

# Cerveau en fiches

## CHAPITRE 5 :

## LE MOUVEMENT

### DANS CE CHAPITRE

- Les mouvements involontaires
- Les mouvements complexes

Depuis les tribunes, nous nous émerveillons des balles de service parfaitement placées des joueurs de tennis professionnels et des doubles jeux ultra-rapides exécutés par des joueurs de champ de la grande ligue de baseball. Mais en fait, chacun de nous réalise au cours de ses activités de tous les jours une quantité de mouvements précis et complexes - tels que marcher droit, parler, et écrire - qui sont tout à fait remarquables. Ceci est possible grâce à la grande complexité et au parfait réglage du système nerveux central qui contrôle l'action de centaines de muscles. Au travers de l'apprentissage, le système nerveux peut s'adapter aux exigences changeantes du mouvement pour accomplir ces prouesses quotidiennes et améliorer leur performance avec la pratique.

Pour comprendre comment le système nerveux exécute de tels tours, nous devons partir des muscles, car ce sont les parties de l'organisme qui produisent le mouvement sous contrôle du cerveau et de la moelle épinière.

La plupart des muscles s'attachent sur le squelette et croisent une ou plusieurs articulations ; ils sont de ce fait appelés muscles squelettiques. L'activation d'un muscle donné peut ouvrir ou fermer l'articulation qu'il croise, suivant qu'il est muscle fléchisseur (fermeur) ou un muscle extenseur (ouvreur).

En plus, si les fléchisseurs et extenseurs d'une même articulation sont activés ensemble, ils peuvent «raidir» l'articulation et donc maintenir la position du membre face à des forces externes imprédictibles qui pourraient le déplacer. Les muscles qui déplacent une articulation dans une direction voulue sont dénommés agonistes, et ceux qui s'opposent à cette direction sont des antagonistes. Les mouvements de précision à grande vitesse sont initiés par les agonistes et arrêtés par les antagonistes, plaçant ainsi l'articulation ou le membre dans la position désirée.

Certains muscles agissent sur des tissus mous, tels que les muscles qui bougent les yeux ou la langue ou ceux qui contrôlent l'expression de la face. Ces muscles sont aussi sous le contrôle du système nerveux central et leur principe de fonctionnement est similaire à celui des muscles squelettiques.

Chaque muscle se compose de milliers de fibres musculaires, et chaque fibre musculaire est contrôlée par un

seul neurone moteur, le motoneurone alpha, situé dans le cerveau ou la moelle épinière. Un même motoneurone alpha contrôle de nombreuses fibres musculaires (de quelques unes à 100 ou plus) ; un motoneurone alpha et l'ensemble des fibres musculaires qu'il innerve constitue une unité fonctionnelle appelée unité motrice. Ces unités motrices constituent le lien crucial entre le cerveau et les muscles. Si les motoneurons meurent, ce qui peut se produire dans certaines maladies, une personne n'est plus capable de bouger, que ce soit volontairement ou de façon réflexe.

### Les mouvements involontaires

Les mouvements les plus simples et les plus fondamentaux sont peut-être les réflexes. Ce sont des réponses musculaires automatiques et stéréotypées en réponse à des stimuli particuliers, tels que le retrait soudain du pied lorsque vous marchez sur un objet pointu ou la légère extension de la jambe lorsqu'un médecin tape sur votre genou avec un petit marteau de caoutchouc. Tous les réflexes impliquent l'activation de petits récepteurs sensoriels localisés dans la peau, les articulations ou les muscles eux-mêmes. Par exemple, le mouvement du genou, donné en exemple au dessus, est produit par un léger étirement du muscle extenseur du genou quand le médecin tape sur son tendon. Ce léger étirement musculaire est « senti » par des récepteurs situés dans les muscles et dénommés fuseaux neuromusculaires. Innervés par des fibres sensorielles, les fuseaux neuromusculaires transmettent des informations à la moelle épinière et au cerveau sur la longueur et la vitesse de raccourcissement ou d'allongement du muscle. Cette information est utilisée dans le contrôle réflexe de l'articulation sur laquelle le muscle agit et également dans le contrôle des mouvements volontaires.

Un étirement musculaire soudain envoie une décharge de potentiels d'action dans la moelle épinière le long des fibres sensorielles fusoriales. A leur tour, ces fibres activent des neurones moteurs du muscle étiré, entraînant une contraction nommée réflexe d'étirement. Le même stimulus sensoriel induit une inactivation, ou inhibition, des neurones moteurs des muscles antagonistes par le biais de neurones de connexion, dénommés interneurons inhibiteurs, situés dans la moelle épinière. Donc, même le plus simple des réflexes implique une coordination d'activité parmi les neurones moteurs qui contrôlent les muscles agoniste et antagoniste.

Le cerveau peut contrôler non seulement l'activité des neurones moteurs et l'action des muscles mais, de façon encore plus surprenante, la nature de l'information sensorielle qu'il reçoit en retour au cours des mouvements à partir des récepteurs sensoriels musculaires.

Ainsi, la sensibilité des fuseaux neuromusculaires est sous le contrôle d'un jeu de neurones moteurs particuliers, les motoneurons gamma, qui innervent spécifiquement les fibres musculaires spécialisées qui composent le fuseau neuromusculaire. Par le biais des motoneurons gamma, le cerveau peut régler avec précision le système pour l'adapter à différentes tâches motrices.

En plus d'une telle sophistication dans la détection et le contrôle de la longueur du muscle par les fuseaux neuromusculaires, d'autres organes sensoriels spécialisés associés aux tendons des muscles – les organes tendineux de golgi – détectent la force appliquée par la contraction musculaire, permettant au cerveau de percevoir et contrôler la force musculaire exercée au cours du mouvement.

Nous savons maintenant que ces systèmes complexes sont coordonnés et organisés pour répondre différemment dans des tâches exigeant un contrôle précis de la position, telles que tenir une tasse à thé remplie, que dans des tâches qui demandent des mouvements puissants et rapides, comme le lancement d'une balle. On peut faire l'expérience de tels changements dans la stratégie motrice

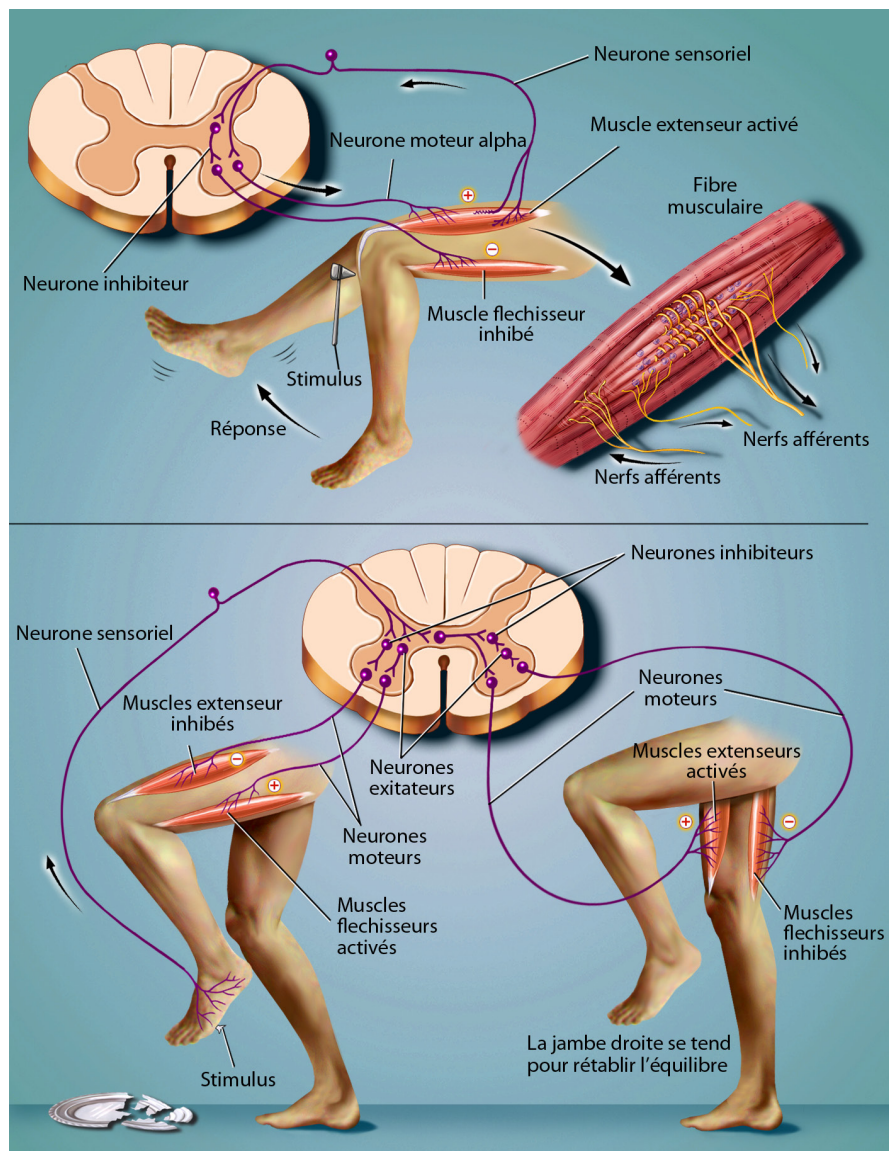
en comparant la descente de marches dans une cage d'escalier illuminée ou dans le noir.

Un autre réflexe utile est le réflexe de retrait en flexion qui se produit si votre pied nu rencontre un objet pointu. Votre jambe est immédiatement soulevée au dessus de la source potentielle de blessure (flexion), mais aussi la jambe opposée répond par une extension accentuée pour maintenir votre équilibre. Ce dernier événement est appelé le réflexe croisé d'extension.

Ces réponses se produisent très rapidement et ne nécessitent pas votre attention parce qu'elles sont élaborées dans des réseaux de neurones situés directement dans la moelle épinière.

### Les mouvements complexes

Il est probable que ces mêmes systèmes de neurones spinaux participent également au contrôle des actions alternées des jambes au cours de la marche normale. En fait, les patrons de base de l'activation musculaire qui produisent la marche coordonnée peuvent être générés chez l'animal quadrupède dans la moelle



*Le réflexe d'étirement (schéma supérieur) se produit lorsque le médecin tape sur un tendon musculaire pour tester vos réflexes. Ceci envoie une décharge de potentiels d'action dans la moelle épinière le long des fibres sensorielles fusorales et active les motoneurons du muscle étiré, causant ainsi sa contraction (réflexe d'étirement). Le même stimulus sensoriel induit une inactivation, ou inhibition, des neurones moteurs des muscles antagonistes au travers de neurones de connexion, dénommés interneurons inhibiteurs, dans la moelle épinière. Les nerfs afférents transportent des informations des organes sensoriels vers la moelle épinière ; les nerfs efférents véhiculent la commande motrice de la moelle épinière vers les muscles. Le retrait en flexion (schéma inférieur) peut se produire quand votre pied nu rencontre un objet pointu. Votre jambe est immédiatement retirée (flexion) de la source potentielle de blessure, mais aussi la jambe opposée répond par une extension accentuée pour maintenir votre équilibre. Ce dernier événement est appelé le réflexe croisé d'extension. Ces réponses se produisent très rapidement et sans votre attention parce qu'elles sont élaborées dans des systèmes de neurones qui sont situés dans la moelle épinière elle-même.*

épinière elle-même. Ces mécanismes spinaux, qui évoluent à partir des vertébrés primitifs, sont encore probablement présents dans la moelle épinière de l'homme.

Les mouvements les plus complexes que nous réalisons, y compris les mouvements volontaires qui nécessitent une planification consciente, impliquent un contrôle de ces mécanismes spinaux par le cerveau. Les scientifiques commencent à peine à comprendre les interactions complexes qui se mettent en place entre différentes régions du cerveau au cours du mouvement volontaire, et ce principalement à partir d'expérimentation sur l'animal.

Une aire cérébrale importante dans le contrôle du mouvement volontaire est le cortex moteur qui exerce un contrôle puissant sur la moelle épinière, en partie au travers d'un contrôle direct de ses motoneurones alpha. Certains neurones du cortex moteur semblent spécifier l'action coordonnée de plusieurs muscles pour produire un mouvement organisé du membre vers un endroit particulier de l'espace. D'autres neurones ne contrôlent que deux ou trois muscles reliés fonctionnellement, tels que ceux de la main ou du bras, qui jouent un rôle important dans la réalisation de mouvements de grande précision.

En plus du cortex moteur, le contrôle moteur implique l'interaction de beaucoup d'autres régions du cerveau, incluant les ganglions de la base, le thalamus et le cervelet, et un grand nombre de groupes neuronaux localisés dans le mésencéphale et le tronc cérébral – régions à l'origine de projection vers la moelle épinière. Les scientifiques savent que les ganglions de la base et le thalamus ont des connexions largement distribuées avec les aires motrices et sensorielles du cortex cérébral.

Un dysfonctionnement des ganglions de la base peut conduire à de sérieux désordres moteurs. Par exemple, une déplétion en neurotransmetteur, la dopamine, à partir de régions spécifiques des ganglions de la base résulte dans le tremblement, la rigidité et l'akinésie de la maladie de Parkinson. La dopamine est fournie aux ganglions de la base par les axones de neurones situés dans la substance noire, un groupe de cellules du mésencéphale. La production de dopamine est réduite dans la maladie de Parkinson du fait de la dégénérescence des neurones de la substance noire.

Une autre région cérébrale qui est cruciale pour la coordination et l'ajustement des habiletés motrices est le cervelet. Une perturbation de la fonction cérébelleuse conduit à une perte de coordination dans le contrôle musculaire, des désordres dans l'équilibre et les mouvements d'atteinte, et même des difficultés dans la parole, une des formes les plus élaborées du contrôle du mouvement.

Le cervelet reçoit des informations directes et puissantes de tous les récepteurs sensoriels de la tête et des membres et de toutes les régions du cortex cérébral. Apparemment le cervelet agit en intégrant toutes ces informations pour assurer une coordination sans à-coups de l'action musculaire, nous permettant de réaliser des mouvements précis plus ou moins automatiquement. De nombreuses observa-

tions suggèrent que le cervelet nous aide à ajuster notre motricité aux changements corporels liés à la croissance, au handicap, aux variations de poids ou à l'âge. Il règle la sortie motrice en réponse aux exigences spécifiques à chaque nouvelle tâche. Ainsi, nos capacités d'adaptation quand on lève une tasse de café qui est vide ou pleine dépend du cervelet. Il est considéré que lorsque l'on apprend à marcher, parler ou jouer d'un instrument de musique, l'information détaillée et nécessaire au contrôle est stockée dans le cervelet d'où elle peut être rappelée par les commandes à partir du cortex cérébral.

*Traduction : Alexa Riehle, Institut de Neurosciences de la Timone, Aix Marseille Université, Marseille*