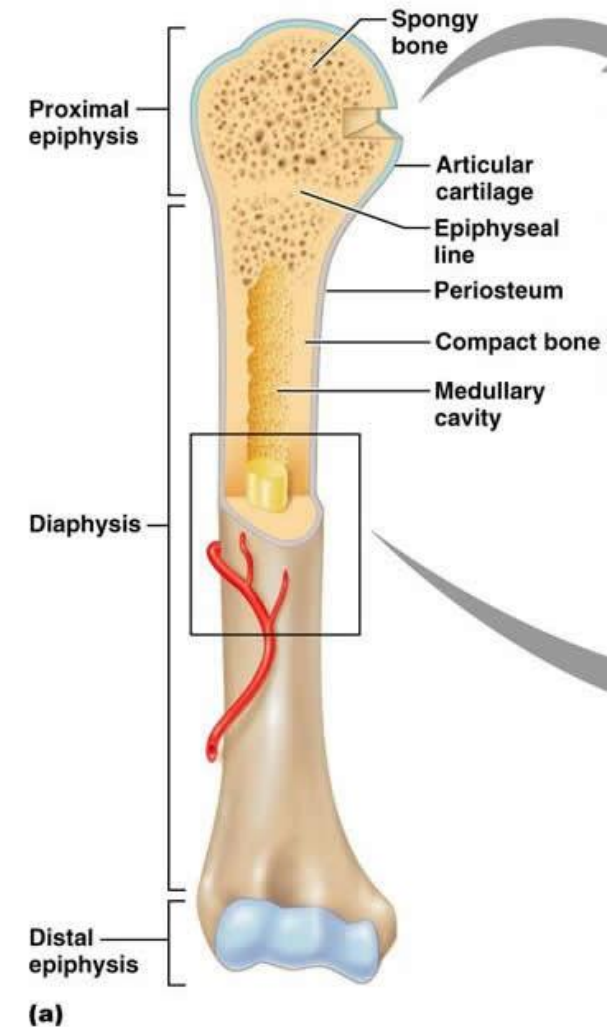
- Πρωτεΐνη με Ca και P
- Κύτταρα των οστών
- Αιμοφόρα αγγεία

- **Δομή των οστών**

- Περίοστεο - σκληρό εξωτερικό περίβλημα
- Συμπαγές οστό - σκληρό ισχυρό στρώμα
- Σπογγώδες οστό - στα άκρα των μακρών οστών
- Μυελική κοιλότητα – άδειος χώρος στη μέση των μακρών οστών
- Χόνδρος - προστατεύει τα άκρα των οστών και επιτρέπει την ομαλή κίνηση

- **Μυελός των Οστών**

- Ερυθρός μυελός - παράγει κύτταρα του αίματος και παράγοντες πήξης
 - Βρίσκεται στα μεγάλα οστά
 - Παράγει 2 εκατομμύρια ερυθρά αιμοσφαίρια ανά δευτερόλεπτο
- Κίτρινος μυελός - αποθηκεύει το λίπος
 - Βρίσκεται σε πολλά οστά





• Οστεοπόρωση

- Μείωση της Οστικής Πυκνότητας
- Αύξηση του κινδύνου για κάταγμα
 - κατάγματα συμπίεσης των σπονδύλων
 - κατάγματα του ισχίου
- Έλλειψη ασβεστίου, βιταμίνης Δ, οιστρογόνων και άσκησης



• Κατάγματα των Οστών

- Κάταγμα είναι ένα σπάσιμο στο οστό
- Απλά ή Σύνθετα κατάγματα
- Αναγέννηση των οστών:
 - Σπογγώδες οστό παράγεται από τις πρώτες ημέρες
 - Αιμοφόρα αγγεία ξαναδημιουργούνται και το σπογγώδες οστό σκληραίνει
 - Πλήρης θεραπεία χρειάζεται 1-2 μήνες
 - Η ικανότητα επούλωσης μειώνεται με την ηλικία



Οστά και Αρθρώσεις



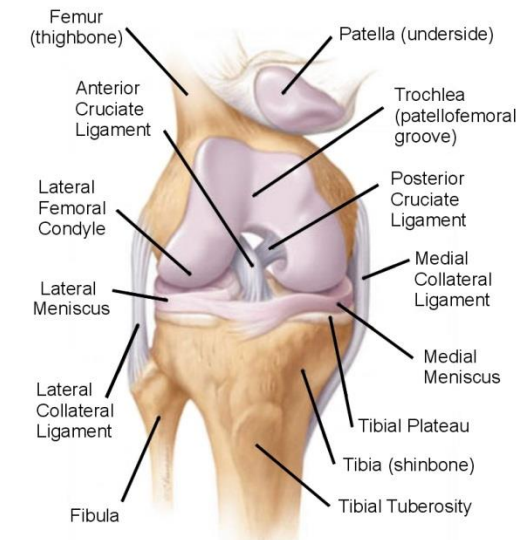
• Αρθρώσεις

- Χόνδρος καλύπτει τις επιφάνειες των οστών
- Μειώνει την τριβή
- Λιπαίνεται με υγρό από τριχοειδή αγγεία

• Αρθρίτιδα:

- Οστεοαρθρίτιδα
 - 90% του πληθυσμού.
 - Από την ηλικία των 40
- Χρόνια φλεγμονή του αρθρικού χόνδρου
- Μπορεί να είναι φυσιολογική αλλαγή που εξαρτάται από την ηλικία
- Μπορεί επίσης να οφείλεται σε παθολογικά αίτια
 - Αλλαγές σχετίζονται με την ηλικία
 - Μείωση της παροχής αίματος
 - Τραύμα

Frontal View of Right Knee (with patella reflected)



Osteoarthritis

