Chapitre VI

Le réflexe myotatique :
Un exemple de commande reflexe du muscle

Les muscles peuvent se contracter volontairement ou par réflexe. Le système nerveux est impliqué dans la contraction de ces muscles.

On cherche à expliquer :

- **Comment se réalise la contraction involontaire des muscles : le réflexe myotatique.**
- **Comment le système nerveux intervient dans ce mouvement réflexe.**

I- Le reflexe myotatique ou réflexe d'étirement.

A- Les caractéristiques du reflexe myotatique.

La percussion par un marteau du tendon d'Achille (c à d l'étirement du tendon) déclenche la contraction brutale et involontaire du muscle sural du mollet (muscle extenseur) qui entraîne une extension du pied.
L'état de contraction du muscle induit une activité électrique enregistrable sur un électromyogramme.
Cette contraction musculaire qualifiée de reflexe est :

- rapide,
- involontaire,
- innée
- stéréotypée (la même pour tous).

La réponse motrice (contraction musculaire) obtenue après un temps de latence est proportionnelle à l'intensité du choc :

- un petit choc entraîne un léger étirement, donc contraction de faible amplitude
- un grand choc entraîne un violent étirement, donc contraction de plus forte amplitude

Le réflexe myotatique permet de contrôler la longueur du muscle.

B-Les éléments indispensables à la réalisation du reflexe myotatique.

Des expériences de section montrent que le réflexe myotatique met en jeu différents organes :

- des récepteurs sensoriels ;
- des nerfs sensitifs et moteurs,
- des muscles,
- la moelle épinière.

Un message sensitif issu du muscle étiré passe par le nerf de la racine dorsale avant d'atteindre la moelle épinière. Le message moteur conduit vers le muscle effecteur passe par la racine ventrale. Ce circuit est appelé arc reflexe.

II- Le circuit nerveux de l'arc reflexe.

A- L'organe récepteur : le FNM

La masse d'un muscle (strié squelettique) comporte plusieurs fuseaux neuromusculaires insérés au milieu des fibres musculaires.Le fuseau neuromusculaire est sensible à la longueur du muscle.

Un **fuseau neuromusculaire** est constitué d'une enveloppe fibreuse étroite à ses 2 extrémités et renflée dans sa partie médiane (capsule remplie de gel). Cette capsule protège 4 à 5 fibres musculaires.
Le fuseau neuromusculaire reçoit :

- les extrémités de fibres nerveuses sensitives
- des terminaisons de fibres nerveuses motrices

Les fibres du groupe Ia (myélinisées et rapides) sont appelées terminaisons primaires et innervent le fuseau neuromusculaire.
L'organe tendineux de Golgi est innervé par les fibres Ib. Ils sont sensibles à l'état de contraction des muscles (sensible à la force qui s'exerce sur les tendons)

Si on étire le muscle, les fibres à l'intérieur du muscle s'allongent et déforment les fuseaux. Il y apparaît un message nerveux sensitif qui va se propager le long de la fibre nerveuse sensitive.
Les fibres nerveuses sont des prolongements (dendrites) de neurones sensitifs dont le corps cellulaire est situé dans les ganglions des racines dorsales de la moelle épinière et l'axone dans la substance grise de la moelle épinière.
Ce sont les récepteurs sensoriels du réflexe myotatique.
Atlas d'histologie
http://audilab.bmed.mcgill.ca/HA/html/nrv_21_F.html

B- Les motoneurones.

Le système nerveux est un tissu formé de plusieurs milliards de cellules nerveuses : les neurones.
Un neurone a une structure particulière :

- un corps cellulaire contenant le noyau et du cytoplasme,
- de nombreux prolongements plus ou moins longs de la membrane plasmique, qui sont appelés les dendrites et l'axone (le plus long).

Les cellules nerveuses motrices ou motoneurones sont des cellules multipolaires au soma relativement grand (diam : 25 à 70 µm) relient le centre nerveux aux cellules musculaires effectrices (contractiles).
Les fibres nerveuses motrices efférentes sont des prolongements de neurones dont :

- les corps cellulaires sont dans la substance grise de la moelle épinière

- les axones empruntent la racine ventrale du nerf rachidien et aboutissent aux fibres musculaires effectrices.

Le contact entre un motoneurone et une fibre musculaire est appelé **plaque motrice**.
L'unité motrice est l'ensemble constitué par le motoneurone alpha et toutes les fibres musculaires qui y sont reliées.

Dans les muscles des jambes, chaque fibre nerveuse commande plusieurs centaines de fibres musculaires.
Une fibre musculaire n'est innervée que par un seul motoneurone.

C- Le centre nerveux du reflexe myotatique : la moelle épinière.

La moelle épinière est située dans le canal rachidien de la colonne vertébrale (ou rachis), elle est protégée par les vertèbres.
Ce centre nerveux est le centre d'arrivée et de départ des nerfs rachidiens.
On y distingue une **racine dorsale** et une **racine ventrale.**

En CT, 2 régions apparaissent au niveau de la moelle épinière :

- la **substance grise** au centre, forme un « papillon médullaire » et concentre les corps cellulaires des neurones,

Les corps cellulaires sont aussi localisés dans les ganglions nerveux de part et d'autre de cette moelle épinière.

- la **substance blanche** périphérique, formée principalement par les axones des neurones.

Les axones des neurones formant cette substance blanche sont aussi appelés fibres nerveuses car ce sont ces fibres qui conduisent les messages nerveux.

Ces fibres nerveuses sont entourées d'une **gaine de myéline** (lipides) au niveau de la substance blanche *alors que dendrites et axones en sont dépourvus dans la substance grise*.
Les gaines de myéline sont discontinues et l'espace entre 2 gaines est appelé **nœud de Ranvier**.

Ces fibres nerveuses sont regroupées par milliers et forment un nerf.

III- Nature et transmission du message nerveux.

A- Les potentiels d'actions : des signaux émis par les neurones.

Toute membrane plasmique a la faculté de laisser passer quelques ions tels que K^+, Na^+, Cl^-, Ca^{2+}
Dans une cellule vivante, il existe une disharmonie de concentrations d'ions entre l'intérieur et l'extérieur.
L'extérieur des cellules renferme surtout du Na, du cl et un peu de calcium. L'intérieur de la cellule renferme beaucoup de potassium.

Ces transferts ioniques peuvent être mesurés grâce à l'électrophysiologie qui utilise la loi d'Ohm

$$V=RI$$

Si l'on place l'extrémité d'une microélectrode dans une cellule nerveuse, on peut mesurer une différence de potentiel (ddp) par rapport au milieu extérieur de 60 mV. Cette **ddp**, appelée potentiel de repos, est variable d'une cellule à une autre et est caractéristique de toutes les cellules vivantes.
La ddp est orientée. L'intérieur de la cellule est négatif par rapport à l'extérieur. Le potentiel de repos est négatif.

Extérieur

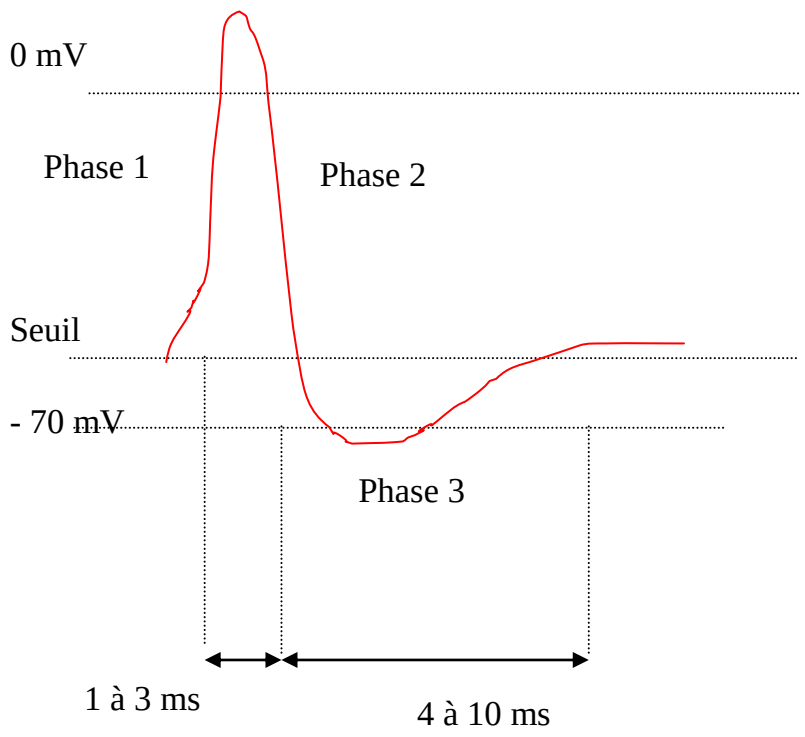
++++++++++++++++++++++++++

Intérieur

Le potentiel de repos est du à la perméabilité du K^+ (si on modifie le rapport [K]ext / [K]int, on modifie le pot de repos).
Le pot de repos est proche du pot d'équilibre du potassium

Un récepteur stimulé, génère un message nerveux qui se traduit par un ensemble de signaux de nature électrique dont l'amplitude reste constante : **les potentiels d'action**.
Si l'intensité de stimulation est inférieure à l'intensité seuil, il n'y a pas apparition de potentiel d'action.

Un **potentiel d'action** est une modification brève du potentiel de membrane, en un point de la fibre nerveuse, qui aboutit à une **inversion de la polarité** pendant un temps très bref (1 à 3 ms).



On peut distinguer trois phases dans un potentiel d'action :

- la phase 1 de dépolarisation qui correspond à une **inversion de polarité**(ou spike)
- la phase 2 de **repolarisation** qui tend à ramener le potentiel de membrane vers le potentiel de repos.
- la phase 3 d' **hyperpolarisation**

Le potentiel d'action d'une cellule nerveuse ayant une valeur d'environ 100 mV, la valeur du spike dépend de la valeur du potentiel de repos.

Selon la manière dont on enregistre un potentiel d'action on obtient une courbe monophasique ou diphasique.

- Le *potentiel d'action est* *diphasique* si les deux électrodes réceptrices sont situées en surface de la fibre, ou du nerf.
- Le *potentiel d'action est* *monophasique* si une électrode est introduite à l'intérieur de la fibre et l'autre est située en surface (ou est reliée à la masse). Ou bien si une électrode est en surface et l'autre à la masse.

in RR TS08.doc

Dès que le seuil est franchi, la fibre répond par un potentiel d'action d'amplitude constante quel que soit l'intensité de la stimulation. C'est la loi du tout ou rien.
Émis par un point de l'axone, le potentiel d'action se propage sans atténuation tout au long de la fibre.

Toute variation de stimulation est traduite par une variation de la fréquence des PA.
Lorsque l'intensité du stimulus augmente, la fréquence des PA augmente et inversement ;

Les messages nerveux se traduisent par des trains de potentiels d'action, **d'amplitude constante.**

Les messages nerveux sont codés par **la fréquence des potentiels d'action.**

B-Du potentiel d'action au message nerveux.

On constate que l'amplitude du potentiel global (enregistré au niveau du nerf) augmente avec l'intensité de la stimulation mais jusqu'à un maximum qui ne peut être dépassé.
Un nerf est constitué par un ensemble de fibres.Chaque fibre n'ayant pas le même degré d'excitabilité, elles ne répondent que quand leur seuil de dépolarisation a été franchi.

Au niveau d'un nerf, le message dépend de la **fréquence** des potentiels d'action et du **nombre de fibres** recrutées.

C- La transmission synaptique.

La communication entre 2 cellules excitables se fait au niveau de structures spécialisées : les synapses.
Dans le cas du réflexe myotatique, on distingue :

- des synapses neuro- neuroniques (fibre Ia – Mn α)
- des synapses neuro musculaires (plaque motrice Mn α)

Une synapse chimique est caractérisée par :

- un espace synaptique (fente synaptique)
- un élément présynaptique renfermant des vésicules contenant une substance chimique : le neurotransmetteur
- un élément post synaptique sur lequel on trouve des récepteurs

Le franchissement de l'espace synaptique par le message nerveux se fait avec un retard de 0.5 à 2 ms et met en jeu une substance intermédiaire de nature chimique : le neurotransmetteur.

Sous l'effet d'une stimulation, l'apparition d'un PA dans le neurone présynaptique provoque le déplacement des vésicules dans sa terminaison et leur fusion à la membrane.
Il y a exocytose (sortie de la cellule) du contenu des vésicules : le neurotransmetteur dans l'espace synaptique.
Les molécules de neurotransmetteurs se fixent sur les récepteurs post synaptiques. Il y a modification du potentiel de membrane du neurone post synaptique qui peut conduire à la formation d'un nouveau PA.

L'action des molécules du neurotransmetteur est **très fugace**, ce qui permet une modulation fine de l'activité du neurone post-synaptique. Le neurotransmetteur est soit capté par le neurone présynaptique, soit dégradé dans l'espace synaptique par une enzyme.

Le message nerveux pré synaptique codé en fréquence de potentiels d'action est traduit en un message chimique qui est codé en concentration de neurotransmetteur.

Bilan

L’étirement d’un muscle provoque sa contraction ; c’est le réflexe myotatique.
Ce mouvement involontaire mobilise différents éléments : fuseau neuromusculaire stimulé, neurone sensoriel, moelle épinière (centre nerveux), neurone moteur et fibre musculaire effectrice.
Ce réflexe ne met en jeu que 2 neurones : c’est un arc réflexe monosynaptique.
Le message nerveux électrique est transformé en message nerveux chimique pour le franchissement des synapses.