

## I MICROTUBULI

*“Il sistema grezzo del suono e, quindi, della parola, nasconde un sistema sottile. La vera informazione avviene infatti a livello dei microtubuli.*

*Questo meccanismo di trasmissione–avviene a catena in tutte le creature in natura, ancor prima del suono. I microtubuli citoscheletrici, nel sistema universo, non sono che una sequenza numerica, la cui funzione è in base alla collocazione diversa dei numeri con cui vengono identificati tutti i sistemi esistenti nell’universo.”*

I microtubuli si presentano sotto forma di filamenti cavi singoli che, da una struttura prossima al nucleo - il centrosoma -, si irradiano all'interno della cellula. Essi sono strutture “dinamiche”, capaci di autodemolirsi (depolimerizzazione) rapidamente in una sede e ricostituirsi (ripolimerizzazione) altrettanto velocemente in un'altra, in una sorta di equilibrio dinamico.

Nelle cellule svolgono un ruolo fondamentale. In quelle dotate di nucleo (eucariotiche) fanno parte del citoscheletro, ovvero dello scheletro della cellula.

Le principali funzioni che svolgono sono:

- trasporto intracellulare di organelli (inclusi i mitocondri);
- movimento ciliare, ondulatorio e sincronizzato;
- organizzazione della divisione cromosomica (movimento oscillatorio sincronizzato);
- scambio di segnali da una cellula all'altra;
- comunicazione fra nucleo e interno della cellula;
- mantenimento e crescita dei collegamenti fra neuroni.

I mattoni costituenti i microtubuli sono le molecole della proteina tubulina. Due tubuline, una detta di tipo  $\alpha$  e una detta di tipo  $\beta$ , si legano tra loro a formare un dimero ( $\alpha\beta$ ). I dimeri  $\alpha\beta$  si uniscono, uno di seguito all'altro ( $\alpha\beta\alpha\beta\alpha\beta\dots$ ), formando “protofilamenti”. Le pareti dei microtubuli sono formate da 13 protofilamenti (polimeri di tubulina), disposti uno accanto all'altro a formare un cilindro. I protofilamenti sono allineati in parallelo con la stessa polarità.

I dimeri  $\alpha\beta$  possono assumere due conformazioni differenti. La possibilità, o probabilità, che essi assumano nel microtubulo una conformazione (0) piuttosto che un'altra (1) fa sì, secondo i teorici Hameroff e Penrose, che i microtubuli possano comportarsi seguendo le regole della fisica quantistica, e possano costituire un “codice”, una sequenza numerica che è caratteristica di ogni essere in un preciso istante, e dalla quale dipende il fenomeno della “coscienza”.

La concentrazione di tubulina libera non è sufficiente a permettere la formazione spontanea dei microtubuli, i quali hanno bisogno di un punto di innesco, il “ $\gamma$ -tubulin ring complex ( $\gamma$ TuRC)”. Si tratta di un complesso di proteine (inclusa una

molecola di tubulina detta di tipo  $\gamma$ ), che formano una struttura a “cerchietto”, posta sul centrosoma. Questa dà l'avvio alla polimerizzazione (assemblaggio) dei microtubuli. Il centrosoma è formato da una coppia di strutture cilindriche, i centrioli, posti l'uno perpendicolarmente all'altro e anch'essi costituiti da tubulina. Tutto ciò costituisce il *Microtubule-Organizing Center* (Centro di organizzazione dei microtubuli).

I microtubuli citoscheletrici hanno un ruolo fondamentale nella divisione cellulare: difetti a loro carico provocano infatti una divisione “irregolare” della cellula, causandone la morte oppure agevolando l'insorgenza di tumori.

Anche all'interno del neurone essi svolgono un ruolo determinante, nel guidare e direzionare dendriti e assoni (i prolungamenti cellulari) verso i neuroni circostanti, e partecipare così alla formazione di connessioni. Tale attività è particolarmente importante per i neuroni che si formano ex novo nell'ippocampo i quali, se stimolati con un adeguato sforzo di tipo cognitivo, maturano e si ramificano alla ricerca del contatto con i neuroni preesistenti, al fine di creare nuove connessioni (neuroplasticità).

Come accade per tutte le altre cellule i microtubuli, all'interno dei neuroni, hanno funzione di trasporto: costituiscono infatti l'“autostrada” deputata al trasferimento delle vescicole contenenti i neurotrasmettitori (per il loro rilascio all'esterno) e di altri organelli, tra cui i mitocondri.

In tal modo, i microtubuli svolgono un ulteriore ruolo decisivo nella trasmissione di informazioni e segnali tra una cellula e l'altra nonché nel fornire, tramite i mitocondri, energia alla cellula.