

Les carrières sportive et d'étalon reproducteur sont-elles compatibles ?

Auteur : Pierre, Marie

Promoteur(s) : Deleuze, Stefan

Faculté : Faculté de Médecine Vétérinaire

Diplôme : Master en médecine vétérinaire

Année académique : 2022-2023

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/17693>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**LES CARRIÈRES SPORTIVE ET D'ÉTALON
REPRODUCTEUR SONT-ELLES COMPATIBLES ?**

***ARE SPORTING AND BREEDING STALLION CAREERS
COMPATIBLE?***

Marie PIERRE

Travail de fin d'études
présenté en vue de l'obtention du grade
de Médecin Vétérinaire

ANNÉE ACADÉMIQUE 2022/2023

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur.

**LES CARRIÈRES SPORTIVE ET D'ÉTALON
REPRODUCTEUR SONT-ELLES COMPATIBLES ?**

***ARE SPORTING AND BREEDING STALLION CAREERS
COMPATIBLE?***

Marie PIERRE

Tuteur : Professeur S. Deleuze

Travail de fin d'études
présenté en vue de l'obtention du grade
de Médecin Vétérinaire

ANNÉE ACADÉMIQUE 2022/2023

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur.

LES CARRIÈRES SPORTIVE ET D'ÉTALON REPRODUCTEUR SONT-ELLES COMPATIBLES ?

OBJECTIF DU TRAVAIL

L'objectif de cette étude est d'identifier les facteurs liés à la carrière d'un étalon de sport pouvant avoir un impact sur sa capacité à être un reproducteur performant, afin de déterminer la compatibilité d'une double carrière.

RÉSUMÉ

Chaque éleveur nourrit le rêve de compter, un jour, parmi ses protégés, un cheval d'exception. Dans le contexte actuel où l'intérêt pour la sélection génétique dans l'élevage des chevaux de sport est en constante augmentation, les performances sportives d'un cheval sont étroitement liées à la demande pour sa reproduction.

Cette réalité indéniable amène à se poser la question de la double casquette qu'un étalon aux résultats sportifs probants est contraint de porter : celle d'athlète et de reproducteur. Le présent travail s'attache à apporter une réponse à cette question en se focalisant spécifiquement sur l'impact du sport sur sa reproduction.

Dans un premier temps, elle identifie les éléments essentiels pour être un reproducteur de qualité, en mettant en évidence les facteurs qui peuvent influencer cette fonction. Ensuite, elle examine le mode de vie des chevaux de sport en se concentrant uniquement sur certains aspects pouvant affecter leur fertilité et dans quelle mesure.

Pour terminer, une comparaison sera effectuée entre les éléments identifiés dans les deux premières parties, mettant en évidence différents aspects de la vie sportive qui pourraient avoir un impact négatif sur la fertilité. Cependant, les études menées à ce sujet révèlent des résultats variables, tantôt négatifs, tantôt positifs, quant à l'effet du sport sur cette dernière. Cela suggère que d'autres éléments, tels que des facteurs individuels, la gestion du cheval, la durée, le type et l'intensité de l'exercice, interviennent également.

En conclusion, la fertilité chez les étalons est un sujet complexe où de nombreux éléments entrent en jeu et il est difficile de fournir une réponse définitive quant à l'influence du sport sur celle-ci.

ARE SPORTING AND BREEDING STALLION CAREERS COMPATIBLE?

AIM OF THE WORK

The objective of this study is to identify factors related to the career of a sport stallion that can impact its ability to be a successful breeder, in order to determine the compatibility of a dual career.

SUMMARY

Every breeder nourishes the dream of having an exceptional horse among their favourites one day. In the current context where interest in genetic selection in the breeding of sport horses is constantly increasing, the athletic performance of a this one is closely linked to the demand for its reproduction.

This undeniable reality raises the question of the dual role that a stallion with proven athletic results is required to fulfill : that of an athlete and a breeding stallion. This study aims to provide an answer to this question by specifically focusing on the impact of sport on their reproduction.

Firstly, it identifies the essential elements for being a quality breeding stallion, highlighting the factors that can influence this function. Then, it examines the lifestyle of sport horses, focusing solely on specific aspects that can affect their fertility and to what extent.

Subsequently, a comparison will be made between the findings from the first two sections, emphasizing various aspects of the sports life that could have a negative impact on fertility. However, studies conducted on this topic reveal variable results, with both negative and positive effects of sport on fertility. This suggests that other factors, such as individual characteristics, horse management, duration, type, and intensity of exercise, also play a role.

In conclusion, fertility in stallions is a complex subject influenced by numerous factors and providing a definitive answer regarding the influence of sport on fertility is challenging.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail et qui ont accompagné mes huit années d'études. Cet accomplissement est le fruit d'un engagement acharné, d'une persévérance inébranlable et d'une fierté indescriptible.

•

Je suis infiniment reconnaissant envers mes parents, qui m'ont permis de poursuivre mes études et ont consenti d'innombrables sacrifices pour rendre cela possible. À ma maman, mon roc, qui m'a soutenue inconditionnellement et a partagé toutes mes angoisses à chaque examen.

•

Ma famille, en particulier papy et mamy, qui auraient été si fiers de me voir recevoir ce diplôme. Je remercie papy de m'avoir transmis cette passion pour les chevaux qui m'a guidée jusqu'ici, et mamy pour avoir été un modèle de force et de courage tout au long de sa vie. Merci également à ma cousine Rachel, ma sœur de cœur, d'être ma meilleure amie depuis notre enfance.

•

Aux Dr Mathieu Houssin, Dr Laure Fiorentino, Dr Audrey Pinoteau, Dr Anthony Siegel, mes maîtres de stage, je vous suis infiniment reconnaissant pour vos paroles encourageantes qui ont renforcé ma confiance en ce merveilleux métier. Merci pour votre pédagogie, votre bienveillance et tout ce que vous m'avez enseigné.

•

Dr. Carla Cesarini, pour vos rondes de médecine équine si captivantes, je vous remercie d'avoir été une source d'inspiration et de bienveillance.

•

Pr. Stefan Deleuze, je vous remercie d'avoir encadré ce travail de fin d'études.

•

À Nicky, merci pour ton temps lors de la relecture de ce travail.

•

À mon parrain Piccio et ma marraine Wauty, pour m'avoir intégré dans la belle famille de Cureghem et pour être restés si proches de moi, même quatre ans plus tard.

•

À Amandine, ma compagne d'infortune depuis la première année de Master, qui a encore travaillé sans relâche à mes côtés jusqu'aux petites heures, à peine deux jours avant la remise de ce travail de fin d'études pour rattraper ce travail d'intégration.

•

À mes anciennes colocataires, le groupe 19, la 3R, la Générale, la commission Vétérinexpo, au Dr Olivier Levrard, mes fillot(te)s et toutes les personnes qui ont partagé un morceau de ce long voyage à mes côtés.

•

Et enfin, à mon Flo, mon Bibou, arrivé comme un souffle d'oxygène au début de la deuxième année de Master. Merci d'avoir toujours été à mes côtés pour affronter ces deux dernières années d'études si difficiles, jusqu'à la dernière lettre de ce TFE. Cette épreuve est enfin terminée, et nous pourrons pleinement profiter de tout ce que nous avons construit, voyager et créer encore et encore de merveilleux souvenirs.

Je t'aime infiniment.

Merci.

« La différence entre le possible et l'impossible se trouve dans la détermination. »

Gandhi.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	8
1. Les qualités nécessaires du reproducteur	8
1.1. Régulation hormonale	8
1.2. Libido et le comportement sexuel.....	10
1.3. Production de sperme.....	10
1.3.1. La spermatogénèse.....	10
1.3.2. Les glandes sexuelles annexes.....	13
1.4. Qualité d'un éjaculat	13
1.4.1. Évaluation macroscopique	13
1.4.2. Concentration en spermatozoïdes et nombre total de spermatozoïdes	14
1.4.3. Motilité des spermatozoïdes	15
1.4.4. Morphologie des spermatozoïdes	15
1.4.5. Viabilité	16
1.5. La saison de reproduction.....	16
1.6. Autres facteurs pouvant influencer la fertilité.....	17
1.6.1. Effet du stress oxydatif sur les spermatozoïdes	17
1.6.2. Intervention du cortisol au niveau de l'axe hypothalamo-hypophysio-testiculaire	18
2. Mode de vie du cheval athlète	19
2.1. Objectifs de l'étalon de sport	19
2.2. Modifications physiologiques, hormonales et biochimiques lors de l'effort	19
2.2.1. Le stress chez le cheval de sport	19
2.2.2. L'augmentation de la température	20
2.2.3. Le stress oxydatif à l'effort	20
2.3. Blessures et douleurs orthopédiques.....	21
3. Influence du sport sur la reproduction	22
3.1. Les superpositions de saison	22
3.2. Influence d'une carrière sportive sur la libido	23
3.2.1. Comportement reproducteur et testostérone	23
3.2.2. Inhibition du comportement reproducteur.....	24
3.2.3. L'impact des douleurs ostéo-articulaires	25
3.2.4. Étude de l'effet de l'exercice sur la libido.....	25
3.3. Influence d'une carrière sportive sur le sperme	25
3.3.1. L'influence du stress.....	25
3.3.2. L'influence de l'augmentation de température.....	26
3.3.3. L'influence du stress oxydatif.....	28
3.4. Et la littérature ? Analyse de l'effet de l'activité physique sur la fertilité.	28
4. Conclusion.....	30
ANNEXES	32
BIBLIOGRAPHIE	37

Introduction



Figure 1
Chacco-Blue élu meilleur reproducteur au monde pour le saut d'obstacles en 2022. Il détient le titre depuis 2017.
© Scoopdya (Pequenot, 2022)

Chaque propriétaire de chevaux de sport nourrit le rêve de compter, un jour, parmi ses protégés, un cheval d'exception. Lorsque ce moment arrive, il devient à la fois un athlète porteur de victoires et un potentiel géniteur. En effet, dans le contexte actuel où l'intérêt pour la sélection génétique dans l'élevage des chevaux de sport est en constante augmentation, leurs performances sportives sont étroitement liées à la demande pour sa reproduction. En d'autres termes, un cheval qui excelle sur le plan sportif sera grandement sollicité pour ses qualités reproductives (Figure 1).

Cependant, cette réalité indéniable amène à se poser la question de la double casquette qu'un étalon aux résultats sportifs probants est contraint de porter : celle d'athlète et de reproducteur. Dans quelle mesure cette double responsabilité est-elle optimale, voire souhaitable, tant pour les performances sportives de l'étalon que pour ses qualités de reproducteur ?

Le présent travail s'attache à apporter une partie de réponse à cette question en se focalisant spécifiquement sur l'impact qu'a le sport sur la reproduction de l'étalon.

1. Les qualités nécessaires du reproducteur

La première partie de ce travail se concentrera sur les critères requis pour qu'un étalon puisse remplir efficacement son rôle de reproducteur, ainsi que les facteurs susceptibles de perturber ses capacités de reproduction. Afin de répondre aux nombreuses demandes de saillies, il est primordial que l'étalon présente un comportement sexuel adéquat, une libido satisfaisante et une qualité de sperme acceptable qui sera évaluée grâce au spermogramme.

De plus, il est essentiel que l'étalon soit disponible au moment précis de l'ovulation des juments, surtout lors des inséminations utilisant du sperme frais ou lors de la monte naturelle pratiquée dans les courses de galop.

1.1. Régulation hormonale

L'axe hypothalamo-hypophysio-testiculaire (HHT) (Figure 2) est l'élément central de la reproduction masculine. À la puberté, il est responsable du développement des caractères sexuels masculins, du comportement sexuel et de la production de sperme (Heninger, 2011).

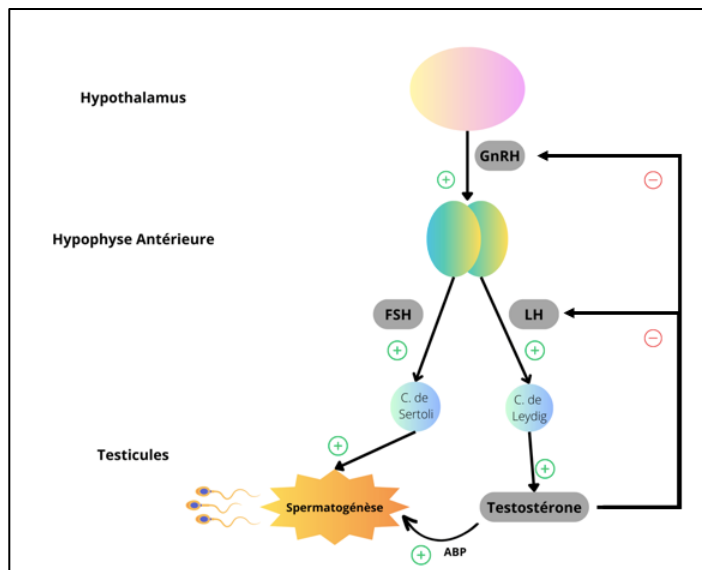


Figure 2 : Axe gonadotrope mâle.

GnRH : Gonadotrophine ; FSH hormone folliculo-stimulante; LH : hormone Lutéinisante; ABP : Androgen Biding Protein.

© Marie PIERRE

D'après Little & Holyoak, (1992), l'hypothalamus libère de manière pulsatile les gonadotrophines hypophysaires, appelées GnRH, qui stimulent l'hypophyse antérieure via le système porte. À son tour, l'hypophyse antérieure libère dans le sang les hormones gonadotropes : l'hormone lutéinisante (LH) et l'hormone folliculostimulante (FSH). La LH stimule les cellules de Leydig qui produisent des androgènes, dont la testostérone, tandis que la FSH

stimule les cellules de Sertoli. Ces dernières assurent un soutien à la spermatogénèse et sont responsables de la sécrétion de divers protéines. Parmi ceux-ci on retrouve l'inhibine, l'activine et la protéine de liaison aux androgènes (ABP), ainsi que des facteurs de croissance et des protéases.

La testostérone joue un rôle crucial dans la fonction reproductive du mâle. Elle est produite par les cellules de Leydig sous l'effet de la LH et joue un rôle systémique par son action sur le développement et le maintien des caractères sexuels masculins, la libido et les glandes sexuelles accessoires. Elle a également un rôle local au niveau des cellules de Sertoli, favorisant la stimulation de la spermatogénèse, ainsi qu'au niveau de l'épididyme où elle permet la maturation finale des spermatozoïdes.

L'axe hypothalamo-hypophysio-testiculaire est régulé par des mécanismes de rétroaction hormonale émanant des testicules. La testostérone, les œstrogènes et l'inhibine exercent une rétroaction négative sur l'hypothalamus et l'hypophyse, tandis que l'activine agit positivement. Parallèlement à cette rétroaction, le système neuroendocrinien est également soumis à l'influence saisonnière via l'action de la mélatonine. En outre, l'hypothalamus peut être modulé par des stimuli externes tels que des stimuli visuels, auditifs, olfactifs et tactiles.

1.2. Libido et le comportement sexuel

La libido désigne la pulsion sexuelle (Larousse) donnant lieu au comportement sexuel nécessaire à la reproduction et est régulée par la testostérone (Ponthier, 2012). Une variation de cette dernière pourra donc affecter la libido. Que ce soit pour la monte naturelle ou la collecte de semence, la libido joue un rôle fondamental chez l'étalon reproducteur.

Une bonne libido se manifeste lorsque l'étalon éprouve un désir immédiat et intense en présence d'une jument en chaleur (Brinsko et al., 2011). De manière plus objective, cela se traduit par une érection survenant dans les 5 à 10 minutes suivant l'introduction d'une jument, suivie d'une éjaculation après 6 à 8 coups de reins (Ponthier, 2012).

La libido d'un étalon peut être influencée par différents facteurs tels que les conditions sociales (McDonnell et al., 1995), expériences sexuelles passées négatives (William B. Ley, 2007), les réprimandes lors de l'expression d'un comportement sexuel (Brinsko et al., 2011; McDonnell et al., 1985), les douleurs ostéo-articulaires, notamment les douleurs dorsales et les affections des membres postérieurs (Brinsko et al., 2011; Ponthier, 2012). Les douleurs aux membres antérieurs peuvent également provoquer une expérience négative au moment de la descente de la jument, décourageant ainsi l'étalon de répéter l'accouplement lors d'une prochaine saillie (McDonnell, 2000). La saison de reproduction, qui sera abordée plus en détail par la suite, peut également influencer la libido de l'étalon (Brinsko et al., 2011).

1.3. Production de sperme

Pour appréhender les altérations éventuelles d'un éjaculat, il est essentiel de comprendre les étapes clés de la production du sperme. Cette section présentera de manière concise la spermatogénèse, qui est le processus de fabrication des spermatozoïdes, ainsi que le rôle des glandes sexuelles annexes dans la production du liquide séminal. Enfin, elle abordera l'analyse du sperme afin de comprendre les paramètres de celle-ci qui peuvent indiquer une bonne ou une mauvaise fertilité.

1.3.1. La spermatogénèse

La spermatogénèse, processus de production des spermatozoïdes, se déroule de manière continue dans l'épithélium des tubes séminifères (Figure 3) et s'étend sur une période de 57 jours chez l'étalon. Avant d'examiner en détail les différentes étapes de ce processus, il est

essentiel de s'assurer que certaines conditions préalables soient remplies afin d'assurer son bon déroulement (Little & Holyoak, 1992).

Premièrement, il est crucial de maintenir la température scrotale à 35°C pour favoriser un environnement optimal à la spermatogénèse chez l'étalon (Little & Holyoak, 1992). Des études menées par Freidman et al. (1991) ont démontré qu'une augmentation de la température scrotale peut entraîner une réduction significative, voire totale, de la mobilité progressive des spermatozoïdes. Chez l'homme, l'effet de l'augmentation de la température sur la spermatogénèse est également connu puisque c'est ce même effet qui est utilisé dans le cadre de la contraception masculine thermique.

Afin d'obtenir une contraception efficace, un seuil de concentration en spermatozoïdes inférieur à 1 million/ml est fixé (Aaltonen et al., 2007). Cette concentration contraceptive peut être atteinte grâce à la méthode thermique, qui consiste à induire une cryptorchidie artificielle en portant un moyen de contraception pendant une dizaine d'heures par jour pendant environ 3 mois (Mieusset et al., 1985).

Le maintien de l'homéostasie testiculaire repose sur l'action combinée de plusieurs éléments. Le plexus pampiniforme facilite le transfert de chaleur vasculaire entre l'artère testiculaire et les veines revenant du testicule, tandis que la tunique musculaire du dartos et le muscle crémaster externe assurent les changements de position des testicules par rapport à la paroi abdominale (Little & Holyoak, 1992).

Deuxièmement, une barrière immunologique, connue sous le nom de barrière hémato-testiculaire, est établie au niveau de la transformation des cellules diploïdes en cellules haploïdes. Cette barrière, formée par les cellules de Sertoli, crée un environnement immunologique privilégié pour les gamètes haploïdes, les reconnaissant comme des éléments étrangers au soi. Elle sépare l'épithélium des tubes séminifères en un compartiment basal et un compartiment ad-luminal (Little & Holyoak, 1992).

Les différentes étapes de la spermatogénèse comprennent la spermatocytogénèse, la méiose et la spermiation (Little & Holyoak, 1992).

La spermatocytogénèse est caractérisée par la division des spermatogonies en deux voies distinctes. Une partie des spermatogonies subit des mitoses successives pour renouveler le pool de cellules germinales, tandis que l'autre partie se transforme en spermatoocytes primaires.

Les spermatoocytes primaires subissent ensuite une double division appelée méiose. Lors de la première division méiotique, ils se divisent pour former les spermatoocytes secondaires. Puis,

lors de la deuxième division méiotique, les spermatocytes secondaires se divisent à nouveau pour donner naissance aux spermatides qui sont des cellules haploïdes. C'est à ce stade que la barrière hémato-testiculaire joue un rôle crucial en préservant l'environnement immunologique privilégié des gamètes haploïdes.

La spermiogénèse est la phase de maturation des spermatides en spermatozoïdes fonctionnels. Pendant cette phase, les spermatides subissent une série de changements morphologiques et moléculaires. Ils acquièrent des caractéristiques telles que la formation de l'acrosome, la condensation de la chromatine, la formation de l'acronème et la migration des mitochondries vers la partie centrale de la cellule. Une fois cette maturation terminée, les spermatozoïdes subissent la spermiation qui est le processus de libération des ceux-ci dans la lumière des tubes séminifères où ils termineront leur maturation.

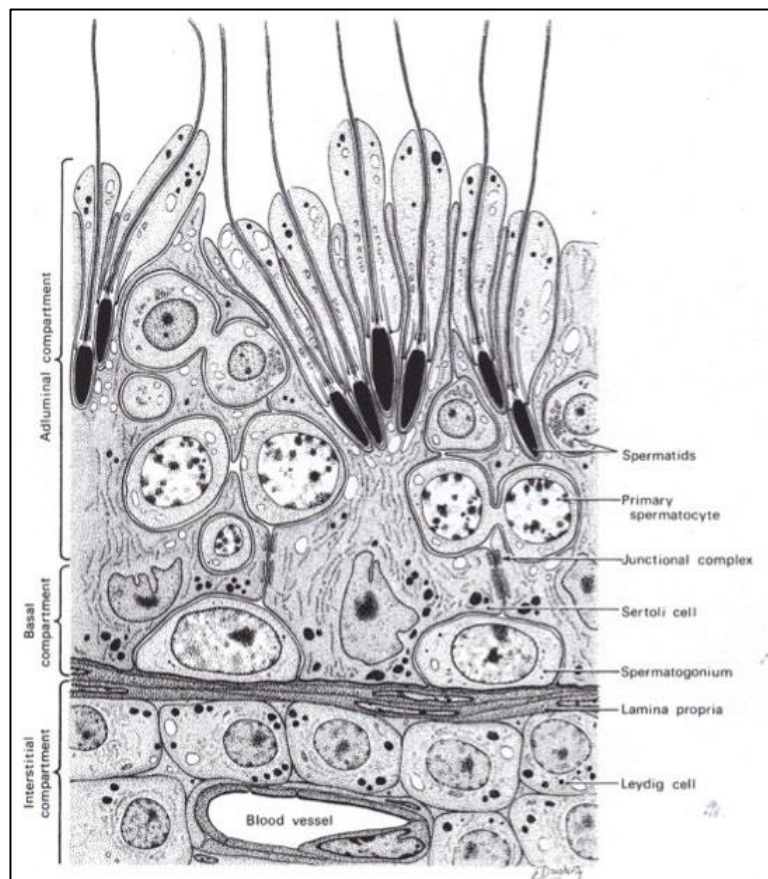


Figure 3 : Spermatogénèse

Coupe d'un tube séminifère d'un étalon. On y voit les cellules des différentes étapes de la spermatogénèse et leurs relations avec les cellules de Sertoli.
(Roser, 2011)

1.3.2. Les glandes sexuelles annexes

Chez l'étalon, les glandes sexuelles accessoires sont composées de la prostate, des vésicules séminales, des glandes bulbo-urétrales et des ampoules des canaux déférents et sont à l'origine du plasma séminal qui compose le sperme (Little & Holyoak, 1992). Il convient de rappeler que la production de ce dernier dépend de la présence de testostérone (Little & Holyoak, 1992). Il remplit plusieurs fonctions importantes. Tout d'abord, il assure le transport des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles, favorisant ainsi leur progression vers l'ovule (Little & Holyoak, 1992). De plus, il joue un rôle antioxydant au sein du liquide séminal, grâce à la présence d'un grand nombre d'enzymes piégeant les radicaux libres (Ball, 2011).

1.4. Qualité d'un éjaculat

Afin de procéder à une évaluation précise de la fertilité de l'étalon, il est fondamental de maîtriser l'analyse d'un spermogramme (Figure 4) et d'identifier les paramètres qui pourraient indiquer une sub-fertilité. Le spermogramme consiste en une évaluation détaillée des caractéristiques du sperme, incluant la quantité et la qualité des différents composants.

Plusieurs paramètres sont examinés lors de l'analyse d'un spermogramme, tels que le nombre total de spermatozoïdes, leur mobilité, leur morphologie et leur vitalité. Des valeurs anormales dans ces paramètres peuvent être associées à une fertilité réduite de l'étalon.

1.4.1. Évaluation macroscopique

Avant toute chose, il est nécessaire de séparer le gel produit par les vésicules séminales, qui présente une faible concentration en spermatozoïdes, du reste de l'éjaculat. Ensuite, il convient de mesurer le volume de l'éjaculat, car cette donnée est essentielle pour le calcul du nombre total de spermatozoïdes présents. Il est à noter que le volume du liquide séminal peut varier en fonction de facteurs tels que la préparation sexuelle avant la saillie ou la saison de reproduction (Brinsko et al., 2011).

Parallèlement, il est opportun de procéder à une évaluation du pH et de la couleur de l'éjaculat (Brinsko et al., 2011). Cette dernière devrait idéalement se situer dans une plage de teintes allant du gris au blanc (Ponthier, 2012). La valeur du pH doit, quant à elle, se situer entre 7,2 et 7,9 avec un optimum de 7,7 pour la motilité des spermatozoïdes (Brinsko et al., 2011).

1.4.2. Concentration en spermatozoïdes et nombre total de spermatozoïdes

Différentes techniques peuvent être utilisées pour établir la concentration en spermatozoïdes, notamment l'utilisation de l'hématocytomètre (Figure 5), du spectrophotomètre, du densimètre et des compteurs cellulaires.

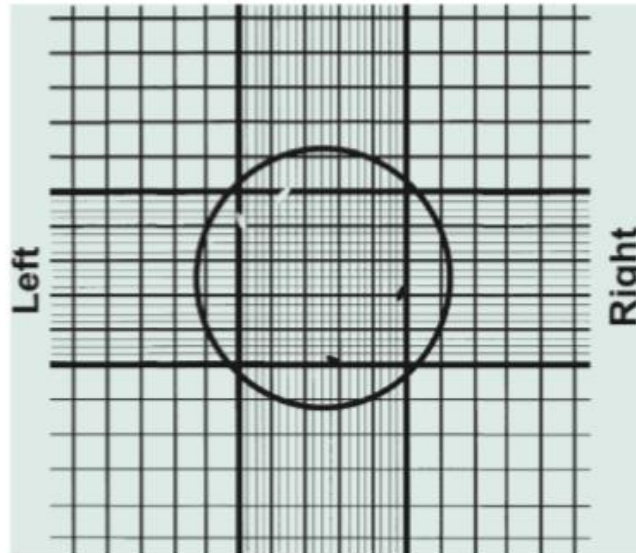


Figure 5 : Hématocytomètre

Illustration de la grille utilisée pour le comptage des spermatozoïdes. Tous les spermatozoïdes présents dans le grand carré central sont comptés. Pour les spermatozoïdes se trouvant sur les lignes, seules les têtes se trouvant sur les lignes supérieures et gauches sont incluses dans le comptage et non celles se trouvant sur les lignes inférieures et droites.
(Brinsko et al., 2011)

Selon Brinsko et al. (2011), étant donné que le volume de l'éjaculat peut varier, la valeur la plus pertinente pour évaluer la fertilité est le nombre total de spermatozoïdes (TSN) présents dans l'éjaculat. Ce nombre est obtenu en multipliant le volume de l'éjaculat par la concentration en spermatozoïdes. Il s'agit d'un élément essentiel lors de l'évaluation de la fertilité et il est donc crucial de calculer cette concentration de manière précise.

Le TSN peut être influencé par divers facteurs tels que la saison, le taux d'éjaculation, l'âge, la taille des testicules, l'efficacité spermatogénique, la taille des réserves de gamètes mâles extra-gonadiques et certaines maladies (Brinsko et al. 2011). Chez les étalons matures, ce TSN varie généralement entre 4 et 12 milliards.

1.4.3. Motilité des spermatozoïdes

Toujours selon Brinsko et al. (2011), la motilité des spermatozoïdes peut être évaluée soit par une observation visuelle au microscope, ce qui requiert du personnel expérimenté, soit par une analyse informatisée, offrant ainsi des informations plus objectives et détaillées.

L'évaluation de la motilité se concentre notamment sur la motilité massale, la motilité progressive et la vitesse des spermatozoïdes. La motilité massale désigne le pourcentage de spermatozoïdes qui bougent sur un ensemble tandis que la motilité progressive correspond au pourcentage de spermatozoïdes qui exhibent un mouvement rapide et linéaire.

L'évaluation de la motilité de ceux-ci revêt une grande importance pour déterminer la fertilité de l'étalon. En effet, il existe une corrélation positive entre celle-ci et leur capacité de fécondation. La motilité progressive rapide est considérée comme le critère le plus pertinent pour prédire la capacité de fécondation. Dans ce contexte, il est recommandé que la motilité progressive dépasse les 50 à 60% (Ponthier, 2012). Il est important de mettre en relation la motilité progressive avec la concentration et le nombre total de spermatozoïdes. Une dose de sperme frais contenant environ 5 millions de spermatozoïdes progressifs est généralement suffisante pour assurer une bonne fertilité (Ponthier, 2012).

Plusieurs facteurs sont connus pour affecter la motilité des spermatozoïdes chez les étalons. Parmi ceux-ci, on retrouve des éléments physiologiques (âge de l'étalon et repos sexuel prolongé), des facteurs pathologiques (élévation de la température ou dégénérescence testiculaire causées par un traumatisme) et enfin, des facteurs externes (choix du lubrifiant, traitements hormonaux et préparation du sperme) (Hodder & Liu, 2011).

1.4.4. Morphologie des spermatozoïdes

Il est important de faire la distinction entre les anomalies primaires et les anomalies secondaires dans le contexte de la spermatogenèse. Les anomalies primaires se produisent lors du processus de formation des spermatozoïdes, tandis que les anomalies secondaires se manifestent lors de leur transport dans les voies génitales masculines (Brinsko et al., 2011; Ponthier, 2012).

Une morphologie anormale des spermatozoïdes a été associée à une subfertilité chez différentes espèces (Baumber-Skaife, 2011). Les teratozoospermies sont classées en anomalies majeures

et mineures, les anomalies majeures ayant le plus d'impact sur la fonction des spermatozoïdes (Veeramachaneni, 2011).

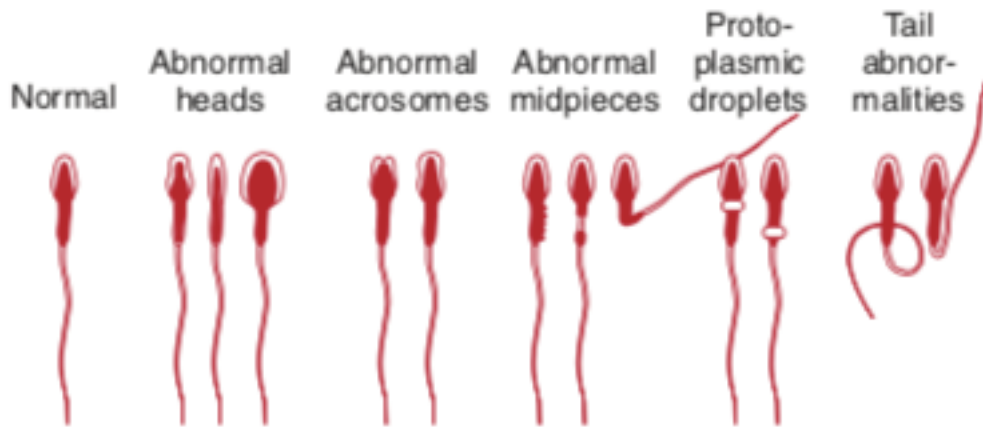


Figure 6 : Schéma des morphologies normales et anormales des spermatozoïdes (Brinsko et al., 2011)

Au microscope, on peut observer (Figure 6) des têtes anormales, des parties centrales anormales, des queues anormales, des têtes détachées, des cols anormaux/cassés, des gouttelettes proximales ou distales, ainsi que des cellules rondes (Baumber-Skaife, 2011).

1.4.5. Viabilité

La viabilité du spermatozoïde est déterminée par l'intégrité de sa membrane qui peut être évaluée en utilisant une coloration à l'éosine. Ceux présentant une altération de leur membrane seront colorés en violet par l'éosine (Baumber-Skaife, 2011). Dans le cadre de l'évaluation de la viabilité, un pourcentage de spermatozoïdes vivants supérieur à 70% est généralement considéré comme souhaitable, ce seuil étant souvent évalué en corrélation avec la motilité massale (Ponthier, 2012).

1.5. La saison de reproduction

Comme préalablement mentionné dans cette étude, la libido, le volume de l'éjaculat et la concentration en spermatozoïdes sont sujets à l'influence saisonnière. Afin de mieux

appréhender l'impact de la saison sur la reproduction de l'étalon, il est nécessaire d'expliciter le rôle de la mélatonine sur l'axe HHT.

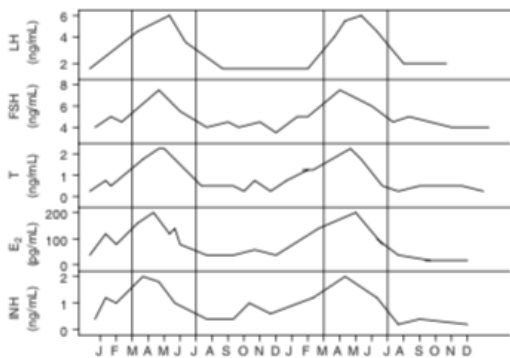


Figure 7 : Effet saisonnier sur les concentrations en hormones.
 LH: hormone lutéinisante, FSH: hormone folliculo-stimulante, T: testostérone, E₂: oestradiole, INH: inhibine.
 (Roser, 2011)

La sécrétion de mélatonine est au plus haut durant les mois caractérisés par une diminution de luminosité. Celle-ci inhibe la production de l'hormone GnRH. Ainsi, en l'absence de mélatonine pendant les mois à luminosité croissante, on observe une augmentation de la GnRH. La sécrétion de GnRH atteint son niveau le plus élevé pendant la saison de reproduction, qui s'étend de mars à

septembre, avec un pic aux alentours de mai-juin (Roser, 2011). Il est donc compréhensible que les taux de testostérone (Figure 7) soient plus élevés au printemps et en été, ce qui influence la libido, le volume du liquide séminal et la spermatogénèse.

1.6. Autres facteurs pouvant influencer la fertilité

En plus des facteurs mentionnés précédemment, de nombreux éléments peuvent considérablement perturber la fertilité de l'étalon au niveau hormonal et lors de la production de sperme. Le présent travail se penchera ici sur l'effet du stress oxydatif et d'un taux sanguin élevé en détaillant leurs effets sur le sperme.

1.6.1. Effet du stress oxydatif sur les spermatozoïdes

D'après Ball (2011), le stress oxydatif est caractérisé par un déséquilibre entre la production d'espèces réactives à l'oxygène (ERO) et la capacité du corps à neutraliser ces substances. Les spermatozoïdes équin semblent particulièrement vulnérables aux effets de peroxydation par H₂O₂, considéré comme le plus dommageable dans cette espèce. Attention, il est important de signaler que les ERO jouent un rôle essentiel dans le bon déroulement de la réaction acromiale et sont donc nécessaires à la fécondation en petite quantité.

Cependant, une trop grande quantité d'ERO peut conduire à une capacitation prématurée et provoquer des anomalies morphologiques des spermatozoïdes comme des gouttelettes cytoplasmiques proximales ou des anomalies de la partie médiane. Citons également les dommages à l'ADN qui augmentent proportionnellement avec la concentration d'ERO. Chez

d'autres espèces, il a été prouvé que des spermatozoïdes à l'ADN endommagé pouvaient initier la fécondation mais que le développement embryonnaire ultérieur pouvait être compromis.

1.6.2. Intervention du cortisol au niveau de l'axe hypothalamo-hypophyso-testiculaire

Une étude expérimentale (Ren et al., 2021) a été réalisée sur des souris pour examiner les effets de la corticostérone sur la qualité du sperme. Un groupe de souris a été alimenté avec une solution de corticostérone, tandis qu'un groupe témoin a été utilisé pour la comparaison. Après quatre semaines de traitement, une augmentation significative du taux de corticostérone a été observée dans le sang des souris traitées, tandis qu'une diminution significative de la testostérone a été constatée. Les niveaux de LH et FSH n'ont pas montré de modification significative.

Les effets de cette augmentation de la corticostérone comprennent une augmentation du poids des testicules, une diminution du nombre de spermatozoïdes et une augmentation de la tératozoospermie (Figure 8a). De plus, elle perturbe les processus cellulaires dans les testicules, tels que l'arrêt de la méiose, l'apoptose des cellules germinales et l'inflammation locale (Figure 8b). La corticostérone affecte également le métabolisme du lactate dans les cellules de Sertoli, qui est essentiel à la nutrition des spermatozoïdes en formation. Toutes ces modifications contribuent à une diminution de la fertilité masculine.

Des chercheurs (Cox & Jawad, 1979) ont étudié l'interaction entre la fonction des glandes surrénales et celle des testicules chez les étalons. Ils ont examiné les effets à court et à long terme du cortisol sur les niveaux de testostérone. Les résultats indiquent une augmentation rapide de la testostérone après l'injection de cortisol, mais une diminution lors d'un traitement prolongé. Cependant, à la fin du traitement, la concentration de testostérone augmente de manière significative. Ce qui atteste de la réversibilité de l'action du cortisol sur la fonction testiculaire.

Ce qu'il faut retenir :

- Pour être qualifié de bon reproducteur, il faut un comportement reproducteur adéquat et une qualité de sperme satisfaisante.
- La testostérone joue un rôle central dans la régulation du système reproducteur mâle.
- Une température intra-testiculaire élevée, la mélatonine, le stress oxydatif et, le cortisol peuvent avoir un impact négatif sur la qualité du sperme.
- Pour évaluer la qualité d'un éjaculat, on peut réaliser un spermogramme.

2. Mode de vie du cheval athlète

2.1. Objectifs de l'étalon de sport

L'objectif premier du sportif, toutes disciplines confondues, est de sortir en compétitions et d'obtenir des résultats. Ces compétitions, dont la saison en Belgique s'étend souvent d'avril à octobre, demandent un entraînement rigoureux et une préparation plusieurs mois à l'avance. Le cheval de sport est donc sollicité tout au long l'année. De plus, pour les chevaux de niveau international, les compétitions ont lieu toute l'année dans les quatre coins du globe, ce qui implique souvent de longs voyages, voire des déplacements en avion.

Un autre aspect important pour l'étalon en compétition est son comportement. En effet, l'étalon réputé pour avoir un tempérament chaud, notamment pendant la saison de reproduction, doit demeurer sous contrôle et maniable par son cavalier en présence d'autres chevaux, notamment des juments.

2.2. Modifications physiologiques, hormonales et biochimiques lors de l'effort

Au cours d'un effort toute une série d'adaptations physiologiques vont se mettre en place pour s'adapter à celui-ci. On citera par exemple une augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire, de la consommation en oxygène, de la production d'énergie, de la lactatémie, une hypoxémie et une hypercapnie (Art et al., 2000). En plus de ces modifications physiologiques, l'effort induit un stress associé à une augmentation de cortisol.

2.2.1. Le stress chez le cheval de sport

Plusieurs études ont démontré que l'exercice engendre une réponse au stress traduit par une augmentation du taux de cortisol, que ce soit au niveau salivaire ou sanguin (Cayado et al., 2006; Covalesky et al., 1992; Hill et al., 2008). Cependant, chez le cheval de compétition, l'effort physique n'est pas la seule source de stress à prendre en compte. Il convient également de considérer d'autres facteurs tels que le transport (Fazio et al., 2008) et les changements d'environnement (Alexander & Irvine, 1998), qui peuvent également entraîner une élévation du niveau de stress. Il est à noter que les jeunes chevaux, moins habitués aux compétitions, peuvent être davantage perturbés par les changements d'environnement (Covalesky et al., 1992). De plus, le niveau de stress induit peut varier en fonction du type de discipline pratiquée, notamment en comparant les chevaux de dressage à ceux de saut d'obstacles. Il semblerait que

les chevaux de dressage présentent des niveaux de stress plus élevés que leurs homologues évoluant dans la discipline de saut d'obstacles (Cayado et al., 2006).

2.2.2. *L'augmentation de la température*

Lors d'un effort physique, une quantité considérable d'adénosine triphosphate (ATP) est nécessaire pour assurer la contraction musculaire (Art et al., 2000). Cependant, seulement 20 à 30% de l'énergie produite par les muscles est réellement transformée en ATP, tandis que les 70 à 80% restants sont dissipés sous forme de chaleur. Le corps réagit en mettant en place un mécanisme de thermorégulation pour maintenir l'homéostasie thermique (Hodgson et al., 1994). Malgré cela, il est possible d'observer une augmentation de la température corporelle lors d'efforts physiques (Art et al., 2010; Sexton et al., 1986).

Plusieurs facteurs peuvent influencer cette augmentation de température. Parmi eux, on retrouve l'intensité, la durée et le type d'exercice (Hodgson et al., 1994), ainsi que les conditions environnementales dans lesquelles l'effort est réalisé (Art et al., 2010) et le niveau d'entraînement du cheval (Soroko et al., 2019).

2.2.3. *Le stress oxydatif à l'effort*

Diverses études menées sur les chevaux ont démontré la présence d'un stress oxydatif pendant l'effort qui peut être attribué à divers mécanismes (Chiaradia et al., 1998; Mills et al., 1996; Minami et al., 2011; Moffarts et al., 2006; Ono et al., 1990).

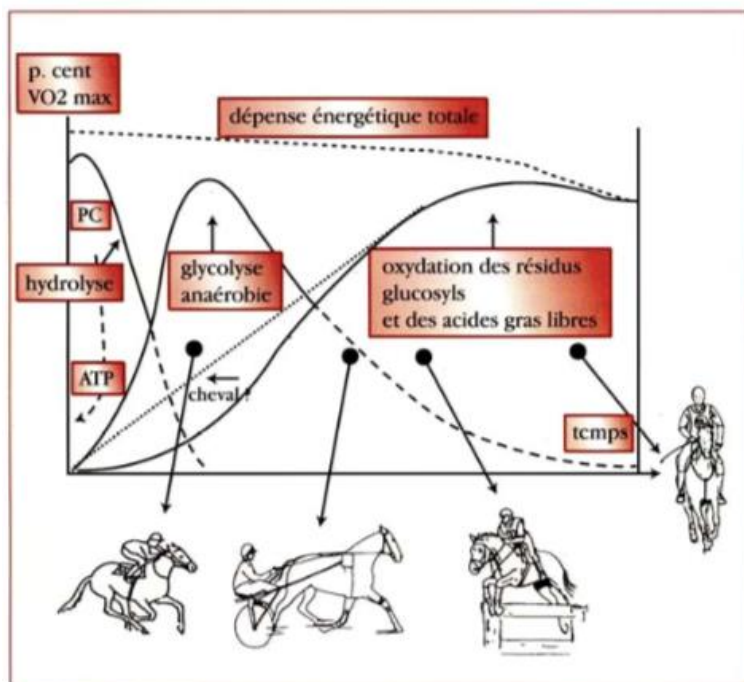


Figure 9
Illustration des différentes voies métaboliques de l'ATP au cours de l'exercice.
(Art et al., 2000)

Pendant l'exercice, les muscles nécessitent une quantité considérable d'énergie pour soutenir leurs fonctions. Cette énergie est obtenue grâce à quatre voies métaboliques qui produisent de l'adénosine triphosphate (ATP), la voie aérobie étant la plus significative (Figure 9). Dans cette voie aérobie, l'oxygène est utilisé dans les mitochondries pour produire de l'ATP par le biais de la chaîne respiratoire (Art et al., 2000). Toutefois, ce processus engendre également une production accrue d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) par rapport à l'état de repos, perturbant ainsi l'équilibre entre les agents oxydants et les antioxydants et entraînant un stress oxydatif. Ce phénomène est exacerbé par une réaction inflammatoire qui est elle-même induite par le stress oxydatif (créant ainsi un cercle vicieux), ainsi que par l'ischémie-reperfusion qui se produit dans certains tissus après l'exercice.

La production d'ERO pendant l'exercice est influencée par différents facteurs, tels que la race (Art et al., 2000), l'intensité de l'exercice (Mills et al., 1996), le régime alimentaire (Gauche & Hauswirth, 2006; Ono et al., 1990), l'entraînement (Moffarts et al., 2006), la température extérieure et l'humidité relative (Mills et al., 1996).

2.3. Blessures et douleurs orthopédiques

Les douleurs orthopédiques représentent la première cause de contre-performance sportive chez le cheval (Bolwell et al., 2017; Munsters et al., 2020; Reed et al., 2012) (Tableau I) et entraînent également la réforme médicale (Sloet Van Oldruitenborgh-Oosterbaan et al., 2010). Les types de lésions varient selon les disciplines sportives, chacune imposant des exercices spécifiques.

	Obstacle	Dressage	Complet
Pathologie numéro 1	Arthrose pieds, jarrets	Desmite LSB postérieurs	Dorsalgies TL et C
Pathologie numéro 2	Desmite LSB	Arthrose pieds	Arthrose pieds
Pathologie numéro 3	Dorsalgies TL	Tendinite TFP	Arthrose jarrets
	Endurance	Trot	Galop
Pathologie numéro 1	Desmite proximale LSB	Atteintes LSB	Suros MTC
Pathologie numéro 2	Arthropathie boulets A et P	Arthrose boulet	Arthrose carpe et jarrets
Pathologie numéro 3	Douleur solaire	Arthrose carpe	Fractures

Tableau I: Pathologies ostéo-articulaires les plus fréquentes en fonction des disciplines.

LSB: Ligament suspenseur du boulet, C: cervicale, TL: Thoraco-lombaire, TFP: Tendon fléchisseur profond, MTC: métacarpien, A: antérieurs, P: postérieurs.

(Dyson, 2000; Egenvall et al., 2013 ; Paris et al., 2021 ; Bertuglia et al., 2014, 2020; Crawford et al., 2021)

Par exemple, les chevaux de saut d'obstacles sont souvent sujets à de l'arthrose aux pieds et aux jarrets, ainsi qu'à des lésions des ligaments suspenseurs et dorsalgies thoraco-lombaires. Les chevaux de dressage présentent généralement des atteintes aux ligaments suspenseurs du boulet postérieur, de l'arthrose aux pieds et des tendinites des fléchisseurs profonds. Les chevaux de concours complet combinent les problèmes des chevaux de dressage et de saut d'obstacles, avec des dorsalgies thoraco-lombaires et cervicales, ainsi que de l'arthrose aux pieds et aux jarrets (Dyson, 2000; Egenvall et al., 2013).

Dans le domaine des courses, les lésions varient selon les types de courses. Pour les courses d'endurance, les lésions les plus fréquentes sont la desmite proximale du ligament suspenseur du boulet, l'arthropathie de l'articulation des boulets antérieurs et postérieurs, et la douleur solaire (Paris et al., 2021). Chez les trotteurs, les lésions les plus courantes sont les atteintes des ligaments suspenseurs, l'arthrose du boulet, les tendinites du fléchisseur superficiel et l'arthrose du carpe. Les galopeurs, quant à eux, présentent une prévalence élevée de suros métacarpien, d'arthrose du carpe et des jarrets, ainsi que de fractures (Bertuglia et al., 2014, 2020; Crawford et al., 2021).

Ces études mettent en évidence l'impact considérable des traumatismes ostéo-articulaires dans le monde du sport équestre, quelle que soit la discipline pratiquée.

3. Influence du sport sur la reproduction

3.1. Les superpositions de saison

La gestion des étalons de sport en relation avec les compétitions et les cycles de reproduction présente des défis importants. Les propriétaires doivent organiser leur saison de manière à ce qu'il soit disponible au moment de l'ovulation des juments. Cela est particulièrement crucial dans le domaine des courses de galop, où l'insémination artificielle est interdite. Ainsi, il est possible qu'il doive être prélevé le matin même d'une compétition, ce qui demande une planification minutieuse.

De plus, certaines compétitions pour jeunes chevaux sont basées sur l'âge du cheval, mais l'âge est déterminé en fonction de l'année de naissance. Tous les chevaux sont considérés comme nés le premier janvier de l'année en cours. Par conséquent, il est important d'avoir un poulain né le plus tôt possible dans l'année pour participer à des compétitions réservées aux chevaux de trois ans, par exemple. Cela signifie que les juments doivent être saillies en février-mars pour donner

naissance à des poulains en janvier-février. Cependant, cela ne correspond pas à la période de fertilité optimale de l'étalon, qui atteint son pic vers mai-juin (Roser, 2011).

Cette contrainte temporelle souligne la complexité de la gestion de la reproduction des étalons de sport qui doivent être prêts à participer à des compétitions tout en assurant leur rôle de reproducteur. Les propriétaires et les éleveurs doivent donc prendre en compte ces considérations lors de la planification de la saison de compétition et des dates de saillies, afin d'optimiser à la fois leur performance sportive et leur potentiel de reproduction.

3.2. Influence d'une carrière sportive sur la libido

Comme abordé dans le début de ce travail, la libido va être influencée par différents éléments. Dans cette partie, nous verrons dans quelle mesure la carrière sportive peut contribuer à ces différents facteurs et ainsi l'affecter.

3.2.1. Comportement reproducteur et testostérone

Dans leur état naturel, les étalons peuvent être classés en deux catégories : les étalons de harem, qui vivent en groupe avec plusieurs juments, et les étalons célibataires, qui vivent seuls ou en petits groupes. Les pratiques d'élevage varient en fonction des conditions naturelles, ce qui peut influencer leur comportement reproductif. Cependant, les étalons ont généralement une bonne adaptation aux méthodes d'élevage modernes telles que la saillie à la main ou la collecte de sperme pour l'insémination artificielle (McDonnell, 2011).

Dans une étude réalisée par McDonnell (2000), les niveaux de testostérone ont été comparés entre les étalons de harem et les étalons célibataires. Les résultats montrent que la testostéronémie est plus élevée chez les étalons de harem. Cela suggère que ceux qui ont plus d'interactions avec les juments ont des niveaux de testostérone plus élevés.

Les étalons de sport sont généralement logés dans des écuries qui leur sont réservées et ont peu, voire aucune, interaction avec les juments. Cette situation peut être comparée à celle des célibataires à l'état naturel, qui ont également peu d'opportunités d'interagir avec des juments.

3.2.2. *Inhibition du comportement reproducteur*

Selon les résultats de l'étude menée par McDonnell et al. (1985), il est démontré que les expériences négatives antérieures peuvent avoir des conséquences néfastes sur la libido des étalons.



Figure 10 : Comportement sexuel au travail.
Magnum ML, étalon anglo-arabe de sport. Expression d'un comportement sexuel lors d'un entraînement en endurance.
©Marie Pierre

Une corrélation peut être établie avec la carrière sportive de ces étalons. En effet, ceux dédiés aux sports équestres sont constamment exposés à des stimuli tels que d'autres chevaux, parfois même des juments en période d'œstrus, lors de leurs entraînements et compétitions. Le cavalier doit enseigner à son cheval à adopter un comportement impeccable face à ces situations stimulantes. Il est donc possible que le cheval soit réprimandé par son cavalier lorsqu'il manifeste des comportements sexuels ou de l'excitation en présence d'une jument pendant une séance d'entraînement (Figure 10). Par conséquent, cela peut inhiber son comportement sexuel lors des saillies ultérieures.

De plus, si l'étalon a été élevé principalement pour ses performances sportives, il est probable que son comportement reproducteur ait été maîtrisé dès son plus jeune âge. Cette maîtrise de son comportement sexuel peut entraîner une période de transition difficile lorsque l'étalon est confronté à des situations de reproduction.

3.2.3. L'impact des douleurs ostéo-articulaires

Comme cela a été vu précédemment au point 1.2, les douleurs ostéo-articulaires ont une influence sur la volonté de saillir, que ce soit directement lié à des douleurs dorsales ou des membres postérieures ou à une expérience négative associée aux douleurs des membres antérieurs. Étant donné l'importance des douleurs ostéo-articulaires dans toutes les disciplines sportives (Voir tableau I), il est compréhensible que les chevaux de sport soient très susceptibles de refuser la saillie en raison de ce type de douleurs. De plus, une fois réformés du sport, les étalons se consacrent pleinement à leur vie de reproducteur. Il est donc possible que ces douleurs, en tant que première cause médicale de réforme chez les chevaux de sport (Sloet Van Oldruitenborgh-Oosterbaan et al., 2010) viennent encore accentuer ce phénomène.

3.2.4. Étude de l'effet de l'exercice sur la libido

Une étude (Dinger & Noiles, 1986) s'est penchée sur l'effet direct de l'exercice sur la libido de jeunes étalons âgés de deux ans. Huit entiers ont été répartis aléatoirement en deux groupes. Le premier a été soumis à un exercice régulier tandis que le deuxième est resté confiné dans leurs boxes. Par la suite, les deux groupes ont été inversés. La libido a été évaluée tous les 14 jours lors d'une collecte de sperme en présence d'une jument en chaleur. Les résultats ont révélé des niveaux plus faibles chez les étalons soumis à l'exercice dans les deux parties de l'étude.

Ces résultats indiquent donc que l'exercice régulier peut diminuer la libido des jeunes étalons, et qu'en réduisant ou en éliminant l'exercice, il est possible de l'augmenter à nouveau.

3.3. Influence d'une carrière sportive sur le sperme

Nous avons dans un premier temps établi les liens entre le processus de fabrication du sperme et les éléments qui pourraient venir perturber ceux-ci. Ensuite, nous avons exposés le mode de vie du sportif afin d'établir une corrélation entre ce mode de vie et ces éléments perturbateurs. Si nous les reprenons dans l'ordre en les accordant les uns aux autres cela donne ceci.

3.3.1. L'influence du stress

Le stress est l'un des facteurs incriminés et étudiés dans la baisse de fertilité chez l'homme ces dernières années (Sheiner et al., 2002). Nous avons constaté que l'exercice physique provoque une réponse à celui-ci et donc une augmentation du cortisol pendant l'effort (Cayado et al., 2006; Hill et al., 2008). Chez le cheval de sport, cette réponse au stress est accentuée par une

série de facteurs stressants liés à son mode de vie (Alexander & Irvine, 1998; Cayado et al., 2006; Fazio et al., 2008).

En parallèle, nous avons constaté qu'une augmentation de cortisol pouvait diminuer le taux de testostérone et affecter plusieurs critères liés à la fertilité. Une étude (Deichsel et al., 2015) s'est penchée sur l'impact du stress induit par le transport sur la fonction testiculaire. Les niveaux de cortisol ont clairement augmenté après le transport, mais aucun effet sur la concentration de testostérone et les paramètres du sperme n'a été observé (Figures 11a et b). Les chercheurs émettent l'hypothèse que la fonction testiculaire de l'étalon est bien protégée contre une réaction accrue de cortisol. En se basant sur les études menées sur les souris (Ren et al., 2021) et les étalons (Cox & Jawad, 1979) mentionnées précédemment, on peut suggérer qu'une exposition chronique à des taux relativement élevés de cortisol est nécessaire pour avoir un impact sur la fertilité.

Il serait judicieux de déterminer chez le cheval le niveau de concentration de cortisol sérique et le temps d'exposition à celui-ci qui entraînent une diminution de la testostérone et des altérations dans le sperme, ainsi que le niveau de stress nécessaire pour atteindre cette concentration. Cela permettrait de conclure sur l'impact réel de l'effet négatif qu'il a sur la fertilité du cheval de sport.

3.3.2. L'influence de l'augmentation de température

Selon Little & Holyoak, (1992), la température testiculaire optimale pour une spermatogénèse normale est de 35°C. Parallèlement, en référence au point 2.2.2 l'exercice physique entraîne une augmentation de la température corporelle. La question qui se pose maintenant est de savoir dans quelle mesure cette augmentation de température corporelle due à l'exercice peut affecter la spermatogénèse.

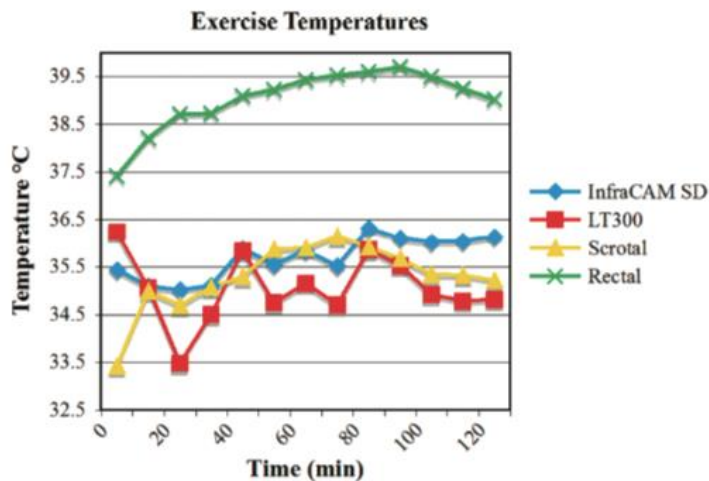


Figure 12 : Évolution des différentes températures au cours de l'exercice. Températures moyennes pour les étalons exercés (n = 4) de 0 à 120 minutes (les 30 dernières minutes sont celles de la récupération) à partir de l'InfraCAM SD (Flir Systems Inc., Wilsonville, OR) et du thermomètre infrarouge Sixth Sense LT300 (LT300 ; Total Temperature Instrumentation Inc., South Burlington, VT). (Cavinder et al., 2014)

Une étude a mesuré les températures rectale, cutanée et sous-cutanée du scrotum pendant un effort de 120 minutes au trot (Cavinder et al., 2014). Les résultats montrent que la courbe de température scrotale suit plus ou moins la même évolution que celle de la température rectale. Après 80 minutes d'exercice, on observe un pic de température scrotale atteignant environ 36 degrés Celsius, qui diminue ensuite jusqu'à la fin de l'exercice (Figure

12). Cette diminution de température pourrait refléter l'influence des mécanismes de thermorégulation. Au total, la température scrotale a augmenté d'environ 2,5 degrés Celsius par rapport au début de l'exercice.

Chez les étalons, Beard (2011) a également établi que la motilité des spermatozoïdes et leur nombre total diminuent après une exposition de 24 heures à une température scrotale de 37 degrés Celsius.

En considération des propos de Beard (2011) et des résultats tirés de l'étude de Cavinder et al., (2014), le sperme ne serait pas altéré par les activités sportives énoncées. Mawyer et al. (2012) ont spécifiquement étudié l'impact d'une augmentation de la température corporelle sur la qualité du sperme pendant l'exercice et ont conclu qu'aucune différence significative n'a été observée en termes de qualité du sperme entre les groupes d'exercice et les groupes sans exercice.

Cependant, il convient de noter que les études de Cavinder et al., (2014) et de Mawyer et al. (2012) ont été réalisées dans des conditions spécifiques avec un exercice donné. D'autres intensités, durées et types d'exercice (Hodgson et al., 1994) ainsi que d'autres conditions environnementales (Art et al., 2010) auraient pu donner des résultats différents. Il n'est donc pas exclu que l'exercice puisse affecter la fertilité en raison de l'élévation de la température causée par une intensité d'exercice plus importantes et/ou des conditions différentes.

3.3.3. *L'influence du stress oxydatif*

Plusieurs études ont suggéré que le stress oxydatif causé par l'exercice physique pouvait contribuer à une baisse de la fertilité masculine (Gaskins et al., 2015; Józków & Rossato, 2017; Safarinejad et al., 2009). Ces hypothèses peuvent être appuyées par nos développements aux points 1.6.1 et 2.2.3 qui attestent respectivement que le stress oxydatif affecte la qualité des spermatozoïdes et que l'exercice peut provoquer un stress oxydatif. Cependant, il y a un manque de données concernant les niveaux d'antioxydants dans le plasma séminal avant et après l'exercice. Mes recherches dans la littérature n'ont rien donné.

Par contre, une autre étude (Hajizadeh Maleki et al., 2013) a examiné les variations de celui-ci et des antioxydants dans le sperme d'athlètes de différents niveaux. Les résultats ont montré que les athlètes d'élite soumis à des programmes intensifs de longue durée présentaient des niveaux plus élevés de stress oxydatif dans le sperme. En revanche, les athlètes récréatifs et les hommes non actifs avaient des niveaux plus élevés d'antioxydants. Cela suggère que la pratique régulière d'exercices physiques modérés améliore le système de défense antioxydant dans le sperme. Les différences observées entre les groupes étaient également corrélées avec les paramètres de qualité du sperme.

En conclusion, cette étude suggère que la pratique régulière d'exercices physiques modérés peut en améliorer la qualité en augmentant les niveaux d'antioxydants et en réduisant le stress oxydatif. Cependant, les programmes d'entraînement intensifs de longue durée peuvent entraîner des déséquilibres oxydant/antioxydant dans le sperme, potentiellement associés à une diminution de la capacité de reproduction.

3.4. Et la littérature ? Analyse de l'effet de l'activité physique sur la fertilité.

Dans la littérature, il existe des divergences concernant l'effet du sport sur les paramètres de fertilité, pouvant être soit positif soit négatif. Ces effets sont influencés par la durée de l'exercice, la discipline pratiquée, l'intensité, le niveau de compétition et la sédentarité des sujets.

Premièrement, des études ont examiné l'augmentation de la testostérone avant et après l'exercice. Par exemple, Janett et al. (2006) ont observé une augmentation significative de la testostérone chez les étalons après une séance d'exercice sur tapis roulant. De même, chez les hommes, Jones et al. (n.d.) ont constaté une augmentation de la testostérone après un entraînement de force.

La nature de la discipline sportive peut également influencer les paramètres de fertilité. Par exemple, les chevaux de dressage présentent une motilité et un nombre total de spermatozoïdes plus élevés que les chevaux de saut d'obstacles. Les chevaux de concours complet ont montré un nombre total de spermatozoïdes plus faible que les chevaux des autres disciplines (saut d'obstacles et dressage). Ces différences peuvent être attribuées aux variations de charge de travail, de fréquence, de durée et d'intensité de l'exercice (Wilson et al., 2019).

En ce qui concerne l'intensité de l'exercice pratiqué, Safarinejad et al., (2009) ont comparé des exercices d'endurance à haute, moyenne et faible intensité chez l'homme. Ils ont constaté que les exercices à haute intensité réduisaient le taux de testostérone et les paramètres du sperme par rapport aux exercices de moyenne intensité. Toutefois, ces paramètres revenaient à la normale pendant la phase de récupération (Figure 13 a,b et c). En revanche, Gaskins et al. (2015) ont observé une influence positive de l'intensité de l'exercice sur la fertilité. De plus, Wilson et al. (2019) ont observé que les étalons engagés dans des compétitions élités présentaient une meilleure qualité de sperme que ceux engagés dans des compétitions amateurs, suggérant que les pratiques de gestion des étalons élités, telles que l'alimentation et l'entraînement, étaient meilleures.

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à la différence engendrée par un exercice par rapport à la sédentarité.

Les résultats exposés par Wilson et al., (2019) observent une diminution significative des paramètres du sperme des étalons compétiteurs par rapport aux étalons non-compétiteurs.

Contrairement à Lange et al. (1997) qui observent une meilleure mobilité des spermatozoïdes des étalons compétiteurs par rapport à ceux des étalons consacrés uniquement à la reproduction. Ces résultats sont également appuyés par Vaamonde et al., (2012) qui observent des résultats comparables chez l'homme. Gaskins et al., (2015) viennent appuyer ces résultats en montrant que la diminution de la concentration en spermatozoïdes diminue avec les heures passées devant la télévision. Dinger et al., (1986), eux n'observent aucun changements entre les étalons entraînés et non entraînés.

En dernier lieu, différents chercheurs se sont intéressés à la comparaison entre l'exercice et la sédentarité. Les résultats de Wilson et al. (2019) ont montré une diminution significative des paramètres du sperme chez les étalons compétiteurs par rapport aux étalons non-compétiteurs. Cependant, Lange et al. (1997) ont observé une meilleure mobilité des spermatozoïdes chez les étalons compétiteurs par rapport à ceux qui étaient dédiés uniquement à la reproduction. Ces

résultats sont étayés par les observations de Vaamonde et al. (2012) chez l'homme. Gaskins et al. (2015) ont également soutenu ces résultats en montrant que la concentration en spermatozoïdes diminuait avec le temps passé devant la télévision. En revanche, Dinger et al. (n.d.) n'ont observé aucun changement entre les étalons entraînés et non entraînés.

Ces résultats divergents soulignent la complexité de l'interaction entre l'exercice physique et les paramètres de fertilité, et la nécessité de mener davantage de recherches pour mieux comprendre ces mécanismes.

4. Conclusion

L'impact du sport sur la fertilité : plutôt positif ou négatif ? Plusieurs éléments de la vie d'un étalon sportif peuvent avoir des effets tant positifs que négatifs sur cette dernière. Cela s'explique par un grand nombre de facteurs qui peuvent influencer la fertilité du mâle, qui est un sujet complexe et pas encore totalement compris. Il est important de noter que le corps est équipé de nombreux systèmes d'adaptation à des situations extrêmes pour protéger la semence. Il faudra donc que ces systèmes soient dépassés pour l'affecter. De plus, une diminution de la fertilité ne signifie pas une infertilité et bien souvent lors d'impacts négatifs liés au sport, les normes imposées pour la qualité du spermogramme sont respectées.

De son côté, l'impact du sport sur la fertilité dépend également de nombreux éléments, tels que le type de discipline pratiquée, son intensité, sa fréquence, sa durée, la condition physique du cheval, son âge et son expérience des compétitions, le cheval lui-même, sa race,... Il est donc difficile de donner une réponse simple quant à l'influence du sport sur la fertilité.

Je pense tout de même qu'une bonne gestion de l'étalon pourra optimiser ses deux fonctions : sportif et reproducteur. Il faudra donc veiller à adapter la nutrition aux besoins du cheval, adapter l'entraînement en fonction de ses capacités et éviter à tout prix le surentraînement, éduquer l'étalon par le renforcement positif, et surtout à s'adapter à chaque cheval individuellement.

Cet avis est d'autant plus vrai compte tenu des nombreuses techniques que l'on possède aujourd'hui. L'insémination artificielle, l'induction de l'éjaculation par méthodes pharmacologiques, l'éthologie et bien d'autres, sont à notre disposition pour optimiser au mieux la reproduction de l'étalon en fonction de ses propres caractéristiques.

En ce qui concerne la compatibilité d'une double carrière chez un étalon, il est également nécessaire de prendre en compte l'effet de la sollicitation pour la reproduction sur la

performance sportive. En 2002, le sélectionneur brésilien de football Luiz Felipe Scolari avait interdit à ses joueurs d'avoir des rapports sexuels dès le début du stage de préparation pour la Coupe du Monde, se basant sur une vieille théorie de Platon qui recommandait aux athlètes d'éviter les relations sexuelles pour améliorer leurs performances (Fleurot, 2014). Mais que dit réellement la science à ce sujet ?

ANNEXES

Figure 4

Semen Evaluation	Ejaculate 1	Ejaculate 2	Ejaculate 3
Collection Time / Collection Method:			
Number of Mounts / Time to First Mount (minutes):			
Volume (mL) — gel-free / gel:			
Gross Appearance:			
Seminal pH (method) / Seminal Osmolarity(method):			
Initial Motility (% total / % progressive[velocity]) <input type="checkbox"/> Raw (Vel. = 0-4 or $\mu\text{m}/\text{sec}$) Method used: _____ <input type="checkbox"/> Extended			
Concentration ($\times 10^6/\text{mL}$) - Method used: _____			
Total Number of Sperm ($\times 10^6$):			
Total Number of Sperm \times % Progressively Motile ($\times 10^6$):			
Sperm Morphology: <input type="checkbox"/> Buffered Formol Saline <input type="checkbox"/> Phase Contrast Microscopy <input type="checkbox"/> Brightfield Microscopy <input type="checkbox"/> Differential Interference Microscopy <input type="checkbox"/> Stain: _____ <input type="checkbox"/> Other: _____			
% Normal			
% Abnormal Heads			
% Abnormal Acrosomes			
% Tailless Heads			
% Proximal Droplets			
% Distal Droplets			
% Abnormally Shaped Midpieces			
% Bent Midpieces			
% Bent Tails			
% Coiled Tails			
% Premature (Round) (Germ Cells)			
% Other Abnormalities: _____			
Total Number Sperm \times % Morphologically Normal ($\times 10^6$)			
Longevity (Viability) Test: Reported as Storage Time (Hours) / Motility (Total/Progressive[Velocity])			
Raw at ___ °C:			
_____ Extender at ___ °C: (dilution = _____)			
_____ Extender at ___ °C: (dilution = _____)			
Comments: _____			
Classification as Breeding Prospect: <input type="checkbox"/> Satisfactory <input type="checkbox"/> Questionable <input type="checkbox"/> Unsatisfactory			
<input type="checkbox"/> See attached letter Signature: _____			

Figure 2: Fiche d'évaluation de semence.
(Brinsko et al., 2011)

Figures 8

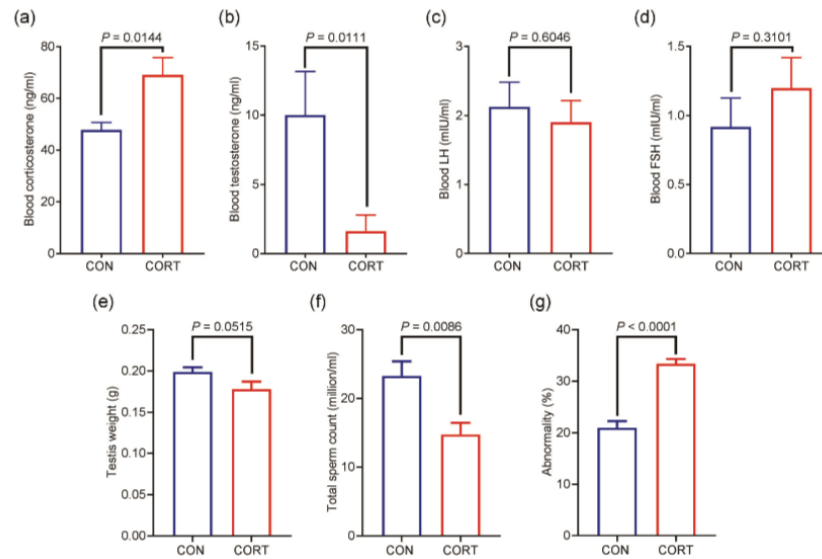


Figure 8a : Effets de la corticostérone sur la corticostérone sanguine, la testostérone, les concentrations de LH et FSH, le poids des testicules et la qualité du sperme. Des souris mâles ont reçu de l'eau additionnée de corticostérone pendant 4 semaines. (a) Les concentrations sanguines de corticostérone, (b) de testostérone, (c) de LH et (d) de FSH ont été mesurées par ELISA (corticostérone, LH et FSH) ou par dosage radio-immunologique (testostérone) après un traitement à la corticostérone pendant 4 semaines. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM (n = 8 dans le groupe témoin [CON], n = 8 dans le groupe corticostérone [CORT]). (e) Poids des testicules après un traitement à la corticostérone pendant 4 semaines. (f) Les spermatozoïdes de la cauda épидидyme ont été comptés dans une plaque de numération sanguine sous microscope optique. (g) Analyse statistique du taux de tératozoospermie. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM (n = 16 dans le groupe témoin [CON], n = 10 dans le groupe corticostérone [CORT]). ELISA, enzyme-linked immunosorbent assay ; FSH, follicle-stimulating hormone ; LH, luteinizing hormone. (Ren et al., 2021)

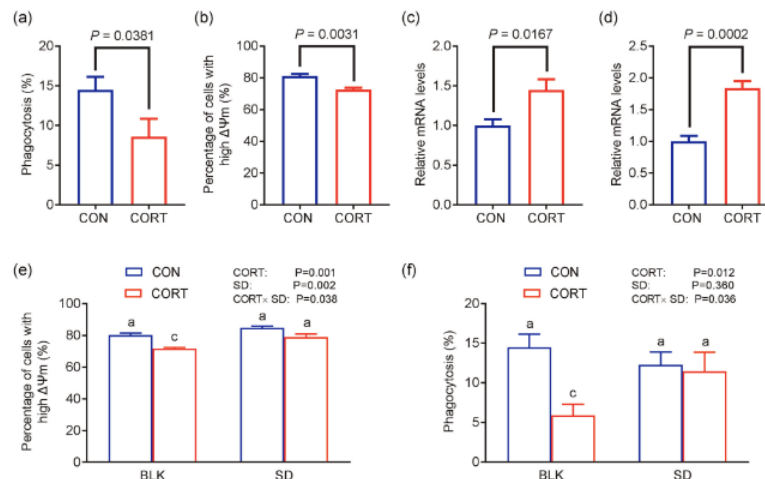


Figure 8b Effets de la corticostérone sur l'activité mitochondriale et la phagocytose des cellules germinales apoptotiques dans les cellules de Sertoli. (a) Histogramme montrant le pourcentage de cellules TM4 englobant des cellules germinales apoptotiques dans le groupe CON et le groupe traité à la CORT, d'après l'analyse par immunofluorescence. (b) Histogramme montrant le potentiel de membrane mitochondriale ($\Delta\Psi_m$) dans les cellules TM4 par coloration JC-1 et analyse cytométrique de flux. (c-d) Effets de la CORT sur les niveaux d'ARNm de Pdk4 dans le testicule (C) et les cellules TM4 (d). (e) Effets du CORT et de l'inhibiteur de Pdk4 (dichloroacétate de sodium [SD]) sur le $\Delta\Psi_m$ dans les cellules TM4. (f) Effets de la CORT et du SD sur les cellules TM4 englobant les cellules germinales apoptotiques. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM (n = 6). Les valeurs avec des exposants différents sont significativement différentes les unes des autres ($p < 0,05$). BLK, sans SD ; CON, contrôle ; CORT, corticostérone ; ARNm, ARN messager. (Ren et al., 2021)

Figures 11

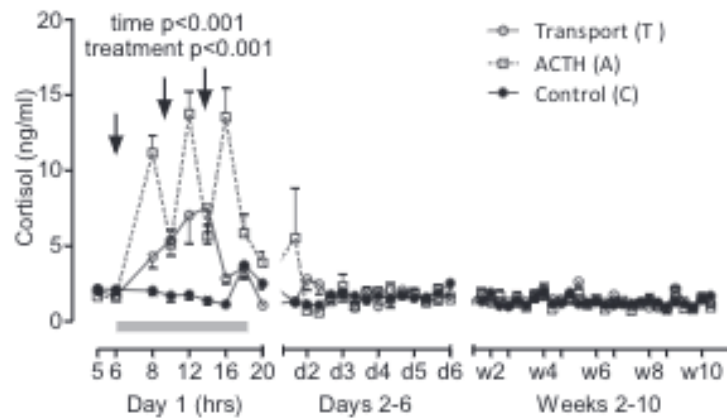


Figure 11a : Concentration de cortisol (erreur standard de la moyenne) dans la salive d'étalons Shetland (N 1/4 13) transportés pendant 12 heures (barre grise 1/4 temps de transport), traités avec de l'ACTH synthétique trois fois à des intervalles de quatre heures (rangées ar-), ou laissés sans traitement comme témoins le jour du transport ou du traitement (jour 1) et jusqu'à 10 semaines plus tard. Pour le jour 1, des changements significatifs dans le temps ($P < 0,001$) et entre les traitements (effet global $P < 0,001$, T vs A vs C au moins $P < 0,05$; interactions temps-traitement $P < 0,001$). Pas de différences significatives entre les groupes entre les jours 2 et 6 et les semaines 2 à 10 après le transport ou le traitement, respectivement. (Deichsel et al., 2015)

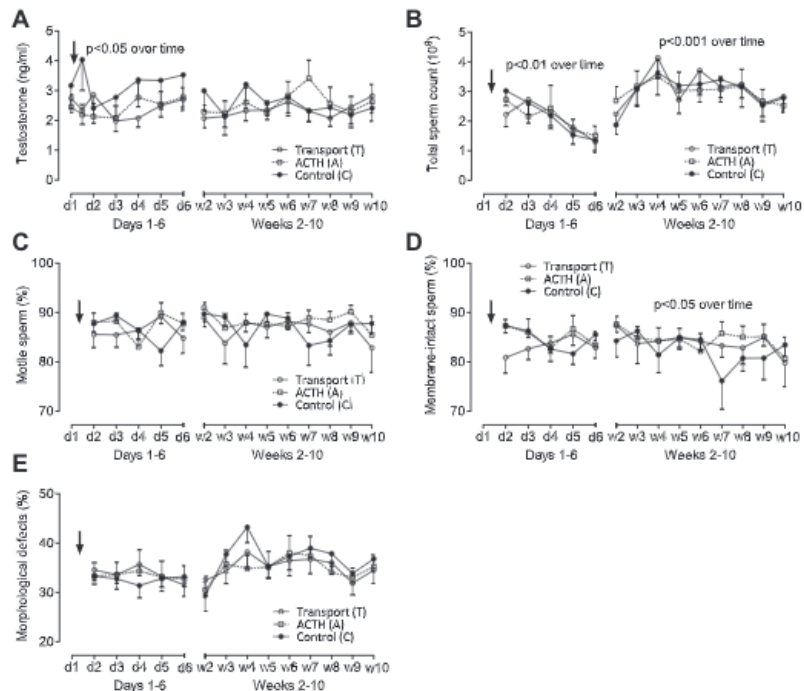


Figure 11b : Concentration de testostérone dans le plasma et (B) nombre total de spermatozoïdes, (C) pourcentage de spermatozoïdes mobiles, (D) spermatozoïdes à membrane intacte et (E) pourcentage de spermatozoïdes morphologiquement défectueux dans le sperme d'étalons Shetland (N 1/4 13) transportés pendant 12 heures, traités avec de l'ACTH synthétique trois fois à 4 heures d'intervalle ou laissés sans traitement comme témoins, jour de l'expérience 1/4 Jour 1 (flèche). Les valeurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les différences significatives au cours des jours 2 à 6 et des semaines 2 à 9 après le traitement sont indiquées dans les figures, aucune différence significative entre les traitements. (Deichsel et al., 2015)

Figures 13

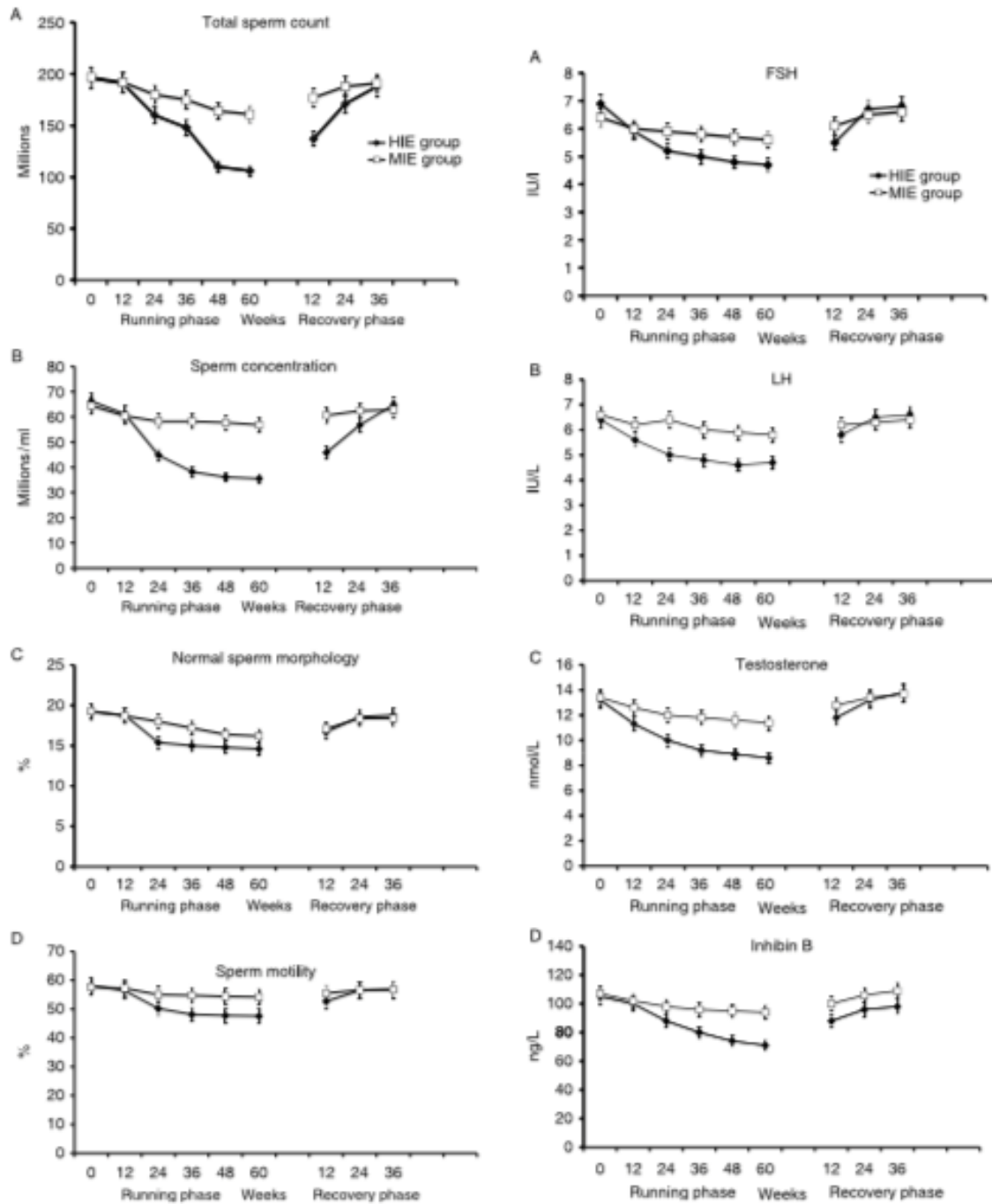


Figure 13a: Paramètres du sperme pendant les périodes de course et de récupération. Toutes les données sont exprimées en moyenne. HIE, exercice de haute intensité et MIE, exercice d'intensité modérée

Figure 13b : Taux d'hormones sériques pendant les périodes de course et de récupération. Toutes les données sont exprimées en moyenne. HIE, exercice de haute intensité et MIE, exercice d'intensité modérée

(Safarinejad et al., 2009)

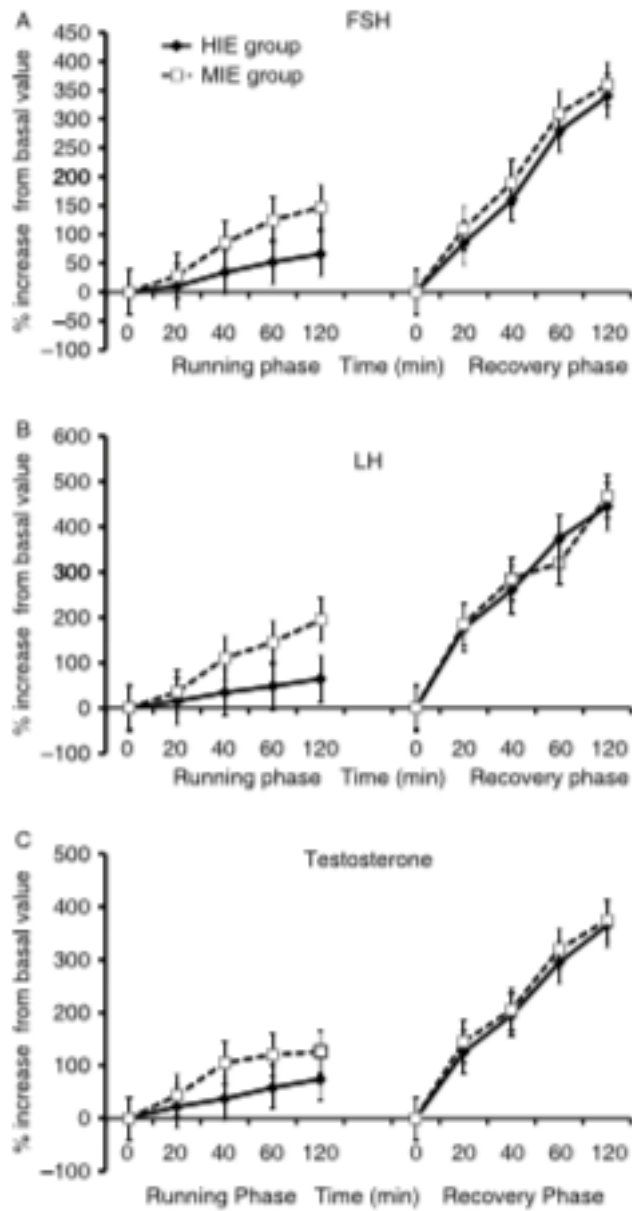


Figure 13c : (A, B) Réponses de la FSH et de la LH et (C) de la testostérone des sujets à l'analogue de la GnRH et à la hCG, à la fin des phases de course et de récupération. HIE, exercice de haute intensité ; MIE, exercice d'intensité modérée ; GnRH, hormone de libération de la gonadotrophine et hCG, gonadotrophine chorionique humaine. (Safarinejad et al., 2009)

BIBLIOGRAPHIE

- Aaltonen, P., Amory, J. K., Anderson, R. A., Behre, H. M., Bialy, G., Blithe, D. L., Bone, W., Bremner, W. J., Colvard, D. S., Cooper, T. G., Elliesen, J., Gabelnick, H., Gu, Y., Handelsman, D. J., Johansson, E. D. B., Kersemaekers, W. M., Liu, P., MacKay, T., Matlin, S. A., ... Zitzmann, M. (2007). 10th Summit Meeting Consensus: Recommendations for regulatory approval for hormonal male contraception. *Journal of Andrology*, 28(3), 362–363. <https://doi.org/10.2164/jandrol.106.002311>
- Alexander, S. L., & Irvine, C. H. (1998). The effect of social stress on adrenal axis activity in horses: the importance of monitoring corticosteroid-binding globulin capacity. *Journal of Endocrinology*, 157(3), 425–432. <https://doi.org/10.1677/joe.0.1570425>
- Art, T., Amory, H., & Lekeux, P. (2000). Notions de base de physiologie de l'effort. *Pratique Vétérinaire Equine*, 32, 247–254. <https://hdl.handle.net/2268/8290>
- Art, T., Votion, D., & Lekeux, Pierre. (2010). Physiological measurements in horses after strenuous exercise in hot, humid conditions. *Equine Veterinary Journal*, 27(S20), 120–124. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1995.tb05017.x>
- Ball, B. A. (2011). Oxidative Stress in Sperm. In *Equine Reproduction, 2nd Edition (Vetbooks.Ir)* (pp. 991–995). Vetbooks.ir.
- Baumber-Skaife, J. (2011). Evaluation of Semen. In Vetbooks.Ir (Ed.), *Equine Reproduction (2nd Edition)*, pp. 1278–1291).
- Beard, W. (2011). Abnormalities of the Testicles. In *Equine Reproduction (2nd Edition)*, pp. 1161–1165). Vetbooks.ir.
- Bertuglia, A., Bullone, M., Rossotto, F., & Gasparini, M. (2014). Epidemiology of musculoskeletal injuries in a population of harness Standardbred racehorses in training. *BMC Veterinary Research*, 10. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-10-11>
- Bertuglia, A., Pagliara, E., Manca, F., Pozzolo, P., & Mannelli, A. (2020). Prognostic Indicators after Musculoskeletal Injuries in Standardbred Racehorses in Italy. *Journal of Equine Veterinary Science*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103180>
- Bolwell, C., Rogers, C., Gee, E., & McIlwraith, W. (2017). Epidemiology of musculoskeletal injury during racing on New Zealand racetracks 2005-2011. *Animals*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/ani7080062>
- Brinsko, S. P., Blanchard, T. L., Varner, D. D., Schumacher, J., Love, C. C., Hinrichs, K., & Hartman, D. L. (2011). Examination of the Stallion for Breeding Soundness. In *MANUAL OF EQUINE REPRODUCTION* (pp. 176–206). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-06482-8/00022-3>
- Cavinder, C. A., Perrin, A. L., Rosenberg, J. L., & Varner, D. D. (2014). Relative alterations in core body temperature and internal and external scrotal temperatures of exercising stallions. *Professional Animal Scientist*, 30(4), 451–456. <https://doi.org/10.15232/pas.2014-01310>
- Cayado, P., Muñoz-Escassi, B., Domínguez, C., Manley, W., Olabarri, B., Sánchez de la Muela, M., Castejon, F., Marañón, G., & Vara, E. (2006). Hormone response to training and competition in athletic horses. *Equine Veterinary Journal*, 36, 274–278. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05552.x>
- Chiaradia, E., Avellini, L., Rueca, F., Spaterna, A., Porciello, F., Antonioni, M. T., & Gaiti, A. (1998). Physical exercise, oxidative stress and muscle damage in racehorses. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 119(4), 833–836. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(98\)10001-9](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(98)10001-9)
- Covalesky, M. E., Russoniello, C. R., & Malinowski, K. (1992). Effects of show-jumping performance stress on plasma cortisol and lactate concentrations and heart rate and

- behavior in horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 12(4), 244–251.
[https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(06\)81454-1](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(06)81454-1)
- Cox, J. E., & Jawad, N. M. A. (1979). Adrenal-Testis Interaction in the Stallion. *Equine Veterinary Journal*, 11(3), 195–198. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1979.tb01341.x>
- Crawford, K. L., Finnane, A., Phillips, C. J. C., Greer, R. M., Woldeyohannes, S. M., Perkins, N. R., Kidd, L. J., & Ahern, B. J. (2021). The risk factors for musculoskeletal injuries in thoroughbred racehorses in queensland, australia: How these vary for two-year-old and older horses and with type of injury. *Animals*, 11(2), 1–28.
<https://doi.org/10.3390/ani11020270>
- Deichsel, K., Pasing, S., Erber, R., Ille, N., Palme, R., Aurich, J., & Aurich, C. (2015). Increased cortisol release and transport stress do not influence semen quality and testosterone release in pony stallions. *Theriogenology*, 84(1), 70–75.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.02.015>
- Dinger, J. E., & Noiles, E. E. (1986). Effect of Controlled Exercise on Libido in 2-Yr-Old Stallions. *Journal of Animal Science*, 62(5), 1220–1223.
<https://doi.org/10.2527/jas1986.6251220x>
- Dinger, J. E., Noiles, E. E., & Hoagland, T. A. (1986). Effect Of Controlled Exercise On Semen Characteristics In Two-Year-Old Stallions. *Theriogenology*, 25(4), 525–535.
- Dyson, S. (2002). Lameness and Poor Performance in the Sports Horse: Dressage, Show Jumping and Horse Trials (Eventing). *Journal of Equine Veterinary Science*, 22(4), 145–150.
- Egenvall, A., Tranquille, C. A., Lönnell, A. C., Bitschnau, C., Oomen, A., Hernlund, E., Montavon, S., Franko, M. A., Murray, R. C., Weishaupt, M. A., Weeren, van R., & Roepstorff, L. (2013). Days-lost to training and competition in relation to workload in 263 elite show-jumping horses in four European countries. *Preventive Veterinary Medicine*, 112(3–4), 387–400. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.09.013>
- Fazio, E., Medica, P., Aronica, V., Grasso, L., & Ferlazzo, A. (2008). Circulating β -endorphin, adrenocorticotrophic hormone and cortisol levels of stallions before and after short road transport: stress effect of different distances. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(6), 2–7. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-6>
- Fleurot, G. (2014, June 8). *Les équipes qui interdisent à leurs joueurs d'avoir des relations sexuelles ont-elles de meilleurs résultats?* <https://www.slate.fr/story/88049/sexe-football-coupe-monde>
- Freidman, R., Scott, M., Heath, S. E., Hughes, J. P., Daels, P. F., & Tran, T. Q. (1991). The effects of increase testicular temperature on spermatogenesis in the stallion. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement*, 44, 127–134.
- Gaskins, A. J., Mendiola, J., Afeiche, M., Jørgensen, N., Swan, S. H., & Chavarro, J. E. (2015). Physical activity and television watching in relation to semen quality in young men. *British Journal of Sports Medicine*, 49(4), 265–270.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091644>
- Gauche, E., & Hausswirth, C. (2006). Stress oxydant, complémentation nutritionnelle en antioxydants et exercice. *Movement & Sport Sciences*, 58, 43–66.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3917/sm.058.66>
- Hajizadeh Maleki, B., Tartibian, B., Eghbali, M., & Asri-Rezaei, S. (2013). Comparison of seminal oxidants and antioxidants in subjects with different levels of physical fitness. *Andrology*, 1(4), 607–614. <https://doi.org/10.1111/j.2047-2927.2012.00023.x>
- Heninger, N. L. (2011). Puberty. In *Equine Reproduction* (2nd Edition, pp. 1015–1025). Vetbooks.ir.

- Hill, E. E., Zack, E., Battaglini, C., Viru, M., Viru, A., & Hackney, A. C. (2008). Exercise and circulating Cortisol levels: The intensity threshold effect. *Journal of Endocrinological Investigation*, *31*(7), 587–591. <https://doi.org/10.1007/BF03345606>
- Hodder, A. D. J., & Liu, I. K. M. (2011). Spermatozoal Motility. In Vetbooks.Ir (Ed.), *Equine Reproduction* (2nd Edition, pp. 1292–1296).
- Hodgson, D. R., Davis, R. E., & McConaghy, F. F. (1994). Thermoregulation in the horse in response to exercise. *British Veterinary Journal*, *150*(3), 219–235. [https://doi.org/10.1016/S0007-1935\(05\)80003-X](https://doi.org/10.1016/S0007-1935(05)80003-X)
- Janett, F., Burkhardt, C., Burger, D., Imboden, I., Hässig, M., & Thun, R. (2006). Influence of repeated treadmill exercise on quality and freezability of stallion semen. *Theriogenology*, *65*(9), 1737–1749. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.09.017>
- Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., & French, D. N. (2016). Performance And Endocrine Responses To Differing Ratios Of Concurrent Strength And Endurance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(3), 693–702. www.nscs.com
- Józków, P., & Rossato, M. (2017). The Impact of Intense Exercise on Semen Quality. *American Journal of Men's Health*, *11*(3), 654–662. <https://doi.org/10.1177/1557988316669045>
- Lange, J., Matheja, S., Klug, E., Aurich, C., & Aurich, J. (1997). Influence of Training and Competition on the Endocrine Regulation of Testicular Function and on Semen Parameters in Stallions. *Reproduction in Domestic Animals*, *32*(6), 297–302. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.1997.tb01299.x>
- Larousse, É. (s. d.). (n.d.). *Définitions : libido - Dictionnaire de français Larousse*. Retrieved June 11, 2023, from <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/libido/47004>
- Little, T. V., & Holyoak, G. R. (1992). Reproductive anatomy and physiology of the stallion. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, *8*(1), 1–29. [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30464-9](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30464-9)
- Mawyer, J. D., Cavinder, C. A., Vogelsang, M. M., Sigler, D. H., Love, C. C., Brinsko, S. P., Blanchard, T. L., Varner, D. D., Arnold, C. E., Teague, S., & Gordon, R. K. (2012). Thermoregulation of the testicle in response to exercise and subsequent effects on semen characteristics of stallions. *Journal of Animal Science*, *90*(8), 2532–2539. <https://doi.org/10.2527/jas2011-4543>
- McDonnell, S. M. (2000). Reproductive behavior of stallions and mares: comparison of free-running and domestic in-hand breeding. In *Animal Reproduction Science* (Vol. 60). www.elsevier.com/locate/animalreprosci
- McDonnell, S. M. (2011). Normal Sexual Behavior. In *Equine Reproduction* (2nd Edition, pp. 1385–1390). Vetbooks.ir.
- McDonnell, S. M., Kenney, R. M., Garcia, M. C., & Meckley, P. E. (1985). Conditioned Suppression of Sexual Behavior in Stallions and Reversal With Diazepam. *Physiology & Behavior*, *34*, 951–956.
- McDonnell, S. M., Pozor, M., Pozor, M. A., & McDonnell, S. M. (1995). Accessory sex gland size and character differ between harem and bachelor stallions Ultrasonographic measurements of accessory sex glands, ampullae, and urethra of normal stallions of various size types. *Theriogenology*, *58*, 1425–1433. <https://www.researchgate.net/publication/287112436>
- Mieusset, R., Grandjean, H., Mansat, A., & Pontonnier, F. (1985). Inhibiting effect of artificial cryptorchidism on spermatogenesis. *Fertility and Sterility*, *43*(4), 589–594. [https://doi.org/10.1016/S0015-0282\(16\)48502-X](https://doi.org/10.1016/S0015-0282(16)48502-X)
- Mills, P. C., Smith, N. C., Casas, I., Harris, P., Harris, R. C., & Marlin, D. J. (1996). Effects of exercise intensity and environmental stress on indices of oxidative stress and iron

- homeostasis during exercise in the horse. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(1–2), 60–66. <https://doi.org/10.1007/BF00376495>
- Minami, Y., Kawai, M., Migita, T. C., Hiraga, A., & Miyata, H. (2011). Free Radical Formation after Intensive Exercise in Thoroughbred Skeletal Muscles. *Journal of Equine Science*, 22(2), 21–28. <https://doi.org/10.1294/jes.22.21>
- Moffarts, B., Kirschvink, N., Art, T., Pincemail, J., & Lekeux, P. (2006). Effect of exercise on blood oxidant/antioxidant markers in Standardbred horses: comparison between treadmill and race track tests. *Equine Veterinary Journal*, 38(S36), 254–257. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05548.x>
- Munsters, C. C. B. M., Kingma, B. R. M., van den Broek, J., & Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M. (2020). A prospective cohort study on the acute:chronic workload ratio in relation to injuries in high level eventing horses: A comprehensive 3-year study. *Preventive Veterinary Medicine*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105010>
- Ono, K., Inui, K., Hasegawa, T., Matsuki, N., Watanabe, H., Takagi, S., Hasegawa, A., & Tomoda, I. (1990). The changes of antioxidative enzyme activities in equine erythrocytes following exercise. *The Japanese Journal of Veterinary Science*, 52(4), 759–765. <https://doi.org/10.1292/jvms1939.52.759>
- Paris, A., Beccati, F., & Pepe, M. (2021). Type, prevalence, and risk factors for the development of orthopedic injuries in endurance horses during training and competition. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 258(10), 1109–1118. <https://doi.org/10.2460/JAVMA.258.10.1109>
- Pequetot, T. (2022, November 24). *Chacco-Blue, Diarado et Johnson sont les meilleurs sires de l'année 2022*. <https://grandprix.info/fr/53750/ChaccoBlue-Diarado-et-Johnson-sont-les-meilleurs-sires-de-lannee-2022/>
- Ponthier, J. (2012). Examen andrologique de l'étalon - Badanie andrologiczne ogiera. In Z. Gajewski (Ed.), *Rosrod Koni II - wybrane problemy. Rosrod Koni II - Wybrane Problemy*, 89–98.
- Reed, S. R., Jackson, B. F., Mc Ilwraith, C. W., Wright, I. M., Pilsworth, R., Knapp, S., Wood, J. L. N., Price, J. S., & Verheyen, K. L. P. (2012). Descriptive epidemiology of joint injuries in Thoroughbred racehorses in training. *Equine Veterinary Journal*, 44(1), 13–19. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00352.x>
- Ren, L., Zhang, Y., Xin, Y., Chen, G., Sun, X., Chen, Y., & He, B. (2021). Dysfunction in Sertoli cells participates in glucocorticoid-induced impairment of spermatogenesis. *Molecular Reproduction and Development*, 88(6), 405–415. <https://doi.org/10.1002/mrd.23515>
- Roser, J. F. (2011). Endocrine–Paracrine– Autocrine Regulation of Reproductive Function in the Stallion. In Vetbooks.Ir (Ed.), *Equine Reproduction* (pp. 996–1014).
- Safarinejad, M. R., Azma, K., & Kolahi, A. A. (2009). The Effects of intensive, long-term treadmill running on reproductive hormones, hypothalamus-pituitary-testis axis, and semen quality: A randomized controlled study. In *Journal of Endocrinology* (Vol. 200, Issue 3, pp. 259–271). Society for Endocrinology. <https://doi.org/10.1677/JOE-08-0477>
- Sexton, W. L., Erickson, H. H., DeBowes, R. M., & Sigler, D. H. (1986). effects of training on regulation of blood temperature during exercise in the equine species. *Proceedings of the Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners*, 199–208.
- Sheiner, E. K., Sheiner, E., Carel, R., Potashnik, G., & Shoham-Vardi, I. (2002). Potential Association Between Male Infertility and Occupational Psychological Stress. *J Occup Environ Med.*, 44, 1093. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000044116.59147.64>
- Sloet Van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M., Genzel, W., & van Weeren, P. R. (2010). A pilot study on factors influencing the career of Dutch sport horses. *Equine Veterinary Journal*, 42(SUPPL. 38), 28–32. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00251.x>

- Soroko, M., Śpitalniak-Bajerska, K., Zaborski, D., Poźniak, B., Dudek, K., & Janczarek, I. (2019). Exercise-induced changes in skin temperature and blood parameters in horses. *Archives Animal Breeding*, 62(1), 205–213. <https://doi.org/10.5194/aab-62-205-2019>
- Vaamonde, D., Da Silva-Grigoletto, M. E., García-Manso, J. M., Barrera, N., & Vaamonde-Lemos, R. (2012). Physically active men show better semen parameters and hormone values than sedentary men. *European Journal of Applied Physiology*, 112(9), 3267–3273. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2304-6>
- Veeramachaneni, D. N. R. (2011). Spermatozoal Morphology. In Vetbooks.Ir (Ed.), *Equine Reproduction* (2nd Edition, pp. 1297–1307).
- William B. Ley, S. H. S. (2007). Infertility and Diseases of the Reproductive Tract of Stallions. In *Current Therapy in Large Animal Theriogenology: Vol. Second Edition* (pp. 15–23). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-072169323-1.50006-4>
- Wilson, M., Williams, J., Tamara Montrose, V., & Williams, J. (2019). Variance in stallion semen quality among equestrian sporting disciplines and competition levels. *Animals*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/ani9080485>