

La thermographie infrarouge dans l'étude de la thermorégulation : revue de la littérature

SPRUYT P., GHAFIR Y., ART T., LEKEUX P.

Université de Liège
Faculté de Médecine Vétérinaire
Laboratoire d'Investigation Fonctionnelle
Bât. B42 Sart Tilman, B-4000 Liège, Belgique

Manuscrit déposé le 19/06/1995.

1. INTRODUCTION

La thermographie est l'étude des images créées par l'enregistrement de l'émission radiante thermique d'un corps (Waldsmith, 1992). Il s'agit d'une technique non invasive qui permet la représentation de la température de surface d'un objet, afin d'en mesurer l'émission de chaleur (Purohit et McCoy, 1980; Turner et al., 1986; Turner, 1991).

Dans le domaine médical, la représentation de la température cutanée peut, dans certains cas, aider le praticien à localiser les régions anatomiques à l'origine d'une douleur ou d'un dysfonctionnement (Turner, 1991). Chez le cheval, la mesure de la température de surface de l'extrémité distale des membres permet de mettre en évidence une modification de la perfusion tissulaire lors du diagnostic précoce de boiteries, grâce à trois méthodes : l'apposition de la main, la thermographie et la thermométrie électronique. L'apposition de la main (Garner et al.,

1975; Robinson et al., 1976) est une méthode subjective qui détecte uniquement la présence d'un gradient de température entre deux endroits symétriques du corps (Palmer, 1981). Plus précise que celle-ci, la thermométrie électrique utilise une sonde manuelle de surface qui ne permet cependant la mesure thermique qu'en un point du corps (Webbon, 1978). La thermographie est dès lors la méthode de choix; non invasive, elle ne nécessite pas de contact cutané, et permet la mesure simultanée de nombreux points corporels. Par la mise en évidence de l'inflammation périphérique, elle constitue un outil intéressant dans le diagnostic de certaines boiteries chez le cheval (Stromberg, 1973; 1974; Purohit et McCoy, 1980; Purohit et al., 1980; Vaden et al., 1980; Bowman *et al.*, 1983; Turner et al., 1983; Turner et al., 1986; Turner, 1989; Denoix, 1993), de certaines pathologies vasculaires et néoplasiques (Purohit et McCoy, 1980) et dans l'évalua-

RESUME

La thermographie infrarouge est une méthode de détermination de la température cutanée au moyen d'une caméra sensible aux rayonnements infrarouge (IR). Elle permet d'établir la cartographie calorifique de territoires corporels. Cet article constitue une synthèse des différentes techniques thermographiques ainsi que des connaissances sur la thermorégulation chez le cheval. En effet, de vastes informations existent au sujet des mécanismes de thermorégulation chez la plupart des animaux domestiques mais peu d'entre elles sont disponibles sur les chevaux. Deux types d'appareils sont utilisés en thermographie : l'un se base sur la thermographie de contact, le deuxième utilise la thermographie sans contact en mesurant les radiations IR soit grâce à un thermomètre, soit grâce à une caméra IR. La circulation sanguine dicte le modèle thermique qui est lui-même à la base de l'interprétation thermographique. Celle-ci constitue un outil intéressant dans l'étude de la thermorégulation.

tion de la cicatrisation (Stromberg, 1974).

Par la mise en évidence des variations de flux sanguin dans le lit des capillaires du derme, la thermographie est un outil très intéressant dans l'étude de la physiologie en général, et de la thermorégulation en particulier. De vastes informations sur les mécanismes de thermorégulation existent pour la plupart des animaux domestiques (Kennedy et al., 1986; Mc Arthur, 1987), mais peu d'entre elles sont consacrées aux chevaux. Dès lors, malgré les différences interspécifiques, les mécanismes thermorégulateurs des chevaux sont souvent déduits de ceux observés chez les moutons et les porcs.

Le but de cet article de synthèse est d'analyser les aspects techniques, théoriques et pratiques de la thermographie et d'envisager celle-ci dans le cadre de l'investigation de la thermorégulation chez le cheval.

2. CONSIDERATIONS THEORIQUES

2.1. Historique

Au deuxième siècle avant J-C, Hippocrate fut le premier à mettre en évidence les émissions thermiques du corps humain dans un but diagnostique. Il appliqua une fine couche de boue sur le corps de ses patients et observa un dessèchement de celle-ci. En déterminant quelles étaient les premières régions du corps qui séchaient, il fut capable de localiser celles qui étaient impliquées dans l'inflammation. Il est intéressant de noter que la mesure de la température n'est apparue dans la pratique médicale qu'à la fin du 19ème siècle.

Dans les années 40, la mesure de la température au moyen d'un thermocouple fut possible. Dès lors, la cartographie thermique cutanée permit de mettre en évidence des variations de température et facilita la localisation d'un site douloureux. Cependant, la marche à suivre était longue et encombrante. La représentation thermique fut alors réalisée à l'aide de cristaux liquides changeant de forme et de couleur en fonction des modifications de température.

La seconde guerre mondiale fut à l'origine d'un bond dans la technologie de la thermographie qui se concrétisa notamment par le développement de l'équipement actuel en thermographie médicale. Après la guerre, plusieurs praticiens jugèrent utile de cartographier la température de surface du corps humain. En 1956, Lawson fournit la première application médicale de la thermographie dans le diagnostic du cancer du sein (Dorow, 1989). Depuis, la thermographie a trouvé de nombreuses applications médicales dans le diagnostic de la douleur associée aux tumeurs, aux hernies discales et aux lésions de la corde spinale, ainsi que le diagnostic de lésions traumatiques telles que des fractures, des neuropathies, des lésions musculaires et des dystrophies du réflexe sympathique, pour n'en citer que quelques unes.

Plus de six minutes d'immobilisation étant nécessaires pour obtenir une image thermographique, l'appareillage médical initialement développé n'était pas utilisable en pratique vétérinaire. Dès les années 70, des améliorations dans l'équipement ont permis un enregistrement en temps réel de l'émission thermique du patient. En 1973, Stromberg démontre l'utilité de la thermographie dans l'identification des lésions orthopédiques chez le cheval de course. Depuis, diverses recherches ont démontré l'utilité de la thermographie dans le diagnostic des maladies neurologiques, musculo-squelettiques et dentaires chez le cheval (Waldsmith, 1992).

2.2. Instrumentation

Deux types d'appareils sont utilisés : les thermographes de et sans contact, ceux-ci ayant chacun leurs avantages et leurs inconvénients (Turner et al., 1986; Hall et al., 1987).

2.2.1. La thermographie de contact

La thermographie de contact utilise des cristaux liquides plongés dans un support déformable (Turner et al., 1986; Hall et al., 1987). Ces cristaux réfléchissent la lumière polarisée dans un spectre de lon-

gueur d'onde étroit. Ils changent de forme selon la température du corps avec lequel ils sont en contact; c'est ainsi qu'ils réfléchissent des couleurs différentes de celles de la lumière visible. De cette façon, chaque couleur représente une température spécifique. Pour utiliser cette technologie à des fins médicales, les cristaux liquides sont d'abord inclus dans un support en latex. Celui-ci est alors transformé en une feuille flexible et résistante pouvant être appliquée facilement sur les contours variables de la peau. La feuille imprégnée de cristaux répond à des changements de température entre 28 et 34° C. Appliqués directement sur la peau, les cristaux changent de forme et de couleur, et façonnent une image thermique de la surface cutanée analysée. Les unités de thermographie de contact commercialement disponibles à l'heure actuelle sont accompagnées d'un système de photographie qui permet d'enregistrer une image statique de façon instantanée.

Cet équipement est assez facile à utiliser, il est durable, il fournit des résultats immédiats et un enregistrement permanent des mesures (Turner et al., 1986; Hall et al., 1987). Son grand désavantage est sa nécessité d'être en contact direct avec la peau (Hall et al., 1987). Ce dernier peut entraîner de fausses lectures, car la feuille de latex peut induire un réchauffement ou un refroidissement de la peau. Ceci est particulièrement vrai pour les feuilles froides qui diminuent de manière significative la température cutanée. Un manque de maîtrise technique dans l'application des cristaux est une source d'erreur potentielle. Ainsi, une pression excessive lors de l'application du latex sur une région telle qu'un tubercule osseux peut provoquer un faux point chaud.

2.2.2. La thermographie sans contact

La thermographie sans contact utilise un détecteur de radiation infrarouge (IR) pour mesurer la température (Purohit et McCoy, 1980; Palmer, 1981; Turner et al., 1986). Les unités de thermographie vendues utilisent soit un thermomètre IR, soit une caméra IR.

Le thermomètre IR mesure la température au niveau d'un point sur la peau (Palmer, 1981). Il en existe plusieurs modèles qui permettent de déterminer la différence de température entre deux régions adjacentes ou symétriques en plus des mesures spécifiques. Ce dispositif est particulièrement utile pour détecter un gradient thermique significatif.

Plus complexe que les thermomètres IR (Turner, 1991), la caméra IR utilise un détecteur IR accompagné d'un focus et de mémoires permettant une mesure globale du champ. La caméra détecte les radiations IR et les convertit en signaux électriques et en graduations grâce à un processeur. L'intensité de la radiation est directement proportionnelle à une échelle de couleur grise. De plus, un logiciel permet la transformation de l'image en noir et blanc en couleurs, ainsi que la quantification calorifique de points du champ par l'intermédiaire d'un clavier (Waldsmith, 1992).

2.3. Principes d'utilisation

Le corps génère perpétuellement de la chaleur éliminée par radiation, convection et conduction (Turner, 1986). Ces trois phénomènes agissent conjointement dans la majorité des situations, aucun n'étant exclusif. La caméra IR ne quantifie que la radiation; ses mesures sont réalisées sans contact contrairement aux thermocouples qui travaillent eux par conduction.

Les radiations IR ou «au-delà du rouge» sont d'une longueur d'onde supérieure à celle de la lumière visible. En outre, la radiation IR n'est pas régie par les mêmes lois physiques que la lumière visible. Par exemple, le verre est transparent à la lumière visible, mais ne l'est pas aux IR.

Tous les objets, qu'ils soient animés ou inanimés, émettent de l'énergie. Celle-ci se déplace à la vitesse de la lumière sous forme d'ondes électromagnétiques. Un objet chauffé absorbe l'énergie et la convertit en chaleur. Il est en équilibre avec l'environnement lorsque son émission et son absorption, deux phénomènes dynamiques, sont égales; sa température est alors constante. Une

absorption d'énergie supérieure à son émission provoque un échauffement alors que le contraire entraîne un refroidissement.

Le spectre électromagnétique se divise en longueurs d'onde qui correspondent au flux énergétique. Le spectre IR se situe entre la bande de longueur d'onde radio et le spectre de lumière visible. Arbitrairement, les limites de ce spectre sont définies comme se situant entre les longueurs d'onde de 1 mm et 1 μ m. Les courtes longueurs d'onde du spectre électromagnétique correspondent aux spectres des rayons ultraviolet, X et γ . Le spectre IR est la portion du spectre électromagnétique qui engendre le plus de chaleur; il est divisé en 4 parties : l'IR proche, moyen, lointain et extrême. La caméra IR capte les rayonnements IR moyens de 3 à 5 μ m. Cette gamme de températures correspond à une longueur d'onde où les objets émettent une forte concentration d'énergie et où la plupart des détecteurs opèrent rapidement et de façon efficace. Très peu d'entre eux peuvent en effet opérer dans l'IR extrême et à une vitesse qui permet l'obtention d'une image vidéo (Flir Systems, 1992).

2.4. Application de la thermographie à des études anatomiques et physiologiques

Suite aux dissipations de la chaleur par radiation, convection et conduction, la température cutanée est habituellement de 5° C plus basse que la température rectale (Turner et al., 1986). La chaleur de la peau dépend de la circulation locale et du métabolisme tissulaire (Love, 1980). Ce dernier est généralement constant, de sorte que les variations de température cutanée sont surtout le résultat d'un changement local de la perfusion tissulaire. Les veines sont plus chaudes que les artères parce qu'elles ont drainé les zones à activité métabolique et ce réchauffement d'origine veineux est d'autant plus important que les tissus ou organes drainés ont un taux métabolique élevé (Turner et al., 1986).

La circulation sanguine dicte le modèle thermique à utiliser pour

l'interprétation thermographique (Turner et al., 1986). Le modèle thermique normal de chaque région du corps peut être déterminé en se basant sur sa vascularisation de surface. Quelques généralités peuvent être faites eu égard au modèle thermique chez le cheval : la ligne médiane, incluant le dos, le poitrail, et la ligne blanche, est généralement plus chaude (Purohit et al., 1980; Turner et al., 1986). La chaleur des membres tend à suivre le trajet des vaisseaux importants (la veine céphalique aux membres antérieurs et la veine saphène aux membres postérieurs). En vue dorsale, la partie distale des membres, c'est-à-dire le métacarpe (ou métatars), le fanon et le paturon, apparaissent relativement froids car les images de ces régions représentent un territoire vascularisé par des vaisseaux mineurs. Thermographiquement, la région la plus chaude du membre se situe autour du riche plexus artérioveineux de la couronne. On observe une augmentation de température entre le tiers supérieur du métacarpe et les tendons des fléchisseurs, ce qui correspond au trajet de la veine palmaire interne de la jambe antérieure et de la veine métatarsienne de la jambe postérieure. Dans le pied, la région la plus chaude correspond à la bande coronaire. En vue palmaire, les tendons sont relativement froids et la zone la plus chaude se situe logiquement entre les bulbes du talon le long de la ligne médiane (Turner, 1991).

2.5. Etude de la thermorégulation chez le cheval

Le maintien d'une constance dans la température corporelle chez les homéothermes nécessite un contrôle attentif de la balance entre la chaleur absorbée, la chaleur produite, et la chaleur dissipée. Les récepteurs sensitifs cutanés et le centre hypothalamique de la régulation de la température y jouent un rôle prédominant. On définit la zone thermiquement neutre comme étant celle où la température ambiante est telle que la production de chaleur métabolique est constante. Elle peut être subdivisée en trois zones : le froid, l'optimum et le chaud. La valeur la plus basse de la zone thermiquement

neutre est appelée la température critique inférieure; il s'agit de la température de l'air en-dessous de laquelle la production métabolique augmente pour compenser la chaleur perdue dans l'environnement. La température critique supérieure est la température à laquelle les pertes de chaleur par évaporation doivent augmenter pour diminuer la température corporelle (Cymbaluk et Christison, 1990). Chez le cheval, la température critique supérieure se situe probablement entre 25 et 30° C (Honstein et Monty, 1977).

Les cinq variables du microclimat sont la température ambiante, l'humidité relative, les précipitations, la vitesse du vent et les radiations solaires. La température ambiante constitue le stress climatique le plus important (Carlson, 1982). Ainsi, les efforts musculaires relativement bien accomplis par temps froid deviennent très ardues lorsqu'il fait chaud, car les mécanismes de thermorégulation ne sont pas adaptés au double défi de l'exercice et de la chaleur ambiante.

Humains et équins partagent plusieurs caractéristiques en commun. Ce sont deux espèces dites athlétiques : la majorité des individus est capable de réaliser un effort musculaire et une minorité d'entre eux a un potentiel de performance sportive très élevé. Or, la dissipation de la chaleur à l'effort est un facteur limitant la performance (Mc Conaghy, 1994). L'organisme élimine ce surplus grâce à quatre moyens principaux : la conduction, la convection, la radiation et l'évaporation. L'augmentation du flux sanguin d'origine centrale et musculaire par conduction permet une plus grande élimination de chaleur et la vasodilatation cutanée accroît les pertes par convection et radiation à condition que la température ambiante soit inférieure à la température cutanée.

L'imagerie thermique infrarouge met en évidence des gradients de température cutanée le plus souvent chez un même animal, soit par la comparaison de deux sites symétriques, soit par l'étude des effets d'un paramètre (la chaleur, l'exercice, l'entraînement, etc.). Chez les chevaux, la

sudation est le mécanisme majeur de dissipation de l'excès de chaleur. La thermographie est donc une technique utile dans l'étude de thermorégulation dans cette espèce, d'autant qu'elle est caractérisée par un pelage souvent court, régulier et couché sur la peau (Turner et al., 1986).

La transpiration induite par l'exercice est sous le contrôle de l'adrénaline circulante et du système nerveux sympathique mais seul ce dernier est impliqué dans la transpiration thermique. Il contrôle le degré de dilatation des vaisseaux sanguins dans le lit des capillaires du derme. Chez le cheval, les conditions qui provoquent une diminution ou une rupture du contrôle sympathique conduisent à l'échauffement des régions desservies par ce nerf. De même, une augmentation du tonus sympathique produit une vasoconstriction et un refroidissement régional. Localement, certaines substances vasoactives telles que l'histamine et la prostaglandine bloquent les récepteurs α des vaisseaux dermiques et provoquent donc une vasodilatation et un réchauffement régional (Waldsmith, 1992).

Certains chevaux souffrent d'une pathologie nommée anhydrose et caractérisée par l'absence de sudation lors d'un climat chaud et humide. Les deux principales causes possibles en sont la désensibilisation ou la diminution du nombre de β 2-adrénorécepteurs d'une part, et une altération ultrastructurelle des glandes sudoripares d'autre part (Freestone, 1992). La conduction de la chaleur vers la périphérie reste cependant présente, ainsi que son élimination par convection et radiation. L'évaporation étant la méthode la plus efficace de perte calorifique, le cheval atteint est en hyperthermie, en tachypnée, et est intolérant à l'effort (Mc Conaghy, 1994). On peut donc en déduire que dans des conditions climatiques humides et chaudes, ainsi que suite à un exercice, la température cutanée du cheval anhydrique est plus élevée que chez un cheval sain. L'imagerie thermique infrarouge constituerait donc une méthode diagnostique permettant de mettre en évidence ce phénomène.

Les effets de la chaleur sur la thermorégulation des chevaux

Au-delà de la température critique supérieure, les chevaux font intervenir des mécanismes de thermorégulation, dont le principal est la production de sueur. Les températures cutanées des chevaux exposés à un environnement chaud sont de 1 à 2° C supérieures à la température ambiante, suggérant que la vasodilatation prend part à la dissipation de chaleur (Honstein et Monty, 1977). Le système respiratoire peut également participer à la thermorégulation à concurrence de 25% (Hodgson et al., 1993).

De plus, des mécanismes d'isolation permettent de réduire la chaleur absorbée. Ainsi, les poils de la robe sont généralement fins et luisants chez les chevaux durant l'été, ce qui augmente la réflexion des rayons du soleil. Chez les chevaux obèses, le tissu graisseux constitue une couche isolante qui intensifie le stress thermique.

On peut aussi mettre en évidence des adaptations comportementales : par temps chaud, l'animal recherche l'ombre, diminue son activité et mange la nuit. Morphologiquement, une diminution de poids consécutive à une réduction de l'appétit ou à un manque de boisson intervient parfois. La quantité d'eau consommée par le cheval augmente de 15 à 20 % lorsque la température ambiante augmente de 13 à 20° C. Par contre, la prise de nourriture peut, à haute température, diminuer de 15 à 20 %, mais on observe alors en compensation une augmentation de la digestibilité.

Les effets d'un temps froid chez les chevaux

Chez les chevaux, la thermorégulation dans le froid se produit grâce à une élévation de la production de chaleur et une réduction des pertes thermiques. La chaleur peut être produite par les frissons, tandis qu'une dissipation de la chaleur est obtenue par piloérection. A la température de -15° C, le taux métabolique d'un cheval est de 107 Kcal/100 kg de poids corporel par heure et augmente de 12 % à -20° C, 40 % à -30° C et 75 % à 40° C.

Un des mécanismes physiologiques réduisant les pertes de chaleur périphérique est la vasoconstriction; un stress thermique de -6.7°C réduit la température cutanée de 29 à 14°C . L'isolation thermique est assurée par une augmentation de la densité et de la longueur des poils de la robe.

Des modifications comportementales sont aussi présentes; le cheval cherche à se mettre à l'abri du vent et des précipitations. Comme par temps chaud, on peut observer une diminution de gain de poids (Cymbaluk et Christison, 1990).

Les effets de l'exercice sur la thermorégulation

Traditionnellement, l'athlète humain et vraisemblablement le cheval performant sont présumés avoir une efficacité métabolique maximale d'approximativement 25 %, c'est-à-dire que seuls 25 % de l'énergie chimique disponible sont convertis en chaleur dissipée dans l'environnement. Lorsque l'exercice est réalisé dans un milieu dont la température et/ou l'humidité sont élevées, la compétition entre thermorégulation et production maximale d'énergie peut conduire à une limitation des performances et, dans certains cas, à d'importantes augmentations de la température corporelle.

Chez le cheval, la sudation est très efficace (Kerr et Snow, 1983); durant l'exercice, le cheval peut perdre 5 à 10 % de son poids en eau (Carlson, 1982). La transpiration ne contribue à la perte de chaleur que lors de l'évaporation de la sueur. La chaleur latente d'évaporation d'un kg d'eau est de 589 Kcal à 30°C . Un cheval qui fournit un effort d'intensité modérée a une production calorifique équivalente à 150 Kcal/min. S'il maintient cet exercice pendant une heure, il produit donc 9000 Kcal, ce qui correspondrait à une élimination de 15 litres d'eau par le processus d'évaporation seul.

Cette perte hydrique peut porter atteinte aux réserves liquidiennes de l'organisme avec pour conséquence l'établissement graduel d'un état de déséquilibre hydro-électrolytique. Or, l'activité métabolique a préséance sur la thermorégulation. En effet, au cours d'un exercice violent en

ambiance chaude qui entraîne une diminution du volume plasmatique par sudation, l'organisme envoie relativement moins de sang en région cutanée, probablement afin de préserver le débit cardiaque et le débit musculaire.

La perte de liquide est particulièrement apparente au cours d'un exercice par temps chaud et humide. Après quelques heures d'un travail important dans ces conditions, la déshydratation peut atteindre un niveau tel que la déperdition de chaleur est entravée et les fonctions cardio-vasculaires et la capacité de travail sont sérieusement compromises par l'hyperthermie. En outre, après quelques heures de production abondante de sueur, les glandes sudoripares cessent de fonctionner, empêchant l'organisme de régulariser sa température centrale.

Cependant, bien que la transpiration soit le principal moyen de refroidissement du cheval à l'effort, une élévation excessive de la pression de vapeur d'eau dans l'air ambiant limite la sudation (Cymbaluk et Christison, 1990). Le tractus respiratoire contribue également à la perte de chaleur et d'eau par la polypnée. L'halètement survient lorsque la transpiration est compromise par une haute humidité ou de l'anhydrose.

La réponse thermorégulatrice ne prévient pas toute élévation de la température corporelle. Des hausses modérées ne signifient pas nécessairement une défaillance du système thermorégulateur. Le stockage de la chaleur et sa dissipation différée sont des mécanismes utilisés par les animaux de grande taille, tels que le cheval. Par exemple, il a été démontré que la température au centre du muscle et la température rectale augmentent respectivement de 37.0 à 41.5°C et 39.8°C (chez des trotteurs suite à une course de 2100 m à une vitesse moyenne de 11.8 m/s).

Acclimatation thermique et effets de l'entraînement

L'acclimatation thermique et l'entraînement consistent en une série d'adaptations physiologiques qui procurent respectivement une meilleure tolérance à la chaleur et à l'exercice. Le stress thermique

entraîne des adaptations physiologiques (circulation, sudation) semblables à celles observées lors de l'entraînement. Cependant, l'acclimatation à la chaleur est beaucoup moins efficace qu'un programme d'entraînement similaire par temps chaud (Mc Ardle et al., 1991).

Le débit cardiaque est redistribué de telle sorte que la pression sanguine soit plus stable, tout en augmentant le flux sanguin vers les vaisseaux périphériques. Cette adaptation circulatoire est accompagnée d'une réduction du seuil de sudation. La capacité de sudation est presque doublée, la sueur plus diluée (diminution des pertes de sels) et mieux répartie à la surface de la peau (Mc Ardle et al., 1991). Suite à un entraînement en endurance, on observe aussi une augmentation importante du volume plasmatique. Le surplus de liquide permet de combler les besoins des glandes sudoripares au cours d'un stress thermique en conservant un flux sanguin adéquat pour satisfaire aux exigences métaboliques.

Grâce à ces adaptations circulatoires et sudatoires, les températures cutanées et centrales ainsi que la fréquence cardiaque sont plus basses à l'effort chez un individu acclimaté. Les mécanismes de thermorégulation étant moins sollicités, la peau reçoit moins de sang et, par conséquent, les muscles actifs sont mieux irrigués (Mc Ardle et al., 1991). Un individu entraîné emmagasine moins de chaleur au cours d'un exercice et parvient plus rapidement à un équilibre thermique. Le bénéfice thermorégulateur que procure l'entraînement n'est valable que si l'individu est parfaitement hydraté durant l'exercice.

3. CONCLUSIONS

L'imagerie thermique infrarouge est une technique qui permet de mesurer la température cutanée en temps réel, sans contact et de façon non invasive, ce qui est très intéressant en médecine vétérinaire. La caméra IR est la plus la méthode la plus utilisée. Elle permet la mesure de la température de différents points d'un champ et contribue à une étude fiable de la thermorégulation du cheval.

En effet, jusqu'à présent, en médecine vétérinaire équine, son utilisation était essentiellement clinique. Par la visualisation de variations de flux sanguin en périphérie cutanée, ainsi que par la quantification des gradients de température à la surface de la peau, elle constitue un outil novateur dans l'étude de la thermorégulation chez le cheval, sujet peu étudié mais important car il s'agit d'un facteur limitant les performances sportives.

4. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. Leblond pour son aide technique.

SUMMARY

Infrared thermography in the study of thermoregulation : bibliographical study

Infrared thermography is a method to assess the skin temperature by means of a camera equipped with an infrared detector. It makes thermograms that represents the surface temperature of skin patterns. This article summerizes the different information about thermography and thermoregulation of horses. In fact,

lots of information exist about thermoregulation of most of the domestic animals but very little exists as far as horses are concerned. Two different types of devices are used for thermography : contacting and noncontacting which measure the infrared radiation either with a thermometer or with a themographic camera. The blood circulation dictates the thermic model which is at the origin of thermographic interpretation. This latter is a good method helping to study thermoregulation.

BIBLIOGRAPHIE

- BOWMAN K.F., PUROHIT R.C., GANJAM U.K., PELHMAN R.D., VAUGHAN J.T. Thermographic evaluation of corticosteroids efficacy in amphotericin B induced arthritis in ponies. *Am. J. Vet. Res.*, 1983, **44**, 51-56.
- CARLSON G.P. Thermoregulation and fluid balance in the exercising horse. In : *Equine Exercise Physiology*, D.H. Snow, S.G.B. Persson, R.J. Rose (Eds), Granta Editions, Cambridge, 1982, pp. 291-309.
- CYMBALUK N.F., CHRISTISON G.I. Environmental effects on thermoregulation and nutrition of horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, 1990, **6**, 355-372.
- DENOIX J.M. Apport des techniques récentes dans le diagnostic des affections locomotrices chez le cheval. *Point Vét.*, 1993, **25**, 212.
- DOROW C.A. Thermography, a diagnostic test and second opinion in low back pain syndrome. *Sec. Opinion*, 1989, **1**, 34-35.
- FREESTONE J. Anhidrosis. In : *Current Therapy in equine medicine*. N.E. Robinson (Ed), W.B. Saunder Company, Philadelphia, 1992, pp. 703-704.
- FLIR SYSTEMS Appendix C Infrared Theory. In : *Operator's Manual, Infrared Thermal Imaging System (IQ series model 325)*, 1992, c1-c10.
- GARNER H.E., COFFMAN J.R., HAHN A.W., HUTCHESON D.P., TUMBLESON M.E. Equine laminitis of alimentary origin. *Am. J. Vet. Res.*, 1975, **36**, 441-444.
- HALL J., BRAMLAGE L.R., KANTROWITZ B.M. Correlation between contact thermography and ultrasonography in the evaluation of experimentally-induced superficial flexor tendinitis. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.*, 1987, **32**, 429-433.
- HONSTEIN R.N., MONTY D.E. Physiologic responses of the horse to a hot, arid environment. *Am. J. Vet. Res.*, 1977, **38**, 1041-1043.
- KENNEDY P.M., CHRISTOPHERSON R.J., MILLIGAN L.P. Digestive responses to cold. In : *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*, Milligan LP, Grovum WL, Dodson A (Eds), Englewood Cliffs, NJ, Reston Books, 1986, pp. 318-322.
- KERR M.G., SNOW D.H. Composition of sweat of the horse during prolonged epinephrine infusion, heat exposure and exercise. *Am. J. Vet. Res.*, 1983, **44**, 1571-1577.
- LOVE T.J. Thermography as an indicator of blood perfusion. *Ann. N Y Acad. Sci.*, 1980, **335**, 429-432.
- MC ARDLE W.D., KATCH F.I., KATCH V.L. Thermoregulation and environmental stress during exercise. In : *Exercise Physiology : Energy, Nutrition, and Human Performance*, 3rd edn, Lea et Febiger, Philadelphia, 1991, 556-571.
- MC ARTHUR A.J. Thermal interaction between animal and microclimate : a comprehensive model. *J. Theor. Biol.*, 1987, **126**, 203-238.
- MC CONAGHY F. Thermoregulation. In : *The Athletic Horse : Principles and Practice of Equine Sport Medicine*, W.B. Saunders Company, 1994, pp. 181-202.
- PALMER S.E. Use of the portable infrared thermometer as a means of measuring limb surface temperature in the horse. *Am. J. Vet. Res.*, 1981, **42**, 105-108.
- PUROHIT R.C., Mc COY M.D. Thermography in the diagnosis of inflammatory processes in the horse. *Am. J. Vet. Res.*, 1980, **41**, 1167-1174.
- PUROHIT R.C., Mc COY M.D., BERGFELD W.A. Thermographic diagnosis of Horner's syndrome in the horse. *Am. J. Vet. Res.*, 1980, **41**, 1180-1182.
- ROBINSON N.E., SCOTT J.B., DABNEY J.M., JONES G.A. Digital vascular responses and permeability in equine alimentary laminitis. *Am. J. Vet. Res.*, 1976, **32**, 1171-1176.
- STROMBERG B. Morphologic, thermographic and ¹³³Xe clearance studies on normal and diseased superficial digital flexor tendons in race horses. *Equine Vet. J.*, 1973, **5**, 156-161.
- STROMBERG B. The use of thermography in equine orthopedics. *J. Vet. Radiol.*, 1974, **15**, 94-97.
- TURNER T.A., FESSLER J.F., LAMP M., PEARCE J.A., GEDDES L.A. Thermographic evaluation of podotrochlosis in horses. *Am. J. Vet. Res.*, 1983, **44**, 535-539.
- TURNER T.A., PUROHIT R.C., FESSLER J.F. Thermography : a review in equine medicine. *Comp. Cont. Educ. Pract. Vet.*, 1986, **8**, 855-861.
- TURNER T.A. Hindlimb muscle strain as a cause of lameness in horses. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.*, 1989, **34**, 281-284.
- TURNER T.A. Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, 1991, **7**, 311-338.
- VADEN M.F., PUROHIT R.C., Mc COY M.D., VAUGHAN J.T. Thermography : a technique for subclinical diagnosis of osteoarthritis. *Am. J. Vet. Res.* 1980, **41**, 1175-1179.
- WEBBON P.M. Limb skin thermometry in racehorses. *Equine vet. J.* 1978, **10**, 180-184.
- WALDSMITH J. K. Real-time thermography : a diagnostic tool for the equine practitioner. In *Proceeding : 38th Annual Convention Proceedings*, 1992, pp. 455-467.