

Activité 5: La contraction musculaire - Correction

La contraction d'un muscle squelettique, à l'origine d'un mouvement volontaire, nécessite un travail cellulaire. Les cellules musculaires effectuent ce travail en transformant l'énergie chimique des molécules organiques en énergie mécanique.

Comment les cellules musculaires convertissent-elle l'énergie chimique des molécules organiques en énergie mécanique ?

1: Observez une préparation de fibres musculaires dilacérées au microscope et utilisez le document A que vous complétez et légendez pour montrer que la contraction des cellules musculaires est liée à des déplacements à l'échelle moléculaire (déplacements que vous décrierez)

2: Utilisez les documents pages 52 - 53 pour montrer que la contraction musculaire nécessite de l'ATP, et préciser les différents rôles de l'ATP lors de l'activité musculaire.

3: Exploitez les documents pages 54 - 55 et le document ci contre pour mettre en évidence une régénération de l'ATP dans la cellule musculaire dont vous expliquerez les modalités.

1: La contraction des cellules musculaires

Un muscle est un assemblage de fibres musculaires. Chaque fibre musculaire est une cellule géante (syncytium), de plusieurs centimètres de long. Chaque fibre musculaire renferme un grand nombre de myofibrilles chacune formées d'une succession de sarcomères. Chaque sarcomère est un assemblage de deux types de filaments de nature protéique: les filaments fins d'actine, et les filaments épais de myosine. Le raccourcissement coordonné des sarcomères induit la contraction des myofibrilles, et donc du muscle.

Sur la photo B on observe un sarcomère plus court que sur la photo A.

- La photo B correspond à une myofibrille contractée
- La photo A correspond à une myofibrille décontractée

Lors de la contraction musculaire, les sarcomères raccourcissent; le raccourcissement s'observe uniquement au niveau des bandes claires (bandes I) et au niveau de la bande H. La bande sombre (bande A) conserve la même longueur.

On en déduit que le raccourcissement des sarcomères correspondrait à un coulisage relatif des filaments d'actine le long des filaments de myosine; chaque type de filament conserverait la même longueur, mais le rapprochement relatif des filaments d'actine au niveau de la bande H induirait un raccourcissement du sarcomère.

2: La contraction musculaire nécessite de l'ATP

Les filaments épais de myosine possèdent des extrémités globuleuses: les têtes de myosine qui peuvent se fixer ou se détacher des filaments fins d'actine. Les cycles successifs d'attachement - détachement actine / myosine provoquent le glissement des filaments à l'origine du raccourcissement du sarcomère et de la myofibrille. Le raccourcissement coordonné des différentes myofibrilles et des différentes fibres musculaires permet la contraction du muscle et le mouvement.

L'étude de la contraction des myofibrilles in vitro (Document 1 page 52) montre que la contraction n'est possible qu'en présence d'ATP qui est alors hydrolysé en ADP + Pi.

Le raccourcissement des sarcomères nécessite de l'ATP:

- La fixation d'une molécule d'ATP sur la tête de myosine induit la rupture du complexe myosine - actine
- L'hydrolyse de l'ATP en ADP et Pi induit un changement de conformation de la tête de myosine et permet la formation d'un complexe entre la tête de myosine et la molécule d'actine suivante
- La libération de l'ADP + Pi induit le pivotement de la tête de myosine ce qui entraîne le glissement du filament d'actine par rapport au filament de myosine vers le centre du sarcomère.

Le détachement induit par la fixation de l'ATP sur la tête de myosine est nécessaire à la poursuite du cycle et donc à la contraction musculaire; mais il est aussi nécessaire à la décontraction musculaire, ce qui explique la rigidité cadavérique (en l'absence d'ATP le muscle ne peut se contracter davantage, et il ne peut pas non plus se décontracter)

Le sarcomère est donc l'unité contractile et structurale du muscle strié. Le glissement relatif des filaments protéiques d'actine et de myosine constitue le mécanisme moléculaire à la base de la contraction musculaire. Le mouvement des myofilaments est couplé à l'hydrolyse de l'ATP qui fournit ainsi l'énergie nécessaire au travail mécanique.

3: Les différentes voies de régénération de l'ATP dans les cellules musculaires

L'étude de la composition chimique d'un muscle frais avant et après contraction montre que les réserves d'ATP sont très faibles (4 à 6 mmol/kg) mais constantes dans le muscle. Cette faible réserve est à peine suffisante pour assurer une seconde d'effort; il doit donc exister un ou des mécanismes de régénération de l'ATP dans les fibres musculaires.

La voie de la phosphocréatine

La phosphocréatine est une molécule phosphorylée présente dans la cellule musculaire. Son hydrolyse (exergonique) est couplée à la phosphorylation de l'ADP (endergonique) et permet donc la synthèse d'ATP (Document 3 page 54). Ce couplage, très rapide, ne nécessite ni oxygène ni organites spécialisés, mais le stock de phosphocréatine est épuisé en moins de 20 secondes lors d'un travail musculaire.

La voie de la fermentation lactique

La fermentation lactique permet de produire rapidement de l'ATP, sans nécessiter d'apport accru en di-oxygène. Les réserves de glycogène musculaires fournissent le glucose nécessaire. Ce mécanisme consomme cependant beaucoup de réserves glucidiques pour une faible production d'ATP (2 ATP par mole de glucose), et produit de l'acide lactique qui abaisse le pH musculaire (ce qui provoque fatigue, points de côtés..)

La voie de la respiration

La respiration est le mécanisme le plus efficace pour produire durablement de l'ATP avec un rendement élevé. Cependant cette voie de production de l'ATP est limitée par l'approvisionnement en di-oxygène qui dépend lui même des capacités respiratoires et circulatoires de l'individu.

Des mécanismes complémentaires

Au cours d'un effort, les réserves d'ATP et de phosphocréatine, instantanément mobilisées, permettent de réaliser immédiatement le travail musculaire. La fermentation lactique prend alors le relais, permettant le maintien du travail musculaire en attendant que le système cardio-vasculaire s'adapte pour assurer un apport accru en di-oxygène, indispensable au métabolisme respiratoire.

Fibres de type 1 et de type 2

Le cytoplasme contient des réserves de glycogène (polymère de glucose) et selon les fibres, plus ou moins de mitochondries: Les fibres de types I, riches en mitochondries, utilisent principalement la voie respiratoire ce qui leur permet de se contracter longtemps mais lentement (temps d'adaptation). Les fibres de type II pauvres en mitochondries, utilisent principalement la voie de la fermentation lactique ce qui leur permet de se contracter rapidement mais peu longtemps. Un muscle squelettique est un assemblage de fibres de types I et II.