

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Ferhat Abbas Sétif
Faculté de médecine
Département de médecine dentaire

Cours de physiologie
1ere année chirurgie dentaire

Dr Laouamri Okba
Maitre assistant en anesthésie réanimation

PHYSIOLOGIE MUSCULAIRE

Plan :

- I. Généralité :
- II. La fibre musculaire :
 1. *Structure*
 2. *Diversité*
 3. *Innervation*
- III. La contraction musculaire
 1. *Mécanismes moléculaires*
 2. *Mécanique de la contraction*
 3. *Le métabolisme musculaire*
 4. *Adaptation à l'exercice physique*

Le responsable du module

le chef de département

PHYSIOLOGIE MUSCULAIRE

I. Généralité :

Il y a trois types de muscles : le muscle squelettique, le muscle cardiaque et le muscle lisse.

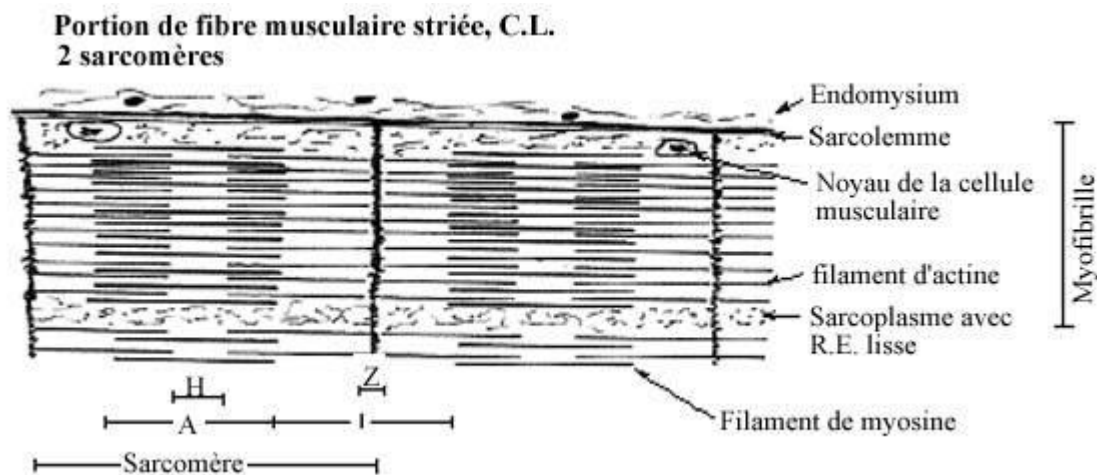
- Les **muscles squelettiques** sont fixés aux os par des tendons à chacune de leurs extrémités. Ils supportent et déplacent le squelette. Ils sont dépourvus d'automatisme de contraction et sont tributaires d'une innervation qui déclenche leur activité.
- Le **muscle cardiaque** est le muscle du cœur ou myocarde. Le muscle cardiaque manifeste un automatisme et une rythmicité de contraction. Comme les muscles squelettiques, le muscle cardiaque présente un aspect strié.
- Les **muscles lisses** constituent la tunique qui entoure les organes creux (utérus) et les tubes (vaisseaux et canaux sécréteurs). Ils possèdent un automatisme de contraction, mais sans rythmicité d'activité.

II. La fibre musculaire :

1. Structure

Les fibres musculaires sont des cellules de très grande taille, plurinucléées et dont le cytosquelette est extrêmement développé. Elles présentent un aspect strié de bandes claires et sombres en alternance, attribuable à la disposition des filaments fins et épais qui composent leur cytosquelette.

Les filaments sont allongés suivant l'axe longitudinal de la fibre musculaire. Ils sont regroupés au sein de myofibrilles qui constituent les unités d'organisation du cytosquelette dans la cellule musculaire squelettique. Au sein des myofibrilles, on distingue les filaments fins constitués d'actine et les filaments épais composés de myosine. Les filaments d'actine sont ancrés à des structures transversales appelées stries Z. Les stries Z délimitent des compartiments ou sarcomères, qui sont les unités d'organisation des myofibrilles. Les filaments de myosine sont répartis dans la région centrale du sarcomère et chevauchent partiellement l'extrémité libre des filaments d'actine au repos. Cette zone de superposition est appelée bande A. Elle est sombre comparativement aux bandes claires qui l'encadrent.



2. Diversité

Bien qu'organisées suivant le même plan, les fibres musculaires diffèrent entre elles par leur diamètre, le nombre des myofibrilles qu'elles contiennent, leur équipement mitochondrial, leur vascularisation, leurs propriétés métaboliques et de contraction. On distingue ainsi trois grands types de fibres :

- Les fibres de type I, ou oxydatives lentes, de petit diamètre et riches en mitochondries, bien vascularisées, à métabolisme respiratoire et à contraction de faible puissance mais de longue durée (peu fatigables).
- Les fibres de type IIA, ou oxydatives rapides, de diamètre intermédiaire, bien vascularisées, à métabolisme mixte, à contraction assez puissante et durable
- Les fibres de type IIB, ou glycolytiques rapides, de gros diamètre et pauvres en mitochondries, peu vascularisées, à métabolisme glycolytique et à contraction puissante (forte tension) mais courte (fatigables).

La plupart des muscles contiennent les trois types de fibres.

3. Innervation

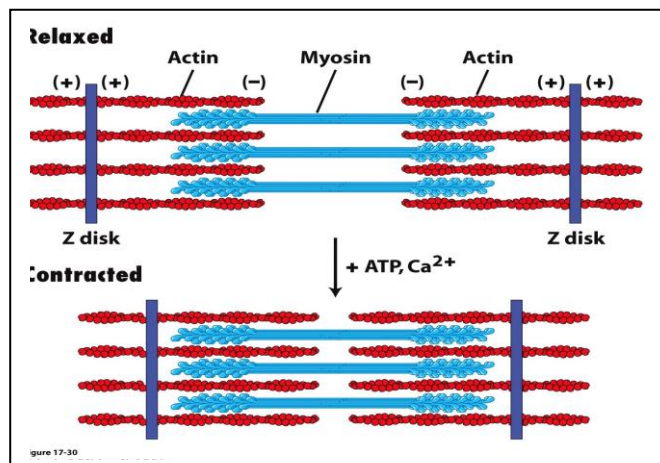
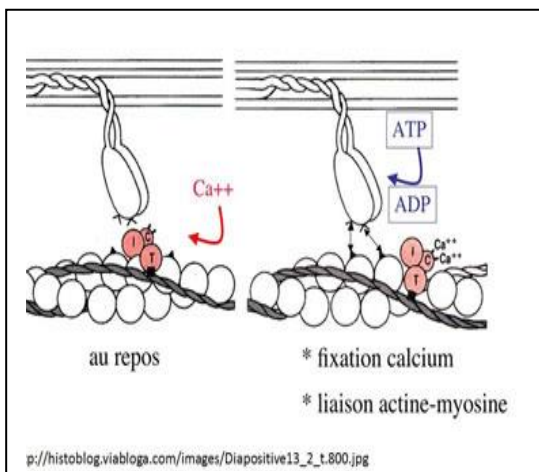
Chaque fibre musculaire est innervée par une branche d'un neurone moteur ou motoneurone. Ce motoneurone est unique pour une fibre musculaire. Les branches de l'axone d'un motoneurone établissent cependant des jonctions neuro-musculaires avec plusieurs fibres musculaires dans un muscle. Un motoneurone et les fibres musculaires qu'il innerve forment une unité motrice.

Les unités motrices des muscles qui produisent des mouvements délicats possèdent un petit nombre de fibres. En revanche, les muscles posturaux ont des unités motrices beaucoup plus importantes. Les unités motrices glycolytiques rapides présentent non seulement des fibres d'un diamètre plus gros, mais tendent aussi à posséder un plus grand nombre de fibres musculaires par unité motrice.

III. La contraction musculaire

1. Mécanismes moléculaires

• Quand une fibre musculaire squelettique se raccourcit de façon active, des ponts transversaux se créent entre la myosine et l'actine et leurs mouvements amènent les filaments fins d'actine vers le centre du sarcomère. Chaque molécule de myosine comporte une tête globulaire qui contient un site de liaison pour l'actine et un site enzymatique ATPasique qui permet l'hydrolyse de l'ATP (en ADP + Pi). Au cours de chaque cycle d'hydrolyse, les ponts transversaux opèrent un petit déplacement de glissement. La contraction résulte de la répétition très rapide de ce cycle.

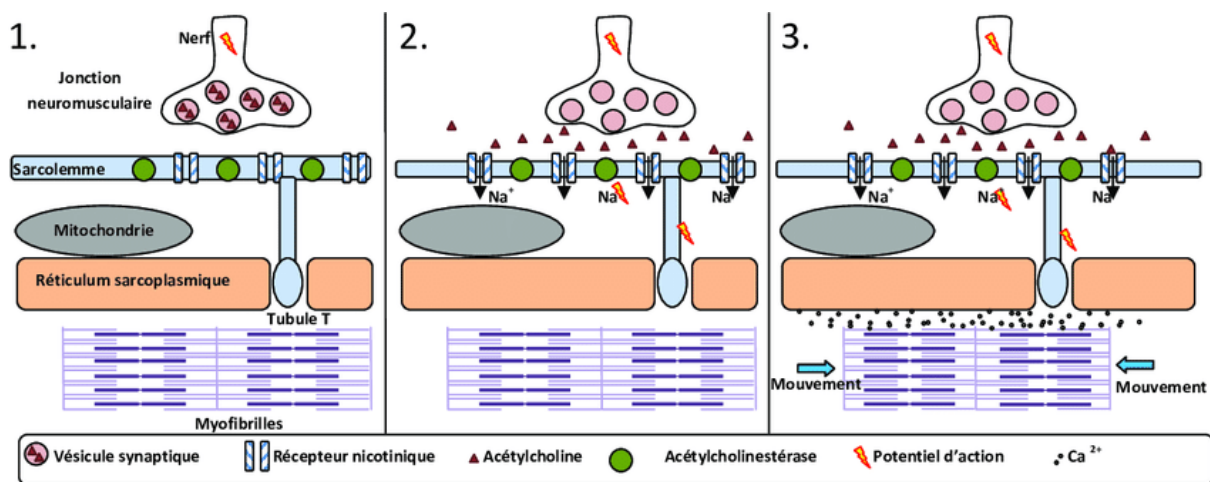


- Dans un muscle au repos, sur les molécules d'actine, les sites de fixation de la myosine sur l'actine sont masqués par des molécules de tropomyosine.

A la suite de la stimulation nerveuse, la concentration en calcium (Ca^{2+}) dans la fibre musculaire augmente, ce qui va provoquer la contraction. Le Ca^{2+} permet de déplacer la tropomyosine et donc le démasquage des sites de liaison sur l'actine. Les ponts transversaux peuvent alors se former entre myosine et filaments fins d'actine.

La relaxation des fibres musculaires après la contraction est liée au transport actif des ions Ca^{2+} du cytosol dans le réticulum sarcoplasmique.

- Dans la plaque motrice, au niveau de la synapse neuromusculaire, le motoneurone libère un neurotransmetteur appelé Acétylcholine. Ce neurotransmetteur se lie à ses récepteurs sur la membrane post synaptique, c'est à dire la membrane de la fibre musculaire. La conséquence est l'ouverture, dans cette membrane, de canaux ioniques permettant le passage de sodium (Na^+) et de potassium (K^+) et donc la dépolarisation de la membrane de la plaque motrice.



2. Mécanique de la contraction

- La contraction résulte de la mise en jeu de cycles de glissement des ponts transversaux qui raccourcissent chaque sarcomère. Le raccourcissement d'ensemble de la myofibrille se répercute sur la taille de la fibre musculaire, par les liens physiques qui existent entre chaque myofibrille et la membrane de la fibre musculaire.

Le raccourcissement de la fibre se répercute sur la matrice extracellulaire qui entoure les fibres et se prolonge par les tendons. C'est la tension cumulée dans ce tissu qui provoque la contraction du muscle dans son ensemble. La tension engendrée par la contraction du muscle entier dépend donc de la quantité de tension engendrée par chacune des fibres et du nombre des fibres actives dans le muscle.

- Les forces externes s'exerçant sur le muscle déterminent ensuite s'il y aura changement ou non dans la longueur de celui-ci. On distingue ainsi trois types de contractions :

- ✓ Une *contraction isométrique* se produit quand le muscle engendre une tension, mais ne change pas de longueur.
- ✓ Une *contraction isotonique* se produit quand le muscle se raccourcit et déplace une charge.

- ✓ Un *étirement passif* se produit quand la charge externe exercée sur le muscle est supérieure à la tension musculaire, ce qui provoque l'allongement du muscle au cours de la période d'activité contractile.
- La réponse mécanique (tension ou raccourcissement) d'une fibre musculaire augmente avec la fréquence des potentiels d'action reçus du motoneurone qui l'innerve. Le niveau de tension maximal est atteint par un plateau ou tension tétanique maximale. La tension tétanique isométrique maximale se produit quand le chevauchement des filaments fins et épais est maximal. L'augmentation de la tension musculaire s'effectue principalement par l'augmentation du nombre, ou recrutement des unités motrices actives dans le muscle.

Au cours des faibles contractions, les unités motrices oxydatives lentes sont les premières à être recrutées, puis les unités oxydatives rapides. Enfin, les unités motrices glycolytiques rapides sont recrutées au cours des contractions très puissantes.

3. Le métabolisme musculaire

- Dans toutes les cellules, le catabolisme des substrats énergétiques - glucides, lipides et protéines - transfère de l'énergie à l'ATP (adénosine triphosphate). L'hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi transfère l'énergie aux fonctions cellulaires telles que les transports actifs transmembranaires, les réactions de synthèse moléculaire de l'anabolisme, le travail mécanique et les mouvements cellulaires.
- **L'ATP est formée par deux types de réactions :**
 - la phosphorylation directe au niveau du substrat énergétique, réaction au cours de laquelle un radical phosphoryl (Pi) est transféré directement d'un métabolite phosphorylé à l'ADP pour former l'ATP. C'est le type des réactions de la glycolyse anaérobie qui s'opère dans le cytosol.
 - la phosphorylation oxydative (ou respiration cellulaire) qui exploite les produits de la glycolyse et s'opère dans les mitochondries en présence d'oxygène.
- Les produits terminaux de la glycolyse sont :
 - l'ATP et le pyruvate dans les conditions aérobies
 - l'ATP et le lactate en condition anaérobie.
- Les glucides sont les seules molécules de substrat énergétique (à la différence des acides aminés et acides gras) qui peuvent entrer dans la voie de la glycolyse.
- Les fibres musculaires forment l'ATP grâce à trois filières énergétiques :
 - soit par le transfert du radical phosphoryl de la phosphocréatine à l'ADP (ADP + phosphocréatine --> ATP + créatine). Cette réaction est permise grâce à la présence d'une enzyme spécifique au muscle, la phosphocréatine kinase. C'est la filière anaérobie de la créatine phosphate.
 - soit par l'intermédiaire de la phosphorylation oxydative dans les mitochondries. C'est la filière aérobie ou respiratoire.
 - soit, dans les conditions anaérobies, par la phosphorylation du substrat dans la voie glycolytique. C'est la filière anaérobie glycolytique.
- Au commencement d'un exercice, le glycogène en réserve dans les fibres musculaires est le principal substrat énergétique.
- En cours d'exercice, le glucose et les acides gras provenant du sang (sériques) constituent la majeure partie des substrats énergétiques. Le glucose est libéré par le foie et les acides gras par le tissu adipeux.

A mesure que l'exercice se prolonge, les acides gras prennent cependant de plus en plus d'importance, en raison de l'économie de glucose imposée par le maintien à valeur constante de la glycémie

Les acides gras produisent beaucoup d'ATP En comparaison avec le glucose. Le rendement énergétique du catabolisme des acides gras est supérieur de 28% au rendement du catabolisme du glucose. Cependant, les acides gras consomment beaucoup plus d'oxygène pour leur catabolisme que le glucose (44%). En conséquence, quand l'intensité de l'exercice augmente et dépasse 70% du maximum, la glycolyse commence à fournir une part de plus en plus importante de la totalité de l'ATP fourni.

- La fatigue musculaire ne résulte pas d'un manque d'ATP. Mais plusieurs facteurs y concourent : l'épuisement des réserves en glycogène, les changements internes d'acidité (notamment par suite de la concentration en acide lactique), la concentration de phosphates, la défaillance du couplage excitation-contraction par surfonctionnement des synapses.

4. Adaptation à l'exercice physique

L'exercice peut modifier la force et la résistance à la fatigue d'un muscle.

- Un exercice de longue durée et de faible intensité augmente le nombre de mitochondries dans les fibres et la vascularisation du muscle. Il en résulte une augmentation de l'endurance et de la capacité des fibres de produire de l'ATP par l'intermédiaire de la phosphorylation oxydative.
- Un exercice de courte durée et de forte intensité augmente le diamètre des fibres par l'intermédiaire d'une synthèse accrue d'actine et de myosine, ce qui augmente la force de la contraction.
- Un régime alimentaire adapté, riche en sucre à assimilation lente pour la mise en réserve musculaire de glycogène, augmente les performances.