



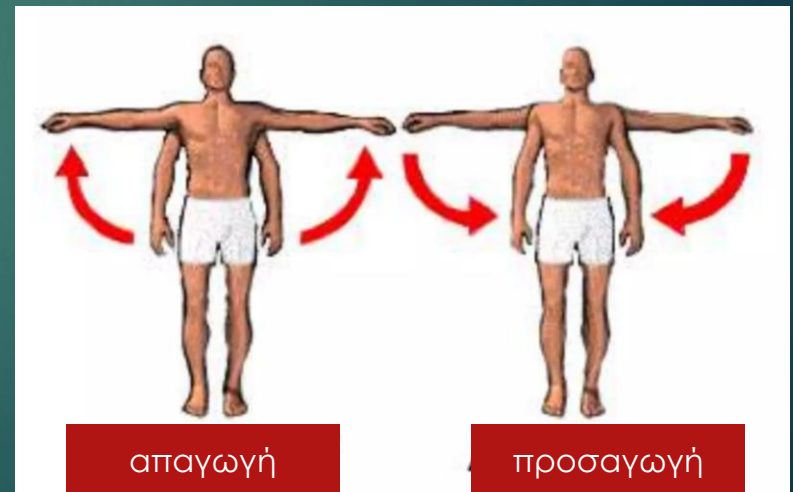
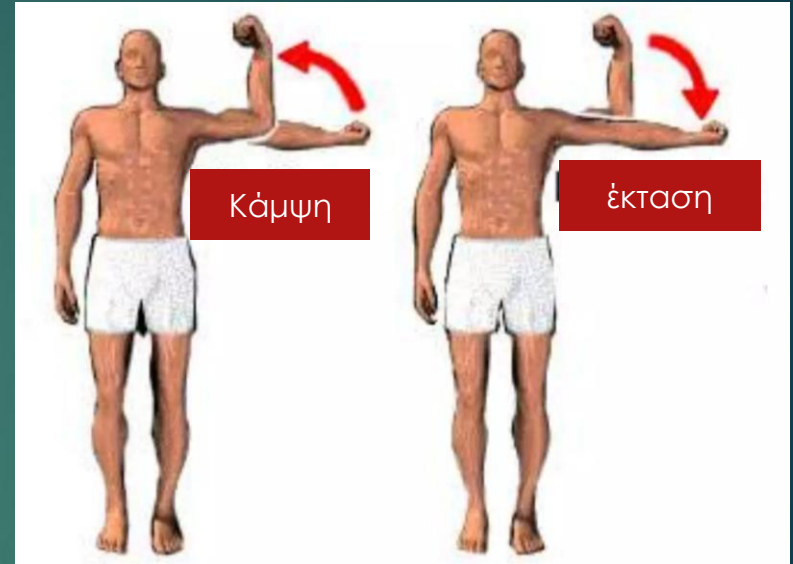
Σκελετικοί μύες & κίνηση

Περίληψη

- ▶ Σκελετικό σύστημα
- ▶ Έλεγχος κίνησης από το νευρικό σύστημα
- ▶ Δομή σκελετικών (γραμμωτών μυών)
- ▶ Συγκρότηση μυϊκών ινών
- ▶ Νευρομυϊκή σύναψη
- ▶ Παραγωγή $\Delta\Delta$ στα μυϊκά κύτταρα
- ▶ Μυϊκή συστολή

Σκελετικό σύστημα

- ▶ Συνιστά το πλαίσιο μέσα στο οποίο εκτελείται η κίνηση
- ▶ Οι αρθρώσεις επιτρέπουν τις διαξονικές (καρπός) και πολυαξονικές (ώμος) κινήσεις
- ▶ **Κάμψη** μειώνει η γωνία μεταξύ των μετακινούμενων τμημάτων ενώ η **έκταση** αντιθέτως την αυξάνει
- ▶ **Απαγωγή:** μετακίνηση τμήματος μακριά από τη μέση γραμμή ενώ η **προσαγωγή** προς τη μέση γραμμή



Σύνδεση μυών στα οστά

- ▶ 2 ή περισσότερα σημεία σύνδεσης
- ▶ Παρέχουν τη δύναμη για τη μετακίνηση των οστών
- ▶ **Έκφυση:** πρόσφυση στο λιγότερο κινητό οστό
- ▶ **Κατάφυση:** πρόσφυση το σημείο του σκελετού με τη μεγαλύτερη κινητικότητα
- ▶ Η κίνηση προϋποθέτει την ανάπτυξη δύναμης στις θέσεις πρόσφυσης και την επακόλουθη βράχυνση του (ισοτονική ή ομόκεντρη συστολή)

σταθερές
προσφύσεις –
αμετάβλητο μήκος

βράχυνση μυών

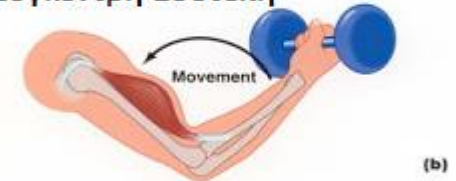
ελεγχόμενη
επιμήκυνση



Ισομετρική Συστολή



Σύγκεντρη Συστολή

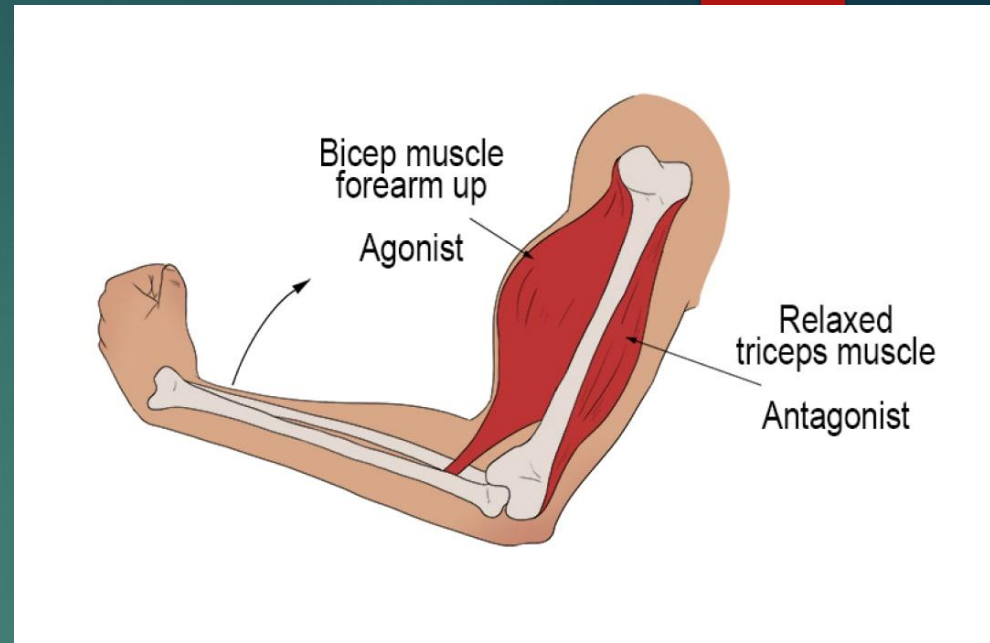


Εκκεντρη Συστολή



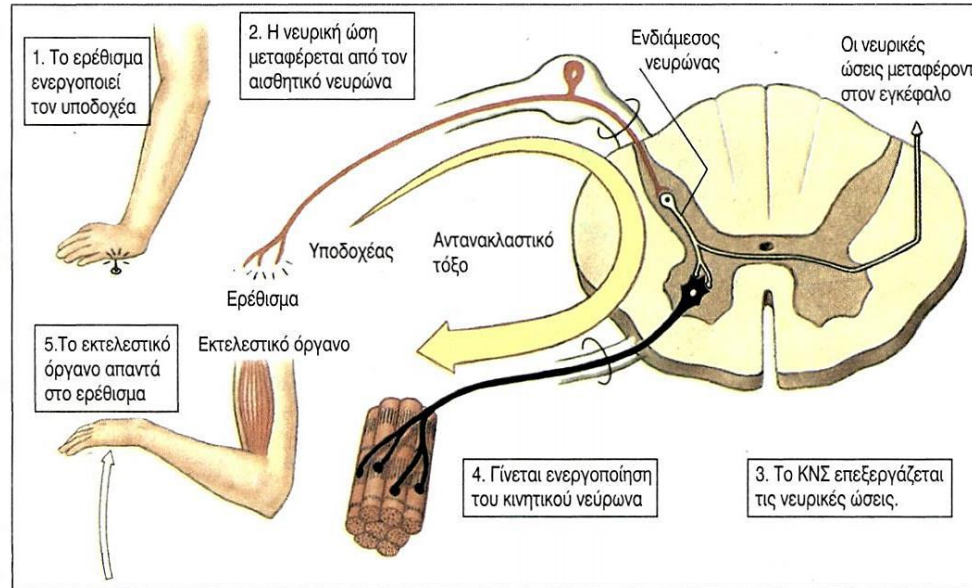
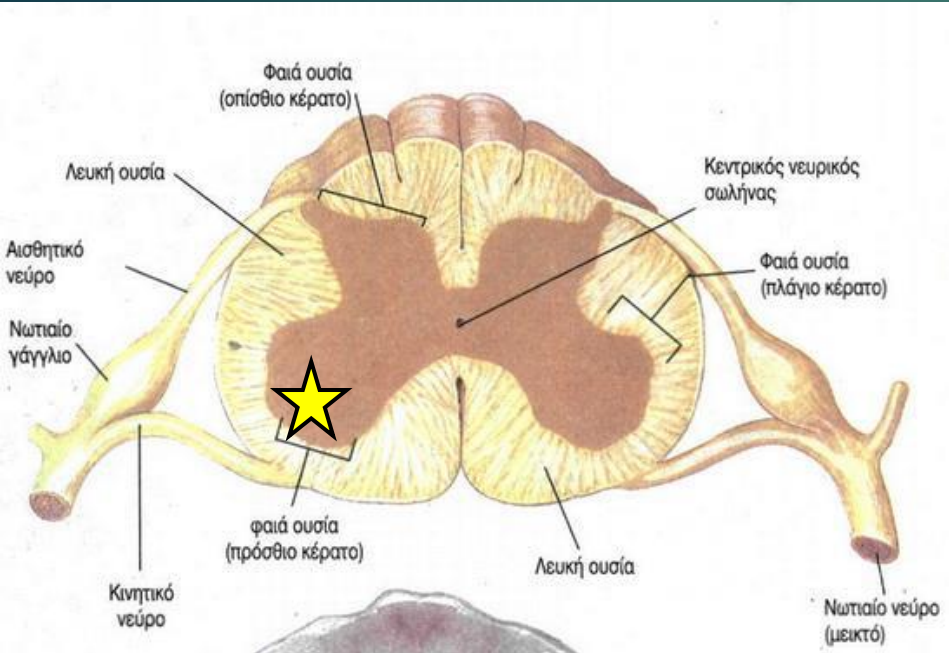
Μυϊκή συστολή

- ▶ Παράγει κίνηση μόνο προς μία κατεύθυνση – απαιτεί τη συστολή τουλάχιστον 2 ανταγωνιστικών μυών μιας άρθρωσης
- ▶ Μυς που παράγει την κίνηση: **αγωνιστής (σύσπαση)**
- ▶ Μυς που αντιτίθεται στη δράση των αγωνιστών: **ανταγωνιστής (χάλαση)**
- ▶ Η ταυτόχρονη λειτουργία επιτυγχάνεται μέσω του νευρικού συστήματος (**αμοιβαία αναστολή**)



Έλεγχος κίνησης από το ΝΣ

- **α-κινητικοί νευρώνες:** αποτελούν την τελική κοινή οδό μέσω της οποίας το ΚΝΣ ελέγχει τους σκελετικούς μυς

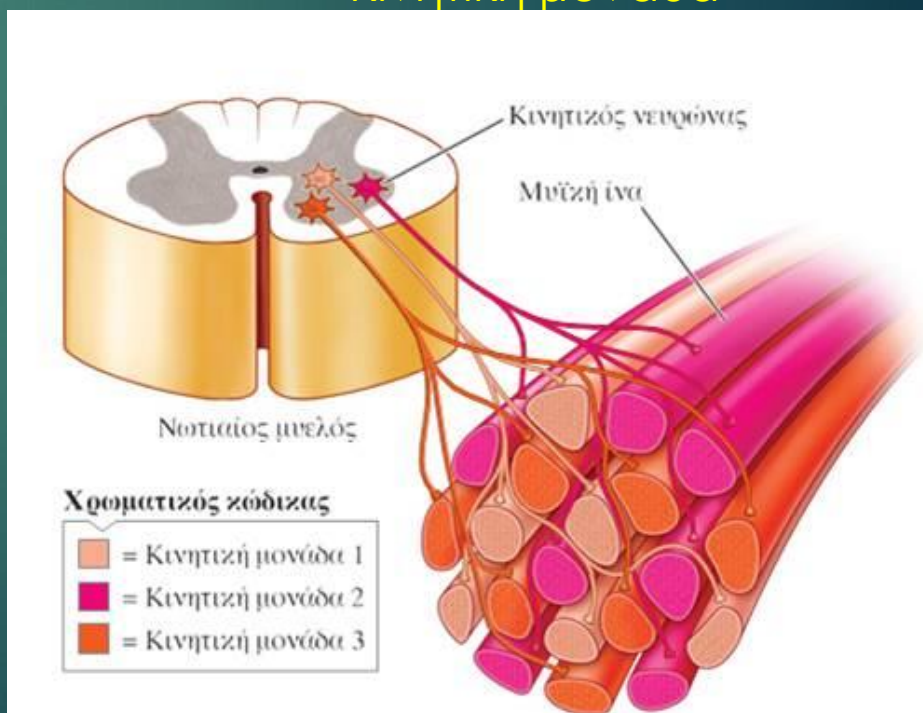


- Η αφετηρία του ελέγχου των κινητικών νευρώνων εντοπίζεται στον εγκεφαλικό φλοιό και το στέλεχος μέσω νευρικών ινών δερμάτων που καταλήγουν στους ενδιάμεσους νευρώνες που ελέγχουν την λειτουργία των κινητικών νευρώνων. Ορισμένες ίνες από τον φλοιό καταλήγουν απευθείας στους κινητικούς νευρώνες (**ρυθμιστικός ρόλος του φλοιού και της παρεγκεφαλίδας στην λειτουργία των κινητικών νευρώνων**)

Κινητικοί νευρώνες

- ▶ **Δύο κατηγορίες: α και γ.**
- ▶ **α-κινητικοί νευρώνες:** νευρώνουν τις εξωατράκτιες (κύριες) μυϊκές ίνες που είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη της δύναμης
- ▶ **γ-κινητικοί νευρώνες:** νευρώνουν τις ενδοατράκτιες μυϊκές ίνες που αποτελούν στοιχεία της μυϊκής ατράκτου
- ▶ **α-κινητικοί νευρώνες:**
 - ▶ **Μεγάλο μέγεθος:** υψηλότερος ουδός διέγερσης, μεγαλύτερη ταχύτητα αγωγής, νευρώνουν ταχείες μυϊκές ίνες που αναπτύσσουν μεγάλη τάση κατά τη συστολή
 - ▶ **Μικρό μέγεθος:** αντιθέτως νευρώνουν βραδείες μυϊκές ίνες που δεν αναπτύσσουν μεγάλη τάση

Κινητική μονάδα



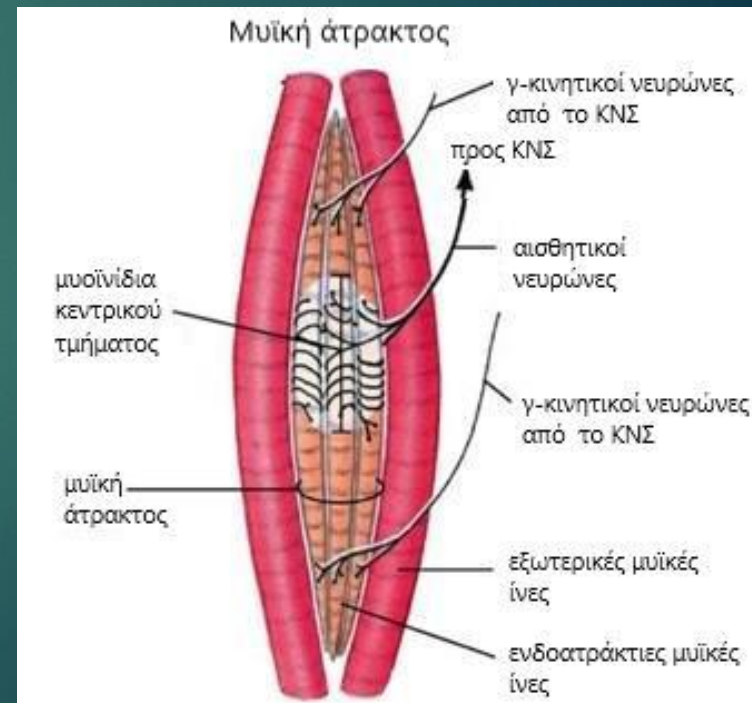
Συντονισμός συσπάσεων

- 1) Ενεργοποίηση μικρότερων κινητικών νευρώνων (ανθεκτικό στον κάματο) καθώς εμφανίζουν χαμηλότερο ουδό διέγερσης
- 2) Εφόσον απαιτείται επιπρόσθετη δύναμη κινητοποιούνται ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα που αυξάνουν την συχνότητα παραγωγής $\Delta\Delta$ προς ενεργοποίηση ακόμα περισσότερων κινητικών μονάδων του ίδιου τύπου
- 3) Στην περίπτωση που απαιτείται ακόμα περισσότερη δύναμη ενεργοποιούνται οι μεγάλοι μεγέθους κινητικοί νευρώνες (λιγότερο ανθεκτικοί στον κάματο)

Αρχή μεγέθους: οι μύες που πρέπει να είναι ανθεκτικοί στον κάματο (π.χ. μύες που λειτουργούν έναντι της βαρύτητας με στόχο τη συνεχή υποστήριξη της θέσης του σώματος) αποτελούνται από βραδείες μυϊκές ίνες -> **συσπάσεις μικρότερης δυναμικής αλλά μεγαλύτερης διάρκειας**. Το αντίστροφο ισχύει για τους μυς με ταχέως συσπείρόμενες μυϊκές ίνες.

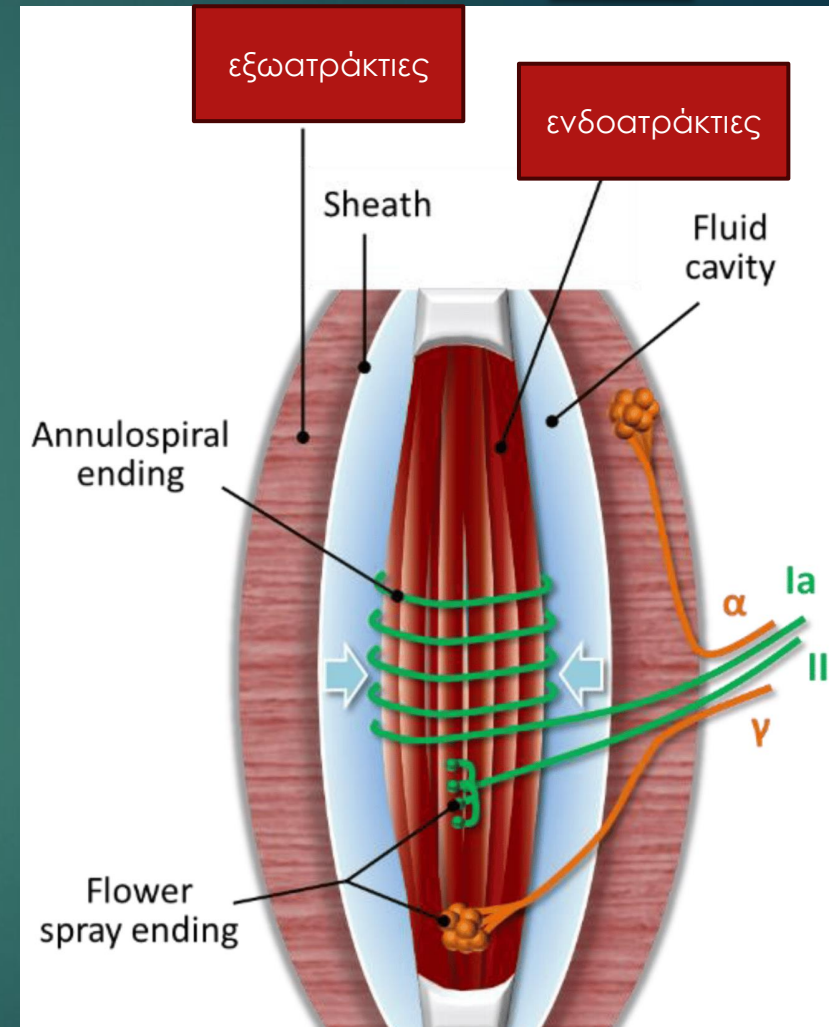
Αισθητική νευρώση

- ▶ **Ιδιοδεκτικοί υποδοχείς** που μεταφέρουν αισθητικά σήματα και υποστηρίζουν ένα ανατροφοδοτικό κύκλωμα
 - ▶ **Σκελετικοί μύες:** μυϊκές άτρακτοι, τενόντια όργανα του Golgi, ελεύθερες νευρικές απολήξεις και σωμάτια Pacini
 - ▶ **Αρθρώσεις:** τελικά όργανα Ruffin και σωμάτια Pacini
- ▶ **Μυϊκή άτρακτος:**
 - ▶ Σχεδόν σε όλους τους σκελετικούς μυς
 - ▶ Ανίχνευση μεταβολών στο μήκος του μυός -> μετάδοση πληροφορίας στο ΚΝΣ για να γίνει αντιληπτή η θέση του σώματος
 - ▶ Ρόλο στη μυϊκή σύσπαση μέσω του μυοτακτικού αντανακλαστικού



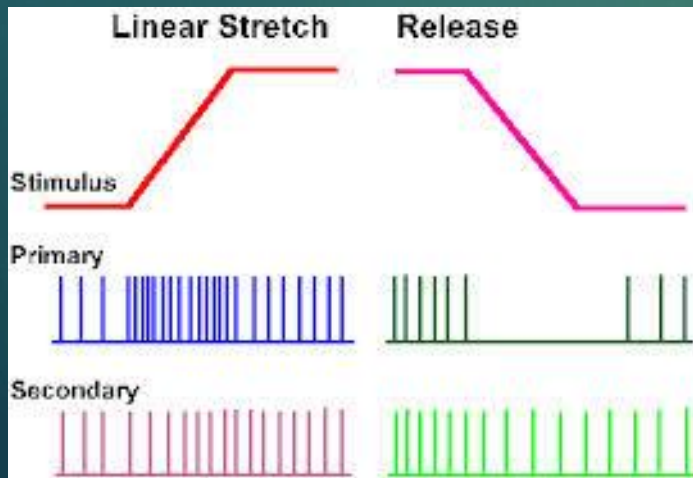
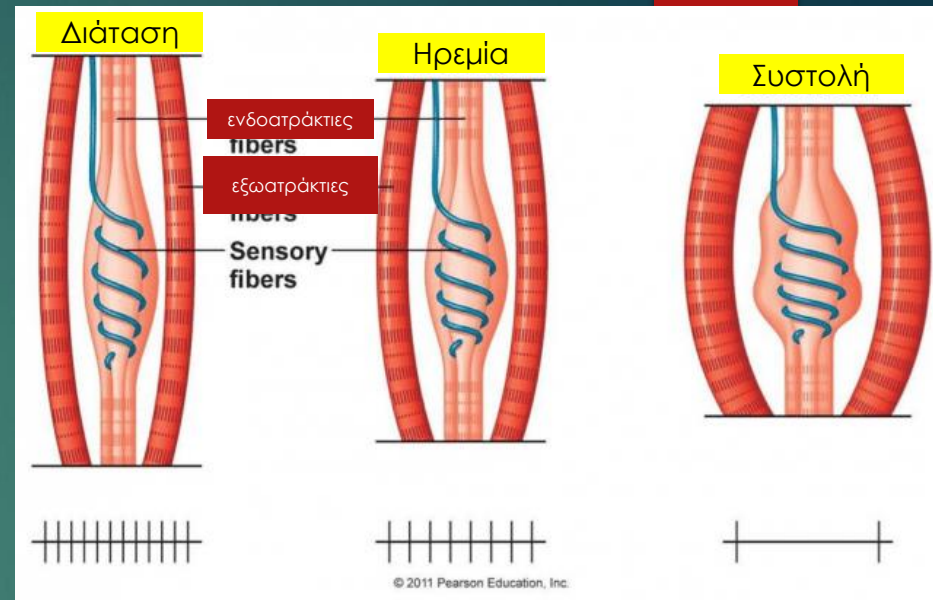
Μυϊκή ατράκτος

- ▶ Συνδεδεμένοι μέσω των δύο άκρων τους με τις **εξωατράκτιες μυϊκές ίνες**
- ▶ Στο κεντρικό τμήμα της ατράκτου βρίσκονται οι **ενδοατράκτιες μυϊκές ίνες** γύρω από τις οποίες περιελίσσονται αισθητικές νευρικές απολήξεις. Τα συσταλτά άκρα τους νευρώνονται από γ-κινητικούς νευρώνες
- ▶ Αισθητικές νευρικές ίνες: νευρώνουν το μη συσταλτό τμήμα όσο και την έκκεντρη περιοχή των συσταλτών άκρων
 - ▶ **Πρωτοταγείς** (Ia) και **δευτεροταγείς** (II) εμμύελες νευρικές ίνες



Ia & II αισθητικές νευρικές ίνες

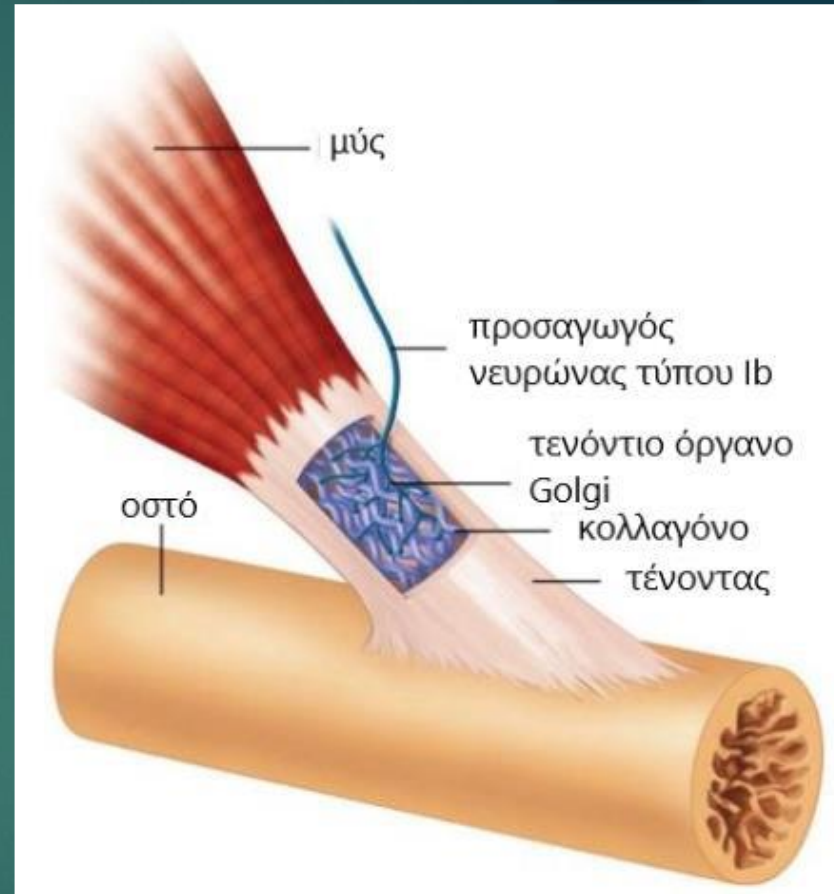
- ▶ Μέγεθος Ia > II -> μεγαλύτερη ταχύτητα αγωγής
- ▶ Αύξηση ΔΔ κατά τη διάρκεια της διάτασης, μείωση κατά τη διάρκεια ηρεμίας και παύση κατά τη διάρκεια της συστολής



- ▶ **Διάταση**-> Ταχεία εκπόλωση Ia, μέτρια εκπόλωση II
- ▶ **Χάλαση**: παύση ΔΔ από Ia, επιβράδυνση ΔΔ από II
- ▶ Πληροφορίες από Ia σχετικά με το μήκος και την ταχύτητα μεταβολής ενώ από II σχετικά με το μήκος

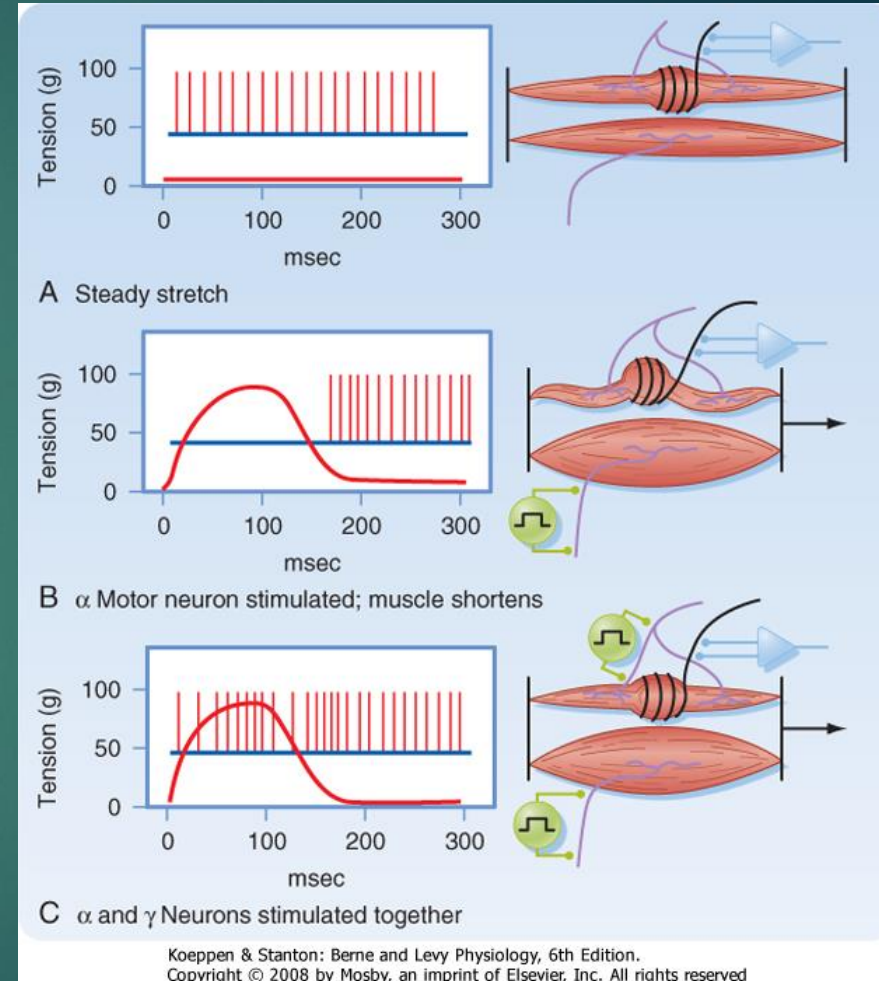
Τενόντιο όργανο του Golgi

- ▶ Περικλείονται στους τένοντες, με το ένα άκρο τους στον τένοντα και το άλλο σε επαφή με τις εξωατράκτιες μυϊκές ίνες
- ▶ Σύσπαση μυός -> διάταση οργάνου Golgi -> παραγωγή ΔΔ από εμμύελες αισθητικές νευρικές ίνες τύπου Ib
- ▶ Διάχυση πληροφοριών στο ΚΝΣ σχετικά με την τάση που αναπτύσσεται κατά τη σύσπαση του μυός
- ▶ Στόχοι πληροφοριών: διάμεσοι νευρώνες από όπου ξεκινούν τα νωτιαιοπαρεγκεφαλικά δεμάτια



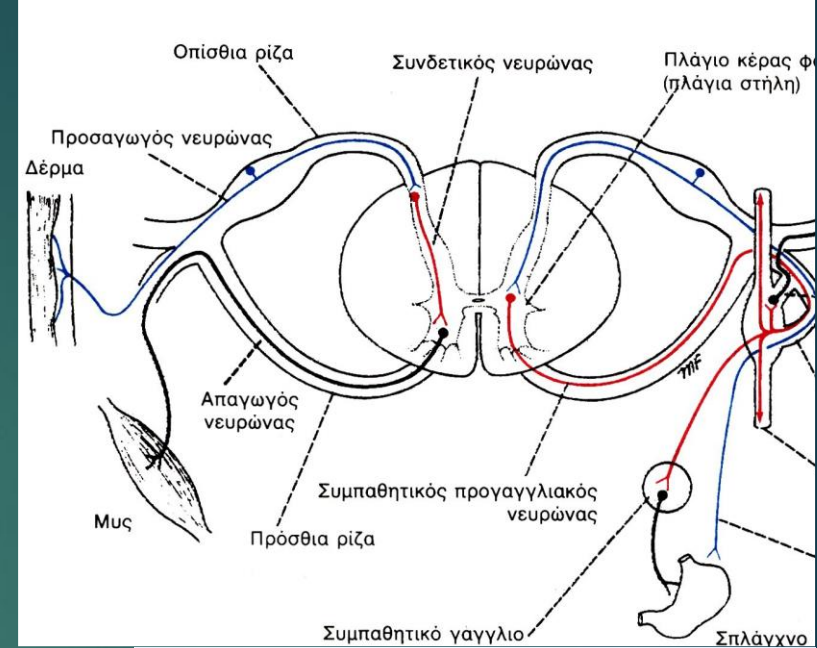
Υ-ΚΙΝΗΤΙΚΟΙ ΝΕΥΡΩΝΕΣ

- ▶ Συστολή ενδοατράκτιων μυϊκών ινών -> παρέχουν πληροφορίες μέσω των γ-κινητικών νευρώνων συμβάλλοντας στην ευαισθησία του μυός
- ▶ Σύσπαση μυός -> αυξάνει παροδικά τον ρυθμό εκπόωσης των Ia, που ωστόσο φθίνουν γιατί οι ενδοατράκτιες μυϊκές προσαρμόζονται παρέχοντας μια σταθερή ευαισθησία ακόμα και σε συστολή
- ▶ Η διατήρηση της ευαισθησίας των μυϊκών ατράκτων κατά τη μυϊκή σύσπαση απαιτεί την ταυτόχρονη διέγερση των α- και γ- κινητικών νευρώνων (**εκούσιες κινήσεις**)

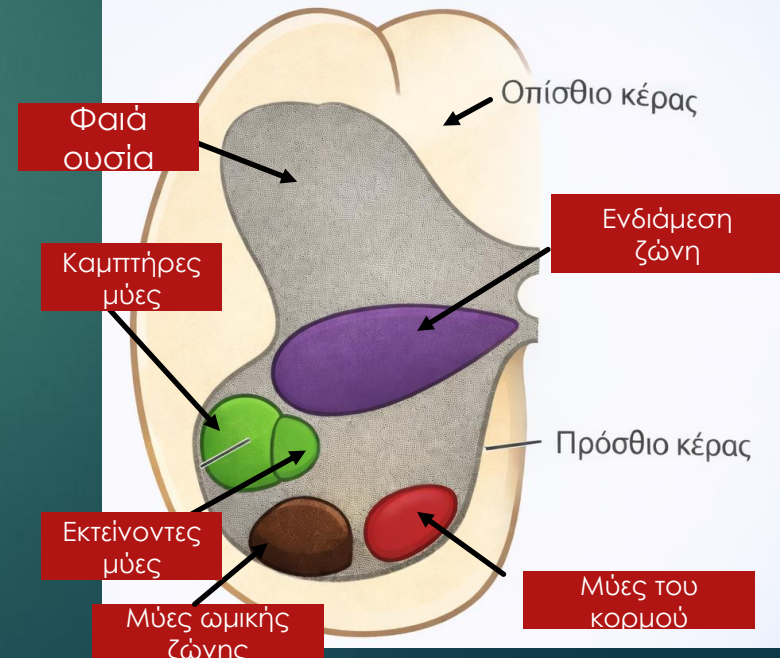


Νωτιαίος μυελός

- ▶ Δέχεται αισθητικές πληροφορίες από το δέρμα, τις αρθρώσεις και τους μυς του κορμού και των άκρων και περιέχει τους κινητικούς νευρώνες που ελέγχουν τις εκούσιες και τις αντανακλαστικές κινήσεις
- ▶ Ο αριθμός των κινητικών νευρώνων που ελέγχουν τον ίδιο μυ ποικίλλει και ομαδοποιείται σε συγκεκριμένες περιοχές του νωτιαίου μυελού
- ▶ Ενδιάμεση ζώνη: δίκτυο διάμεσων νευρώνων που συνδέουν τις διαφορετικές ομάδες των κινητικών νευρώνων

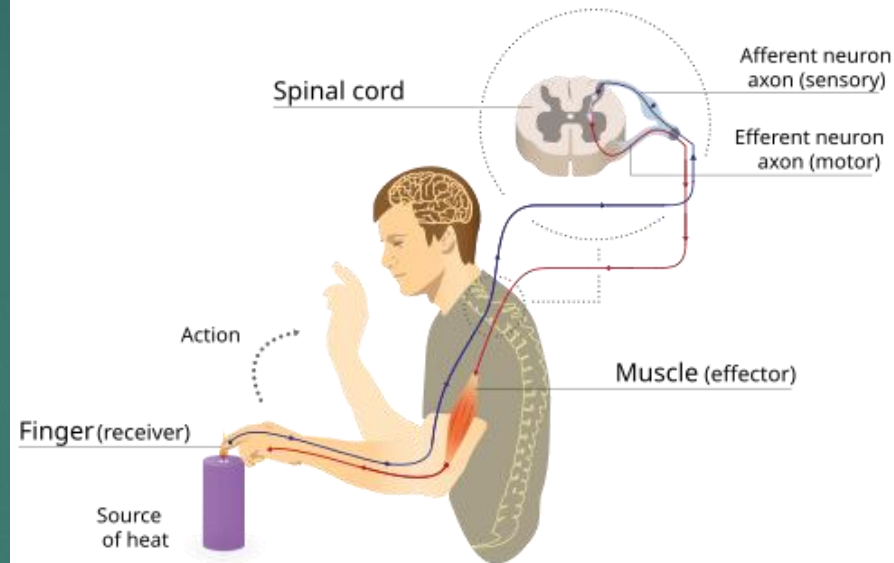


Οσφυική μοίρα



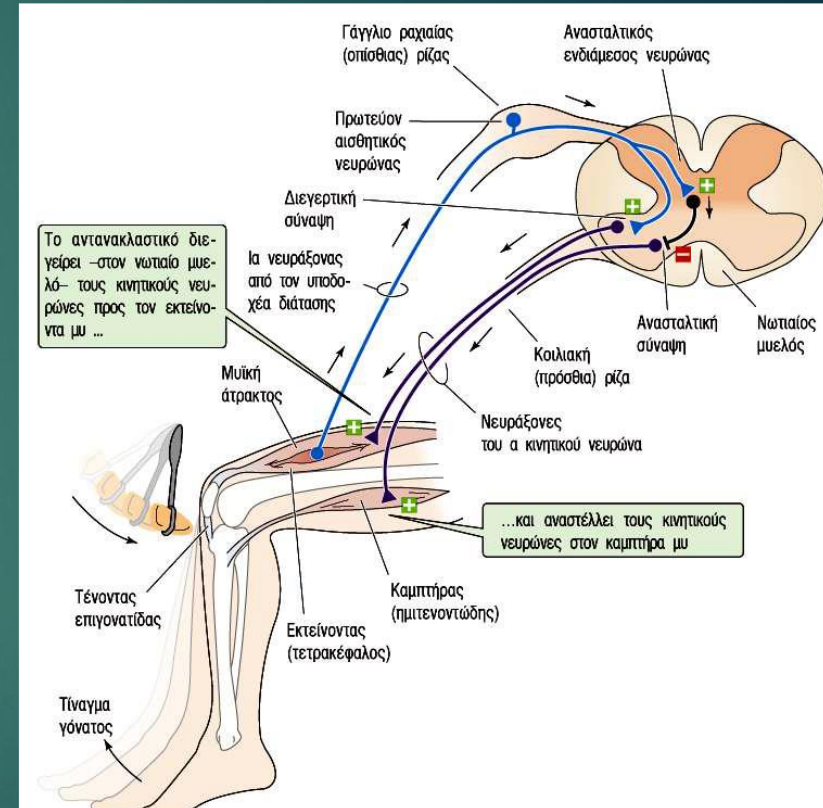
Αντανακλαστικά

- ▶ Στερεότυπες κινήσεις ως αντίδραση σε ένα ερέθισμα – παραγωγή ταχείας αντίδρασης (π.χ. ταχεία απόσυρση του χεριού όταν έρχεται σε επαφή με θερμό αντικείμενο)
- ▶ **Προστασία του οργανισμού πριν από την αναγνώριση του προβλήματος από ανώτερα κέντρα του ΚΝΣ**
- ▶ Λειτουργική μονάδα αντανακλαστικού: αισθητικός υποδοχέας, προσαγωγή οδός, συντονιστικό κέντρο, απαγωγή οδός, εκτελεστικό όργανο (κύκλωμα)



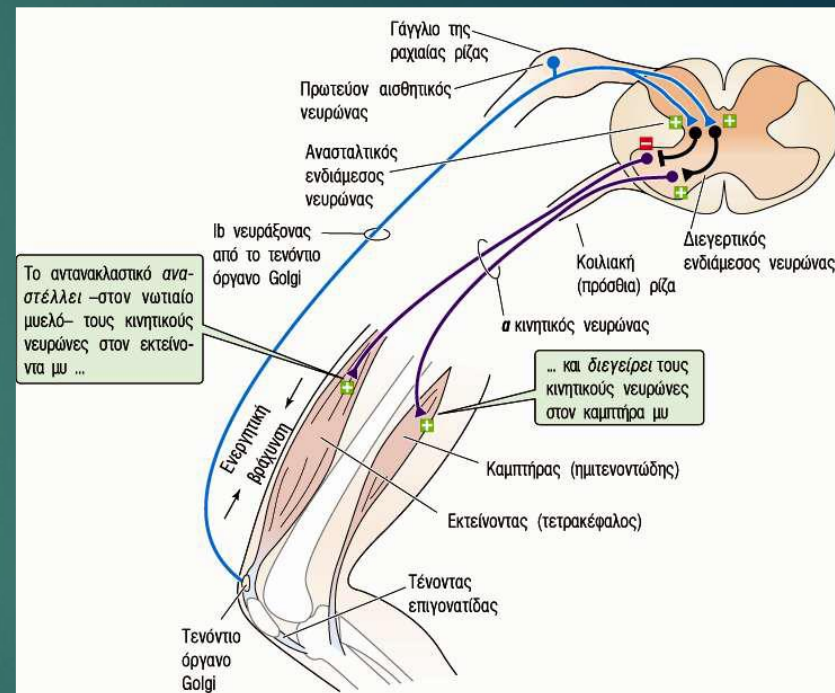
Μυοτατικό αντανακλαστικό

- ▶ **Διάταση ενός μυός** (π.χ. όταν ο τένοντας του τετρακεφάλου πλήττεται με νευρολογικό σφυρί ή όταν υπάρχει αιφνίδια μεταβολή στη στάση του σώματος) προκαλεί τη **συστολή του μυός** μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα (λανθάνουσα περίοδος, ~30ms για την επιγονατίδα)
- ▶ Αισθητικές νευρικές ίνες μεταφέρουν ΔΔ σε κινητικούς νευρώνες του ίδιου και συναγωνιστών μυών (**διέγερση**)
- ▶ Ταυτόχρονα παράπλευροι κλάδοι δημιουργούν συνάψεις με κινητικούς νευρώνες που δρουν **ανασταλτικά στους ανταγωνιστές μυς**
- ▶ Αμοιβαία αναστολή εξυπηρετεί τον συντονισμό ανταγωνιστών μυών γύρω από την άρθρωση (παραγωγή ταχέων διορθωτικών αλλαγών κατά την κίνηση, διατήρηση στάσης σώματος)



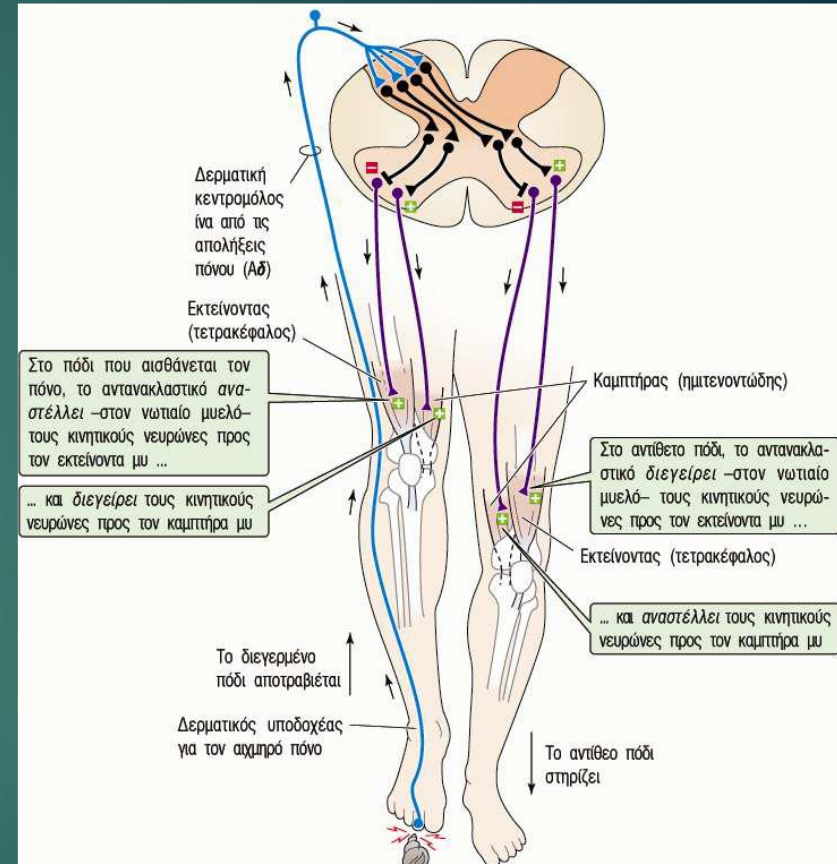
Αντίστροφο μυοτατικό αντανακλαστικό

- ▶ Ενεργητική μυϊκή σύσπαση προκαλεί τη δημιουργία ΔΔ στα τενόντια όργανα Golgi τα οποία μεταφέρονται στον νωτιαίο μυελό
- ▶ Οι αισθητικές ίνες συνάπτονται με ενδιάμεσους νευρώνες οι οποίοι **είτε αναστέλλουν τη δράση των κινητικών νευρώνων στους ομώνυμους μύς είτε διεγείρουν την δράση των κινητικών νευρώνων στους ανταγωνιστές μύς**
- ▶ Ανατροφοδοτικό κύκλωμα ελέγχου της τάσης που αναπτύσσεται στον μυ και λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να ελέγχεται η δύναμη που παράγεται κατά την μυϊκή σύσπαση σε καταστάσεις παρατεταμένης δραστηριότητας του μυός
- ▶ Συνεργική δράση με το μυοτατικό αντανακλαστικό με στόχο της διατήρησης της καλύτερης αντίδρασης των αντιβαρικών μυών στις περιπτώσεις μεταβολής θέσης



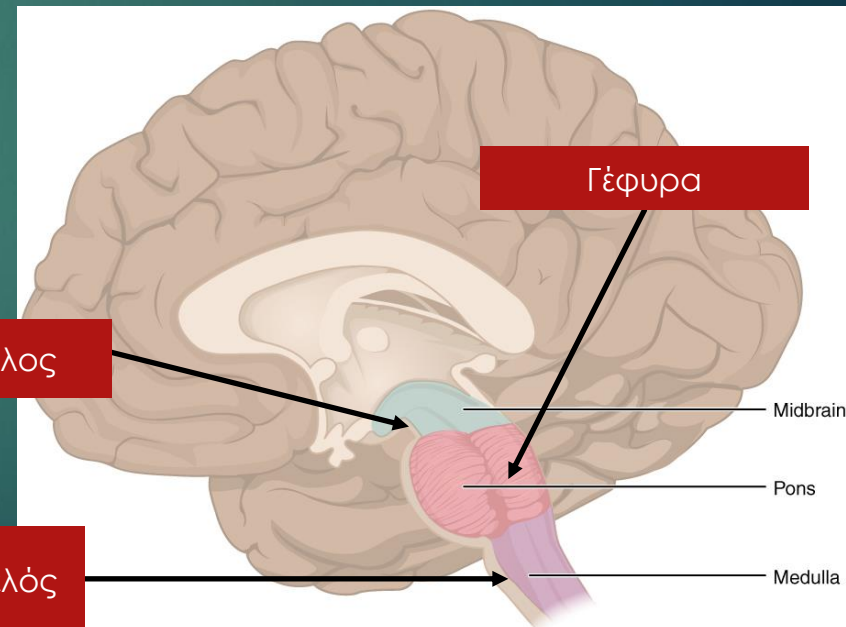
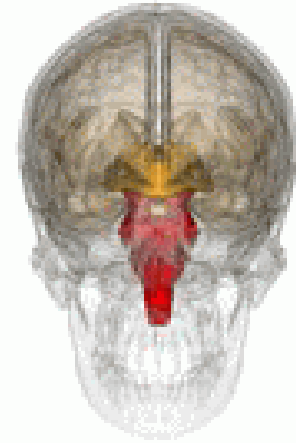
Καμπτικό αντανακλαστικό

- ▶ Ταυτόχρονη σύσπαση των καμπτήρων και χάλαση των εκτεινόντων μυών του διεγερόμενου άκρου
- ▶ Αισθητικοί νευράξονες συνάπτονται με διάμεσους νευρώνες οι οποίοι **διεγείρουν τη δράση των κινητικών νευρώνων των καμπτήρων μυών ενώ αναστέλλουν τη δράση των κινητικών νευρώνων των εκτεινόντων μυών**
- ▶ Παράπλευροι κλάδοι των διάμεσων νευρώνων διασχίζουν την μέση γραμμή και περνώντας στο **αντίθετο ημιμόριο του νωτιαίου μυελού προκαλούν τις αντίθετες αντιδράσεις**
- ▶ 2 τύποι: εφαρμογή ενός ανώδυνου ερεθίσματος (περιορισμένη αντίδραση των καμπτήρων) ή ενός επιβλαβούς ερεθίσματος (εκτεταμένη σύσπαση που οδηγεί σε άμεση απόσυρση)
- ▶ Προσαρμογή κίνησης και προστασία



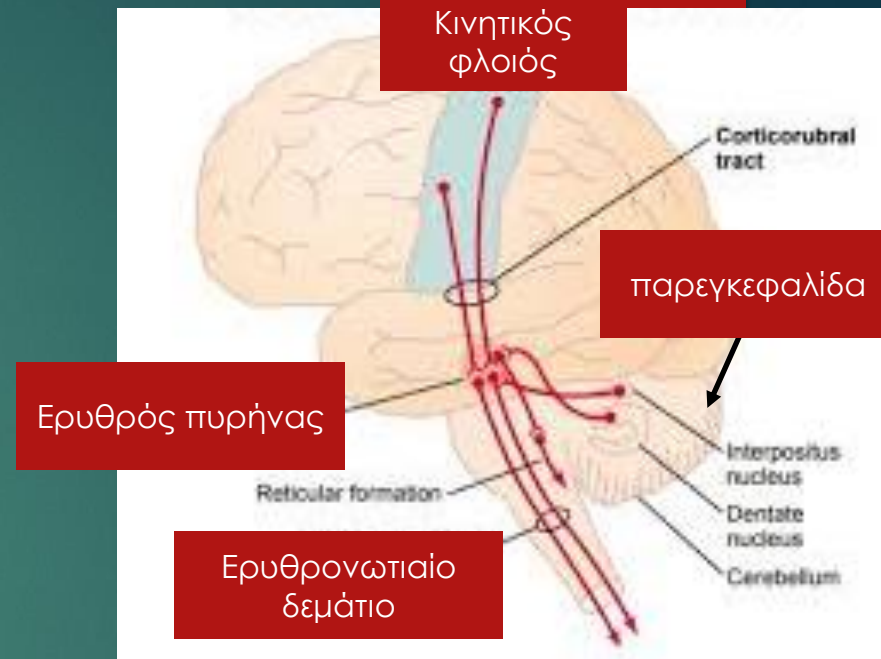
Εγκεφαλικό στέλεχος

- ▶ Αφιετηρία κατιόντων κινητικών δεματίων (οργανωμένες δέσμες νευραξόνων) τα οποία καταλήγουν στους κινητικούς νευρώνες
- ▶ Ξεκινούν από 3 πυρήνες του εγκεφαλικού στελέχους: **ερυθρός πυρήνας, σύμπλεγμα αιθουσαίων πυρήνων και τον δικτυωτό σχηματισμό**



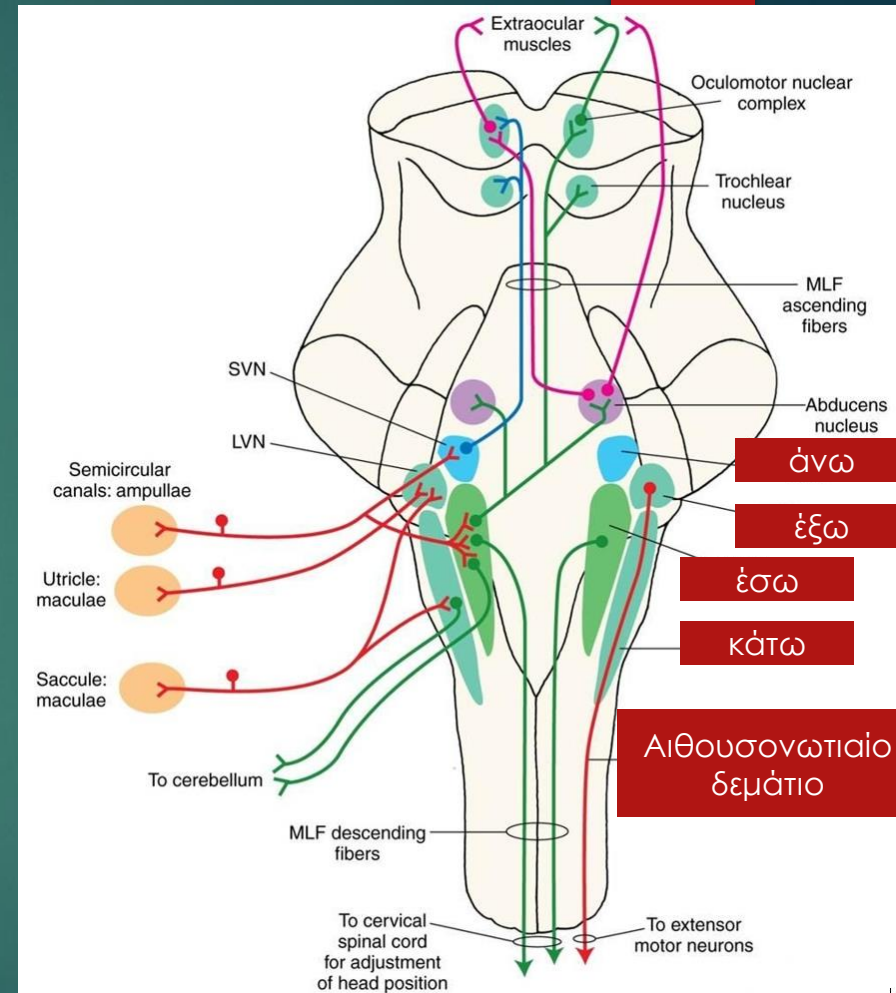
Ερυθρονωτιαίο δερμάτιο

- ▶ Ο ερυθρός πυρήνας που βρίσκεται στον μεσεγκέφαλο δέχεται μεγάλο αριθμό νευρικών ινών από την παρεγκεφαλίδα και από τον κινητικό φλοιό
- ▶ Από εκεί εκκινά το ερυθρονωτιαίο δερμάτιο που καταλήγει στους κινητικούς νευρώνες του ΝΜ που νευρώνουν τους περιφερικούς μυς των άκρων
- ▶ Διεγείρει τους καμπτήρες μυς και αναστέλλει τους εκτεινόντες μυς
- ▶ Πολλοί από τους νευρώνες του ερυθρού πυρήνα ενεργοποιούνται κατά τη βάρδια



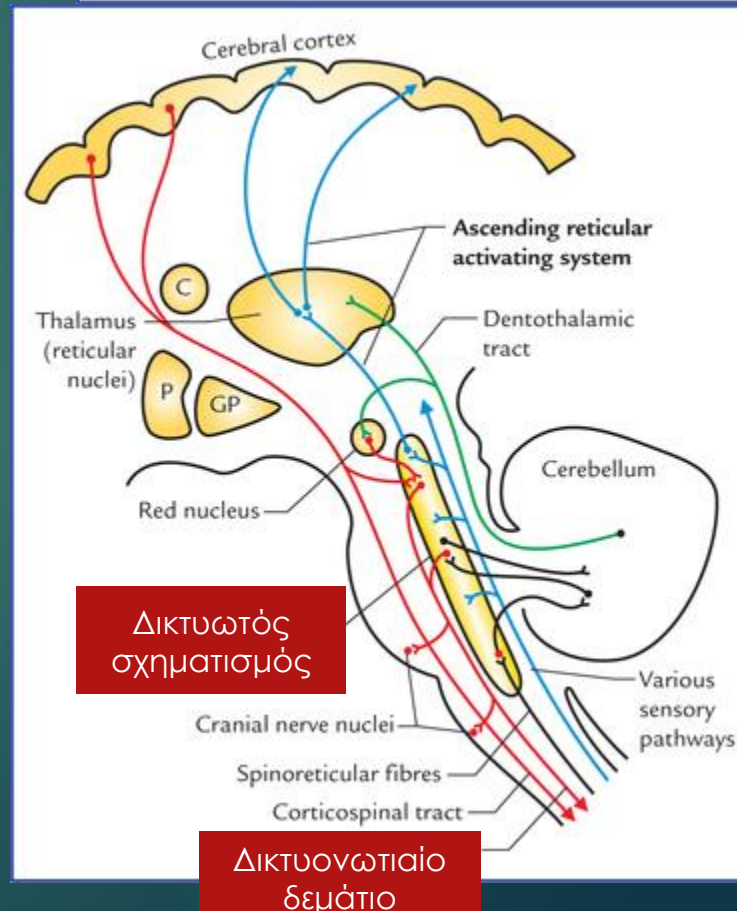
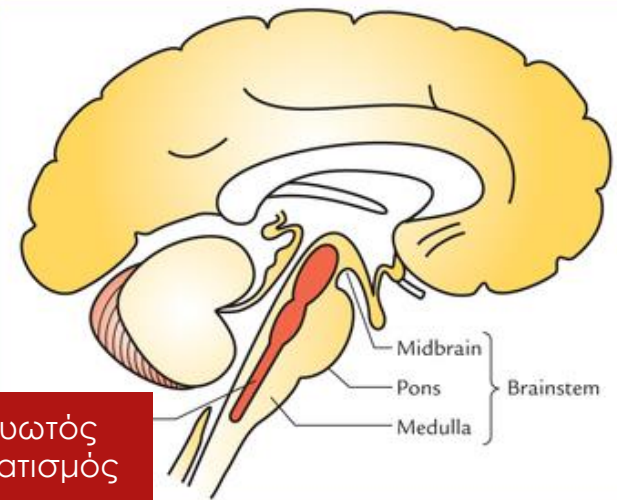
Αιθουσονωτιαίο δερμάτιο

- ▶ 4 κύριοι πυρήνες: άνω, έξω, έσω, κάτω, που βρίσκονται στον προμήκη μυελό και την γέφυρα
- ▶ Δέχονται προσαγωγές νευρικές ίνες από το **αιθουσαίο σύστημα** (ακοή) με πληροφορίες σχετικές με τις στροφικές και γραμμικές κινήσεις του σώματος και της κεφαλής καθώς και από τον **αμφιβληστροειδή** σχετικές με τη θέση των οφθαλμών κατά την κίνηση της κεφαλής
- ▶ Από τους πυρήνες εκκινά το αιθουσονωτιαίο δερμάτιο που συνάπτεται με τους α- και γ-κινητικούς νευρώνες που νευρώνουν τους εκτείνοντες μύς (**διατήρηση στάσης σώματος**)

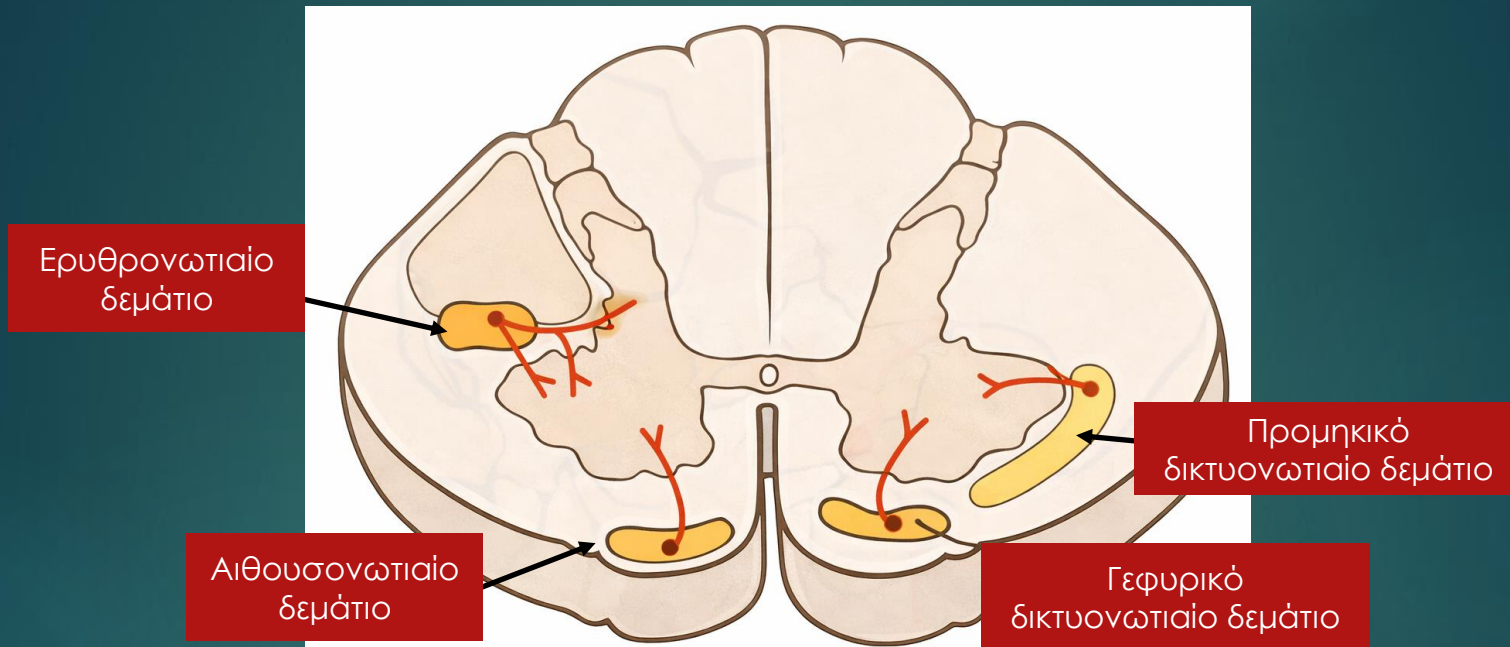


ΔΙΚΤΥΟΝΩΤΙΑΙΑ ΔΕΜΑΤΙΑ

- ▶ Δικτυωτός σχηματισμός στην κεντρική περιοχή της φαιάς ουσίας του εγκεφαλικού στελέχους του οποίου οι νευράξονες σχηματίζουν αμφίδρομες οδούς
- ▶ Δέχεται προσαγωγές ίνες από τον ΝΜ, τους αισθησίους πυρήνες, την παρεγκεφαλίδα, τον αισθητικό και κινητικό φλοιό του εγκεφάλου
- ▶ Οι κατιούσες οδοί από τον δικτυωτό σχηματισμό προς τον ΝΜ εκκινούν από το ρυγχαίο και το ουραίο δικτυωτό πυρήνα της γέφυρας και από τον γιγαντοκυτταρικό πυρήνα του προμήκη μυελού
- ▶ Η πρώτη οδός διεγείρει τους α- και γ-κινητικούς νευρώνες των μυών του κορμού ενώ η δεύτερη οδός αναστέλλει τη λειτουργία των εκτεινόντων μυών

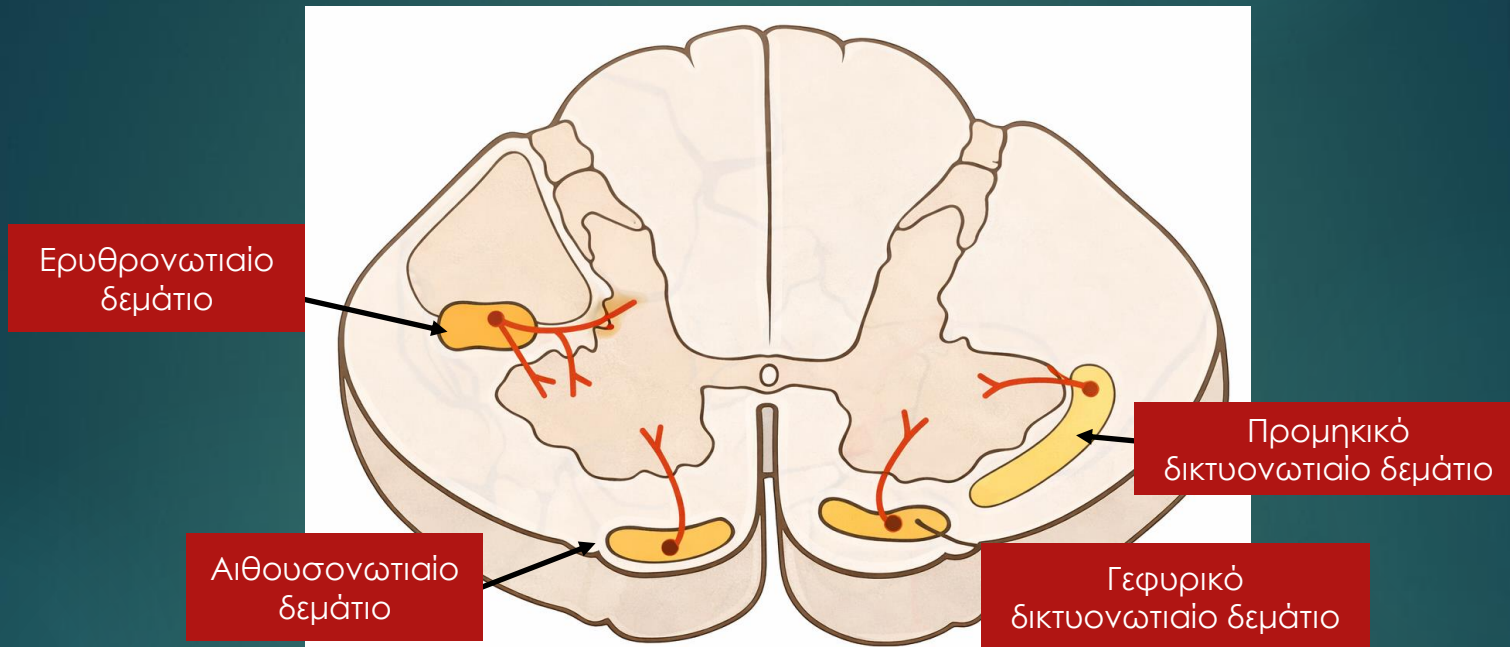


Σύνδεση στον ΝΜ



- ▶ Το **αιθουσωνωτιαίο** και το **δικτυονωτιαίο** δερμάτιο καταλήγουν την έσω κοιλιακή περιοχή της διάμεσης ζώνης του ΝΜ όπου εντοπίζονται διάμεσοι νευρώνες που δέχονται πληροφορίες σχετικές με τις κινήσεις και τη θέση του σώματος. Τα δερμάτια αυτά έχουν επίσης άμεσες συνδέσεις με τους μυς του αυχένα, της ράχης και των άκρων που βρίσκονται πιο κοντά στον κορμό (κύριες οδοί του ΚΝΣ με τις οποίες διατηρείται η στάση και θέση του σώματος και της κεφαλής κατά τη διάρκεια της κίνησης)

Σύνδεση στον ΝΜ



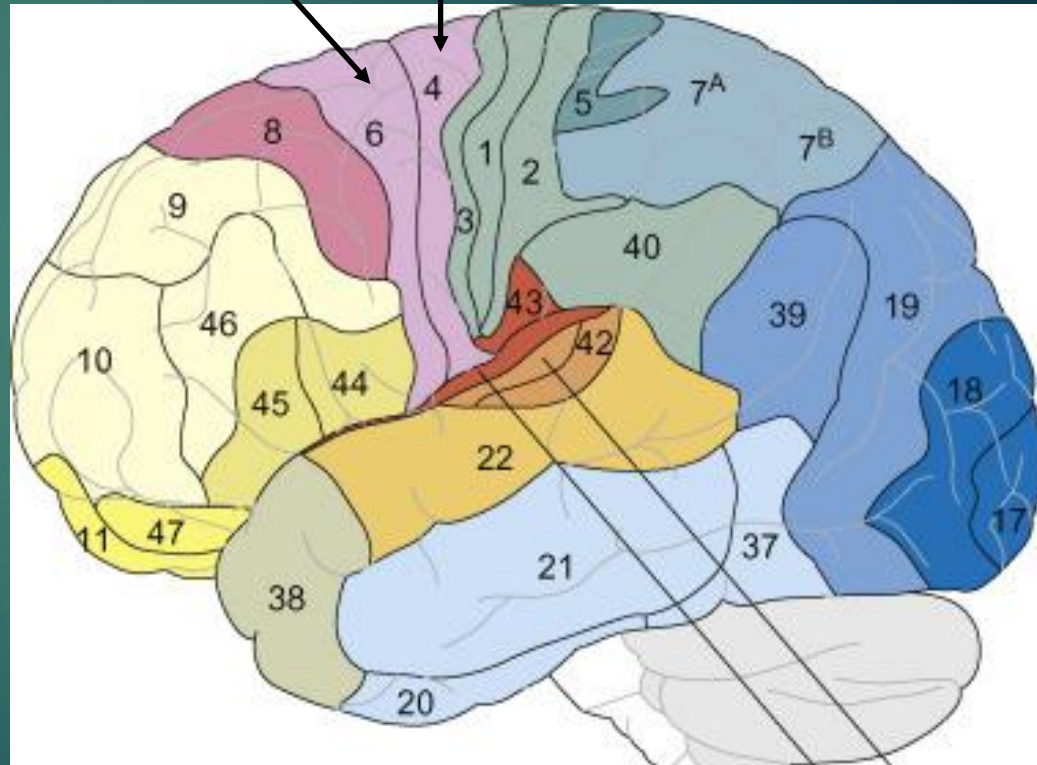
- ▶ Το **ερυθρονωτιαίο δερμάτιο** καταλήγει στην πλάγια περιοχή της διάμεσης ζώνης του ΝΜ όπου εντοπίζονται διάμεσοι νευρώνες. Τα δερμάτια αυτά έχουν επίσης άμεσες συνδέσεις με κινητικούς νευρώνες των περιφερικών μυών των άκρων (**συμπληρωματική λειτουργία στον έλεγχο της θέσης του σώματος και στην ανεξάρτητη κίνηση των περιφερικών τμημάτων των άκρων που επιτελούνται από το φλοιονωτιαίο δερμάτιο**)
- ▶ Το **αισθητικό** (όραση, αισουσαίο και σωματοαισθητικό σύστημα) σε συνεργασία με το **κινητικό σύστημα** (ενεργοποίηση αντιβαρυτικών μυών, μυϊκή σύσπαση) ελέγχουν την στάση του σώματος

Εγκεφαλικός φλοιός

- ▶ Υψηλότερο επίπεδο ελέγχου της κίνησης
- ▶ **Πρωτεύον κινητικός φλοιός (MI), συμπληρωματική κινητική περιοχή (MII),** καθώς και άλλες περιοχές που ικανοποιούν μερικώς τα κριτήρια για να καθοριστεί μια περιοχή ότι συμμετέχει στον έλεγχο της κίνησης ενώ αποστέλλουν ίνες που απαρτίζουν το **φλοιονωτιαίο δεμάτιο**, την κινητική απαγωγό οδό του εγκεφαλικού φλοιού (1-→ 8)

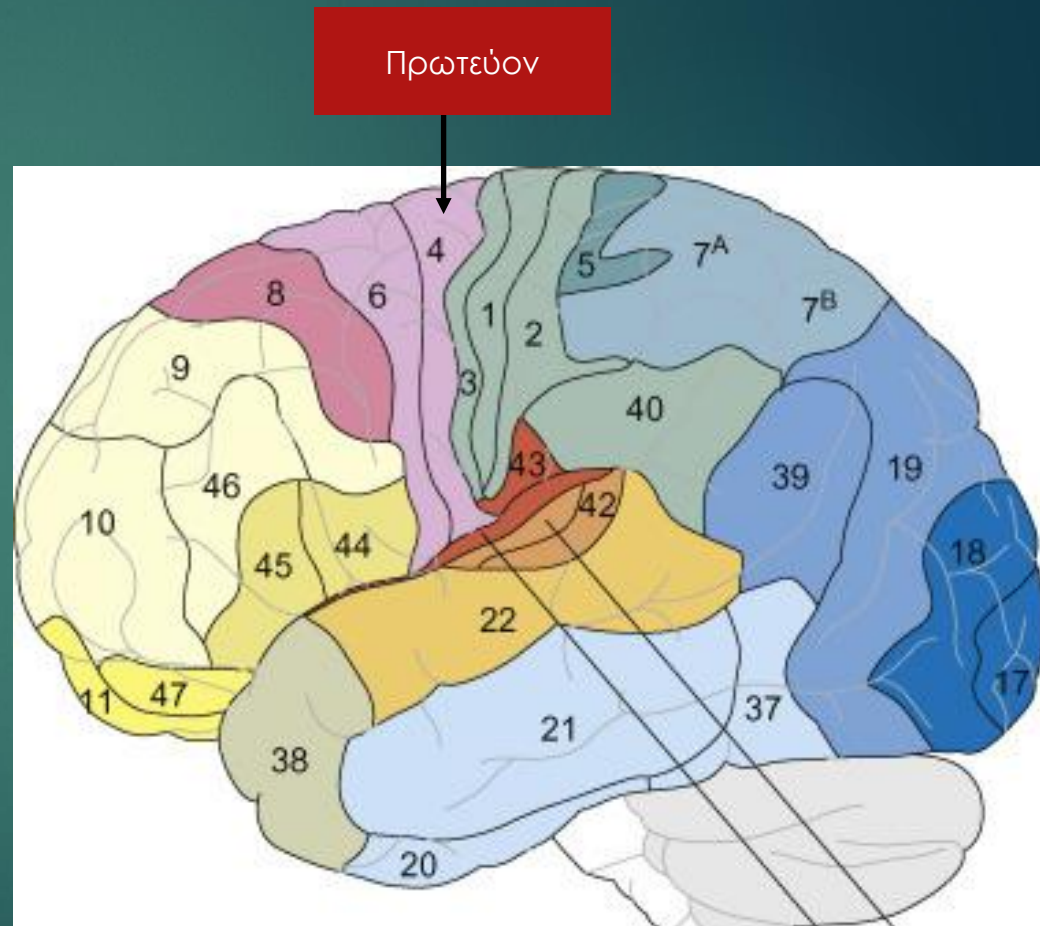
Συμπληρωματική
περιοχή

Πρωτεύον



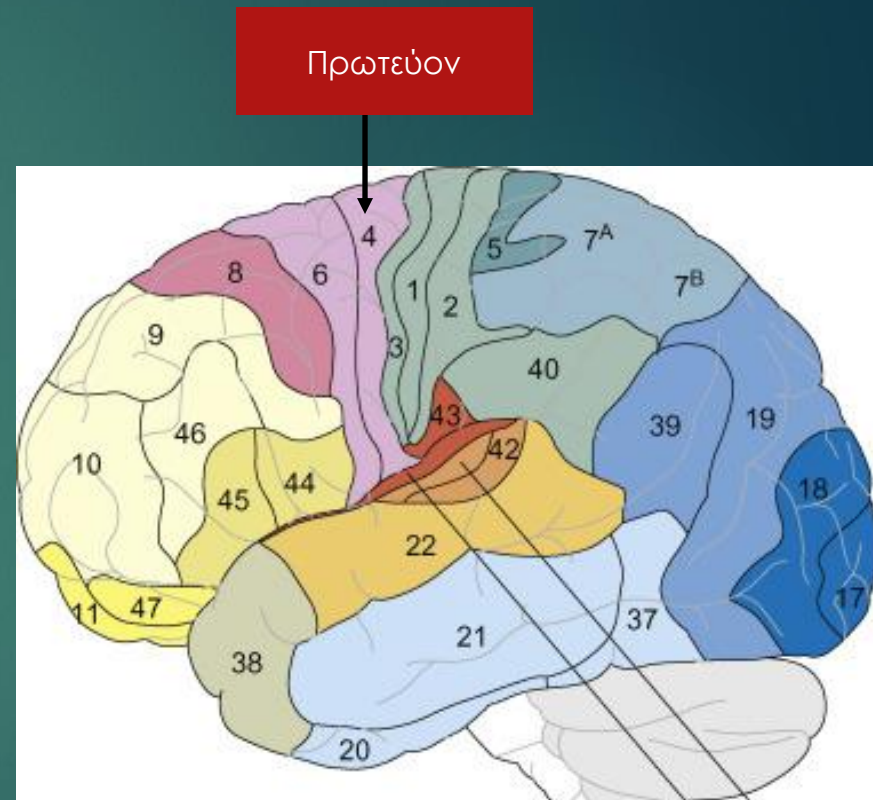
Πρωτεύον κινητικός φλοιός

- ▶ 6 στιβάδες (I-VI)
- ▶ Προσαγωγές ίνες καταλήγουν στις στιβάδες I-V
- ▶ Απαγωγές ίνες ξεκινούν από τις στιβάδες V και VI και σχηματίζουν το φλοιονωτιαίο δεμάτιο
- ▶ Διέγερση των περιοχών που ελέγχουν τους μυς των άκρων προκαλεί την εμφάνιση κίνησης στο ετερόπλευρο άκρο
- ▶ Διέγερση των περιοχών που ελέγχουν τους μυς της κεφαλής προκαλεί την εμφάνιση κίνησης τόσο ετερόπλευρα όσο και ομόπλευρα



Πρωτεύον κινητικός φλοιός

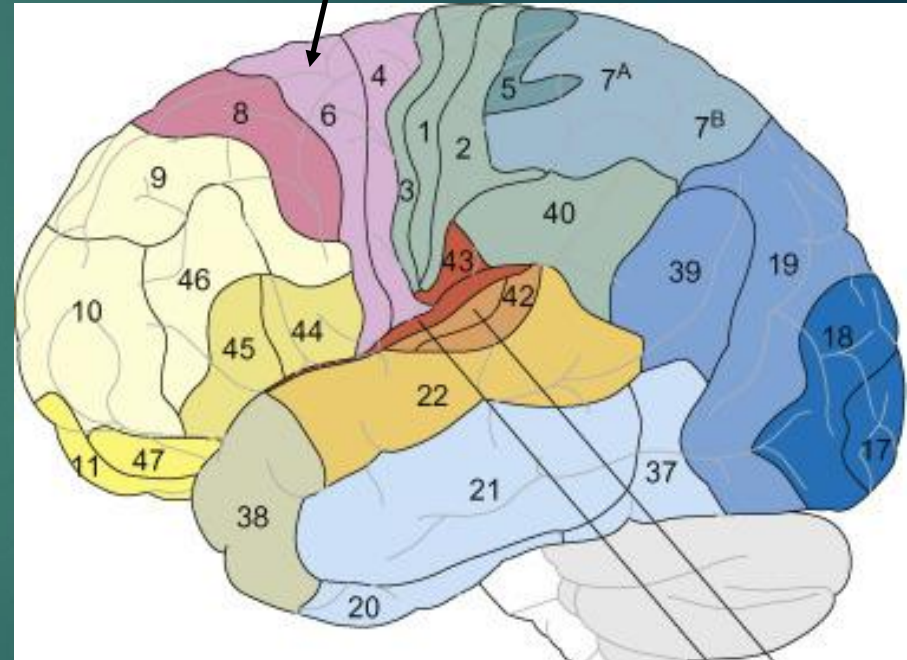
- ▶ Λήψη σωματοαισθητικών σημάτων από τους υποδοχείς του δέρματος και από ιδιοδεκτικούς υποδοχείς προκαλεί τον έλεγχο της μυϊκής δύναμης, του μήκους του μυός, της θέσης και της κίνησης των αρθρώσεων
- ▶ Προσαγωγές οδοί από παρεγκεφάλιδα, κεντρικής έλικα και οπτικού φλοιού
- ▶ Εξαιτίας των συνδέσεων τους με τον σωματοαισθητικό φλοιό, οι κινητικοί νευρώνες του φλοιού αντιδρούν και σε αισθητικά ερεθίσματα (π.χ. δερματικό ερέθισμα σε έναν ενεργοποιημένο μυ)
- ▶ Ελέγχει τις εισερχόμενες αισθητηριακές πληροφορίες στα κινητικά κέντρα ελέγχου



Συμπληρωματική κινητική περιοχή (MII)

- ▶ Έλεγχος των άκρων
- ▶ Απαιτεί μεγαλύτερη ένταση ερεθίσματος σε σύγκριση με την περιοχή M1
- ▶ Μεγαλύτερη διάρκεια κινήσεων ενώ οι προκαλούμενες κινήσεις μπορεί να διατηρηθούν ακόμα και μετά την απόσυρση του ερεθίσματος σε σχέση με την περιοχή M1
- ▶ Η περιοχή MII είναι αμοιβαία συνδεδεμένη με την περιοχή M1 και η λειτουργία της επηρεάζεται από αυτήν
- ▶ Θεωρείται ότι ενεργοποιείται σε εργασίες όπου χρησιμοποιούνται και τα δύο χέρια, κατά την εκμάθηση καθώς και τον έλεγχο του μυϊκού τόνου

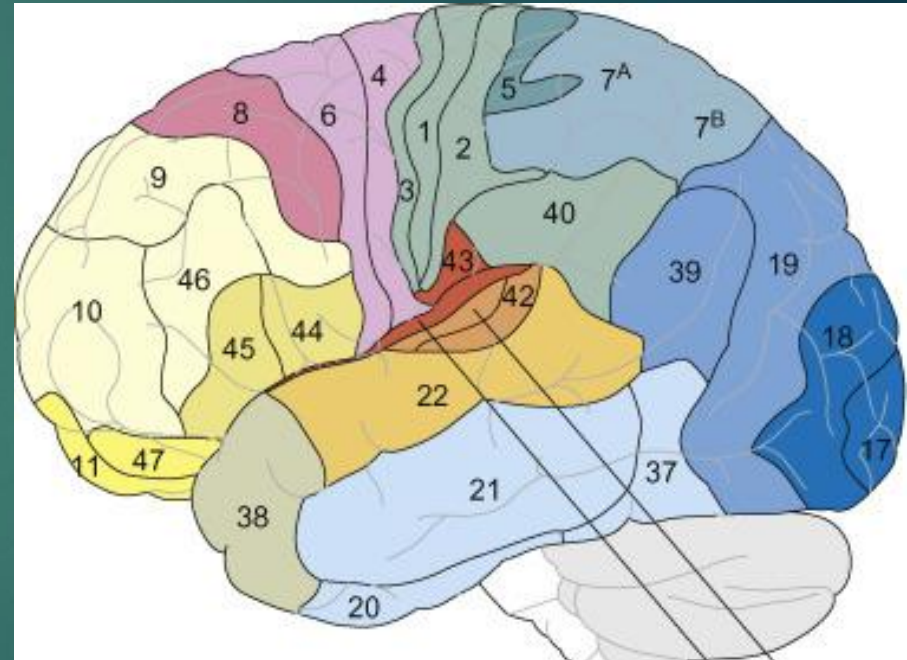
Συμπληρωματική
περιοχή



Πρωτεύων σωματοαισθητικός φλοιός

- ▶ Περιοχές 1, 2, 3
- ▶ Συμμετέχει στην εκτέλεση κινήσεων
- ▶ Μεγαλύτερος ουδός ενεργοποίησης είναι 3 φορές μεγαλύτερος από αυτόν της περιοχής MI
- ▶ Αμοιβαία σύνδεση με την περιοχή MI
- ▶ Απαγωγές ίνες από τις περιοχές 1,2,3 οδεύουν μέσω του φλοιονωτιαίου δεματίου στα οπίσθια κέρατα του NM

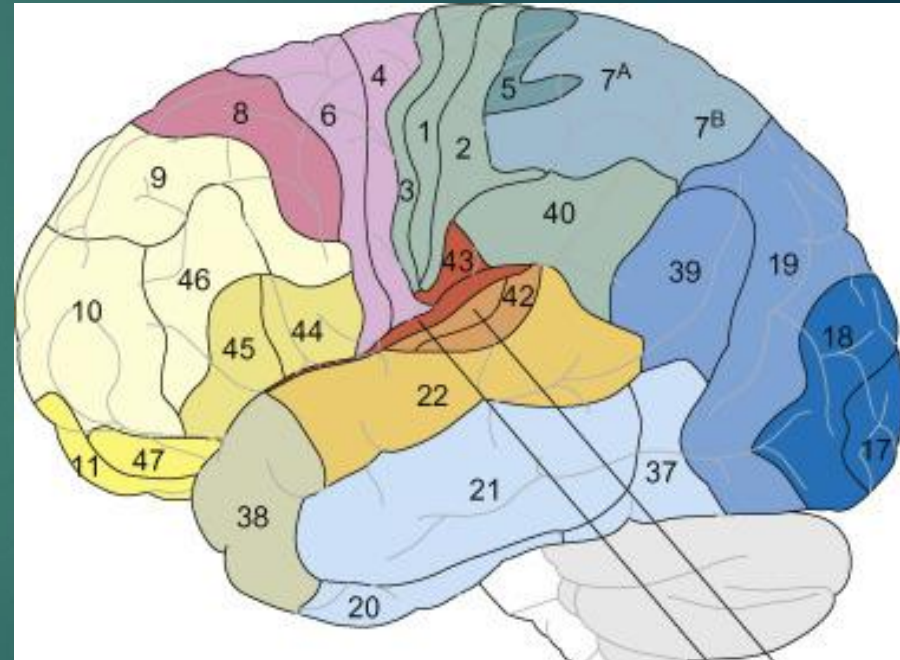
Σωματοαισθητικός
φλοιός



Άνω βρεγματικός λοβός

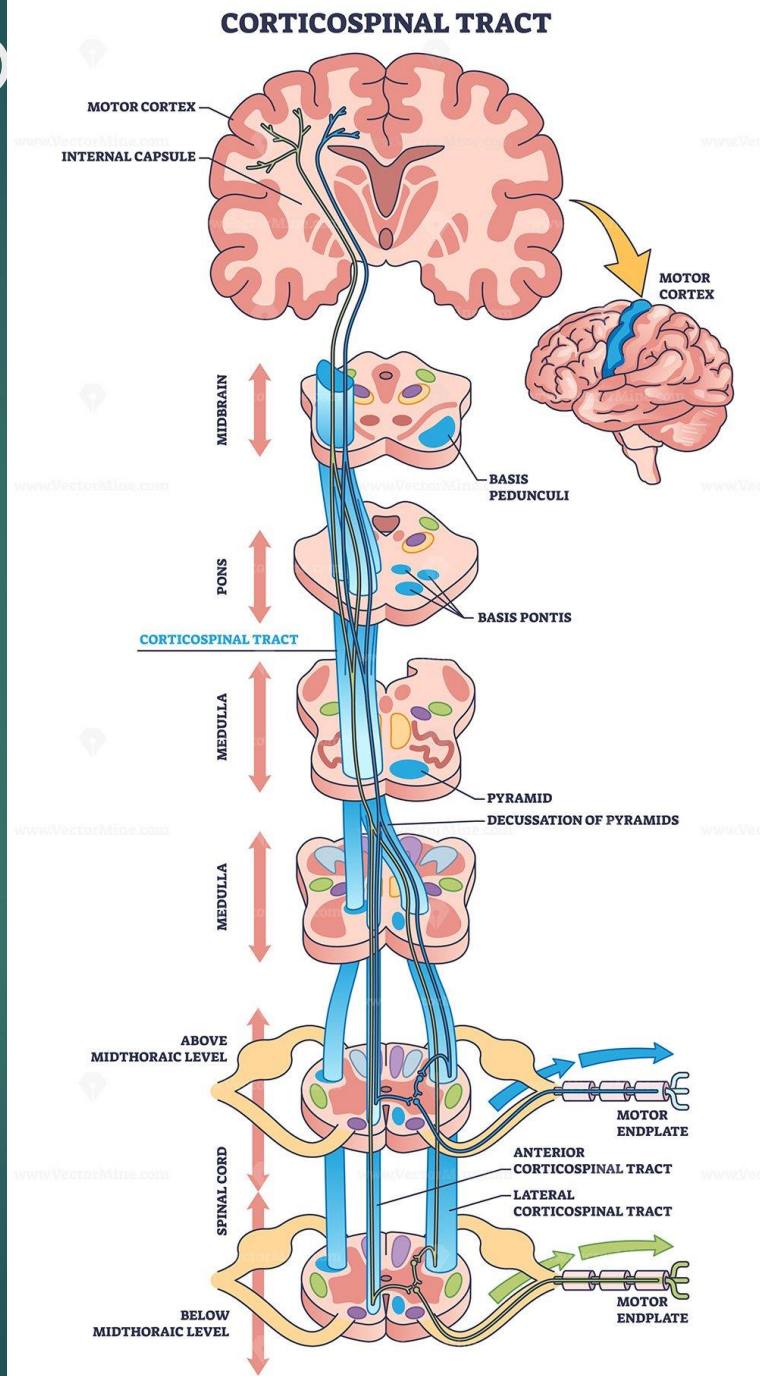
- ▶ Περιοχές 5,7
- ▶ Συμμετέχει στην κινητική λειτουργία
- ▶ Απαγωγές ίνες οδεύουν μέσω του φλοιονωτιαίου δεματίου στον ΝΜ
- ▶ Στενή σύνδεση με κινητικές περιοχές του μετωπιαίου λοβού
- ▶ Θεωρείται ότι συντελούν στη χρησιμοποίηση σύνθετων αισθητικών πληροφοριών

Άνω βρεγματικός
λοβός



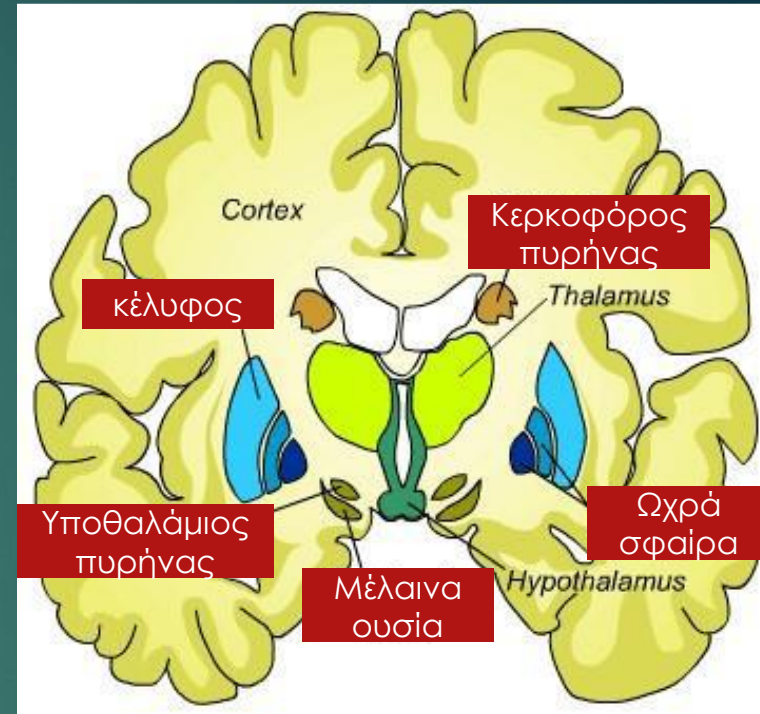
Φλοιονωτιαίο δερμάτιο

- ▶ Πυραμидικό δερμάτιο
- ▶ 30% των φλοιονωτιαίων ινών προέρχονται από την περιοχή 4, 30% από την περιοχή 6 και το υπόλοιπο 40% από κύτταρα ιδιαίτερα των περιοχών 1,2,3
- ▶ Μετά την αφετηρία του από τον κινητικό φλοιό διέρχεται τον προμήκη ενώ οι μισές ίνες διακλαδίζονται στο επίπεδο των πυραμίδων με αποτέλεσμα ο φλοιός κάθε ημισφαιρίου να ελέγχει τους μύς της αντίθετης πλευράς του σώματος. Η κατάληξη είναι οι κινητικοί νευρώνες που ελέγχουν τους περιφερικούς μύς των άκρων
- ▶ Οι ίνες που δεν διακλαδίζονται καταλήγουν σε κινητικούς νευρώνες που ελέγχουν τους μύς του κορμού και των άκρων πιο κοντά στον κορμό



Βασικά γάγγλια

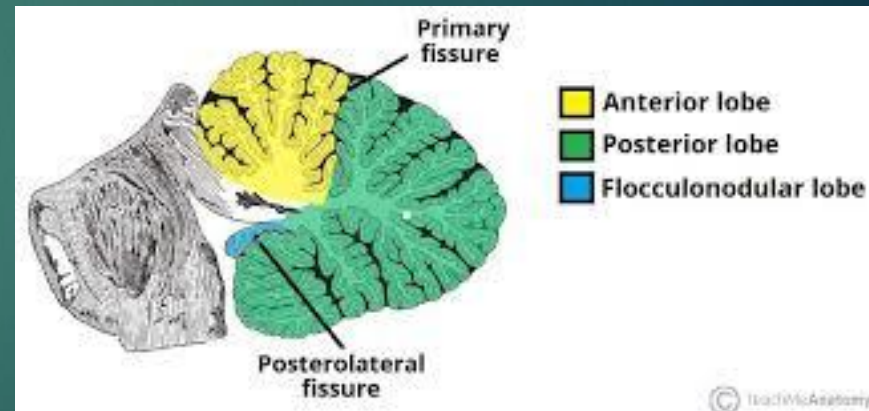
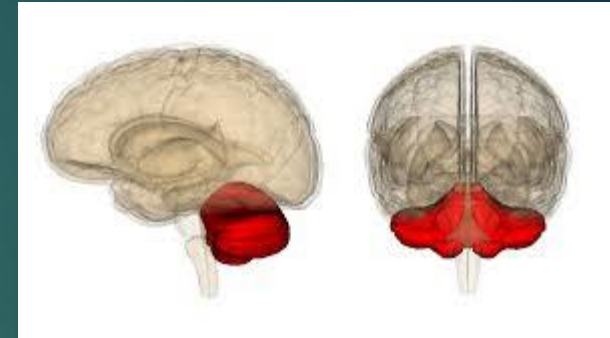
- ▶ Βάση πρόσθιου εγκεφάλου, διεγκέφαλος και στο άνω τμήμα του εγκεφαλικού στελέχους
- ▶ Δέχονται προσαγωγά σήματα από τον εγκεφαλικό φλοιό, ενώ τα απαγωγά σήματα οδεύουν προς περιοχές του φλοιού και του στελέχους που σχετίζονται με τον έλεγχο της κίνησης
- ▶ **Ρόλος:** διευκόλυνση εκτέλεσης επιθυμητών ενεργειών και αναστολή των μη επιθυμητών
- ▶ Όλες οι απαγωγές ίνες των βασικών γαγγλίων είναι ανασταλτικές και χρησιμοποιούν το GABA ως νευροδιαβιβαστή
- ▶ Διαταραχές στα γάγγλια: υποκινησία/υπερκινησία λόγω αύξησης ή μείωσης έκκρισης ανασταλτικών ώσεων (π.χ. Parkinson, Huntington)



Παρεγκεφαλίδα

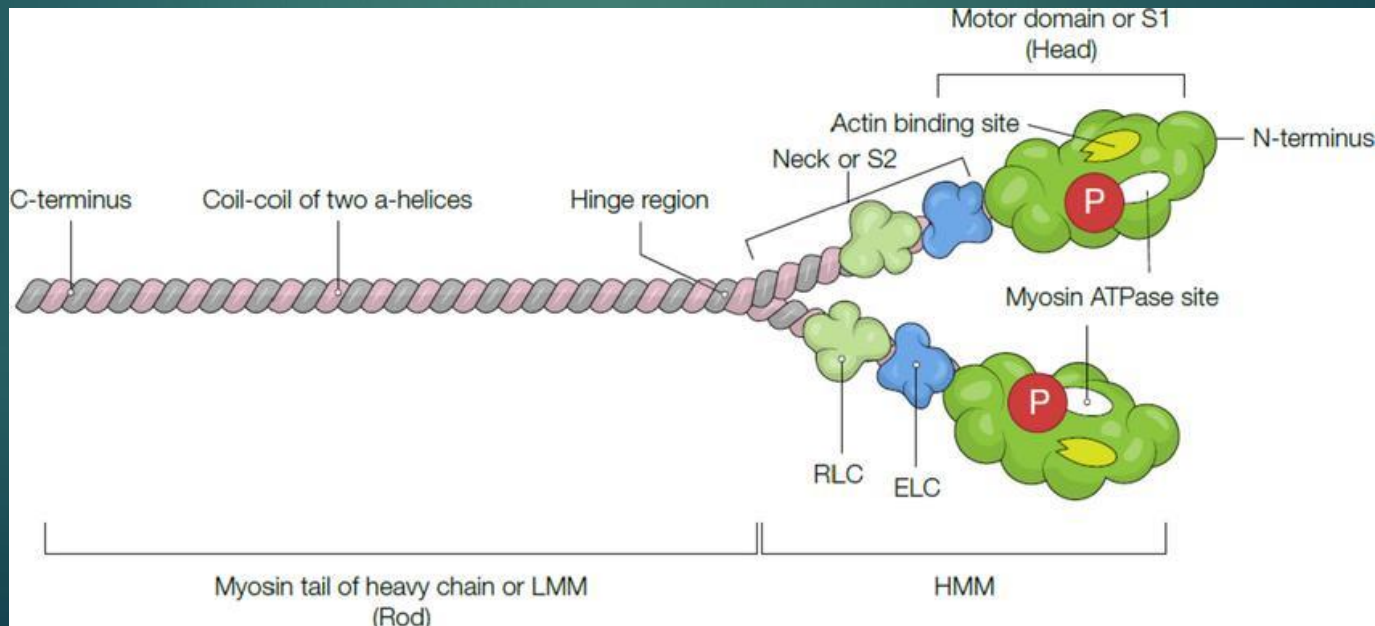


- ▶ Προσαγωγά σήματα από τους περιφερικούς αισθητικούς υποδοχείς, το στέλεχος και τον φλοιό
- ▶ Πλειοψηφία απαγωγών ινών σε περιοχές που συμμετέχουν στον έλεγχο της κίνησης
- ▶ Πολλαπλές αναδιπλώσεις που ονομάζονται έλικες που την χωρίζουν σε 3 λοβούς
- ▶ Βλάβες της προκαλούν διαταραχή στη συντονισμένη δράση μεταξύ αγωνιστών, ανταγωνιστών και συνεργατικών μυών με αποτέλεσμα την εμφάνιση **αταξίας**, κινητικού τρόμου, **υποτονίας** (μείωση αντίστασης στην παθητική κίνηση της άρθρωσης σε ηρεμία)



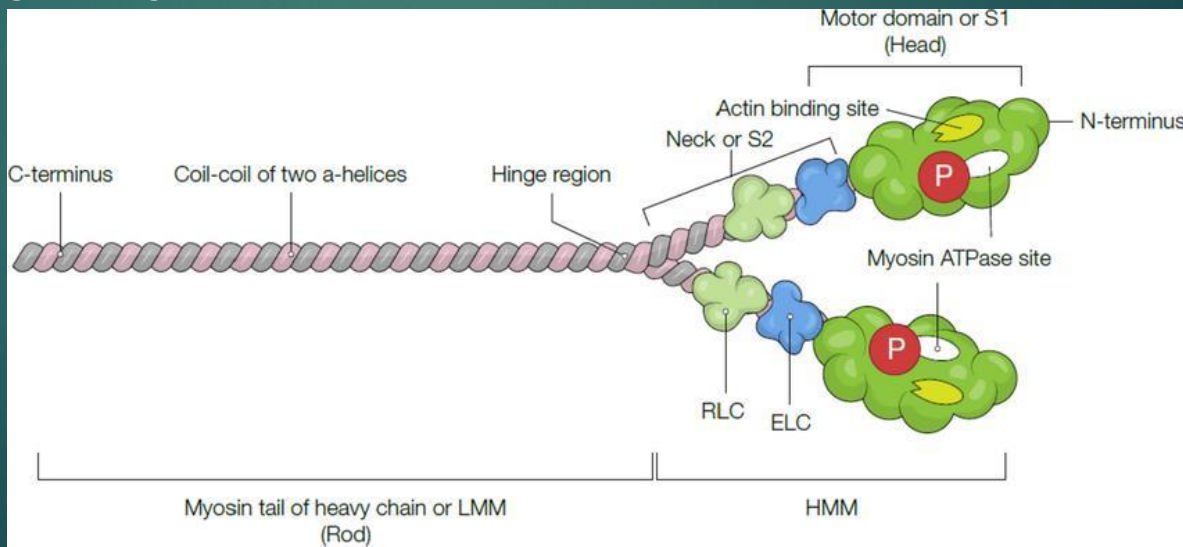
Σκελετικοί μύες – παχέα νημάτια

- ▶ Αποτελούνται από πολυάριθμα μυϊκά κύτταρα, τις **μυϊκές ίνες** που **περιέχουν μιτοχόνδρια για τον εφοδιασμό ATP**
- ▶ Πολυμερείς πρωτεΐνες συστολής (**παχέα και λεπτά νημάτια**)
- ▶ Παχέα νημάτια: **μυοσίνη**
- ▶ Μεγαλύτερο τμήμα αποτελείται από αναδιπλώσεις ελαφράς μερομυοσίνης και είναι το δύσκαμπτο κομμάτι (**ουρά**). Το **κομμάτι S2** είναι εύκαμπτο και αποτελείται από βαριά μερομυοσίνη



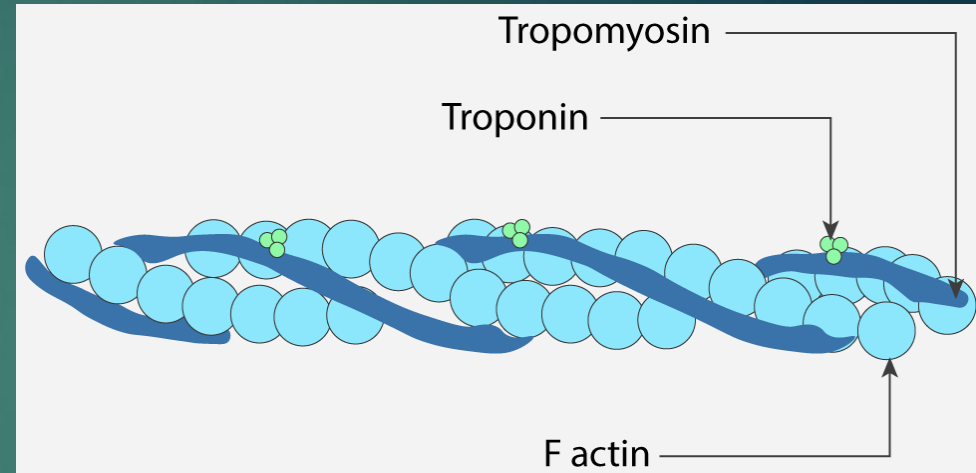
Σκελετικοί μύες – παχέα νημάτια

- ▶ **Περιοχή S1** υπεύθυνη για την αλληλεπίδραση με άλλο νημάτιο (**ακτίνη**). Περιέχει επίσης μια θέση δέσμευσης για ATP που εμπλέκεται στην παροχή ενέργειας για την μυϊκή συστολή
- ▶ Συνδεδεμένες με την περιοχή S1 είναι δύο ελαφριές αλυσίδες: η μία χρειάζεται για την σταθεροποίηση της μυοσίνης και η άλλη φωσφορυλιώνεται κατά τη διάρκεια της μυϊκής δραστηριότητας
- ▶ Τα μόρια μυοσίνης βρίσκονται ανά ζεύγη
- ▶ Ουρά αποτελεί την ραχοκοκαλιά ενώ οι περιοχές της κεφαλής εκτείνονται προς τα έξω



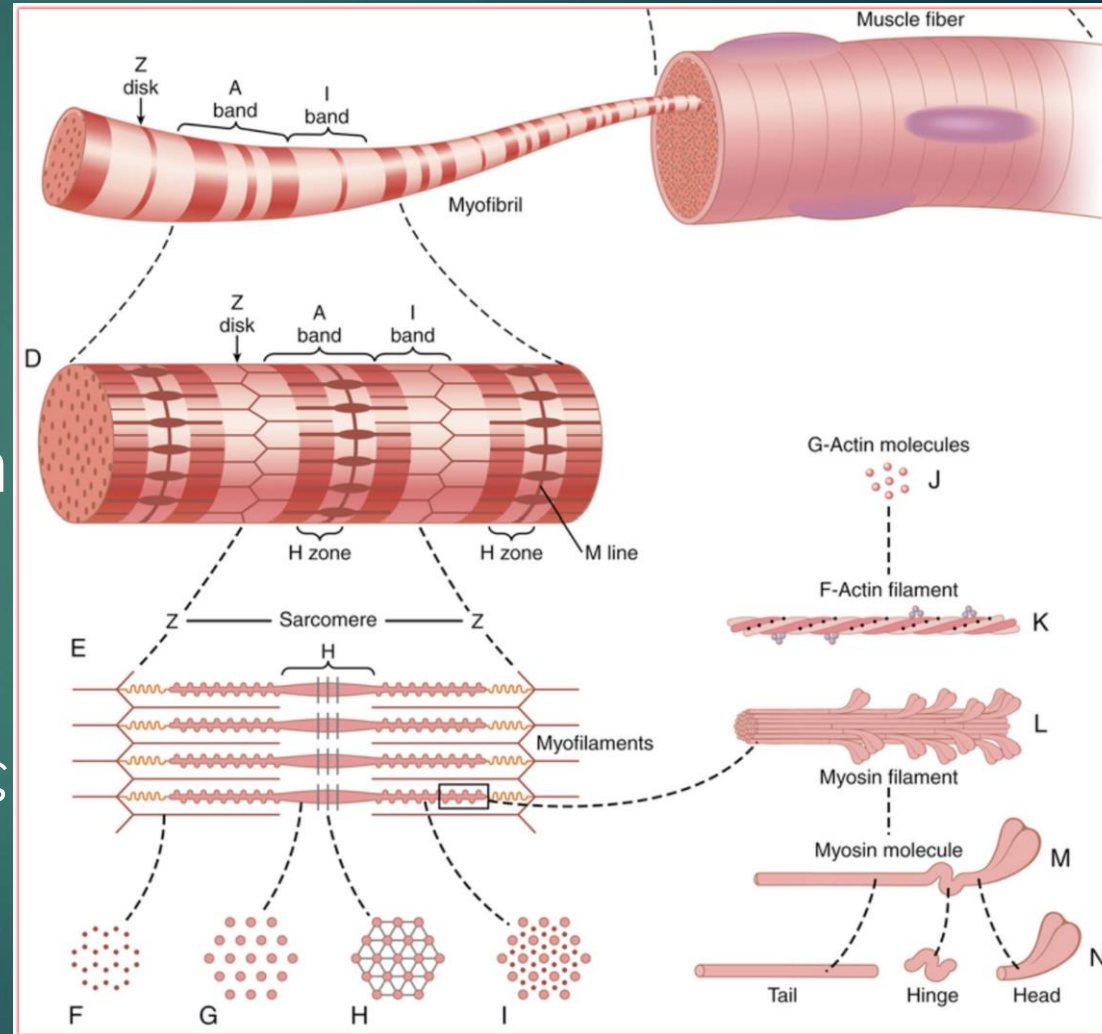
Σκελετικοί μύες – λεπτά νημάτια

- ▶ Βασική δομή κάθε **νηματίου ακτίνης** αποτελείται από δίκλωνες μακρομοριακές υπομονάδες που περιελίσσονται μεταξύ τους
- ▶ Οι έλικες αποτελούνται από επαναλαμβανόμενα μονομερή **G-ακτίνης** και η δομή υφίσταται μισή στροφή κάθε 7 μονομερή (νηματοειδή ακτίνη ή **F-ακτίνη**)
- ▶ Στην αύλακα που σχηματίζεται κατά μήκος της έλικας υπάρχουν νημάτια **τροπομυοσίνης**
- ▶ Κοντά στο ένα άκρο κάθε μορίου τροπομυοσίνης υπάρχει ένα πρωτεϊνικό σύμπλοκο που ονομάζεται **τροπονίνη** (αποτελείται από 3 υπομονάδες: την C (Tn-C), την T (Tn-T) και την I (Tn-I))



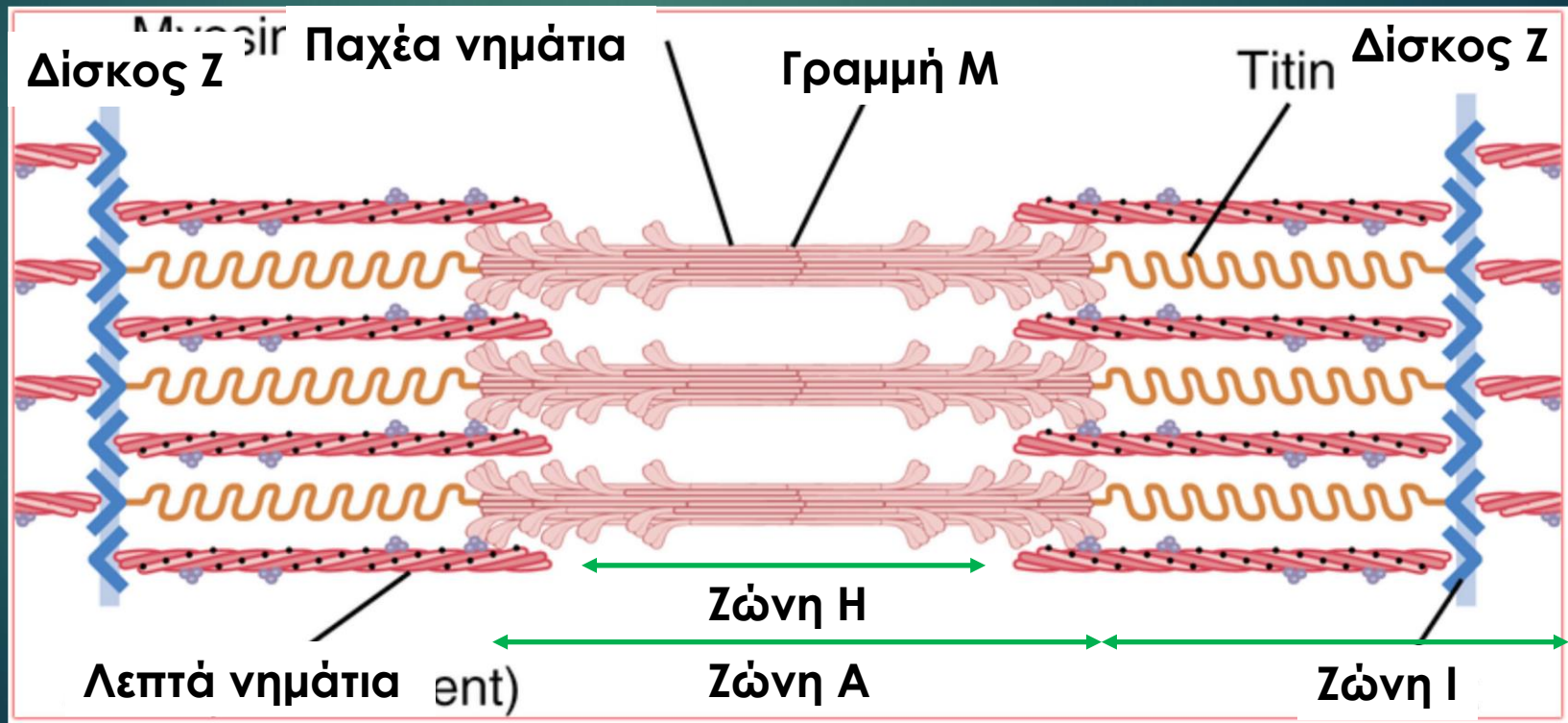
Σαρκομέριο

- ▶ Κάθε μυϊκή ίνα διαχωρίζεται κατά μήκος σε πολλαπλά παράλληλα μυοϊνίδια
- ▶ **A ζώνη:** σκοτεινή ζώνη – περιέχει μόνο νημάτια μυοσίνης
- ▶ **H ζώνη:** ανοιχτόχρωμη ζώνη στο μέσο της A ζώνης
- ▶ **M γραμμή:** χωρίζει στην μέση τη ζώνη H
- ▶ **I ζώνη:** χαμηλής πυκνότητας μεταξύ διαδοχικών A ζωνών – περιέχει μόνο ινίδια ακτίνης
- ▶ **Z γραμμή (ή δίσκος):** σκοτεινή γραμμή στο μέσο της ζώνης I



Σαρκομέριο

- ▶ Νημάτια ζώνης I προσδένονται στον δίσκο Z και εκτείνονται εκατέρωθεν προς γειτονικές A ζώνες
- ▶ Θεμελιώδης επαναλαμβανόμενη μονάδα των μυοϊνιδίων και ορίζεται ως το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών γραμμών (δίσκων) Z
- ▶ Τιτίνη: νηματώδης πρωτεΐνη που προσδένεται στα παχέα νημάτια και συγκρατεί τα νημάτια μυοσίνης και ακτίνης στη θέση τους, έτσι ώστε ο συσταλτικός μηχανισμός του σαρκομερούς να λειτουργήσει

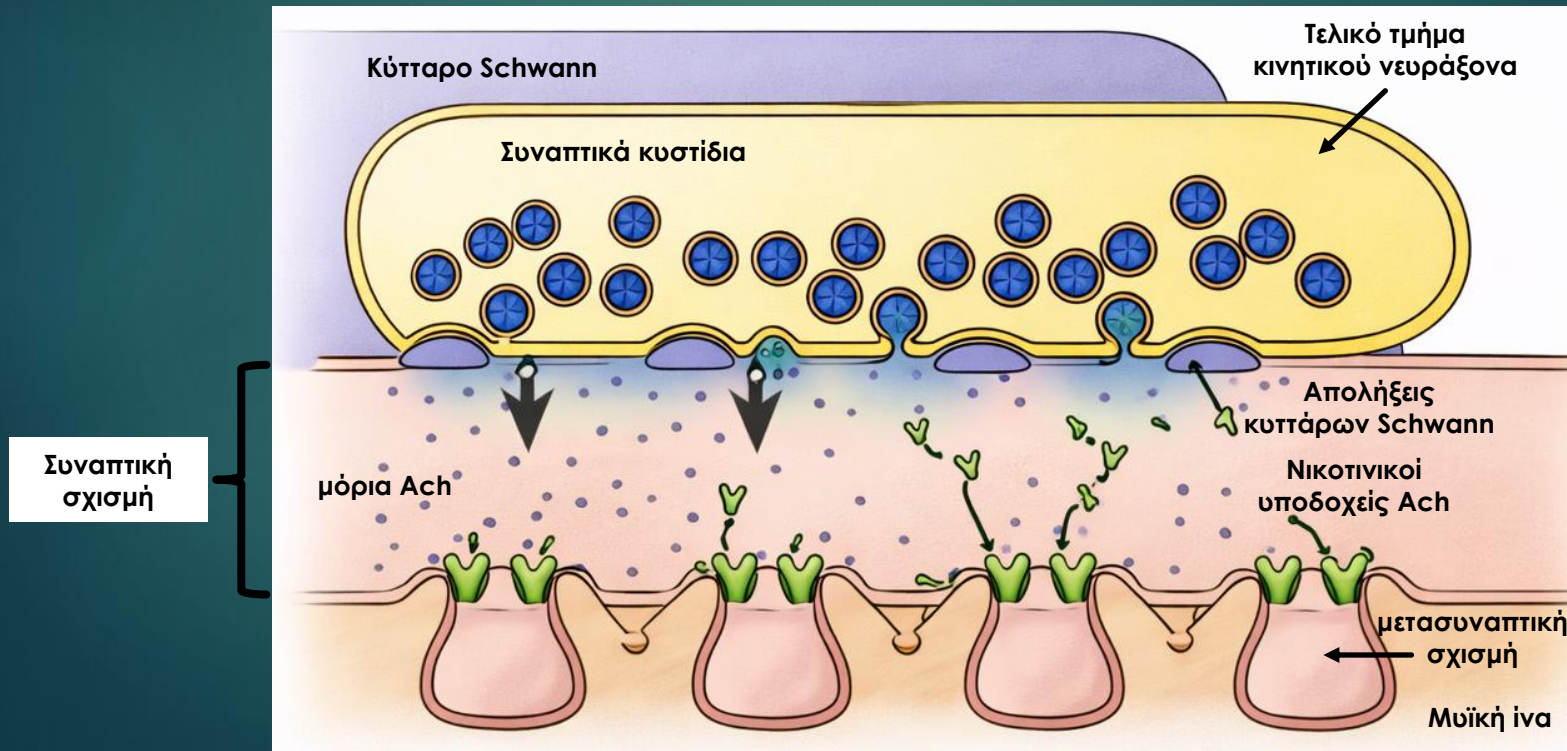


Διέγερση σκελετικών μυών

- ▶ Εκπόλωση κυτταρικής μεμβράνης οδηγεί σε δημιουργία παραγωγού $\Delta\Delta$ το οποίο οδηγεί σε αύξηση $[Ca^{2+}]$ και συνεπακόλουθη ενεργοποίηση του κύκλου των γεφυρών συστολής
- ▶ **Τα μυϊκά κύτταρα δεν μπορούν να δημιουργήσουν τα δικά τους $\Delta\Delta$**
- ▶ Θα πρέπει να ενεργοποιηθούν από σήμα εκπόλωσης που απελευθερώνεται από τους κινητικούς νευρώνες που νευρώνουν το κύτταρο – **συνεπώς ελέγχονται πλήρως από το ΚΝΣ**
- ▶ **Τα $\Delta\Delta$ που έρχονται από το ΚΝΣ μέσω των κινητικών νευρώνων προκαλούν τη συστολή των σκελετικών μυών**
- ▶ Νευράξονας του κινητικού νευρώνα δημιουργεί αρκετές απολήξεις όπου κάθε μία από αυτές αποτελεί το προσυναπτικό τμήμα μιας ειδικής σύναψης – **νευρομυϊκή σύναψη ή τελική κινητική πλάκα**
- ▶ Είναι αποκλειστικά διεγερτική και δεν υπάρχει ανατροφοδότηση από το μετασυναπτικό κύτταρο

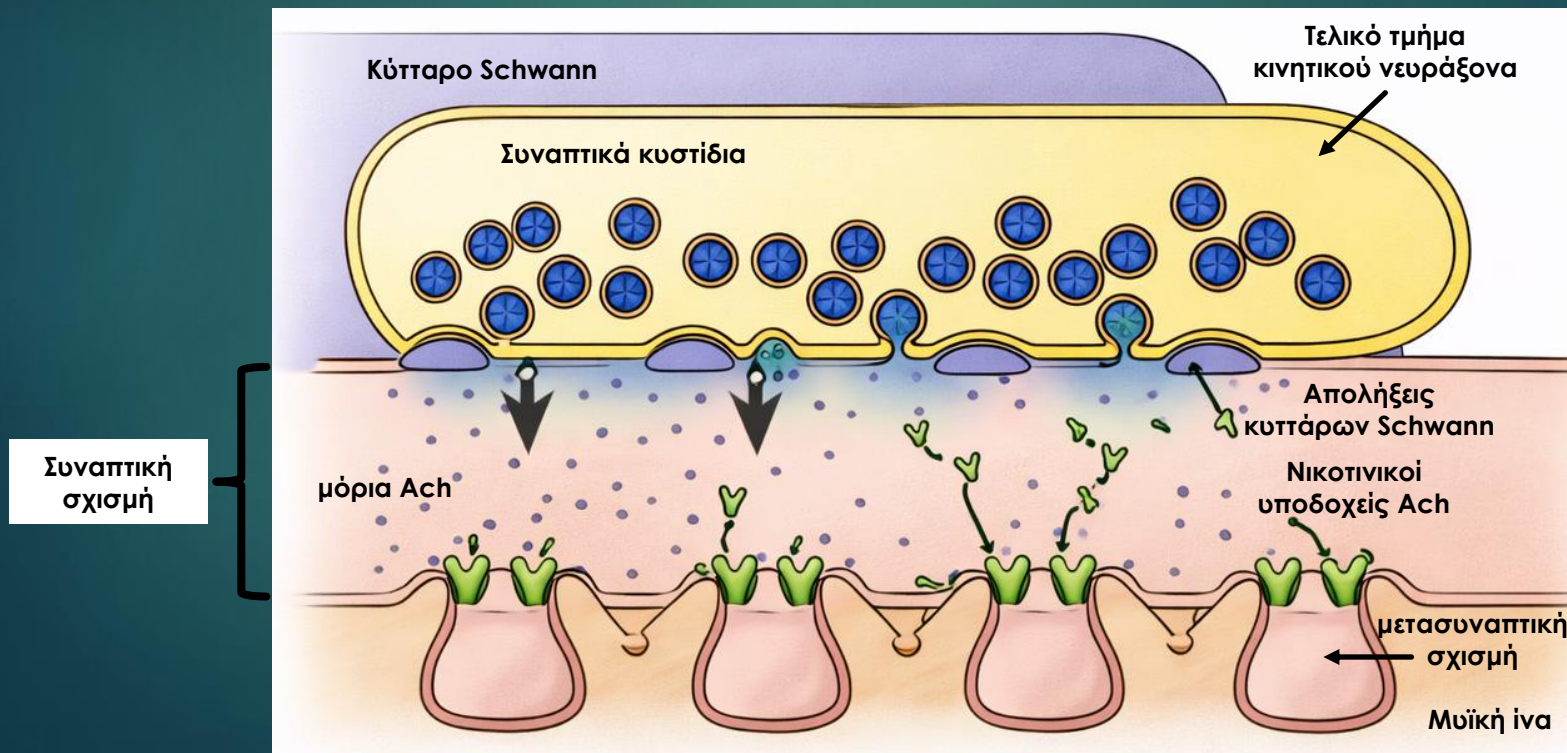
Νευρομυϊκή σύναψη

- ▶ Άφιξη ΔΔ στις απολήξεις του κινητικού νευράξονα προκαλεί εκπόλωση και άνοιγμα μεμβρανικών διαύλων $\rightarrow$ είσοδος Ca^{2+}
- ▶ Μεταφορά κυστιδίων που περιέχουν ακετυλοχολίνη και σύντηξη με την κυτταρική μεμβράνη του προσυναπτικού νευράξονα $\rightarrow$ απελευθέρωση στη συναπτική σχισμή και σύνδεση με τους υποδοχείς της στο μετασυναπτικό μυϊκό κύτταρο



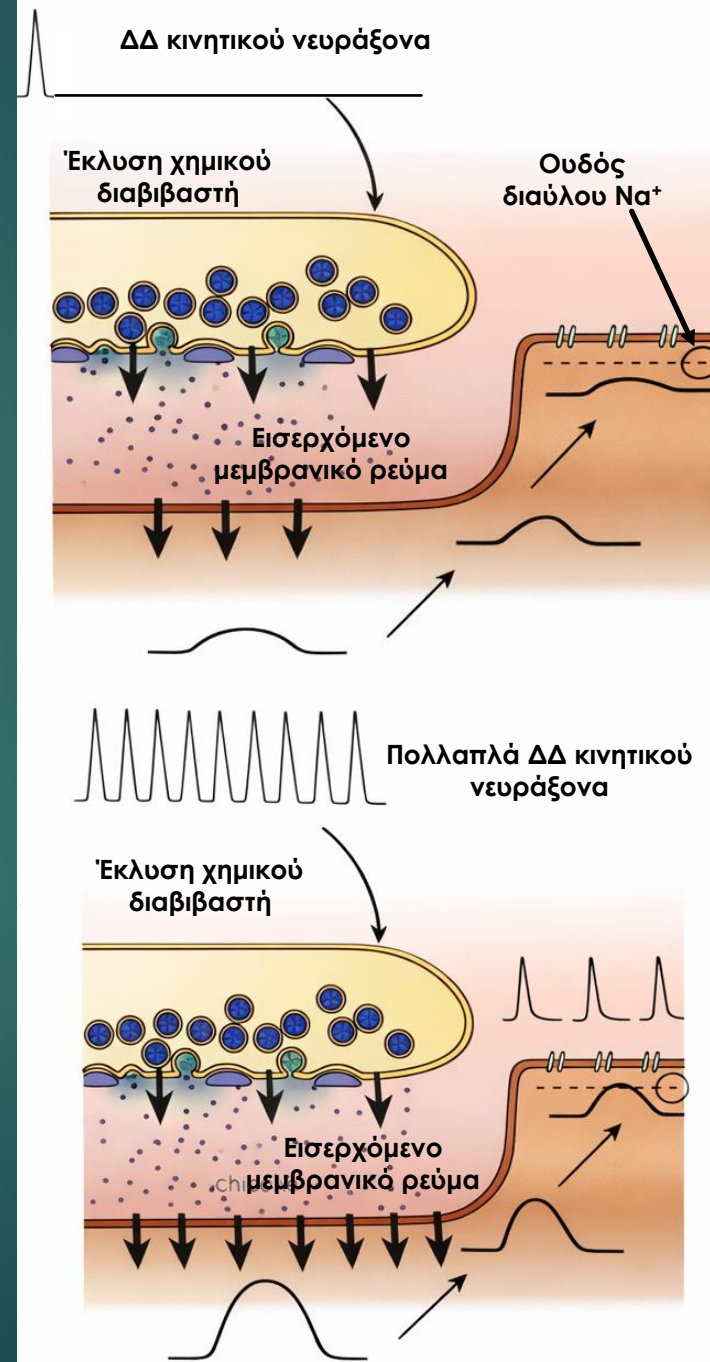
Νευρομυϊκή σύναψη

- ▶ Όταν 2 μόρια Ach προσδένονται σε έναν υποδοχέα $\rightarrow$ αλλαγή διαμόρφωσης $\rightarrow$ ελεύθερη διέλευση Na^+ μέσα στο κύτταρο και K^+ (έξω από το κύτταρο) σύμφωνα με την ηλεκτροχημική τους κλίση (χημειοεξαρτώμενος διάυλος)
- ▶ Δημιουργία εσωτερικού ρεύματος – **ρεύμα της τελικής κινητικής πλάκας** – που εκπολώνει την μετασυναπτική μεμβράνη



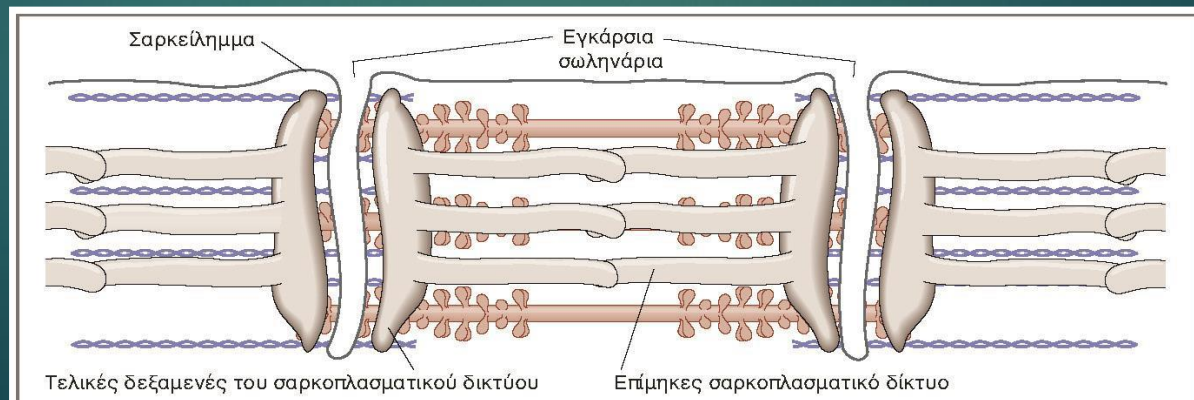
Δυναμικό τελικής κινητικής πλάκας

- ▶ Εύρος εκπόλωσης εξαρτάται ανάλογα με τον αριθμό υποδοχέων ACh που δεσμεύονται – **χαμηλές συχνότητες ΔΕ σχετίζονται με χαμηλότερες ποσότητες ACh στη στη συναπτική σχισμή**
- ▶ Σε συνδυασμό με τη δράση της AChE που αποικοδομεί την ACh το εύρος εκπόλωσης θα είναι μικρό ή δεν θα ξεπεράσει τον ουδό
- ▶ Η τελική κινητική πλάκα δεν περιέχει τασεοελεγχόμενους διαύλους και για αυτό δεν μπορεί να παράξει δικά της ΔΕ
- ▶ Μεγάλες ποσότητες ACh θα προκαλέσουν μεγαλύτερη εκπόλωση η οποία έστω και με μειωμένη ένταση θα φτάσει στις περιοχές της μεμβράνης που έχουν τασεοελεγχόμενους διαύλους στους οποίους θα προκαλέσει άνοιγμα και πυροδότηση ΔΕ



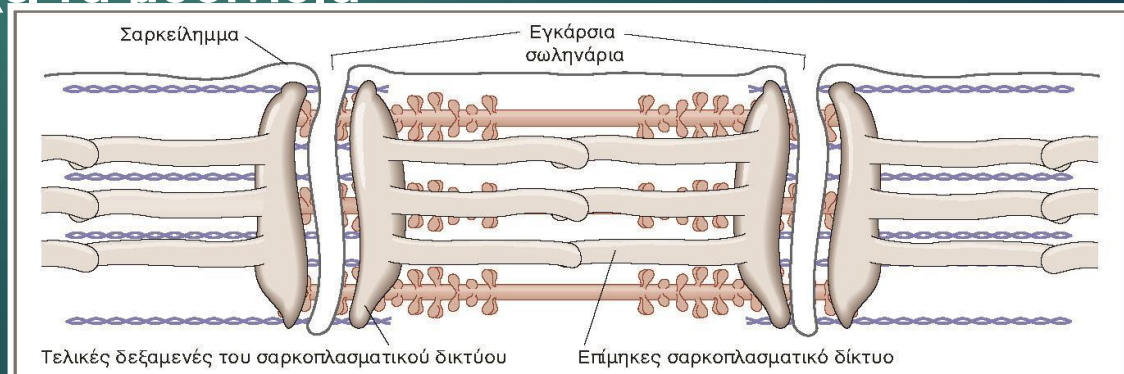
Σαρκοπλασματικό δίκτυο

- ▶ Το **σαρκείλημα** (εξωτερική επιφάνεια σκελετικής μυϊκής ίνας) δημιουργεί και άγει τα ΔΔ
- ▶ Εντός ενός μυϊκού κυττάρου περιέχεται το **σαρκοπλασματικό δίκτυο** (ΣΔ) που είναι εξειδίκευση του ενδοπλασματικού δικτύου
- ▶ Το ΣΔ προσλαμβάνει, αποθηκεύει και απελευθερώνει τα ιόντα Ca^{2+} τα οποία είναι απαραίτητα για τη συστολή και τη χάλαση του μυός
- ▶ Άκρα επιμήκων τμημάτων του ΣΔ τερματίζουν στις τελικές δεξαμενές όπου δεσμεύεται το Ca^{2+}
- ▶ Εγκάρσια σωληνάρια (ή T σωληνίσκοι): προς τα έσω πτυχώσεις της κυτταρικής μεμβράνης



Μεταφορά ΔΔ στο εσωτερικό

- ▶ Το ΔΕ μεταφέρεται στην μεμβράνη των T σωληνίσκων -> δημιουργία πολλαπλών ΔΔ τα οποία ταξιδεύουν προς το κέντρο της ίνας
- ▶ Όταν φτάσει στο σημείο επαφής με τις τελικές δεξαμενές του ΣΔ, αισθητήρες τάσης είναι συνδεδεμένοι με διαύλους ρυανοδίνης (RyR) που είναι ενσωματωμένοι στην μεμβράνη του ΣΔ
- ▶ Οι RyR είναι ελεγχόμενοι διαύλοι μέσω του οποίου τα ιόντα Ca^{2+} μπορούν να κινηθούν (**διαύλοι απελευθέρωσης ασβεστίου**)
- ▶ **Μυς σε χάλαση:** οι RyR είναι κλειστοί (όπου η $[\text{Ca}^{2+}]$ είναι χαμηλή).
- ▶ **Μυς σε συστολή:** οι RyR ανοίγουν (όταν η $[\text{Ca}^{2+}]$ αυξάνεται) με αποτέλεσμα την απελευθέρωση του Ca^{2+} από το ΣΔ στον ενδοκυττάριο χώρο που έχει τα μυοϊνίδια



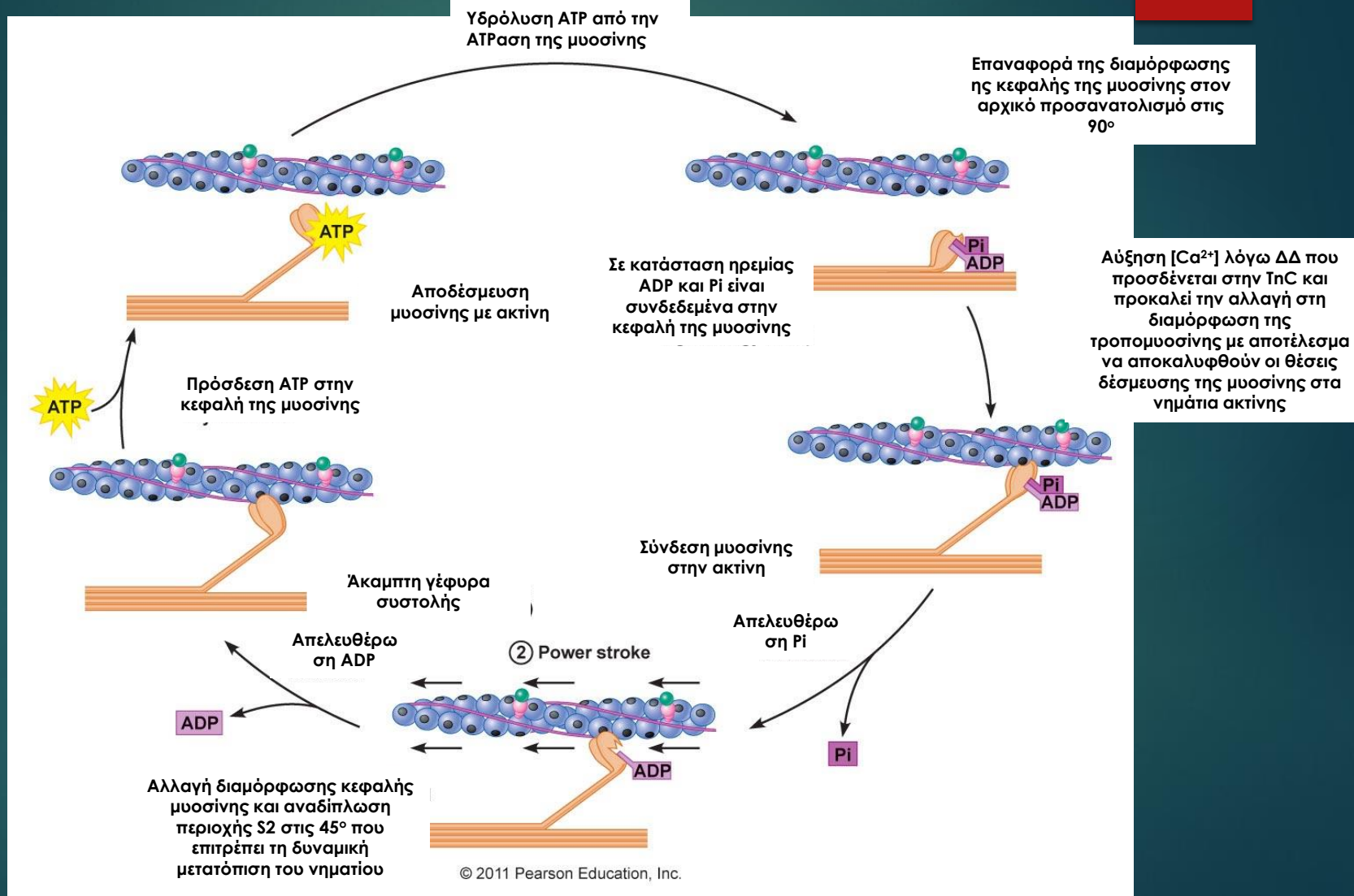
Συστολή σκελετικών μυών



- ▶ Κυκλική αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο τύπων νηματίων (**κύκλος των γεφυρών συστολής ή των εγκάρσιων γεφυρών**)
- 1) Η αύξηση του Ca^{2+} καταργεί την παρεμπόδιση αλληλεπίδρασης ακτίνης/μυοσίνης από το σύμπλοκο τροπονίνης/ τροπομυοσίνης
- 2) Πρόσδεση των κεφαλών της μυοσίνης στις θέσεις δέσμευσης στα μονομερή της ακτίνης (γέφυρα συστολής)
- 3) Βράχυνση σαρκομερίου
- 4) Αποκόλληση κεφαλών μυοσίνης
- 5) Επανασύνδεση κεφαλών μυοσίνης στα ινίδια ακτίνης

Αυτή η επαναλαμβανόμενη γέφυρα (**ηλεκτροχημική σύζευξη**) έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή δύναμης και κίνησης

Κύκλος των γεφυρών συστολής



Κύκλος των γεφυρών συστολής

- ▶ Ο κύκλος επαναλαμβάνεται για όσο διάστημα είναι ενεργοποιημένος ο μυς, για όσο επαρκεί η παροχή ATP και το όριο βράχυνσης δεν έχει επιτευχθεί
- ▶ Αν εξαντληθούν τα κυτταρικά αποθέματα ενέργειας, όπως συμβαίνει μετά τον θάνατο, οι γέφυρες συστολής δεν μπορούν να αποκολληθούν λόγω της έλλειψης ATP και ο κύκλος σταματάει (**νεκρική ακαμψία**)
- ▶ Κατά την βράχυνση του μυός η φάση δυναμικής μετακίνησης μετακινεί τις δύο σειρές των νηματίων το ένα πάνω στο άλλο
- ▶ Μήκη λεπτών και παχέων νηματίων παραμένει σταθερά, παρά τις αλλαγές στο μήκος της μυϊκής ίνας
- ▶ **Θεωρία του διολισθαίνοντος νηματίου** – οι μεταβολές στο μήκος της μυϊκής ίνας συνδέονται άμεσα με τις μεταβολές επικάλυψης μεταξύ παχέων και λεπτών νηματίων που συμβαίνουν λόγω της αλληλεπίδρασης των σφαιρικών κεφαλών μυοσίνης με τις θέσεις σύνδεσης στην ακτίνη

Διολισθαίνοντα νημάτια

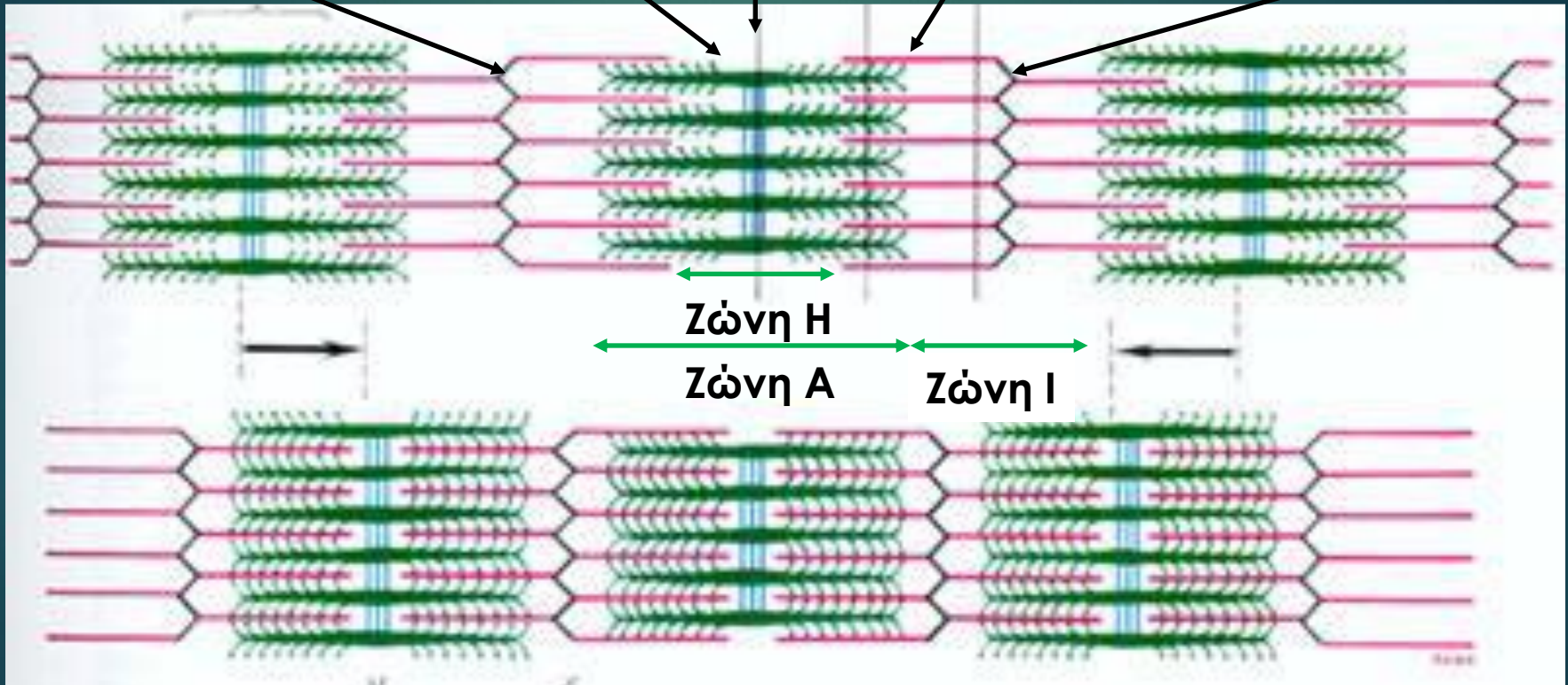
Δίσκος Z

Παχέα νημάτια

Γραμμή M

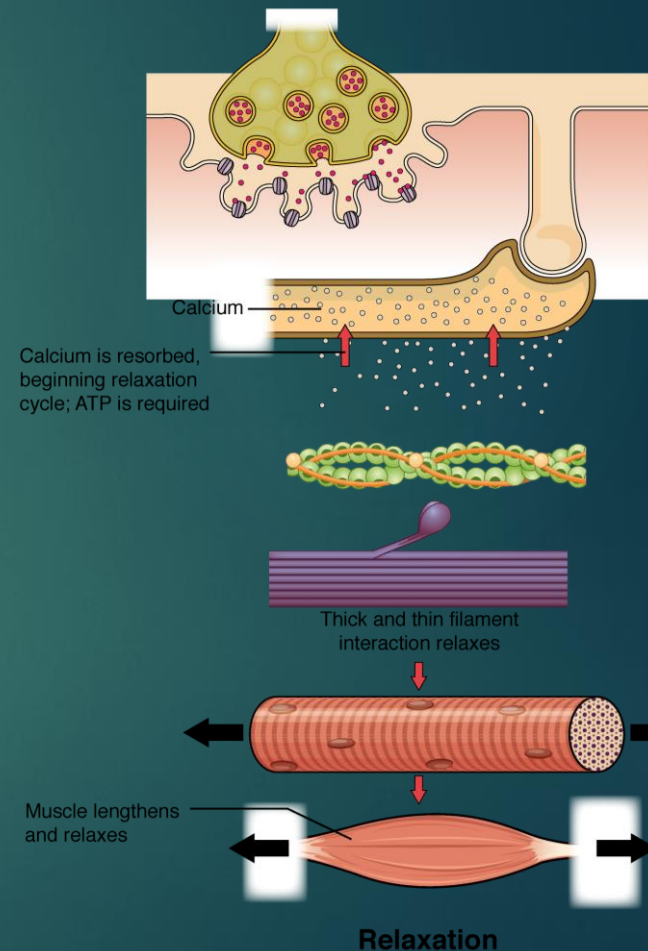
Λεπτά νημάτια

Δίσκος Z



Χάλαση σκελετικού μυός

- 1) **Διακοπή νευρικού ερεθίσματος:** Ο κινητικός νευρώνας σταματάει την απελευθέρωση ACh στην συναπτική σχισμή. Η ACh αποδομεί τα υπολοίπων μόρια ACh στην σχισμή για να σταματήσει η δημιουργία ΔΕ στην μετασυναπτική σκελετική μεμβράνη
- 2) **Επαναπόλωση μεμβράνης μυϊκής ίνας** (κλείσιμο διαύλων Na^+ , επαναφορά στο ΔΗ)
- 3) **Αντλίες Ca^{2+}** (SERCA – Ca^{2+} -ATPases) αντλούν το υπολειπόμενο ενδοκυττάριο Ca^{2+} προς το ΣΔ (**απαιτεί την κατανάλωση ATP**)
- 4) Εφόσον η συγκέντρωση Ca^{2+} μειώνεται, το Ca^{2+} αποσυνδέεται από την τροπονίνη -> τροπομοσίνη επιστρέφει στην θέση της μπλοκάροντας τις θέσεις πρόσδεσης στην ακτίνη (**αποτρέπεται η δημιουργία γέφυρας συστολής**)
- 5) Η μυϊκή ίνα χαλαρώνει και επανέρχεται στο αρχικό της μήκος

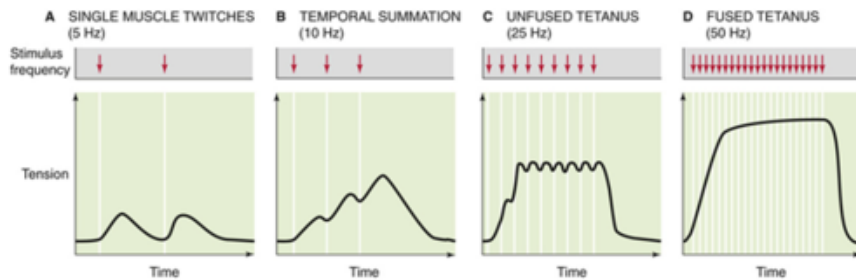


Χρονική και χωρική άθροιση

- ▶ Ένα ΔΕ -> μονήρη μυϊκή συστολή (μυϊκή σύσπαση) η οποία μεταφέρεται κατά τη διάρκεια της μυϊκής ίνας (**μέγεθος δύναμης που παράγεται από μια μονήρη σύσπαση είναι χαμηλό**)
- ▶ Διάρκεια ΔΕ <<< Διάρκεια συστολής -> η μυϊκή ίνα μπορεί να ενεργοποιηθεί και πάλι πριν καν ο μυς χαλαρώσει
- ▶ Η δύναμη του δεύτερου ερεθίσματος προστίθεται στην δύναμη του πρώτου ερεθίσματος
- ▶ Επανειλημμένα και γρήγορα πολλά ερεθίσματα -> ενισχυμένη παρατεταμένη συστολή (τέτανος)

Temporal Summation of Muscle Twitches

APs are grouped more closely in time (frequency summation).



- Single twitch = single muscle AP
- Contractions lasts longer than AP. Second AP can be initiated.
- In a single muscle fiber, the force developed may be increased by summing multiple twitches in time.

Πλήρης ή συγχωνευμένος τέτανος: Ca^{2+} συσσωρεύεται ενδοκυττάρια ταχύτερα από αυτό που αντλείται πίσω στο ΣΔ -> συνεχής ενεργοποίηση μυϊκής συστολής

Συνοψίζοντας

- ▶ Οι α-κινητικοί νευρώνες αποτελούν την τελική κοινή οδό μέσω της οποίας το ΚΝΣ ελέγχει τους σκελετικούς μυς
- ▶ Η μυϊκή άτρακτος και τα τενόντια όργανα Golgi είναι τα κύρια αισθητικά τμήματα των μυών
- ▶ Οι Ia και II αισθητικοί νευρώνες στέλνουν τα αισθητήρια σήματα στον νωτιαίο μυελό
- ▶ Το εγκεφαλικό στέλεχος (μέσω 3 δεματίων), ο εγκεφαλικός φλοιός (μέσω του φλοιονωτιαίου δεματίου), η παρεγκεφαλίδα και τα βασικά γάγγλια είναι ανώτερα επίπεδα ελέγχου της κίνησης
- ▶ Η δομή των μυϊκών ινών βασίζεται στην μυοσίνη και την ακτίνη
- ▶ Το σαρκομέριο αποτελεί τη βασική θεμελιώδη επαναλαμβανόμενη μονάδα των μυοϊνιδίων
- ▶ Η νευρομυϊκή σύναψη αποτελεί την οδό διέγερσης των μυών και βασίζεται στην ακετυλοχολίνη
- ▶ Η δημιουργία ΔΕ στο μυϊκό κύτταρο προκαλεί την απελευθέρωση Ca^{2+} και την ενεργοποίηση του κύκλου των γεφυρών συστολής