

Des entraînements faits à un pourcentage précis du VO₂max génèrent des réponses métaboliques hétérogènes chez les individus.

Réf : Friederike Scharhag-Rosenberger, Tim Meyer, Nina Gäßler, Oliver Faude, Wilfried Kinderman. (2010).
Exercise at given percentages of VO₂max: Heterogeneous metabolic responses between individuals.
Journal of Science and Medicine in Sport, 13 (2010) 74–79.
Traduction et adaptation : Alexandre Paré - ATARAXIA

Introduction et mise en contexte

La consommation maximale d'oxygène (VO₂max) est généralement considérée comme l'indicateur le plus important de l'endurance et de la fonction cardiovasculaire. Lorsqu'on examine un grand nombre d'études portant sur l'entraînement aérobie, on remarque que l'intensité de l'effort est indiquée en pourcentage du VO₂max (ou parfois, mais plus rarement, en pourcentage de la fréquence cardiaque maximale; (% Fc max.).

Les athlètes et les entraîneurs des sports d'endurance tentent sans cesse de trouver la sollicitation métabolique précise afin de produire une adaptation prévisible. Cependant, plusieurs résultats d'études suggèrent que des intensités d'entraînement identiques et exprimées en pourcentages du VO₂max (ou de la Fc max) pourraient induire des réponses métaboliques différentes entre 2 individus.

Par exemple, Katch (1978) a testé 31 sujets qui utilisaient des séances d'entraînement sur vélo stationnaire à 60%-70% et 80% de la Fc max. À 60 et 70% de la Fc max, un seul sujet avait dépassé son seuil anaérobie*. Par contre, lorsque la séance se faisait à 80% de la Fc max 17 sujets avaient dépassé leur seuil anaérobie, tandis que 14 étaient soit en dessous ou juste égales au seuil anaérobie. Ainsi, dans sa conclusion, Katch mentionne que même si des sujets s'entraînent à un pourcentage égal de leur Fc max, le stress métabolique qui est induit chez chacun d'eux n'est pas identique#. Les changements attendus que pourrait induire l'entraînement seront donc différents entre les sujets. Cela indiquerait que l'utilisation du pourcentage relatif de la Fc max n'est pas valide comme stimulus de l'entraînement.

Weltman (1990) est parvenu à la même conclusion lors de tests progressifs sur tapis roulant où il utilisait le seuil anaérobie comme critères pour quantifier l'homogénéité des réponses physiologiques à l'exercice, mais cette fois-ci, en utilisant des % de la Fc max, de la fréquence cardiaque de réserve (FcR) et du VO₂max. Encore une fois le stress métabolique était différent pour des intensités relatives similaires entre les sujets.

Meyer (1999) a étudié des cyclistes et des triathlètes lors de tests progressifs jusqu'à l'épuisement, qui étaient fait sur vélo avec palier de 3 min. Il a démontré qu'à des pourcentages fixes de VO₂max correspondaient de larges plages d'intensités d'exercice. À titre indicatif, lorsque les athlètes étaient à 60% du VO₂max, le niveau de lactate (lactatémie) variait entre 0,70 et 3,16 mmol/L tandis qu'à 75% du VO₂max, leur lactatémie variait entre 1,41 et 4,57mmol/L. Encore plus pertinent, à 75% du VO₂max, certains sujets n'étaient qu'à 86% de leur seuil anaérobie tandis que d'autres étaient à 118%. Donc pour certains, l'accumulation de lactate sanguin n'avait peu ou pas débuté tandis que pour d'autres on peut croire que la fatigue était déjà bien perceptible.

* Dans l'étude de Katch, on mentionne que le seuil anaérobie d'un sujet a été établi par des mesures respiratoires et non par des prises de lactate. Le seuil anaérobie dans ce cas, est donc le moment où la ventilation et le volume de CO₂ expiré par le sujet s'accroît de manière disproportionnée.

NDLR : Le passage au-dessus du seuil anaérobie pour une personne signifie que l'énergie requise pour effectuer la tâche provient de plus en plus du système anaérobie lactique (la glycolyse), qu'on note une accumulation du lactate dans le sang et qu'à court terme l'individu devra cesser son activité.

Dans le but de comprendre pourquoi les cyclistes de compétition avec un $VO_2\max$ similaire ont des performances différentes, Coyle (1988) a fait une étude où les sujets devaient pédaler à une intensité de 88% du $VO_2\max$ jusqu'à l'épuisement. Les résultats de l'étude ont révélé des différences dans les temps d'épuisement variant entre 12 à 75 min. Aussi on a noté une relation positivement proportionnelle entre le % du $VO_2\max$ où est atteint le seuil anaérobie et le temps d'épuisement du sujet. Donc, plus un sujet atteignait son seuil anaérobie à un haut % de son $VO_2\max$, plus il maintenait longtemps l'intensité requise^{##}.

Dans une autre étude où les cyclistes devaient maintenir une intensité de 40-60 et 80% du $VO_2\max$ durant 60 min. ou jusqu'à épuisement, Orok et ses collaborateurs (1989) ont trouvé qu'à 80% du $VO_2\max$ les temps d'épuisement variaient entre 3 et 36 minutes.

Pertinence de l'étude de Scharhag-Rosenberger

Des protocoles d'entraînement en endurance, faits à des intensités d'entraînement réalistes et exprimées en pourcentage du $VO_2\max$ et ayant pour but d'étudier les réponses métaboliques spécifiques produites au cours d'une séance d'entraînement en endurance n'ont jamais été faits auparavant. Le but de la présente étude est donc de décrire la réponse métabolique suite à un exercice en endurance fait à des pourcentages spécifiques du $VO_2\max$.

Méthodologie

Un total de 21 hommes (29 ans \pm 5 ans) ont participé à cette étude divisée en 3 groupes :

- Capacité aérobie « faible » (FAIBLE): $VO_2\max = 47$ ml/kg/min. N = 7
- Capacité aérobie « moyenne » (MOYENNE): $VO_2\max = 62$ ml/kg/min. N = 7
- Capacité aérobie « élevée » (ÉLEVÉE): $VO_2\max = 71$ ml/kg/min. N = 7

Les résultats de l'évaluation du $VO_2\max$ sont résumés dans le tableau-1. Chaque sujet a atteint un effort maximal mesuré selon que la $Fc\max > Fc$ prédite et que la concentration de Lactate > 8 mmol/L.

Tableau-1

Groupe	$VO_2\max$	Lactatémie à la fin du test	Fc à la fin du test
FAIBLE	46,5	9,7	189
MOYENNE	62,1	10,9	192
ÉLEVÉE	71,2	12,4	194

Les sujets devaient faire 2 séances tests de 60 minutes. La première à 60% du $VO_2\max$ et la seconde à 75% du $VO_2\max$. Pour chacune des séances, les concentrations de lactate sanguin étaient prélevées.

[Notons que les intensités de 60% et 75% du $VO_2\max$ sont fréquemment utilisés comme recommandations d'entraînement par l'American College of Sports Medicine].

Les sujets ont donc commencé par un échauffement de trois minutes et l'intensité de travail a ensuite été ajustée jusqu'à ce que la consommation d'oxygène souhaitée soit atteinte. À partir de ce moment, les sujets ont pédalé pendant 60 minutes ou jusqu'à épuisement. La puissance (en watts) a été ajustée pour maintenir la consommation d'oxygène constante.

Des échantillons de sang capillaire pour la détermination du lactate ont été prélevés sur le lobe de l'oreille et les fréquences cardiaques ont été enregistrées au repos et au bout de 10, 20, 30, 40 et 50 min, ainsi qu'après l'arrêt de l'exercice.

Pour cette étude, on a établi le seuil anaérobie de chaque personne en mesurant leur lactate sanguin. Le seuil anaérobie était considéré comme atteint, au moment où la concentration de lactate était stabilisée. Pour être déclarée comme stable, la concentration de lactate ne devait pas avoir augmenté de plus de 1 mmol/L entre la dernière minute de chaque bloc de 10 min et le dernier prélèvement sanguin^{###}.

^{##} NDLR : Après analyse de l'étude originale de Coyle par l'auteur de cet article, il note aussi que, étonnamment, il n'y avait aucun lien significatif entre le $VO_2\max$ et le temps d'épuisement. L'auteur présente en annexe un graphique illustrant les temps d'épuisement des sujets de Coyle en lien avec leur $VO_2\max$ respectif.

^{###} NDLR : Aujourd'hui on exprime le seuil anaérobie avec le terme: Maximal Lactate Steady State (MLSS) ou en français le niveau de maintien du lactate. Ce dernier est défini comme la concentration sanguine de lactate la plus élevée pouvant être maintenues au fil du temps sans voir une accumulation. Elle est synonyme du « seuil anaérobie »

Résultats

Le protocole à 60% du VO_{2max} a été réalisé à une intensité de travail moyenne de 173 ± 43 W et le test à 75% du VO_{2max} à une intensité de travail moyenne de 218 ± 55 W. La figure-1 présente la consommation de l'oxygène, la charge de travail et la Fc au fil du temps pour tous les participants de l'étude.

Au cours de l'exercice fait à 75% du VO_{2max} , la variation des concentrations de lactate était significativement plus importante que lors du test fait à 60% du VO_{2max} . Pour alléger le texte, l'auteur de ce résumé a choisi d'illustrer uniquement les courbes de lactate associées à l'effort de 75%. Les figures 2a, 2b et 2c présentent la concentration de lactate lors du test à 75% du VO_{2max} et mesurée à chaque 10 minutes ou jusqu'à épuisement pour chaque groupe séparément. On peut voir qu'indépendamment de la condition physique des sujets (FAIBLE, MOYEN, ÉLEVÉ) les 3 groupes ont vu des variations de lactatémie équivalente. Scharhag-Rosenberger mentionne à cet effet qu'aucune différence significative n'a été relevée entre les groupes.

La figure-3 met en relation tous les participants, identifiés selon leurs groupes d'appartenance, et l'évolution de leur lactatémie au fil du temps.

Figure-1

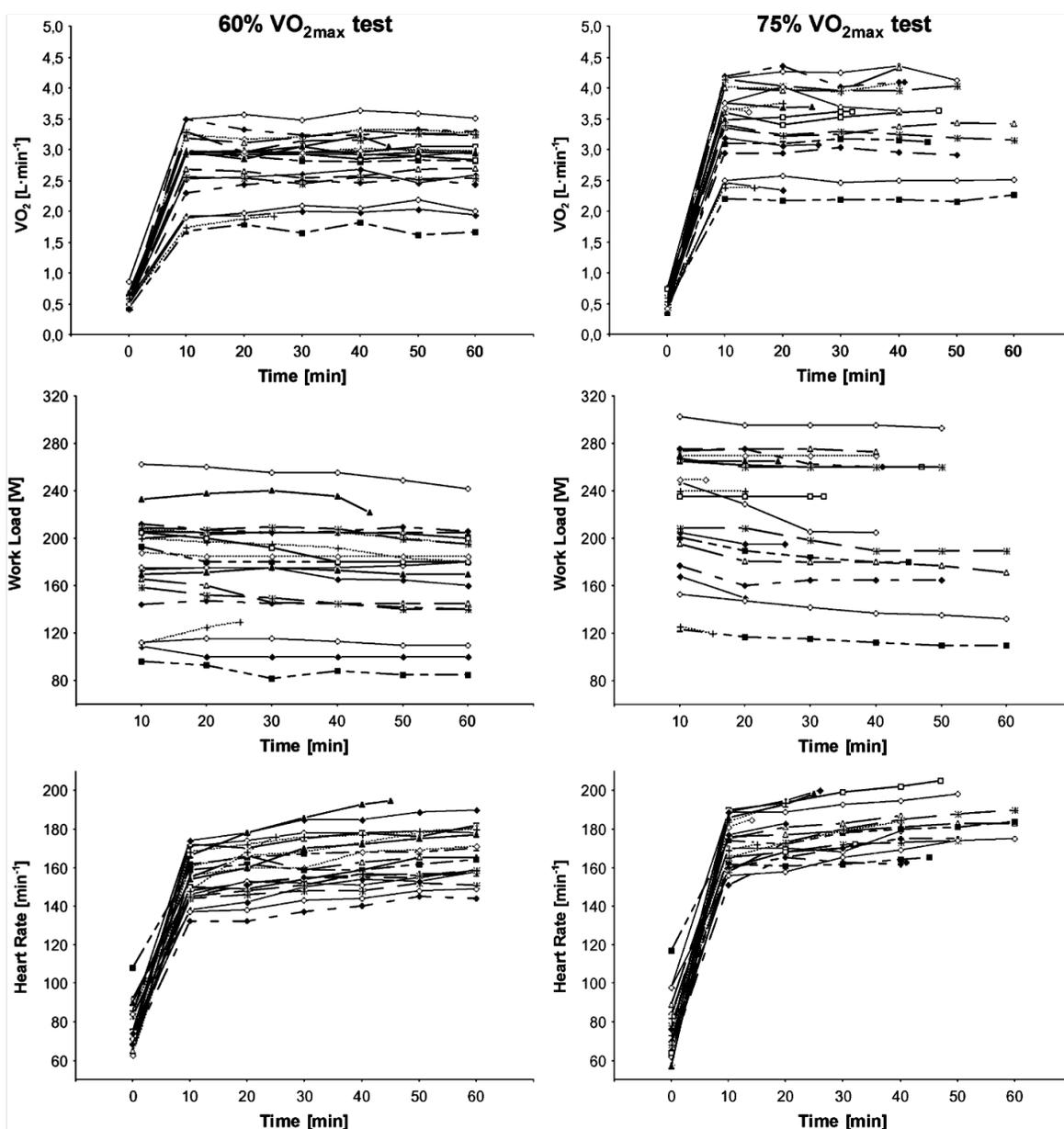


Figure-2a

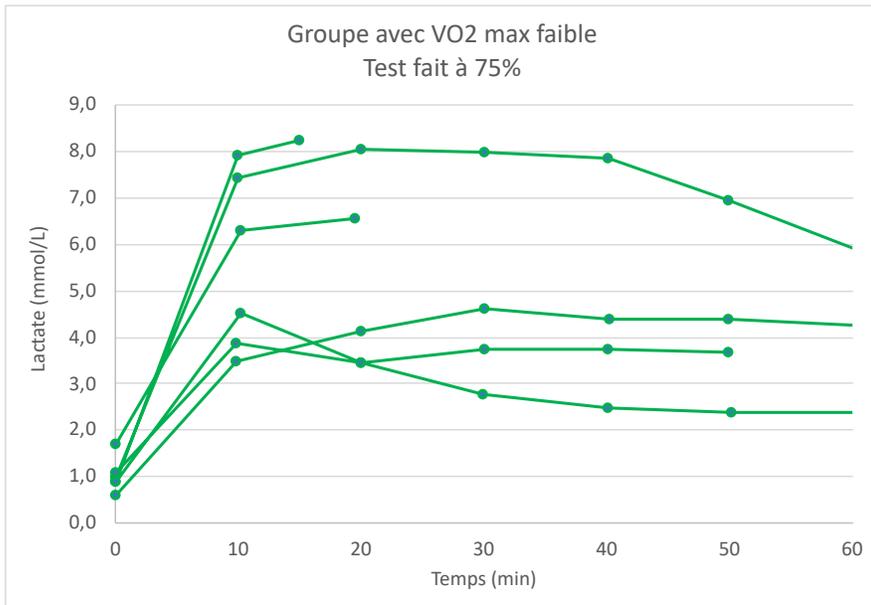


Figure-2b

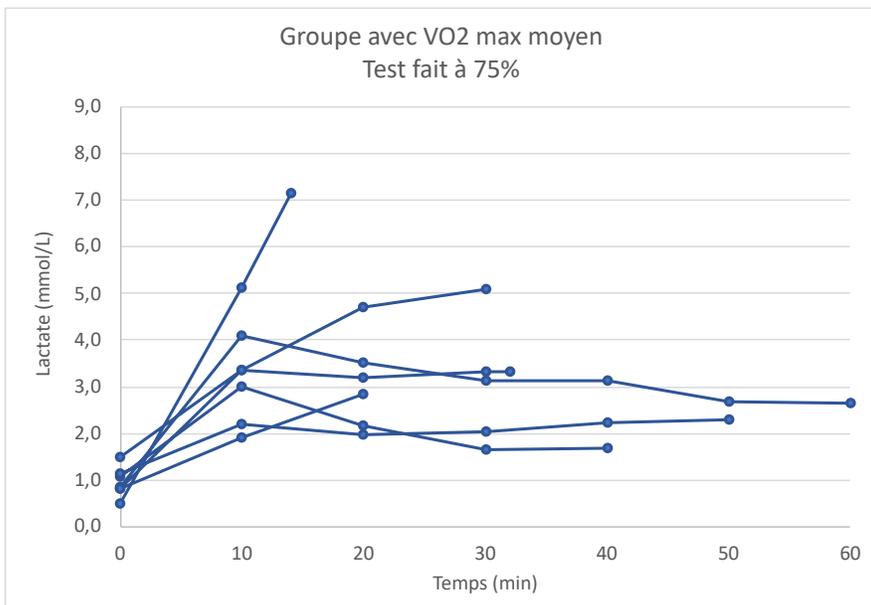


Figure-2c

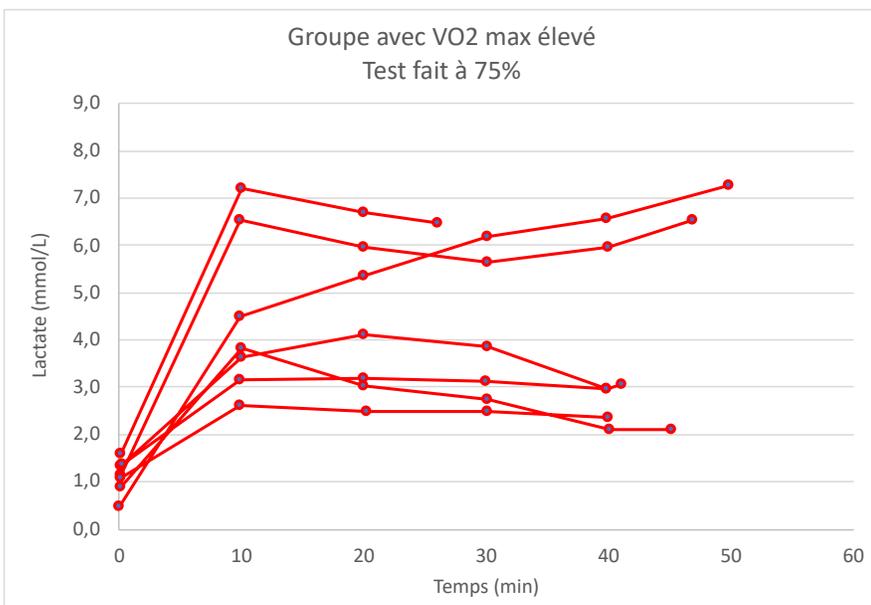
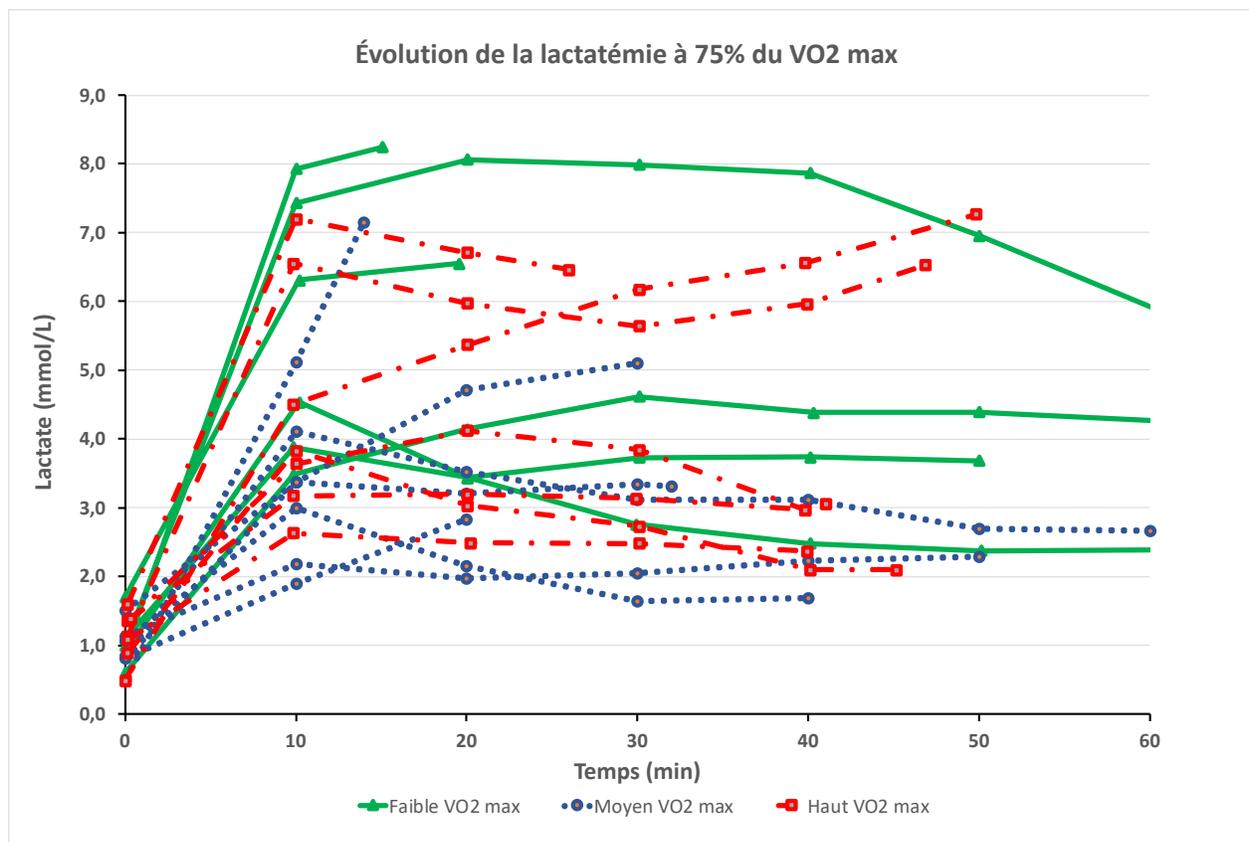


Figure-3


Le tableau-2 présente le nombre d'abandons prématurés lors du test (arrêt avant l'atteinte du 60 min dû à l'épuisement) et le nombre de sujets dépassant le niveau de maintien du lactate (MLSS ou seuil anaérobie).

Tableau-2

	60% du VO ₂ max	75% du VO ₂ max
Nombre d'abandons prématurés		
FAIBLE	1/7	4/7
MOYEN	1/7	6/7
ÉLEVÉ	0/7	7/7
Total	2/21	17/21
Nombre de sujets qui ont dépassé le niveau de maintien du lactate (MLSS)		
FAIBLE	1/7	0/7
MOYEN	0/7	2/7
ÉLEVÉ	0/7	1/7

Les 2 sujets qui ont arrêté le test prématurément à 60% du VO₂max ont pédalé pendant 25 et 45 minutes, respectivement. Du côté du test à 75% du VO₂max., les 17 sujets qui n'ont pas terminé l'épreuve ont maintenu un temps d'effort moyen de 33 minutes, variant de 14 min à 50 min.

Discussion

Cette étude montre que chez les jeunes hommes ayant des capacités aérobies modérées à élevées, des charges de travail équivalent à 60% et 75% de $VO_2\text{max}$ entraînent une variabilité considérable des réponses de lactate. Plusieurs sujets n'ont pas été en mesure de maintenir 75% de $VO_2\text{max}$ pendant 60 min et le seuil de maintien du lactate (MLSS) n'était pas présent chez certains individus. Les données montrent que pour un travail fait à un pourcentage plus élevé du $VO_2\text{max}$, le stress métabolique est plus variable que pour un pourcentage plus faible, ce qui est mis en évidence par une variance significativement plus élevée de la lactatémie et un nombre plus élevé d'abandons précoces. En ce qui concerne cette hétérogénéité, il ne semble pas y avoir de différences significatives entre les individus ayant une capacité aérobie supérieure et inférieure, ils présentent tous une variance élevée.

Des recherches qui étudient le pourcentage du $VO_2\text{max}$ qu'un athlète d'endurance peut maintenir pendant une épreuve de longue distance ont identifié le seuil de lactate, l'économie de mouvement et le taux d'oxydation des graisses comme des facteurs importants à la performance. Ces critères ainsi que la capacité anaérobie pourraient, en partie, être responsables dans l'étude présente, des différences individuelles observées au niveau des concentrations de Lactate. Billat et Koralsztejn (1996) ont mentionné que dans un groupe homogène de coureurs d'élite, le temps nécessaire à l'épuisement lorsque l'exercice est fait à la vitesse aérobie maximale (VAM) était le plus court chez ceux dont la vitesse de course était la plus élevée.

Au cours du test fait à 75% du $VO_2\text{max}$ de la présente étude, les 12 sujets qui pédalaient avec les plus hauts niveaux de puissance (watts) ont tous arrêté leur activité prématurément. Parmi les 9 autres sujets qui pédalaient à des puissances moindres, 5 n'ont pas terminé l'épreuve non plus, ce qui remet en question le rôle de la puissance absolue comme pouvant être un prédicteur de l'abandon prématuré.

Les raisons de l'arrêt prématuré de l'exercice dans la présente étude sont difficiles à expliquer pour plusieurs sujets. Au cours du test à 75% du $VO_2\text{max}$, il est à noter que la concentration moyenne de lactate n'était pas plus élevée chez les sujets qui arrêtaient prématurément l'exercice que chez ceux qui ont terminé l'épreuve de 60 minutes. De plus, le nombre de sujets ayant fait le test à une intensité supérieure à leur seuil anaérobie n'était pas plus élevé chez les sujets ayant arrêté prématurément.

L'acidose, qui peut être une raison pour cesser rapidement l'exercice, peut être considérée uniquement chez les sujets chez qui le lactate a augmenté en flèche. Une autre explication pourrait être la fatigue neuromusculaire ce qui engendrerait une diminution de l'économie de mouvement. De plus, quelques sujets ont présenté des niveaux élevés et continus de lactate, ce qui correspond à un recrutement plus important des fibres musculaires à contraction rapide, celles qui se fatiguent plus rapidement que les fibres à contraction lente. En revanche, l'appauvrissement en glycogène ne semble pas être une raison pour que les sujets arrêtent l'activité physique prématurément, car la durée de l'exercice était trop courte. L'absence de raisons évidentes pour expliquer l'épuisement est conforme aux conclusions de Baron et coll. (2008) qui signalaient que l'arrêt de l'exercice lors d'une épreuve jusqu'à l'épuisement, fait au seuil du niveau de maintien du lactate (MLSS) n'est pas associée à un échec d'aucun système physiologique.

Bien qu'ils aient étudié d'autres hypothèses et qu'ils aient testé des athlètes entraînés, Coyle (1988) et Orok (1989) ont déjà démontré des différences interindividuelles au niveau des temps d'épuisement et des niveaux de lactate lors d'exercices d'endurance effectués à des pourcentages définis du $VO_2\text{max}$. La présente étude confirme leurs conclusions et montre que l'hétérogénéité observée est également présente chez les individus ayant une capacité d'endurance inférieure.

Les données montrent clairement les limites de l'approche « traditionnelle » pour prescrire l'intensité de l'exercice au moyen de valeurs maximales ($VO_2\text{max}$ et HR max). Il serait peut-être plus approprié de prendre en compte un élément de plus, soit la demande métabolique liée à l'exercice. Ce pourrait être, par exemple, en déterminant un paramètre lié au seuil de lactate, qui serait utilisé lors de la définition des vitesses de travail afin d'induire la réponse physiologique souhaitée.

Conclusion

Dans la présente étude, les réponses métaboliques induites pour deux intensités d'entraînement fréquemment utilisées (60 et 75% du VO_2) ont été étudiées au cours de protocole d'entraînement d'une durée de 60 min chez des sujets présentant une étendue variée de capacités aérobies. L'étude montre qu'un exercice d'endurance prolongé à des pourcentages donnés du $VO_2\text{max}$ conduit à des réponses non homogènes de lactate et, en particulier pour les pourcentages élevés, à des cessations d'exercice prématurées. Ainsi, les intensités d'exercice pour l'entraînement en endurance ne devraient, idéalement pas, être prescrites sous forme de pourcentages du $VO_2\text{max}$.

Nuance à apporter

⇒ L'auteur de la présente étude, Friederike Scharhag-Rosenberger, conclut qu'il est difficile d'obtenir une réponse métabolique précise en utilisant une prescription d'intensité basée sur le % du VO_2 max car les variations de réponses au stimulus sont très variées. Pour être plus précis, il faudrait tenir compte de l'estimation du seuil anaérobie, mais cette mesure requiert des prises d'échantillon sanguin ou des mesures ventilatoires nécessitant des équipements de spirométrie coûteux. Pour l'entraîneur personnel ou le coach sportif, l'accessibilité à ces méthodes d'évaluation du seuil anaérobie est peu réaliste. C'est pourquoi en l'absence de telles mesures, la prescription d'intensité basée sur le % du VO_2 max reste une méthode acceptable. Toutefois, en connaissant les limites de cette méthode, l'entraîneur devra être plus à l'écoute des réponses de son client/athlète et ainsi ajuster l'intensité régulièrement.

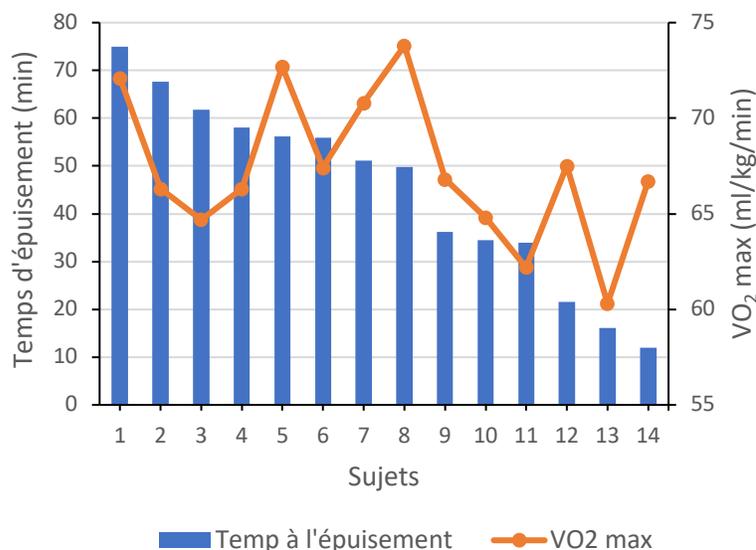
Utilisations pratiques

1. Le degré d'effort métabolique varie considérablement entre les différents athlètes qui s'exercent au même pourcentage du VO_2 max.
2. Plus le pourcentage du VO_2 max est élevé, plus l'effort métabolique varie entre les différents athlètes.
3. Certains athlètes sont incapables de maintenir une séance d'entraînement de 60 minutes avec 60 à 75% de VO_2 max alors que d'autres sont capables de la compléter.
4. Les prescriptions d'entraînement à l'aide des pourcentages du VO_2 max seul ne sont pas suffisantes si une réponse métabolique précise est souhaitée.

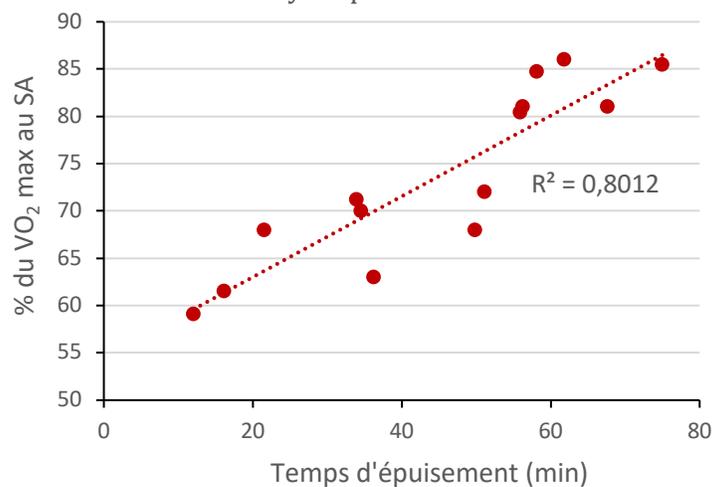
ANNEXE-1

Graphiques faits à partir des données de l'étude de Coyle, 1988.

Temps d'épuisement et VO_2 max de chacun des sujets ayant pédalé à 88% de leur maximum



Relation entre le % du VO_2 max au seuil anaérobie et le temps d'épuisement des sujets ayant pédalé à 88%



Références

1. Scharhag-Rosenberger, Friederike, *et coll.* Exercise at given percentages of VO₂max: heterogeneous metabolic responses between individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010.
2. Katch V., *et coll.* Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1978.
3. Weltman A., *et coll.* Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve and VO₂max for determining endurance training intensity in male runners. *Int J Sports Med*. 1990.
4. Meyer T. *et coll.* Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂max or HRmax adequate? *Med Sci Sports Exerc*. 1999.
5. Coyle, E., *et coll.* Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*. 1988.
6. Orok C., *et coll.* Blood lactate responses in incremental exercise as predictors of constant load performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1989.
7. Billat LV, Koralsztein JP. Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 1996.
8. Baron B, *et coll.* Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *Br J Sports Med* 2008.

Quelques mots sur l'auteur

Alexandre Paré, M.SC., CSCS.

Kinésiologue, auteur & conférencier

Alexandre est une personne qui se démarque par la maîtrise de son sujet et par la simplicité avec laquelle il communique les concepts liés à l'activité physique. Il sait inspirer et motiver même les plus sédentaires à passer à l'action et à inclure l'activité physique au sein des agendas les plus chargés. Détenteur d'un diplôme de Maîtrise en kinésiologie, avec spécialisation en physiologie de l'exercice, il a bâti sa notoriété grâce à ses connaissances scientifiques approfondies et à sa maîtrise des concepts d'entraînement physique. Ce conférencier est aussi un préparateur physique certifié de la NSCA (National Strength Conditioning Association). Ses connaissances théoriques jumelées à une forte expérience pratique font d'Alexandre une ressource des plus crédibles tant pour les personnes visant la performance que celles désireuses de mettre fin au cercle vicieux des excuses les maintenant dans un état de sédentarité.



Sa passion pour le partage des connaissances et ses qualités de pédagogue ont été mises à profit lorsqu'il fonda ATARAXIA en 1998 - consultants en activité physique et formation d'entraîneurs privés. Alexandre enseigne depuis plus de 10 ans à l'Université de Montréal, l'UQAC et l'Université Laval, ainsi que présentateur invité prisé dans de nombreux congrès d'activité physique à travers le Canada.

Sa notoriété dans son domaine lui a aussi valu d'être sollicité par les médias, résultant en des apparitions fréquentes à la télévision comme chroniqueur et consultant en kinésiologie. Il a lancé sa carrière de conférencier en activité physique en 1997 et a offert des prestations dans des entreprises visant l'amélioration de la qualité de vie de leurs employés dans le but d'améliorer la productivité et agir en prévention afin de diminuer les coûts de santé reliés à la sédentarité.