



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



Κινησιολογία

Ενότητα 3: Σκελετικοί μύες

Αθανάσιος Τσιόκανος

Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Θεσσαλίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σκοποί ενότητας

- Σκοπός της ενότητας να εισάγει βασικές γνώσεις γύρω από το μυϊκό σύστημα του ανθρώπινου κινητικού μηχανισμού (κατανομή των μυών, μορφολογική και λειτουργική).

Περιεχόμενα ενότητας

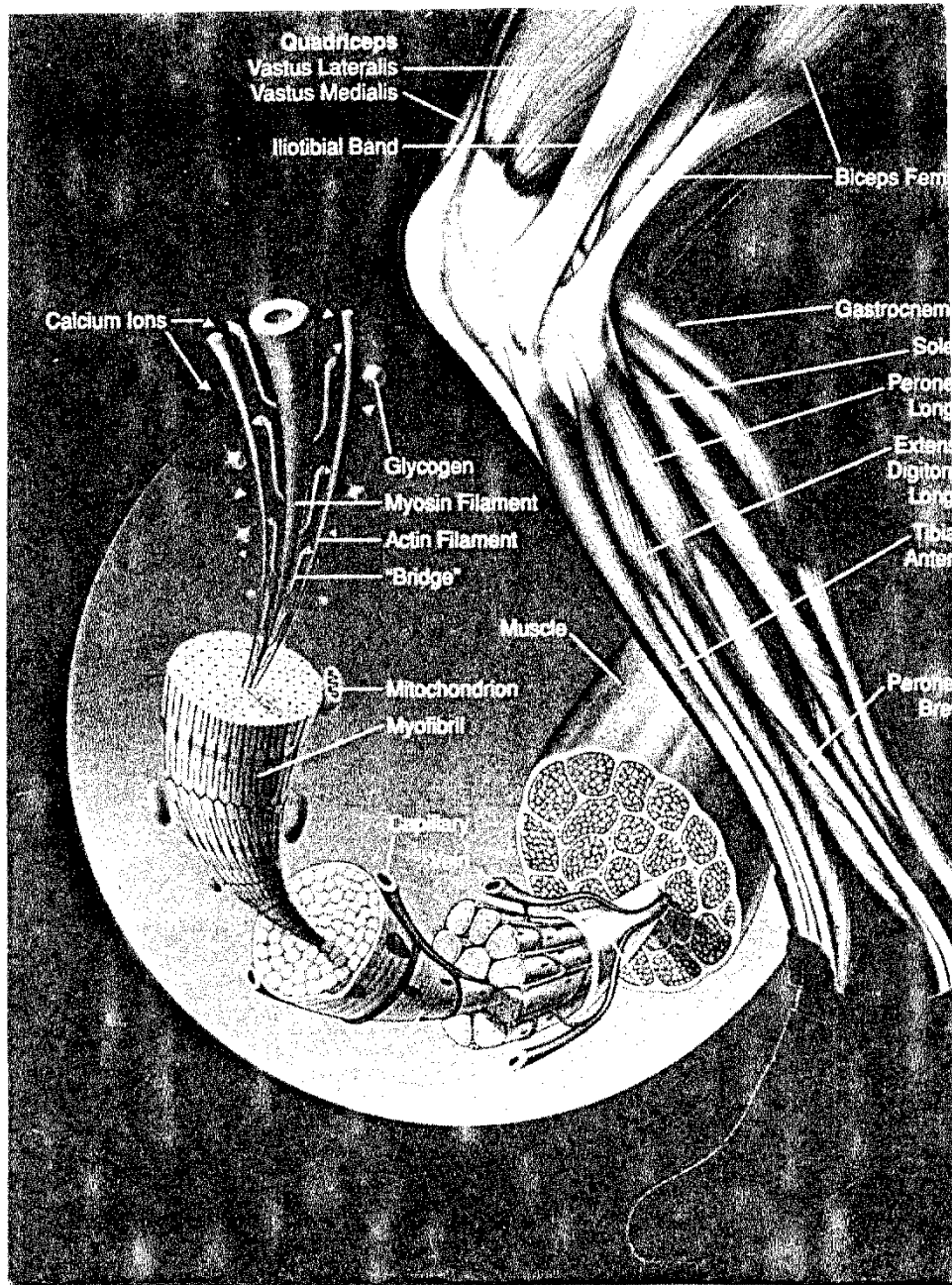
- Μυϊκός Ιστός
- Βασικά μέρη γραμμωτού μυός
- Αρχιτεκτονική δομή του μυός
- Μυϊκές ίνες
- Μηχανισμός συστολής
- Προσαρμογή μυών σε επιβαρύνσεις
- Κατανομή μυών
- Εύρος σύσπασης και διάταξη ινών
- Ανατομική και φυσιολογική διάμετρος
- Μύες και άξονας περιστροφής των αρθρώσεων
- Ταχυδυναμική σχέση

Μυϊκός Ιστός

- Μύες: Μαλακά και συσταλτά όργανα με πρωτεϊνική σύσταση.
- Λείοι μύες
- Καρδιακός μυς
- Γραμμωτοί ή σκελετικοί μύες
- 434 γραμμωτοί μύες, μόνο 75 ζεύγη λαβαίνουν ενεργό μέρος στην κίνηση.

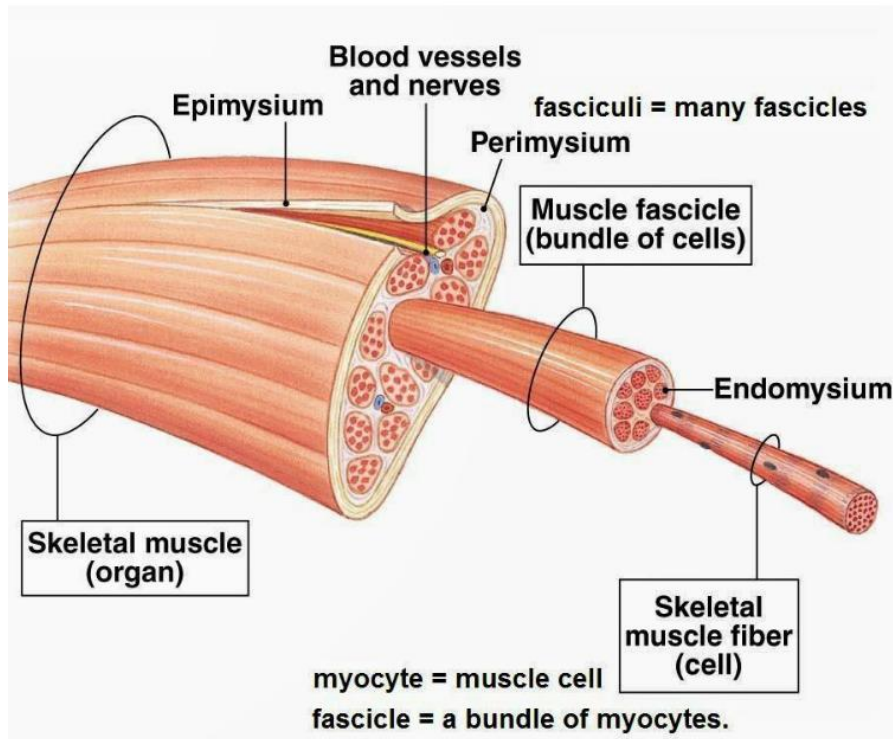
Βασικά μέρη γραμμωτού μυός

- Έκφυση: Το άκρο του μυός που συνδέεται με το ακίνητο μέλος της άρθρωσης.
- Κατάφυση: Το άκρο του μυός που συνδέεται με το κινητό μέλος.
- Γαστέρα: Το συσταλτό μέρος του μυός.
- Τένοντας: Σύνολο ισχυρών εύκαμπτων ινών συνδετικού ιστού για τη σύνδεση του μυός με το οστό. Ο τένοντας δεν συσπάται.
- Το περιτενόντιο εισέρχεται μέσα στον τένοντα και τον χωρίζει σε δέσμες ινών.



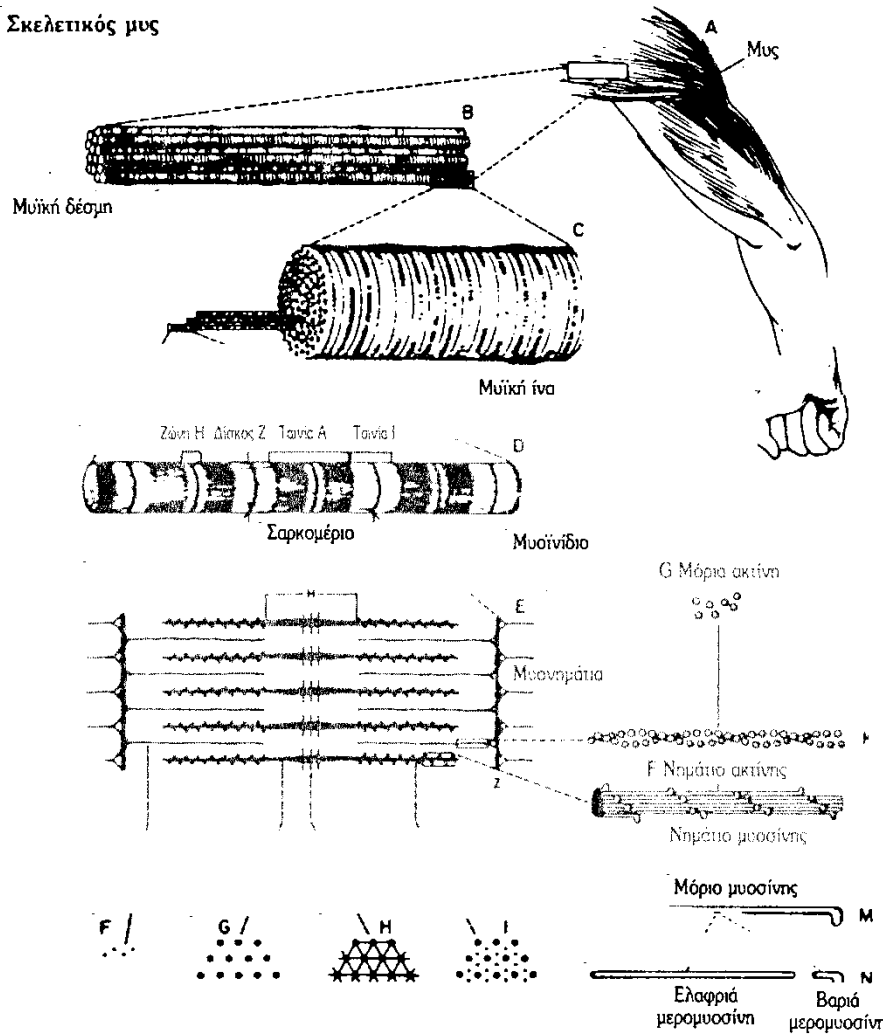
Αρχιτεκτονική δομή του μυός 1

Αρχιτεκτονική δομή του μυός 2



- Επιμύιο ή έξω περιμύιο
- Έσω περιμύιο
- Ενδομύιο
- Μυϊκές ίνες
- Μυϊκά ινίδια
- Ισότροπος ουσία ή ζώνη I
- Ανισότροπος ουσία ή ζώνη A
- Σαρκομέριο
- Ζ γραμμή ή θεμέλιος υμένας
- Νημάτια μυοσίνης
- Νημάτια ακτίνης

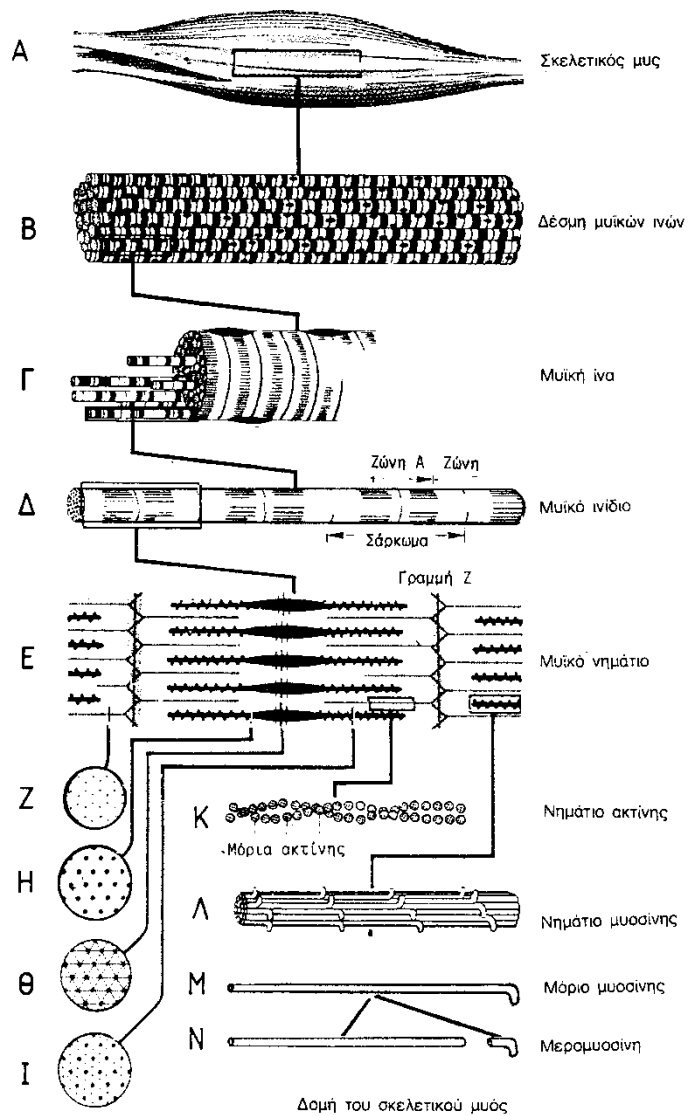
Σκελετικός μυς



Αρχιτεκτονική δομή του μυός 3

Οργάνωση του σκελετικού μυός από μακροσκοπικό σε μοριακό επίπεδο. Τα F,G,H και I είναι οι εγκάρσιες τομές στα επίπεδα που σημειώνονται. Σημείωση: Από το *A Textbook of Histology* (10η έκδοση, α.206) των W.Bloom και D.Fawcett, 1973, Philadelphia: W.B.Saunders Copyright 1962 από την W.B.Saunders Company.

Αρχιτεκτονική δομή του μυός 4



Μυϊκές ίνες

- Κυλινδρικά κύτταρα με διαφορετική διάμετρο, ακόμα και στον ίδιο μυ (10 - 100 μm). Μπορούν να φτάσουν σε μήκος έως και 15 cm.
- Ο αριθμός των μυϊκών ινών είναι ανάλογος με την κάθετη διατομή του γαστέρα και είναι διαφορετικός από μυ σε μυ και από άτομο σε άτομο.
- Καλύπτονται εξωτερικά από μια λεπτή ελαστική μεμβράνη το σαρκείλημα ή σαρκώλημα.
- Κάτω από αυτό υπάρχει το σαρκόπλασμα και μέσα του υπάρχουν λεπτά ινίδια, διατεταγμένα κατά μήκος και παράλληλα μεταξύ τους, τα μυϊκά ινίδια.

Μυϊκό ινίδιο 1

- Το μυϊκό ινίδιο είναι το στοιχειώδες συστατικό μιας μυϊκής ίνας και αποτελείται από λεπτότερα (ακτίνης) και παχύτερα (μυοσίνης) νημάτια.
- Ανάμεσα στα μυϊκά ινίδια υπάρχει σαρκόπλασμα που είναι φτωχό σε μιτοχόνδρια, και ένα έντονα ανεπτυγμένο, λείο σαρκοπλασματικό δίκτυο (σύστημα L) που αποθηκεύει τα απαραίτητα για την έκλυση της συστολής ιόντα ασβεστίου: κατά την άφιξη μιας νευρικής διέγερσης τα ιόντα ασβεστίου εισέρχονται στο σαρκόπλασμα και προκαλούν τη συστολή των μυϊκών ινιδίων.

Μυϊκό ινίδιο 2

- Η ύπαρξη αδρού σαρκοπλασματικού δικτύου και ριβοσωμάτων – αυτά είναι υπεύθυνα για την πρωτεϊνοσύνθεση – είναι μειωμένη.
- Το γεγονός αυτό εξηγεί και την περιορισμένη ικανότητα αναγέννησης των ώριμων σκελετικών μυϊκών ινών και επίσης το φαινόμενο ότι στα σημεία εκείνα όπου έχουν εκφυλισθεί μυϊκές ίνες (π.χ. μετά από ρήξη τους) δημιουργούνται τις περισσότερες φορές ουλές από συνδετικό ιστό.

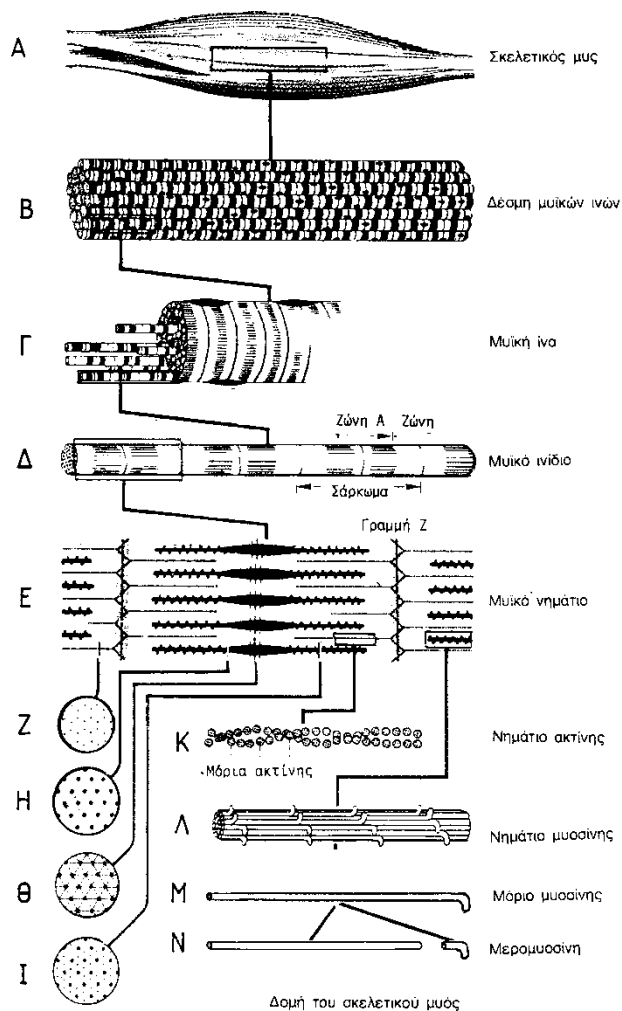
Λευκές και ερυθρές μυϊκές ίνες 1

- Λευκές: παχιές και «ταχείες» ίνες (FT – fast twitch = ίνα ταχείας συστολής).
- Ενεργούν κυρίως σε ταχυδυναμική μυϊκή εργασία και μυϊκές επιβαρύνσεις υψηλής έντασης.
- Ως προς τον μεταβολισμό τους, οι FT έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε φωσφορικά άλατα πλούσια σε ενέργεια και γλυκογόνο και μεγάλη περιεκτικότητα σε ένζυμα για αναερόβια παραγωγή ενέργειας.

Λευκές και ερυθρές μυϊκές ίνες 2

- Ερυθρές: λεπτές και «αργές» ίνες (ST – slow twitch = ίνα βραδείας συστολής).
- Ενεργούν σε μυϊκή εργασία μικρότερης έντασης.
- Οι ST ίνες εμφανίζουν μεγάλες ποσότητες γλυκογόνου, και χαρακτηρίζονται από αυξημένες ποσότητες ενζύμων αερόβιου μεταβολισμού.
- Ο γαστροκνήμιος μυς που εργάζεται κυρίως σε ταχυδυναμικές ενέργειες αποτελείται κυρίως από ίνες FT, ενώ ο υποκνημίδιος μυς που ενεργεί ιδιαίτερα σε επιβαρύνσεις αντοχής, αποτελείται κυρίως από ίνες ST.
- Η ποσοστιαία κατανομή των διαφόρων μυϊκών ινών είναι καθορισμένη γενετικά.

Μηχανισμός συστολής



- Τα νημάτια ακτίνης εισχωρούν ανάμεσα στα νημάτια μυοσίνης.
- Αυτό επιτυγχάνεται με την εισροή ιόντων ασβεστίου στο σαρκόπλάσμα, που επιφέρουν σύνδεση ανάμεσα στις κεφαλές της μυοσίνης και στα λεπτά νημάτια ακτίνης. Οι κεφαλές της μυοσίνης κινούνται (κωπηλατοειδώς) και έλκονται τα λεπτά νημάτια ακτίνης, οπότε συντελείται η εξωτερικά ορατή βράχυνση του μύος.
- Το μυϊκό σύστημα βρίσκεται διαρκώς σε μια χαρακτηριστική κατάσταση τάσης (τόνος μυών)

Προσαρμογή μυών σε επιβαρύνσεις

- Αρχικά βελτίωση της ενδομυϊκής και μεσομυϊκής συναρμογής.
- Ακολούθως επέρχεται μυϊκή υπερτροφία (αύξηση της διαμέτρου των μυϊκών ινών με την αύξηση των συσταλών νηματίων ακτίνης και μυοσίνης).
- Παράλληλα αυξάνεται η αναερόβια ικανότητα μεταβολισμού.
- Είναι πιθανό να επέλθει και υπερπλασία (αύξηση του αριθμού των κυττάρων). Συμβαίνει μετά από τραυματισμό ή με τη βοήθεια προπόνησης (σπουδαίος ο ρόλος των «δορυφορικών κυττάρων» που είναι απαραίτητα στις διαδικασίες αποκατάστασης και για τον σχηματισμό νέων μυϊκών ινών).
- Εντατική προπόνηση αντοχής επιφέρει μείωση της διαμέτρου των μυϊκών ινών και αύξηση των παραγόντων αερόβιας απόδοσης (αύξηση μιτοχονδριακής χωρητικότητας, συγκέντρωσης αερόβιων ενζύμων, βελτιωμένη τριχοειδής αιμάτωση μυός κ.ά.).

Κατανομή μυών 1

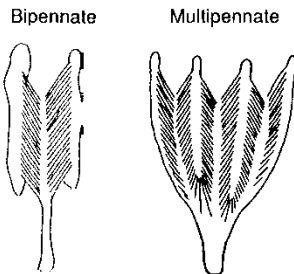
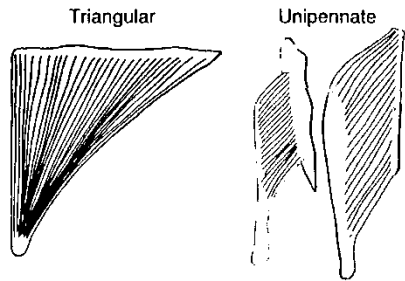
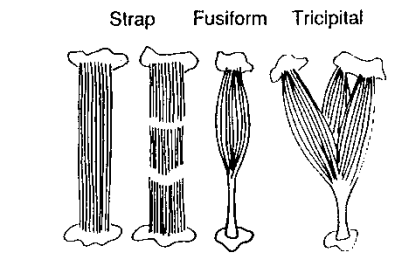
- Σύμφωνα με τον αριθμό των εκφύσεων:
- Ατρακτοειδείς ή μονοκέφαλοι (πρόσθιος βραχιόνιος)
- Δικέφαλοι (δικέφαλος βραχιόνιος)
- Τρικέφαλοι (τρικέφαλος βραχιόνιος)
- Τετρακέφαλοι (τετρακέφαλος μηριαίος)

Κατανομή μυών 2

- Ένας μυς μπορεί να έχει περισσότερες από μια διαδοχικές γαστέρες, που συνδέονται μεταξύ τους με ενδιάμεσους τένοντες (ορθός κοιλιακός).
- Ένας μυς με τον τένοντά του, ανάλογα με τον αριθμό των αρθρώσεων πάνω από τις οποίες εκτείνεται, συμμετέχει σε λιγότερο ή περισσότερο πολύπλοκες κινήσεις (μονοαρθρικοί – πρόσθιος βραχιόνιος, διαρθρικοί – ραπτικός, πολυαρθρικοί – ο εν τω βάθει καμπτήρ των δακτύλων).

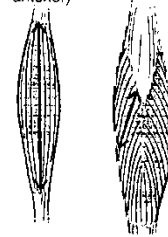
Κατανομή μυών 3

- Σύμφωνα με τη διάταξη των μυϊκών ινών:
- Ατρακτοειδείς (δικέφαλος βραχιόνιος). Η μυϊκή γαστέρα στενεύει σε αμφοτέρες τις πλευρές και καταλήγει στους τελικούς τένοντες.
- Ημιπτεροειδείς (μακρός εκτείνων τους δακτύλους)
- πτεροειδείς ή πολυπλευρικοί (τετρακέφαλος μηριαίος)
- Στον ίδιο μυ, στα διάφορα τμήματά του μπορούν να υπάρξουν διαφορετικές μορφές διάταξης των ινών του (ο δελτοειδής στο πρόσθιο και οπίσθιο τμήμα του παρουσιάζει παράλληλη διάταξη ινών, ενώ στο μεσαίο τμήμα εμφανίζει 3 ως 5 πτεροειδείς τένοντες).

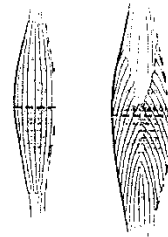


FUSIFORM (tibialis anterior) PENNIFORM (rectus femoris bipennate)

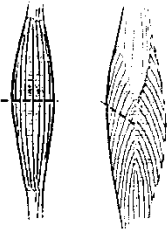
A. Fiber lengths



B. Anatomic cross sections



C. Physiologic cross sections



A. Fusiform (biceps)

B Penniform

Bipennate (gastrocnemius)

Unipennate (semimembranosus)

Multipennate (deltoid)

Κατανομή μυών 4

Κατανομή μυών 5

- Σύμφωνα με το λειτουργικό αποτέλεσμα:
- Πρωταγωνιστές
- Δευτεραγωνιστές ή συναγωνιστές
- Ανταγωνιστές
- Σταθεροποιοί

Εύρος σύσπασης και διάταξη ινών

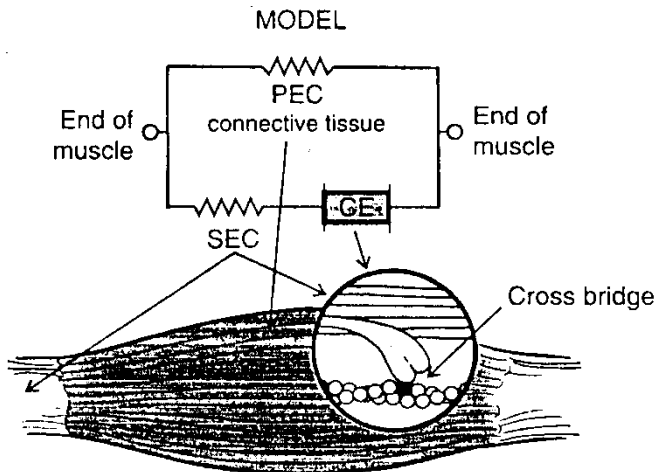
- Το εύρος σύσπασης του μυός είναι ανάλογο με το μήκος των δεσμίδων των μυϊκών ινών και τη μεταβολή της γωνίας κατάφυσής του.
- Ο μυς έχει τη δυνατότητα μέγιστης βράχυνσης ως 50% του αρχικού του μήκους.
- Οι ατρακτοειδείς μύες παρουσιάζουν μεγάλο εύρος σύσπασης (μύες ταχύτητας – δικέφαλος βραχιόνιος μυς).
- Οι πτεροειδείς μύες με αμβλεία γωνία κατάφυσης των μυϊκών ινών, είναι μύες με μικρό εύρος σύσπασης, αλλά με μεγάλη ανάπτυξη δύναμης (ευθύνονται για τη στατική εργασία – ο έσω, έξω και μέσος πλατύς μηριαίος μυς).
- Η δύναμη του μυός εξαρτάται από το άθροισμα των διαμέτρων των ινών του και από τη γωνία κατάφυσής τους.

Ανατομική και φυσιολογική διάμετρος

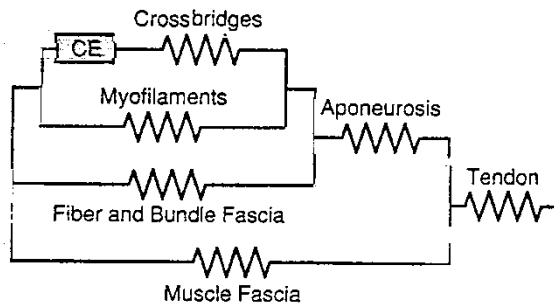
- Ανατομική διάμετρος είναι η διάμετρος που τέμνει σε ορθή γωνία (εγκάρσια) τον επιμήκη άξονα του μυός.
- Φυσιολογική διάμετρος είναι η συνολική επιφανειακή διάμετρος όλων των μυϊκών ινών.
- Η ανατομική διάμετρος είναι ταυτόσημη με τη φυσιολογική μόνο στους ατρακτοειδείς μυς, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση η ανατομική είναι μικρότερη.
- Η μέγιστη ενεργοποίηση ενός μυός υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι περίπου 6 kp/cm^2 της επιφανειακής του διαμέτρου (η δύναμη αυτή εξαρτάται από το φύλο, την ηλικία, τον ενδομυϊκό συντονισμό, την παρακίνηση κλπ.)

Μύες και άξονας περιστροφής των αρθρώσεων

- Εάν ο μυς ή ο τένοντάς του βρίσκονται μπροστά από τον άξονα περιστροφής, όπως ο τετρακέφαλος μηριαίος στην άρθρωση του γονάτου, τότε προκαλεί έκταση.
- Αντίθετα, εάν ο μυς βρίσκεται πίσω από τον άξονα περιστροφής, προκαλεί κάμψη της αντίστοιχης άρθρωσης.
- Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που ο ίδιος μυς σε μια κίνηση επιτυγχάνει εν μέρει ανταγωνιστική λειτουργία με τα διάφορα τμήματά του (ο δελτοειδής, κάτω από τον άξονα περιστροφής, με το πρόσθιο και το οπίσθιο τμήμα του προσάγουν τον βραχίονα, ενώ πάνω από τον άξονα περιστροφής αυτά τα τμήματα απάγουν και ανυψώνουν τον βραχίονα, ενισχύοντας έτσι το μέσο τμήμα του μυός).



The three component mechanical model of the muscle consists of an active component, the contractile element (CE), and two passive components, the series elastic component (SEC) and the parallel elastic component (PEC). The CE is located at the myofibril level where cross-bridging occurs. It is believed the SEC is in the tendon, and the cross-bridging and the PEC are in the connective tissue.

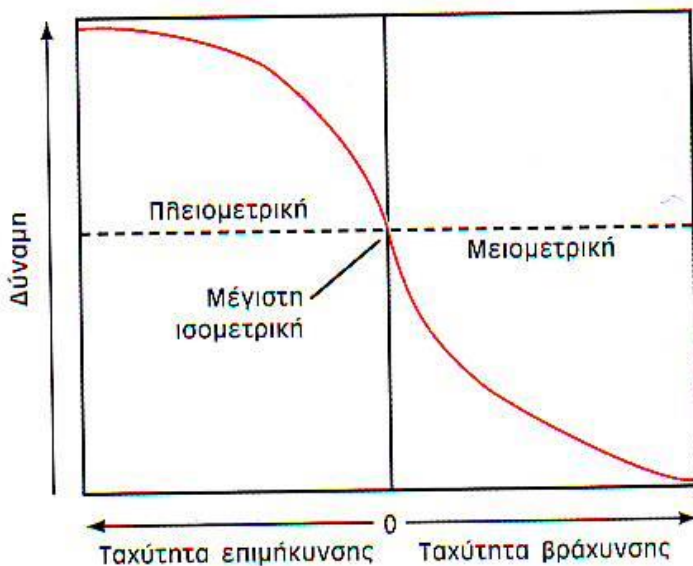


Three-element model of the sarcomere and its surrounding layers of elasticity.

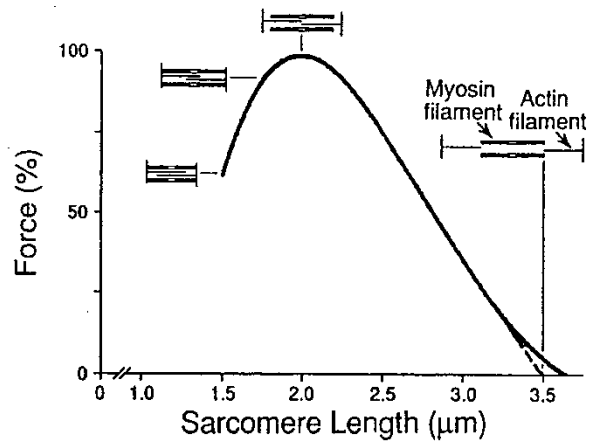
Μηχανικό μοντέλο του μυός

- Ο μυς αποτελείται από συστατικά στοιχεία (CE) και από δύο παθητικά στοιχεία: σε σειρά ελαστικά στοιχεία (SEC) και παράλληλα ελαστικά στοιχεία (PEC).

Ταχυδυναμική σχέση

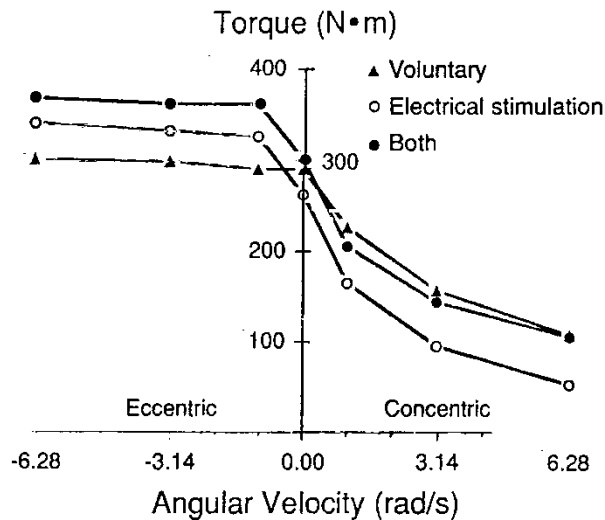


- Όταν η αντίσταση (δύναμη) είναι αμελητέα, ο μυς συστέλλεται με μέγιστη ταχύτητα. Όσο αυξάνει η επιβάρυνση η ταχύτητα της μειομετρικής συστολής μειώνεται προοδευτικά προς το μηδέν (ισομετρικό μέγιστο). Με την περαιτέρω αύξηση της επιβάρυνσης ο μυς επιμηκώνεται έκκεντρα.



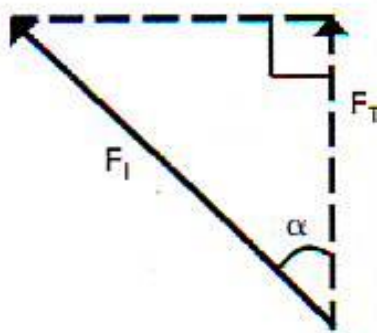
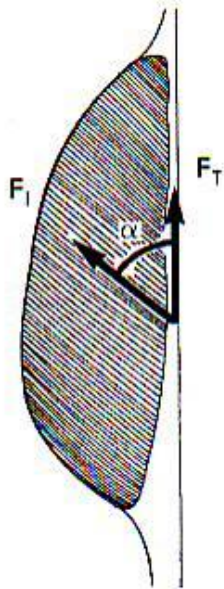
Relationship between contractile force, sarcomere length, and myofilament overlap. Force is expressed as a percentage of the maximum force exerted by the muscle fibers.

Ταχυδυναμική σχέση της μυϊκής ροπής



Velocity-torque relationship for the knee extensor muscles. Torque was measured at a knee angle of about 1.0 rad at various constant-velocity contractions.

Εφαρμογές



- Σε έναν πτεροειδή μυ πόση δύναμη ασκείται από τον τένοντά του, όταν η τάση στις ίνες είναι 100 N, και η γωνία (α) διάταξης των ινών είναι α) 40° , β) 60° , γ) 80° ;
- Επίλυση
- Αν F_T είναι η τάση στον τένοντα και F_1 η τάση στις ίνες, τότε:
- $F_T = F_1 \cdot \text{συν } \alpha$
- α) για $\alpha = 40^\circ$, $\rightarrow F_T = (100 \text{ N})(\text{συν } 40) = 76,6 \text{ N}$
- β) για $\alpha = 60^\circ$, $\rightarrow F_T = (100 \text{ N})(\text{συν } 60) = 50 \text{ N}$
- α) για $\alpha = 80^\circ$, $\rightarrow F_T = (100 \text{ N})(\text{συν } 80) = 17,4 \text{ N}$

Θέματα για συζήτηση ή μελέτη

- Αναφέρετε τρεις δραστηριότητες που απαιτούν μυομετρική λειτουργία και τρεις με πλειομετρική λειτουργία των συμμετεχόντων μυών, και προσδιορίστε τους συμμετέχοντες μυς ή μυϊκές ομάδες.
- Αναφέρετε πέντε κινητικές δεξιότητες στις οποίες είναι πλεονέκτημα η ύπαρξη υψηλού ποσοστού μυϊκών ινών ταχείας συστολής, και πέντε δεξιότητες στις οποίες πλεονέκτημα να είναι η ύπαρξη ινών βραδείας συστολής.
- Διάφορα ζώα, όπως το καγκουρό και η γάτα, είναι γνωστά για τις αλτικές τους ικανότητες. Πως ερμηνεύετε το φαινόμενο;

Βιβλιογραφία

- **Hall Susan J. (2005). *Εμβιομηχανική*. Εκδόσεις Παρισιάνου, Αθήνα.**
- **Weineck Jurgen (1998). *Ανατομική της άθλησης*. Εκδόσεις Σάλτο, Θεσσαλονίκη.**
- **Hamilton N., Luttgens K. (2003). *Κινησιολογία*. Εκδόσεις Παρισιάνου, Αθήνα.**
- **Robertson G., Caldwell G., Hamill J., Kamen G., Whittlesey S. (2004). *Research Methods in Biomechanics*. Human Kinetics, Champaign, IL.**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



Τέλος Ενότητας

