



La vitesse à VO₂ max, signification et applications en course à pied

Véronique Billat, Serge Berthoin, Nicolas Blondel, Michel Gerbeaux

DANS STAPS 2001/1 n^o 54 , PAGES 45 À 61

ÉDITIONS DE BOECK SUPÉRIEUR

ISSN 0247-106X

DOI 10.3917/sta.054.0045

Date de mise en ligne : 01/10/2005

Article disponible en ligne à l'adresse

<https://shs.cairn.info/revue-staps-2001-1-page-45?lang=fr>



Découvrir le sommaire de ce numéro, suivre la revue par email, s'abonner...
Scannez ce QR Code pour accéder à la page de ce numéro sur Cairn.info.



Distribution électronique Cairn.info pour De Boeck Supérieur.

Vous avez l'autorisation de reproduire cet article dans les limites des conditions d'utilisation de Cairn.info ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Détails et conditions sur [cairn.info/copyright](https://shs.cairn.info/copyright).

Sauf dispositions légales contraires, les usages numériques à des fins pédagogiques des présentes ressources sont soumises à l'autorisation de l'Éditeur ou, le cas échéant, de l'organisme de gestion collective habilité à cet effet. Il en est ainsi notamment en France avec le CFC qui est l'organisme agréé en la matière.

La vitesse à $\dot{V}O_2$ max, signification et applications en course à pied

Serge Berthoin¹, Nicolas Blondel¹⁻², Véronique Billat¹, Michel Gerbeaux¹

¹Université de Lille 2, Faculté des Sciences du Sport et de l'E.P.*,
Laboratoire Etudes de la Motricité Humaine

²Université d'Artois, UFR-STAPS, Laboratoire d'Analyse Multidisciplinaire des A.P.S.

Résumé

Cette revue de question a pour thème central le concept de vitesse à $\dot{V}O_2$ max, considérée comme critère d'appréciation de l'aptitude à réaliser des performances en course à pied et comme point de repère pour déterminer les vitesses idéales en vue d'optimiser l'entraînement des coureurs. Deux types de protocoles ont été proposés pour mesurer la vitesse à $\dot{V}O_2$ max. Dans le premier type de protocole, la vitesse atteinte sur le terrain à la fin d'une épreuve progressive, continue et maximale est retenue comme étant la vitesse à $\dot{V}O_2$ max. Dans le second type de protocole, la vitesse à $\dot{V}O_2$ max est calculée à partir des mesures de $\dot{V}O_2$ max et de coût énergétique mesurées en laboratoire. Les recherches en cours visent à identifier les relations entre vitesse de course et temps limite de maintien de cette vitesse de course afin de proposer des exercices pour lesquels l'allure et la durée de la course sont adaptées aux possibilités de chaque athlète.

Mots-clés : aérobie, consommation maximale d'oxygène, entraînement, évaluation, performance.

The velocity at $\dot{V}O_2$ max, signification and applications to running

Abstract

This review focuses on the concept of velocity at $\dot{V}O_2$ max. Thus velocity is related to aerobic performance and could be used as a criterion of velocity to set running paces for training. Two groups of protocols have been proposed to measure the velocity at $\dot{V}O_2$ max. The first types of protocol consisted in continuous, multistage and maximal running field tests where the speed at the last stage is accepted as the velocity at $\dot{V}O_2$ max. For the second type of protocol, the velocity at $\dot{V}O_2$ max is calculated from $\dot{V}O_2$ max and energy cost of running measured during laboratory events. Further studies are needed to identify the relationships between running velocity and running time to exhaustion at this velocity to propose exercises for which both running velocity and running length are closely adapted to the possibilities of each subject.

Key words : aerobic, maximal oxygen uptake, training, assessment, performance

* Serge Berthoin, 9, rue de l'Université 59790 Ronchin mel : berthoin@hp-sc.univ-lille2.fr

1. INTRODUCTION

En course de longue durée, le plus grand volume d'oxygène pouvant être consommé par minute et par kilogramme de masse corporelle ($\dot{V}O_{2\max}$, en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), c'est-à-dire le débit maximal ou la puissance maximale du métabolisme aérobie, est positivement corrélé à la performance (Foster, 1983). Cependant, pour des sujets dont les $\dot{V}O_{2\max}$ sont comparables, la corrélation entre le $\dot{V}O_{2\max}$ et la performance est faible (Conley et Krahenbuhl, 1980), voire non significative (Lacour, Padilla-Maguncelya, Barthélémy & Dormois, 1990). Pour expliquer les différences interindividuelles de performances, il est alors nécessaire de tenir compte d'autres paramètres. Ainsi, Di Prampero, Atchou, Brückner & Moia (1986) modélisent la performance en course de longue durée à partir du $\dot{V}O_{2\max}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), de la fraction du $\dot{V}O_{2\max}$ qui peut être soutenue lors d'une épreuve et du coût énergétique de la course (C_r), c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée par unité de distance parcourue ($\text{ml}O_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$). Ainsi, la performance peut être améliorée soit en augmentant la fraction du $\dot{V}O_{2\max}$ soutenu lors de la course, soit en augmentant le $\dot{V}O_{2\max}$, soit en diminuant le coût énergétique de la course ou par toute combinaison de ces trois paramètres.

Le rapport entre $\dot{V}O_{2\max}$ et C_r est à l'origine du concept de vitesse à $\dot{V}O_{2\max}$. La détermination de cette vitesse est réalisée soit à partir de paramètres physiologiques ($\dot{V}O_{2\max}$ et C_r), soit en mesurant l'allure de course la plus élevée atteinte lors d'une épreuve à vitesse progressivement augmentée poursuivie jusqu'à l'épuisement. La vitesse à $\dot{V}O_{2\max}$ permet d'établir un lien direct entre l'évaluation de la performance et la détermination des allures de course pour l'entraînement, ce qui n'est pas le cas pour le $\dot{V}O_{2\max}$ et le C_r . Le concept de vitesse à $\dot{V}O_{2\max}$ illustre bien le transfert de connaissance entre la recherche et ses applications.

Dans la littérature, différents protocoles et différentes abréviations ont été proposés pour mesurer et identifier la vitesse à $\dot{V}O_{2\max}$, ce qui peut être source de confusion (Hill & Rowell, 1996). Dans la suite du document, l'expression vitesse à $\dot{V}O_{2\max}$ ($v\dot{V}O_{2\max}$) a été choisie pour désigner ces différentes

vitesse. Pour les autres définitions du concept de $v\dot{V}O_{2\max}$, nous utiliserons les abréviations proposées initialement par les auteurs à l'origine des protocoles.

L'objet de cette revue de question est 1°) de présenter les différents protocoles de mesure de la $v\dot{V}O_{2\max}$ et d'en discuter la signification physiologique sous-jacente ; 2°) de présenter ses applications à l'élaboration des programmes d'entraînement ; 3°) de proposer des orientations de recherche concernant la détermination de la $v\dot{V}O_{2\max}$ et son utilisation pour l'optimisation de l'entraînement.

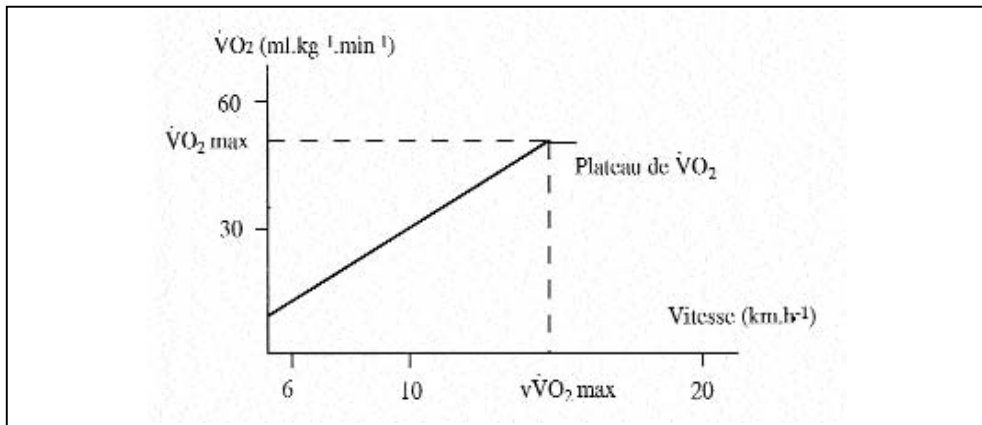
2. PROTOCOLES DE MESURE DE LA VITESSE À $\dot{V}O_{2\max}$

2.1 Mesure directe de la vitesse à $\dot{V}O_{2\max}$ sur le terrain

Sur le terrain, la $v\dot{V}O_{2\max}$ peut être mesurée directement en retenant la vitesse obtenue à l'arrêt d'un test par paliers d'intensité croissante poursuivi jusqu'à ce que le sujet n'arrive plus à maintenir le rythme de course imposé. L'intérêt principal d'une telle épreuve est d'imposer les allures de course à l'aide de repères sonores (Léger et Boucher, 1980) ou à l'aide d'un cycliste que le sujet doit suivre pour maintenir une allure donnée (Brue, 1985). L'habileté des sujets à contrôler leur allure, comme facteur influençant la performance, est alors minimisée.

Léger et Boucher (1980) sont les premiers auteurs à avoir proposé un test de course indirect, progressif, continu et maximal, initialement utilisé pour évaluer le $\dot{V}O_{2\max}$ des sujets : le test de course sur piste de l'Université de Montréal (TCPUM). Ce test débute à une vitesse de $6\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (5 Mets), où 1 Met représente la consommation d'oxygène au repos soit $3,5\text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. La vitesse est ensuite augmentée de $1,2\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (1 Met) par palier de 2 min. L'épreuve prend fin lorsque le sujet n'est plus capable de suivre le rythme de course imposé. Les auteurs retiennent comme performance la vitesse au dernier palier de course entièrement couru (v_{TCPUM}).

Au moyen de ce test, la détermination du $\dot{V}O_{2\max}$ est réalisée en attribuant au sujet

FIGURE 1 : Relation entre consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$) et vitesse de course (adapté de Margaria *et al.*, 1965).

le coût énergétique moyen de la vitesse de course au dernier palier entièrement couru. L'équation de prédiction du $\dot{V}O_{2max}$ a été établie à partir des travaux de Shephard (1969) et de Pugh (1970) :

$$\dot{V}O_{2max} = 0,0324*v^2 + 2,143*v + 14,49$$

équation (1)

où la vitesse (v) est exprimée en $km.h^{-1}$ et $\dot{V}O_{2max}$ en $ml.kg^{-1}.min^{-1}$.

La détermination du $\dot{V}O_{2max}$ à l'aide de cette formule a été validée à partir d'épreuves de laboratoire (Léger et Boucher, 1980). Le test est reproductible, indépendamment du sexe et du niveau de performance, chez l'adulte (Léger et Boucher, 1980), comme chez l'enfant pour des tests réalisés en milieu scolaire (Berthoin, Mantéca, Lensel-Corbeil & Gerbeaux, 1995).

Par la suite, plusieurs versions de ce test ont été proposées (Tableau 1). Dans le protocole de Brue (1985), la vitesse est imposée par un cycliste que les sujets suivent seul ou en groupe. Les augmentations de vitesse sont de 0,2 ou 0,3 $km.h^{-1}$ par paliers de 30 s. Cazorla (1990) propose de placer des repères tous les 20 m autour de la piste (au lieu de 50 m) et réduit les augmentations de vitesse (0,5 $km.h^{-1}$ par minute). Pour adapter le test de Léger et Boucher (1980) aux populations scolaires, Gerbeaux, Lensel-Corbeil, Branly, Dierkens, Jacquet, Lefranc, Savin et Savin (1991) modulent la durée des paliers afin que les changements de palier coïncident avec le

passage près d'un cône et réduisent l'intervalle entre deux repères à 25 m.

Pour ces épreuves, il est fait l'hypothèse que la vitesse en fin d'exercice correspond à la $v\dot{V}O_{2max}$ (figure 1). Or, on peut penser que des augmentations de vitesse, ou des durées de paliers différentes, peuvent conduire à des évaluations de vitesses maximales différentes. Ainsi, Melin, Jimenez, Charpenet, Pouzeratte et Bittel (1996) montrent que les vitesses maximales atteintes sont supérieures pour un protocole continu avec augmentations de vitesse de 0,28 $km.h^{-1}$ par 30 s ($16,4 \pm 0,4 km.h^{-1}$) en comparaison avec un protocole discontinu par paliers de 3 min et avec une augmentation de vitesse de 1 $km.h^{-1}$ ($15,0 \pm 0,3 km.h^{-1}$). Par contre, comme cela sera développé dans le chapitre 2.3, il apparaît que des augmentations de vitesse de 1 $km.h^{-1}$ par 2 min, ou d'autres combinaisons, entre augmentation de vitesse et durée de palier équivalentes (0,5 $km.h^{-1}$ par minute ou 1,5 $km.h^{-1}$ par 3 minutes), permettent des estimations valides de la $v\dot{V}O_{2max}$.

La mesure de la $v\dot{V}O_{2max}$ peut également être influencée par la vitesse effectivement retenue en fin d'épreuve. Certains auteurs retiennent la vitesse au dernier palier de course entièrement couru (Gerbeaux *et al.*, 1991 ; Berthoin, Gerbeaux, Guerrin, Lensel-Corbeil, Turpin & Vandendorpe, 1994), d'autres pondèrent le temps de course au dernier palier en fonction du temps pendant lequel celui-ci a été maintenu (Ahmaidi, Collomp & Préfaut,

1992a ; Ahmaidi, Collomp, Caillaud & Préfaut, 1992b) en appliquant l'équation proposée par Kuipers, Verstappen, Keize, Geurten & VanKranenburg (1985). Enfin, Lechevalier, Vandewalle, Chatard, Moreaux, Gandrieux, Besson & Monod (1989) ainsi que Kachouri, Vandewalle, Huet, Thomaïdis, Jusselin & Monod (1996a) proposent de retenir la vitesse au dernier palier de course entièrement couru, augmentée de 0,25 km.h⁻¹, 0,5 km.h⁻¹ ou 0,75 km.h⁻¹, dans le cas de paliers de 2 min avec augmentation de vitesse de 1 km.h⁻¹, si le sujet a couru 30s, 60s ou 90s lors d'un palier non couru jusqu'à son terme. Une réduction des augmentations de vitesse jusqu'à 0,25 km.h⁻¹ ne semble cependant pas nécessaire lorsque l'on mesure la $v\dot{V}O_{2\max}$ sur le terrain. En effet, Léger et Boucher (1980) et Berthoin *et al.* (1995) rapportent des erreurs comprises entre 0,6 et 0,9 km.h⁻¹ lorsque le TCPUM est répété par les mêmes sujets. De plus, il est probable que le dernier palier de course non couru jusqu'à son terme (voir même l'avant dernier palier) ait été réalisé alors que $\dot{V}O_{2\max}$ était déjà atteint (Léger et Boucher, 1980 ; Iaiche, Toraa et Friemel, 1996), surtout si des sujets très entraînés sont évalués (Lacour, Padilla-Magunacelaya, Chatard, Arsac & Barthélémy, 1991). Il semble alors préférable de retenir la vitesse au dernier palier entièrement couru.

Les épreuves progressives imposent la vitesse à laquelle le sujet doit courir. Dans ces conditions, l'aptitude du sujet à gérer sa course influence peu la réalisation de la performance et la reproductibilité du test s'en trouve améliorée. Pour des sujets plus entraînés, ou pour évaluer la performance de façon plus globale, Chamoux, Berthon & Laubignat (1996) ont proposé de retenir comme mesure de la $v\dot{V}O_{2\max}$, la vitesse moyenne la plus élevée pouvant être maintenue lors d'une course de 5 min ($v_{5\min}$). La durée de l'épreuve (5 min) est fixée à partir d'une approche empirique. Ce test permet d'estimer rapidement et simplement la $v_{5\min}$ des sujets en multipliant par 12 la distance parcourue (un sujet qui parcourt 1000 m en 5 min a une $v_{5\min}$ de 12 km.h⁻¹). La vitesse moyenne obtenue lors de ce test s'est avérée comparable à v_{TCPUM} . Toutefois, comme le signalent les auteurs,

la bonne réalisation de ce test requiert une course régulière.

Les études présentées dans ce chapitre permettent une mesure simple et rapide de la $v\dot{V}O_{2\max}$. Elles autorisent également l'évaluation d'un grand nombre de sujets à la fois. Pour ces raisons, la répétition des mesures de $v\dot{V}O_{2\max}$ peut aisément être envisagée au cours d'une saison sportive.

2.2 Calcul de $v\dot{V}O_{2\max}$ à partir des mesures du $\dot{V}O_{2\max}$ et du C_r

Morgan, Baldini & Martin (1989), se référant aux travaux de Daniels, Scardina, Hayes & Foley (1984) proposent de mesurer la $v\dot{V}O_{2\max}$ à partir des valeurs du $\dot{V}O_2$, à des allures sous maximales, et du $\dot{V}O_{2\max}$. Le $\dot{V}O_{2\max}$ est déterminé lors d'un exercice à allure progressivement croissante sur tapis roulant. Par la suite, au cours de trois sessions différentes, les sujets effectuent une course de 5 min à 12,8 km.h⁻¹ puis 4 courses de 6 min à 13,8 km.h⁻¹, 14,9 km.h⁻¹, 16,1 km.h⁻¹ et 17,6 km.h⁻¹, avec 5 min de récupération entre chaque course. La relation entre $\dot{V}O_2$ et vitesse est alors tracée et la $v\dot{V}O_{2\max}$ est estimée par extrapolation, la valeur du $\dot{V}O_{2\max}$ étant connue (figure 2).

Un second mode de calcul a été proposé par di Prampero *et al.* (1986). Les auteurs rappellent que, par définition, la puissance métabolique (\dot{E}) nécessaire pour se déplacer à une vitesse (v) est égale au produit de cette même vitesse par le coût énergétique de la course (C_r) : $\dot{E} = C_r.v$. Les valeurs de \dot{E} , v et C_r sont exprimées respectivement en W.kg⁻¹, m.s⁻¹ et J.kg⁻¹.m⁻¹. Dans des conditions maximales, l'équation devient :

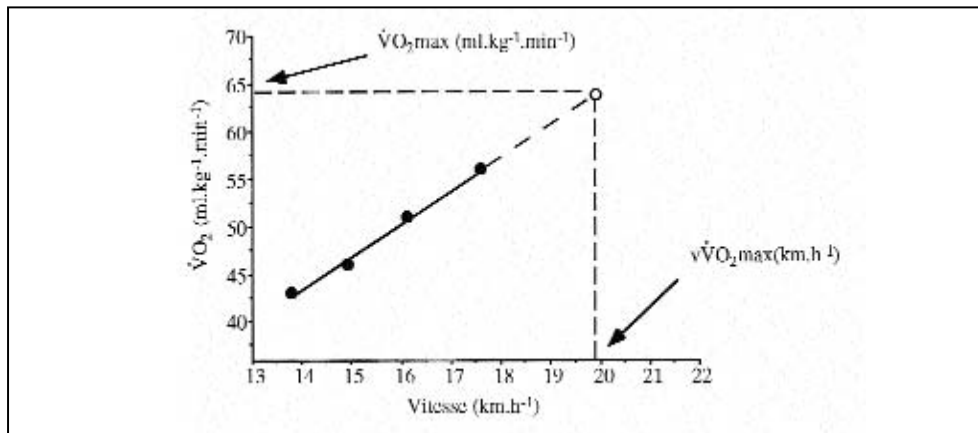
$$v_{\max} = \frac{\dot{E}_{\max}}{C_r} \quad \text{équation (2)}$$

Enfin, dans des conditions maximales aérobies, comme \dot{E} dépend essentiellement du $\dot{V}O_{2\max}$, on obtient l'équation suivante :

$$v_{\text{end}} = \frac{F.\dot{V}O_{2\max}}{C_r} \quad \text{équation (3)}$$

où v_{end} est la vitesse d'endurance et F la fraction maximale du $\dot{V}O_{2\max}$ qui peut être maintenue sur la durée d'exercice. Pour F

FIGURE 2 : Relation entre vitesse de course et oxygène consommé. La droite de régression est calculée (ligne continue) au moyen des valeurs obtenues pour des allures de course sous maximales (cercles pleins). La valeur de $v\dot{V}O_{2max}$ est alors obtenue en prolongeant cette droite (ligne pointillée) jusqu'à la valeur connue de $\dot{V}O_{2max}$ (cercles évidés).



égale à 1, on détermine alors v_{max} qui est égale à :

$$v_{max} = \frac{\dot{V}O_{2,max}}{C_r} \quad \text{équation (4)}$$

Di Prampero, Capelli, Pagliaro, Antonutto, Girardis, Zamparo & Soule (1993) ont généralisé l'équation (4) en prenant en compte la puissance métabolique diminuée de la valeur du métabolisme de repos. La vitesse de course est ainsi calculée à partir de paramètres aérobies nets. Elle permet une mesure qui ne peut être reproduite si l'on se contente de mesurer la vitesse maximale atteinte lors d'une épreuve progressive et maximale car les contributions respectives des processus aérobies et anaérobies ne peuvent être dissociées. Cette technique de mesure, comme celle proposée par Daniels (1985) et Morgan *et al.* (1989), suppose une relation strictement linéaire entre $\dot{V}O_2$ et vitesse.

Lacour *et al.* (1991) proposent d'évaluer la vitesse pour laquelle le $\dot{V}O_{2,max}$ est obtenu, ou vitesse aérobie maximale ($v_{a,max}$), lors d'un exercice à allure graduellement croissante. La vitesse est de 10,3 km.h⁻¹ au premier palier de course. Elle est augmentée de 1,54 km.h⁻¹ par palier de 4 min, jusqu'à l'épuisement. Chaque palier est entrecoupé d'une pause de 1 min. La $v_{a,max}$ est calculée à partir des valeurs du $\dot{V}O_{2,max}$, du $\dot{V}O_2$ de repos et du C_r . En

accord avec les recommandations de Medbø, Mohn, Tabata, Bahr, Vaage & Sejersted (1988), le $\dot{V}O_2$ de repos est supposé égal à 5 ml.kg⁻¹.min⁻¹. Le C_r net, est alors calculé suivant la formule :

$$C_r = \frac{\dot{V}O_2 - 5}{v} \quad \text{équation (5)}$$

où $\dot{V}O_2$ est le volume d'oxygène consommé par minute (ml.kg⁻¹.min⁻¹), mesuré à l'état d'équilibre pour une vitesse v donnée (m.min⁻¹). Pour le calcul de $v_{a,max}$, le C_r est supposé égal à la moyenne des deux valeurs calculées aux deux derniers paliers de course entièrement achevés. La $v_{a,max}$ est alors calculée suivant l'équation :

$$v_{a,max} = \frac{\dot{V}O_{2,max} - 5}{C_r} \quad \text{équation (6)}$$

Pour se rapprocher des évaluations réalisées sur le terrain, donc des allures de course réellement utilisées par les athlètes lors de l'entraînement, Billat, Renoux, Pinoteau, Petit & Koralsztein (1994a) proposent de mesurer la plus petite vitesse permettant d'atteindre le $\dot{V}O_{2,max}$ (v_{Billat}). Pour des sujets entraînés, le test sur tapis roulant (pente à 0 %) débute à 12 km.h⁻¹. La vitesse du tapis roulant est alors augmentée de 2 km.h⁻¹ à chaque palier de 3 min jusqu'à 80 % de la vitesse record des sujets sur 3000 m. Les augmentations de vitesses

sont alors fixées à 1 km.h⁻¹. La plus petite vitesse pour laquelle le $\dot{V}O_{2\max}$ est atteint est alors retenue.

2.3 Influence du protocole sur la détermination de la vitesse à $\dot{V}O_{2\max}$

La diversité des méthodes de calcul de la $v\dot{V}O_{2\max}$, l'utilisation de protocoles de terrain et de laboratoire peut conduire à des évaluations de vitesse différentes. Les études sur ces comparaisons sont résumées dans le tableau 1.

Lacour *et al.* (1991) sont les premiers à avoir comparé la vitesse calculée à partir d'indices physiologiques ($v_{a\max}$) à la vitesse obtenue lors d'un test de terrain (v_{TCPUM}) chez des athlètes de haut niveau, entraînés en endurance. Leurs résultats indiquent que v_{TCPUM} est faiblement (0,3 km.h⁻¹), mais significativement supérieure à $v_{a\max}$ et que ces deux vitesses sont très fortement corrélées ($r = 0,92$; $P < 0,001$). La très faible différence de vitesse peut, selon les auteurs, être attribuée à des conditions expérimentales différentes. Ils concluent que l'un ou l'autre de ces tests peut être utilisé pour mesurer la $v\dot{V}O_{2\max}$ et que le test de terrain doit être préféré si le sujet est évalué à des fins d'entraînement. Des résultats similaires ont été obtenus chez l'adulte lors de la comparaison entre $v_{a\max}$ et v_{TCPUM} (Berthoin, Pelayo, Linsel-Corbeil, Robin & Gerbeaux, 1996b) ou lors de la comparaison entre v_{Billat} et v_{TCPUM} (Billat, Hill, Pinoteau, Petit & Koralsztein, 1996a). Chez les adolescents (Berthoin, Baquet, Rabita, Blondel, Linsel-Corbeil & Gerbeaux, 1999), n'observent pas de différence significative entre v_{TCPUM} et $v_{a\max}$ ($r = 0,80$; $p < 0,001$). Par contre, Iaiche *et al.* (1996) montrent que les vitesses maximales atteintes en laboratoire (sur tapis roulant) sont significativement supérieures ($P < 0,001$) aux vitesses obtenues sur le terrain, pour un même protocole. Ils attribuent cette différence de vitesse aux facteurs aérodynamiques inexistantes lors de la course sur tapis roulant et aux conditions climatiques rencontrées sur le terrain. En effet, les différences de vitesse ne sont pas observées lorsque l'on compare les vitesses maximales sur piste aux vitesses maximales sur tapis roulant avec pente à 1 % (Berthoin, Fellmann, Bedu, Beaune, Dabonneville,

Coudert & Chamoux, 1997) ou 3 % (Ahmaidi *et al.*, 1992a, 1992b ; Berthoin *et al.*, 1994). Dans ces études, la pente du tapis roulant est destinée à opposer une résistance de substitution aux conditions des tests de terrain. Une modalité de course progressive, continue et maximale sous forme de course navette de 20 m a également été proposée pour estimer le $\dot{V}O_{2\max}$ (Léger, Mercier, Gadoury & Lambert, 1988 ; Léger & Gadoury, 1989). Il s'agit, lors de ce test, de courir en aller-retour entre deux lignes séparées de 20 m. Ce test présente l'avantage de pouvoir être réalisé en salle, permettant de s'affranchir des contraintes climatiques. Cependant, la vitesse maximale atteinte à la fin de cette épreuve s'est avérée inférieure à la vitesse mesurée lors d'un test en course sur piste (Ahmaidi, Adam et Préfaut, 1990 ; Ahmaidi *et al.*, 1992a ; Ahmaidi *et al.*, 1992b ; Gerbeaux *et al.*, 1991 ; Berthoin, Gerbeaux, Guerrin, Linsel-Corbeil et Vandendorpe, 1992). Ces différences de vitesses maximales semblent s'expliquer par la modalité de course en navette qui impose des accélérations, décélérations et de brusques changements de direction. Ahmaidi *et al.* (1992a), observent également des concentrations de lactate plus élevées à l'arrêt de l'épreuve de course navette. Ils font l'hypothèse que la contribution de la filière anaérobie lactique serait plus importante lors de cette épreuve. Une synthèse des travaux sur ce sujet (Léger, Ahmaidi, Berthoin, Cazorla, Fargeas, Gerbeaux, Linsel-Corbeil & Préfaut, 1993) a montré que la différence de vitesse était significative au-delà de 10-11 km.h⁻¹. Ces résultats ont été confirmés chez des enfants prépubères pour lesquels les vitesses maximales en course navette et lors du TCPUM, dans les deux cas inférieures à 11 km.h⁻¹, se sont révélées comparables (Baquet, Berthoin, Gerbeaux & VanPraagh, 1999). Pour les sujets dont la vitesse maximale en course navette (v_{navette} , en km.h⁻¹) est supérieure à 11 km.h⁻¹, il est possible de prédire v_{TCPUM} (km.h⁻¹) à l'aide de l'équation : $v_{\text{TCPUM}} = -8,18 + 1,82.v_{\text{navette}}$ (Léger *et al.*, 1993) équation (7)

Certains des protocoles de laboratoire destinés à mesurer la $v\dot{V}O_{2\max}$ ont été comparés par Hill et Rowell (1996). Les auteurs

TABLEAU 1 : Vitesse à VO₂max mesurée à partir de différents protocoles.
Les abréviations, en référence aux protocoles de mesure, sont décrites dans le texte.

référence	exercice	protocole	vitesse réalisée	vitesse à VO ₂ max
Alamirault et al., 1990	palet	6 km/h ¹ ; 1,2 km/h ² ; 2 min		
	saute à cloche 20 m	8 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 1 min		
Alamirault et al., 1990b	palet	8 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 1 min		19,7 ± 0,3 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	8 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 1 min		17,6 ± 0,3 km/h ¹
Alamirault et al., 1990b	palet	8 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 1 min		19,7 ± 0,4 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	8 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 1 min		16,0 ± 1,9 km/h ¹
Scherbaum et al., 1994	palet	8 ou 10 km/h ¹ ; 1 km/h ² ; 2 min		15,8 ± 1,9 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	8,2 ou 10 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 1 min		13,1 ± 1,0 km/h ¹ ***
Theissen et al., 1990b	palet	8 ou 10 km/h ¹ ; 1 km/h ² ; 2 min		15,9 ± 2,6 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	10 km/h ¹ ; 0,7 km/h ² ; 0,5 min		16,7 ± 1,3 km/h ¹
Scherbaum et al., 1997	palet	8 ou 10 km/h ¹ ; 1 km/h ² ; 2 min		17,0 ± 1,0 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	10 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 0,5 min		17,0 ± 1,2 km/h ¹
Watt et al., 1996a	palet	6,4 km/h ¹ ; 4 km/h ² ; 2 min		16,6 ± 1,3 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	6,4 km/h ¹ ; 4 km/h ² ; 2 min		17,1 ± 2,3 km/h ¹
101 et Normet, 1998	palet	10% de P _{crit} max ; 1,2 km/h ² ; 2 min		16,9 ± 2,5 km/h ¹ ***
	saute à cloche 20 m	10 km/h ¹ ; 1 km/h ² ; 2 min		20,1 (occasional)
101 et Normet, 1998	palet	10 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 0,5 min		21,1 ± 0,3 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	10 km/h ¹ ; 0,5 km/h ² ; 0,5 min		20,3 ± 0,3 km/h ¹
Benoit et al., 2006	palet	2 paliers de 2 min à 0,7 km/h ¹ ; 11,5 km/h ² ; 11,9 km/h ²		16,0 ± 1,2 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	avec 2 min de repos entre les paliers puis : 14,4 km/h ¹ ; 0,8 km/h ² ; 2 min		16,0 ± 1,9 km/h ¹
Benoit et al., 2006	palet	même protocole que palier unique		15,4 ± 2,1 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	6 min à 0,2 km/h ¹ ; puis : 17 km/h ¹ ; 2 min ; (saute à cloche) et 1 km/h ¹ ; puis 2 min		14,4 ± 1,6 km/h ¹
Lambert et al., 1991	palet	22 m de palet entre chaque palier		14,8 ± 1,8 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	6 km/h ¹ ; 0,25 km/h ² ; 10 s		18,1 ± 1,4 km/h ¹
Mallin et al., 1988	palet	10,3 km/h ¹ ; 1,54 km/h ² ; 4 min ; 100% ; 1 min de pause entre chaque palier		19,8 ± 1,7 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	10,3 km/h ¹ ; 1,54 km/h ² ; 4 min ; 100% ; 1 min de pause entre chaque palier		21,8 ± 1,6 km/h ¹
	palet	même protocole		16,4 ± 0,4 km/h ¹
	saute à cloche 20 m	10,3 km/h ¹ ; 1 km/h ² ; 2 min over 1 min de pause entre chaque palier		16,4 ± 0,4 km/h ¹
	palet	même protocole		15,9 ± 0,3 km/h ¹ ***
	saute à cloche 20 m	même protocole		16,9 ± 0,4 km/h ¹ ***

* : significativement différent des autres tests (P < 0,05) ; ** : significativement différent des autres tests (P < 0,001) ; *** : différence de protocole

constatent que les valeurs moyennes de $v\dot{V}O_{2\max}$ sont sensiblement différentes d'un protocole à l'autre. Toutefois, les protocoles utilisés dans cette étude ne sont pas similaires aux protocoles originaux. Ainsi, si Lacour *et al.* (1991) retiennent le C_r moyen aux deux derniers paliers de course entièrement courus pour le calcul de $v_{a\max}$, Hill et Rowell (1996) calculent le C_r lors d'une course à 11,3 km.h⁻¹. De plus, Hill et Rowell (1996) ne signalent pas si, comme Lacour *et al.* (1991) et di Prampero *et al.* (1986), pour le calcul du C_r , le $\dot{V}O_2$ à une vitesse donnée est diminué du $\dot{V}O_2$ de repos. Ces différences de protocole expliquent en partie les différences de vitesse calculées. Les auteurs concluent que les différentes mesures de la $v\dot{V}O_{2\max}$ ne sont pas strictement représentatives des mêmes paramètres. Ils distinguent les vitesses qui incluent une composante anaérobie ($v_{a\max}$ et v_{Billat}) et les vitesses calculées à partir de paramètres aérobies uniquement ($v\dot{V}O_{2\max}$ et v_{\max}). L'amélioration des premières vitesses peut être due à l'augmentation du $\dot{V}O_{2\max}$, du seuil anaérobie, de la capacité anaérobie ou du coût énergétique de la course, alors qu'une amélioration des autres vitesses reflète uniquement une amélioration du $\dot{V}O_{2\max}$ et/ou du C_r . Ainsi Hill

et Rowell (1996) font l'hypothèse que les vitesses strictement aérobies sont inférieures aux vitesses ayant une composante anaérobie. Leurs résultats vérifient cette hypothèse, sauf pour $v_{a\max}$ qui est supérieure à $v\dot{V}O_{2\max}$ et v_{\max} . Des résultats similaires ont été rapportés par Berthoin *et al.* (1996b) qui ne trouvent pas de différence significative entre $v\dot{V}O_{2\max}$ et $v_{a\max}$, calculées chez des sujets moyennement entraînés.

En conclusion, il semble que les différents protocoles donnent des résultats relativement similaires. Par exemple, dans le tableau 2 sont présentées, chez un même sujet, les valeurs de $v\dot{V}O_{2\max}$ obtenues au moyen de ces différents protocoles. Comme il n'existe pas de test de référence, il est très difficile de faire le choix d'une technique de mesure standard de la $v\dot{V}O_{2\max}$. Si l'objectif de l'évaluation est uniquement de connaître la $v\dot{V}O_{2\max}$ des sujets, le test de l'Université de Montréal semble pouvoir être préféré. En effet, ce test s'est avéré valide pour mesurer cette vitesse et le type d'exercice proposé est spécifique de l'effort de compétition (course sur piste). Par contre, si les mesures du $\dot{V}O_{2\max}$ et de C_r sont recherchées, on distinguera les protocoles qui conduisent à mesurer une vitesse à partir de paramètres strictement aérobies

TABLEAU 2 : Mesures de la $v\dot{V}O_{2\max}$ chez un même sujet au moyen de différents protocoles (adapté de Billat et Koralsztein, 1996)

	Protocoles résumés	Détermination de $v\dot{V}O_{2\max}$
Léves et Bouillon (1990)	Début à 8 km.h ⁻¹ puis augmentation de 1 km.h ⁻¹ par 2 min Vitesse au dernier palier entièrement couru : 20 km.h ⁻¹ et 1 min de course à 22 km.h ⁻¹	$v_{\text{max}} = 20 \text{ km.h}^{-1}$
Ducelle et al. (1984)	Maxime de $\dot{V}O_2$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹) entre 17,8 et 17,6 km.h ⁻¹ $\dot{V}O_{2\text{repos}} = 71 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	$v\dot{V}O_{2\max} = 20 \text{ km.h}^{-1}$
di Prampero (1986)	Maxime de $\dot{V}O_2$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹) entre 850 et 1500 de la vitesse correspondante au seuil anaérobie $\dot{V}O_{2\text{repos}} = 71 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$; $C_r = 370 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	$v_{\max} = 19,9 \text{ km.h}^{-1}$
Morgan et al. (1989)	1 palier de course sans restriction (première augmentation de la vitesse de 2% par min)	$v\dot{V}O_{2\max} = 20 \text{ km.h}^{-1}$
Lacour et al. (1991)	Premier palier de 4 min à 10,7 km.h ⁻¹ puis augmentation de 1,3 km ⁻¹ par 5 min (4 min de course, 1 min de repos) $\dot{V}O_{2\max} = 70 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$; $C_r = 0,103 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	$v_{a\max} = 20,5 \text{ km.h}^{-1}$
Billat et al. (1994a)	Premier palier de 3 min à 12 km.h ⁻¹ , palier de 3 min à 14, 16 et 18 km.h ⁻¹ puis palier de 3 min à 19, 20 et 22 km.h ⁻¹ $\dot{V}O_{2\max} = 73 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	$v_{\max} = 20 \text{ km.h}^{-1}$

TABLEAU 3 : Relations entre la vitesse à $\dot{V}O_{2max}$ et la performance pour différentes distances de course.

Références	Vitesse de référence	distances de compétition (temps moyen en $\dot{V}O_{2max}$ moyen : des sujets sur la distance de compétition)	Régression
Berthon <i>et al.</i> (1997)	$V_{a,max}$	800 m (17,1 km.h ⁻¹) 1500 m 3000 m 5000 m 10000 m 21100m	$r = 0,84$; $P < 0,01$; $y = 0,96x - 1,02$ $r = 0,93$; $P < 0,01$; $y = 1,08x - 0,32$ $r = 0,91$; $P < 0,01$; $y = 0,82x + 0,63$ $r = 0,93$; $P < 0,01$; $y = 1,13x - 1,27$ $r = 0,78$; $P < 0,05$; $y = 0,82x + 0,33$ $r = 0,60$; $P < 0,05$; $y = 0,67x - 0,23$
Billat <i>et al.</i> (1994b)	$V_{a,max}$	21100 m	
di Prampero <i>et al.</i> (1986)	$V_{a,max}$	21000 m (1h 38min 28 s)	$r = 0,79$; $P < 0,001$; $y = 0,44x + 1,43$
Lacour <i>et al.</i> (1991)	$V_{a,max}$ $V_{a,moy}$	1500 m (3 min 27 s) 1500 m (3 min 57 s)	$r = 0,90$; $P < 0,001$ $r = 0,91$; $P < 0,001$
Montmayeur et Villaret (1990)	$V_{a,moy}$	800 m (19,5 km.h ⁻¹) 1000 m (20,0 km.h ⁻¹) 1500 m (20,4 km.h ⁻¹) 3000 m (20,6 km.h ⁻¹) 5000 m (20,8 km.h ⁻¹) 25000 m (20,1 km.h ⁻¹) 42200 m (19,2 km.h ⁻¹)	$r = 0,66$; $P < 0,01$ $r = 0,66$; $P < 0,001$ $r = 0,78$; $P < 0,001$ $r = 0,82$; $P < 0,001$ $r = 0,84$; $P < 0,001$ $r = 0,84$; $P < 0,001$ $r = 0,98$; $P < 0,001$
Morgan <i>et al.</i> (1989)	$v\dot{V}O_{2max}$	10000 m (23 min 17 s)	$r = 0,87$; $P < 0,01$
Padilla <i>et al.</i> (1992)	$V_{a,max}$	1500 m (4 min 22 s) 3000 m (9 min 18 s) 1500 m (3 min 47 s) 3000 m (8 min 06 s)	$r = 0,72$; $P < 0,01$ $r = 0,62$; $P < 0,01$ $r = 0,66$; $P < 0,05$ $r = 0,64$; $P < 0,01$

(Daniels *et al.*, 1984 ; Morgan *et al.*, 1989 ; di Prampero *et al.*, 1996 ; Billat *et al.*, 1994a) et ceux qui permettent de mesurer une vitesse incluant une composante anaérobie (Léger et Boucher, 1980 ; Lacour *et al.*, 1991) et qui, comme le signalent Hill et Rowell (1996), reflètent mieux l'effort de course sur le terrain.

2.4 Relations entre vitesse à $\dot{V}O_{2max}$ et performance

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude de la relation entre la performance sur différentes distances de compétition et la $v\dot{V}O_{2max}$ (tableau 3).

Montmayeur et Villaret (1990) on recherché les relations entre v_{TCPUM} et la performance dans différentes épreuves allant du 400 m au marathon. Des corrélations significatives ont été trouvées entre v_{TCPUM} et la vitesse moyenne du 800 m au marathon, les meilleures corrélations étant obtenues pour le 1000 m et le marathon. Chez des sujets des deux sexes appartenant à l'élite du demi-fond français, Padilla, Bourdin, Barhélémy & Lacour (1992) observent que la vitesse moyenne maintenue sur 1500 m est supérieure à $v_{a,max}$ tandis que la vitesse moyenne maintenue sur 3000 m est inférieure à $v_{a,max}$. La $v\dot{V}O_{2max}$ est reconnue comme un bon indicateur de

la performance réalisée lors du marathon (di Prampero *et al.*, 1986) pour des distances de 1500 m (Lacour *et al.*, 1991), de 1500 à 3000 m (Lacour, Montmayeur, Dormois, Padilla et Viale, 1989), de plus de 10000 m (Morgan *et al.*, 1989), de 800 m à 42,2 km (Montmayeur et Villaret, 1989 ; Berthon *et al.*, 1997), de 1500 à 5000 m (Lacour et Candau, 1990). Par ailleurs, Lechevalier *et al.* (1989) ont montré que v_{TCPUM} et la vitesse correspondant à une concentration de lactate de 4 mmol.l⁻¹ étaient significativement corrélées ($r = 0,94$, $P < 0,01$). Généralement, la $v\dot{V}O_{2max}$ semble mieux corrélée à la performance en course de durée que le $\dot{V}O_{2max}$ (Léger, Mercier & Gauvin, 1986 ; Lacour *et al.*, 1989 ; Lacour *et al.*, 1991 ; Padilla *et al.*, 1992).

3. VITESSE À $\dot{V}O_{2max}$ EN FONCTION DE L'ÂGE, DU SEXE ET DU NIVEAU D'ENTRAÎNEMENT

Afin de donner des points de repères aux professeurs d'éducation physique et sportive (EPS) pour fixer des allures de course lors des exercices, Gerbeaux *et al.* (1991) ont évalué systématiquement la v_{TCPUM} des élèves lors de séances d'EPS. Ils observent que la v_{TCPUM} des garçons

augmente significativement de 12,5 ans ($12,8 \pm 1,1$ km.h⁻¹) à 18,6 ans ($14,3 \pm 1,5$ km.h⁻¹). Par contre, chez les jeunes filles, v_{TCPUM} diminue significativement de 12,5 ans ($11,8 \pm 1,2$ km.h⁻¹) à 14,1 ans ($10,6 \pm 1,3$ km.h⁻¹), puis se stabilise et est égale à $11,0 \pm 1,3$ km.h⁻¹ à 18,3 ans. Pour cette plage d'âges, la v_{TCPUM} des garçons est toujours supérieure à celle des filles. Les auteurs insistent sur la dispersion importante des résultats obtenus dans une classe (niveau scolaire). Ils recommandent de mesurer la v_{TCPUM} en début de cycle, à l'école, pour adapter les exercices aux possibilités de chaque élève. Plus récemment cette étude a été complétée en incluant des résultats d'enfants prépubères (Berthoin, Baquet, Manteca, Lensel-Corbeil & Gerbeaux, 1996a). Les auteurs montrent que la v_{TCPUM} , de 8,1 km.h⁻¹ en moyenne à 6 ans, augmente ensuite d'environ 0,5 km.h⁻¹ par an jusque 16 ans chez les garçons. Chez les filles, v_{TCPUM} est en moyenne de 8,1 km.h⁻¹ à 6 ans. Elle augmente en moyenne de 0,3 km.h⁻¹ par an jusque 12 ans, puis reste constante à 11 km.h⁻¹. Chez des adultes spécialistes des courses de demi-fond et de fond, des valeurs de $v_{\text{a max}}$ de 21,5 km.h⁻¹ chez les femmes et de 24,5 km.h⁻¹ chez les hommes ont été rapportées par Lacour *et al.* (1991).

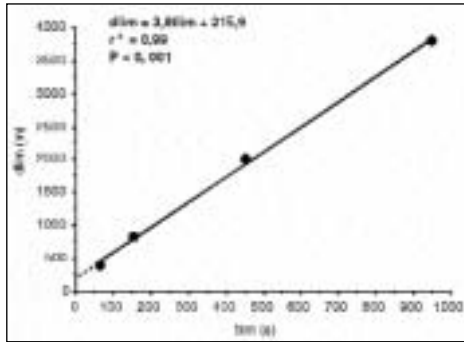
4. DÉTERMINATION DE L'ALLURE ET DE LA DURÉE DES COURSES POUR L'ENTRAÎNEMENT

Un exercice est correctement défini si l'on connaît l'allure à laquelle il est réalisé et sa durée. Pour fixer les allures de courses, différentes vitesses ont été proposées dans la littérature. Elles font référence au seuil ventilatoire (Kinderman, Simon & Keul, 1979), au seuil d'accumulation du lactate (Sjödén, Jacobs & Svedenahg, 1982) ou encore au $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ou à la fréquence cardiaque maximale (Massicotte & MacNab, 1974). L'utilisation de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$ pour contrôler les allures de course a également été proposée (Lacour *et al.*, 1989 ; Ahmaidi *et al.*, 1992b ; Berthoin *et al.*, 1992). Les sujets peuvent, sur le terrain, effectuer des exercices définis en termes de pourcentages de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$, eux-mêmes représentatifs de pourcentages du $\dot{V}O_{2\text{max}}$. La $v\dot{V}O_{2\text{max}}$ est

une grandeur concrète, directement utilisable sur le terrain pour fixer les allures de course. Elle peut également permettre de contrôler les allures de course supérieures au $\dot{V}O_{2\text{max}}$. Toutefois, en complément de la vitesse de course, il est nécessaire de fixer la durée des exercices. Cependant, dans la plupart des protocoles présentés dans la littérature, la durée d'un exercice est la même pour tous les sujets. Il est alors fait l'hypothèse que, à une intensité relative donnée, tous les sujets sont capables d'effectuer la même durée d'exercice. Pour vérifier cette hypothèse, on peut mesurer le temps limite de course (tlim) à un pourcentage donné de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$. Or, le tlim de course est sujet à de grandes variations d'un individu à l'autre. Par exemple, à 100 % de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$, le tlim des adultes est compris 3 entre 9 min (voir la revue de question de Billat et Koralsztejn, 1996). Cette variabilité tient en partie à la nature exponentielle de la relation entre la vitesse de course et le tlim. De faibles différences de vitesse se traduisent en effet par des variations importantes de tlim (Kachouri *et al.* 1996a). Par conséquent, les erreurs qui sont faites lors de la mesure de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$ se trouvent amplifiées lorsque le tlim est mesuré. Une autre source de variabilité du tlim tient au fait que la mesure du tlim repose souvent sur des exercices définis uniquement en pourcentage de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$. Dans ce cas, il est fait l'hypothèse que cette intensité relative d'exercice est la même pour tous, indépendamment des autres caractéristiques des sujets. Or, Hill et Rowell (1996), Kachouri *et al.* (1996a) ou Faina, Billat, Squadrone, de Angelis, Koralsztejn & dal Monte (1997) montrent que le temps pendant lequel la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$ peut être maintenu dépend également des possibilités anaérobies des sujets.

Pour expliquer la variabilité du tlim à différents pourcentages de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$, Blondel, Billat et Berthoin (2001) ont proposé d'exprimer les allures de course (90 %, 100 %, 120 % et 140 % de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$) en tenant compte de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$, mais aussi de la vitesse maximale (sprint) et de la vitesse critique. Cette dernière vitesse étant définie par Ettema (1966) comme la pente de la relation entre distance limite et tlim de course (figure 3). En fonction de ces 3 vitesses, Blondel *et al.* (2001) définissent

FIGURE 3 : Exemple de relation entre la distance limite de course (dlim) et le temps limite de course (tlim) pour un sujet réalisant des exercices à 90 %, 100 %, 120 % et 140 % de la vitesse à $\dot{V}O_{2max}$ (selon la méthode proposée par Ettema, 1966).

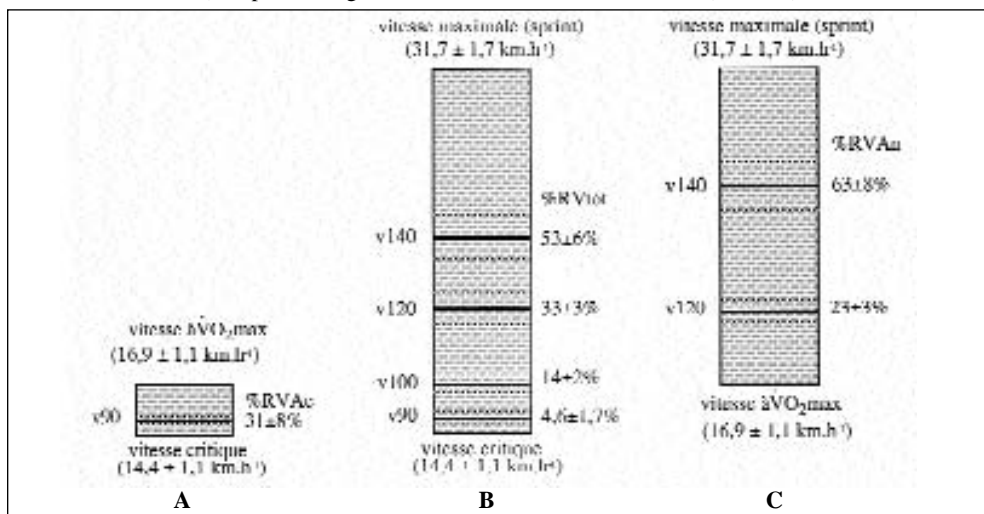


trois « réserves de vitesse » : la réserve de vitesse aérobie (différence entre $v\dot{V}O_{2max}$ et vitesse critique), la réserve de vitesse totale (différence entre vitesse maximale et vitesse critique) et la réserve de vitesse anaérobie (différence entre vitesse maximale et $v\dot{V}O_{2max}$). Ils observent alors qu'un même pourcentage de la $v\dot{V}O_{2max}$ se situe différemment par rapport à chacune de ces réserves de vitesse, suivant les caractéristiques des sujets (figure 4). Ils montrent ensuite que les relations entre le tlim et la vitesse s'améliorent lorsque les vitesses

sont exprimées en pourcentage des différentes réserves plutôt que de manière brute ($km.h^{-1}$). Pour l'entraînement ou pour la mesure du tlim de course, les auteurs proposent alors de fixer les allures de course : 1) en pourcentage de la différence entre $v\dot{V}O_{2max}$ et vitesse critique dans le cas d'exercices à allures inférieures à la $v\dot{V}O_{2max}$; 2) en pourcentage de la différence entre vitesse de sprint et vitesse critique pour l'exercice à allure égale à la $v\dot{V}O_{2max}$; 3) en pourcentage de la différence entre vitesse maximale (sprint) et $v\dot{V}O_{2max}$ pour les exercices à allures supérieures à la $v\dot{V}O_{2max}$.

Pour tenir compte à la fois de la $v\dot{V}O_{2max}$ et du tlim de course, Kachouri, Vandewalle, Billat, Huet, Thomaidis, Jousset & Monod (1996b) ont mesuré le temps pendant lequel des exercices continus et intermittents à 95 % et 105 % de v_{TCPUM} pouvaient être maintenus. Pour les exercices intermittents, la durée des exercices et celle de la récupération sont égales à la moitié du tlim de course continue à 95 % ou à 105 % de v_{TCPUM} selon les cas. En fonction de ces résultats, les auteurs calculent la vitesse critique des sujets pour chacune des modalités d'exercice (continu et intermittent). Leurs résultats montrent que les vitesses critiques ainsi calculées sont indépendantes de la modalité d'exercice.

FIGURE 4 : Vitesses à 90 % (v90), 100 % (v100), 120 % (v120) et 140 % (v140) de la vitesse à $\dot{V}O_{2max}$ exprimées A) en pourcentage de la réserve de vitesse aérobie (%RVAe) B) en pourcentage de la réserve totale de vitesse (%RVtot). Les traits pleins représentent les moyennes de vitesse, les traits pointillés les écarts types, lorsque les vitesses sont exprimées en fonction des différentes réserves (d'après Blondel *et al.*, 2001) C) en pourcentage de la réserve de vitesse anaérobie (%RVAn).



Billat, Petit & Koralsztein (1996b) ont comparé la valeur de tlim de course continue à 100 % de v_{Billat} à deux valeurs de tlim en course intermittente. Un premier type d'exercice, se référant aux propositions de Fox, Bartels, Billings, Mathews, Båson & Webb (1973), consiste en la répétition de courses de 2 min à 100 % de v_{Billat} espacés de 2 min de récupération active (60 % de v_{Billat}). Pour individualiser la durée d'exercice, les auteurs proposent ensuite la répétition d'exercices d'une durée de course égale à la moitié du tlim continu à 100 % de v_{Billat} espacés du même temps de récupération active (60 % de v_{Billat}). Pour le calcul des tlim intermittents, ils ne retiennent que les distances et temps effectifs de course à v_{Billat} . Ils observent que les tlim intermittents ne sont pas significativement différents (10 min) et qu'ils ne sont pas significativement corrélés au tlim continu.

La $v\dot{V}O_{2\text{max}}$ a également été utilisée pour évaluer les effets de l'entraînement. A partir de la v_{TCPUM} mesurée chez des enfants, Berthoin *et al.* (1995) comparent deux types d'entraînement comportant différentes proportions d'exercices continus et intermittents. Les allures de course sont définies en pourcentage de v_{TCPUM} , entre 80 et 90 % de v_{TCPUM} pour les exercices continus et entre 100 et 120 % de v_{TCPUM} pour les exercices intermittents. Les groupes sont constitués en fonction du tlim à v_{TCPUM} . Après 12 semaines d'entraînement, à raison d'une séance hebdomadaire, ils rapportent des augmentations significatives de v_{TCPUM} (5 %) pour le groupe s'entraînant préférentiellement à haut pourcentage de v_{TCPUM} (100-120 %) tandis que les enfants de l'autre groupe expérimental, comme ceux du groupe témoin, n'améliorent pas significativement leur v_{TCPUM} .

Chez des sportifs entraînés en endurance, Billat, Flechet, Petit, Muriaux, & Koralsztein (1999a) proposent d'individualiser les charges d'entraînement en tenant compte à la fois de v_{Billat} et du tlim de course à cette vitesse. Les athlètes évalués consacrent ainsi une séance par semaine, en plus de leurs séances habituelles, à des exercices à v_{Billat} , pendant 4 semaines. Ces exercices consistent en la répétition de course à v_{Billat} sur une durée correspondant à la moitié du temps maximal de maintien de cette vitesse. La récupération entre les

répétitions s'effectue à 60 % de v_{Billat} . Pendant les 4 semaines suivantes, 3 séances consacrées à des exercices intermittents sont ajoutées à l'entraînement habituel des athlètes. Après les 4 premières semaines d'entraînement, une augmentation significative de v_{Billat} ($20,5 \pm 0,7$ km.h⁻¹ vs $21,1 \pm 0,8$ km.h⁻¹; $P < 0,05$) et une diminution de la consommation d'oxygène mesurée à 14 km.h⁻¹ ($50,6 \pm 3,5$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ vs $47,5 \pm 2,4$ ml.kg⁻¹.min⁻¹; $P < 0,05$) sont obtenues tandis que $\dot{V}O_{2\text{max}}$ reste stable ($71,6 \pm 4,8$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ vs $72,7 \pm 4,8$ ml.kg⁻¹.min⁻¹). La surcharge d'entraînement imposée lors des 4 dernières semaines d'entraînement suivantes n'affecte pas les mesures de v_{Billat} , du $\dot{V}O_{2\text{max}}$ et de l'économie de course.

5. PERSPECTIVES

Lors d'un exercice continu, des allures de courses autres que la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$ peuvent amener les sujets à atteindre le $\dot{V}O_{2\text{max}}$. C'est le cas des exercices à une allure supérieure à la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$, mais aussi d'exercices à une allure inférieure à la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$. En effet, pour les exercices à allures comprises entre le seuil d'accumulation du lactate et la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$, compte tenu de l'apparition d'une composante lente de consommation d'oxygène après environ 3 min d'exercice, les sujets sont amenés dans certains cas à atteindre le $\dot{V}O_{2\text{max}}$ (Whipp et Wasserman, 1972). Partant de ce constat, Billat, Blondel & Berthoin (2000) ont proposé une nouvelle définition de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$, ou plutôt un nouveau concept : « la vitesse permettant de solliciter le plus longtemps possible $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ». On peut ainsi supposer que cette vitesse, qui permettrait de solliciter le système de transport de l'oxygène de manière maximale, sur une durée la plus longue possible, soit à privilégier si l'objectif de l'entraînement est l'amélioration de $\dot{V}O_{2\text{max}}$. Cependant, les résultats relatifs au temps maximal de maintien de $\dot{V}O_{2\text{max}}$ semblent contradictoires. Lors d'un tlim de course à 100 % de la $v\dot{V}O_{2\text{max}}$ Billat, Renoux, Pinoteau, Petit et Koralsztein (1994c) montrent que les sujets atteignent le $\dot{V}O_{2\text{max}}$ après en moyenne 97 ± 11 s et maintiennent ce niveau de $\dot{V}O_{2\text{max}}$ pendant 297 s. A l'opposé de ces résultats, Hill et Rowell (1997) mon-

trent que pour un même exercice, le $\dot{V}O_{2max}$ est atteint après 234 ± 49 s et soutenu pendant 56 ± 46 s. Ces résultats sont confirmés dans une autre étude (Hill, Williams & Burt, 1997b) où le $\dot{V}O_{2max}$ est atteint après 299 ± 74 s et soutenu pendant 32 s. Selon, Hill *et al.* (1997b) ces résultats contradictoires peuvent provenir de la modalité de calcul du temps passé au $\dot{V}O_{2max}$. En effet, Billat *et al.* (1994dc) considèrent que le délai moyen d'ajustement du $\dot{V}O_2$ à sa valeur de plafonnement est défini par une augmentation du $\dot{V}O_2$ inférieure à $100 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ (les valeurs sont moyennées par 15 s). Selon, Hill *et al.* (1997b) appliquer ce critère revient à commencer le décompte du temps passé au $\dot{V}O_{2max}$ alors que la valeur du $\dot{V}O_2$ ne représente effectivement que 95 % du $\dot{V}O_{2max}$. Hill et Rowell (1997a) et Hill *et al.* (1997b) retiennent uniquement les valeurs du $\dot{V}O_2$ supérieures ou égales au $\dot{V}O_{2max}$ (la valeur de $\dot{V}O_2$ la plus élevée sur 30 s d'exercice lors du tlim). Ils recommandent, si l'objectif de l'exercice est de soutenir le plus longtemps possible le $\dot{V}O_{2max}$, de choisir une allure inférieure à la $v\dot{V}O_{2max}$. En effet, lors d'un tlim réalisé à 92 % de la $v\dot{V}O_{2max}$, ils constatent que le $\dot{V}O_{2max}$ est atteint après 491 ± 156 s, mais soutenu pendant 130 ± 66 s pour un tlim à la $v\dot{V}O_{2max}$. De même, ces auteurs constatent que le $\dot{V}O_{2max}$ n'est atteint par aucun des sujets après un temps de course égal à 60 % du tlim de course à la $v\dot{V}O_{2max}$. Si l'objectif de l'entraînement est d'atteindre ou de maintenir le $\dot{V}O_{2max}$ une durée d'exercice supérieure doit alors être proposée. Toutefois, ces conclusions ne sont valables que pour un exercice isolé. Des études complémentaires sont à réaliser pour identifier l'évolution du $\dot{V}O_2$ lors de la répétitions d'exercices.

Plus récemment, dans une tentative pour identifier l'allure de course permettant de solliciter le plus longtemps possible le $\dot{V}O_{2max}$, Billat *et al.* (2000) ont comparé les temps réellement passés au $\dot{V}O_{2max}$ lors de courses exhaustives à 90 %, 100 %, 120 % et 140 % de v_{amax} . A partir de ces résultats, les auteurs tracent les relations entre le tlim de course et la distance limite de course au $\dot{V}O_{2max}$ (figure 5). La pente de cette relation est supposée refléter la vitesse critique à $\dot{V}O_{2max}$ ou vitesse permet-

tant de soutenir le plus longtemps possible $\dot{V}O_{2max}$. Les auteurs montrent, que cette vitesse n'est pas significativement différente de la $v\dot{V}O_{2max}$, mais suggèrent de vérifier cette hypothèse à partir de tlim plus proches de la $v\dot{V}O_{2max}$. D'autres recherches sont à mener pour affiner cette notion de durée d'exercice au $\dot{V}O_{2max}$. En plus de la modalité de course continue, les modalités de course intermittentes peuvent également être explorées.

6. CONCLUSIONS

La littérature a montré, durant ces vingt dernières années, que les différentes techniques de mesure de la $v\dot{V}O_{2max}$ donnent des résultats relativement similaires. Cependant, lorsque l'on s'adresse à des sportifs très entraînés, la précision de la mesure de la $v\dot{V}O_{2max}$ peut se révéler inférieure à la précision exigée pour l'entraînement de l'athlète. A l'inverse, pour des sujets moyennement ou peu entraînés, mesurée sur le terrain, la $v\dot{V}O_{2max}$ est un excellent outil pour prescrire les allures de course lors de l'entraînement. Afin d'amé-

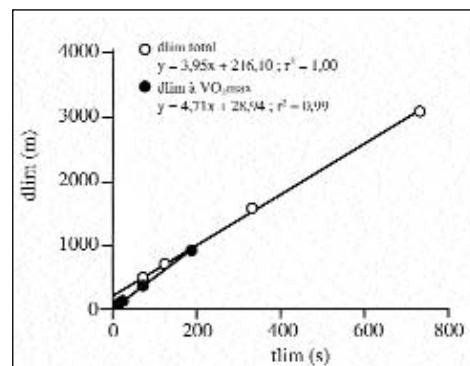
FIGURE 5 – Relations entre la distance limite de course (dlim) et le temps limite de course (tlim) tracées pour les temps et durées effectives de course (cercles évidés) et pour les temps et distances passées à $\dot{V}O_{2max}$ (cercles pleins) (d'après Billat *et al.*, 2000).

– Cercles évidés et trait pointillé :

relation entre la distance totale parcourue et le temps limite.

– Cercles pleins et trait plein : relation entre la distance de course à $\dot{V}O_{2max}$ et le temps limite de course à $\dot{V}O_{2max}$ (temps total de course diminué du temps d'atteinte de $\dot{V}O_{2max}$).

La vitesse critique à $\dot{V}O_{2max}$ est donnée par la pente de cette relation.



liorer la prescription des exercices, lors de l'entraînement, différentes voies paraissent intéressantes à explorer. D'une part, il convient d'affiner le protocole de mesure de la $\dot{V}O_{2\max}$, en l'associant éventuellement à d'autres mesures des qualités des athlètes. On peut attendre de ces mesures de moindres variations interindividuelles du $\dot{V}O_{2\max}$ de course. D'autre part, il paraît intéressant de déterminer une vitesse permettant de soutenir le plus longtemps possible $\dot{V}O_{2\max}$, c'est-à-dire de proposer des exercices qui soient qualitativement et quantitativement les plus efficaces, permettant de faire progresser les sujets le plus rapidement possible.

7. RÉFÉRENCES

- Ahmaidi, S., Adam, C. et Préfaut, C. (1990). Validité des épreuves triangulaires de course navette de 20-m et de course sur piste pour l'estimation de la consommation maximale d'oxygène du sportif. *Science et Sports*, **5**, 71-76.
- Ahmaidi, S., Collomp, K. & Préfaut, C. (1992a). The effect of shuttle test protocol and the resulting lactacidemia on maximal velocity and maximal oxygen uptake during the shuttle exercise test. *European Journal of Applied Physiology*, **65**, 475-479.
- Ahmaidi, S., Collomp, K., Caillaud, C. & Préfaut, C. (1992b). Maximal and functional aerobic capacity as assessed by two graduated field methods in comparison to laboratory exercise testing in moderately trained subjects. *International Journal of Sports Medicine*, **13**, 243-248.
- Baquet, G., Berthoin, S., Gerbeaux, M. & VanPraagh, E. (1999). Assessment of maximal aerobic speed with an incremental running field test in children. *Biology of Sport*, **16**, 23-30.
- Berthoin, S., Gerbeaux, M., Guerrin, F., Lensele-Corbeil, G. et Vandendorpe, F. (1992). Estimation de la Vitesse Maximale Aérobie. *Science et Sports*, **7**, 85-91.
- Berthoin, S., Gerbeaux, M., Guerrin, F., Lensele-Corbeil, G., Turpin, E. & Vandendorpe, F. (1994). Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. *Journal of Sports Sciences*, **12**, 355-362.
- Berthoin, S., Mantéca, F., Lensele-Corbeil, G. & Gerbeaux, M. (1995). Effect of a 12 week training programme on Maximal Aerobic Speed (MAS) and running time to exhaustion at 100 % of MAS in school students aged 14 to 17-years. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **35**, 251-256.
- Berthoin, S., Baquet, G., Manteca, F., Lensele-Corbeil, G. & Gerbeaux, M. (1996a). Maximal aerobic speed and running time to exhaustion for children 6 to 17 years old. *Pediatric Exercise Science*, **8**, 234-244.
- Berthoin, S., Pelayo, P., Lensele-Corbeil, G., Robin, H. & Gerbeaux, M. (1996b). Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *International Journal of Sports Medicine*, **17**, 525-529.
- Berthoin, S., Baquet, G., Rabita, J., Blondel, N., Lensele-Corbeil, G. & Gerbeaux, M. (1999). Validity of the Université de Montréal Track test to assess maximal aerobic speed for adolescents. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (sous presse).
- Berthon, P., Fellmann, N., Bedu, M., Beaune, B., Dabonneville, M., Coudert, J. & Chamoux, A. (1997). A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. *European Journal of Applied Physiology*, **75**, 233-238.
- Billat, V., Renoux, J.C., Pinoteau, J., Petit, B. & Koralsztein, J.P. (1994a). Reproducibility of running time to exhaustion at $\dot{V}O_{2\max}$ in subelite runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **26**, 254-257.
- Billat, V., Bernard, O., Pinoteau, J., Petit, B. & Koralsztein, J.P. (1994b). Time to exhaustion at $\dot{V}O_{2\max}$ and lactate steady state velocity in sub-elite long-distance runners. *Archives Internationales de Physiologie de Biochimie et de Biophysique*, **102**, 215-219.
- Billat, V., Renoux, J.C., Pinoteau, J., Petit, B. et Koralsztein, J.P. (1994c). Validation d'une épreuve de temps limite à VMA (vitesse maximale aérobie) et à $\dot{V}O_{2\max}$. *Science et Sports*, **9**, 135-143.
- Billat, V. & Koralsztein, J.P. (1996). Significance of the velocity at $\dot{V}O_{2\max}$ and time to exhaustion at this velocity. *Sports Medicine*, **22**, 90-108.
- Billat, V., Hill, D.W., Pinoteau, J., Petit, B. & Koralsztein, J.P. (1996a). Effect of protocol on determination of velocity at $\dot{V}O_{2\max}$ and its time to exhaustion. *Archives of Physiology and Biochemistry*, **104**, 313-321.
- Billat, V., Petit, B. et Koralsztein, J.P. (1996b). Calibration de la durée des répétitions d'une séance d'interval training à la vitesse associée à $\dot{V}O_{2\max}$ en référence au temps limite continu : effet sur les réponses physiologiques et la distance parcourue. *Science et Motricité*, **28**, 13-20.
- Billat, V., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G. & Koralsztein, J.P. (1999a). Interval training at

- $\dot{V}O_{2max}$: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **31**, 156-163.
- Billat, V., Blondel, N. & Berthoin, S. (2000). The velocity associated with $\dot{V}O_{2max}$ for all supra critical run is the velocity which elicit the longest time to exhaustion at $\dot{V}O_{2max}$. *European Journal of Applied Physiology*, **80**, 159-161.
- Blondel, N., Berthoin, S., Billat, V. & Linsel G. (2001). Relationship between run times to exhaustion at 90, 100, 120, 140 % of $v\dot{V}O_{2max}$ and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity *International Journal of Sports Medicine*, **22**, 27-33.
- Brue, F. (1985). Une variante du test progressif et maximal de Léger et Boucher : le test vitesse maximale aérobie derrière cycliste (test VMA). *Bulletin Médical de la Fédération Française d'Athlétisme*, **7**, 1-18.
- Cazorla, G. (1990). Tests de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse maximale aérobie. In G. Cazorla et G. Robert (Coord.), *L'évaluation en activité physique et en sport*. (pp. 151-174). Cestas : AREAPS.
- Chamoux, A., Berthon, P. & Laubignat, J.F. (1996). Determination of maximum aerobic velocity by a five minute test with reference to running world records. A theoretical approach. *Archives of Physiology and Biochemistry*, **104**, 207-211.
- Conley, D.L. & Krahenbuhl, G.S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **12**, 357-360.
- Daniels, J., Scardina, N., Hayes, J. & Foley, P. (1984). Elite and subelite female middle- and long-distance runners. In D.M. Landers (Ed), *Sport and elite performers*. (pp. 57-72). Champaign, Il : Human Kinetics.
- Daniels, J. (1985). A physiologist's view of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **17**, 332-338.
- di Prampero, P.E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*, **7**, 55-72.
- di Prampero, P.E., Atchou, G., Brückner, J.-C. & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology*, **55**, 259-266.
- di Prampero, P.E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P. & Soule, R.G. (1993). Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology*, **74**, 2318-2324.
- Ettema, J.H. (1966). Limits of human performance and energy production. *Int J Angew Physiol Einschl Arbeit Physiol*. **22** : 45-54.
- Faina, M., Billat, V., Squadrone, R., de Angelis, M., Koralsztein, J.P. & dal Monte, A. (1997). Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclist, kayakists and swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, **76**, 13-20.
- Foster, C. (1983) $\dot{V}O_{2max}$ and training indices as determinants of competitive running performance. *Journal of Sports Sciences*, **1**, 13-22.
- Fox, E., Bartels, R.L., Billings, C.E., Mathews, D.K., Båson, R. & Webb, W.M. (1973). Intensity and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **5**, 18-22.
- Gerbeaux, M., Linsel-Corbeil G., Branly G., Dierkens J.M., Jacquet A., Lefranc J.-F., Savin, A. et Savin, N. (1991). Estimation de la vitesse maximale aérobie chez les élèves des collèges et lycées. *Science et Motricité*, **13**, 19-26.
- Hill, D.W. & Rowell, A.L. (1996). Running velocity at $\dot{V}O_{2max}$. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **28**, 114-119.
- Hill, D.W. & Rowell, A.L. (1997) Response to exercise at the velocity associated with $\dot{V}O_{2max}$. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **29**, 113-116.
- Hill, D.W., Williams, C.S. & Burt, S.E. (1997b). Responses to exercise at 92 % and 100 % of the velocity associated with $\dot{V}O_{2max}$. *International Journal of Sports Medicine*, **18**, 325-329.
- Iaiche, R., Toraa, M. et Friemel, F. (1996). Evaluation de $\dot{V}O_{2max}$ et de VMA en laboratoire et sur le terrain. *Science et Sports*, **11**, 91-95.
- Kachouri, M., Vandewalle, H., Huet, M., Thomaïdis, M., Jousselin, E. & Monod, H. (1996a). Is the time to exhaustion at maximal aerobic speed an index of aerobic endurance. *Archives of Physiology and Biochemistry*, **104**, 330-336.
- Kachouri, M., Vandewalle, H., Billat, V., Huet, M., Thomaïdis, M., Jousselin, E. & Monod, H. (1996b). Critical velocity of continuous and intermittent running exercise. An example of the limits of the critical power concept. *European Journal of Applied Physiology*, **73**, 484-487.
- Kinderman, W., Simon, G. & Keul, J. (1979). The significance of aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, **42**, 25-34.
- Kuipers, H., Verstappen, F.T., Keize, H.A., Geurten, P. & VanKranenburg, G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates.

- International Journal of Sports Medicine*, **6**, 197-201.
- Lacour, J.R., Montmayeur, A., Dormois, D., Gacon, G., Padilla, S. et Viale, C. (1989). Validation de l'épreuve de mesure de la vitesse maximale aérobie (VMA) dans un groupe de coureurs de haut niveau. *Science et Motricité*, **7**, 3-8.
- Lacour, J.R. et Candau, R. (1990). Vitesse maximale aérobie et performance en course à pied. *Science et Sports*, **5**, 183-189.
- Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, A., Barthélémy, J.C., Dormois, D. (1990) The energetics of middle distance running. *European Journal of Applied Physiology*, **60**, 38-43.
- Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, S., Chatard, J.C., Arzac, L. & Barthélémy, J.C. (1991). Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, **62**, 77-82.
- Lechevalier, J.M., Vandewalle, H., Chatard, J.C., Moreaux, A., Gandrieux, V., Besson, F. & Monod, H. (1989). Relationship between the 4 mmol running velocity, the time-distance relationship and the Léger-Boucher's test. *Archives International of Physiology and Biochemistry*, **97**, 355-360.
- Léger, L. & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test : the Université de Montréal track test. *Canadian Journal of Applied Sport Science*, **5**, 77-84.
- Léger, L., Mercier, D. & Gauvin, L. (1986). The relationship between % $\dot{V}O_{2\max}$ and running performance time. In : Sport and Elite Performers, Vol 3, Proceeding of 1984 Olympic Scientific Congress. Champaign : Human Kinetics Publishers.
- Léger, L., Mercier, D., Gadoury, G. & Lambert J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, **6**, 93-101.
- Léger, L. & Gadoury, G. (1989). Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict $\dot{V}O_{2\max}$ in adults. *Canadian Journal of Sport Science*, **14**, 21-26.
- Léger, L., Ahmaidi, S., Berthoin, S., Cazorla, G., Fargeas, M.A., Gerbeaux, M., Lensel-Corbeil, G. & Prefaut, C. (1993). Estimation of the maximal aerobic speed from the maximal 20-m shuttle run test. *Pediatric Exercise Science*, **5**, 438.
- Margaria, R., Aghemo, P. & Rovelli, E. (1965) Indirect determination of maximum O_2 consumption in man. *Journal of Applied Physiology*, **20**, 1070-1073.
- Massicotte, D.R. & MacNab, R.B. (1974). Cardiorespiratory adaptations to training at specified intensities in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **6**, 242-246.
- Medbø, J.I., Mohn, A.C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. & Sejersted, O.M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O_2 deficit. *Journal of Applied Physiology*, **64**, 50-60.
- Melin, B., Jimenez, C., Charpenet, A., Pouzeratte, N. et Bittel, J. (1996). Validation de deux tests de détermination de la vitesse maximale aérobie (VMA) sur le terrain. *Science et Sports*, **11**, 46-52.
- Montmayeur, A. et Villaret, M. (1990). Etude de la vitesse maximale aérobie derrière cycliste. *Science et Motricité*, **10**, 27-31.
- Morgan, D.W., Baldini, F.D. & Martin, P.E. (1989). Ten kilometer performance and predicted velocity at $\dot{V}O_{2\max}$ among well-trained male runners. threshold *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **21**, 78-83.
- Padilla, S., Bourdin, M., Barthélémy, J.C. & Lacour, J.R (1992). Physiological correlates of middle-distance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, **62**, 561-566.
- Pugh, L.G. (1970). Oxygen intake and track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *Journal Physiology (London)*, **207**, 209-212.
- Shephard, R.J. (1969) A nomogram to calculate the oxygen cost of running at slow speeds. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **9**, 10-16.
- Sjödin, B., Jacobs, I. & Svedenhag, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology*, **49**, 45-57
- Whipp, B.J & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant work. *Journal of Applied Physiology*, **33**, 351-356.

La velocidad VO₂max, significado y aplicaciones en la carrera

Resumen :

Este estudio tiene por tema central el concepto de velocidad VO₂max, considerado como un criterio de apreciación de la aptitud en la realización de rendimientos en la carrera y como punto de partida para determinar las velocidades ideales en vista de optimizar el entrenamiento de los corredores. Dos tipos de protocolos son propuestos para medir la velocidad del VO₂max. El primer tipo de protocolo la velocidad esperada en el terreno al final de una prueba progresiva continua y máxima es considerado como la velocidad a VO₂max. El segundo protocolo la velocidad VO₂max es calculada a partir de la medición del VO₂max y del gasto energético medidos en el laboratorio. Las investigaciones en curso identifican las relaciones entre la velocidad de carrera y el tiempo límite de mantención de la velocidad de carrera a fin de proponer ejercicios que permitan adaptarlas a cada atleta.

Palabras claves : aeróbica, consumación máxima de oxígeno, entrenamiento, evolución, rendimiento.

La velocità al VO₂ max, significato ed applicazione alla corsa a piedi

Riassunto :

Questa rassegna ha per tema centrale il concetto di velocità al VO₂ max, considerato come criterio di valutazione dell'attitudine a realizzare delle prestazioni nella corsa a piedi e come punto di riferimento per determinare le velocità ideali in vista di ottimizzare l'allenamento dei corridori. Sono stati proposti due tipi di protocollo per misurare la velocità al VO₂ max. Nel primo tipo di protocollo, la velocità raggiunta sul terreno alla fine di una prova progressiva, continua e massimale è ritenuta come la velocità al VO₂ max. Nel secondo tipo di protocollo, la velocità al VO₂ max è calcolata a partire dalle misure del VO₂ max e del costo energetico misurati in laboratorio. Le ricerche in corso mirano ad identificare delle relazioni tra velocità di corsa e tempo limite di mantenimento di questa velocità di corsa allo scopo di proporre degli esercizi per i quali l'andatura e la durata della corsa sono adattate alle possibilità di ciascun atleta.

Parole chiave : aerobia, consumo massimale d'ossigeno, allenamento, valutazione, performance

Die Geschwindigkeit bei VO₂max, Bedeutung und Anwendungen für den Lauf

Zusammenfassung

Dieser Übersichtsartikel hat als zentrales Thema das Konzept der Geschwindigkeit bei VO₂max, die als Kriterium für die Leistungsfähigkeit im Laufen gilt und als Anhaltspunkt, um die ideale Geschwindigkeit zu bestimmen hinsichtlich einer Optimierung des Lauftrainings. Zwei verschiedene Untersuchungsdesigns werden vorgeschlagen, um diese Geschwindigkeit bei VO₂max zu bestimmen. Bei der ersten Methode wird die erreichte Geschwindigkeit bei einem progressiven, andauernden und maximalen Lauf auf der Laufbahn als die Geschwindigkeit bei VO₂max bestimmt. Bei der zweiten Methode wird die Geschwindigkeit bei VO₂max anhand von Messungen der VO₂max und des energetischen Verbrauchs im Labor gemessen. Die derzeitigen Forschungen versuchen, die Zusammenhänge zwischen der Laufgeschwindigkeit und dem Limit der Aufrechterhaltung dieser Laufgeschwindigkeit zu identifizieren, mit dem Ziel, Trainingsvorgaben zu geben, bei denen die Geschwindigkeit und die Dauer des Laufes den Fähigkeiten des einzelnen Athleten angepasst sind.

Schlagwörter : Aerobe, maximale Sauerstoffaufnahme, Training, Evaluation, Leistung