

Le cerveau est l'organe le plus important du système nerveux. Le terme de cerveau tient du langage courant, il désigne principalement les deux hémisphères cérébraux de l'encéphale. Cet organe contient plusieurs milliards de cellules. La commande volontaire du mouvement dépend de zones spécifiques présentes au niveau du cortex cérébral. D'autre part, certaines anomalies du mouvement sont liées au dysfonctionnement du système nerveux central comme le cerveau. Certains accidents vasculaires cérébraux (AVC) peuvent aussi avoir un effet plus ou moins importants sur la motricité volontaire.

Comment expliquer la commande motrice volontaire ? Quelles sont les structures qui interviennent dans cette commande ? Comment expliquer les variations individuelles de la commande motrice ? Comment certaines anomalies perturbent-elles le fonctionnement du système nerveux ?

I La commande volontaire du mouvement

Le réflexe ne fait pas intervenir de commande volontaire. Dans le cas des réflexes myotatiques par exemple, le centre nerveux mis en jeu est la moelle épinière. La commande volontaire des mouvements fait intervenir un autre centre nerveux, le cerveau.

A Les cellules du cerveau

Le cerveau est composé de neurones et de cellules gliales.

- les neurones assurent le traitement et la transmission des messages nerveux.
- les cellules gliales assurent diverses fonctions qui assurent le bon fonctionnement de l'ensemble du système nerveux. Il en existe plusieurs types (astrocytes, oligodendrocytes, les cellules de la microglie => voir lexique).

B Le cortex moteur et la voie motrice

A la fin du XIX^{ème} siècle, les scientifiques ont pu mettre en évidence que la stimulation de certaines parties du cortex cérébral entraînait la contraction de parties différentes du corps. De même, en détruisant la même petite région corticale, cela créait une paralysie de la partie du corps correspondante. C'est ainsi que l'on découvrit que les mouvements volontaires de chaque muscle du corps étaient associés à une région précise du cortex appelé cortex moteur subdivisé en différentes aires motrices.

Actuellement, l'exploration du cortex cérébral par IRMf permet de situer les aires motrices spécialisées à l'origine des mouvements volontaires.

➤ Le cortex moteur

- ✓ Le **cortex moteur** désigne l'ensemble des aires du cortex cérébral qui participent à la planification, au contrôle et à l'exécution des mouvements volontaires des muscles squelettiques du corps.
- ✓ Le cortex moteur est subdivisé en plusieurs aires fonctionnelles : **les cortex moteurs primaire et secondaire**.

L'imagerie médicale a permis d'affiner la localisation et la fonction de ces zones du cortex moteur :

- ✓ C'est le **cortex moteur primaire** (ou aire motrice primaire) qui commande directement l'exécution du mouvement. Il existe une aire motrice corticale sur chacun des deux hémisphères de l'encéphale.
- ✓ Les aires motrices contrôlant la partie gauche est situé sur l'hémisphère droit et inversement. La commande est **controlatérale**.
 - ✓ Chaque partie du corps est représentée dans le cortex moteur par une zone bien précise et l'arrangement de ces zones est bien ordonné.
On appelle ceci **l'organisation somatotopique du cortex moteur**.
- ✓ Les parties du corps douées d'une motricité fine sont contrôlés par une surface plus grande de l'aire motrice primaire (représentation des surfaces par l'homonculus moteur).

Certaines aires (**cortex pariétal**) sont impliquées dans l'intention de mouvement : décision de réaliser tel ou tel mouvement. D'autres aires motrices (**aires prémotrices**) sont impliquées dans la sélection des mouvements qui vont être nécessaires pour réaliser correctement une séquence motrice donnée au bon moment.

➤ La voie motrice

Les messages nerveux moteurs qui partent du cerveau cheminent par des **faisceaux de neurones dits pyramidaux dont les axones descendent vers la moelle épinière jusqu'aux neurones moteurs ou motoneurones**. Ces derniers intègrent ainsi un ensemble de messages nerveux.

Ces voies motrices sont croisées (au niveau du bulbe rachidien), expliquant la commande controlatérale des mouvements volontaires.

II L'intégration des messages nerveux par le neurone moteur

A Synapses excitatrices et synapses inhibitrices

Dans la moelle épinière, le corps cellulaire du motoneurone reçoit des informations provenant de plusieurs autres neurones par des milliers **de synapses qui sont :**

- **soit excitatrices** et le neurone présynaptique est un **neurone excitateur** qui libère dans la fente synaptique un **neurotransmetteur excitateur**.
- **soit inhibitrices** et le neurone présynaptique est un **neurone inhibiteur** qui libère dans la fente synaptique un **neurotransmetteur inhibiteur**.
 - ✓ Si le corps cellulaire du neurone moteur reçoit des informations provenant de **synapse excitatrice** (neurotransmetteur excitateur comme l'acétylcholine ou le glutamate), cela provoque **une dépolarisation** (augmentation de la différence de potentiel membranaire) du corps cellulaire du neurone post-synaptique. Un message nerveux post-synaptique est favorisé.
 - ✓ Si le corps cellulaire du neurone moteur reçoit des informations provenant de **synapse inhibitrice** (neurotransmetteur inhibiteur comme le GABA) cela provoque **une hyperpolarisation** (diminution de la différence de potentiel membranaire) de la membrane cellulaire post-synaptique. Il n'y a pas de naissance message nerveux post-synaptique.

B Sommation temporelle et spatiale

Le motoneurone, soumis à l'action de différents neurotransmetteurs, est capable d'intégrer l'ensemble des informations reçues :

- la **sommation spatiale** des informations reçues est la capacité du motoneurone à prendre en compte les informations excitatrices et inhibitrices lui parvenant de différents neurones présynaptiques.
- la **sommation temporelle** des informations reçues est la capacité du motoneurone à additionner les informations lui parvenant successivement d'un même neurone présynaptique.

Si cette double sommation permet une dépolarisation supérieure à une valeur seuil, le neurone moteur émet un train de potentiels d'action en direction du muscle. On dit que le neurone moteur a fait une **intégration** spatiale et temporelle des messages nerveux.

Chaque motoneurone intègre donc un ensemble de messages nerveux qui lui parviennent. Le corps cellulaire du motoneurone intègre ces messages sous forme d'un message nerveux moteur unique.

Le motoneurone réalise donc la somme algébrique des informations excitatrices et inhibitrices qui lui parviennent : c'est **l'intégration nerveuse**.

Si le résultat de **la somme algébrique déclenche une dépolarisation qui dépasse le seuil de stimulation, alors des potentiels d'action sont émis au niveau de l'axone du motoneurone ; sinon, le motoneurone reste au repos ou il y a diminution de la fréquence des potentiels d'action.**

III Dysfonctionnement du système nerveux

Des dysfonctionnements du système nerveux **modifient le comportement et ont des conséquences sur la santé.**

Protégé par le squelette (crâne, colonne vertébrale) le système nerveux est constitué de tissu fragile.

- Les **sections accidentelles de la moelle épinière** entraînent la paralysie des muscles commandés par les motoneurones situés sous le niveau de section : paraplégie ou tétraplégie.
- La destruction des cellules nerveuses de l'aire motrice primaire à la suite d'un **accident vasculaire cérébral** (AVC) peut conduire à une **perte de motricité**. L'AVC peut être produit par obstruction du vaisseau sanguin ou à sa rupture. Les neurones non approvisionnés en oxygène meurent rapidement.

Il existe des facteurs de vie favorisant leur apparition : obésité, tabagisme, sédentarité, stress.

- Les **maladies neurodégénératives** provoquent une détérioration du fonctionnement des cellules nerveuses pouvant conduire à la mort des cellules.
- Le système nerveux central peut être la cible d'**infections virales ou bactériennes**.

IV Plasticité cérébrale

L'apprentissage moteur, c'est-à-dire l'acquisition d'une nouvelle performance motrice ou entraînement, provoque des différences dans le cortex moteur. Les territoires fortement sollicités sont plus développés. Ces différences sont à mettre en relation avec une capacité fondamentale du cortex : **la plasticité, c'est-à-dire sa capacité à se modifier en réponse à une stimulation environnementale.**

- Lorsqu'on compare les cartes motrices de différents individus, on constate des différences importantes : les zones de contrôle des différentes parties du corps sont plus ou moins étendues dans le cortex.

Ces différences ne sont pas innées et s'acquièrent lors du développement de l'individu en relation avec son mode de vie. Ces différences sont à mettre en relation avec une capacité fondamentale du cortex à se modifier en réponse à une stimulation environnementale : c'est la plasticité cérébrale.

- La plasticité cérébrale peut permettre la récupération d'une partie des fonctions cérébrales perdues. Elle permet donc de comprendre que l'organisation du cortex n'est pas figée lors du développement de l'individu mais peut également se modifier à l'âge adulte. Le rôle de cette plasticité est fondamental dans la récupération après des lésions corticales et permet souvent d'envisager la récupération des capacités nerveuses perdues après un accident. Ainsi, une zone du cortex moteur qui ne reçoit plus ses afférences normales devient capable de traiter des informations en provenance de régions voisines. De même, une région corticale qui reçoit une quantité importante d'informations se développe aux dépens des zones voisines.

Ainsi, **l'organisation somatotopique du cortex moteur primaire est sujette à une réorganisation** après l'amputation d'un membre, après une lésion nerveuse périphérique, après un accident vasculaire cérébral (AVC) ou si un individu a une maladie neuro-dégénérative.

Les circuits nerveux du cortex cérébral sont donc malléables. **Le système nerveux central manifeste ainsi une plasticité cérébrale remarquable qui se traduit par un remodelage des connexions synaptiques.**

Lexique référentiel 12

Aire corticale : zone du cortex cérébral impliquée dans une fonction biologique donnée.

Astrocytes : cellules gliales intervenant dans la nutrition, la protection et l'activité des neurones.

Cellules gliales : du système nerveux participant à son bon fonctionnement

Cellules de la microglie : responsable de la défense immunitaire du cerveau.

Dépolarisation : potentiel de membrane supérieur au potentiel de repos

Intégration des messages nerveux : sommation spatiale et sommation temporelle des messages nerveux reçus par un neurone.

Cortex cérébral : partie superficielle du cerveau constituée de substance grise et formée de six couches superposées de neurones interconnectés.

Cortex moteur : zone du cortex cérébral commandant l'exécution des mouvements volontaires.

Hyperpolarisation : potentiel de membrane inférieur au potentiel de repos

IRMf : Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ; permet de détecter les zones du cerveau activées.

Neurone excitateur : neurone qui augmente l'activité de la cellule postsynaptique

Neurone inhibiteur : neurone qui diminue l'activité de la cellule postsynaptique

Neurotransmetteur excitateur : sa fixation sur les récepteurs postsynaptique entraîne une dépolarisation de la membrane postsynaptique

Neurotransmetteur inhibiteur : sa fixation sur les récepteurs postsynaptique entraîne une dépolarisation de la membrane postsynaptique

Oligodendrocytes : cellules gliales formant une gaine de myéline autour des axones ce qui permet d'augmenter la vitesse de conduction des messages nerveux.

Plasticité cérébrale : capacité d'adaptation anatomique et fonctionnelle du cerveau en fonction des expériences vécues par un individu.

Sommation spatiale : somme algébrique des informations présynaptiques arrivant de différents neurones

Sommation temporelle : somme algébrique des informations présynaptiques successives arrivant d'un neurone

Synapse excitatrice : zone de jonction entre un neurone excitateur présynaptique et la cellule postsynaptique

Synapse inhibitrice : zone de jonction entre un neurone inhibiteur présynaptique et la cellule postsynaptique

Capacités et attitudes attendues pour ce chapitre

- Observer au microscope des coupes de système nerveux central et/ou extraire, exploiter des informations sur le rôle des cellules gliales.
- Utiliser un logiciel de visualisation et/ou extraire et exploiter des informations, notamment à partir d'IRMf, afin de caractériser les aires motrices cérébrales.
- Recenser, extraire et exploiter des informations permettant de :
 - comprendre et prévenir certains dysfonctionnements nerveux (par exemple : accident vasculaire cérébral, maladies neuro-dégénératives, infections virales...);
 - mettre en évidence la plasticité du cortex à partir de situations d'apprentissages ou de récupération post-dysfonctionnement