

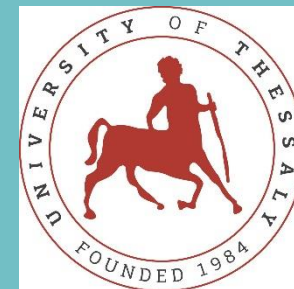
Ο Μυϊκός και ο συνδετικός ιστός και η μηχανική συμπεριφορά τους

Δρ. Παναγιώτης Β. Τσακλής

Καθηγητής

Εμβιομηχανικής & Εργονομίας

ΤΕΦΑΑ - ΠΘ



*Res. Assoc Department of Molecular Medicine & Surgery
Karolinska Institutet*



Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί μαλακοί ιστοί...: (το κλειδί για τη μηχανική τους λειτουργία...)

Τένοντες και σύνδεσμοι (διάταση)

Χόνδρος (συμπίεση, ολίσθηση)

Μυς (ενεργητική τάση)

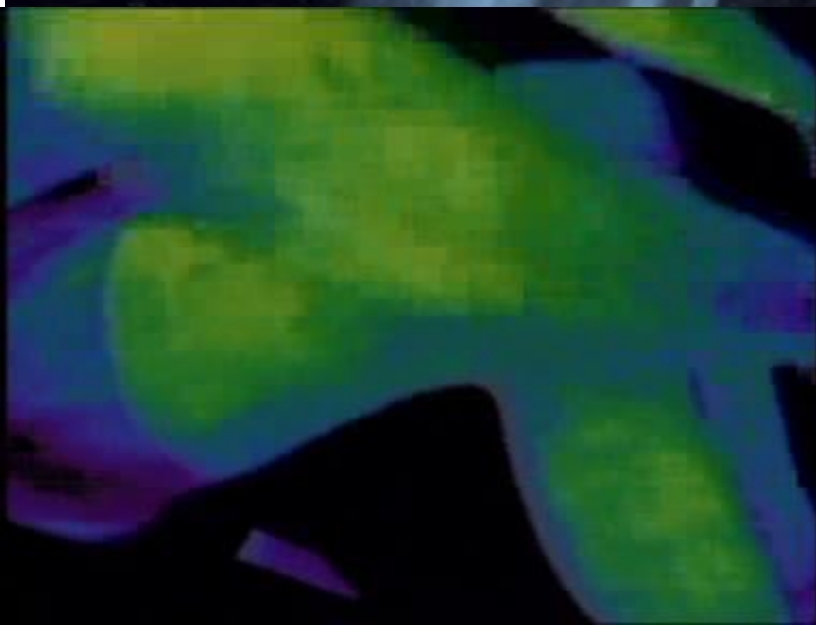
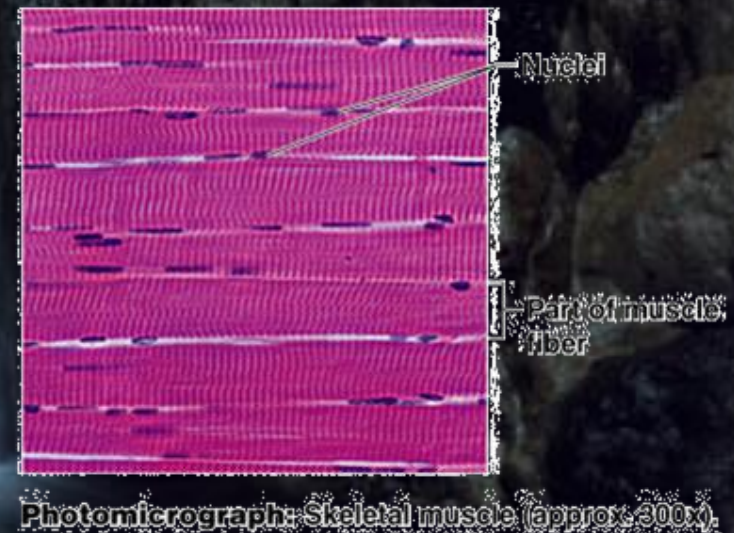
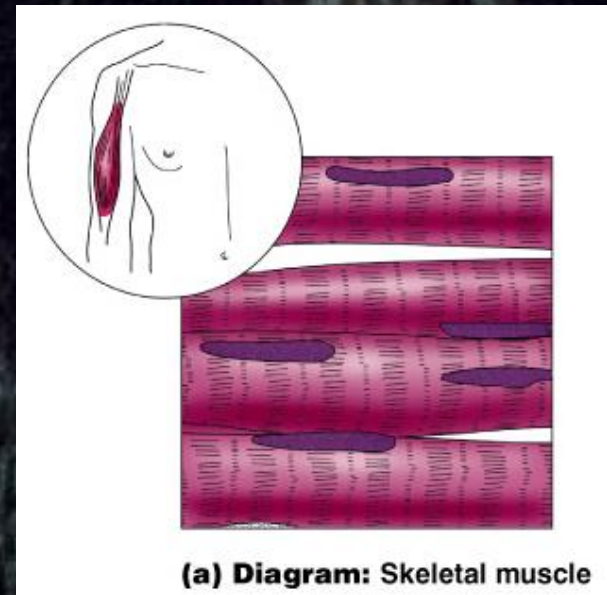
Αιμοφόρα αγγεία (αγγειακή πίεση)

Δέρμα (υποστήριξη)

Τρίχωμα (προστασία, θερμότητα)

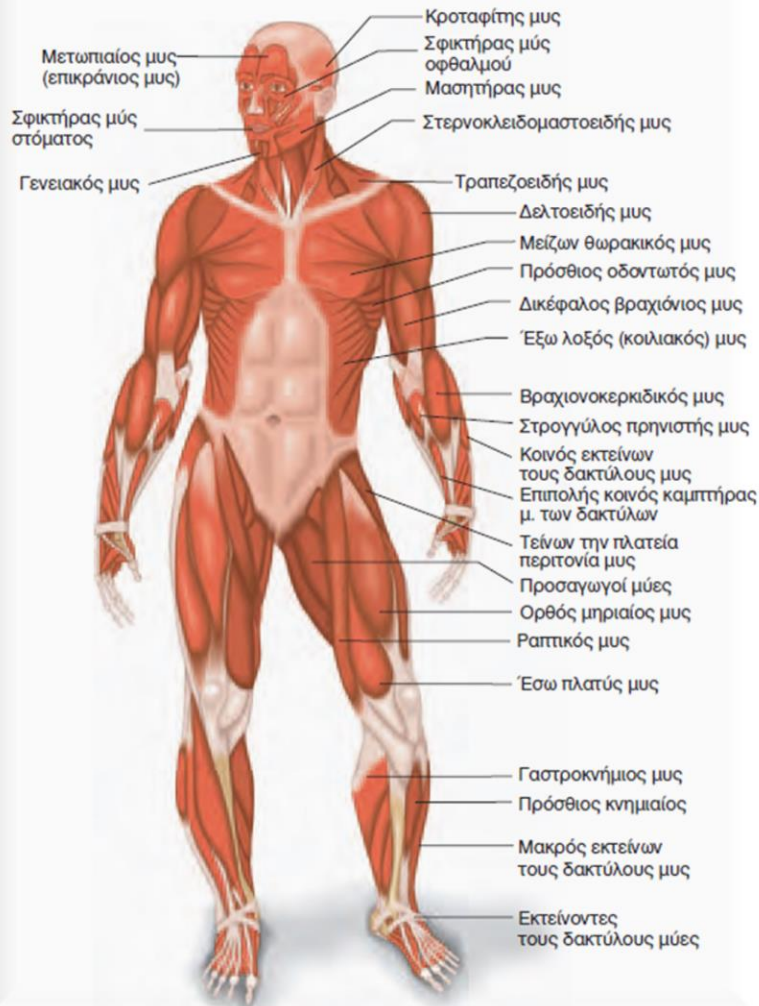
Μυϊκός ιστός

- Σκελετικός μυς
 - Μπορεί να ελεγχθεί εκούσια
 - Τα κύτταρα συνδέονται στο συνδετικό ιστό...
 - Τα κύτταρα είναι γραμμωτά
 - Τα κύτταρα έχουν περισσότερους από έναν πυρήνες



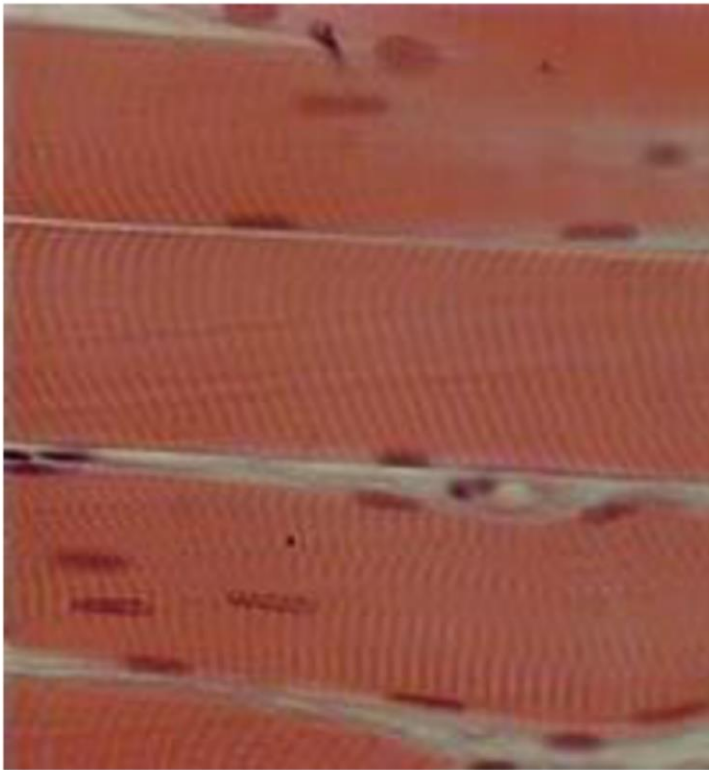
Δομική οργάνωση του σκελετικού μυ

Το Μυϊκό Σύστημα

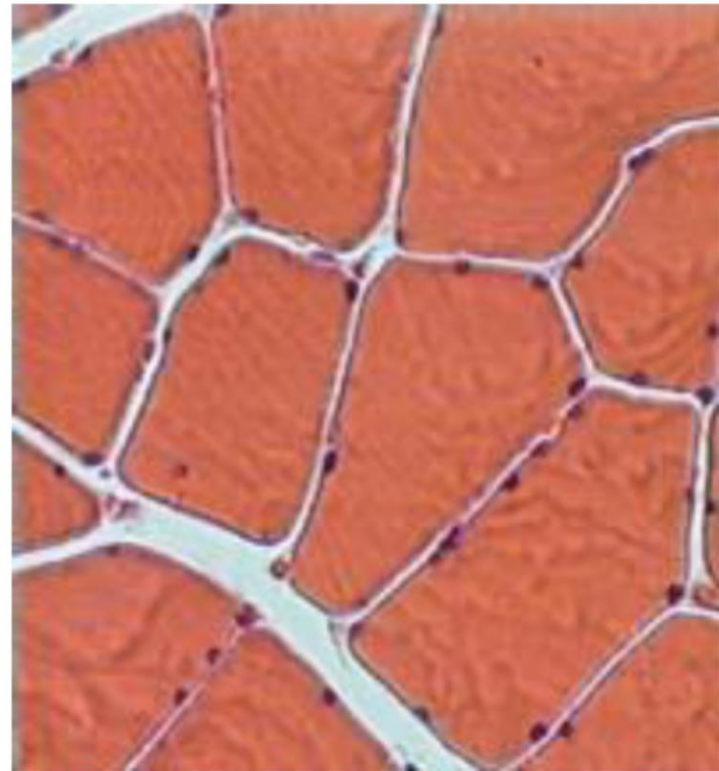


Το σώμα αποτελείται από περισσότερους από 600 σκελετικούς μύες οι οποίοι στο σύνολό τους αποτελούν περίπου το 50% του σωματικού βάρους. Το σχήμα του σώματος καθορίζεται από το σκελετό, τους μύες και το υποδόριο λίπος. Ο τρόπος με τον οποίο διατάσσονται οι μύες και σχετίζονται μεταξύ τους, καθώς και η σχέση τους με τις αρθρώσεις, όπως η σύνδεσή τους με τα οστά του σκελετού καθορίζουν τις εκούσιες κινήσεις του σώματος. Αυτές είναι αποτέλεσμα της συντονισμένης δράσης αρκετών μυών. Καθώς κινούμαστε, ορισμένοι μύες συσπώνονται ενώ άλλοι χαλαρώνουν.

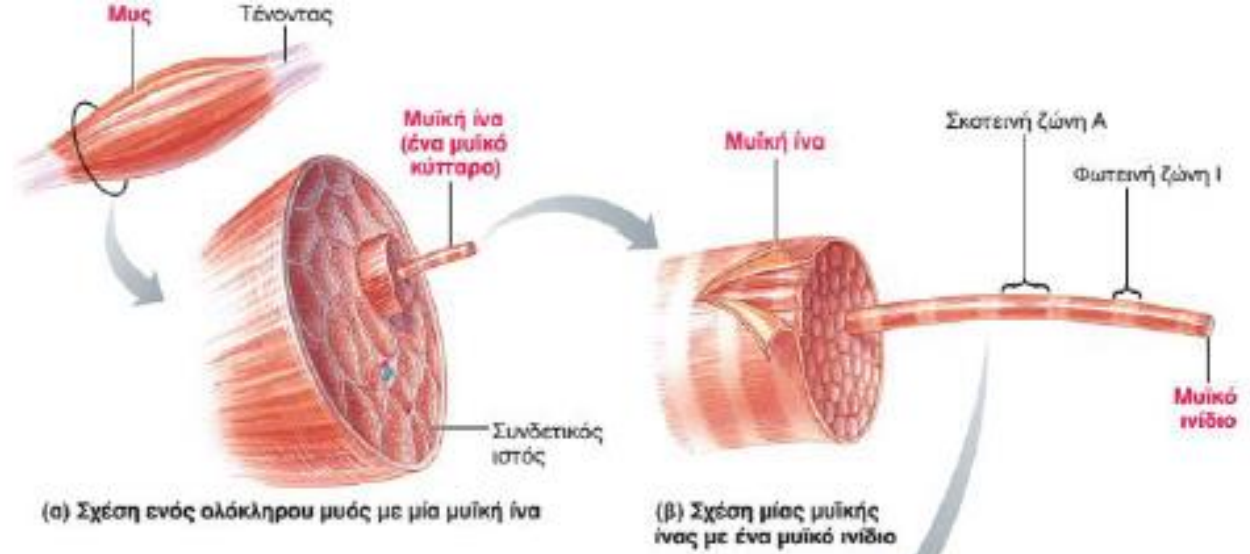
- Μυϊκές ίνες
- Κινητικές μονάδες
- Τύποι μ. ινών
- Αρχιτεκτονική της ίνας



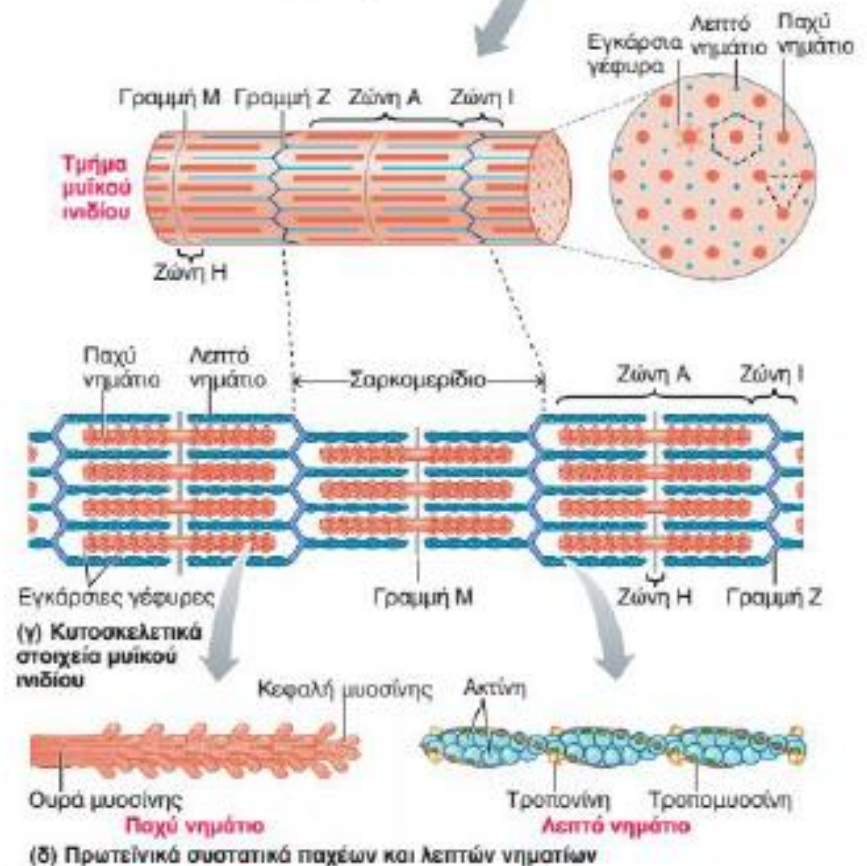
Επιμήκης διατομή



Εγκάρσια διατομή

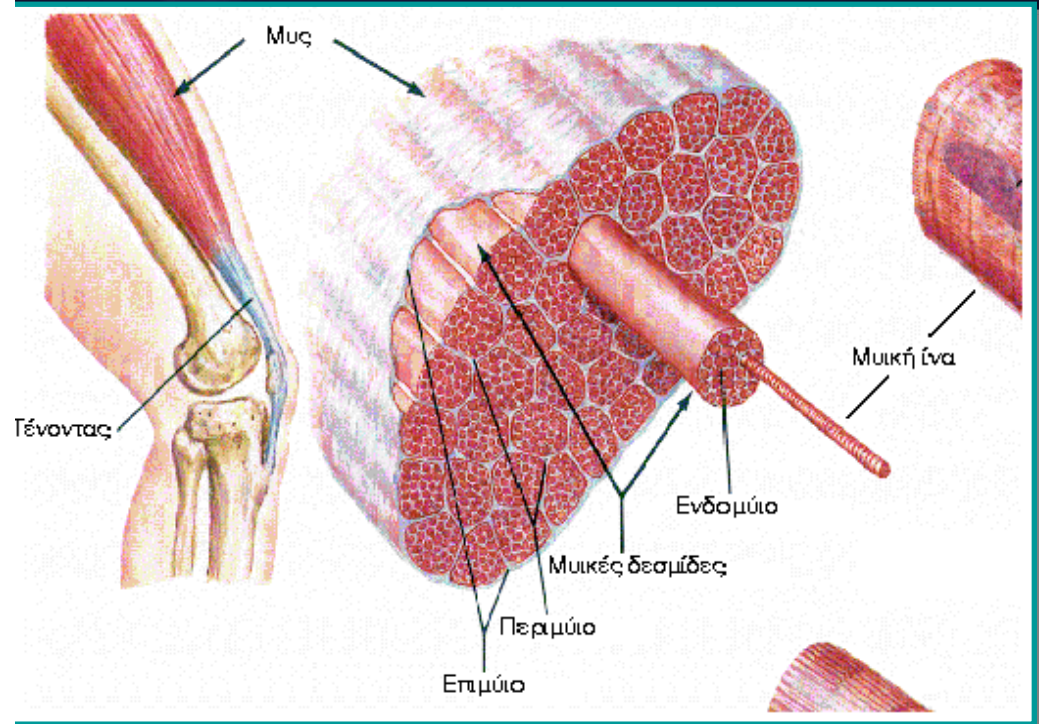


Οργάνωση του σκελετικού μυός

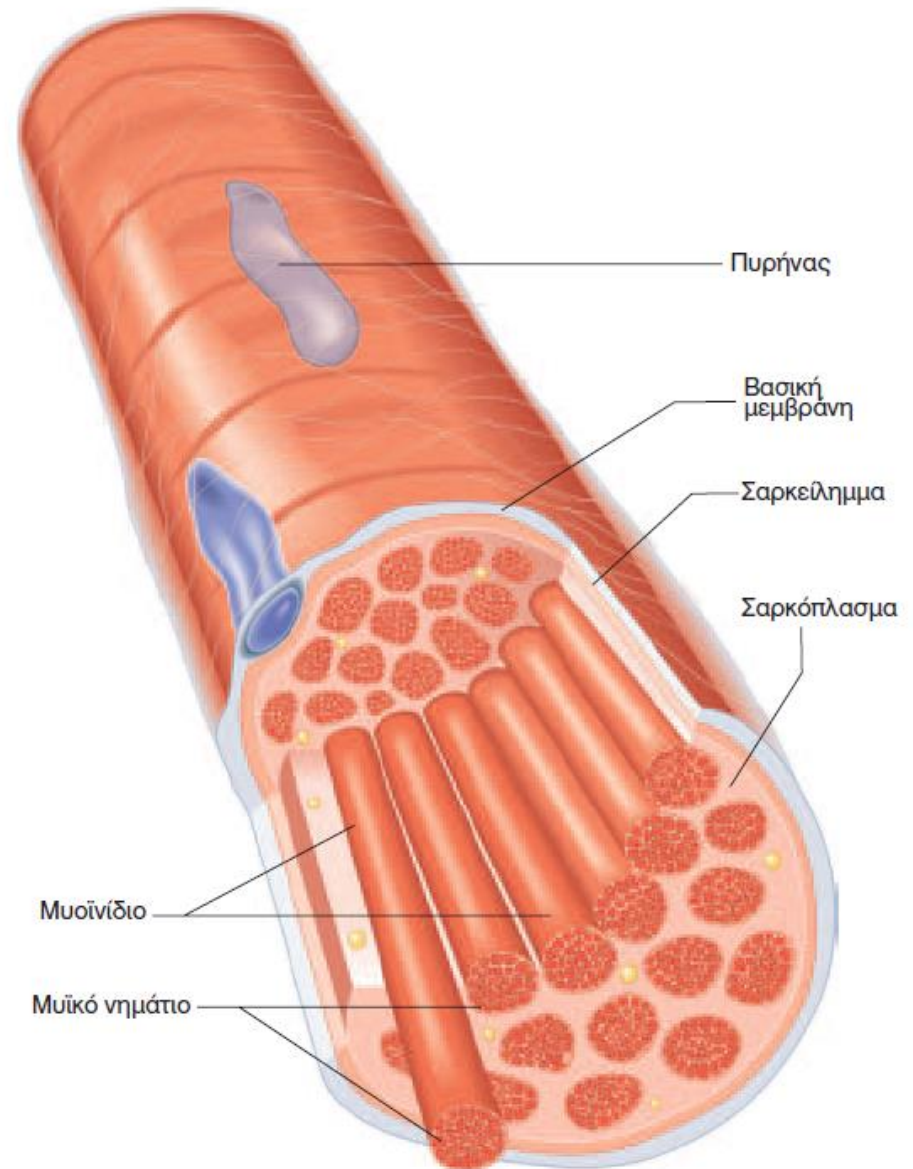


ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

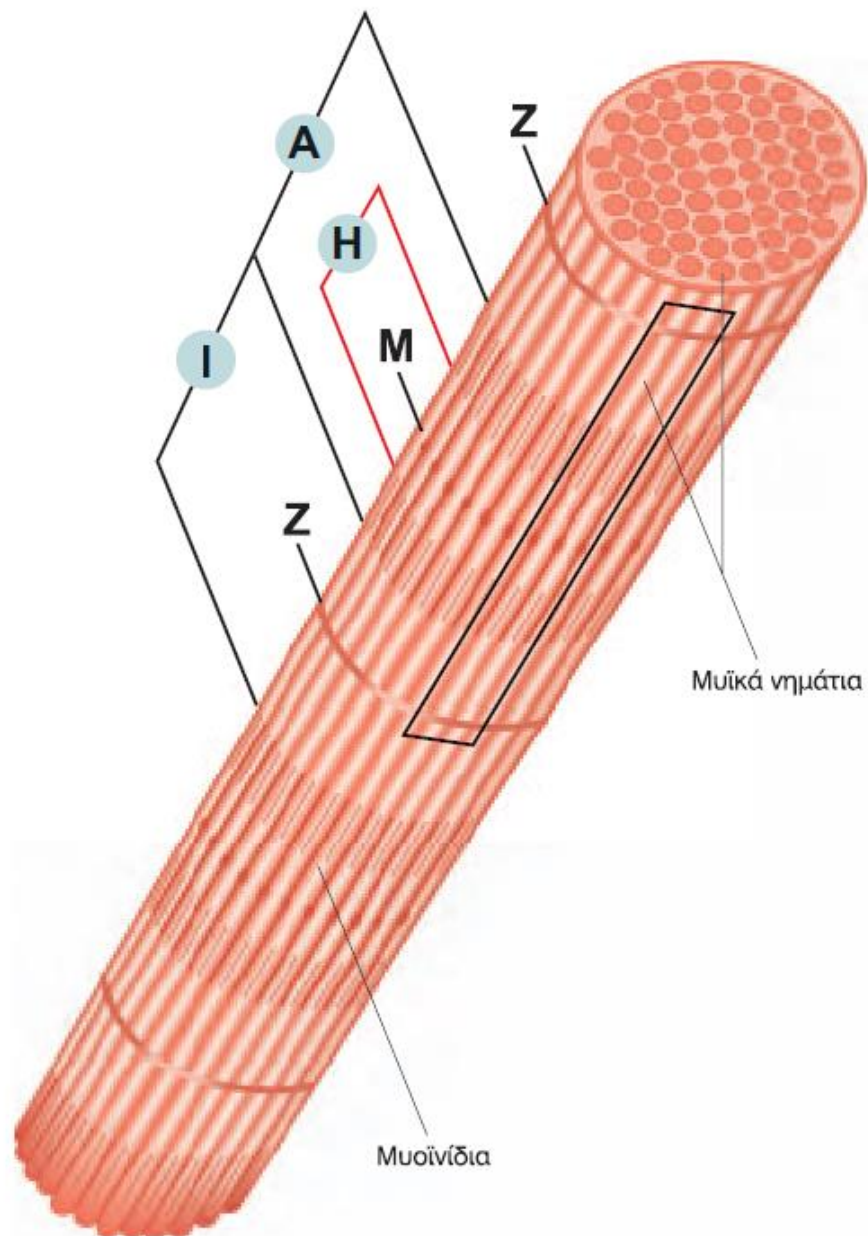
Οι σκελετικοί μύες είναι οργανωμένοι με εξαιρετικά εξειδικευμένο τρόπο. Αυτή η οργάνωση επιτρέπει στους μύες να συστέλλονται όταν διεγείρονται και να χαλαρώνουν μόλις εξαφανισθεί το ερέθισμα. Η ικανότητά τους να συσπώνται ή να συστέλλονται (βράχυνση της γαστέρας τους) επιτρέπει στους μύες να έλκουν τα οστά για να προκληθεί κίνηση. Από πλευράς δομής, ο σκελετικός μύς διαμορφώνεται από συστελλόμενες δέσμες μυϊκών ινών. Αυτές αποτελούνται από μικρότερες ίνες, γνωστές ως μυϊκά ινίδια, τα οποία διατάσσονται σε σαρκομερή, τις λειτουργικές μονάδες των σκελετικών μυών. Όλοι αυτοί οι σχηματισμοί περιβάλλονται από μεμβράνες (επιμύιο, περιμύιο και ενδομύιο).



Οι μυϊκές ίνες είναι σκελετικά μυϊκά κύτταρα, που αποκαλούνται έτσι λόγω του επιμηκυσμένου σχήματός τους (έχουν μήκος 1 – 40 mm). Κάθε μυϊκή ίνα αποτελείται από μεγάλο αριθμό μυοϊνιδίων που περιβάλλονται από μια μεμβράνη που ονομάζεται σαρκείλημμα. Το κυτταρόπλασμα της μυϊκής ίνας αποκαλείται σαρκόπλασμα. Είναι πολυπύρηνες και περιέχουν μεγάλο αριθμό μιτοχονδρίων και ένα εξειδικευμένο ενδοπλασματικό δίκτυο, γνωστό ως σαρκοπλασματικό δίκτυο. Τα μυοϊνίδια που διατρέχουν όλο το μήκος των μυϊκών ιστών, αποτελούνται από λεπτότερες υπομονάδες, τα αποκαλούμενα μυϊκά νημάτια. Οι δύο κύριοι τύποι είναι τα παχέα και τα λεπτά νημάτια.

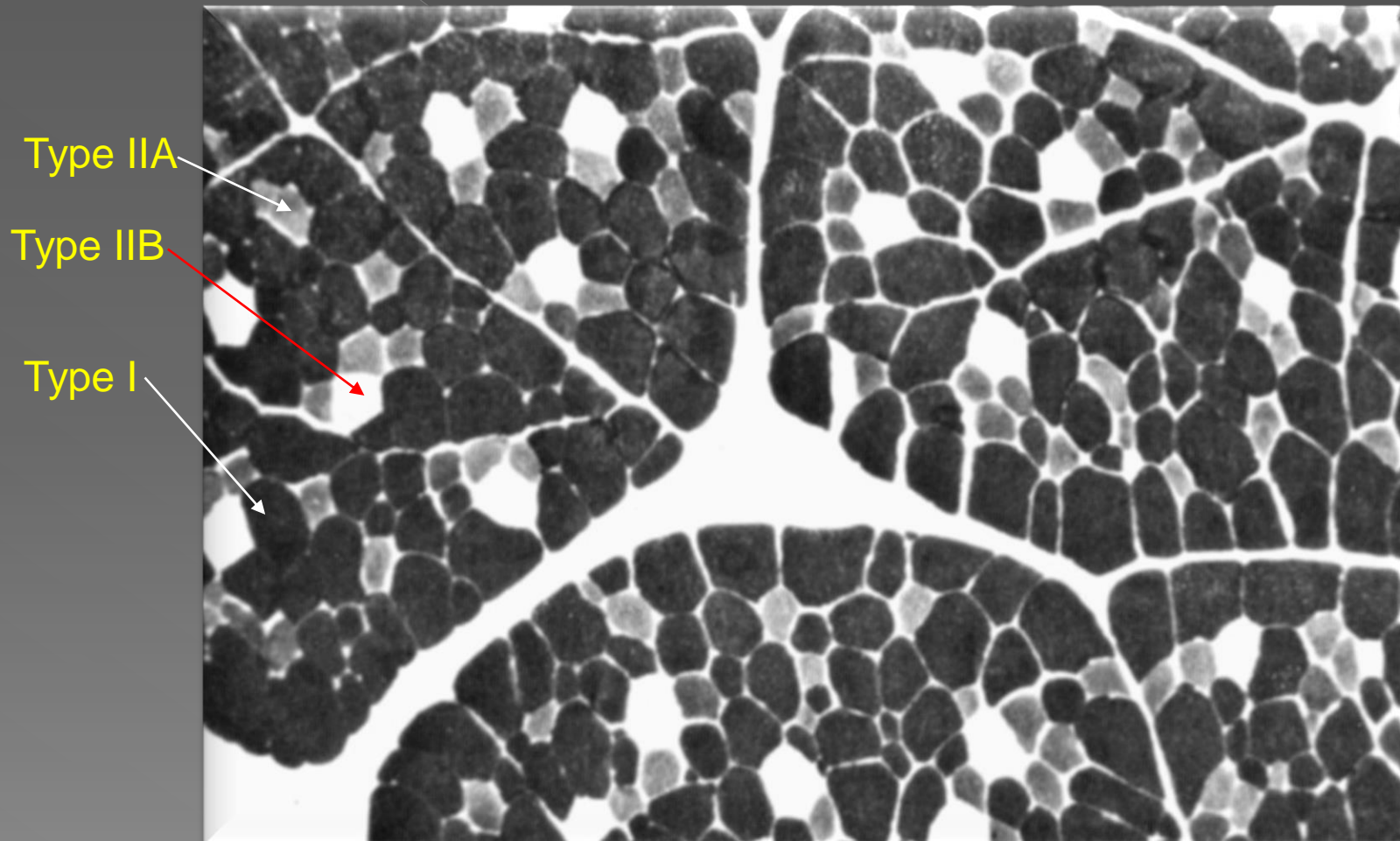


Δομή των Μυοϊνιδίων (του Γραμμωτού Μυός) ■



Κάθε μυϊκή ίνα περιέχει άνω των χιλίων υπομονάδων, τα λεγόμενα μυοϊνίδια που διατάσσονται παράλληλα. Τα μυοϊνίδια αποτελούνται από χιλιάδες επαναλαμβανόμενες αλληλουχίες παχέων και λεπτών νηματίων τα οποία αποτελούνται από τις συστατές πρωτεΐνες ακτίνη και μυοσίνη. Η εξειδικευμένη διάταξη αυτών των νηματίων είναι κρίσιμη για το μηχανισμό της συστολής: το σαρκομερές, τη συστελλόμενη μονάδα του γραμμωτού μυός. Αυτή η διάταξη επιτρέπει να επισημαίνονται διαφορετικές ζώνες και λωρίδες οι οποίες μεταβάλλονται με βάση το αν ο μυς είναι σε χάλαση ή σύσπαση.

Ιστολογία του μυός...



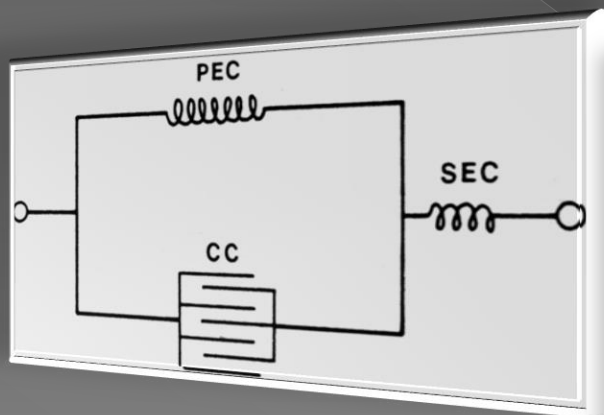
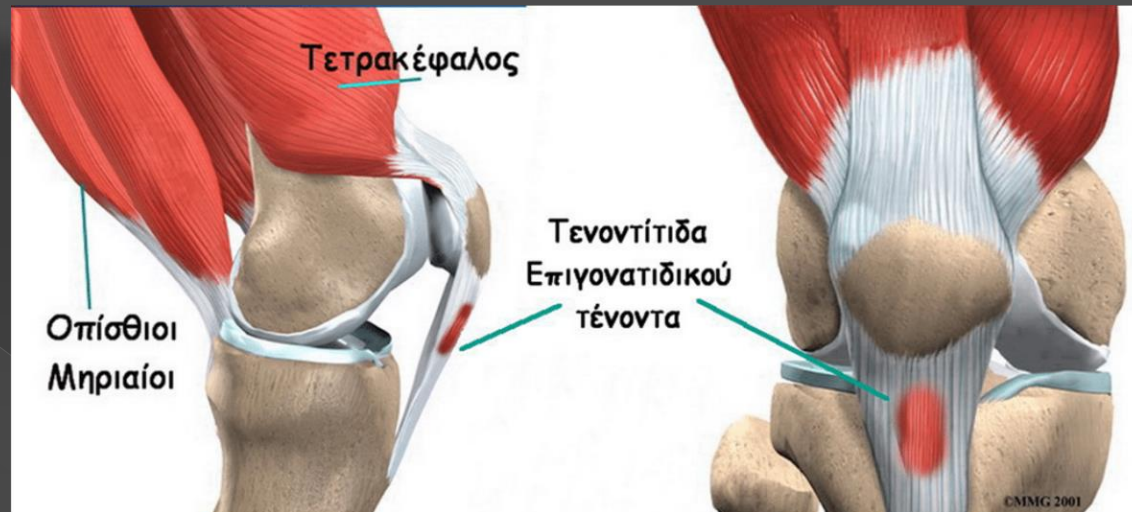
Eye muscle (Rectus lateralis); Myofibrillar ATPase stain

Μυϊκή Διαφοροποίηση (τύποι μυϊκών ινών)

	I (slow-twitch oxidative)	IIA (fast-twitch oxidative glycolytic)	IIB fast-twitch glycolytic
Contraction speed	Slow	fast	fast
Myosin-ATPase activity	Low	High	High
Primary source of ATP production	Oxidative phosphorylation	Oxidative phosphorylation	Anaerobic glycolysis
Glycolytic enzyme activity	Low	Intermediate	High
No. of mitochondria	Many	Many	Few
Capillaries	Many	Many	Few
Myoglobin contents	High	High	Low
Muscle Color	Red	Red	White
Glycogen content	Low	Intermediate	High
Fiber diameter	small	Intermediate	Large
Rate of fatigue	slow	Intermediate	Fast

- Ο μυς είναι ο μόνος βιολογικός ιστός, ικανός να παράγει τάση.
- Αποτέλεσμα είναι η μειομετρική, έκκεντρη και ισομετρική δράση του
- Η παραγωγή δύναμης, είναι συνδυασμός πολλών σχέσεων (π.χ: δύναμης-ταχύτητας)
- Αποτέλεσμα δραστηριότητας, είναι η ισχύς, η αντοχή και η δύναμη...

Η μυο-τενόντια Μονάδα και τα ελαστικά στοιχεία...



- Τένοντας – σε σειρά ελαστικό στοιχείο
- Παράλληλα ελαστικά στοιχεία (επιμύϊο, περιμύϊο, ενδομύϊο, Σαρκείλλημμα)

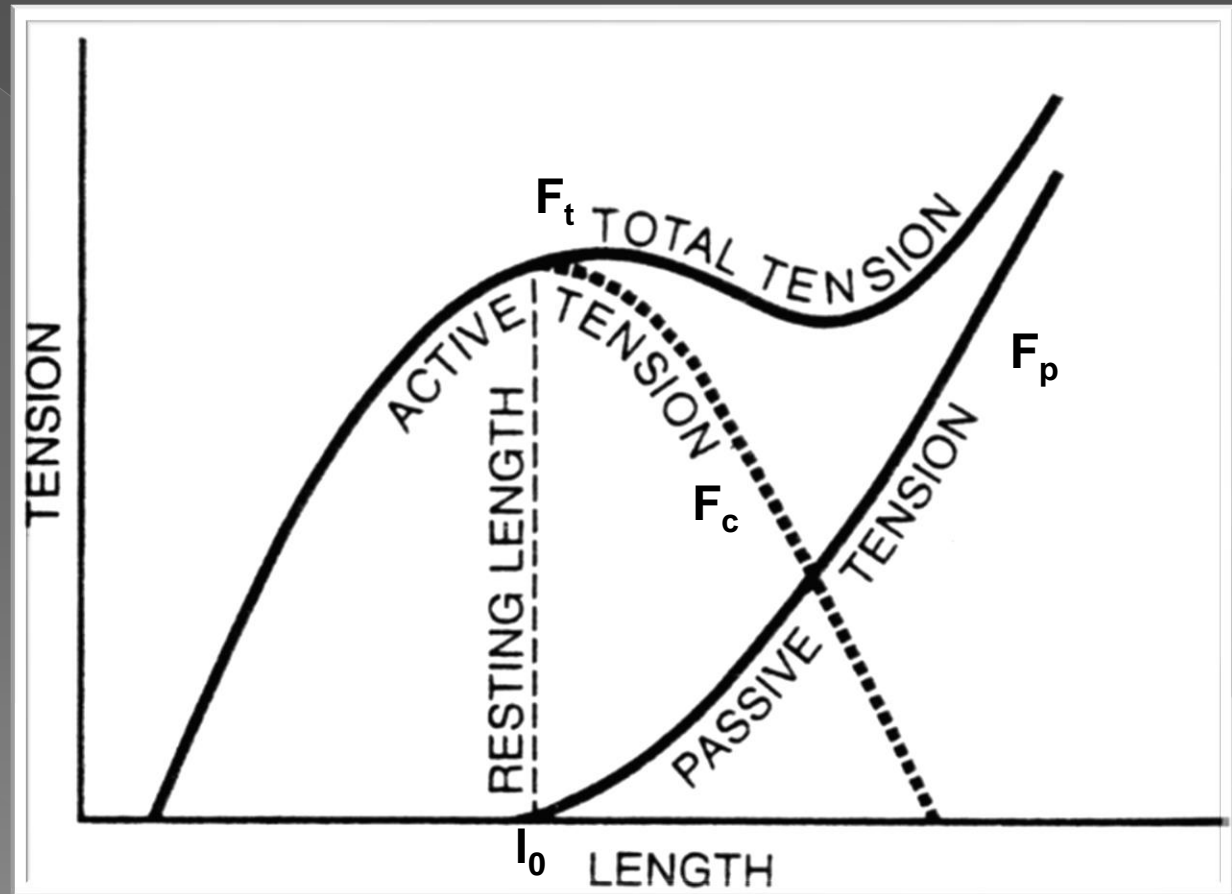
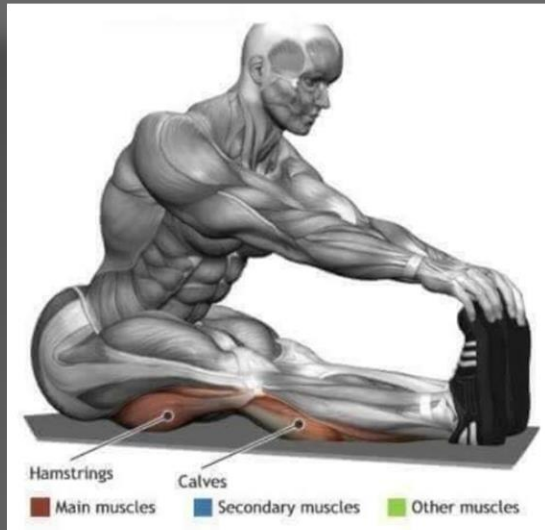
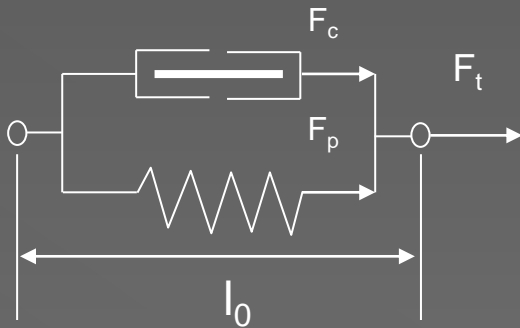
PEC: Παράλληλα ελαστικά στοιχεία

CC: συσταλτό στοιχείο

SEC: σε σειρά ελαστικό στοιχείο

Επίδραση των εν' σειρά ελαστικών στοιχείων

Viscoelasticity and proper warm up!!!



Note: F_c is under voluntary control & F_p is always present 15

Μηχανική της Μυϊκής συστολής...

- Νευρικό Ερέθισμα – Παλμός
- Μηχανική απάντηση της κινητικής μονάδας

$$F(t) = F_0 \frac{t}{T} e^{-\frac{t}{T}}$$

T: twitch or contraction time, time for tension to reach maximum

F₀: constant of a given motor unit

Averaged T values

Tricep brachii 44.5 ms

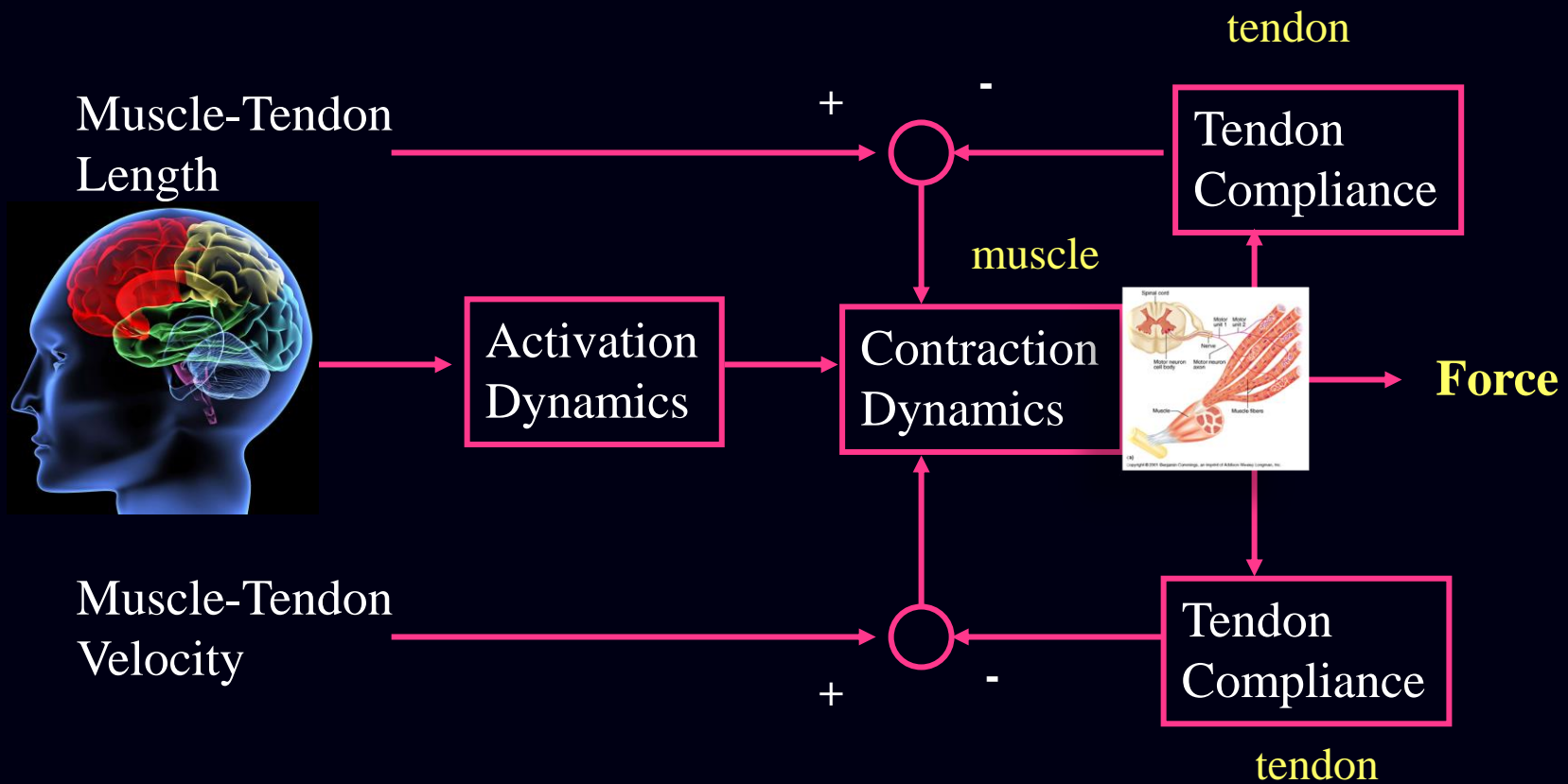
Biceps brachii 52.0 ms

Tibialis anterior 58.0 ms

Soleus 74.0 ms

Medial Gastrocnemius 79.0 ms

Μοντελοποίηση του Νευρομυϊκού Συστήματος



Επιστράτευση Κινητικής Μονάδας (ΚΜ)

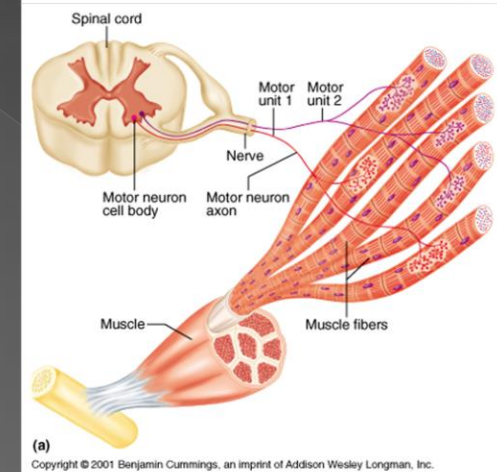
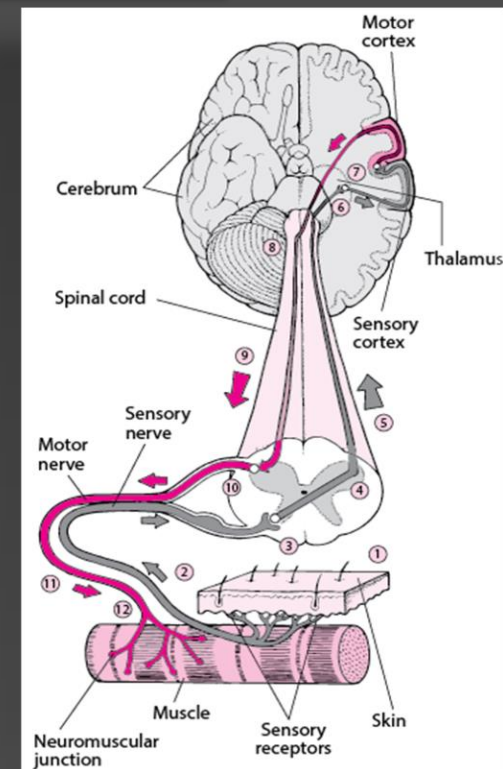
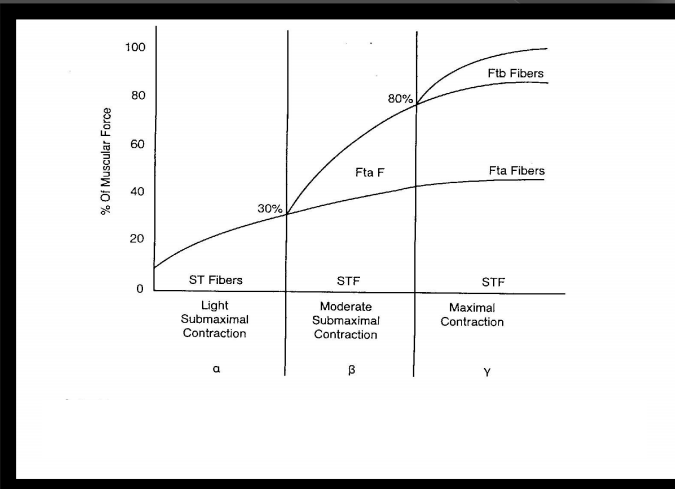
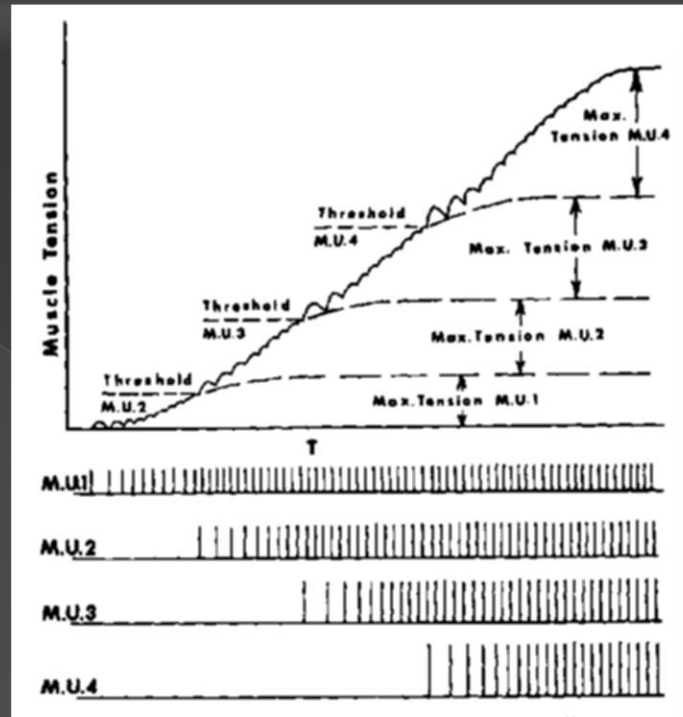
«Όλον ή Ουδέν»

2 τρόποι για να αυξηθεί η τάση:

- Ρυθμός ερεθισμού \uparrow
- Επιστράτευση περισσότερων ΚΜ

Ο κανόνας του μεγέθους:

Οι μικρότερες ΚΜ επιστρατεύονται πρώτες και οι μεγαλύτερες τελευταίες...



Προϋποθέσεις Παραγωγής Δύναμης στο Μυ...

- ⊙ Ταχυ – Δυναμικά Χαρακτηριστικά
- ⊙ Μήκο -Δυναμικά Χαρακτηριστικά
- ⊙ Μοντέλο Μυός τύποι μυϊκών ινών
- ⊙ Δυναμικά Νευρομυϊκού συστήματος

Ταχυ – Δυναμικά χαρακτηριστικά

◉ Ισομετρική συστολή

- > Ο μυς συσπάζεται και το μήκος παραμένει αμετάβλητο
- > Η τάση παραμένει σταθερή

◉ Μειομετρική συστολή

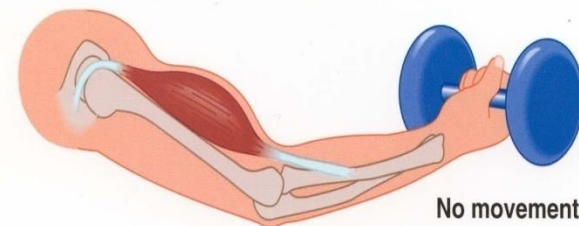
- > Ο μυς βραχύνεται
- > Η τάση μειώνεται καθώς βραχύνεται

◉ Έκκεντρη συστολή

- > Ο μυς συσπάζεται και ταυτόχρονα επιμηκύνεται
- > Η τάση αυξάνεται καθώς επιμηκύνεται

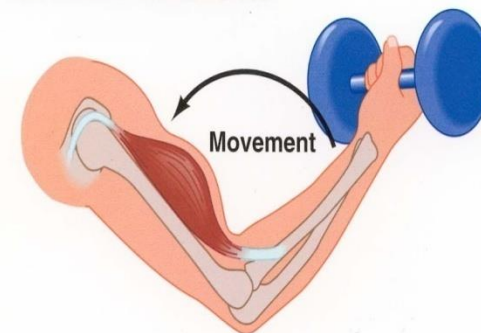
Isometric contraction

Muscle contracts but does not shorten



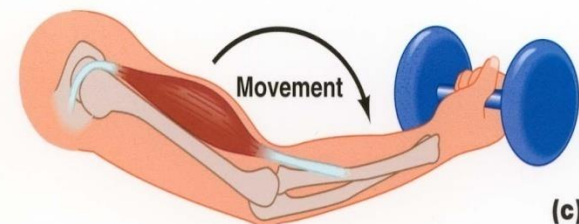
(a)

Concentric contraction



(b)

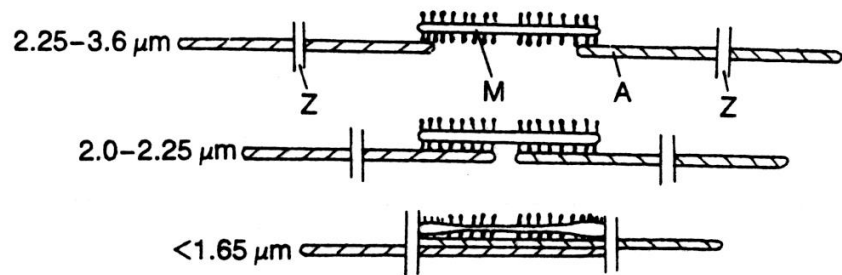
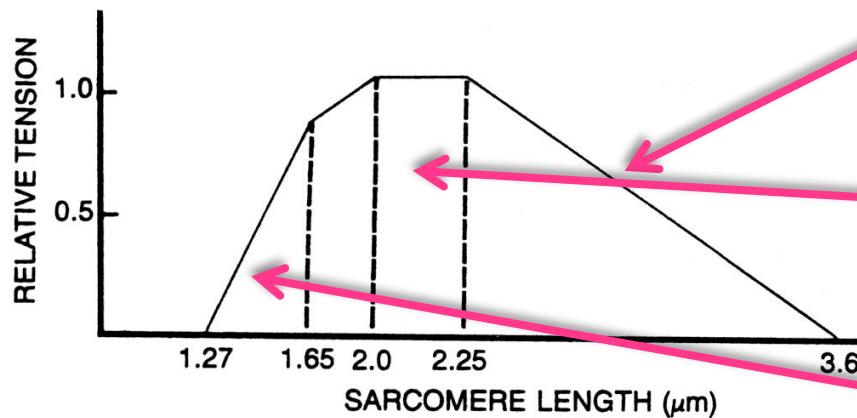
Eccentric contraction



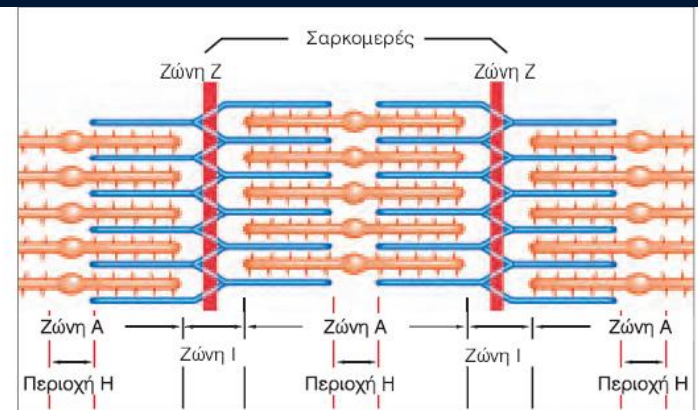
(c)

Μηκο-Δυναμικό χαρακτηριστικό Καμπύλη Δύναμης-Μήκους του συσταλού στοιχείου

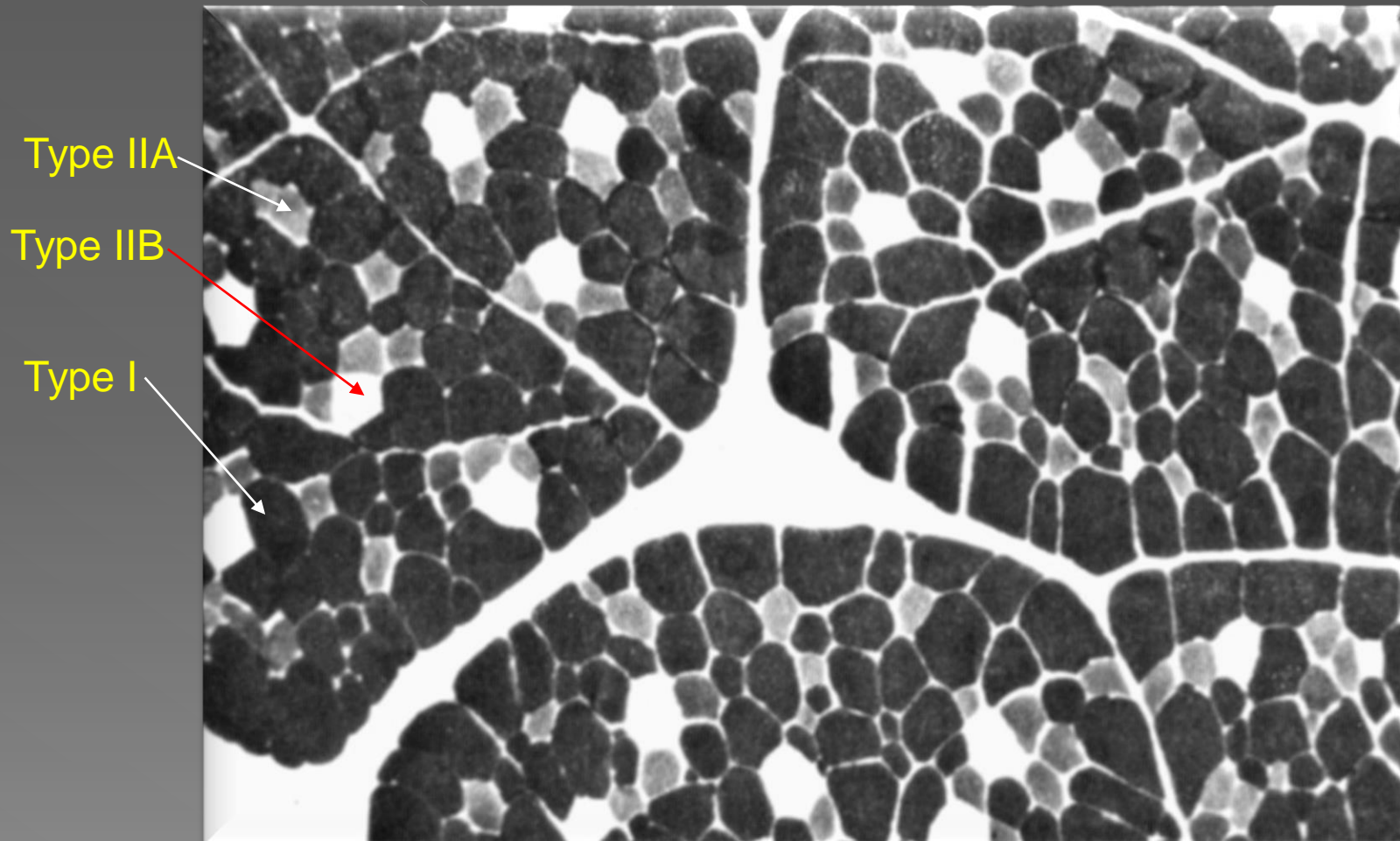
Το Σαρκομερές ■



- 2.25-3.6 μm no. of cross bridge
↓ low
- 2.0-2.25 μm max. no. of cross
bridges; max. tension
- < 1.65 μm overlap of actin no.
of cross bridge ↓

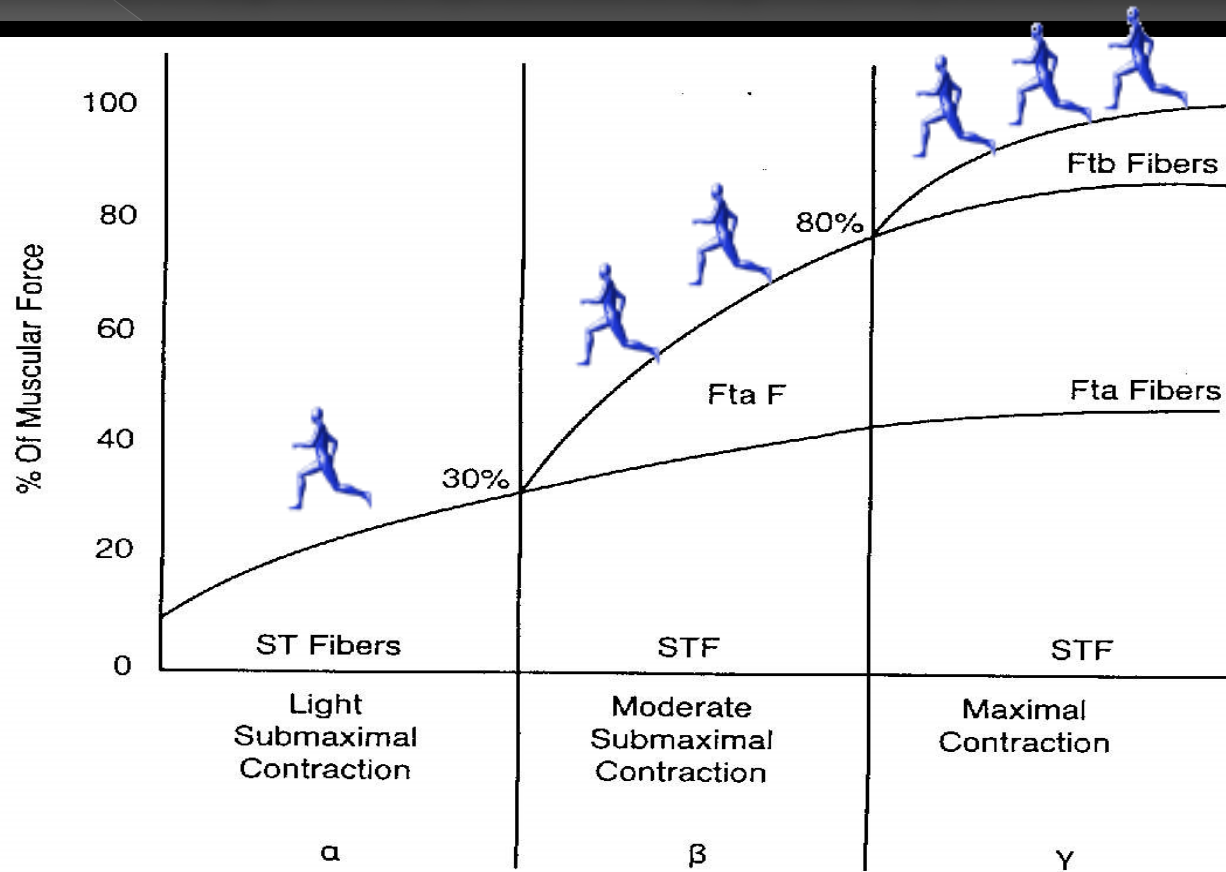


Ιστολογία του μυός...



Eye muscle (Rectus lateralis); Myofibrillar ATPase stain

Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας εξάσκησης και της επιστράτευσης των μυϊκών ινών...

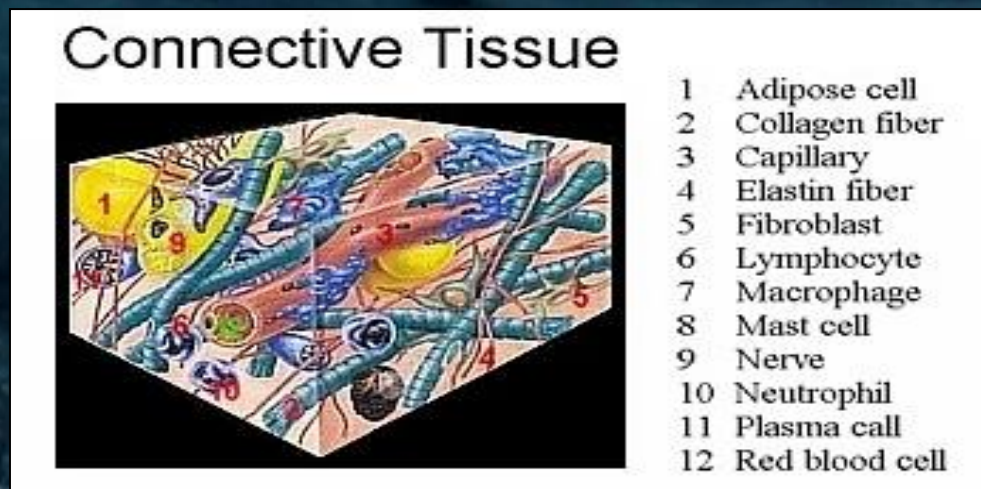


A close-up photograph of a dark, layered rock surface, possibly shale or slate, showing distinct horizontal bedding. Several dry, brown and yellow leaves are scattered across the rock face. The text "ΥΦΗ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ" is overlaid in the center in a bold, orange font.

ΥΦΗ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ

ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ

- Βρίσκεται παντού στο σώμα
- Περιλαμβάνει τους πιο μεγάλους ιστούς...



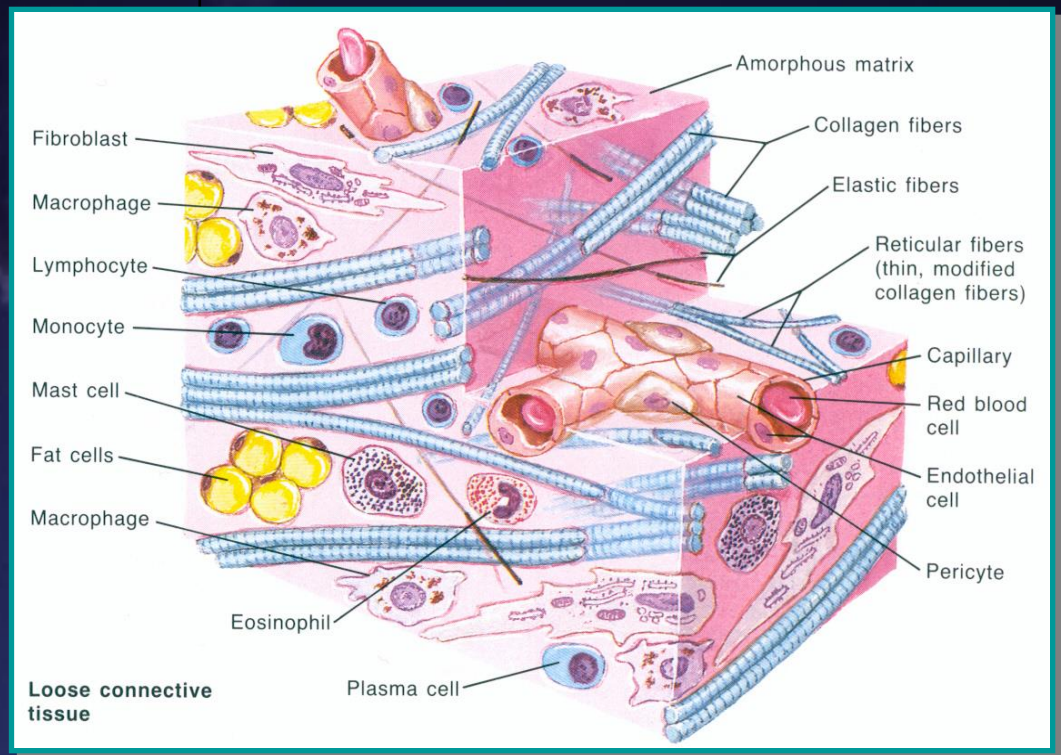
- Λειτουργίες
 - Συνδέει τους ιστούς μεταξύ τους
 - Υποστηρίζει τις σωματικές δομές
 - Προσδίδει προστασία

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

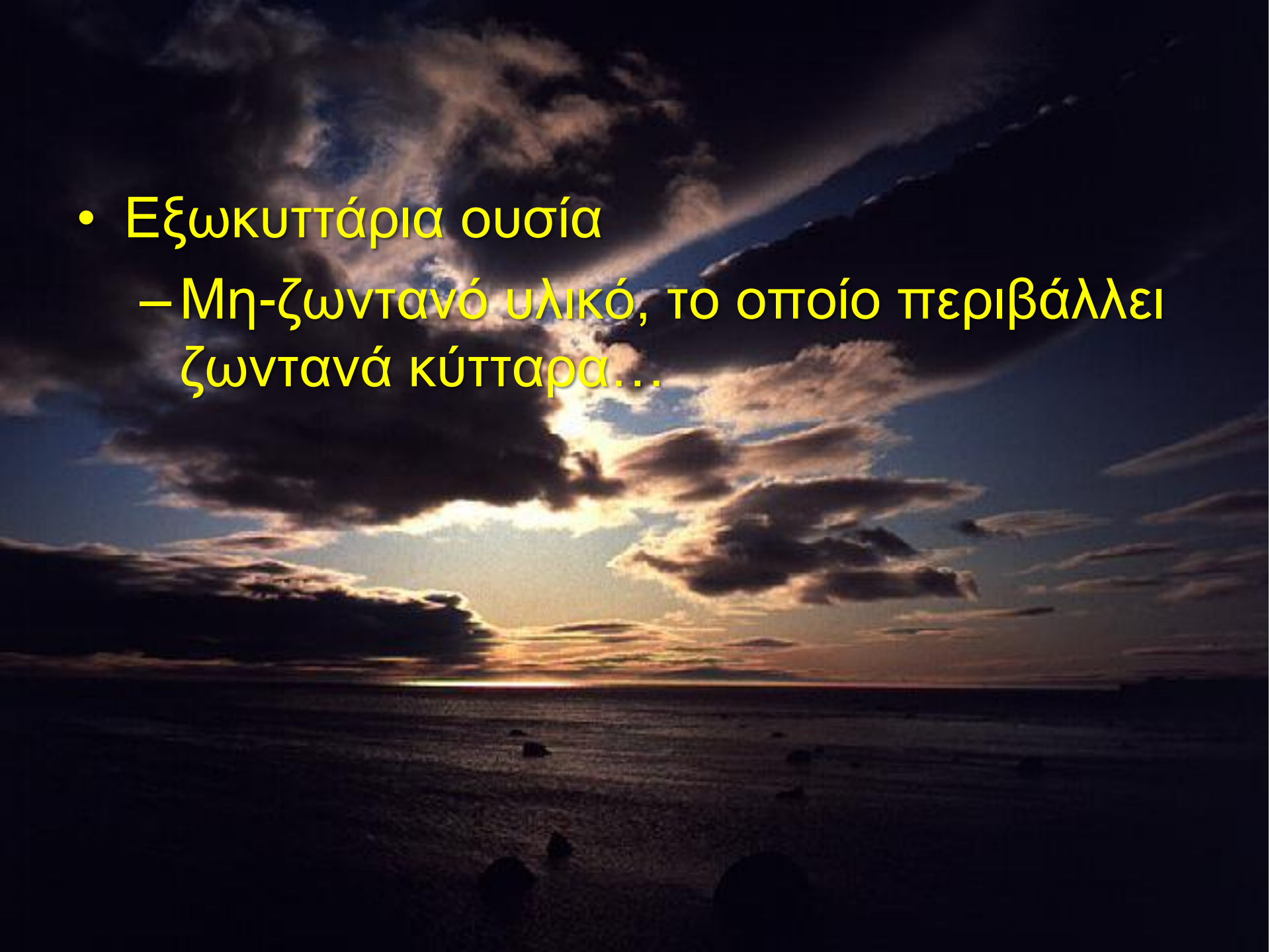
ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ

Υφή

- Θεμέλιος ουσία
- Μεσοκυττάριο υγρό
- Κύτταρα
- Ινες



- Εξωκυττάρια ουσία
 - Μη-ζωντανό υλικό, το οποίο περιβάλλει ζωντανά κύτταρα...



Εξωκυττάρια ουσία...

- Δύο κύρια συστατικά...
 - Θεμέλιος ουσία – κυρίως νερό με πρωτεΐνες και μόρια πολυσακχαριτών
 - Ίνες
 - Παράγονται από τα κύτταρα
 - Τρεις τύποι
 - Κολλαγόνες
 - Ελαστικές
 - Δικτιωτές

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ

Υφή

- Θεμέλιος ουσία
- Μεσοκυττάριο υγρό
- Κύτταρα
- **Ινες**

ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ

Ινες

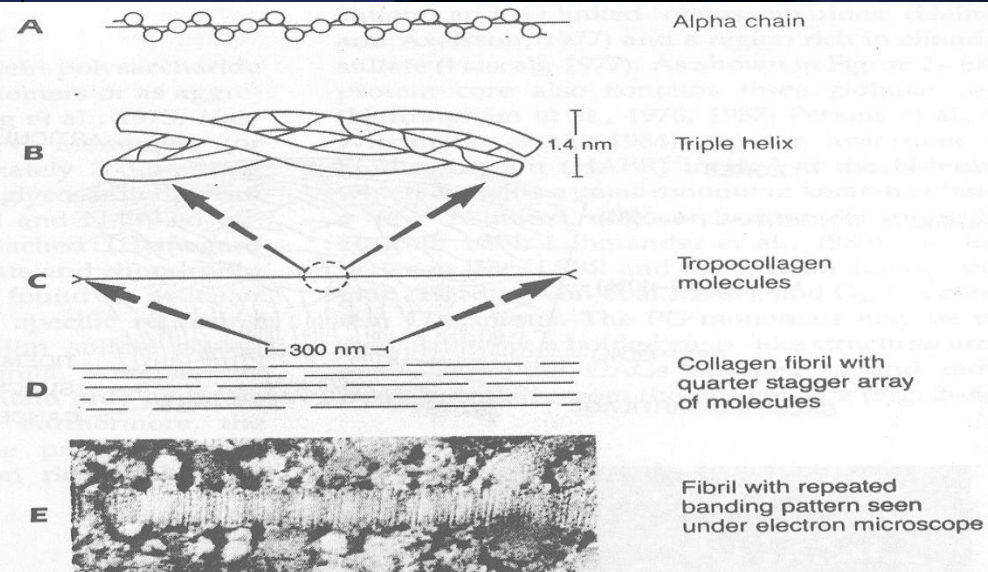
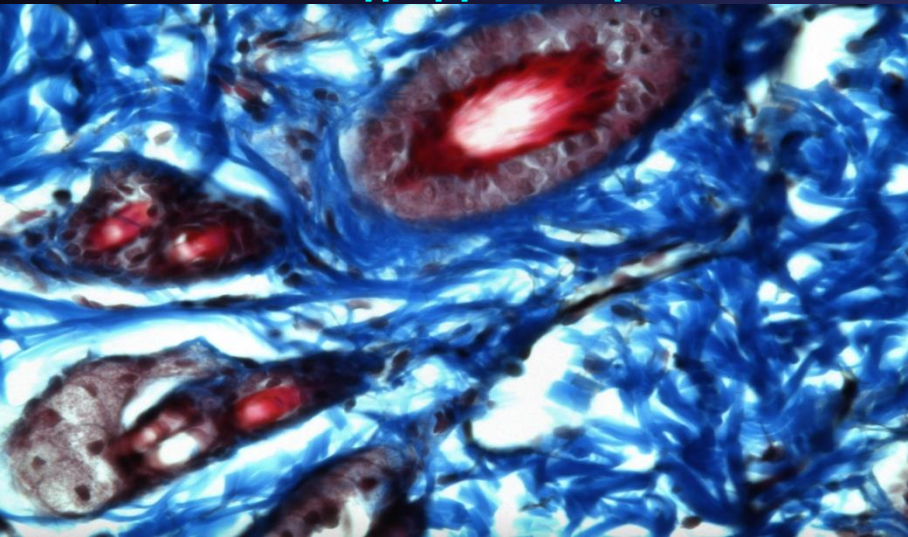
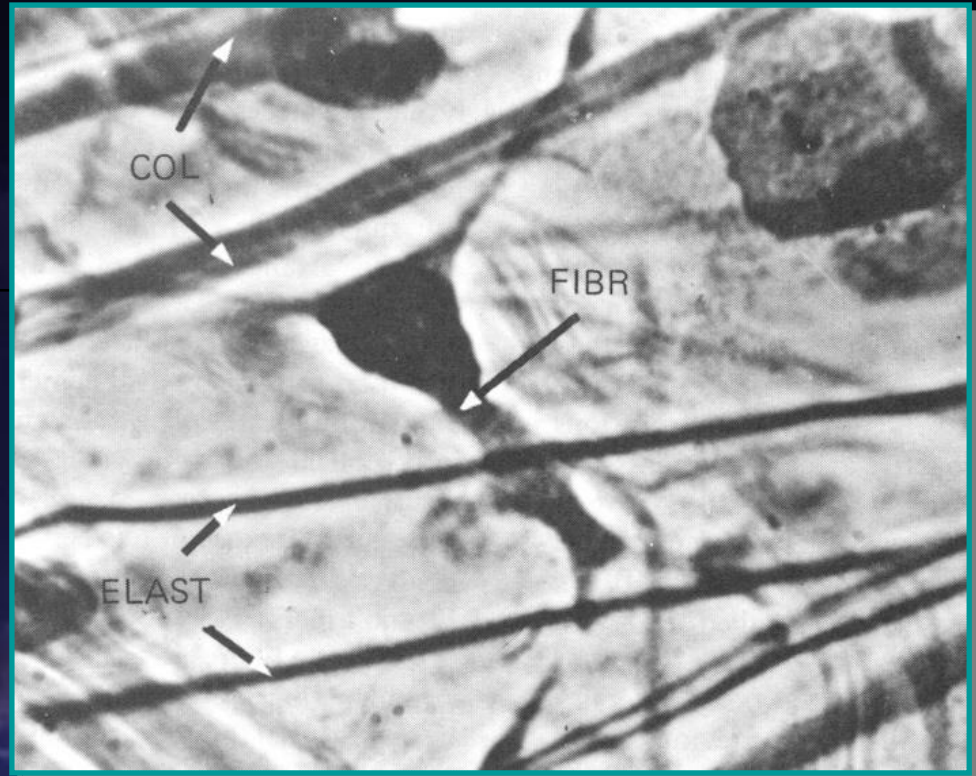
- **Κολλαγόνες**
- **Ελαστικές**
- **Δικτυωτές**
- **Κατανομή**
 - **Διαφορετική**
σε διαφορετικούς τύπους
συνδετικού ιστού
 - **Ινώδης**
 - **Ελαστικός**
 - **Δικτυωτός**

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ

Κολλαγόνες ίνες

- Παχύτερες των ελαστικών ινών
- Κυματοειδής μορφή
- Εγκάρσια γράμμωση
 - Ανάλογη των γραμμωτών μ. ινών



ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

ΙΝΕΣ

Μυικές Κολλαγόνες

Δεσμίδες Δεσμίδες

Μυικές ίνες Ινες κολλαγόνου

Μυοϊνίδια Ινίδια κολλαγόνου

Μυονημάτια Μικροϊνίδια

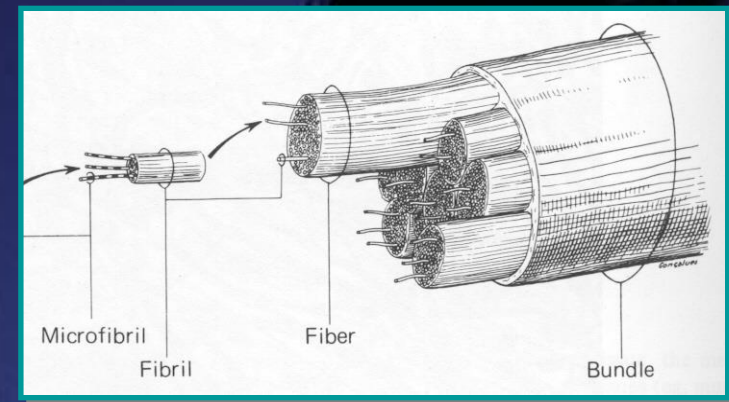
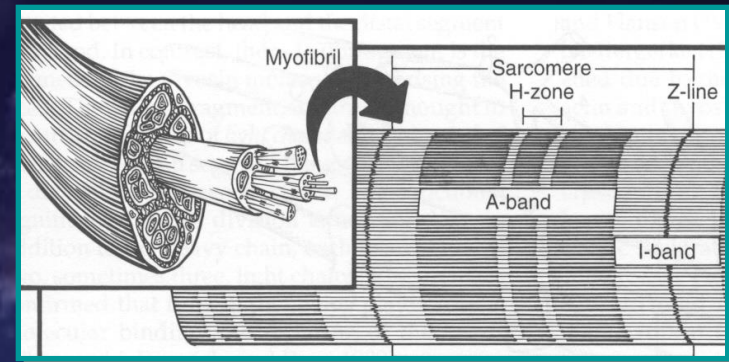
Σαρκομέριο Τροποκολλαγόνο

Ακτίνη α-1 αλυσίδα

Μυοσίνη α-2 αλυσίδα

Γέφυρες σύνδεσης Δεσμοί H⁺

Διατάσιμες Μη διατάσιμες



ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Μυικές ίνες

- Σημαντική διάταση
- Τελικό μήκος
 - Υπερβαίνει κατά **50%** το μήκος ηρεμίας

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Κολλαγόνες ίνες

- Ελάχιστη διάταση
 - Απαιτείται εφαρμογή δύναμης **> 10.000** φορές του βάρους τους
- Ρήξη μετά από διάταση άνω του **10%** του μήκους τους

Φλοιώδες οστούν

- Αντοχή σε παραμόρφωση
- Ρήξη μετά από παραμόρφωση άνω του **2%**