

La contraction musculaire résulte d'une commande nerveuse. Le mouvement induit peut être involontaire et lié à un réflexe, ou volontaire. Dans les deux cas, le système nerveux central intervient, mais de manières différentes. Un réflexe est caractérisé par une réponse musculaire involontaire, stéréotypée et très rapide suite à un stimulus.

Objectifs de ce chapitre :

- comprendre comment est mis en jeu un réflexe et comment le message nerveux est transmis depuis un récepteur sensoriel jusqu'à un organe effecteur, le muscle.
- connaître les bases de la physiologie nerveuse (nature et propagation du message nerveux, structure et fonctionnement d'une synapse).
- comprendre comment la contraction des cellules musculaires est déclenchée

Comment notre organisme met-il en place une réponse réflexe à un stimulus ?

I Le réflexe myotatique

A Etude expérimentale du réflexe achilléen

Le réflexe myotatique sert d'outil diagnostique pour les médecins pour apprécier l'intégrité du système neuromusculaire. Par exemple, on peut réaliser un réflexe myotatique achilléen en stimulant le tendon d'Achille (avec un choc léger). Cela entraîne la contraction du muscle étiré. La contraction du muscle est donc déclenchée par son propre étirement : c'est un réflexe d'étirement ou réflexe myotatique.

Au cours de ce réflexe myotatique, deux muscles antagonistes entrent en jeu : le muscle étiré se contracte pendant que le muscle antagoniste se relâche.

B Les éléments de l'arc-réflexe

La percussion du tendon d'Achille déclenche la contraction involontaire du muscle extenseur du pied. L'observation de cas cliniques montre que ce réflexe met en jeu successivement :

- des récepteurs sensoriels, les fuseaux neuromusculaires, inclus dans le muscle, stimulés par l'étirement provoqué par le choc ;
- des fibres nerveuses sensibles du nerf rachidien qui conduisent le message nerveux afférent émis par les récepteurs en direction de la moelle épinière, dans le sens centripète ;
- un centre nerveux réflexe, la moelle épinière, qui intègre les différents messages afférents et élabore les messages efférents ;
- des fibres nerveuses motrices du nerf sciatique (nerf mixte) qui conduisent le message nerveux efférent en direction du muscle concerné, dans le sens centrifuge ;
- un effecteur, le muscle extenseur du pied, qui effectue une réponse en se contractant, ce qui provoque l'extension du pied.

Ce circuit nerveux, nommé **arc réflexe**, est constitué de **deux neurones connectés par une seule synapse (réflexe monosynaptique)** au niveau de la substance grise de la moelle épinière :

- un **neurone sensitif** dont la fibre nerveuse sensitive emprunte la racine dorsale du nerf rachidien ; le corps cellulaire de ce neurone est situé dans le ganglion rachidien ;
- un **neurone moteur (ou motoneurone)** dont la fibre nerveuse motrice emprunte la racine ventrale du nerf rachidien ; le corps cellulaire du motoneurone est situé dans la corne ventrale de la substance grise.

II Caractéristiques du message nerveux

A Caractéristiques structurales et fonctionnelles du neurone

Un neurone est une cellule nerveuse composée d'un corps cellulaire contenant le noyau. Des expansions cytoplasmiques, dendrite et axone, constituent des prolongements cellulaires acheminant le message nerveux.

- la dendrite transporte un message nerveux vers le corps cellulaire du neurone
- l'axone transporte un message nerveux du corps cellulaire vers l'extrémité de l'axone.

On distingue plusieurs catégories de neurones. Par exemple lors d'un réflexe myotatique, interviennent successivement :

- un neurone sensitif composé d'une longue dendrite acheminant le message nerveux afférent vers le corps cellulaire du neurone en T et d'un axone, relativement plus court, acheminant le message nerveux vers un motoneurone ;
- un neurone moteur composé de nombreuses dendrites acheminant le message nerveux vers le corps cellulaire et un long axone acheminant le message nerveux efférent vers l'arborisation terminale du motoneurone.

B Potentiel de repos et potentiel d'action

- Les neurones ont un potentiel de membrane de -70 mV, appelé potentiel de repos. Ce potentiel électrique est dû à une répartition inégale d'ions de part et d'autre de la membrane plasmique. Mais les neurones ont la particularité d'être excitables. Ils sont capables de conduire un message nerveux le long de leur membrane.
- Un message nerveux est un ensemble de signaux : les potentiels d'action. Un potentiel d'action est une inversion brutale (quelques millisecondes) et d'amplitude constante (100 mV) de la polarisation membranaire du neurone (le potentiel passe de -70 à +30 mV.)
- Ces potentiels d'action se propagent sans s'atténuer le long de la fibre nerveuse avec une vitesse allant de 1 à 100 m/s environ, selon la grosseur et le type de fibre (plus les fibres sont grosses et myélinisées, plus la conduction est rapide.)
- Le message nerveux le long d'une fibre nerveuse est donc codé en fréquence de potentiels d'action. Par exemple, dans le cas du réflexe myotatique, plus l'étirement initial du muscle est fort, plus la fréquence des potentiels transmis par la fibre nerveuse sensorielle sera élevée.

Remarque : le potentiel global, qui peut être mesuré à la surface d'un nerf, n'est pas en soit un message nerveux, mais la somme des centaines de messages transmis par les nombreuses fibres qui le composent.

III Transmission du message nerveux entre cellules excitables

Les synapses chimiques sont les zones de jonction entre cellules excitables.

Il existe deux types de synapses :

- les synapses entre deux neurones : synapses neuro-neuroniques
- les synapses entre un neurone et une cellule musculaire : synapses neuro-musculaires ou plaques motrices.

A Structure d'une synapse

Dans les synapses, un espace synaptique (appelé **fente synaptique**) de l'ordre de 50 nm sépare les deux membranes. Son franchissement par les potentiels d'action nécessite l'intervention d'une substance chimique : le **neurotransmetteur**. La fente synaptique sépare donc une cellule présynaptique de la cellule postsynaptique.

La **terminaison présynaptique (bouton synaptique)** renferme de nombreuses vésicules synaptiques contenant un neurotransmetteur, tandis que la **membrane postsynaptique** présente de nombreux **récepteurs spécifiques de ce neurotransmetteur**.

B Les étapes de la transmission synaptique

- L'arrivée de potentiels d'action au niveau de la terminaison présynaptique du neurone moteur provoque la fusion des vésicules synaptiques avec la membrane du neurone présynaptique.
- Puis il y a **exocytose** d'un nombre plus ou moins important de vésicules synaptiques au niveau de la **membrane présynaptique**, et la libération d'une plus ou moins grande quantité de neurotransmetteur dans la fente synaptique.
- Le neurotransmetteur se fixe sur des récepteurs spécifiques de la membrane musculaire postsynaptique.
- Si la quantité de neurotransmetteur est suffisante, des potentiels d'action apparaissent alors dans la cellule post-synaptique.
- L'inactivation rapide du neurotransmetteur dans la fente synaptique par des enzymes et sa recapture interrompt la transmission synaptique. Ce phénomène évite la saturation des récepteurs postsynaptiques.

L'intensité de la réponse postsynaptique est fonction de la quantité de neurotransmetteurs libérés dans la fente synaptique : **au niveau de la synapse, le message est codé en modulation de la quantité de neurotransmetteur.**

Au niveau d'une synapse, le message nerveux présynaptique, codé en fréquence de potentiels d'action est donc traduit en message chimique codé en concentration de neurotransmetteurs. La transmission du message nerveux au niveau d'une synapse est donc une communication à médiation chimique.

La transmission du message nerveux d'une cellule à l'autre est unidirectionnelle.

IV Déclenchement de la contraction musculaire

- Dans le cas d'une synapse neuro-musculaire, la fixation du neurotransmetteur peut déclencher, si la quantité de neurotransmetteurs fixés est suffisante, un **potentiel d'action musculaire**. L'arrivée de ce potentiel d'action musculaire au sein de la fibre musculaire déclenche sa contraction.

- Comme pour une synapse neuro-neuronique, la membrane postsynaptique d'une synapse neuromusculaire présente des récepteurs et dans ce cas à l'acétylcholine. La fixation d'acétylcholine libéré par le motoneurone provoque la naissance de potentiels d'action musculaires au niveau de la fibre musculaire.
- Une cellule musculaire contient des myofibrilles qui sont entourées par le réticulum sarcoplasmique. Celui-ci stocke une grande quantité de calcium. Le potentiel d'action musculaire provoque l'ouverture de canaux à calcium du réticulum et entraîne une augmentation de la concentration intracellulaire en calcium. La contraction de la fibre musculaire est déclenchée.

Remarque : certaines substances telles que poisons ou médicaments peuvent affecter le fonctionnement des synapses. Ex : le curare, un antagoniste de l'acétylcholine (mime sa structure mais pas sa fonction), crée une paralysie musculaire en prenant la place de l'acétylcholine sur ses récepteurs et en l'empêchant donc de s'y fixer.

Lexique référentiel 11

Arc réflexe : circuit nerveux mis en jeu au cours d'un réflexe

Axone : prolongement cytoplasmique d'un neurone acheminant un message nerveux d'un centre nerveux vers une autre cellule (par exemple vers une fibre musculaire)

Cellule postsynaptique : cellule recevant un message d'une cellule nerveuse par le biais d'une synapse ; sa membrane possède des récepteurs spécifiques à des neurotransmetteurs.

Cellule présynaptique : cellule qui envoie un message en direction d'une autre cellule par le biais d'une synapse ; elle contient des vésicules, remplies de molécules de neurotransmetteur.

Dendrite : prolongement cytoplasmique acheminant un message nerveux vers le corps cellulaire d'un neurone.

Exocytose : libération de molécules vers l'extérieur d'une cellule, permise par la fusion de la membrane de vésicules de stockage avec la membrane plasmique.

Fente synaptique : espace étroit entre la cellule présynaptique et la cellule postsynaptique.

Fibre nerveuse : long prolongement cytoplasmique d'un neurone

Fibre nerveuse myélinisée : fibre entourée par une gaine de myéline

Fuseau neuromusculaire : récepteur spécialisé dans la détection de l'étirement d'un muscle ; c'est un mécanorécepteur composé des terminaisons dendritiques d'un neurone sensoriel enroulées autour de fibres musculaires modifiées.

Gaine de myéline : gaine de nature lipidique qui entoure certaines fibres nerveuses ; augmente la vitesse de propagation du message nerveux.

Message nerveux afférent : message nerveux qui est acheminé d'un récepteur sensoriel vers un centre nerveux

Message nerveux efférent : message nerveux qui est acheminé d'un centre nerveux vers un organe effecteur (comme le muscle)

Moelle épinière (ou moelle spinale) : système nerveux central situé

Nerf : composé d'un ensemble de nombreuses fibres nerveuses de neurones.

Nerf rachidien : nerf qui part de la moelle épinière

Neurone : cellule nerveuse excitable très spécialisée, capable de générer et de conduire un message nerveux.

Neurone moteur ou Motoneurone : neurone capable de transmettre un message nerveux commandant un mouvement.

Neurone sensitif ou sensoriel : neurone capable de réagir à un stimulus sensoriel

Neurotransmetteur : molécule produite par un neurone présynaptique et libérée dans une fente synaptique. Il existe des neurotransmetteurs excitateurs et des neurotransmetteurs inhibiteurs.

Réflexe : réponse involontaire, stéréotypée et très rapide suite à un stimulus

Réflexe myotatique : réflexe déclenché par l'étirement d'un muscle qui, en réponse, se contracte. Ce réflexe emprunte un arc réflexe médullaire (adjectif pour moelle) et monosynaptique (une seule synapse entre le neurone sensoriel et le neurone moteur).

Synapse : zone de jonction entre deux neurones, ou entre un neurone et une cellule musculaire (fibre musculaire).

Capacités et attitudes attendues pour ce chapitre

- Mettre en évidence les éléments de l'arc réflexe à partir de matériels variés (enregistrements, logiciels de simulation).
- Réaliser, observer des coupes histologiques de fibres et de nerfs.
- Observer des coupes histologiques de moelle épinière.
- Interpréter des électrographies afin de caractériser le fonctionnement d'une synapse chimique.