



Savoir & Comprendre

Organisation de la motricité

Mars 2005

Repères

Les muscles striés squelettiques assurent, sous le contrôle du système nerveux, la motricité (locomotion, posture, mimique...).

Véritable tour de contrôle de l'organisme, le système nerveux central (cerveau, cervelet, moelle épinière) représente le lieu d'intégration de l'information et de la commande motrice grâce à laquelle la volonté s'exerce.

Le système nerveux périphérique (racines nerveuses et nerfs périphériques) diffuse cette information jusqu'au muscle par l'intermédiaire de la jonction neuromusculaire.

Chaque muscle squelettique est relié à la moelle épinière par un nerf périphérique. La transmission de l'influx nerveux au muscle déclenche la contraction musculaire. En se contractant le muscle produit de la force et du mouvement.

RÔLE DU SYSTÈME NERVEUX

Le système nerveux comporte le système nerveux central et le système nerveux périphérique, tous deux véhiculant des informations motrices ou sensibles selon le cas de figure. Le système nerveux central comporte le cerveau, le cervelet, le tronc cérébral et la moelle épinière tandis que le système nerveux périphérique est constitué de nerfs, issus ou regagnant la moelle épinière (nerfs rachidiens) ou le tronc cérébral (nerfs crâniens).

Commande volontaire de la motricité (Voie motrice pyramidale)

Les muscles squelettiques sont sous la commande d'une zone précise du cortex cérébral appelée aire motrice. Le cortex cérébral joue un rôle important dans le contrôle des mouvements volontaires. La motricité volontaire dépend du faisceau pyramidal qui représente la liaison directe entre le cortex cérébral moteur et les motoneurones se trouvant dans le tronc cérébral (premier motoneurone) et dans la moelle épinière (deuxième motoneurone). L'influx nerveux part des motoneurones vers les nerfs périphériques qui établissent une synapse avec les muscles à la jonction neuromusculaire. Grâce à leurs propriétés (excitabilité, contractilité, élasticité,...), les muscles sont capables de générer une force.

Régulation des mouvements (Voie motrice extrapyramidale)

Le système nerveux central possède un système de surveillance sophistiqué. Il traite et interprète les informations sensorielles reçues de l'aire motrice (cortex cérébral), du tronc cérébral et des récepteurs sensoriels disposés dans tous les tissus (os, muscle, tendon,

ligament, peau,...). Il peut notamment connaître en permanence l'état et les positions relatives des différentes parties du corps dans l'espace.

Le cervelet contrôle la station debout et l'équilibre. Il synchronise les contractions des différents muscles squelettiques et produit des mouvements coordonnés.

L'exécution de mouvements intentionnels et finalisés (mouvements volontaires) dépend du système nerveux central qui intègre les informations sensorielles, programme le mouvement (synchronisation,...) et transmet les ordres de contraction au muscle.

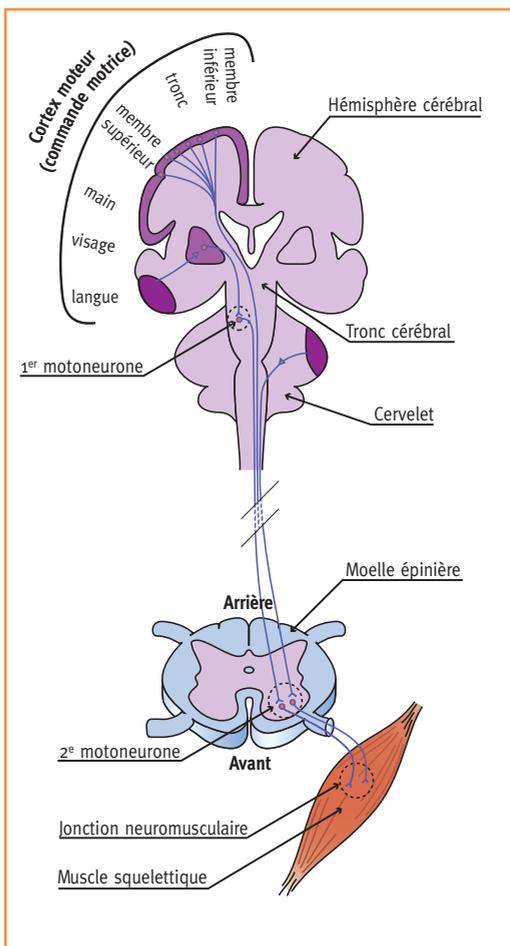
Une fois l'ordre déclenché, il est ensuite transmis au système nerveux périphérique qui prend le relais en donnant cet ordre de contraction au muscle par l'intermédiaire des nerfs moteurs. Les muscles, organes effecteurs, y répondent en se contractant.

L'ensemble de cette activité motrice globale, consciente ou non, qui se manifeste dans le cadre du mouvement est contrôlé par les voies motrices extra-pyramidales. Elles désignent les voies neurologiques de la motricité qui se situent en dehors du faisceau pyramidal. Mettant en œuvre des groupes musculaires entiers, elles ont un

rôle dans la régulation des mouvements et le tonus musculaire. En association avec le cervelet, le système extrapyramidal régule le tonus, la coordination du geste et l'adaptation posturale.

Voie motrice volontaire.

Le cortex cérébral joue un rôle important dans le contrôle des mouvements volontaires par l'intermédiaire du faisceau pyramidal. Le faisceau pyramidal relie le cortex cérébral moteur aux motoneurones se trouvant dans le tronc cérébral (faisceau corticobulbaire) et dans la moelle épinière (faisceau corticospinal). L'influx nerveux part du motoneurone vers le nerf périphérique qui établit une synapse avec le muscle à la jonction neuromusculaire. La stimulation du nerf entraîne la contraction du muscle strié



squelettique.

EQUIPEMENT SENSORIEL TENDINO-MUSCULAIRE

Le système nerveux central possède un système de surveillance sophistiqué. Un certain nombre de détecteurs spécifiques sont sensibles à l'activité neuromusculaire et participent ainsi à réguler de façon rétroactive la commande du système nerveux central.

Les muscles ont aussi une fonction perceptive propre. Si le système nerveux central commande les actions réflexes ou intentionnelles des muscles, ces derniers lui adressent, en retour, des informations sur le déroulement de ces actions. C'est grâce aux informations qu'ils transmettent au cerveau qu'ils nous font accéder, comme les autres sens, à la conscience de notre corps et à sa place dans l'environnement (proprioception). Cette sensorialité musculaire occupe une place prépondérante lors des apprentissages moteurs et des réapprentissage (rééducation après des lésions cérébrales ou de l'appareil locomoteur).

Récepteurs musculaires et tendineux

Ces récepteurs servent globalement à l'ajustement de la longueur et au réglage de la tension du muscle strié.

Fibres intrafusales

Les récepteurs musculaires sont des fibres musculaires sensibles, dites fibres intrafusales autour desquelles s'enroule une fibre nerveuse. Ces fibres sont sensibles à l'étirement (variations de longueur du muscle). Elles sont regroupées en fuseaux à l'intérieur des muscles, parallèlement aux fibres musculaires motrices (dites fibres extrafusales). Lorsque le fuseau est étiré à la suite du relâchement ou de l'allongement du muscle qui le contient, il donne naissance à un message capable de se propager le long de la fibre jusqu'à la moelle

COORDINATION ENTRE MOUVEMENT ET POSTURE

Le mouvement volontaire se distingue du mouvement réflexe ou d'un mouvement automatique par le fait qu'il est largement perfectible par l'apprentissage. La locomotion et le contrôle de la posture sont des mouvements volontaires. Des ajustements posturaux sont déclenchés avant et pendant le mouvement pour stabiliser la posture. Les activités posturales anticipées permettent en plus de la stabilisation de la posture, l'initiation du mouvement. Pour réaliser un mouvement (précis et rapide), il est nécessaire de coordonner de manière appropriée le mouvement finalisé avec la posture. Cette coordination est rendue possible grâce à l'intervention du système nerveux central. Les ajustements posturaux nécessaires pour stabiliser la posture ne sont pas automatiques et demandent de l'attention.

• LOCOMOTION

Lorsque nous marchons, la tête sert de «plate-forme de guidage» car elle reste toujours dans une position stable. Ceci est lié à la géométrie du squelette : la portion de colonne vertébrale qui soutient la tête est parfaitement verticale et fait office de «fil à plomb». Une fois l'apprentissage de la marche fait, celle-ci s'effectue volontairement mais

de manière automatique. La volonté permet de moduler la rapidité, la longueur du pas,..., pour adapter notre geste à l'environnement.

Deux capteurs fondamentaux permettent au cerveau de mesurer les mouvements du corps dans l'espace. L'œil indique la verticale visuelle et la vitesse des déplacements du corps dans l'espace. D'autres capteurs dans l'oreille interne (le système vestibulaire) jouent un rôle important dans l'équilibre. De même, des réflexes d'ajustement de la posture mettent en jeu des capteurs des muscles et des tendons.

• CONTRÔLE DE LA POSTURE

La posture est contrôlée par des structures cérébrales. Les informations proviennent de nombreux récepteurs sensoriels :

- l'ensemble des propriocepteurs renseigne sur l'étirement des différents muscles ou sur la position des articulations ; les propriocepteurs du cou, en particulier, renseignent sur la position de la tête par rapport au corps ;
- le système vestibulaire renseigne sur la position ou les mouvements de la tête ;
- le système visuel renseigne sur la position de la tête par rapport au monde extérieur.

épinière, centre nerveux réflexe. Les fibres intrafusales peuvent se contracter comme les fibres motrices, mais seulement à leurs extrémités. Ces récepteurs sont innervés par deux types de termi-

naisons sensibles qui indiquent soit la longueur (fibres sensibles Ia), soit les changements de longueur (fibres sensibles II).

Les extrémités de ces récepteurs possèdent des terminaisons

nerveuses issues des neurones moteurs : les motoneurones gamma et bêta. Ces derniers vont contrôler la sensibilité des capteurs.

Organes de Golgi

Les récepteurs tendineux sont les organes neuro-tendineux de Golgi. Ils sont constitués de petites structures fibreuses qui se situent à la limite muscle-tendon, spécifiquement sensibles à la tension du tendon. Ils informent le système

nerveux central sur les variations de force (statique et dynamique) grâce aux fibres sensibles lb.

Récepteurs articulaires

Au niveau de la capsule et des ligaments se trouvent divers types de récepteurs.

Corpuscules de Ruffini et de Pacini

Les corpuscules de Ruffini répondent à la fois aux incitations de mouvement et de position alors

que les corpuscules de Pacini répondent uniquement au mouvement.

Terminaisons nerveuses libres

Elles sont situées à la fois dans les ligaments et les capsules. Ils interviennent dans la nociception lors des mouvements forcés.

ORGANISATION DU MOUVEMENT

Le cervelet intervient dans la synchronisation des contractions afin de générer des mouvements harmonieux

Une chaîne musculaire est l'ensemble des muscles associés en vue d'un mouvement : par exemple, les muscles extenseurs des membres inférieurs lors d'un saut. La synchronisation d'une chaîne musculaire est l'un des buts de l'entraînement sportif et de la rééducation.

Un mouvement harmonieux résulte de contractions synchrones de plusieurs muscles (agonistes et antagonistes, synergistes et fixateurs).

Muscles agonistes/antagonistes

Les muscles sont répartis en groupes (par exemple, les muscles releveurs des pieds). Les muscles d'un même groupe assurent des fonctions très voisines. Ces muscles sont dits agonistes. Ceux qui effectuent le mouvement inverse sont des antagonistes.

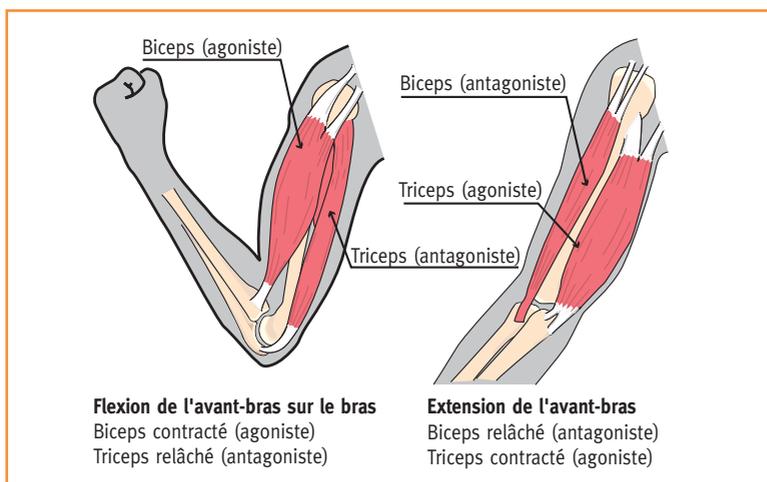
Au début de la contraction des agonistes (et de leur raccourcissement), les muscles antagonistes sont étirés et relâchés, lorsque le mouvement est réalisé lentement. Au cours de mouvements plus rapides, les muscles antagonistes jouent un rôle modérateur sur l'action des agonistes. Ils participent

au contrôle de la vitesse, de l'amplitude et de la précision du mouvement engendré par les muscles agonistes.

Muscles synergistes/fixateurs

La plupart des mouvements font intervenir l'action d'un ou plusieurs muscles : ce sont les muscles synergistes. Lors de la contraction du muscle principal, les muscles synergistes effectuent le même mouvement que celui-ci (agoniste) ou réduisent les mouvements inutiles ou indésirables (antagonistes, fixateurs...).

Lorsque des muscles synergistes immobilisent un os, ils sont appelés muscles fixateurs ou stabilisateurs. Les muscles fixateurs interviennent quand un mouvement exige une certaine force nécessitant un point d'appui solide. À une étape donnée d'un mouvement, ces muscles entrent en jeu pour immobiliser une partie du corps en un bloc rigide.



Mouvements et contraction musculaire.

Lors de mouvements successifs ou au cours du même mouvement, un muscle peut être d'abord agoniste, ensuite antagoniste.

CONTRACTION MUSCULAIRE

La contraction génératrice de force et de mouvement est la spécialité de la fibre musculaire

Mécanique de la contraction musculaire

Par contraction, on désigne une suite de phénomènes aboutissant à la production de force par le muscle. Cette force prend naissance dans les protéines contractiles (actine et myosine) : la myosine étant considérée comme le moteur moléculaire de la contraction. La direction de la force produite est parallèle à celle des fibres musculaires.

La force développée par le sarcomère dépend du niveau de chevauchement des filaments d'actine-myosine. Lorsque la disposition du sarcomère est en B (position « optimale »), un nombre maximal de ponts est disponible, la tension produite est maximale sur la courbe. En A, le chevauchement des filaments limite le nombre de ponts, la courbe de tension est en phase montante. En C, l'actine présente peu de contact avec la myosine, les possibilités de ponts sont réduites, il s'agit de la phase descendante de la courbe.

Tension et charge

La tension est la force exercée par le muscle sur un objet et la charge est la force exercée sur le muscle par un objet lourd : tension et charge sont donc deux forces opposées. Pour soulever une

masse, il faut que le muscle exerce une tension supérieure à la charge. Au niveau d'une articulation, la force développée par les muscles s'exprime en terme de couple de force.

Contractions isotoniques et isométriques

Lorsqu'il n'y a pas de raccourcissement du muscle ou lorsqu'il y a un équilibre entre tension et charge de sorte que celle-ci reste immobile, la contraction est dite isométrique. Ce type de contraction se retrouve en course lorsque le membre inférieur doit soutenir le corps au moment de l'appui. Les muscles travaillent sans créer de mouvement, sans changer de longueur.

Quand un muscle se contracte en soulevant une masse, la contraction est dite isotonique concentrique. Dans une course, la contraction concentrique du quadriceps suit de près la contraction isométrique liée à la phase d'appui. Elle permet de repartir au moment de la phase dite « de poussée ». Ce type de travail en concentrique est particulièrement important lors de la montée des escaliers ou lors d'une course en montée.

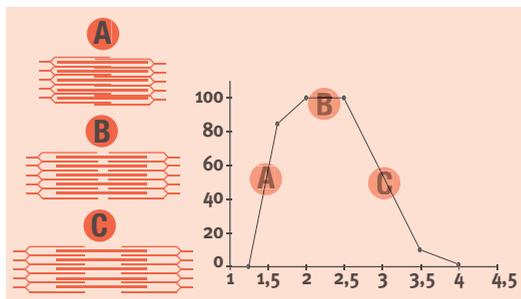
Si le muscle se contracte en freinant la descente de la charge, la contraction est dite excentrique. Dans la course, le travail excentrique du quadriceps accompagne la réception du membre inférieur au sol. Pendant la première partie du contact au sol, le muscle travaille en excentrique. Il s'allonge, ses deux extrémités s'éloignent. Ce travail est très important dans les descentes.

Courbe Tension-Longueur du sarcomère

En A : tension faible (le sarcomère est très raccourci)

En B : tension maximale (position idéale)

En C : tension faible (peu de contact entre les filaments d'actine et de myosine)



De l'excitation à la contraction

Le muscle possède une propriété particulière, celui d'être un tissu excitable. L'excitation d'un muscle est le préalable à sa contraction. Pour qu'une fibre musculaire se contracte, il faut qu'un courant électrique ou potentiel d'action soit appliqué au niveau de sa membrane (sarcolemme). On appelle couplage excitation-contraction, les mécanismes par lesquels le signal électrique de la membrane musculaire déclenche les phénomènes physico-chimiques de la contraction. Ces phénomènes font augmenter temporairement la concentration en ions calcium à l'intérieur de la fibre musculaire ce qui provoque immédiatement sa contraction.

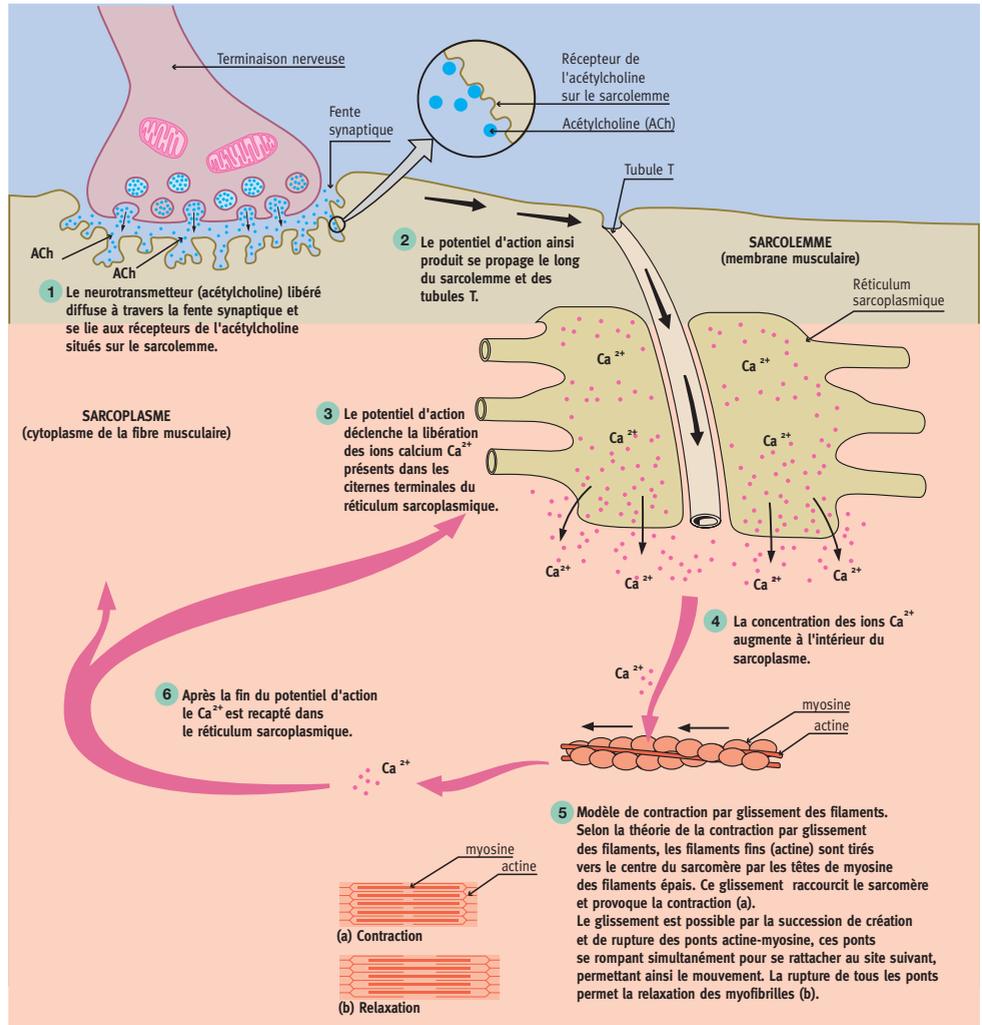
La contraction est déclenchée par une stimulation des motoneurones de la moelle épinière par les centres nerveux supérieurs. Elle se décompose en plusieurs étapes.

- La jonction neuromusculaire est la zone de contact entre la terminaison nerveuse (ou axonale) du motoneurone et la fibre musculaire. Elle permet par l'intermédiaire d'une substance chimique, l'acétylcholine, de transmettre l'excitation du motoneurone à la fibre musculaire.
- L'acétylcholine se fixe sur la membrane musculaire grâce à un récepteur spécifique (récepteur de l'acétylcholine).

Cette fixation déclenche un signal qui va se propager à la surface de la fibre musculaire, c'est le potentiel d'action musculaire.

- Le couplage excitation-contraction débute à ce moment. Le signal se propage tout le long de la membrane musculaire (sarcolemme), pénètre profondément à l'intérieur de la fibre grâce aux tubules transverses et provoque la libération

Succession des événements aboutissant à la contraction musculaire.



Association Française contre les Myopathies
 Association reconnue d'utilité publique
 1, rue de l'Internationale - BP 59
 91002 Evry cedex
 Téléphone : 01 69 47 28 28
 Télécopie : 01 60 77 12 16
 www.afm-france.org
 Siège social : AFM - Institut de Myologie
 47-83, boulevard de l'Hôpital
 75651 Paris cedex 13

d'ions calcium (Ca^{++}) à partir des citernes terminales du réticulum sarcoplasmique : sa concentration augmente dans le cytoplasme de la fibre musculaire (sarcoplasme).

• Cette augmentation de la concentration en ions Ca^{++} va être à l'origine du déclenchement du mécanisme moléculaire de la contraction qui provoque la fixation et

le glissement des filaments protéiques d'actine et de myosine.

• La phase de relaxation musculaire survient lorsque l'excitation nerveuse cesse : le calcium libéré dans le cytoplasme est alors recapté, grâce à un transporteur, au niveau du réticulum sarcoplasmique longitudinal.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Repères Savoir & Comprendre

- « Le muscle squelettique »
- « Le système musculaire squelettique »

www.afm-France.org