

Le problème du métabolisme aérobie et anaérobie dans les activités physiques

Autor(en): **Péronnet, François / Thibaut, Guy**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Macolin : revue mensuelle de l'École fédérale de sport de Macolin et Jeunesse + Sport**

Band (Jahr): **42 (1985)**

Heft 8

PDF erstellt am: **25.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-998554>

Nutzungsbedingungen

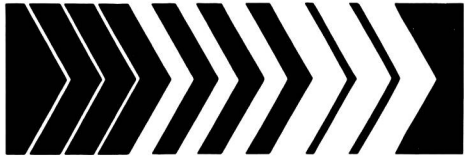
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Le problème du métabolisme aérobie et anaérobie dans les activités physiques

François Péronnet et Guy Thibault de l'Université de Montréal
(Voir aussi «Page du lecteur» et no 7/84)

Les questions posées dans cette lettre sont des questions fondamentales de physiologie de l'exercice... ce qui prouve bien, si cela est encore nécessaire, que les préoccupations de l'homme de laboratoire et de l'homme de terrain ou du pratiquant sont les mêmes, même s'ils n'emploient pas toujours le même langage.

Pour le physiologiste de l'exercice, à qui elles sont posées, les questions qui sont soulevées peuvent se résumer ainsi: quelles sont les contributions respectives du métabolisme énergétique aérobie et anaérobie dans une activité physique donnée (par exemple le badminton)?

Pour répondre à cette question de façon aussi simple mais aussi complète que possible, il faut d'abord rappeler ce qu'est le métabolisme énergétique aérobie et anaérobie, puis préciser comment on peut mesurer les quantités d'énergie fournies par le métabolisme aérobie et anaérobie (ce qui permettra de comprendre, par exemple, comment on peut convertir des ml d'O₂/kg min. en watts) et, enfin, analyser quels sont les facteurs limitants des filières «aérobie» et «anaérobie» (ce qui permettra de comprendre, par exemple, comment on peut augmenter la PAM).

La filière aérobie

La filière énergétique aérobie permet à l'organisme d'obtenir de l'énergie en oxydant des sucres ou des graisses (et aussi, éventuellement, un peu de protéines), à partir de l'oxygène de l'air. L'oxygène est conduit jusqu'aux cellules par un système de transport, sur lequel nous reviendrons. Dans ces réactions d'oxydation, qui libèrent de l'énergie, l'oxygène (O₂) se combine, en fait, avec l'hydrogène (H₂) provenant des sucres et des graisses, pour former de l'eau (H₂O). Le muscle est donc un «moteur à hydrogène».

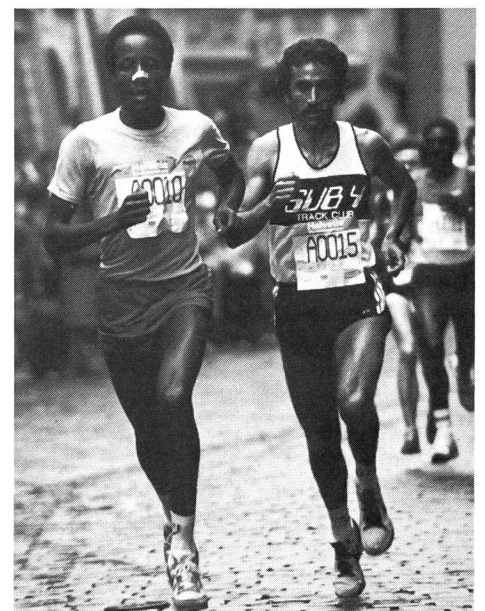
Adresse des auteurs

Département d'éducation physique
Université de Montréal
C.P. 6128 – Succ. «A»
Montréal – Québec
H3C 3J7

Chaque fois qu'un litre d'oxygène se combine avec deux litres d'hydrogène, environ 20 kJ sont libérés. (Rappelons, pour ceux qui l'auraient oublié, que le joule, dont l'abréviation est J, est l'unité d'énergie dans le Système international d'unités. Un joule est la quantité d'énergie nécessaire pour soulever d'un mètre, un poids d'un newton, c'est-à-dire, sur la Terre, une masse d'environ 100 g. Un kJ vaut 1000 joules, et il faut 4,2 J pour faire une calorie... qui est une unité d'énergie encore souvent employée, mais que l'on devrait abandonner.) Cette quantité d'énergie, qui est libérée dans l'organisme chaque fois qu'il utilise (ou consomme) un litre d'oxygène, s'appelle «l'équivalent énergétique» de l'oxygène. Il serait trop long, ici, d'expliquer en détails comment on a «découvert» que l'équivalent énergétique de l'oxygène est de 20 kJ/litre. Disons simplement que cette valeur a été mesurée grâce à des appareils relativement compliqués, qui sont des chambres calorimétriques et des bombes calorimétriques à l'aide desquelles on peut simultanément mesurer les quantités d'oxygène utilisées pour oxyder des sucres et des graisses, et les quantités d'énergie fournies. Il serait aussi trop long d'expliquer pourquoi cet équivalent énergétique de l'oxygène varie selon que l'on oxyde des sucres (il vaut alors 21,2 kJ) ou des graisses (il vaut alors 19,9 kJ). En moyenne, on peut utiliser la valeur de 20 kJ/litre sans trop se tromper.

La consommation d'oxygène

Puisqu'il existe un équivalent énergétique de l'oxygène, il est extrêmement facile de calculer avec une assez bonne précision la quantité d'énergie fournie par la filière aérobie. Il suffit de mesurer la quantité d'oxygène «effectivement utilisée par les cellules de notre corps», et de multiplier ce chiffre (en litres) par 20 kJ/litre. La quantité d'oxygène utilisée par l'organisme peut être calculée en analysant les gaz expirés par le sujet et en mesurant leur volume, par exemple pendant une minute. Ces mesures et ces calculs sont relativement complexes, car chacun sait que le volume d'un gaz dépend de sa pression et de sa température, qui varient d'un endroit à un autre et d'un jour à l'autre. Il faut donc faire des corrections en appliquant des formules, qui décrivent les «lois des gaz», pour faire «comme si» les mesures avaient été effectuées à une température de 0°C, au niveau de la mer (pression barométrique à 760 mm Hg), et «comme si» le sujet inspirait de l'air sec. Cependant, le principe de la mesure et du calcul de la consommation d'oxygène est très simple. Pour le comprendre, il suffit de savoir que l'air inspiré



Tibaduiza (à droite), marathonien colombien de valeur internationale.

contient 21 pour cent d'oxygène. Ainsi, si un sujet inspire, par exemple, 80 l d'air en une minute, il inspire $80 \cdot 0,21 = 16,8$ l d'oxygène. Tout cet oxygène n'est pas consommé! Au cours de la même minute, le sujet expire 80 l de gaz qui contiennent de l'oxygène (entre 15 et 19 pour cent, cela dépend de beaucoup de choses, et c'est pourquoi il faut mesurer cette concentration). Si le résultat de la mesure indique que le sujet expire 80 l de gaz, qui contiennent 17 pour cent d'oxygène, il est facile de calculer qu'il a rejeté 13,6 l d'oxygène ($80 \cdot 0,17$). Par différence, on calcule qu'il a consommé 3,2 l d'oxygène en une minute. Connaissant l'équivalent énergétique de l'oxygène, ceci signifie que, pendant cette minute, la filière énergétique aérobie a fourni $3,2 \text{ l d'O}_2 \cdot 20 \text{ kJ/l d'O}_2 = 64 \text{ kJ}$. Cette quantité d'énergie, qui est fournie en une minute, peut être exprimée en unités de puissance, la puissance étant par définition une quantité d'énergie fournie par unité de temps. On pourrait ainsi dire que la puissance aérobie du sujet est de 64 kJ/min. Cependant, le «kJ/min.» est une unité «barbare». L'unité de puissance dans le Système international d'unités est le watt, qui vaut un joule par seconde. Pour exprimer en watts la puissance du sujet, il suffit donc de transformer les kJ/min. en J/s. Comme il y a 1000 J dans 1 kJ, et 60 sec. dans une minute, la conversion s'écrit $64 \text{ kJ/min.} (1000/60) = 1067 \text{ watts}$. Cette puissance est la puissance développée par la filière aérobie du sujet pendant l'exercice où les mesures ont été effectuées. Si cet exercice correspond à un exercice aérobie de puissance maximale pour le sujet (c'est-à-dire, en gros, un exercice d'une puissance telle, qu'elle peut être soutenue environ 5 à 7 minutes), la consommation d'oxygène mesurée est le $\dot{V}O_2 \text{ max}$, et la puissance développée, qui est calculée, est la puissance aérobie maximale du sujet, ou sa PAM. Voici pourquoi la PAM, qui devrait plutôt être exprimée en unités de puissance, c'est-à-dire en watts, peut aussi s'exprimer en ml d'O₂/kg • min. En physiologie de l'exercice, la consommation d'oxygène est une unité de puissance.

Le système de transport de l'oxygène

L'oxygène consommé par la filière énergétique aérobie est utilisé dans les cellules des muscles qui travaillent, où il est conduit, depuis l'air ambiant, par un système qui s'appelle le système de transport de l'oxygène. Ce système comprend le système respiratoire et le système circulatoire. La consommation maximale d'oxygène d'un sujet et, donc, sa PAM, dépendent de l'efficacité de son système de transport de l'oxygène, et de la capacité de ses muscles à utiliser l'oxygène qui leur est apporté. Ce système de «transport-utilisation» de l'oxygène peut être comparé à une chaîne. Or, comme chacun le sait, c'est le maillon le plus faible qui détermine la résistance totale de la chaîne. Il



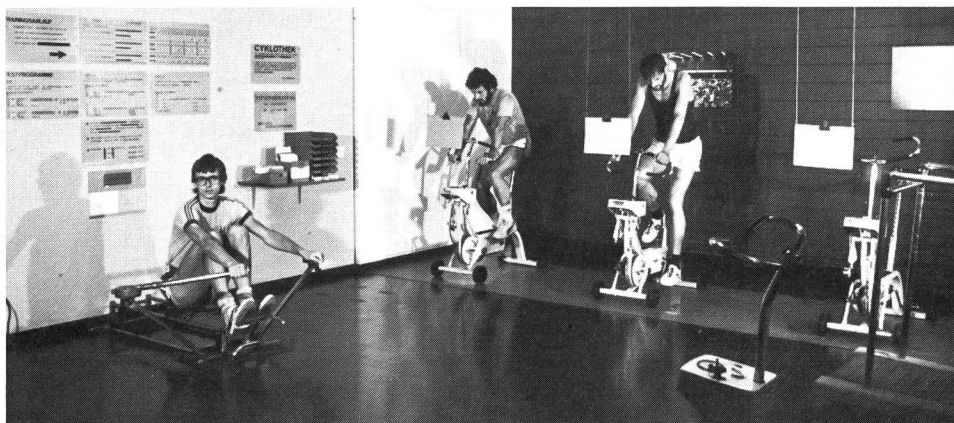
Le cyclisme sollicite les filières aérobie et anaérobies.

doit donc y avoir quelque part, dans la chaîne de «transport-utilisation» de l'oxygène, un maillon «plus faible» qui limite le $\dot{V}O_2 \text{ max}$ et la PAM d'un individu. Les physiologistes de l'exercice se penchent depuis de très nombreuses années sur cette question du «facteur limitant» du $\dot{V}O_2 \text{ max}$, malheureusement sans l'avoir encore identifié de façon absolument certaine. Il ne semble pas que ce soit le système respiratoire: celui-ci est, apparemment, «surdimensionné», et l'entraînement a peu d'effets sur lui. Il ne semble pas non plus que ce soit le volume du cœur: il est vrai que les athlètes ont un cœur légèrement plus gros que la normale, mais les petites différences observées avec les gens sédentaires n'expliquent pas les très grosses différences de la PAM, que l'on constate entre athlètes et sédentaires. Il ne semble pas, enfin, que ce soit la concentration de globules rouges dans le sang, bien que les techniques de dopage par auto-transfusion de globules rouges, selon certaines études, aient augmenté le $\dot{V}O_2 \text{ max}$. Il se pourrait donc que le facteur limitant du $\dot{V}O_2 \text{ max}$ se situe plutôt au niveau de l'utilisation de l'oxygène par les muscles. Mais on n'en a pas encore de preuves absolument convaincantes.

L'amélioration de la PAM

Bien qu'on ne sache pas très clairement où se situe le facteur limitant de la PAM, on sait qu'il est possible d'améliorer cette qualité physique en s'entraînant. Les entraînements les plus adéquats, pour le développement de la PAM, sont ceux où la filière aérobie fonctionne à des valeurs maximales ou quasi-maximales. C'est ce que l'on appelle le principe de la surcharge. Lorsqu'un athlète – par exemple un coureur – s'entraîne à de telles intensités, il ne peut prolonger son effort très longtemps. C'est pourquoi les séances d'entraînement de la PAM ne sont pas de type «continu», mais bien plutôt de type «intermittent» (entraînement fractionné), des périodes de récupération alternant avec des périodes d'effort plus ou moins courtes, mais intenses.

Les possibilités d'amélioration de la PAM par l'entraînement ne sont, bien entendu, pas illimitées. On considère que, chez un sujet très sédentaire, il est possible, par un entraînement approprié, d'augmenter la PAM d'environ 40 pour cent soit, par exemple, de 43 à 60 ml d'O₂/kg • min. Ceci ne lui permettra même pas de figurer honorablement dans un championnat régional d'athlétisme! En effet, avec une PAM de 60 ml d'O₂/kg • min., notre sujet entraîné ne pourra réaliser qu'environ 11 minutes au 3000 m, 19 minutes au 5000 m et 41 minutes au 10000 m! Chez un athlète très entraîné, les améliorations possibles de la PAM sont encore moindres. En fait, si l'athlète a atteint le maximum de son potentiel, les améliorations possibles sont virtuellement nulles. Ainsi, la PAM d'athlètes de haut niveau peut rester la même au cours de plusieurs années successives, malgré leur entraînement sévère et régulier. Pourquoi s'entraînent-ils donc? Tout simplement pour maintenir leur PAM à ce niveau-là. En effet, lorsque l'on interrompt l'entraînement, la PAM redescend progressivement à sa valeur initiale. En règle générale, on s'entend pour dire que l'augmentation de la PAM qui peut être obtenue chez un sujet normal par un entraînement approprié varie de 15 à 20 pour cent de la valeur de départ, avec des extrêmes qui vont de 0 à 40 pour cent.



L'amélioration de la PAM peut s'obtenir en salle aussi.



La première filière anaérobie à la source du 60 m plat.

La filière anaérobie

La filière énergétique anaérobie permet à l'organisme d'obtenir de l'énergie en absence d'oxygène. Il y a, en fait, deux filières anaérobies bien distinctes. La première est véritablement une réserve d'énergie immédiatement disponible, sous forme de composés chimiques particuliers que l'on appelle les phosphagènes et qui sont l'ATP et la créatine phosphate (CP). Cette filière anaérobie des phosphagènes peut fournir environ 20 à 25 kJ sous une très forte puissance (2 à 3000 watts). C'est elle qui permet d'effectuer des efforts très brefs et très intenses: sauts, lancers, sprints, haltérophilie, démarrages en sport collectif, etc.

La deuxième filière anaérobie est une réaction complexe: la glycolyse. Il s'agit d'une fermentation par laquelle une molécule de glucose ($C_6H_{12}O_6$) est coupée en deux molécules d'acide lactique ($C_3H_6O_3$). Cette réaction fournit de l'énergie. En fait, la formation d'un gramme d'acide lactique à partir d'un gramme de glucose fournit 0,7 kJ. Au cours d'un effort maximum qui dure entre 45 secondes et 2 minutes comme, par exemple, des «sprints» de 300 à 800 m, la filière anaérobie lactacide (c'est son nom) peut fournir de 50 à 70 kJ en formant de 70 à 100 g d'acide lactique. Cette énergie, ajoutée à celle fournie par la filière des phosphagènes (que l'on appelle aussi filière anaérobie alactacide), permet de soutenir des puissances de l'ordre de 1300 à 1600 watts, pendant une course d'une minute par exemple.

La filière anaérobie, et tout particulièrement la filière anaérobie lactacide, quantitativement la plus importante, sont les sources d'énergie qui permettent à l'organisme de réaliser des efforts très intenses mais de brève durée. La quantité totale

d'énergie qu'elles produisent est faible, si on la compare à celle de la filière aérobie, qui peut fournir, par exemple, plus de 10000 kJ au cours d'un marathon. Par contre, la puissance qu'elles développent est beaucoup plus grande. C'est cette puissance qui a sauvé nos ancêtres de la préhistoire des griffes et des dents des prédateurs, et qui les a aidés à capturer leurs proies. Grâce à cela nous sommes là, aujourd'hui, pour en parler, et il n'est donc peut-être pas très aimable ni très juste, comme on le fait souvent dans les milieux sportifs, de jeter la pierre à l'acide lactique et de l'accuser de tous les maux! Cette substance n'est pas, comme on le dit, la cause de la fatigue. Dans certaines activités, celle-ci survient au moment où de grandes quantités d'acide lactique s'accumulent dans l'organisme, mais ce n'est pas toujours le cas. Par exemple, à la fin de sa course, le marathonien est très fatigué alors que sa concentration d'acide lactique est basse. L'acide lactique n'est pas, non plus, la cause des crampes. Les crampes sont probablement un phénomène d'origine nerveuse. Elles peuvent apparaître quand les concentrations d'acide lactique sont hautes, mais tout aussi bien quand elles sont basses. Ainsi, de nombreuses personnes souffrent de crampes... pendant leur sommeil, à un moment où leur filière énergétique anaérobie lactique est au repos complet! Si l'acide lactique causait la crampe, comme un coup de bâton cause une bosse sur la tête, tous les coureurs de 400, 800, 1500 et même 3000 m, qui finissent leur course littéralement «pleins» d'acide lactique, devraient se torturer de douleur sur le sol, raides comme des passe-lacets! L'acide lactique n'est pas, non plus, à l'origine des courbatures que l'on peut ressentir les jours qui suivent une activité physique importante et inhabi-

tuelle. En effet, cette douleur retardée, qui apparaît en général 24 heures après l'effort et peut persister plusieurs jours, survient à un moment où l'acide lactique, qui a pu être produit au cours de l'effort, a disparu depuis bien longtemps de l'organisme.

Mesure de l'énergie des filières anaérobies

Autant il est facile d'évaluer la quantité d'énergie fournie par la filière aérobie, à partir de la consommation d'oxygène et de l'équivalent énergétique de l'oxygène, autant il est difficile d'avoir une idée précise de la quantité d'énergie fournie par les filières anaérobies.

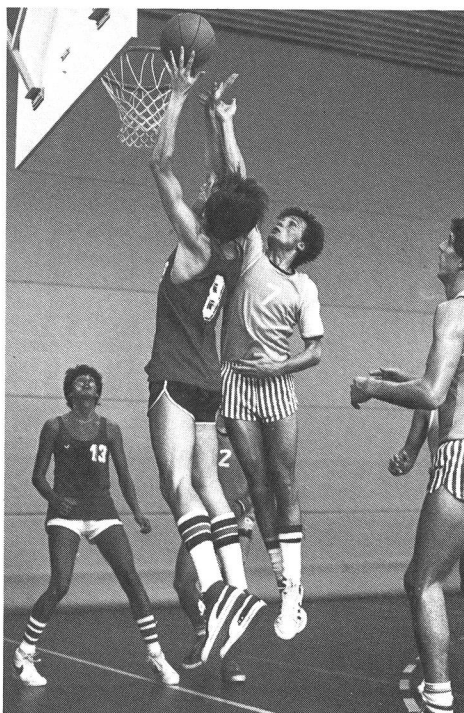
Pour ce qui est de la filière anaérobie alactacide, la seule façon de connaître la quantité d'énergie qu'elle a fournie au cours d'un effort, est de mesurer les quantités d'ATP et de CP présentes dans le muscle avant et après l'effort: par différence, on obtient les quantités de phosphagènes qui ont été utilisées et on peut, ainsi, estimer combien d'énergie a été fournie. Pour mesurer les quantités d'ATP et de CP présentes dans le muscle, il convient de faire des biopsies musculaires avant et immédiatement après l'effort. On comprendra aisément que ce sont, là, des expériences difficiles à réaliser. Assez récemment, le développement d'une technique appelée «résonance nucléaire magnétique», a donné l'espoir qu'il sera possible, d'ici quelques années, de mesurer directement les contenus d'ATP et de CP du muscle, sans qu'il soit nécessaire de faire des biopsies. Ce serait extraordinaire, et tous les physiologistes de l'exercice attendent impatiemment les progrès d'un procédé qui n'en est encore, il faut toutefois bien l'avouer, qu'à ses balbutiements pour l'instant.

Pour ce qui est de la filière anaérobie lactacide, le problème paraît de prime abord un peu plus simple, car la glycolyse laisse des



Le slalom en canoë fait appel à la deuxième filière anaérobie.

traces: c'est l'accumulation de l'acide lactique, dont on peut doser la concentration dans le muscle (par biopsie) ou, plus simplement, dans le sang. Cependant, malgré cette apparente simplicité et malgré un travail de recherche sur le métabolisme de l'acide lactique, qui dure depuis plus de 50 ans, on ne sait pas encore de façon précise comment calculer la quantité d'énergie fournie par la filière anaérobie lactacide à partir de la concentration d'acide lactique dans le sang. Pour cela, il faudrait pouvoir appréhender la quantité totale d'acide lactique formée. Puisque l'on connaît l'équivalent énergétique de l'acide lactique (0,7 kJ/g), le calcul serait alors facile. Malheureusement, la concentration d'acide lactique dans le sang ne permet pas de faire ce calcul avec précision, car elle n'est au mieux qu'un indice qualitatif: si, après un exercice, elle n'est pas plus haute qu'au repos, on peut suggérer que la filière anaérobie lactacide n'a pas fonctionné; si elle est plus élevée qu'au repos, on peut être sûr que la filière anaérobie lactacide a été active, et on peut suggérer que plus la concentration d'acide lactique est élevée, plus l'activité de cette filière a été grande. Mais on ne peut estimer les quantités exactes d'acide lactique formé ni, par conséquent, les quantités exactes d'énergie fournies par la filière anaérobie lactacide. Les physiologistes de l'exercice se heurtent à ce problème depuis plus de 50 ans sans qu'aucun progrès notable n'ait été accompli et sans qu'aucune amorce de solution ne soit actuellement en vue.



Comme le badminton, le basketball est un sport de type intermittent.

anaérobie alactacide peut produire un maximum de 20 à 25 kJ, ceci veut dire que la filière anaérobie lactacide devrait fournir au moins 140 kJ. Pour cela, il faudrait produire environ 200 g d'acide lactique, ce qui est beaucoup plus que ce dont est capable un athlète, fût-il très entraîné. De la même

façon, on peut calculer qu'il faudrait produire plus de 500 g d'acide lactique pour courir un 3000 m selon l'estimation des contributions des filières anaérobies et aérobie faites au tableau 1! Le tableau 2 présente une estimation plus raisonnable des contributions relatives des filières aérobie et anaérobies, faites en assumant que l'organisme peut produire un maximum de 70 à 100 g d'acide lactique.

Les filières énergétiques en travail intermittent

Le tableau 1 donne une estimation de la contribution des filières d'énergie aérobie et anaérobies au cours d'un exercice continu. Ce sont des estimations dont on n'est pas très sûr, pour les raisons qui ont été discutées.

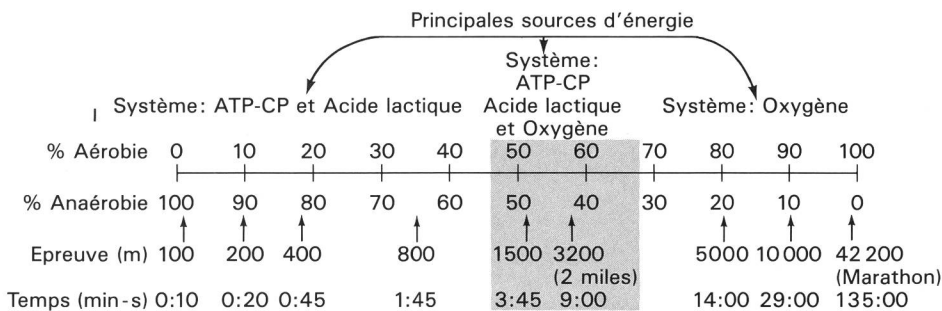
Le problème se complique encore si l'on essaie de connaître les contributions de ces filières au cours d'exercices intermittents comme le badminton et de nombreux autres sports, où alternent des phases d'activité intense entrecoupées de phases d'activité moins intense ou de repos, dont la durée varie tout au long de la partie. Dans ce type d'activité on soupçonne, avec raison sans doute, que lors des phases d'activité intense, les filières anaérobies sont actives et que, dans les phases d'activité moins intense, les réserves d'énergie anaérobie sont reconstituées, grâce à la filière aérobie, pour être à nou-

Contributions des filières aérobie et anaérobies

En l'absence d'une mesure fiable de la fourniture d'énergie par les filières anaérobies, il devient très difficile d'estimer leur contribution respective dans une activité donnée. C'est d'autant plus dommage que, dans de très nombreuses disciplines sportives dont la durée est inférieure à 10 minutes, on sait pertinemment que l'énergie fournie par la filière aérobie est insuffisante et que la performance dépend pour une part plus ou moins grande, mais toujours capitale, de la puissance des filières anaérobies.

De nombreuses tentatives ont été faites pour estimer les contributions respectives des filières aérobie et anaérobies à la fourniture d'énergie dans des épreuves sportives en fonction de leur durée. L'une d'elles, à laquelle on fait référence souvent, est présentée dans le livre de Fox et Mathews (tableau 1). Même si elle peut servir de guide, elle ne semble pas être parfaite. Elle surestime en effet considérablement la contribution des filières anaérobies pour les distances de course comprises entre 400 m et 10 000 m. Par exemple, un 800 m coûte environ 250 kJ à un coureur de 70 kg. Selon ce tableau, environ 66 pour cent de cette énergie proviendrait des filières anaérobies, soit 165 kJ. Sachant que la filière

Tableau 1

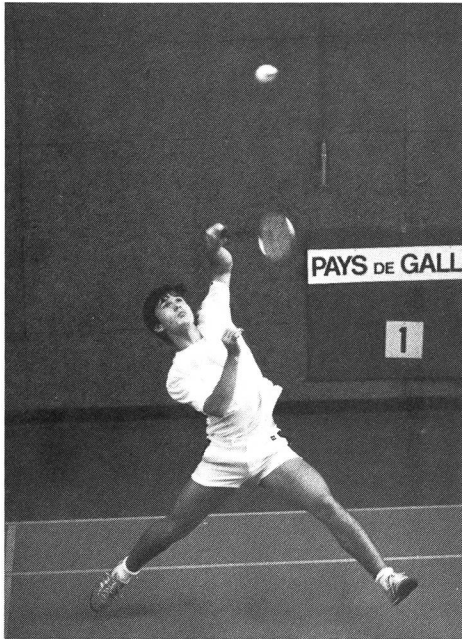


Cette figure illustre les contributions relatives des systèmes aérobie et anaérobies à la course. La contribution des systèmes anaérobies est plus importante dans les épreuves de courte durée (à gauche) et le système aérobie prédomine au cours des épreuves plus longues (à droite). La partie ombrée désigne les épreuves où les deux systèmes sont sollicités de façon équivalente.

Tableau 2

Estimation des contributions respectives des filières aérobie et anaérobies à la fourniture d'énergie dans des courses de 400 m au marathon. (Dans les calculs, on a estimé qu'un kilomètre de course coûte environ 4,3 kJ/kg de poids du corps, et que la filière anaérobie peut fournir environ 1,2 kJ/kg. Le reste de l'énergie nécessaire est évidemment fournie par la filière aérobie.)

Distance de course (m)	Coût total (kJ) (coureur de 70 kg)	Filières anaérobies (kJ)	Filières anaérobies (%)	Filière aérobie (kJ)	Filière aérobie (%)
400	120	85	70,8	35	29,2
800	240	85	35,4	155	64,6
1 500	450	85	18,8	365	81,2
3 000	900	85	9,4	815	90,6
5 000	1 500	85	5,7	1 415	94,3
10 000	3 000	85	2,8	2 915	97,2
21 100	6 330	85	1,3	6 245	98,7
42 195	12 659	85	0,7	12 574	99,3



Badminton d'élite.

veau utilisées dans la phase d'activité intense suivante. Cependant, il est très difficile de dire quelle quantité d'énergie a été fournie par chacune des deux filières anaérobies. Tout ce que l'on peut faire, c'est mesurer la concentration d'acide lactique dans le sang à la fin de l'effort pour estimer, avec toutes les réserves qui ont été faites ci-dessus, si la filière anaérobie lactacide a été un peu, beaucoup ou pas du tout active.

Les mesures de la consommation d'oxygène, qui ont été faites chez des joueurs de badminton pendant une partie, montrent que la filière aérobie est très active. La puissance développée par cette filière atteint 800 watts chez des joueurs récréatifs, et elle pourrait augmenter avec le niveau de performance. Il n'est donc pas surprenant que la PAM des bons joueurs

de badminton soit élevée: 65 ml/kg/min. chez les hommes, et 55 ml/kg/min. chez les femmes. Ceci ne veut pas dire que l'on puisse sélectionner des joueurs de badminton à partir de leur PAM comme on peut le faire en course à pied. Au badminton, les aspects technique et tactique, de même que l'aspect psychomoteur sont beaucoup plus importants, de sorte qu'un bon joueur peut compenser, grâce à eux, une PAM un peu moins bonne. Par contre, si deux joueurs sont équivalents pour ce qui est des aspects psychomoteur, technique et tactique, celui dont la PAM est la meilleure aura un léger avantage sur l'autre et... ce léger avantage se traduira par la victoire!

Les données concernant la concentration d'acide lactique dans le sang à la fin d'une partie de badminton indiquent que la contribution des filières anaérobies reste faible: la concentration d'acide lactique augmente très peu. Il en est de même dans tous les sports de raquette qui ont été étudiés: ce ne sont pas des sports qui nécessitent une utilisation importante de la filière anaérobie lactacide. Ceci n'est pas surprenant si l'on regarde l'alternance des temps d'effort et de repos au badminton, par exemple. En moyenne, dans une partie de 30 minutes, le joueur est actif pendant environ 10 minutes. Le nombre d'échanges étant égal à 120 à 130, chaque échange dure en moyenne 5 secondes. Ces chiffres moyens varient beaucoup d'une partie à l'autre. Ils ont été calculés chez des joueurs de niveau international. Pour des joueurs de niveau inférieur, la durée de chaque échange diminue, de même que leur durée totale, alors que leur nombre augmente. Une partie de badminton ressemble donc à un exercice intermittent comportant des phases de travail intense, d'une durée de 5 secondes environ, entrecoupées de phases de repos ou de travail moins intense, d'une durée de quelque 10 secondes. Dans ce type de tra-

vail intermittent, on constate effectivement que la filière énergétique anaérobie lactacide est peu active, que la production d'acide lactique est faible et, qu'en conséquence, la concentration d'acide lactique atteinte à la fin de l'effort est modérée. Pour observer des augmentations importantes de la concentration d'acide lactique à la fin d'un exercice intermittent, les périodes de travail doivent atteindre au moins 25 à 30 secondes.

On peut donc conclure en disant que le badminton est une activité de type intermittent très aérobie. C'est d'ailleurs une activité recommandée et excellente pour développer ou entretenir la PAM, pour un sujet qui cherche à se maintenir en bonne condition physique. Au cours des périodes d'effort plus intense qui sont de courte durée, l'énergie semble être fournie principalement par la filière anaérobie alactacide. Pendant les périodes d'activité moins intense ou de repos, les réserves d'ATP et de CP sont reconstituées et, ainsi, l'effort peut se prolonger pendant plusieurs dizaines de minutes et, au cours d'un tournoi, pendant plusieurs parties successives. ■

Lectures suggérées

- Astrand, P. O. et Rodahl, K. *Textbook of work physiology*. New York, McGraw Hill, 1970.
- Armstrong, R. B. *Mechanisms of exercise induced delayed onset muscular soreness: A brief review*. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*, 16: 529, 1984.
- Beaudin, P. C., Zapiec, C. et Montgomery, D. *Heart rate response and lactic acid concentration in squash players*. *Research Quarterly* 49: 406, 1978.
- Buick, F. J., Gledhill, N., Froese, A. B., Spriet, L. et Meyers, E. C. *Effect of induced erythrocytemia on aerobic work capacity*. *J. Appl. Physiol.* 48: 636, 1980.
- Coad, D., Rasmussen, B. et Mikkelsen, F. *Physical demands of recreational badminton*. Dans: *Science in racquet sports*, Academic Publishers, p. 45, 1979.
- Docherty, D. *Heart rate response of badminton players relative to their skill level*. *J. Can. Sci. Appl. Sports* 3: 220, 1978.
- Fox, E. L. et Matthews, D. K. *Bases physiologiques de l'activité physique*. Décarie-Vigot, Montréal-Paris, 1984.
- Gaesser, G. A. et Brooks, G. A. *Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: A review*. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 16: 29, 1984.
- Gollnick, P. D., Armstrong, P. B., Saubert C. W., Piehl, K. et Saltin, B. *Enzyme activity and fibre composition in skeletal muscle of trained and untrained men*. *J. Appl. Physiol.* 33: 312, 1972.
- Kajiser, L. *Limiting factors for aerobic muscle performance: The influence of varying oxygen pressure and temperature*. *Acta Physiol. Scand. (Suppl)* 346: 1, 1970.
- Keul, J. *The relationship between circulation and metabolism during exercise*. *Med. Sci. Sports*, 5: 209, 1973.
- Péronnet, F., Perrault, H., Ferguson, R. J., Ricci, J. et Lajoie, D. *Hypertrophie du ventricule gauche et activité physique*. *Médecine du sport*, 54: 246, 1980.
- Schwane, J. A., Watrous, B. G., Johnson, S. R., Armstrong, R. B. *Is lactic acid related to delayed-onset muscle soreness?* *Phys. Sportsmed.* 11: 124, 1983.
- Welch, H. G. *Hyperoxia and human performance: a brief review*. *Med. Sci. Sports Exercise*, 14: 253, 1982.



Badminton populaire.