



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Υπουργείο Παιδείας
και Θρησκευμάτων



ΕΡΓΟΜΕΤΡΙΑ

ΜΥΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΗ

ΔΡ. Ε. ΔΗΜΗΤΡΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ, M.SC., PH.D.

ΠΡΟΠΟΝΗΤΗΣ ΚΑΛΑΘΟΣΦΑΙΡΙΣΗΣ, B.SC.

ΦΥΣΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΕΙΔΙΚΟΥΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥΣ, M.SC.

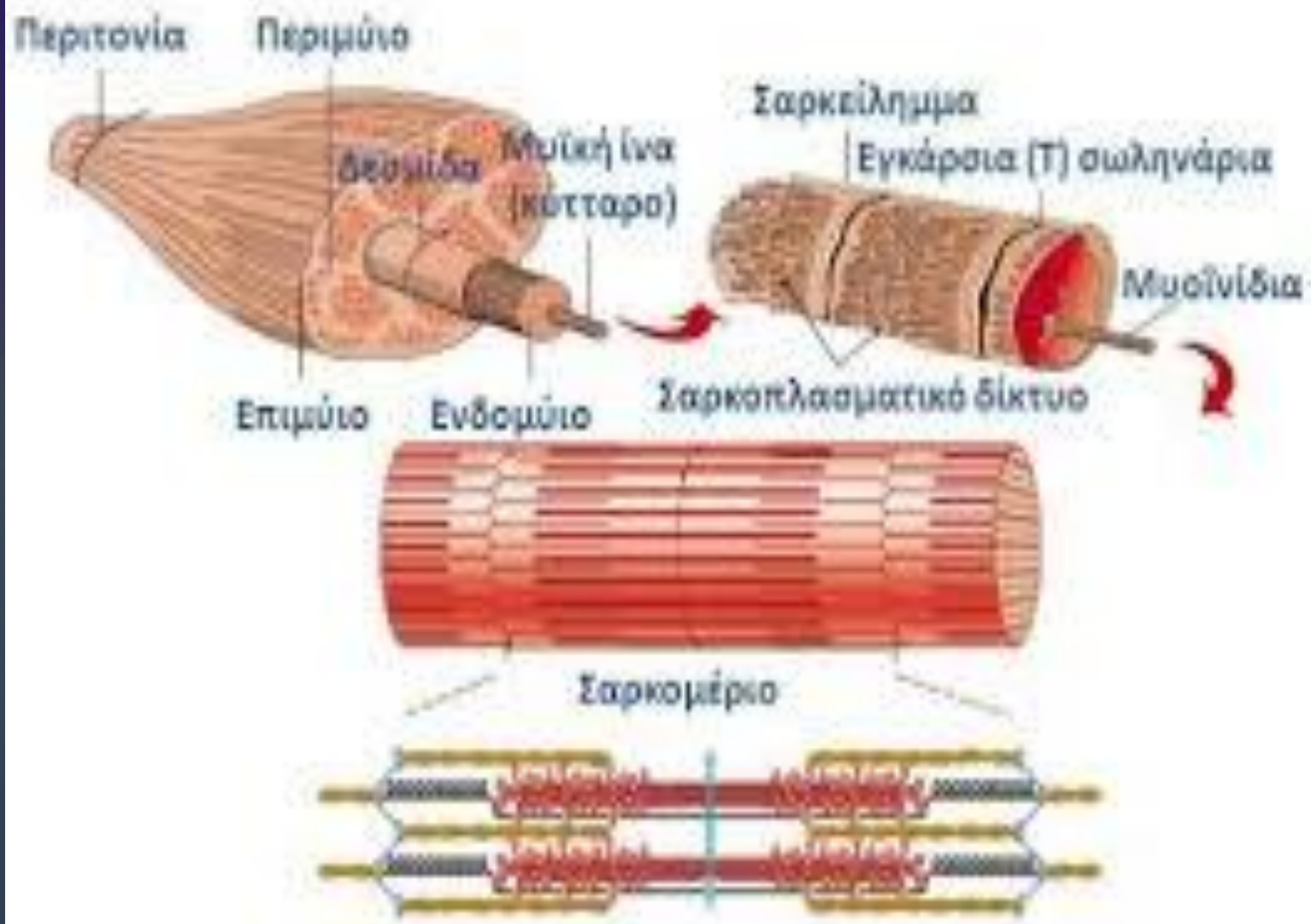
ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΟΣ, PH.D.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΥΩΝ

- ▶ Κύρια λειτουργία του μυός:
 - ▶ Κίνηση του ανθρωπίνου σώματος
 - ▶ Μέσω της μετατροπής της χημικής σε μηχανική ενέργεια

ΔΟΜΗ ΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΜΥΟΣ

- ▶ Μυς (περιβάλλεται από το επιμύιο = ινώδης συνδετικός ιστός)
- ▶ Μυϊκή ίνα
 - ▶ Το επιμύιο περικλύει μυϊκές ίνες συγκροτημένες σε δεμάτια
 - ▶ 1 δεμάτιο περιλαμβάνει περίπου 150 μυϊκές ίνες και περιβάλλεται από το περιμύιο (υμένας συνδετικού ιστού)
 - ▶ Κάθε μυϊκή ίνα ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες με το ενδομύιο (λεπτός υμένας)
 - ▶ Όλοι οι υμένες συγχωνεύονται και σχηματίζουν τον τένοντα (ανθεκτικός συνδετικός ιστός)
- ▶ Μυοϊνίδια



ΜΥΪΚΗ ΙΝΑ

- ▶ Σαρκείλημα

- ▶ Κυτταρική μεμβράνη που περιβάλλει την μυϊκή ίνα

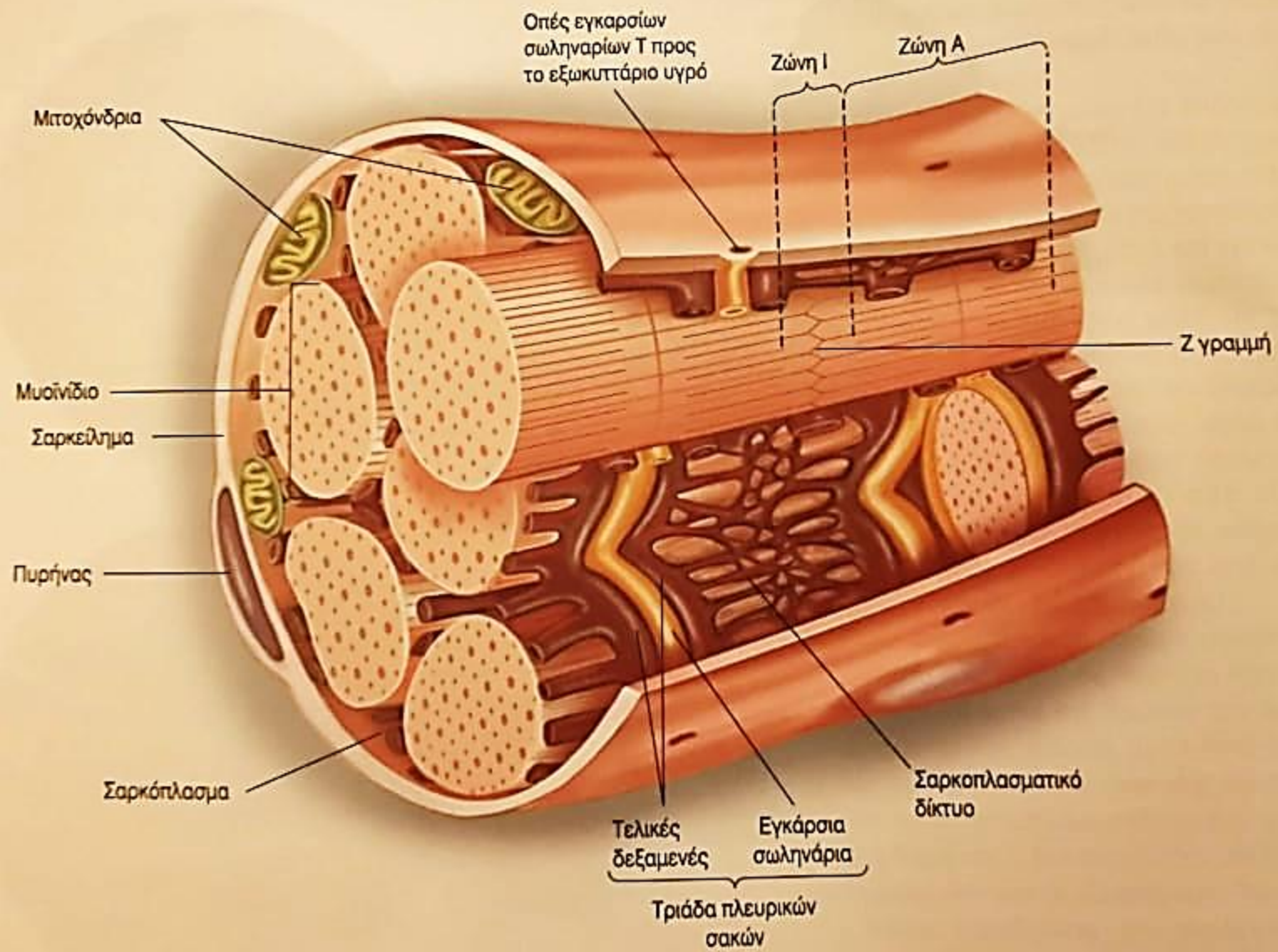
- ▶ Σαρκόπλασμα

- ▶ Το κυτταρόπλασμα της μυϊκής ίνας

- ▶ Περιέχει γλυκογόνο, μυοσφαιρίνη, ένζυμα, λίπη, πρωτεΐνες, μέταλλα, κυτταρικά οργανίδια, μιτοχόνδρια

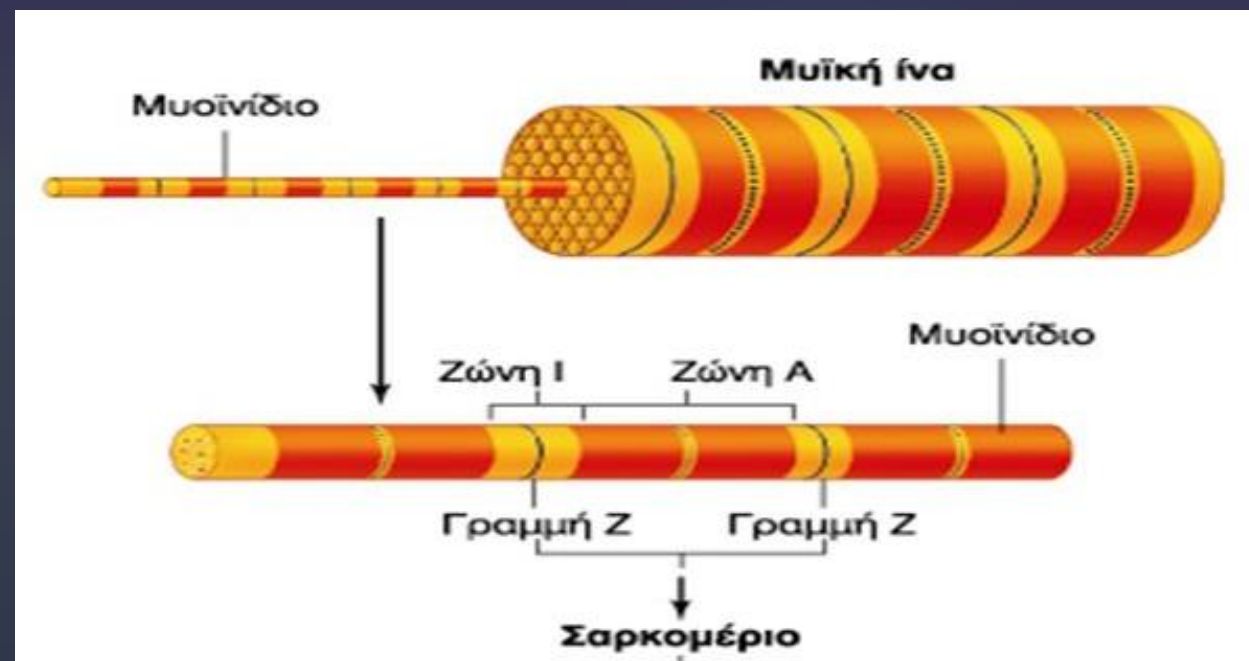
- ▶ Σύστημα εγκαρσίων σωληνάρων T, (συμμετέχουν στην διαβίβαση των νευρικών ώσεων)

- ▶ Σαρκοπλασματικό δίκτυο (αποθήκη Ασβεστίου)



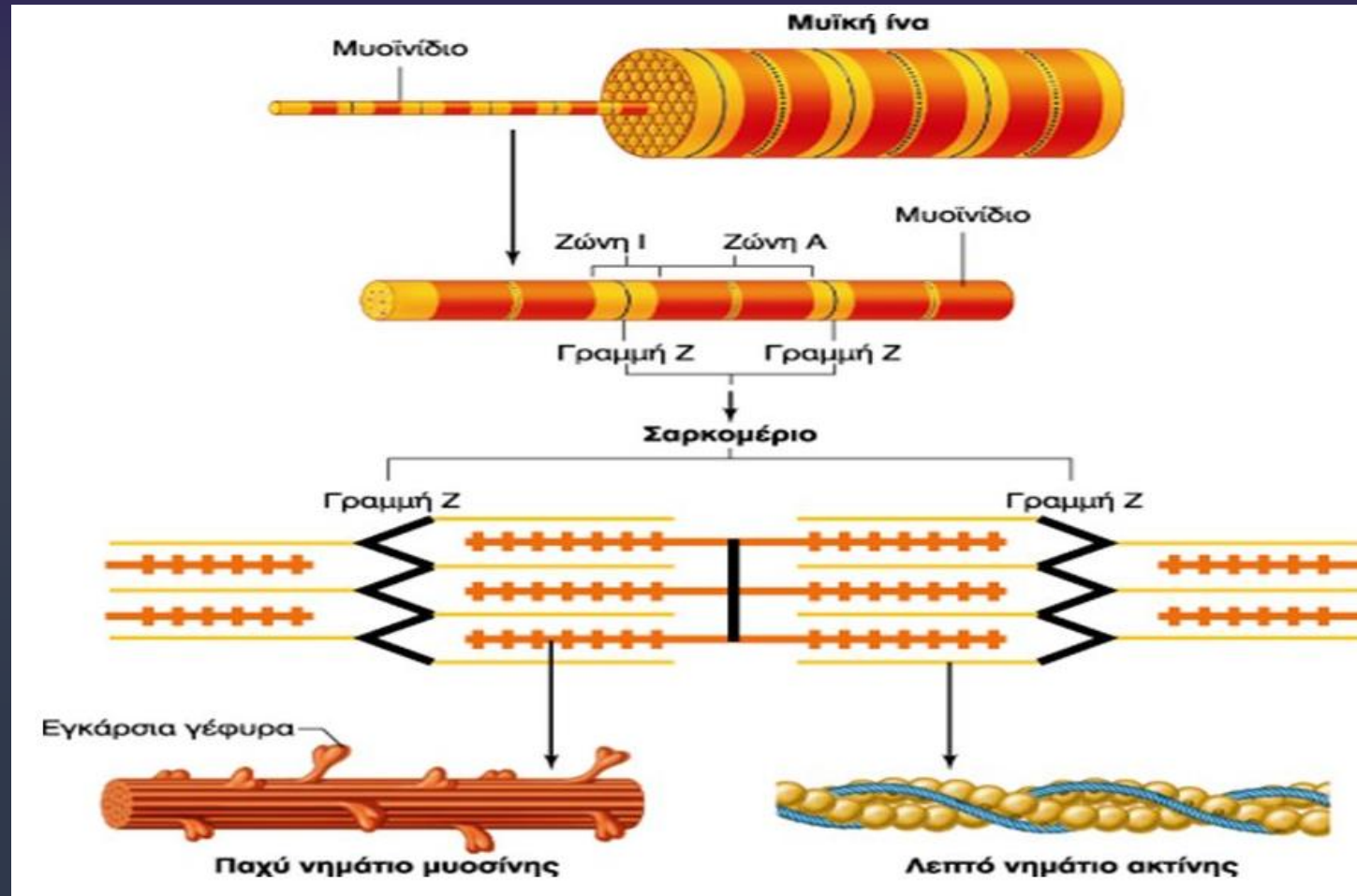
ΜΥΟΪΝΙΔΙΟ

- ▶ Τα μυοϊνίδια αποτελούν τα συστατικά στοιχεία του μυός
- ▶ Τα μυοϊνίδια αποτελούνται από πολλά σαρκομέρια του μυός
- ▶ Το σαρκομέριο αποτελεί τη μικρότερη λειτουργική μονάδα του συστατικού συστήματος του μυός



ΣΑΡΚΟΜΕΡΙΟ

- ▶ Το σαρκομέριο αποτελείται από παχιά και λεπτά μυονημάτια
- ▶ Τα παχιά νημάτια περιέχουν την πρωτεΐνη μυοσίνη
- ▶ Τα λεπτά νημάτια περιέχουν την πρωτεΐνη ακτίνη



ΣΑΡΚΟΜΕΡΙΟ

▶ Ακτίνη

- ▶ Με την ακτίνη συνδέονται 2 ακόμα πρωτεΐνες

- ▶ Τροπομυοσίνη

- ▶ Τροπονίνη

- ▶ Η άκρη της ακτίνης είναι συνδεδεμένη στον δίσκο Z

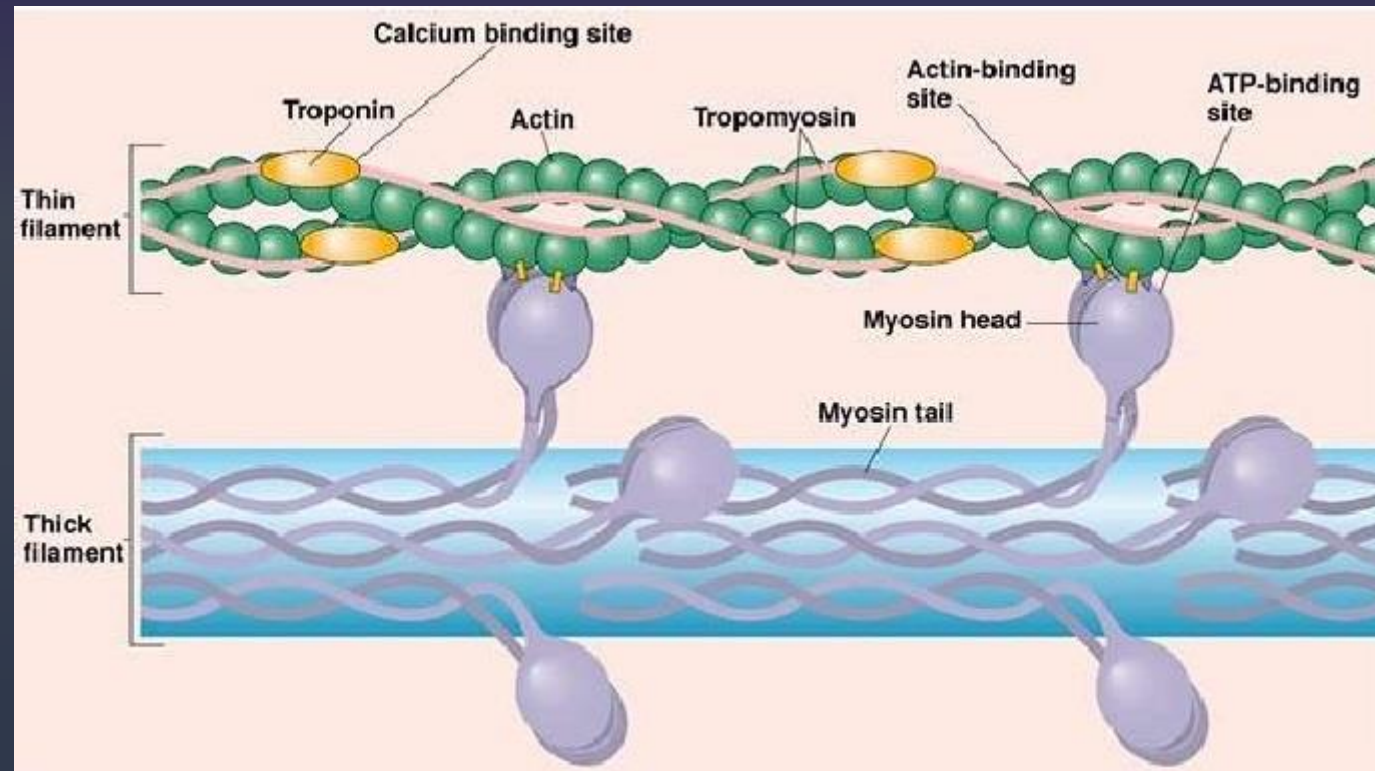
▶ Μυοσίνη

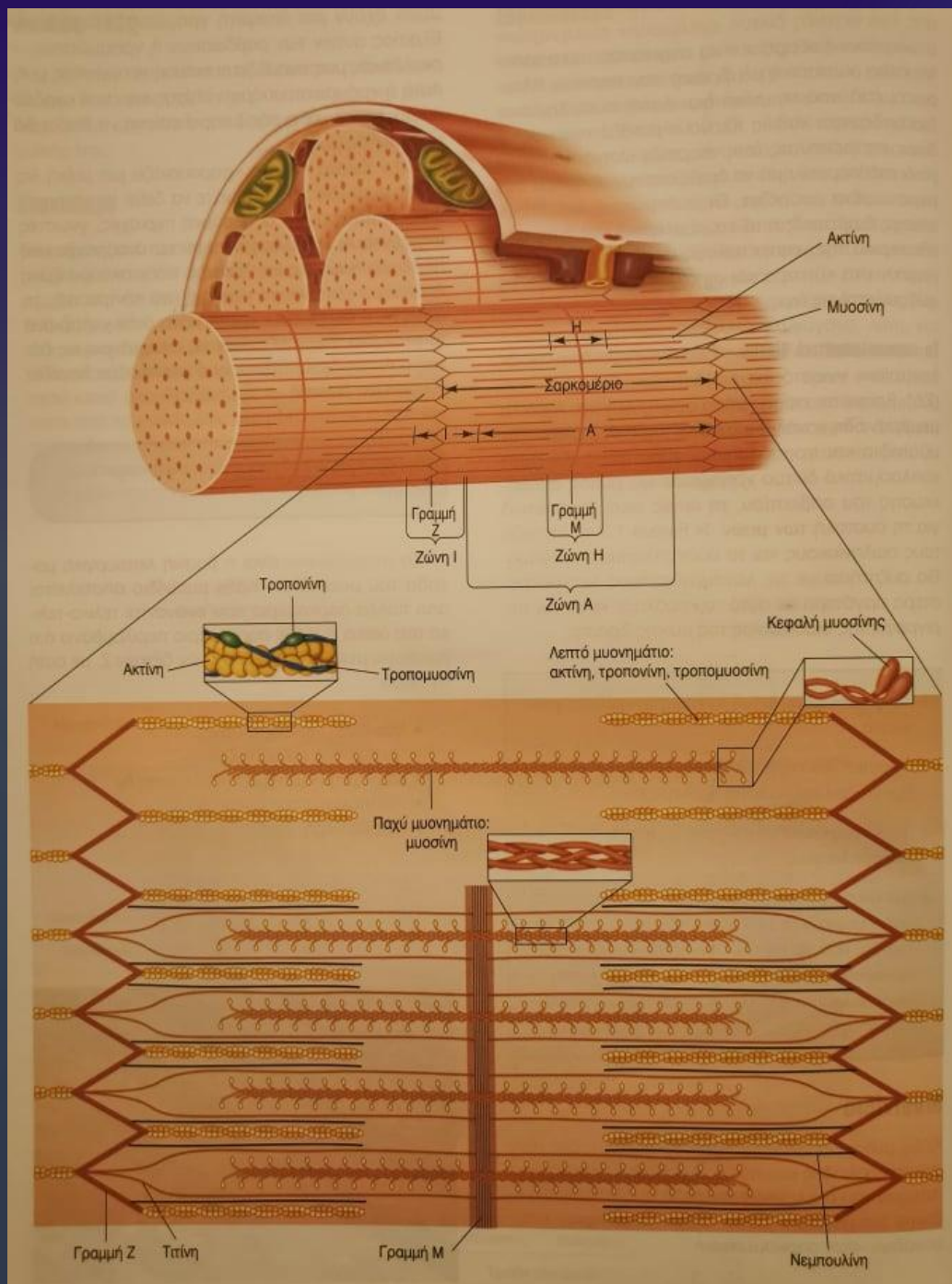
- ▶ Περιέχει τις πρωτεΐνες

- ▶ Τιτίνη

- ▶ Νεμπουλίνη

- ▶ Στην άκρη της μυοσίνης υπάρχουν κεφαλές που ονομάζονται εγκάρσιες γέφυρες

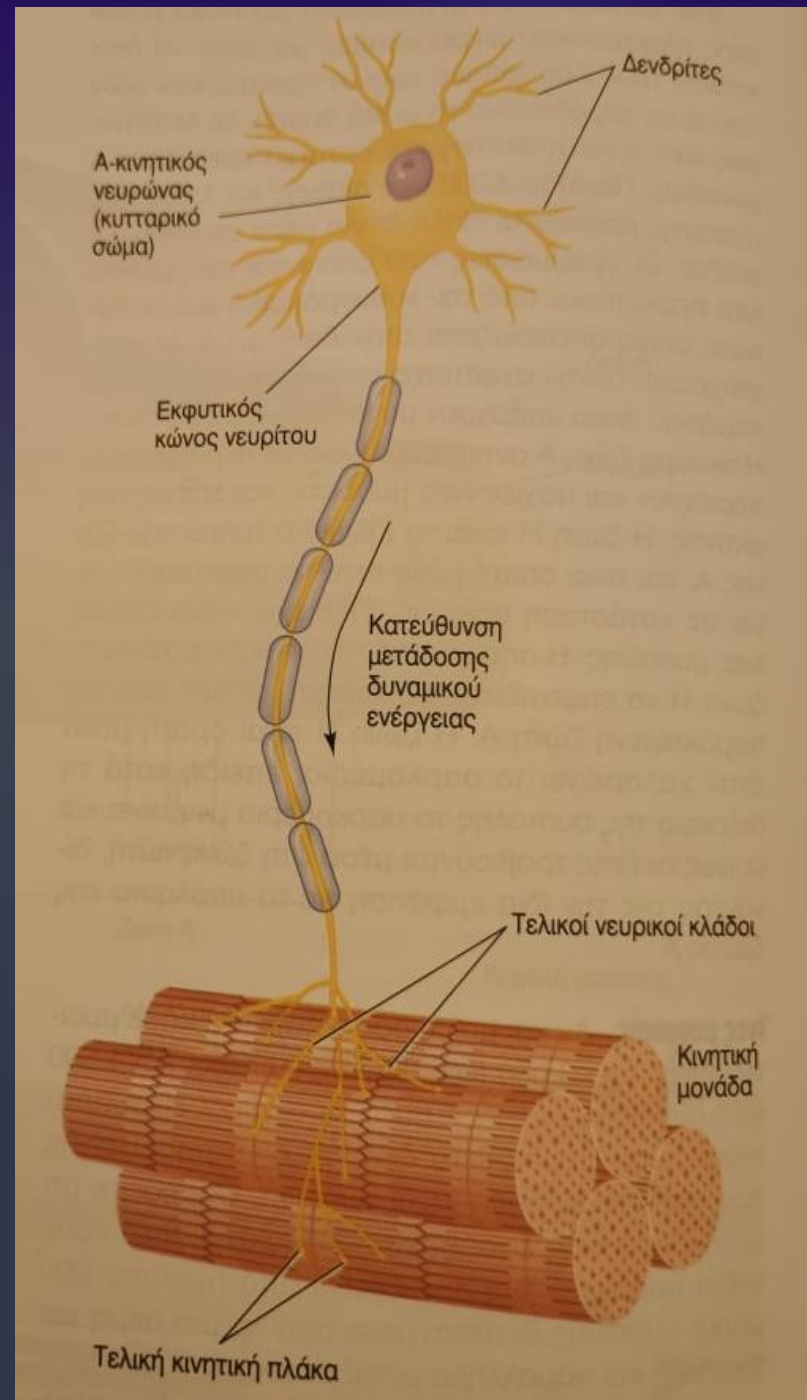
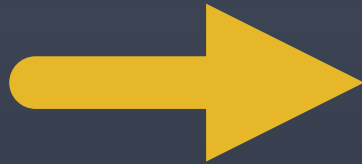




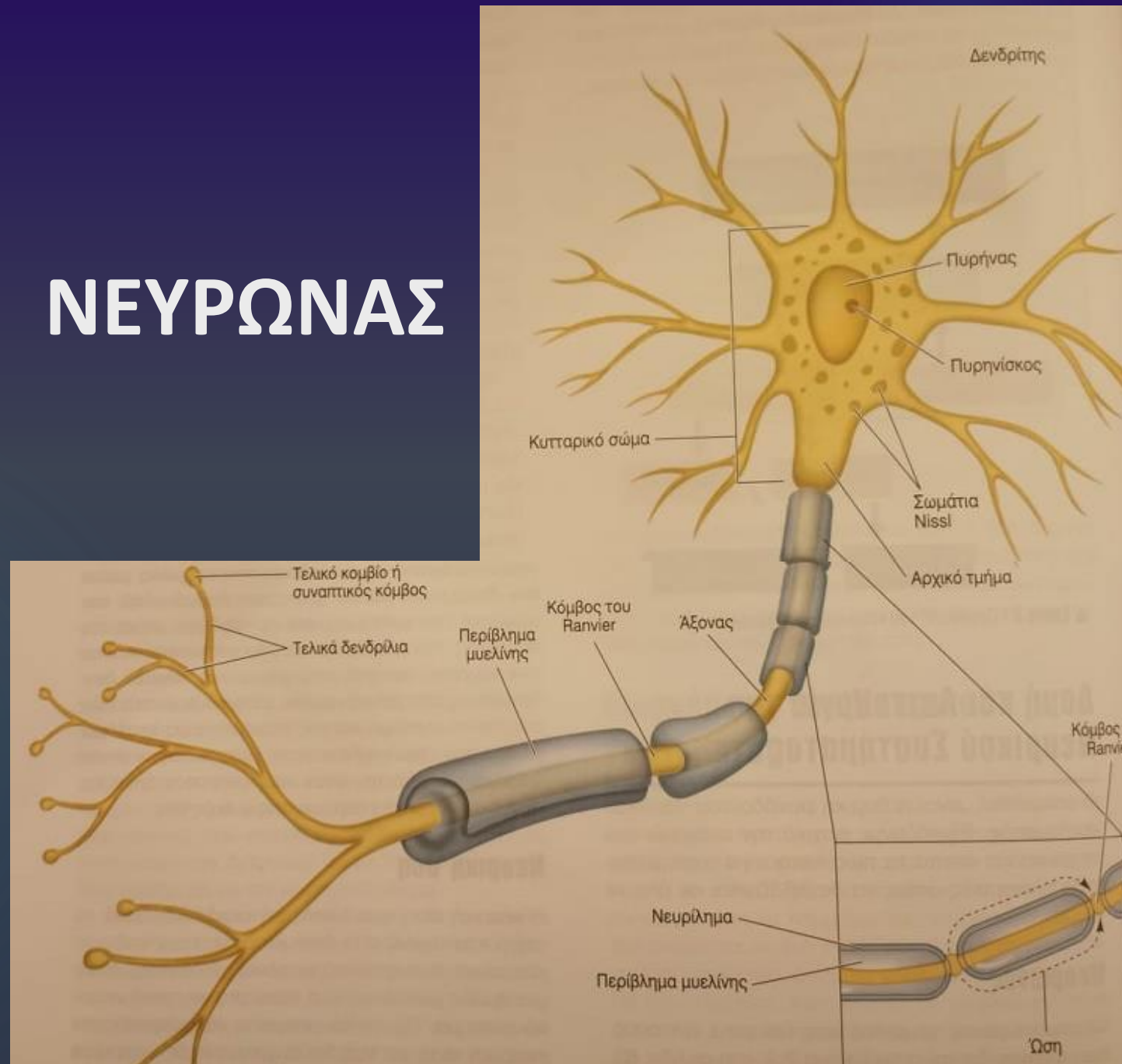
Κινητική Μονάδα

- ▶ Οι μυϊκές ίνες δεν μπορούν να συσταλούν αυτόνομα (χωρίς τη μετάδοση νευρικών ώσεων από το ΚΝΣ)
- ▶ 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 συστολή όλων των μυϊκών ινών, που υπάγονται στη μονάδα αυτή
 - ▶ Όσες περισσότερες κινητικές μονάδες διεγείρονται, τόσο περισσότερες μυϊκές ίνες συστέλλονται και τόσο μεγαλύτερη μυϊκή δύναμη παράγεται

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ




ΝΕΥΡΩΝΑΣ



Σύναψη

- ▶ Η σύναψη είναι ένας εξειδικευμένος αρμός μεταξύ νευρώνων
- ▶ Οι κινητικοί νευρώνες επικοινωνούν με τις μυϊκές ίνες σε μια περιοχή γνωστή ως νευρομυϊκή σύναψη
- ▶ Εξασφαλίζει τη μεταβίβαση των νευρικών ώσεων από τον ένα στον άλλο και μόνο προς μια κατεύθυνση, εκτελώντας χρέη βαλβίδας
- ▶ Κάθε μετασυναπτικός νευρώνας περιέχει χιλιάδες (περίπου 15.000) συναπτικές απολήξεις στην επιφάνεια των δενδριτών ή του κυτταρικού σώματος
- ▶ Οι συναπτικές απολήξεις διογκώνονται, σχηματίζοντας τα συναπτικά κομβία

- ▶ Ο αριθμός μυϊκών ινών σε μια κινητική μονάδα ποικίλει
- ▶ Μικροί μύες (επιδέξιες, συντονισμένες κινήσεις):
 - ▶ Κινητικές μονάδες με λίγες μυϊκές ίνες (π.χ., εξόφθαλμος μυς-μια κινητική μονάδα περιέχει 10 ίνες)
 - ▶ Μεγάλοι μύες (αδρές κινήσεις): κινητικές μονάδες με πολλές μυϊκές ίνες (γαστροκνήμιος-μια κινητική μονάδα περιέχει πάνω από 2000 ίνες)
- ▶ Όσο μικρότερες είναι οι κινητικές μονάδες σε ένα μυ η παραγωγή μυϊκής δύναμης μπορεί να ελεγχθεί με περισσότερη ακρίβεια, επιστρατεύοντας πρόσθετες μυϊκές μονάδες ανάλογα με τις απαιτήσεις της κίνησης


- 
- ▶ Η αύξηση της μυϊκής δύναμης κατά τη μυϊκή συστολή γίνεται κλιμακωτά με 2 τρόπους:
 - ▶ α) αύξηση συχνότητας διέγερσης κινητικής μονάδας
 - ▶ β) ενεργοποίηση μεγαλύτερου αριθμού κινητικών μονάδων
 - ▶ Με το ηλεκτρομυογράφημα μπορούν να προσδιοριστούν οι 2 αυτοί παράγοντες

ΝΕΥΡΟΔΙΑΒΙΒΑΣΤΕΣ

- ▶ Περισσότεροι από 50 νευροδιαβιβαστές έχουν προσδιοριστεί με βεβαιότητα ή θεωρούνται ως πιθανοί υποψήφιοι
- ▶ Η ακετυλοχολίνη και η νοραδρεναλίνη είναι οι δύο βασικοί νευροδιαβιβαστές που:
 - ▶ ενέχονται στη ρύθμιση των φυσιολογικών αντιδράσεων στην άσκηση
 - ▶ διαβιβάζουν τις νευρικές ώσεις στις συνάψεις και τις συναπτικές σχισμές
- ▶ Μόλις ο νευροδιαβιβαστής συνδεθεί με το μετασυναπτικό υποδοχέα, η νευρική ώση έχει διαβιβαστεί επιτυχώς
- ▶ Ο νευροδιαβιβαστής έπειτα είτε καταστρέφεται από ένζυμα είτε μεταφέρεται ενεργά πίσω στις προσυναπτικές απολήξεις για να χρησιμοποιηθεί πάλι όταν φθάσει η επόμενη ώση

Πυροδότηση Νευρικών Ώσεων

- ▶ Όλες οι κινήσεις οφείλονται σε νευρικές ώσεις που αποστέλλει το ΚΝΣ στους σκελετικούς μυς
- ▶ Η νευρική ώση είναι ένα κύμα εκπόλωσης που άγεται κατά μήκος της νευρικής ίνας με μεγάλη ταχύτητα
- ▶ Η γένεση και πυροδότησή της νευρικής ώσης οφείλεται κυρίως σε διαφορές συγκέντρωσης ιόντων Na και K στο ενδοκυττάριο και εξωκυττάριο υγρό, και στη διαφορά διαβατότητας που εμφανίζει η κυτταρική μεμβράνη στα ιόντα αυτά

- 
- ▶ Για καλύτερη μόνωση και ταχύτερη αγωγή της νευρικής ώσης ο νευράξονας περιβάλλεται με το περίβλημα της μυελίνης
 - ▶ Η αγωγή των ώσεων γίνεται με άλματα από περίσφιξη σε περίσφιξη, 50 πλασιάζοντας την ταχύτητα αγωγής
 - ▶ Η ταχύτητα αγωγής εξαρτάται από τη διάμετρο της νευρικής ίνας και την αντίσταση (όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα αγωγής)

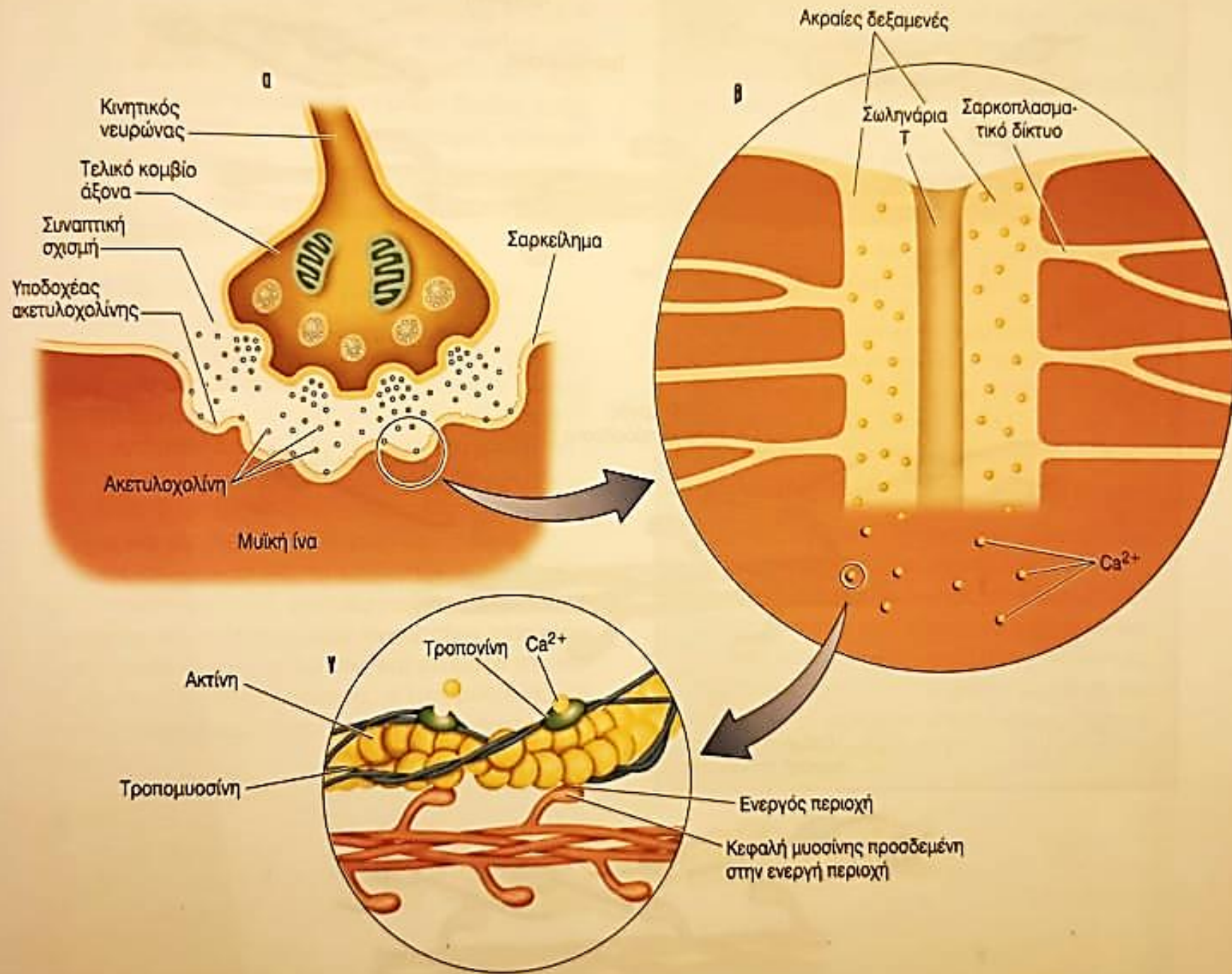
- ▶ Η νευρική ώση φθάνει στις άκρες του νεύρου, αποκαλούμενες τελικά κομβία, τα οποία βρίσκονται πολύ κοντά στο σαρκείλημα
- ▶ Οι νευρικές απολήξεις εκκρίνουν μια ουσία νευροδιαβιβαστή αποκαλούμενη ακετυλοχολίνη (ACh), η οποία συνδέεται με τους υποδοχείς του σαρκειλήματος
- ▶ Εάν αρκετή ACh συνδεθεί με τους υποδοχείς, μια ηλεκτρική φόρτιση θα διαβιβαστεί καθ' όλο το μήκος της μυϊκής ίνας, καθώς ιοντικοί δίαυλοι ανοίγουν μέσα στην κυτταρική μεμβράνη του μυός και επιτρέπουν στο νάτριο να εισέλθει
- ▶ Αυτή η διαδικασία αναφέρεται ως εκπόλωση και οδηγεί στη διέγερση, ή την παραγωγή, ενός δυναμικού ενέργειας
- ▶ Για να μπορέσει να ενεργήσει το μυϊκό κύτταρο πρέπει να παραχθεί σε αυτό ένα δυναμικό ενέργειας

ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΤΗΝ ΜΥΪΚΗ ΙΝΑ

- ▶ Πέραν του ότι προκαλεί την εκπόλωση της μεμβράνης των ινών, η ηλεκτρική ώση ταξιδεύει μέσω του δικτύου σωληναρίων της ίνας [Τ σωληνήσκοι και σαρκοπλασματικό δίκτυο (ΣΔ)] στο εσωτερικό του κυττάρου
- ▶ Η άφιξη μιας ηλεκτρικής ώσης αναγκάζει το ΣΔ να απελευθερώσει μεγάλες ποσότητες αποθηκευμένων ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) στο σαρκόπλασμα
- ▶ Σε κατάσταση ηρεμίας, τα μόρια τροπομυοσίνης θεωρείται ότι βρίσκονται πάνω από τις ενεργές περιοχές, των ινών ακτίνης, αποτρέποντας ή αποδυναμώνοντας τη σύνδεση κεφαλών μυοσίνης σε αυτές
- ▶ Μόλις απελευθερωθούν τα ιόντα ασβεστίου από το ΣΔ, αυτά προσδένονται στην τροπονίνη στις ίνες ακτίνης

ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΤΗΝ ΜΥΪΚΗ ΙΝΑ

- ▶ Η τροπονίνη, με την ισχυρή συγγένειά της προς τα ιόντα ασβεστίου, θεωρείται ότι κινεί τη διαδικασία δράσης με τη μετακίνηση των μορίων τροπομυοσίνης από τις ενεργές περιοχές των ινών ακτίνης
- ▶ Επειδή η τροπομυοσίνη συνήθως "κρύβει" τις ενεργές περιοχές, εμποδίζει την έλξη μεταξύ της εγκάρσιας γέφυρας μυοσίνης και της ακτίνης
- ▶ Εντούτοις, μόλις ανασηκωθεί η τροπομυοσίνη από τις ενεργές περιοχές μέσω της δράσης της τροπονίνης και του ασβεστίου, οι κεφαλές μυοσίνης μπορούν να συνδεθούν με τις ενεργές περιοχές στις ίνες ακτίνης



ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΥΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ

- ▶ Υπόθεση ολίσθησης μυονηματίων
 - ▶ Η μυϊκή συστολή είναι αποτέλεσμα της παράλληλης ολίσθησης μυονηματίων ακτίνης πάνω από νημάτια μυοσίνης
 - ▶ Κατά τη μυϊκή συστολή η μεταβολή του μήκους του μυός δε συνεπάγεται και μεταβολή του μήκους των μυονηματίων. Τα μυονημάτια μετατοπίζονται, διεισδύουν, γλιστράνε το ένα πάνω στο άλλο, έτσι ώστε οι γραμμές Z να συγκλίνουν

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΥΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ

- ▶ Το μόνο ορατό μηχανικό μέσο που μπορεί να προκαλεί την ολίσθηση μυονηματίων είναι οι κεφαλές των μορίων μυοσίνης, οι εγκάρσιες γέφυρες
- ▶ Οι γέφυρες αυτές με τη βοήθεια ενός στρόφιγγα (που υπάρχει στη βάση τους, λειτουργώντας σα μεντεσές) προσκολλούνται σε μια συνδετική θέση ακτίνης, αποσυνδέονται και απανασυνδέονται σε επόμενη συνδετική θέση
- ▶ Η διαδοχική αυτή κίνηση των γεφυρών γίνεται με χρονική αλληλουχία, με τρόπο ώστε το 50% περίπου να βρίσκεται σε επαφή με την ακτίνη σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή
- ▶ Άρα οι εγκάρσιες γέφυρες προκαλούν τη μυϊκή συστολή και είναι το μέσο παραγωγής της μυϊκής δύναμης (όσο μεγαλύτερος αριθμός γεφυρών ενεργοποιείται, τόσο περισσότερη δύναμη παράγεται)

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΥΪΚΗ ΔΡΑΣΗ

- ▶ Εκτός από την περιοχή συνδέσεως με την ακτίνη, κάθε κεφαλή μυοσίνης περιέχει μια περιοχή σύνδεσης με την τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)
- ▶ Το μόριο της μυοσίνης πρέπει να δεθεί με την ATP για να προκληθεί μυϊκή δράση, επειδή η ATP παρέχει την αναγκαία ενέργεια
- ▶ Το ένζυμο αδενοσινοτριφωσφατάση (ATPase), που βρίσκεται στην κεφαλή μυοσίνης, διασπά την ATP σε διφωσφορική αδενοσίνη (ADP), ανόργανο φωσφορικό άλας (P), και ενέργεια
- ▶ Η ενέργεια που απελευθερώνεται από αυτή τη διάσπαση της ATP χρησιμοποιείται για να προσδέσει την κεφαλή μυοσίνης στην ίνα ακτίνης
- ▶ Κατά συνέπεια, η ATP είναι η χημική πηγή ενέργειας για τη μυϊκή δράση

ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΜΥΪΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ

- ▶ Η μυϊκή δράση συνεχίζεται έως ότου λιγοστέψει το ασβέστιο
- ▶ Το ασβέστιο έπειτα αντλείται πίσω στο ΣΔ ,όπου αποθηκεύεται έως ότου φθάσει μια νέα ηλεκτρική ώση στη μεμβράνη της μυϊκής ίνας
- ▶ Το ασβέστιο επιστρέφει στο ΣΔ μέσω ενός ενεργού συστήματος άντλησης ασβεστίου
- ▶ Αυτή είναι μια άλλη διαδικασία που απαιτεί ενέργεια και στηρίζεται επίσης στην ATP
- ▶ Ενέργεια απαιτείται και για τη φάση δράσης και για τη φάση χάλασης του μυός
- ▶ Όταν απομακρυνθεί το ασβέστιο, η τροπονίνη και η τροπομυοσίνη απενεργοποιούνται
- ▶ Αυτό εμποδίζει τη σύνδεση των εγκάρσιων γεφυρών μυοσίνης και των ινών ακτίνης και σταματά την κατανάλωση ATP
- ▶ Κατά συνέπεια, οι ίνες μυοσίνης και ακτίνης επιστρέφουν στην αρχική χαλαρή κατάστασή τους

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΥΪΚΩΝ ΙΝΩΝ

▶ Βραδείας συστολής (Τύπου I)

- ▶ Παράγουν μικρή μυϊκή ισχύ
- ▶ Μεγάλη αντοχή στον κάματο
- ▶ Ονομάζονται οξειδωτικές καθώς έχουν όλες τις ιδιότητες που είναι απαραίτητες για την αερόβια παραγωγή ενέργειας σε αγωνίσματα και δραστηριότητες αντοχής
- ▶ Έχουν υψηλή πυκνότητα σε μιτοχόνδρια
- ▶ Υψηλή πυκνότητα τριχοειδών αγγείων
- ▶ Υψηλή δραστικότητα οξειδωτικών ενζύμων
- ▶ Υψηλή περιεκτικότητα σε τριγλυκερίδια
- ▶ Υψηλή περιεκτικότητα σε μυοσφαιρίνη

▶ Ταχείας συστολής (Τύπου II)

- ▶ Έχουν τις ιδιότητες που είναι απαραίτητες για αναερόβια παραγωγή ενέργειας
- ▶ Πλούσιες πηγές γλυκογόνου και φωσφοκρεατίνης
- ▶ Υψηλή δραστικότητα γλυκολυτικών ενζύμων
- ▶ Παράγουν περισσότερη δύναμη και σε μικρότερο χρόνο

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΥΪΚΩΝ ΙΝΩΝ

ΜΥΪΚΕΣ ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ II



- ▶ Οξειδωγλυκολυτικές (Τύπου IIa)
- ▶ ημι-ανθεκτικές στον κάματο
- ▶ γλυκολυτικές (τύπου IIb)
- ▶ πολύ ευαίσθητες στον κάματο

Ταξινόμηση των Τύπων Μυϊκών Ινών

Ταξινόμηση Ινών

Σύστημα 1	Βραδείας συστολής (ST)	Ταχείας συστολής α (FT _α)	Ταχείας συστολής β (FT _β)
Σύστημα 2	Τύπος I	Τύπος IIα	Τύπος IIβ
Σύστημα 3	Αργή οξειδωτική	Γρήγορη οξειδογλυκολυτική	Γρήγορη γλυκολυτική

Χαρακτηριστικά των τύπων ινών

Οξειδωτική ικανότητα	Υψηλή	Σχετικά υψηλή	Χαμηλή
Γλυκολυτική ικανότητα	Χαμηλή	Υψηλή	Ύψιστη
Ταχύτητα συστολής	Αργή	Γρήγορη	Γρήγορη
Αντοχή στην κόπωση	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Δύναμη κινητικής μονάδας	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή

ΜΥΪΚΗ ΒΙΟΨΙΑ

- ▶ Μέσω της μυϊκής βιοψίας παρέχονται πληροφορίες όπως:
 - ▶ Εγκάρσια επιφάνεια μυϊκών ινών
 - ▶ Κατανομή μυϊκών ινών
 - ▶ Πυκνότητα τριχοειδών αγγείων
 - ▶ Οξειδωτικά και γλυκολυτικά ένζυμα
 - ▶ Μυϊκό γλυκογόνο

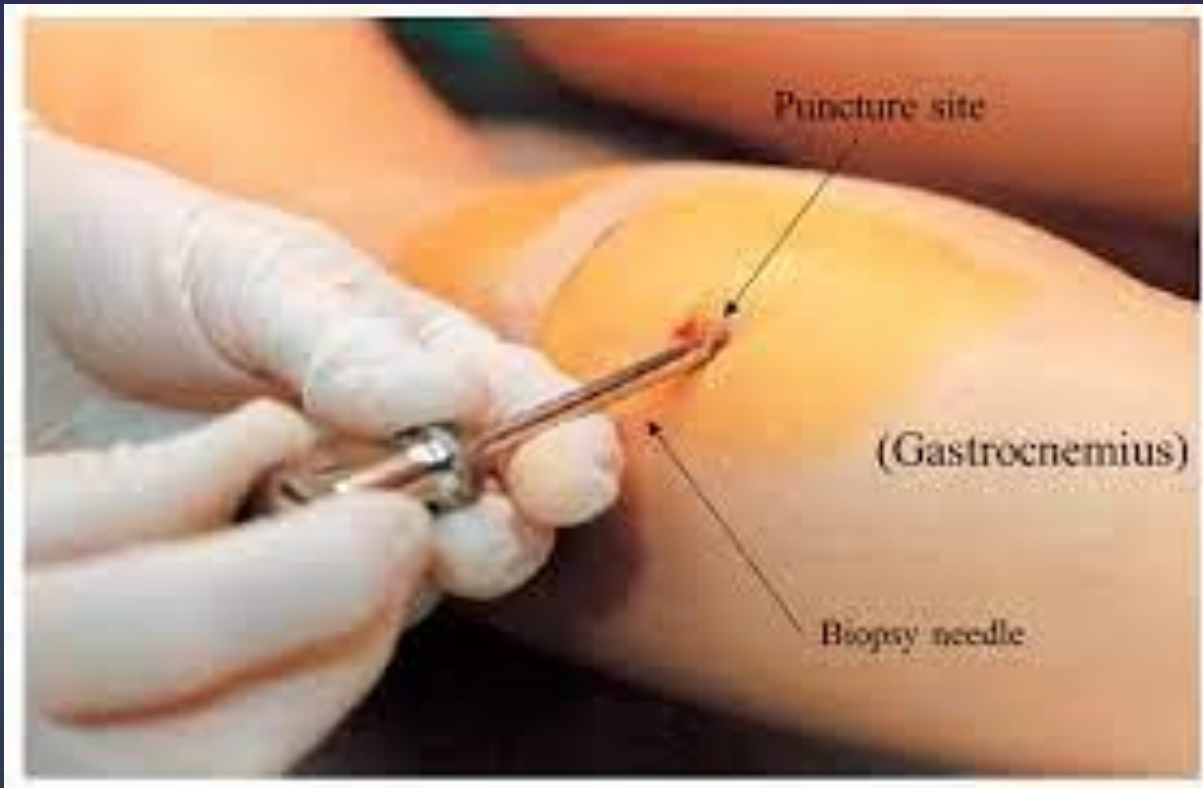
ΛΗΨΗ ΜΥΪΚΗΣ ΒΙΟΨΙΑΣ

- ▶ Εντοπισμός περιοχής λήψης
- ▶ Απολύμανση περιοχής
- ▶ Τοπική αναισθησία

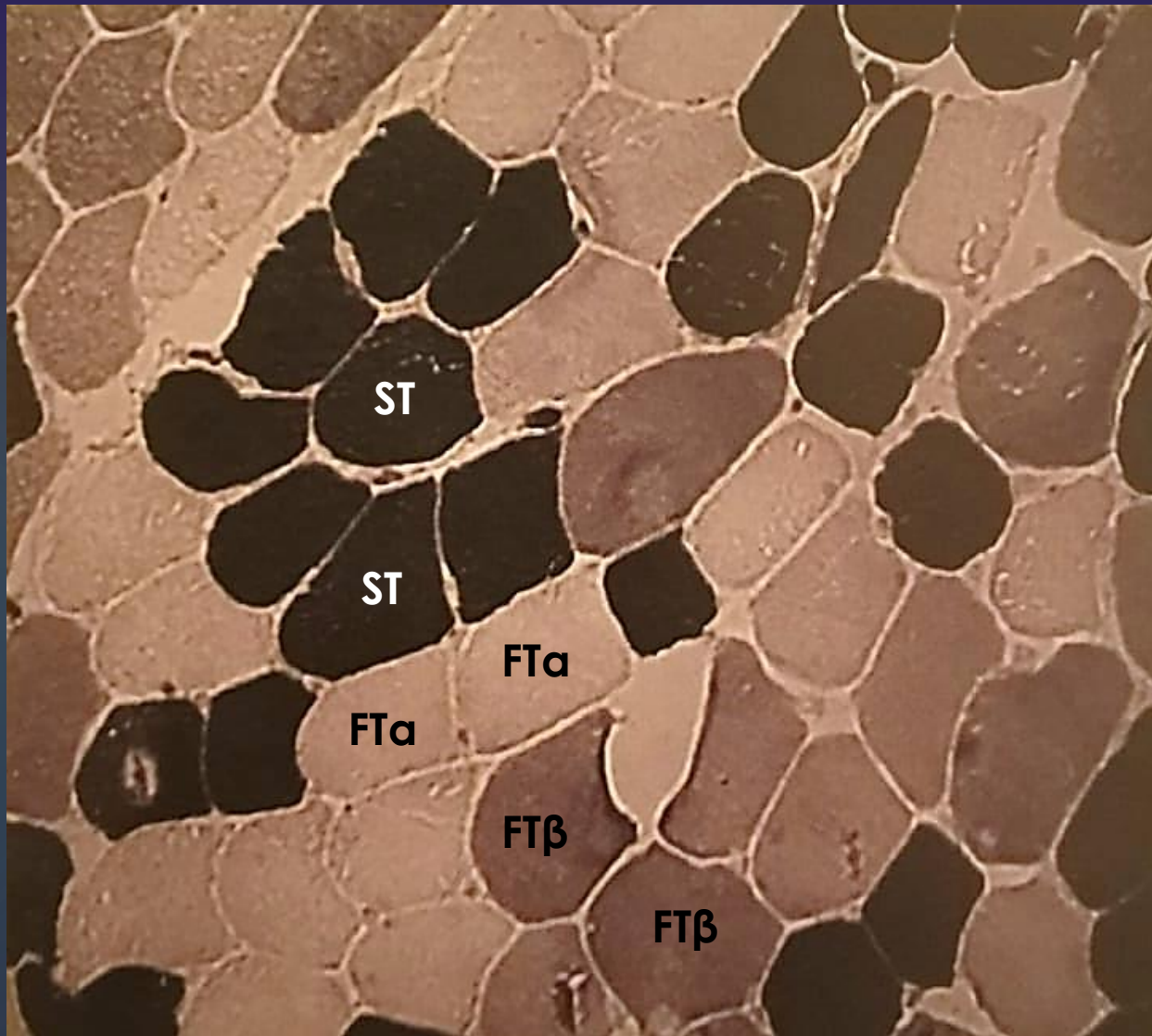




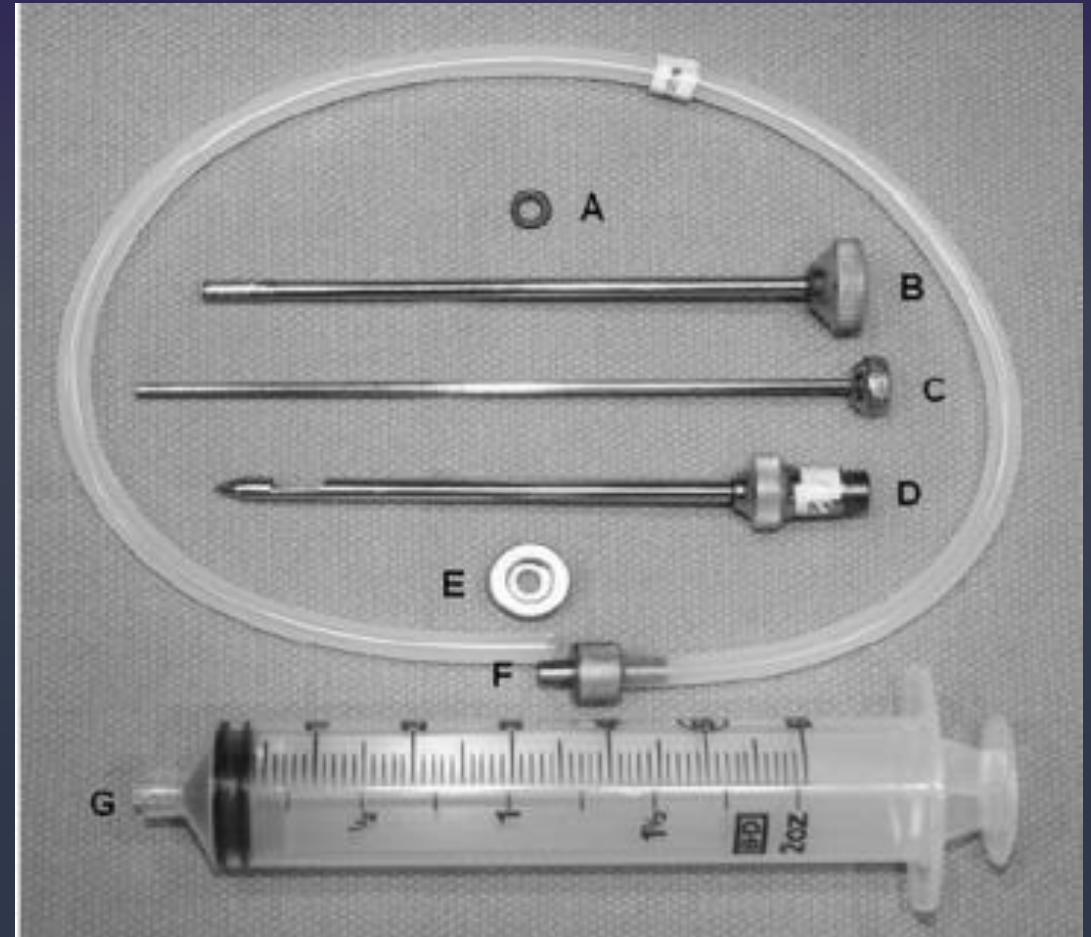
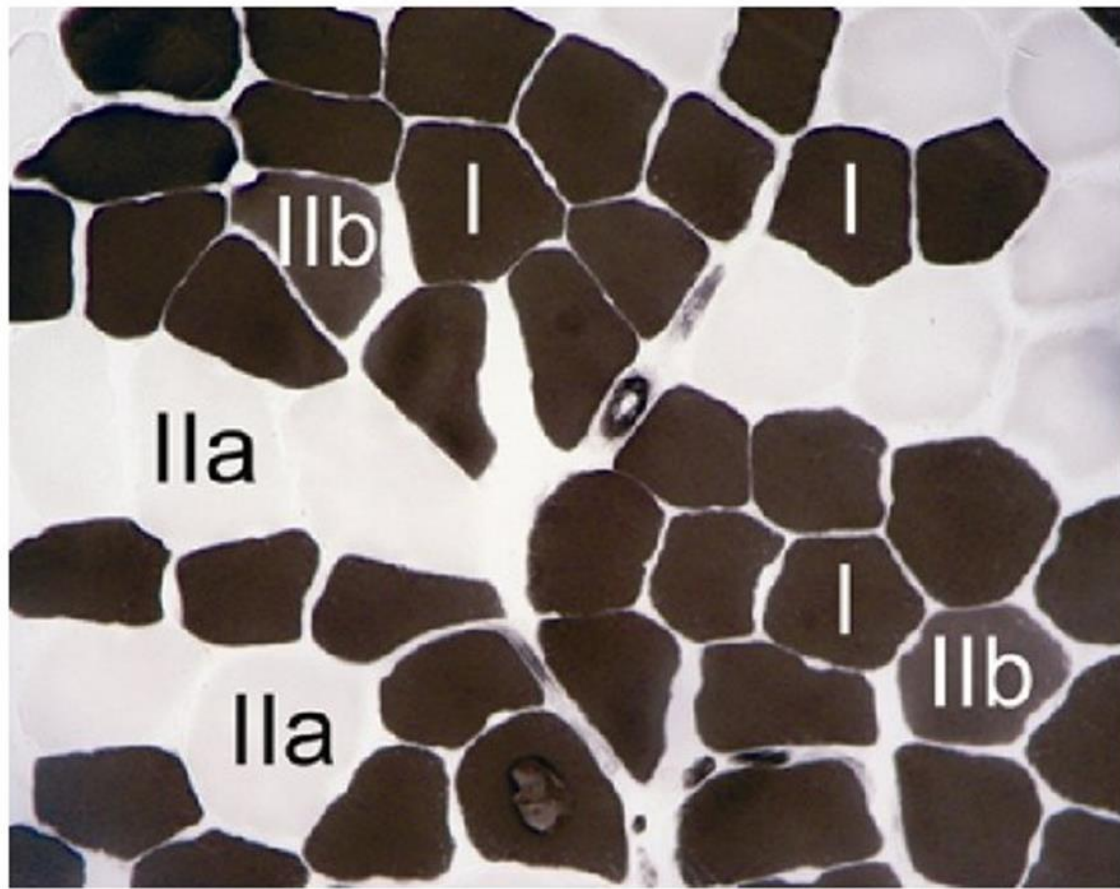
ΜΥΪΚΗ ΒΙΟΨΙΑ



ΜΥΪΚΗ ΒΙΟΨΙΑ



ΜΥΪΚΗ ΒΙΟΨΙΑ



ΕΙΔΗ ΜΥΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ

- ▶ Ισομετρική
 - ▶ Το συνολικό μήκος του μυός παραμένει σταθερό
 - ▶ Δεν παράγεται μηχανικό έργο
- ▶ Πλειομετρική (έκκεντρη)
 - ▶ Αυξάνεται το συνολικό μήκος του μυός αντενεργώντας στην εξωτερική επιβάρυνση που είναι πέρα από τη δύναμη του
 - ▶ Παράγεται αρνητικό μηχανικό έργο
 - ▶ Προηγείται της μειομετρικής
- ▶ Μειομετρική (σύγκεντρη)
 - ▶ Βραχύνεται το συνολικό μήκος του μυός
 - ▶ Παράγεται θετικό μηχανικό έργο

ΕΙΔΗ ΜΥΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ

- ▶ Με την πλειομετρική συστολή παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή δύναμη, με τη μειομετρική η μικρότερη, ενώ με την ισομετρική η δύναμη που παράγεται βρίσκεται σε ενδιάμεσα επίπεδα με τις δύο προηγούμενες

ΜΥΪΚΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- ▶ Υπερτροφία μυϊκών ινών
 - ▶ Αύξηση του μεγέθους τους
- ▶ Υπερπλασία των μυϊκών ινών
 - ▶ Αύξηση του αριθμού τους
- ▶ Μετατροπή των μυϊκών ινών
 - ▶ Ταχείας συστολής Τύπου IIb σε Τύπου IIa
- ▶ Με τη διακοπή της άσκησης ή την ακινητοποίηση
 - ▶ Τύπου IIa σε Τύπου IIb

