

Neurones et influx nerveux : comment l'information est-elle véhiculée ?

Organisation cellulaire

Les cellules du système nerveux peuvent être divisées en deux grandes catégories : les cellules nerveuses ou neurones et toute une variété de cellules appelées cellules gliales.

Les cellules gliales

Les cellules gliales (parfois dénommées cellules de soutien) sont 10 fois plus nombreuses que les neurones. Elles sont incapables d'émettre des signaux électriques (elles n'ont ni axone ni dendrite). Si elles ne participent pas directement à la production des signaux électriques (rôle dévolu aux neurones), elles contribuent à maintenir les neurones en état d'émettre des signaux. Elles assurent donc l'homéostasie du milieu immédiat entourant les neurones, contribuant au fonctionnement cérébral, en étroite synergie avec la fonction neuronale. De morphologie et fonctions très différentes, ces cellules sont :

- Les astrocytes
- Les oligodendrocytes

Les neurones

L'encéphale humain adulte contient environ 100 milliards de neurones d'une grande variété fonctionnelle, capables de former des ensembles complexes ou circuits neuronaux. Les neurones sont des cellules spécialisées, hautement différenciées, capables de répondre à des stimuli (issus de récepteurs sensoriels ou d'autres neurones) et de transmettre des signaux électriques à distance. Les neurones communiquent les uns avec les autres et avec les cellules effectrices (comme les cellules musculaires) par l'intermédiaire de

contacts spécialisés appelés synapses. Comme les cellules musculaires, les neurones sont des cellules capables de générer à leur surface membranaire des impulsions électriques rapides. Ces impulsions électriques sont utilisées pour transmettre des signaux le long des membranes des cellules nerveuses (et musculaires).

Le neurone comprend trois parties principales : le soma, les dendrites et l'axone. Comme les autres cellules de l'organisme, chaque neurone possède une membrane neuronale, un cytosquelette et une partie centrale appelée corps cellulaire (ou soma ou perikaryon). Le neurone a par ailleurs la caractéristique de pouvoir transmettre le signal neuronal via des jonctions synaptiques.

La membrane neuronale délimite le pourtour cellulaire. Elle contient de nombreuses protéines : certaines protéines agissent pour maintenir un gradient de concentration (une différence de concentration entre l'intérieur et l'extérieur du neurone), d'autres protéines forment les pores membranaires qui sélectionnent les substances pouvant pénétrer à l'intérieur du neurone. La membrane neuronale donne aux neurones la faculté de véhiculer et de transmettre les messages nerveux. Un neurone typique ayant une surface de membrane moyenne d'environ 250 000 μm^2 , la surface des quelques 100 milliards de neurones qui pourraient former le système nerveux, atteindrait 25 000 m^2 , soit grossièrement la surface de 4 terrains de football...

Le corps cellulaire ou soma contient un noyau, un réticulum endoplasmique (rugueux et lisse), des ribosomes, un appareil de Golgi, des mitochondries et les autres organites nécessaires au fonctionnement de toute cellule. Le corps cellulaire du neurone contient donc les mêmes organites que ceux présents dans l'ensemble des cellules, parfois cependant dans des proportions différentes. Le neurone comporte par exemple une forte proportion de mitochondries (permettant la production d'énergie de la cellule) et de réticulum rugueux (ou corps de Nissl impliqué dans la production des protéines). La forme du soma est variable, le plus souvent sphérique, typiquement de 20 µm de diamètre.

Les neurones sont des cellules spécialisées dans la transmission de signaux et présentent une spécificité sous la forme d'expansions du corps cellulaire

appelés neurites. Les neurites sont divisés en deux catégories différentes : les axones et les dendrites. Les dendrites conduisent les signaux vers le corps cellulaire et les axones depuis le corps cellulaire.

Les dendrites sont de fines ramifications multiples et courtes, qui naissent du corps cellulaire, disposées en rayon depuis la partie centrale et formant l'arborisation dendritique de taille et forme très variées.

Le corps cellulaire donne généralement naissance à un seul axone, le segment du neurone spécialisé dans la conduction du signal. Le segment initial de l'axone se nomme le cône axonique et le segment terminal s'appelle la terminaison axonique ou bouton terminal.

L'axone se différencie du soma premièrement par une composition protéique membranaire fondamentalement différente et secondairement par l'absence de réticulum rugueux et la très faible quantité de ribosome. Il n'y a donc pas ou peu de synthèse protéique dans l'axone : toutes les protéines de l'axone doivent être formées dans le soma puis être transportées jusqu'à l'extrémité de l'axone. Ce transport de protéines à l'intérieur de l'axone s'appelle le transport axonique. Les molécules transportées sont contenues dans des vésicules qui "descendent" le long des microtubules de l'axone. Une protéine, la kinésine, fait office de "transporteur" et le processus est alimenté par de l'ATP. Ce transport est qualifié de transport antérograde. En plus du transport antérograde, il existe un mécanisme permettant de remonter les éléments de la partie terminale, en direction du soma, qualifié de transport rétrograde.

Le bouton terminal de l'axone est le site où celui-ci entre en contact avec d'autres neurones ou d'autres cellules non neuronales et leur transmet l'information. Ce point de contact s'appelle la synapse, d'après un mot grec signifiant « attacher ensemble » et est à l'origine de la transmission synaptique. Les axones peuvent être extrêmement ramifiés dans leur partie terminale, le nombre d'efférences d'un neurone pouvant atteindre plusieurs milliers. La cellule cible peut être un autre neurone, appartenir à un ganglion végétatif, une glande, un muscle... Dans le cas d'une synapse neurone-neurone, chaque branche forme une synapse située sur les dendrites ou le corps cellulaire d'autres neurones. Chaque neurone est ainsi capable d'intégrer les informations émanant d'un grand nombre d'autres neurones.

Les fibres nerveuses et leurs gaines

Myélinisation du système nerveux périphérique

Les acteurs de la myélinisation du système nerveux périphérique sont les cellules de Schwann et l'axone.

La cellule de Schwann a besoin d'un axone pour se différencier et devenir myélinisante. L'axone a besoin du "tuteur schwannien" pour atteindre le muscle ou le récepteur sensitif qui est sa cible.

Les cellules de Schwann sont les principales cellules gliales du système nerveux périphérique. Elles sont surtout connues pour leur capacité à produire la gaine de myéline qui permettra la propagation rapide de l'influx nerveux le long de l'axone. Le rôle des cellules de Schwann apparaît en fait beaucoup plus large. Elles sont les partenaires multifonctions indispensables du neurone en intervenant dans son développement, son fonctionnement et ses processus de régénération.

Les cellules de Schwann vont entourer l'axone en s'enroulant autour, la gaine de myéline provient de l'accolement des feuillet interne et externe des membranes plasmique de la cellule de Schwann. Cette gaine n'est pas régulière et entre deux segments il existe une zone d'étranglement dépourvue de gaine de myéline : le noeud de Ranvier. Ce noeud de Ranvier est le lieu de dépolarisation de la membrane axonique entraînant un nouveau PA qui va se propager en sautant de noeud en noeud : c'est la conduction saltatoire de l'influx nerveux qui est beaucoup plus rapide que la conduction de proche en proche des fibres amyélinisées. En effet ces dernières auront une conduction de l'ordre de 2 à 3 m/s comparativement aux fibres myélinisées qui proposent une conduction proportionnelle à l'épaisseur de myéline qui peut atteindre 120 m/s.

Le processus de myélinisation démarre au cours de la vie intra-utérine et se poursuit plusieurs années après la naissance ce qui explique que certaines fonctions du système nerveux ne soient matures que tardivement. À l'inverse, il peut s'opérer au cours de la vie un processus de démyélinisation à l'origine de

la sclérose en plaques, une maladie neurodégénérative impliquant les cellules gliales.

A noter que La production de myéline est assurée par les oligodendrocytes au niveau central et par les cellules de Schwann au niveau périphérique.

Structure conjonctive du nerf périphérique

Anatomiquement, le tissu conjonctif des troncs nerveux périphériques se répartit ainsi de la profondeur à la superficie :

Endonèvre

L'Endonèvre va regrouper un certain nombre de fibres nerveuses réalisant ainsi un faisceau primaire.

Cette structure conjonctive est lâche composé de fines fibres de collagène, de substance fondamentale et de fibroblaste.

Mécaniquement le tissu endoneural est une structure extensible, élastique. L'orientation des fibres de collagène de façon essentiellement longitudinale suggère un rôle de protection des axones contre les forces de traction.

Périnevre

Cette structure va entourer plusieurs faisceaux primaires et former par ce rassemblement un faisceau secondaire.

Il est composé lui-même de fibres de collagène et de fibroblastes.

Ce périnevre remplit plusieurs rôles :

- barrière de diffusion en gardant certaines substances à l'extérieur de l'environnement intra fasciculaire.
- Barrière mécanique aux forces externes • Quelques chercheurs suggèrent que le périmère dérive de la pie mère et de l'arachnoïde pour engainer tous les nerfs périphériques. Ils pensent qu'il accompagne chaque fibre jusqu'à son extrémité et forme la capsule de son organe de terminaison.

Epinèvre

Plusieurs faisceaux secondaires maintenus entre eux par l'épinèvre, prolongement périphérique de la dure mère, forment un nerf périphérique.

Cette structure va permettre de maintenir les fascicules séparés en formant une gaine bien définie autour des fascicules.

Il représente un tissu conjonctif beaucoup plus lâche que les précédents il est principalement présent pour emballer, protéger et matelasser les fascicules et aussi va servir de porte vaisseaux que se soit le vasa-nervorum (artère et veines qui alimente le nerf lui-même), le nervi-nervorum (fibres nerveuse sensibles et sympathiques destiné au nerf lui-même).

Enfin l'épinèvre est une structure de mouvement permettant aux fascicules de glisser les un par rapport aux autres ce qui est une nécessaire adaptation aux mouvements spécialement quand un nerf doit se plier au cours du mouvement d'un membre. A ce titre le contenu relatif de l'épinèvre varie selon les nerfs. En effet on aura plus d'épinèvre là où le nerf croise une articulation ou dans les zones de tunnel tel le canal carpien preuve de son importance dans l'adaptation aux mouvements.

Atteintes mécaniques du nerf

Propriétés mécaniques du nerf

Si on veut comprendre les atteintes traumatiques du nerf il est d'abord intéressant de comprendre les capacités de résistance du nerf à la rupture, l'élongation, la compression.

La résistance des nerfs à la traction est importante, de 9 à 26 Kg pour un nerf ulnaire et lors de la rupture son allongement aura été de 8 à 21% ; c'est-à-dire que sur une longueur de 1 m il aura été capable de s'allonger entre 8 et 21 cm avant de rompre.

Le nerf est surtout une structure viscoélastique et présente en permanence des contraintes internes considérables. Pour preuve quand il est rompu on assiste à une rétractation des deux extrémités de plusieurs millimètres et lors de sa réparation le chirurgien doit exercer une traction négligeable pour remettre bords à bord les extrémités avant de les suturer.

Cette élasticité va lui permettre de s'adapter à la course articulaire sans perdre sa fonction. Et c'est sans doute la perte d'élasticité conjugué au vieillissement des structures indispensables à sa pérennité tel le collagène qui explique que certains syndromes de défilé apparaissent tardivement avec l'âge.

Classification des lésions nerveuses

SEDDON en 1972 a proposé la classification suivante :

NEURAPRAXIE

Lésion nerveuse sans lésion des fibres périphériques et cela récupère en plusieurs jours ou quelques semaines.

AXONOTMESIS

Section des axones avec continuité de la gaine de Schwann. Cette interruption occasionne une dégénérescence Wallérienne de la partie distale et la cicatrisation se fera par la régénération axonale spontanée avec une repousse nerveuse l'ordre de 1 à 3 mm/jour

NEUROTMESIS

Interruption de l'axone et de l'ensemble des enveloppes du nerf. La récupération ne se fera jamais spontanément.

La dégénérescence Wallérienne

Lorsque le corps cellulaire d'un neurone est détruit, la fibre nerveuse dégénère totalement. Lorsque la fibre nerveuse est sectionnée, la partie distale, c'est à dire la partie qui est séparée du corps cellulaire, dégénère. C'est le phénomène de la dégénérescence Wallérienne. Par contre la partie proximale, c'est à dire celle qui est restée en rapport avec le corps cellulaire, peut régénérer.

La régénération axonale

La régénération nerveuse peut se présenter de différentes façons. Si la fibre nerveuse n'est pas sectionnée, mais comprimée (neurapraxie par hématome ou œdème interstitiel), l'influx nerveux est temporairement interrompu. La récupération spontanée survient dans un délai de 6 à 8 semaines.

Si la fibre nerveuse est interrompue avec conservation de ses gaines de SCHWANN et de myéline, la régénération se fait normalement à la vitesse approximative d'un millimètre par jour, et la fibre retrouvera son trajet normal en suivant les gaines.

Si les gaines sont interrompues, la fibre nerveuse peut repousser dans des gaines de voisinage et présenter éventuellement des fausses routes. Si les gaines sont interrompues et les deux segments très écartés, les fibres n'étant plus guidées se recourbent en pelotons ou en boules appelés névromes, qui sont spécialement douloureux