

# DS P1 Energie et contraction musculaire

Expliquer comment l'utilisation du dioxygène et du glucose par la cellule musculaire permet son raccourcissement.

Vous rédigerez un texte structuré et argumenté, s'appuyant sur des expériences, des observations et/ou des exemples judicieusement choisis.

---

La comparaison de la composition d'un muscle avant et après un effort montre une diminution de la quantité de glycogène. Le glycogène étant un polymère de glucose, cela montre que le muscle consomme du glucose lors de sa contraction. D'autres données expérimentales mettent en évidence une consommation de  $O_2$ .

Comment le  $O_2$  et le glucose apportés aux muscles permettent-ils la contraction musculaire ?

## La glycolyse: oxydation incomplète du glucose dans le cytoplasme.

La glycolyse est une oxydation incomplète du glucose en pyruvate. Elle a lieu dans le cytoplasme, et elle aboutit à la production de deux molécules de pyruvates à partir d'une molécule de glucose.

Cette réaction est une déshydrogénation et correspond à une oxydoréduction : le glucose est oxydé tandis qu'un coenzyme  $NAD^+$  est réduit en  $(NADH + H^+)$ . Cette oxydoréduction libère de l'énergie permettant la synthèse d'ATP (phosphorylation de l'ADP) par couplage des réactions.

- Oxydation du glucose:  $1 \text{ Glucose } C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 \text{ Pyruvates } CH_3 CO COOH + 4H^+ + 4 e^-$
- Réduction du coenzyme  $NAD^+$ :  $2 NAD^+ + 4 H^+ + 4 e^- \rightarrow 2 (NADH + H^+)$
- Phosphorylation de l'ADP:  $2 ADP + 2 Pi \rightarrow 2 ATP$

**Bilan: 1 glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ) + 2  $NAD^+$  + 2 ADP + 2 Pi  $\rightarrow$  2 pyruvates ( $CH_3 CO COOH$ ) + 2 ( $NADH + H^+$ ) + 2 ATP**

## Le cycle de Krebs: oxydation complète du pyruvate dans la matrice des mitochondries.

Grâce aux enzymes de la matrice mitochondriale, le pyruvate est totalement oxydé : du dioxyde de carbone est libéré et des composés  $NAD^+$  sont réduits en  $(NADH + H^+)$ . Cette oxydoréduction libère de l'énergie permettant la synthèse d'ATP (phosphorylation de l'ADP) par couplage des réactions.

- Oxydation du pyruvate:  $2 \text{ pyruvates } (CH_3 CO COOH) + 6 H_2O \rightarrow 6 CO_2 + 20 H^+ + 20 e^-$
- Réduction du coenzyme  $NAD^+$ :  $10 NAD^+ + 20 H^+ + 20 e^- \rightarrow 10 (NADH + H^+)$
- Phosphorylation de l'ADP:  $2 ADP + 2 Pi \rightarrow 2 ATP$

**Bilan: 2  $CH_3 CO COOH$  + 6  $H_2O$  + 10  $NAD^+$  + 2 ADP + 2 Pi  $\rightarrow$  6  $CO_2$  + 10 ( $NADH + H^+$ ) + 2 ATP**

## Le $O_2$ permet la ré oxydation des composés ( $NADH + H^+$ ) dans la membrane interne mitochondriale:

Les coenzymes réduits ( $NADH + H^+$ ) formés au cours des étapes précédentes sont oxydés grâce à des molécules spécialisées de la membrane interne mitochondriale formant une chaîne respiratoire : il s'agit de transporteurs d'électrons qui assurent une série d'oxydoréductions à partir des composés réduits ( $NADH + H^+$ ), l'accepteur final étant le dioxygène. Il y a régénération des coenzymes oxydés  $NAD^+$  utilisés lors des étapes précédentes.

L'énergie libérée au cours de ces réactions d'oxydoréduction sert à la synthèse d'ATP à partir d'ADP et Pi : il y a couplage énergétique. Ceci est possible car coexistent au sein de la membrane interne des mitochondries des enzymes catalysant les réactions d'oxydoréductions et des ATP synthases.

- Oxydation des coenzymes réduits ( $NADH + H^+$ ):  $12 (NADH + H^+) \rightarrow 12 NAD^+ + 24 H^+ + 24 e^-$
- Réduction du di-oxygène:  $6 O_2 + 24 H^+ + 24 e^- \rightarrow 12 H_2O$
- Phosphorylation de l'ADP:  $32 ADP + 32 Pi \rightarrow 32 ATP$

**Bilan: 12 ( $NADH + H^+$ ) + 6  $O_2$  + 32 ADP + 32 Pi  $\rightarrow$  12  $NAD^+$  + 12  $H_2O$  + 32 ATP**

## Bilan de la dégradation du glucose par respiration:

**$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 + 6 H_2O + 36 ADP + 36 Pi \rightarrow 6 CO_2 + 12 H_2O + 36 ATP$**

## L'ATP permet la contraction musculaire

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.

La comparaison des électrographies d'un myocyte contracté et d'un myocyte décontracté montre que 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.

Le raccourcissement des sarcomères correspond à un coulissage relatif des filaments d'actine le long des filaments de myosine; chaque type de filament conserve la même longueur, mais le rapprochement relatif des filaments d'actine au niveau de la bande H induit un raccourcissement du sarcomère.

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 montre que la contraction n'est possible qu'en présence de  $\text{Ca}^{2+}$  et d'ATP qui est alors hydrolysé en ADP + Pi.

Le raccourcissement des sarcomères nécessite donc de l'ATP et du  $\text{Ca}^{2+}$ :

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

- La présence de  $\text{Ca}^{2+}$  permet la formation d'un complexe entre la tête de myosine et la molécule d'actine suivante.
- En l'absence de  $\text{Ca}^{2+}$  la formation du complexe actine-myosine n'est pas possible, le cycle s'arrête et le muscle se décontracte.

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.