

Réf.14. Chap.XIV La cellule musculaire une cellule spécialisée permettant son propre raccourcissement.

Pour rappel :

Les mouvements mobilisent les muscles. Les organismes pluricellulaires sont constitués de cellules ayant des particularités différentes selon l'organe auxquels elles appartiennent.

Objectifs de ce chapitre : Nous venons d'étudier la commande nerveuse à l'origine du réflexe ou de la motricité volontaire, on s'intéresse maintenant aux mécanismes de la contraction musculaire produisant le mouvement, et plus particulièrement aux mécanismes cellulaires, donnant ainsi l'occasion d'enrichir la notion de cellule spécialisée. On explore les niveaux d'organisation successifs en jeu afin de comprendre les aspects mécaniques de cette contraction.

Comment la contraction musculaire se réalise-t-elle ?

Quelles sont les particularités de ces cellules qui permettent la contraction musculaire ?

I La mécanique musculo squelettique

Qu'ils soient réflexes ou volontaires, nos mouvements résultent de la contraction musculaire qui permet la mobilité du squelette.

Comment la contraction des muscles génère-t-elle un mouvement ?

- Les **muscles striés squelettiques** sont constitués de deux parties distinctes : des tendons à chaque extrémité, attachés aux os et, au milieu, une partie épaisse, rouge et élastique, le ventre du muscle, qui est la partie contractile.
- Lors d'une **contraction**, le muscle strié squelettique s'épaissit et raccourcit. Cela provoque une traction sur les tendons, ce qui engendre le déplacement des os au niveau de l'articulation.
- Pour que les mouvements soient réversibles, il est nécessaire de faire intervenir deux muscles antagonistes qui se contractent obligatoirement en opposition de phase pour commander le mouvement d'un membre.

Le muscle strié est un ensemble de cellules musculaires, les myocytes, dites striées, organisées en faisceaux musculaires.

Comment l'organisation d'une cellule musculaire permet-elle sa contraction ?

II La contraction à l'échelle cellulaire

La cellule musculaire, cellule spécialisée, est caractérisée par un **cytosquelette** particulier.

- Chaque cellule musculaire ou **fibre musculaire** est une cellule géante, de plusieurs centimètres de long. Chaque fibre musculaire comporte plusieurs noyaux. Le cytoplasme renferme des réserves de glycogène (polymère du glucose) et de très nombreuses mitochondries.
- Ces fibres possèdent une striation observable au microscope optique. Cette striation est liée à l'organisation d'un cytosquelette particulier de ces cellules. La plus grande partie du volume intracellulaire est occupé par de nombreuses **myofibrilles** d'aspect strié : en effet, chaque myofibrille est formée d'une succession d'unités de 2,5 µm de long environ, les sarcomères.
- Chaque sarcomère est un assemblage de deux types de filaments de nature protéique, parallèles à l'axe de la myofibrille : des **filaments fins d'actine** et des **filaments épais de myosine**. Les filaments épais occupent la partie centrale du sarcomère. Les filaments fins sont attachés aux extrémités du sarcomère et pénètrent en partie dans la zone centrale, alternant à ce niveau avec les filaments de myosine.

Lorsque le muscle se contracte on observe un coulisage des filaments fins d'actine par rapport aux filaments épais de myosine. Ceci a pour conséquence un raccourcissement global du sarcomère.

Quels sont les mécanismes moléculaires conduisant à la contraction des fibres musculaires ?

III Les mécanismes moléculaires de la contraction musculaire

- De l'énergie sous forme d'ATP et des ions calcium sont nécessaires à la contraction.
 - ✓ Les ions calcium sont présents dans le réticulum sarcoplasmique (Réf.11).

- ✓ L'ATP est fourni par les mitochondries lors de la respiration cellulaire (Réf.15) ou lors de la fermentation lactique (Réf.15).

L'ATP, un intermédiaire énergétique universel

La consommation d'ATP

- La consommation d'ATP correspond à son hydrolyse. Cette hydrolyse produit de l'ADP et un phosphate.
- $ATP + H_2O \rightarrow ADP + Pi$
- Cette réaction libère de l'énergie, elle est exoénergétique.

La synthèse d'ATP

- La synthèse d'ATP nécessite de l'ADP et un phosphate.
- $ADP + Pi \rightarrow ATP + H_2O$
- Cette réaction nécessite de l'énergie, elle est endoénergétique.
- Dans la cellule hétérotrophe, l'énergie nécessaire à la synthèse d'ATP provient de l'énergie libérée lors de la respiration cellulaire ou lors de la fermentation.

- Suite à la propagation d'un potentiel d'action musculaire, des ions calcium sont libérés dans le cytosol. Les ions calcium permettent la fixation des têtes de myosine sur les filaments d'actine.
- Chaque tête de myosine fixe une molécule d'ATP ce qui catalyse l'hydrolyse de l'ATP.
- La fixation des têtes de myosine sur les filaments d'actine et leur pivotement entraîne un glissement des filaments d'actine vers le centre du sarcomère. Ce glissement provoque un raccourcissement du sarcomère.
- L'énergie libérée par l'hydrolyse de l'ATP est indispensable au décrochage des têtes de myosine pour permettre leur fixation un peu plus loin sur le filament d'actine, ce qui provoque un mouvement de traction. La molécule d'ATP est ainsi utilisée au cours d'une succession cyclique d'étapes conduisant au pivotement de la tête de myosine fixée sur l'actine.

La répétition de ces étapes conduit à la contraction complète du sarcomère. Le raccourcissement de chaque sarcomère se répercute sur la totalité de la myofibrille, diminuant ainsi la longueur de la cellule musculaire et donc du muscle, ce qui explique le raccourcissement global du muscle visible à l'œil nu.

IV Une dégénérescence des cellules musculaires : la myopathie de Duchenne

Dans certaines maladies, comme les myopathies, les protéines membranaires des fibres musculaires ne sont plus rattachées aux protéines de la matrice extracellulaire.

- Dans le cas de la myopathie de Duchenne (DMD), elle est due à des mutations touchant le gène de la dystrophine, gène porté par le chromosome X (c'est donc une maladie génétique touchant les garçons). La dystrophine n'est alors plus produite. Cela provoque un défaut dans les interactions entre les protéines de la membrane plasmique et la matrice extracellulaire.

Petit à petit, au cours des cycles contractions relâchement de la cellule musculaire, la membrane plasmique perd son intégrité et la cellule finit par mourir. Des mécanismes de réparation interne existent mais finissent par être dépassés par l'ampleur des réparations nécessaires. Les cellules musculaires dégèrent et le mouvement devient impossible.

Cette maladie touche tous les muscles : les muscles squelettiques mais aussi le muscle cardiaque et les muscles lisses associée à l'intestin.

- La guérison est actuellement impossible. Le traitement des myopathies est aujourd'hui l'objet de recherches intensives.

Lexique référentiel 14 :

Actine : molécule du cytosquelette. Protéine constructive des myofilaments fins de la fibre musculaire.

Antagonistes : se dit pour deux muscles dont la contraction permet deux effets opposés (par exemple l'un permet la flexion d'un membre et l'autre l'extension).

ATP : adénosine triphosphate, molécule universelle dans le monde vivant, constitué d'un nucléotide et de trois phosphates et dont l'hydrolyse fournit l'énergie cellulaire aux activités cellulaires et ici la contraction.

Cellule musculaire : cellule contractile constituant les muscles.

Conformation : disposition des différentes parties d'une molécule.

Contraction : modification de l'état d'un muscle permettant d'exercer une force.

Cytosquelette : réseau de filaments protéiques du cytoplasme lui conférant des propriétés mécaniques.

Cytosol : substance fondamentale du cytoplasme dans laquelle baignent les organites.

Dystrophine : protéine musculaire jouant un rôle essentiel dans la cohésion des fibres musculaires entre elles.

Fibre musculaire : cellule musculaire de forme très allongée.

Hydrolyse : réaction chimique au cours de laquelle une liaison chimique est rompue sous l'action de l'eau.

Inhibiteur : qui s'oppose à l'action d'une substance ou d'une structure.

Ligament : bande fibreuse reliée des os au niveau d'une articulation, limitant leur mobilité relative.

Matrice extracellulaire : espace situé entre les cellules d'un tissu, comportant des molécules permettant notamment l'adhérence des cellules entre elles.

Muscle strié squelettique : muscle fixé aux os et permettant les mouvements volontaires.

Myocyte : cellule musculaire

Myofibrilles : structure cylindrique située dans le cytoplasme de la fibre musculaire, formée d'un faisceau de myofilaments et constituant un ensemble contractile.

Myofilament : filament protéique d'actine ou de myosine constitutif des myofibrilles et responsable de la contraction musculaire.

Myosine : molécule du cytosquelette. Protéine constructive des myofilaments épais de la fibre musculaire, pouvant se fixer à l'actine et possédant une propriété catalytique d'hydrolyse de l'ATP modifiant sa conformation.

Myopathie : maladie touchant les muscles

Sarcolemme : membrane plasmique de la cellule musculaire.

Sarcomère : unité fonctionnelle contractile de la myofibrille.

Tendon : structure fibreuse résistante assurant la fixation du muscle sur une surface osseuse.

Capacités et attitudes attendues pour ce chapitre :

- Réaliser et/ou observer au microscope optique et au microscope électronique des préparations de cellules musculaires striées, pour enrichir la notion de cellule eucaryote spécialisée.
- Manipuler, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations et/ou manipuler (dissections, maquettes...) pour comprendre le fonctionnement du système musculo-articulaire.
- Utiliser un logiciel de modélisation moléculaire pour observer le pivotement des têtes de myosine.
- Remobiliser les acquis sur la matrice extracellulaire à travers l'exemple d'une myopathie

Références :