

Standardisation des mesures en imagerie thermique infrarouge chez les grands animaux domestiques

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

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

RESUME. L'imagerie thermique infrarouge est l'étude des images créées par l'enregistrement de l'émission radiante thermique d'un corps. Le but de cet article est d'analyser les effets éventuels de plusieurs paramètres susceptibles d'influencer la fiabilité des thermographies : l'effet de la distance et la position de la caméra infrarouge par rapport à l'animal, de la couleur, la longueur et l'humidification des poils, et de la lumière artificielle. En outre, l'endroit le plus approprié pour mesurer la température cutanée chez le cheval à l'effort a été étudiée. Il résulte de cette étude que l'imagerie thermique infrarouge est une technique de mesure de la température cutanée qui ne nécessite pas le respect de nombreuses contraintes méthodologiques. De plus, il s'agit d'une méthode sûre, simple et rapide à utiliser. Le site idéal de prise de température cutanée apparaît être l'encolure pour son carrefour vasculaire.

INTRODUCTION

L'imagerie thermique infrarouge est l'étude des images créées par l'enregistrement de l'émission radiante thermique d'un corps (Waldsmith, 1992). C'est une technique non invasive qui permet de mesurer la radiation calorifique d'un organisme de façon très précise, contrairement à un examen clinique de routine (Turner, 1991). Dans un article précédent, Spruyt *et al.* (1995) ont développé les aspects techniques et théoriques de l'imagerie thermique infrarouge.

La standardisation des mesures constitue un élément primordial qui influence l'interprétation des résultats. Or, en médecine vétérinaire, les paramètres tels que le mouvement, l'énergie radiante extérieure, la température ambiante, la pilosité et l'acclimatation à l'environnement, sont moins facilement contrôlables qu'en médecine humaine. Des standards ont donc été définis : l'éclairage doit être de faible intensité, le local maintenu à une température inférieure à 30° l'animal doit être immobilisé et accli-

maté à l'environnement pendant 10 à 20 minutes. Chez le cheval, il n'est pas nécessaire de tondre la surface à visualiser si les poils sont courts, de longueur uniforme et contre la peau (Turner *et al.* 1986; Turner 1991).

Le but de cet article est d'analyser les effets éventuels de plusieurs paramètres susceptibles d'influencer la fiabilité des thermographies : l'effet de la distance et de la position de la caméra infrarouge, de la couleur, la longueur et l'humidification des poils, et de la lumière artificielle. En outre, l'influence de l'endroit de mesure de la température cutanée sera également investiguée.

MATERIEL ET METHODES

A. Influence de certains paramètres techniques sur la fiabilité de la mesure

1. Animaux

Cette première série d'expériences a été réalisée sur 6 veaux mâles Pie-Noir pesant 150 ± 10 kg et âgés

d'environ 6 mois. Un bovin différent a été utilisé pour chacune des expérimentations, à l'exception de l'influence de la distance qui a été testée sur 5 veaux.

2. Appareillage

Les mesures ont été effectuées au moyen d'un thermographe infrarouge enregistrant en temps réel (IQ series, model 325, FSI Flir systems Inc.). Une caméra détectant les radiations infrarouges et un traitement informatique ont permis leur conversion en signaux électriques et en graduations proportionnelles à une échelle de couleurs. La quantification calorifique a été effectuée par l'intermédiaire d'un clavier (Spruyt *et al.* 1995). Les valeurs considérées sont les températures moyennes d'une surface dont la taille est d'environ 100 cm². Toutes les mesures ont été prises dans les mêmes conditions, à l'exception du paramètre étudié.

3. Méthodes d'investigation

Les thermographies ont été effectuées sur les bovins immobiles et acclimatés

pendant 10 à 20 minutes au local dont la température était de 20° C et l'éclairage d'une intensité correspondant à 100% dans l'expérience déterminant l'effet de la luminosité.

Influence de la distance

La caméra infrarouge a été placée perpendiculairement à l'animal. Les mesures ont été réalisées au niveau d'une zone dont la température cutanée (T° cut) était uniforme. La T° cut correspondait à la température moyenne d'une surface déterminée et constante. Une mesure de la T° cut a été effectuée lorsque la caméra était placée successivement à 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 et 3.5 m de la surface étudiée.

Influence de la luminosité

L'intensité de la lumière artificielle (tubes néon) a été modifiée afin de mesurer la T° cut de l'animal à une intensité lumineuse décroissante et croissante de 100%, 50% et 0%. L'éclairage était placé au plafond (350 cm de hauteur) et était constitué de 6 tubes néons d'une puissance de 32 watts.

Influence de la couleur du pelage

Les mesures ont été réalisées de façon à comparer la T° cut de régions de couleurs différentes, en particulier les taches blanches et noires d'un bovin de race Pie-Noir.

Influence de la longueur du pelage

Quatre mesures ont été réalisées sur une même zone : la première avant toute manipulation, la deuxième après avoir tondu dans le sens du poil, la troisième après avoir tondu dans le sens contraire du poil et la quatrième après avoir rasé.

Influence de l'humidification du pelage

La T° cut a été mesurée avant et 5 et 10 minutes après avoir mouillé le pelage à l'eau froide (20°C).

Influence de l'angle

La caméra a été déplacée le long d'un demi cercle dont le centre se situait à 1 mètre de l'animal. Les mesures ont été réalisées lorsque celle-ci était placée selon un angle de 30, 60, 90, 120, 150 et 180° par rapport à la surface étudiée. A l'except-

tion de l'influence de la distance, toutes les expériences sur bovins ont été effectuées dans ces 6 positions de sorte que 5 bovins ont été testés pour ce paramètre.

Analyses statistiques

Les résultats sont donnés sous forme de moyenne \pm ESM. L'influence de chacun des paramètres sur les variables mesurées a été analysée au moyen d'un test ANOVA à un critère de classification et/ou d'un test t de Student suivant les cas.

B. Etude du site le plus approprié pour mesurer la température cutanée du cheval à l'effort.

1. Animaux

Les mesures ont été réalisées sur deux hongres de race Pur Sang pesant 520 et 530 kg et âgés de 8 et 13 ans. L'un était alezan, l'autre bai ordinaire. Tous deux avaient un poil court, régulier et couché contre la peau.

2. Appareillage

La température a été mesurée à divers endroits du corps au moyen des instruments suivants : un thermographe infrarouge (IQ series, model 325, FSI Flir systems Inc.) déterminait la T° cut et une sonde intra-rectale (Ellab, Copenhagen, Danemark) mesurait la température rectale (T° rect) du cheval à l'arrêt (contrairement à l'unité de thermographie, la sonde rectale ne peut être utilisée chez le cheval en mouvement.).

3. Méthodes d'investigation

Les deux chevaux ont réalisé un test d'effort standardisé sur tapis roulant (Equispeed, Versailles, MI, USA) dans un laboratoire dont la température est maintenue à 15° C et l'humidité relative à 55%. La distance entre la caméra infrarouge et le cheval était telle que l'image thermographique comprenait l'entièreté du profil droit de l'animal (environ 4 m). L'angle de mesure était de 90°. L'éclairage était de type tubes néons dont les différents paramètres étaient semblables à ceux de l'expérience A, l'intensité étant de 100%.

L'exercice consistait en un échauffement de 5 minutes au pas, suivi

d'une minute d'un trot à 4 m/sec. Le cheval passait alors au galop à 8 m/sec, 9 m/sec, 10 m/sec et 11 m/sec pendant une minute à chaque palier. Enfin, le cheval était mis au pas pendant 2 minutes pour être ensuite arrêté. Durant chaque palier, la pente du tapis roulant était de 6%.

Les T° cut et T° rect ont été mesurées toutes les 20 secondes pendant la durée de l'expérience. La T° cut a été mesurée à 6 endroits différents (Fig. 1) : au niveau du bas de l'encolure juste en avant de l'épaule (site 1), au niveau du passage des sangles juste en arrière du coude (site 2), dans la partie inférieure du thorax à mi-distance entre le coude et le grasset (site 3), au milieu du thorax (site 4), au milieu du flanc (site 5), et en partie supérieure de la cuisse (site 6). Le traitement informatique permettait d'obtenir simultanément la température moyenne au niveau de chacune des 6 zones cutanées dont la taille était d'environ 100 cm² chacune.

4. Analyses statistiques

L'influence de chacun des 6 paramètres sur les variables mesurées a été analysée au moyen d'un test ANOVA à un critère de classification.

RESULTATS

A. Influence de certains paramètres sur la fiabilité de la mesure

Influence de la distance

Lorsque la caméra et l'animal sont séparés de 0.5 à 3.5 m, la T° cut varie de 32.02 \pm 0.21° C (à 3.5 m) à 32.34 \pm 0.28° C (à 0.5 m). Il n'y a pas d'effet significatif de la distance de la caméra par rapport à l'animal sur la température mesurée ($p > 0.05$).

Influence de la luminosité

La T° cut n'est pas influencée de manière significative ($p > 0.05$) par l'intensité de la lumière artificielle de type tubes néon. La T° cut varie de 33.4 à 34° C, avec des moyennes de 33.72 \pm 0.07° C à une intensité de 100%, 33.55 \pm 0.06° C (50%), 33.70 \pm 0.09° C (0%), 33.67 \pm 0.06° C (50%) et 33.70 \pm 0.05° C à 100%.

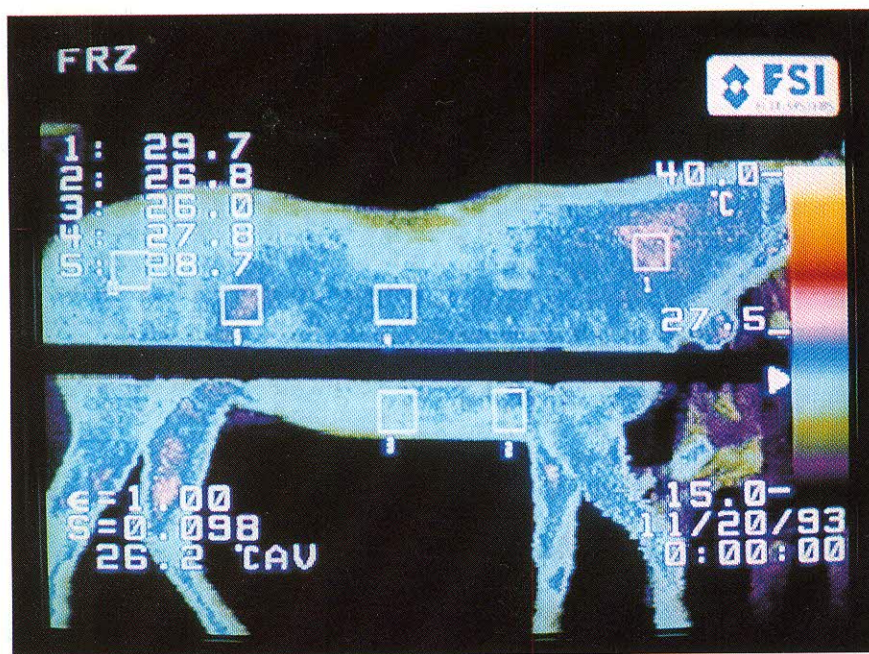


Figure 1

Exemple d'image thermographique obtenue au pas chez un des deux chevaux testés dans l'expérience B : les surfaces entourées correspondent aux six sites de mesure de la température cutanée.

Influence de la couleur du pelage

On n'observe pas d'effet significatif de la couleur du pelage sur la température mesurée ($p > 0.05$). La T° cut moyenne des zones de couleur noire et celles de couleur blanche est de $27.80 \pm 0.32^{\circ}\text{C}$ et $28.04 \pm 0.50^{\circ}\text{C}$ respectivement.

Influence de la longueur du pelage

La T° cut moyenne initiale est de $27.65 \pm 0.53^{\circ}\text{C}$. Après la première et la deuxième tonte, elle est respectivement de $31.12 \pm 0.48^{\circ}\text{C}$ et $32.63 \pm 0.28^{\circ}\text{C}$, et de $31.63 \pm 0.22^{\circ}\text{C}$ lorsque la région est rasée. Il y a un effet significatif de la longueur du pelage sur la température mesurée ($p < 0.05$) : ces 3 dernières valeurs sont significativement plus élevées que la température initiale.

Influence de l'humidification du pelage

La T° cut augmente significativement ($p < 0.05$) lorsque le poil est humidifié. En effet, la température moyenne initiale est de $26.82 \pm 0.29^{\circ}\text{C}$. Cinq minutes après humidification, elle a atteint $29.32 \pm 0.55^{\circ}\text{C}$. Cette augmentation se maintient après dix minutes ($28.60 \pm 0.37^{\circ}\text{C}$).

Influence de l'angle

Il n'y a pas d'effet significatif de l'angle de la caméra par rapport à l'animal sur la température mesurée

($p > 0.05$). Quinze mesures ont été effectuées pour chacun des 6 angles, dont les moyennes varient de $30.80 \pm 0.80^{\circ}\text{C}$ à $31.46 \pm 0.58^{\circ}\text{C}$.

B. Etude du site le plus approprié pour mesurer la température cutanée du cheval à l'effort.

Les moyennes des T° cut correspondant à chaque palier d'effort sont reprises dans le tableau I. Pour chacun de ceux-ci, la température est significativement différente ($p < 0.05$) entre les 6 sites, à l'exception des mesures effectuées au pas qui sont

cependant significativement différentes avec $p < 0.09$.

Quel que soit le site de mesure de la T° cut, on note une même évolution. Dès le début de l'exercice, la T° cut augmente. Une diminution survient au début du galop au niveau de l'encolure, de la partie inférieure du thorax, du flanc et de la cuisse. Elle est retardée au niveau du passage des sangles. Ensuite, la T° cut s'élève par paliers réguliers jusqu'à la fin du galop. Après le galop, on observe un net réchauffement cutané pendant les 2 minutes que dure le pas de récupération. Enfin, la T° cut diminue lentement au niveau de l'encolure, de façon importante au niveau du thorax et de la cuisse, elle reste stationnaire au flanc, et augmente légèrement au niveau du passage des sangles.

La température rectale moyenne des deux chevaux est de 37.9°C avant l'effort. A la fin du pas de récupération, elle n'augmente que de 0.3°C . A l'arrêt, elle continue de s'élever jusqu'à atteindre 38.9°C 10 minutes après l'effort.

DISCUSSION

A. Influence de certains paramètres sur la fiabilité de la mesure

On peut classer les différents paramètres étudiés suivant leur influence sur l'imagerie thermique infrarouge. La majorité d'entre eux ne modifie pas les images thermiques dans les

Tableau I

Température cutanée moyenne ($^{\circ}\text{C}$) mesurée chez deux chevaux avant, pendant et après un test d'effort au tapis roulant.

Moment de la mesure	Site					
	1	2	3	4	5	6
Repos	27.95 (1.75)	25.70(0.70)	24.90 (0.90)	25.10 (0.30)	27.45 (1.05)	25.00 (0.60)
Echauff.	28.82 (0.34)	26.20 (0.27)	25.20 (0.26)	26.27 (0.51)	27.83 (0.33)	25.17 (0.36)
4 m/sec	29.13 (0.19)	26.47 (0.13)	26.53 (0.36)	26.87 (0.39)	27.67 (0.28)	25.63 (0.26)
8 m/sec	27.95 (0.40)	26.83 (0.20)	25.67 (0.22)	26.57 (0.27)	27.07 (0.42)	26.73 (0.48)
9 m/sec	28.55 (0.37)	27.98 (0.19)	26.80 (0.19)	27.35 (0.31)	26.63 (0.53)	25.33 (0.28)
10 m/sec	28.95 (0.32)	28.12 (0.34)	28.27 (0.64)	28.48 (0.49)	26.98 (0.49)	25.85 (0.19)
11 m/sec	28.87 (0.29)	28.22 (0.17)	29.73 (0.66)	29.92 (0.64)	27.75 (0.98)	27.12 (0.81)
Pas	31.00 (0.40)	31.55 (0.45)	31.62 (0.36)	32.25 (0.37)	31.20 (0.60)	31.65 (0.50)
Arrêt	32.82 (0.09)	33.45 (0.08)	30.61 (0.21)	31.78 (0.21)	33.41 (0.09)	31.27 (0.22)

Les mesures ont été effectuées au niveau des six sites, toutes les 20 secondes et constituent les moyennes (erreur standard) de chaque palier. Les sites sont les suivants : le bas de l'encolure (site 1), le passage des sangles (site 2), la partie inférieure du thorax (site 3), le milieu du thorax (site 4), le flanc (site 5), et la cuisse (site 6).

limites testées. Il s'agit de la distance et l'angle entre la caméra et l'animal, de la couleur du pelage et de l'intensité de lumière artificielle.

Par contre, la longueur et l'humidification du pelage influencent la T° cut. En effet, le pelage constitue un isolant thermique efficace. Il est donc important de tenir compte de ce facteur avant d'effectuer des comparaisons interindividuelles (Purohit et Mc Coy, 1980; Turner *et al.*, 1983; Turner, 1991). L'eau est un conducteur de chaleur qui diminue l'action isolante du pelage. Dès lors, l'image thermographique des poils humides est plus chaude, et ce jusqu'à évaporation.

Comme l'avaient montré Turner et Sloan (1993), l'expérience confirme que la distance n'influence pas les thermogrammes. Par contre, l'éclairage artificiel de type néons est sans effet.

B. Etude du site le plus approprié pour mesurer la température cutanée du cheval à l'effort.

Les résultats montrent que l'endroit de mesure de la température cutanée influence les résultats. Dès lors, afin de contribuer à une étude fiable de la thermorégulation chez le cheval, il est important de déterminer en quel site les mesures sont les plus significatives d'une variation globale de la T° cut.

L'augmentation de la T° cut au cours de l'effort est la plus importante au niveau du passage des sangles, du thorax et de la cuisse. Cependant, le passage des sangles est un lieu de frottement intense. De plus, la présence d'un harnais de sécurité ainsi qu'une sangle téléométrique rendent difficiles les prises de température au passage des sangles et au thorax lors d'un exercice standardisé au tapis roulant. On peut noter que la température de l'extrémité distale des membres n'est pas mesurable lors de l'exercice pour des raisons techniques dues aux mouvements importants de ces régions.

Au niveau de l'encolure, l'augmentation de température est moins importante, mais celle-ci est plus élevée au départ, ce qui peut être expliqué par la localisation superficielle de vaisseaux importants (gouttière jugulaire). Au niveau du flanc, le réchauffement est également plus faible.

Les endroits de plus grande déperdition de chaleur dont la mesure est fiable semblent donc être l'encolure et la cuisse. Cependant, la cuisse est le siège d'importantes élévations de température liées aux mouvements des masses musculaires à ce niveau. L'élévation totale de la température y est donc logiquement importante, mais reflète plus le niveau de métabolisme musculaire local que la thermorégulation générale. Dès lors, l'encolure paraît être le site le plus approprié pour étudier la thermorégulation générale du cheval à l'effort par l'imagerie thermique infrarouge parce que les mesures y sont techniquement aisées, les frottements faibles, la vascularisation importante et les mesures faiblement influencées par le niveau métabolique (musculaire) local.

La température rectale reflète la température centrale avec un certain retard. En effet, la température rectale augmente jusqu'à être maximale 10 à 15 minutes après l'effort. Cela correspond à la redistribution du sang des muscles vers le compartiment central et le rectum (Hodgson *et al.*, 1994).

Dès le début de l'échauffement, la T° cut augmente parallèlement à la température du compartiment central. Lorsque l'exercice s'intensifie, une redistribution sanguine apparaît, ayant pour conséquence une diminution de la T° cut. Lors de la seconde partie du galop, un réchauffement réapparaît pour satisfaire à l'augmentation du débit sanguin au niveau cutané au détriment des circulations splanchniques et rénales (Mc Conaghy, 1994). Par contre, dès le début de la mise au pas de récupération, les variations de température deviennent importantes : la thermorégulation atteint alors son efficacité maximale. La T° cut maximale correspond à une température sanguine et une vasodilatation cutanée maximales avec pour conséquences une brusque augmentation de la T° cut et une stabilisation suivie d'une diminution de la température rectale. En effet, la chaleur cutanée a deux origines : la circulation locale et le métabolisme tissulaire. Ce dernier étant constant, une modification de la T° cut est généralement le résultat d'une variation de la perfusion tissulaire.

CONCLUSION

Il apparaît donc que l'imagerie thermique infrarouge est une technique qui permet de mesurer la température cutanée des grands animaux avec peu de contraintes. De plus, il s'agit d'une méthode simple, sûre et rapide à utiliser. Il a été démontré que la distance et la position de la caméra par rapport à l'animal, l'intensité de lumière artificielle et la couleur du pelage ne constituent pas des obstacles à l'interprétation fiable d'une image thermographique.

De plus, l'imagerie thermique infrarouge permet de quantifier la perte de chaleur par convection et est donc une technique intéressante dans l'étude de la thermorégulation du cheval à l'effort; elle met en évidence et quantifie la vasodilatation périphérique cutanée. Le site idéal de prise de T° cut apparaît être l'encolure pour son carrefour vasculaire. Les mesures y sont techniquement aisées et peu influencées par un niveau métabolique musculaire local important, les frottements sont faibles, et la vascularisation importante.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. Leblond pour son aide technique.

SUMMARY

Thermography studies pictures recorded from radiant thermal emissions of a body. This paper analyzes several measurement conditions in order to make thermographic unit reliable, i.e. the effects of distance and position of the camera, the color, length and moisture of hair, and the light power. Moreover, the effects of the site on cutaneous temperature measurements were studied in exercising horses.

It can be concluded that infrared thermography is a technical to measure skin temperature which requires a few conditions to be respected. Moreover, it is a sure, simple and fast method. The ideal site for measuring skin temperature in exercising horses is the neck because of its vascularisation.

BIBLIOGRAPHIE

- HODGSON D.R., Mc CUTCHEON L.J., BYRD S.K., BROWN W.S., BAYLY W.M., BRENGELMANN G.L., GOLLNICK, P.D. Dissipation of metabolic heat in the horse during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1993, **74**, 1161-1170.
- MC CONAGHY F. Thermoregulation. In : *The Athletic Horse : Principles and Practice of Equine Sport Medicine*, W.B. Saunders Company, 1994, pp. 181-202.
- 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.
- SPRUYT P., GHAFIR Y., ART T., LEKEUX P. La thermographie infrarouge dans l'étude de la thermorégulation chez le cheval. *Ann. Med. Vet.* 1995, **139**, 413-418.
- TURNER T.A., FESSLER J.F., LAMP M., PEARCE J.A., GEDDES Ph.D. 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., SLOAN D.E. Thermography in lameness diagnosis. *Equine Vet. Data*, 1993, **14**, 206-207.
- TURNER T.A. Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, **7**, 1991, 311-338.
- WALDSMITH J. K. Real-time thermography : a diagnostic tool for the equine practitioner. In *Proceeding : 38th Annual Convention Proceedings*, 1992, pp. 455-467.