

Réf.15. Chap15 Origine de l'ATP nécessaire à la contraction musculaire.

Pour rappel : Les cellules eucaryotes contiennent des organites comme la mitochondrie. Notion de cellules spécialisées et métabolisme. La catalyse enzymatique. Education à la santé : dangerosité de la prise de produits dopants ; effets de l'entraînement.

Objectifs de ce chapitre : Montrer les différentes voies métaboliques impliquées dans la production d'ATP par oxydation progressive du glucose et la réoxydation des composés réduits. Ces voies sont reliées au type d'effort. Comprendre les risques liés à l'usage de produits dopants

Les quantités d'ATP disponibles dans les cellules musculaires sont extrêmement faibles, l'ATP n'est pas stocké dans les cellules musculaires et pourtant, il est consommé en permanence pour leur contraction. Lors de la contraction la quantité de glucides musculaires diminue.

Comment les glucides fournissent-ils l'énergie nécessaire à l'organisme ?

I Des voies de synthèse de l'ATP dans les cellules musculaires

Diverses voies métaboliques permettent de régénérer l'ATP avec des délais différents et assurent alors le maintien d'une certaine quantité d'ATP disponible dans les cellules

- **L'hydrolyse de la phosphocréatine (voie anaérobie alactique)** est la voie la plus rapide, elle intervient sans délai. Elle permet une libération d'énergie très importante sur une durée de quelques secondes et permet ainsi par couplage la synthèse d'ATP à partir d'ADP.
- **La fermentation (voie anaérobie lactique)** utilise le glucose mis en réserve dans les cellules musculaires et intervient après 20 secondes d'effort. Elle intervient dans des exercices musculaires ne dépassant pas quelques minutes
- **La respiration (voie aérobie)** utilise diverses molécules organiques mises en réserve. Elle intervient après 2 à 4 minutes et peut se maintenir plusieurs heures.

Comment respiration et fermentation se manifestent-elles dans la cellule et où se déroulent elles ?

II Respiration et fermentation

L'étude de cultures de levures permet de caractériser les voies métaboliques de régénération de l'ATP.

Les levures utilisent en permanence de l'ATP, notamment pour croître et se multiplier

A La respiration cellulaire : une voie pour régénérer l'ATP des cellules musculaires.

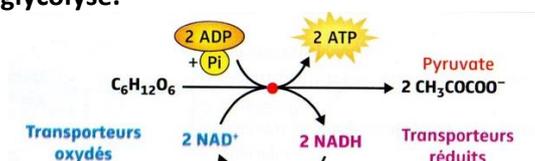
La respiration se caractérise par une consommation de dioxygène et un rejet de dioxyde de carbone en présence de molécules organiques. Le glucose est substrat respiratoire des cellules, il est complètement oxydé à l'issue de la respiration. Le rendement énergétique de la respiration est d'environ 40%.

L'étude de mutants cellulaires incapables de respirer montre que la respiration se déroule dans un organe particulier : la mitochondrie.

1°) Une première étape dans le cytoplasme : La glycolyse.

Le glucose subit une première oxydation dans le cytoplasme lors d'une série de réactions appelée la glycolyse. Cette étape ne consomme pas de dioxygène et permet par couplage la régénération d'ATP. Ces réactions produisent des électrons et des protons pris en charge par des transporteurs oxydés qui sont alors réduits.

La glycolyse se traduit aussi par la production de transporteurs réduits (NADH). Le **pyruvate** (forme acide : acide pyruvique) est le produit final de la **glycolyse**.



Les deux étapes suivantes se déroulent dans la mitochondrie. La mitochondrie (longueur 1 à 2 μm et largeur de 0,5 à 1 μm) se caractérise par une enveloppe dont la membrane interne forme de nombreux replis au sein de la matrice.

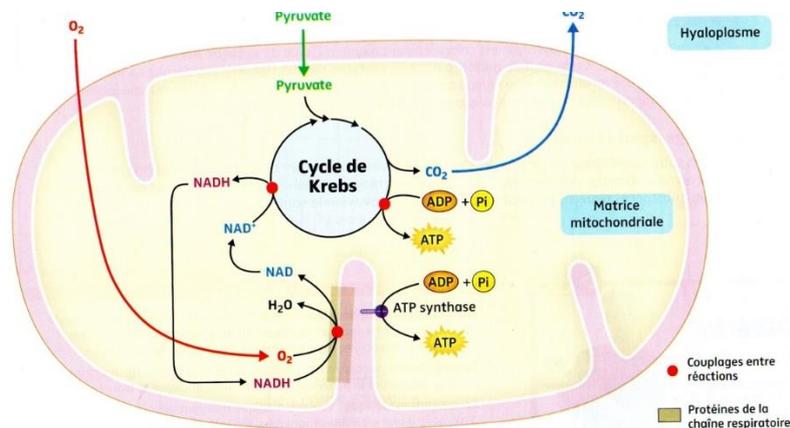
2°) La deuxième étape dans la matrice des mitochondries : le cycle de Krebs.

L'étude de la consommation en dioxygène et du rejet de dioxyde de carbone par une suspension de mitochondries en présence de glucose montre que celui-ci n'est pas le substrat oxydé contrairement au pyruvate. La mitochondrie est l'organe de la respiration et cette dernière intervient après la glycolyse.

Le **pyruvate** issu de la glycolyse traverse les deux membranes de la mitochondrie, il subit dans la matrice une suite d'**oxydations** et de **décarboxylations** couplée à la production de transporteurs réduits et d'ATP. Le pyruvate est totalement dégradé. La décarboxylation est à l'origine du dioxyde de carbone (6 CO_2) produit par la respiration. L'ensemble des réactions catalysées par des enzymes, localisées uniquement dans la matrice constitue le **cycle de Krebs**. Pour 2 molécules de pyruvate (issu d'une molécule de glucose), le cycle produit 10 transporteurs réduits ainsi que de l'énergie qui permet de former 2 ATP.

3°) La troisième étape au niveau des crêtes de des mitochondries : la chaîne respiratoire.

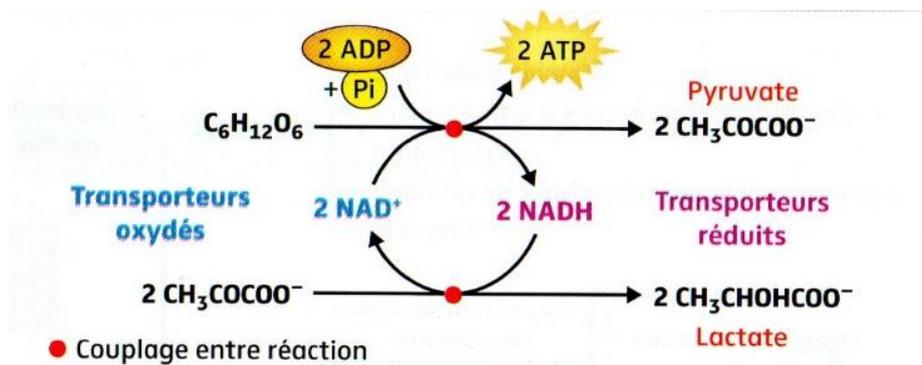
- Des protéines enchâssées dans la membrane interne et situées les unes à côté des autres, assurent une série d'oxydoréductions. Les électrons et les ions hydrogène sont transférés jusqu'à un accepteur final le dioxygène. Ceci explique la consommation de dioxygène et la production d'eau par la respiration. L'oxydation des transporteurs réduits (12 au total : 2 par la glycolyse et 10 par le cycle de Krebs) permettent la synthèse d'une grande quantité d'ATP (32), mais le bilan global est de 2 (glycolyse) + 2 (cycle de Krebs) + 32 (chaîne respiratoire) = 36 ATP.
- La synthèse d'ATP se fait grâce à des protéines enzymatiques. L'observation de la membrane interne de la mitochondrie montre qu'elle est recouverte de très nombreuses sphères pédonculées en contact avec la matrice : les ATP synthases, protéines catalysant la synthèse de l'ATP (de manière couplée à l'oxydation des transporteurs réduits produits par le cycle de Krebs et la glycolyse).



B La fermentation : une autre voie pour régénérer l'ATP

A l'échelle cellulaire, la fermentation se traduit par la consommation de molécules organiques sans consommation de dioxygène, ce qui génère un résidu organique dont la nature dépend du type de fermentation. Dans la cellule musculaire, la fermentation lactique produit du lactate (ou acide lactique) à partir du glucose.

- La première étape est commune avec la respiration c'est la glycolyse.
- La deuxième étape produit du lactate à partir du pyruvate et régénère les transporteurs oxydés.



III Dopage et fonctionnement de la cellule musculaire

A La plasticité du muscle à l'entraînement

Les muscles s'adaptent continuellement à des changements d'activité en modelant leur phénotype. La proportion des fibres I et II composant les muscles, génétiquement déterminée est différente selon les individus. Un entraînement physique peut cependant modifier cette proportion des fibres et produire des remaniements dans la structure et le métabolisme des cellules musculaires.

B Les effets de certaines substances exogènes

Le métabolisme des cellules musculaires est contrôlé notamment par des hormones produites par l'organisme comme la testostérone. La liaison à son récepteur permet l'augmentation de la masse musculaire surtout chez les personnes qui suivent un entraînement physique.

Il existe des médicaments à base de molécules de synthèse dérivées de la testostérone. Ces molécules détournées de leur usage initial ont une structure tridimensionnelle qui permet leur fixation sur des récepteurs de la testostérone afin d'en amplifier les effets. Ces substances augmentent ainsi les performances du sportif. On parle de dopage.

Malheureusement, outre l'acte de tricherie qu'il constitue le dopage a des effets secondaires catastrophiques. Ces risques sont diversifiés et très graves, allant jusqu'à mettre en péril la vie des individus.

Lexique référentiel 15 :

Aérobie : Qualifie un milieu qui contient du dioxygène.

Anaérobie : Qualifie un milieu qui ne contient pas de dioxygène.

ATP-synthase : Enzyme qui catalyse la réaction de synthèse de l'ATP (se trouve dans les crêtes mitochondriales).

Chaîne respiratoire : Ensemble de diverses molécules situées dans les crêtes mitochondriales, assurant par les oxydoréductions successives le transfert des électrons et de l'hydrogène des transporteurs réduits jusqu'au dioxygène permettant la synthèse de grandes quantités d'ATP.

Cycle de Krebs : succession de réactions chimiques se déroulant dans la matrice mitochondriale, au cours de laquelle le substrat est totalement dégradé en CO₂ et en composés réduits.

Décarboxylation : réaction qui produit du CO₂ rejeté par la respiration.

Fermentation : dégradation incomplète d'un métabolite organique produisant de l'énergie utilisable ATP et un produit secondaire organique.

Fermentation lactique : fermentation qui grâce à des enzymes spécifiques dégrade des glucides et produit de l'acide lactique. Se produit chez certaines bactéries et dans les cellules musculaires.

Glycolyse : Dégradation du glucose en acide pyruvique se déroulant dans le hyaloplasme. C'est la première étape de la respiration et de la fermentation.

Hyaloplasme : phase plus ou moins liquide du cytoplasme dans laquelle sont situés les organites (syn : cytosol)

Métabolite organique : molécule qui subit ou provient d'une des réactions biochimiques qui se réalisent au sein de la cellule.

Mitochondrie : organite de la respiration. Présent dans toutes les cellules eucaryotes

Oxydation : réaction au cours de laquelle un atome ou un ion, perd 1 ou des électrons. L'oxydation est toujours couplée à une réduction.

Produit dopant : substance dont l'usage est interdit car dangereux, parfois utilisé pour améliorer les performances physiques ou psychiques de l'organisme.

Rendement énergétique : rapport ou pourcentage qui traduit l'efficacité d'une transformation

Stéroïde : molécule de nature lipidique. De nombreuses hormones comme le cortisol et la testostérone sont de nature stéroïde.

Stéroïde anabolisant : hormone de synthèse qui dérive de la testostérone produisant un accroissement de la masse musculaire.

Capacités et attitudes attendues pour ce chapitre :

- Réaliser des expérimentations assistées par ordinateur (ExAO) : respiration cellulaire et/ou fermentation.
- Extraire et organiser des informations pour identifier les différentes voies métaboliques.
- Observer des électrographies de mitochondries.
- Calculer le rendement en kJ (ou nombre de molécules d'ATP) de la fermentation lactique et de la respiration cellulaire, pour une même quantité de glucose.
- Localiser les réactions métaboliques nécessaires à la contraction musculaire dans une cellule.
- Extraire et mettre en relation des informations sur un produit dopant et ses conséquences sur l'organisme.

Références