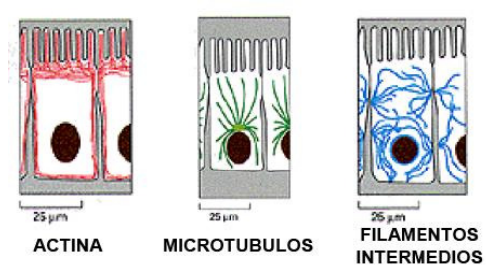


Introducción al citoesqueleto

- ⇒ El citoesqueleto se encuentra solo en células eucariotas.
- ⇒ Las células eucariotas son células complejas que tienen que organizar sus orgánulos, mover vesículas de un lado a otro del citoplasma, moverse ellas mismas...
- ⇒ Estas funciones se realizan gracias al citoesqueleto.
- ⇒ El citoesqueleto es como un armazón intramolecular, responsable de:
 - ⇒ Mantenimiento de la forma celular.
 - ⇒ Movimiento de la célula.
 - ⇒ Mantenimiento de la posición y movimiento, de las estructuras celulares.
- ⇒ Esto se lleva a cabo gracias a tres tipos distintos de filamentos:
 - ⇒ **Finos:** Tienen un diámetro de unos 7nm. Están formados básicamente de actina. Son responsables sobre todo del mantenimiento de la forma y superficie celular, así como de la contracción celular y de la locomoción celular.
 - ⇒ **Microtúbulos:** Tienen unos 25 nm de diámetro. Son los más gruesos. Son responsables de la organización y del movimiento de las estructuras intracelulares.
 - ⇒ **Intermedios:** Presentan un diámetro de entre 10 y 11 nm. Son muy resistentes. Se encargan del mantenimiento de la forma celular y tienen también una función mecánica que actúa también como respuesta al estrés celular.



- ⇒ Cada tipo de filamento se especializa en distintas funciones pero presentan una serie de características comunes:
 - ⇒ Son filamentos proteicos formados por monómeros que se polimerizan y forman filamentos largos. Se unen entre sí por fuerzas débiles no covalentes.
 - ⇒ Sus funciones también dependen, no solo de los filamentos, sino de las proteínas a las que se asocian (**proteínas asociadas:** muchas y muy distintas).
 - ⇒ **Funciones de las proteínas asociadas.**
 - ⇒ Algunas se asocian a diferentes filamentos uniéndolos entre sí.
 - ⇒ Otras se unen a vesículas u orgánulos rodeados de membrana a los filamentos.
 - ⇒ **Función motora:** mueven estructuras sobre los filamentos, etc.

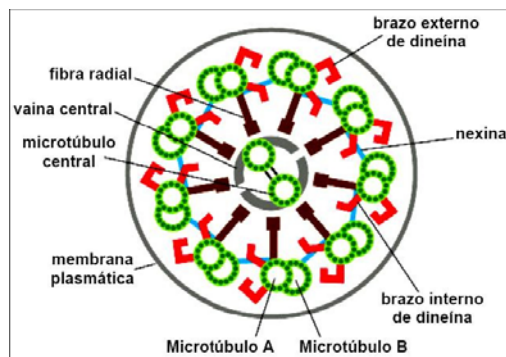
Microtúbulos

- ⇒ Morfología
 - ⇒ Cilindros huecos con un espesor de 25 nm y paredes de 5 nm. La longitud es variable, estos microtúbulos pueden aparecer y desaparecer rápidamente de una localización a otra.
 - ⇒ Mueven estructuras intracelulares como vesículas del Aparato de Golgi y el propio aparato de Golgi.
- ⇒ Tipos
 - ⇒ Lábilis
 - ⇒ Aquellos que se ven al M.E.T. solo cuando la fijación se realiza de forma cuidadosa y estricta (**gluteraldehído** a temperatura superior a 4°C).
 - ⇒ Microtúbulos citoplasmáticos. Todos ellos presentan una estructura polarizada (dos extremos), uno de crecimiento lento (-) y otro de crecimiento rápido (+).
 - ⇒ El extremo se encuentra en el centro celular, cerca del núcleo.
 - ⇒ Dentro del centrosoma hay dos centriolos y alrededor existe un material que se ve denso al M.E.T.: material pericentriolar.
 - ⇒ El microtúbulo va desde el centrosoma a cualquier lugar de la célula a modo de estrella.

- ⇒ Se polimeriza de forma rápida.
- ⇒ Microtúbulos del huso mitótico. Se organizan para dirigir la división.
- ⇒ Estables
 - ⇒ Se observan con cualquier fijación (**glutaraldehído**, **óxido de osmio...** y a cualquier temperatura).
 - ⇒ Forman parte de estructuras complejas: cilios, flagelos y centriolos.

Cilios y flagelos

- ⇒ Expansiones citoplasmáticas a modo de digitaciones móviles que realizan movimientos pendulares u ondulantes, etc.
- ⇒ Están en la mayoría de especies animales y algunos vegetales inferiores.
- ⇒ Miden $0.25\ \mu\text{m}$ de espesor y con longitud variable ($10\ \mu\text{m}$ los cilios; $50\ \mu\text{m}$ los flagelos).
- ⇒ Los cilios son responsables del movimiento del líquido extracelular (cilios de las trompas de Falopio...).
- ⇒ Los flagelos realizan un movimiento con la finalidad de mover la célula (espermatozoide).
- ⇒ **Axonema común: (9 + 2)**
 - ⇒ Rodeados de membrana
 - ⇒ Formado por 9 dobletes de microtúbulos periféricos repartidos de forma regular formando un anillo.
 - ⇒ Cada doblete tiene un microtúbulo de sección circular (microtúbulo A) y otro microtúbulo asociado al A en toda su longitud y con sección de media luna (microtúbulo B).
 - ⇒ Los dobletes periféricos están unidos mediante puentes de **nexina**. Unen el microtúbulo A de un doblete con el B del doblete vecino.
 - ⇒ Del microtúbulo A surgen dos expansiones proteicas: **brazos de dineína**. Son diferentes: brazo externo e interno. Están formados por dineína, que es una ATPasa. En el movimiento los brazos de dineína contactan con el doblete vecino desplazándose sobre él y produciendo la locomoción.
 - ⇒ Del microtúbulo A surgen una estructura proteica alargada que acaba en una zona globular: **fibra radial**. Esta fibra llega cerca de otra estructura, aunque no contacta con ella, la **vaina central**.
 - ⇒ La **vaina central** son dos expansiones proteicas que surgen de dos microtúbulos llamados centrales que no forman doblete. A veces presentan una estructura que los mantiene unidos.
 - ⇒ Este axonema es común para cilios y flagelos.
- ⇒ Los microtúbulos son igual de largos que el cilio/flagelo. Los brazos de dineína se reparten periódicamente cada 24 nm.
- ⇒ Bajo el cilio hay una estructura que recibe el nombre de corpúsculo basal.



Centriolos y corpúsculos basales

- ⇒ Tienen la misma estructura. Se conoce como estructura 9 + 0. 9 tripletes repartidos regularmente a modo de anillo. Se denominan A, B y C. A tiene sección circular; B tiene sección de media luna; C está unido a B y presenta sección de media luna.
- ⇒ Para conferir estabilidad encontramos puentes proteicos que unen el microtúbulo A con el C del triplete vecino.
- ⇒ Tienen $0.2\ \mu\text{m}$ de diámetro y $0.4\ \mu\text{m}$ de longitud.

- ⇒ En la zona proximal del centriolo (cerca del núcleo) y en la del cuerpo basal (**cinetosoma**) es visible una estructura proteica formada por una estructura central y nueve fibras radiales estructuradas en forma de rueda de carro. No está en la parte distal.
- ⇒ Las células animales tienen por lo menos dos centriolos que se sitúan perpendicularmente formando el diplosoma que se sitúa en el centrosoma y está rodeado de material pericentriolar.
- ⇒ Las células ciliadas tienen un corpúsculo basal anclando cada uno de los cilios.
- ⇒ Desde el corpúsculo basal al centro celular se encuentran unas fibras que forman estrías y anclan el cilio (**raicillas ciliares**).
- ⇒ Entre el corpúsculo basal y el cilio encontramos una placa proteica.
- ⇒ Los centriolos y los corpúsculos basales son intercambiables. Pueden realizar, dependiendo de su situación, las mismas funciones.

Citoquímica

- ⇒ Digestión de la célula con **pepsina**.
- ⇒ Actividad ATPasa en los brazos de dineína.
- ⇒ Están formados por tubulina, 16S, formada por dos subunidades de coeficiente 3S cada una. No son iguales (tubulina α y β). Es, por tanto, un heterodímero.
- ⇒ Existen 6 formas de tubulinas en mamíferos, cada una codificada por un gen distinto.
- ⇒ Poseen sitios de unión para 1 ATP, 1 GTP, alcaloides, colchicinas...
- ⇒ Hay unas 180 proteínas asociadas a microtúbulos: dineína, nexina...
- ⇒ En los microtúbulos citoplasmáticos se encuentran sobre todo dos proteínas motoras:
 - ⇒ **Dineína citoplasmática**
 - ⇒ **Kinexina**
- ⇒ Se sabe que la dineína establece unión con los microtúbulos y estructuras que deben reconocerse por ellos. Son responsables del movimiento retrógrado del microtúbulo de (+) a (-).
- ⇒ La kinexina es una proteína que contacta con el microtúbulo y realiza el movimiento del extremo (+) a (-).

Organización molecular

- ⇒ La mitad de la tubulina está polimerizada.
- ⇒ En el citoplasma, el microtúbulo, se forma y se destruye.
- ⇒ Muchos protofilamentos estabilizan la estructura, **cooperatividad**.
- ⇒ El protofilamento surge por incorporación de heterodímeros de tubulina, formado por dímeros unidos a GTP. Este extremo admite más subunidades.
- ⇒ En un tiempo determinado, se produce la hidrólisis de GTP a GDP y se destruye el protofilamento: **fenómeno de catástrofe**.

Biosíntesis

- ⇒ Empieza a formarse en el centrosoma.
- ⇒ La tubulina forma anillos sobre los que se inicia la polimerización de α y β tubulina para formar los microtúbulos.
- ⇒ Por ello el crecimiento se da hacia la membrana plasmática.
- ⇒ Los cilios surgen a partir de un corpúsculo basal. El microtúbulo A se continúa, luego el B y luego los centrales que surgen de la **placa densa**.
- ⇒ Los centriolos se duplican cuando se duplica el ADN. No se sabe muy bien cómo. El mal funcionamiento produce enfermedades (síndrome de los cilios inmóviles...)
- ⇒ No hay ninguna por mutaciones de la tubulina (provoca el aborto espontáneo).

Patología

- ⇒ **Síndrome de los cilios inmóviles**: que va a producir infecciones respiratorias de repetición.
- ⇒ **Síndrome de Kartagener**: enfermedad que se basa en un mal funcionamiento de los brazos de dineína, y va a provocar infecciones respiratorias, y esterilidad en los hombres (el espermatozoide no se mueve). En muchos de los casos también encontramos *situs inverso*, que consiste en que algunos órganos están al revés.