

# Effets de l'entraînement sur la fonction cardio-respiratoire et sur la température rectale chez le poney

H. AMORY, T. ART, P. LEKEUX

*Laboratoire d'Investigation Fonctionnelle, Faculté de Médecine Vétérinaire, ULg, 45, Rue des Vétérinaires, B-1070 Bruxelles.*

## RESUME

Cette étude préliminaire a consisté en la mesure de différents paramètres cardio-respiratoires chez deux poneys soumis à un effort standardisé sur tapis roulant avant (test 1), pendant (tests 2 et 3) et après (test 4) une période d'entraînement.

Les débits respiratoires, le volume courant, l'électrocardiogramme et la température rectale de chacun des poneys ont été mesurés simultanément au repos, à différentes intensités d'effort et pendant la phase de récupération. Ces mesures nous ont permis de calculer la fréquence respiratoire (FR), la fréquence cardiaque (FC), les débits de pointe inspiratoires et expiratoires ainsi que le volume minute ( $\dot{V}_e$ ).

Dans un premier temps, les résultats du test 2 ont été analysés afin d'étudier l'adaptation des paramètres cités ci-dessus à l'effort. Dans un second temps, l'évolution de ces mêmes paramètres en fonction de l'état de l'entraînement a été étudiée.

Lors de l'effort, la FC, le  $\dot{V}_e$  et les débits de pointe respiratoires ont augmenté de façon linéaire avec la vitesse. Lors de la récupération, ces mêmes paramètres ont diminué en deux phases, l'une rapide et l'autre plus progressive.

Les effets de l'entraînement se manifestèrent par une diminution de la FC et une augmentation du  $\dot{V}_e$  pour une vitesse donnée. Ces effets ne furent en rien modifiés

après 15 jours de désentraînement. La récupération de la FC et du  $\dot{V}_e$  ne fut pas modifiée au cours des 4 tests. D'autre part l'hyperthermie d'effort, bien qu'apparemment influencée par les conditions extérieures, fut moins marquée après l'entraînement.

En conclusion, cette étude préliminaire suggère que :

- 1) La mesure de paramètres ventilatoires et de la température rectale de poneys à l'effort est réalisable à condition de respecter certaines exigences techniques et méthodologiques.
- 2) L'entraînement modifie certains paramètres fonctionnels dont la mesure pourrait apporter des critères objectifs dans le suivi médical des chevaux de sport.

## I. INTRODUCTION

Si de nombreux chercheurs ont étudié les effets de l'entraînement sur les fonctions cardio-vasculaires du cheval à l'effort, peu d'études ont été entreprises afin d'en déterminer les effets sur la fonction respiratoire et sur la thermorégulation. Ce manque d'informations provient, non pas du désintérêt des chercheurs pour ce domaine, mais des difficultés techniques que présente la mesure de paramètres ventilatoires d'un cheval en plein effort. En effet, si la télémétrie permet d'enregistrer de façon fiable l'électrocardiogramme (ECG) d'un cheval au cours d'un exercice (Lekeux et al., 1982), il n'en est pas de même en ce qui concerne la mesure de la ventilation. Bien que certains chercheurs aient tenté de mesurer des débits respiratoires ( $\dot{V}$ ) et des volumes courants ( $V_c$ ) par télémétrie (Hörnigke et al., 1983), la fiabilité et la reproductibilité de leurs mesures ne furent jamais démontrées et en conséquence, les résultats de leurs expériences sont à prendre avec précaution. C'est l'absence de recherches au sujet de l'adaptation de la ventilation et de la thermorégulation à l'effort et des variations

de cette adaptation en fonction de l'entraînement qui nous a amenés à entreprendre la présente expérience.

La mesure de certains paramètres respiratoires et de la température corporelle pouvant être réalisée sur le terrain et pouvant donc fournir d'éventuels critères objectifs aidant à l'estimation de la condition physique du cheval, il importait avant tout de voir si les mesures étaient aisément réalisables, ce qui, dans l'affirmative, permettrait d'en définir les normes.

Le but de cette étude préliminaire était donc triple :

- étudier dans quelle mesure il est possible, tant au point de vue technique qu'au point de vue « acceptation des contraintes » par l'animal, de mesurer les paramètres ventilatoires et la température rectale sur des poneys accomplissant un effort sur un tapis roulant, ce dernier offrant l'avantage de pouvoir faire des mesures directes avec du matériel fixe;
- tenter de mettre en évidence les moyens mis en œuvre par un cheval

sain pour augmenter sa ventilation en fonction de besoins métaboliques croissants au cours d'un effort;

- tenter d'établir quelles sont les modifications de l'adaptation de la ventilation et de la thermorégulation à l'exercice consécutives à une période d'entraînement ou de désentraînement.

## MATERIEL ET METHODE

### Animaux

Deux poneys de selle belge, considérés comme sains à l'examen clinique, ont été utilisés pour cette expérience : l'un était une femelle de 8 ans, pesant 285 kg et l'autre, un mâle de 3 ans pesant 230 kg. Tout au long de l'expérience, leur ration alimentaire a été adaptée au travail fourni et calculée suivant les besoins du moment.

### Protocole d'entraînement

L'expérience s'est déroulée sur une période de 75 jours se répartissant comme suit :

- une période d'adaptation (30 jours d'inactivité en stalle),
- une période d'entraînement (30 jours),
- une période de désentraînement (15 jours).

L'entraînement consistait en une alternance de travail à la longe exécuté sur une piste ronde d'une circonférence de 40 mètres et de travail sur un tapis roulant incliné à 8 %. Les poneys étaient entraînés tous les jours à heure fixe. Un jour de repos par semaine était respecté.

L'effort réalisé au cours de la période d'entraînement fut amené progressivement d'un total de 7 minutes (4' de pas, 2' de trot moyen et 1' de trot rapide) sur tapis roulant ou 10 minutes de trot moyen à la longe, à un total de 20 minutes (8' de pas, 6' de trot moyen et 6' de trot rapide) sur tapis roulant ou 20 minutes de trot moyen à la longe.

### Test

Une épreuve d'effort a été réalisée 4 fois au cours de l'expérimentation :

- au terme de la période d'acclimatation (test n° 1),
- après 2 et 4 semaines d'entraînement (test n° 2 et 3 respectivement),
- au terme de la période de désentraînement (test n° 4).

Cette épreuve se déroulait sur le tapis roulant (pente 8 %) et consistait en un exercice standardisé de :

- 2 minutes de pas (1,5 m/sec.),
- 2 minutes de trot moyen (trot A) (3 m/sec.)
- 4 minutes de trot rapide (trot B) (3,5 m/sec.)
- 5 minutes de récupération à l'arrêt.

Les paramètres dont la description suit furent enregistrés après 2 minutes d'arrêt calme sur le tapis et toutes les minutes au cours de l'épreuve et de la période de récupération.

### Appareils de mesure

Les débits respiratoires furent mesurés grâce à un pneumotachographe de Fleisch N° 5 (GOULD), relié à un transducteur de pression différentiel par deux cathéters en polyéthylène de dimensions semblables. Cet appareillage produisait un signal proportionnel aux  $\dot{V}$  qui, intégré en fonction du temps, permettait la mesure du  $V_c$ .

Le pneumotachographe était monté sur un masque adapté à la tête des poneys. L'appareil était calibré grâce à un rotamètre pour les  $\dot{V}$ , et en forçant un volume d'air connu au travers du pneumotachographe pour les volumes.

La fiabilité et la reproductibilité des mesures ont été démontrées antérieurement (Art et Lekeux, 1987). Un électrocardiogramme fut également enregistré grâce à un télémètre dont la description est rapportée ailleurs (Lekeux et al., 1982). Les débits respiratoires, le  $V_c$  et l'ECG furent simultanément enregistrés sur un polygraphe (Gould ES 1000).

La température rectale ( $t^{\circ} r$ ) fut mesurée en continu au cours de l'épreuve grâce à une sonde reliée à un enregistreur à affichage digital (Ellab a/s. Type du 81. Copenhagen).

### Calculs

Sur base des paramètres récoltés au cours du protocole expérimental, la fréquence cardiaque (FC), les V de pointe inspiratoire ( $\dot{V}_{\text{max}}$ ) et expiratoire ( $\dot{V}_{\text{Emax}}$ ), la fréquence respiratoire (FR), le Vc, le volume minute ( $\dot{V}_e$ ) et l'évolution de la  $t^{\circ} r$  furent calculés.

## RESULTATS

### Adaptation à l'effort

L'adaptation à l'effort des différents paramètres a été étudiée sur base des résultats obtenus lors du test n° 2 : ces résultats ont été analysés en fonction de la vitesse (v) et du temps.

Le  $\dot{V}_e$  (fig. 1) la FC (fig. 2), les  $\dot{V}_{\text{max}}$  (fig. 3 a et b) ont augmenté de façon linéaire avec v selon les équations reprises dans le tableau 1.

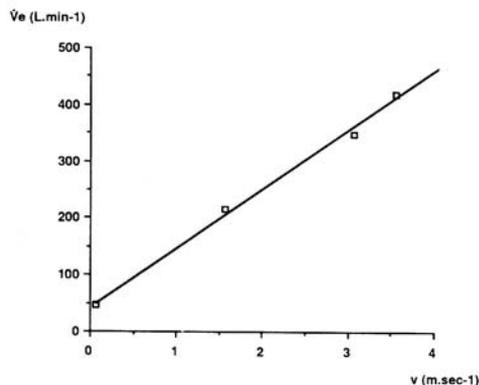


Fig. 1 - Evolution du Volume minute ( $\dot{V}_e$  en L.min-1) en fonction de la vitesse (v en m.sec-1) mesuré chez 2 poneys au cours d'un effort standardisé sur tapis roulant, après 15 jours d'entraînement (test n° 2).

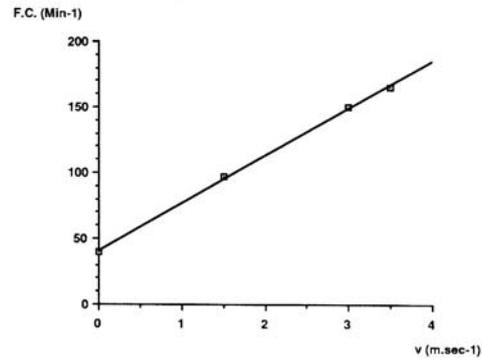


Fig. 2 - Evolution de la fréquence cardiaque (FC en min-1) en fonction de la vitesse (v en m.sec-1) Voir fig. 1 pour explications.

L'augmentation du  $\dot{V}_e$  était assurée dans un premier temps par une augmentation simultanée de la FR et du Vc. Lorsque la demande ventilatoire augmentait encore (dès la 1ère minute du trot B), l'augmentation de la FR assurait exclusivement l'augmentation du  $\dot{V}_e$ , tandis que le Vc diminuait (fig. 4).

Le Vc critique est le seuil à partir duquel l'augmentation du  $\dot{V}_e$  pour un effort à vitesse croissante est assurée essentiellement par une augmentation de la FR, alors que le Vc n'augmente plus et même diminue. Le rapport Vc critique/Vc de repos lors du test n° 2 était de 1.5.

Tableau 1  
Equation de régression de quelques paramètres des fonctions ventilatoire et cardiaque en fonction de la vitesse (V en m.min-1).

Paramètres	Unité	Equation
$\dot{V}_e$	L.min-1	$40.1 + 103.9 v$
FC	min-1	$41.3 + 35.9 v$
$\dot{V}_{\text{max}}$	L.sec-1	$2.9 + 4.7 v$
$\dot{V}_{\text{Emax}}$	L.sec-1	$3.1 + 4.87 v$

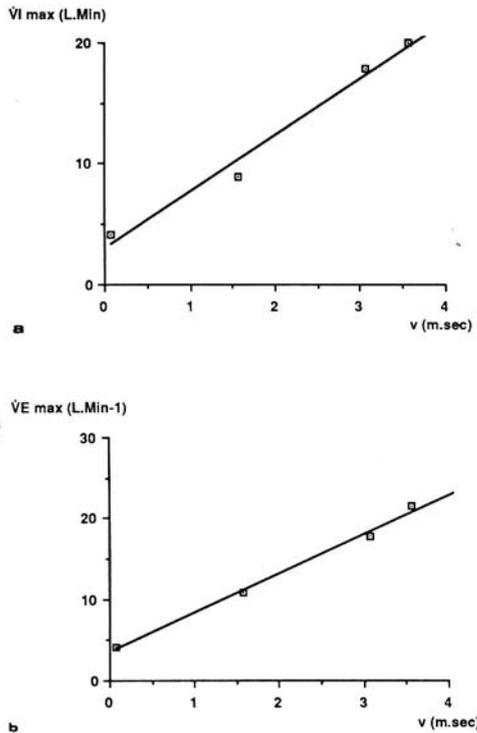


Fig. 3 - Evolution des débits de pointe (a) expiratoire ( $\dot{V}E_{max}$  en L.sec-1) et (B) inspiratoire ( $\dot{V}I_{max}$  en L.sec-1) en fonction de la vitesse ( $v$  en m.sec-1). Voir fig. 1 pour explications.

La récupération de la FC (Tableau 2) et du  $\dot{V}e$  (Tableau 3) en fonction du temps s'effectuait en 2 phases : la première rapide et la seconde beaucoup plus progressive.

L'évolution de la FC en fonction des différents moments du test est illustrée dans la fig. 5.

La  $t^r$  a augmenté régulièrement au cours de l'effort pour ensuite diminuer lors de la récupération (fig. 6).

### Adaptation à l'entraînement

L'évolution de la FC en fonction de la  $v$  lors des 4 tests montre une nette diminution de la FC pour une  $v$  donnée entre le 1<sup>er</sup> et le deuxième test. Par contre, aucun changement manifeste ne fut décelable lors des 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> tests. Aucune différence n'a été constatée quant à l'évolution de la récupération (Tableau 2) au cours des 4 tests.

Le  $\dot{V}e$  pour une  $v$  donnée a été augmenté entre les tests 1 et 2. Par contre, il n'a plus changé lors des tests 3 et 4 (fig. 7).

Le  $\dot{V}e$  pendant les 5 minutes de récupération n'a semblé être influencé ni par l'entraînement, ni par le désentraînement (Tableau 3).

Les écarts de  $T^r$  observés au cours des différents tests étaient compris entre 0,6 et 1,5° C, le pic de température se situant entre la 8<sup>e</sup> et la 12<sup>e</sup> minute du test standardisé (fig. 6).

Les conditions atmosphériques lors des différents tests sont reprises dans le tableau 4.

## DISCUSSION

### Adaptation ventilatoire

#### A. Adaptation à l'effort

L'augmentation du  $\dot{V}e$  lors d'un effort croissant et son évolution linéaire avec la  $v$  (fig. 1) sont en accord avec les résultats précédemment rapportés, tant chez l'homme (Whipp et Pardy, 1986) que chez le cheval (Thomas et Fregin, 1981; Hörnicke et al., 1983; Persson, 1983; Robinson, 1985).

Tableau 2  
Evolution de la fréquence cardiaque chez 2 poneys (A et B) après un effort standardisé.

	Test 1		Test 2		Test 3		Test 4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
30 sec	115	78	86	85	109	86	78	132
1 min	83	70	95	73	94	79	55	64
2 min	63	57	84	66	85	68	47	60
3 min	55	56	80	57	74	63	48	60
4 min	53	54	70	53	60	57	48	55
5 min	53	48	53	52	54	52	48	55

Voir texte pour explications.

Tableau 3  
Evolution du volume minute (exprimé en L.min-1) chez 2 poneys (A et B) après un effort standardisé

	Test 1		Test 2		Test 3		Test 4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
30 sec	366	165.6	212.5	357.3	243	345.6	234	204.6
1 min	281.2	149.5	216.2	272.5	266	228.8	147.5	123.42
2 min	192.4	116	184.8	171.6	208	182.25	103.5	77.5
3 min	81.2	116	192.5	99.2	218	166.4	114.4	43.26
4 min	85.8	98	185	85.3	225	140.8	142.5	35
5 min	75.6	92.4	178.5	78.75	229.1	134.4	105.3	49.02

Voir texte pour explications.

Tableau 4  
Conditions atmosphériques lors des 4 tests.

	t° Ext. (°C)	PB (mm Hg)	HR (%)
Test 1	- 4°	1014	45
Test 2	+ 5.4°	1006	50
Test 3	+ 10.4°	1005	45
Test 4	+ 9°	1030	44

t° Ext. = température extérieure, PB = Pression Barométrique, HR = Humidité Relative

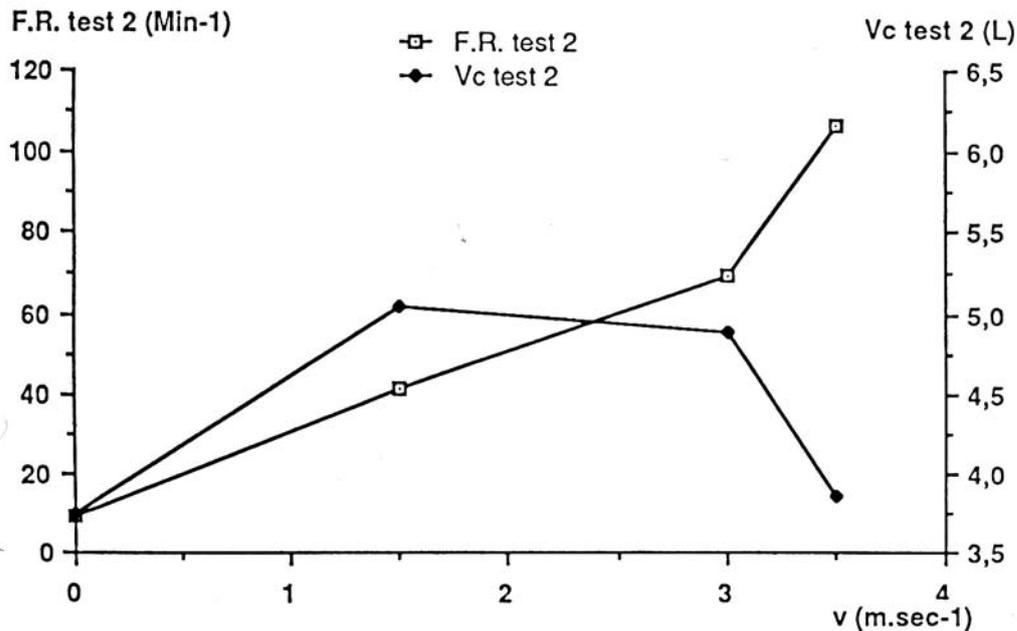


Fig. 4 - Evolution de fréquence respiratoire (FR en min-1) et du volume courant (Vc en L) en fonction de la vitesse (v en m.sec-1). Voir fig. 1 pour explications.

Chez l'homme, l'augmentation de  $\dot{V}_e$  avec l'augmentation de l'intensité de l'effort est généralement une fonction linéaire du Vc jusqu'au seuil d'un Vc critique, qui chez les individus sains se situe aux environs de 50 % de la capacité vitale (Kelman et Watson, 1973). Ce seuil franchi, la réponse ventilatoire à l'effort change de façon notable, le rapport  $\dot{V}_e/V_c$  devient de plus en plus grand, l'augmentation du  $\dot{V}_e$  étant largement, si pas exclusivement, assurée par une augmentation de la FR (Cotes et al., 1970). Lors d'un effort maximal, l'augmentation supplémentaire de  $\dot{V}_e$  est assurée par une augmentation disproportionnée de la FR. Dès lors, la Vc diminue, et la relation  $\dot{V}_e/V_c$  présente une pente négative (Clark et al., 1983; Whipp et Pardy, 1986). La comparaison entre les phénomènes observés dans

cette étude et ceux rapportés chez l'homme montre une certaine similitude entre les deux modèles d'adaptation respiratoire. Cependant, il existe certaines différences : premièrement, chez nos poneys le rapport Vc critique/Vc de repos égale 1.5, alors que chez l'homme il égale 2.8 (Lind, 1984). Deuxièmement, le Vc semble cesser de croître et commence à diminuer à des niveaux de ventilation beaucoup plus bas que ceux observés chez l'homme (Clark et al., 1983). Cette tendance des chevaux à augmenter leur ventilation à l'effort avec des FR élevées plutôt qu'avec des Vc plus importants avait déjà été rapportée chez des poneys Shetland par Bisgard et al., (1978) et par Forster et al. (1983). Cette adaptation de la respiration à l'exercice pourrait être partiellement expliquée par le fait que l'élasticité de la

cage thoracique du cheval est très faible (Leith et Gillespie, 1971). La contribution relativement mineure du  $V_c$  dans l'augmentation du  $\dot{V}_e$  chez le cheval en comparaison à l'homme pourrait donc résulter de la rigidité de la cage thoracique du cheval. Cette rigidité limiterait l'expansion du poumon pendant l'inspiration (Kosch, 1985), et le travail élastique de la respiration à des hauts volumes pulmonaires deviendrait trop important (Milic-Emili et al., 1960; Hey et al., 1966). Une autre raison pour laquelle le rapport  $V_c$  critique/ $V_c$  repos est plus bas chez le cheval que chez l'homme pourrait résulter du fait que, durant l'exercice, ce dernier peut minimiser l'augmentation du travail respiratoire en passant de la respiration nasale à la respiration oro-pharyngée (Proctor, 1986). Cette possibilité est absolument exclue pour les équidés qui, étant donné

la conformation particulière de leur voile du palais, doivent obligatoirement et quelles que soient les circonstances respirer par le nez.

D'autre part, il a été précédemment suggéré que la température ambiante peut jouer un rôle dans le contrôle de la respiration chez des chevaux à l'effort (Cardinet et al., 1963; Gillespie et al., 1975; Gillespie et Pascoe, 1983). Dans l'espèce canine, la polypnée thermique a déjà été de nombreuses fois décrite (Schmidt-Nielsen et al., 1970). Lorsque les chiens sont soumis à un effort de n'importe quelle intensité, l'augmentation du  $\dot{V}_e$  est exclusivement due à une augmentation de la FR, tandis que simultanément le  $V_c$  diminue de façon importante (Goldberg et al., 1981). L'augmentation disproportionnée de la FR par rapport au  $V_c$  chez les chevaux à

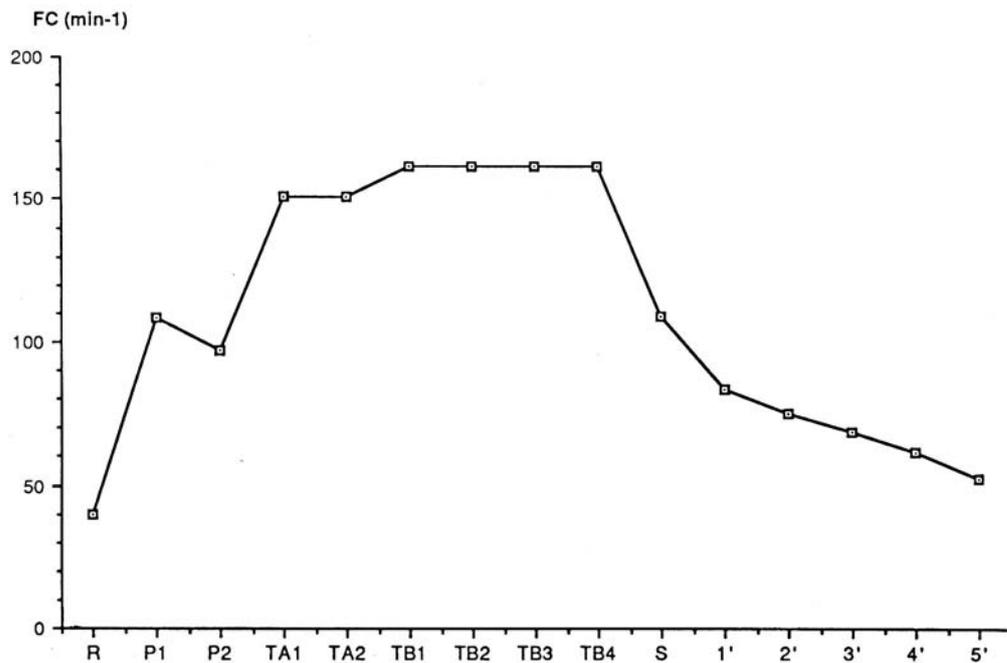


Fig. 5 - Evolution de la fréquence cardiaque (FC en min-1) en fonction du temps. R = repos; P = pas; TA = trot moyen; TB = trot rapide; S = arrêt.

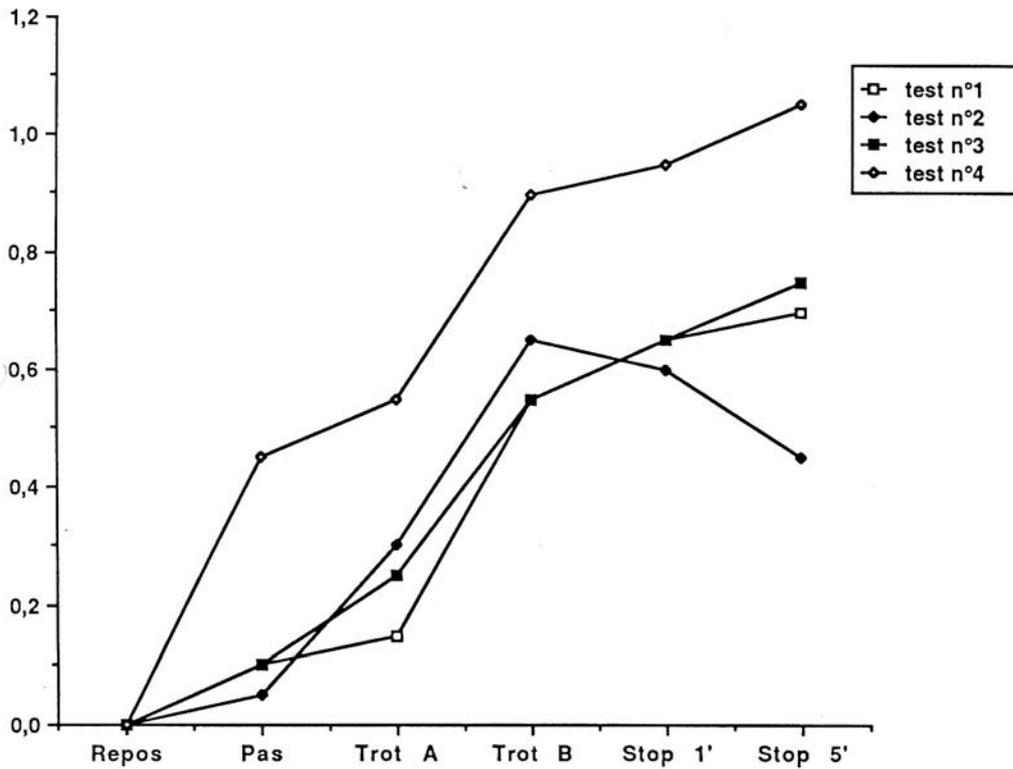
Variations de  $t^{\circ}r$  ( $^{\circ}C$ )

Fig. 6 - Effet de l'entraînement sur les variations de la température rectale ( $t^{\circ}r$  en  $^{\circ}C$ ) mesurées au cours d'un effort standardisé. Voir texte pour explications.

l'effort pourrait également être attribuable à la participation hypothétique du système respiratoire chez cette espèce dans les processus de pertes caloriques. Ce phénomène a aussi été observé chez l'homme à l'effort (Martin et al., 1979), alors qu'il est connu que la thermorégulation chez celui-ci est comme chez le cheval principalement assurée par la sudation.

Le tableau 3 montre d'autre part que, dès l'arrêt de l'effort, le  $\dot{V}_e$  a diminué en 2 phases conformément à ce qui avait été décrit précédemment chez l'homme (As-

trand et Rodhal, 1977) : une première phase, dans les 2 minutes qui ont suivi l'arrêt de l'exercice, au cours de laquelle le  $\dot{V}_e$  a diminué rapidement de près de 50 % de sa valeur à l'effort, et une seconde phase, dans les 3 minutes de récupération suivantes, durant laquelle il est revenu beaucoup plus progressivement à des valeurs proches des valeurs de repos.

La relation linéaire entre les  $\dot{V}_{max}$  et la  $v$  (fig. 3) concorde bien avec les observations précédemment faites chez l'homme (Whipp et Pardy, 1986).

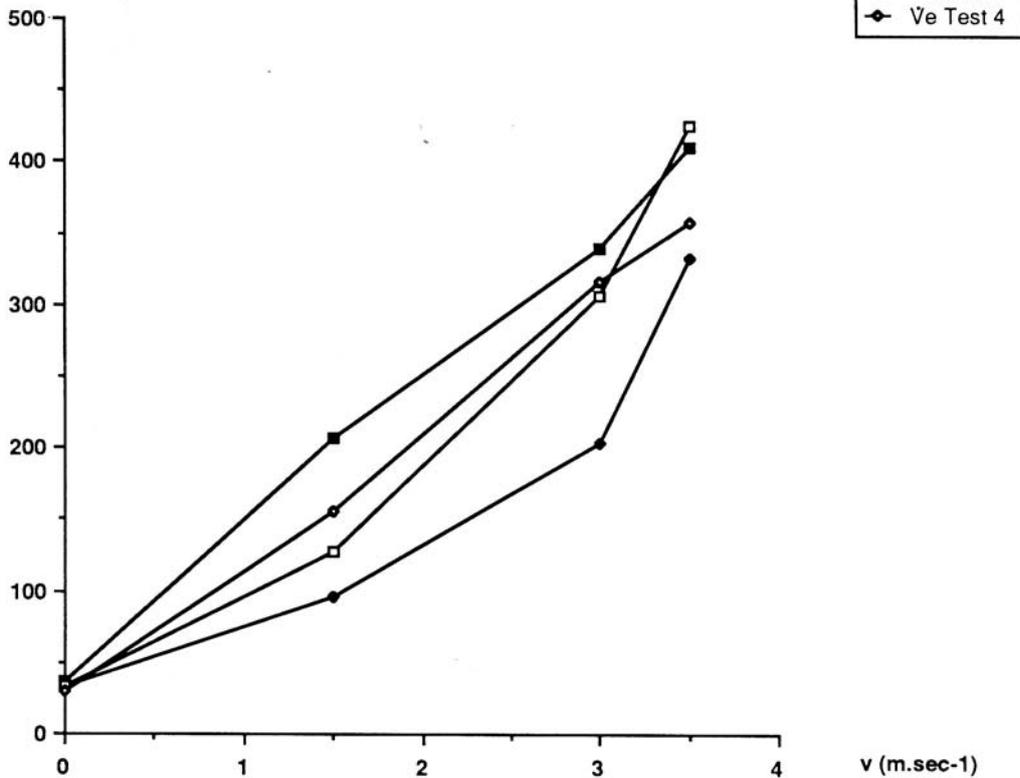
$\dot{V}_e$  (L.Min-1)

Fig. 7 - Effet de l'entraînement sur l'évolution du volume minute ( $\dot{V}_e$  en L.min-1) en fonction de la vitesse (v en m.sec-1).

### B. Effet de l'entraînement

L'adaptation de la ventilation à l'entraînement chez le cheval n'a pas encore été rapportée dans la littérature.

Au vu des résultats de la présente étude, il semblerait que le  $\dot{V}_e$  pour une v donnée ait augmenté suite aux 15 premiers jours d'entraînement, alors que les 15 jours d'entraînement suivants et la période de désentraînement n'ont plus influencé ce paramètre de façon apparente (fig. 7).

De même que nos poneys n'ont pas semblé améliorer leur vitesse de récupération de la FC après entraînement, nous n'avons pu mettre en évidence chez ces derniers une amélioration de la vitesse de récupération du  $\dot{V}_e$  après entraînement (Tableau 2 et 3).

### Adaptation de la fréquence cardiaque

#### A. Adaptation à l'effort

La fréquence cardiaque reportée en fonction du temps au cours d'un effort

standardisé (fig. 5) permet de constater que les résultats obtenus dans cette étude correspondent à ceux obtenus précédemment par de nombreux chercheurs (Krzywanek et Wittke, 1970; Thomas et al., 1983).

Effectivement, après la première minute de travail, la FC a présenté un dépassement de 110 % pour revenir ensuite à une fréquence plus basse à la 2<sup>e</sup> minute. Ensuite, la FC restait constante pour chaque niveau d'allure.

Enfin, lors de l'arrêt de l'effort, la récupération s'est effectuée en 2 phases : une phase rapide de 1 minute environ qui a ramené la FC aux environs de 80 min<sup>-1</sup> et une phase lente dans les minutes suivantes (Tableau 2). Cette forme exponentielle décroissante de la FC après l'effort est conforme en tout point à celle qui a été décrite précédemment (Milne et al., 1977; Bayly et al., 1983).

#### B. Effet de l'entraînement

La diminution de la FC pour une vitesse donnée entre le test n° 1 et le test n° 2 met en évidence une nette influence de l'entraînement sur ce paramètre après les 15 premiers jours de mise en condition physique. Cette adaptation de la FC à l'entraînement ressemble en tous points à celle observée dans cette étude pour le V<sub>e</sub>. Il semblerait donc que l'amélioration pendant les 2 premières semaines d'entraînement des capacités aérobies des poneys se soit reflétée, outre dans la diminution de leur FC, dans l'augmentation de leur V<sub>e</sub> pour une v donnée. Bien qu'il soit trop hasardeux de conclure suite à une étude portant sur un échantillonnage trop faible, l'apparente similitude entre l'évolution de la

FC et du V<sub>e</sub> avec l'entraînement peut porter à croire que l'un comme l'autre de ces 2 paramètres sont un bon reflet de la condition physique d'un cheval.

Les capacités aérobies des deux poneys ont probablement été fortement améliorées comme le prouvent les faits suivants. Au cours du trot B, la FC avoisinait 190 min<sup>-1</sup> lors du 1<sup>er</sup> test et 165 min<sup>-1</sup> lors du 2<sup>e</sup> test. Le seuil de l'OBLA (début de l'accumulation d'acide lactique dans le sang) est généralement considéré comme franchi à des FC de 150 à 160 min<sup>-1</sup> (Thomas et Fregin, 1981). On peut donc penser qu'au cours du 1<sup>er</sup> test, les poneys ont travaillé au-dessus de ce seuil, alors qu'au cours du 2<sup>e</sup> test ils ont travaillé juste à la limite de celui-ci.

La récupération de la FC après l'effort (Tableau 2) ne fut apparemment influencée ni par l'entraînement ni par le désentraînement. Milne et al. (1977) et Bayly et al. (1983) arrivèrent déjà à ces conclusions après des études menées sur l'effet de l'entraînement pendant des périodes de 113 et 78 jours respectivement, de même que Foreman et al. (1983) qui étudièrent l'effet du désentraînement sur 11 pur-sang. Ces derniers ne constatèrent aucune différence dans la FC de récupération après 5 semaines de désentraînement. Il semble donc logique qu'il en fut de même dans notre expérience étant donné que d'une part, le niveau de condition atteint par nos poneys était probablement loin d'égaliser celui de ces pur-sang, et que d'autre part nous avons étudié l'effet de seulement 2 semaines de désentraînement. La complexité des phénomènes pouvant influencer la FC de récupération, même lors de tests soigneusement standardisés, rend donc apparemment ce paramètre

peu fiable pour évaluer de façon précise la condition d'un cheval mis à l'entraînement (Skarda et al., 1976; Milne et al., 1977; Rose et al., 1983). Par contre, il a été démontré qu'elle peut être d'une grande utilité pour évaluer l'état d'épuisement lors de raids d'endurance équestre (Rose et al., 1983).

Du test n° 1 au test n° 4, les FC avant le départ étaient de plus en plus basses. Ceci peut s'expliquer par le fait que les poneys s'habituant progressivement aux procédures expérimentales, le stress et la réponse anticipée à l'effort en furent diminués d'autant. D'autre part, toujours du test n° 1 au test n° 4, les FC lors de la première minute de travail étaient de plus en plus élevées, le phénomène de dépassement devenant donc de plus en plus important. Ceci s'explique très bien par le fait bien connu que le dépassement est d'autant plus prononcé que la réponse anticipative à l'effort est plus faible (Thomas et al., 1983). En effet, le dépassement résulte d'une brusque augmentation du volume sanguin circulant par vidange splénique, cette dernière étant occasionnée par la libération massive de catécholamines (Persson et Lydin, 1973). Or, si le cheval est stressé avant le départ, le taux sanguin de catécholamines est plus élevé et la vidange splénique a débuté.

#### *Adaptation de la thermorégulation*

La comparaison des variations de la  $t^{\circ}r$  au cours du premier et du second test permet de mettre en évidence une diminution plus rapide de la  $t^{\circ}r$  après l'arrêt de l'effort au cours du second test (fig. 6). Or, la température extérieure était de 10 °C plus élevée lors de ce test,

(Tableau 4) ce qui aurait du logiquement minimiser l'efficacité des processus de déperdition calorique (Carlson, 1983) et entraîner de ce fait une augmentation plus importante et plus durable de la  $t^{\circ}r$ . Il est donc probable que les 15 premiers jours de l'entraînement aient amené une réduction de l'augmentation de la  $t^{\circ}r$  en réponse à un effort donné chez nos poneys. Cet effet de l'entraînement sur la  $t^{\circ}r$  avait déjà été suggéré par Bayly et al. (1983) et par Sexton (1985). Tout comme la FC et le  $\dot{V}e$  à l'effort, la thermorégulation pourrait donc avoir été modifiée par cette première partie de l'entraînement. Des études précédemment réalisées chez l'homme (Stydom et al., 1966; Leblanc, 1985) ont démontré que chez celui-ci, la diminution après entraînement de l'hyperthermie d'effort serait due plus à une amélioration des capacités de sudation qu'à une diminution de la production de chaleur. La question de savoir si ces conclusions sont également valables chez les équins reste néanmoins ouverte.

La comparaison des second et troisième tests, par contre, ne permet pas de mettre en évidence un effet de l'entraînement sur les variations de la  $t^{\circ}r$  à l'effort. Celle-ci semble avoir subi de plus grandes variations lors du troisième test, ce qui pourrait résulter des conditions extérieures de température et d'humidité relative, alors plus élevées, sur l'efficacité des processus thermorégulateurs. Les tests 3 et 4 ont été, quant à eux, réalisés dans des conditions atmosphériques beaucoup plus comparables ( $t^{\circ}$  extérieure de +9 °C lors du test n° 3 contre +10 °C lors du test n° 4). Or, les variations de la  $t^{\circ}r$  observées lors du 4<sup>e</sup> test étaient beaucoup plus importantes que lors du 3<sup>e</sup> test. Ceci pourrait suggérer un effet du désentraînement sur l'ef-

efficacité des processus de thermorégulation à l'effort, bien qu'aucune conclusion ne puisse être tirée dans le cadre de cette étude, vu l'échantillonnage trop faible de notre expérience.

Ces variations de la  $t^{\circ}r$  d'un cheval à l'effort sont la résultante des processus de production et d'élimination de calories par son organisme. Si l'entraînement semble diminuer la production de chaleur et/ou augmenter l'efficacité des processus de déperdition calorique, il n'en reste pas moins vrai que ces derniers sont plus influencés par les conditions atmosphériques que par «l'effet entraînement». Pour pouvoir évaluer de façon tout-à-fait objective l'effet de l'entraînement sur les variations de  $t^{\circ}r$  à l'effort, il faudrait réaliser outre la standardisation de l'effort, celle des conditions ambiantes.

## CONCLUSIONS

Il résulte de cette étude que la mesure de la ventilation et de la  $t^{\circ}r$  chez un cheval à l'effort est parfaitement réalisable moyennant l'utilisation d'un tapis roulant et d'un matériel fiable. Une période d'adaptation d'une semaine environ est cependant nécessaire pour que les poneys se familiarisent d'une part avec le port du matériel de mesure et d'autre part avec le travail sur le tapis roulant.

Bien que l'échantillonnage des animaux ayant servi à cette expérience soit trop faible pour que des conclusions définitives puissent être tirées, certaines tendances peuvent cependant être énoncées :

- lors de l'exercice, le cheval augmente son  $\dot{V}_e$  par une augmentation simultanée du  $V_c$  et de la FR dans un

premier temps, et par une augmentation exclusive de la FR, tandis que le  $V_c$  diminue légèrement, lorsque la demande ventilatoire augmente d'avantage. Le cheval semble donc intermédiaire entre le chien et l'homme en ce qui concerne l'adaptation de sa ventilation à l'effort;

- au cours des 15 premiers jours de l'entraînement, l'observation de la diminution de la FC et de l'augmentation du  $\dot{V}_e$  pour une vitesse donnée nous ont permis de supposer que la mesure de ces paramètres contribuent à une bonne estimation de la condition physique d'un athlète;
- Lors de la récupération, les variations observées dans l'interrelation du  $V_c$  et de la FR pour un même  $\dot{V}_e$  mettent en évidence, d'une part, la précarité de la mesure de la FR en récupération pour l'estimation de la condition d'un cheval et, d'autre part, la nécessité de mesurer le  $V_c$  et la FR lorsque l'on veut estimer le niveau de ventilation d'un animal;
- l'absence d'amélioration dans la vitesse de récupération des FC et du  $\dot{V}_e$  après un effort standardisé laisse supposer que ces deux paramètres, mesurés lors de la récupération, sont de piètres indices de l'état d'entraînement d'un cheval;
- les variations de la  $t^{\circ}r$ , bien que modifiées par l'entraînement, semblent être influencées de façon plus importante par les conditions atmosphériques.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les étudiants qui ont participé à cette étude et M. Leblond pour leur précieuse assistance technique, ainsi que l'ASBL Equine Research Funds pour son soutien financier.

## BIBLIOGRAPHIE

- ART T., LEKEUX P. «A critical assessment of pulmonary function testing in exercising ponies». *Vet Res Com*, accepté pour publication, 1987.
- ASTRAND P.O., RODHAL K. «Textbook of work physiology». Edition 2, New York, McGraw-Hill book co, 1977.
- BAYLY W.M., GABEL A.R., BARR S.A. «Cardiovascular effects of submaximal aerobic training on a treadmill in standardbred horses, using a standardized exercise test». *Am. J. Vet. Res.*, 1983, **44**, 544-553.
- BISGARD G.E., FORSTER H.V., BYRNES B., STANEK K., KLEIN J., MANOHAR M. «Cerebrospinal fluid acid-balance during muscular exercise». *J. Appl. Physiol. : Respir. Env. Ex. Physiol.*, 1978, **45**, 94-101.
- CARDINET G.H., FOWLER M.F., TYLER W.S. «Heart rate and respiratory rates for evaluating performance in horses during endurance trail ride competition». *J.A.V.M.A.*, 1963, **143** (12), 1303-1309.
- CARLSON G.P. «Thermoregulation and fluid balance in the exercising horse». In : Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (eds) : *Eq. Ex. Physiol.*, Cambridge, England, Granta Editions, 1983.
- CLARK J.M., HAGERMAN F.C., GELFAND R. «Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen». *J. Appl. Physiol.*, 1983, **55**, 440-446.
- COTES J.E., JOHNSON G.R., Mc DONALD A. «Breathing frequency and tidal volume : relationship to breathlessness». In : Porter R (ed.) Breathing : Hering-breuer Centenary Symposium. Churchill, London. 1970, 297-309.
- FOREMAN J.H., BAYLY W.M., GRANT B.D., GOLLNICK, P.D. «Cardiopulmonary responses to a traditional method of training in the thoroughbred race horse». Proc. 8th Eq. Nutr. phys. Symp., Kexington, KY. pp 193-198, 1983.
- FORSTER H.V., PAN L.G., BISGARD G.E., KAMINSKI R.P., DORSEY S.M., BUSCH M.A. «Hyperpnea of exercise at various PIO<sub>2</sub> in normal and carotid body-denervated ponies». *J. Appl. Physiol. : Respir. Env. Ex. Physiol.*, 1983, **54**, 1387-1393.
- GILLESPIE J.R., PASCOE J.R. «Respiratory function in the exercising horse. A review». In : Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (eds) : *Eq. Ex. Physiol.*, Cambridge, England, Granta editions, 1983, 1-7.
- GILLESPIE J.R., KAUFFMAN A., STEERE J., WHITE L. «Arterial blood gases and pH during long distance running in the horse». In : Proceeding : 1st Int. Symp. Eq. Hematol., May 28-30, Michigan State University, American Association of Equine Practitioners. 1975, 450-468.
- GOLDBERG M.B., LANGMAN V.A., TAYLOR C.R. «Panting in dogs : paths of air flow in response to heat and exercise». *Respir. Physiol.*, 1981, **43**, 327-338.
- HEY E.N., LOYD B.B., CUNNINGHAM J.C., JUKES M.G.M., BOLTON D.P.G. «Effects of various respiratory stimuli on the depth and frequency of breathing in man» *Respir. Physiol.* 1966, **1**, 193-205.
- HORNICKE H., MEIXNER R., POLLMAN V. «Respiration in exercising horses». In : Snow d.h., persson S.G.B., Rose R.J. (eds) : *Eq. Ex. Physiol.*, Cambridge, England, Granta Editions. 1983, 7-16.
- KELMAN G.R., WATSON A.W.S. «Effect of added dead-space on pulmonary ventilation during sub-maximal, steady-state exercise». *Q.J. Exp. Physiol.*, 1973, **58**, 305-313.
- KOSCH P.C. «Respiratory muscle junction and breathing strategy : comparative and developmental differences». In Proceedings : 4th Veterinary Respiratory Symposium May 9-11, Anaheim. 1985.
- KRZYWANEK H., WITTKE G. *Int. Z. Angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.* 1970, **28**, 228-238.
- LEBLANC J. «Thermogenesis with relation to exercise and exercise-training». *Acta Med. Scand.*, Suppl., 1985, **711**, 75-81.
- LEITH D.E., GILLESPIE J.R. «Respiratory mechanics of normal horses and one with chronic obstructive lung disease». *Fed. Proc.*, 1971, **30**, 551.
- LEKEUX P., HENROTEAUX M., BIENFET V. «Comparaison du type et de la fréquence relative des principales arythmies cardiaques observées chez les chevaux en fonction de leurs performances en course : une étude radio-télé-métrique». *Ann. Méd. Vét.*, 1982, **126**, 205-208.
- LIND F.G. «Respiratory drive and breathing pattern during exercise in man». *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 1984, 533.

- MARTIN B.J., MORGAN E.J., ZWILLICH C.W., WEIL J.V. «Influence of exercise hyperthermia on exercise breathing pattern». *J. Appl. Physiol. : Respir. Env. Ex. Physiol.*, 1979, **47**, 1039-1042.
- MILIC-EMILI G., PETIT J.M., DEROANNE R. «The effects of respiratory rate on the mechanical work of breathing during muscular exercise». *Int. Z. Angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.*, 1960, **18**, 330-340.
- MILNE D.W., GABEL A.A., MVIR W.V., SKARDA R.T. «Effect of training on heart rate, cardiac output, and lactic acid in standardbred horses, using a standardized exercise test». *J. Eq. Med. Surg.*, 1977, **1**, 131-135.
- PERSSON S.G.B., LYDIN G. «Circulatory effects of splenectomy in the horse. III. Effect on pulse-work relationship». *Zentralbl. Veterinärmed. Reihe A* 1973, **20**, 521-530.
- PERSSON S.G.B. «Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse». *Eq. Ex. Physiol.*, 1983, 441-445.
- PROCTOR D.F. «Form and function of the upper airways and larynx». In : Fischman AP ed. *Handbook of physiology; the respiratory system. Vol 3. Mechanics of breathing, part. 1.* Baltimore, Md : Am. Physiol. Soc., 1986, 63.
- ROBINSON N.E. «Respiratory adaptations to exercise». In : *The Vet. Clinics of North America : Equine Practice.*, 1985, **1** (3), 497-512.
- ROSE R.J. «An evaluation of heart rate and respiratory rate recovery for assessment of fitness during endurance rides». In : Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (eds) : *Eq. Ex. Physiol.*, Cambridge, England, Granta Editions, 1983, 7-16.
- SKARDA R.T., MUIR W.W., MILNE D.W. «Effects of training on resting and postexercise ECG in standardbred horses, using a standardized exercise test». *Am. J. Vet. Res.*, 1976, **37**, 1485-1488.
- SCHMIDT-NIELSEN K., BRETZ W.L., TAYLOR C.R. «Panting in dogs : unidirectional airflow over evaporative surfaces». *Science*, 1970, **169**, 1102-1104.
- SEXTON W.L. «Effects of training and propranolol on the physiological responses to exercise in the pony». *Dissertation Abstracts International*, 1985, **B46** (6), 1835-1836.
- STYDOM N.B., WYNDHAM N.H., WILLIAMS C.G., MORRISON J.F., BREDELL G.A.G., BENADE A.J.S., Von RADHDEN M. Acclimatization to humid heat and the role of physical training. *J. Appl. Physiol.*, 1966, **21**, 636-641.
- THOMAS D.P., FREGIN G.F. «Cardiorespiratory and metabolic responses to treadmill exercise in the horse». *J. Appl. Physiol.*, 1981, **50**, 864-868.
- THOMAS D.P., FREGIN G.F., GERBER N.H. «Effects of training on cardiorespiratory function in the horse». *Am. J. Physiol.*, 1983, **245**, R160-R165.
- WHIPP B.J., PARDY R.L. «Breathing during exercise». In : Fischman AP ed. *Handbook of Physiology; the respiratory system. Vol. 3. Mechanics of breathing, part. 2.* Baltimore, Md : Am. Physiol. Soc., 1986, 605.

## SUMMARY

### **Effects of training and detraining on heart rate, ventilation and thermoregulation during a standardized treadmill exercise in ponies : a preliminary study.**

The influence of training on cardiorespiratory and thermoregulatory adaptations to exercise was studied in 2 healthy race ponies (age : 3.5 and 5 years; weight : 270 and 295 kg).

Respiratory airflow ( $\dot{V}$ ), tidal volume (VT), electrocardiogram and rectal temperature were simultaneously recorded before, during and after a standardized exercise which consisted of 3 min walking ( $1.5 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ ), 3 min

slow trotting ( $3.0 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ ) and 3 min fast trotting ( $3.5 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ ). These parameters were recorded 4 times, i.e. before (test 1), during (test 2 and 3) and 2 weeks after (test 4) a 4 week-period of training. Respiratory frequency ( $f$ ),  $V_T$ , peak inspiratory and expiratory  $\dot{V}$ , minute volume ( $\dot{V}_E$ ), heart rate (H.R.) and rectal temperature changes were calculated on the basis of the collected data.

For a given workload,  $\dot{V}_E$  was increased and H.R. decreased during test 2 and 3. These adaptations to training persisted after the 2 week-period of detraining. Neither  $\dot{V}_E$  nor H.R. recoveries were changed during the whole experimental period. On the other hand,  $f$  measured both during exercise and recovery was subject to great variations, obviously independent of the state of training.

Lastly, the exercise-induced hyperthermia was reduced after the training period. This thermoregulatory changes was reversed after detraining.

The results of this preliminary study must be taken with cautions because of the small number of animals used. Nevertheless, they suggested that (1)  $f$  is a poor indication of the ventilation, (2) measurements of  $\dot{V}_E$  and HR during a standardized exercise may give a good estimation of the fitness of a horse, (3) on the opposite both parameters measured during recovery seemed to be poorly correlated with the state of training.