

LE SYSTEME MUSCULAIRE

Introduction

Le système musculaire est responsable de la mobilité.

Tous les muscles travaillent ensemble afin de permettre, associé à d'autres systèmes (nerveux, osseux, articulaire), le mouvement.

Tous les mouvements du plus simple au plus complexe impliquent le système musculaire. Les cellules musculaires en se contractant raccourcissent le muscle et entraînent le déplacement des leviers osseux.

Ils sont plus de 660 dans le corps et représentent 28 à 30 kilos du poids de corps d'un adulte de 70 kilos, ce qui représente 40% de la masse totale.

Les muscles sont constitués de fibres pouvant atteindre 30 centimètres.

3 types de tissu musculaire

1) Le tissu musculaire lisse

Les cellules musculaires lisses (CML), ou léiomyocytes, jouent un rôle majeur dans la vie végétative. Elles se caractérisent par le fait qu'elles sont le siège de contractions spontanées, susceptibles d'être régulées par de nombreux stimuli (nerveux, hormonaux) et qu'elles sécrètent de nombreuses molécules. On retrouve ces muscles dans les parois des organes creux comme les vaisseaux sanguins, les bronches, la vessie ou l'utérus. On en trouve aussi dans la peau, associé aux follicules pileux.

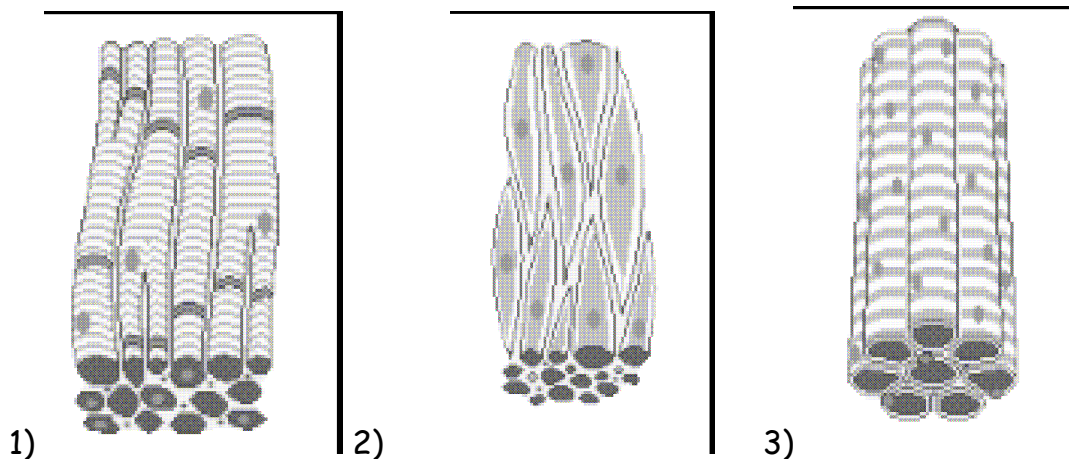
- Il est formé de cellules courtes qui ne présentent pas de stries comme le muscle squelettique.
- Son activité est généralement indépendante de la volonté.

2) Le tissu musculaire strié cardiaque

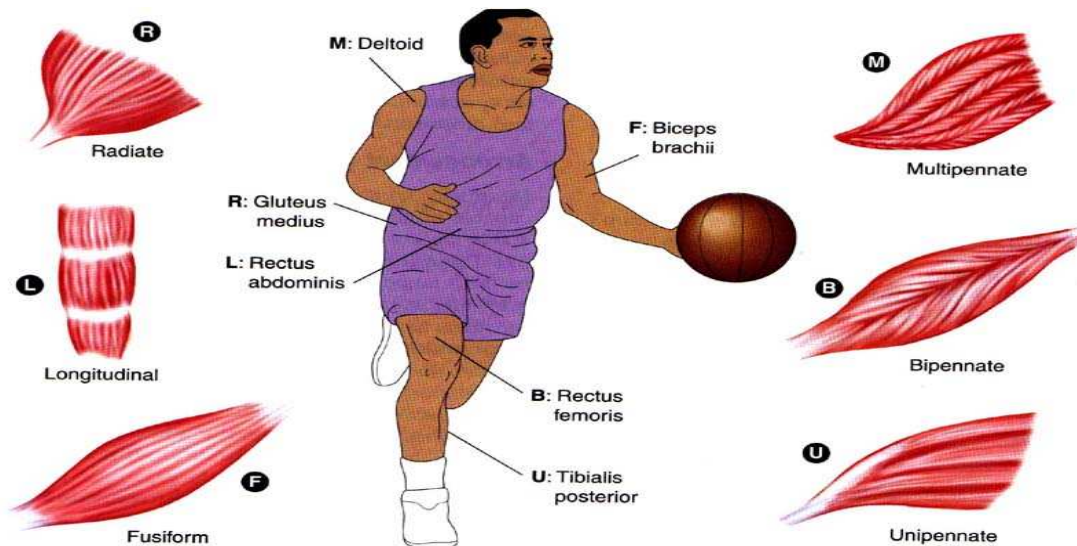
Le tissu musculaire strié cardiaque (ou tissu myocardique) se caractérise par son aptitude à se contracter rythmiquement et harmonieusement de façon spontanée. Il ne se trouve que dans le cœur. Les battements cardiaques et leur rythme sont déterminés par l'activité intrinsèque des cardiomyocytes du nœud sino-auriculaire. En effet, les cardiomyocytes sont spontanément excitables ; leur dépolarisation et repolarisation rythmique est indépendante du système nerveux. Le système nerveux végétatif exerce toutefois une influence sur le rythme des contractions : schématiquement, le parasymphatique (acétylcholine) ralentit le cœur alors que le sympathique (noradrénaline) l'accélère. Les cellules sont courtes et striées à contraction involontaire.

3) Le tissu musculaire squelettique

Cellules qui présentent une alternance de zone sombre et claire d'où l'aspect et le nom strié. La cellule musculaire striée squelettique (ou fibre musculaire striée squelettique) a la forme d'un cylindre allongé, dont le diamètre est d'environ 10 à 100 micromètres. Elle possède plusieurs centaines de noyaux situés en périphérie de la cellule, contre sa membrane plasmique. Responsable des mouvements, elle est plastique et donc adaptable.



Différentes formes de fibre musculaire



Muscle fiber arrangements and an example of each.

Les muscles longs et fusiformes constitués de fibres parallèles à l'axe du muscle sont particulièrement bien adaptés aux mouvements rapides et de grande amplitude.

Les muscles courts aux fibres souvent obliques sont plus particulièrement adaptés aux mouvements puissants mais de faible amplitude (hanches, soléaires..)

La cellule musculaire

C'est elle qui génère de la force dans le muscle, elle est soumise à la grande règle biologique : elle génère sa défense quand on l'agresse, c'est comme cela qu'il est possible d'augmenter sa masse musculaire.

Comme pratiquement toutes les cellules, les cellules musculaires se reproduisent jusqu'à l'âge adulte. Ensuite on ne peut gagner en masse que par hypertrophie (augmentation de la taille des cellules en place).

Cependant, on note un léger phénomène d'hyperplasie de l'ordre de :

- 0,5 à 1% chez des sédentaires
- 3% chez des athlètes de force de haut niveau
- 8% pour des athlètes sous anabolisants

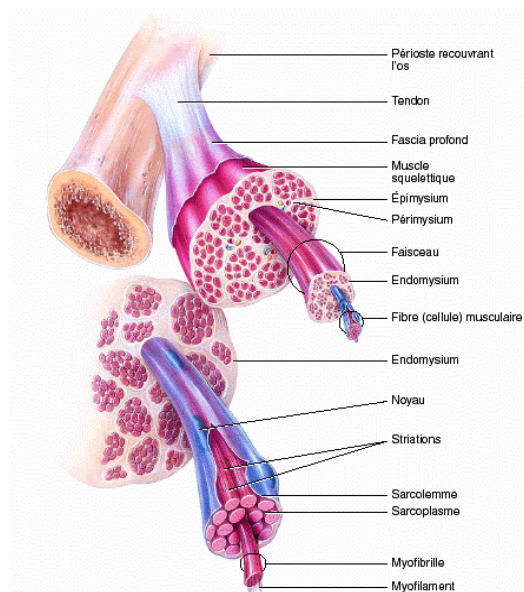
Structure des enveloppes

Chaque fibre musculaire est entourée d'une fine enveloppe de tissu conjonctif, l'endomysium (endo : en dedans).

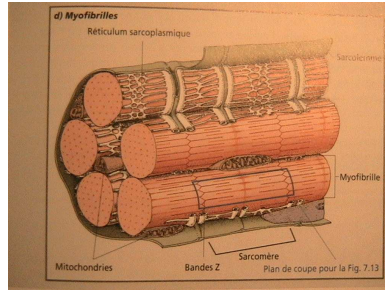
Plusieurs fibres musculaires sont réunies en un faisceau de fibres musculaires par une enveloppe de tissu conjonctif plus solides, le périmysium.

Enfin, plusieurs faisceaux de plusieurs fibres musculaires donnent la structure anatomique appelé muscle et est entouré d'une enveloppe de tissu conjonctif, l'épimysium, qui, avec le fascia musculaire, situé plus à l'extérieur, maintient la structure anatomique du muscle.

Le fascia musculaire se continue sous la forme d'un tendon formé de tissu conjonctif à base de collagène, qui se fixe sur un os.

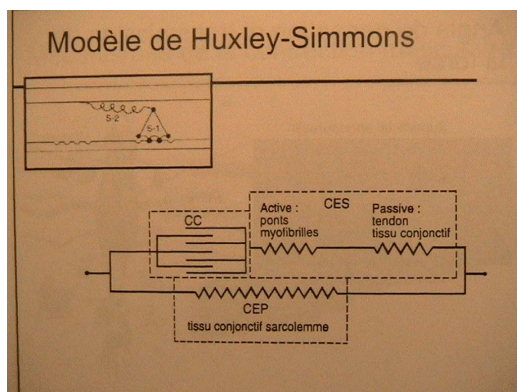


La cellule musculaire contient une membrane, des noyaux et un cytoplasme, appelé sarcoplasme dans lequel on retrouve les éléments contractiles du muscle, les myofibrilles.



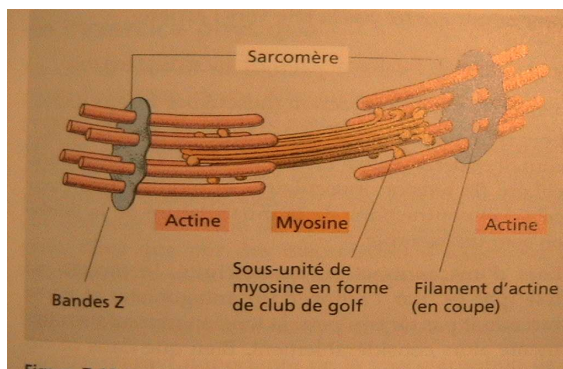
Les myofibrilles traversent les fibres parallèlement dans le sens de la longueur et sont composées d'une longue chaîne de deux structures qui s'alternent, les myofilaments épais et les myofilaments minces. Ces derniers sont visibles au microscope sous la forme d'une alternance de bandes claires et de bandes foncées, qui donne son nom à la musculature striée. Ces bandes étagées sur toute la longueur du muscle, représentent les nombreuses unités fonctionnelles alignées les unes à côté des autres, les sarcomères. Ils sont délimités par de fines lignes transversales, les bandes Z.

Dans le sarcoplasme, on trouve également les mitochondries, les centrales énergétiques du muscle.



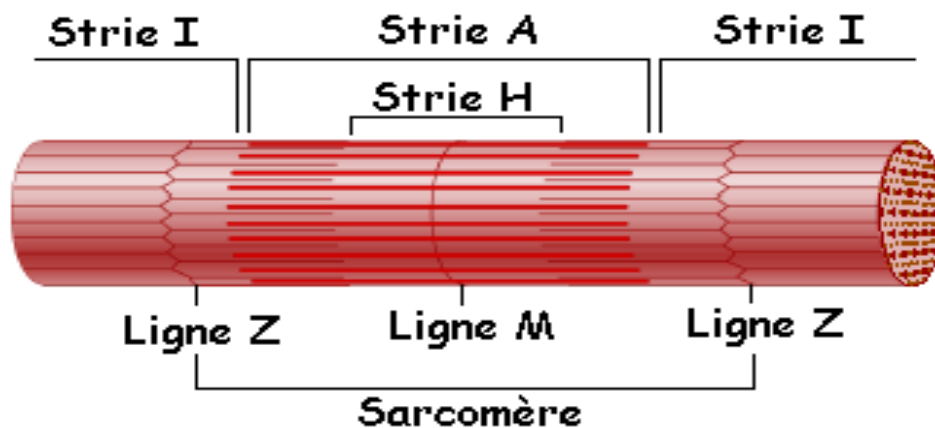
- Les tendons représentent une composante passive et peu élastique (de 1 à 10%) et sont composés de fibres de collagène raides et solides
- Le tissu conjonctif est une composante passive mais élastique à 20/50%
- Le myofilament est une composante active car il génère les forces

Le sarcomère



Chaque sarcomère est composé de deux myofilaments différents :

- les filaments de **myosine**, épais, au centre (en forme de clubs de golf)
- les filaments d'**actine**, fins, entre ceux de myosine qui ne se rejoignent pas au niveau de la zone centrale.

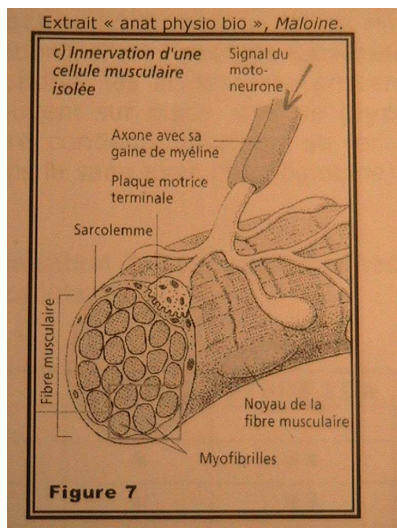


L'association des sarcomères en série constitue une myofibrille (1 à 2 μm \varnothing) présentant une striation transversale formée de l'alternance de bandes isotropes (I) et anisotropes (A).

Strie H : uniquement des filaments épais

Ligne M : (M= milieu) molécules protéiques reliant les filaments épais adjacents

La contraction d'un muscle squelettique



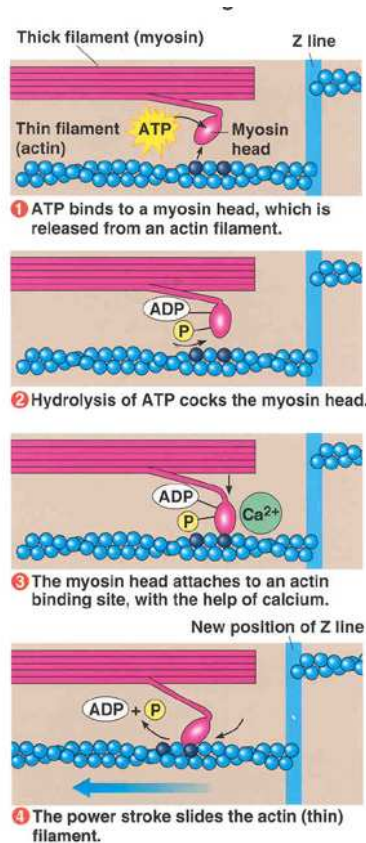
Pour qu'un muscle squelettique se contracte, il doit recevoir un stimulus d'une cellule nerveuse (neurone), ce type de cellule nerveuse est appelé motoneurone (ou neurone moteur).

Le transfert de l'excitation du motoneurone vers la fibre musculaire se situe au niveau d'une **synapse** particulière, la **plaque motrice**.

Si un stimulus nerveux arrive à l'extrémité de l'axone, les ions calcium passent du milieu environnant dans l'axone et provoquent la libération d'acétylcholine dans la fente synaptique qui est l'espace entre le motoneurone et le sarcolemme. Les molécules d'acétylcholine se fixent sur des récepteurs au niveau du sarcolemme, ce qui entraîne une modification de sa perméabilité pour les ions sodium et potassium, grâce auxquels l'excitation du motoneurone peut être transmise aux myofibrilles des fibres du muscle squelettique.

Le stimulus produit un glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine : l'extrémité du filament de myosine se lie en utilisant de l'ATP avec le filament d'actine et s'avance à la surface du filament d'actine comme la rame d'un bateau.

Comme les fins filaments d'actine seront tirés entre les filaments de myosine avec une force importante, les deux bandes vont se rapprocher et le sarcomère va se raccourcir. Si de nombreuses myofibrilles se contractent en même temps, alors l'ensemble du muscle squelettique va se raccourcir.



1) l'ATP casse la liaison de la myosine à l'actine

2) Hydrolyse de l'ATP

3) La myosine va s'accrocher sur un autre site de l'actine

4) Une fois sur le site, l'ADP se détache et le cycle recommence

Unité motrice

Une **unité motrice** est formée par un motoneurone et le groupe de fibres musculaires qu'il innerve. Un unique motoneurone est donc relié à plusieurs fibres musculaires. Pour les muscles qui nécessitent un contrôle particulièrement précis, exemple des fibres oculaires, moins de dix fibres musculaires forment une unité motrice. Dans d'autres muscles, impliqués dans des mouvements de moindre précision, jusqu'à 2000 fibres musculaires peuvent être réunies en une seule unité motrice.

Les différents types de fibre musculaire

Elles sont classées en deux grandes catégories: les fibres de Type I (lentes/rouges) et II (rapides/blanches).

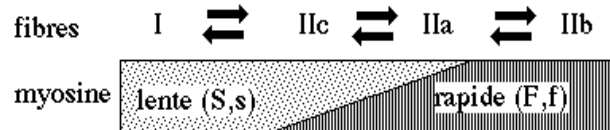
Type I : Elles possèdent un potentiel oxydatif élevé (plus de mitochondries). Plus de capillaires sanguins. Les substrats sont le glycogène et les acides gras. Elles sont peu fatigables mais leur rendement énergétique est limité.

On parle également de fibres lentes ou slow twitch (ST)

Type II : Dans les fibres de type II, nous pouvons distinguer les types Ia, IIb (chez l'animal) et IIx/d (chez l'homme). Elles sont moins capillarisées, moins de mitochondries. Le glycogène est le principal substrat. Le rendement énergétique est élevé mais le seuil de fatigabilité est bas. On parle de fibres rapides ou fast twitch (FT)

Les techniques de différenciation de classification de fibre chez l'homme ont évolué depuis ces dernières années et laissent encore des traces de ces "erreurs" du passé.

Conventionnellement, nous nous référons au schéma d'Howald avec sa classification et son orientation de plasticité des fibres lentes vers rapides.



La transformation des fibres I en fibres II est en réalité bien plus complexe que la transformation des fibres de type II en type I.



	<u>Fibre I</u>	<u>Fibre II a</u>	<u>Fibre II d</u>
Couleur	<u>rouge</u>	<u>rosé</u>	<u>Blanche</u>
Diamètre	<u>petit</u>	<u>grand</u>	<u>Grand</u>
Nb myofilaments	<u>Faible</u>	<u>moyen</u>	<u>élevé</u>
Glycogène	<u>élevé</u>	<u>moyen</u>	<u>Faible</u>
Nb mitochondries	<u>élevé</u>	<u>moyen</u>	<u>Faible</u>
Nombre de capillaires	<u>élevé</u>	<u>moyen</u>	<u>Elevé</u>
ATP-PC	<u>*</u>	<u>**</u>	<u>***</u>
ATP-AL	<u>**</u>	<u>***</u>	<u>*</u>
ATP-O ²	<u>***</u>	<u>**</u>	<u>*</u>

Caractéristique des différentes fibres musculaires

Loi du tout ou rien

Il n'existe pas de 'demi-contraction' d'une unité motrice.

En règle générale, il ne se produit pas de contraction de l'ensemble des unités motrices d'un muscle car, hormis le cas particulier des crampes, le SNC ne stimule qu'une partie des unités motrices d'un muscle en même temps. Dans le dixième de seconde qui suit, le SNC active l'unité motrice suivante pour que la première à avoir été excitée se repose.

L'activation alternée d'une seule partie des unités motrices évite que le muscle ne se fatigue trop vite. Ce n'est qu'à cette condition que sont possibles des exercices soutenus et prolongés.

Cependant, cela ne signifie pas que les muscles ne puissent pas se contracter à des niveaux différents : comme le muscle est composé de plusieurs centaines d'unités motrices, il peut se produire des phases au cours desquels plusieurs dizaines ou centaines d'unités motrices se contractent simultanément.

Les fournisseurs d'énergie

=> introduction aux filières énergétiques

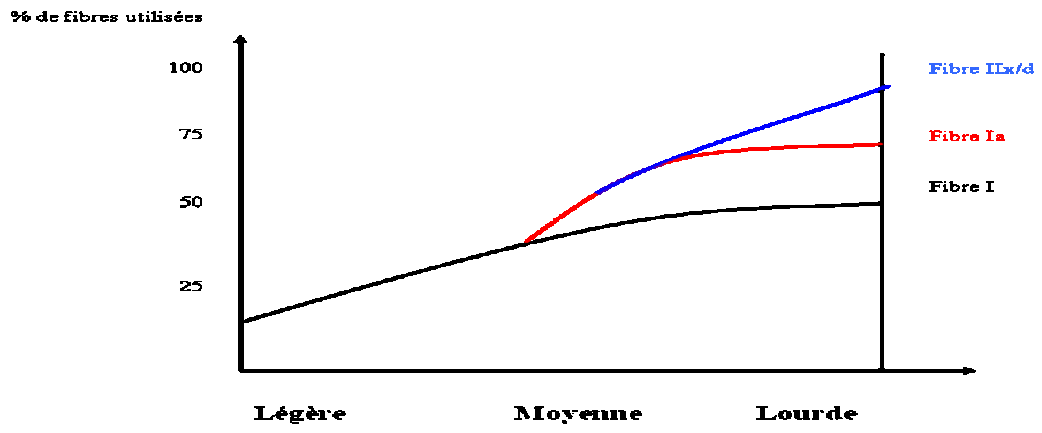
Bien que l'ATP soit présente en grande quantité dans chaque muscle comme fournisseur indispensable d'énergie pour la contraction musculaire, les fibres musculaires ne contiennent suffisamment d'ATP pour permettre des efforts de plus de 6 secondes. Ensuite la fibre musculaire a recours à la créatine phosphate, riche en énergie. Grâce à la dissociation de la PC, le stock d'ATP peut être rapidement régénéré. Avec ce mécanisme, le muscle possède suffisamment d'énergie pour des efforts de très hautes intensités pendant maximum 15 secondes => **filière anaérobie alactique**

Si le travail du muscle dure plus longtemps, les provisions de créatine phosphate s'épuisent également et le glucose est alors utilisé comme source énergétique. Le glucose est emmagasiné dans le muscle sous forme de **glycogène**. Celui-ci est alors dégradé en glucose disponible comme source d'énergie lors d'une réaction appelée glycogénolyse.

Néanmoins, le glucose ne peut être utilisé directement pour régénérer l'ATP, il doit être décomposé, 2 façons sont alors possibles :

- en hypoxie (pénurie d'oxygène) : il est transformé en ATP avec formation de pyruvate, puis de lactate => **filière anaérobie lactique**

- si il y a suffisamment d'oxygène : le pyruvate n'est pas transformé en lactate mais complètement décomposé en CO_2 et H_2O via le cycle de Krebs => **filière aérobie**



Principe de recrutement des fibres musculaires