



Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εργαστήριο Βιολογίας, Τομέας Βασικών Ιατρικών Επιστημών
Τμήμα Ιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας

Κυτταρικός Σκελετός II
ΚΕΦ. 17, Alberts, MED1952

Νεφέλη Λαγοπάτη
Επίκουρη Καθηγήτρια Βιολογίας-Νανοϊατρικής

Εκπαιδευτικοί Στόχοι Διόλεξης

Θα γνωρίσουμε:

- Τον Κυτταροσκελετό και συγκεκριμένα
 - ✓ Τους μικροσωληνίσκους
 - ✓ Τα νημάτια ακτίνης
- Τη μυϊκή συστολή

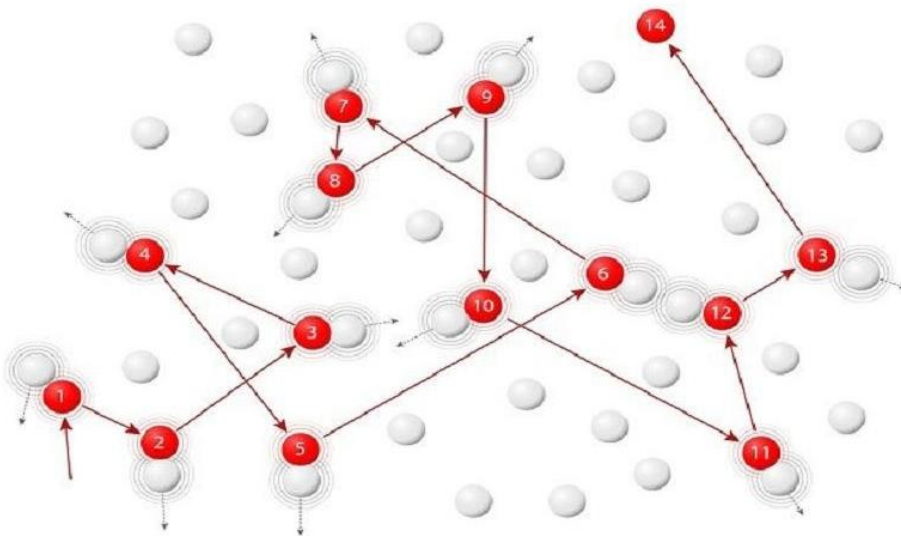
Μικροσωληνίσκοι

Μικροσωληνίσκοι

Το κυτταρόπλασμα ενός ζωντανού κυττάρου είναι σε διαρκή κίνηση.

Τα μιτοχόνδρια και τα μικρότερα μεμβρανικά οργανίδια και κυστίδια μετακινούνται σπασμωδικά.

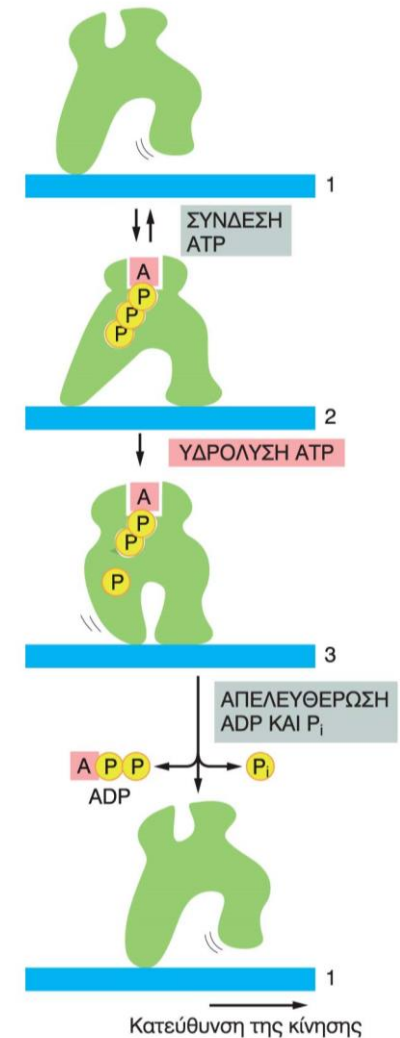
Αυτή η μετακίνηση με άλματα κατευθύνεται από τις συνεχείς κινήσεις Brown, λόγω των θερμικών κινήσεων.



Οι μικροσωληνίσκοι και τα νημάτια ακτίνης συμμετέχουν σε μετακινήσεις με άλματα.

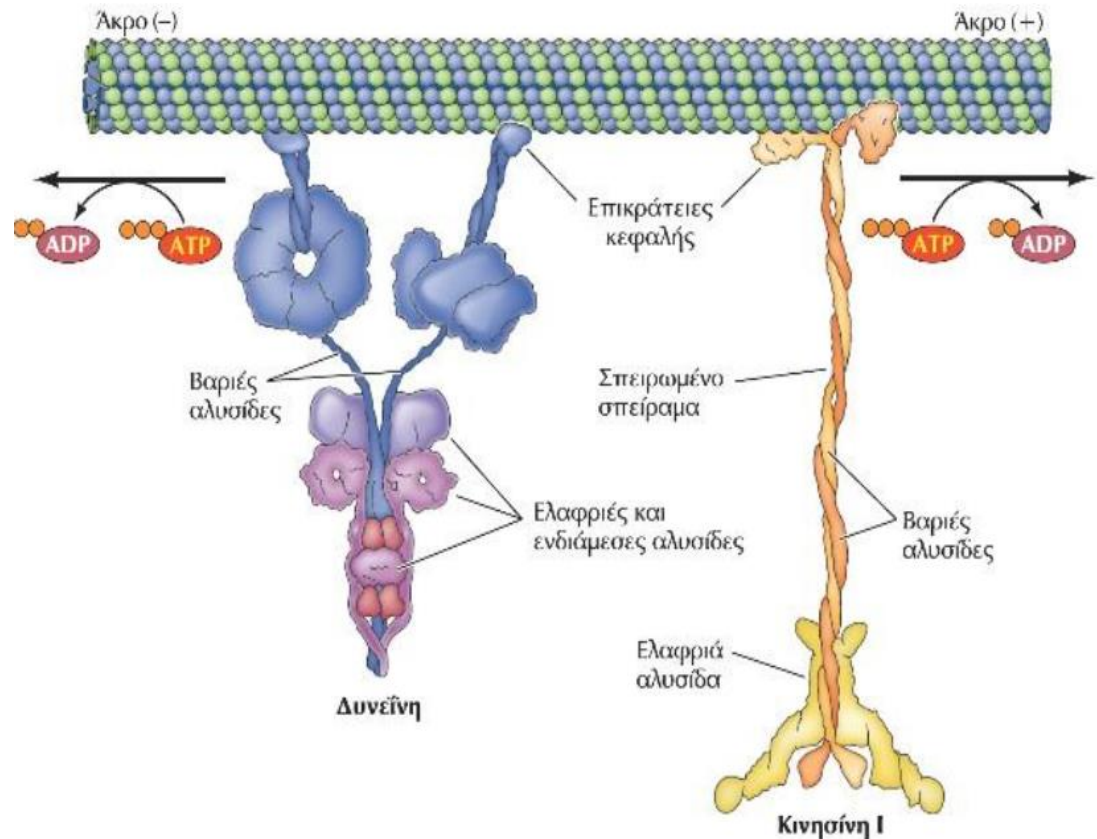
Μικροσωληνίσκοι

Οι μετακινήσεις προκαλούνται από τις πρωτεΐνες που προσδένονται στους μικροσωληνίσκους ή τα νημάτια ακτίνης.



Μικροσωληνίσκοι

Οι κινητήριες πρωτεΐνες προσδένουν και άλλα κυτταρικά συστατικά και έτσι μεταφέρουν αυτό το φορτίο κατά μήκος των ινιδίων.



Μικροσωληνίσκοι

Οι κινητήριες πρωτεΐνες διαφέρουν ως προς:

- το είδος του ινιδίου στο οποίο προσδένονται
- την κατεύθυνση μετακίνησης κατά μήκος του ινιδίου και
- το φορτίο που μεταφέρουν

Μικροσωληνίσκοι

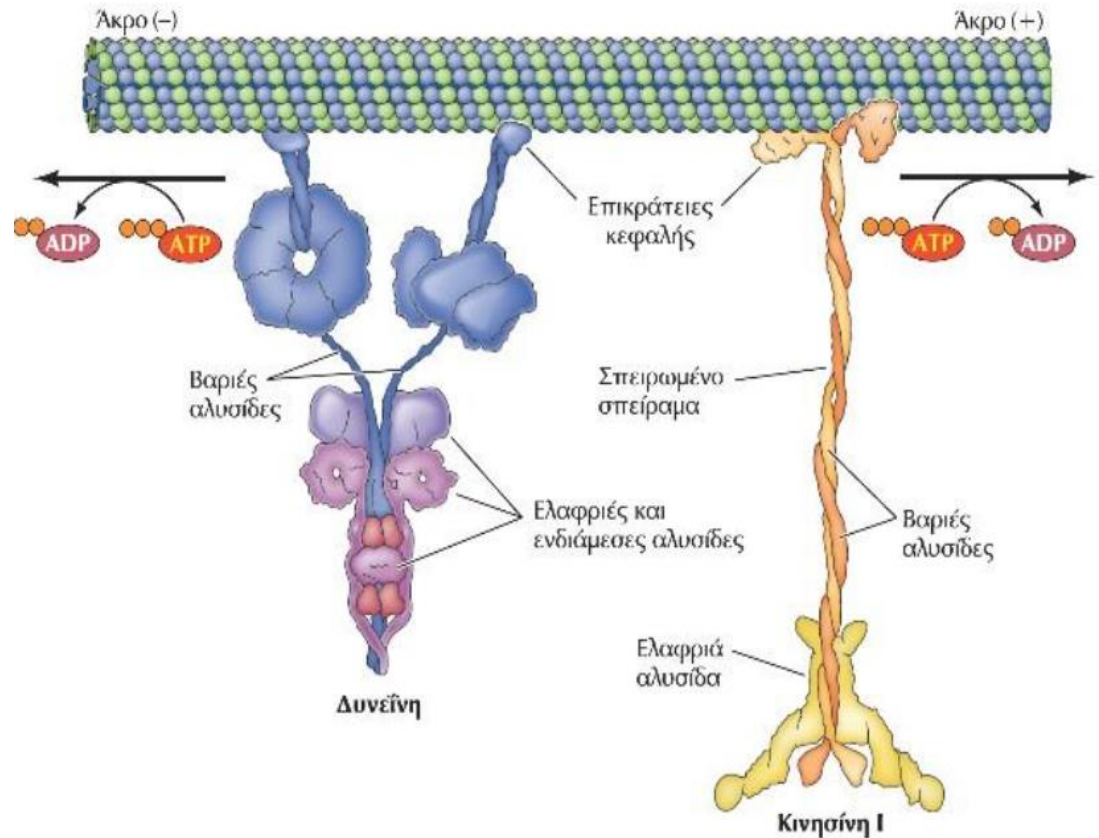
Οι κινητήριες πρωτεΐνες που κινούνται κατά μήκος κυτταροπλασματικών μικροσωληνίσκων ανήκουν σε 2 κατηγορίες:

- Τις **κινησίνες**
- Τις **δυνεΐνες**

Μικροσωληνίσκοι

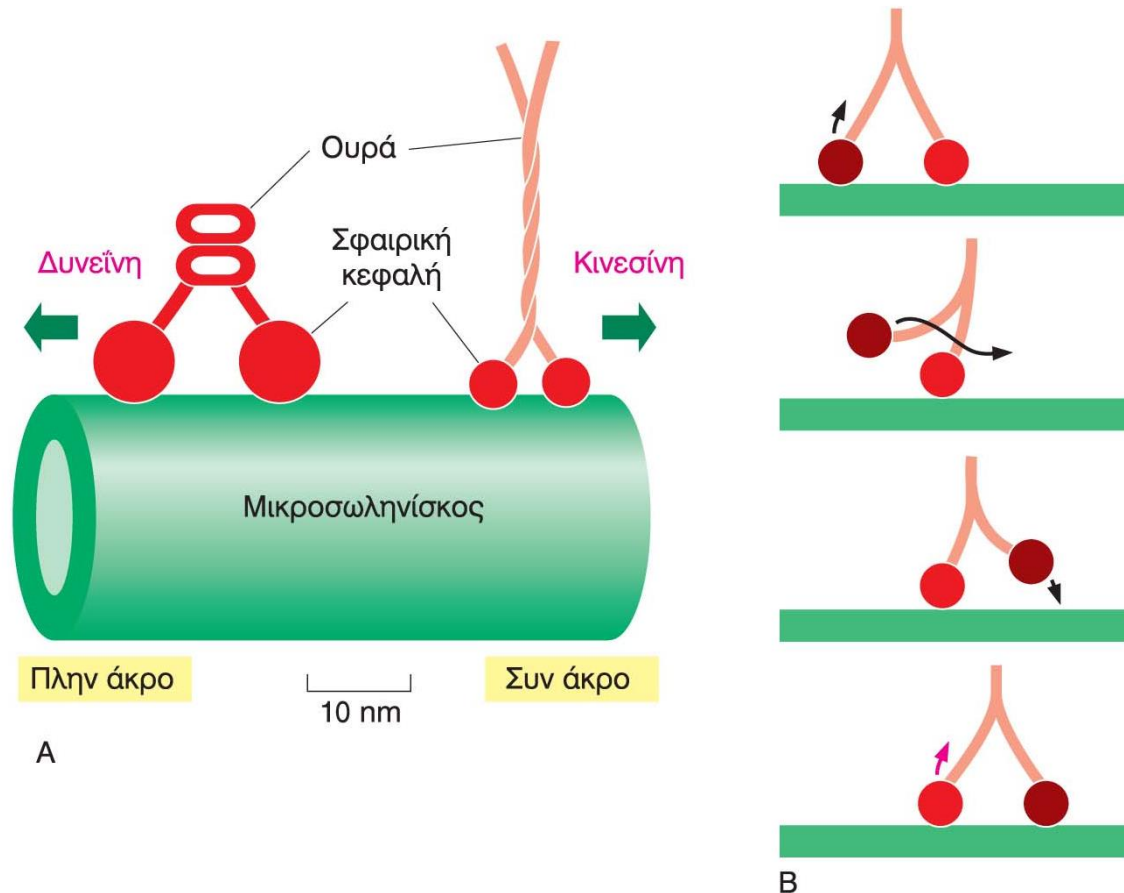
Οι **κινησίνες** μετακινούνται προς το **συν άκρο** ενός μικροσωληνίσκου.

Οι **δυνείνες** μετακινούνται προς το **πλην άκρο** ενός μικροσωληνίσκου.



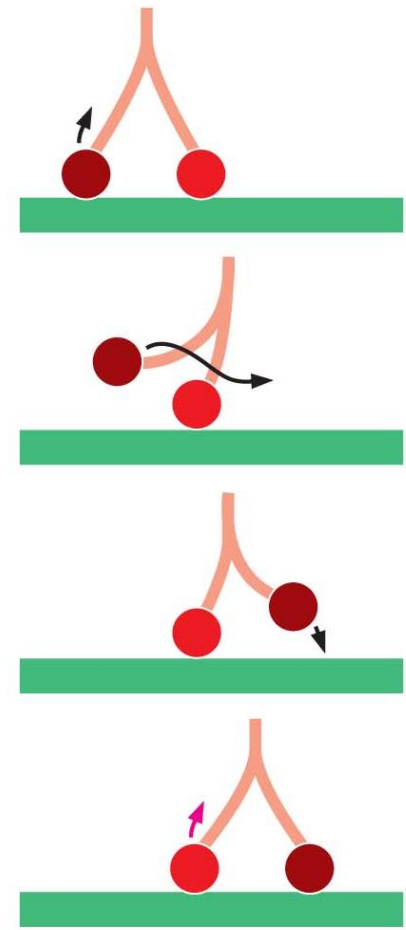
Μικροσωληνίσκοι

Οι **κινησίνες** και οι **δυνεΐνες** είναι διμερή που αποτελούνται από δύο σφαιρικές κεφαλές που προσδένουν ATP και μία ουρά.



Μικροσωληνίσκοι

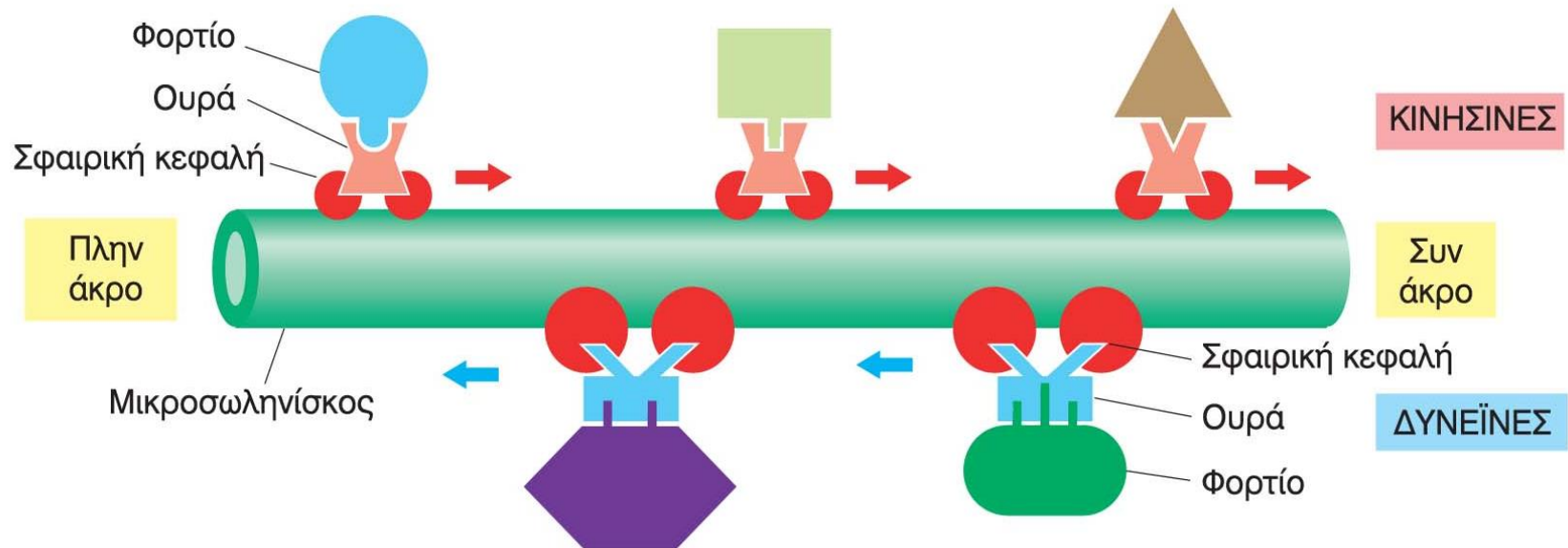
Οι κεφαλές αλληλεπιδρούν με τους μικροσωληνίσκους με τέτοιο τρόπο, ώστε η κινητήρια πρωτεΐνη να συνδέεται με έναν μικροσωληνίσκο μόνο όταν είναι στραμμένη προς τη σωστή κατεύθυνση.



B

Μικροσωληνίσκοι

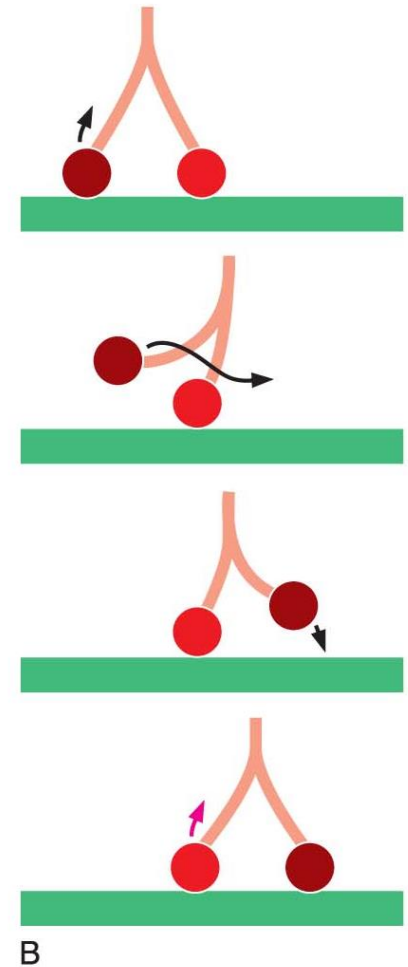
Η ουρά της κινητήριας πρωτεΐνης συνδέεται σταθερά με μερικά συστατικά του κυττάρου και έτσι καθορίζει το είδος του φορτίου που πρόκειται να μεταφέρει.



Μικροσωληνίσκοι

Οι σφαιρικές κεφαλές της κινητήριας κινησίνης και δυνεΐνης είναι **ένζυμα** που υδρολύουν το ATP.

Η υδρόλυση του ATP παρέχει την ενέργεια για μια σειρά αλλαγών διαμόρφωσης της κεφαλής με έναν μηχανισμό σύνδεσης, απελευθέρωσης και επανασύνδεσης στους μικροσωληνίσκους, που επιτρέπει στην κεφαλή να μετακινείται κατά μήκος των μικροσωληνίσκων.

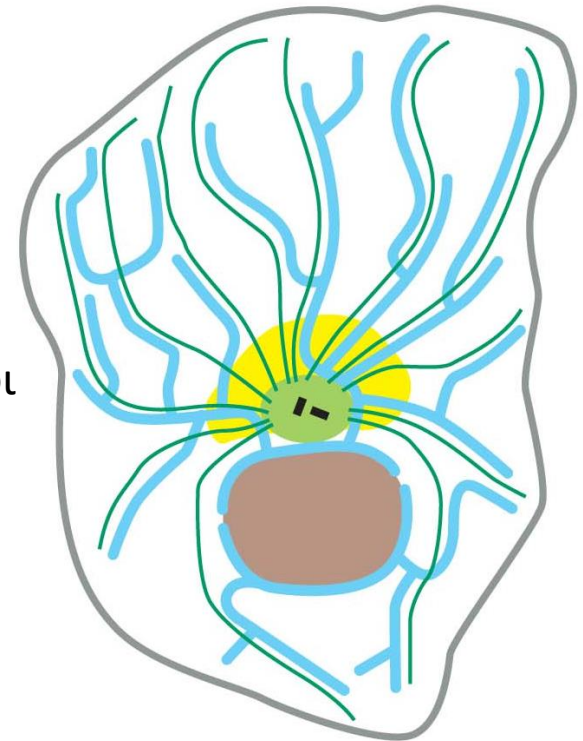


Μικροσωληνίσκοι

Οι μικροσωληνίσκοι και οι συνδεδεμένες κινητήριες πρωτεΐνες παίζουν σημαντικό ρόλο στην τοποθέτηση οργανιδίων στο εσωτερικό ενός ευκαρυωτικού κυττάρου.

Στα ζωικά κύτταρα οι αγωγοί του ΕΔ φτάνουν σχεδόν μέχρι την παρυφή του κυττάρου, ενώ η συσκευή Golgi βρίσκεται στο εσωτερικό του, κοντά στο κεντροσωμάτιο.

- Μικροσωληνίσκοι
- ΕΔ
- Συσκευή Golgi
- Πυρήνας
- Κεντροσωμάτιο



Μικροσωληνίσκοι

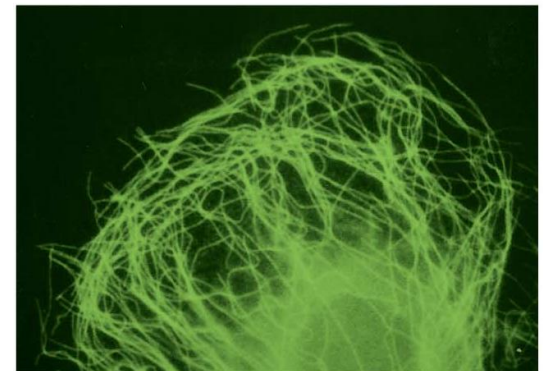
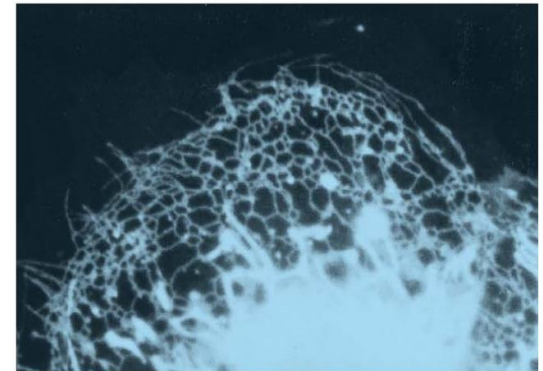
Το ΕΔ και η συσκευή Golgi εξαρτώνται από τους μικροσωληνίσκους ως προς την τοποθέτηση και ευθυγράμμισή τους.

Οι μεμβράνες του ΕΔ προεκτείνονται από τα σημεία όπου εφάπτονται με το πυρηνικό περίβλημα και ευθυγραμμίζονται με τους μικροσωληνίσκους που εκτείνονται από το κεντροσωμάτιο προς την κυτταρική μεμβράνη.

Μικροσωληνίσκοι

Καθώς το κύτταρο αυξάνει, οι κινησίνες που συνδέονται με την εξωτερική πλευρά της μεμβράνης του ΕΔ, το τραβούν προς τα έξω κατά μήκος των μικροσωληνίσκων που το τεντώνουν σαν δίκτυο.

- Μέρος καλλιεργούμενου κυττάρου βαμμένο με αντισώματα έναντι του ΕΔ
- Μέρος καλλιεργούμενου κυττάρου βαμμένο με αντισώματα έναντι των μικροσωληνίσκων



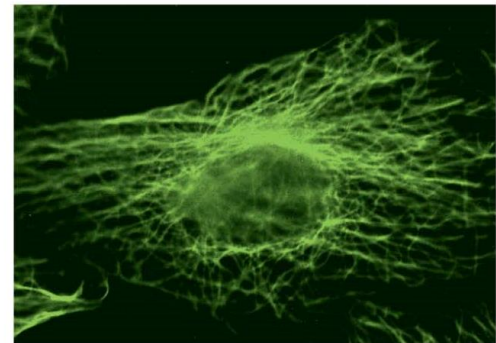
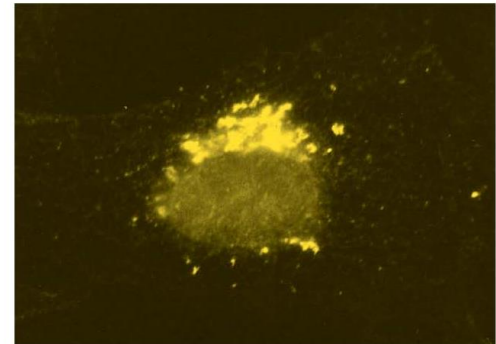
B

10 μm

Μικροσωληνίσκοι

Οι κυτταροπλασματικές δυνείνες έλκουν τη συσκευή Golgi προς τον πυρήνα. Έτσι δημιουργούνται και συντηρούνται οι τοπικές διαφορές των εσωτερικών μεμβρανών, στις οποίες βασίζεται η λειτουργία τους.

- Μέρος καλλιεργούμενου κυττάρου βαμμένο με αντισώματα έναντι της συσκευής Golgi
- Μέρος καλλιεργούμενου κυττάρου βαμμένο με αντισώματα έναντι των μικροσωληνίσκων



Μικροσωληνίσκοι

Παρουσία κολχικίνης, το ΕΔ και η συσκευή Golgi αλλάζουν θέση.



Μικροσωληνίσκοι

Το ΕΔ που συνδέεται με το πυρηνικό περίβλημα καταρρέει στον πυρήνα.

Η συσκευή Golgi που δεν συνδέεται με άλλα οργανίδια, θρυμματίζεται σε μικρά κυστίδια και διασκορπίζεται στο κυτταρόπλασμα.



Μικροσωληνίσκοι

Μόλις η κολχικίνη απομακρυνθεί, τα οργανίδια επιστρέφουν στην αρχική τους θέση, συμπαρασυρόμενα από κινητήριες πρωτεΐνες που μετακινούνται κατά μήκος των επανασυναρμολογημένων μικροσωληνίσκων.



Μικροσωληνίσκοι

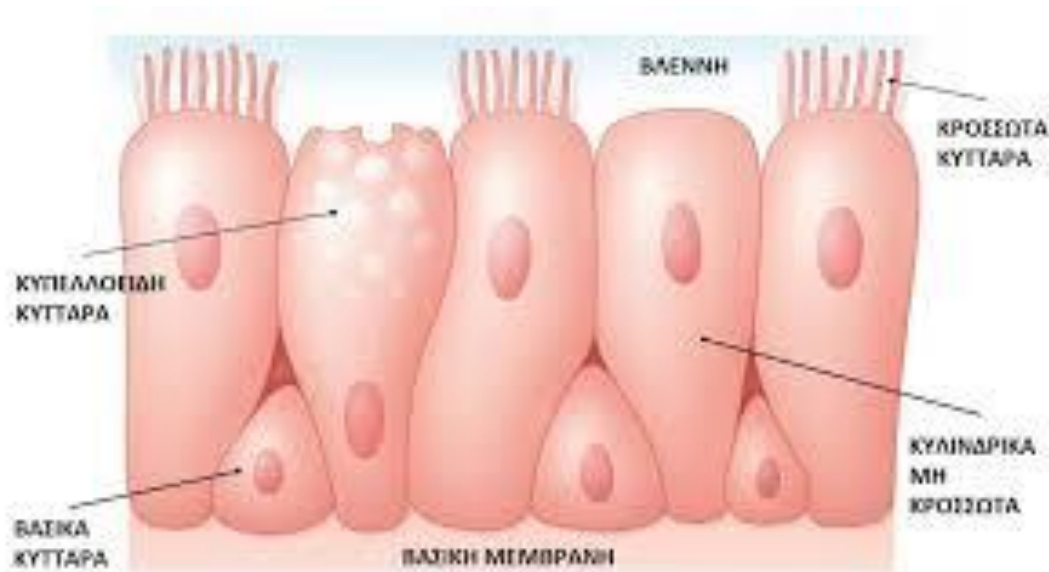
Οι μικροσωληνίσκοι σταθεροποιούνται μέσω της σύνδεσής τους με πρωτεΐνες και δεν επιδεικνύουν δυναμική αστάθεια.

Οι **σταθεροί μικροσωληνίσκοι** χρησιμοποιούνται από τα κύτταρα σαν άκαμπτα δοκάρια για την κατασκευή ποικιλίας πολωμένων δομών, που περιλαμβάνουν τους κροσσούς και τα μαστίγια

Μικροσωληνίσκοι

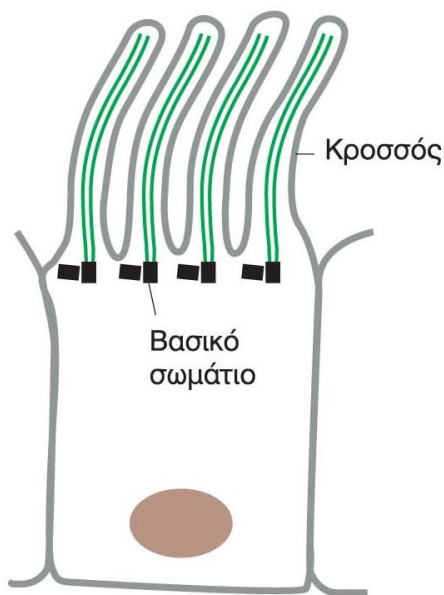
Οι κροσσοί (cilia) είναι τριχοειδείς δομές με διάμετρο $\sim 0,25 \mu\text{m}$.

Καλύπτονται από κυτταρική μεμβράνη και προεξέχουν από την επιφάνεια πολλών ειδών ευκαρυωτικών κυττάρων.



Μικροσωληνίσκοι

Ένας κροσσός είναι περιέχει ένα κορμό σταθερών μικροσωληνίσκων που είναι διευθετημένοι σε μία δέσμη και αυξάνουν από το βασικό σωματίο που βρίσκεται στο κυτταρόπλασμα και αποτελεί κέντρο οργάνωσης του κροσσού.

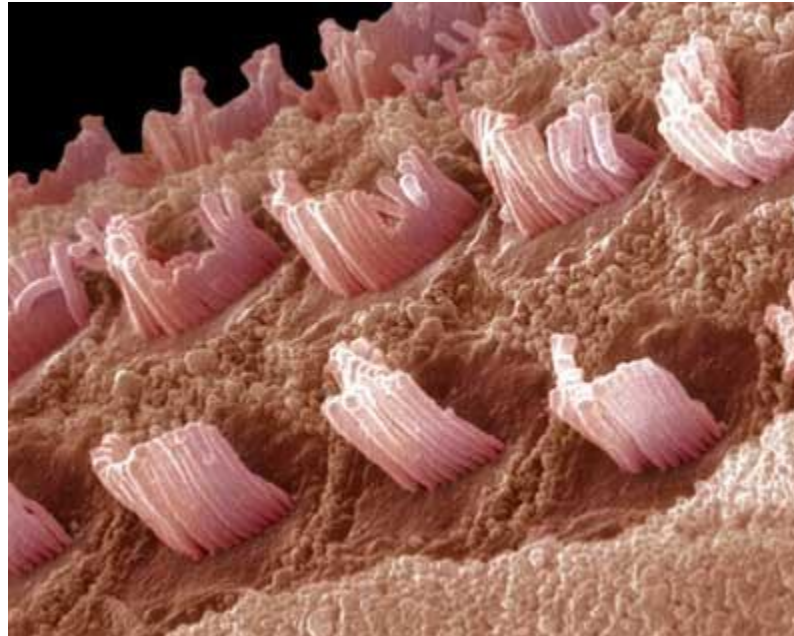


Δ

ΚΡΟΣΣΩΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

Μικροσωληνίσκοι

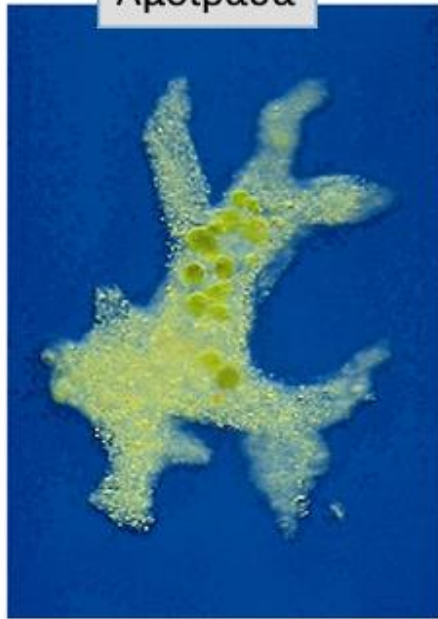
Οι κροσσοί μετακινούνται με χτύπο, είτε για να μετακινήσουν υγρό πάνω από την κυτταρική επιφάνεια, είτε για να προωθήσουν κύτταρα διαμέσου ενός ρευστού.



Μικροσωληνίσκοι

Μερικά πρωτόζωα χρησιμοποιούν δομές ισοδύναμες με τους κροσσούς, οι οποίες καλούνται βλεφαρίδες, τόσο για να συλλέξουν τροφή, όσο και για να μετακινηθούν.

Αμοιβάδα



Paramecium

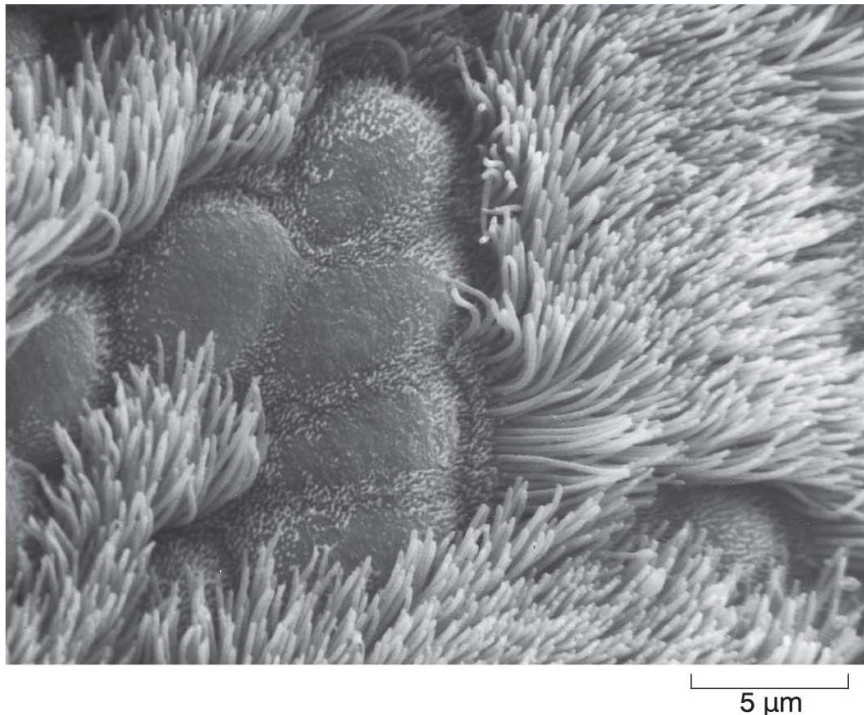


Dunaliella



Μικροσωληνίσκοι

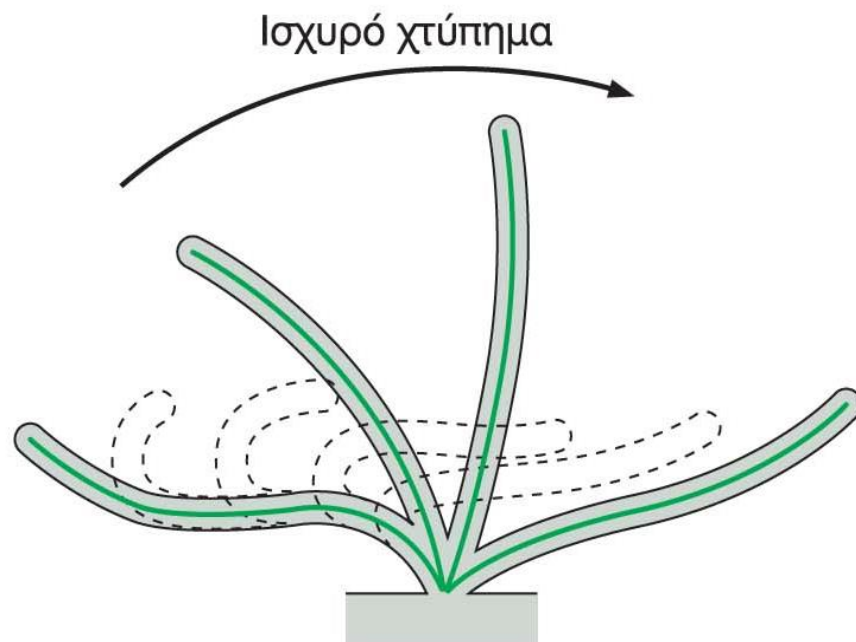
Στα επιθηλιακά κύτταρα που καλύπτουν το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου τεράστιοι αριθμοί κροσσών ($<1.000.000.000/\text{cm}^2$) σαρώνουν στρώματα βλέννας με παγιδευμένα σωματίδια σκόνης και νεκρά κύτταρα προς το λάρυγγα για να καταποθούν και να απομακρυνθούν από το σώμα.



Μικροσωληνίσκοι

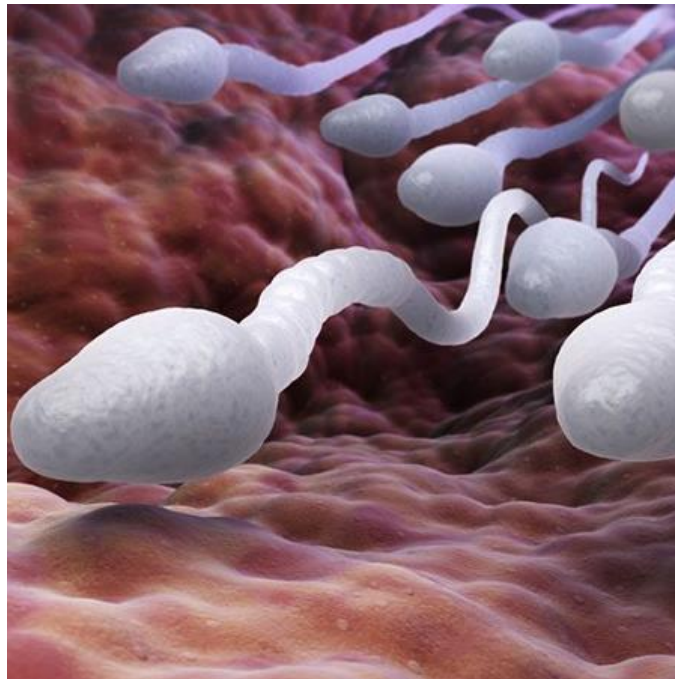
Η κίνηση των κροσσών στα κύτταρα του τοιχώματος των ωαγωγών (σάλπιγγες) δημιουργεί ένα ρεύμα που υποβοηθά τη μετακίνηση των ωαρίων μέσα στον ωαγωγό.

Η κίνηση κάθε κροσσού μοιάζει με το χτύπημα μαστιγίου ή την πρόσθια κολύμβηση.



Μικροσωληνίσκοι

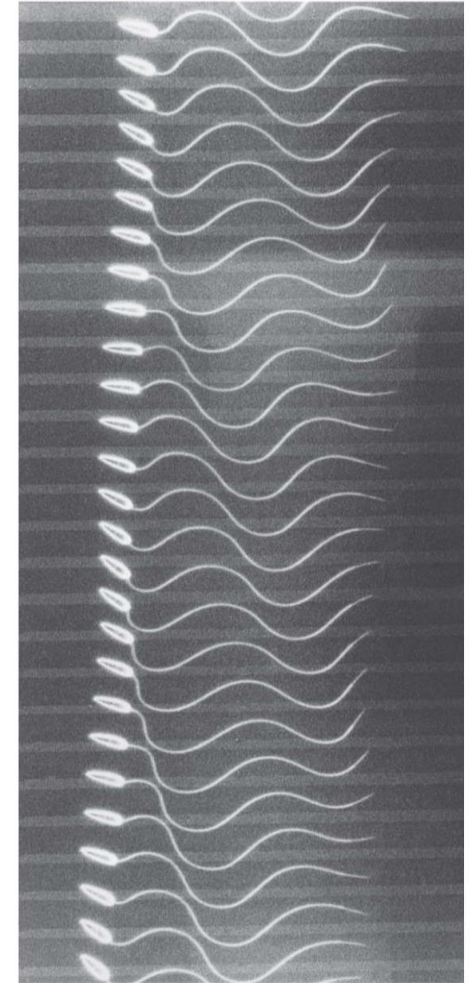
Τα μαστίγια (flagella) που προωθούν τα σπερματοζωάρια και πολλά πρωτόζωα μοιάζουν πολύ με τους κροσσούς στην εσωτερική δομή τους, αλλά συνήθως είναι πιο επιμήκη.



Μικροσωληνίσκοι

Μετακινούν ολόκληρο το κύτταρο, αντί να μετακινούν υγρό, διαμέσου της κυτταρική επιφάνειας.

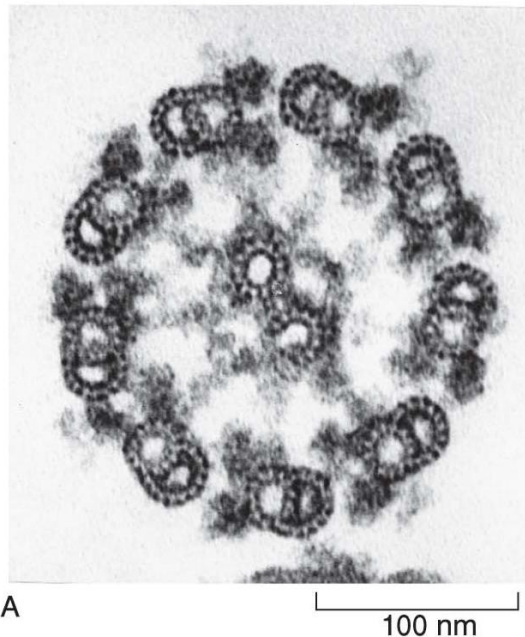
Τα μαστίγια δημιουργούν συμμετρικά κύματα σε όλο το μήκος τους, προωθώντας το συνδεδεμένο κύτταρο.



Μικροσωληνίσκοι

Οι μικροσωληνίσκοι των κροσσών και των μαστιγίων είναι λίγο διαφορετικοί από τους μικροσωληνίσκους του κυτταροπλάσματος.

Η εγκάρσια τομή ενός κροσσού αποκαλύπτει 9 ζεύγη μικροσωληνίσκων που είναι διατεταγμένοι περιφερειακά γύρω από 2 μονούς κεντρικούς μικροσωληνίσκους.

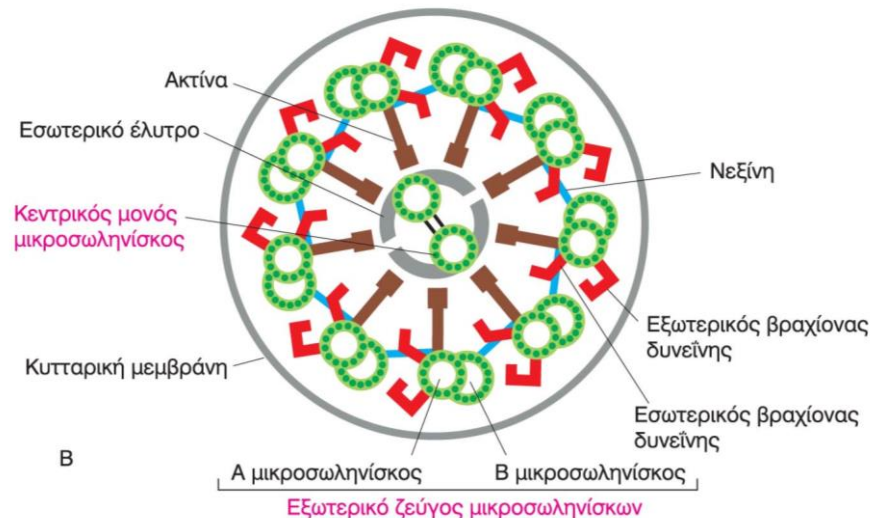


Η διάταξη «9 +2» είναι χαρακτηριστική όλων των ευκαρυωτικών κροσσών.

Μικροσωληνίσκοι

Η κίνηση ενός κροσσού ή μαστιγίου είναι το αποτέλεσμα της κάμψης του κέντρου οργάνωσης που προκαλείται από την ολίσθηση των μικροσωληνίσκων μεταξύ τους.

Οι μικροσωληνίσκοι συνδέονται με πολλές επικουρικές πρωτεΐνες που προβάλλουν ανά τακτά διαστήματα κατά μήκος της δέσμης των μικροσωληνίσκων.



Μικροσωληνίσκοι

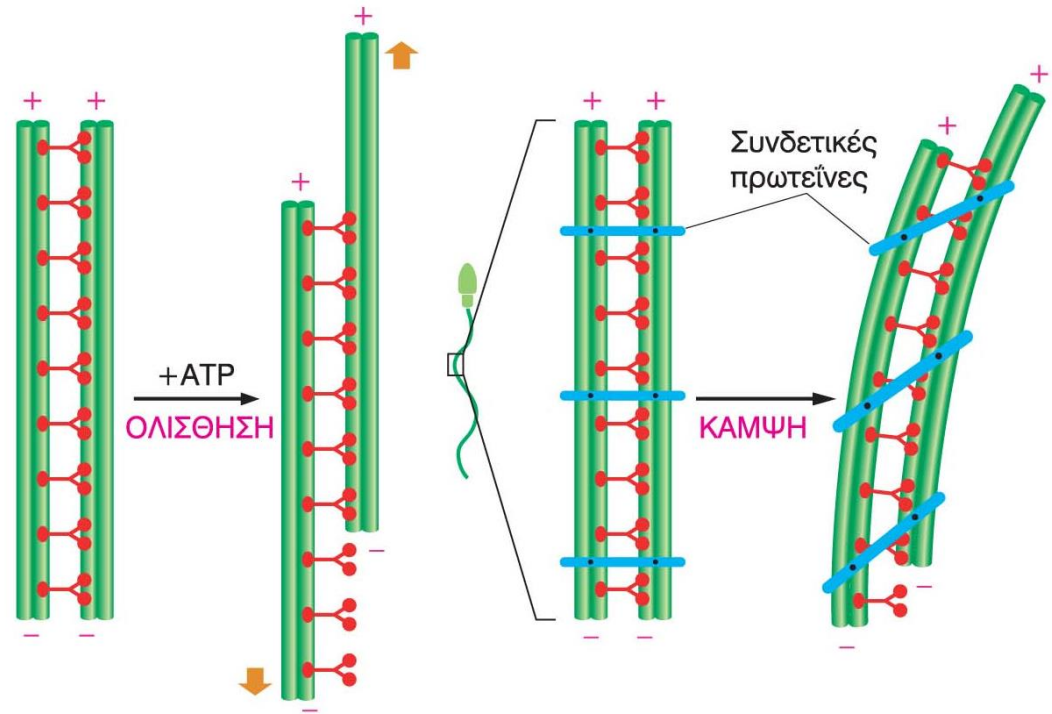
Μερικές πρωτεΐνες χρησιμεύουν ως διασυνδέσεις για να συγκρατούν τη δέσμη των μικροσωληνίσκων ενώ άλλες δημιουργούν τη δύναμη που προκαλεί την κάμψη του κροσσού.

Η **δυνεΐνη των κροσσών** (ciliary dynein) είναι η πιο σημαντική από τις επικουρικές πρωτεΐνες.

Μοιάζει με τη δυνεΐνη του κυτταροπλάσματος σε δομή και λειτουργία.

Μικροσωληνίσκοι

Η **δυνεΐνη των κροσσών** δημιουργεί την κίνηση της κάμψης. Μέσω της ουράς της συνδέεται με έναν μικροσωληνίσκο. Ενώ οι κεφαλές της αλληλεπιδρούν με ένα γειτονικό μικροσωληνίσκο.

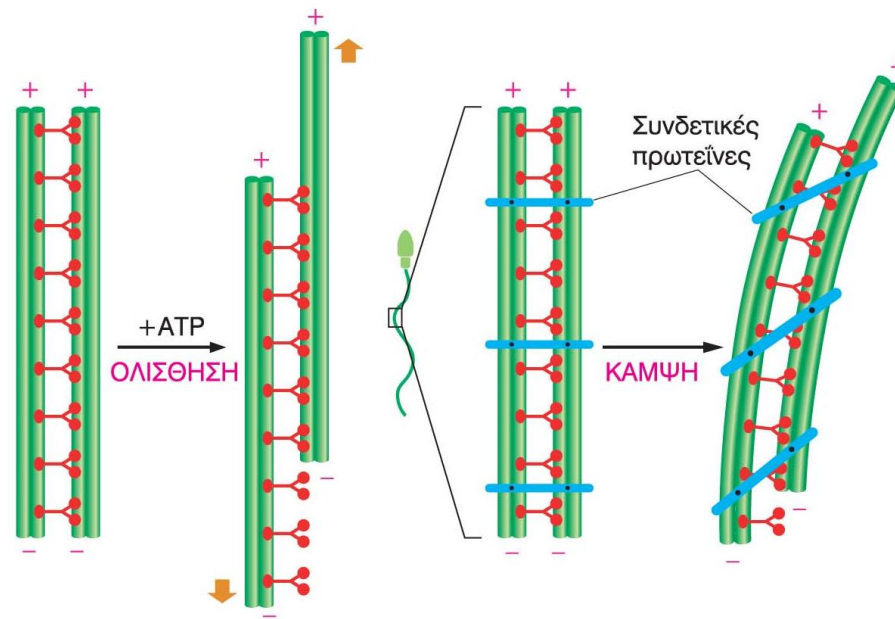


A ΣΕ ΜΟΝΩΜΕΝΑ ΖΕΥΓΗ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΩΝ Η ΔΥΝΕΪΝΗ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΩΝ

B ΣΕ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΜΑΣΤΙΓΙΟ: Η ΔΥΝΕΪΝΗ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΚΑΜΨΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΩΝ

Μικροσωληνίσκοι

Μεταξύ των μικροσωληνίσκων δημιουργείται μία ολισθητική δύναμη. Επειδή στους κροσσούς τα γειτονικά ζεύγη των μικροσωληνίσκων διασυνδέονται με πολλαπλούς δεσμούς, η δύναμη ολίσθησης μεταξύ γειτονικών μικροσωληνίσκων στον κροσσό μετατρέπεται σε κίνηση κάμψης.



A ΣΕ ΜΟΝΩΜΕΝΑ ΖΕΥΓΗ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΩΝ Η ΔΥΝΕΪΝΗ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΩΝ

B ΣΕ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΜΑΣΤΙΓΙΟ: Η ΔΥΝΕΪΝΗ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΚΑΜΨΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΩΝ

Μικροσωληνίσκοι

Στον άνθρωπο, κληρονομικές βλάβες της δυνείνης των κροσσών προκαλούν το σύνδρομο Kartagener.

Οι άνδρες με αυτό το σύνδρομο εμφανίζουν στειρότητα, καθώς τα σπερματοζωάρια του δεν κινούνται.



Μικροσωληνίσκοι

Άνδρες και γυναίκες εμφανίζουν αυξημένη ευπάθεια σε λοιμώξεις του κατώτερου αναπνευστικού, λόγω «παράλυτων» κροσσών του αναπνευστικού επιθηλίου που αδυνατούν να καθαρίσουν τους πνεύμονες από βακτήρια και αποπτωτικό υλικό.

Επιπλέον συχνά επηρεάζεται και η ακοή των πασχόντων.



Situs inversus



Sinusitis

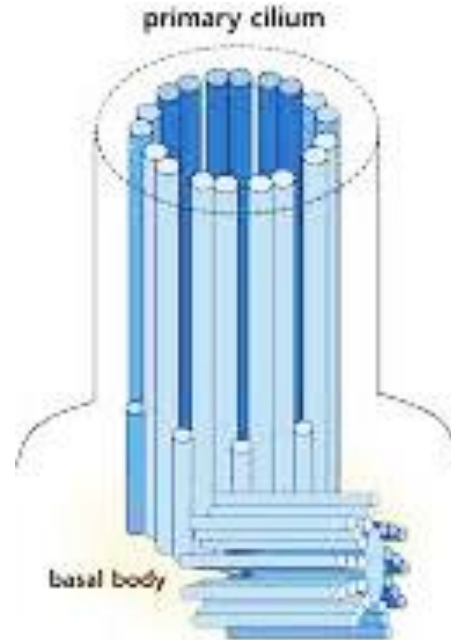


Bronchiolectasias

Μικροσωληνίσκοι

Πολλά ζωικά κύτταρα που στερούνται κροσσών περιέχουν ένα μοναδικό, ακίνητο πρωτογενή κροσσό (primary cilium).

Αυτό το εξάρτημα είναι πολύ μικρότερο από έναν κροσσό και λειτουργεί ως κεραία για την ανίχνευση ορισμένων εξωκυττάριων σηματοδοτικών μορίων.



Νημάρια ακτίνης

Νημάτια ακτίνης

Τα νημάτια ή ινίδια ακτίνης, πολυμερή της πρωτεΐνης ακτίνης, βρίσκονται σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα και είναι απαραίτητα για πολλές κινήσεις τους, κυρίως σε όσες συμμετέχει η κυτταρική επιφάνεια.



Νημάτια ακτίνης

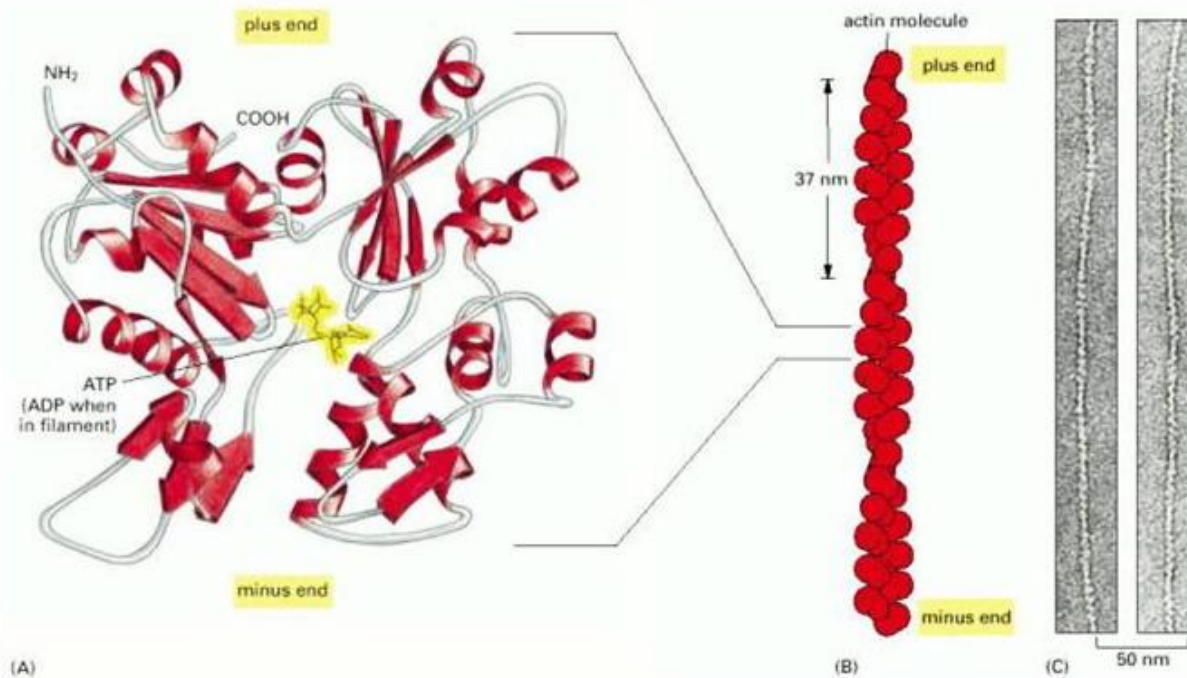
Χωρίς νημάτια ακτίνης, ένα ζωικό κύτταρο δεν θα μπορούσε:

- να έρπει σε μία επιφάνεια
- να καταβροχθίζει ένα μεγάλο σωματίδιο με φαγοκυττάρωση ή
- να διαιρεθεί σε δύο θυγατρικά κύτταρα

Νημάτια ακτίνης

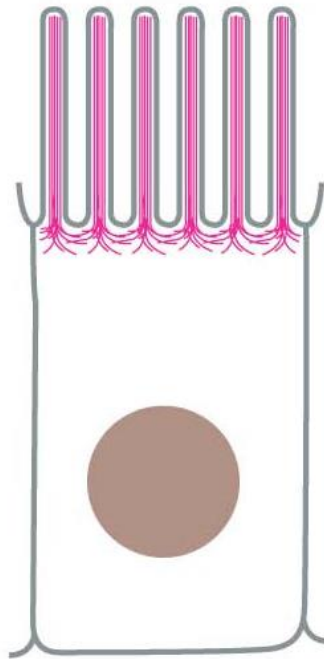
Πολλά νημάτια ακτίνης είναι ασταθή, μπορούν όμως να σχηματίσουν σταθερές δομές στα κύτταρα (π.χ. σύστημα συστολής μυός)

Τα νημάτια ακτίνης διασυνδέονται με μεγάλο αριθμό πρωτεϊνών που προσδέονται ακτίνη (actin-binding proteins), οι οποίες επιτρέπουν στα νημάτια να διεκπεραιώνουν πολλές λειτουργίες στα κύτταρα.



Νημάτια ακτίνης

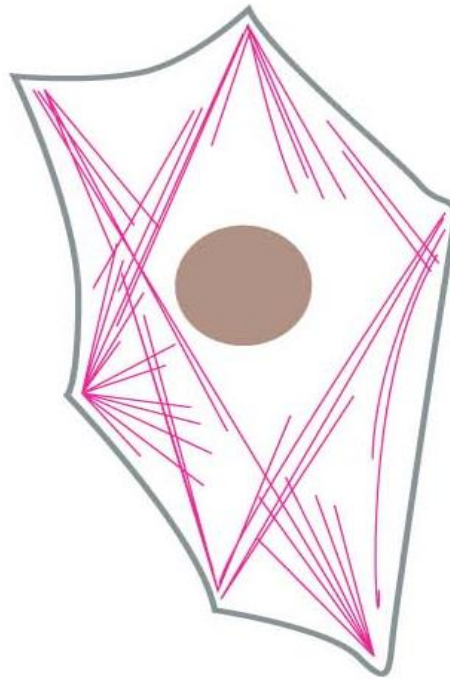
Ανάλογα με το είδος των συνδεδεμένων πρωτεϊνών, τα νημάτια ακτίνης μπορούν να σχηματίζουν άκαμπτες και σταθερές δομές (π.χ. μικρολάχνες – microvilli) στα επιθηλιακά κύτταρα που επενδύουν το έντερο.



A

Νημάτια ακτίνης

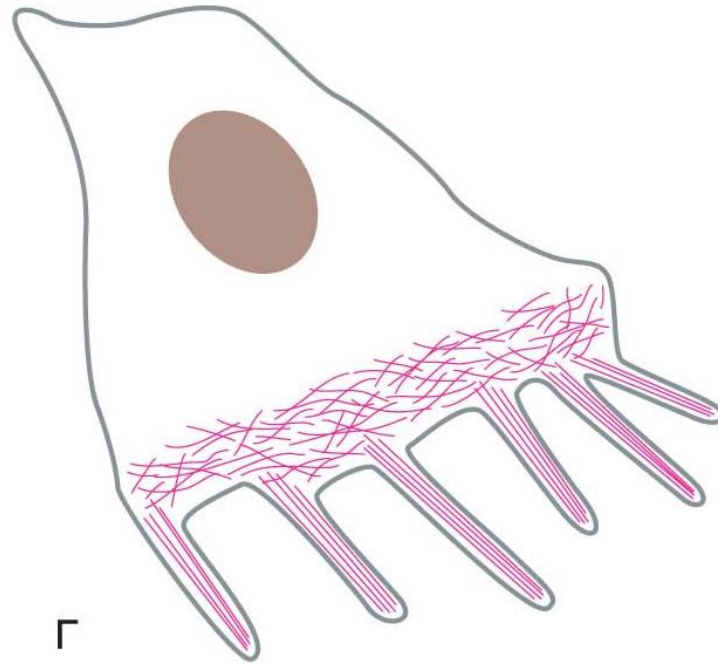
Τα νημάτια ακτίνης μπορούν να σχηματίζουν μικρές δέσμες συστολής στο κυτταρόπλασμα, οι οποίες λειτουργούν σαν μικροσκοπικοί μύες στα περισσότερα ζωικά κύτταρα.



B

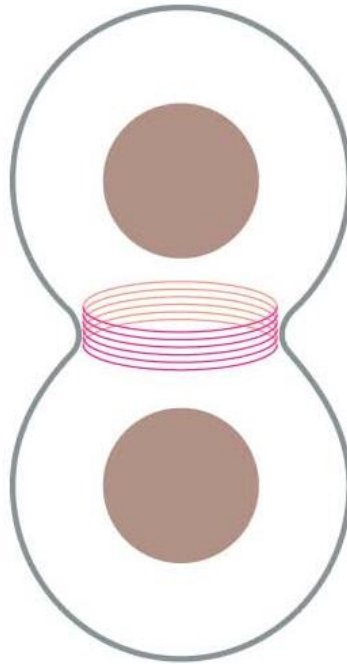
Νημάτια ακτίνης

Τα νημάτια ακτίνης μπορούν να σχηματίζουν παροδικές προεκβολές, όπως το άκρο που καθοδηγεί ένα έρπον κύτταρο.



Νημάτια ακτίνης

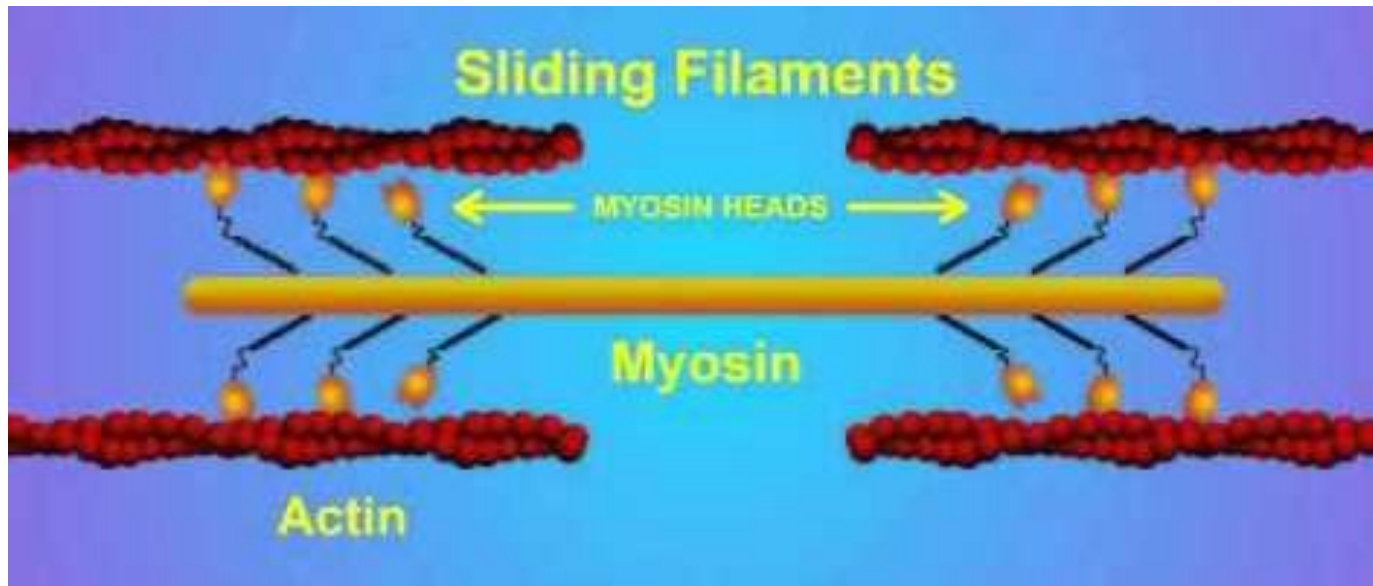
Τα νημάτια ακτίνης μπορούν να συμμετέχουν στο σχηματισμό του συσταλτικού δακτυλίου που αποκόπτει και διαχωρίζει το κυτταρόπλασμα στα δύο, κατά τη διαίρεση του ζωικού κυττάρου.



Δ

Νημάτια ακτίνης

Οι εξαρτώμενες από την ακτίνη κινήσεις συνήθως απαιτούν τη σύνδεση της ακτίνης με μία κινητήρια πρωτεΐνη που λέγεται μυοσίνη.



Νημάτια ακτίνης

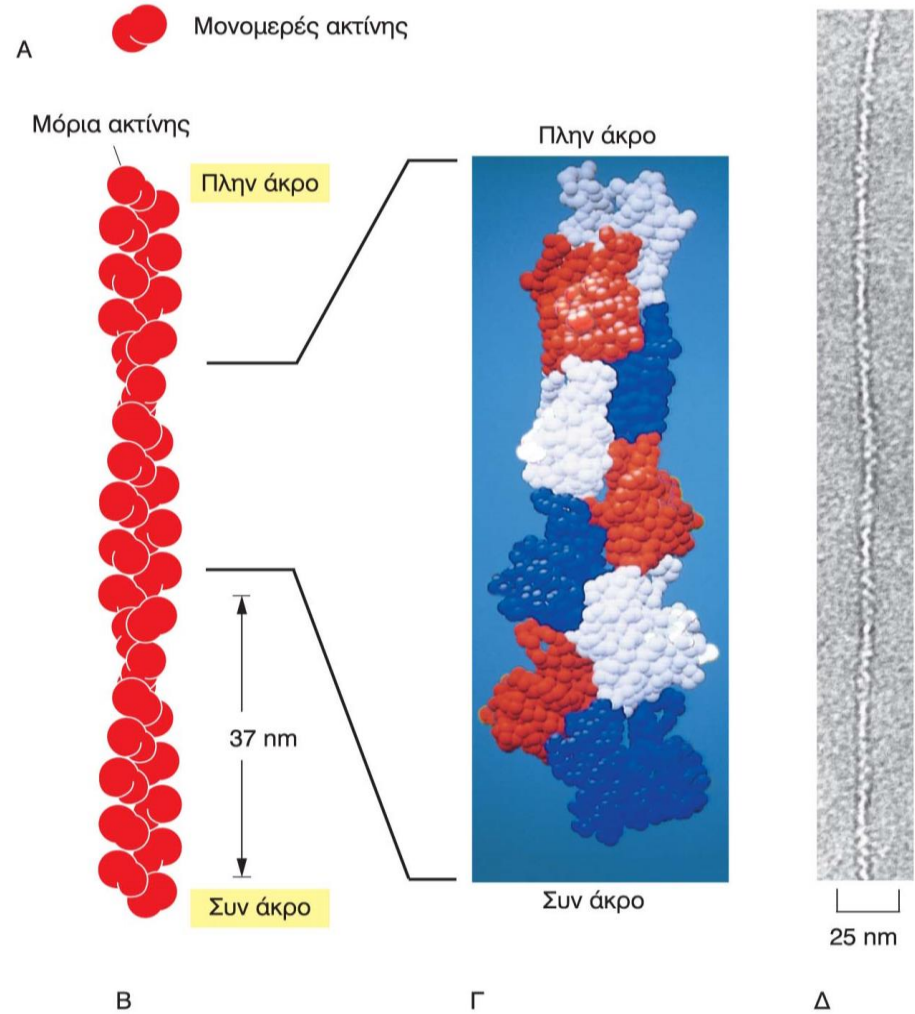
Τα **νημάτια ακτίνης** και οι **μικροσωληνίσκοι** σχηματίζονται από διαφορετικά είδη πρωτεϊνών.

Οι αρχές που διέπουν τον πολυμερισμό και την αποσυναρμολόγησή τους, ελέγχουν την κυτταρική δομή και συνεργάζονται με κινητήριες πρωτεΐνες για τη δημιουργία των μετακινήσεων είναι **εντυπωσιακά παρόμοιες**.

Νημάτια ακτίνης

Τα νημάτια ακτίνης έχουν διάμετρο ~7 nm

Κάθε νημάτιο είναι μία περιελιγμένη αλυσίδα πανομοιότυπων μορίων σφαιρίνης ακτίνης που είναι όλα διατεταγμένα προς την ίδια κατεύθυνση κατά μήκος του άξονα της αλυσίδας.



Νημάτια ακτίνης

- Τα νημάτια ακτίνης είναι λεπτότερα, πιο ευλύγιστα και συνήθως βραχύτερα από τους μικροσωληνίσκους.
- Σε ένα κύτταρο, τα νημάτια ακτίνης είναι πολύ περισσότερα από τους μικροσωληνίσκους.

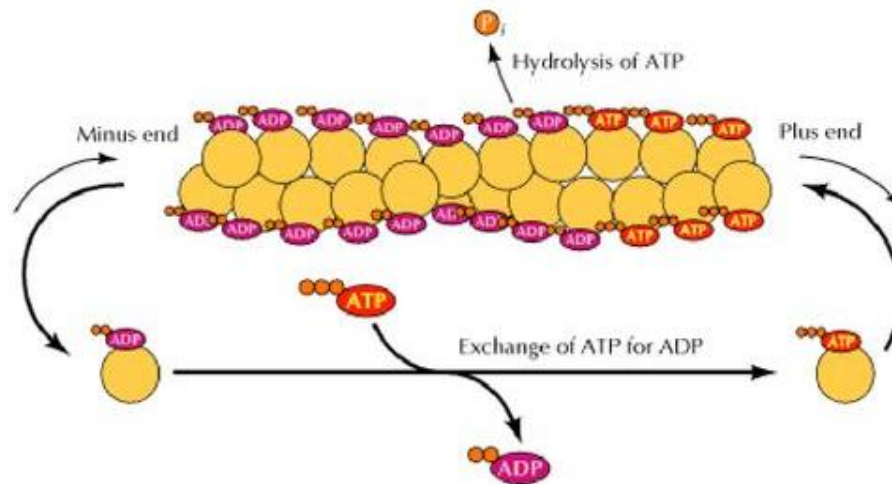
Νημάτια ακτίνης

- Το συνολικό μήκος όλων των νηματίων ακτίνης σε ένα κύτταρο είναι πολλές φορές μεγαλύτερο από το συνολικό μήκος όλων των μικροσωληνίσκων.
- Τα νημάτια ακτίνης σπάνια βρίσκονται απομονωμένα στο κύτταρο.
- Υπάρχουν διασυνδεόμενες δέσμες και δίκτυα που είναι πολύ ισχυρότερα από τα ξεχωριστά νημάτια.

Νημάτια ακτίνης

Τα νημάτια ακτίνης αυξάνουν με προσθήκη μονομερών ακτίνης και στα δύο άκρα, αλλά ο ρυθμός αύξησης είναι μεγαλύτερος στο συν άκρο.

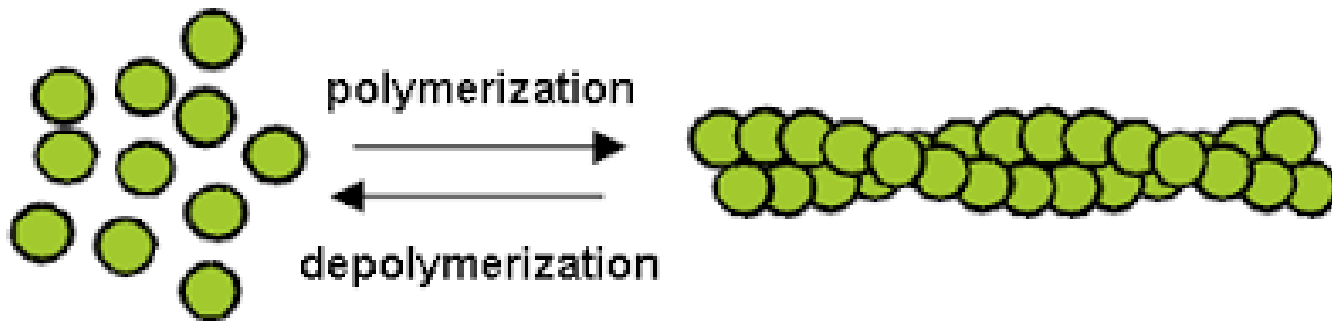
Ένα γυμνό νημάτιο ακτίνης, χωρίς επικουρικές πρωτεΐνες, είναι ασταθές και μπορεί να αποσυναρμολογηθεί και από τα δύο άκρα του.



Νημάτια ακτίνης

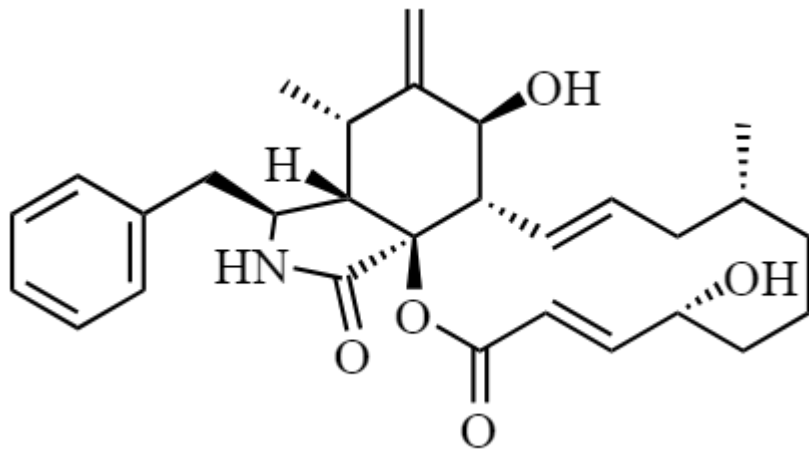
Στα έμβια κύτταρα, τα ελεύθερα μονομερή ακτίνης περιέχουν ATP που υδρολύεται σε ADP αμέσως μετά την ενσωμάτωση του μονομερούς ακτίνης στο νημάτιο.

Η υδρόλυση του συνδεδεμένου ATP σε ένα νημάτιο ακτίνης μειώνει την ισχύ των δεσμών μεταξύ των μονομερών και ελαττώνει τη σταθερότητα του πολυμερούς.



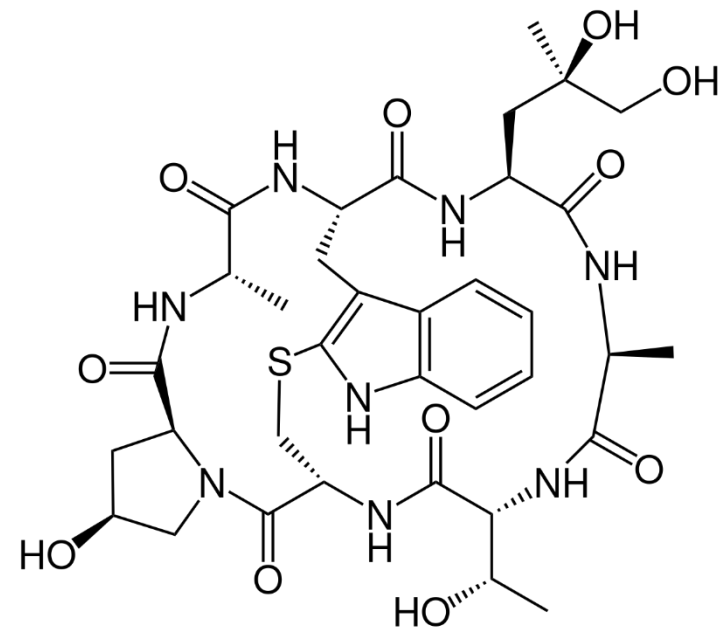
Νημάτια ακτίνης

Η λειτουργία ενός νηματίου ακτίνης μπορεί να διαταραχθεί πειραματικά με τοξίνες μυκήτων ή θαλάσσιων σπόγγων.



Κυτοχασίνη

εμποδίζει το πολυμερισμό της ακτίνης



Φαλλοϊδίνη

Σταθεροποιεί τα νημάτια ακτίνης

Νημάτια ακτίνης

ΠΙΝΑΚΑΣ 17-2. Φάρμακα που επιδρούν στην ακτίνη

Φάρμακα που επιδρούν ειδικά στην ακτίνη	Δράση
Φαλλοϊδίνη	Προσδένει και σταθεροποιεί τα νημάτια
Κυτοχάλασίνη	Καλύπτει τα συν άκρα των ινιδίων
Λατρουνκουλίνη	Προσδένει διμερή τουμπουλίνης και εμποδίζει τον πολυμερισμό

Οι τοξίνες αυτές καθλώνουν ακαριαία τις κινήσεις του κυττάρου.

Νημάτια ακτίνης

Η ακτίνη στα ζωικά κύτταρα αποτελεί το 5% του συνόλου των πρωτεϊνών.

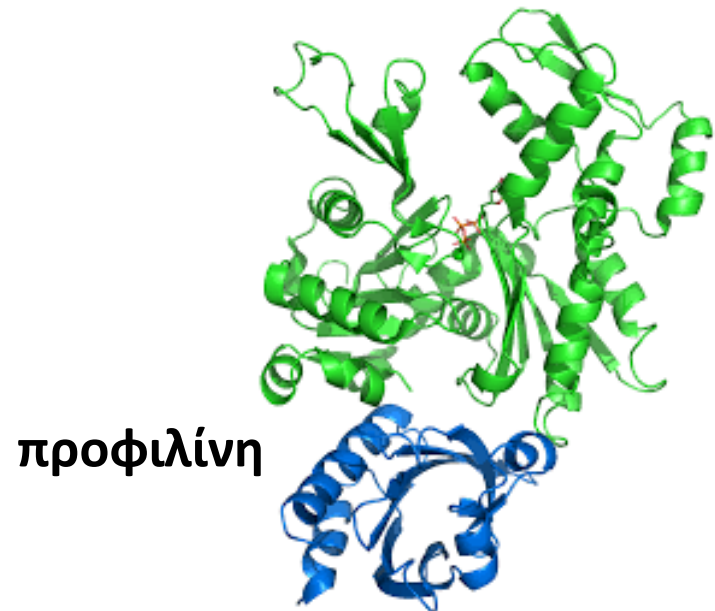
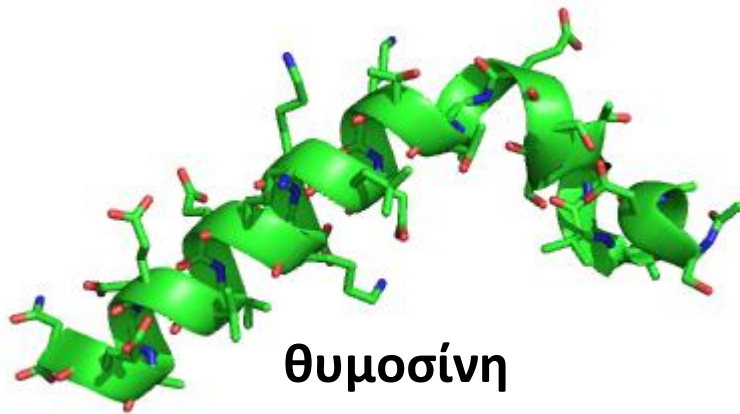
Η μισή ποσότητα ακτίνης συγκροτείται σε νημάτια ακτίνης, ενώ η υπόλοιπη βρίσκεται ελεύθερη στο κυτταρόπλασμα υπό μορφή μονομερών ακτίνης.

Η συγκέντρωση μονομερών ακτίνης είναι μεγάλη και μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση που απαιτείται για τον πολυμερισμό των μονομερών καθαρής ακτίνης *in vitro*.

Νημάτια ακτίνης

Γιατί δεν πολυμερίζονται όλα τα μονομερή ακτίνης σε πλήρη νημάτια;

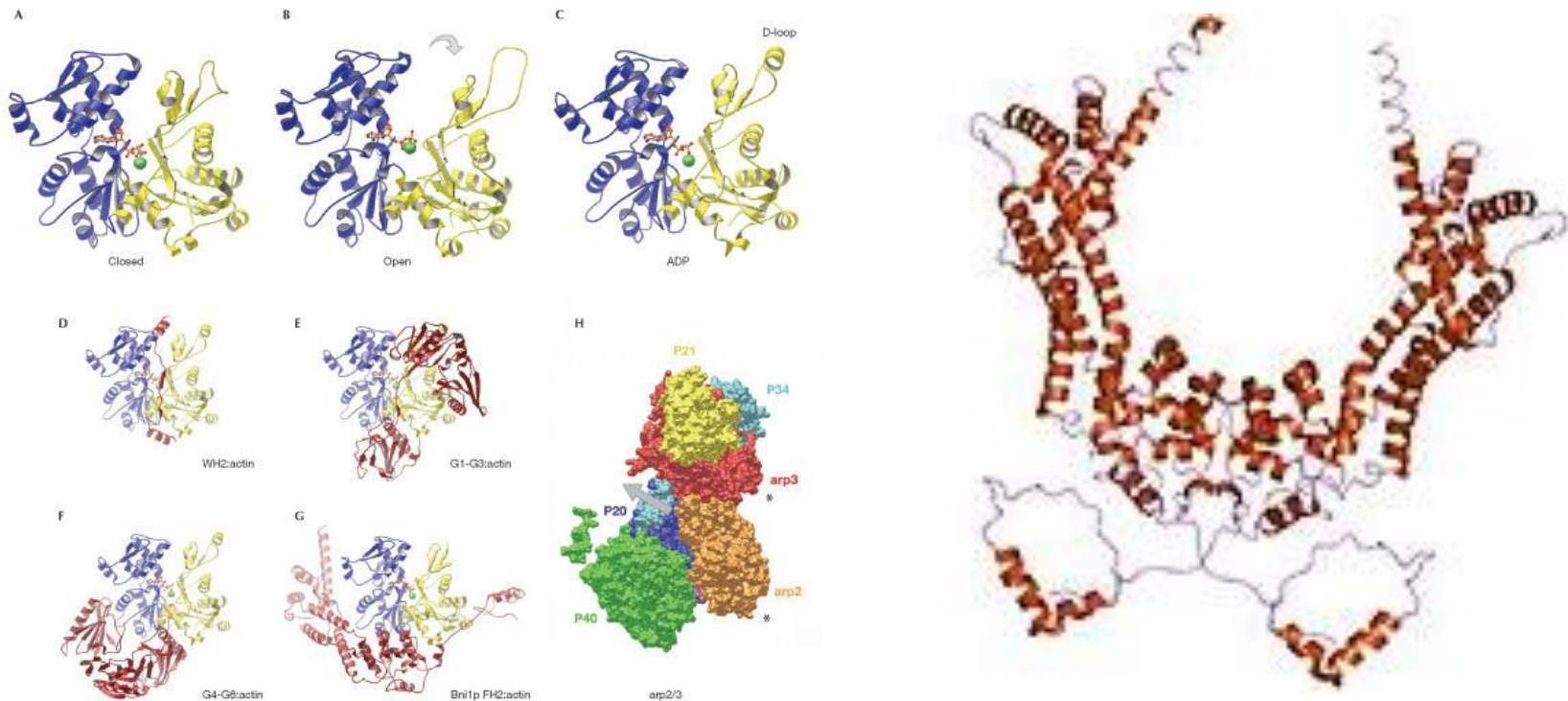
Τα κύτταρα περιέχουν μικρές πρωτεΐνες που συνδέονται με τα μονομερή ακτίνης στο κυτταρόπλασμα και εμποδίζουν τη προσθήκη τους στα άκρα νηματίων ακτίνης.



Διατηρώντας τα μονομερή ακτίνης σε εφεδρεία, οι πρωτεΐνες αυτές παίζουν σπουδαίο ρόλο στη ρύθμιση του πολυμερισμού της ακτίνης στα κύτταρα.

Νημάτια ακτίνης

Όταν προκύψει ανάγκη σχηματισμού νηματίων, άλλες πρωτεΐνες που προσδένονται στην ακτίνη προωθούν τον πολυμερισμό της.



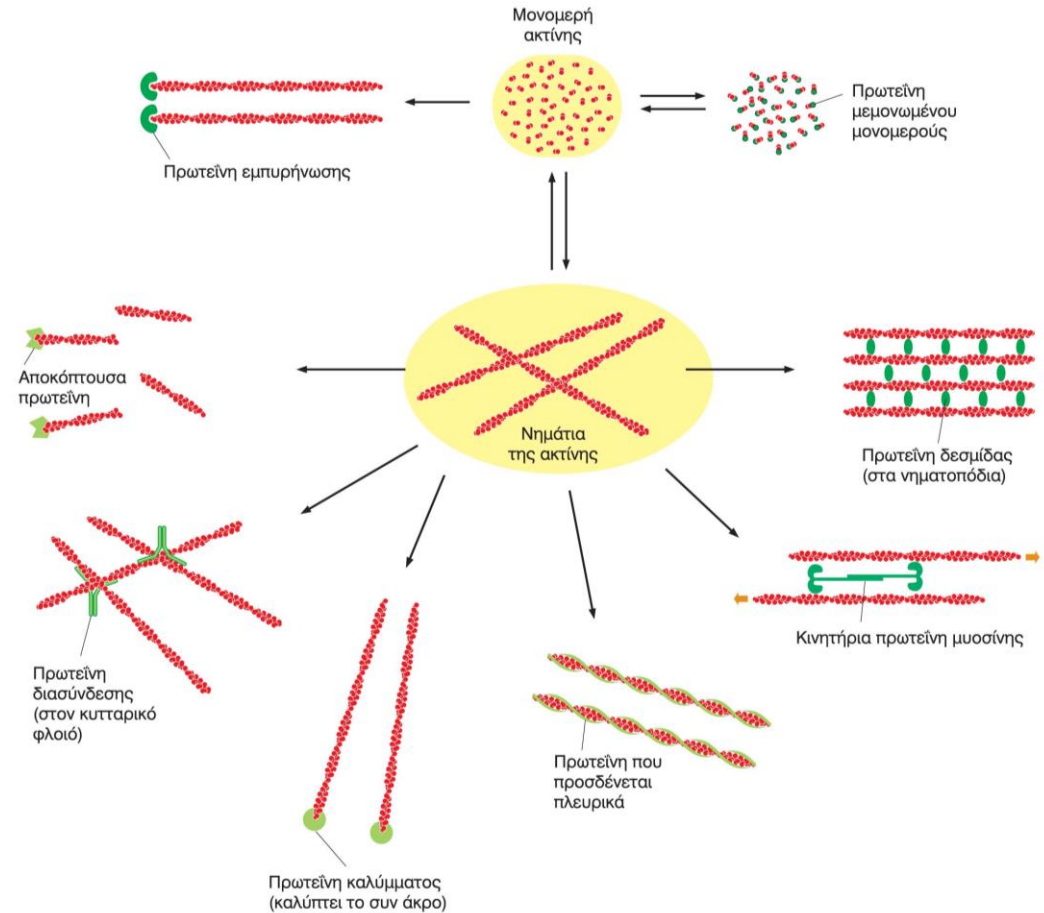
Πρωτεΐνες που συνδέονται με την ακτίνη (actin-related proteins-ARPs)

Φορμίνες

Νημάτια ακτίνης

Οι περισσότερες πρωτεΐνες συνδέονται με τα συναρμολογημένα νημάτια ακτίνης και όχι με τα μονομερή της ακτίνης.

Ελέγχουν έτσι τη συμπεριφορά των νηματίων.

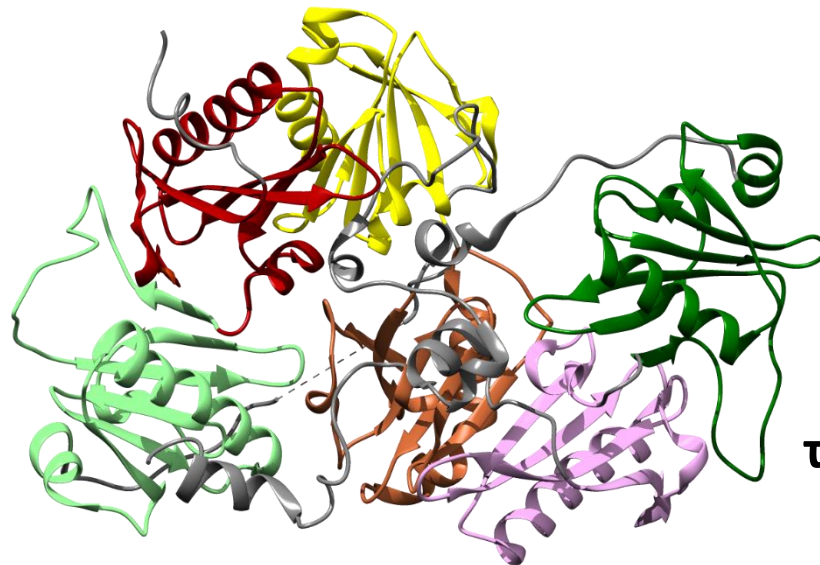


Νημάτια ακτίνης

Οι πρωτεΐνες διασύνδεσης συγκρατούν τα νημάτια ακτίνης σε παράλληλες δέσμες στις μικρολάχνες.

Άλλες πρωτεΐνες συγκρατούν τα νημάτια ακτίνης στο στρώμα του κυτταροπλάσματος που βρίσκεται κάτω από την κυτταρική μεμβράνη.

Πρωτεΐνες που κόβουν τα νημάτια σε μικρότερα κομμάτια και έτσι μετατρέπουν μια πηκτή ακτίνης (gel) σε μια πιο ρευστή κατάσταση.



τζελοσολίνη

Νημάτια ακτίνης

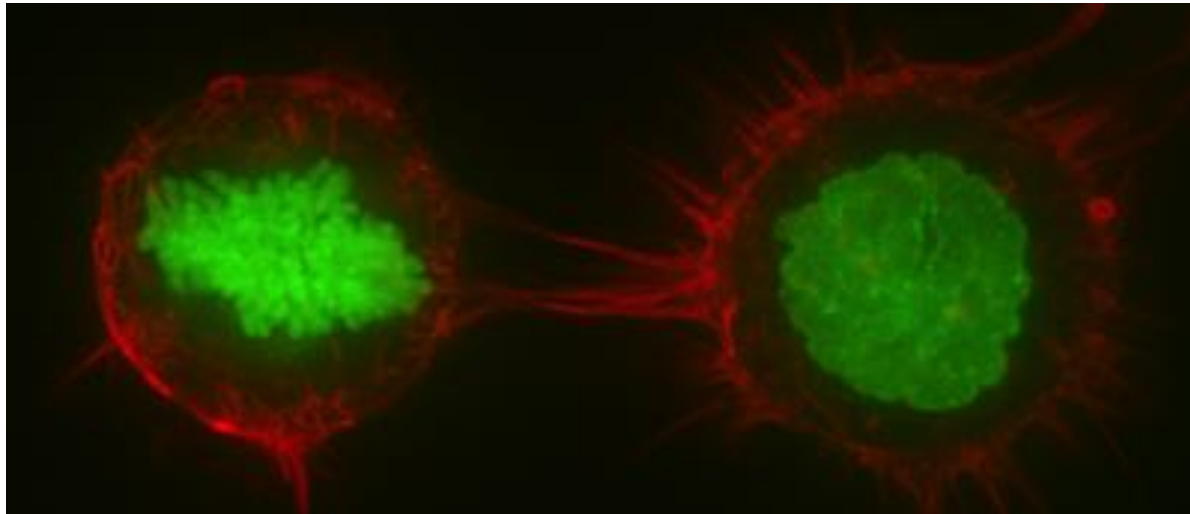
Τα νημάτια ακτίνης συνδέονται επίσης με κινητήριες πρωτεΐνες και σχηματίζουν δέσμες συστολής (π.χ. μυϊκά κύτταρα)

Τα νημάτια ακτίνης αποτελούν μέσα μεταφοράς οργανιδίων από πρωτεΐνες.

Νημάτια ακτίνης

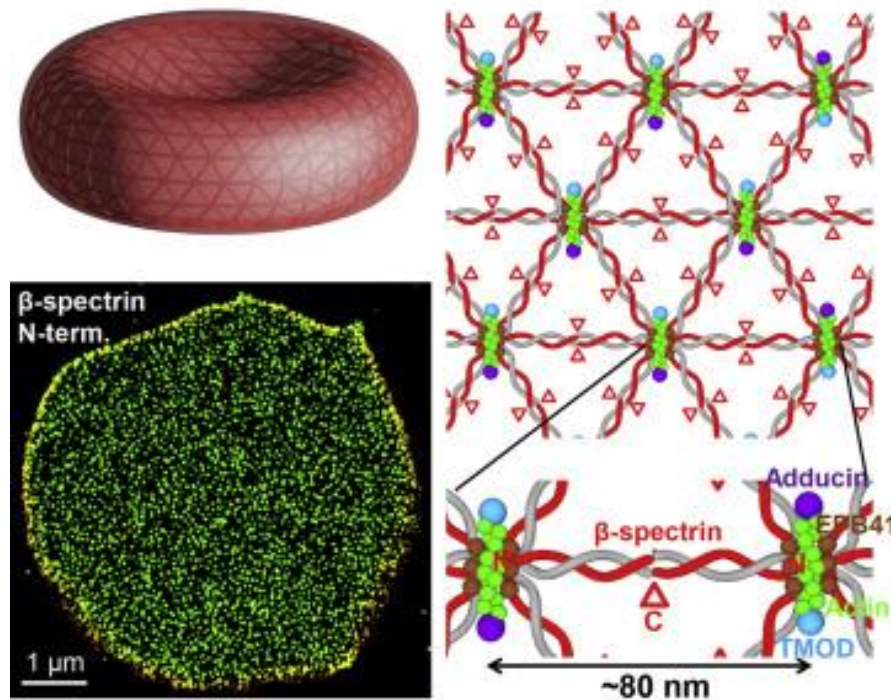
Τα νημάτια ακτίνης εντοπίζονται κυρίως στο στρώμα του κυτταροπλάσματος που βρίσκεται κάτω από την κυτταρική μεμβράνη, το οποίο ονομάζεται **κυτταρικός φλοιός**.

Στον κυτταρικό φλοιό συνδέονται με πρωτεΐνες, δημιουργώντας ένα δίκτυο στήριξης.



Νημάτια ακτίνης

Στα ερυθρά αιμοσφαίρια, ένα δίκτυο ινωδών πρωτεϊνών (ακτίνη και σπεκτρίνη) είναι προσκολλημένα στην κυτταρική μεμβράνη, παρέχοντας την απαραίτητη στήριξη για τη διατήρηση του δισκοειδούς σχήματος.



Νημάτια ακτίνης

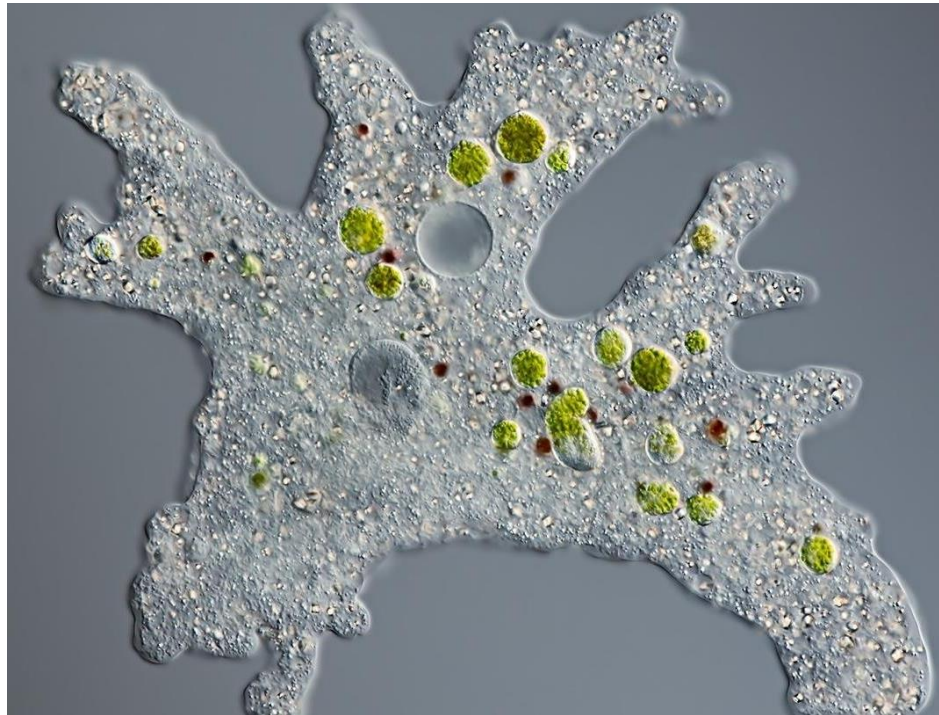
Ο κυτταρικός φλοιός άλλων κυττάρων:

- είναι παχύτερος και υποστηρίζει πιο πολύπλοκα σχήματα και κινήσεις επί της κυτταρικής επιφάνειας.
- περιέχει σπεκτρίνη, αλλά και δίκτυο νηματίων ακτίνης σε μορφή πλέγματος που ελέγχει τις μηχανικές ιδιότητες και το σχήμα της μεμβράνης.

Νημάτια ακτίνης

Πολλά κύτταρα μετακινούνται έρποντας σε επιφάνειες.

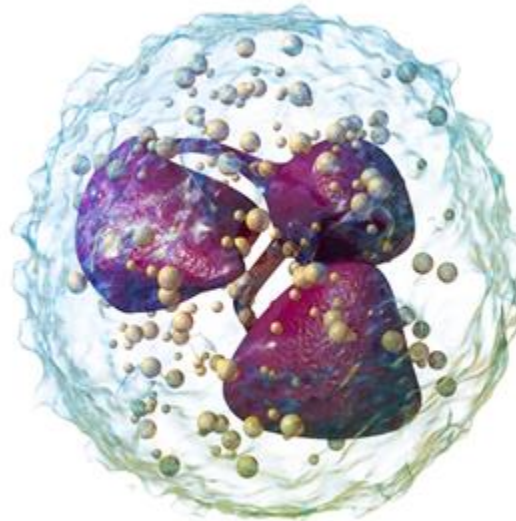
Οι αμοιβάδες έρπουν αναζητώντας τροφή.



Νημάτια ακτίνης

Τα λευκά αιμοσφαίρια (ουδετερόφιλα) κινούνται προς τους προσβεβλημένους ιστούς από βακτήρια.

Μόρια προσδένονται στην επιφάνεια των κυττάρων και πυροδοτούν αλλαγές στη συναρμολόγηση των νηματίων ακτίνης που καθοδηγούν τα φαγοκύτταρα προς τον εισβολέα.

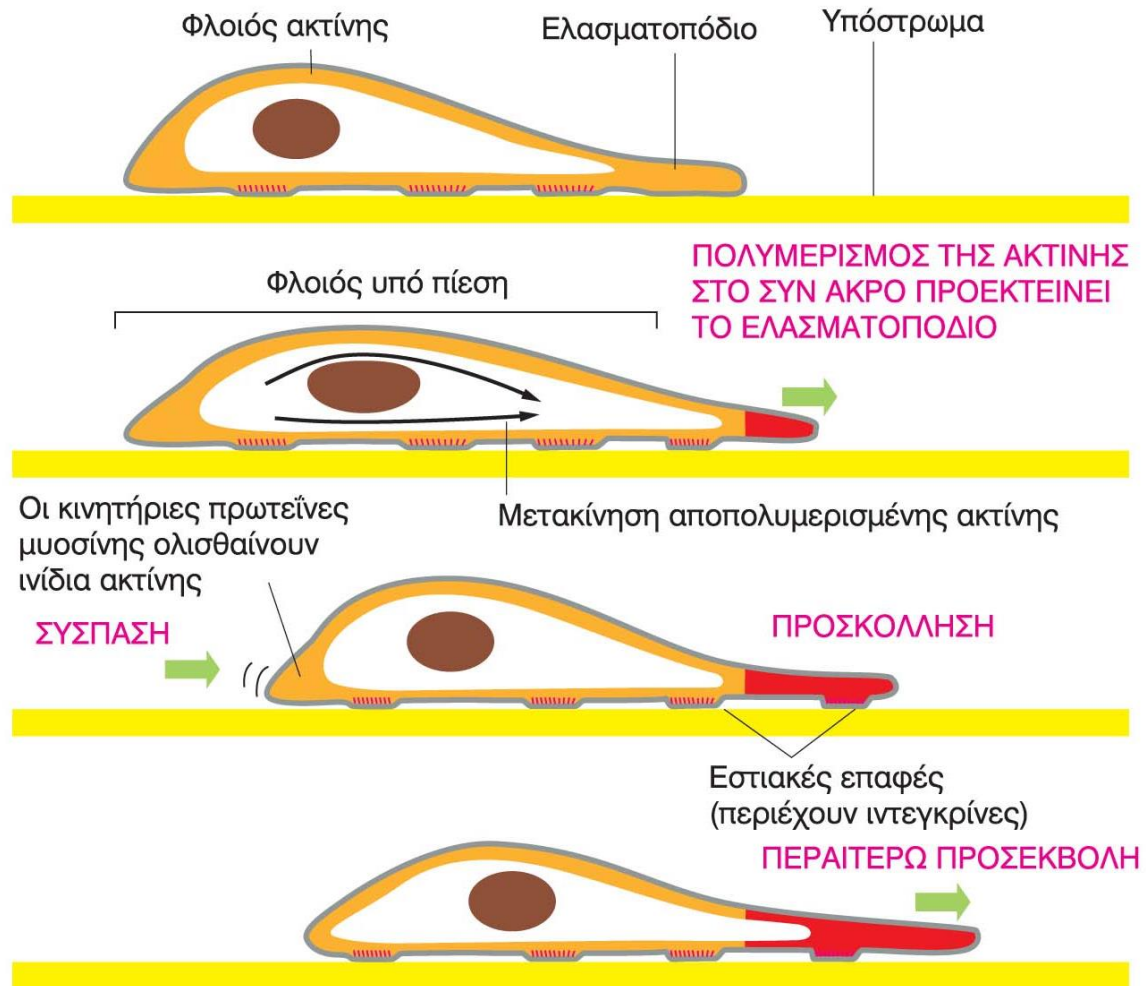


Νημάτια ακτίνης

Στον ερπυσμό συμβαίνουν και είναι σημαντικές τρεις αλληλοσυνδεόμενες διεργασίες:

- 1) Το κύτταρο δημιουργεί προεκβολές στο «μέτωπο» ή οδηγό άκρο
- 2) Οι προεκβολές προσκολλώνται στην επιφάνεια πάνω στην οποία έρπει το κύτταρο και
- 3) Το υπόλοιπο κύτταρο παρασύρεται προς τα εμπρός με έλξη από τα σημεία προσκόλλησης.

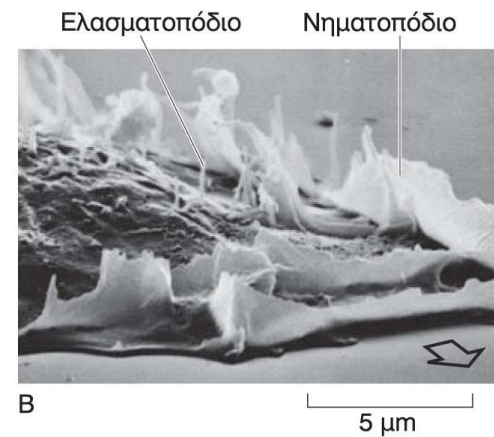
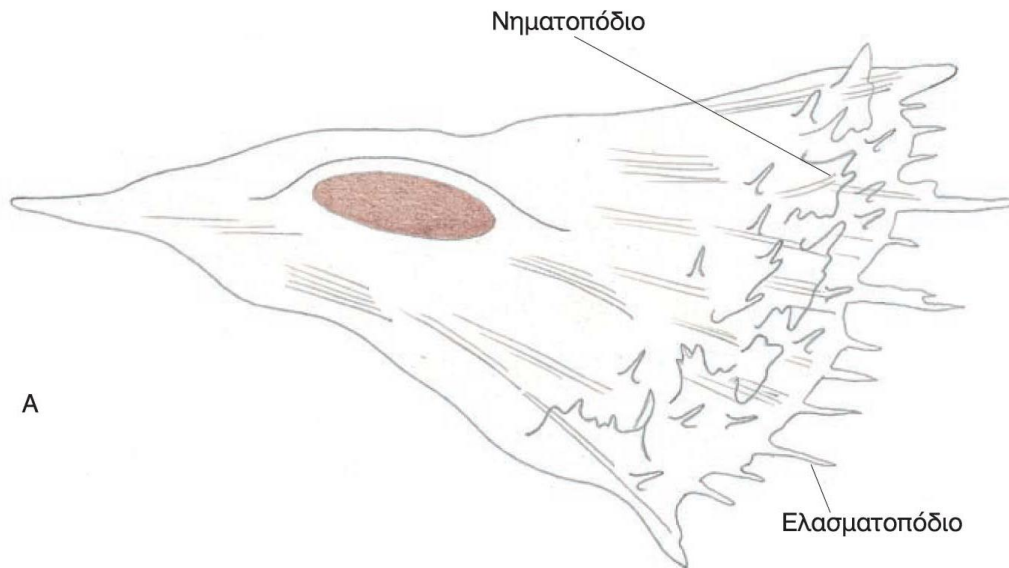
Νημάτια ακτίνης



Νημάτια ακτίνης

Η προεκβολή της κυτταρικής επιφάνειας προωθείται από τον πολυμερισμό της ακτίνης.

Το οδηγό άκρο μιας έρπουσας ινοβλάστης σε καλλιέργεια εκτείνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα λεπτά **ελασματοπόδια**, τα οποία περιέχουν ένα πυκνό πλέγμα νηματίων ακτίνης που είναι προσανατολισμένα με το συν άκρο τους κοντά στην κυτταρική μεμβράνη.

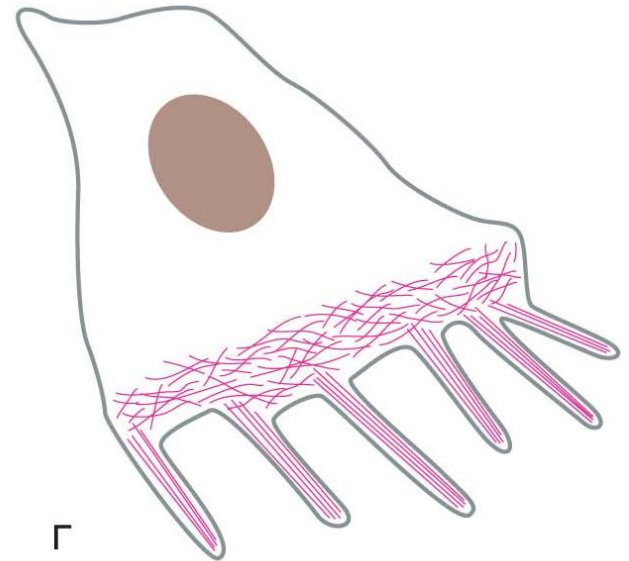


Νημάτια ακτίνης

Άλλα κύτταρα έχουν λεπτές άκαμπτες προεκβολές που καλούνται φιλοπόδια ή νηματοπόδια στο οδηγό άκρο και σε όλη την επιφάνειά τους.

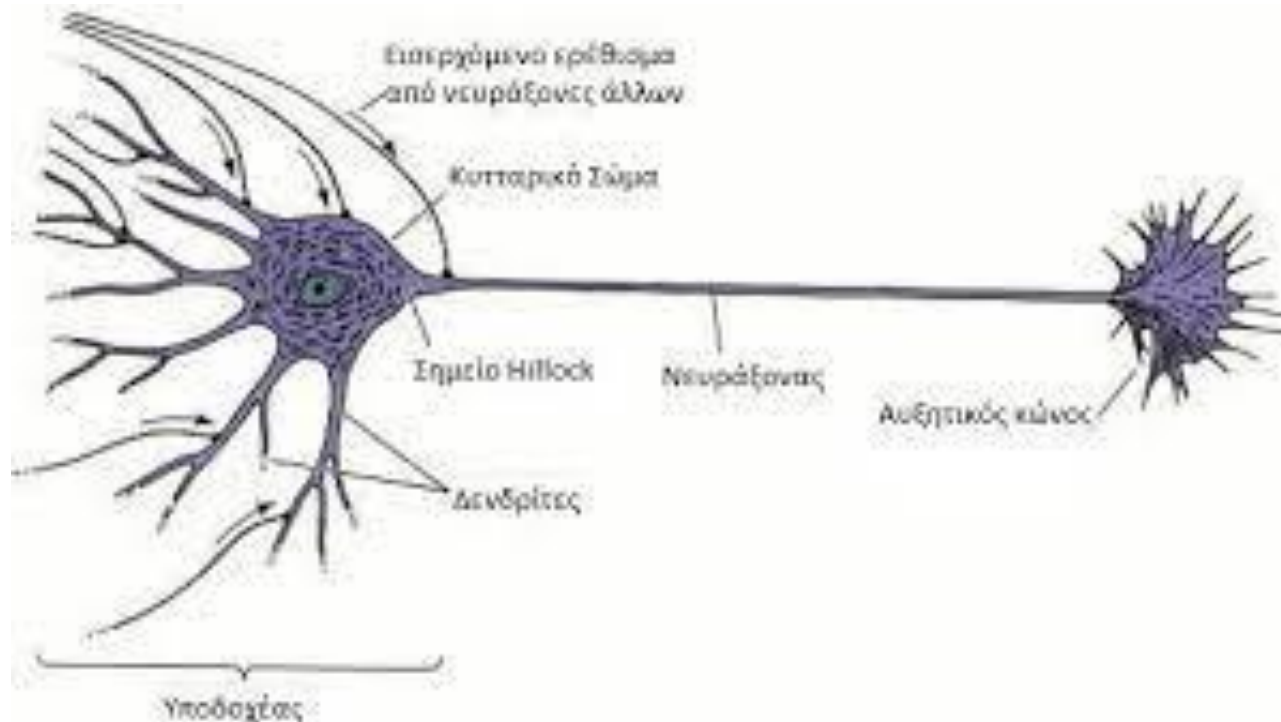
Τα φιλοπόδια έχουν πλάτος 0,1 μm και μήκος 5-10 μm.

Κάθε φιλοπόδιο περιέχει μια χαλαρή δέσμη 10-20 νηματίων ακτίνης που είναι προσανατολισμένα με το συν άκρο τους προς τα έξω.



Νημάτια ακτίνης

Το προωθούμενο άκρο (**αυξητικός κώνος**) ενός αναπτυσσόμενου νευράξονα εκτείνει ακόμη μακρύτερα φιλοπόδια μήκους έως 50 μm που βοηθούν στη διερεύνηση του περιβάλλοντος και στο να βρίσκουν το σωστό δρόμο προς το στόχο.



Νημάτια ακτίνης

Τα **ελασματόδια** και τα **φιλοπόδια** είναι διερευνητικές κινητές δομές που σχηματίζονται και αποσύρονται με μεγάλη ταχύτητα.

Δημιουργούνται από μια ταχεία τοπική αύξηση νηματίων ακτίνης, που εμπυρηνώνονται κοντά στην κυτταρική μεμβράνη και την ωθούν προς τα έξω χωρίς όμως να τη σκίζουν καθώς επιμηκύνονται με πολυμερισμό.

Νημάτια ακτίνης

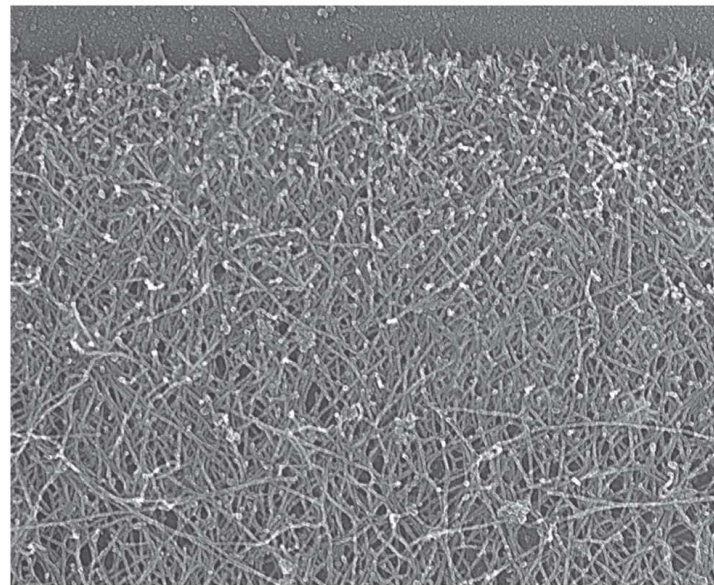
Ο σχηματισμός και η αύξηση των ινιδίων ακτίνης στο προπορευόμενο άκρο ενός κυττάρου υποβοηθείται από διάφορες πρωτεΐνες που προσδένουν ακτίνη.

Οι ARPs προάγουν το σχηματισμό διακλαδισμένων ινιδίων ακτίνης στα ελασματοπόδια.

Οι ARPs σχηματίζουν σύμπλοκα που προσδένονται στα προϋπάρχοντα ινίδια ακτίνης τα οποία οργανώνουν την αύξηση νέων ινιδίων που αυξάνουν υπό γωνία και έτσι σχηματίζουν πλευρικούς κλάδους.

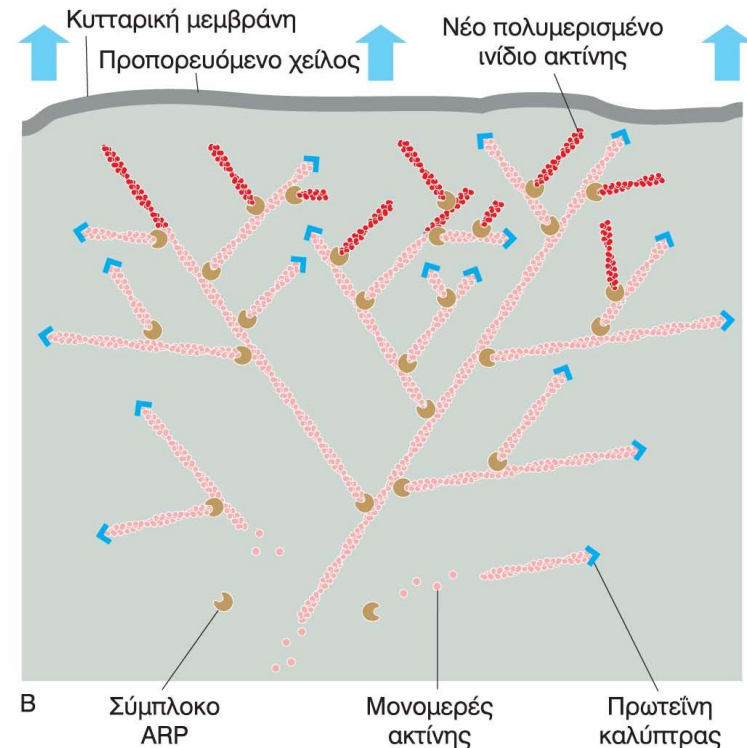
Νημάτια ακτίνης

Με τη βοήθεια επιπρόσθετων πρωτεϊνών που προσδένουν ακτίνη, αυτό το πλέγμα υφίσταται συναρμολόγηση στο οδηγό άκρο και αποσυναρμολόγηση στο οπίσθιο άκρο.



A

0,5 μm



B

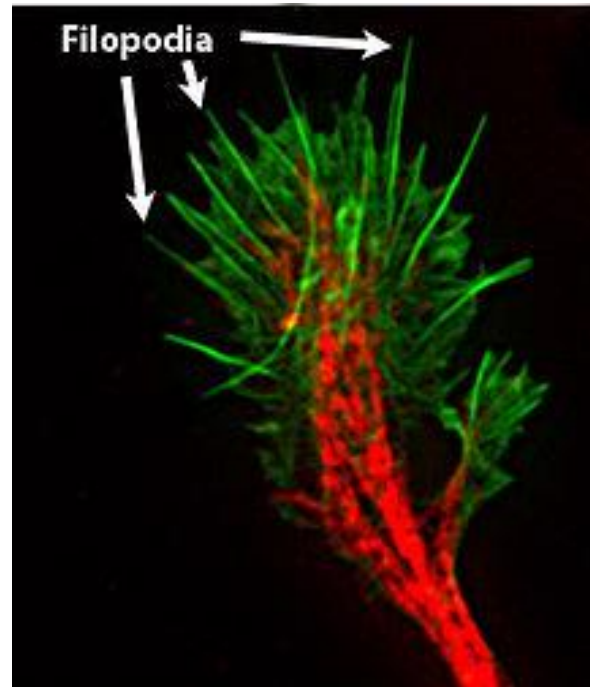
Σύμπλοκο
ARP

Μονομερές
ακτίνης

Πρωτεΐνη
καλύπτρας

Νημάτια ακτίνης

Το **φιλοπόδιο** βασίζεται στις φορμίνες, πρωτεΐνες εμπυρήνωσης που προσδένονται στα αυξανόμενα άκρα των νηματίων ακτίνης και προάγουν την προσθήκη νέων μονομερών σχηματίζοντας επιμήκη, μη διακλαδιζόμενα νημάτια.



Νημάτια ακτίνης

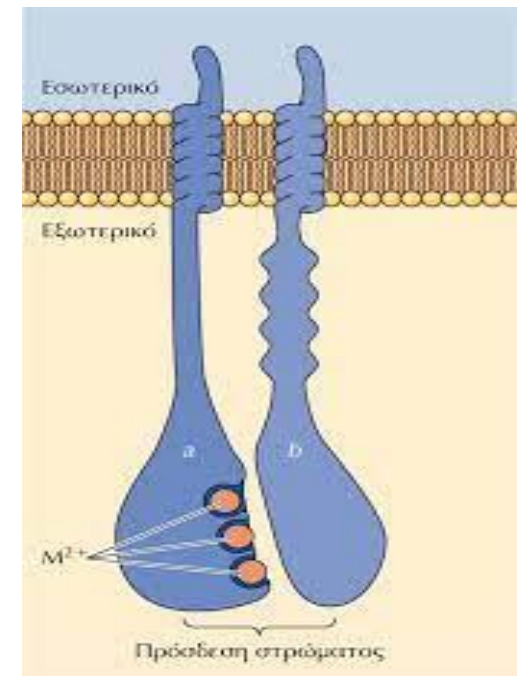
Οι φορμίνες χρησιμοποιούνται επίσης για τη συναρμολόγηση διακλαδιζόμενων ινιδίων, όπως στο συστατικό δακτύλιο που χωρίζει ένα διαιρούμενο κύτταρο στα δύο.



Νημάτια ακτίνης

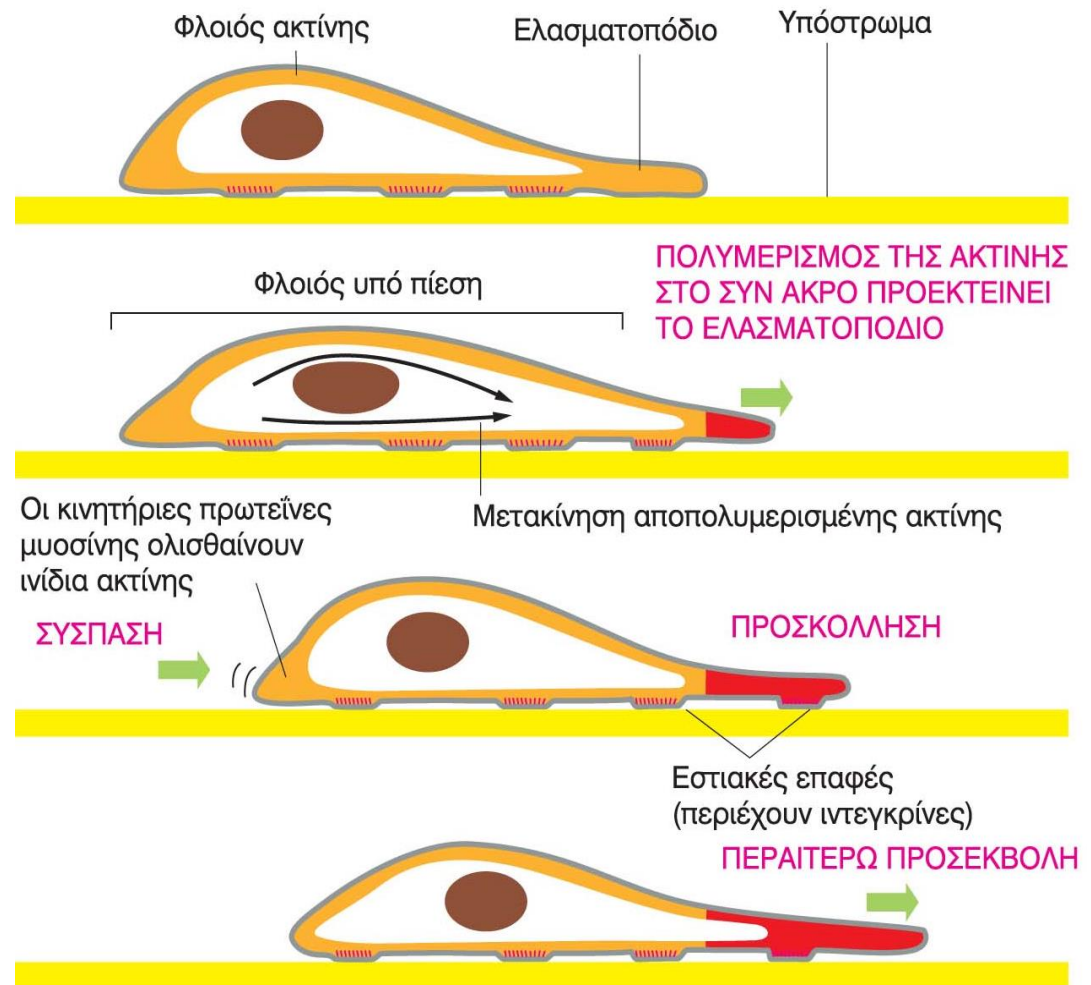
Όταν τα ελασματοπόδια και τα φιλοπόδια αγγίζουν μια ευνοϊκή επιφάνεια, κολλούν σε αυτή.

Οι ιντεγκρίνες είναι διαμεμβρανικές πρωτεΐνες που προσκολλώνται σε μόρια του εξωκυττάριου στρώματος ή στην επιφάνεια ενός άλλου κυττάρου πάνω στο οποίο έρπει το μετακινούμενο κύτταρο.



Νημάτια ακτίνης

Στην ενδοκυττάρια πλευρά της μεμβράνης του έρποντος κυττάρου, οι ιντεγκρίνες εμπυρηνώνουν ή δεσμεύουν νημάτια ακτίνης στο φλοιό, δημιουργώντας έτσι ένα ισχυρό αγκυροβόλιο για το έρπον κύτταρο.

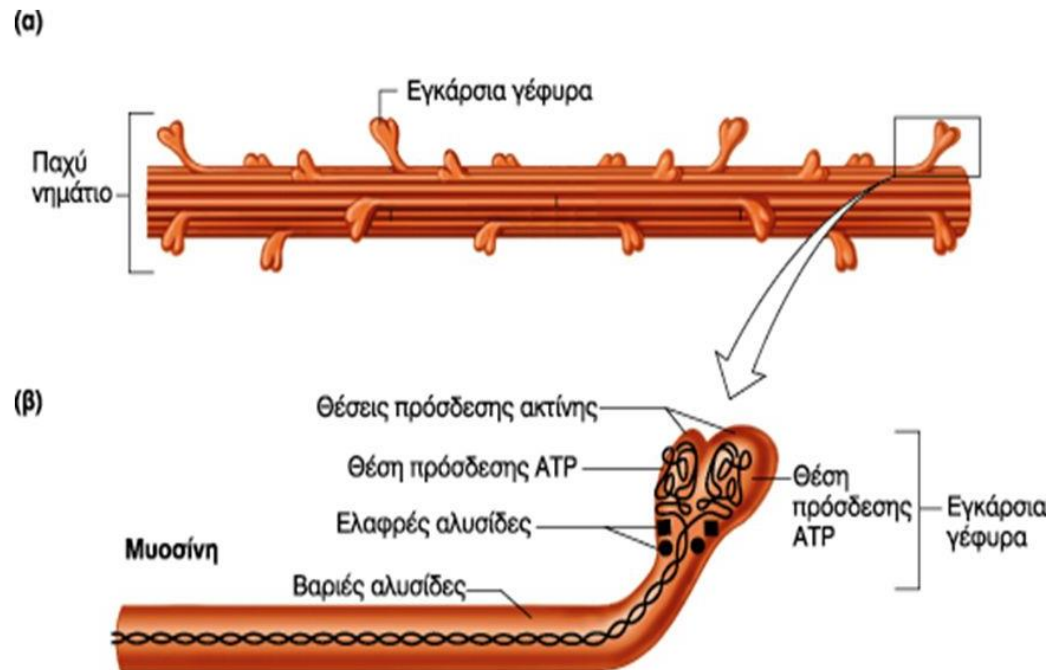


Νημάτια ακτίνης

Οι ARPs ανήκουν στην οικογένεια της μυοσίνης.

Προσδένουν και υδρολύουν ATP, το οποίο παρέχει την ενέργεια για να κινηθούν κατά μήκος των νηματίων ακτίνης, από το πλην άκρο του νηματίου προς το συν άκρο.

Η μυοσίνη μαζί με την ακτίνη αποκαλύφθηκαν πρώτα στους σκελετικούς μύες.



Νημάτια ακτίνης

Πολλά διαφορετικά είδη μυοσίνης από τα οποία πιο άφθονα είναι εκείνα που ανήκουν στις υπο-οικογένειες της **μυοσίνης I** και **II**.

Η **μυοσίνη II** είναι η βασική μυοσίνη των μυών.

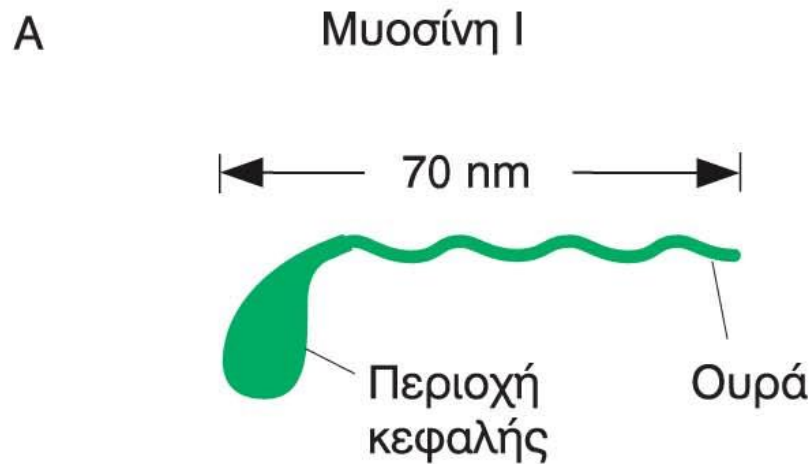
Η **μυοσίνη I** βρίσκεται σε όλα τα είδη κυττάρων έχει απλούστερη δομή και μηχανισμό δράσης.

Νημάτια ακτίνης

Τα μόρια της μυοσίνης I έχουν μια κεφαλή και μια ουρά.

Η περιοχή της κεφαλής αλληλεπιδρά με τα νημάτια της ακτίνης και υδρολύει το ATP.

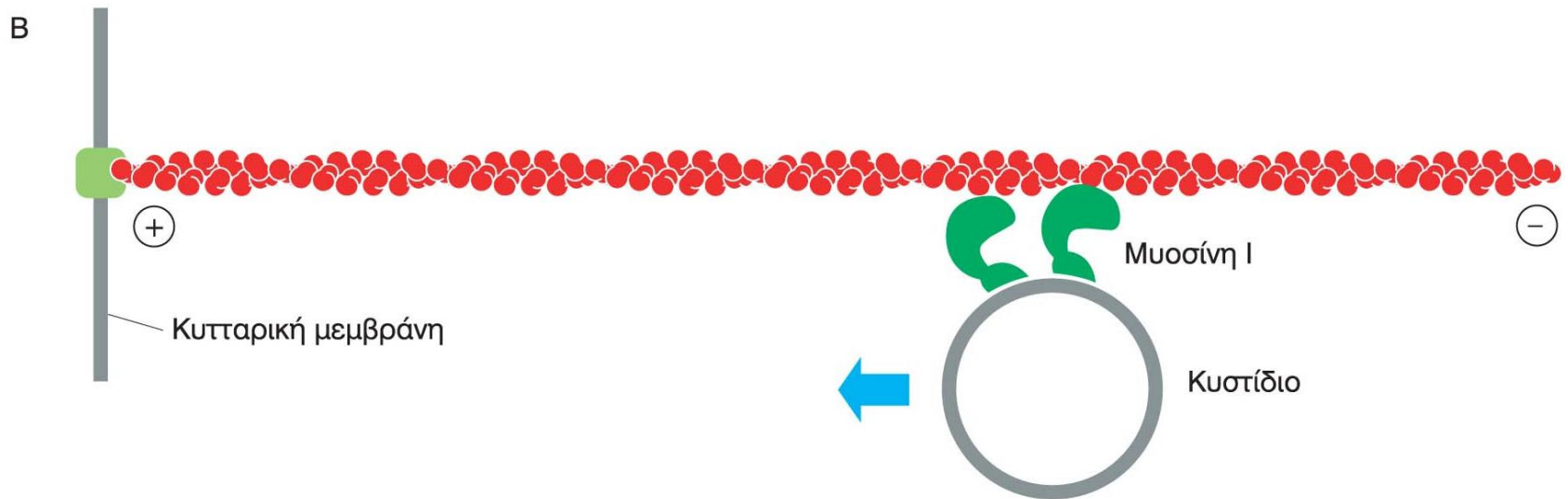
Έτσι το μόριο της μυοσίνης μετακινείται κατά μήκος του νηματίου, ακολουθώντας έναν κύκλο απελευθέρωσης και επαναπρόσδεσης.



Νημάτια ακτίνης

Η ουρά ποικίλει στα διάφορα είδη μυοσίνης και καθορίζει ποιο κυτταρικό συστατικό θα παρασυρθεί από τον κινητήρα.

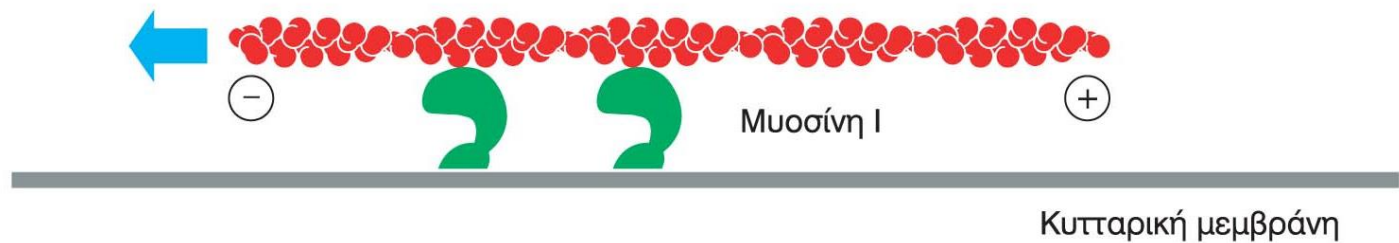
Η ουρά μπορεί να προσδεθεί σε ένα συγκεκριμένο είδος μεμβρανικού κυστιδίου και να το προωθήσει μέσα στο κύτταρο κατά μήκος των τροχιών που δημιουργούν τα νημάτια της ακτίνης.



Νημάτια ακτίνης

Η ουρά μπορεί να προσδεθεί στην κυτταρική μεμβράνη και να την παραμορφώσει ή να της αλλάξει σχήμα.

Γ

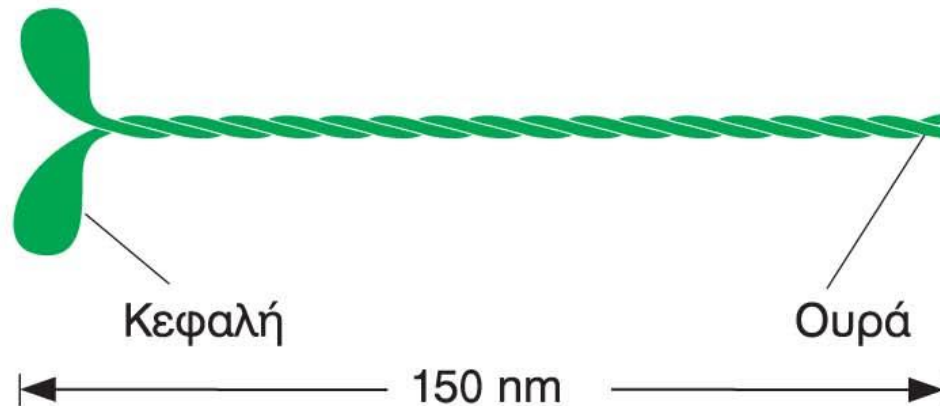


Νημάτια ακτίνης

Η μυοσίνη των μυών ανήκει στην οικογένεια της μυοσίνης II και αποτελείται από διμερή με δύο σφαιρικές κεφαλές ATPάσης στο ένα άκρο και μια μοναδική ουρά σπειροειδούς σπειράματος στο άλλο άκρο.

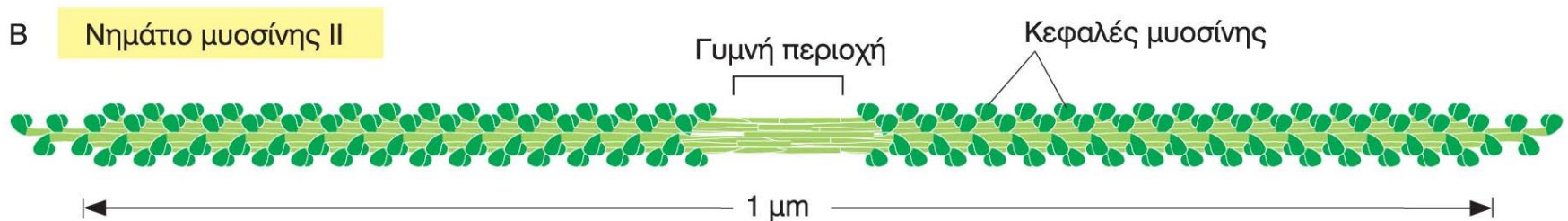
A

Μόριο μυοσίνης II



Νημάτια ακτίνης

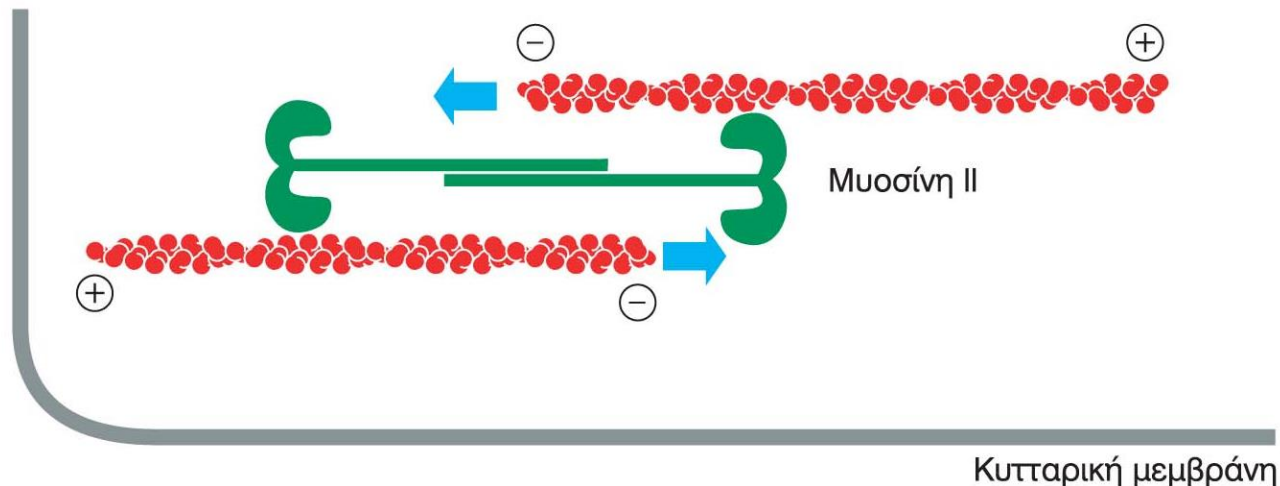
Σύμπλοκα μορίων μυοσίνης II προσδένονται μεταξύ τους μέσω των σπειροειδών σπειραμάτων της ουράς τους, σχηματίζοντας ένα νημάτιο μυοσίνης στο οποίο οι κεφαλές προεξέχουν από τα πλάγια.



Νημάτια ακτίνης

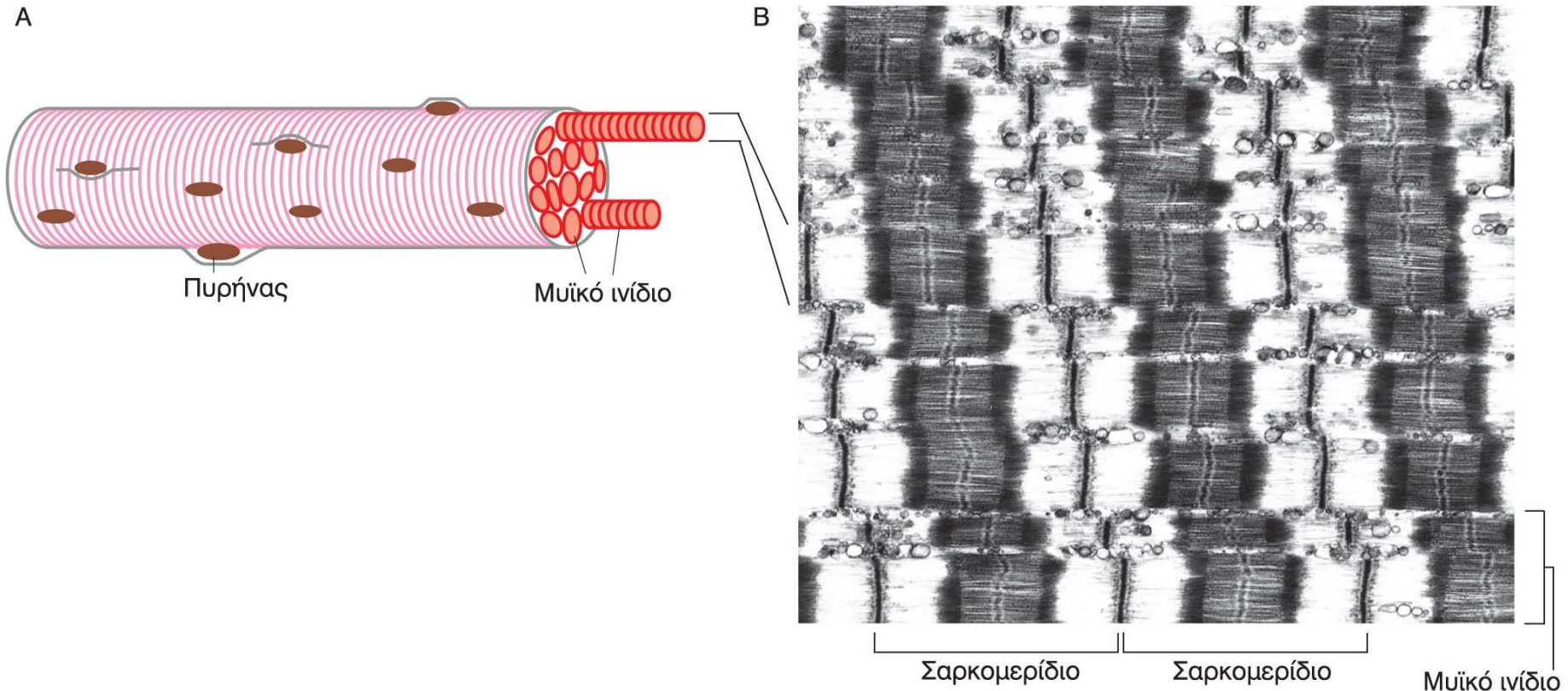
Το νημάτιο μυοσίνης μοιάζει με αμφίδρομο βέλος, όπου οι ομάδες των κεφαλών προσανατολίζονται προς αντίθετες κατευθύνσεις.

Η μία ομάδα των κεφαλών συνδέεται με νημάτια ακτίνης και τα μετακινεί προς μία κατεύθυνση, ενώ η άλλη ομάδα των κεφαλών προσδένεται σε άλλα νημάτια αντίθετου προσανατολισμού και τα μετακινεί αντίθετα.



Νημάτια ακτίνης

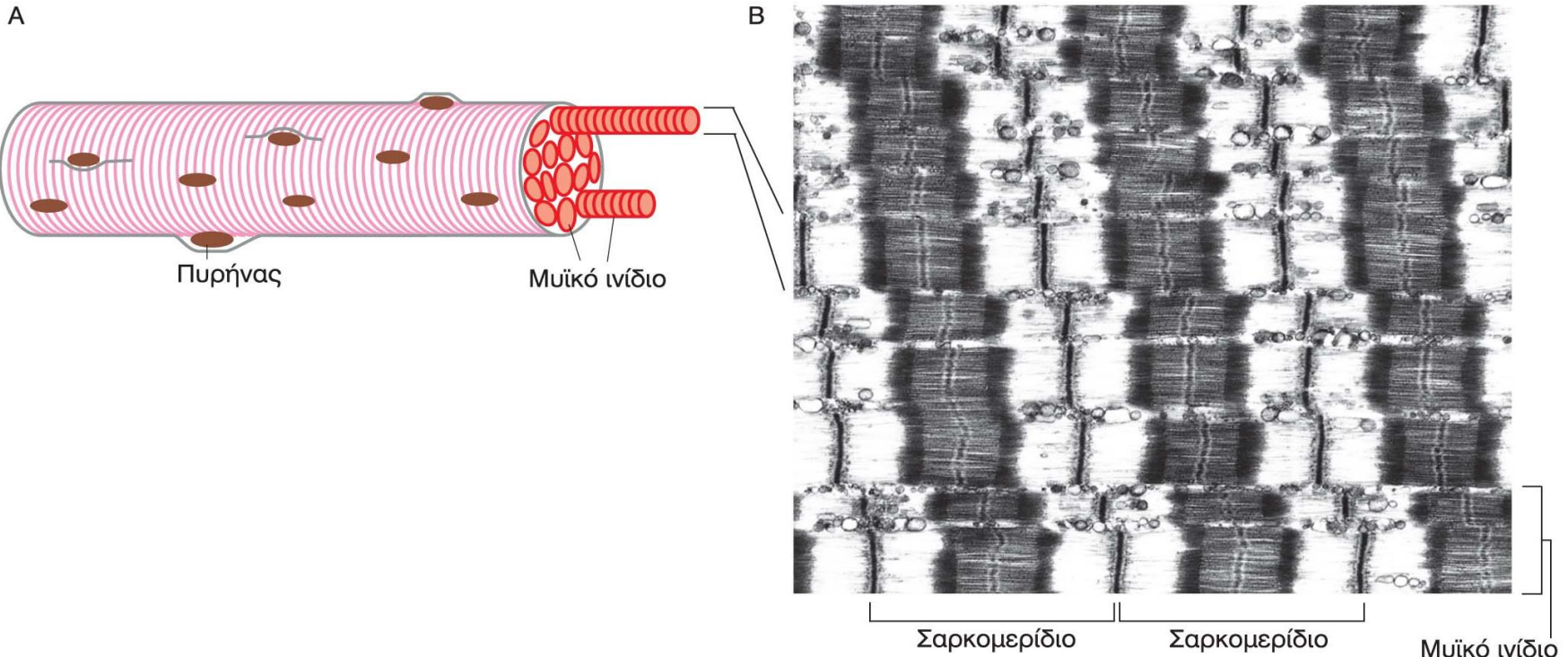
Οι ίνες του σκελετικού μυός είναι τεράστια πολυπύρρηνα απλά κύτταρα που σχηματίστηκαν κατά την ανάπτυξη από τη σύντηξη πολλών μικρότερων κυττάρων.



Νημάτια ακτίνης

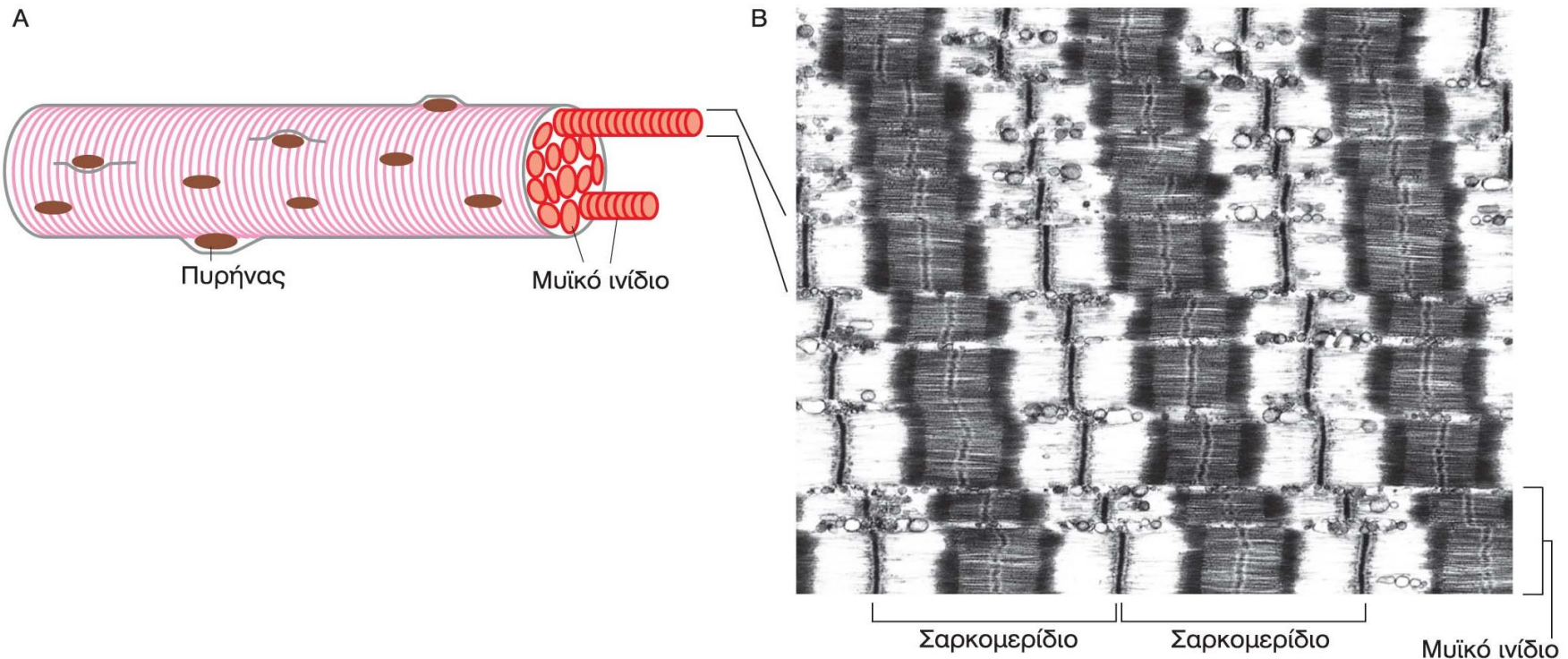
Οι πυρήνες των κυττάρων που συμμετέχουν διατηρούνται στη μυϊκή ίνα κάτω από την κυτταρική μεμβράνη.

Ο κύριος όγκος του κυτταροπλάσματος αποτελείται από μυϊκά ινίδια (στοιχεία συστολής) που έχουν διάμετρο 1-2 μm και μήκος όσο το μυϊκό κύτταρο.



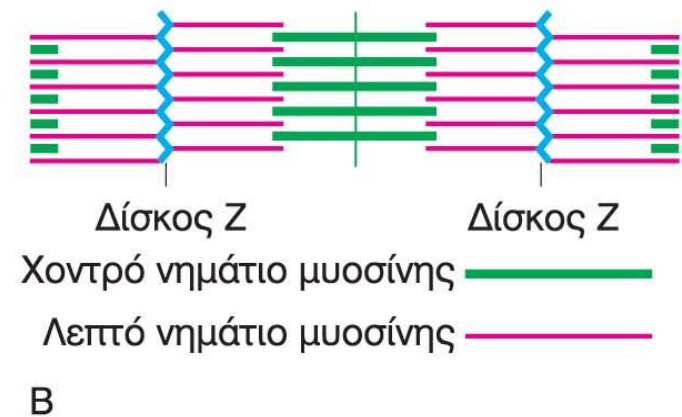
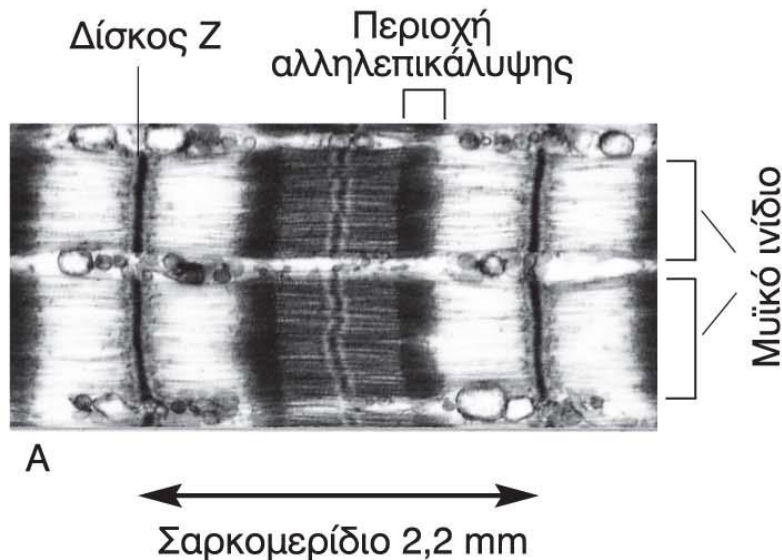
Νημάτια ακτίνης

Ένα μυϊκό ινίδιο αποτελείται από μία αλυσίδα παρόμοιων λεπτών μονάδων συστολής που λέγονται **σαρκομερίδια**, με μήκος του καθενός $\sim 2,5 \mu\text{m}$. Έχουν ραβδωτή ή γραμμωτή εμφάνιση.



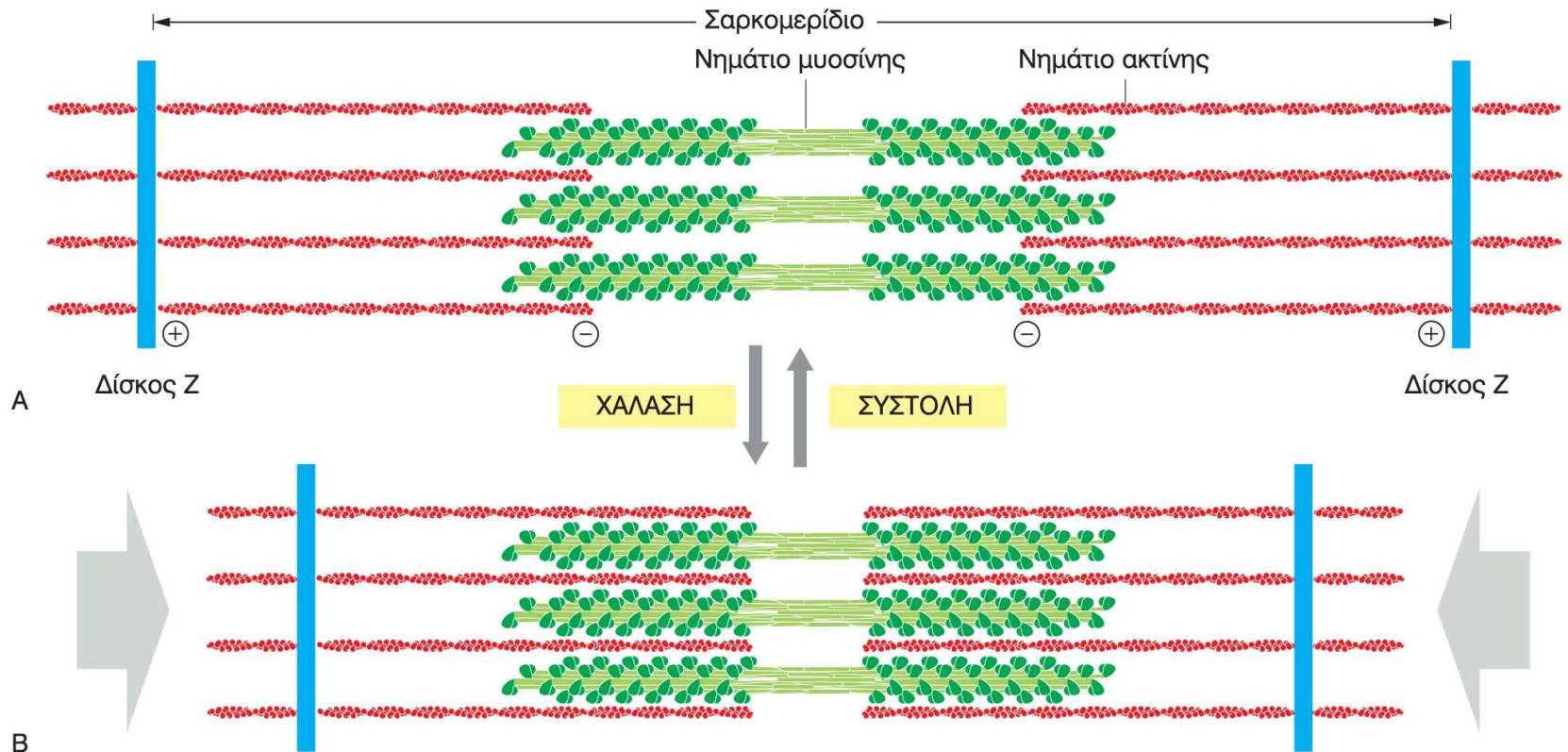
Νημάτια ακτίνης

Τα **σαρκομερίδια** αποτελούνται από νημάτια μυοσίνης II και ακτίνης. Στο κέντρο του σαρκομεριδίου βρίσκονται τα νημάτια μυοσίνης και τα λεπτά νημάτια ακτίνης εκτείνονται προς τα μέσα από τα άκρα του, όπου αγκυροβολούν με τα συν άκρα τους σε μια δομή γνωστή ως **δίσκος Z**, επικαλύπτοντας τα νημάτια μυοσίνης.



Νημάτια ακτίνης

Η ταυτόχρονη βράχυνση των σαρκομεριδίων που προκαλείται από την ολίσθηση των νηματίων ακτίνης πάνω στα νημάτια μυοσίνης χωρίς μεταβολή του μήκους των νηματίων οδηγεί στη συστολή του μυϊκού κυττάρου.



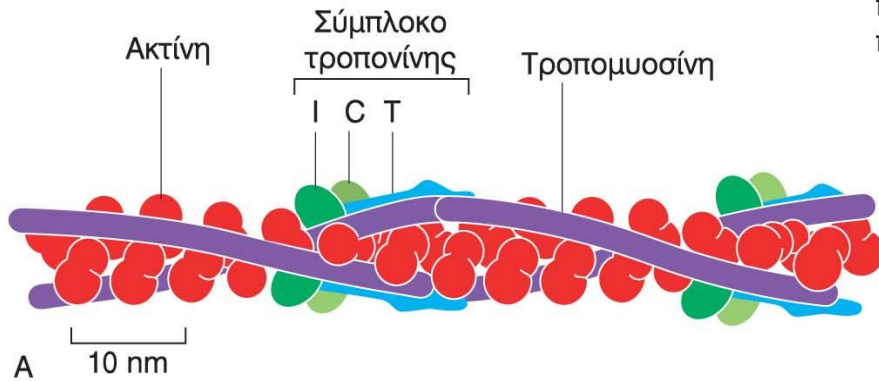
Νημάτια ακτίνης

Η κίνηση της ολίσθησης δημιουργείται από τις κεφαλές της μυοσίνης που προεξέχουν από τα πλάγια του νηματίου της μυοσίνης και αλληλεπιδρούν με γειτονικά νημάτια ακτίνης.

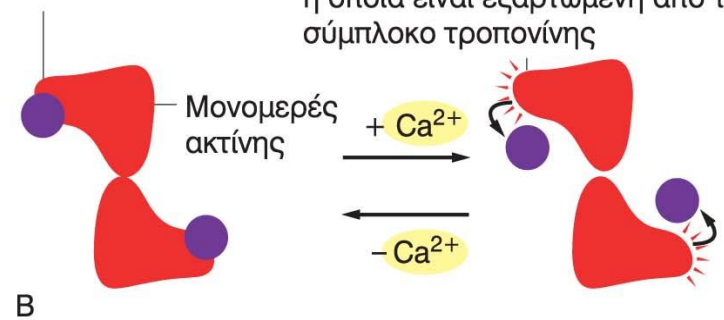
Όταν ένας μυς διεγείρεται ώστε να συσταλεί, οι κεφαλές της μυοσίνης αρχίζουν να κινούνται κατά μήκος του νηματίου ακτίνης με επαναλαμβανόμενους κύκλους προσκόλλησης και αποκόλλησης.

Η δράση αυτή έλκει τα νημάτια της ακτίνης και της μυοσίνης να μετακινηθούν αντίθετα το ένα πάνω στο άλλο, προκαλώντας τη συστολή του σαρκομεριδίου.

Νημάτια ακτίνης



Η τροπομοσίνη παρεμποδίζει τη θέση πρόσδεσης της μυοσίνης



Η θέση πρόσδεσης της μυοσίνης ελευθερώνεται μετά τη μετακίνηση της τροπομοσίνης με τη μεσολάβηση Ca^{2+} , η οποία είναι εξαρτώμενη από το σύμπλοκο τροπονίνης

Στοιχεία Επικοινωνίας

Νεφέλη Λαγοπάτη

E-mail: nlagopati@med.uoa.gr

Tel: 210-7462362

Ευχαριστώ για την
προσοχή σας!