

## Influence des deux composantes de la vitesse (fréquence et longueur des foulées) sur le métabolisme énergétique musculaire chez le poney

JP Valette\*, E Barrey, R Wolter

Laboratoire de physiologie sportive INRA, École nationale vétérinaire,  
7, avenue du Général-de-Gaulle, 94704 Maisons-Alfort Cedex, France

(Reçu le 10 avril 1990, accepté le 3 septembre 1990)

**Résumé** — La vitesse de propagation d'un animal est le produit de la longueur des foulées ( $LF$ ) par leur fréquence ( $FF$ ). Chez le poney, la production de lactate sanguin et l'élévation de la fréquence cardiaque ( $FC$ ) sont plus dépendants de  $FF$  que de  $LF$ . Ce sont, en effet, les mêmes  $FF$  qui produisent  $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  de LA et induisent une  $FC$  de  $200 \text{ batt}\cdot\text{min}^{-1}$ , que l'effort se déroule sur le plat ou sur un tapis roulant incliné. Les vitesses seuils ( $V_4$  et  $V_{200}$ ) sont inférieures avec un plan incliné. Il en est déduit que la cadence est le facteur limitant de l'effort chez le poney.

**tapis roulant / lactatémie / fréquence cardiaque / fréquence des foulées / longueur des foulées**

**Summary** — Influence of the two velocity components, stride frequency ( $SF$ ) and stride length ( $SL$ ) on muscular energetic metabolism in the pony. Six ponies were trained for endurance over a 6-month period. They were tested twice on a treadmill, the first time with a 0% slope and the second time with a 3.5% slope. The aim of this study was to determine which component of stride (fig 1), stride length ( $SL$ ) or stride frequency ( $SF$ ), was more related to the lactate threshold at  $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  and the cardiac threshold at  $200 \text{ beats}\cdot\text{min}^{-1}$ . Exercise parameters were interpolated by linear regression (table I). The slope (tables II and III) induced a decrease in the  $V_4$  and  $V_{200}$  values, but not in the  $SF_4$  or  $SF_{200}$  values. The  $SL_4$  and  $SL_{200}$  values were better correlated with  $V_4$  and  $V_{200}$  (table IV). It was then deduced that in the pony  $SF$  seemed to better explain the production of lactate and the increase in heart rate, and was the limiting factor in exercise.

**treadmill / blood lactate / heart rate / stride frequency / stride length**

### INTRODUCTION

Au cours de la locomotion sportive, la quantité d'énergie nécessaire et sa vitesse d'utilisation par le muscle squelettique dépendent du type d'exercice imposé

: traction, course sur terrain accidenté. Le coût en oxygène de tels efforts (Thornton *et al*, 1987) a pu être estimé à partir de tests sur tapis roulants, inclinés ou non, de même que les réponses métaboliques musculaires et circulatoires (Gottlieb *et al*, 1988). Ces auteurs observent un accrois-

\* Correspondance et tirés à part

sement de la consommation d'oxygène, de la fréquence cardiaque et de la lactatémie dans les exercices d'intensité croissante en traction ou sur un plan incliné (Thornton, 1985). Ils ne constatent aucun changement dans la longueur et la fréquence des foulées qui sont les 2 composantes de la vitesse de progression. Pour accroître sa vitesse dans une même allure, le cheval augmente simultanément ces 2 composantes (Dalin et Jeffcott, 1985; Leach, 1987), mais chacune d'elles a son propre mode d'évolution (fig 1). Au fur et à mesure que la vitesse s'élève, la foulée s'allonge de façon proportionnelle, tandis que la cadence progresse de plus en plus faiblement pour atteindre une valeur maximale. Ainsi, pour un cheval sain, aux allures lentes (pas et trot détendu), la fréquence contribue davantage que l'amplitude à produire de la vitesse puis, progressivement, aux allures rapides (trot soutenu et galop), c'est la longueur qui prédomine (Barrey *et al*, 1989).

Le but de notre étude a été d'analyser les rapports entre le mode locomoteur adopté par l'animal et son adaptation métabolique à un effort imposé. Pour cela, nous avons recherché l'influence de l'inclinaison du tapis roulant sur les paramètres locomoteurs (fréquence et longueur des foulées) et énergétiques (production

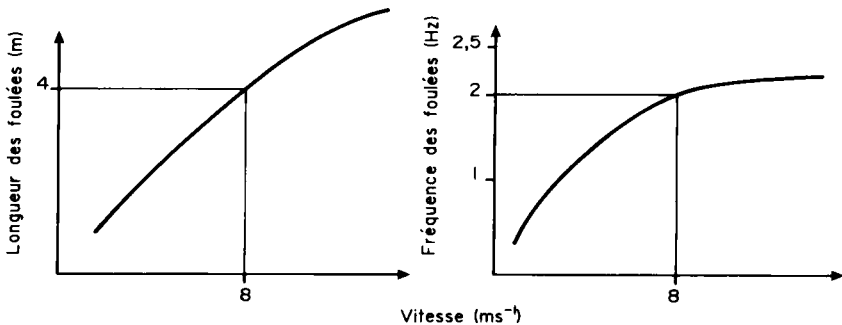
d'acide lactique et évolution de la fréquence cardiaque).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Six poneys de conformations différentes (140–220 kg) sont entraînés en aérobiose, à 65% de leur fréquence cardiaque maximum (130–140 batt/min), 3 fois par semaine pendant 6 mois au moyen d'une longe automatique. Les épreuves-tests ont lieu sur tapis roulant après 10 min d'échauffement au trot. La première à plat, la seconde avec une pente de 3,5%, afin d'accroître le travail locomoteur demandé.

L'épreuve-test comporte 6 paliers de vitesses croissantes (de 2–7 m/s), adaptées à chaque animal afin que les 2 derniers paliers s'effectuent à une fréquence cardiaque supérieure à 200 batt/min. Chaque palier d'effort dure 3 min avec un intervalle de repos de 2 min au cours duquel est effectuée une prise de sang. L'acide lactique, après déprotéinisation avec  $\text{HClO}_4$  0,6 N est dosé au moyen d'une électrode spécifique (LM2 analyser, Analox Instruments). La fréquence cardiaque (FC) est enregistrée en continu au moyen d'un cardio-fréquencemètre (Horse Tester PEH 200, Polar Electro). La fréquence des foulées (FF) est déterminée d'après le chronométrage du temps écoulé pendant 40 poses du même membre par le rapport suivant :  $FF [\text{Hz}] = 40/\text{temps}$

La longueur de la foulée (LF) en est déduite par la relation :



**Fig 1.** Evolution de la longueur et de la fréquence des foulées en fonction de la vitesse. Vitesse = longueur des foulées x fréquence des foulées.

$$LF [m] = \text{vitesse}/FF$$

L'étude des relations entre vitesse ( $V$ ), lactatémie ( $La$ ),  $FC$ ,  $FF$ ,  $LF$  définit un certain nombre de critères physiologiques (tableau I) qui évaluent l'aptitude à l'effort (Valette et Wolter, 1988). Ces relations sont établies par régression linéaire après, en particulier, transformation logarithmique de la réponse lactique. La vitesse  $V_i$  (m/s) choisie comme vitesse de référence, correspond à la vitesse médiane du test.

Les résultats ont été traités par le test  $t$  de Student (cas des séries appariées) et par l'étude des corrélations.

## RÉSULTATS

Le tableau II récapitule les valeurs individuelles des 6 poneys lors des 2 épreuves.

Le tableau III rapporte les moyennes observées lors des 2 épreuves tests. Les valeurs  $V_4$ ,  $LF_4$ ,  $V_{200}$ ,  $LF_{200}$  baissent de manière significative avec la pente, alors que  $FFVi$  augmente. Les fortes variations des valeurs de  $pLF$  et de  $pFF$  ne sont pourtant pas significatives en raison du

comportement hétérogène des animaux vis-à-vis de la pente.

L'étude des corrélations (tableau IV,  $r_{10 \text{ ddl}} = 0,58$ ) entre les variables nous montre que, au seuil conventionnel de 4 mmol/l, la vitesse ( $V_4$ ) est mieux corrélée avec la longueur de la foulée ( $LF_4$ ,  $r = 0,84$ ) qu'avec la fréquence des foulées ( $FF_4$ ,  $r = 0,60$ ). A une puissance d'exercice induisant 200 batt cardiaques/min ( $V_{200}$ ), seule la longueur de la foulée ( $LF_{200}$ ) est corrélée ( $r = 0,94$ ). Les liaisons qui existent entre  $LF_4$  et  $LF_{200}$  ( $r = 0,97$ ) comme entre  $FF_4$  et  $FF_{200}$  ( $r = 0,84$ ) découlent de celle qui unit  $V_4$  et  $V_{200}$  ( $r = 0,91$ ).  $LFVi$  est corrélée avec  $LF_4$  ( $r = 0,91$ ) et  $LF_{200}$  ( $r = 0,93$ ); quant à  $FFVi$ , elle est liée avec  $LF_4$  ( $r = -0,92$ ) et  $LF_{200}$  ( $r = -0,94$ ), mais paradoxalement, ni avec  $FF_4$  ( $r = 0,11$ ), ni avec  $FF_{200}$  ( $r = 0,27$ ).

## DISCUSSION

L'introduction d'une pente lors d'une épreuve d'effort sur tapis roulant augmente le travail locomoteur demandé à l'animal.

Tableau I. Définitions des critères d'aptitude à l'effort.

Relation	Paramètre	Définition
$La$ vs vitesse	$V_4$	Vitesse produisant une lactatémie de 4 mmol/l
$FC$ vs vitesse	$V_{200}$	Vitesse induisant une $FC$ de 200 batt/min
$LF$ vs vitesse	$LFVi$	$LF$ correspondant à la vitesse $V_i$ (4,5 m/s)
$FF$ vs vitesse	$FFVi$	$FF$ correspondant à la vitesse $V_i$ (4,5 m/s)
Lactate vs $FF$	$FF_4$	$FF$ produisant une lactatémie de 4 mmol/l
Lactate vs $FF$	$LF_4$	Corollaire de $FF_4$
$FC$ vs $FF$	$FF_{200}$	$FF$ induisant une $FC$ de 200 batt/min
$FC$ vs $LF$	$LF_{200}$	Corollaire de $FF_{200}$

**Tableau II.** Paramètres synthétiques calculés pour les 6 poneys lors des 2 épreuves tests.

Poneys	FFVi	LFVi	V <sub>4</sub>	FF <sub>4</sub>	LF <sub>4</sub>	V <sub>200</sub>	FF <sub>200</sub>	LF <sub>200</sub>	Périodes
<i>Epreuve test n° 1</i>									
1	2,00	2,19	6,20	2,25	2,83	7,20	2,42	3,28	1,00
2	2,48	1,78	5,55	2,73	2,05	5,80	2,79	2,12	1,00
3	2,61	1,70	5,00	2,72	1,81	5,00	2,74	1,85	1,00
4	2,35	1,87	5,30	2,56	2,08	5,80	2,69	2,20	1,00
5	2,67	1,65	5,10	2,81	1,81	5,25	2,87	1,90	1,00
6	2,14	2,08	5,30	2,26	2,39	5,20	2,26	2,40	1,00
<i>Epreuve test n° 2</i>									
1	2,07	2,12	4,75	2,11	2,20	6,05	2,44	2,67	2,00
2	2,56	1,75	3,95	2,35	1,65	4,00	2,37	1,65	2,00
3	2,82	1,60	1,60	1,67	1,35	3,05	2,29	1,27	2,00
4	2,50	1,79	4,10	2,40	1,69	4,40	2,48	1,77	2,00
5	2,75	1,64	3,30	2,47	1,31	3,40	2,50	1,35	2,00
6	2,53	1,72	3,85	2,32	1,58	4,40	2,60	1,77	2,00

\* Les corrélations comportant un astérisque en exposant sont significatives au seuil P < 0,05.

Les modifications énergétiques sont observables à 2 puissances métaboliques particulières, V<sub>4</sub> et V<sub>200</sub>. Les indices V<sub>4</sub> et V<sub>200</sub> sont traditionnellement utilisés comme indicateurs de la forme physique (Persson, 1983; Wilson *et al*, 1983) et sont

des estimateurs traditionnels, quoique biaisés (Valette *et al*, 1989), du seuil anaérobie. En présence d'une pente, les poneys atteignent une lactatémie de 4 mmol/l et une fréquence cardiaque de 200 batt/min pour des vitesses (V<sub>4</sub> et V<sub>200</sub>) inférieures à

**Tableau III.** Résultats des épreuves tests.

Critères	Test 1 : plat	Test 2 : pente	T5ddl	Seuil
FFVi	2,38 ± 0,24	2,54 ± 0,24	3,2	0,05
LFVi	1,88 ± 0,20	1,77 ± 0,17	2,1	NS
V <sub>4</sub>	5,4 ± 0,40	3,6 ± 1,0	5,6	0,01
FF <sub>4</sub>	2,63 ± 0,22	2,45 ± 0,1	2,1	NS
LF <sub>4</sub>	2,16 ± 0,36	1,63 ± 0,29	8,1	0,001
V <sub>200</sub>	5,7 ± 0,75	4,2 ± 0,95	8,0	0,001
FF <sub>200</sub>	2,56 ± 0,22	2,22 ± 0,27	1,5	NS
LF <sub>200</sub>	2,29 ± 0,48	1,75 ± 0,46	16,8	0,001

**Tableau IV.** Corrélations entre les variables ( $n = 12$ ;  $r = 0,58$ )

	FFVi	LFVi	V <sub>4</sub>	FF <sub>4</sub>	LF <sub>4</sub>	V <sub>200</sub>	FF <sub>200</sub>	LF <sub>200</sub>
FFVi	1,00							
LFVi	-0,99*	1,00						
V <sub>4</sub>	-0,70*	0,64*	1,00					
FF <sub>4</sub>	0,11	-0,20	0,61*	1,0				
LF <sub>4</sub>	-0,92*	0,91*	0,84*	0,08	1,00			
V <sub>200</sub>	-0,83*	0,78*	0,91*	0,31	0,93*	1,00		
FF <sub>200</sub>	0,27	-0,37	0,40	0,84*	-0,07	0,27	1,00	
LF <sub>200</sub>	-0,94*	0,93*	0,81*	0,04	0,98*	0,95*	-0,06	1,00

\* Les corrélations comportant un astérisque en exposant sont significatives au seuil de  $P < 0,05$ .

celles obtenues lors des exercices sur une surface horizontale. Des résultats analogues ont été trouvés chez le cheval (Thornton *et al*, 1987).

A puissances métaboliques comparables ( $V_4$  et  $V_{200}$ ), la fréquence des foulées à ces vitesses particulières ( $FF_4$  et  $FF_{200}$ ) ne varie pas de façon significative, alors que la longueur des foulées ( $LF_4$  et  $LF_{200}$ ) baisse ( $P < 0,001$ ). Ceci démontre que la production d'acide lactique et l'élévation de la fréquence cardiaque sont dépendantes de la cadence chez le poney, puisque ce sont à peu près les mêmes fréquences qui produisent  $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  de lactate et induisent une FC de  $200 \text{ batt}\cdot\text{min}^{-1}$ , que l'effort se déroule sur le plat ou avec une inclinaison du tapis roulant. Chez le trotteur, Thornton *et al* (1987) ne notent aucune modification de  $FF_4$  et de  $LF_4$  avec une inclinaison de 6,25%, avec ou sans chargement du cheval.

A vitesse comparable ( $V_i = 4,5 \text{ m/s}$ ), l'inclinaison pourtant faible du tapis roulant induit une augmentation significative de la fréquence de la foulée et, en corrolaire, l'animal diminue l'amplitude de sa foulée.

Chez le poney, la fréquence des foulées atteint des valeurs plus élevées (valeurs maximales observées de l'ordre de 2,7–2,9 foulées/s) que chez le cheval (environ 2,2–2,3 foulées/s). Ces résultats sont en accord avec le modèle de Heglund *et al* (1974), qui met en évidence la relation entre la taille de l'animal et la cadence adoptée par celui-ci aux différentes allures. Comme l'ont montré les travaux de Attenburrow (1982), la fréquence respiratoire est exactement couplée à la fréquence des foulées au galop. Les résultats présentés ici montrent également l'influence de la cadence sur la dépense énergétique. Ces observations expérimentales sembleraient indiquer que ce paramètre locomoteur est un facteur limitant de l'effort de puissance chez le poney.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été subventionné par l'INRA, département de pathologie animale et par le service des haras.

## RÉFÉRENCES

- Attenburrow DP (1982) Time relation between the respiratory cycle and limb in the horse. *Equine Vet J* 14, 69-72
- Barrey E, Francqueville A, Barrey JC, Demonceau T (1989b) Cadence et amplitude des foulées. *Equathlon* 1 (4), 6-14
- Dalin G, Jeffcott LB (1985) Locomotion and gait analysis. *Vet Clin N Am Equine Pract* 1, 549-572
- Gottlieb M, Essen-Gustavsson B, Lindholm A, Persson SGB (1988) Circulatory and muscle metabolic responses to draught work compared to increasing trotting velocities. *Equine Vet J* 20, 430-434
- Heglund NC, Taylor CR, McMahon TA (1974) Scaling stride frequency and gait to animal size: mice to horse. *Science* 186, 1112-1113
- Leach DH (1987) Locomotion of the athletic horse. In: *Equine Exercise Physiology II*. ICEEP Publ, Davis, Ca, 516-535
- Persson SGB (1983) Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horses. In: *Equine Exercise Physiology*. Granta, Cambridge, 441-457
- Thornton JR (1985) Exercise testing. *Vet Clin N Am Equine Pract* 1, 573-595
- Thornton JR, Pagan J, Persson SGB (1987) The oxygen cost of weight loading and inclined treadmill exercise in the horse. In: *Equine Exercise Physiology II*. ICEEP Publ, Davis, Ca, 206-215
- Valette JP, Wolter R (1988) Intérêt des mesures de lactatémie et de fréquence cardiaque comme critères d'aptitudes sportives. CE-REOPA, 14<sup>e</sup> journée d'étude, 9 mars, 1-16
- Valette JP, Barrey E, Garbasi C, Wolter R (1989) Estimation du seuil anaérobie chez le poney. *Ann Zootech* 38, 229-236
- Wilson RGF, Isler RB, Thornton JR (1983) Heart rate, lactic acid production and speed during a standardized exercise test in standardbred horses. In: *Equine Exercise Physiology*. Granta, Cambridge, 487-496