

La médecine sportive : une partie intégrante de la médecine vétérinaire

Tatiana ART, P. LEKEUX
Service de Physiologie, Faculté de Médecine
Vétérinaire, ULg
45, rue des Vétérinaires, B-1070 Bruxelles

Manuscrit déposé le 09/11/1989.

Introduction

L'orientation première des sciences médicales, tant sur le plan de la recherche que sur le plan pratique, a été axée sur l'aspect thérapeutique. Une fois ces bases établies, la tendance a été, non plus uniquement de tenter de guérir les maladies, mais aussi de les prévenir par des moyens médicamenteux ou non. A ce double aspect thérapeutique et préventif dont le développement actuel est considérable vient de s'ajouter, au cours de la dernière décennie, une nouvelle et troisième dimension.

Dès lors, les fondements de cette nouvelle conception de la médecine ne sont plus seulement de traiter et/ou de prévenir les maladies, mais aussi et surtout d'optimiser les performances zootechniques ou sportives des animaux par une gestion correcte de leurs potentialités génétiques.

L'importance de cette nouvelle philosophie dans le domaine de la médecine sportive est indéniable. L'essor considérable qu'ont connu ces 10 dernières années les connaissances en matière de physiologie de l'effort chez les animaux en général et les équidés en particulier en est l'incon-

testable preuve. La finalité est d'offrir aux entraîneurs et aux propriétaires, par le biais de leur médecin vétérinaire, des méthodes de management qui permettront l'optimisation et la pérennité des performances de leurs animaux.

Cette nouvelle spécialité de la médecine vétérinaire qu'est la médecine du sport devra, entre autres, tendre à changer les mentalités en tentant de faire disparaître des principes tels que celui du «gagner à tout prix» – y compris au prix de la santé –, celui du dopage, de l'empirisme, etc...

Chez l'homme, le concept de médecine du sport a déjà fait ses preuves et les améliorations des performances sont en grande partie les conséquences directes de la recherche intensive menée tous azimuts dans les domaines relatifs à l'exercice musculaire. Des informations multiples et diverses sur les besoins et les processus métaboliques, sur la coordination neuro-musculaire, sur la biomécanique, sur l'adaptation des systèmes musculaire, cardio-vasculaire et respiratoire au cours de l'effort ont contribué à l'affinement incessant des méthodes d'entraînement et de ma-

nagement de l'athlète (Astrand et Rodahl, 1977; McArdle et al., 1986). Il en est par ailleurs issu une spécialisation médicale à part entière, et reconnue comme telle par la plupart des universités.

De nombreuses espèces animales ont également été étudiées sur le plan de la physiologie de l'exercice musculaire. Beaucoup l'ont été parce qu'elles représentaient un modèle expérimental adéquat pour des études dont les retombées potentielles bénéficient à la médecine humaine. Les études portant sur les spécificités propres aux animaux «sportifs» tels que le pigeon voyageur, le chien et le cheval, non plus en tant que modèles expérimentaux, mais en tant qu'athlètes à part entière, sont moins abondantes. Des travaux récents sur le pigeon ont fait ressortir ses capacités d'endurance et son système d'orientation extraordinaires (Vindevogel et al., 1987). L'effort, d'intensité extrême, que représente la course de vitesse pour le lévrier a également été à la base d'investigations concernant les modifications de la biochimie sanguine de ces animaux après l'effort (Bjotvedt et al., 1984; McKeever et al., 1985; Lassen et al., 1986; Ilkiw et al., 1989). Enfin, des travaux ont également permis d'identifier les spécificités du Husky sibérien, les raisons de son excellente endurance et les techniques d'entraînement susceptibles d'améliorer ses capacités athlétiques (Ready et Morgan, 1984).

Bien qu'un nombre non négligeable de travaux de recherche consacrés aux colombidés et aux canidés ait été publié durant ces dernières années, la présente revue de littérature se limitera volontairement aux découvertes relatives à la médecine sportive équine. La recherche dans ce domaine tente de répondre à un large éventail de questions, depuis les plus fondamentales jusqu'aux

plus concrètes. En effet, d'une part l'intérêt du physiologiste se porte sur l'identification du ou des facteurs limitant la performance maximale chez l'athlète équin. Mais, d'autre part, la préoccupation du vétérinaire est également de pouvoir proposer dans le futur des techniques d'entraînement appropriées et des tests fiables pour contrôler l'adéquation de ces entraînements, des méthodes de sélection d'individus particulièrement aptes, ou inaptes, à telle ou telle discipline sportive, des méthodes de détection précoces de troubles subcliniques n'induisant qu'une intolérance à l'effort, etc... Notre ambition n'est pas de réaliser un compte-rendu exhaustif, ce qui nécessiterait la rédaction d'un ouvrage entier, mais de notifier les acquisitions les plus récentes et les plus marquantes dans les différents domaines de la médecine sportive équine.

Le système cardiovasculaire

Durant ces 25 dernières années, une attention toute particulière a été portée par les chercheurs sur le système cardio-vasculaire. Dans un premier temps, l'hématologie de repos a été étudiée comme paramètre éventuel pour l'estimation de la condition (Persson, 1969; Archer, 1974; Jeffcott, 1974; Stewart et Steel, 1974), mais, par la suite, certains risques d'erreurs inhérents à cette approche ont été mis en évidence (Revington, 1983; Snow, 1983a; Muylle et al., 1983). La vidange splénique induite par l'effort a été décrite pour la première fois par Persson (1967). Après, une étude sur l'hémorhéologie du cheval a suggéré que ce phénomène s'accompagnait d'une élévation du taux d'échinocytes – globules rouges à déformabilité réduite –, induisant une modification de la viscosité sanguine pouvant être parfois défavorable à l'oxygénation adéquate des tissus (Boucher et al., 1981; Boucher, 1987).

L'examen électrocardiographique et la détermination du score cardiaque (longueur du complexe QRS) ont été utilisés pour estimer la taille du cœur (Steel et Stewart, 1972; Nielsen et Vibe-Petersen, 1980; Moodie et

Sheard, 1980), mais la fiabilité de cet examen et surtout son rapport avec l'aptitude à l'effort ont été fortement controversés depuis et sont toujours sujets à polémiques (Gross et al., 1974; Physick-Sheard et Hendren, 1983). D'autres encore ont essayé avec un succès relatif de corrélérer les courbes de récupération de la fréquence cardiaque avec la tolérance à l'effort (Aitken et al., 1976; Cardinet et al., 1963; Engelhardt, 1977).

Il est cependant très vite apparu que l'étude de l'adaptation à l'effort du système cardio-vasculaire, comme celle des autres systèmes sollicités lors d'un exercice, ne pouvait se faire de façon parfaitement fiable et rigoureuse que lors de l'exercice lui-même. Certains ont dès lors étudié les effets de l'exercice sur des chevaux réalisant un effort dans une piscine (Fregin et Nicholl, 1979; Thomas et al., 1980) ou sur une piste de course (McArdle et al., 1967; Krzywaneck et al., 1970; Hall et al., 1976; Marsland, 1968). Mais c'est surtout l'emploi de tapis roulant à grande vitesse, permettant une maîtrise et une standardisation parfaites de l'effort, qui a été à l'origine d'une progression rapide et réelle dans la compréhension des mécanismes de l'adaptation de l'organisme à l'effort (Bergsten, 1976; Thomas et Fregin, 1981; Persson, 1983). L'augmentation du débit cardiaque, ainsi que les contributions relatives du volume systolique et de la fréquence cardiaque à cette augmentation, ont été depuis lors largement étudiés (Bergsten, 1976; Muir et al., 1976; Thomas et Fregin, 1981; Evans, 1985). Des techniques nouvelles basées sur l'utilisation de microsphères radio-actives ont permis d'étudier la répartition du débit sanguin dans les différents tissus en fonction de l'intensité de l'exercice (Parks et Manohar, 1985). Il s'est avéré que lors d'exercices intenses le débit sanguin musculaire du cheval atteint des valeurs de 160 ml/100 g, soit 2 fois plus que ce qui est rapporté pour l'homme dans des conditions similaires (Saltin, 1985). Les adaptations à l'effort de la pompe cardiaque ont été également étudiées grâce à la mesure des pressions intravasculaires et intracardiaques (Bergsten, 1976; Bayly et al., 1983a; Thomas et

al., 1983). Les mesures de la pression intraventriculaire ont notamment permis d'extrapoler la vitesse maximale d'augmentation de pression (le rapport dp/dt_{max}) comme index de la contractilité myocardique (Thomas et Fregin, 1981).

L'ensemble de ces recherches ont mis en évidence la capacité exceptionnelle du cheval à augmenter le transport de l'oxygène des poumons vers le muscle ainsi que l'extrême adaptabilité de ce système au cours de l'entraînement (Engelhardt, 1977; Physick-Sheard, 1985). Il a aussi été établi de façon indubitable qu'au cours de l'entraînement, si la fréquence cardiaque maximale ne semble pas être modifiée (Foreman, 1984), la fréquence cardiaque diminue pour une vitesse donnée. Ce paramètre physiologique aisément mesurable par télémétrie (Lekeux et al., 1982) ou grâce à des micro-enregistreurs placés sur le cheval (Evans et Rose, 1986) est donc actuellement un critère fiable d'appréciation de la condition physique (Fregin et Thomas, 1983; Persson, 1983). Enfin, il a été suggéré que, contrairement à l'homme (Bevegard et Shepherd, 1967), le cheval ne semble pas être limité dans ses performances par son système cardio-vasculaire (Gillespie et Pascoe, 1983).

Le système respiratoire

Certains auteurs, se basant soit sur des appréciations théoriques (Gillespie, 1975), soit sur des faits cliniques (Jeffcott et al., 1982), soit sur des expériences au cours d'effort modéré (Art et Lekeux, 1988), avaient émis l'hypothèse que le fonctionnement parfait du système respiratoire était indispensable à la réalisation de performances de haut niveau chez les équidés.

Cependant, l'adaptation du dit système à l'effort n'avait reçu jusqu'alors que très peu d'attention de la part des scientifiques. Ceci était probablement dû au fait que, d'une part, chez l'athlète humain ce facteur est, à de très rares exceptions près, non limitant de la performance (Astrand et Rodahl, 1977; Bye et al., 1983) et que, d'autre part, les difficultés techniques liées à ce type d'investigation

sont réelles. Au début des années 80, la découverte du fait que les chevaux, même sains, réalisant des efforts de forte intensité, présentaient systématiquement une hypoxémie marquée – 60 à 70 mmHg de pression artérielle en O₂ (Bayly et al., 1983) – a soulevé de nombreuses questions quant à l'aptitude du système respiratoire à répondre de façon adéquate à une demande en oxygène élevée de l'organisme. Le très haut degré de fiabilité et la vitesse de réponse des moyens actuellement disponibles pour les mesures de la ventilation ont permis de surmonter les obstacles techniques.

Très récemment, des études ont donc été menées afin de déterminer les facteurs potentiellement responsables de l'hypoxémie d'effort, tels que l'hypoventilation alvéolaire, les problèmes de diffusion et l'inadéquation du rapport ventilation/perfusion. La mesure simultanée des pressions intrathoraciques et des débits aériens a fait apparaître l'intervention partielle de facteurs mécaniques de la respiration dans cette limitation de la ventilation. Ainsi il a été rapporté que la résistance pulmonaire totale, le travail mécanique de la respiration et l'inertance pulmonaire (mesure des forces mises en jeu pour accélérer la masse d'air contenue dans les voies respiratoires) augmentaient de façon spectaculaire lors de l'effort (Art et al., 1988; Art et Lekeux, 1989; Art et al., 1989a; Art et al., 1989b). L'observation antérieure du fait que les possibilités de vasodilatation au niveau des vaisseaux diaphragmatiques étaient proches de leur maximum au cours d'effort violent (Manohar, 1986) – alors qu'au niveau coronaire, il restait une réserve vasodilatatrice considérable (Parks et Manohar, 1983) – conforte cette hypothèse de limitation de la ventilation au cours de l'effort. D'autre part, le couplage entre la locomotion et la respiration apparaissant parfois lors du trot et inévitable lors du galop représente une contrainte supplémentaire pour le cheval qui doit adapter sa fréquence respiratoire à celle de ses foulées (Bramble et Carrier, 1983; Art et al., 1990a).

Enfin, une technique nouvelle basée sur la perfusion de gaz inertes et la

mesure de ces gaz dans l'air expiré a révélé que la vitesse de diffusion de l'oxygène au travers de la membrane alvéolo-capillaire pourrait également être partiellement responsable de l'hypoxémie d'effort. Par contre, aucune inadéquation du rapport ventilation/perfusion n'a été observée (Wagner et al., 1989). Le fait que les chevaux sains semblent approcher de la limite de leur capacité ventilatoire lors d'exercices intenses pourrait représenter un handicap réel à la réalisation de performances maximales. Ceci est d'autant plus remarquable que, contrairement à toutes les autres fonctions impliquées dans l'exercice (cardiaque, musculaires), la fonction respiratoire n'est pas influencée par l'entraînement (Dempsey, 1986; Rose et Evans, 1987). D'autre part, il est aisé d'imaginer que si la fonction respiratoire semble déjà limitante chez le cheval sain, elle doit l'être à fortiori chez un cheval souffrant soit de problèmes respiratoires même subcliniques, soit d'hémorragie pulmonaire induite par l'exercice.

Le système musculaire

La pratique des biopsies musculaires (Snow, 1983b) a été appliquée à l'espèce équine pour étudier de façon approfondie le recrutement des différents types de fibres musculaires au cours d'effort d'endurance (Essen-Gustavsson et al., 1984), de vitesse (Snow et Mackenzie, 1977), de puissance et de traction (Gottlieb et al., 1987), ainsi que les demandes et adaptations métaboliques au cours de ces différents types d'exercice et de l'entraînement (Lindholm et Saltin, 1974; Hodgson et al., 1986; Essen-Gustavsson et al., 1989). De nombreuses études indirectes du métabolisme musculaire au cours de l'effort ont été également réalisées par le biais de la mesure de métabolites musculaires, dont le plus usité et le plus fiable est sans conteste le lactate. Il a donc été démontré que l'accumulation des lactates sanguins, – reflet de l'intensité relative de la dégradation anaérobie du glycogène et du glucose par rapport à la dégradation aérobie de ces mêmes substrats –, adoptait

une courbe de type exponentiel en fonction de la vitesse de la course (Engelhardt, 1977; Wilson et al., 1983).

Comme l'homme (Astrand et Rodahl, 1977), le cheval hérite de ses parents l'aptitude pour un type de discipline donné, ou, en d'autres termes, la proportion des différents types de fibres musculaires est génétiquement déterminée (Snow et Guy, 1980). Cependant, l'entraînement est susceptible de modifier cette répartition. Le muscle du cheval s'est avéré avoir des spécificités propres à l'espèce, telles la grande proportion de fibres à contraction rapide dans certaines races (Lindholm et Piehl, 1974) – ce qui signe une incontestable aptitude au développement de forces explosives –, l'excellente adaptabilité de ce tissu à l'entraînement, et surtout sa capacité à supporter une acidité extrême, bien plus élevée que celle rapportée chez l'athlète d'élite humain. La nature de la fatigue périphérique musculaire s'est avérée, chez le cheval comme chez l'homme, différente suivant que l'effort réalisé était de type endurance où une déplétion des réserves énergétiques au niveau du muscle est à mettre en cause (Essen-Gustavsson et al., 1984), ou de type vitesse où l'accumulation intra-musculaire de déchets métaboliques semble jouer un rôle capital (Lindholm et Saltin, 1974). Ces découvertes ont des conséquences pratiques réelles sur le plan des techniques d'entraînement à appliquer en fonction du type de discipline pour laquelle le sujet est préparé.

La biochimie de l'effort

La biochimie sanguine, aide précieuse dans le diagnostic des maladies, a eu son heure de gloire dans la quête de paramètres simples à mesurer pour l'estimation de la condition. Cependant, l'affirmation qu'un examen sanguin de repos avait une réelle valeur prédictive et de contrôle (Williamson, 1974) a été malheureusement infirmée par la suite (Mine et al., 1976; Stewart et al., 1983). Il est actuellement clair que les paramètres sanguins ne peu-

vent avoir de valeur dans l'estimation de la condition que lorsqu'ils sont mesurés après un effort standardisé. Moyennant donc le respect d'une stricte standardisation, la mesure du lactate est actuellement universellement considérée comme un test fiable pour l'estimation de la condition physique et surtout pour l'appréciation de son évolution au cours de l'entraînement. Les avis quant à la valeur des autres paramètres biochimiques dans les tests de suivi de l'entraînement après un effort standardisé restent pour le moins partagés. Pour les uns, la mesure des enzymes d'origine – entre autres – musculaire telles que la phosphocréatine kinase, la lactate déshydrogénase et la glutamic oxalate transférase pourrait être utile dans le contrôle de l'entraînement (Anderson, 1975), tandis que d'autres n'ont observé aucune modification de ces paramètres après un exercice standardisé (Milne et al., 1976; Rose et al., 1983).

Cependant, si ces analyses semblent être d'une utilité contestée pour le suivi d'entraînement, elles sont largement justifiées dans le suivi *médical* des chevaux de sport : elles permettent en effet de détecter de façon précoce des anomalies fonctionnelles n'ayant pas de répercussion sur le plan clinique, mais bien sur le plan de la performance (Art et al., 1990b). Elles ont en outre largement contribué à la détermination du type d'effort réalisé et du type de métabolisme sollicité dans pratiquement toutes les disciplines équestres, à savoir le concours complet (Rose et al., 1980a et b; Amory et al., 1990), les courses d'endurance (Rose et al., 1977), les courses de galop (Snow et al., 1983a), les courses de trot (Steel et Whitlock, 1960), le polo (Craig et al., 1985) et le jumping (Art et al., 1990c).

La mesure de la consommation d'oxygène

Bien que les premières tentatives de mesure de la consommation d'oxygène datent du siècle dernier (Zunt, 1896), ce n'est que depuis peu que la détermination de la consommation maximale d'oxygène (VO₂max), utilisée de longue date en médecine hu-

maine pour l'appréciation des capacités aérobiques de l'athlète, a été réalisée de façon directe, reproductible et fiable sur le cheval (Persson, 1983). Cette mesure requerrait antérieurement l'utilisation d'un matériel lourd, tel que le port d'une valve IN-EX pour la récolte des gaz expirés. Outre le fait que ces appareils étaient contraignants pour le cheval, ils pouvaient également induire des altérations de la stratégie respiratoire et donc rendre les mesures non physiologiques. Des expériences ont donc été réalisées pour surmonter les difficultés techniques que représentait ce type de mesure (Bayly et al., 1987; Evans et Rose 1988a, 1988b). Une solution a été proposée pour éviter les inconvénients propres au masque. Elle est basée sur l'utilisation d'un système de pompe à vide qui aspire l'air au travers du masque à un débit d'environ 1000 L/min, réduisant ainsi de façon importante la résistance à l'écoulement de l'air (Bayly et al., 1987). Plus récemment encore, l'utilisation de matériel aussi sophistiqué que le spectromètre de masse et le pneumotachographe à ultrasons a également permis la mesure de la VO₂max de façon fiable, aisée, confortable pour le patient et instantanée (Woakes et al., 1987, Art et al., 1989b). La simplification et la légèreté du matériel porté par le cheval au cours de ce dernier type de test peuvent laisser espérer son application à des fins cliniques dans un futur proche.

Les effets de l'entraînement et les tests d'appréciation de la condition physique

Des études sur les systèmes musculaire, cardiaque et respiratoire a émergé une meilleure compréhension des effets de l'entraînement. Conséquemment, des méthodes d'entraînement originales, basées sur celles déjà appliquées en médecine humaine, dont notamment «l'interval training» (Gabel et al., 1983), ainsi que des tests de contrôle de l'évolution de la condition ont été proposés.

Une des répercussions les plus spectaculaires de l'entraînement est l'augmentation des capacités aéro-

bies de l'individu, ce qui signifie une transformation des fibres de type IIB en fibres de type IIA (Valberg et Essen-Gustavsson, 1987), une augmentation du nombre de mitochondries dans le tissu musculaire (Straub et al., 1983), une amélioration de la vascularisation du même tissu (Henckel, 1983), une amélioration du pouvoir enzymatique oxydatif (Bechtel et Lawrence, 1989) et une meilleure utilisation des graisses comme substrat énergétique (Lucke et Hall, 1979). Sur le plan pratique, il s'ensuit qu'un cheval bien entraîné aura une consommation d'oxygène maximale augmentée. En outre, il produira moins de lactates au terme d'un effort sous-maximal standardisé et sa fréquence cardiaque au cours de ce même effort sera plus basse (Thomas et al., 1983; Persson, 1983). La mesure de la consommation d'oxygène est, comme il a été mentionné plus haut, le test le plus fiable pour l'estimation de l'évolution de l'état d'entraînement. Cependant, ce test requiert l'utilisation d'un matériel sophistiqué et d'un tapis roulant à grande vitesse, moyens uniquement disponibles dans des centres spécialisés. La corrélation entre la vitesse de course et les deux paramètres physiologiques que sont la fréquence cardiaque pendant l'effort et le taux de lactates sanguins donne donc l'estimation la plus fiable de la condition physique que l'on puisse proposer actuellement sur le terrain.

Afin de standardiser ce type de test et de permettre une comparaison – toute relative – entre les individus, les paramètres d'évaluation suivants ont été proposés : V150 et V200 (vitesses auxquelles court le cheval avec des fréquences cardiaques de 150b/min ou de 200b/min respectivement); VLA4 (la vitesse à laquelle il court au moment où il passe le seuil d'accumulation des lactates sanguins (OBLA) fixé à 4 mmol/L); LA200 et LA10 (lactatémie après une épreuve standardisée à 10m/sec ou à 200b/min de fréquence cardiaque respectivement) (Persson, 1983).

La biomécanique

Des études cinématographiques des allures du cheval (Schryver et al.,

1978; Fredricson et al., 1980), combinées à une analyse informatisée de l'intensité et de la durée de l'impact des pieds, mesurées d'abord au moyen de transducteurs placés sous les sabots (Frederick et Henderson, 1970), ensuite par la méthode des plaques plésymétriques (Pratt et O'Connor, 1976; Steiss et al., 1982), ont permis l'étude de la biomécanique des mouvements, c'est-à-dire l'analyse précise des pressions et sollicitations auxquelles sont soumises l'ossature et les articulations (Bartel et al., 1978). Ces techniques d'investigation sont avantageusement appliquées à l'étude de l'effet de la nature du terrain, de la ferrure, de la pente, des virages,... (Dalin et al., 1973).

Ce type d'analyse devrait donc permettre d'adapter les pistes de façon à réduire les risques d'apparition de boiteries (Cheney et al., 1973; Fredricson et al., 1975). D'aucuns ont également proposé une terminologie standardisée pour décrire la locomotion (Leach et al., 1984a); ils ont essayé de corrélérer les modifications dans les allures et l'apparition de la fatigue (Leach et Sprigings, 1979) ou encore ont tenté de déterminer l'aptitude au saut d'obstacle en fonction des allures (Leach et al., 1984b).

La nutrition et les stratégies alimentaires

Assez étonnamment, les travaux portant sur les spécificités de l'alimentation du cheval de sport en fonction de la discipline à laquelle il est destiné sont peu nombreux. La quantification exacte des besoins énergétiques liés à un type d'exercice a été faite, soit par extrapolation à partir des prises et pertes d'énergie et du gain de poids (Glade, 1983), soit à partir de la mesure de la consommation d'oxygène (McMiken, 1983). Il en est ressorti que la dépense énergétique par kilomètre parcouru est relativement indépendante de la vitesse (Fedak et Seeherman, 1979; McMicken, 1983). Par contre, la dépense énergétique totale est étroitement liée à la durée de l'effort (Glade, 1989). Des travaux sur les besoins protéiques ont montré que ces

derniers ne sont pas modifiés de façon significative chez le cheval de sport (Freeman et al., 1981), les seuls besoins supplémentaires étant ceux nécessaires au développement musculaire (Freeman et al., 1985). De plus, les pertes azotées dues à la sueur, chez les chevaux d'endurance notamment, sont largement compensées par un apport nutritif normal (Hintz, 1983). Enfin une surcharge azotée est franchement défavorable à tous points de vue (Glade, 1989). Si la bonne digestibilité des graisses par le cheval a été démontrée (Bowman, 1977), l'espoir que l'on avait de voir augmenter l'endurance des animaux nourris avec celles-ci a été jusqu'ici déçu (Hamblton et al., 1980). Les besoins en vitamines sont assurés par la ration normale, et bien que des chercheurs aient recommandé l'administration de supplément de thiamine (Loew et Bettany, 1973) et de Vitamine B12 (Roberts, 1983), il n'y a eu aucune évidence de l'amélioration de la performance après ce type de supplémentation (Glade, 1989). Lors de pertes électrolytiques importantes, induites par des sudations intenses et/ou prolongées (Carlson, 1983), une supplémentation pendant et après l'épreuve – pas avant – sera utile pour prévenir l'apparition de problèmes éventuels (Rose, 1981). Des carences en Ca, P et/ou Mg ont été très exceptionnellement observées en cours d'entraînement suite à l'accélération du turn-over osseux (Schryver et al., 1978). La supplémentation en ces éléments doit cependant être toujours réalisée avec énormément de circonspection (Glade, 1989). Certains enfin ont suggéré que des carences en Se pouvaient être responsables d'une diminution de la forme (Blackmore et al., 1979; Maylin et al., 1980).

A l'instar de ce qui est parfois pratiqué avec succès chez l'homme, certains ont testé sur le cheval l'efficacité des «stratégies alimentaires», telles que l'administration de glucose avant la compétition, la surcharge glycogénique musculaire (Maughan et Poole, 1981) et l'administration d'ions bicarbonates (Wilkes et al., 1983). Si la première est franchement néfaste pour les performances – l'augmentation subséquente de la glycémie induit une forte sécrétion

d'insuline défavorable à l'utilisation des réserves énergétiques (Glade et al., 1984) –, les deuxième et troisième se sont révélées effectives au niveau de leur principe – augmentation du glycogène intramusculaire (Kline et Albert, 1981) et du pouvoir tampon du liquide extracellulaire (Hank et al., 1985) respectivement – mais totalement inefficaces quant à leurs effets sur la performance. Enfin, il faut signaler les espoirs d'amélioration de la performance que d'aucuns mettent actuellement dans la supplémentation en carnitine, un cofacteur de transport des acides gras libres au travers de la membrane mitochondriale (Foster et Harris, 1987).

La thermorégulation

La production de chaleur et les moyens mis en œuvre pour l'évacuation de l'excédent ont été également le sujet de recherches (Carlson, 1983). La sueur du cheval est hypertonique; le cheval qui sue abondamment perd donc non seulement de grandes quantités d'eau (jusqu'à 10 % de son poids, soit ± 50 kg) (Carlson et Ocen, 1979), mais également de grandes quantités d'ions, dont principalement le Na^+ , le K^+ , le Cl^- et le Ca^{2+} (Carlson et Mansmann, 1974; Hinton et al., 1976). Il en résulte donc de la déshydratation et des déséquilibres ioniques qui engendrent un phénomène d'alcalose hypochlorémique (Snow et al., 1982a). Cette dernière est tout à fait spécifique aux équidés, la sueur de l'homme étant hypotonique (Costill, 1977).

La sélection

La génétique joue certainement un rôle primordial dans la détermination de l'aptitude à la performance (Hill, 1988; Gaffney et Cunningham, 1988). La mise en relation des performances (par exemple, la vitesse maximale réalisée au cours de la carrière ou le gain total) des parents avec celles des descendants permet une approche de l'héritabilité de la performance. Ce type d'étude a été réalisé sur chevaux de galop (Lan-

glois, 1980) et sur chevaux de trot (Leroy et al., 1989). Ces données devraient donc permettre de sélectionner des athlètes de plus en plus performants. Il faut néanmoins garder à l'esprit que la concrétisation et l'expression sur le terrain de ces potentialités génétiquement déterminées ne pourront se faire que moyennant un management correct de ces chevaux.

Le stress

Une autre approche combien délicate de la médecine du sport est l'étude du stress et de l'état de «fatigue nerveuse» du cheval. En effet, le rythme des entraînements et des compétitions imposé actuellement aux chevaux de haut niveau est tel que l'on voit surgir des pathologies liées au stress, ce dernier étant le résultat d'un ou de plusieurs facteurs tels que le transport (Traub-Dargatz et al., 1988; Codazza et al., 1974), l'hébergement dans un milieu non familier (Alexander et al., 1988), le surentraînement, la haute fréquence des prestations sportives, etc... La quantification objective du stress subi par l'organisme est relativement difficile. Le plus fréquemment, elle se fait soit directement par dosage du cortisol (Persson et al., 1980), soit indirectement par appréciation des modifications de la formule sanguine (Rossdale et al., 1982; Snow et al., 1983b). Les recherches sont actuellement orientées sur les conditions d'apparition du stress (Persson et al., 1980; Linden et al., 1990), sur la détection des chevaux plus susceptibles que d'autres (Rossdale et al., 1982) ainsi que sur les moyens de diagnostic permettant de reconnaître les chevaux surentraînés et souffrant d'épuisement surrénalien (Persson et al., 1980). Elles devraient permettre dans l'avenir de proposer des moyens pour prévenir ou du moins tempérer l'apparition de ce phénomène et ses conséquences néfastes tant sur la performance que sur la santé des chevaux (Anderson et al., 1985).

Certaines modifications hormonales liées à l'exercice ont également été étudiées, notamment la fonction surrénalienne (Dybdal et al., 1980;-

Rossdale et al., 1982), la régulation de la glycémie (Dybdal et al., 1980) et la fonction thyroïdienne (Irvine, 1967).

Le dopage

Le dopage est l'administration de substances dont l'effet attendu est soit «d'améliorer» les capacités d'adaptation de l'organisme face au stress violent que représente une compétition (amphétamines, fentanyl, narcotiques, cocaïne), soit «d'accélérer et d'amplifier» les effets bénéfiques de l'entraînement (stéroïdes anabolisants), soit de «calmer» les tempéraments trop chauds (tranquillisants, anxiolytiques), soit de restaurer une fonction amoindrie par un phénomène douloureux ou pathologique (phénylbutazone) (Clarke et Moss, 1977; Tobin et al., 1983; Tobin, 1989). Certaines substances sont également administrées dans le but de masquer l'administration d'agents dopants (furosémide) (Tobin, 1989). La recherche en ce domaine a pris diverses orientations dont les buts sont totalement opposés.

Certains se sont consacrés à la mise au point de méthodes de détection fiables des différentes substances considérées comme agents dopants (Courtot, 1980); d'autres ont étudié de façon approfondie les cinétiques d'absorption et d'excrétion de ces mêmes substances (Tobin, 1981; Tobin et al., 1978; Tobin et Miller, 1979), afin d'en proposer des schémas d'utilisation permettant aux animaux d'être indemnes de toutes traces au moment de la compétition (Barragry, 1978; Moss et Clarke, 1977; Jaussand et al., 1985); d'autres encore se sont attachés à quantifier de façon rigoureuse l'efficacité – ou l'inefficacité – de substances utilisées jusqu'alors de façon totalement aveugle et empirique (Snow et al., 1982b; Soma et al., 1985; Manohar, 1986; Boucher, 1988).

Enfin certains chercheurs ont tenté, sans succès, d'améliorer les performances par les «stratégies alimentaires» (voir ci-dessus) ou par des méthodes telles que la réinjection de sang (Tobin, 1989).

Les techniques nouvelles appliquées au diagnostic et au traitement des «accidents sportifs»

Un autre aspect de la médecine du sport qui a fait des progrès spectaculaires ces dernières années est la mise au point de techniques permettant soit le diagnostic précis, soit le traitement de pathologies locomotrices liées à l'exercice.

Il faut citer parmi les premières l'analyse du liquide synovial, l'ultrasonographie pour l'appréciation de la densité osseuse (Genovese et Simpson, 1989), la thermographie et la clearance du Xenon 133 pour le diagnostic des tendinites (Stromberg, 1973) et, parmi les secondes, les techniques chirurgicales effectuées par arthroscopie (McIlwraith, 1984), l'hydrothérapie, les stimulations ultrasoniques, le laser, les champs électromagnétiques (Auer et al., 1983, 1984), les fibres de carbone (Brown et Pool, 1983) ou les greffes autologues (Stromberg et Tufvesson, 1977) utilisées dans la chirurgie des tendons et particulièrement dans le traitement des ruptures tendineuses et ligamentaires, les radiations ioniques (Franks, 1979), etc...

Enfin, comme en médecine humaine, on tente maintenant de rééduquer les patients convalescents soit par la natation (Herbert et Davis, 1983), soit par des exercices très légers pratiqués sur terrain ou tapis roulant en pente (Coffman, 1984).

Conclusions

La finalité des nombreuses recherches, dont l'énumération faite ci-dessus est loin d'être exhaustive, est de développer une médecine vétérinaire sportive. Ce terme de médecine sportive englobe de nombreux concepts allant des méthodes d'entraînement au contrôle de la condition physique, de la prévention au traitement des «accidents sportifs». Il apparaît donc indubitable que seul le médecin vétérinaire a une formation qui permettra de répondre de façon adéquate et efficace à la multidisciplinarité qu'exige le suivi médical des animaux de sport.

L'évolution rapide des connaissances dans les divers domaines de la médecine du sport ne doit néanmoins pas engendrer un triomphalisme prématuré ou un optimisme béat quant à l'infailibilité de ces acquisitions nouvelles et de leurs applications potentielles sur le plan clinique. Le fait que ce n'est que très récemment que l'on a découvert que plus de 50 des chevaux galopeurs présentent des hémorragies pulmonaires induites par l'exercice (Raphel et Soma, 1982) ne peut que soulever la question – humble – de savoir combien sont encore grandes nos ignorances au sujet de cet athlète qu'est le cheval.

Il est aussi vain de croire qu'un jour un seul examen sanguin ou musculaire permettra d'apprécier les capacités de performance d'un sujet. L'aptitude à l'effort et la condition physique sont des concepts difficiles à circonscrire dans la mesure où ils sont le reflet de mécanismes physiologiques complexes. Ils sont subordonnés à des facteurs endogènes tels que la génétique, la constitution corporelle, l'âge, le sexe ainsi qu'à des facteurs exogènes tels que l'entraînement, l'alimentation, etc... C'est l'intégration d'un examen clinique approfondi et des informations apportées par les nouvelles techniques

d'investigation appliquées au cheval de sport qui permettra d'aborder valablement le patient et ses éventuels problèmes.

Le chemin qui reste à faire est long, mais les jalons en sont désormais posés de façon irréversible. Dans tous les pays du monde, l'intérêt pour cette discipline naissante est actuellement manifeste. Le nombre croissant de centres de médecine du sport dans les universités anglo-saxonnes principalement, l'utilisation de plus en plus courante d'équipements permettant l'investigation des chevaux au cours de l'effort, notamment de tapis roulant à grande vitesse, l'organisation régulière de congrès internationaux consacrés à la physiologie de l'effort chez les équidés ainsi que la parution de mensuels et de livres consacrés à l'athlète équin en témoignent.

Comme en outre cette évolution répond à une demande réelle de la part des gens de terrain, il est donc permis d'espérer que, dans l'avenir, la médecine du sport continuera à progresser sur le plan des connaissances et sur celui des applications pratiques.

Pour prendre une part active à cette évolution, le chercheur et le clinicien

devront s'appliquer à concentrer leurs efforts dans le but premier d'améliorer le bien-être des athlètes équins. En effet, l'amélioration des performances des chevaux de sport doit se faire sur un plan global et à long terme, tant sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif. Ceci sera indissociablement lié à la réduction des divers stress subis par l'organisme et des problèmes cliniques qui en découleraient, et ne pourra donc en aucun cas se faire aux dépens de la santé de nos animaux.

Enfin, la concrétisation des résultats de la recherche scientifique ne sera effectuée que grâce à une collaboration étroite entre le praticien et le scientifique d'une part et le praticien et le propriétaire ou l'entraîneur d'autre part. Le praticien sera donc l'indispensable trait d'union entre le laboratoire et le terrain pour que la diffusion du concept nouveau de médecine du sport puisse se développer et progresser.

Remerciements

Les auteurs remercient M. Leblond pour la dactylographie.

BIBLIOGRAPHIE

- AITKEN M.M., ANDERSON M.G., MACKENZIE G., SANFORD J. Correlations between physiological and biochemical parameters used to assess fitness in the horse. *J.S. Afr. Vet. Assoc.*, 1976, **45**, 361.
- ALEXANDER S.L., IRVINE C.H.G., LIVESEY J.H., DONALD R.A. Effect of isolation stress on concentrations of arginine vasopressin, α -melanocyte-stimulating hormone and ACTH in the pituitary venous effluent of the normal horse. *J. Endocr.*, 1988, **116**, 325-334.
- AMORY H., LINDEN A., ART T., DESMECHT D., BUCHET M., LEKEUX P. Evaluation of the exercise performed by horses during the cross phase of a three-day event competition: a field study. 3rd International Conference on Equine Exercise Physiology, Uppsala, Suède, July 1990.
- ANDERSON M.G. The influence of exercise on serum enzyme levels in the horse. *Eq. Vet. J.*, 1975, **7**, 160-165.
- ANDERSON N.V., DEBOWES R.M., NYROP K.A., DAYTON A.D. Mononuclear phagocytes of transportstressed horses with viral respiratory tract infection. *Am. J. Vet. Res.*, 1985, **46**, 2272-2277.
- ARCHER R.K. Haematology in relation to performance and potential. A general review. *J.S. Afr. Vet. Ass.*, 1974, **45**, 273-277.
- ART T., LEKEUX P. Pulmonary mechanics during treadmill exercise in race ponies. *Vet. Res. Com.*, 1988, **12**, 245-258.
- ART T., SERTEYN D., LEKEUX P. Effect of exercise on the partitioning of equine respiratory resistance. *Eq. Vet. J.*, 1988, **20**, 268-273.
- ART T., LEKEUX P. Work of breathing in exercising ponies. *Res. Vet. Sci.*, 1989, **46**, 49-53.
- ART T., LEKEUX P., GUSTIN P., DESMECHT D., AMORY H., PAIVA M. Inertance of the respiratory system in ponies. *J. Appl. Physiol.*, 1989a, **67**, 534-540.
- ART T., ANDERSON L., ROBERTS C., WOAKES A.J., BUTLER P.J., SNOW D.H., LEKEUX P. Mechanics of breathing during strenuous exercise in thoroughbred horses. 1989b. Submitted for publication.
- ART T., DESMECHT D., AMORY H., LEKEUX P.: Synchronization of locomotor and respiratory cycles in trotting Ponies. *J. Vet. Med* 1990a. **37**, In press.
- ART T., DESMECHT D., DELOGNE O., BUCHET M., LEROY P., LEKEUX P. A field study of post-exercise values of blood biochemical constituents in jumping horses: relationship with performance, individual and events. *J. Vet. Med.*, 1990b, **37**, In press.
- ART T., AMORY H., DESMECHT D., LEKEUX P. Effect of a show jumping on heart rate, blood lactate and some other blood parameters in the jumper horse. *Eq. Vet. J.*, 1990c, **22**, in press.

- ASTRAND P.O., RODAHL K. Textbook of Work Physiology. 2nd ED. New York, McGraw-Hill Book, 1977.
- AUER J.A., BURCH C.E., HALL P. Review of pulsing electromagnetic field therapy and its possible application to horses. *Eq. Vet. J.*, 1983, **15**, 354-360.
- AUER J.A., STEVENSON S., THOMPSON K., GANJAM V. Pulsing electromagnetic fields in equine fracture treatment. *Vet. Surg.*, 1984, **13**, 46.
- BARRAGRY T.B. Drug clearance times and the doping problem. *Irish Vet. J.*, 1978, 110-115.
- BARTEL D.L., SCHRIJVER H.F., LOWE J.E., PARKER R.A. Locomotion in the horse: a procedure for computing the internal forces in the digit. *Am. J. Vet. Res.*, 1978, **39**, 1721-1727.
- BAYLY W.M., CABEL A.A., BARR S.A. Cardiovascular effects of submaximal aerobic training on a treadmill in standardbred horses, using a standardized exercise test. *Am. J. Vet. Res.*, 1983a, **44**, 544-553.
- BAYLY W.M., MEYERS K.M., KECK M.T., HUSTON L.J., GRANT B.D. Exercise-induced alterations in haemostasis in thoroughbred horses. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.N., Persson S.C.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983b, pp. 336-343.
- BAYLY W.M., SCHULZ D.A., HODGSON D.R., GOLLNICK P.D. Ventilatory responses of the horse to exercise: effect of gas collection systems. *J. Appl. Physiol.*, 1987, **63**, 1210-1217.
- BECHTEL P.J., LAWRENCE L.M. The muscles and athletic training. In: *Equine Sports Medicine*. Jones W.E., Lea and Fibeger (Edit.), Philadelphia, 1989, pp 121-136.
- BERGSTEN G. Blood pressure, cardiac output, and blood gas tension in the horse at rest and during exercise. *Acta Vet. Scand.* (suppl.), 1976, **48**, 1.
- BEVEGARD B.S., SHEPHERD J.T. Regulation of the circulation during exercise in man. *Physiol. Rev.*, 1967, **47**, 178-213.
- BJOTVEDT G., WEEMS C.W., FOLEY K. Strenuous exercise may cause health hazards for racing Greyhounds. *Vet. Med.*, 1984, 1481-1487.
- BLACKMORE D.J., WILLET K., AGNESS D. Selenium and gamma-glutamyl transferase activity in the serum of Thoroughbreds. *Res. Vet. Sci.*, 1979, **26**, 76-80.
- BOUCHER J.H., FERGUSON E.W., WILHELMSSEN C.L., STATHAM M., MCMEEKIN R.R. Erythrocyte alterations during endurance exercise in horses. *J. Appl. Physiol.*, 1981, **51**, 131-134.
- BOUCHER J.H. The equine spleen: source of dangerous blood cells. *J. Equine Vet. Sci.*, 1987, **7**, 140-142.
- BOUCHER J.H. Lassix therapy: what happens to blood viscosity? *J. Equine Vet. Sci.*, 1988, **8**.
- BOWMAN Y.A., FONTENOT J.P., WEBB Jr K.E., MEACHAM T.M. Digestion of fat by the equine. Proceedings of the Fifth Equine Nutrition Symposium, 1977, pp 40-45.
- BRAMBLE D.M., CARRIER D.R. Running and breathing in mammals. *Science*, 1983, **219**, 251-256.
- BROWN M.P., POOL R.R. Experimental and clinical investigations of the use of carbon fiber sutures in equine tendon repair. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1983, **182**, 956-966.
- BYE P.T.P., FARKAS G.A., ROUSSOS C. Respiratory factors limiting exercise. *Ann. Rev. Physiol.*, 1983, **45**, 439-451.
- CARDINET G.H., FOWLER M.E., TYLER W.S. Heart rates and respiratory rates for evaluating performance in horses during endurance trail ride competition. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1963, **143**, 1303.
- CARLSON G.P., MANSMANN R.A. Serum electrolyte and plasma protein alterations in horses used in endurance rides. *J.A.V.M.A.*, 1974, **165**, 262-264.
- CARLSON G.P., OCEN P.O. Composition of equine sweat following exercise in high environmental temperatures and in response to intravenous epinephrine administration. *J. Equine Med. Surg.*, 1979, **3**, 27-31.
- CARLSON G.P. Thermoregulation and fluid balance in the exercising horse. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp. 291-309.
- CHENEY J.A., SHERR C.K., WHEAT J.B. Relationship of racetrack surface to lameness in the thoroughbred race horse. *Am. J. Vet. Res.*, 1973, **34**, 1285-1289.
- CLARKE E.G.C., MOSS M.S. Veterinary aspects of doping. *Eq. Vet. J.* 1977, **9**, 27-28.
- CODAZZA D., MAFFEO G., REDAELLI G. Serum enzyme changes and haemato-chemical levels in Thoroughbreds after transport and exercise. *J.S. Afr. Vet. Ass.*, 1974, **45**, 331-334.
- COFFMAN J.R. Rehabilitation. *Eq. Sports Med.*, 1984, **3**, 1-6.
- COSTILL D.L. Sweating its composition and effects on body fluids. *N.Y. Ann. Acad. Sci.*, 1977, **301**, 160-174.
- COURTOT D. Le dopage chez le cheval de sport - Aspects analytiques et réglementaires. *Pratique Vet. Eq.*, 1980, **XII**, 237-255.
- CRAIG L., HINTZ H.F., SODERHOLM L.V., SHAW K.L., SCHRYVER H.F. Changes in blood constituents accompanying exercise in polo horses. *Cornell Vet.*, 1985, **75**, 297-302.
- DALIN. Ergonomic aspects of locomotor asymmetry in standardbred horses trotting through turns. *Acta Vet. Scand.* (suppl), 1973, **44**, 11-139.
- DEMPSEY J.A. Is the lung built for exercise? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1986, **18**, 143-155.
- DYBDAL N.O., GRIBBLE D., MADIGAN J.E., STABENFELDT G.H. Alterations in plasma corticosteroids, insulin and selected metabolites in horses used in endurance rides. *Eq. Vet. J.*, 1980, **12**, 137-140.
- ENGELHARDT W.v. Cardiovascular effects of exercise and training in horses. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.*, 1977, **21**, 173-204.
- ESSEN-GUSTAVSSON O., KARLSTROM K., LINDHOLM A. Fiber types, enzyme activities and substrate utilisation in skeletal muscles of horses competing in endurance rides. *Eq. Vet. J.*, 1984, **16**, 197.
- ESSEN-GUSTAVSSON O., McMIKEN D., KARLSTROM K., LINDHOLM A., PERSSON S. Muscular adaptation of horses during intensive training and detraining. *Eq. Vet. J.*, 1989, **21**, 27-33.
- EVANS D.L. Cardiovascular adaptation to exercise and training. *Vet. Clin. Nth. Am. Eq. pract.*, 1985, **1**, 513-531.
- EVANS D.L., ROSE R.J. A method of investigation of the accuracy of four digitally displaying heart rate meters suitable for use in the exercising horse. *Eq. Vet. J.*, 1986, **18**, 129-132.
- EVANS D.L., ROSE R.J. Effect of a respiratory gas collection mask on some measurements of cardiovascular and respiratory function in horses exercising on a treadmill. *Res. Vet. Sci.*, 1988a, **44**, 220-225.
- EVANS D.L., ROSE R.J. Determination and repeatability of maximum oxygen uptake and other cardiorespiratory measurements in the exercising horse. *Eq. Vet. J.*, 1988b, **20**, 94-98.
- FEDAK M.A., SEEHERMAN H.J. Reappraisal of energetics of locomotion shows identical cost in bipeds and quadrupeds including ostrich and horse. *Nature*, 1979, **282**, 713-716.
- FOREMAN J.H. Physiological responses of thoroughbred horses to conventional race training. M.S. Thesis, Washington State University, 1984.
- FOSTER C.V.M., HARRIS R.C. Changes in free and bound carnitine in muscle with maximal sprint exercise in the thoroughbred horse. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Gillespie J.R., Robinson N.E. (Edit.), ICEEP Publications, Davis, California, 1987, pp. 332-340.
- FRANKS P.W. The use of ionizing radiation for the treatment of injuries to flexor tendons and supporting ligaments in horses. *Eq. Vet. J.*, 1979, **11**, 106-109.
- FREDERICK F.H., HENDERSON J.M. Impact force measurement using preloaded transducers. *Am. J. Vet. Res.*, 1970, **31**, 2279-2283.
- FREDRICKSON I., DALIN G., DREVEMOS S., HJERTEN G. A biotechnical approach to the gemetric design of race tracks. *Eq. Vet. J.*, 1975, **7**, 91-96.

- FREDRICKSON I., DREVEMO S., DALIN G., HJERTEN G., BJORNE K. The application of high-speed cinematography for the quantitative analysis of equine locomotion. *Eq. Vet. J.*, 1980, **12**, 54-59.
- FREEMAN D.W., POTTER G.D., KREIDER J.L., SCHELLING G.T. Nitrogen balance in mature horses at varying levels of exercise. In Proceedings in the Seventh Equine Nutrition and Physiology Symposium, Warrenton, VA, 1981, pp 94-96.
- FREEMAN D.W., POTTER G.D., SCHELLING G.T., KREIDER J.L. Nitrogen metabolism in the mature physically conditioned horse. Response to conditioning. In: Proceedings of the Ninth Equine Nutrition and Physiology Symposium, East Lansing, MI, 1985, pp 230-235.
- FREGIN G.F., NICHOLL T. Swimming: its influences on heart rate, respiration rate, and some hematological values in the horse. *J. Eq. Med.*, 1977, **1**, 288.
- FREGIN G.F., THOMAS D.P. Cardiovascular response to exercise in the horse. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp 76-90.
- GABEL A.A., MILNE D.W., MUIR W.W., SKARDA R.T., WEINGOLD M.F. Some physiological responses of standardbred horses to a submaximal exercise test following conventional and interval training. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp 497-504.
- GAFFNEY B., CUNNINGHAM E.P. Estimation of genetic trend in racing performance of thoroughbred horses. *Nature*, 1988, **332**, 722-724.
- GENOVESE R.L., RANTANEN N.W., HAUSER M.L., SIMPSON B.S. Diagnostic ultrasonography of equine limbs. *Vet. Clin. North Am. (Large Anim. Practice)*, 1986, **2**, 145-226.
- GILLESPIE J.R. The role of the respiratory system during exertion. *J. S. Afr. Vet. Ass.*, 1975, **45**, 305-309.
- GILLESPIE J.R., PASCOE J.R. Respiratory function in the exercising horse: a review. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp 1-6.
- GLADE M.J. Nutrition and performance of racing Thoroughbreds. *Eq. Vet. J.*, 1983, **15**, 31-36.
- GLADE M.J., GUPTA S., REIMERS T.J. Hormonal responses to high and low planes of nutrition in weanling Thoroughbreds. *J. Anim. Sci.*, 1984, **59**, 658-665.
- GLADE M.J. Nutrition for the equine athlete. In: *Equine Sports Medicine*. Jones W.E., Lea and Fibeger (Eds.), Philadelphia, 1989, pp 19-33.
- GOTTLIEB M., ESSEN-GUSTAVSSON B., LINDHOLM A., PERSSON S.G.B. Cardio-respiratory and muscle metabolic responses to draught work on a treadmill in standardbred horses. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Gillespie J.R., Robinson N.E. (Edit.), ICEEP Publications, Davis, California, 1987, pp. 384-392.
- GROSS D.R., MUIR W.W., PIPERS F.S., HAMLIN R.L. Reevaluation of the equine heart score. *South-West Vet.*, 1974, **27**, 231-233.
- HALL M.C., STEEL J.D., STEWART G.A. Cardiac monitoring during exercise tests in the horse. Part II. Heart rate responses to exercise. *Austr. Vet. J.*, 1976, **52**, 1.
- HAMBLETON P.L., SLADE L.M., HAMAR D.W., KIENHOLTZ E.W., LEWIS L.D. Dietary fat and exercise conditioning effect on metabolic parameters in the horse. *J. Anim. Sci.*, 1980, **51**, 1330-1339.
- HANK A. M., MILLER P.A., LAWRENCE L.M. Effects of sodium bicarbonate ingestion on intensely exercised horses. In Proceedings of the Ninth Equine Nutrition and Physiology Symposium. East Lansing, M, 1985, pp. 242-247.
- HENCKEL P. Training and growth-induced changes in the middle gluteal muscle of young standardbred trotters. *Eq. Vet. J.*, 1983, **15**, 134-140.
- HERBERT K.S., DAVIS B. A splash of therapy. *Blood Horse*, 1983, **111**, 6324-6333.
- HILL W.G. Why aren't horses faster ? *Nature*, 1988, **332**, 678.
- HINTON M., YEATS J.J., HASTIE P.S., McGUINNESS A., CONSTANCE L. Synchronous diaphragmatic flutter in horses. *Vet. Rec.*, 1976, **99**, 402-403.
- HINTZ H.F. Nutritional requirements of the exercising horse. A review. In *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, 275-290.
- HODGSON D.R., ROSE R.J., DIMAMO J., ALLEN J.R. Effect of training on muscle composition in horses. *Am. J. Vet. Res.*, 1986, **47**, 12-15.
- ILKIW J.E., DAVIS P.E., CHURCH D.B. Hematologic, biochemical, blood-gas, and acid-base values in Greyhounds before and after exercise. *Am. J. Vet. Res.*, 1989, **50**, 583-586.
- IRVINE C.H.G. Thyroxine secretion rate in the horse in various physiological states. *J. Endocrinol.*, 1967, **39**, 313-320.
- JAUSSAUD P., COURTOT D., DORON P., GUYOT J.L. Chronopharmacocinétique de la phénylbutazone chez le cheval. Application au contrôle antidopage. *Ann. Rech. Vét.*, 1985, **4**, 385-391.
- JEFFCOTT L.B. Haematology in relation to performance and potential. 2. Some specific aspects. *J. S. Afr. Vet. Ass.*, 1974, **45**, 279-286.
- JEFFCOTT L.B., ROSSDALE P.D., FREESTONE J., FRANK C.J., TOWERS-CLARK P.F. An assessment of wastage in Thoroughbred racing from conception to four years age. *Eq. Vet. J.*, 1982, **14**, 185-198.
- KLINE K.H., ALBERT W.W. Investigation of a glycogen loading program for standardbred horses. In Proceedings of the Seventh Equine Nutrition and Physiology Symposium, Warrenton, VA, 1981, pp. 186-194.
- KRZYWANEK H., WITTKÉ G., BAYER A., PORMAN P. The heart rates of thoroughbred horses during a race. *Eq. Vet. J.*, 1970, **2**, 115.
- LANGLOIS B. Heritability of racing ability in Thoroughbreds - A review. *Livestock Production Science*, 1980, **7**, 591-605.
- LASSEN E.D., CRAIG A.M., BLYTHE L.L. Effects of racing on hematologic and serum biochemical values in greyhounds. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1986, **188**, 1299-1303.
- LEACH D.H., SPRIGINGS E. Gait fatigue in the racing thoroughbred. *J. Eq. Med. Lung*, 1979, **3**, 436-443.
- LEACH D.H., ORMROD K., CLAYTON H.M. Standardized terminology for the description and analysis of equine locomotion. *Eq. Vet. J.*, 1984a, **16**, 522-528.
- LEACH D.H., ORMROD K., CLAYTON H.M. Stride characteristics of horses competing in Grand Prix Jumping. *Am. J. Vet. Res.*, 1984b, **45**, 888-892.
- LEKEUX P., HENROTEAUX M., BIENFET V. Comparaison du type et de la fréquence relative des principales arythmies cardiaques observées chez les chevaux en fonction de leurs performances en course: une étude télémétrique. *Ann. Méd. Vét.*, 1982, **126**, 205-208.
- LEROY P., KAFIDI M., BASSLEER E. Estimation of breeding values of Belgian trotters using an animal mode. State of breeding evaluation in trotters, Pudoc Wageningen (Edit.), Netherlands, 1989, pp. 3-17.
- LINDEN A., ART T., AMORY H., LEKEUX P. Effect of physiological, pharmacological and transport stresses on cortisol level in 92 sports horses. 3rd International Conference on Equine Exercise Physiology, Uppsala, Suède, July 1990.
- LINDHOLM A., SALTIN B. The physiological and biochemical response of standardbred horses to exercise of varying speed and duration. *Acta Vet. Scand.*, 1974, **15**, 31.
- LINDHOLM A., PIEHL K. Fiber composition, enzyme activity and concentration of metabolites and electrolytes in muscles of standardbred horses. *Acta Vet. Scand.*, 1974, **15**, 287-309.
- LOEW F.M., BETTANY J. Thiamine concentrations in the blood of standardbred horses. *Am. J. Vet. Res.*, 1973, 1207-1208.
- LUCKE J.N., HALL G.M. Further studies on the metabolic effects of long distance riding: Golden Horseshoe Ride. *Eq. Vet. J.*, 1979, **12**, 189-192.
- MANOHAR M. Vasodilator reserve in respiratory muscles during maximal exertion in ponies. *J. Appl. Physiol.*, 1986, **60**, 1571-1577.

- MANOHAR M. Effect of furosemide administration on systemic circulation of ponies during severe exercise. *Am. J. Vet. Res.*, 1986, **47**, 1387-1394.
- MARSLAND W.P. Heart rate response to submaximal exercise in the standardbred horse. *J. Appl. Physiol.*, 1968, **24**, 98.
- MAUGHAN R.J., POOLE D.C. The effects of a glycogen-loading regimen on the capacity to perform anaerobic exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1981, **46**, 211-219.
- MAYLIN G.A., RUBIN D.S., LEIN D.H. Selenium and vitamin E in horses. *Cornell Vet.*, 1980, **70**, 272.
- McARDLE W.D., FOGLIA G.F., PATTI A.V. Telemetered cardiac response to selected running events. *J. Appl. Physiol.*, 1967, **22**, 566.
- McARDLE W.D., KATCH F.I., KATCH V.L. Exercise Physiology, Lea et Fibarger (Edit), Philadelphia, 1986.
- McILWRAITH C.W. Experiences in diagnostic and surgical arthroscopy in the horse. *Eq. Vet. J.*, 1984, **16**, 11-19.
- McKEEVER K.H., SCHURG W.A., CONVERTINO V.A. Exercise training-induced hypovolemia in Greyhounds: role of water intake and renal mechanisms. *Am. J. Physiol.*, 1985, **248**, R422- R425.
- McMIKEN D.F. An energetic basis of equine performance. *Eq. Vet. J.*, 1983, **15**, 123-133.
- MILNE D.W., SKARDA R.T., GABEL A.A., SMITH L.G., AULT K. Effects of training on biochemical values in standardbred horses. *Am. J. Vet. Res.*, 1976, **37**, 285-290.
- MOODIE E.W., SHEARD R.P. The use of electrocardiography to estimate health weight and predict performance in the racehorse. *Austr. Vet. J.*, 1980, **56**, 557-558.
- MORCOS M.B., ASWAD A. Treatment of two clinical conditions in racehorses by ultrasonic therapy. *Eq. Vet. J.*, 1978, 128-129.
- MOSS M.S., CLARKE E.G.C. A review of drug «Clearance times» in racehorses. *Eq. Vet. J.*, 1977, **9**, 53-56.
- MUIR W.W., SKARDA T.R., MILNE D.W. Estimation of the cardiac output in the horse by thermodilution techniques. *Am. J. Vet. Res.*, 1976, **37**, 697.
- MUYLLE E., VAN DEN HENDE C., NUYTTEN J., OYAERT W., VLAMIMCK K. Preliminary studies on the relationship of red blood cell potassium concentration and performance. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp 366-370.
- NIELSEM K., VIBE-PETERSEN G. Relationship between QRS-duration (Heart Score) and racing performance. *Eq. Vet. J.*, 1980, **12**, 81-84.
- PARKS C.M., MANOHAR M. Regional blood flow changes in response to near maximal exercise in ponies: a review. *Eq. Vet. J.*, 1985, **17**, 311-313.
- PERSSON S.G.B. On blood volume and working capacity in horses. *Acta Vet. Scand (Suppl.)*, 1967, **19**, 1.
- PERSSON S.G.B. Value of haemoglobin determination in the horse. *Nord. Vet. Med.*, 1969, **21**, 513-523.
- PERSSON S.G.B., LARSSON M., LINDHOLM A. Effects of training on adreno-cortical function and red-cell volume in trotters. *Zbl. Vet. Med., A*, 1980, **27**, 261-268.
- PERSSON S.G.B. Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp. 441-457.
- PHYSIC-SHEARD P.W. Cardiovascular response to exercise and training in the horse. *Vet. Clinics North America: Eq. Practice*, 1985, **1**, 383-417.
- PHYSIC-SHEARD P.W., HENDREN C.M. Heart score: physiological basis and confounding variables. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp 121-134.
- PRATT G.W., O'CONNOR J.T. Force plate studies of equine biomechanics. *Am. J. Vet. Res.*, 1976, **39**, 249-253.
- READY A.E., MORGAN G. The physiological response of Siberian Husky dogs to exercise: effect of interval training. *Can. Vet. J.*, 1984, **25**, 86-91.
- REVINGTON M. Haematology of the racing thoroughbred in Australia reference values and the effect of excitement. *Eq. Vet. J.*, 1983, **15**, 145-148.
- ROBERTS M.C. Serum and red cell folate and serum vitamin B12 levels in horses. *Austr. Vet. J.*, 1983, **60**, 106-111.
- ROSE R.J., PURDUE R.A., HENSLEY W. Plasma biochemistry alterations in horses during an endurance ride. *Eq. Vet. J.*, 1977, **9**, 122-126.
- ROSE R.J., ILKIW J.E., ARNOLD K.S., BACKHOUSE J.W., SAMPSON D. Plasma biochemistry in the horse during 3-day event competition. *Eq. Vet. J.*, 1980a, **12**, 132-136.
- ROSE R.J., SAMPSON D., BACKHOUSE J.W. Changes in blood gas, acid-base and metabolic parameters in horses during three-day event competition. *Res. Vet. Sci.*, 1980b, **28**, 393-395.
- ROSE R.J. A physiological approach to fluid and electrolyte therapy in the horse. *Eq. Vet. J.*, 1981, **13**, 7-14.
- ROSE R.J., ALLEN J.R., BROCK K.A., CLARK C.R., HODGSON D.R., STEWART J.H. Response to submaximal treadmill exercise and training in the horse: changes in haematology, arterial blood gas and acid base measurements, plasma biochemical values and heart rate. *Vet. Rec.*, 1983, **113**, 612-618.
- ROSE R.J., EVANS D.L. Cardiovascular and respiratory function in the athletic horse. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Gillespie J.R., Robinson N.E. (Edit.), ICEEP Publications, Davis, California, 1987, pp. 1-24.
- ROSSDALE P.D., BURGUEZ P.N., CASH R.S.G. Changes in blood neutrophil/lymphocyte ratio related to adrenocortical function in the horse. *Eq. Vet. J.*, 1982, **14**, 293-298.
- SALTIN B. Hemodynamic adaptations to exercise. *Am. J. Cardiol.*, 1985, **44**, 42D-47D.
- SANFORD J., AITKEN M.M. Effects of some drugs on the physiological changes during exercise in the horse. *Eq. Vet. J.*, 1975, **7**, 198-202.
- SCHRYVER H.F., HINTZ H.F., LOWE J.E. Calcium metabolism, body composition and sweat losses of exercised horses. *Am. J. Vet. Res.*, 1978, **39**, 245-248.
- SCHRYVER H.F., BARTELD L., LANGRANA N., LOWE J.E. Locomotion in the horse: kinematics and external and internal forces in the normal equine digit in the walk and trot. *Am. J. Vet. Res.*, 1978, **39**, 1728-1733.
- SNOW D.H., MACKENZIE G. Some metabolic effects of maximal exercise in the horse and adaptations with training. *Eq. Vet. J.*, 1977, **9**, 134-140.
- SNOW D.H., GUY P.S. Muscle fiber type composition of a number of limb muscles in different type of horse. *Res. Vet. Sci.*, 1980, **28**, 137-144.
- SNOW D.H., KERR M.G., NIMMO M.A., ABBOTT E.M. Alterations in blood, sweat, urine and muscle composition during prolonged exercise in the horse. *Vet. Rec.*, 1982a, **110**, 377-384.
- SNOW D.H., MUNRO C.D., NIMMO M. Effect of nandrolone phenylpropionate in the horse: 2 general effects in animals undergoing training. *Eq. Vet. J.*, 1982b, **14**, 224-228.
- SNOW D.H. Physiological factors affecting resting haematology. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983a, pp 318-323.
- SNOW D.H. Skeletal muscle adaptations: a review. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983b, pp 160-183.
- SNOW D.H., MASON D.K., RICKETTS S.W., DOUGLAS T.A. Post-race blood biochemistry in Thoroughbreds. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983a, pp 389-399.
- SNOW D.H., RICKETTS S.W., MASON D.K. Haematological response to racing and training exercise in thoroughbred horses, with particular reference to the leucocyte response. *Eq. Vet. J.*, 1983b, **15**, 149-154.
- SOMA L.R., LASTER L., OPPENLANDER F., BARR-ALDERFER V. Effects of furosemide on the racing times of horses with exercise-induced pulmonary hemorrhage. *Am. J. Vet. Res.*, 1985, **46**, 763-768.

- STEEL J.D., WHITLOCK L.E. Observations on the haematology of thoroughbred and standardbred horses in training and racing. *Austr. vet. J.*, 1960, **36**, 136-142.
- STEEL J.B., STEWART G.A. Electrocardiography and racing performance. In: *Equine Medicine and Surgery*, 2nd Ed., Santa Barbara, American Veterinary Publications, 1972.
- STEISS J.E., YUILL C.T., WHITE M.A., BOWEN J.M. Modifications of a force plate system for equine gait analysis. *Am. J. Vet. Res.*, 1982, **43**, 538-540.
- STEWART G.A., STEEL J.D. Haematology of the fit race horse. *J. S. Afr. Vet. Assoc.*, 1974, **45**, 287-291.
- STEWART J.H., ROSE R.J., DAVIS P.E., HOFFMAN K.A. A comparison of electrocardiographic findings in racehorses presented either for routine examination or poor racing performance. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp 135-143.
- STRAUB R., DETTWILER M., HOPPELER H., CLAASSEN H. The use of morphometry and enzyme activity measurements in skeletal muscles for the assessment of the working capacity of horses. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp 193-199.
- STROMBERG B. Morphologic thermographic and Xe133 clearance studies on normal and diseased superficial digital flexor tendons in race horses. *Eq. Vet. J.*, 1973, **5**, 156-161.
- STROMBERG B., TUFVESSON G. An experimental study of autologous digital tendon transplants in the horse. *Eq. Vet. J.*, 1977, **9**, 231-237.
- THOMAS D.P., FREGIN G.F., GERBER N.H., AILES N.B. Cardiorespiratory adjustments to tethered-swimming in the horse. *Pflügers Archiv.*, 1980, **385**, 385.
- THOMAS D.P., FREGIN G.F. Cardiorespiratory and metabolic responses to treadmill exercise in the horse. *J. Appl. Physiol.*, 1981, **50**, 864.
- THOMAS D.P., FREGIN G.F., GERBER N.H., AILES N.B. Effects of training on cardiorespiratory function in the horse. *Am. J. Physiol.*, 1983, **245**, R160-R165.
- TOBIN T., ROBERTS B.L., SWEREZEK T.W., CRISMAN M. The pharmacology of furosemide in the horse. III. Dose and time response relationships, effects of repeated dosing and performance effects. *J. Eq. Med. Surg.*, 1978, **2**, 216-226.
- TOBIN T., MILLER J.E. The pharmacology of narcotic analgesics in the horse. 1. Detection, pharmacokinetics, and urinary clearance times of pentazocine. *J. Eq. Med. Surg.*, 1979, **3**, 191-198.
- TOBIN T. Uncertainty in the «detection times» for drugs in horses. *Eq. Vet. Sci.*, 1981, **6**, 124-128.
- TOBIN T., KAMERLING S., NUGENT T.E. Drugs and equine performance. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp. 510-520.
- TOBIN T. Drugs and performance. In: *Equine Sports Medicine*, W.E. Jones, Lea & Febiger (Edit.), Philadelphia, 1989, pp. 189-195.
- TRAUB-DARGATZ J.L., MCKINNON A.O., BRUYNINCKX W.J., THRALL M.A., JONES R.L., BLANCQUAERT A.-M.B. Effect of transportation stress on bronchoalveolar lavage fluid analysis in female horses. *Am. J. Vet. Res.*, 1988, **49**, 1026-1029.
- VALBERG S., ESSEN-GUSTAVSSON B. Metabolic response to racing determined in pools of type I, IIA and IIB fibers. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Gillespie J.R., Robinson M.E. (Edit.), ICEEP Publications, Davis, California, 1987, pp. 290-301.
- VINDEVOGEL H., DUCHATEL J.P., PASTORET P.-P. Le pigeon voyageur. Editions du Point Vétérinaire, Maisons-Alfort, 1987.
- WAGNER P.D., GILLESPIE J.R., LANDGREN G.L., FEDDE M.R., JONES B.W., DEBOWES R.M., PIESCHL R.L., ERICKSON H.H. Mechanism of exercise-induced hypoxemia in horses. *J. Appl. Physiol.*, 1989, **66**, 1227-1233.
- WILKES D., GLEDHILL N., SMYTH R. Effect of acute induced metabolic alkalosis on 500 m racing time. *Med. Sci. Sports Ex.*, 1983, **15**, 277-280.
- WILLIAMSON H.M. Normal and abnormal electrolyte levels in the racing horse and their effect on performance. *J. South Afr. Vet. Ass.*, 1974, **45**, 335-340.
- WILSON R.G., ISLER R.B., THORNTON J.R. Heart rate, lactic acid production and speed during a standardized exercise test in standardbred horses. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Snow D.H., Persson S.G.B., Rose R.J. (Eds), Granta editions, Cambridge, 1983, pp 487-495.
- WOAKES A.J., BUTLER P.J., SNOW D.H. The measurement of respiratory airflow in exercising horses. In: *Eq. Ex. Physiol.*, Gillespie J.R., Robinson M.E. (Edit.), ICEEP Publications, Davis, California, 1987, pp. 194-205.
- ZUNT M. Praktische Folgerungen aus den am Arbeitspferd ausgeführten Stoffwechselforschungen. *Zschr. Vetkde.*, 1896, **8**, 293-311.