

## Le surentraînement chez le cheval : approche endocrinienne

Par :

- C. Amato<sup>1</sup>, P. Nguyen<sup>2</sup> et B. Siliart<sup>3</sup>
- <sup>1</sup>Unité de Nutrition et Endocrinologie, ONIRIS, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation, Nantes-Atlantique, Atlanpôle-La Chantrerie, Route de Gachet - BP 40706, 44307 Nantes, France
- <sup>2</sup>Unité de Nutrition et Endocrinologie, ONIRIS, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation, Nantes-Atlantique, Atlanpôle-La Chantrerie, Route de Gachet - BP 40706, 44307 Nantes, France
- <sup>3</sup>Unité de Nutrition et Endocrinologie et LDH VET, ONIRIS, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation, Nantes-Atlantique, Atlanpôle-La Chantrerie, Route de Gachet - BP 50707, 44307 Nantes, France

### Résumé

Le surentraînement est un état de fatigue chronique caractérisé par une baisse de la performance. La cause est complexe et faite de plusieurs composantes : métabolique, endocrinienne et nerveuse. L'objectif du travail était d'approfondir les connaissances des variations hormonales pendant l'exercice et des mécanismes présidant à l'instauration des phénomènes du surentraînement, pour essayer de déterminer des marqueurs spécifiques d'apparition de la fatigue. Un suivi longitudinal (alimentation, poids, notation de l'état corporel, paramètres hématologiques et hormonaux) de 37 chevaux de spectacle au cours d'une saison de travail, a été réalisé.

Les principaux résultats montrent que l'exercice entraîne un déséquilibre de la balance énergétique malgré une augmentation des apports nutritionnels en fonction du travail. Parmi les facteurs endocriniens significativement modifiés par la charge de travail, le cortisol, l'ACTH, la leptine, l'IGF1, la testostérone et le rapport testostérone/cortisol pourraient être des marqueurs pertinents pour évaluer les réponses à l'entraînement ou prédire un risque de baisse des performances.

**Mots clés : Cheval, Endocrinologie, Biologie, Exercice, État corporel, Bilan énergétique, Surentraînement**

### Summary

Overtraining is a state of chronic fatigue characterized by a reduction in the performance. The cause of the overtraining is complex and made by several components: metabolic, endocrine and nervous. The objective was to study hormonal variations during exercise and the mechanisms of overtraining induction to determine specific markers of appearance of the fatigue. The study was realized by a longitudinal follow-up (feed, bodyweight, body condition score, hematologic and hormonal parameters) of 37 show horses during one work season.

The main results show that the exercise induces an energetic imbalance despite a considerable increased of energy intake according to workload. Among the endocrine factors significantly influenced by the workload, cortisol, ACTH, leptin, IGF1, testosterone and testosterone/cortisol ratio could be reliable markers to evaluate the training or predict the risk of decrement in performance capacity.

**Key-words: Horse, Endocrinology, Biology, Exercise, Body condition, Energetic balance, Overtraining**

## Introduction

Comme chez l'homme, chez le cheval, l'exercice est un stress. Les contraintes imposées par l'effort induisent des modifications du fonctionnement des systèmes musculaires, respiratoires, cardiaques et vasculaires, par leurs actions sur le système neuroendocrinien. Des réponses rapides, mais aussi lentes nécessitées par la demande métabolique, sont possibles grâce aux variations des sécrétions neuroendocriniennes. Les stimuli intrinsèques et extrinsèques à l'organisme, agissent comme des activateurs ou des inhibiteurs des synthèses et des sécrétions des neurotransmetteurs ou des hormones (Hyypä, 2005). L'intensité de la réponse va dépendre des caractéristiques de l'effort (type, intensité, durée) et des caractéristiques individuelles (niveau d'entraînement, âge, sexe, composition corporelle, statut nutritionnel, traitements). Dans un premier temps, immédiatement après le début de l'effort, l'activation du système orthosympathique va permettre la libération des catécholamines qui vont avoir de nombreux effets coordonnés (augmentation du débit cardiaque, de la capacité respiratoire, modification des secteurs vasculaires, glycolyse et lipolyse). Il existe également une sécrétion du CRH (Corticotropin Releasing Hormone) et de la vasopressine, qui provoquent la libération d'ACTH (adrenocorticotropin hormone) et inhibent le GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone) et les gonadotrophines. Le stress de l'effort provoque également la sécrétion hypophysaire de GH (Growth Hormone) et de prolactine et la sécrétion pancréatique du glucagon. Si l'effort se prolonge, la variation des sécrétions hypophysaires entraîne en quelques minutes la sécrétion surrénalienne du cortisol et la diminution de la production de stéroïdes gonadiques. La réponse globale est beaucoup plus complexe et implique de nombreux neurotransmetteurs et hormones. Le comportement du cheval est modifié, avec par exemple dans un premier temps une augmentation de l'éveil et de l'attention, une réduction de la perception de douleur, de l'appétit et secondairement de la libido. Cette réponse est suivie par une phase anabolique, où l'activation des axes somatotrope et gonadotrope augmente la capacité adaptative et permet d'intensifier la performance (Hyypä, 2005 ; De Graaf-Roelfsema, 2009).

La préparation sportive a pour objet d'induire les adaptations de l'organisme nécessaires pour produire l'effort spécifique à la spécialité pratiquée. Une période d'entraînement chargée diminue momentanément les capacités physiques. Elle doit être suivie d'une période de récupération, pour permettre au corps de se restaurer, de s'adapter à une charge de travail plus élevée et pour permettre l'installation d'un nouvel équilibre. Lorsque cette récupération est incomplète ou insuffisante, la fatigue apparaît. C'est pourquoi les programmes de travail qui ne prennent pas suffisamment en compte ces séquences de repos peuvent être responsables d'une intolérance à l'exercice. Si un déséquilibre se crée, par excès d'efforts et de stress spécifiques ou non de l'exercice (erreurs nutritionnelles, transports, etc.), il s'installe un état de surmenage (overreaching), entraînant une diminution des performances. Si cet état persiste malgré une période de repos prolongée, il est alors possible d'évoquer un syndrome de surentraînement (overtraining syndrome). À ce stade, le système endocrinien n'est plus capable de produire les adaptations fonctionnelles et structurelles nécessaires aux efforts. La diminution des performances est durable et prolongée, et il s'y associe des signes cliniques et comportementaux. La récupération peut dans ce cas nécessiter plusieurs semaines à quelques mois (McGowan et Whitworth, 2008 ; Rivero *et al.*, 2008 ; De Graaf-Roelfsema, 2009). Le surentraînement est le résultat d'un déséquilibre entre les charges de travail et les périodes de récupération, qui sont les deux éléments clés de la préparation physique pour progresser et réaliser une performance sportive. La pathologie du surentraînement est multifactorielle et complexe. Plusieurs hypothèses probablement imbriquées les unes dans les autres sont proposées. C'est pourquoi il nous a paru intéressant d'étudier les modifications biologiques et en particulier les variations des sécrétions endocrines au cours d'une saison de travail complète, afin d'approfondir les connaissances de la biologie de l'effort et des mécanismes présidant à l'instauration des phénomènes du surentraînement, pour essayer de déterminer des marqueurs spécifiques d'apparition de la fatigue.

## 1. Matériel et Méthodes

Une étude longitudinale des paramètres biologiques a été réalisée sur des chevaux de spectacle de l'Académie Equestre du Grand Parc du Puy du Fou, du début de l'entraînement jusqu'à la fin de la saison des spectacles. Il s'agissait d'un groupe de 37 chevaux sains, Pure Race Espagnole et Lusitanien (15 entiers et 22 hongres, âge moyen =  $11 \pm 4$  ans, poids =  $481 \pm 34$ , NEC =  $2,8 \pm 0,25$ ). Une fiche de suivi individuel pour chaque cheval (état général, alimentation, maladies, soins pratiqués, activité), a été mise à jour 2 fois par mois. Les chevaux étaient hébergés en boxes individuels (sur paille) dans la même écurie. Chacun recevait une ration individuelle calculée en fonction du poids et de la charge de travail (1,2 à 1,5 fois les besoins d'entretien, soit 4,3 UFC pour les hongres et 4,7 UFC pour les entiers). La ration était composée de foin de prairies naturelles (0,47 UFC/kg), d'aliment concentré (0,99 UFC/kg), de barbotage de son (0,75 UFC/kg) et de sel (25-35 g/jour), subdivisée en cinq repas par jour. L'eau était disponible ad libitum. Les pesées ont été faites tous les 15 jours et l'estimation de la note d'état corporel

(NEC) a été faite une fois par mois (suivant l'échelle de 1 à 5 de l'INRA, Martin-Rosset *et al.*, 2008), tout au long de la saison afin de suivre leurs évolutions et d'ajuster la conduite alimentaire à la charge de travail.

Les prélèvements sanguins mensuels étaient réalisés le matin, pendant le repas de foin, avant le repas d'aliment concentré et toute activité physique, pour limiter les variations nyctémérales. Après mesure de l'hématocrite, les sérums et les plasmas ont été rapidement congelés. Les paramètres biologiques classiques ont été dosés par spectrophotométrie (urée, protéines totales, créatinine, albumine, CK= créatine kinase, ASAT= aspartate aminotransférase, ALP= Alanine phosphatase, GGT=  $\gamma$ Glutamyl transférase, ionogramme, cholestérol). Les facteurs hormonaux (cortisol, ACTH= adrenocorticotrop hormone, insuline, leptine, IGF1= insuline growth factor 1, T<sub>4</sub>= thyroxine libre, testostérone et prolactine) ont été dosés par méthodes immunologiques : par compétition avec un marqueur radioactif (RIA) pour l'ACTH (DiaSorin<sup>®</sup>), le cortisol (DiaSorin<sup>®</sup>), l'IGF1 (DiaSorin<sup>®</sup>), l'insuline (DiaSorin<sup>®</sup>), la testostérone (Spectria<sup>®</sup>), la T<sub>4</sub> (Immunotech<sup>®</sup>) et la leptine (Linco Research<sup>®</sup>) et par un marqueur enzymatique (EIA) pour la prolactine (Milenia Biotech<sup>®</sup>). Tous ces dosages ont été précédemment validés chez le cheval et sont employés en routine au laboratoire.

Les chevaux faisaient le même type de travail, individualisé selon le profil et l'expérience du sujet. L'intensité du travail a été caractérisée en utilisant un système GPS relié au cardiofréquence-mètre. La durée, la distance, la fréquence cardiaque et la vitesse ont été enregistrés. Le dosage de la lactatémie et de la glycémie a été réalisé au repos et ponctuellement pendant l'effort. Chaque sujet a été suivi une fois par mois pendant le travail (entraînement et/ou spectacles). À partir de l'analyse des parcours enregistrés pendant l'exercice, nous avons établi un score d'intensité pour chaque type d'exercice et nous avons réalisé et validé une échelle d'intensité. L'intensité de la charge de travail a été calculée pour chaque sujet (chaque mois), en multipliant le nombre des séances de travail exécutées par le score d'intensité établi.

L'évaluation des effets de la charge de travail sur les paramètres biologiques et hormonaux a été faite à l'aide d'une analyse de la variance (ANOVA) pour mesures répétées, suivie d'un test *post hoc* de Bonferroni. Les différences ont été acceptées comme significatives au seuil de  $p < 0,05$ .

## 1.1. Résultats

Les caractéristiques de l'exercice diffèrent significativement entre l'entraînement et la période de spectacle (Tableau 1).

Tableau 1 : Données de l'exercice pendant la saison de travail  
Table 1: Exercise data during work season

	E <sub>1</sub> <sup>a</sup>	E <sub>2</sub> <sup>b</sup>	E <sub>3</sub> <sup>c</sup>	E <sub>4</sub> <sup>d</sup>
Durée (min)	40±20	52±15**	80±50***	130±47***
Distance (m)	3140±1049	3427±1518*	5554±2140*	6129±2597*
Vitesse moyenne (m/s)	1,5±0,3	1,4±0,5*	1,2±0,5***	0,9±0,1**
Vitesse maximum (m/s)	3,7±0,6	4,5±0,8*	8,0±2,9*	8,4±3,6**
FC <sup>e</sup> minimum (bpm)	52±13	52±3	46±5	41±1*
FC moyenne (bpm)	112±24	110±6	100±10*	88±1*
FC maximum (bpm)	176±39	181±23	199±12	199±6
Lactate <sup>f</sup> (mmole/L)	1,1±0,4	3,3±2,9	6,9±5,1*	7,6±5,3**

Les données sont exprimées en moyenne  $\pm$  écart type. *Data are shown as mean  $\pm$ SD.*

<sup>a</sup>E<sub>1</sub>: début de l'entraînement, qui correspond aux mois d'Octobre, Novembre, Décembre. *Start of training period, which corresponds to October, November, December.*

<sup>b</sup>E<sub>2</sub>: période d'entraînement, qui correspond aux mois de Janvier, Février, Mars. *Training period, which corresponds to January, February, March.*

<sup>c</sup>E<sub>3</sub>: fin de la période d'entraînement et début des spectacles, qui correspond aux mois d'Avril, Mai, Juin. *End of training period and start of show period, which corresponds to April, May, June.*

<sup>d</sup>E<sub>4</sub>: période des spectacles, qui correspond aux mois de Juillet, Août, Septembre. *Show period, which corresponds to July, August, September.*

<sup>e</sup>FC= fréquence cardiaque (bpm). *Heart rate (bpm).*

<sup>f</sup>Lactatémie dosée pendant l'exercice. *Blood lactate measured during exercise.*

\*Différences significatives entre E<sub>1</sub> et les autres périodes E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,001$ ; \*\*\* $p < 0,0001$ .

\*Differences significant between E<sub>1</sub> and the other periods E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>: \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,001$ , \*\*\* $p < 0,0001$ .

Pendant l'entraînement (Octobre-début Avril), les chevaux étaient montés pendant 1 heure à raison de 4-5 séances par semaine. Les autres jours de semaine, les chevaux étaient mis au marcheur et ils avaient un jour de repos complet. Pendant la période de spectacle, le nombre de spectacles augmente progressivement de 9 spectacles/semaine (Avril, Mai, Juin) à 19 spectacles/semaine (Juillet, Août, Septembre). En Juillet et Août, les chevaux n'ont plus de jours de repos. Ces chevaux exécutent 2

spectacles différents : une voltige cosaque 2 fois/jour d'Avril à Septembre et un spectacle historique 2 fois/semaine à partir de Juin. Chaque spectacle était précédé d'un échauffement de 15 min aux trois allures, puis suivi d'une période de récupération active au pas soutenu. L'effort demandé lors des spectacles était de type «sprint court», galop rapide, départs et arrêts brusques, avec un stress supplémentaire dû à l'organisation des spectacles (attentes, bruits, foule).

La charge de travail calculée augmente progressivement et peut être subdivisée en 4 périodes significativement ( $p < 0,0001$ ) distinctes :  $W_1$  = début de l'entraînement;  $W_2$  = entraînement;  $W_3$  = fin de l'entraînement et début des spectacles;  $W_4$  = pleine saison des spectacles. Elle a un effet significatif sur toutes les variables sauf sur le poids (Fig. 1 et 2).

L'ACTH reste presque constant pendant la période d'entraînement ( $W_1$  à  $W_2$ ), mais croît significativement ( $p < 0,0001$ ) à partir de  $W_3$ . Cette sécrétion discord avec celle du cortisol qui montre une diminution très significative ( $p < 0,0001$ ) à partir de  $W_3$ . La testostéronémie augmente significativement ( $p = 0,03$ ) de  $W_1$  à  $W_3$ , puis baisse en  $W_4$ . Le rapport testostérone/cortisol chute significativement d'un tiers de  $W_3$  à  $W_4$  ( $p = 0,05$ ). Dans notre étude, nous avons constaté une baisse suivie d'une augmentation significative ( $p = 0,04$ ) de la prolactinémie en  $W_4$ . La leptinémie baisse significativement au cours de la saison de travail ( $p < 0,0001$ ). La thyroïdémie (libre) augmente de  $W_1$  à  $W_2$ , mais baisse significativement de  $W_3$  à  $W_4$  ( $p = 0,001$ ). La sécrétion d'IGF1 augmente significativement de  $W_1$  à  $W_2$ , mais baisse de  $W_3$  à  $W_4$  ( $p < 0,0001$ ). L'insulinémie augmente significativement tout au long de la saison ( $p = 0,05$ ), (Fig.1 et 2).

La NEC augmente significativement entre  $W_1$  et  $W_3$ , pour baisser en  $W_4$  ( $p < 0,0001$ ), malgré l'augmentation de l'énergie de la ration ( $p < 0,0001$ ). Le poids varie peu pendant la saison de travail. Cependant, 49% des chevaux ont une perte de poids (<10 %) significative ( $p = 0,04$ ), associée à une forte diminution de la NEC (25%), pendant la période d'exercice plus intense malgré une augmentation de l'énergie de la ration (12 %). Le pourcentage de manifestations cliniques due à la fatigue (maladies ostéo-articulaires, musculaires, infections, anémie, perturbations comportementales) augmente progressivement entre l'entraînement (3,5 %) et les périodes de spectacle (47,8 %), (Fig. 2).

L'étude montre une baisse modérée, mais significative en  $W_4$  ( $p < 0,0001$ ) de la natrémie, chlorémie, phosphatémie et magnésémie. On observe en parallèle une baisse significative de l'hématocrite ( $p = 0,001$ ) et de la créatinine ( $p = 0,02$ ), avec une augmentation significative de l'urée ( $p = 0,001$ ). L'activité de  $\gamma$ GT, CK et ALP augmente significativement entre  $W_1$  et  $W_2$  ( $p < 0,05$ ), en revanche, en  $W_4$  on observe une augmentation significative de CK ( $p = 0,005$ ) et de ALP ( $p < 0,0001$ ).

La lactatémie et la glycémie évaluées au repos et pendant le travail, varient significativement ( $p < 0,05$ ) durant la saison. Elles augmentent progressivement de  $W_1$  à  $W_3$ , mais baissent en  $W_4$ . La cholestérolémie augmente significativement ( $p = 0,002$ ) durant toute la saison. Certains paramètres : albumine, ASAT, protéines totales, potassium et calcium, ne semblent pas ou peu affectés par la charge de travail.

Figure 1 : Variations des paramètres biologiques en fonction de l'intensité de la charge de travail  
Figure 1: Variations of biological parameters according to score of workload intensity

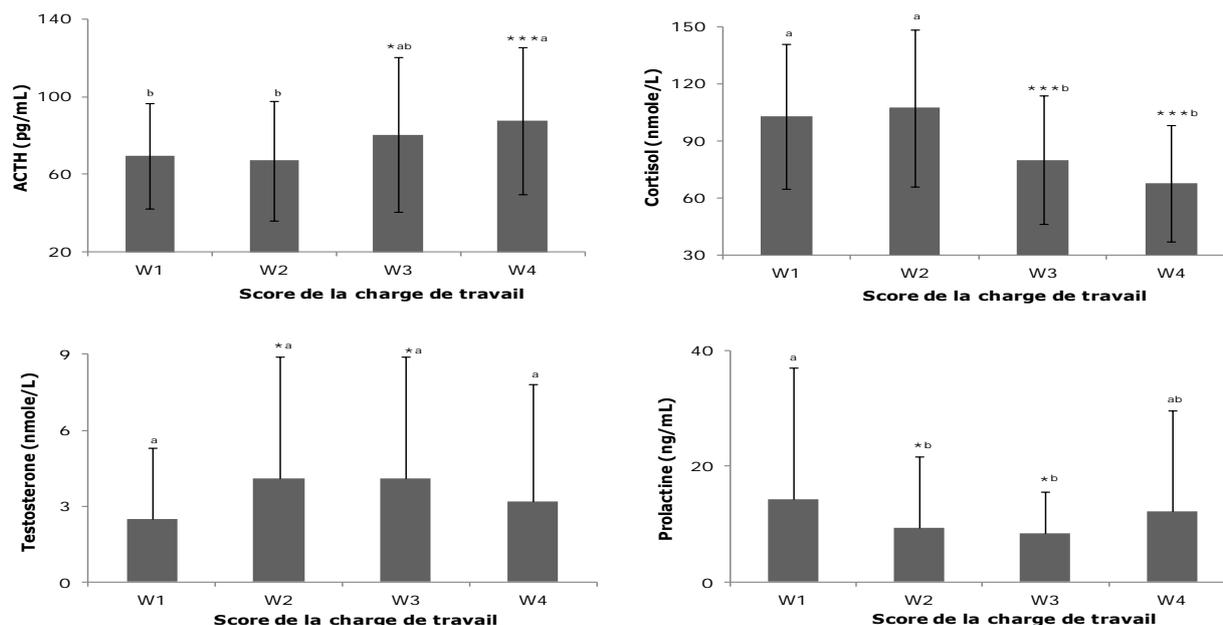
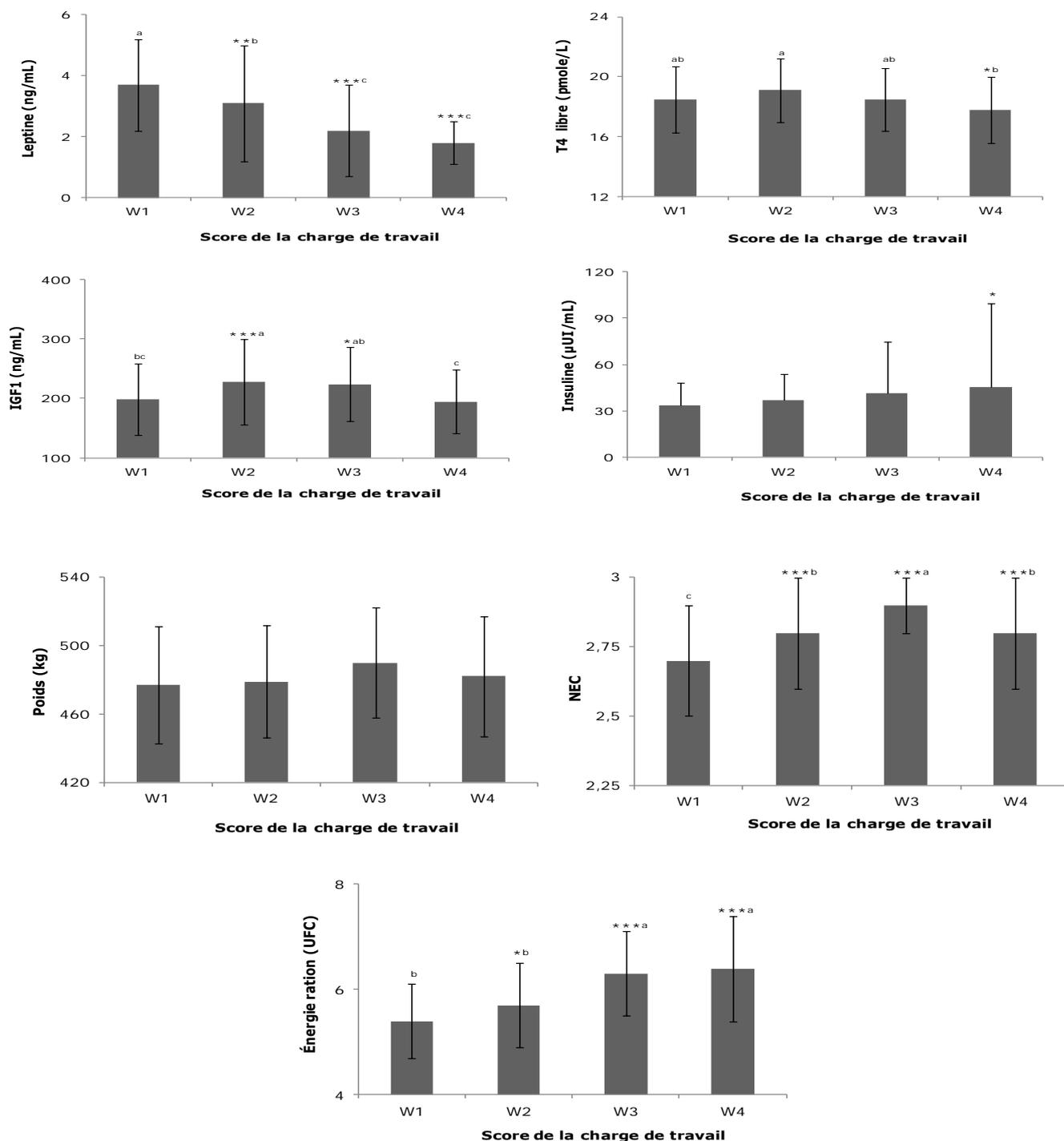


Figure 2 : Variations des paramètres biologiques en fonction de l'intensité de la charge de travail  
 Figure 2: Variations of biological parameters according to score of workload intensity



Légende : Les données sont exprimées en moyenne  $\pm$  écart type. *Data are shown as means  $\pm$  SD.*

Catégories du score de l'intensité de la charge de travail : W<sub>1</sub>: [de 0, à 70], W<sub>2</sub>: [de 71, à 202], qui correspondent à la période d'entraînement; W<sub>3</sub>: [de 203, à 563], W<sub>4</sub>  $\geq$ 564, qui correspondent à la période de spectacles. *Categories of workload intensity scores: W<sub>1</sub>: [from 0, to 70], W<sub>2</sub>: [from 71, to 202], which correspond to training period; W<sub>3</sub>: [from 203, to 563], W<sub>4</sub>  $\geq$ 564, which correspond to show period.*

Cortisol (nmole/L) ; ACTH = Adrenocorticotrop hormone (pg/mL) ; Testostérone (nmole/L) ; Prolactine (ng/mL) ; Leptine (ng/mL) ; T4 libre = Thyroxine libre /Free thyroxine (pmole/L) ; IGF1 = Insuline growth factor 1 (ng/mL) ; Insuline (µUI/mL).

Poids (kg) = *Bodyweight (kg)* ; NEC<sup>1</sup>/BCS: échelle de 1 à 5 /scale 1 to 5.

UFC<sup>2</sup>: Unité Fourragère Cheval, *Energy ration*<sup>2</sup>: UFC = *Horse Feed Unit*.

\*Différences significatives entre W<sub>1</sub> et les autres catégories W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub>: \*p<0,05 ; \*\*p<0,001 ; \*\*\*p<0,0001.

\*Differences significant between W<sub>1</sub> and the other categories W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub>: \*p<0.05, \*\*p<0.001, \*\*\*p<0.0001.

## 2. Discussion

Le suivi longitudinal des chevaux a permis de connaître l'évolution du profil biologique, en particulier endocrinien, durant la saison de travail.

Les chevaux perdent du poids au cours de leur saison de travail avec de très grandes variations interindividuelles, malgré les pesées et la réévaluation de la ration tous les 15 jours. Ces variations témoignent probablement d'un état de fatigue lié à une charge de travail croissante et à une récupération insuffisante. Pendant l'entraînement, le poids et la NEC augmentent en parallèle à l'apport énergétique journalier. Pendant la période de spectacle, plus intense, près de la moitié des chevaux perdent du poids. Un entraînement de qualité doit être adapté aux capacités et au niveau du cheval. Dans le cas d'un cheval cliniquement sain dont le poids baisse, il se peut que la fréquence ou l'intensité du travail soient trop élevées. Un cheval surentraîné aura tendance à perdre du poids et de l'appétit (Tyler *et al.*, 1996 ; McGowan et Whitworth, 2008 ; Rivero *et al.*, 2008).

La perte de poids est accompagnée d'une diminution significative de la NEC moyenne, même, si le seuil critique de 1,5 n'a été atteint pour aucun cheval, on peut s'interroger sur l'adéquation entre la quantité d'énergie de la ration et l'intensité du travail. Bien que l'évaluation de l'état corporel soit subjective puisque fondée sur des critères visuels et manuels, celle-ci donne une information précise sur l'état d'adiposité à la différence du poids. Une variation de poids est plus difficile à interpréter qu'une variation d'état corporel car elle peut aussi bien être due à une perte liquidienne importante qu'à une diminution de la masse adipeuse (Martin-Rosset *et al.*, 2008 ; Valle et Bergero, 2008).

L'exercice, selon sa durée, son intensité, sa fréquence ou son type, peut déterminer plusieurs modifications des paramètres biochimiques. Les variations biochimiques produites par l'exercice reflètent les altérations des différents systèmes qui participent à l'effort et le type d'énergie utilisée. Une bonne méthode pour évaluer les effets de l'entraînement est le suivi des paramètres biochimiques, même si, cette méthode manque de spécificité, parce que, très peu à l'exception du lactate, sont utilisables comme témoins du niveau d'entraînement et de performance. Cependant, un entraînement correct doit préparer l'organisme aux intenses modifications qui se produisent. Les examens biologiques dans le cadre de l'évaluation des chevaux de sport sont destinés à dépister les maladies subcliniques susceptibles d'induire une baisse de la performance. Classiquement, ces examens comprennent les mesures d'activité enzymatique musculaires (ASAT et CK), hépatiques (ASAT et  $\gamma$ GT), les marqueurs de la fonction rénale (urée, créatinine), le ionogramme ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ), les protéines totales, les marqueurs de l'inflammation (fibrinogène et albumine/globulines) et l'hématocrite (McGowan, 2008 ; McGowan et Whitworth, 2008 ; Rivero *et al.*, 2008). Dans notre étude, certains paramètres biochimiques évoluent également au cours du temps en relation avec la charge de travail imposée aux chevaux. L'augmentation de l'activité de  $\gamma$ GT, CK et ALP entre  $W_1$  et  $W_2$  pourrait être rapportée à une adaptation physiologique à l'entraînement. En revanche, l'élévation significative de CK et de ALP en  $W_4$  pourrait être le résultat d'une souffrance musculaire ou osseuse, et/ ou d'un état de fatigue, induit par une charge de travail importante.

Les concentrations plasmatiques en minéraux et électrolytes diminuent statistiquement au cours du suivi mais restent dans les limites physiologiques. L'ensemble est probablement attribuable à une déshydratation intracellulaire avec hyperhydratation extracellulaire, imputable aux pertes de sodium (sudation), compensée par une réabsorption d'urée sous l'influence de la vasopressine. La sudation prolongée pourrait entraîner un déficit significatif des électrolytes qui peut causer faiblesse, crampes musculaires, diminution de la performance. La diminution des concentrations plasmatiques en sodium et chlore pendant la saison de travail est progressive et fortement corrélée à la charge de travail, elle pourrait être un marqueur d'intolérance à l'exercice (McKeever, 2008).

La lactatémie et la glycémie évaluées au repos et pendant le travail, varient significativement durant la saison. Elles baissent progressivement en  $W_4$ , probablement en raison de la déplétion en glycogène, révélatrice d'un début de surmenage (Tyler *et al.*, 1996 ; Rivero *et al.*, 2008). L'augmentation significative de la cholestérolémie durant toute la saison, peut traduire l'accroissement de la mobilisation des lipoprotéines, en réponse aux besoins énergétiques.

Le surentraînement et l'ensemble des manifestations cliniques (troubles du comportement, perturbation de l'appétit, problèmes musculaires, variations de la FC, etc.) peuvent être rapportées aux perturbations hypothalamiques et aux sécrétions neurohormonales qui en résultent (De Graaf-Roelfsema, 2009). Dans cette étude, toutes les hormones évaluées sont significativement influencées par la charge de travail croissante.

L'ACTH est le principal activateur de la sécrétion de cortisol ; mais au cours de l'entraînement et surtout du surentraînement, il existe progressivement une dissociation de la sécrétion d'ACTH et de cortisol. Barron *et al.* (1985) avaient montrés que pendant le travail, la cortisolémie augmentait parallèlement à la sécrétion d'ACTH. En cas de surmenage, une discordance intervient avec une baisse de la cortisolémie, malgré une augmentation de l'ACTH sanguin. Dans notre étude, une discordance entre le cortisol et l'ACTH intervient dès l'augmentation de la charge de travail, ce qui que pourrait être, un signal

précoce tout à fait discriminant entre le niveau de forme et le surmenage (De Graaf-Roelfsema *et al.*, 2007 ; Meeusen *et al.*, 2010 ; McKeveer, 2011).

La testostéronémie augmente significativement de  $W_1$  à  $W_3$ , puis baisse en  $W_4$ . Il a été montré chez l'Homme, qu'un exercice d'endurance stimule la sécrétion de testostérone, alors qu'un exercice prolongé la diminue (Papacosta et Nassis, 2011 ; Tanskanen *et al.*, 2011). Dans notre étude, l'augmentation significative de la testostéronémie (y compris chez les hongres) pourrait être le résultat des adaptations physiologiques à l'entraînement. La diminution de la testostéronémie au cours de  $W_4$ , pourrait au contraire être attribuée aux exercices éreintants et prolongés. Le rapport des concentrations sanguines en testostérone et en cortisol (rapport T/C), est présenté en humaine comme un indice de l'équilibre anabolique/catabolique de l'athlète. La chute de ce rapport de plus de 30 % chez l'Homme, pourrait indiquer le seuil de surentraînement ou d'une récupération incomplète dans les sports de résistance ou de vitesse (Lane, *et al.*, 2010 ; Papacosta et Nassis, 2011 ; Tanskanen, *et al.*, 2011). Chez le cheval, pour la première fois où ce paramètre est évalué, on retrouve une augmentation du rapport T/C pendant la période d'entraînement, puis une baisse lorsque la charge de travail devient trop importante. Il semble que le suivi de ce rapport au cours de la préparation pourrait être un indice de l'adaptation des chevaux à l'exercice et être utilisé pour surveiller le seuil limite entre fatigue et surentraînement.

La sécrétion de prolactine est un révélateur du stress. Sa réponse à l'exercice présente une large variabilité, elle peut augmenter ou diminuer selon l'intensité et le volume de l'exercice (Meeusen *et al.*, 2010). Dans notre étude, nous avons constaté une baisse suivie d'une augmentation de la prolactinémie en  $W_4$ . Cette élévation pourrait être imputée aussi bien à un excès d'exercice qu'au stress chronique.

Dans notre expérience, nous avons trouvé une très significative diminution de la leptine accompagnée d'une diminution de la thyroxine et de l'IGF1 et d'une augmentation de l'insuline. Ces variations hormonales confrontées aux variations du poids et de l'état corporel et au niveau d'énergie de la ration confirment qu'il y a un déséquilibre de la balance énergétique entre les apports nutritionnels et la dépense liée au travail et une incapacité de l'organisme à s'adapter parfaitement au stress de l'exercice (Steinacker *et al.*, 2005). La sécrétion de leptine par les adipocytes régule l'appétit. Elle est inhibée par les catécholamines et les acides gras libres et stimulée par les triglycérides, le cortisol, l'insuline, les cytokines pro-inflammatoires et pourrait jouer un rôle important dans le surentraînement (Steinacker *et al.*, 2005 ; Gordon *et al.*, 2007). Dans notre étude, la baisse de leptinémie pendant la phase d'entraînement facilite l'anabolisme. En revanche, quand le rythme des spectacles s'intensifie, la baisse de la leptinémie ne suffit plus pour assurer l'équilibre énergétique, puisque l'on constate une perte de poids et une baisse de la NEC, que l'on pourrait interpréter comme un signal de récupération inadéquate aux exercices physiques prolongés. La baisse de la leptinémie, dont la sécrétion est le carrefour des besoins et des dépenses et dont les variations sanguines sont très progressives, pourrait être un des facteurs à retenir pour le suivi du risque de surmenage et de surentraînement.

La sécrétion de thyroxine, joue un rôle global d'activateur de nombreux métabolismes mais elle diminue en cas d'inflammation, ce qui entraîne une baisse immédiate de l'utilisation énergétique des nutriments et affecte les capacités d'exercice (Hyypä, 2005 ; Steinacker *et al.*, 2005). C'est effectivement ce que nous avons pu observer : lorsque la charge de travail s'intensifie, la thyroxine diminue.

La sécrétion d'IGF1 est influencée par la durée et l'intensité de l'exercice, le déséquilibre énergétique et l'inflammation (Gomez-Merino *et al.*, 2004 ; De Graaf-Roelfsema *et al.*, 2007). Dans notre étude, nous avons observé une augmentation de la concentration d'IGF1 pendant la phase anabolisante de l'entraînement, suivie d'une baisse pendant la saison de spectacle. Cette baisse pourrait s'expliquer autant par les efforts musculaires répétés (inflammation) que par le stress ou le déficit calorique, mais dans tous les cas pourrait témoigner précocement d'un risque de fatigue.

L'insuline est un facteur de croissance qui reflète l'état nutritionnel du sportif. L'exercice intense, autant en préservant l'équilibre glycémique qu'en entraînant une inflammation, peut causer une insulino-résistance (Hyypä, 2008 ; McKeveer, 2011). Dans notre étude, nous avons constaté une augmentation modérée, mais progressive, de l'insulinémie avec un émoussement des mécanismes hyperglycémisants, en particulier en  $W_4$ . Cela permet de préserver l'équilibre glycémique lors de déplétion glycogénique, mais implique aussi des récupérations incomplètes et une baisse progressive de la sensibilité des tissus à l'insuline.

## Conclusions

Le surentraînement se place parmi les risques majeurs de contre-performance chez le cheval sportif, avec des conséquences multiples, sur les plans tant techniques qu'économiques. Il résulte d'une balance négative entre le stress induit par les charges de travail et les capacités d'adaptation et de récupération du cheval. Les résultats de cette étude longitudinale portant sur les facteurs endocriniens confirment que, quel que soit le paramètre choisi, aucun n'a la sensibilité ni la spécificité permettant à tout moment de statuer sur la qualité de l'entraînement, le surmenage ou le risque de surentraînement. Elle confirme

aussi, que des paramètres très simples en particulier la note d'état corporel, le poids et le comportement (perte d'appétit), considérés dans leur ensemble, permettent d'ajuster au mieux la gestion des chevaux d'un point de vue nutritionnel, environnemental et sportif, à condition qu'ils soient très régulièrement suivis. En cas de doute dans l'interprétation, les paramètres biochimiques conventionnels, toujours sous forme de bilans réguliers, peuvent être très informatifs pour apprécier les effets de l'entraînement et la capacité de récupération. Dans tous les cas, ils devraient faire parties intégrantes et systématiques de l'examen clinique, soit pour adapter le type et l'intensité du travail, soit pour confirmer une suspicion de contre-performance due au surentraînement.

L'étude d'un profil hormonal, standardisé et régulier, peut apporter une information cruciale et précoce sur l'évolution physiologique de la condition du cheval au cours du travail, toute perturbation pouvant être annonciatrice de fatigue et de risque de surentraînement. En cas de surentraînement avéré, il pourrait permettre d'évaluer la sévérité du syndrome, de suivre la restauration de l'équilibre physiologique et de déterminer une éventuelle guérison, ce qui pourrait être précieux pour la prise de décision, en particulier quant à la date de reprise du travail. Le suivi endocrinien pour les chevaux de haut niveau sportif pourrait consister en des dosages mensuels sanguins de cortisol, d'ACTH et de leptine ainsi que de testostérone. Si le suivi régulier n'est pas réalisé, et qu'un risque de surmenage ou de surentraînement est suspecté, il conviendra d'ajouter aux mesures de cortisol, d'ACTH, de leptine et de testostérone, celle d'IGF1 et d'interpréter ces données en fonction de la ration, du poids et de la note d'état corporel.

## Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement l'équipe de l'Académie Equestre du Grand Parc du Puy du Fou, pour la disponibilité et l'aide qu'ils nous ont accordés et également Monsieur le Docteur Martin-Rosset ainsi que Monsieur le Professeur Bergero pour avoir guidés cette étude.

## Références

- Barron, J.L., Noakes, T.D.F., Levy, W., Smith, C. and Millar, R.P. 1985. Hypothalamic dysfunction in over-trained athletes. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 60, 803-806.
- De Graaf-Roelfsema, E. 2009. The value of different clinical and biochemical markers to assess overtraining in horses. *In Proceedings of the European Veterinary Conference-Voorjaarsdagen*, Amsterdam, 23-25 April 2009, 10-11 p.
- De Graaf-Roelfsema, E., Keizer, H.A., van Breda, E., Wijnberg, I.D. and van der Kolk, J.H. 2007. Hormonal responses to acute exercise, training and overtraining. A review with emphasis on the horse. *Veterinary Quarterly* 29, 82-101.
- Gomez-Merino, D., Chennaoui, M., Drogou, C., Guezennec, C.Y. 2004. Influence of energy deficiency on the insulin-like growth factor I axis in a military training program. *Hormone and Metabolic Research* 36, 506-511.
- Gordon, M.E., McKeever, K.H., Betros, C.L., Manso, H.C. 2007. Exercise induced alterations in plasma glucose, insulin, cortisol, leptin, and ghrelin concentration in horses. *The Veterinary Journal* 173, 532-540.
- Hyypä, S. 2005. Endocrinal responses in exercising horses. *Livestock Production Science* 92, 113-121.
- Hyypä, S. 2008. Blood glucose in horses at rest and exercise. *In: Nutrition of the exercising horse*. Editors : Saastamoinen, M. and Martin-Rosset, W. Wageningen Academic Publishers, EAAP Series 125, 17-29.
- Lane, A.R., Duke, J.W., Hackney, A.C. 2010. Influence of dietary carbohydrate intake on the free testosterone: cortisol ratio responses of short-term intensive exercise training. *European Journal of Applied Physiology* 108, 1125-1131.
- Martin-Rosset, W., Vernet, J., Dubroeuq, H., Arnaud, G., Picard, A., Vermorel, M. 2008. Variation of fatness and energy content of body with body condition score in sport horses and its prediction. *In: Nutrition of the exercising horse*. Editors : Saastamoinen, M. and Martin-Rosset, W. Wageningen Academic Publishers, EAAP Series 125, 167-176.
- McGowan, C. 2008. Clinical pathology in the racing horse: the role of clinical pathology in assessing fitness and performance in the racehorse. *Veterinary Clinics of North America Equine Practice* 24, 405-421.
- McGowan, C.M. et Whitworth, D. J. 2008. Overtraining syndrome in horses. *Comparative Exercise Physiology* 5 (2), 57-65.

- McKeever, K.H. 2008. Body fluid and electrolytes: responses to exercise and training. *In: Equine exercise physiology*. Editors : Hinchcliff, K.W., Geor, R.J., Kaneps, A.J. Sanders Elsevier, pp 328-46.
- McKeever, K.H. 2011. Endocrine alterations in the Equine athlete: an update. *Veterinary Clinics of North America Equine Practice* 27, 197-218.
- Meeusen R., Nederhof, E., Buyse, L., Roelands, B., de Schutter, G., Piacentini, M.F. 2010. Diagnosis overtraining in athletes using the two- bout exercise protocol. *British Journal of Sport Medicine* 44, 642-648.
- Papacosta, E., Nassis G.P. 2011. Saliva as a tool for monitoring steroid, peptide and immune markers in sport and exercise science. *Journal of Science and Medicine in Sport* 14, 424-34.
- Rivero, J.L.L., van Breda, E., Rogers, C.W., Lindner, A., van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M.M. 2008. Unexplained underperformance syndrome in sport horses: classification, potential causes and recognition. *Equine Veterinary Journal* 40, 611-618.
- Steinacker, J. M., Brkic, M., Simsch, C., Nething, K., Kresz, A., Prokopchuk, O. and Liu, Y. 2005. Thyroid hormones, cytokines, physical training and metabolic control. *Hormone and Metabolic Research* 37, 538-544.
- Tanskanen, M.M., Kyrolainen H., Uusitalo A.L., Huovinen J., Nissila J., Kinnunen H., Atalay M., Hakkinen K. 2011. Serum sex hormone-binding globulin and cortisol concentrations are associated with overreaching during strenuous military training. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 25, 787-797.
- Tyler, C.M., Golland L.C., Evans D.L., Hodgson D.R., Rose R.J. 1996. Changes in maximum oxygen uptake during prolonged training, overtraining, and detraining in horses. *Journal of Applied Physiology* 81, 2244-49.
- Valle, E., Bergero, D. 2008. Electrolyte requirements and supplementation in exercising horses. *In: Nutrition of the exercising horse*. Editors : Saastamoinen, M. and Martin-Rosset, W. Wageningen Academic Publishers, EAAP Series 125, 219-232.