

FILIERES ENERGETIQUES

Introduction

Quelque soit l'origine de la contraction musculaire (réflexe, tonus, contraction volontaire), elle est liée à l'arrivée d'un influx nerveux sur **les plaques motrices** (zone de jonctions neuromusculaires)

L'arrive de l'influx libère du calcium dans le sarcoplasme. La conséquence est l'hydrolyse de l'**ATP** (Adénosine Tri-Phosphate).

Celle-ci provoque une libération d'énergie qui va permettre le rapprochement des filaments protéiques, actine et myosine (raccourcissement des sarcomères).



L'ATP est le seul et unique combustible utilisé par la cellule musculaire qui n'en contient qu'en très faible quantité et quelques secondes d'effort suffisent à épuiser les réserves.

Comment l'organisme resynthèse t il le stock d'ATP ?

C'est le rôle des filières énergétiques...

Présentation

Trois grandes "voies (ou filières) énergétiques" permettent d'apporter de l'énergie à la resynthèse des stocks d'ATP, la seule molécule capable de déclencher une contraction musculaire.

- la filière **aérobie** avec utilisation d'oxygène.
- la filière **anaérobie lactique**.
- la filière **anaérobie alactique**.

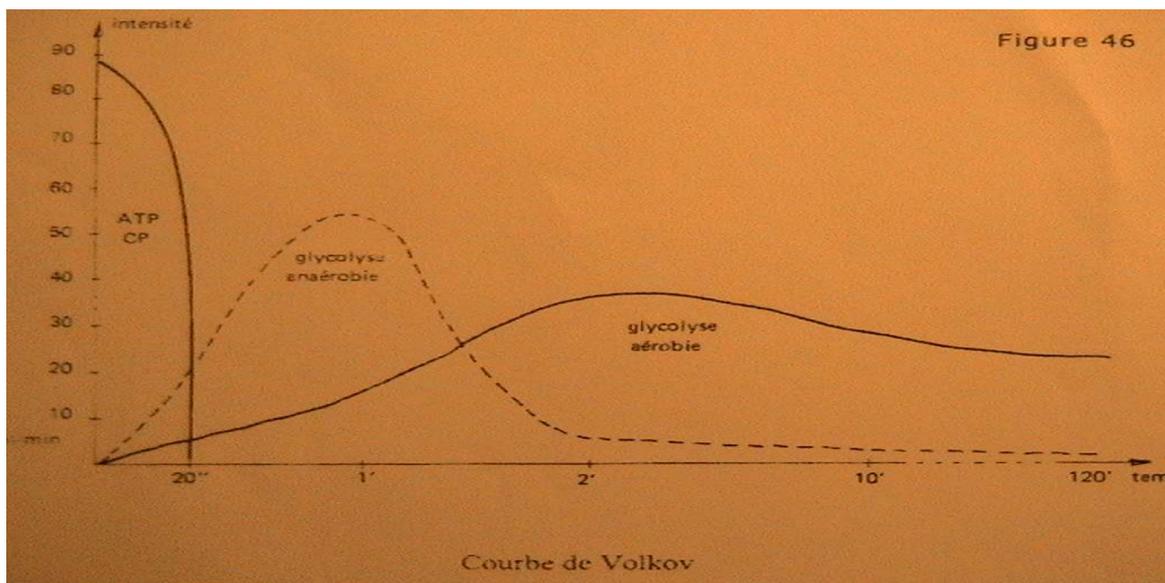
Ces trois voies sont activées à des niveaux différents en fonction de l'intensité et de la durée de l'exercice physique.

Ces trois voies convertissent de l'énergie, elles ne la produisent pas.

Les trois filières que nous allons détailler séparément sont en fait très liées séparément sont en fait intimement liées. Elles agissent en synergie, s'influencent, se régulent.

Chaque filière énergétique se caractérise par plusieurs paramètres :

- la **puissance** : quantité d'énergie produite par unité de temps
- la **capacité** : c'est la réserve d'énergie disponible
- le **rendement** : c'est le rapport de l'énergie réellement utilisée sur l'énergie totale libérée.
- le **décali d'intervention** : c'est le décali nécessaire pour que la filière se mette en place.



Filière aérobie

C'est la filière de base de notre organisme, en effet même au repos, celle-ci est action pour reconstituer l'ATP utilisé par le système musculaire dans le métabolisme de base à une puissance d'environ 5% de la PMA.

Elle utilise l'oxygène dans le catabolisme des glucides si l'effort est élevé, des lipides à intensité plus faible et sous certaines conditions des protides dans la formation d'ATP



L'oxydation de ces substrats se produit à l'intérieur de la **mitochondrie**, la 'centrale énergétique' de la fibre musculaire ; elle produit de l'eau, du dioxyde de carbone et peu de déchets métaboliques.

La consommation d'O₂ augmente proportionnellement à l'intensité de l'exercice jusqu'à la VO₂ max, intensité au-delà de laquelle la quantité d'oxygène ne sera pas suffisante et où les filières énergétiques seront utilisées.

Qu'est ce que la VO₂ max ?

La VO₂ max est la consommation maximale d'oxygène.

$$VO_2 \text{ max} = VES \text{ max} * FC \text{ max} * (CA O_2 - Cv O_2)$$

On parle généralement de débit maximal d'oxygène, c'est-à-dire la consommation maximale d'oxygène rapportée à une unité de temps, elle s'exprime alors en L.min⁻¹.

Pour pouvoir effectuer une comparaison entre individus, on doit la rapporter au poids de corps, ce qui donne une valeur exprimée en mlO₂.kg⁻¹.min⁻¹

Substrats de la filière aérobie

Les **glucides** sont présents au sein de la cellule musculaire, cette disponibilité locale fait qu'ils sont dégradés en premier et pour des efforts de faible intensité à la PMA.

Les **lipides** arrivent à la cellule musculaire qu'après intervention du système hormonal, une diminution de l'insuline, une augmentation du glucagon. Au-delà d'une intensité de 70-75% de la PMA, les réactions enzymatiques de la lipolyse sont bloquées. En outre, il est nécessaire de maintenir un niveau minimum de glycolyse pour dégrader les lipides, rendant la lipolyse dépendante de la glycolyse.

Les **protides** ne sont dégradés que s'il y a un manque de sucres dans l'organisme, l'hypoglycémie entraîne une libération de glucagon et de cortisol qui va entraîner la dégradation des protides, d'extraire les acides aminés permettant la formation de glucose (la transformation se fait dans le foie). La protéolyse intervient tardivement dans l'effort et n'est pas souhaitable, elle entraîne **fonte musculaire** et **surcharge au niveau des reins et du foie** (élimination des déchets azotés).

Caractéristiques

Puissance : elle dépend des capacités de transport de l'oxygène (VES, FC Max). Elle peut atteindre 85, voir 90 mlO₂.kg⁻¹.min⁻¹

Capacité : elle dépend de la puissance utilisée. A 100% de la PMA, elle varie de 2 à 12 minutes, avec une moyenne de 6 minutes. A faible intensité, sa capacité est illimitée ou presque (grandes réserves d'acides gras, disponibilité du dioxygène)

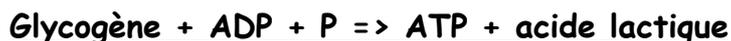
Rendement : dépendant de la thermorégulation, de l'intensité de travail, du niveau d'entraînement, la moyenne est de 25%

Délai d'intervention : Il dépend de l'entraînement, de la capacité à transporter l'oxygène. Les valeurs sont de 1 à 4 minutes.

Filière anaérobie lactique

Dans cette filière également nommée **glycolyse anaérobie**, la resynthèse de l'ATP est assurée par la **dégradation du glucose et du glycogène** sans oxygène et avec production d'acide lactique.

La dégradation du glucose produit des ions H^+ et de l'acide pyruvique qui vont se combiner pour former de l'acide lactique (lequel peut redevenir pyruvate dans le cycle de Krebs)



Cette filière intervient dans 2 cas :

- au début de l'effort (le temps que la filière aérobie se mette en place)
- si l'effort dépasse la PMA

Si l'effort est très intense, proche de la PMAL, les ions H^+ produits ne peut être éliminés, entraînant une baisse du pH ($\text{pH} = -\log [H^+]$) et une forte **acidose**, qui donne une sensation de brûlure.

L'avenir de l'acide lactique

Celui-ci est transféré par le plasma sanguin vers le myocarde qui est grand consommateur de lactates, vers les reins puis le foie qui le resynthèse en glycogène et vers le cycle de Krebs où il sera utilisé comme substrat dans le métabolisme aérobie

Caractéristiques

Puissance : très importante, de l'ordre de 50 à 100 kcal.min⁻¹

Capacité : 45 secondes en puissance à 2/3 minutes en capacité

Rendement : très légèrement plus élevé que le métabolisme aérobie, entre 25 et 30%

Délai d'intervention : il est pratiquement immédiat, il est réellement efficace au bout de 20 à 30 secondes, dépendant de la rapidité de la baisse du stock d'ATP

Filière anaérobie alactique

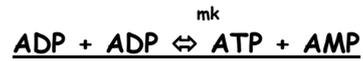
Elle concerne l'ensemble des réactions chimiques qui permettent de synthétiser l'ATP sans oxygène et sans acide lactique.

Une fois les réserves d'ATP épuisées après 1 à 3 secondes, la **phosphocréatine**, composé phosphorylé présent dans la cellule musculaire assure la resynthèse de l'ATP.

L'enzyme **CPK, créatine phospho-kinase** permet de récupérer la partie phosphate de la CP et de la céder à l'ADP, cette réaction est réversible.



La synthèse d'ATP peut également avoir lieu avec 2 molécules d'ADP et ce grâce à l'enzyme **myokinase**.



Cette dernière réaction a lieu quand la concentration en ATP est très faible et celle de l'ADP élevée.

Caractéristiques

Puissance : très importante, de l'ordre de 100 à 200 kcal.min⁻¹

Capacité : 7 à 15 secondes.

Rendement : élevé, environ 40%.

Délai d'intervention : pratiquement nul

Conclusion & Synthèse

Les 3 filières fonctionnent ensemble, elles démarrent en même temps mais ne s'expriment pas à plein rendement au même moment.

La filière ATP-O₂ utilise les glucides et les lipides et nécessite la présence d'oxygène. Elle permet la synthèse la plus importante d'ATP.

La filière ATP-AL utilise le glycogène intracellulaire ou le glucose circulant sans oxygène et produit des ions H⁺ qui diminuent le pH et limitent l'effort.

La filière ATP-PC utilise les réserves de phosphocréatine pour resynthétiser l'ATP.

	<u>Filière ATP-O₂</u>	<u>Filière ATP-AL</u>	<u>Filière ATP-PC</u>
<u>Substrats</u>	Glycogène, glucose, AG, AA	Glycogène	PC
<u>Temps de latence</u>	1'30/4'	10 à 20" pour arriver à 100%	(presque) immédiat
<u>Capacité (t)</u>	plusieurs heures à infini	2'30 à 3'30	10-15"
<u>Capacité (En.)</u>	Illimitée à puissance faible	Moyenne	Faible
<u>Puissance (t)</u>	6 min (2 à 12') à 100% PMA	40" à 1'	1 à 7"
<u>Rendement</u>	Faible (25%)	Moyen (30%)	Fort (40%)