

TP Physiologie et pathologie des grandes fonctions

- L3 -

TP REFLEXE MYOTATIQUE ET EMG

Quelques notions qui peuvent être utiles pendant la séance de TP

A- Le réflexe myotatique.

Définition du dictionnaire Larousse : le réflexe myotatique est un réflexe spinal monosynaptique qui est la contraction d'un muscle en réponse à son étirement. Il est provoqué par la mise en jeu d'une fibre sensitive s'articulant directement avec un motoneurone.

Il s'agit donc d'un réflexe qui est géré uniquement au niveau de la moelle épinière, permettant une réponse rapide ne nécessitant pas une conscientisation de l'étirement du muscle pour obtenir une contraction musculaire consciente. On est donc sur une réponse involontaire et stéréotypée.

Le réflexe myotatique est impliqué dans le tonus musculaire, ce qui est particulièrement important dans les muscles posturaux. Il participe ainsi au réflexe de redressement du corps lors des oscillations de celui-ci.

Ce réflexe est recherché systématiquement par le médecin lors de l'examen neurologique, car c'est un examen qui est simple, rapide à effectuer, non invasif et indolore.

Deux réflexes myotatiques sont couramment étudiés : les réflexes rotulien (genou) et achilléen (tendon d'Achille). Dans la première partie expérimentale nous travaillerons exclusivement sur le réflexe achilléen.

Le réflexe myotatique peut être considéré comme une des deux composantes du réflexe ostéotendineux.

A1- Le réflexe ostéotendineux.

Le réflexe ostéotendineux (ou réflexe d'extension) est la contraction réflexe d'un muscle étiré brusquement composé de deux éléments, à savoir (1) une voie excitatrice (monosynaptique) ou « réflexe myotatique » qui va entraîner la contraction du muscle qui a été étiré et (2) une voie inhibitrice (polysynaptique) qui va entraîner le relâchement du muscle antagoniste du muscle étiré.

On peut observer sur la *figure 1* l'ensemble des éléments impliqués dans le réflexe ostéotendineux :

Les neurones sensoriels (Ia et II) en liaisons avec les récepteurs sensibles à l'étirement que sont les fuseaux neuromusculaires. Ils vont former les fibres afférentes (en bleu sur la *figure 1*), qui sont les fibres nerveuses ramifiées sur le muscle et qui portent les potentiels d'actions (PA) jusque dans la moelle épinière.

Les motoneurones (α) des muscles extenseurs qui sont étirés et les motoneurones des muscles fléchisseurs antagonistes dont les axones aboutissent aux fibres musculaires (plaques motrices), vont former la voie efférente (en rouge sur la **figure 1**).

Les interneurons inhibiteurs (en vert sur la **figure 1**) faisant connexion entre les neurones sensoriels et les motoneurones des muscles antagonistes du muscle étiré.

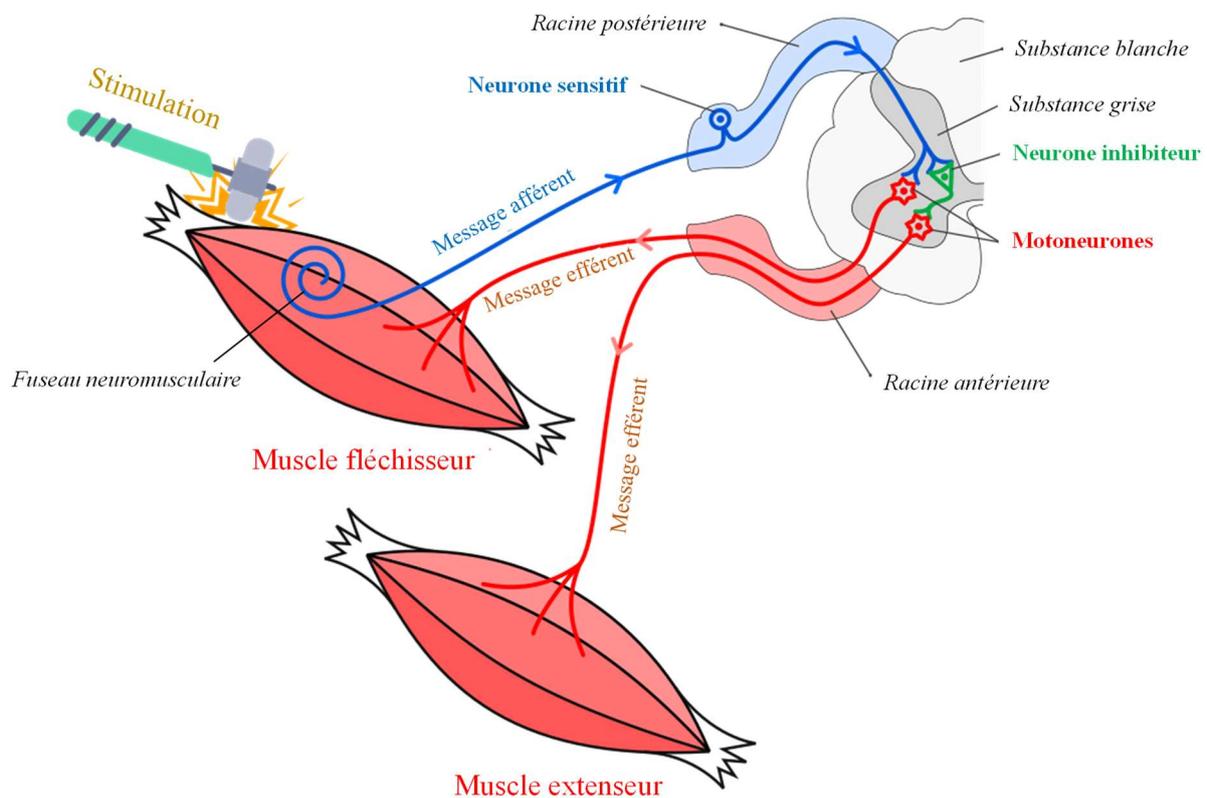


Figure 1 : schéma représentant l'ensemble des composants responsables du réflexe ostéotendineux.

Les voies afférentes empruntent la racine postérieure pour arriver dans la moelle épinière et les voies efférentes empruntent la racine antérieure.

Quand un muscle est étiré les fuseaux neuromusculaires sont aussi étirés et leurs fibres sensorielles envoient des potentiels d'actions (PA). En réponse réflexe l'ensemble du muscle étiré se contracte par envoi d'un message moteur par l'intermédiaire des motoneurones alpha. Comme indiqué plus haut ce système de réflexe à l'étirement d'un muscle est responsable du tonus musculaire, qui est important dans le maintien de la posture. Toutefois en plus de l'activation de la voie excitatrice il y a également activation d'une voie inhibitrice, responsable de l'inhibition des muscles antagonistes. Cela serait due à une innervation réciproque à partir des motoneurones alpha. Les fibres sensibles, par l'intermédiaire d'interneurons inhibiteurs, vont créer une voie polysynaptique qui va inhiber les muscles antagonistes.

A2- le réflexe myotatique achilléen.

Sur la **figure 2**, ci-dessous, on peut observer la boucle composant l'arc réflexe myotatique au niveau achilléen.

Le réflexe achilléen

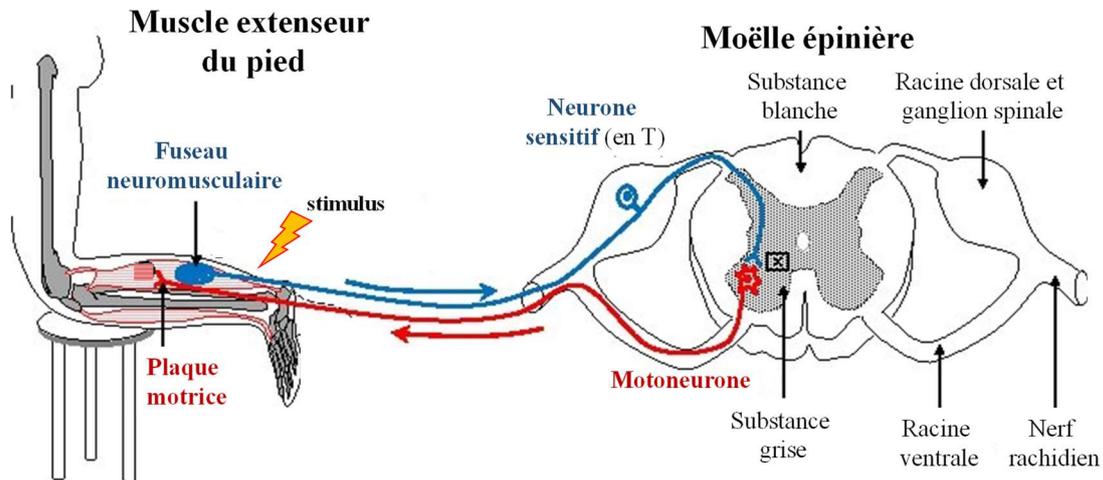


Figure 2 : schéma représentatif des éléments composant le réflexe myotatique achilléen.

L'arc réflexe myotatique est composé de 5 éléments, qui sont impliqués dans l'ordre suivant, après un stimulus (dans notre exemple un étirement au niveau du tendon d'Achille), (1) **les récepteurs sensoriels** (ou fuseaux neuro-musculaires) qui sont sensibles à l'étirement des muscles, (2) **la voie nerveuse sensorielle** qui va transmettre l'information d'étirement des muscles au niveau de la moëlle épinière (elle est composée de neurone sensitifs dont le corps du neurone est situé dans le ganglion spinal), (3) la substance grise de la **moëlle épinière** dans laquelle on va trouver la synapse entre neurone sensitif et motoneurone, (4) **la voie nerveuse motrice** composée de motoneurones qui vont permettre aux (5) **effecteurs musculaires** qui vont permettre la contraction du ou des muscles via les plaques motrices.

B- Electromyographie.

B1- Les différents types de muscles chez l'Homme.

Le corps humain comprend 3 sortes de tissus musculaires, chacun ayant un rôle dans le maintien de l'homéostasie :

- Les muscles cardiaques qui ne se trouvent que dans le cœur. Quand ils se contractent le sang est éjecté dans l'ensemble de l'organisme, apportant nutriments et dioxygène et assurant l'élimination des déchets et du dioxyde de carbone.
- Les muscles lisses qui se situent dans les parois des organes creux comme les intestins, les vaisseaux sanguins et les poumons. La contraction d'un muscle lisse modifie le diamètre interne des organes creux, et permet donc de réguler des flux de substances à travers le tube digestif, de contrôler la pression sanguine et le flux sanguin ou de réguler le flux d'air au cours du cycle respiratoire.

- c) Les muscles squelettiques tiennent leur nom du fait qu'ils sont en général attachés au squelette. La contraction du muscle squelettique fait bouger une partie du corps par rapport à une autre, comme pour la flexion de l'avant-bras. La contraction coordonnée de divers muscles squelettiques permet au corps en son entier de se mouvoir dans son environnement, comme lorsque l'on marche ou lorsque l'on nage.

Le muscle cardiaque et les muscles squelettiques sont également appelés muscles striés de par leur aspect lié à leur composition.

B2- Notion d'unité motrice.

La fonction première d'un muscle est de convertir l'énergie chimique en travail mécanique. Le muscle va alors se contracter, se raccourcir.

Le muscle squelettique humain consiste en des centaines de cellules individuelles de forme cylindrique (appelées fibres) liées entre elles par du tissu conjonctif. Dans le corps, les muscles squelettiques se contractent par la stimulation exercée par les nerfs moteurs somatiques qui transportent des signaux sous la forme d'impulsions nerveuses depuis le cerveau ou la moëlle épinière jusqu'aux muscles squelettiques. Les axones (ou fibres nerveuses) sont de longues extensions cylindriques des neurones. Les axones quittent la moëlle épinière par les nerfs spinaux, et le cerveau par les nerfs crâniens, et sont distribués aux muscles squelettiques concernés sous la forme d'un nerf périphérique, qui est un ensemble de fibres nerveuses individuelles rassemblées comme les différents brins d'un câble. Arrivée au muscle, chaque fibre nerveuse se ramifie et innerve différentes fibres musculaires.

Bien qu'un seul neurone moteur puisse innerver différentes fibres musculaires, chaque fibre musculaire est innervée par un seul neurone moteur. La combinaison d'un seul neurone et de toutes les fibres musculaires qu'il contrôle est appelée unité motrice (**Figure 3**). Quand un neurone moteur somatique est activé, toutes les fibres musculaires qu'il innerve répondent aux impulsions du neurone en générant leurs propres signaux électriques qui conduisent à la contraction des fibres musculaires activées.

La taille des unités motrices des muscles squelettiques dépend de la fonction du muscle (flexion, extension, etc ...) et de sa localisation dans le corps. Plus les unités motrices d'un muscle sont petites, plus le nombre de neurones nécessaires au contrôle du muscle est grand, et plus le contrôle du cerveau sur le degré de raccourcissement est important. Par exemple, les muscles des doigts possèdent des unités motrices très petites qui permettent une plus grande finesse dans le mouvement, ce qui est nécessaire par exemple pour taper sur un clavier ou écrire avec un stylo. Par contre, les muscles qui maintiennent la position dorsale possèdent des unités motrices très larges, puisqu'il n'est pas nécessaire de contrôler très précisément leur contraction.

Physiologiquement, le degré de contraction du muscle squelettique est contrôlé par l'activation du nombre désiré d'unités motrices à l'intérieur du muscle et le contrôle de la fréquence des impulsions du neurone moteur dans chaque unité motrice. Quand une augmentation de la force de contraction est nécessaire pour accomplir une tâche, le cerveau augmente le nombre d'unités motrices actives simultanément à l'intérieur du muscle. Ce processus est connu sous le nom de recrutement d'unités motrices.

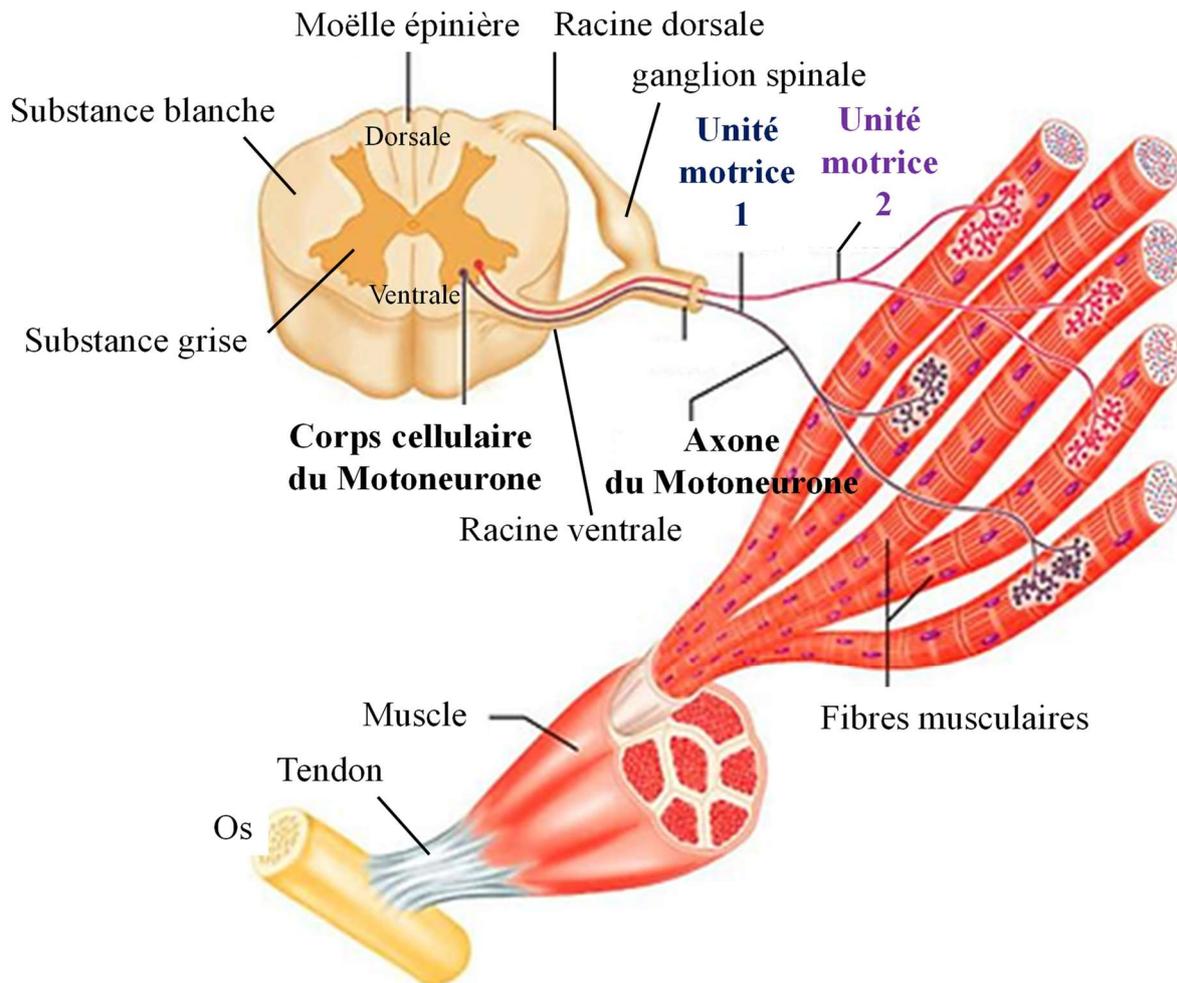


Figure 3 : exemple d'unité motrice.

Les muscles squelettiques au repos in vivo montrent un phénomène connu sous le nom de tonus musculaire, un état de légère tension constante qui maintient le muscle dans une position donnée. Le tonus est dû à l'activation périodique alternée d'un petit nombre d'unités motrices à l'intérieur du muscle par des centres moteurs du cerveau et de la moëlle épinière. Le contrôle cohérent des muscles nécessaires aux mouvements du corps est possible grâce à la contraction proportionnée des muscles. La contraction proportionnée est la capacité à moduler l'ampleur de la flexion du muscle selon le travail demandé. Les muscles squelettiques sont ainsi capables de réagir en fonction de charges différentes. Par exemple, l'effort requis par les muscles mis en jeu lors de la marche à pied sur un terrain plat est moins important que celui requis par ces mêmes muscles quand il s'agit de monter des escaliers.

B3- Electromyographie et électromyogramme.

Quand une unité motrice est activée, les fibres musculaires qui la composent génèrent et transmettent leurs propres impulsions électriques qui provoqueront finalement la contraction des fibres. Bien que l'impulsion électrique générée et transmise par chaque fibre soit très faible (moins de 100 microvolts), le fait que plusieurs fibres transmettent simultanément induit une différence de voltage qui est assez importante pour être détectée par une paire d'électrodes sur la peau. La détection, l'amplification, et l'enregistrement des modifications de la tension à la

surface de la peau produite par la contraction du muscle squelettique sous-jacent est appelé électromyographie. L'enregistrement ainsi obtenu est appelé électromyogramme (EMG).

B4- Recrutement des unités motrices et fatigue musculaire.

Le travail mécanique, au sens physique, réfère à l'application d'une force qui entraîne le mouvement d'un objet. Le muscle squelettique accomplit un travail mécanique quand le muscle se contracte et qu'un objet est déplacé, comme si on soulevait un poids. Pour soulever un poids, les muscles doivent exercer une force assez grande pour maîtriser le poids. Si l'on exerce une force moindre, alors le poids ne bouge pas.

Physiologiquement, le muscle squelettique se contracte par stimulation quand le cerveau ou la moëlle épinière active les unités motrices du muscle.

Les unités motrices sont définies comme étant des neurones moteurs et toutes les fibres musculaires que les neurones moteurs innervent. Un potentiel d'action (PA) dans un neurone moteur humain entraîne toujours un PA dans toutes les fibres musculaires de l'unité motrice. De toute évidence, les humains n'envoient pas qu'un seul PA à la fois à un neurone moteur. C'est le train de PA qui est envoyé, assez pour provoquer la tétanie (la fusion prolongée des convulsions de muscles individuels) dans les fibres musculaires de l'unité motrice.

La plupart des muscles squelettiques humains sont composés de centaines d'unité motrice. Quand un muscle squelettique est appelé à accomplir un travail physique, le nombre des unités motrices activées dans le muscle par le cerveau est proportionnel à la quantité de travail que le muscle doit accomplir. Plus il y a de travail à accomplir, plus le nombre d'unités motrices activées est grand. Ainsi, il y a plus d'unités motrices actives simultanément quand le muscle squelettique soulève 20 Kg que quand ce même muscle soulève 5 Kg.

Le cerveau détermine le nombre d'unités motrices actives dont le muscle a besoin pour accomplir une tâche donnée en utilisant l'information sensorielle donnée par les récepteurs de tension/d'étirement dans le muscle et les tendons associés et les capsules d'articulation. Par exemple, quand on soulève du sol un seau d'eau, le cerveau active d'abord diverses unités motrices dans le muscle squelettique sollicité. Si l'information sensorielle qui revient des muscles indique que les muscles se contractent, mais ne développent pas une puissance suffisante pour soulever le seau d'eau, le cerveau active des unités motrices supplémentaires jusqu'à ce que l'information sensorielle indique que le seau d'eau est soulevé. L'activation séquentielle des unités motrices dans le but d'accomplir une tâche donnée est appelée recrutement des unités motrices.

Une fois qu'on a soulevé un objet léger, le cerveau recrute environ le même nombre d'unités motrices pour garder l'objet en l'air, mais jongle avec différentes unités motrices. Les fibres musculaires consomment l'énergie emmagasinée disponible dans le muscle, et génèrent une force en se contractant. Comme les fibres musculaires épuisent cette source d'énergie, plus d'énergie doit être créée pour continuer la contraction. En recrutant différentes unités motrices, les unités motrices peuvent se reposer et refaire le plein d'énergie.

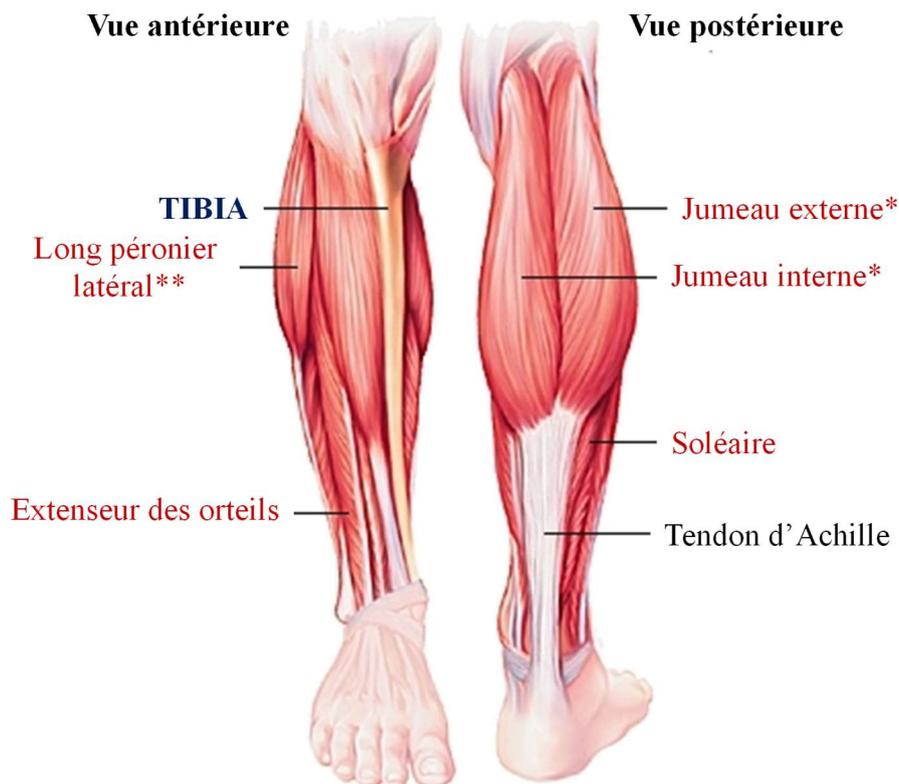
Les muscles squelettiques qui accomplissent un travail aigu maximal ou un travail chronique submaximal de nature répétitive va finir par se fatiguer. La fatigue est définie comme une baisse de la capacité du muscle à générer une force. La fatigue est causée par un épuisement réversible de la réserve d'énergie du muscle. Si le muscle utilise ses sources d'énergie plus vite que celles-

ci ne sont générées par le métabolisme cellulaire, la fatigue apparaît. Pendant la contraction, les cellules du muscle squelettique convertissent l'énergie chimique en énergie thermique et mécanique, et par ce processus, produisent des déchets chimiques.

Normalement, le muscle est débarrassé des déchets par le système circulatoire de la même façon que le sang apporte les éléments nutritifs au muscle pour la transformation en énergie. Si certains éléments (métabolites) ne sont pas enlevés de façon suffisante, ils s'accumulent et interfèrent chimiquement avec le processus contractile, et de cette façon apparaît la fatigue. L'accumulation de déchets stimule aussi les récepteurs de douleur dans les tissus conjonctifs environnants et entraîne des crampes dans le muscle squelettique, qui signifie généralement que l'arrivée de sang dans le muscle n'est pas suffisante.

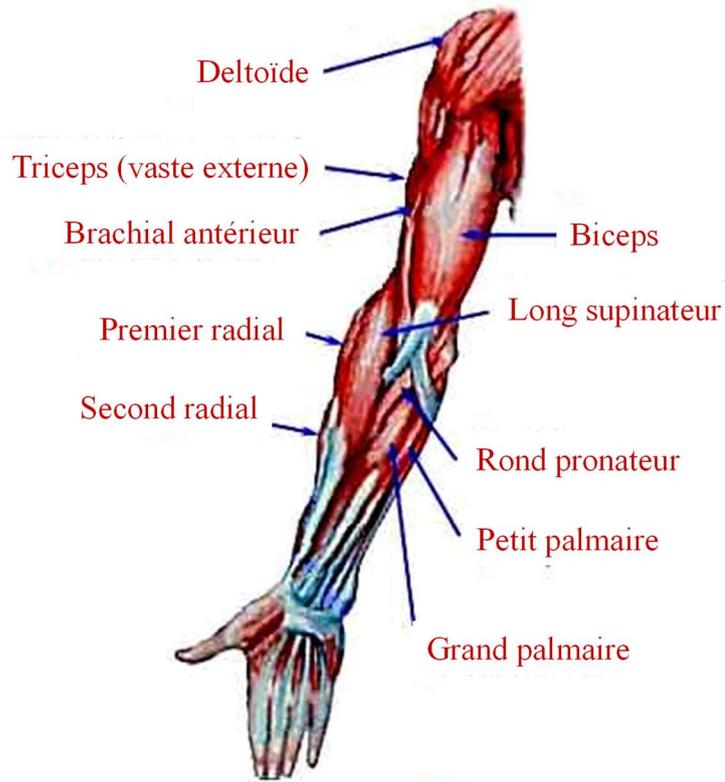
C- Annexes.

MUSCLES DE LA JAMBE

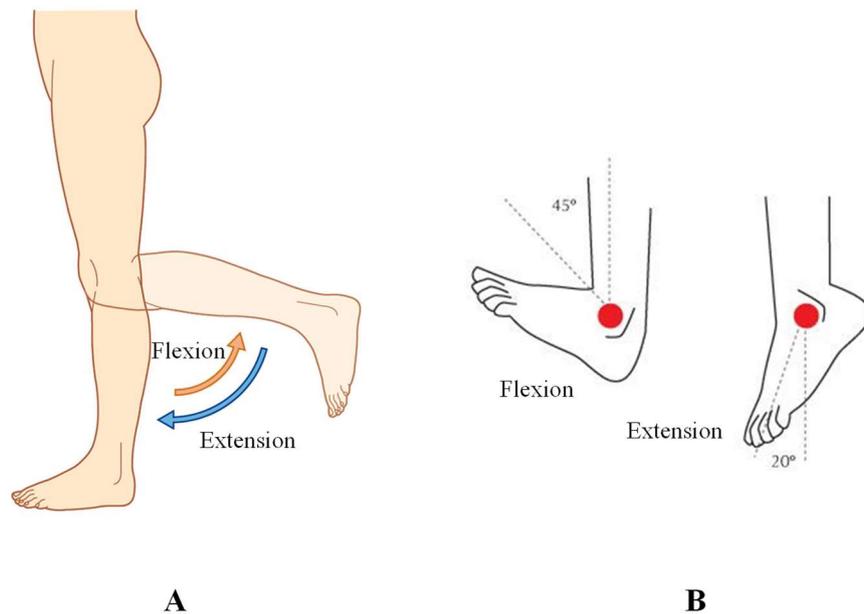


Annexe 1 : schéma des principaux muscles de la jambe. * on parle de Gastrocnémien, chef latéral et médian, et ** de long fibulaire antérieur en nomenclature internationale.

MUSCLES DU BRAS ET DE L'AVANT-BRAS



Annexe 2 : muscles du bras et de l'avant-bras, membre supérieur en position anatomique.



Annexe 3 : (A) schéma illustrant (A) les mouvements de flexion et d'extension de la jambe et (B) les mouvements de flexion et d'extension du pied. En (B) cela peut parfois être plus complexe en fonction de la partie du pied que l'on regarde. Par exemple le mouvement d'extension du pied peut également être décrit comme une flexion plantaire.

Définitions en anatomie :

Flexion : cela désigne un mouvement du corps menant à une diminution de l'angle entre deux segments d'un membre ou deux parties squelettiques du corps.

Extension : mouvement du corps visant à augmenter l'angle de deux segments d'un membre ou de deux parties squelettiques du corps.

L'extension et la flexion sont deux mouvements qui s'opposent.