

## I. INTRODUCTION

La capacité à faire des exercices dépend de la capacité à augmenter l'apport énergétique vers les muscles squelettiques nécessaires à la contraction. La contraction des muscles squelettiques et leur relaxation nécessitent de l'énergie chimique sous la forme d'adénosine triphosphate (ATP), une molécule riche en énergie formée dans les fibres musculaires grâce au métabolisme d'assimilation de la nourriture. L'énergie chimique est présente dans tous les types d'aliments (protéines, sucres ou graisses), mais elle ne peut être directement utilisée pour la contraction et la relaxation. Au lieu de cela, les fibres musculaires doivent assimiler les nutriments essentiels et utiliser une partie de l'énergie due à ce métabolisme pour former l'ATP. Les molécules d'ATP sont ensuite utilisées comme source d'énergie pour la contraction et la relaxation musculaire. Ce processus est résumé à la Fig. 15.1.

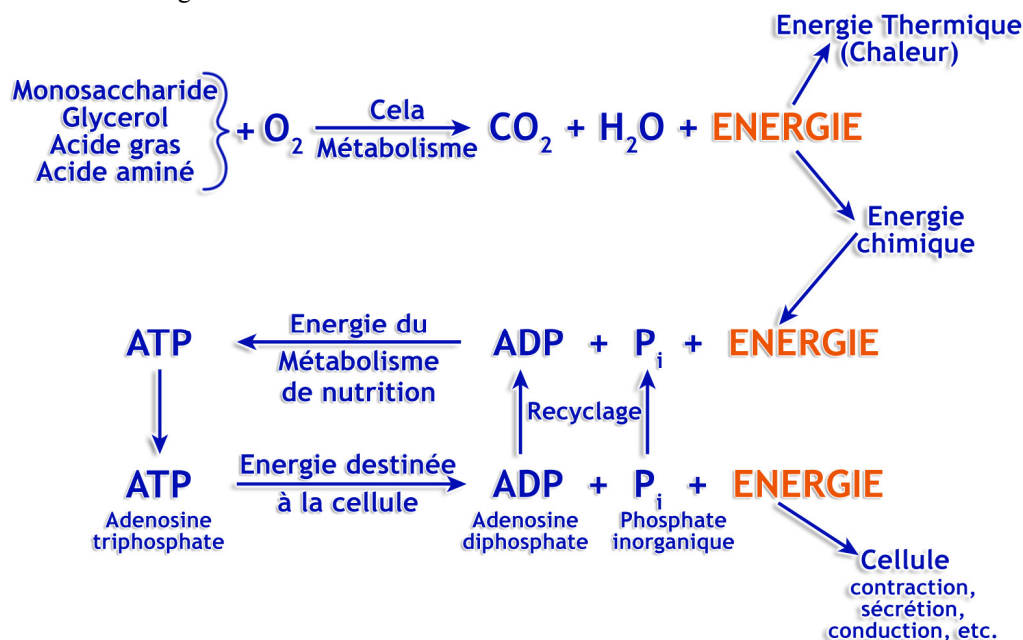
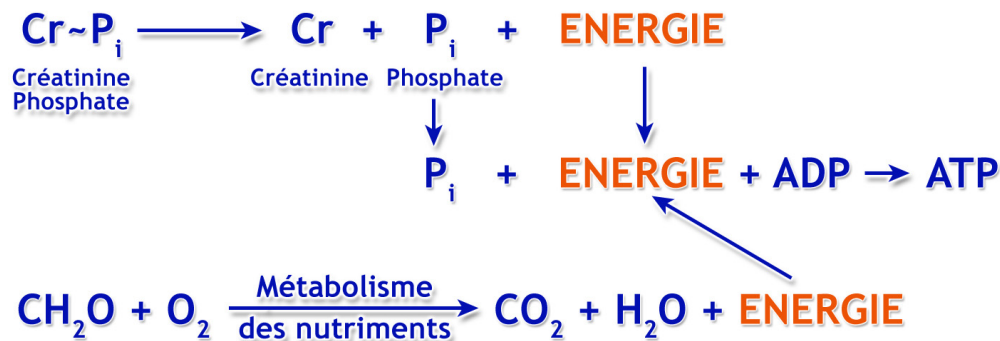


Fig. 15.1 Métabolisme de l'ATP

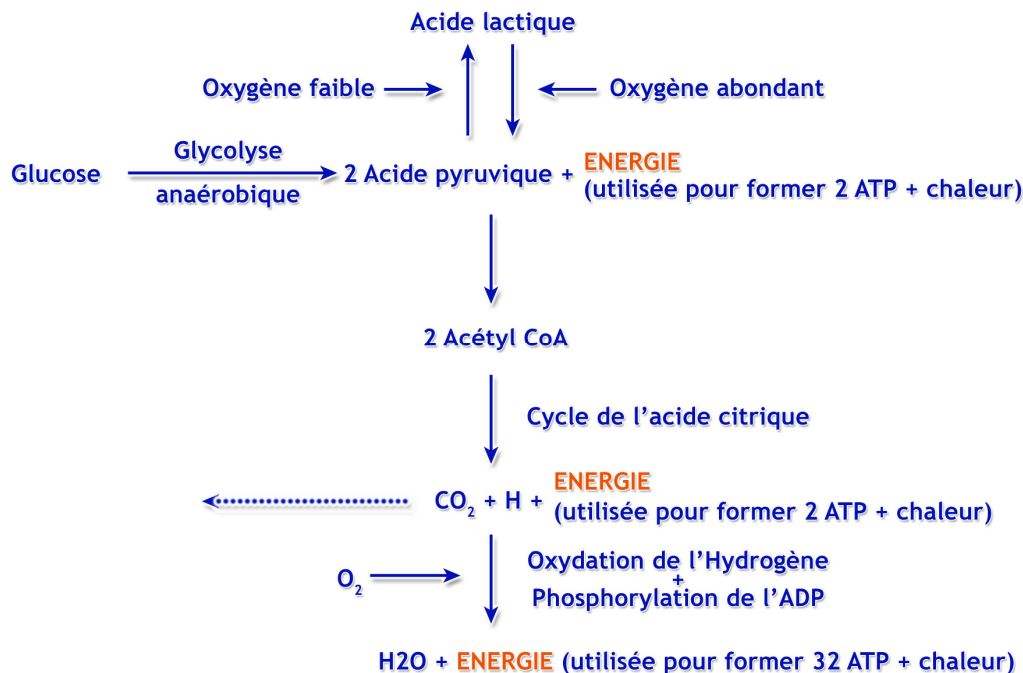
L'exercice augmente les besoins en ATP. Les fibres musculaires squelettiques stockent très peu d'ATP aussi la reconstitution immédiate et continue d'ATP est nécessaire si l'exercice se poursuit. L'ATP peut être rapidement généré à partir de la créatine phosphate musculaire, un autre phosphate à haute énergie (Fig. 15.2). Bien que l'énergie de la créatine phosphate ne puisse pas être utilisée directement pour la contraction, elle peut transférer le phosphate à l'ADP afin de reconstituer l'ATP.



**Fig. 15.2**

Un complément alimentaire en créatine peut augmenter légèrement la capacité à exécuter à court terme un exercice intense, mais les niveaux de créatine phosphate sont normalement suffisants pour des exercices de très brèves périodes (par exemple, les cinq premières secondes d'un sprint de 100 mètres). Après les premières secondes, l'énergie pour la contraction et la relaxation est fournie par l'ATP généré au cours de la glycolyse mais surtout de la phosphorylation oxydative.

La glycolyse anaérobie, un processus ne nécessitant pas d'oxygène, génère une petite quantité d'ATP et d'hydrogène quand le glucose est métabolisé en acide pyruvique (Fig. 15.3). En présence d'une quantité suffisante d'oxygène, l'acide pyruvique est converti en acétyl-CoA, qui entre dans le cycle de l'acide citrique. L'hydrogène produit avant et pendant la conversion, et pendant le cycle de l'acide citrique, est oxydé en eau. Ce procédé connu de phosphorylation oxydative (en plus d'exiger de l'oxygène, l'ADP est phosphorylé) entraîne la formation d'une grande quantité d'ATP. Si il n'y a pas suffisamment d'oxygène pour l'exercice musculaire, l'acide pyruvique est converti en acide lactique, un métabolite qui pénètre dans le fluide extracellulaire augmentant l'acidité (acidose lactique). Immédiatement après l'exercice, l'acide lactique est repris par le muscle, reconverti en acide pyruvique et métabolisé pour former l'ATP par le biais des voies oxydatives. La quantité supplémentaire d'oxygène, au-dessus du montant requis par le muscle au repos, nécessaire pour traiter l'acide lactique produit pendant l'exercice est appelée *dette en oxygène*.



**Fig. 15.3**

Le glucose formé à partir du glycogène intramusculaire, un polymère du glucose, et les acides gras libres circulants sont les substrats majeurs d'énergie au cours d'un exercice léger ou modéré; l'utilisation d'acides aminés est très faible quelle que soit l'intensité du travail. Pendant un exercice léger ou modéré, la graisse est la principale source d'énergie pour contracter les muscles. L'augmentation de la stimulation sympathique du tissu adipeux au cours de l'exercice accélère la dégradation des graisses, augmentant les taux circulants de glycérol et d'acides gras. Le métabolisme des acides gras produit environ deux fois plus d'ATP que le métabolisme d'une quantité équivalente d'acides aminés ou de monosaccharides. Les réserves de graisse corporelle sont très importantes par rapport à la demande d'énergie, même pour un exercice prolongé d'intensité faible. Par conséquent, un exercice léger n'est pas limité par l'épuisement du substrat énergétique et peut être poursuivi presque indéfiniment grâce au métabolisme oxydatif (aérobie), ce métabolisme générant la quasi-totalité de l'ATP nécessaire. De petites quantités d'ATP sont également générées en anaérobie à partir de la conversion du glucose en pyruvate (glycolyse) et de la déphosphorylation de la créatine phosphate.

Au cours d'un exercice dynamique, de modéré à important (taux de travail supérieur à 50% de la consommation maximale d'oxygène), la production d'ATP pour maintenir le rythme de travail dépend aussi de la dégradation du glycogène (glycogénolyse) et du métabolisme du glucose dérivé du glycogène. Lorsque les réserves en glycogène intramusculaire sont épuisées, l'épuisement se produit. Ainsi, la capacité à effectuer un travail durable, d'intensité modérée à importante, dépend de la quantité de glycogène stocké, qui varie d'une personne à une personne, et qui peut être modifiée par l'activité précédente et l'alimentation.

Un exercice soutenu à n'importe quel niveau d'intensité dépend de l'oxygène. La dépendance primaire sur le métabolisme oxydatif pour la production d'ATP permet de mesurer l'intensité de l'exercice en termes de consommation d'oxygène. Au cours de l'exercice dynamique, la consommation d'oxygène augmente avec l'intensité croissante de l'exercice jusqu'à ce qu'un plateau, appelé consommation maximale d'oxygène, soit atteint. Au repos, un adulte normal consomme de l'oxygène à un taux d'environ 250 ml par minute. Au cours d'un exercice intense, la consommation d'oxygène pour une personne non entraînée peut augmenter douze fois plus avec un pic de 3000 ml par minute. Il n'est pas rare pour un athlète hautement entraîné d'avoir un pic de consommation maximale d'oxygène de 5000 ml par minute. La consommation maximale d'oxygène pendant l'exercice est limitée par la capacité de l'appareil respiratoire et du système cardio-vasculaire à fournir l'oxygène aux muscles squelettiques, et par la capacité du muscle squelettique travaillant à utiliser l'oxygène fourni.

La consommation maximale d'oxygène de l'atmosphère à la consommation par le muscle est limitée par la valeur maximale de l'un ou plusieurs des facteurs suivants:

1. ventilation pulmonaire
2. diffusion pulmonaire
3. débit cardiaque
4. débit sanguin musculaire
5. utilisation de l'oxygène dans la fibre musculaire

Certains de ces facteurs, tels que le débit cardiaque maximal et l'utilisation maximale d'oxygène par la fibre musculaire peuvent être augmentés par un entraînement approprié.

La ventilation pulmonaire augmente linéairement avec l'intensité du travail durant un exercice léger à modéré, puis plus fortement dans l'exercice intense. La ventilation pulmonaire, ou le volume respiratoire par minute, est le volume d'air déplacé dans et hors du système respiratoire en une minute. C'est le produit du volume courant, qui est le volume d'air déplacé à chaque respiration, par la fréquence respiratoire, qui est le nombre de respirations par minute. Au cours de l'exercice dynamique, l'augmentation du volume courant et de la fréquence respiratoire contribue à augmenter la ventilation.

L'augmentation de la ventilation maintient constante la pression partielle en oxygène et la saturation de l'hémoglobine dans le sang artériel, même lors d'un exercice intense. Pendant un exercice dynamique léger à modéré, l'augmentation de la ventilation maintient également un taux d'excrétion de dioxyde de carbone. Cela correspond à l'augmentation du taux de production de dioxyde de carbone dans le muscle squelettique actif, contribuant à maintenir le pH du sang dans des limites normales.

Les réponses cardiovasculaires à l'exercice dynamique comprennent une augmentation du débit cardiaque, de la pression artérielle moyenne, du flux sanguin artériel coronaire et musculaire squelettique, et une diminution du flux sanguin dans les reins, la peau et les viscères abdominaux.

Un exercice dynamique augmente l'activité neuronale sympathique et diminue l'activité neuronale parasympathique.

L'augmentation de l'activité sympathique neuronale augmente le rythme et la contractilité cardiaques augmentant ainsi le volume d'éjection. Le débit cardiaque est le produit du volume d'éjection, volume de sang éjecté à chaque battement par le ventricule, et du rythme cardiaque, nombre de battements par minute. Dans l'exercice dynamique, une augmentation du volume d'éjection et de la fréquence cardiaque augmente le débit cardiaque, engendrant un apport de sang vers les muscles squelettiques actifs.

L'augmentation de l'activité sympathique neuronale vasoconstricte également les artéioles du muscle squelettique, des reins, de la peau et des viscères abdominaux augmentant ainsi la pression artérielle moyenne, principale force régissant la circulation sanguine. Dans les muscles squelettiques actifs, des modifications chimiques locales, résultant d'un métabolisme musculaire accru, l'emportent sur les effets sympathiques et provoquent une vasodilatation des artéioles qui alimentent les muscles. La vasodilatation diminue la résistance vasculaire locale qui, couplée à une augmentation de la pression artérielle moyenne et à une vasoconstriction périphérique dans d'autres organes, permet une augmentation considérable des flux de sang dans le muscle squelettique. Cela facilite l'apport en oxygène et l'élimination du dioxyde de carbone.

Dans les exercices modérés, les apports en oxygène et l'élimination du dioxyde de carbone et autres métabolites par le sang sont suffisants pour répondre aux besoins métaboliques d'un muscle squelettique actif. Cependant, si l'intensité et la durée de l'exercice augmentent au-dessus de 50% le pic de consommation d'oxygène, les muscles consomment plus d'oxygène par minute que ne peut en apporter le sang. Les concentrations d'ADP et de phosphate inorganique (Pi) dans les fibres musculaires augmentent à mesure que les niveaux de créatine phosphate diminuent. Les fibres musculaires atteignent ainsi leur limite à générer de l'ATP en aérobic. Ces conditions créent une stimulation intense de la glycolyse, processus générant de l'ATP et du pyruvate par voie anaérobic. Lorsque l'apport en oxygène au muscle squelettique est insuffisant, le pyruvate est transformé en acide lactique et libéré dans le sang. Quand l'intensité de l'exercice augmente, la quantité d'acide lactique libéré augmente diminuant le pH sanguin. Ce processus, connu sous le nom d'acidose lactique, est commun dans un exercice intense. A la fin d'un exercice intense et au cours de la période de récupération, les fibres musculaires éliminent les lactates du sang, les reconvertissent en pyruvate et l'oxydent en générant de l'ATP. Une quantité supplémentaire d'oxygène, au-dessus et au-delà du montant nécessaire pour maintenir le métabolisme normal des muscles au repos, est nécessaire pour traiter la transformation du lactate en pyruvate.

La quantité supplémentaire d'oxygène, mentionnée plus haut comme la dette en oxygène, est nécessaire pour maintenir une ventilation et un débit cardiaque élevés pendant une brève période après l'exercice.

L'exercice augmente la production métabolique de chaleur (Fig. 15.1) et l'excès de chaleur doit être évacué vers l'environnement externe. La température centrale du corps est contrôlée par l'équilibre entre le gain et la perte de chaleur. Les mécanismes de perte de chaleur incluent la convection, la conduction, le rayonnement et l'évaporation. Tous sont associés à des pertes de chaleur variées par l'intermédiaire de la surface de la peau ou des voies aériennes. Le moyen le plus efficace pour évacuer la chaleur est d'utiliser la chaleur pour évaporer les liquides en gaz. L'exercice augmente l'activité neuronale sympathique augmentant la production de sueur. Par la sueur, la chaleur, produite pendant l'exercice et transportée par la peau, peut être utilisée pour évaporer celle-ci, éliminer la chaleur et refroidir le sang.

Dans cette leçon, nous allons observer et enregistrer les variations de température de la peau associées à des niveaux modérés d'exercice dynamique. Par l'enregistrement des modifications de la ventilation respiratoire et du rythme cardiaque, on peut avoir une idée des ajustements cardiovasculaires et respiratoires qui se produisent pendant un exercice dynamique modéré.