



42^{ème} Journée de la Recherche Équine
Jeudi 17 mars 2016

Héritabilité de la récupération cardiaque chez le cheval d'endurance

Mohamed Younes¹, Céline Robert^{2,3}, Christine Blouin³, François Cottin¹, Eric Barrey³

¹ CIAMS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, 91405 Orsay Cedex, France

² Université Paris-Est, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Maisons-Alfort, France

³ GABI, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Jouy-en-Josas, France
eric.barrey@jouy.inra.fr

Résumé

La récupération cardiaque est un paramètre déterminant du classement sur les épreuves d'endurance (80-160 km). La sélection génétique des chevaux d'endurance sur ce critère de récupération cardiaque pourrait avoir un intérêt pratique si l'héritabilité est suffisante. L'objectif de ce travail est d'estimer les paramètres génétiques (héritabilités et corrélations génétiques) des quatre variables qui caractérisent la récupération cardiaque au vet-gate : la fréquence cardiaque de récupération (FCR), le temps moyen de récupération cardiaque (TMRC), le temps total de récupération cardiaque (TTRC) et la vitesse moyenne (V.moy) pendant la course. La population est constituée de 4 421 compétiteurs de pédigrée connu. L'héritabilité de chaque paramètre enregistré a été estimée en utilisant la méthode «Restricted Estimator of Maximal Likelihood». Les héritabilités du TMRC (0,45) et du TTRC (0,30) sont assez élevées, tandis que celles de la V.moy (0,13) et de la FCR (0,07) sont faibles. D'autre part, une corrélation génétique négative assez forte (-0,62) a été estimée entre le TMRC et la V.moy. Le TMRC pourrait être un critère indirect de sélection, efficace pour améliorer les performances des chevaux d'endurance. Le temps de récupération cardiaque devrait être mesuré et affiché en course au même titre que la vitesse et le classement de la course.

Mots clés : récupération cardiaque, vitesse, génétique, endurance, performance

Summary

The recovery heart rate is the primary criterion evaluated at the vet gate in endurance events. Genetic selection of endurance horses based on recovery heart rate variables could have a practical interest if the heritability is high enough. The aim of this study was to estimate genetic parameters (heritability and genetic correlations) of variables describing recovery heart rate in endurance horses: mean cardiac recovery time (MCRT), recovery heart rate (RHR), total cardiac recovery time (TCRT) and average speed (AS) during the ride. The database included 4 421 horses (2 589 different horses) of known pedigrees. The heritabilities were estimated using Restricted Estimator of Maximal Likelihood (REML, VCE6) method with animal mixed model. Heritabilities of the MCRT (0.45) and the TTRC (0.30) were the highest. However, heritability of the AS (0.13) and RHR (0.07) were lower. Furthermore, a negative genetic correlation (-0.62) was found between MCRT and AS. The TMRC could be a useful criterion for breeding selection of the best endurance horses. The recovery time should be measured during the competitions like speed and placement.

Key-words: recovery heart rate, speed, genetic, endurance, performance



Introduction

Le nombre de courses d'endurance a considérablement augmenté ces dernières années avec une demande croissante de chevaux performants dans ce sport. Les courses d'endurance consistent à parcourir de longues distances (80-160 km) en plusieurs étapes de 30 à 40 km. Après chaque étape, des contrôles vétérinaires (vet-gate) sont obligatoires pour valider la capacité du cheval à poursuivre la course. Le premier critère évalué au vet-gate est la fréquence cardiaque de récupération (FCR). Les chevaux mettant plus de 20 minutes à descendre à une FCR de 64 battements par minute (bpm) sont éliminés de la course (FEI., 2016). Les chevaux de race Arabe et croisés Arabe semblent présenter les caractères physiologiques et génétiques les mieux adaptés pour les courses d'endurance (Ricard et Touvais, 2007).

Pour améliorer l'aptitude sportive d'une race de chevaux par la sélection génétique, il faut déterminer quelle est la part du caractère transmis par les parents. C'est l'héritabilité (h^2) qui indique le pourcentage du caractère qui peut être transmis par un reproducteur à sa descendance. Par définition, l'héritabilité (h^2) est le rapport entre la variance génétique additive du caractère et la variance phénotypique de ce caractère ($h^2 = \text{variance génétique} / \text{variance phénotypique}$). L'héritabilité est comprise entre 0 et 1 (h^2 faible : inférieure à 0,2 ; h^2 moyenne entre 0,21 et 0,4 et h^2 élevée : supérieure à 0,4) (Bailey., 2014).

Chez le cheval, plusieurs études ont estimé l'héritabilité de différents paramètres de la performance. Environ 15 à 25% ($h^2=0,15$ à $0,25$) de la performance en concours hippique est d'origine héréditaire (Tavernier., 1992), 20% en saut d'obstacle, 11% en dressage et 17% à 26% en course de trot (Ricard *et al.*, 2000). Chez le cheval d'endurance, les héritabilités de la vitesse et du classement pour les courses de 80-160 km sont respectivement de 28 % et 6% (Ricard et Touvais, 2007). D'autres études, ont estimé l'héritabilité du temps de course à 32% chez les trotteurs Standardbred (Suontama *et al.*, 2012) et 52% chez les Pur-sang anglais (Veli *et al.*, 2014).

La récupération cardiaque est influencée principalement par l'entraînement et la génétique. Chez l'homme, les héritabilités de la FCR et la FC d'effort sont respectivement de 34% et 32% (Ingelsson *et al.*, 2007) et l'héritabilité de la VO_{2max} est de 50% (Bouchard *et al.*, 1998). Chez le cheval, les héritabilités de la vitesse pour une FC de 200 bpm (V_{200}) et de la vitesse à 4 mmol de lactate (VL_4) sont respectivement de 46% et 10% chez les chevaux de race Trotteur Français (Barrey *et al.*, 2010). Cependant, aucune étude n'a estimé l'héritabilité de la récupération cardiaque qui est un paramètre déterminant de la performance en course d'endurance.

L'objectif de cette étude est d'estimer les paramètres génétiques (héritabilités et corrélations génétiques) des quatre variables qui caractérisent la récupération cardiaque en course d'endurance : la fréquence cardiaque de récupération (FCR), le temps moyen de récupération cardiaque (TMRC) à chaque étape de la course, le temps total de récupération cardiaque (TTRC) pendant toute la course et la vitesse moyenne (V_{moy}) sur la course.

1 Matériels et méthodes

1.1 Base de données

Les données ont été collectées par la société ATRM de chronométrage officiel de la FEI sur les courses d'endurance (80-160 km) organisées en Europe (France, Portugal et Espagne) entre 2007 et 2011 (Tableau 1). Elles sont constituées de 4 421 partants (2 589 chevaux différents) de pédigrée connu, qui représentent 655 pères uniques (numéros SIRE) et 1 744 mères uniques avec en moyenne 18,5 descendants par père. Les courses aux Emirats Arabes Unis (EAU) ont été exclues de cette étude afin de minimiser des effets pays extrêmes notamment dus aux conditions environnementales et de course très différentes.

Les informations disponibles sont : les numéros SIRE du cheval, du père, de la mère et du père de la mère, épreuve, pays, distance de course, âge du cheval, classement final, fréquence cardiaque de récupération (FCR) à chaque étape de la course, temps moyen de récupération cardiaque (TMRC) à chaque étape de la course, temps total de récupération cardiaque (TTRC) sur l'ensemble de la course, vitesse moyenne (V_{moy}) sur la course et les indices de performance en raid d'endurance (IRE).

**Tableau 1** : Caractéristiques de la population des chevaux étudiés*Table 1: Characteristics of the horse population*

Distance de la course	Nombre de chevaux	Classement final		Age (ans)			Pays	
		Classés	Éliminés	6-8	9-11	12-19	FRA	ESP-POR
80-119 km	1 598	1 098	500	1 196	304	98	1 598	0
120-139 km	1 994	1 184	810	777	861	356	1 940	54
140-160 km	829	517	312	174	429	226	528	301
Total	4 421	2 799	1 622	2 147	1 594	680	4 066	355
Pourcentage %	100	63,3	36,7	48,5	36	15,5	92	8

FRA : France, ESP-POR : Espagne-Portugal

1.2 Analyse statistique

Par définition, l'héritabilité d'une mesure phénotypique est le rapport entre la variance génétique additive $V(G)$ (liée au pédigrée) par la variance phénotypique de cette mesure $V(Y)$: $h^2 = V(G)/V(Y)$. L'héritabilité varie entre 0 et 1 et elle permet d'évaluer la part du caractère qui est transmise par les parents à leur descendance par la génétique. Afin d'estimer l'héritabilité de chaque mesure enregistrée (V.moy, FCR, TMRC, TTRC), la résolution du modèle suivant par la méthode REML (Restricted Estimator of Maximal Likelihood, VCE6 ; Mielenz *et al.*, 1994) permet d'estimer la variance génétique additive $V(G)$ et la variance phénotypique $V(Y)$ de chaque mesure de récupération cardiaque Y :

$$Y_{ijklmnop} = \text{pays}_i + \text{distance}_{ij} + \text{age}_{ijk} + \text{sexe}_{ijkl} + \text{classement final}_{ijklm} + \text{environnement permanent}_{ijklmn}^* + \text{effet génétique (animal)}_{ijklmno}^* + \text{erreur résiduelle}_{ijklmnop}$$

La variance phénotypique totale de la mesure Y est expliquée par des effets fixés a priori (pays de la course, distance de course, âge, sexe et statut de classement final), des effets aléatoires (*) à estimer par la résolution du modèle (effet génétique additif lié aux pédigrées et effet d'environnement permanent de chaque cheval) et de l'erreur résiduelle qui correspond à des effets non expliqués.

2 Résultats

Les analyses de la variance préalables à la résolution du modèle ont montré un effet significatif ($p < 0,001$) des effets fixes (pays, distance, âge, sexe et classement) sur les variables enregistrées sur les courses (V.moy, FCR, TMRC, TTRC).

Les héritabilités du TMRC ($h^2 = 0,45$) et TTRC ($h^2 = 0,30$) sont assez élevées tandis que les héritabilités de la V.moy ($h^2 = 0,13$) et de la FCR ($h^2 = 0,07$) sont faibles (Tableau 2). D'autre part, la corrélation génétique négative assez forte ($R_g = -0,62$) entre le TMRC et la vitesse est aussi confirmée par la forte corrélation négative $R_g = -0,54$ entre la TTRC et la vitesse (Tableau 2). Ces corrélations génétiques négatives assez élevées montrent que l'amélioration génétique du caractère temps de récupération cardiaque va dans le même sens que l'amélioration de la vitesse de course.

Tableau 2 : Héritabilités (Erreur Standard) en gras dans la diagonale, corrélations génétiques (ES) dans la moitié supérieure et corrélations phénotypiques ($p < 0,001$) dans la moitié inférieure.*Table 2: Heritabilities (Standard error) in bold type, genetic correlations in the upper half and phenotypic correlations ($p < 0.001$) in the lower half.*

	V.moy (km/h)	TMRC (min)	TTRC (min)	FCR (bpm)
V.moy (km/h)	0,13 (0,03)	-0,62 (0,11)	-0,54 (0,12)	-0,10 (0,22)
TMRC (min)	-0,31	0,45 (0,05)	0,97 (0,01)	0,23 (0,15)
TTRC (min)	-0,27	0,84	0,30 (0,04)	0,30 (0,14)
FCR (bpm)	0,1	-0,02	0,05	0,07 (0,02)

V.moy : vitesse moyenne, FCR : fréquence cardiaque de récupération, TMRC : temps moyen de récupération cardiaque, TTRC : temps total de récupération cardiaque.



Les corrélations phénotypiques entre les critères de récupération cardiaque et les indices de performance IRE indiquent que le temps de récupération cardiaque (TMRC) est significativement corrélé positivement avec l'indice de performance et toutes ses composantes vitesse, distance et classement ($R=0,19$ à $0,22$) (Tableau 3).

Tableau 3 : Corrélations phénotypiques entre les variables mesurées et les indices de performance (IRE et ses trois composantes : vitesse, distance et classement) chez le cheval d'endurance.

Table 3: Phenotypic correlations between racing variables and performance indices in endurance horses.

Variabiles	IRE	Vitesse	Distance	Classement
V.moy	0,33**	0,43**	0,21**	0,22**
TMRC	-0,22**	-0,21**	-0,19**	-0,19**
TTRC	-0,09**	-0,25**	-0,03*	-0,03*
FCR	0,03*	0,01	0,04*	0,03*

IRE: Indice de performance en raid d'endurance, V.moy : vitesse moyenne, FCR : fréquence cardiaque de récupération, TMRC : temps moyen de récupération cardiaque, TTRC : temps total de récupération cardiaque, *: $p < 0,05$; **: $p < 0,0001$.

3 Discussion

3.1 Intérêt pratique de l'étude

Plusieurs études ont estimé l'héritabilité des différents critères de performance afin d'améliorer la race des chevaux par la sélection génétique. Actuellement, la sélection des chevaux d'endurance repose notamment sur des indices de performance qui tiennent compte de la vitesse, du classement et de la distance de la course (Ricard et Touvais, 2005). Nous avons montré que le paramètre physiologique TMRC peut avoir un intérêt pratique comme critère indirect de sélection des chevaux d'endurance.

Cette étude est la seule dans la littérature à avoir estimé l'héritabilité des paramètres qui caractérisent la récupération cardiaque chez le cheval d'endurance. Ainsi, 45% ($h^2=0,45$) du caractère « temps de récupération cardiaque » serait génétiquement transmissible des parents à la descendance chez le cheval d'endurance de race Arabe. De plus, l'amélioration génétique du caractère temps de récupération cardiaque va dans le même sens que celui de la vitesse de course.

3.2 Méthode d'analyse et population d'étude

Les 4 421 compétiteurs de pédigrée connu reflètent, en moyenne 18,5 descendants par père. Ceci représente un lien familial acceptable entre les différents chevaux en comparaison avec l'étude de Veli *et al.* en 2014 (1 071 pères pour 4 947 chevaux de course).

Dans la littérature, la plupart des études d'héritabilité ont utilisé la méthode de REML afin d'estimer la part génétique des critères de performance (Burns *et al.* 2006, Bailey. 2014, Gomez *et al.* 2010, Welsh *et al.* 2014). En effet, la méthode de REML est la plus adaptée aux variations de taille des familles et des conditions environnementales. Elle permet d'inclure à la fois des effets fixes (pays, distance, âge, sexe et classement final) et des effets aléatoires inconnus (effet génétique : pédigrée, environnement commun pour chaque animal). Dans cette étude, il n'était pas possible d'inclure d'autres effets fixes en raison du manque d'informations enregistrées supplémentaires et surtout de la taille de la population d'étude.

3.3 Discussion des résultats

Les paramètres de récupération cardiaque (TMRC et FCR dans une moindre mesure) et la vitesse sont des indicateurs fiables pour estimer la performance et le risque d'élimination en course d'endurance (Younes *et al.*, 2015). La récupération cardiaque est un bon indicateur du niveau d'entraînement chez le cheval d'endurance (Bitschnau *et al.*, 2010) et reflète la puissance du système modérateur parasympathique agissant sur la fréquence cardiaque (Cottin *et al.*, 2006). Ainsi, l'entraînement accélère la récupération cardiaque par amélioration de la capacité aérobie ($VO_2\max$) et augmentation du tonus vagal (Hada *et al.*, 2006 ; Kinnunen *et al.*, 2006). Chez le cheval d'endurance, cette récupération cardiaque apparaît très influencée par la génétique ($h^2=0,45$ du TMRC est d'origine héréditaire). Cette héritabilité assez élevée est en cohérence avec l'héritabilité de la V_{200} ($h^2=0,46$) estimée chez des trotteurs français (Barrey *et al.*, 2010). La FCR semble moins influencée par l'effet génétique ($h^2= 0,12$ dans notre étude). Cette valeur est proche de l'héritabilité de la V_{La4} ($h^2=0,10$) chez les trotteurs (Barrey *et al.*, 2010). Chez l'homme, les héritabilités de la FCR et la FC d'effort sont respectivement de 0,34 et 0,32 (Ingelsson *et al.*, 2007) et l'héritabilité de la



VO₂max est de 0,50 en utilisant d'autres types de modèles statistiques basés sur des familles de jumeaux (Bouchard *et al.*, 1998).

L'estimation de l'héritabilité de la vitesse des courses dans cette étude est de 0,12 contre 0,25 démontré par Ricard et Touvais (2007) sur une population plus large (9 059 chevaux d'endurance). Cette différence d'héritabilité peut être expliquée par des répartitions différentes des catégories d'âge, de distance et de pays entre les deux études. D'autres facteurs environnementaux extérieurs comme la température, l'humidité, la qualité du terrain ou encore les différentes stratégies des cavaliers, peuvent aussi retentir sur l'estimation de l'héritabilité entre les différentes études (Gomez., 2010). Par ailleurs, la corrélation génétique négative assez forte (-0,62) entre le TMRC et la vitesse montre que le TMRC a probablement déjà été sélectionné à travers le critère de vitesse de course actuellement pris en compte pour la sélection. Les deux caractères peuvent être améliorés en parallèle sans antagonisme de sélection.

Conclusion

Le temps de récupération cardiaque en course d'endurance apparaît fortement influencé par la génétique, tandis que la fréquence cardiaque de récupération dépend davantage de l'entraînement et d'autres facteurs environnementaux. Une sélection sur le temps de récupération cardiaque (TMRC) pourrait être un caractère physiologique supplémentaire à prendre en compte pour améliorer les performances des chevaux d'endurance mais il faudrait que ces paramètres cardiaques, qui sont mesurés et affichés en courses, soient systématiquement enregistrés et analysables sur la population dans son ensemble au même titre que la vitesse et le classement de la course.

Remerciements

Nous remercions la société ATRM Systems pour la communication des données sur lesquelles repose cette étude.

Références

- Bailey, E. 2014. Heritability and the Equine Clinician. *Equine Veterinary Journal* 46(1): 12–14.
- Barrey, E. 2010. Review: Genetics and Genomics in Equine Exercise Physiology: An Overview of the New Applications of Molecular Biology as Positive and Negative Markers of Performance and Health. *Equine Veterinary Journal. Supplement*(38): 561–568.
- Bitschnau, C., T. Wiestner, D. S. Trachsel, J. A. Auer, and M. A. Weishaupt. 2010. Performance Parameters and Post Exercise Heart Rate Recovery in Warmblood Sports Horses of Different Performance Levels. *Equine Veterinary Journal. Supplement*(38): 17–22.
- Bouchard, C., Daw, E. W. and T. Rice. 1998. Familial Resemblance for VO₂max in the Sedentary State: The HERITAGE Family Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30(2): 252–258.
- Burns, E.M., Enns, R.M. and Garrick, D.J. 2006. The Effect of Simulated Censored Data on Estimates of Heritability of Longevity in the Thoroughbred Racing Industry. *Genetics and Molecular Research: GMR* 5(1): 7–15.
- FEI Endurance Rules. <http://www.fei.org/fei/regulations/endurance>, accessed January 15, 2016.
- Gómez, M. D., A. Menendez-Buxadera, M. Valera, and A. Molina. 2010. Estimation of Genetic Parameters for Racing Speed at Different Distances in Young and Adult Spanish Trotter Horses Using the Random Regression Model. *Journal of Animal Breeding and Genetics = Zeitschrift Für Tierzucht Und Züchtungsbiologie* 127(5): 385–394.
- Hada, T., H. Ohmura, K. Mukai. 2006. Utilisation of the Time Constant Calculated from Heart Rate Recovery after Exercise for Evaluation of Autonomic Activity in Horses. *Equine Veterinary Journal. Supplement*(36): 141–145.
- Ingelsson, E., M. G. Larson, R. S. Vasan. 2007. Heritability, Linkage, and Genetic Associations of Exercise Treadmill Test Responses. *Circulation* 115(23): 2917–2924.
- Install Binaries — VCE - Eildert Groeneveld. <http://vce.tzv.fal.de/software/documentation/install-binaries>, accessed January 15, 2016.
- Kinnunen, S., R. Laukkanen, J. Haldi, O. Hanninen, and M. Atalay. 2006. Heart Rate Variability in Trotters during Different Training Periods. *Equine Veterinary Journal. Supplement*(36): 214–217.
- Mielenz, N., Groeneveld E., Müller J., Spilke J. 1994. Simultaneous estimation of variances and covariances using REML and Henderson 3 in a selected population of White Leghorns. *Br Poult Sci.* 35(5):669-76.



- Ricard, A., and M. Touvais. 2005. Des Indices Pour L'endurance? Article-journal. Equ'idée 053. [http://babordplus.univbordeaux.fr/notice.php?q=auteurs_tous%3A\(%22Touvais%2C%20M.%22\)&spec_expand=&start=1](http://babordplus.univbordeaux.fr/notice.php?q=auteurs_tous%3A(%22Touvais%2C%20M.%22)&spec_expand=&start=1), accessed November 17, 2014.
- Ricard, A., and M. Touvais. 2007. Genetic Parameters of Performance Traits in Horse Endurance Races. *Livestock Science* 110(1-2): 118-125.
- Ricard, A., Bruns, E., Cunningham, E.P., 2000. Genetics of performance traits. In: Bowling, A.T., Ruvinsky, A. (Eds.), *The Genetics of the Horse*. Cab international, pp. 411-438.
- Suontama, M., J. H. J. van der Werf, J. Juga, and M. Ojala. 2012. Genetic Parameters for Racing Records in Trotters Using Linear and Generalized Linear Models. *Journal of Animal Science* 90(9): 2921-2930.
- Tavernier, A.1992. Is the Performance at 4 Years in Jumping Informative for Later Results. In 43rd Annual Meeting of European Association for Animal Production Pp. 13-17.
- Velie, B. D., H. W. Raadsma, C. M. Wade, P. K. Knight, and N. A. Hamilton. 2014. Heritability of Epistaxis in the Australian Thoroughbred Racehorse Population. *Veterinary Journal (London, England: 1997)* 202(2): 274-278.
- Welsh, Claire E., Thomas W. Lewis, Sarah C. Blott. 2014. Estimates of Genetic Parameters of Distal Limb Fracture and Superficial Digital Flexor Tendon Injury in UK Thoroughbred Racehorses. *Veterinary Journal (London, England: 1997)* 200(2): 253-256.
- Younes, M., C. Robert, F. Cottin, and E. Barrey. 2015. Speed and Cardiac Recovery Variables Predict the Probability of Elimination in Equine Endurance Events. *PLoS One* 10(8): e0137013.