

INTRODUCTION

DOCs : « Système nerveux grenouille »
« système nerveux central »
« système nerveux sympathique parasympathique »
« types de neurones »
« nerfs rachidiens »
« neurones myélinisés »
« Nerf » « nerf structure »
« homonculus »

Constamment, nos organes sensoriels (yeux...) perçoivent des stimuli émanant de notre environnement ou de nous-même et génèrent un message nerveux sensitif gagnant nos centres nerveux via un nerf sensitif. Les centres nerveux élaborent alors un message nerveux moteur transmis à certains de nos muscles via un nerf moteur et permettant de réagir au stimulus initial.

Perception d'un stimulus et commande d'un mouvement supposent la transmission d'informations au sein de réseaux de **neurones**. Grâce à l'exemple de la perception visuelle, on sait déjà que le **cortex cérébral** possède différentes aires spécialisées coopérant entre elles et que les réseaux neuronaux sont susceptibles d'évoluer au gré des expériences individuelles.

Il s'agira ici :

- De préciser à travers l'exemple du réflexe myotatique, les mécanismes et les structures impliquées dans la commande nerveuse d'un muscle.
- D'aborder les modalités de la motricité volontaire et d'y montrer l'importance de la plasticité cérébrale.

5-A-1 : Comportements, mouvement et système nerveux :

24 heures sur 24, notre corps est soumis à des situations induisant la contraction de certains de nos muscles sans que nous en ayons conscience. On parle de réactions automatiques ou de réactions réflexes. Parmi elles, on trouve le réflexe myotatique, un bon support pour aborder les mécanismes et les structures de la commande nerveuse d'un muscle.

I) Le réflexe myotatique

TP : Etude du réflexe myotatique

Docs : « Réflexe rotulien »
« Réflexes de la jambe »
« Réflexe myotatique schéma »

Le maintien d'une posture érigée ou assise suppose la contraction de nombreux muscles extenseurs du pied, des jambes, de la tête...luttant contre la gravité. Cette activité musculaire est sous le contrôle constant des centres nerveux qui reçoivent de multiples stimulus provenant des yeux, des oreilles et des muscles eux-mêmes, les intègrent et élaborent des influx nerveux moteurs pour assurer le maintien de la posture. Cette coordination généralement inconsciente repose sur le **réflexe myotatique**.

1) Données expérimentales

La percussion du tendon d'Achille étire le soléaire (muscle du mollet) qui réagit en se contractant de façon brutale et involontaire. Cela implique :

- L'existence au sein du muscle de capteurs sensoriels sensibles à l'étirement (= **stimulus**)
- L'existence de fibres nerveuses sensibles gagnant un centre nerveux et véhiculant un influx nerveux sensitif (= afférent)
- L'intégration de ces informations dans un centre nerveux
- L'existence de fibres nerveuses motrices reliant centre nerveux et muscle et véhiculant un influx nerveux moteur (= efférent)

Il existe donc un circuit nerveux formant un **arc réflexe** parcouru par les influx nerveux parties prenantes du réflexe myotatique. En assurant un tonus musculaire, ce réflexe s'oppose à l'étirement lié à la gravité et participe donc au maintien de la posture.

2) Les acteurs du réflexe myotatique

Doc « Jonction nerfs muscle »

Activité 4 « jonction nerf muscle »

Le circuit nerveux d'un réflexe myotatique implique les structures suivantes :

- Des **fuseaux neuromusculaires** (= capteurs sensoriels sensibles à l'étirement) au sein des muscles
- Des **fibres nerveuses sensibles et motrices** incluses dans les **nerfs rachidiens**
- La **moelle épinière** : centre nerveux intégrateur
- Des **fibres musculaires** (= effecteurs)

Les neurones sensitifs sont des neurones en T, leur péricaryon se situe dans le ganglion rachidien. L'information nerveuse y remonte depuis un fuseau musculaire par une très longue dendrite puis gagne la **substance grise** de la moelle épinière par un court axone. Ce dernier entre en contact (= **synapse**) avec le péricaryon d'un motoneurone dont la longue fibre motrice axonale sort par la racine ventrale de la moelle épinière. L'influx nerveux ne franchit donc qu'une synapse, on parle d'arc réflexe monosynaptique.

Rqs : Les fibres nerveuses sensibles et motrices se situent dans le nerf rachidien.

Les fibres motrices entrent en contact avec les fibres musculaires au niveau des **synapses neuro-musculaires**.

II) Nature et propagation de l'influx nerveux

Logiciel « Nerf »

Docs « Message nerveux propagation » « Potentiel d'action propriétés et 2 »

Activité 1 « mn caractéristiques »

Activité 2 « mn propagation »

On compte 10^{11} neurones formant les unités fonctionnelles de notre système nerveux. L'information y circule toujours dans le sens dendrite → péricaryon → axone.

1) Propriétés bioélectriques des neurones

➤ Neurone au repos

Au repos, la membrane d'un neurone est polarisée, l'intérieur est électronégatif du fait d'un excès d'anions par rapport à l'extérieur : on parle de **potentiel de repos** (la différence de potentiel entre les 2 faces membranaires est de 70 mV).

➤ Neurone stimulé

Si on stimule suffisamment une fibre nerveuse en la dépolarisant, le potentiel transmembranaire se modifie brusquement et brièvement. En 2ms, on observe :

- Une dépolarisation et une inversion de polarité membranaire
- Une repolarisation membranaire

Cet événement très local et très bref est appelé **potentiel d'action** (P.A).

Si la stimulation est insuffisante, le P.A n'apparaît pas, par contre à partir et au-delà d'un certain seuil de stimulation, il apparaît et il est d'emblée maximum, il se propage alors le long de la fibre nerveuse.

2) Codage et propagation du message (influx) nerveux

Doc « neurone myélinisé »

Un influx nerveux comprend une suite de P.A. En réalité, la fréquence des P.A (nombre par unité de temps) est variable ; plus elle est élevée, plus le message est intense : on parle de **codage en modulation de fréquence**. Ainsi, un muscle recevant un message nerveux moteur intense, se contractera fortement.

Après apparition, l'influx nerveux se propage de proche en proche sans atténuation. Sa vitesse dépend du type de fibre nerveuse. La présence d'une gaine de myéline autour de la fibre favorise une vitesse élevée de propagation (jusqu'à 100 msec⁻¹).

3) Transmission synaptique

Docs « connexions neuroniques » « synapses (5 documents) »

Activité 3 « synapse »

Arrivé au niveau des **boutons synaptiques** de l'extrémité axonale du neurone sensitif dans la substance grise de la moelle épinière, l'influx nerveux est transmis au motoneurone (**synapse neuro-neuronique**). Un influx nerveux moteur se propage alors jusqu'à une fibre musculaire. On appelle **jonction neuro-musculaire** ou **plaque motrice** la synapse entre la terminaison axonale du motoneurone et la fibre musculaire.

Neuro-neuronique ou neuro-musculaire, une synapse présente le même type de fonctionnement. La **fente synaptique** (espace de 20 à 50 nm entre les deux cellules) empêche le passage direct de l'une à l'autre du message. En réalité, dès qu'un influx nerveux parvient à l'extrémité du **neurone pré-synaptique**, il induit la libération plus ou moins abondante par exocytose dans la fente synaptique d'un **neuromédiateur** (= **neurotransmetteur**). Ceux-ci se fixent alors de façon spécifique à des récepteurs de la membrane de la **cellule post-synaptique** et peuvent y générer la naissance d'un nouveau message nerveux. Ici, le **message est codé en concentration en neuromédiateur libéré**.

Rq : L'**acétylcholine** est le neuromédiateur du circuit nerveux de l'arc réflexe myotatique. Quand, elle est libérée au niveau de la plaque motrice, l'acétylcholine génère des **P.A musculaires** induisant la contraction musculaire.

III) Incidence de molécules exogènes sur le fonctionnement nerveux

Diverses substances chimiques naturelles ou non perturbent le bon fonctionnement des synapses neuro-musculaires. C'est le cas du curare extrait de certaines plantes. C'est un **antagoniste** de l'acétylcholine (il se fixe aux mêmes récepteurs qu'elle sans générer de potentiels d'action musculaire, il a donc un effet paralysant potentiellement très dangereux. Utilisé à bon escient, il peut servir de myorelaxant en chirurgie.

Rqs : D'autres substances sont des **agonistes** de l'acétylcholine (elles en miment voire en prolongent l'effet).

D'une manière générale, de très nombreuses substances étrangères à l'organisme peuvent interférer sur le fonctionnement de tel ou tel type de synapse. Leur prise peut se révéler extrêmement dangereuse.

5-A-2 MOTRICITÉ VOLONTAIRE ET PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

Le réflexe myotatique assure une commande réflexe donc involontaire des muscles. Toutefois, ces derniers sont également commandés par la volonté et donc par cerveau. Il s'agira ici de préciser :

- Les aires cérébrales impliquées dans cette commande
- Les capacités intégratrices des motoneurones que cette commande suppose
- La plasticité cérébrale motrice liée aux conditions de vie

Docs « contraction volontaire de l'antagoniste »
« Réflexe myotatique et cerveau »

Activité 5 « cerveau cellules »

Activité 6 « mvt volontaire »

Activité 7 « intégration neuronale »

Activité 8 « plasticité cérébrale »

I) Des données cliniques intéressantes

Le scanner et surtout l'IRM donnent désormais des images précises du cerveau en fonctionnement. Son exploration a permis de situer les **aires cérébrales motrices primaires** (chaque partie du corps y est associée à une zone proportionnelle à ses aptitudes motrices). D'autres **aires** dites **pré-motrices** assurent la planification de l'exécution d'un mouvement.

Les influx nerveux moteurs cérébraux circulent le long de fibres regroupées en faisceaux qui se croisent et gagnent les différents niveaux de la moelle épinière. La **commande motrice cérébrale** est **donc controlatérale** (l'hémisphère droit commande le côté gauche du corps et inversement).

Rqs : Si, suite à un AVC (accident vasculaire cérébral), une aire motrice n'est plus irriguée, la zone du corps qu'elle contrôle sera paralysée (ex : hémiplegie : paralysie d'un seul côté du corps). Une lésion spinale (= rachidienne) peut aussi induire une paralysie plus moins large selon le niveau de la moelle touché.

II) Le rôle intégrateur des motoneurones

1) Différents types de synapses

Si toutes les synapses présentent un principe de fonctionnement identique, toutes ne possèdent pas le même type de neurotransmetteur. Les effets de ces derniers sur la membrane de la cellule post-synaptique diffèrent :

- Certains ont un effet dépolarisant sur la membrane post-synaptique, la **synapse** est alors **excitatrice** : son activité favorise la de genèse de PA au niveau de la cellule post-synaptique.
- Certains ont un effet hyperpolarisant sur la membrane post-synaptique, la **synapse** est alors **inhibitrice** : son activité inhibe la genèse de PA au niveau de la cellule post-synaptique.

2) Notion proprement dite d'intégration

Il est aisé de modifier l'amplitude de la réponse musculaire dans le cadre d'un réflexe myotatique achilléen (en faisant contracter le muscle antagoniste du soléaire ou en distrayant le « cobaye »). Cela montre que les motoneurones commandant le soléaire tiennent compte d'informations d'origine variée avant d'être eux-mêmes actifs. On parle d'**intégration nerveuse**.

En réalité, un seul neurone possède jusqu'à 10000 contacts synaptiques si bien que, constamment, il doit intégrer les multiples influx nerveux convergeant vers lui avant d'y apporter une éventuelle réponse. Parmi ces influx, certains aboutissent à des synapses inhibitrices, d'autres à des synapses excitatrices. Ainsi, à tout instant, le neurone intègre ces informations contradictoires. **Il opère en fait une double sommation algébrique de leurs effets :**

- **Temporelle : sommation des informations arrivant à la suite au niveau d'une même synapse**
- **Spatiale : sommation des informations arrivant simultanément au niveau de différentes synapses**

S'il en résulte une excitation suffisante, il génère des PA d'autant plus nombreux qu'elle aura été forte, sinon, il demeure inactif.

C'est grâce à leur capacité d'intégration d'informations d'origine cérébrale et musculaires que les motoneurones médullaires assurent une activité coordonnée des paires de muscles antagonistes de notre corps indispensable à la réalisation de tout mouvement.

III) La plasticité cérébrale

Docs « Plasticité cérébrale et apprentissage »
« Plasticité cérébrale bilan »

Des études sur des vrais jumeaux et d'autres espèces animales ayant subi des mutations altérant l'organisation initiale des circuits neuronaux prouvent que leur mise en place est sous contrôle génétique. Les neurones allongent leur axone en direction d'autres neurones ou de cellules effectrices (musculaires en général) pour établir des synapses. Cette étape repose sur 2 processus liés à l'expression du génotype :

- Les propriétés intrinsèques des neurones eux-mêmes
- Des informations moléculaires émanant des cellules voisines des neurones et orientant leur croissance

Importance de l'expérience individuelle

Bien que le génome impose une organisation initiale du système nerveux proche d'un individu à l'autre, la comparaison, par exemple de **cartes motrices**, d'individus différents montre des variations significatives. Chaque individu possède donc une architecture cérébrale qui lui est propre. Cette variabilité non innée est étroitement liée aux apprentissages effectués au cours de la vie. Ainsi, même chez l'adulte, une aire motrice impliquée dans un type de mouvement précis s'accroît avec sa pratique régulière. C'est une preuve de la **plasticité cérébrale**.

1) Données cliniques complémentaires

De nombreux cas cliniques confirment l'aptitude à la plasticité de notre cortex cérébral :

- Suite à un AVC, bien qu'une zone cérébrale soit définitivement nécrosée, on peut, en lien avec une rééducation appropriée, favoriser chez le patient le retour plus ou moins important des facultés motrices initialement perdues. S'opèrent des remaniements impliquant des zones cérébrales saines autour de la zone lésée permettant un retour d'une faculté motrice.
- Dans le cas d'une greffe de membre comme une main après amputation, la plasticité cérébrale permet aussi la réappropriation du contrôle du membre greffé

Rq : La plasticité cérébrale existe aussi au niveau du cortex sensitif.

2) Un capital précieux à préserver

Contrairement à ce qui a longtemps été supposé, certaines zones cérébrales possèdent des cellules souche capables de produire de nouveaux neurones s'intégrant à de nouveaux réseaux ou des réseaux existants même chez l'adulte. L'aptitude à la plasticité cérébrale diminue cependant avec l'âge. Limiter le vieillissement cérébral implique :

- La pratique régulière d'activités intellectuelles
- La pratique régulière d'activités physiques
- Une nourriture saine notamment riche en antioxydants

IV Bilan

Vidéo « Neuroplasticité ».