

Modélisation de la dépense énergétique du trotteur à l'entraînement et en course

Simulation

E. BARREY

INRA

Station de Génétique quantitative et appliquée
Groupe Cheval
78352 Jouy-en-Josas

En s'appuyant sur les connaissances disponibles, les fonctions cardio-respiratoire, musculaire et locomotrice impliquées dans l'effort physique sont mises en équations dans un programme informatique pour pouvoir simuler numériquement des exercices variés chez le cheval. Les principes généraux du programme sont exposés avant de présenter quelques exemples de simulation d'exercice chez le trotteur. Ce type de programme informatique offre des applications pédagogiques et pratiques, notamment pour l'enseignement des notions de base de la physiologie de l'exercice, l'aide au rationnement énergétique des chevaux de courses et la planification de l'entraînement.

Les connaissances acquises en physiologie sportive équine sont de plus en plus abondantes mais la synthèse des résultats scientifiques s'avère nécessaire pour envisager des applications pratiques utiles aux professionnels. En s'appuyant sur les nombreuses données scientifiques disponibles, les différentes fonctions de l'organisme impliquées lors d'un effort physique ont été modélisées et intégrées au sein d'un logiciel de calcul pour constituer un outil informatique de simulation de l'effort chez le cheval (Barrey 1990). Il s'agit de tableaux de calcul qui permettent de suivre l'évolution de paramètres physiologiques, énergétiques et locomoteurs en fonction des caractéristiques d'un effort demandé.

Le principe de modélisation de la dépense énergétique de l'organisme est sommairement exposé avant de présenter quelques exemples de simulation d'exercice du cheval trotteur à l'entraînement et en course.

PRINCIPE DE LA SIMULATION DU CHEVAL A L'EFFORT

Le programme fonctionne sur un programme de calcul de type tableur. Il comporte 5 tableaux de calcul interactifs qui comprennent respectivement les caractéristiques du cheval et du cavalier ou du driver, les simulations des exercices au pas, au trot et au galop sur le plat ou à l'obstacle.

L'effort demandé au cheval par l'utilisateur est fixé par le choix de l'allure, de la vitesse moyenne, de la distance et de l'accélération. Ces données de base étant entrées dans les tableaux, le logiciel calcule trois catégories de paramètres qui décrivent quantitativement la réponse des différentes fonctions de l'organisme : la première décrit le fonctionnement cardio-respiratoire qui concourt à l'approvisionnement énergétique des muscles ; la seconde renseigne sur le métabolisme énergétique mis en jeu lors des contractions musculaires ; enfin, la troisième décrit la locomotion. Tous les calculs sont effectués d'après des équations qui modélisent la réponse de l'organisme à un effort physique donné. Ces équations ont été établies d'après des données expérimentales.

La simulation de la dépense énergétique s'inspire d'un modèle énergétique utilisé chez l'athlète humain, basé sur la première loi de la thermodynamique. Pour plus de détails, les lecteurs pourront se reporter aux articles scientifiques originaux (Barrey 1990, Barrey 1993). On peut évaluer la puissance métabolique totale par l'égalité suivante :

$$P \text{ métabolique totale} = P \text{ aérobie} + P \text{ anaérobie}$$

où la puissance aérobie est déterminée en tenant compte du poids, de l'état d'entraînement et de la vitesse

du cheval ; la puissance anaérobie est aussi estimée par un modèle d'après le poids et la vitesse.

La dépense d'énergie métabolique totale permet d'estimer le besoin nutritionnel correspondant à la production de l'effort musculaire. Celui-ci est calculé selon le rapport entre la dépense d'énergie métabolique totale et la valeur énergétique de l'unité énergétique de rationnement propre au cheval :

$$\text{Besoins nutritionnels} = \frac{\text{Energie métabolique totale}}{9196}$$

Sachant que l'Unité Fourragère Cheval (UFC) correspond à 9196 kJ (soit 2200 kcal) d'énergie nette apportée par un kilogramme d'orge (de référence) pour un cheval à l'entretien (Vermorel et al. 1984, Martin-Rosset et al. 1990).

EXEMPLES DE SIMULATION DE DIFFERENTS EXERCICES DU CHEVAL TROTTEUR

A titre d'exemples, nous avons soumis à plusieurs exercices un même cheval trotteur de 480 kg. Le modèle tient compte des variations d'aptitude en fixant les caractéristiques morphométriques et physiologiques telles que la consommation maximale d'oxygène et la fréquence cardiaque maximale.

Le cheval effectue tout d'abord une séance d'entraînement de capacité aérobie comprenant un échauffement, puis trois séquences de trot de 4 min à 620 m/min suivies d'une période de récupération. A titre de comparaison, une course de 2150 m courue à la vitesse moyenne de 732 m/min est également simulée.

Les tableaux I et II récapitulent les principaux paramètres physio-énergétiques calculés par le programme pour le travail d'entraînement et de course.

La séance de capacité aérobie s'effectue à 96 % de la VO₂max à une fréquence cardiaque de 205 bat/min. La couverture de la dépense énergétique est alors à 65 % d'origine aérobie et 35 % anaérobie. Cette séance d'entraînement (échauffement + travail + récupération) représente un besoin nutritionnel en énergie de 3,9 UFC, équivalent à 3,9 kg d'orge ou 4,4 kg d'avoine. Ce besoin est associé au travail physique et vient donc s'ajouter au besoin d'entretien qui est d'environ 4,2 UFC/j. Une séance d'entraînement telle que celle-ci double quasiment le besoin énergétique du cheval par rapport à l'état de repos.

La course qui a été simulée est une performance très moyenne (réduction kilométrique 1'22"), pourtant cet effort requiert 98 % de la VO₂max et le métabolisme anaérobie assure 46 % des dépenses énergétiques. Il s'agit donc bien d'un exercice bref de forte puissance qui engendre une fréquence cardiaque maximale de 218 bat/min et une lactatémie de fin d'effort de 18mmol/l. L'échauffement, la course et la récupération représentent une dépense énergétique correspondant à 1,9 UFC, soit presque 2 kg d'orge ou 2,2 kg d'avoine. Ce type d'exercice est plus intense que la séance d'entraînement mais il dure aussi moins longtemps, si bien que globalement la dépense énergétique est moindre.

DISCUSSION

La simulation du cheval à l'effort repose sur la modélisation mathématique du comportement des principales fonctions de l'organisme impliquées au cours d'un exercice sportif. Les modèles réalisés sont interactifs et essayent d'intégrer le plus grand nombre de connaissances disponibles.

Tableau I : Simulation d'une séance d'entraînement de capacité aérobie.

PARAMETRE	VALEUR	UNITE
LOCOMOTION		
Vitesse	620	m/min
Cadence	2,18	foulées/sec
Amplitude	4,74	m/foulée
PHYSIOLOGIE		
Fréquence cardiaque	205	bat/min
Fréquence respiratoire	127	cycles/min
VO ₂	115	ml/min/kg
Ventilation	1301	l/min
Hématocrite	50	%
Lactatémie	8,5	mmol/l
BILAN ENERGETIQUE		
Puissance aérobie	19227	W
Puissance anaérobie	110511	W
Puissance métabolique totale	29738	W
Proportion anaérobie	35	%
Dépense énergétique totale	21411	kJ
Besoin nutritionnel	2,33	UFC

Tableau II : Simulation d'une course.

PARAMETRE	VALEUR	UNITE
LOCOMOTION		
Vitesse	732	m/min
Cadence	2,19	foulées/sec
Amplitude	5,57	m/foulée
PHYSIOLOGIE		
Fréquence cardiaque	218	bat/min
Fréquence respiratoire	138	cycles/min
VO ₂	118	ml/min/kg
Ventilation	1387	l/min
Hématocrite	52	%
Lactatémie	17,9	mmol/l
BILAN ENERGETIQUE		
Puissance aérobie	19870	W
Puissance anaérobie	18738	W
Puissance métabolique totale	38405	W
Proportion anaérobie	48	%
Dépense énergétique totale	8400	kJ
Besoin nutritionnel	0,70	UFC

Il est notamment possible de faire jouer la variabilité individuelle, l'état d'entraînement et les conditions particulières de l'épreuve. Les exemples présentés témoignent de la cohérence des modèles utilisés avec les données expérimentales du terrain.

Cet outil informatique de simulation a l'intérêt de donner rapidement des estimations de la dépense énergétique associée à la pratique d'un exercice physique. Il présente néanmoins certaines limites dans son principe de fonctionnement et dans la précision des résultats annoncés. Par exemple, le choix d'une vitesse moyenne pour

fixer le niveau d'effort reste approximatif pour simuler des exercices de courte durée pendant lesquels la vitesse varie continuellement. Le programme permet seulement de sommer des séquences d'allure à vitesse stabilisée.

La détermination des paramètres énergétiques est basée sur la connaissance de la puissance aérobie, anaérobie et de la puissance mécanique. A partir de ces informations, il est déduit la puissance calorifique dégagée sans que l'on puisse confronter ce résultat à des données expérimentales existantes. Toutefois, les rendements

calculés dans les différents exemples sont cohérents avec les données bibliographiques. D'après les travaux de thermodynamique effectués chez le cheval (cités par Vermorel et al. 1984), ce rendement oscille entre 9 et 36%. Aux vitesses rapides, au trot comme au galop, le rendement peut théoriquement dépasser cette limite grâce à un phénomène biomécanique de recyclage d'énergie par le jeu de l'élasticité tendineuse et ligamentaire des membres.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce simulateur a l'intérêt de regrouper de manière interactive un ensemble de connaissances physiologiques chiffrées au sein d'un programme informatique évolutif. Celui-ci peut facilement intégrer des connaissances nouvelles et être ainsi perfectionné.

Cet outil informatique permet des applications pour la formation, la programmation des séances d'entraînement et le rationnement énergétique.

Depuis sa conception, ce programme a effectivement servi à quantifier la charge de travail de séances d'entraînement du cheval de CCE et de différents protocoles expérimentaux.

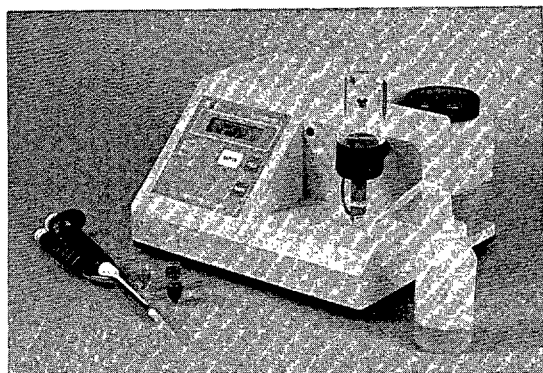
L'adaptation du rationnement énergétique de chevaux soumis à d'importantes dépenses énergétiques (courses, endurance, randonnée, concours complet) peut bénéficier de la facilité de calcul qui est offerte par ce programme. Il est actuellement utilisé pour estimer le besoin nutritionnel en énergie du cheval trotteur en période d'entraînement. En effet, les recommandations INRA ou NRC ne sont pas prévues pour répondre précisément aux besoins énergétiques associés au travail des chevaux trotteurs soumis à des exercices beaucoup plus intenses que les chevaux de sport. Pour initier les élèves à la physiologie de l'exercice chez le cheval, ce type de programme a certainement un grand intérêt pédagogique de par sa fonctionnalité et son aspect ludique (Avis aux enseignants développeurs !).

BIBLIOGRAPHIE :

- Barrey E. (1990), Modélisation du cheval à l'effort : mise au point d'un simulateur sur un logiciel de calcul. *Rec Méd Vet* 166(12), 1135-1144.
- Barrey E. (1993), Simulation des dépenses énergétiques chez le cheval en compétition. *Science et Sports* 8, 109-115.
- Martin-Rosset W. (ed) (1990), *L'alimentation des chevaux*, INRA Pub., Paris, pp 232.
- Vermorel M., Jarrige R., Martin-Rosset W. (1984), Métabolisme et besoins énergétiques du cheval - Le système UFC. *Le Cheval*, INRA Pub., Versailles, 276-302.

ANALYSEUR DE LACTATE - MICROZYM-L

entièrement conçu en réponse aux besoins médico-sportifs



- MICROMÉTHODE**, sur 20 μ l de sang total (ou sérum).
- RAPIDE**, 45 mesures/heure ; résultats en 15 secondes.
- SIMPLE**, les messages vous guident. Vous répondez OUI, NON ou SUITE.
- EN LABORATOIRE ou SUR LE TERRAIN**, petit, léger, transportable, équipé de batteries internes...

NOUVEAUTE

REACTIFS LONGUE CONSERVATION
« HCR » PRETS A L'EMPLOI DIRECT

MICROZYM-L est une réalisation conjointe GIP Exercice, INSERM U305 et SGI
SGI : 15, Allées de Bellefontaine - 31100 TOULOUSE - Tél. 61.40.85.85 - FAX 61.41.51.78