Chapitre 13 : Produire le mouvement ; contraction musculaire et apport d’énergie

Quelles sont, à différentes échelles les structures responsables du mouvement

1. Le muscle un organe contractile
   1. Les contractions musculaires à l’échelle de l’organe

Le muscle strié squelettique est un muscle contractile fixé aux os par les tendons

Doc 1 :

Le muscle se contracte 🡪 il s’épaissit et se raccourcit 🡪 tire sur les tendons 🡪 permet une traction sur l’os d’où déplacement de l’os

A l’inverse lorsque le muscle se relâche 🡪 il s’allonge et diminue d’épaisseur

Pour réaliser un mouvement : interventions de 2 **muscles**

Lors d’un effort musculaire, le **muscle agoniste** est celui qui se contracte, le **muscle antagoniste** est celui qui s’étire en réaction à cette contraction. Ainsi, chaque muscle possède son muscle antagoniste

* 1. La contraction musculaire à l’échelle de la cellule

Comment est organisée une cellule musculaire striée ?

Doc 2/3/4 :

Le muscle = ensemble de fibres musculaires disposées parallèlement et regroupées en faisceau de fibre

Une fibre musculaire = une cellule musculaire

* **Plurinucléé** (fusion de plusieurs cellules)
* **Très allongée** (long de quelques centimètres et de diamètre compris entre 10 et 100µm)

Le cytoplasme d’une cellule musculaire contient des protéines

**Longue fibre = les myofibrilles que l’on trouve dans le cytoplasme des fibres musculaire**

* 1. La contraction musculaire à l’échelle moléculaire

La striation observable au microscope résulte de la répétition de sarcomères

Chaque sarcomère est délimité par deux lignes sombres appelées stries Z

Doc 5 :

Chaque sarcomère est constitué de deux types de filaments de nature protéiques = les myofilaments protéiques

Des myofilaments épais **de myosine**

Des myofilaments fins **d’actine qui sont rattachés aux stries Z**

Le sarcomère présente deux états : soit relâché soit contracté

On observe la diminution de la largeur de la bande claire et une constance dans la bande sombre

Doc 6 :

Au moment de la contraction musculaire, chaque sarcomère diminue de longueur = on observe **un coulissement des filaments fins d’actine par rapport aux filaments épais de myosine**

1. Les mécanismes moléculaires de la contraction musculaire

Quelles sont les conditions nécessaires à la contraction musculaire ?

Doc 7 :

De l’énergie sous forme d’ATP et des ions calcium sont nécessaires pour effectuer la contraction

Au niveau de la tête de myosine se situe un site de fixation de l’ATP avec une fonction enzymatique ATP ase.

L’ATP ase catalyse l’hydrolyse de l’ATP en ADP + Pi qui libère de l’énergie et permet un changement de conformation de la tête de myosine

Doc 8 :

Les têtes de myosine se déplient et s’accrochent aux filaments d’actine.

Ensuite, en pivotant elles font glisser les filaments d’actine

En présence de calcium, le changement de conformation des têtes de myosine est permis par l’hydrolyse de l’ATP

Les produits de l’hydrolyse ADP et Pi (phosphate inorganique) sont libérés, donc la tête de myosine revient à sa conformation de départ

Tant que de l’ATP est disponible, ce cycle de contactions peut se répéter plusieurs fois par seconde

1. La dégénérescence des cellules musculaires

En 1861 Guillaume Duchenne décrit l’affaiblissement musculaire de jeunes patients

Il s’agit de maladies = myopathies dont la forme la plus sévère est la myopathie de Duchenne

La dystrophie musculaire de Duchenne touche à la naissance un garçon sur 3 500 naissances

Elle se manifeste vers 10-13 ans par une incapacité motrice et cardio-respiratoire (pas encore de guérison 🡪 cette maladie fait l’objet de nombreuses recherches)

Doc 9 :

La dystrophine est une protéine filamenteuse qui relie les filaments d’actine à la matrice extracellulaire des cellules musculaires

La dystrophine permet de stabiliser et soutenir les fibres musculaires pendant les cycles contractions / relâchement des myofilaments

Le gène responsable de la myopathie de Duchenne est localisé sur le chromosome X

Ce gène est le plus long donc susceptible de subir des mutations

**Chez les malades**, une partie de ce gène est réduit. **La dystrophine est absente 🡪 les fibres musculaires dégénèrent**

* On a vu que le glissement des têtes de myosine par rapport à l’actine nécessite de **l’ATP = adénosine triphosphate**

Comment l’ATP est-elle produite ?

Comme aucune réserve d’ATP dans la cellule, il y a une production continue d’ATP dans la cellule.

IV) Les voies métaboliques de régénération de L’ATP = molécule du métabolisme énergétique des cellules :

* **Hydrolyse de l’ATP** : ATP + H2O → ADP + Pi + NRJ

Au repos, on estime l’hydrolyse d’ATP à 45 kg par jour pour LIBERER de l’énergie pour être ensuite utilisée dans des réactions biochimiques.

* **Synthèse de l’ATP** : ADP + Pi + NRJ → ATP + H20
* Il existe plusieurs voies métaboliques qui permettent d’apporter de l’NRJ nécessaire pour la synthèse de l’ATP
* On utilise les levures pour caractériser les **voies métaboliques possibles de la régénération de l’ATP :**
* On met des levures en présence d’eau et de glucose. On mesure au cours du temps les concentrations en O2, CO2 et éthanol
* En milieu aérobie (= en présence de dioxygène), les levures respirent
* C6H12O6 + 6O2 → 6CO2 + 6H2O
* En milieu anaérobie (= absence de dioxygène), les levures réalisent la fermentation alcoolique
* C6 H12 O6 → 2 CO2 + 2 C2H6O (etanol)
* La molécule de glucose **est complètement oxydée dans la respiration** et libère **36** ATP par mole de glucose
* La molécule de glucose est incomplètement oxydée dans la fermentation alcoolique (il reste un composé organique = l’éthanol). Cela libère 2 ATP par mole de glucose.

V) Les grandes étapes de la respiration cellulaire et de la synthèse de l’ATP

Quel est le devenir du glucose oxydé au cours de la respiration ?

1. **1ère étape : La glycolyse dans le cytoplasme cellulaire**

* La molécule de glucose est oxydée en 2 molécules d’acide pyruvique (2 C3 H4 O3)
* Cette oxydation est couplée à la réduction de NAD+ (nicotinamide adénine dinucléotide)
* NAD = coenzyme qui joue un rôle de transporteurs d’électrons et présent dans le cytoplasme de toutes les cellules
* NAD+ forme oxydée
* NADH forme réduite

**Bilan de la GLYCOLYSE :**

* C6H12O6 + 2 NAD+ → 2 C3H4O3 + 2 NADH + H+
* Cette **réaction produit 2 molécules d’ATP** pour une molécule de glucose consommée
* Le substrat utilisé par les mitochondries est le pyruvate.

La 2ème réaction a lieu **dans la matrice des mitochondries**

1. **2ème étape : Le cycle de Krebs dans la matrice des mitochondries**

Au cours du cycle de Krebs, l’acide pyruvique est complètement oxydé

**Production de 2 molécules d’ATP**

Bilan du cycle de Krebs :

2 C3H4O3 + 10 NAD+ + 6H20 → 6CO2 + 10 NADH + H+

1. **3ème étape au niveau des crêtes mitochondriales**

Au niveau des crêtes mitochondriales (= replis interne de la membrane des mitochondries), et plus particulièrement en présence de sphères pédonculées, **les composés réduits vont être à leur tour oxydés**

* On appelle ces sphères pédonculées les ATP synthases
* Ce sont des protéines caractéristiques de la membrane interne des mitochondries.
* On observe que l’accepteur final des électrons et des protons issus des NADH est le dioxygène (O2).
* **Il y a une production de 32 molécules d’ATP**

VI) Une autre voie de production d’ATP : la fermentation

Certaines cellules peuvent vivre en anaérobie (privée de dioxygène) et réaliser une fermentation. En quoi consistent les fermentations ? Comment l’ATP est-il produit en anaérobie ?

* Les fibres musculaires peuvent effectuer une fermentation **lactique** (les levures effectuent une fermentation **alcoolique**)

(Voir paragraphe IV)

* Pas d’intervention d’organites, la fermentation se déroule dans le cytosol
* Cette réaction ne nécessite pas de dioxygène : réaction anaérobie
* La cellule musculaire prélève du glucose et rejette de l’acide lactique à l’extérieur de la cellule.

**REACTION d’oxydoréduction =**

* Le glucose est oxydé en molécule de pyruvate (cette oxydation est couplée à la réduction de NAD+ en NADH)
* Le pyruvate est réduit en molécule d’acide lactique (cette réduction est couplée à l’oxydation de NADH en NAD+)
* Ces réactions d’oxydoréductions permettent la production de molécules d’ATP
* On parle de couplage chimio-chimique : de l’énergie chimique, contenue dans une molécule dite « énergétique », est transférée sur une autre molécule.
* Dégradation **incomplète** du glucose lors de la fermentation
* Dans **les 2 ex de fermentations** (voir schéma), le rendement en ATP est faible : seulement 2 ATP par mole de glucose consommé.
* La dépense énergétique cumulée augmente (de manière non linéaire) avec la durée de l’effort.
* La dépense énergétique la plus importante se fait lors d’effort bref (100% pour 10 secondes).
* Cette dépense énergétique tend à diminuer lorsque la durée des efforts augmente (pour 10 min = 90% et pour 100 min = 75%)
* Lors des premières secondes l’énergie est libérée par l’hydrolyse de l’ATP (courbe rouge) puis hydrolyse de la phosphocréatine (courbe verte)
* L’ATP va être régénérée ensuite par voie anaérobie et enfin par voie aérobie (plus lente à se mettre en place)
* L’observation microscopique des fibres musculaires observées au microscope avec une coloration spécifique permet de distinguer deux types de fibres musculaires :
* **Les fibres I de couleurs foncées** qui traduisent une forte activité mitochondriale ; ces fibres sont sollicitées lors d’exercices d’endurance (utilisent voie aérobie)
* **Les fibres II de couleurs claires** à faible activité mitochondriale ; ces fibres sont sollicitées lors d’exercices intenses mais de faible durée (utilisent voie anaérobie)

VII) Pratiques sportives et adaptabilités du muscle squelettique

Comment le muscle s’adapte aux types d’efforts exercés ? Quels sont les effets de certaines substances sur les muscles ?

* La proportion de la nature des fibres de type I ou II est différente selon les individus et selon leur type d’entrainement.
* Lors d’un sport d’endurance sont sollicités les fibres de type I, de couleurs foncées (forte activité mitochondriale = utilisent voie aérobie)
* Un entrainement physique ciblé permet le remaniement des fibres musculaires
* Les fibres II, de couleur claire à faible activité mitochondriale ; ces fibres sont sollicitées lors d’exercices intenses mais de faible durée (utilisent voie anaérobie)
* Lors du dopage cad la prise de substances exogènes (testostérone) une des conséquences est une augmentation du nombre de cellules satellites
* Cette augmentation, de la masse musculaire doit être comprise non pas comme une augmentation du nombre de fibres musculaires, mais comme l’hypertrophie des fibres musculaires (volume anormal du muscle)
* A long terme il peut y avoir des lésions musculaires, des cancers, et une masculinisation du corps des femmes ; dépendance

Vocabulaire :

**ATP ase** : une enzyme qui coupe