

FICHE THÉORIQUE N° 16

Les filières énergétiques

SOMMAIRE



- ▶ Introduction
- ▶ La créatine-phosphate
- ▶ La glycolyse
- ▶ Les autres sources énergétiques
- ▶ Les caractéristiques de chaque filière énergétique

INTRODUCTION



Pour que la fibre musculaire puisse se contracter, elle a un besoin de 2 choses : un influx nerveux et de l'énergie. Dans notre organisme, l'énergie provient d'une molécule particulière : l'Adénosine triphosphate ou ATP.

Lorsque l'on rompt la dernière liaison phosphate de l'ATP, on obtient la libération d'une grande quantité d'énergie. Celle-ci est alors en partie utilisée par la cellule pour son fonctionnement. Le reste de l'énergie s'évacue sous forme de chaleur (**figure 1**).



Figure 1 : La rupture de la dernière liaison phosphate de l'ATP permet la libération d'énergie directement utilisable par la cellule

Cependant, le stock d'ATP à disposition de chaque cellule est très faible et ne permet de fonctionner que pour une durée de l'ordre de la seconde. Il est donc indispensable de resynthétiser en permanence l'ATP. La resynthèse de l'ATP est possible à partir d'une molécule d'adénosine diphosphate (ADP) et d'un phosphate (P) (**figure 2**), mais elle nécessite une certaine quantité d'énergie qui nous sera fournie grâce aux différents métabolismes énergétiques.

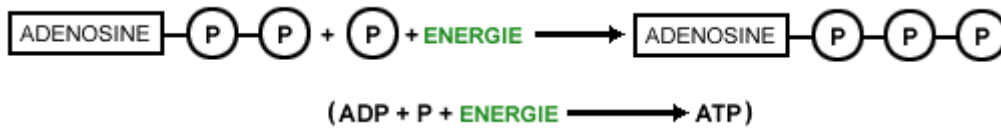


Figure 2 : Représentation de la resynthèse d'une molécule d'ATP. Cette resynthèse n'est possible qu'en présence d'énergie)

Trois grandes filières énergétiques permettant de fournir cette **énergie** nécessaire à la resynthèse de l'ATP. La première filière utilise une molécule présente dans le muscle (la Créatine Phosphate), les autres se basent sur la dégradation des aliments (glucides, lipides et protéines).

LA CREATINE-PHOSPHATE



La premier système de fourniture d'énergie pour la resynthèse de l'ATP se base sur l'utilisation d'une molécule riche en énergie, la Créatine-Phosphate (ou Phosphocréatine). Comme pour l'ATP, lorsque l'on rompt la liaison phosphate de la Créatine-Phosphate (CP), une grande quantité d'énergie est libérée (**figure 3**). Celle-ci est immédiatement utilisée pour la resynthèse d'une molécule d'ATP (**figure 2**).



Figure 3 : La dégradation d'une molécule de CP libère une quantité importante d'énergie. Cette réaction qui se produit dans le cytosol permet la resynthèse d'une molécule d'ATP.

Cependant, les stocks de CP ne sont que 3 à 5 fois plus importants que ceux de l'ATP. Pour une intensité maximale, cette filière ne contribue à la fourniture d'énergie que pendant les 6 ou 7 secondes, et 15 secondes environ si l'intensité est moindre. Au-delà, il faut faire appel à d'autres filières énergétiques.

LA GLYCOLYSE



Cette deuxième filière se base sur la dégradation du glucose pour obtenir l'énergie nécessaire à la resynthèse de l'ATP.

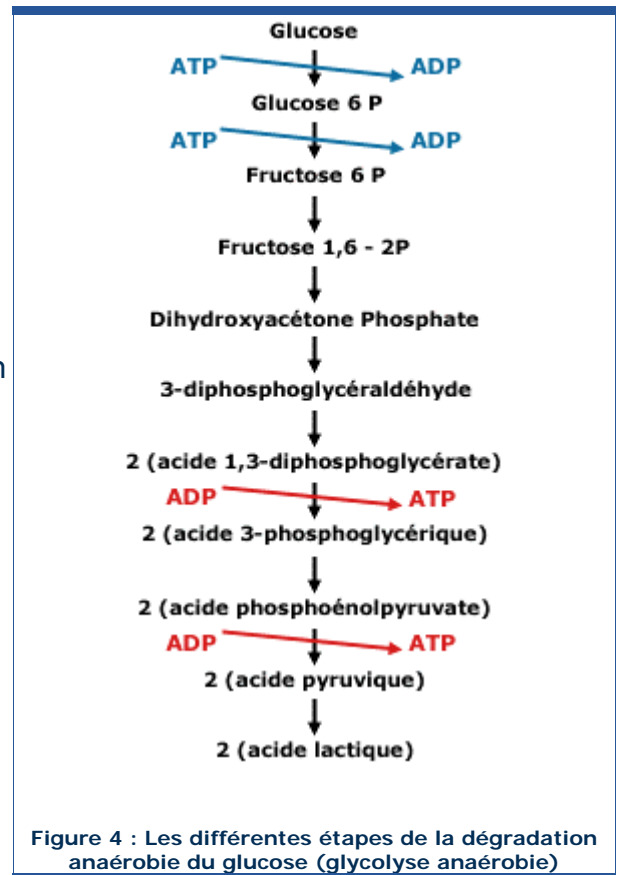
La dégradation complète du glucose s'effectue en deux phases. La première phase se déroule en absence d'oxygène, on dit qu'elle est anaérobie. La seconde phase nécessite de l'oxygène, elle est donc aérobie.

La glycolyse anaérobie

La molécule de glucose est dégradée par la succession de dix réactions biochimiques (figure 4). Le bilan de ces réactions qui se produisent dans le cytosol est la libération d'énergie en quantité suffisante pour la resynthèse de deux molécules d'ATP.

La glycolyse anaérobie aboutit à la formation d'acide pyruvique puis d'acide lactique.

Cette filière peut donc subvenir aux besoins énergétiques de la cellule malgré un apport insuffisant en oxygène. Sa contribution sera particulièrement importante lors d'exercices intenses d'une durée comprise entre 20 secondes et jusqu'à environ 3 minutes. Au-delà, la concentration en acide lactique devient trop importante et perturbe le fonctionnement musculaire. L'exercice ne pourra plus être maintenu et l'intensité devra diminuer.



La glycolyse aérobie

La seconde phase de la dégradation du glucose s'effectue dans la mitochondrie. L'acide pyruvique est transformé et entre dans un cycle de dégradation qui aboutit à la formation de gaz carbonique (CO₂) et d'eau (H₂O). Ce cycle de dégradation se nomme cycle de KREBS (figure 5).

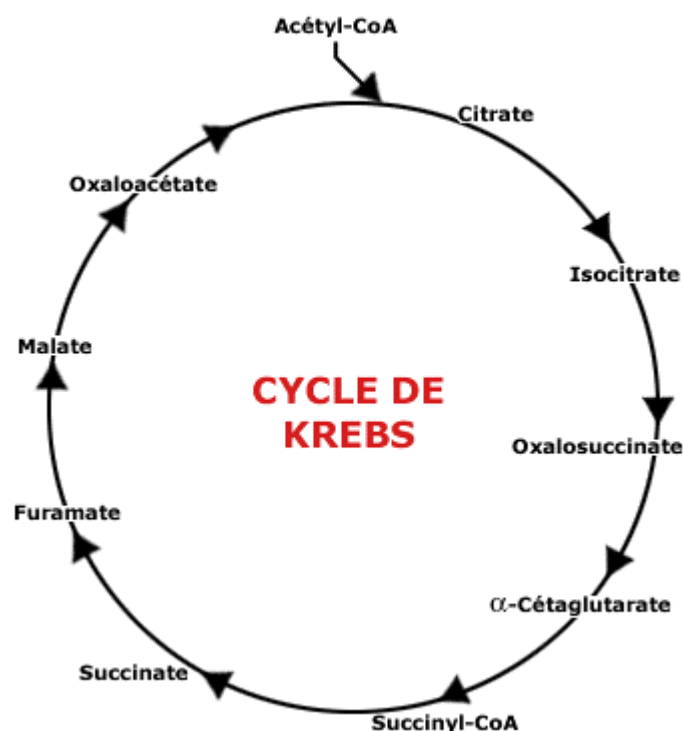


Figure 5 : Les différentes étapes du cycle de KREBS

Il se compose de réactions biochimiques au cours desquelles de l'énergie est libérée. Si on y ajoute l'activité de la chaîne respiratoire où est utilisé l'oxygène (O₂), la quantité totale d'énergie libérée permet la resynthèse de 38 molécules d'ATP à partir d'un Glucose (2 obtenus lors de la première phase anaérobie, et 36 lors de la phase aérobie).

Cette filière énergétique est principalement dépendante de l'apport en oxygène et sera donc prépondérante dans tous les exercices d'intensité modérée et d'une durée supérieure à 3 minutes. Cependant, il est important de souligner son importance dans tous les exercices d'intensité élevée voire maximale, ainsi que son rôle indispensable à la récupération après sollicitation des filières anaérobies.

LES AUTRES SOURCES ENERGETIQUES



Par notre alimentation, nous apportons d'autres éléments que notre organisme utilise comme substrat énergétique. Lorsque le besoin d'énergie est important, il doit être en mesure de palier à une forte déplétion des réserves de glucose. Ceci est d'autant plus important que certaines de nos cellules (les neurones) ne sont pas capables d'utiliser une autre source énergétique que le glucose. Il est donc capital que les cellules musculaires puissent utiliser d'autres substrats lorsque les réserves en glucose s'épuisent.

Parmi ces autres substrats, les lipides constituent une réserve énergétique presque inépuisable. Leur dégradation (la lipolyse) a lieu dans la mitochondrie, et forme également des Acétyl-CoA qui intègrent ensuite le cycle de KREBS et la chaîne respiratoire pour être complètement dégradés en eau et en CO₂, et permettre la libération d'énergie en très grande quantité.

Les protéines peuvent également être utilisées pour la resynthèse de l'ATP. Celles-ci sont alors dégradées intègrent elles aussi le cycle de KREBS. Il faut néanmoins souligner que la contribution énergétique des acides aminés est très faible et n'intervient qu'en cas de grande nécessité. En effet, la presque totalité de la fourniture de l'ATP est couverte par la glycolyse et la lipolyse.

LES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE FILIERE ENERGETIQUE



Il existe donc trois filières énergétiques différentes. Deux sont anaérobies, le système CP (filière anaérobie alactique) et la glycolyse anaérobie (filière anaérobie lactique), une est aérobie. Elles ont toutes pour rôle la fourniture de l'énergie de synthèse de l'ATP. Pour parvenir à ce résultat, elles dégradent différents substrats que nous apportons à l'organisme par notre alimentation.

Chaque filière possède ses propres caractéristiques qui sont résumées dans le tableau suivant (**tableau ci-dessous**).

	ANAEROBIE ALACTIQUE	ANAEROBIE LACTIQUE	AEROBIE
Substrats	Créatine Phosphate	Glucose	Glucose, lipides, acides aminés
Inertie (délai nécessaire pour atteindre le plein rendement)	Immédiat	Environ 20 secondes	2 à 4 minutes
Nombre d'ATP (resynthétisés par unité de substrat)	1	2	38 (glucose)
Produits terminaux	Créatine et Phosphate	Acide Lactique	H ₂ O et CO ₂
Puissance maximale de la filière	Maximum de l'individu	Élevée mais non maximale	PMA (Puissance Maximale Aérobie) VO2max (consommation maximale d'O ₂ par minute et par kilos) VMA (vitesse Maximale Aérobie en km/h)
à puissance maximale Capacité à puissance minimale	6 à 7 secondes 15 à 20 secondes	20 à 30 secondes jusqu'à 3 minutes	5 à 12 minutes Environ 15 minutes
Facteurs limitants	Puissance : <i>Activité enzymatique</i> Capacité : <i>Stock de CP</i>	Puissance : <i>Activité enzymatique</i> Capacité : <i>Acide lactique</i>	Puissance : <i>Activité enzymatique et apport en oxygène</i> Capacité : <i>Dérèglement général de l'organisme (élévation de la température par exemple)</i>

Tableau : Principales caractéristiques des filières énergétiques

La filière aérobie représente la filière principale dispensatrice d'énergie mais quelle que soit l'intensité de travail, les trois filières énergétiques contribuent toujours simultanément à la resynthèse de l'ATP. En effet, même à intensité minimale, il se trouve toujours des cellules qui sont provisoirement en manque d'oxygène. Les filières anaérobies assurent le relais et pallient ce manque d'O₂. Ainsi, même au repos, il y a toujours des cellules pour lesquelles il y a un décalage entre le besoin d'oxygène et sa fourniture, et qui sollicitent les filières anaérobies. Notre organisme fabrique donc toujours de l'acide lactique.

Pour chaque intensité d'exercice, les trois filières sont actives et participent à la resynthèse de l'ATP. Cependant, la contribution de chacune d'entre-elles varie en fonction de l'intensité. En fonction de l'exercice (intensité, durée), telle filière sera majoritairement sollicitée mais les trois interviendront.

Si l'on considère un effort de faible intensité, comme par exemple un footing, les filières anaérobies sont fortement sollicitées dans les premières minutes, le temps que l'apport en oxygène soit correctement adapté à la demande (inertie importante). Elles sont également sollicitées dès qu'une élévation de l'intensité se produit, comme dans le cas d'une côte ou lors du sprint final.

L'exemple inverse est également vrai, et lorsqu'un sprinter se prépare à courir, il respire, et une certaine quantité d'oxygène se trouve dans ses cellules. Durant sa course, une part de son énergie lui est donc fournie par la filière aérobie, même si l'ensemble est principalement anaérobie.

Durant la phase d'adaptation de l'apport en oxygène, et lorsque l'intensité est trop élevée, ce sont donc les filières anaérobies qui répondent au manque d'oxygène, et fournissent l'énergie manquante. Dans ces deux cas, l'organisme développe un déficit en oxygène.

A la fin de l'exercice, l'organisme entre dans une phase de récupération et surconsomme de l'oxygène par rapport à ses réels besoins pour produire un excès d'ATP (ce qui explique l'essoufflement dont on est victime après un sprint par exemple). Il utilise ce "surplus" d'énergie pour rembourser la dette d'oxygène qu'il a contractée au début ou en cours d'exercice. Il reconstitue ses stocks de CP et élimine l'acide lactique accumulé.

Si l'intensité de l'exercice le permet, c'est à dire si celle-ci est relativement modérée, alors, le remboursement peut se faire en cours d'effort. En fait, si l'intensité est supérieure à 60 - 75 % de VO_2 max, alors la production d'acide lactique devient plus importante que son élimination. La concentration d'acide lactique augmente rapidement et déclenche l'apparition de la fatigue et l'arrêt de l'exercice.

Comme nous l'avons souligné, la plus grande partie de l'énergie que nous utilisons nous est fournie par voie aérobie. La consommation d'oxygène (VO_2) augmente lors d'un exercice, et cette augmentation est proportionnelle à l'intensité. Cependant, elle présente deux limites. La première correspond au délai nécessaire à l'adaptation de l'apport en O_2 au début de l'effort. Cette inertie provoque un décalage entre les besoins et l'apport en oxygène. Celui-ci est alors comblé par les autres filières énergétiques, et l'énergie qui ne peut être fournie par la filière aérobie l'est alors par les voies anaérobies. La seconde limite à cette augmentation correspond à la limite de consommation maximale d'oxygène de l'individu (VO_{2max}). Au-delà, l'intensité d'exercice est trop élevée et la contribution anaérobie devient prépondérante.