

1^ο μάθημα: Μυϊκό σύστημα – Δομή & λειτουργία

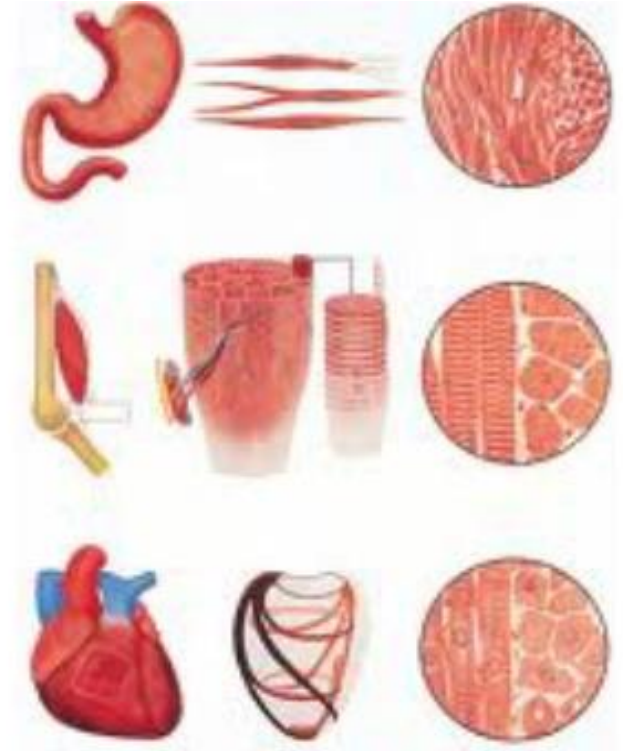
Τύποι μυών

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από τρεις τύπους μυών με βάση:

- τη δομή
- τις συσταλτικές ιδιότητες και
- τους μηχανισμούς ελέγχου τους

Τύποι μυών

- Λείοι - ακούσια κίνηση
- Σκελετικός - εκούσια κίνηση
- Καρδιακός - ακούσια κίνηση



Εικόνα 1

Τύποι σκελετικών μυών

Σύμφωνα με τη διάταξη των μυϊκών ινών:

- Ατρακτοειδείς (δικέφαλος βραχιόνιος). Η μυϊκή γαστέρα στενεύει σε αμφότερες τις πλευρές και καταλήγει στους τελικούς τένοντες.
- Ημιπτεροειδείς (μακρός εκτείνων τους δακτύλους). (εικόνα 2)

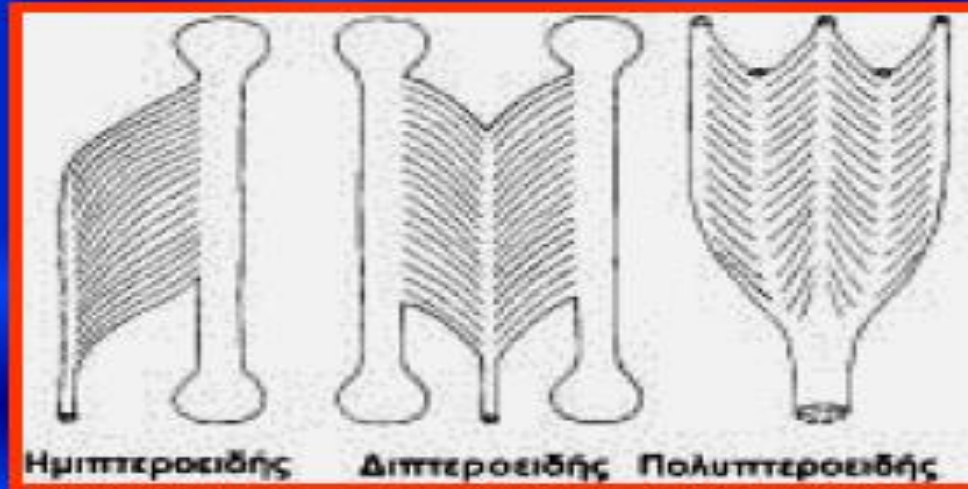
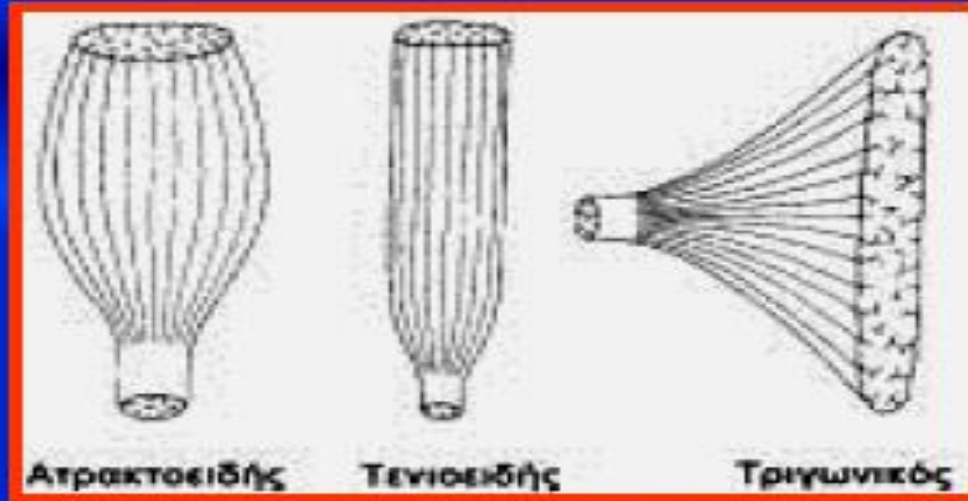
Τύποι σκελετικών μυών

- Πτεροειδείς ή πολυπλευρικοί (τετρακέφαλος μηριαίος).

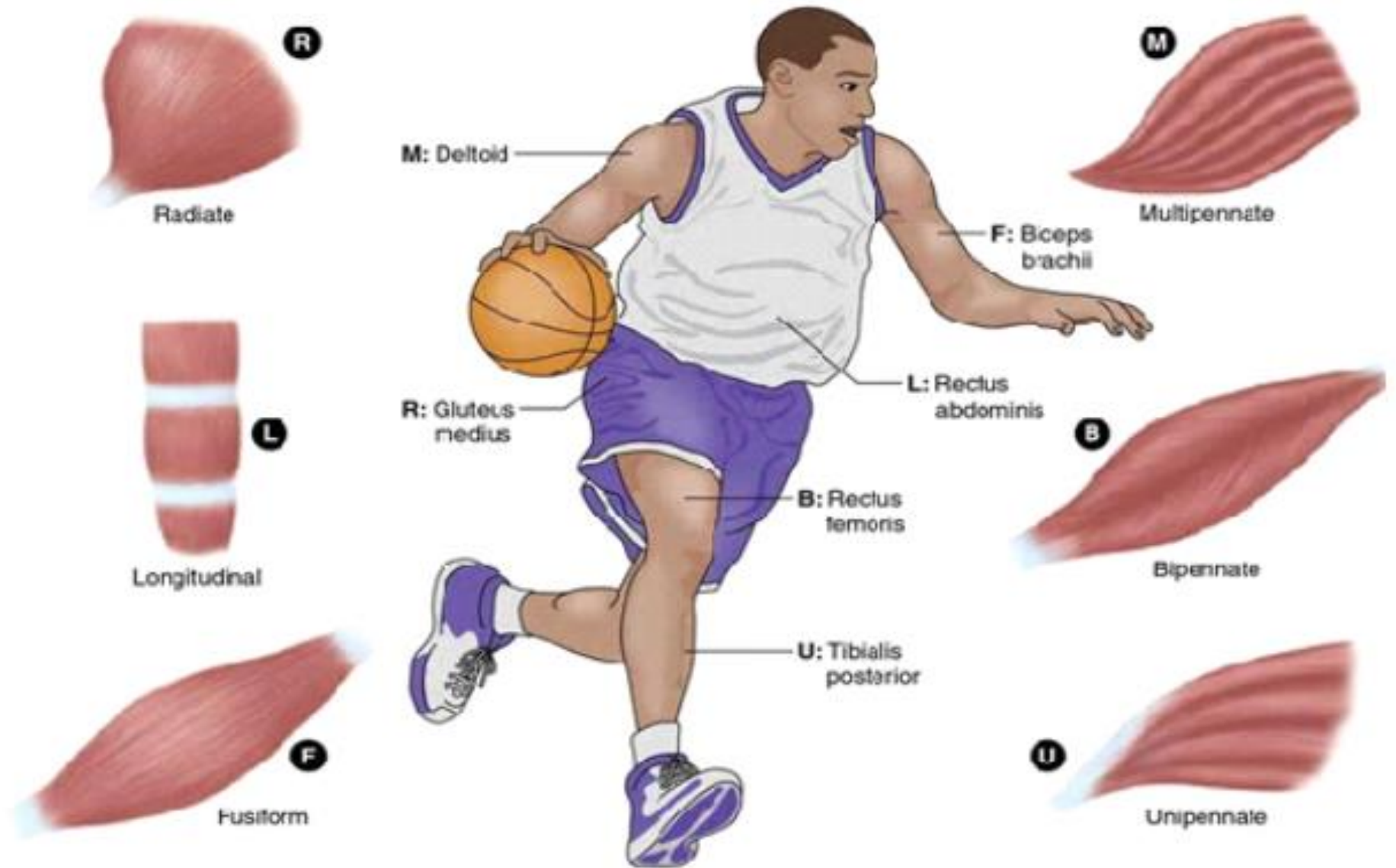
Στον ίδιο μυ, στα διάφορα τμήματά του μπορούν να υπάρξουν διαφορετικές μορφές διάταξης των ινών του (ο δελτοειδής στο πρόσθιο και οπίσθιο τμήμα του παρουσιάζει παράλληλη διάταξη ινών, ενώ στο μεσαίο τμήμα εμφανίζει 3 ως 5 πτεροειδείς τένοντες). (εικόνα 2)

Τύποι σκελετικών μυών

Εικόνα 2



Τύποι σκελετικών μυών



Δομή του σκελετικού μυός

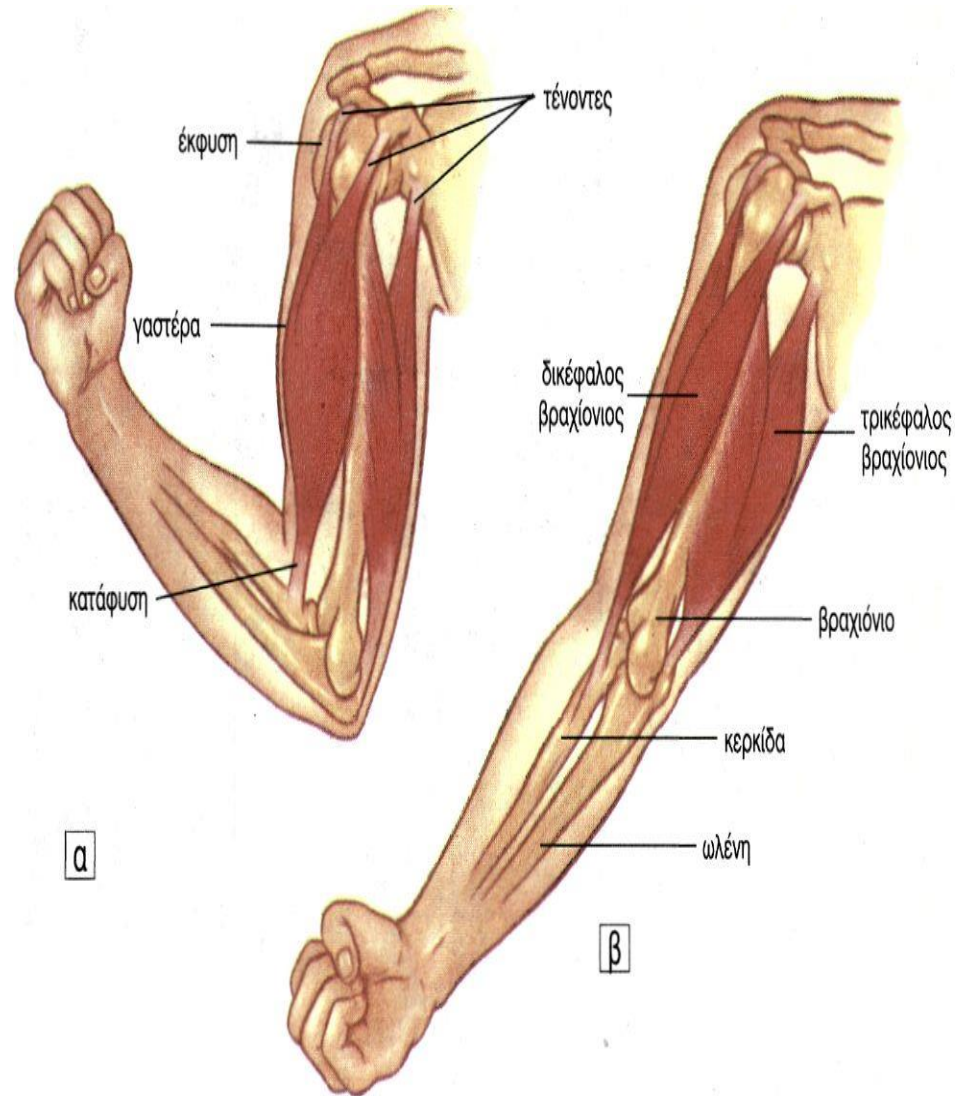
Γαστέρα : κεντρικό τμήμα

Προσφύσεις: δύο άκρα

Τένοντας: συνδέει το μυ με τα οστά

Κατάφυση: προσφύεται στο οστό που ο μυς αυτός κινεί

Έκφυση: προσφύεται στο οστό που δεν κινείται

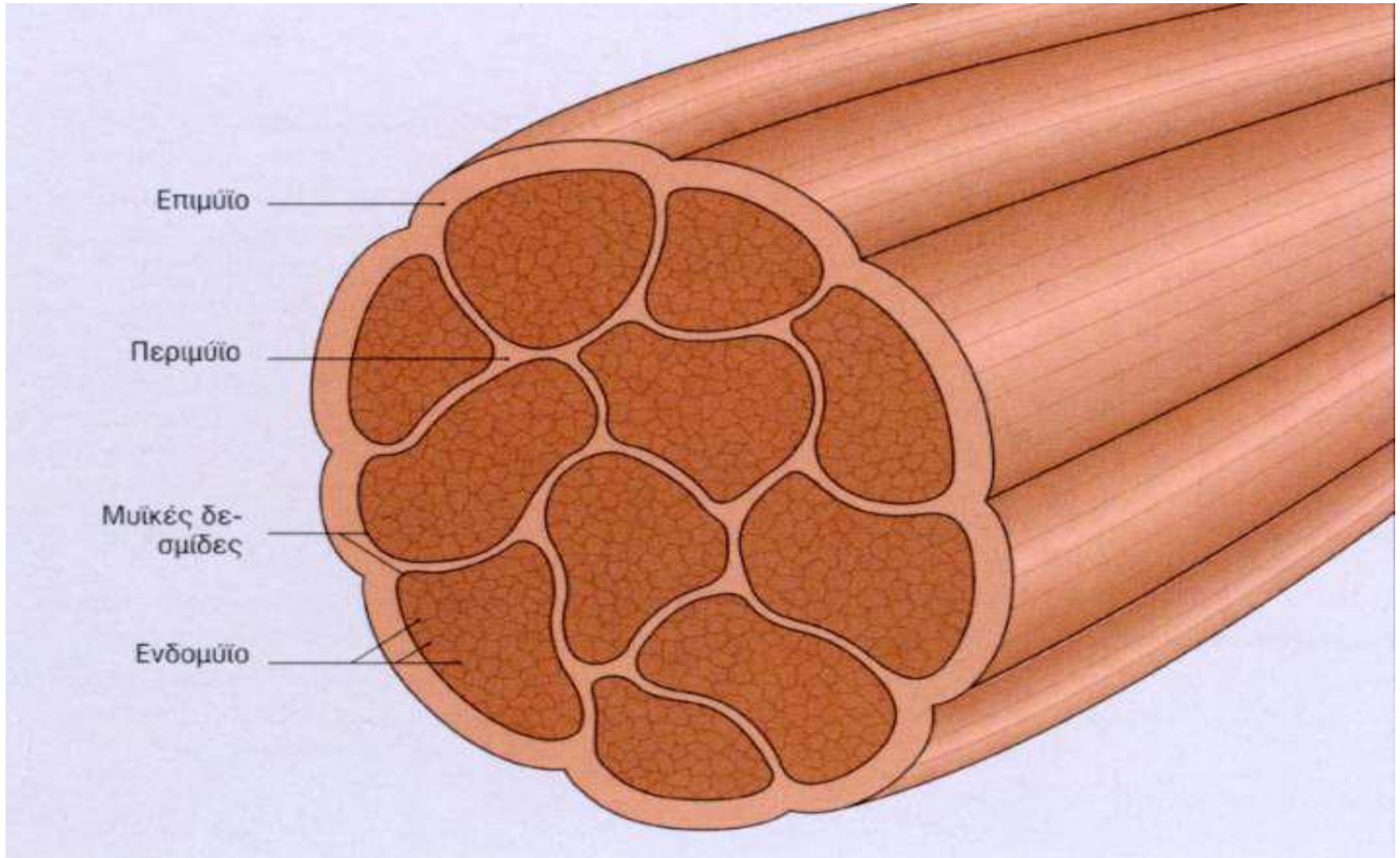


Εικόνα 3

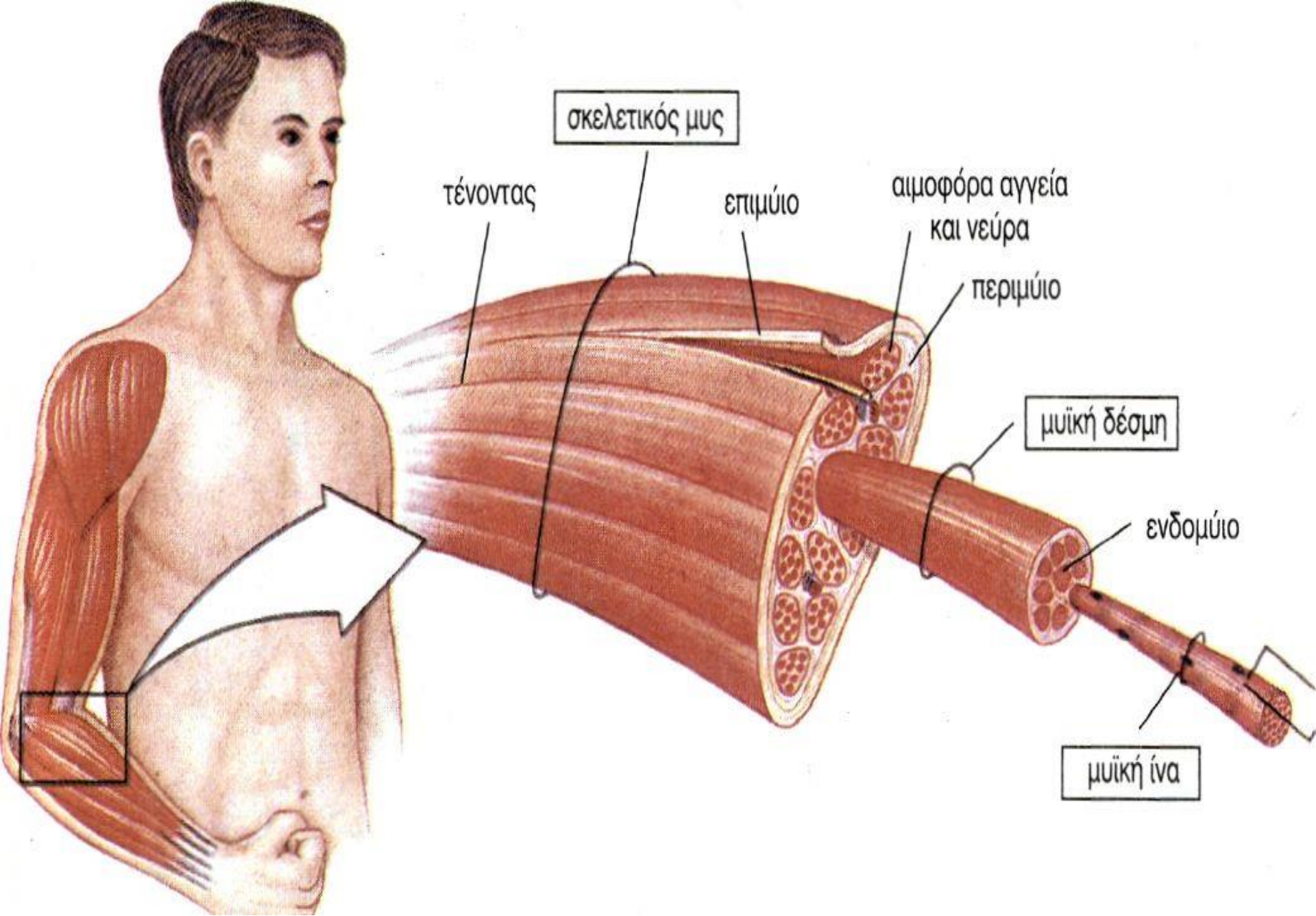
Δομή σκελετικού μυός

- Ανθρώπινο σώμα - 792 μυς - 100 αρθρώσεις
- Κάθε **μυς** περιβάλλεται από έναν ινώδη συνδετικό το **επιμύιο**, που περικλείει χιλιάδες μυϊκές ίνες συγκροτημένες σε δεμάτια.
- Κάθε **μυϊκό δεμάτιο** περιλαμβάνει περίπου 150 μυϊκές ίνες και περιβάλλεται επίσης από έναν υμένα, το **περιμύιο**.
- Κάθε **μυϊκή ίνα** ξεχωρίζει από τις γειτονικές της, με έναν άλλο λεπτό υμένα, το **ενδομύιο**. (εικόνα 4,5).

ΕΠΙΜΥΪΟ – ΠΕΡΙΜΥΪΟ - ΕΝΔΟΜΥΪΟ



Εικόνα 4



Εικόνα 5

Τένοντες – Μυοτενόντια ενότητα

- Οι προστατευτικοί υμένες σχηματίζουν τον ανθεκτικό συνδετικό ιστό, τον τένοντα, με τον οποίο μεταβιβάζεται η δύναμη που παράγει ο μυς στο σημείο κατάφυσής του (περιόστεο) και έτσι προκαλείται η κίνηση.
- Για το λόγο αυτό βρίσκονται στο σαρκόπλασμα του, όλα τα συστατικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την απελευθέρωση της ενέργειας και την παραγωγή της δύναμης.
- Ο μυς μαζί με τους τένοντες του (έκφυση-κατάφυση) αποτελεί τη **μυοτενόντια ενότητα**. (εικόνα 3,5)

Τένοντας

- Συνδέει τους μυς με τα οστά
- Μεταδίδει τη μυϊκή τάση στα οστά
- Αυξάνει το μήκος του μυός

Σύνθεση

- 20% κυτταρικά στοιχεία
- 80% μη κυτταρικά 70% νερό, 30% στερεά (75-98% κολλαγόνο,
- υαλόπλασμα, ελαστίνη)

Δομή σκελετικού μυός

Σαρκόπλασμα: είναι ένα υγρό που περιβάλλεται από μια προστατευτική ελαστική μεμβράνη, το **σαρκείλημα**.

Στο περιβάλλον του σαρκοπλάσματος υπάρχουν συστατές πρωτεΐνες, ένζυμα που καταλύουν τις χημικές αντιδράσεις, τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP), διφωσφορική αδενοσίνη (ADP), φωσφοκρεατίνη, αμινοξέα, γλυκογόνο σε ποσότητες μέχρι 2%, λίπη μέχρι 2% και ανόργανα άλατα μέχρι 1%. (εικόνα 6).

Δομή σκελετικού μυός

Επίσης στο σαρκόπλασμα βρίσκονται τα μιτοχόνδρια που είναι τα χημικά εργαστήρια του κυττάρου, καθώς και το **σαρκοπλασματικό δίκτυο**, το σύστημα που χρησιμεύει για τη σύζευξη των ηλεκτρικών γεγονότων της διέγερσης, με τα μηχανικά γεγονότα της μυϊκής συστολής. (εικόνα 6).

- Ποια είναι η λειτουργική μονάδα του συσταλτικού συστήματος του μυός και από τι αποτελείται ;

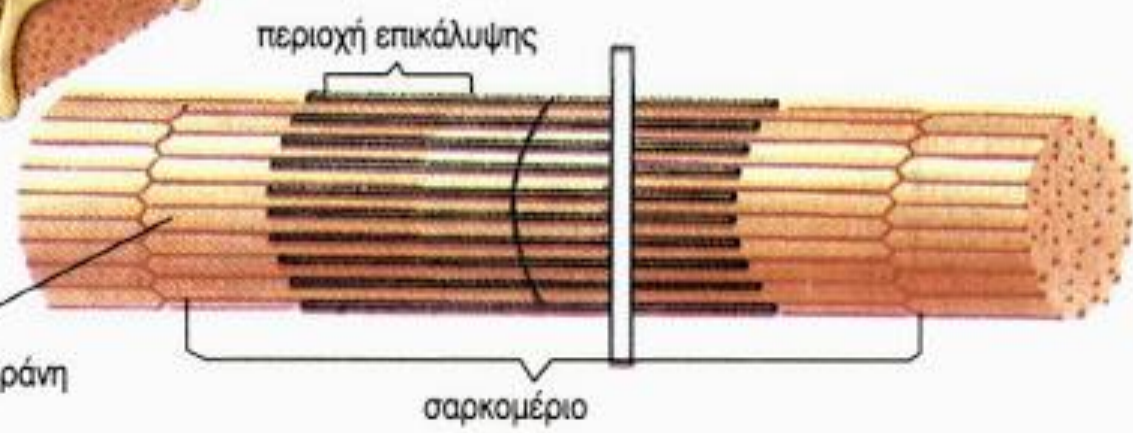
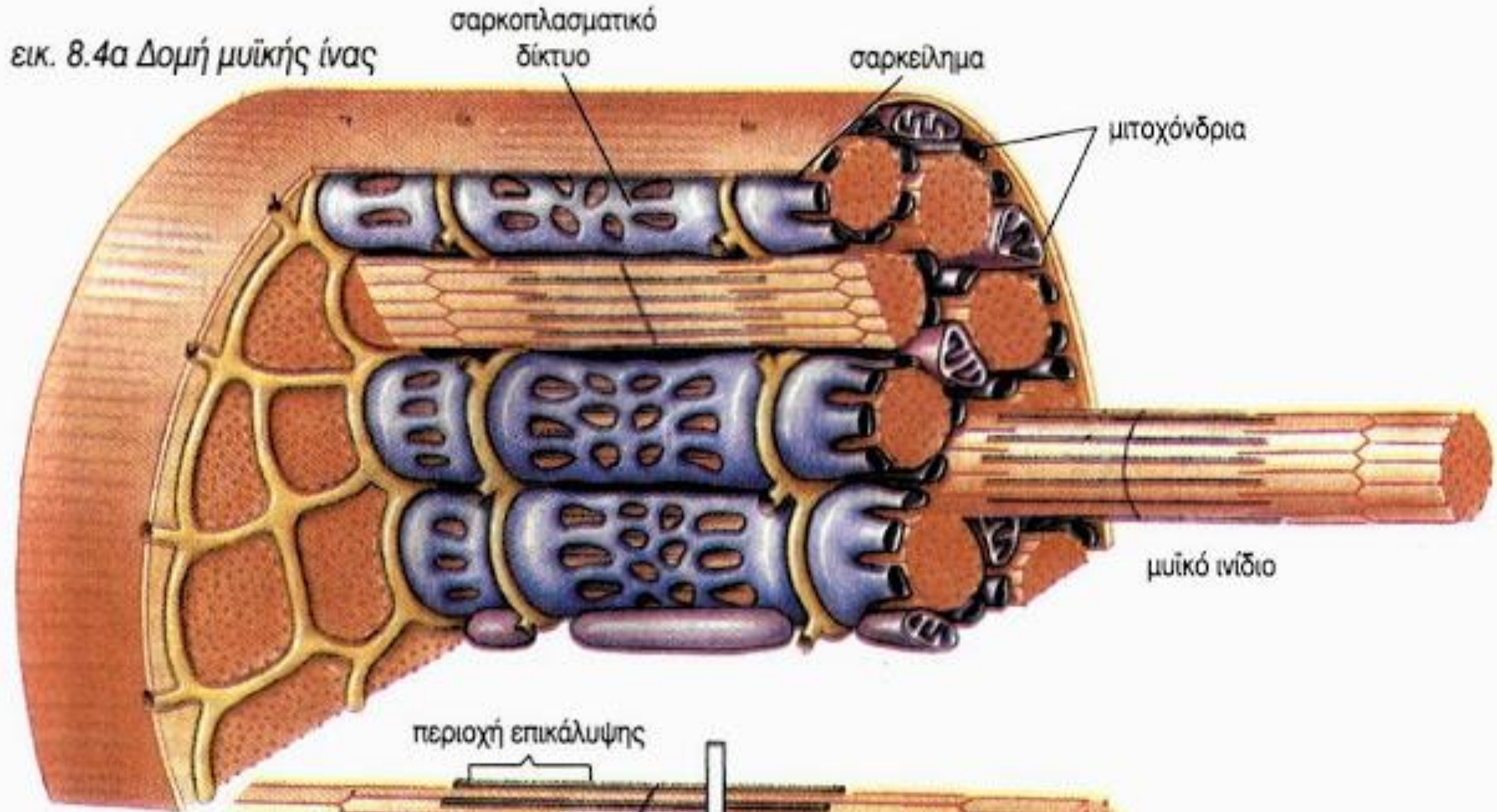
Η μυϊκή ίνα

Είναι το εξειδικευμένο κύτταρο για τη συστολή.

Κάθε μυϊκή ίνα περιέχει πολλά **μυοϊνίδια**, τα οποία αποτελούν τα συσταλτά στοιχεία μυών, και κάθε μυοϊνίδιο αποτελείται από **σαρκομέρια**.

Το σαρκομέριο είναι η βασική λειτουργική μονάδα του συσταλτικού συστήματος του μυός.

Το σαρκομέριο αποτελείται από παχιά και λεπτά μυονημάτια. Τα παχιά περιέχουν μια πρωτεΐνη γνωστή ως **μυοσίνη**, (σκούρες γραμμές) και τα λεπτά μια άλλη πρωτεΐνη γνωστή ως **ακτίνη** (φωτεινές γραμμές). (εικόνα 6).

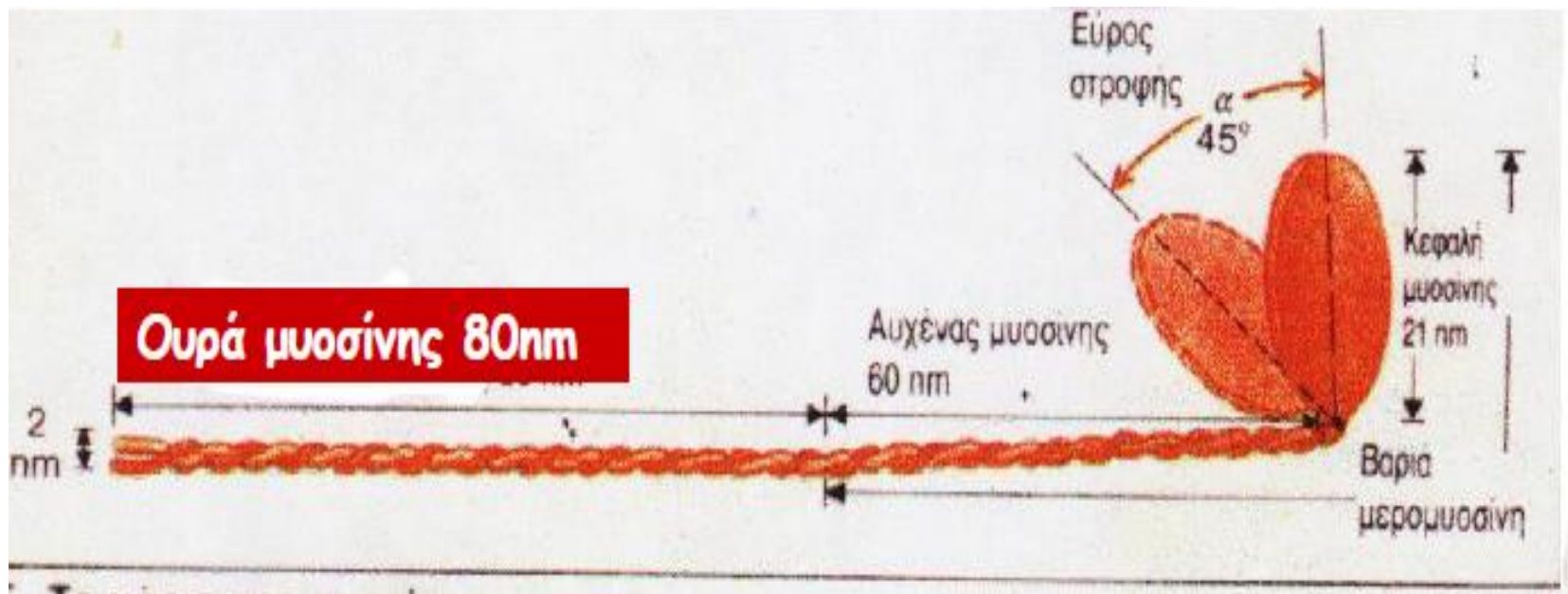


εικ. 8.4β Σαρκομέριο

Εικόνα 6

Νημάτιο μυοσίνης

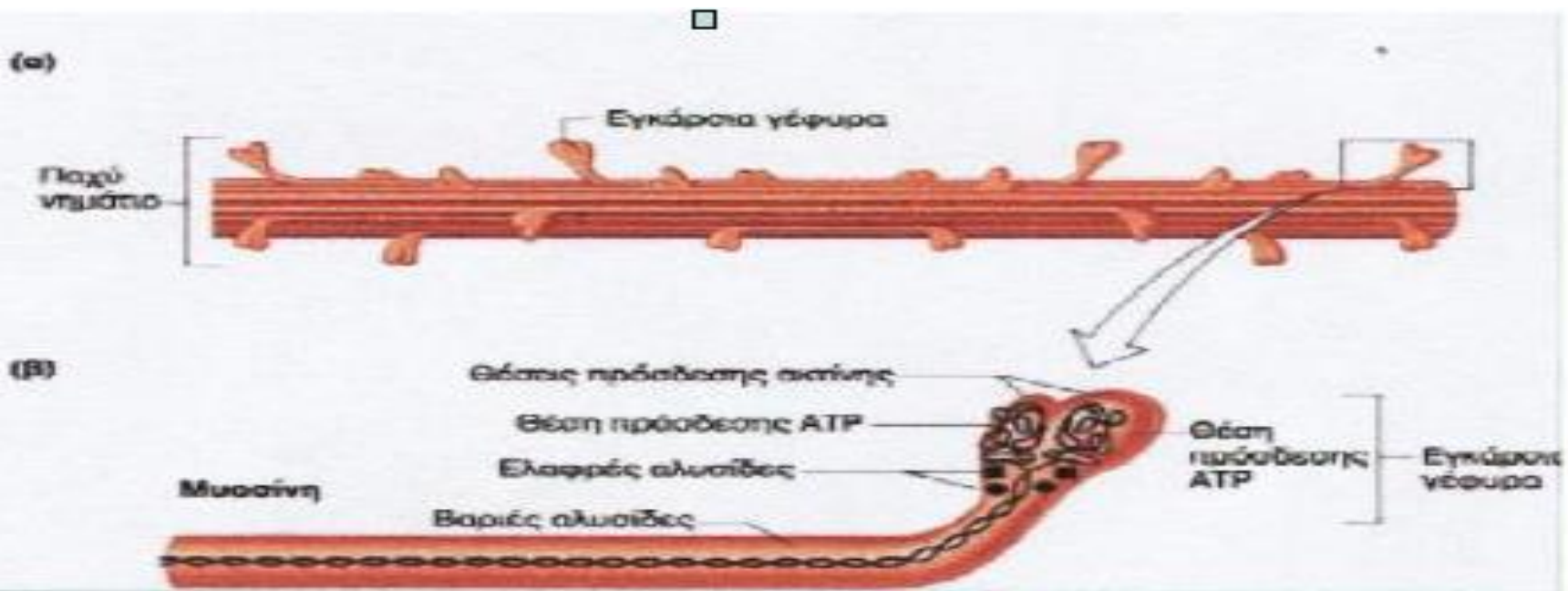
- Είναι σαν ουρά που στο άκρο της φέρει διογκωμένες σφαιρικές κεφαλές και αποτελείται από τη βαρεία και την ελαφριά μερομυοσίνη.



Εικόνα 7

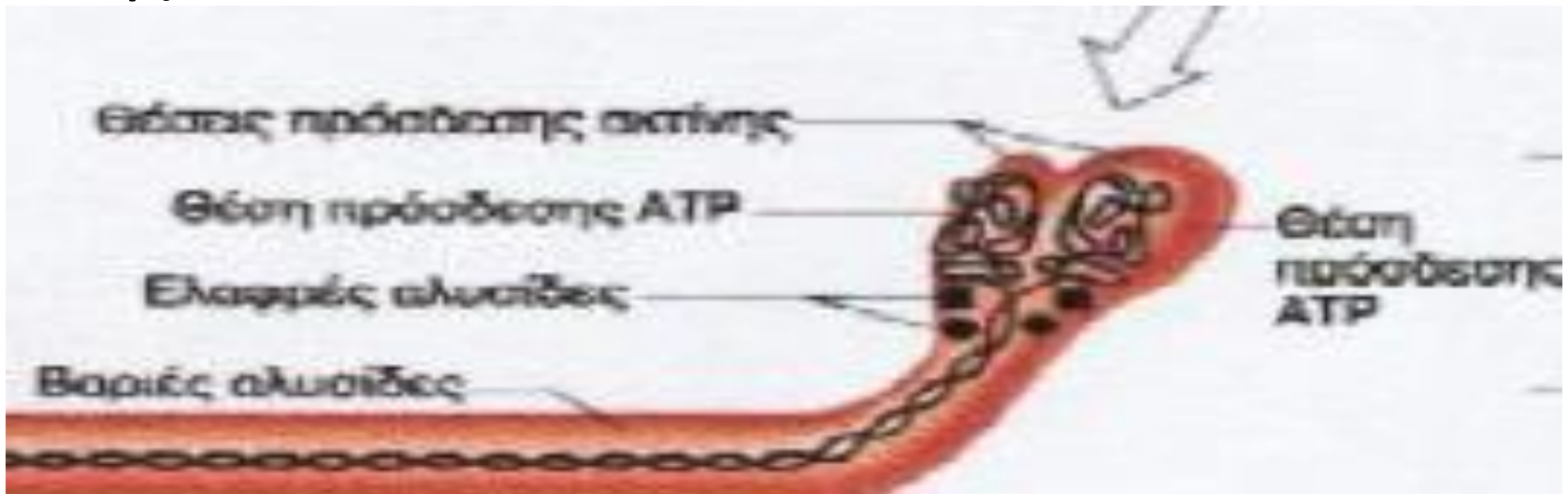
Νημάτιο μυοσίνης

- Σε κάθε νημάτιο μυοσίνης υπάρχουν έξι κεφαλές που λέγονται **εγκάρσιες γέφυρες**.
- **Εγκάρσιες γέφυρες**: προεκβάλλουν προς την ακτίνη γεφυρώνοντας το κενό που υπάρχει μεταξύ μυοσίνης και ακτίνης.



Νημάτιο μυοσίνης

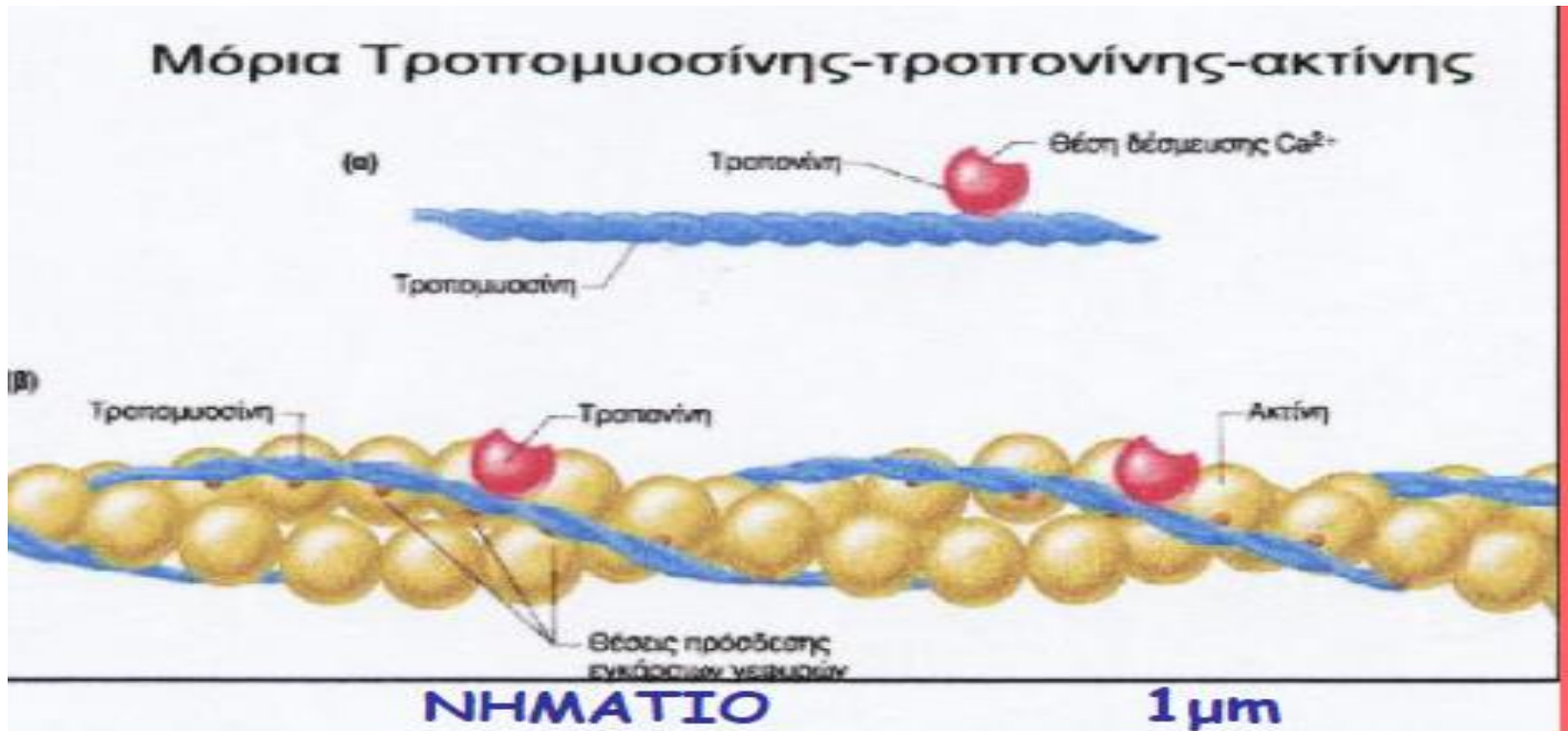
- Οι γέφυρες είναι οι φορείς της μυϊκής συστολής και έχουν από δύο χημικώς ενεργές θέσεις. Η μια θέση έχει την ικανότητα σύνδεσης με την ακτίνη και η άλλη διάσπασης της ATP.



Εικόνα 9

Νημάτιο της ακτίνης

- Σχηματίζεται από σφαιροειδείς πρωτεΐνες.
- Με την ακτίνη συνδέονται δύο άλλες πρωτεΐνες που είναι ρυθμιστικοί παράγοντες της μυϊκής συστολής και χαλάρωσης, η **τροπομυοσίνη** και η **τροπονίνη**.



Εικόνα 10

Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

- Τι γνωρίζετε για την υπόθεση ολίσθησης των μυονηματίων (ακτίνης, μυοσίνης) και την παραγωγή της μυϊκής συστολής;

Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

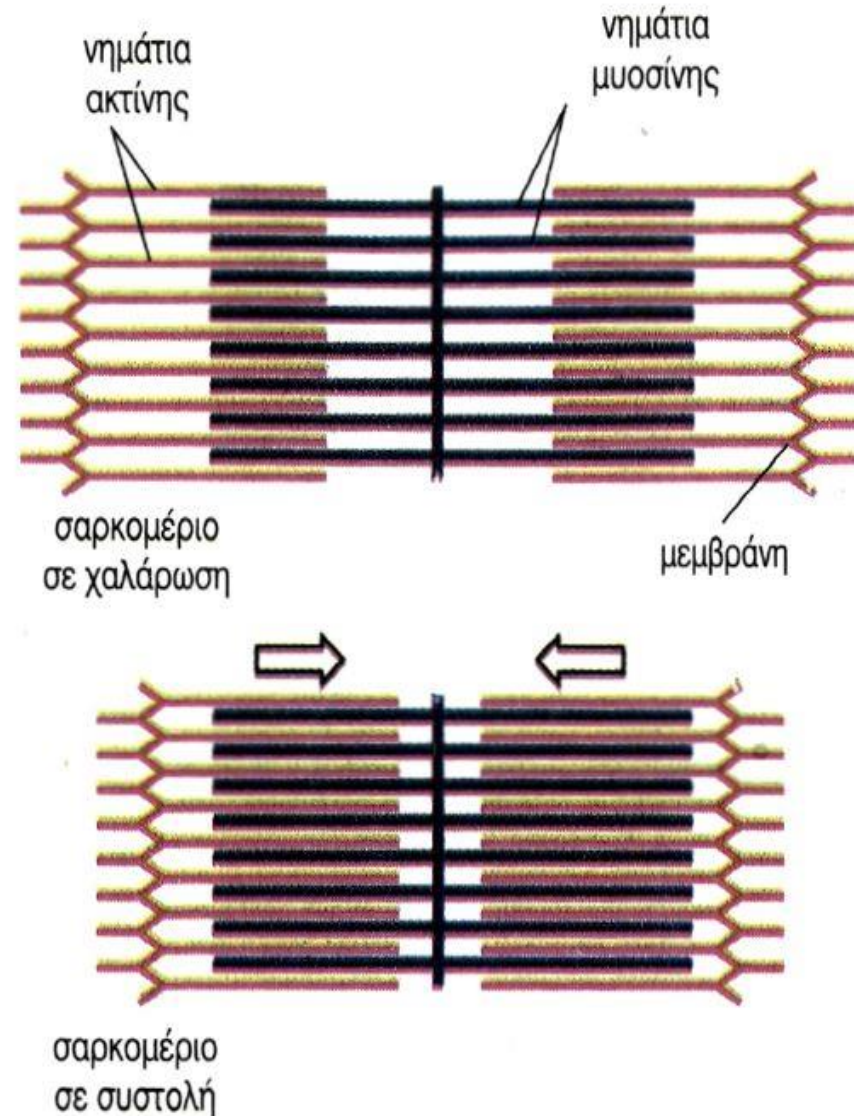
- Η μετάδοση του δυναμικού ενέργειας από το νεύρο στο μυ μέσω της σύναψης πυροδοτεί μια σειρά από διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στη σύσπαση του μυός και στην παραγωγή δύναμης.
- Συγκεκριμένα, το δυναμικό ενέργειας διαχέεται μέσω του σαρκοπλασματικού δικτύου στο μυϊκό κύτταρο και προκαλεί τη διάχυση ιόντων ασβεστίου.

Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

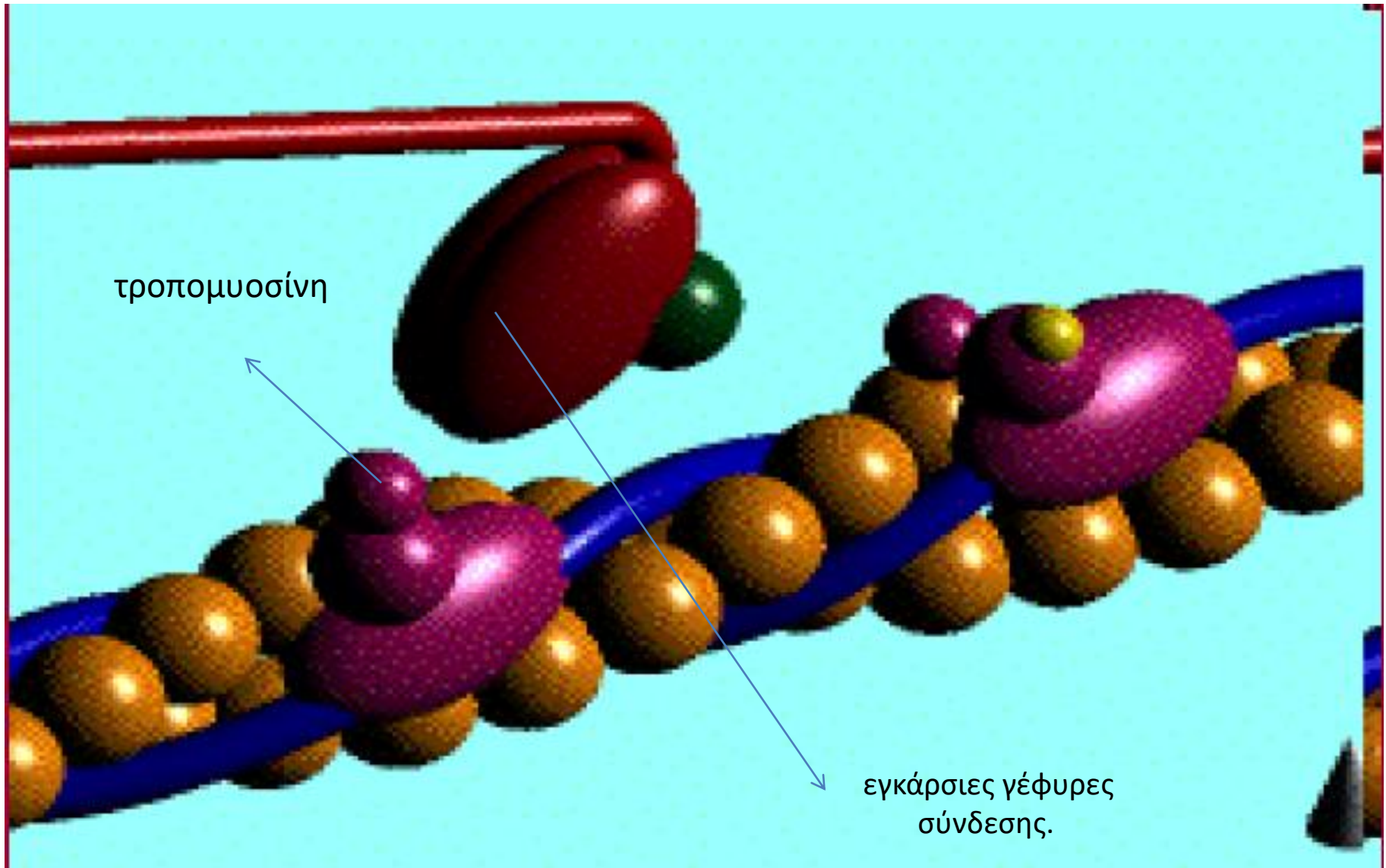
Με τη σειρά του το ασβέστιο ενώνεται με την πρωτεΐνη **τροπομυοσίνη**, επιτρέποντας την **ολίσθηση των νηματίων της ακτίνης** με τα νημάτια της μυοσίνης μέσω της δράσης δύο υπομορίων της μυοσίνης, τα οποία ονομάζονται **εγκάρσιες γέφυρες σύνδεσης**. (εικόνα 12).

Η ολίσθηση των νηματίων κατά μήκος της ίνας επιφέρει τη συνολική σύσπαση του μυός, η οποία με τη σειρά της έλκει τον τένοντα και προκαλεί την κίνηση του οστού στο οποίο προσφύεται.

Εικόνα 11



Μηχανισμός της μυϊκής συστολής



Εικόνα 12

Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

- Η μεταβολή του μήκους του μυός δεν συνεπάγεται και μεταβολή του μήκους των μυονημάτων, απλά τα νημάτια μετατοπίζονται, διεισδύουν και ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο.
- Την ενέργεια για τη συστολή του μυός την παρέχει το **ATP** όταν διασπάται σε **ADP**.

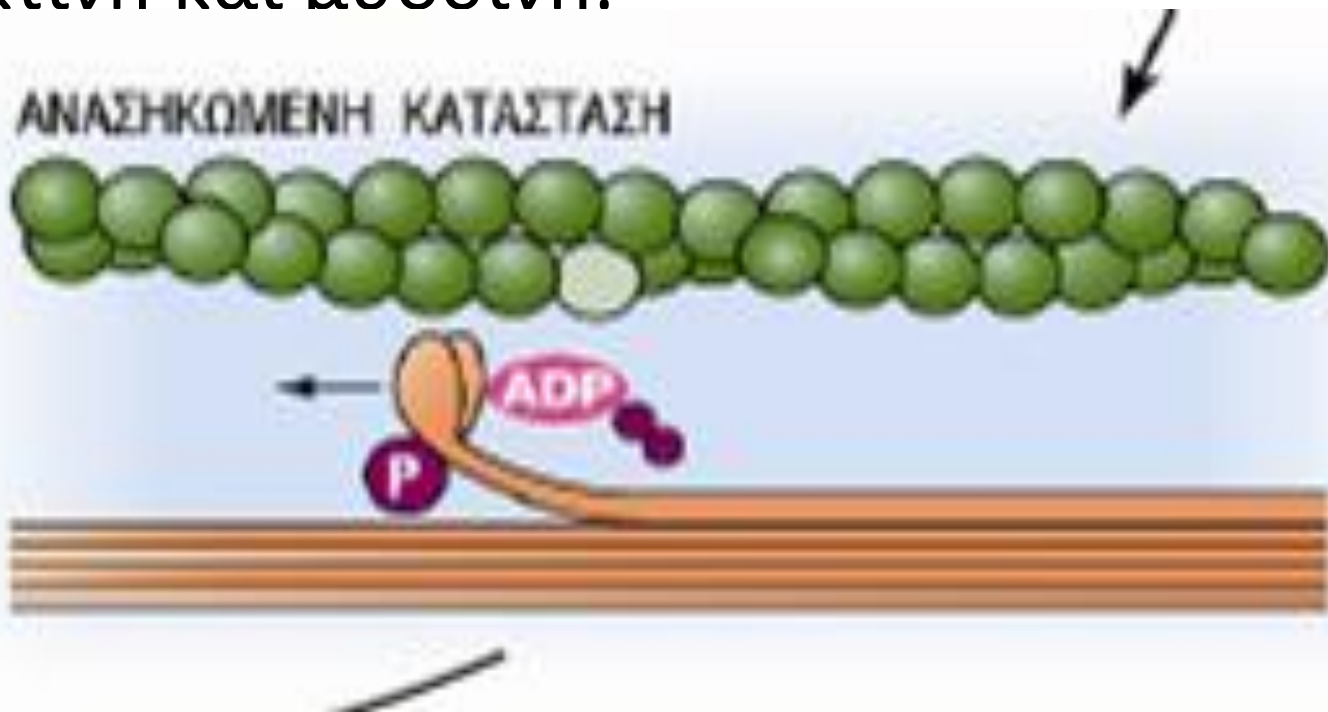
Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

Τα γεγονότα που λαμβάνουν μέρος κατά την μυϊκή συστολή με βάση την υπόθεση της ολίσθησης νηματίων έχουν κατά σειρά:

Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

- Ηρεμία:

Αναστολή αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην ακτίνη και μυοσίνη.



Εικόνα 13

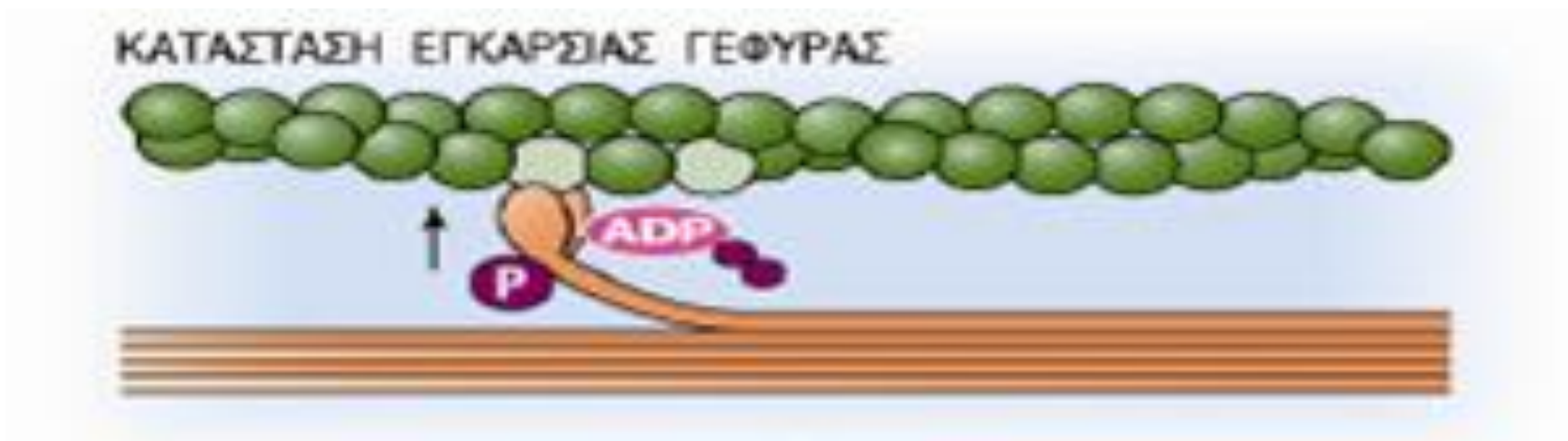
- Διέγερση:

Μετάδοση νευρικών ώσεων.

Απελευθέρωση ασβεστίου

Σχηματισμός συμπλέγματος ακτομυοσίνης

$A + M \cdot ATP \rightarrow A \cdot M \cdot ATP$

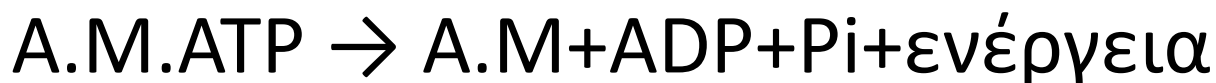


Εικόνα 14

Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

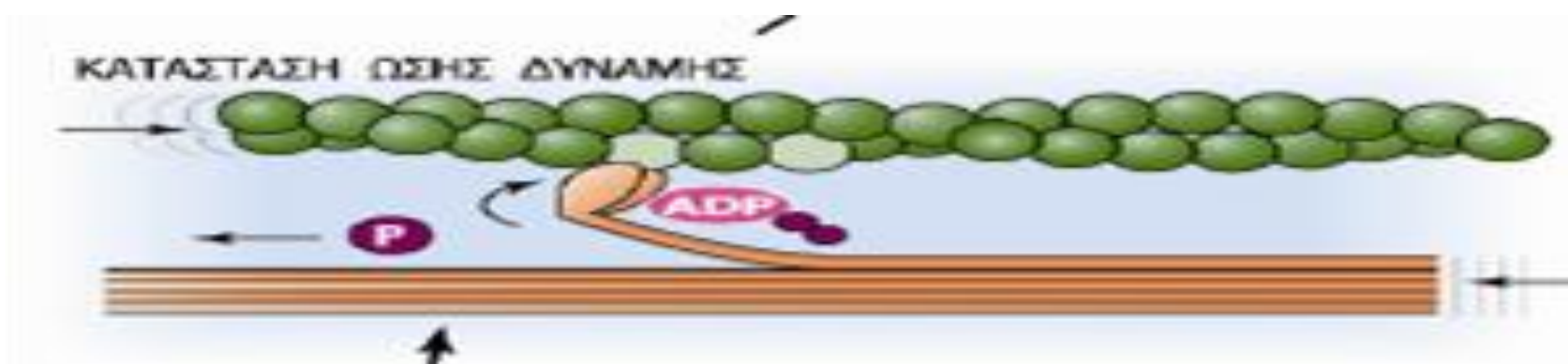
- Συστολή

Απελευθέρωση ενέργειας:



Στροφική κίνηση εγκάρσιων γεφυρών.

Ολίσθηση μυονημάτων και παραγωγή δύναμης



Εικόνα 15

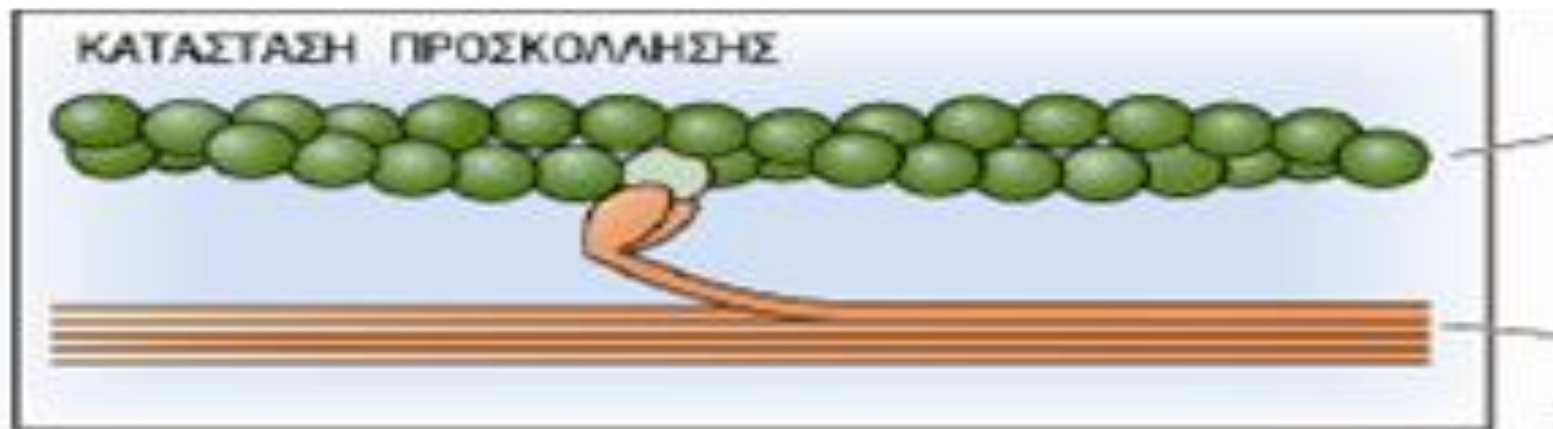
Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

- Ανακύκλωση

Επανασύνθεση ATP

Αποσύνδεση εγκάρσιων γεφυρών από την ακτίνη $A.M.+ATP \rightarrow A+M.ATP$

Επανασύνδεση εγκάρσιων γεφυρών με ακτίνη



Εικόνα 16

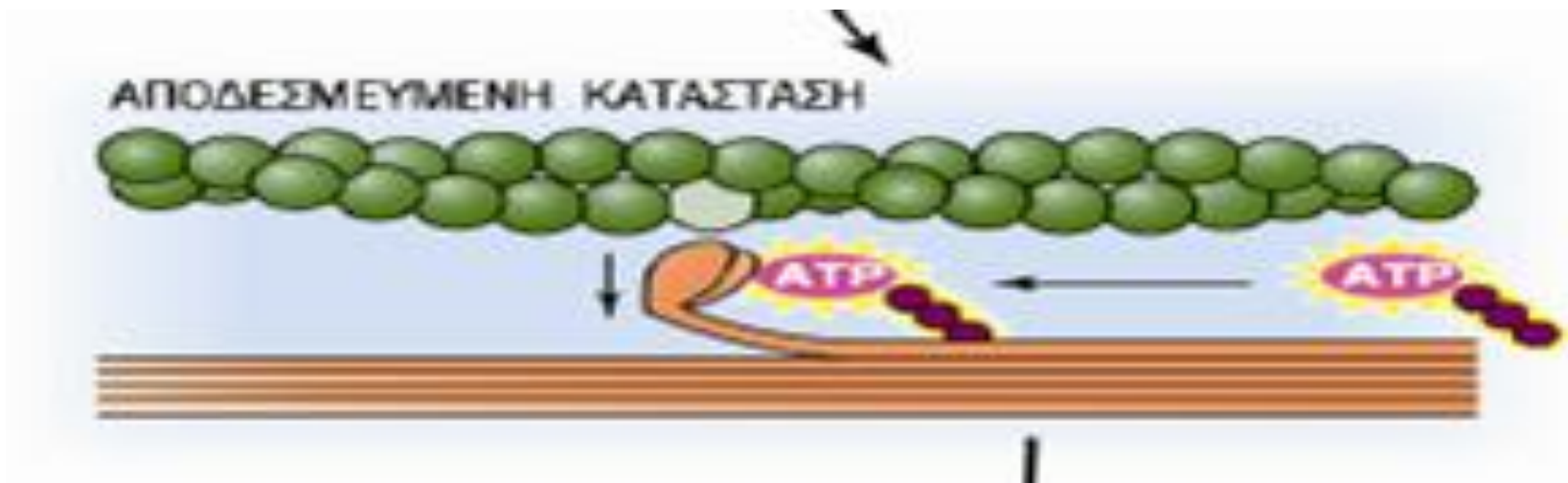
Μηχανισμός της μυϊκής συστολής

- Χαλάρωση:

Διακοπή νευρικών ώσεων

Απομάκρυνση ασβεστίου

Διακοπή αλληλεπίδρασης ακτομυοσίνης



Εικόνα 17

Link για το βίντεο μουσικής συστολής

- <https://www.youtube.com/watch?v=E4nUCdlHilk>

Απόδοση της μυϊκής συστολής ή συντελεστής απόδοσης

- Κατά τη μυϊκή συστολή ένα ποσοστό της χημικής ενέργειας που παράγεται, μετατρέπεται σε μηχανικό (ωφέλιμο) έργο, και ένα ποσοστό αποβάλλεται με τη μορφή θερμότητας.
- Το ποσοστό της ενέργειας που μετατρέπεται σε μηχανικό έργο ονομάζεται **συντελεστής απόδοσης**.

Απόδοση της μυϊκής συστολής ή συντελεστής απόδοσης

Παράδειγμα: Για το τρέξιμο / ποδηλασία ο συντελεστής απόδοσης είναι 25%. Αυτό σημαίνει:

- 25% ωφέλιμο έργο (κίνηση)
- 75% απώλεια σε θερμότητα

Νευρομυϊκή σύναψη

- Τι είναι κινητική μονάδα και τι σύναψη;

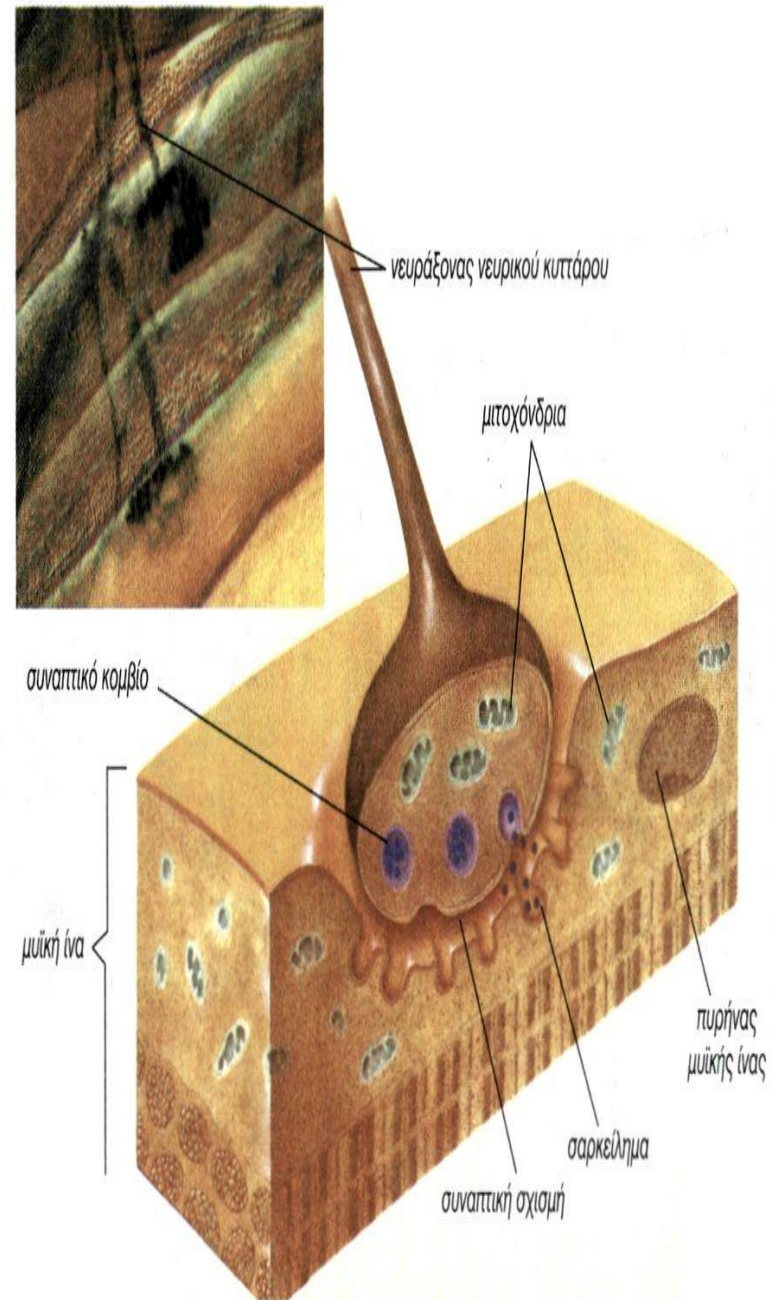
Οι μυϊκές ίνες δέχονται απλά φυσιολογικά ερεθίσματα, που είναι τα **νευρικά ερεθίσματα**.

Το ερέθισμα μεταφέρεται από έναν κινητικό νευρώνα, ο νευράξονας του οποίου όταν φτάσει στο μυ διακλαδίζεται.

Κάθε διακλάδωση καταλήγει στο μέσον περίπου μιας μυϊκής ίνας και σχηματίζεται **τελική κινητική πλάκα**.

Όταν το ερέθισμα φθάσει στην άκρη της κάθε διακλάδωσης μεταδίδεται στις μυϊκές ίνες.

Ο κινητικός νευρώνας μαζί με τις μυϊκές ίνες που νευρώνει αποτελούν μια λειτουργική μονάδα, που λέγεται **κινητική μονάδα**.

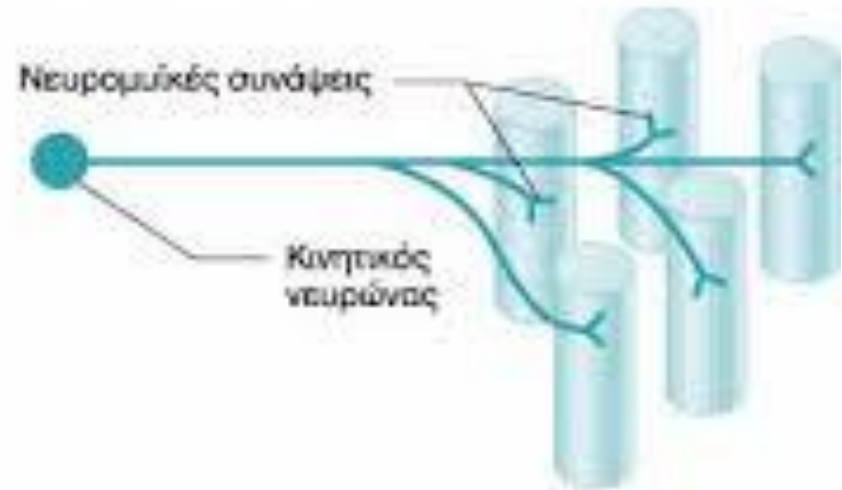


Κινητική μονάδα

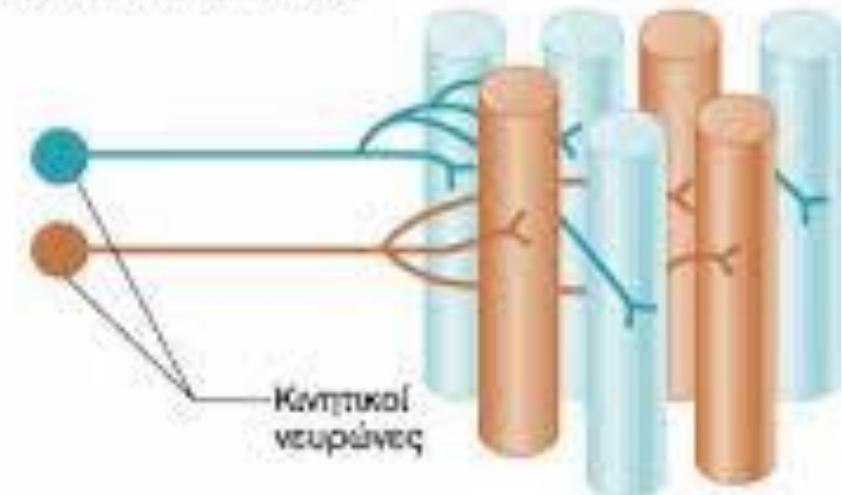
Εικόνα 19

Κινητική μονάδα είναι ο κινητικός νευρώνας με τις μυϊκές ίνες που νευρώνει και αποτελεί τη λειτουργική μονάδα του νευρικού ελέγχου της μυϊκής δραστηριότητας. Διέγερση μιας κινητικής μονάδας προκαλεί τη συστολή όλων των μυϊκών ινών που υπάγονται στη μονάδα αυτή, υπακούοντας στο νόμο του "όλου ή ουδέν".

(α) Μια κινητική μονάδα



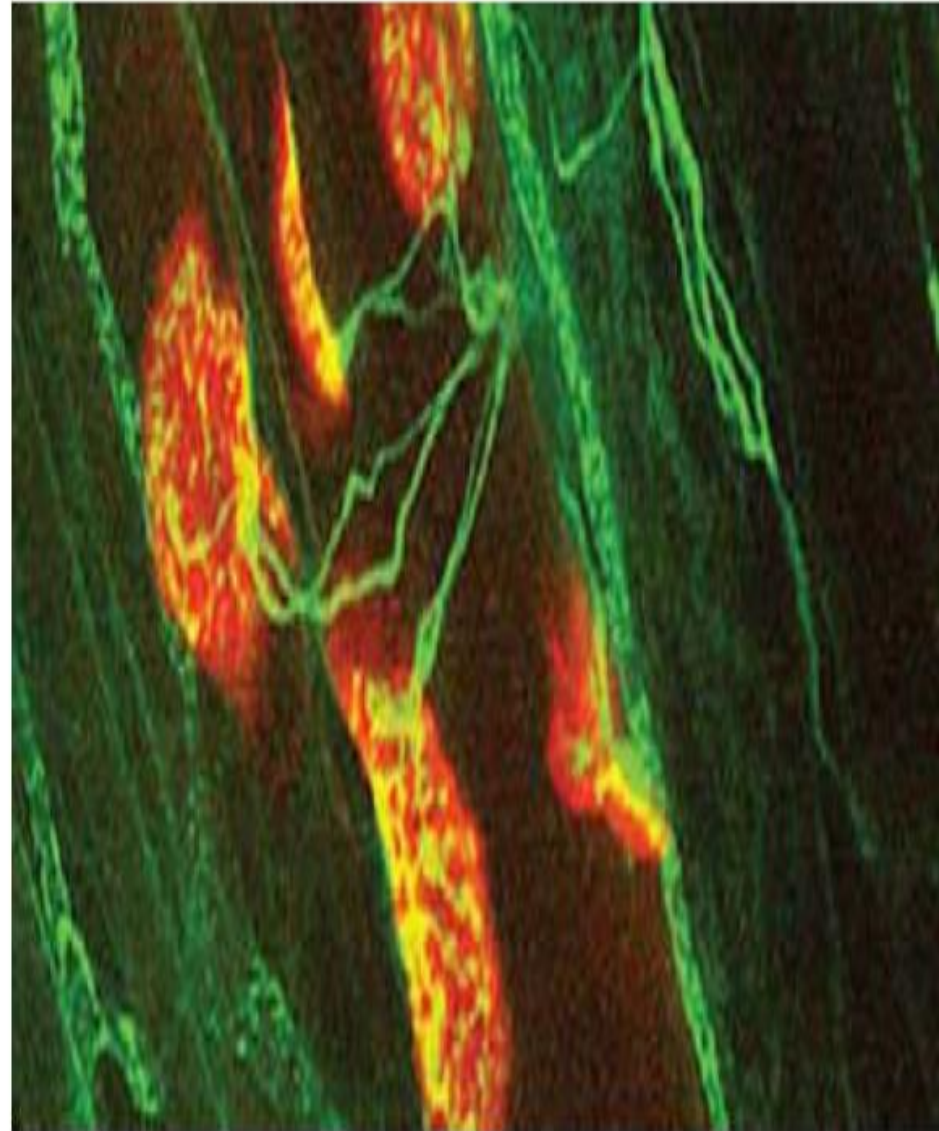
(β) Δύο κινητικές μονάδες



Νευρομυϊκή σύναψη

Σύναψη, είναι ένας εξειδικευμένος αρμός μεταξύ νευρώνων και εξασφαλίζει τη μεταβίβαση των νευρικών ώσεων από τον ένα στον άλλο και μόνο προς μία κατεύθυνση. Έτσι εκτελεί χρέη βαλβίδας.

Εικόνα 20



Κινητική μονάδα

- Ο αριθμός των μουσικών ενών μιας κινητικής μονάδας εξαρτάται από το είδος του μουσ.
- Η λεπτότητα των κινήσεων που επιτελεί έχει σχέση με τον αριθμό των μουσικών ενών.

Κινητική μονάδα

- Για παράδειγμα, οι μύες που κινούν τον οφθαλμικό βολβό έχουν πολύ μικρό αριθμό ινών 10-12 σε κάθε κινητική μονάδα (λεπτές κινήσεις),
- αντίθετα με τους μύς της ράχης και των κάτω άκρων, που έχουν μεγάλο αριθμό ινών, 600-1000 ανά κινητική μονάδα (αδρές κινήσεις).

Ταξινόμηση μυϊκών ινών

- Να αναφέρετε τους τύπους των σκελετικών μυϊκών ινών , ανάλογα με τη μεταβολική τους δραστηριότητα. Ποια είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους; Ποιος τύπος επιστρατεύεται σε ασκήσεις χαμηλής έντασης και ποιος σε ασκήσεις υψηλής έντασης

Ταξινόμηση μυϊκών ινών

Οι μυϊκές ίνες ταξινομούνται βάσει της ταχύτητας συστολής τους σε:

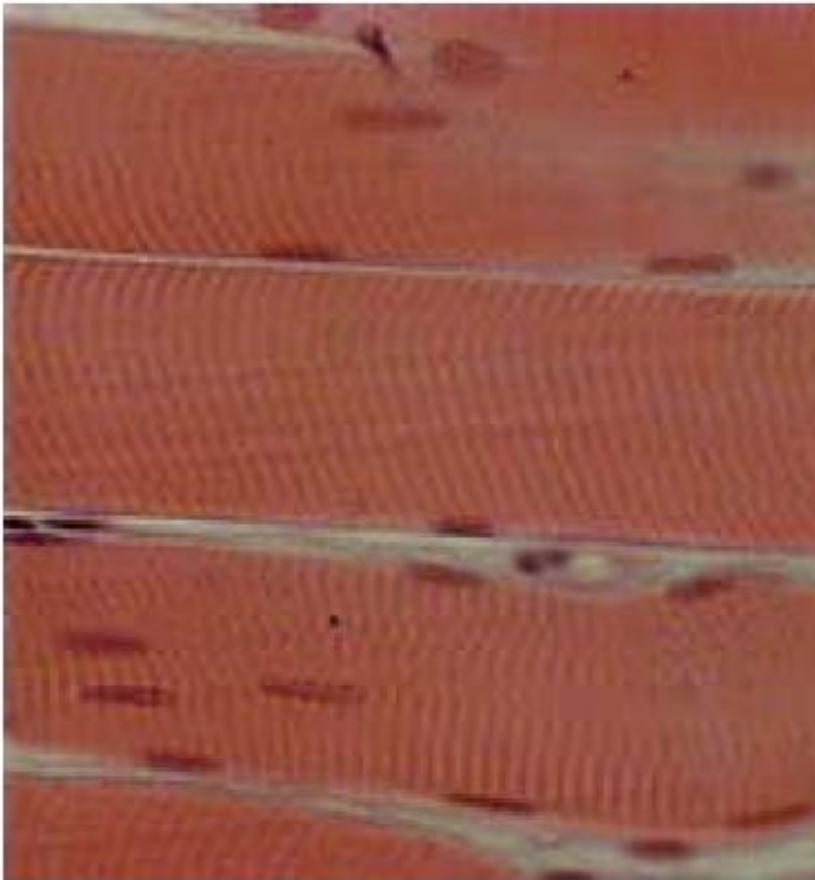
- **Βραδείας συστολής ίνες - ST (slow twitch) fibres**
- **Ταχείας συστολής ίνες - FT (fast twitch) fibres**

Ταξινόμηση μυϊκών ινών

βάσει των ιστοχημικών τους ιδιοτήτων σε:

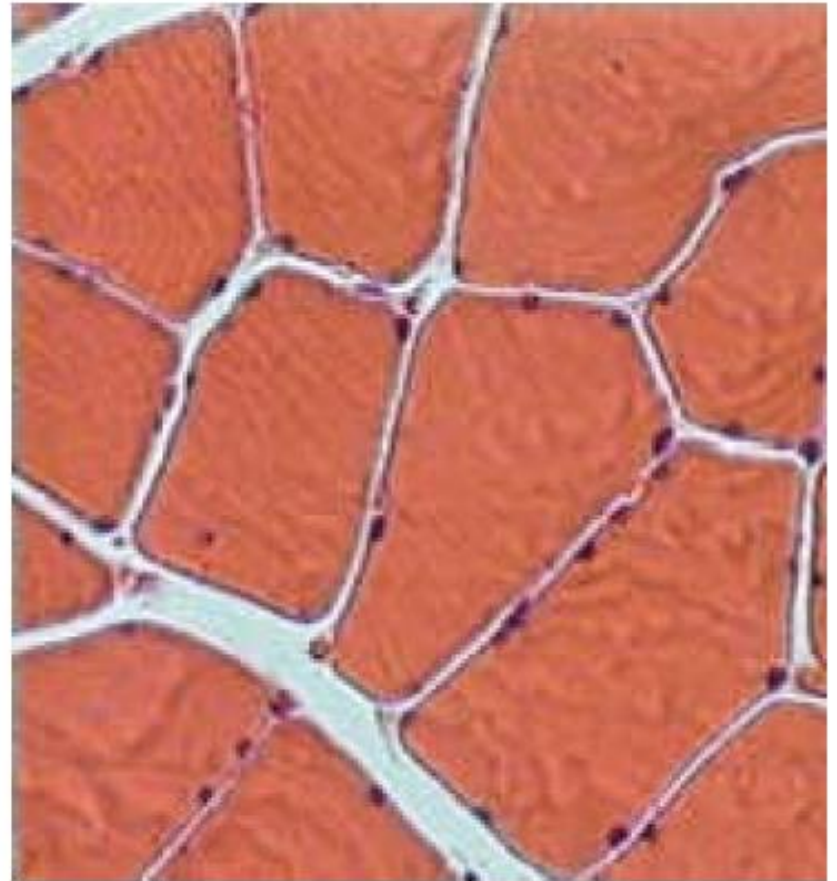
- **Τύπου I – βραδείας συστολής οξειδωτικές**
- **Τύπου IIα – ταχείας συστολής οξειδωγλυκολυτικές**
- **Τύπου IIβ – ταχείας συστολής γλυκολυτικές**
(εικόνα 22)

Μυικές ίνες

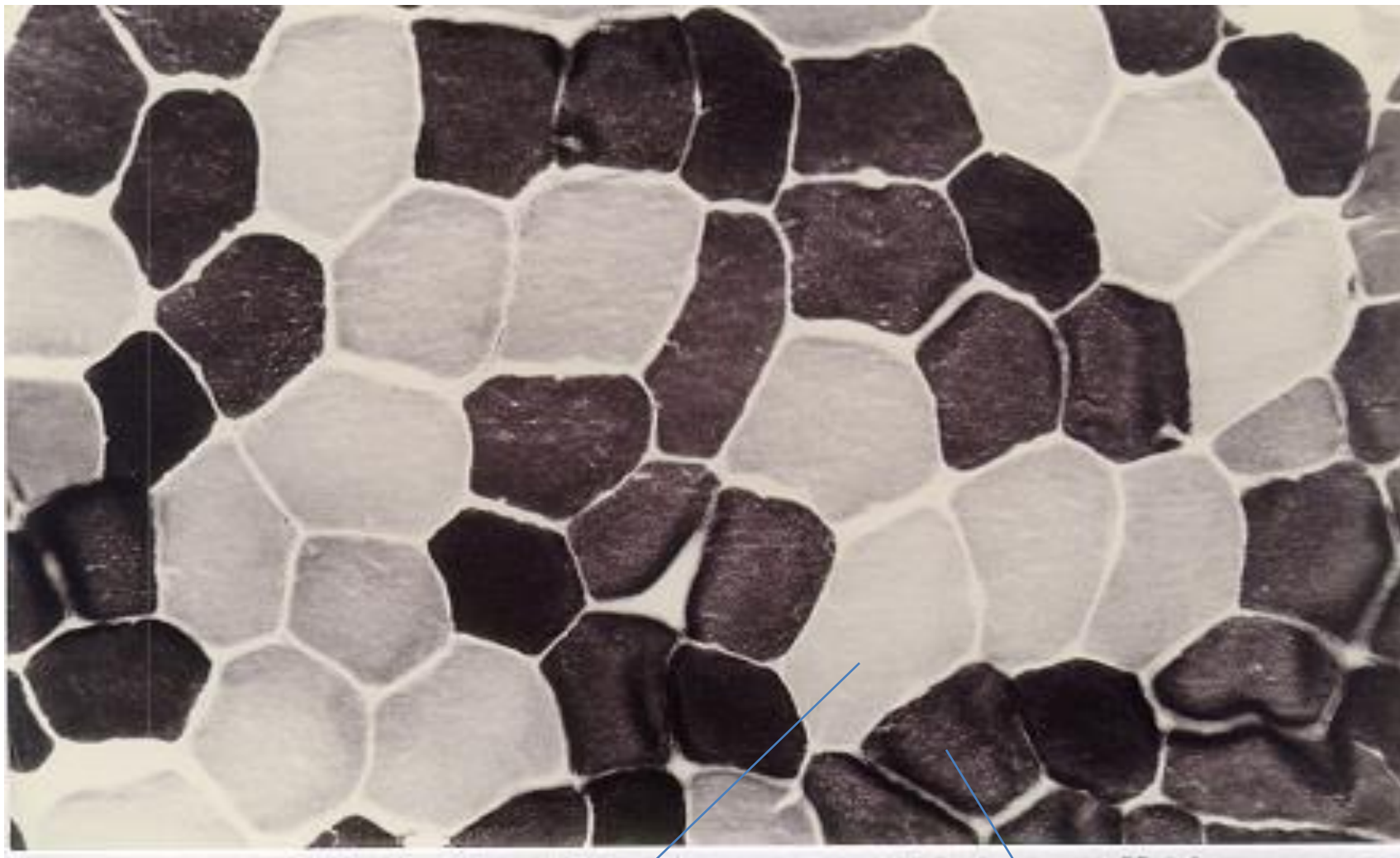


Επιμήκης διατομή

Εικόνα 21



Εγκάρσια διατομή



Εικόνα 22: Ιστοχημική χρώση μυϊκών ινών

Τύπου II – ταχείας συστολής

Τύπου I – βραδείας συστολής

Κατανομή & απόδοση μυϊκών ινών

- Η κατανομή των μυϊκών ινών διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο και δεν υφίσταται μυς με αποκλειστικά έναν τύπο μυϊκών ινών.
- Η απόδοση ενός μυός εξαρτάται από τη σχετική κατανομή των ινών του έτσι, υψηλό ποσοστό ινών ταχείας συστολής συνεπάγεται, μεγαλύτερη δύναμη και ταχύτητα και αντίστροφα.

Ταξινόμηση μυϊκών ινών

Κατανομή ινών βραδείας συστολής στους γαστροκνήμιους μυς αθλητών παγκόσμιας κλάσης:

- Μαραθωνοδρόμοι : 90 - 95%
- Δρομείς ταχυτήτων : ~25%

Εκλεκτική επιστράτευση μυϊκών ινών

- Οι μυϊκές ίνες **ταχείας συστολής** επιστρατεύονται σε γρήγορες και μεγάλης ισχύος κινήσεις,
- ενώ οι **βραδείας συστολής** σε αργές και μικρής έντασης κινήσεις.
- Η επιστράτευση των μυϊκών ινών εξαρτάται από τη διεγερσιμότητα των κινητικών ομάδων στις οποίες ανήκουν.

Εκλεκτική επιστράτευση μυϊκών ινών

- Οι ίνες ταχείας συστολής απαιτούν υψηλό δυναμικό ενέργειας (ερεθίσματα μεγάλης έντασης) για να δραστηριοποιηθούν, ενώ οι βραδείας απαιτούν χαμηλό δυναμικό ενέργειας.
- Όταν η ένταση της μυϊκής συστολής είναι μέγιστη, ακόμη και σε χαμηλές ταχύτητες, συμμετέχουν τόσο οι βραδείας όσο και οι ταχείας συστολής.

Απόδοση των μυϊκών ινών

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	Βραδείας συστολής	Ταχείας συστολής
Αερόβια ικανότητα	υψηλή	χαμηλή
Αναερόβια ικανότητα	χαμηλή	υψηλή
Χρόνος συστολής	μεγάλος	μικρός
Δύναμη συστολής	χαμηλή	υψηλή
Μυϊκή ισχύς	χαμηλή	υψηλή
Δείκτης κόπωσης	χαμηλός	υψηλός

Επίδραση της προπόνησης στις μυϊκές ίνες

- Μετά από προπόνηση μερικών μηνών ταχύτητας, δύναμης ή αντοχής **μειώνεται** το ποσοστό των μυϊκών ινών **IIB** ενώ **αυξάνεται** παράλληλα το ποσοστό των μυϊκών ινών **IIA**.

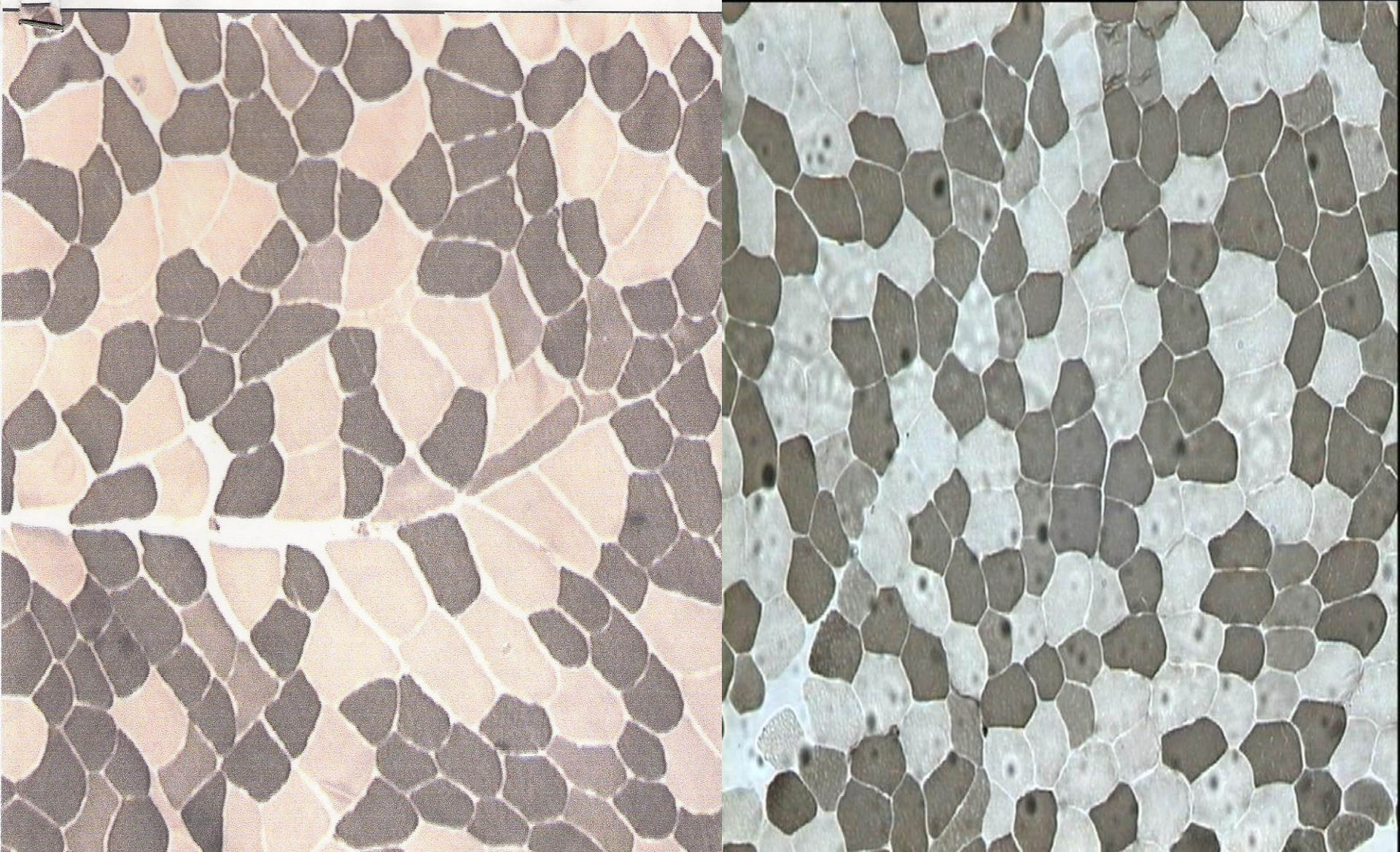
Επίδραση της προπόνησης στις μυϊκές ίνες

- Η προπόνηση δύναμης βελτιώνει τη μέγιστη μυϊκή δύναμη που παράγει ένας μυς και αυξάνει την εγκάρσια επιφάνεια του.
- Η μυϊκή μάζα αρχίζει και αυξάνεται σε εντάσεις που να ξεπερνούν το 60 με 70% της μέγιστης μυϊκής δύναμης που μπορεί να παράγει ένας μυς.

Επίδραση της προπόνησης στις μυϊκές ίνες

- ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ ΤΩΝ ΜΥΙΚΩΝ ΙΝΩΝ: Αύξηση της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών. (εικόνα 23).
- ΥΠΕΡΠΛΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΥΙΚΩΝ ΙΝΩΝ: Αύξηση του αριθμού των μυϊκών ινών.

Ο αριθμός των μυϊκών ινών καθορίζεται από την εμβρυακή ηλικία και παραμένει σταθερός και αμετάβλητος.



Εικόνα 23. Μυϊκές ίνες από τον έξω πλατύ μηριαίο μυ ενός αθλητή σωματοδόμησης (α) και ενός φοιτητή φυσικής αγωγής (β) όπως φαίνονται στο οπτικό μικροσκόπιο. Ιστοχημική χρώση σε pH 4.6.

- **Ερώτηση:** Τι εφαρμογές έχει η γνώση της εκλεκτικής υπερτροφίας και επιστράτευσης των μυϊκών ινών στην αθλητική προπόνηση;