

EVALUATION DE LA PUISSANCE AÉROBIE EN LABORATOIRE :

interprétation et implications pratiques pour le médecin du sport

C. LEHANCE (1), T. BURY (2)

RÉSUMÉ : Dans le monde du sport, chacun s'accorde à considérer que la quantité d'oxygène absorbée par minute (VO_2 max) est un bon indicateur de l'endurance d'un sportif. Il existe cependant 3 autres déterminants importants de la performance en endurance : l'aptitude à maintenir pendant un temps prolongé un pourcentage élevé de VO_2 max (en relation avec le niveau des seuils lactiques), une économie de course élevée, un pourcentage élevé de fibres musculaires lentes. L'évaluation de la puissance aérobie en laboratoire repose essentiellement sur la détermination de la VO_2 max et des seuils lactiques. En fonction de ce bilan, nous pouvons élaborer le plan d'entraînement individuel du sportif.

MOTS-CLÉS : Puissance aérobie - Seuils lactiques - VO_2 max

INTRODUCTION

Au niveau de l'entraînement, la filière aérobie représente les gammes d'intensité de travail de développement des qualités «d'endurance». Elle traduit l'aptitude de l'organisme à extraire, transporter et utiliser l'oxygène pour transformer l'énergie. Dans cette approche, «l'endurance» représente l'aptitude des systèmes respiratoire, circulatoire et musculaire à favoriser le métabolisme aérobie. Dans cet article, nous nous proposons de rappeler quelques grands principes à propos de l'exploration du métabolisme aérobie.

LES DÉTERMINANTS PRINCIPAUX DE LA PERFORMANCE EN ENDURANCE

Dans de nombreuses activités physiques et disciplines sportives, la relation existant entre la performance de longue durée et la consommation maximale d'oxygène (ou VO_2 max) est un fait bien établi. Une VO_2 max élevée favorise non seulement la performance de longue durée mais, en permettant des charges d'entraînement plus importantes, peut indirectement favoriser l'amélioration des autres qualités physiques. De même, un bon transport et une bonne utilisation cellulaire de l'oxygène jouent un rôle très important dans la récupération post-exercice et sont le gage d'une bonne capacité physique générale non seulement du sportif, mais aussi de l'enfant et de l'adulte non compétiteur (1).

TESTING AEROBIC POWER

SUMMARY : Maximal oxygen uptake (VO_2 max) is regarded by some as the best single measurement of aerobic fitness. An other major determinant of successful endurance performance is the percentage of VO_2 max that an athlete can maintain for a prolonged period. It is related to the lactate threshold. Two other factors also appear to be important for endurance activities as high economy of effort, or low VO_2 value for the same rate of work; high percentage of ST muscle fibers. In the laboratory, the usual measurements of aerobic power include the determination of maximum oxygen consumption and the identification of lactate threshold. Testing aerobic power can help determine the type of aerobic training that should be emphasized.

KEYWORDS : Aerobic power - VO_2 max - Lactate threshold

La consommation maximale d'oxygène représente le débit maximal ou la puissance maximale du métabolisme aérobie. Ainsi, lorsque l'intensité d'une activité musculaire augmente progressivement, la consommation d'oxygène augmente parallèlement jusqu'à atteindre un plateau au-dessus duquel toute nouvelle augmentation de la puissance de l'exercice demeure sans effet sur la consommation d'oxygène. Ce plateau définit la consommation maximale d'oxygène (Fig. 1). Les valeurs les plus élevées de VO_2 max, de 75 à 85-90 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ sont observées chez les skieurs de fond, les cyclistes professionnels et les coureurs de demi-fond (2). Quand on s'intéresse de façon un peu plus précise à la relation VO_2 max et performance en endurance, il apparaît que la VO_2 max peut prédire la performance quand on étudie un groupe de sportifs hétérogènes, c'est-à-dire avec des aptitudes physiques différentes, mais la VO_2 max se révèle un pauvre-

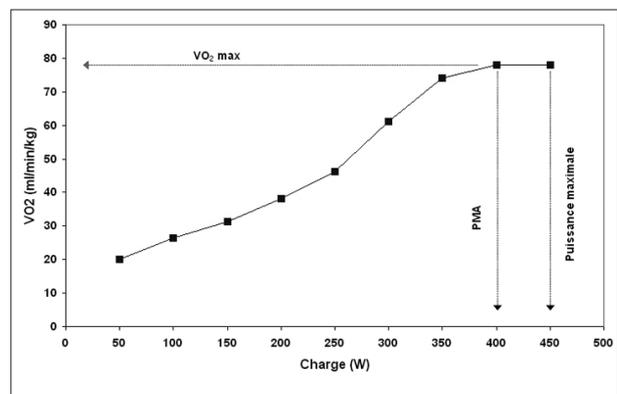


Figure 1. Relation entre l'intensité de l'exercice et la consommation d'oxygène, mettant en évidence le plateau de VO_2 max (PMA: puissance maximale aérobie)

(1) Doctorant (2) Chargé de cours, Physiologie de l'Effort, Université de Liège.

prédicteur de la performance lorsque l'on s'intéresse à un groupe d'athlètes homogène (3). Dans le domaine de la course, typiquement, l'indice de corrélation $\text{VO}_2 \text{ max}$ – performance est de 0,7 – 0,8. Cela signifie, sur le plan statistique, que le niveau de $\text{VO}_2 \text{ max}$ rend compte de 50 à 65% de la variance dans la performance et, donc, que d'autres facteurs sont aussi importants. Toute une série de travaux ont montré que le $\text{VO}_2 \text{ max}$ augmente avec l'entraînement pour finalement plafonner malgré la poursuite d'un entraînement très intensif. Pourtant, même si le $\text{VO}_2 \text{ max}$ plafonne, les sportifs continuent malgré tout à améliorer leurs performances en endurance. Ils développent, alors, leur aptitude à travailler à un pourcentage plus élevé de leur $\text{VO}_2 \text{ max}$. Ainsi, la plupart des coureurs à pied peuvent faire un marathon de 42 km à une vitesse moyenne correspondant environ à 72-80% de leur $\text{VO}_2 \text{ max}$. Il apparaît ainsi que les déterminants principaux de la performance en endurance sont à la fois le $\text{VO}_2 \text{ max}$ et le pourcentage de $\text{VO}_2 \text{ max}$ qui peut être maintenu pendant une période prolongée. Ce dernier facteur est en relation avec les seuils lactiques qui sont probablement les déterminants majeurs de l'allure pouvant être conservée lors d'une course de longue durée (3, 4). Donc, l'aptitude à tenir un pourcentage élevé de $\text{VO}_2 \text{ max}$ s'accompagne de seuils lactiques élevés. Enfin, on reconnaît encore deux autres déterminants importants de la performance en endurance : une efficacité de course élevée encore appelée économie de course et un pourcentage élevé de fibres musculaires dites lentes (2, 3, 5).

Ainsi, il existe quatre déterminants principaux de la performance en endurance, chacun de ces déterminants pouvant faire l'objet d'une évaluation fiable en laboratoire. En pratique, on évalue essentiellement les deux premiers facteurs, c'est-à-dire la détermination de la $\text{VO}_2 \text{ max}$ et la détermination des seuils lactiques.

BUTS DE L'ÉVALUATION DU POTENTIEL AÉROBIE EN LABORATOIRE

Les performances nettement supérieures des athlètes d'aujourd'hui résultent de la combinaison de plusieurs facteurs d'ordres physiologique, biomécanique et psychologique. L'entraîneur moderne reconnaît que la meilleure méthode de préparation d'un athlète pour la compétition est celle qui s'appuie sur des principes scientifiques éprouvés plutôt que sur l'essai et l'erreur ou même sur un jugement empirique. Il est donc de plus en plus fréquent que l'entraîneur, autant que l'athlète, se tourne vers le spécialiste des sciences du sport pour y trouver les ressources

qui permettront à l'athlète de développer son potentiel.

Les sportifs passent des tests d'évaluation pour de nombreuses raisons. L'un des principaux objectifs de l'évaluation du potentiel aérobie en laboratoire est de donner aux athlètes ainsi qu'aux médecins du sport des indications précises relatives à la capacité maximale de performance et aux plages optimales d'entraînement. Par la réalisation de tests réguliers, il est également possible de suivre aisément la progression de l'état d'entraînement. Dans cette indication, la mesure du taux d'acide lactique constitue un instrument extrêmement précieux pour l'appréciation de la capacité d'endurance et la conduite de l'entraînement.

MÉTHODOLOGIE

De manière schématique, pour déterminer les deux principaux déterminants de la performance en endurance, c'est-à-dire $\text{VO}_2 \text{ max}$ et seuils lactiques, on soumet le sportif à une épreuve d'effort triangulaire de type maximal, le choix de l'ergomètre dépendant de la discipline sportive pratiquée. Dans le décours de cet effort souvent réalisé sur tapis roulant, la charge est augmentée toutes les trois minutes jusqu'à épuisement et nous mesurons en continu les échanges gazeux respiratoires, le sujet étant muni d'un embout buccal ou d'un masque auquel est adapté un jeu de soupape inspiratoire et expiratoire (6). A chaque palier d'effort, un prélèvement sanguin est réalisé au niveau du lobe de l'oreille ou dans l'extrémité d'un doigt afin de doser l'acide lactique grâce à une méthode normalisée. Il est évident que la procédure doit être parfaitement standardisée non seulement au niveau du protocole d'effort, mais aussi au niveau des conditions ambiantes. Ainsi, certains critères communs aux différents protocoles d'effort sont importants à respecter : la première puissance du test incrémenté ne doit pas être élevée, car cela risquerait d'entraîner un déficit d' O_2 initial; les paliers doivent être suffisamment longs (≥ 3 min) pour permettre l'adaptation cardiorespiratoire; l'incrément doit être modéré pour ne pas déterminer un déséquilibre de l'apport d' O_2 .

ANALYSE DE LA COURBE D'ACIDE LACTIQUE

Un exercice triangulaire est un exercice au cours duquel l'intensité de l'effort est graduellement augmentée. Au début d'un tel exercice, lorsque l'intensité est faible, la concentration sanguine de lactate s'accroît très légèrement tout en restant proche des valeurs de repos (inférieure à

2 mmol par litre). Avec l'augmentation d'intensité, la concentration de lactate augmente tout d'abord modérément, puis de manière exponentielle (Fig. 2). Le passage d'une lactatémie à peu près stabilisée à une élévation rapide des valeurs a donné naissance au concept physiologique des seuils lactiques (7, 8). On observe donc deux «cassures» dans la cinétique de la lactatémie qui reflète des modifications dans la participation relative des systèmes métaboliques aérobie et anaérobie. Lorsque l'intensité de l'effort dépasse un certain niveau, le système anaérobie lactique est de plus en plus sollicité, il y a donc formation de plus en plus d'acide lactique. Les points de cassure n'étant pas toujours aisément identifiables sur la courbe, les chercheurs ont choisi arbitrairement une concentration sanguine en lactate de 2 et 4 mmol par litre pour les définir. Dans la littérature, la terminologie des seuils de même que leur signification physiologique restent controversées (9, 10); peu importe, d'un point de vue pratique, la détermination de ces seuils est un outil intéressant pour programmer et réajuster des entraînements spécifiques.

On peut généralement scinder la courbe d'acide lactique en trois zones (Fig. 3) en fonction des seuils lactiques 1 et 2 encore appelés seuils aérobie ou anaérobie :

- dans la première zone, la concentration en acide lactique reste inchangée ou accuse un léger fléchissement et ce, malgré une intensification de la charge;
- dans la deuxième zone, la concentration d'acide lactique s'élève lentement avec l'augmentation de la charge. Cette deuxième zone se prolonge jusqu'au seuil lactique 1;
- la troisième zone commence au seuil lactique 2. Au-delà de ce seuil, on constate une forte élévation du taux d'acide lactique.

Il existe en fait différentes méthodes, directes ou indirectes, pour identifier les seuils lactiques (11, 12). Comparer entre eux les résultats des différentes méthodes de détermination de ces seuils n'a aucun sens. Dès lors, dans le cadre du suivi physiologique d'un sportif, celui-ci doit être adressé régulièrement au même laboratoire qui prendra en charge le sportif avec le même protocole et avec les mêmes méthodes d'identification des seuils. La méthode de référence étant bien sûr le dosage sanguin de l'acide lactique.

IMPLICATIONS PRATIQUES

Dans les zones 1 et 2 de la courbe de l'acide lactique, c'est l'entraînement aérobie qui est

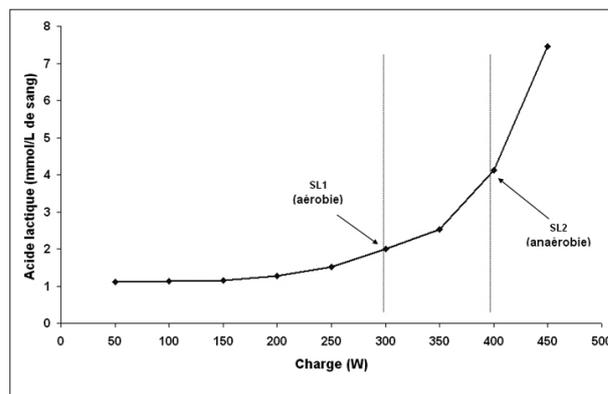


Figure 2. Relation entre l'intensité de l'exercice et l'accumulation du lactate sanguin (SL1 : seuil lactique 1; SL2 : seuil lactique 2).

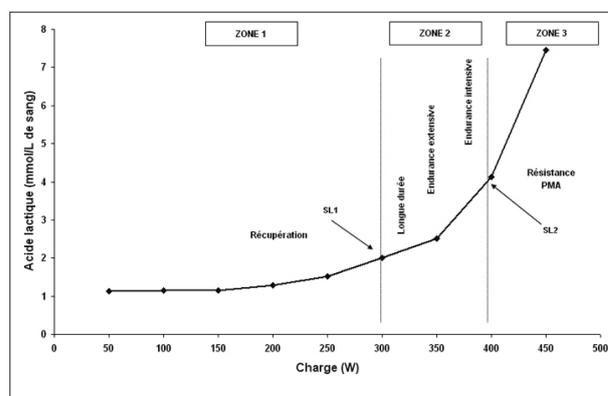


Figure 3. Courbe d'acide lactique dans le déroulé d'un exercice triangulaire de type maximal avec identification des zones d'entraînement.

prépondérant tandis que dans la zone 3 de cette courbe, se positionne l'entraînement de résistance.

On peut donc distinguer, à l'aide de la concentration de l'acide lactique, différentes formes d'entraînement pour un sportif entraîné en endurance (Fig. 3) :

- dans la zone 1, on positionne l'entraînement de récupération (favorable à la reconstitution des stocks énergétiques de l'organisme et aux adaptations musculaires) d'une durée maximale d'une heure;
- dans la zone 2, on positionne l'entraînement d'endurance continue. Partie gauche de la zone 2, l'entraînement de longue durée (endurance ordinaire), d'une durée de 1 h 30 à quelques heures; l'entraînement d'endurance extensive (améliorant l'aptitude à réaliser un effort prolongé) correspond à la partie centrale de la zone 2, d'une durée de 1 h à 1 h 30 et enfin, l'entraînement en endurance intensive (améliorant l'aptitude à maintenir une allure élevée de course) correspond à la partie droite de la zone 2, d'une durée de 20 à 45 minutes;

- quant à la zone 3, au-delà du seuil lactique 2, se positionne donc l'entraînement de la résistance.

Ainsi, grâce à la courbe d'acide lactique, nous pouvons déterminer à quelle intensité le sportif s'entraîne. Cette courbe d'acide lactique ne constitue bien sûr qu'un enregistrement ponctuel de la condition individuelle dans une discipline donnée. Sur base de cette information, nous pouvons élaborer le plan d'entraînement individuel du sportif. Ensuite, les courbes d'acide lactique successives, réalisées par exemple à six mois d'intervalle, permettront d'illustrer clairement l'évolution du potentiel aérobie du sportif. Et dès lors, sur base de ces nouveaux résultats, le médecin du sport pourra adapter le plan (intensité et modalité) d'entraînement.

L'amélioration de l'endurance a donc une influence favorable sur la courbe d'acide lactique, c'est-à-dire que cette courbe se déplace vers la droite. Si cette courbe est établie par rapport à la vitesse de course, cela implique que le sportif peut adopter un rythme de course plus élevé pour une même concentration d'acide lactique ou bien, qu'à une même vitesse de course (par rapport au degré d'entraînement), le sportif produit moins d'acide lactique. Puisqu'il existe une bonne corrélation entre la fréquence cardiaque (FC) et le taux d'acide lactique, la courbe peut également être exprimée par rapport à la FC. Cette comparaison permet d'identifier la FC cible correspondant à chacun des seuils lactiques. A l'aide d'un cardiofréquencemètre, le sportif pourra ainsi déterminer avec précision, pendant son entraînement, dans quelle zone ou à quel seuil, il souhaite s'entraîner.

BIBLIOGRAPHIE

1. Wilmore J, Costill D.— Physiologie du sport et de l'exercice physique. Première édition. De Boeck Université, Bruxelles, 1998, 216-236.
2. Jung A.— The impact of resistance training on distance running performance. *Sports Med*, 2003, **33**, 539-552.
3. Berg K.— Endurance training and performance in runners. *Sports Med*, 2003, **33**, 59-73.
4. Davis J. Anaerobic threshold : review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc*, 1985, **17**, 6-18.
5. Ivy J, Costill D, Maxwell B.— Skeletal muscle determinants of maximum aerobic power in man. *Eur J Appl Physiol*, 1980, **44**, 1-8
6. Bury T, Corhay J, Louis R, et al.— Ergospirométrie en pratique pneumologique. *Rev Med Liège*, 1993, **48**, 523-526.
7. Costill D.— The relation between selected physiological variables and distance running performance. *J Sports Med Phys Fit*, 1976, **7**, 61-66.
8. Whipp B, Davis J, Torres F, et al.— A test to determinate parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol*, 1981, **50**, 217-221.
9. Wasseman K, Beaver W, Whipp B.— Gas exchange theory and the lactic acidosis threshold. *Circulation*, 1990, **81**, 14-30.
10. Kinderman W, Simon G, Keul J.— The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of workload intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol*, 1979, **42**, 25-34.
11. Caiozzo V, Davis J, Ellis J, et al.— A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol*, 1982, **53**, 1184-1189.

Les demandes de tirés à part sont à adresser au Pr. T. Bury, Service de Physiologie de l'Effort, Université de Liège, Sart Tilman, 4000 Liège, Belgique.