

LA VMA EN NATATION



Introduction

Le concept de consommation maximale d'oxygène ($VO_2 \text{ max}$) à l'effort remonte aux années 20 et aux études de Hill et Lupton qui mettent en évidence un plafonnement de la consommation d'oxygène au-delà d'une certaine vitesse. Cette vitesse sera appelée plus tard vitesse maximale aérobie (V.M.A.). La $VO_2 \text{ max}$ correspond à la capacité qu'a l'organisme à capter, transporter et utiliser l'oxygène. En natation, elle constitue un des paramètres déterminants de la performance (*I*). Mais si l'intérêt d'optimiser la V.M.A. du nageur ne fait plus de doute, on peut s'interroger sur les modalités de sa détermination ainsi que sur son utilisation à l'entraînement. Dans cette optique, nous tenterons dans un premier temps d'analyser les concepts de $VO_2 \text{ max}$ et V.M.A. puis nous ferons le point dans un second temps sur les tests utilisés en natation pour les calculer, enfin, nous verrons comment développer ces paramètres chez le nageur.

1. Définir consommation maximale d'oxygène ($VO_2 \text{ max}$) et vitesse maximale aérobie (V.M.A.)

Dans les années 60, Astrand et Saltin montrent que la vitesse d'action du sportif et la consommation d'oxygène augmentent de manière proportionnelle jusqu'à l'atteinte de la consommation maximale d'oxygène ($VO_2 \text{ max}$). La vitesse atteinte à cette intensité d'effort est appelée vitesse maximale aérobie (V.M.A.). A ces notions correspond celle de puissance maximale du système aérobie (P.M.A.) qu'on peut définir comme la quantité d'énergie dont dispose l'organisme pour réaliser un exercice maximal en aérobie. $VO_2 \text{ max}$ et P.M.A. sont les valeurs pour lesquelles une augmentation de l'intensité de l'exercice n'entraîne plus

d'augmentation de la consommation d'oxygène. A ce niveau d'effort correspond un plateau de la consommation d'oxygène et l'intervention de manière prépondérante de la glycolyse anaérobie. Il faut garder à l'esprit que lorsque le nageur évolue à V.M.A., son organisme utilise la filière aérobie à pleine puissance mais également la filière anaérobie lactique. La VO₂ max s'exprime généralement en mL d'O₂ par kg de poids corporel et par minute. Les valeurs maximales relevées chez des nageurs sont de l'ordre de 80 mL/kg/min.

Le temps de soutien de la V.M.A. est estimé entre 4 et 9 minutes selon les individus (4). La VO₂ max dépend de nombreux paramètres physiologiques. Le premier est la ventilation avec le débit ventilatoire et la capacité de diffusion de l'oxygène des alvéoles pulmonaires vers les capillaires sanguins. Intervient ensuite le transport actif de l'oxygène par le sang, lié à l'hématocrite et à l'affinité qu'a l'hémoglobine pour fixer l'oxygène. Le cœur joue un rôle par l'intermédiaire du volume d'éjection systolique et de la fréquence cardiaque qui vont induire un certain débit cardiaque. Le sang oxygéné passe ensuite dans la circulation périphérique dont les caractéristiques sont la densité en capillaires, le débit sanguin au niveau musculaire, la capacité de diffusion et d'extraction de l'oxygène. Enfin, au niveau musculaire, l'utilisation de l'oxygène sera fonction de la quantité de myoglobine, de la densité en mitochondries, du type et du nombre de fibres musculaires.

La natation, comme toute activité physique, a un coût énergétique. La VO₂ max est donc liée au coût énergétique CR (en mL d'O₂ par m et par kg) . La relation entre la V.M.A., la VO₂ max et le CR est la suivante : $VMA = VO_{2max} / CR$. Pour augmenter la V.M.A., que l'on peut considérer comme l'expression de la VO₂ max sur le terrain, il faut donc soit augmenter la VO₂ max, soit diminuer le coût énergétique. Ce dernier point se fait par un travail technique lié notamment à l'équilibration du nageur. Le coût énergétique est donc le premier facteur limitant de la V.M.A.. Examinons à présent les autres facteurs, d'origine génétique et liés aux paramètres physiologiques précédemment évoqués.



Au niveau de la ventilation, une limitation pour les sportifs de haut niveau est liée à la résistance des voies respiratoires à l'écoulement de l'air. En effet, Dempsey a montré en 1996 (2) que pour un individu moyen, avec une VO₂ max supérieure à 50 mL/min/kg, les poumons et le cœur ont une capacité à transporter et à échanger l'oxygène largement supérieure à ce que le muscle est capable de consommer, dans ce cas le facteur limitant est le muscle. En revanche, à haut niveau, avec une VO₂ max de l'ordre de 75 mL/min/kg, les poumons et les voies respiratoires deviennent un facteur limitant à cause des résistances à l'écoulement de l'air, de la fatigue des muscles respiratoires mais aussi à cause d'un débit sanguin très élevé qui limite les échanges gazeux entre alvéoles et capillaires.

Au niveau de la convection, l'hématocrite apparaît comme un facteur limitant, comme le prouve de manière indirecte les augmentations de VO₂ max dues à des transfusions sanguines ou à un dopage par EPO qui permettent d'augmenter le taux d'hématocrite. Enfin, au niveau musculaire, Lindstedt (6) a montré que la capacité du muscle à extraire l'oxygène n'excédait jamais 90 %. En outre, arrivé à 90 mL d'O₂/min/kg apporté au muscle, il y a un plateau, le muscle ne consomme plus d'oxygène même si on lui en apporte plus. Ceci est lié à la consommation d'oxygène par la mitochondrie (2000 mol d'O₂ par seconde et par micron² de membrane). Donc, c'est le

nombre de mitochondries qui va faire varier la capacité du muscle à consommer l'oxygène. On estime ainsi que la VO₂ max est déterminée entre 50 et 80 % par la génétique (selon les auteurs) , les 20 à 50 % restants étant influencés par l'entraînement. Le développement de la VO₂ max (et donc de la V.M.A.) permet une amélioration de l'aptitude fonctionnelle du cœur par l'augmentation du volume d'éjection systolique, un renforcement de l'hématopoïèse et une augmentation de la concentration sanguine en hémoglobine. Il permet également aux structures nerveuses centrales d'acquérir de nouvelles possibilités de régulation des systèmes moteurs associées aux systèmes de production et de fourniture d'énergie (1). Enfin, il donne la possibilité à l'organisme de retarder le seuil d'augmentation du taux de lactates et donc de nager à une vitesse donnée avec un taux de lactates inférieur et donc de maintenir plus longtemps cette vitesse. Ceci est utile non seulement chez les nageurs de demi-fond mais également chez les sprinters comme l'a montré Gennadi Touretsky, entraîneur d'Alexandre Popov.

Mais avant de développer cette capacité, il s'agit de l'évaluer afin de pouvoir exploiter cette donnée à l'entraînement.

2. Les mesures de VO₂ max et de V.M.A.

Compte tenu des déplacements dans l'eau, David L. Costill (3) précise que l'« on ne peut utiliser des tests de course sur tapis roulant pour mesurer la consommation maximale d'oxygène du nageur. » Pour obtenir la consommation maximale d'oxygène du sujet à l'effort, il faut mesurer les volumes d'air inspiré et expiré et en analyser les contenus en dioxygène et en dioxyde de carbone. Ceci se fait en munissant le nageur d'appareils comme le K4 qui est d'encombrement réduit, mais dont le coût est très élevé, et lors de tests que nous allons décrire plus loin. Il est à noter que ces tests permettent tous de déterminer la V.M.A. du nageur, avec certaines limites, et peuvent se faire avec ou sans mesure de la VO₂ max. Dans ce dernier cas de figure, il n'est pas possible de conclure si les variations de V.M.A. relevées sont dues au coût énergétique ou à la VO₂ max.

Le test de Lavoie (1985)

- Protocole : le départ se fait dans l'eau ; le sujet nage à allure progressive ; la vitesse augmente de 0,050 m/s par paliers de 2 minutes. L'allure est donnée au nageur par un observateur marchant le long du bassin à la vitesse à laquelle le sujet doit nager, ce dernier suivant les déplacements de l'observateur. La vitesse étant croissante, il arrive un moment où le sujet décroche, n'arrivant plus à suivre l'observateur. Le palier atteint à ce moment est noté. L'observateur marche à une allure donnée par un enregistrement audio .
- Interprétation des résultats : on estime que la vitesse correspondant au dernier palier franchi correspond à la V.M.A. du nageur.

Le test de 5 minutes (5)

- Protocole : il est demandé au sujet de nager pendant 5 minutes, départ dans l'eau, la plus grande distance possible.
- Interprétation des résultats : on estime que la vitesse moyenne enregistrée sur ce test correspond à la V.M.A. du nageur.
- Inconvénient : ce test repose sur la valeur moyenne d'un temps de soutien de la V.M.A., hors il s'avère que ce temps varie d'un individu à l'autre (4).

Le test du 5 x 200 progressifs (5)

- Protocole : on demande au sujet de nager une série de 5 x 200 m chronométrés à allure progressive d'un 200m à l'autre. La consigne est de « bien nager » le premier, ce qui, dans le jargon de la natation signifie au nageur expérimenté de la nager en aérobie puis de nager le deuxième un peu plus vite et ainsi de suite jusqu'au dernier nagé à allure maximale et régulière. La récupération entre chaque 200m est de 1 minute passive. On peut éventuellement, pour affiner le test et si on dispose du matériel adéquat, procéder à une mesure de la fréquence cardiaque et à une mesure de lactatémie, par prise de sang au lobe de l'oreille puis analyse, pendant cette minute de repos.
- Interprétation des résultats : la durée de récupération fait que le nageur ne repart pas pour la répétition suivante à fréquence cardiaque et lactatémie de repos ; celles-ci vont donc augmenter progressivement tout au long du test. Pour cette raison, et de par la longueur du test, le nageur ne pourra nager le dernier 200m au maximum de ses possibilités intrinsèques mais seulement à sa V.M.A.. C'est le temps réalisé sur cette dernière répétition qui donnera la V.M.A. du nageur.
- Inconvénient : ce test nécessite au nageur de bien se connaître et d'être capable de réguler son allure ; il s'adresse donc à des nageurs ayant une certaine expérience de leur pratique et non à des débutants en matière d'entraînement.



Le test du 400m

- Protocole : il est demandé au sujet de nager un 400m chrono départ plongé.
- Interprétation des résultats : on déduit les temps du premier et du huitième 50m ; pour obtenir la V.M.A., on calcule la vitesse moyenne des six 50m restants.
- Inconvénient : ce test s'avère peu pertinent pour des nageurs débutants (valant plus de 6 minutes au 400m) et confirmés (valant moins de cinq minutes au 400m) ; en effet, pour les premiers, le temps de nage sera trop élevé et cette épreuve sera nagée à une vitesse certainement inférieure à la V.M.A. et pour les seconds, le temps de nage sera trop court et donc l'épreuve sera nagée à une vitesse supérieure.

Une fois la V.M.A. déterminée, il est possible de l'exploiter afin d'élaborer les séries d'entraînement propres à la développer. L'amélioration de la V.M.A. sera envisagée ici uniquement d'un point de vue énergétique (donc lié au développement de la VO₂ max).

3. Moyens et méthodes de développement de la VO₂ max (1)

Le développement de la VO₂ max vise à faire fonctionner à pleine puissance le système aérobie, et ce, avec un maintien de l'efficacité technique malgré les conditions de fatigue croissante. Dans cette optique, la vitesse de nage devra être suffisante pour permettre l'instauration à plein rendement du système aérobie. Les séries seront donc nagées à la V.M.A., voire à 105 % de la V.M.A. pour les répétitions courtes (25 et 50 m) . Les repères physiologiques pour une telle intensité de travail sont une lactatémie comprise entre 5,5 et 8,5

mmols de lactates par litre de sang et une fréquence cardiaque comprise entre 165 pulsations par minute et le maximum. La durée des intervalles de travail sera courte (25 à 100m soit 15 à 90 secondes de travail). Le nombre de répétitions sera fonction de trois facteurs : permettre un effort d'une durée totale de 9 à 20 minutes soit de l'ordre de deux à trois fois le temps de soutien de la V.M.A., générer et entretenir une vitesse de nage la plus élevée possible et maintenir une organisation technique assurant un haut niveau de rendement. La durée des intervalles de repos doit permettre par l'intermédiaire du métabolisme aérobie d'équilibrer la formation de lactates. Des pauses trop courtes conduiraient à une accumulation de lactates, la formation devenant supérieure à l'élimination. Par conséquent, leur durée sera de l'ordre de 30 à 50 % du temps de travail. Nous illustrerons nos propos par quelques exemples de séries d'entraînement suggérées dans l'ouvrage « L'entraînement, tome V: méthodologie » (1997) écrit par un collectif d'auteurs membres de la direction technique nationale de la Fédération Française de Natation. Ces séries sont à proposer à des nageurs juniors ou seniors de série nationale ou internationale.



	distance	forme	répétitions	séries	récupération
sprinters	25 m	Nage complète	12 à 20	1 à 3	10'' à 20'' entre répétitions 6' au moins entre les séries
	50 m	Nage complète	6 à 12	1 à 2	15'' à 45'' entre les répétitions 6' au moins entre les séries
	100 m	Nage complète	4 à 10	1 à 2	45'' entre les répétitions 10' au moins entre les séries
demi-fond	100 m	Nage complète	6 à 10	1 à 2	10'' à 20'' entre répétitions 8' au moins entre les séries
	200 m	Bras seuls plaquettes	3 à 5	1 à 2	15'' à 45'' entre les répétitions 8' au moins entre les séries

Conclusion

Pour conclure, il s'avère donc que la vitesse maximale aérobie est fonction d'un paramètre énergétique, la VO₂ max, et d'un paramètre technique, le coût énergétique. La VO₂ max est une capacité déterminée en grande partie génétiquement, avec les limitations que cela suppose, mais dont certains paramètres sont susceptibles d'être développés par l'entraînement. La VO₂ max est mesurable par des tests de terrain mais qui nécessitent un appareillage trop coûteux pour être utilisé couramment dans la plupart des clubs. Il reste aux entraîneurs la possibilité de déterminer la V.M.A. de leurs nageurs par différents tests mais force est de constater qu'une grande part d'empirisme subsiste dans les méthodes utilisées. La notion de temps de soutien de la V.M.A. n'est ainsi apparemment jamais abordée. Cette donnée a été introduite par Véronique Billat dans l'entraînement de coureurs à pied afin de permettre une personnalisation des entraînements par la prise en compte des caractéristiques de l'athlète et est en train de modifier profondément les conceptions en matière d'entraînement en course à pied. Il semble que le milieu de la natation soit pour l'instant imperméable à cette approche qui constitue néanmoins une piste intéressante de recherche en matière d'entraînement.

Références :

- 1-Collectif d'auteurs:L'entraînement, tome V: méthodologie, *Atlantica*, 1997
- 2-Dempsey : « Is the lung built for exercise ? », in *Medecine Sport and Exercice* vol 18, 1996
- 3-Costill David L. :I.N.S.E.P. , F.F.N. Spécial sport natation volume 1: comptes rendus des conférences à l'I.N.S.E.P., *I.N.S.E.P.*, 1978
- 4-Billat Véronique : Physiologie et méthodologie de l'entraînement – De la théorie à la pratique, *De Boeck Universités*, 1998
- 5-Catteau Alain, Seyfried Didier:L'entraînement, tome II: analyse de l'activité, *Atlantica*, 1997
- 6-Riché Denis : « Un homme averti en VO₂ ! », in *Sport et Vie*, HS n°14, L'entraînement est-il une science exacte ?, *Faton*, 2000