

[Santé](#)[Médecine](#)[Education](#)[Neurologie](#)[Physiologie](#)[Pathologies](#)

### ANIMATIONS FLASH



### LE SYSTÈME NERVEUX



### LES SYSTÈMES SENSORIELS



### PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

- Les modalités sensorielles
- Codage de l'information
- Intégration de l'information



### LA SOMESTHÉSIE

- La sensibilité mécanique cutanée
- La sensibilité mécanique musculaire et articulaire
- La sensibilité thermique
- La sensibilité douloureuse

## LE MUSCLE STRIÉ SQUELETTIQUE - ORGANE EFFECTEUR DE LA MOTRICITÉ SOMATIQUE

Le muscle strié squelettique est l'**organe effecteur de la motricité somatique**, qui regroupe l'ensemble des fonctions permettant à un organisme de se déplacer dans ou d'interagir avec son milieu en mobilisant les pièces de son squelette. Il s'insère sur les pièces du squelette par l'intermédiaire de tendons et la force contractile exercée fait pivoter les segments du squelette autour de leurs articulations. Il peut aussi s'insérer entre un os et un organe mou : les yeux sont mobilisés par des muscles striés squelettiques (muscle oculomoteurs) lors de la lecture ou de la poursuite d'une cible par le regard. Loin de constituer une population homogène, ils diffèrent entre eux par leur fonction anatomique (fléchisseur, extenseur) et leurs propriétés métaboliques (synthèse d'ATP) ou fonctionnelles (vitesse de contraction, résistance à la fatigue). Cette **disparité anatomo-fonctionnelle** témoigne de la grande diversité des actions motrices (activité posturale, mouvement volontaire). Le muscle strié squelettique est donc l'organe du **maintien d'une posture** (motricité statique) ou du mouvement volontaire (motricité cinétique).

## LE MUSCLE EST COMPOSÉ DE CELLULES DIFFÉRENCIÉES : LES FIBRES MUSCULAIRES

Un **muscle squelettique** est constitué de quelques dizaines à quelques milliers de **fibres musculaires**, de 10 à 100  $\mu\text{m}$  de diamètre et de plusieurs centimètres de long, regroupés en **faisceaux**. Les fibres musculaires se terminent à leurs extrémités par des filaments de collagène, qui, regroupés, forment les tendons et assurent la fixation du muscle sur ses points d'insertion.

Une fibre musculaire est, en fait, un ensemble de cellules dont le cytoplasme a fusionné (syncytium); les nombreux noyaux de ces cellules sont situés à la périphérie du cytoplasme (sarcoplasme), juste sous la membrane cellulaire (sarcolème). La fibre musculaire, qui transforme l'énergie chimique de l'ATP (adénosine triphosphate : produit du métabolisme cellulaire des nutriments) en énergie mécanique (et en chaleur), renferme, dans son sarcoplasme, des **protéines "contractiles"** (actine et myosine) et des **protéines régulant la contraction musculaire** (tropomyosine, troponine), ensemble de protéines formant les **myofibrilles**.

## LE SARCOLÈME RECOIT ET TRANSMET LE MESSAGE NERVEUX

Le sarcolème est constitué d'une double couche de phospholipides, qui contient toutes sortes de protéines : protéines de structure, enzymes, canaux ioniques, récepteurs, transporteurs d'ions ou de molécules. Les propriétés fonctionnelles du sarcolème dépendent de la nature de ces protéines, qui ne sont pas également réparties à la surface de la cellule. On distingue, en fait, deux régions : une région réceptrice de la commande nerveuse et une région conductrice.

- Organisation segmentaire et supraspinale
- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Energétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

- Les organes des sens
- L'audition
- Neuroanatomie
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE



## LE SOMMEIL

- LA MEMBRANE RÉCEPTRICE DU MESSAGE NERVEUX - LA "PLAQUE MOTRICE" ET LE POTENTIEL DE PLAQUE MOTRICE

La **transmission de l'excitation de l'axone du motoneurone à la fibre musculaire** s'effectue au niveau de la "plaque motrice", qui représente la partie postsynaptique de la jonction neuromusculaire.

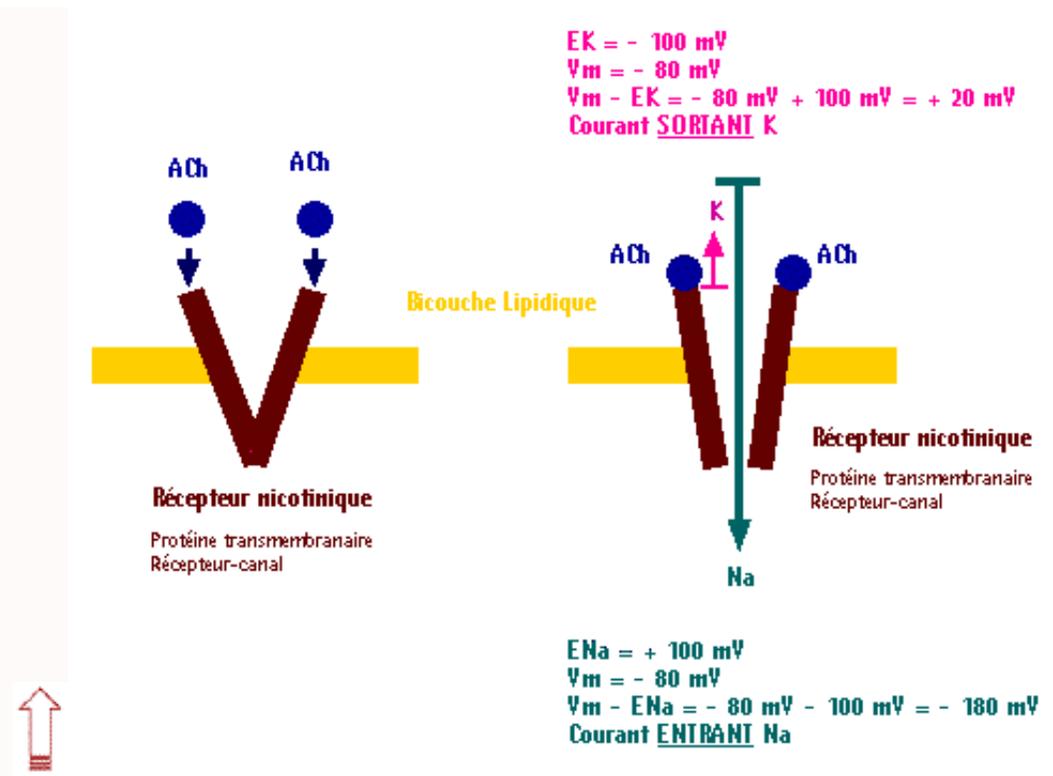
On appelle courants de plaque miniatures les courants enregistrés au niveau de la jonction neuromusculaire en l'absence de toute stimulation de l'axone moteur. Ces courants sont dus à la libération spontanée de quantas d'ACh (1 vésicule d'ACh = 1 quanta) par la terminaison présynaptique. Pour un potentiel de membrane de - 80 mV, les courants miniatures ont une amplitude maximale de 4 nA (4. 103 pA), ce qui correspond à l'ouverture de 1 600 récepteurs canaux nicotiques (courant élémentaire pour un Vm de - 80 mV = 2,5 pA) ouverts par l'ACh. Comme il faut 2 molécules d'ACh pour ouvrir un seul canal, une vésicule contient 3 200 molécules d'ACh. Le pic du courant de plaque motrice correspond à 100 courants miniatures (400 nA / 4 nA), soit à l'ouverture de 160 000 récepteurs nicotiques par l'acétylcholine libérée (320 000 molécules d'ACh)

### Pharmacologie du récepteur nicotinique à l'acétyl choline

<b>Agonistes</b> : se fixent sur le même site que l'ACh et favorisent le changement de conformation de la protéine vers l'état ouvert.	Carbachol - Phényl Triméthyl Ammonium = PTMA
<b>Antagonistes</b> : se fixent sur le même site que l'ACh mais ne favorisent pas le changement de conformation de la protéine vers l'état ouvert = antagonistes compétitifs.	Effets réversibles - Tubocurarine (curare) Effets irréversibles - Bungarotoxine
<b>Bloquants du canal</b> : se fixent dans le pore aqueux du récepteur ouvert et empêchent le passage des cations.	Procaïne - Lidocaïne - Benzocaïne



## SOMMAIRE



Iconographie personnelle - Dr. D. Rose

- LA MEMBRANE CONDUCTRICE DU MESSAGE NERVEUX - LE POTENTIEL D'ACTION MUSCULAIRE

La membrane conductrice réagit à une variation du potentiel de membrane ( $V_m$ ) - notamment la dépolarisation du PPM; représentant 99% du sarcolème, elle est électriquement excitable.

Le canal sodium ouvert par la dépolarisation, qui laisse également passer d'autres cations comme le  $K^+$ , est une protéine transmembranaire dont les propriétés, et sans doute la conformation, dépendent de la valeur du potentiel de membrane. Au potentiel de repos de la fibre musculaire striée ( $V_m = -80 \text{ mV}$ ), le canal est "fermé" et le courant transmembranaire est nul. Lors d'une dépolarisation de la membrane (PPM -  $V_m = 0 \text{ mV} = E_{ACh}$ ), le canal est dans un état "ouvert", les ions  $Na^+$  traversent la membrane et dépolarisent la cellule. L'ouverture des canaux  $Na^+$  ouverts par la dépolarisation est à la base d'un processus régénératif : l'ouverture des canaux  $Na^+$  entraîne une dépolarisation, qui provoque l'ouverture d'un plus grand nombre de canaux  $Na^+$ , qui provoque une dépolarisation encore plus importante et donc l'ouverture d'un nombre encore plus grand de canaux et donc .....

Pharmacologie du Canal  $Na^+$  ouvert par la dépolarisation ( $Na^+ - V_m$ )

Les toxines guanidiniques (Tétradotoxine - TTX, poison paralysant trouvé dans le foie de certains poissons) bloquent l'ouverture du canal en se comportant comme des cations.

Les toxines liposolubles (Aconitine, VÉRATRINE - alcaloïdes de différentes espèces d'Aconitum ou Veratrum, poisons puissants d'origine végétale) ont des effets complexes :

- les canaux s'ouvrent à un potentiel assez proche du potentiel de repos (- 60 mV)
- l'ouverture des canaux dure 1 000 fois plus que normalement, l'inactivation des canaux étant très ralentie.

La surface du sarcolème présente des **invaginations ou tubules transverses**, qui jouent un rôle fondamental dans le **couplage excitation** (potentiel d'action musculaire - mécanisme membranaire) - **contraction** (mécanisme cytoplasmique).

[SUITE]



Santé

Médecine

Education

Neurologie

Physiologie

Pathologies



ANIMATIONS FLASH



LE SYSTÈME NERVEUX



LES SYSTÈMES SENSORIELS



PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

- Les modalités sensorielles
- Codage de l'information
- Intégration de l'information



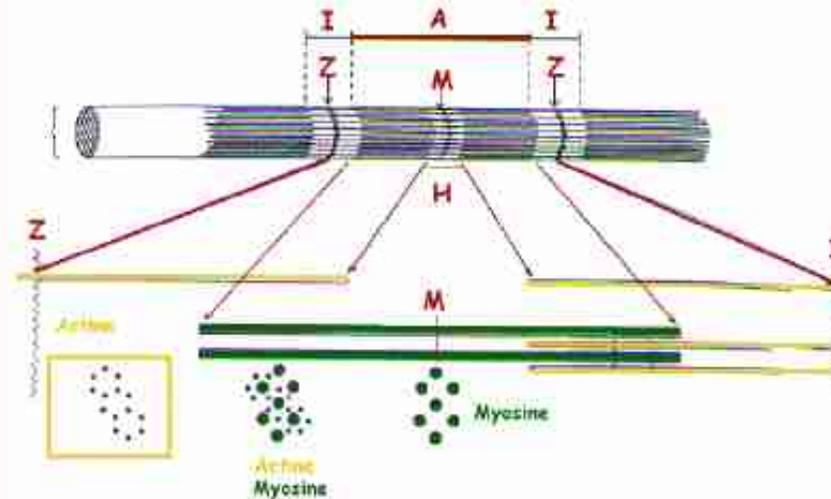
LA SOMESTHÉSIE

- La sensibilité mécanique cutanée
- La sensibilité mécanique musculaire et articulaire
- La sensibilité thermique
- La sensibilité douloureuse

LE SARCOPLASME CONTIENT LE MATÉRIEL CONTRACTILE DE LA FIBRE MUSCULAIRE

LE SARCOMÈRE : UNITÉ DE CONTRACTION ÉLÉMENTAIRE

Le **muscle squelettique** est dit "strié" en raison de son aspect au microscope optique. Une bande sombre (bande A : anisotrope) alterne avec une bande plus claire (bande I : isotrope). Chaque bande I est elle-même coupée transversalement par une ligne étroite et sombre : la strie Z. Une zone plus claire, la bande H, partage la bande A en son milieu. Cette striation est due à la présence de filaments contractiles d'actine et de myosine, disposés longitudinalement.



Le **sarcomère** (longueur au repos = 3  $\mu\text{m}$ ), segment de myofibrille compris entre deux stries Z successives, est l'**unité de contraction élémentaire**. Il contient des **filaments fins d'actine** et des **filaments épais de myosine**. La bande H ne contient que des filaments épais de myosine; les parties terminales de la bande A contiennent à la fois des filaments épais de myosine et des filaments fins d'actine; la bande I ne contient que des filaments fins d'actine.

- Organisation segmentaire et supraspinale
- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Energétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

- Les organes des sens
- L'audition
- Neuroanatomie
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE



## LE SOMMEIL

### Les filaments fins d'actine

Les filaments d'actine sont attachés par une de leurs extrémités à la strie Z et se prolongent parallèlement à l'axe de la myofibrille jusqu'à la partie médiane du sarcomère, le long de la bande I puis dans la bande A. Ils sont constitués de **deux chaînes (actine F)**, enroulées en **double hélice**, d'une **protéine globulaire** : l'**actine G** et de **deux autres protéines** : la **tropomyosine**, qui s'étend dans la gouttière de l'hélice d'actine, et la **troponine (TN)**, qui se fixe de place en place sur la tropomyosine (environ toutes les 8 molécules d'actine).

- La **tropomyosine bloque les sites de liaison de l'actine et de la myosine.**
- La **troponine est responsable de la régulation cytoplasmique de la contraction musculaire.** Elle est constituée de 3 peptides :
  - la troponine T (TN-T) responsable de la fixation de la troponine sur la tropomyosine;
  - la troponine I (TN-I) inhibant l'activité ATPasique (énergie cellulaire) de la tête de myosine;
  - la troponine C (TN-C) avec son site spécifique liant le calcium (Ca<sup>2+</sup>). Lorsque la TN-C est saturée en Ca<sup>2+</sup>, l'effet inhibiteur de la TN-I est levé.

### Les filaments épais de myosine

Chaque filament épais de myosine se compose d'environ 150 à 360 molécules de myosine, assemblées à la manière d'une torsade. Chaque molécule de myosine possède une partie céphalique (tête de myosine), scindée en deux, siège de l'activité ATPasique. Cette partie céphalique (tête de myosine) s'articule avec une partie cervicale, la partie céphalique et la partie cervicale constituant la **méromyosine lourde**. Cette méromyosine lourde est réunie à une partie caudale : la **méromyosine légère**. **La mobilité de la partie cervico-céphalique** (méromyosine lourde), à la manière d'une articulation, **permet la fixation réversible de la myosine avec l'actine** (formation du complexe actine-myosine) et le **glissement des filaments d'actine et de myosine les uns sur les autres.**



## LES MÉCANISMES CELLULAIRES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Pendant la **contraction ou la relaxation musculaire**, la longueur des filaments d'actine et de myosine reste constante. En revanche, **la longueur des sarcomères varie du fait du glissement des filaments fins d'actine dans le réseau des filaments épais de myosine** : la longueur de la bande A (longueur des filaments de myosine) reste inchangée, tandis que les bandes H et I ont des longueurs variables. Une cascade d'événements très complexes survient entre le moment où le **sarcolème - parcouru par un potentiel d'action musculaire** - est dépolarisé et le raccourcissement du sarcomère.

1. Le potentiel d'action (dépolarisation membranaire), en se propageant le long des tubules transverses du sarcolème, parvient à proximité des citernes terminales des tubules longitudinaux du réticulum endoplasmique (triade). Cette dépolarisation (par une cascade d'événements) permet l'ouverture des canaux Ca<sup>2+</sup> contenus dans la membrane des tubules longitudinaux du réticulum endoplasmique. L'ouverture de ces canaux permet le **rechargement du Ca<sup>2+</sup> (7) contenu dans le réticulum endoplasmique dans le sarcoplasme de la fibre musculaire.** La concentration intracellulaire en Ca<sup>2+</sup> ([Ca<sup>2+</sup>]<sub>i</sub>) passe de 0,01 µm/l au repos à 10 µm/l (x 1 000).
2. Le Ca<sup>2+</sup> intracellulaire se fixe sur le site spécifique de la troponine C (TN-C). Cette fixation modifie la conformation de la molécule de tropomyosine, qui glisse alors dans la profondeur de la gouttière de la chaîne hélicoïdale d'actine, libérant ainsi les sites de fixation



## SOMMAIRE

spécifiques de la myosine présents sur la molécule d'actine. Les têtes globulaires de myosine se fixent alors sur les sites spécifiques de l'actine. Dans le même temps, la fixation du  $\text{Ca}^{2+}$  sur la TN-C permet la levée de l'inhibition exercée par la troponine I (TN-I) sur l'activité ATPasique de la tête de myosine. Cette activité ATPasique permet la scission (hydrolyse)  $\text{Mg}^{2+}$  dépendante de l'ATP en ADP et Pi (phosphate inorganique), scission productrice d'énergie. Tout ceci aboutit à la **formation d'un complexe Actine-Myosine-ADP-Pi (A-M-ADP-Pi)** (1).

3. Le Pi (2), dans un premier temps, puis l'ADP (3), dans un second temps, se détachent de ce complexe, ce qui permet une **modification de l'angle formé par les têtes de myosine fixées à l'actine** ( $90^\circ \Rightarrow 50^\circ \Rightarrow 45^\circ$ ), et donc un **glissement des filaments d'actine sur les filaments de myosine**. La traction au niveau des deux extrémités d'un filament épais de myosine s'effectue en sens opposé : un seul cycle de glissement raccourcit le sarcomère de  $2 \times 8 \text{ nm}$  (1%).
4. Le complexe actine-myosine (A-M) reste stable ("complexe de rigidité") et **seule la présence d'une nouvelle molécule d'ATP (4) permet la rupture de la liaison entre l'actine et la myosine (5), le redressement des têtes de myosine** ( $45^\circ \Rightarrow 90^\circ$ ) (5) et la **formation d'un nouveau complexe myosine-ATP (5)**. Si la  $[\text{Ca}^{2+}]$  est suffisamment élevée, le cycle se reproduit (1). Au cours d'une même contraction, le cycle se reproduit plusieurs fois, **en fonction de la fréquence des potentiels d'action émis par le motoneurone alpha**. Plus le nombre de cycles est grand, plus le raccourcissement est important : une secousse musculaire peut entraîner jusqu'à 50% de raccourcissement du muscle.
5. **Le mécanisme prend fin quand** la  $[\text{Ca}^{2+}]$  est inférieure à  $1 \mu\text{mol/l}$  (concentration de repos) et que **les sites calciques de la TN-C sont libres** (6). Les canaux calciques du réticulum endoplasmique se ferment (absence de potentiel d'action musculaire) et **le calcium cytoplasmique est transporté activement vers les citernes réticulaires**.

[SUITE]

[Santé](#)[Médecine](#)[Education](#)[Neurologie](#)[Physiologie](#)[Pathologies](#)

### ANIMATIONS FLASH



### LE SYSTÈME NERVEUX



### LES SYSTÈMES SENSORIELS



### PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

- Les modalités sensorielles
- Codage de l'information
- Intégration de l'information



### LA SOMESTHÉSIE

- La sensibilité mécanique cutanée
- La sensibilité mécanique musculaire et articulaire
- La sensibilité thermique
- La sensibilité douloureuse

## TOUS LES MÉCANISMES CELLULAIRES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE NÉCESSITENT DE L'ATP

L'énergie mécanique de la contraction musculaire provient directement de l'énergie chimique (ATP). Pendant l'activité musculaire, **la régénération de l'ATP se fait suivant 3 voies** : par interaction de l'ADP avec la créatine phosphate (1), par respiration cellulaire anaérobie (2) et par respiration cellulaire aérobie (3).

### 1. Réaction couplée de l'ADP avec la créatine phosphate

Au début d'une activité musculaire, l'ATP emmagasiné dans les muscles actifs est consommé en 6 secondes environ. Un système de production rapide d'ATP se met en place, en attendant que les voies métaboliques s'adaptent à la demande accrue d'ATP. L'ADP se couple alors à la **créatine phosphate** (créatine kinase), composé à haute énergie emmagasiné dans les muscles. Il en résulte un transfert presque instantané d'énergie et la formation d'une molécule d'ATP. Une puissance musculaire maximale peut ainsi être maintenue pendant 10 à 15 secondes (sprint sur 100 m).

### 2. Respiration cellulaire anaérobie : la glycolyse

Pour des exercices musculaires de plus longue durée, le **glycogène musculaire** doit être dégradé. Les réserves de glycogène du muscle sont transformées en acide lactique via le glucose-6-phosphate, avec production de **3 molécules d'ATP par molécule de sucre (faible rendement énergétique)**. La glycolyse anaérobie commence plus tardivement que la dégradation de la créatine phosphate (au maximum après 30 secondes) et **produit de l'ATP 2,5 fois plus vite que la voie aérobie**. Ainsi, lorsqu'il faut de grandes quantités d'ATP pendant de courtes périodes d'activité musculaire soutenue (30-40 secondes), la voie anaérobie en fournit une grande partie. Ensemble, les réserves d'ATP et de créatine phosphate et le système glycolyse-acide lactique peuvent entretenir une activité musculaire pendant presque une minute.

- Organisation segmentaire et supraspinale
- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Energétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

- Les organes des sens
- L'audition
- Neuroanatomie
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE



## LE SOMMEIL

### 3. Respiration cellulaire aérobie : la phosphorylation oxydative du glucose et des acides gras

Pour que l'effort soit maintenu, il faut absolument qu'il y est **hydrolyse aérobie du glucose et des acides gras**. Lors des contractions lentes ou au repos, la plus grande partie de l'approvisionnement en ATP est assurée par la respiration cellulaire aérobie, qui utilise l'énergie fournie par la dégradation des acides gras. Lorsque les muscles se contractent de façon plus soutenue, c'est le glucose qui devient la principale source d'énergie. La respiration cellulaire aérobie se déroule dans les **mitochondries**; elle nécessite la présence d'**oxygène** et fait intervenir une suite de réactions complexes (cycle de Krebs - chaî ne respiratoire de transport d'électrons) appelée phosphorylation oxydative. Dans la chaî ne respiratoire, les atomes d'hydrogène enlevés au cours de la dégradation des combustibles finissent par être combinés avec l'oxygène moléculaire, et l'énergie libérée est utilisée pour lier les groupements phosphate inorganique (Pi) à l'ADP.

Globalement, l'oxydation complète d'une molécule de glucose en CO<sub>2</sub> et en eau fournit **36-38 molécules d'ATP** (rendement énergétique élevé).

[SUITE]



Santé Médecine Education Neurologie Physiologie Pathologies



ANIMATIONS FLASH



LE SYSTÈME NERVEUX



LES SYSTÈMES SENSORIELS



PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

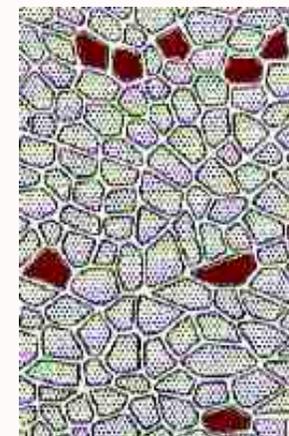
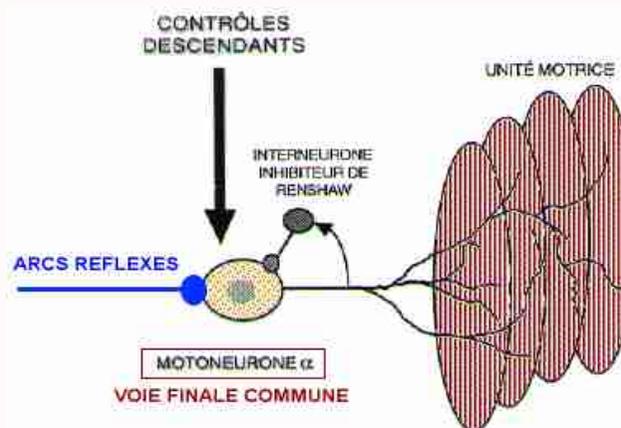
- Les modalités sensorielles
- Codage de l'information
- Intégration de l'information



LA SOMESTHÉSIE

- La sensibilité mécanique cutanée
- La sensibilité mécanique musculaire et articulaire
- La sensibilité thermique
- La sensibilité douloureuse

L'UNITÉ MOTRICE : LE PLUS PETIT ÉLÉMENT CONTRACTILE MIS EN JEU PAR LE SYSTÈME NERVEUX



Iconographie personnelle - Dr. D. Rose

Les motoneurons alpha (diamètres des axones compris entre 10  $\mu\text{m}$  et 17  $\mu\text{m}$ ) innervent les fibres musculaires squelettiques. À leur arrivée dans le muscle, leurs axones se ramifient pour établir des contacts synaptiques (plaques motrices) avec plusieurs fibres musculaires. En revanche, une fibre musculaire n'est innervée que par un seul motoneurone. L'ensemble constitué par un motoneurone alpha, son axone et les fibres musculaires qu'il innerve constitue une unité motrice. L'unité motrice est le plus petit élément contractile que le système nerveux peut mettre en jeu.

Les motoneurons alpha sont localisés dans la corne antérieure grise de la moelle épinière (musculature du tronc et des membres) ou dans les noyaux moteurs des nerfs crâniens du tronc cérébral (musculature du cou et de la tête). Leurs axones moteurs myélinisés quittent la moelle épinière par la racine ventrale. Avant de quitter la moelle, ces axones se ramifient et donnent une collatérale, qui retourne dans la substance grise pour établir des contacts synaptiques excitateurs avec un interneurone inhibiteur : la cellule de Renshaw (inhibition récurrente des motoneurons). Cette cellule rend, temporairement, les motoneurons inexcitables et limite ainsi la fréquence maximale de leur décharge. Les différents arcs réflexes comme les contrôles moteurs descendants intervenant dans le contrôle des actes moteurs (cf. Contrôle du mouvement) s'expriment, de fait, par une seule voie finale commune : les motoneurons (Sherrington, 1906).

Toutes les fibres musculaires appartenant à une même unité motrice sont dispersées dans le muscle - le plus souvent même isolées. La figure

- Organisation segmentaire et supraspinale
- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Energétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

- Les organes des sens
- L'audition
- Neuroanatomie
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE



## LE SOMMEIL

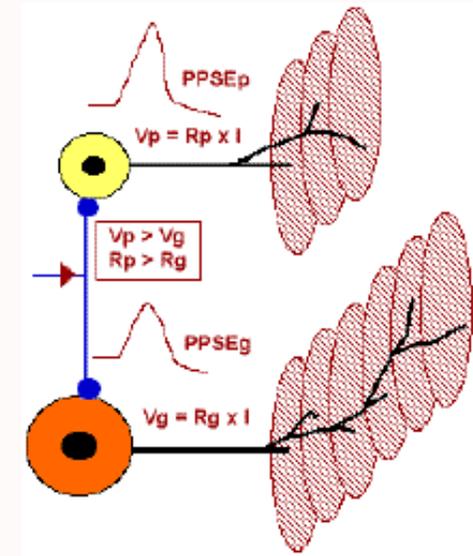
ci-dessus montre la répartition, sur une coupe de muscle, des fibres musculaires (en rouge) innervées par une même unité motrice. Cette disposition au sein du muscle a une grande importance fonctionnelle. En effet, **la contraction musculaire tire son énergie de l'ATP** et donc, de la combustion du glucose en présence d'oxygène - lequel est amené aux fibres musculaires par les minuscules capillaires circulant entre elles. Or, lorsque qu'un motoneurone émet ses potentiels d'action, toutes les fibres musculaires qu'il innerve se contractent en même temps - se raccourcissent et s'élargissent. Ainsi, si toutes les fibres musculaires d'une même unité motrice étaient regroupées au même endroit, les capillaires entourant ces fibres seraient comprimés - ce qui empêcherait l'apport en oxygène et entraînerait rapidement une diminution rapide des réserves énergétiques du muscle et donc, une diminution importante de la résistance à la fatigue de l'unité motrice.

Plus grande est la taille d'un motoneurone, plus grand est le diamètre de son axone et plus grand est le nombre de fibres musculaires qu'il innerve. Il existe ainsi des unités motrices de différentes tailles.

La taille des unités motrices est proportionnelle à la précision du mouvement lié au muscle envisagé : les muscles du globe oculaire contrôlant des mouvements très fins de l'oeil sont composés de très petites unités motrices (3 à 4 fibres musculaires pour un motoneurone) - les unités motrices du biceps brachial, contrôlant des mouvements puissants et relativement moins précis, comprennent une centaine de fibres musculaires pour un motoneurone - celle du quadriceps près de 2 000.

Par ailleurs, les petits motoneurones ont une grande résistance d'entrée ( $R_p$ ) - les grands motoneurones ont une faible résistance d'entrée ( $R_g$ ). Ainsi, l'amplitude du potentiel post-synaptique excitateur (PPSE) déclenchée par un seul bouton synaptique est plus grande au niveau d'un petit motoneurone (PPSE<sub>p</sub>) qu'au niveau d'un grand motoneurone (PPSE<sub>g</sub>). Ainsi, l'efficacité d'un bouton synaptique excitateur est plus grande au niveau d'un petit motoneurone qu'au niveau d'un grand motoneurone.

Et donc, **un même influx synaptique recrute les petits motoneurones avant les grands.**



Iconographie personnelle - Dr. D. Rose

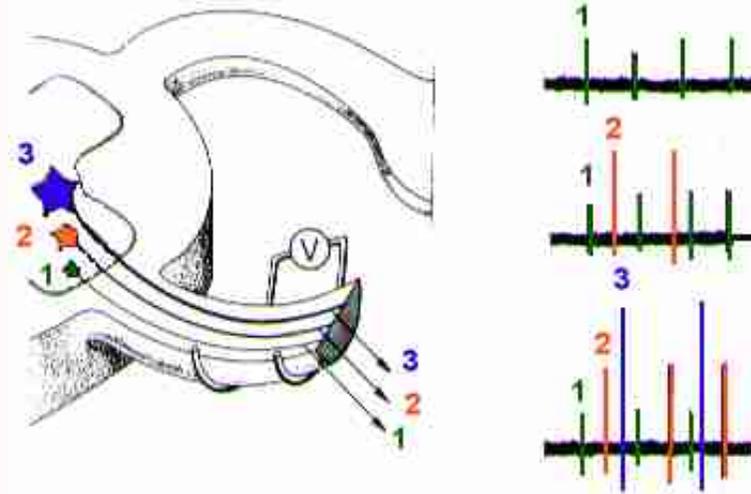
Ainsi, au cours d'une activité motrice de plus en plus puissante, les motoneurones sont recrutés suivant l'ordre de leur taille : **les petits motoneurones (1) sont toujours recrutés avant les grands (3).**

Il n'est pas possible d'activer un grand motoneurone si l'on n'a pas activé, au préalable, tous les petits motoneurones.

Ce principe - réglant l'ordre d'activation des motoneurones en fonction de leur taille - est connu sous le nom de **principe de la taille de Henneman**.



## SOMMAIRE



La figure de droite montre les potentiels d'action recueillis au niveau de la racine ventrale lors d'étirements de plus en plus importants du muscle (du haut vers le bas). Les potentiels d'action 1, 2 et 3 correspondent aux potentiels d'action des axones 1, 2 et 3 de la racine ventrale. Le petit axone (1) et donc, le petit motoneurone (1) est recruté avant le moyen (2) lui-même recruté avant le plus grand (3).

[SUITE]



## ANIMATIONS FLASH



## LE SYSTÈME NERVEUX



## LES SYSTÈMES SENSORIELS



## PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

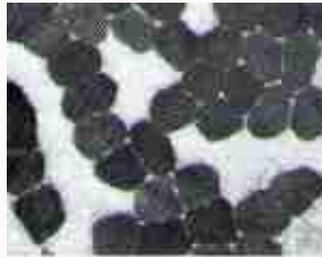
- Les modalités sensorielles
- Codage de l'information
- Intégration de l'information



## LA SOMESTHÉSIE

- La sensibilité mécanique cutanée
- La sensibilité mécanique musculaire et articulaire
- La sensibilité thermique
- La sensibilité douloureuse

## IL EXISTE PLUSIEURS TYPES D'UNITÉS MOTRICES



Les muscles squelettiques sont formés de fibres musculaires de deux types différents : les fibres de type I et les fibres de type II. La photo ci-contre montre une coupe transversale de muscle après coloration permettant de mettre en évidence l'ATPase myofibrillaire - dont l'activité est élevée dans les fibres de type II. Les fibres de type II apparaissent en noir - les fibres de type I dont l'activité ATPasique est faible ne sont pas colorées et apparaissent en blanc. **Les fibres musculaires innervées par un même motoneurone sont toutes du même type.** On peut ainsi parler d'unités motrices de type I et d'unités motrices de type II, qui diffèrent par leurs propriétés structurales et fonctionnelles.

PROPRIÉTÉS DES DEUX TYPES D'UNITÉS	UNITÉ DE TYPE I Petite Unité Lente	UNITÉ DE TYPE II Grande Unité Rapide
ATPase myofibrillaire	activité faible	activité élevée
Enzymes oxydatifs	activité élevée	activité faible
Capillaires	très nombreux	très peu nombreux
Myoglobine	++++	+
Mitochondries	++++	+
Glycogène	+	++++

- Organisation segmentaire et supraspinale

- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Energétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

- Les organes des sens
- L'audition
- Neuroanatomie
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE



## LE SOMMEIL

Temps de contraction	long (> 75 msec)	court (< 50 msec)
Tension tétanique maximale	faible : petite unité	élevée : grande unité
Sensibilité à la fatigue	très résistante (> 60 min)	très fatigable (2 - 3 min)
Motoneurone	petit motoneurone	grand motoneurone
Axone	petit diamètre	grand diamètre
Vitesse de conduction	lente	rapide
<b>MUSCLES</b>	<b>AXIAUX</b>  (tronc - cou)	<b>DISTAUX</b>  (doigts ..)
<b>MOTRICITÉ</b>	<b>STATIQUE</b>  <b>POSTURALE</b>	<b>CINÉTIQUE</b>  <b>MOUVEMENTS RAPIDES</b>
	<p><b>Pour se contracter longtemps</b>, sans fatigue, l'unité motrice doit pouvoir reconstituer facilement l'énergie sous forme d'ATP. L'environnement doit donc être riche en oxygène (nombreux capillaires) - les enzymes oxydatifs doivent être nombreux.</p> <p><b>Aux faibles efforts de contraction</b>, seules les unités de type I sont mises en jeu. Les capillaires intramusculaires ne sont pas collabés. Le système peut fonctionner en <b>aérobie</b>. Un tel type d'effort peut et doit souvent être maintenu longtemps. Il doit être réalisé par des unités très résistances à la fatigue.</p>	<p><b>Pour se contracter vite</b>, avec force, les fibres contractiles doivent disposer de beaucoup d'énergie - libérée par l'hydrolyse de l'ATP (activité ATPasique élevée) - l'action enzymatique étant le facteur déterminant de la vitesse de la contraction musculaire.</p> <p><b>Les contractions fortes</b> ne peuvent pas être maintenues longtemps (unités très fatigables). Les capillaires sont collabés. Le système ne peut fonctionner qu'en <b>anaérobie</b> (peu de capillaires - peu d'enzymes oxydatifs).</p>



## SOMMAIRE

Les petites unités motrices (petits motoneurones - fibres lentes oxydatives, résistantes à la fatigue) recrutées pour des niveaux d'excitation synaptique faible, ont une activité tonique quasi permanente (motricité statique posturale).

À l'opposé, le recrutement des grandes unités motrices n'intervient que quand la volée excitatrice est importante : ces unités motrices ont une activité phasique, liée à des mouvements rapides de grande amplitude (motricité cinétique).



Santé Médecine Education Neurologie Physiologie Pathologies



ANIMATIONS FLASH



LE SYSTÈME NERVEUX



LES SYSTÈMES SENSORIELS



PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

- Les modalités sensorielles
- Codage de l'information
- Intégration de l'information



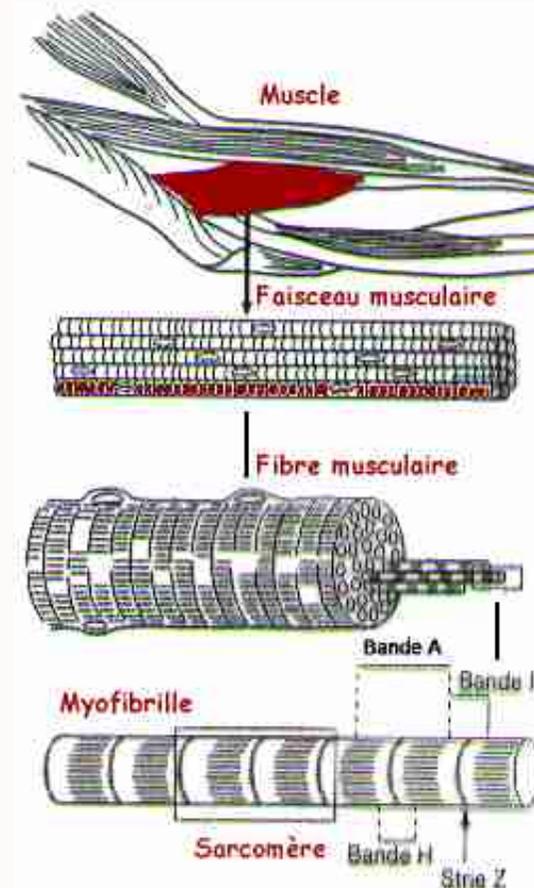
LA SOMESTHÉSIE

- La sensibilité mécanique cutanée
- La sensibilité mécanique musculaire et articulaire
- La sensibilité thermique
- La sensibilité douloureuse
- Organisation segmentaire et supraspinale

LE MUSCLE, ORGANE EFFECTEUR DE LA MOTRICITÉ

LE SARCOMÈRE, UNITÉ DE CONTRACTION ÉLÉMENTAIRE

## ANATOMIE DE LA FIBRE MUSCULAIRE STRIÉE



- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Energétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

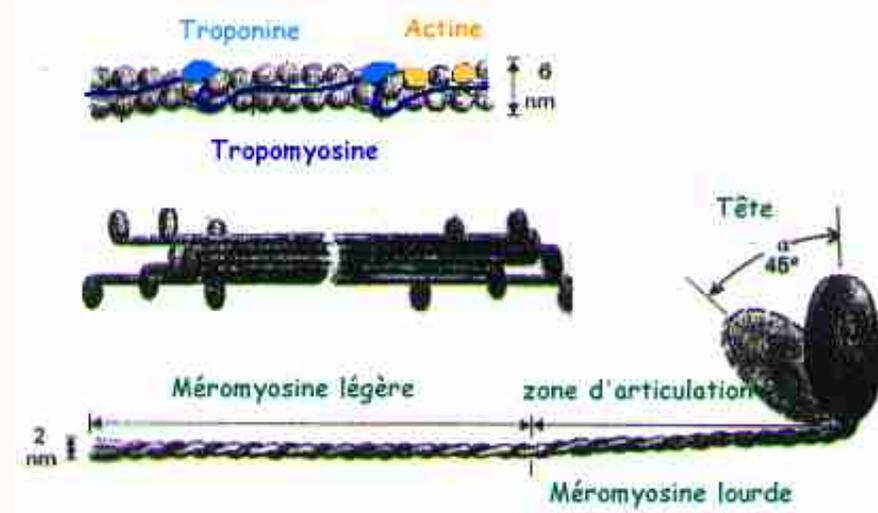
- Les organes des sens [Wikipédia](#)
- L'audition [Wikipédia](#)
- Neuroanatomie [Wikipédia](#)
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE



## LE SOMMEIL



<http://www.ijerph.com/abstract.php?paperid=1000>

*Médecine-Sciences Flammarion - 1995 - 366 p. Nerf et Muscle p. 35*



Santé

Médecine

Education

Neurologie

Physiologie

Pathologies



ANIMATIONS FLASH



LE SYSTÈME NERVEUX



LES SYSTÈMES SENSORIELS



PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

- Les modalités sensorielles
- Codage de l'information
- Intégration de l'information



LA SOMESTHÉSIE

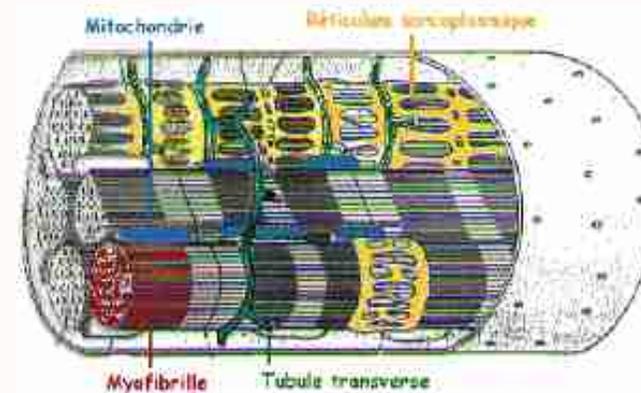
- La sensibilité mécanique cutanée
- La sensibilité mécanique musculaire et articulaire
- La sensibilité thermique
- La sensibilité douloureuse

LE MUSCLE, ORGANE EFFECTEUR DE LA MOTRICITÉ

LE SARCOMÈRE, UNITÉ DE CONTRACTION ÉLÉMENTAIRE

MÉCANISMES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

1. LA PLAQUE MOTRICE - LE POTENTIEL D'ACTION MUSCULAIRE



- Organisation segmentaire et supraspinale
- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Énergétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

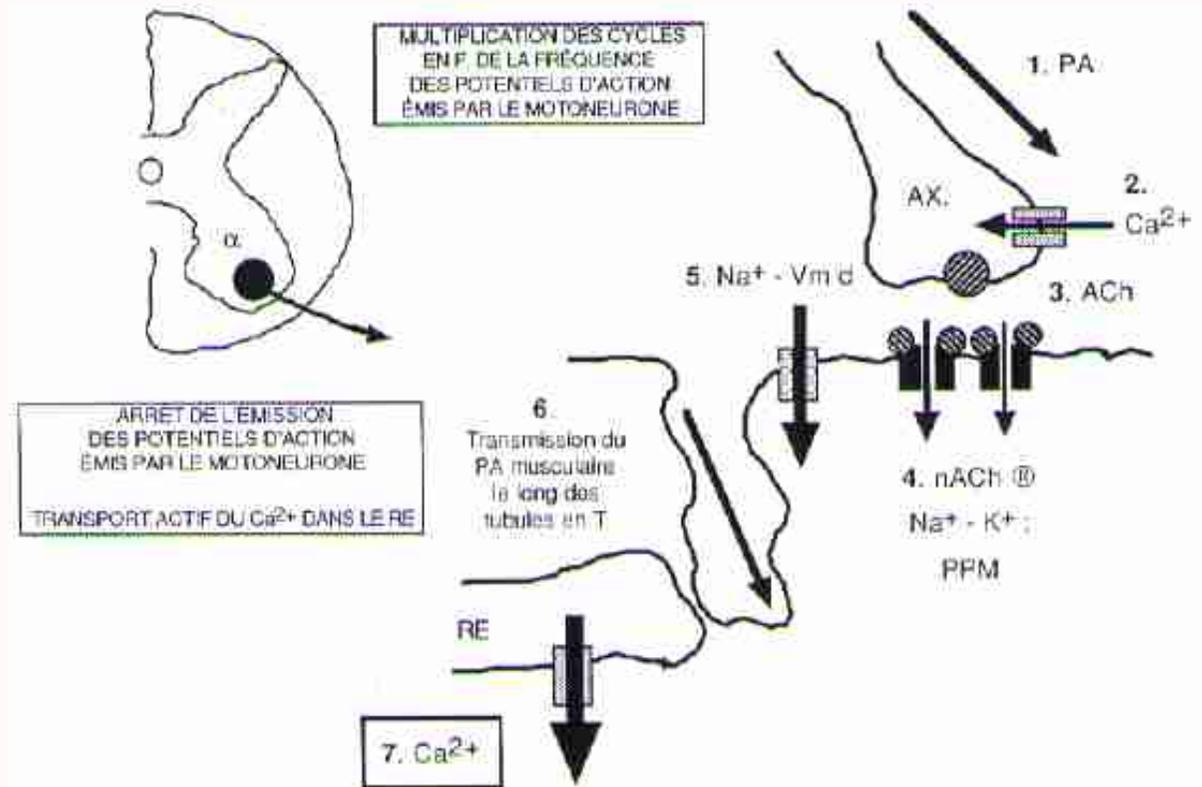
- Les organes des sens
- L'audition
- Neuroanatomie
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE



## LE SOMMEIL



La **plaque motrice** est électriquement inexcitable car elle ne contient pas de protéines canal sensibles aux variations du potentiel de membrane ( $V_m$ ). Elle contient, par contre, des canaux ioniques (4 : canaux cationiques  $Na^+$  et  $K^+$ ), dont l'ouverture dépend de la fixation d'acétylcholine (3 : ACh), libérée par les terminaisons nerveuses de l'axone moteur, sur des sites récepteurs spécifiques (4 :  $\otimes$  nACh : récepteurs nicotiniques à l'acétylcholine), situés dans les replis postsynaptiques de la membrane musculaire. L'arrivée des potentiels d'action du motoneurone (1) déclenche, au niveau de la terminaison nerveuse présynaptique, l'apparition d'un courant entrant de  $Ca^{2+}$  (2), qui provoque la libération synchrone d'une centaine de vésicules (quants) d'ACh. On enregistre alors, au niveau de la jonction neuromusculaire, un courant ou **potentiel de plaque motrice** (4 - PPM, pour un  $V_m$  de  $-80$  mV = 400 nA) soit une dépolarisation lente de la membrane musculaire, dépolarisation qui reste locale et excite la partie voisine du sarcolème, dont les propriétés sont fondamentalement différentes : la membrane conductrice.

La **membrane conductrice** (sarcolème) est électriquement excitable; elle contient des protéines canal dont la probabilité d'ouverture est réglée par la différence de potentiel transmembranaire (5). Ce n'est que lorsque le potentiel de plaque motrice est suffisant, qu'est induit, par la membrane conductrice, un **potentiel d'action musculaire**.

Les **tubules transverses** du sarcolème pénètrent dans la profondeur du cytoplasme où ils conduisent le potentiel d'action musculaire (6). Là, ils s'accrochent aux sarcotubules du réticulum endoplasmique, élargis en citernes terminales, pour constituer une triade (un tubule transverse et deux citernes). L'arrivée du potentiel d'action musculaire et donc, la dépolarisation membranaire arrivant dans la profondeur du cytoplasme permet le relargage du  $Ca^{2+}$  contenue dans le réticulum endoplasmique (RE) dans le sarcoplasme de la fibre musculaire (7). Ce calcium va pouvoir se fixer sur les protéines régulatrices de la contraction musculaire (troponine) formant les myofibrilles.



Santé

Médecine

Education

Neurologie

Physiologie

Pathologies



ANIMATIONS FLASH



LE SYSTÈME NERVEUX



LES SYSTÈMES SENSORIELS



PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

- Les modalités sensorielles
- Codage de l'information
- Intégration de l'information



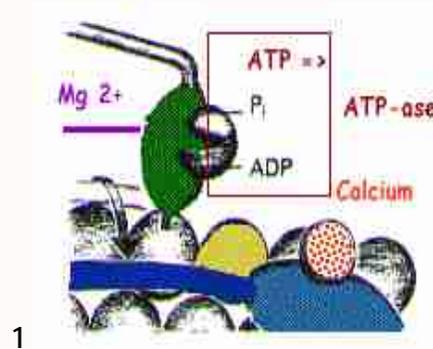
LA SOMESTHÉSIE

- La sensibilité mécanique cutanée
- La sensibilité mécanique musculaire et articulaire
- La sensibilité thermique
- La sensibilité douloureuse

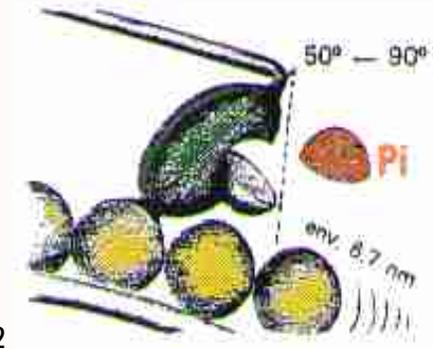
## MÉCANISMES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

### 1. LA PLAQUE MOTRICE - LE POTENTIEL D'ACTION MUSCULAIRE

### 2. MÉCANISMES MOLÉCULAIRES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE [ TEXTE ]



- 1
- Formation d'un complexe Actine-Myosine-ADP-Pi (A-M-ADP-Pi)



- 2
- Libération du phosphate inorganique (Pi) entraînant une libération d'énergie permettant la rotation de la tête de myosine de 90° à 50°.

- Organisation segmentaire et supraspinale
- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Energétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

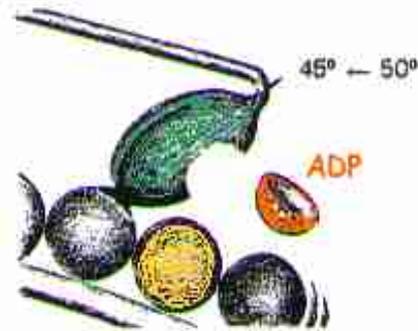
- Les organes des sens
- L'audition
- Neuroanatomie
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE

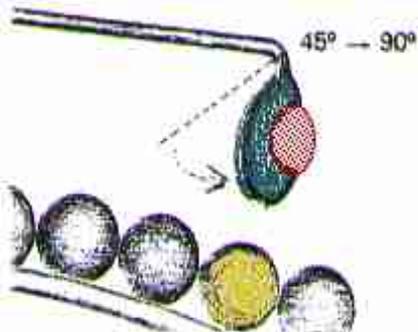


## LE SOMMEIL



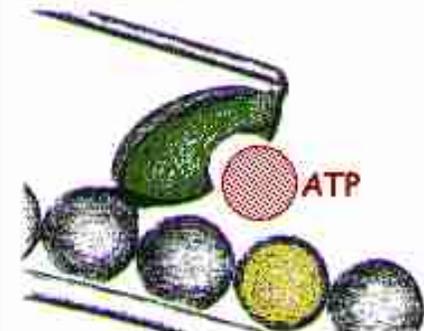
3

- Libération de l'ADP entraînant une libération d'énergie permettant la rotation de la tête de myosine de 50° à 45°.



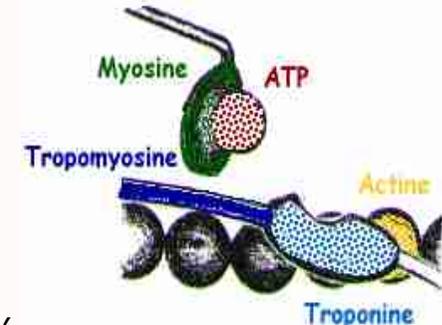
5

- En présence d'ATP - rupture du complexe actine-myosine / redressement de la tête de myosine (45° à 90°) / formation d'un nouveau complexe myosine-ATP.



4

- La présence d'une molécule d'ATP est nécessaire à la rupture de la liaison entre l'actine et la myosine. En l'absence d'ATP (mort cellulaire), c'est la rigidité cadavérique.

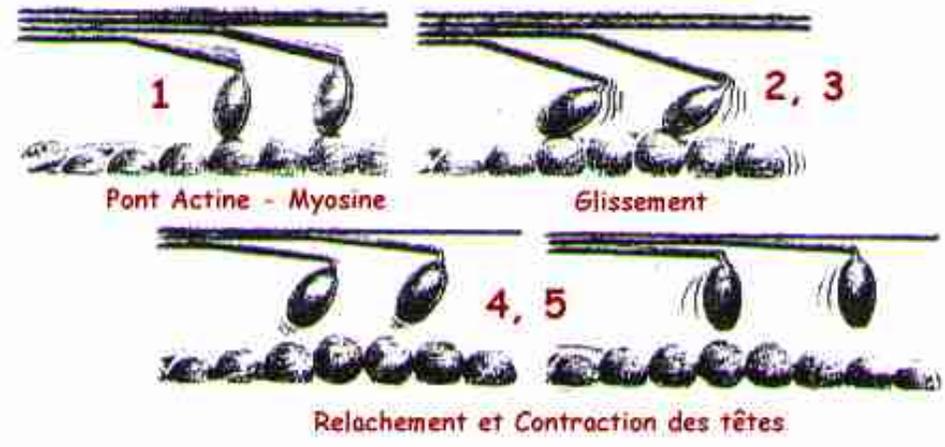


6

- Situation de repos : le calcium n'est plus disponible (absence de potentiel d'action musculaire) - étant transporté activement (nécessité d'ATP) dans le réticulum endoplasmique (RE).



## SOMMAIRE



Composé à partir de :

Atlas de Poche de Physiologie

S. Silbernagl et A. Despopoulos Médecine-Sciences Flammarion - 1995 - 366 p. Nerf et Muscle p. 39 et 37

- Le contrôle de la douleur



## LE MUSCLE

- Organe de la motricité somatique
- Mécanismes cellulaires de la contraction
- Energétique de la contraction
- L'unité motrice
- Plusieurs types d'unités motrices



## LIVRES



## SITES

- Les organes des sens
- L'audition
- Neuroanatomie
- Neurosciences for kids
- L'Université de tous les savoirs
- Le cerveau à tous les niveaux
- Neurobiology - G G Matthews



## NEUROPHYSIOLOGIE



## LE SOMMEIL

