

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chovu hospodářských zvířat (FAPPZ)



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Možnosti uplatnění termografie v chovu a sportovním
využití koní**

Bakalářská práce

Autor práce: Monika Dušková

Obor studia: Speciální chovy

Vedoucí práce: Ing. Cyril Neumann

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Možnosti uplatnění termografie v chovu a sportovním využití koní" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 23. 4. 2021

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Cyrilovi Neumannovi za užitečné rady, ochotu a pomoc s vypracováním této práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, která mě podporuje ve studiu.

Možnosti uplatnění termografie v chovu a sportovním využití koní

Souhrn

Charakteristikou teplokrevných zvířat je téměř konstantní tělesná teplota. Z tělesného povrchu zvířete je teplo emitováno ve formě infračerveného elektromagnetického záření. Metoda infračervené termografie spočívá v zachycení této energie v infračerveném spektru elektromagnetického záření pomocí termokamery. Výsledkem je termogram – termografický snímek distribuce teploty na těle zvířete, kde teplotní rozdíly odpovídají různým nuancím barevného spektra (např. modrá značí nižší a červená vyšší teplotu). Z termogramu lze následně vyčíst informace o dynamických procesech v těle jako průtok krve a metabolismus tkání na základě hodnoty a rozšíření teploty. Teplota se již v minulosti ukázala být dobrým indikátorem zdraví a velmi dlouho se používá v klinické diagnostice. Je známo, že oblast s abnormálně zvýšenou teplotou může značit patologický proces (například zánět), místo zranění či onemocnění.

Infračervená termografie začala být více používaná ve veterinární medicíně. Je mobilní, což usnadňuje použití u zvířat, která nelze snadno přepravit na kliniku nebo je k nim obtížný přístup. Její neinvazivní použití zase šetří zdraví a psychiku zvířete – nemá negativní vliv na organismus a nezpůsobuje zvířeti bolest či stres. V medicíně koní se hojně používá k detekci příčin kulhání, zánětů kopyt a šlach. Využití termografie ve veterinární medicíně se však v případě koní dostalo o něco dál. Objevuje se ve výzkumu působení jezdeckých a jiných pomůcek jako například správně padnoucí sedla, účinky udidel z rozdílných materiálů nebo používání různých typů zimních dek. Dalším odvětvím, kde nachází uplatnění, je sportovní využití koní – výzkum adaptace pohybového aparátu na trénink, zkoumání vlivu vysoké váhy jezdce na organismus koně nebo využití nelegálních metod při soutěžích. Figuruje také v samotném chovu a reprodukci koní, kde dokáže určit dobu říje či potvrdit březost. Výzkumy také ukázaly zdárné využití termografie k detekci stresu pomocí zvýšené teploty oka.

Důležité pro úspěšné používání této metody je znát vlivy a faktory, které termografickou diagnostiku ovlivňují a dodržet určitá pravidla při zobrazování. Velký vliv má například sluneční záření, průvan a okolní teplota. Je důležité provádět diagnostiku v krytém, uzavřeném prostoru se stálou okolní teplotou v určitém rozmezí a zvolit správnou vzdálenost měření, dle oblasti zájmu. Neméně důležitá je také příprava koně, který by měl být předem

vyčištěný a aklimatizovaný na teplotu vyšetřovacího místa. Také samotná interpretace snímků vyžaduje značné zkušenosti.

Mimo výhody termografie je nutné brát v potaz i určitá omezení. Mnoho studií, naznačuje, že termografie je účinným diagnostickým nástrojem pro lokalizaci problému či odhalení patologií v subklinické fázi, kdy ještě nebylo možné odhalení jinou diagnostickou metodou. Termografie však nedokáže přímo určit příčinu vzniku patologie. Proto se jeví jako nejvhodnější pro prediagnostické použití, jež může nasměrovat na jinou, přesnější diagnostickou metodu, dále dokáže monitorovat účinky léčby a může úspěšně pracovat v kombinaci s jinými diagnostickými metodami.

Klíčová slova: infračervená termografie, neinvazivní diagnostika, rehabilitace, kůň

Application possibilities of thermography in breeding and sports use of horses

Summary

The characteristic of warm-blooded animals is almost constant body temperature. Heat is emitted from the animal's body surface in the form of infrared electromagnetic radiation. The method of infrared thermography consists in capturing this energy in the infrared spectrum of electromagnetic radiation using a thermal camera. The result is a thermogram – a thermographic image of the temperature distribution on the animal's body, where the temperature differences correspond to different nuances of the color spectrum (for example blue indicates a lower temperature and red a higher temperature). The thermogram can then be used to read information about dynamic processes in the body such as blood flow and tissue metabolism, based on the value and distribution of temperature. Temperature has proven to be a good indicator of health in the past and has been used in clinical diagnosis for a very long time. It is known that an area with an abnormally elevated temperature can indicate a pathological process (for example inflammation), a site of injury or disease.

Infrared thermography has become more widely used in veterinary medicine. It is mobile, which makes it easier to use in animals that cannot be easily transported to the clinic or are difficult to access. Its non-invasive use saves the health and psyche of the animal – it has no negative effect on the organism and does not cause pain or stress to the animal. It is widely used in equine medicine to detect the causes of lameness, inflammation of the hooves and tendons. However, the use of thermography in veterinary medicine has gone a little further in the case of horses. It appears in research into the effects of riding and other aids, such as saddle fit, the effects of bit made of different materials or the use of different types of winter blankets. Another branch where it finds application is the sports use of horses – research into the adaptation of the musculoskeletal system to training, research into the effect of a rider's high body weight on the horse's organism or the use of illegal methods in competitions. It is also involved in the breeding and reproduction of horses, where it can determine the time of estrus or confirm pregnancy. Research has also shown the successful use of thermography to detect stress using elevated eye temperatures.

It is important for the successful use of this method to know the influences and factors that affect thermographic diagnostics and to follow certain rules when imaging.

For example, sunlight, drafts and ambient temperature have a great influence. It is important to perform diagnostics in a covered, enclosed space with a constant ambient temperature within a certain range and to select the correct measurement distance, according to the area of interest. Equally important is the preparation of the horse, which should be pre-cleaned and acclimatized to the temperature of the examination site. The interpretation of the images itself also requires considerable experience.

In addition to the advantages of thermography, certain limitations must be taken into account. Many studies suggest that thermography is an effective diagnostic tool for locating a problem or detecting pathologies in the subclinical phase, when detection by another diagnostic method has not yet been possible. However, thermography cannot determine the cause of pathology. Therefore, it appears to be most suitable for pre-diagnostic use, which can be directed to another, more accurate diagnostic method, can further monitor the effects of treatment and can work successfully in combination with other diagnostic methods.

Keywords: infrared thermography, non-invasive diagnostics, rehabilitation, horse

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce	2
3 Termografie	3
3.1 Teplo a teplota	3
3.2 Definice a princip termografie	3
3.3 Termokamera a termogram.....	5
3.4 Historie.....	6
3.5 Využití ve veterinární medicíně	10
3.5.1 Tělesná teplota zvířat	10
3.5.2 Infračervená termografie ve veterinární medicíně obecně	13
3.5.3 Co ovlivňuje termografickou diagnostiku a pravidla pro její použití zejména u koní	17
3.6 Využití termografie ve zdravotní diagnostice a léčbě koní	24
3.6.1 Problémy s končetinami	24
3.6.2 Lokalizace skrytých zdravotních problémů	30
3.7 Využití termografie v chovu a péči o koně.....	31
3.7.1 Vliv dekování na povrchovou teplotu koní	31
3.7.2 Využití v oblasti reprodukce koní.....	32
3.8 Využití termografie v jezdeckém sportu	34
3.8.1 Problematika správně padnoucího sedla.....	34
3.8.2 Srovnání účinků udidla z nerezové oceli a udidla z titanu	37
3.8.3 Adaptace muskuloskeletárního systému koní na dostihový trénink	38
3.8.4 Vliv váhy jezdce na zvýšení povrchové tělesné teploty koně	40
4 Závěr	43
5 Literatura.....	45

1 Úvod

Infračervená termografie je neinvazivní diagnostická metoda, jež se mimo jiné obory dostala také do lidské a později veterinární medicíny. Její princip spočívá v zachycení infračerveného záření emitovaného z povrchu těla a jeho převedení na barevný obraz distribuce tepelného vzoru. Interpretací tohoto obrazu lze následně získat užitečné informace o zdravotním stavu pacienta, lokalizovat místa problému či poranění a další. Z oboru medicíny koní se dále rozšířila na jejich chov a sportovní využití, kde nabízí spoustu dalších možností uplatnění od výzkumu účinků jezdeckých pomůcek, vlivu pracovní zátěže na organismus až po odvětví péče o koně nebo využití v reprodukci.

Velkou výhodou je její neinvazivnost, kdy oproti jiným diagnostickým metodám jako například ultrasonografii nebo radiografii, nepůsobí žádnými negativními vlivy na tělo pacienta a není potřeba žádných invazivních zásahů. Díky této skutečnosti se stává stále více využívanou metodou ve veterinární medicíně. Veterinární, výzkumná či jiná diagnostická práce se zvířaty vyžaduje co možná nejšetrnější postupy a metody, jelikož invazivní postupy způsobují u zvířat stres, úzkostné stavy, negativní dopady na jejich zdraví a mohou vést k neochotě spolupracovat s člověkem (veterinářem). Je tedy vhodné hledat, zkoumat a využívat další neinvazivní diagnostické metody, které by nahradily nebo alespoň omezily použití dražších, složitějších nebo invazivních technologií. Infračervená termografie, jež se stává předmětem mnoha moderních studií, si proto jistě zaslouží pozornost a další výzkum.

2 Cíl práce

Cílem této práce je shrnout a podrobněji se zaměřit na možnosti uplatnění infračervené termografie jako neinvazivní moderní diagnostické metody v chovu koní a jejich sportovním využití. Závěrem by měla práce přinést zhodnocení, jakým optimálním způsobem by měla být tato technologie používána v praxi.

3 Termografie

3.1 Teplo a teplota

Na začátek je důležité definovat pojmy teplo a teplota. Teplo je popsáno jako energie v přenosu, která přechází z teplejšího tělesa na chladnější těleso. Jednotkou tepla je joule – J. Teplé těleso snižuje svoji vnitřní energii a chladné těleso ji zase zvyšuje v důsledku přenosu tepla. Zatímco pojem teplota je mírou vnitřní energie tělesa. Existují různé stupnice pro měření teploty. Nejznámější jsou stupně Celsia, Kelvina a stupně Fahrenheita, přičemž stupeň Celsia používá většina zemí světa.

Termín teplo by měl být chápán jako přenos tepla a ten se nastává pouze v případě, pokud mezi dvěma tělesy existuje teplotní rozdíl. Teplo se pak vždy přenáší z teplejšího tělesa na chladnější těleso. Tento přenos energie nazýváme tepelným tokem. V případě, že teplota dvou těles je totožná, nacházejí se tato tělesa v tepelné rovnováze. Pokud má jedno těleso stálou teplotu, je také považováno za těleso v tepelné rovnováze. Toto může nastat, pokud je například stejná teplota okolního prostředí a daného tělesa, nebo je tělesu konstantně dodáváno teplo, které jej udržuje ve stálé teplotě navzdory okolí, jako je tomu například u vnitřního prostředí lidského těla (Priego-Quesada et al. 2017c).

3.2 Definice a princip termografie

Termografie je neinvazivní diagnostická zobrazovací metoda, jež se používá k detekci infračerveného záření středních až dlouhých vlnových délek emitovaných z povrchu těla (Čebulj-Kadunc et al. 2020) nebo jak uvádí Tesař (2014) obecněji – k měření a analýze teplotního pole povrchu těles.

Princip tohoto měření spočívá v zachycení energie, která je vyzařována povrchem měřeného tělesa, v infračerveném spektru elektromagnetického záření a následně její převedení na elektrický signál (Tesař 2014).

Elektromagnetické záření je děleno do několika skupin – vlnových pásem podle vlnových délek: γ záření, rentgenové záření, UV záření, viditelné záření, infračervené záření, mikrovlny, radiové vlny a dlouhé radiové vlny. V případě termografie je využíváno infračervené vlnové pásmo (Tesař 2014).

Jako infračervené záření nebo tepelné záření je označováno elektromagnetické záření, které je emitováno všemi objekty, jejichž teplota je nad absolutní nulou (Lahiri et al. 2012; Priego-Quesada et al. 2017b). Vlnová délka tohoto záření se pohybuje v rozmezí 0,75 – 1 000 μm (Lahiri et al. 2012), avšak v rámci elektromagnetického spektra je příliš velká na to, abychom ji dokázali detekovat pouhým okem, i když ji obvykle vnímáme jako teplo (Čebulj-Kadunc et al. 2020).

Fyzikální zákony infračerveného záření a jeho vztah k teplotě jsou založeny na teorii černého tělesa. Koncept černého tělesa představil Gustav Kirchhoff v roce 1860. Černé těleso je teoretický objekt, který absorbuje veškeré dopadající elektromagnetické záření a stejné množství vyzařuje. Tedy jeho absorpce se rovná jeho emisi. Dopadající záření se od černého tělesa neodráží, ani jím neprochází. Také má jednotný povrch a jednotnou teplotu. Černé těleso je proto ideálním dokonalým emitorem (vyzařovačem) infračerveného záření.

Jak již bylo zmíněno výše, infračervené záření působící na těleso může být absorbováno, odraženo nebo může procházet tělesem v závislosti na jeho fyzikálních vlastnostech. Tyto čtyři charakteristiky definují chování daného tělesa ve vztahu k infračervenému záření:

- Absorpce: schopnost tělesa absorbovat infračervené záření
- Emisivita: kapacita tělesa vyzařovat své vlastní infračervené záření
- Odrazivost: schopnost tělesa odrážet infračervené záření přicházející z prostředí
- Transmisivita: kapacita tělesa propustit záření skrze něj

Těleso, kterým záření neprochází, označujeme jako neprůhledné těleso.

Emisivita je udávána jako číslo v rozmezí od 0 do 1 a lze jej interpretovat jako poměr skutečného množství emitované infračervené energie ve srovnání s teoreticky možným maximálním množstvím, které by mohlo být emitováno (černé těleso). To znamená, že objekt, jehož hodnota emisivity je například 0,7, emituje pouze 70 % maximálního teoretického množství infračervené energie a zbylých 30 % odcházejícího záření pochází z ostatních zdrojů.

Co se týče sportovních věd, obvykle je nejdůležitějším objektem jejich zájmu právě kůže. Její emisivita byla stanovena v různých hodnotách s rozmezím 0,97 až 0,99. Vědecké studie však běžně stanovují hodnotu emisivity kůže na 0,98.

To znamená, že kůže je dobrým zdrojem infračerveného záření a je možné přesně určit její teplotu (Priego-Quesada et al. 2017c).

Neinvaznost této metody spočívá v tom, že na rozdíl od rentgenu a pozitronové emisní tomografie (PET) apod, nejsou třeba žádné kontrastní látky v těle pacienta. Měří vyzařované teplo, ale nevyzařuje žádné elektromagnetické vlny, které by mohly mít špatné dopady na zdraví.

Tato technologie je však schopna zaznamenávat pouze teplotu na povrchu. Na základě mnoha zkušeností bylo zjištěno, že měření míst, která leží hlouběji (více než 5–6 cm pod povrchem), je omezené a neposkytuje dostatek informací o přesné hloubce zdroje tepla. Proto je použití metody infračervené termografie (dále také jako IRT – z angl. infrared thermography) nejvhodnější pro analýzu struktur nacházejících se blízko povrchu, jako jsou například svaly, klouby, vazy, šlachy, zuby a měkké tkáně (Tálas & Tálas 2017).

3.3 Termokamera a termogram

Elektromagnetické tepelné záření můžeme registrovat pomocí termokamery, která jej vizualizuje ve formě mapy distribuce teploty – termogramu (Čebulj-Kadunc et al. 2020), což je jednodušeji řečeno výsledný obrázek infračervené termokamery (Tálas & Tálas 2017).

Volba kamery je důležitým krokem při používání termografie. Pro termografické zobrazování existují dva typy kamer – chlazené nebo nechlazené. Chlazené kamery běžně pracují i v mrazivých teplotách. Chlazení starších kamer bylo zajišťováno přidavkem kapalného dusíku nebo argonového plynu. Později byly zavedeny jiné chladicí systémy, např. termoelektrické systémy. Chladicí systém je však objemný a nákladný, jelikož se obvykle pojí s energií a časem potřebným na chlazení kamery. Chlazené detektory na druhou stranu poskytují vynikající kvalitu obrazu a větší citlivost pro malé teplotní rozdíly než nechlazené detektory. Novější generaci nechlazených kamer lze použít bez chlazení, ale s použitím mikrobolometru. Ačkoli tyto kamery poskytovaly nižší kvalitu obrazu a jejich citlivost je nižší, jsou levnější, co se týče pořízení a údržby, menší a snazší na použití.

S výběrem kamery souvisí také infračervené rozlišení, které je důležitým technickým aspektem, který je třeba vzít v úvahu.

Přestože infračervené rozlišení není nejdůležitějším faktorem v přesnosti výpočtu teploty, je vždy lepší mít kameru s tím nejlepším rozlišením, jaké si může uživatel dovolit (Priego-Quesada et al. 2017a).

Velikost termografických kamer můžeme přirovnat k velikosti ručního fotoaparátu. Zatímco citlivost klasických kamer pro viditelné světlo se pohybuje mezi 400 až 700 nm, infračervené kamery mohou detekovat vlnové délky o velikosti až 14 000 nm (Tálas & Tálas 2017).

Termogramy jsou generovány konverzí infračervených signálů na pseudobarevné obrazy viditelného světla (Čebulj-Kadunc et al. 2020). Teplotní rozdíly jsou označeny barevným spektrem, např. nižší teplota je signalizována modrou barvou a vyšší teplota červenou barvou (Tálas & Tálas 2017). Čebulj-Kadunc et al. (2020) uvádějí detailněji, že určitým teplotám zkoumaných oblastí odpovídají různé nuance barevné palety, které vytvářejí mapu distribuce teploty - termogramy nejčastěji ukazují nejteplejší oblasti v bílé nebo červené, oblasti se střední teplotou v zelené a žluté a nejchladnější oblasti v modré a černé barvě. Termogramy získané z kamery jsou k dispozici ihned a lze je poté analyzovat na přenosném počítači nebo tabletu (Tálas & Tálas 2017).

3.4 Historie

Již v minulosti se ukázalo, že teplota je velmi dobrým indikátorem zdraví. Teplota se používá pro klinickou diagnózu již od roku 400 př. n. l. V 16. století mělo měření teploty s tehdejšími primitivními teploměry, především ve spojitosti s medicínou, pomalý začátek. Velkým průkopníkem v klinické termometrii byl Dr. Carl Wunderlich, který ukázal skutečný význam využití měření teploty pro diagnózu horečky a také pro sledování průběhu teploty ve vztahu ke zdravotnímu stavu jeho pacientů (Francis & Ring 2012). Okolo 17. století byly vyvinuty lepší teploměry. Dr. Wunderlich v roce 1868 nejprve systematicky studoval teplotu osob trpících horečkou a následně porovnával s teplotou zdravých jedinců, a tak stanovil teplotu jako vědecký indikátor nemoci. Dospěl ke zjištění, že teplotní rozmezí mezi 36,3 a 37,5 ° C lze považovat za normální teplotu a její zvýšení nad tento rozsah by mělo být považováno za známku možného onemocnění (Lahiri et al. 2012).

Příběh infračerveného záření je však jiný a trvalo mnoho let, než bylo dosaženo úrovně jeho využití, která je dnes uznávána. První záznam „odraženého tepla“ udělal Jean Batista Della Porta z Neapole v roce 1593.

Studoval chování světla a zjistil, že člověk může cítit teplo, které muselo přijít odrazem. Důkazem byl jeho pokus se svíčkou, kterou umístil před stříbrnou desku. Po odstranění desky byl pocit tepla z plamene svíčky nižší. (Francis & Ring 2012).

Asi o 200 let později v Anglii začal amatérský astronom William Herschel (Obr. 1) zkoumat tepelné síly jednotlivých barev spektra, aby vylepšil své optické okuláry pro dalekohledy (Francis & Ring 2012). Byl to on, kdo objevil roku 1800 infračervené záření (Priego-Quesada et al. 2017b).

Sledováním slunečních filtrů se Herschel zajímal o to, kolik tepla projde různými barvami. Všiml si totiž, že množství přenášeného tepla závisí na barvě a domníval se, že barvy samy o sobě mohou odfiltrovat různé množství tepla. Proto vymyslel originální experiment, který otestoval jeho hypotézu. Nasměroval sluneční světlo skrz skleněnou podložku, aby vytvořil viditelné spektrum (duha, rozdělení světla v různých barvách). Umístil tři rtuťové teploměry do spektra za účelem měření tepla emitovaného každou barvou. Dále použil tři teploměry se zčernalými cibulkami (pro lepší absorpci tepla) a pro každou barvu spektra umístil jednu baňku do viditelné barvy, zatímco další dvě byly umístěny za spektrum jako kontrolní vzorky. Zjistil, že teplo vzrostlo z fialové na červenou barvu spektra. Poznamenal však také, že vedle červeného spektra, kde nebylo žádné světlo, byla teplota vyšší. Tento Herschelův experiment byl velmi důležitý. Bylo poprvé, kdy někdo prokázal, že existují druhy energie, které jsou pro naše oči neviditelné. Herschel nazval toto záření „Calorific Rays“ (v překladu výhřevné paprsky), což byl název velmi populární po celé devatenácté století, který nakonec dal vzniku moderního termínu „infračervené záření“ (Priego-Quesada et al. 2017b). Poté co zemřel, začal v roce 1840 jeho syn John Herschel (Obr. 2) pokračovat v otcových experimentech. Odpařením směsi uhlíku a alkoholu pomocí zaostřeného slunečního světla vytvořil jednoduchý snímek, který pojmenoval „Termogram“ (Francis & Ring 2012; Priego-Quesada et al. 2017b). Tento původní název je dodnes používán.

Wiliama Hershela, Johna Hershela a jeho nejbližšího přítele a spolupracovníka, kterým byl Charles Babbage, lze tedy považovat za skutečné průkopníky dnešního počítačového termálního zobrazování (Francis & Ring 2012).



Obr. 1 (vlevo) – William Herschel, objevitel infračerveného záření v roce 1800 (Priego-Quesada et al. 2017b).

Obr. 2 (vpravo) – John Herschel, který vytvořil a pojmenoval termogram (Francis & Ring 2012).

V roce 1935 byl publikován další důležitý objev. Americký fyziolog J. D. Hardy zjistil, že povrch lidské pokožky má vlastnosti téměř dokonalého zářiče černého tělesa, který je vysoce efektivní, co se týče radiační výměny tepla (Francis & Ring 2012). Pojmem černé těleso je označován maximální emitör tepla, který má emisivitu 1, protože absorbuje veškeré vyzařované teplo. Hodnota emisního faktoru kůže je přibližně 0,93–0,98 (Stelletta et al. 2012). Fyzici mezitím pracovali na způsobech, jak zvýšit citlivost termometrie, především s pomocí elektrických vodičů a termočlánků (Francis & Ring 2012).

Významným přispěním bylo vyvinutí bolometru, o což se zasloužil americký profesor Samuel Langley (Francis & Ring 2012). Bylo to v roce 1880 a původně se nazýval Langleyův bolometr (Priego-Quesada et al. 2017b). Byl to prostředek dálkového snímání teploty, jež tvořil základ pro celou novou generaci technologie tepelných senzorů (Francis & Ring 2012). Během dalších 20 let probíhal vývoj Langleyho bolometru, kdy byla jeho citlivost zvýšena až 400krát od prvního prototypu. Bolometr je považován za významný vynález, důležitý pro pozdější vývoj infračervených kamer (Priego-Quesada et al. 2017b).

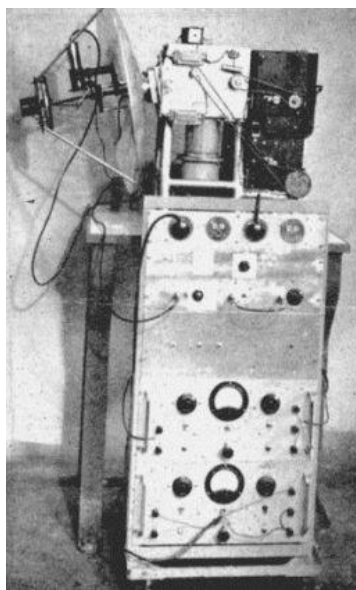
Dalším, kdo položil základy pro tepelné senzory, byl profesor fyziky na Goetheho institutu ve Frankfurtu nad Mohanem Marianus Czerny, který vyvinul v roce 1925 odpařovač. Jedním z jeho studentů byl Bowling Barnes, který odešel do USA a v padesátých letech minulého století vyvinul první termokameru založenou na termistorech (Francis & Ring 2012).

Vývoj termografických kamer v polovině 20. století byl primárně za účelem použití ve vojenství a průmyslu. Krátce poté našla tato technologie své místo i jako nástroj lékařské diagnostiky (Čebulj-Kadunc et al. 2020). Hardy však stanovil diagnostický význam měření tělesné teploty pomocí infračervené techniky již dříve. To připravilo cestu pro její použití v lékařství (Lahiri et al. 2012). Také již v roce 1934 byla lidská kůže popsána jako dobrý emitor infračerveného záření. Poté začala být infračervená termografie považována za potenciální techniku pro měření teploty kůže a možný způsob diagnostického zobrazování v lékařské vědě (Priego-Quesada et al. 2017b). Vzhledem k nedostupnosti kvalitního vybavení a nedostatečným technickým znalostem bylo však první použití termografie v medicíně hlášeno až v roce 1960 (Lahiri et al. 2012).

Ve Velké Británii během druhé světové války sestavil výzkumný fyzik Dr. Max Cade skenovací infračervený termograf pomocí elektronického detektoru antimonidu india.

Ve srovnání s radarovými systémy se však neprokázal jako dostatečně rychlý pro účely navigace (Francis & Ring 2012). Toto zařízení bylo omezeno potřebou neustálého přísunu tekutého dusíku, což bylo v bojišti nepraktické, ale nepředstavovalo významnou nepříjemnost v jiných oblastech, jako je medicína (Priego-Quesada et al. 2017b). V roce 1959 po poválečné deklasifikaci infračerveného zobrazování byl tento prototyp přivezen do nemocnice v Bathu. Přestože obrázky byly jen primitivní, při vyšetření kloubů bylo zřejmé, že zánět v důsledku artritidy vykazoval zvýšené emise tepla. To bylo podnětem k vytvoření velkého, lépe použitelného zařízení, které vytvářelo kvalitnější obraz lidského těla (Obr. 3).

Přesto například záznam termogramu jedné ruky trval 5 minut.



Obr. 3 – Pyroscan, první britský lékařský termograf v roce 1960 (Francis & Ring 2012).

V 70. letech bylo možné použít běžný počítač propojený s infračervenou kamerou analogově-digitálním obvodem. Termální zobrazování ve velkém se tak stalo realitou. Ačkoli prodej termografických kamer s počítači pro zpracování obrazu rostl, proces použití byl často pomalý. Klinické studie v této době byly publikovány zejména v oblasti revmatologie, kde bylo možné objektivně srovnávat léčbu různými dávkami léčiv (Francis & Ring 2012).

3.5 Využití ve veterinární medicíně

3.5.1 Tělesná teplota zvířat

Téměř konstantní tělesná teplota je hlavní charakteristikou teplokrevných zvířat. Aby se předešlo hypertermii (tj. přehřátí) během fyzické zátěže, je třeba z těla odstranit přebytečné teplo produkované svalovými kontrakcemi. Tato energie je emitována z povrchu těla ve formě infračerveného elektromagnetického záření. Hlavními mechanismy přenosu tepla z organismu do okolí jsou vedení, proudění (vzdušné) a vyzařování. Také odpařením potu je z těla odstraněna významná část nadměrného tepla (Turner 1991; Eddy et al. 2001; Soroko et al. 2014).

Výměna tepla mezi povrchem těla a okolním prostředím infračerveným zářením je pro tepelnou rovnováhu zvířete nezbytná (Cena 1974), ale může k ní dojít pouze tehdy, pokud mezi tělesným povrchem zvířete a okolním prostředím existuje teplotní rozdíl (Priego-Quesada et al. 2017c).

Naopak při nižší okolní teplotě se koně také dokážou tomuto prostředí dobře přizpůsobit díky různým dalším mechanismům. Existují některé krátkodobé mechanismy jako je svalový třes, piloerекce a vazokonstrikce ale při trvalém vystavení nízkým teplotám dojde následně ke zvýšení hustoty srsti koně. Na to má však vliv také několik dalších faktorů, jako jsou například fotoperioda nebo plemeno daného koně (Hammer & Gunkelman 2020).

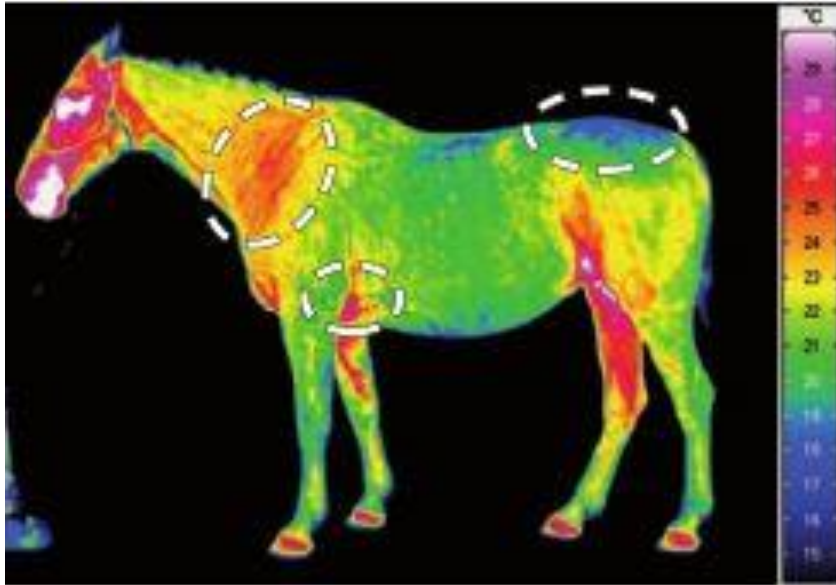
Teplota přímo souvisí s dynamickými procesy v živých organismech, jako jsou průtok krve a kontrakce krevních cév (Tálas & Tálas 2017). Oblasti překrývající žíly mají obvykle vyšší povrchovou teplotu než oblasti v blízkosti tepen z důvodu umístění žil blíže k povrchu (příkladem mohou být krční žíly). Dále kůže v blízkosti hlavních cév (například cefalických) bude většinou teplejší oproti kůži v oblastech méně zásobených krví – oblast metakarpu/metatarzu (Soroko & Morel 2016). Distribuce teploty kůže v určitých oblastech těla je také odvozena od svalové aktivity nebo vzorců potu (Formenti et al 2017).

Kosterní svaly mají významný vliv na povrchovou teplotu. Části těla, kde se nachází silná kosterní svalovina, jako horní část předních a zadních končetin, okolí krku, jsou bohatě zásobeny krví. Jejich teplota je vyšší ve srovnání z méně osvalenými částmi – okolí předloktí, nebo oblastmi bez svalů – distální část přední končetiny, oblast od karpálního kloubu po kopyto (Soroko & Morel 2016). I typ tréninku, úroveň adaptace na fyzickou zátěž a individuální vlastnosti koně, co se týče výkonu, jsou aspekty ovlivňující distribuci teploty (Soroko et al. 2017).

Dle teploty kůže můžeme odhadnout integritu tkání, protože odráží jejich metabolismus a základní krevní oběh (Stelletta et al. 2012). Podkožní tkáně jsou často typické velkým množstvím uloženého tuku, čímž absorbují teplo od hlouběji umístěných tepen a vnitřních orgánů. To je důvodem, proč na distribuci povrchové teploty má vliv také uspořádání a množství podkožních tkání (Soroko & Morel 2016).

Tepelné změny na kůži však mohou být ovlivněny i vnějšími tepelnými stresory. Teplota kůže je proto výsledkem komplexní interakce mezi teplotou okolního prostředí, procesy tepelných ztrát, prokrvením kůže a biofyzikálními charakteristikami (Formenti et al. 2017).

Dalším faktorem, který má vliv na povrchovou teplotu a infračervené záření, je tvar těla koně (Obr. 4). Některé tělesné oblasti koně jsou téměř ploché, jiné konvexní nebo konkávní. Konvexní části jako například zád' jsou vystaveny většímu vlivu okolních faktorů a jejich povrchová teplota je proto nižší. Naopak konkávní části jako například základna krku nebo více chráněná místa jako je oblast za loterním kloubem, jsou pod menším vlivem těchto faktorů. Proto je u nich za normálních podmínek detekována vyšší povrchová teplota (Soroko & Morel 2016). Nerovný tvar těla koně má tedy za následek nejednotnou emisi infračerveného záření (Cena and Clark 1973).



Obr. 4 – Termogram levé strany koně z boku – konkávní části těla (například základna krku, chráněná oblast loketního kloubu) jsou teplejší, protože jsou méně vystavené vlivům okolního prostředí oproti konvexním částem těla – oblast zádě (Soroko & Morel 2016).

Srst je rovněž rozhodujícím aspektem, který má vliv na povrchovou teplotu. Na zimu koňská srst přirozeně naroste delší a silnější. Toto husté osrstění silně absorbuje infračervené záření, jež je emitováno z povrchu kůže (Cena & Monteith 1975). Vzduch zachycený v srsti slouží jako účinná izolace proti nežádoucím ztrátám tepla. To je důvodem, proč vlastnosti jako tloušťka, délka, hustota a rozvržení významně ovlivňují distribuci povrchové teploty těla (Cena & Clark 1973; Clark & Cena 1977). Části těla s tenčí, kratší nebo méně hustou srstí (například okolí hlavy nebo boku) vykazují vyšší povrchovou teplotu oproti částem se silnější, delší nebo hustší srstí – například okolí zádě a nadprstí. V případě sportovních koní, jejichž srst je na podzimní a zimní sezonu stříhána, je povrchová teplota ovlivněna také stříhem. Místa s ostříhanou srstí mají vyšší teplotu, než neostříhaná místa, což ovlivňuje jejich termoregulaci (Turner et al. 1983).

Teplota kůže je obvykle o 5 °C chladnější než teplota jádra těla (Tálas & Tálas 2017). Avšak teplota různých oblastí těla zdravého koně (i v prostředí s velkými výkyvy okolní teploty) je regulována jen v úzkém rozsahu normálních zdravých hodnot (Hammer & Gunkelman 2020) – asymetrie 1 °C nebo více je významná a naznačuje možný patologický stav. Zvýšení lokální cirkulace a rychlosti metabolismu, které vytváří teplo, může být pak známkou zánětu (Tálas & Tálas 2017). Stejně tak Stelletta et al. (2012) uvádějí, že teplo je v případě zánětu primárním znakem a různé chorobné procesy mají na mikrocirkulaci kůže vliv.

Na druhé straně chladné oblasti mohou být výsledkem sníženého průtoku krve tkáněmi. Tyto teplotní nejasnosti lze pak zobrazit pomocí infračervených snímků (Tálas & Tálas 2017). Co se týče absolutní distribuce povrchové teploty na těle koně, jedná se o velmi individuální vlastnost, která je ovlivněna mnoha faktory okolního prostředí. U jednotlivých koní se může povrchová teplota těla pohybovat v rozmezí 19–32 ° C. Nejvyšší teploty (27–32 ° C) vykazují oblasti jako například hlava, krk, ramenní a pažní oblast, předloktí a nejnižší teploty (24–26 ° C) se vyskytují na distální části končetin (Soroko & Morel 2016). Autoři Jodkowska & Dudek (2000) však uváděli mírně odlišná teplotní rozmezí, přičemž rozmezí nejvyšších teplot (25–28 ° C) v oblasti hlavy, střední části krku, hrudníku a boků a nejnižších teplot (19–23 ° C) na distální části končetin. Tyto rozdíly v teplotním rozsahu mezi studiemi zdůrazňují účinek a důležitost různých teplot okolního prostředí (Soroko & Morel 2016).

3.5.2 Infračervená termografie ve veterinární medicíně obecně

Termografické zobrazování vyvinuté pro použití v humánní medicíně bylo brzy přijato také ve veterinární medicíně (Čebulj-Kadunc et al. 2020) a má v této oblasti podobnou užitečnost jako v medicíně humánní (Priego-Quesada et al. 2017b).

Veterinární infračervená termografie je označováno digitální zobrazování živého zvířete pomocí infračervené kamery s počítačovou interpretací termálních map (Stelletta et al. 2012). Termografie se využívá pro potřeby veterinární medicíny od 70. let jako diagnostický nástroj doplňující vyšetření pomocí rentgenu nebo ultrasonografu (Eddy et al. 2001; Soroko & Morel 2016).

Tato technologie byla veterinární vědě úspěšně přizpůsobena a v posledním desetiletí vzrostlo množství případových studií využívajících infračervenou termografii k detekci a sledování různých onemocnění u zvířat. Patří mezi ně například ptáci, psi, dobytek, prasata, králíci a ovce (Tálas & Tálas 2017). Také byly provedeny pokusy na různých druzích zvířat (koně, prasata, krávy) za účelem posouzení platnosti této metody (Stelletta et al. 2012).

Kvůli některým vlastnostem se metoda IRT stala ve veterinární vědě velmi důležitou. Obtížnost detekce bolesti a stavu pacienta bez invazivních technik je ve veterinární medicíně vyšší než v humánní. Navíc použití invazivních metod vyvolává u zvířete psychické napětí či úzkost, které mohou ovlivnit výsledky (Priego-Quesada et al. 2017b).

Infračervená termografie se stala efektivním diagnostickým nástrojem v chovu koní – lze ji využít k prevenci, detekci a monitorování v koňské medicíně (Tálas & Tálas 2017). Termografické zobrazování je možné použít ke stanovení fyziologických a patologických změn, které následně u koně vyvolávají změny povrchové teploty. Tyto změny odrážejí vzorce průtoku krve a rychlost metabolismu koně v důsledku změn v produkci tepla, jako je fyzická zátěž, zranění, nemoc nebo vliv okolního prostředí. Proto se pro monitorování fyziologických a patologických změn u zvířat využívá infračerveného záření (Čebulj-Kadunc et al. 2020).

Díky nedávným technologickým pokrokům v designu a zpracování obrazu termografického zařízení se stala tato technologie pro veterináře koní praktičtější (Eddy et al. 2001). Od roku 2010 se termografie používá k diagnostice, prognóze a hodnocení zranění končetin a dalších zdravotních problémů jako kopytních abscesů, laminitidy, zánětů šlach, zánětu spěnkových, karpálních a tarzálních kloubů.

Význam této metody jakožto diagnostického nástroje abnormalit a brzkých známek patologií koňského pohybového aparátu byl prokázán několika studiemi. Osvědčila se také ve sledování účinnosti protizánětlivých léků, procesu zotavování z neurologických onemocnění a diagnostice onemocnění zad a končetin (Soroko & Morel 2016). Dále mohou být brzy v subklinické fázi detekovány testikulární faktory, které představují potenciální riziko pro plodnost hřebců. Bylo také zjištěno, že dle teploty se dá usuzovat březost, kdy bok pozdně březích klisen vykazuje vyšší teplotu, než klisen jalových (Tálas & Tálas 2017). Nebo že termografické vyšetření kopyta může odhalit nerovnoměrné zatížení končetin – zvýšená teplota po klusání na tvrdém povrchu může naznačit, která strana kopyta podléhá největší zátěži (Soroko & Howell 2018).

Pokud je patologický stav pomocí měření teploty potvrzen, pacient může být nasměrován na jinou (složitější a často nákladnější) diagnostiku (např. rentgen, ultrazvuk, CT a další), která disponuje větší spolehlivostí (Tálas & Tálas 2017). Případně může být aplikována masáž nebo jiné ošetření (Turner 1996). Výsledné termogramy značící zdravotní problém mohou také majitele přesvědčit k zahájení dalšího vyšetření nebo léčby (Tálas & Tálas 2017). Opožděná diagnóza totiž může vést k finančním ztrátám, čemuž lze díky včasné detekci a léčbě patologie pomocí IRT předcházet (Soroko & Howell 2018).

Při hodnocení různých zdravotních komplikací lze termografii využít nejen, co se týče samotné diagnostiky problému, ale také k následnému monitorování progresu hojení (Čebulj-Kadunc et al. 2020). Tálas & Tálas (2017) podrobněji uvádějí, že pokud dojde k detekci a léčbě nalezených patologií, pokračující IRT analýza může pomoci dohlížet na zotavovací proces a také na účinnost nasazené léčby.

Mimo diagnostiku klinických onemocnění je termografie vhodná také pro hodnocení účinků různých lokálních ošetření jako je chlazení, použití biomagnetů a ultrazvuku na teplotu kůže (Turner et al. 2001).

Dále byla IRT hodnocena jako potenciální zobrazovací zařízení, které dokáže odhalit užití nelegálních metod na soutěžích jako je například aplikace dráždivých látek, ošetření poškozeného místa na těle koně látkami se silným analgetickým účinkem nebo provedení neurektomie (Eddy et al. 2001). Co však významně omezuje tento způsob použití, je nedostatečná specifická. Zvýšená teplota nemusí být způsobena konkrétními medikamenty. Například nezjištěné subklinické poranění dokáže vytvářet zánětlivé vzorce, jež se podobají těm, které způsobují nelegální metody. V této době probíhá schvalování termografie Mezinárodní jezdeckou federací (oficiální zkratka FEI – z franc. Fédération Equestre Internationale) jako metody pro detekci hypersenzitizace. Avšak pravděpodobně díky nespécifickým pokynům pro její aplikaci je využití metody IRT k tomuto účelu omezeno (Soroko & Howell 2018).

Jednou z hlavních výhod IRT je to, že k jejímu provedení není potřebný fyzický kontakt se zvířetem a je možné touto metodou pracovat i z několika metrové vzdálenosti. Díky tomu je práce na termografických snímcích bezpečnější pro veterináře a méně stresující pro zvířecího pacienta.

Tato metoda je tedy vhodná i pro monitorování zvířat, ke kterým je obtížný přístup nebo pro práci v nepříliš ideálních podmínkách. Tímto způsobem lze úspěšně shromažďovat informace jako je zjišťování tělesné teploty kytovců a ploutvonožců pořizováním termografických snímků jejich nozder a očí. Také není třeba při vyšetření používat znecitlivující látky nebo látky tlumící bolest.

Související zařízení pro IRT je kompaktní a snadno přepravitelné - analýza tak může být provedena přímo v místě, kde zvíře žije.

Tento fakt výrazně snižuje náklady na přepravu zvířete, stres a různá související rizika. Zpracování a diagnostika termografického obrazu mohou být provedeny veterinářem ihned na místě a není nutná asistence dalších odborníků např. techniků (Tálas & Tálas 2017).

IRT může být také užitečným způsobem, jak zkoumat welfare zvířat – tedy jejich dobré životní podmínky (Tálas & Tálas 2017; Priego-Quesada et al. 2017b).

Stres je často indikován zvýšením tělesné teploty. Měření teploty očí může tak pomoci v určování bolesti zvířat během traumatických veterinárních zákroků, jako je například kastrace prasat. Tato skutečnost také získala důležité místo v medicíně koní.

Tuto metodu lze používat opakovaně, jelikož s ní nesouvisí zdravotní rizika, disponuje nízkými náklady a vysokou mobilitou. Z tohoto důvodu je IRT zvláště vhodná pro nepřetržitou kontrolu zdravotního stavu cenných zvířat a následné analýzy u zvířat, která jsou léčena (Tálas & Tálas 2017).

Důležité je ale také znát určitá omezení při praktickém použití této technologie. Termografie nám dokáže úspěšně poskytnout fyziologické informace a lokalizaci zdravotního problému v brzké fázi, tedy ještě dříve, než se patologie projeví ve formě klinických příznaků nebo změn na rentgenu. Vyznačuje se také vysokou citlivostí.

Na druhou stranu postrádá specifickou a je méně efektivní metodou co se týče odhalení samotné příčiny vzniku patologických změn a abnormální teploty (Čebulj-Kadunc et al. 2020; Tálas & Tálas 2017). Z toho důvodu je nejvhodnější použití IRT jako prediagnostického nástroje (Tálas & Tálas 2017). Navíc v humánní medicíně se termografie obvykle provádí za kontrolovaných podmínek, zatímco tyto podmínky či faktory ve veterinární medicíně nelze vždy zcela dodržet.

Do těchto podmínek/faktorů patří například pohyby pacienta i termokamery, okolní zdroje sálavé energie, okolní teplota, nepřesnosti způsobené nečistotami ve vyšetřované oblasti a typ termografické kamery (Çetinkaya & Demitruku 2012).

3.5.3 Co ovlivňuje termografickou diagnostiku a pravidla pro její použití zejména u koní

Při práci s infračervenou termografií je důležité zohlednit mnoho faktorů, které by mohly ovlivnit následné hodnocení nebo interpretaci termosnímků (Fernández-Cuevas et al. 2017) a měla by být také vždy prováděna pod veterinárním vedením (Soroko & Howell 2018).

Povrchovou tělesnou teplotu významným způsobem ovlivňují jak vnitřní tak i vnější faktory. Použití termografie k vyhodnocení tepelných vzorců povrchu těla správným způsobem proto vyžaduje kontrolované prostředí a zohlednění fyziologického stavu koně, aby se snížila variabilita a odstranily chyby v interpretaci (Head & Dyson 2001).

Fernández-Cuevas et al. (2017) uvádějí rozdělení faktorů, které ovlivňují IRT vyšetření:

- Faktory prostředí - souvisí s místem, kde se provádí hodnocení, například vlhkost, teplota okolí, atmosférický tlak, zdroje záření
- Technické faktory - souvisí se zařízením použitým během hodnocení infračervenou termografií - funkce a platnost kamery
- Faktory jednotlivce - ty, které souvisejí s hodnoceným subjektem a jeho osobními charakteristikami, které mohou ovlivnit teplotu kůže, lze je dále rozdělit na vnitřní (věk, pohlaví, zdravotní historie, průtok krve kůží) a vnější faktory (léčba, fyzická aktivita)

Ve veterinární medicíně koní byly zavedeny standardy pro termografické měření (Soroko et al. 2017). Spolehlivost termografických snímků závisí na povětrnostních podmínkách (Tálas & Tálas 2017). Proto by mělo být termografické vyšetření uskutečněno v místě chráněném před průvanem, slunečním zářením a také extrémních výkyvů okolní teploty (Soroko et al. 2017; Soroko & Howell 2018).

Pokud je to možné, vyšetření by mělo být prováděno uvnitř. Termografické zobrazování ve venkovních prostorech není obvykle doporučováno, protože vliv vnějšího prostředí způsobí nespolehlivost získaných termosnímků (Soroko & Howell 2018). V případě, že je však vyšetření prováděno venku, je důležité se alespoň vyhnout přímému slunečnímu záření, které může zkreslit distribuci tepla na těle zvířete (Tálas & Tálas 2017).

Ideálním místem je vnitřní místnost se stálou teplotou (Lahiri et al. 2012). Zde by měla být teplota rovnoměrně rozšířena, tedy neměly by se zde vyskytovat žádné zdroje sálavého tepla (Tálas & Tálas 2017). Také je nežádoucí osvětlení, které vyzařuje infračervené záření jako zářivkové nebo wolframové osvětlení (Al-Nakhli et al. 2012).

Stejně tak Lahiri et al. (2012) uvádějí, že ve vyšetřovací místnosti nesmí být žádné sekundární infračervené zdroje, jako je žárovka nebo přímé sluneční světlo. Optimální je osvětlení například LED světly, které nepůsobí rušivě (Al-Nakhli et al. 2012). Je také vhodné, aby subjekty nebyly bezprostředně před termografickým vyšetřením vystaveny přímému slunečnímu záření (Lahiri et al. 2012).

Teplotní údaje jsou dále vysoce citlivé na průvan. Dokonce i tak nízká rychlost větru jako je 1,8 km/h má na termogramy vliv a ty tak mohou být zkreslené (Tálas & Tálas 2017).

Okolní teplota vyšetřovací místnosti či jiného prostoru, kde probíhá vyšetření, by měla být udržována ideálně v rozmezí 21 až 26 ° C (Soroko & Howell 2018; Soroko et al. 2017).

Na rozmezí okolní teploty se však autoři přesně neshodují.

Tálas & Tálas (2017) uvádějí širší rozmezí – ideální okolní teplota při termografickém vyšetření by dle nich měla být okolo 20 ° C, s horní hranicí nejvýše 30 ° C a také zjistili, že spolehlivost termografie klesá při okolní teplotě méně než 10 ° C, což omezuje její použití v zimě.

Dodržení rozmezí ideální teploty při vyšetření je však zvláště důležité pro zjišťování povrchové teploty distálních částí končetin. Teplota v těchto částech je obzvláště nestabilní v případě nízkých okolních teplot v důsledku vazomotorické aktivity (Soroko et al. 2017). Okolní teplota má na povrchovou teplotu distálních částí končetiny významný vliv. Pokud dosahuje okolní teplota nízkých hodnot, dochází ke snížení průtoku krve v distálních částech končetin – vasokonstrikci. Naopak při okolních teplotách vyšších hodnot, nad doporučeným rozsahem, dochází k vasodilataci – rozšíření cév, což způsobuje celkové zvýšení teploty končetin a podporuje tepelné ztráty do okolního prostředí (Palmer 1983).

Výzkum Mogga & Pollitta (1992) ukázal, že pro zkoumání účinků vazokonstrikčních látek je ideální udržovat okolní teplotu vyšší než 20 ° C a naopak pro výzkum vazodilatačních látek by měla být teplota okolí udržována nejlépe pod 18 ° C (Soroko & Howell 2018).

Dalším problémem vysokých teplot okolí při vyšetření je ztráta kontrastu mezi tělem koně a pozadím a případná lokální patologie tak může být hůře pozorovatelná (Soroko & Howell 2018).

Teplota a vlhkost ve vyšetřovací místnosti by měla být zajištěna takovým způsobem, aby fyziologie vyšetřovaných subjektů nebyla vystavena takové zátěži, která by způsobila stav chvění či pocení. Aby bylo dosaženo termální rovnováhy, je třeba subjekty podrobit tepelné aklimatizaci po požadovanou dobu (Lahiri et al. 2012).

Doporučuje se, aby byl kůň před termografickým vyšetřením aklimatizován ve vyšetřovací místnosti po dobu 15–20 minut (Soroko et al. 2017). V případě, že je vyšetřované zvíře převzato z extrémně chladného prostředí nebo prostředí s vysokou teplotou, může být potřebná doba pro aklimatizaci delší a to až 60 minut (Soroko et al. 2017; Palmer 1983).

Tunley & Henson (2004) uvádějí, že termografický vzorec se během aklimatizace významně nemění, ale doba potřebná ke stabilizaci absolutní teploty povrchu těla je v rozmezí 39 až 60 minut. Hlavním faktorem, jež ovlivňuje tuto dobu stabilizace, je teplotní rozdíl mezi původním prostředím a prostředím, ve kterém má být provedeno pořizování snímků (Soroko & Howell 2018).

Součástí zobrazování by mělo být také zaznamenání okolní teploty a vlhkosti uvnitř i vně vyšetřovací místnosti. Bylo zjištěno, že atmosférický tlak a vlhkost nemají významný vliv na teplotu distálních končetin (Kameya & Yamaoka 1968), ale vysoké vlhkosti je třeba se vyvarovat (Soroko & Howell 2018).

Biologické materiály, jako je kůže a srst, mají obecně vysokou hodnotu emisivity. Díky tomu jsou tyto povrchy účinnými infračervenými emitery. Hodnota emisivity se obvykle předpokládá jako 1,0, což má malý vliv na přesnost měření teploty – přibližně několik desetin stupně Celsia (Soroko et al. 2017).

Před zobrazováním musí mít kůň čistou a suchou srst i kůži, stejně tak končetiny včetně kopyt by měly být správně vyčištěné, aby se odstranila vnější kontaminace. Takto je vhodné koně připravit alespoň 1 hodinu před vyšetřením (Soroko et al. 2017; Soroko & Howell 2018).

Pro získání spolehlivých snímků není třeba srst koně stříhat, ale je nutné, aby srst byla krátká, rovnoměrné délky a přiléhala na kůži, čímž je umožněno vedení tepla. Příkrývky by měly být sundány nejméně 30 minut před termografickým vyšetřením a případné obvazy by měly být odstraněny minimálně 2 hodiny před zobrazováním (Soroko & Howell 2018).

Termografické vyšetření je nejvhodnější provést, když je kůň v klidu, ne po fyzické námaze (Soroko et al. 2017). Přesto citlivost pro detekci některých specifických patologií (např. podotrochlózy) může být zvýšena vystavením koně zátěži (Maniar et al. 2015; Bertmaring et al. 2008).

Pokud je to možné, je třeba se vyvarovat použití protizánětlivých léků, vazoaktivních léků, sedace, trankvilizace a dalších, kvůli jejich účinku na průtok krve a následně na povrchovou teplotu (Fernández-Cuevas et al. 2015; Westermann et al. 2013).

Dále by mělo být vyšetření provedeno před podáním/aplikací všech aktuálních léků, kůň by neměl podstoupit žádnou fyzickou terapii do 24 hodin před zobrazováním nebo akupunkturu ve vyšetřované oblasti během předchozího týdne. Pokud to není konkrétní oblast zájmu, je vhodné vyhnout se zobrazování kožních lézí, jako jsou jizvy, puchýře, nebo chirurgicky změněných oblastí (Soroko & Howell 2018).

Vzdálenost mezi termografickou kamerou a zobrazovaným místem může mít významný vliv na přesnost měření. Vzdušná vzdálenost jeden metr mezi kamerou a cílovým místem je často navrhována jako optimální, pokud se jedná o vyšetření malé oblasti. U snímků pořízených z jiných vzdáleností může dojít ke ztrátě pixilace a může být snížena přesnost (Ijichi et al. 2020). V současných studiích, které využívají teplotu oka jako měřítko stresu, se zobrazování provádělo zpravidla ze vzdálenosti 1 m (Valera et al. 2012; Bartolomé et al. 2013; Yarnell et al. 2013).

Pro správné porovnání pravé a levé strany je důležité provádět zobrazování ze stejné vzdálenosti od kontralaterálních částí těla. Nejednotná zobrazovací vzdálenost může mít vliv na měření teploty z důvodu odchylky objektivu a rozdílů v počtu pixelů, jež obklopují vyšetřovanou oblast. Aby byla zajištěna stejná vzdálenost mezi koněm a kamerou pro obě strany, je vhodné označit na podlaze pozici kamery a pozici koně. Stejně tak zorný úhel má na zaznamenanou teplotu vliv. Zobrazované části těla by měly být pokud možno přibližně kolmé k ohniskové rovině termální kamery (Soroko & Howell 2018).

Westermann et al. (2013) uvedli, že termograficky zjištěné povrchové teploty na předních končetinách nebyly ovlivněny změnami úhlu kamery až do 20°.

Této problematice se věnovali také Ijichi et al. (2020) ve své studii. Jejich cílem bylo zjistit, zda pozice termografické kamery ovlivňuje zaznamenanou teplotu a dále která poloha kamery je ideální pro detekci stresu u savců s anterolaterálníma očima.

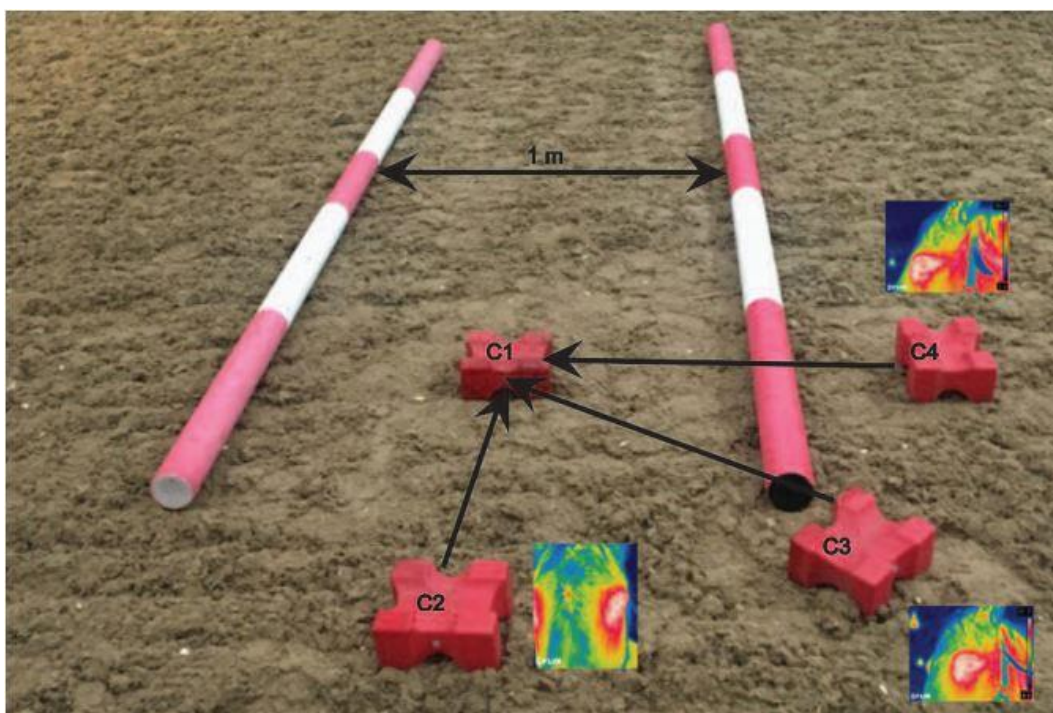
Termografické snímky očí koní byly pořízeny ze tří různých pozic kamery – z úhlu 90 ° k nosní rovině, k rovině oka a sagitální rovině.

Měření proběhla před a po vystavení koně neznámému objektu. Zaznamenaná teplota v každé pozici měření byla následně porovnávána s variabilitou srdeční frekvence.

Byly zjištěny významné rozdíly mezi zaznamenanými teplotami ze všech tří pozic kamery a to před i po zkoušce s neznámým objektem. Z toho vyplývá, že poloha termografické kamery ovlivňuje výsledky teploty očí.

Co se týče porovnání teploty očí a variability srdeční frekvence, byla zjištěna významná silná pozitivní korelace mezi teplotou oka snímanou z úhlu 90° k sagitální rovině a variabilitou srdeční frekvence. Naopak žádná taková korelace nebyla zjištěna mezi pozicí 90° k nosní rovině nebo k rovině oka. Toto zjištění naznačuje, že úhel 90° ve vztahu k sagitální rovině je ideální pozicí kamery pro zobrazování teploty očí s využitím infračervené termografie. Přitom se pro tato měření běžně používá poloha 90° k rovině oka (Ijichi et al. 2020), kterou také doporučují výše Soroko & Howell (2018).

Autoři Ijichi et al. (2020) v této studii také zvolili vhodnou metodiku, jak doporučují výše Soroko & Howell (2018) – označení místa pro kameru apod. pomocí značek na zemi. Pro označení pozice koně při zobrazování byla na zemi položena rovnoběžně vedle sebe dvě břevna a vzdálenost mezi nimi byla 1 m (viz Obr. 5). Mezi břevna do přední části byl umístěn podstavec pro kavalety (na Obr. 5 jako C1), který značil místo, kde se bude nacházet hlava koně. Vně břevna byly umístěny tři další podstavce, každý ve vzdálenosti 1 m od prvního podstavce C1 a to každý v pozici z jiného úhlu vůči němu – označení tří různých zkoumaných pozic kamery. První v úhlu 0° k C1 (na Obr. 5 jako C2), druhý v úhlu 45° (na Obr. 5 jako C3) a třetí v úhlu 90° (na Obr. 5 jako C4).



Obr. 5 – Břevna na zemi ve vzdálenosti 1 m vytyčují prostor, kde stojí kůň. Podstavec C1 značí místo, nad kterým se nachází hlava koně. Podstavce C2, C3 a C4 označují tři pozice, kde se nachází kamera a snímá ze tří různých úhlů. Všechny tři podstavce jsou od C1 vzdálené 1 m (Ijichi et al. 2020).

Vyšetření koně pro veterinární diagnostiku s využitím termografického zobrazování by mělo začít laterálním zobrazením celého těla koně z pravé i levé strany. Avšak za předpokladu, že rozlišení termokamery je dostatečně vysoké na to, aby výsledné termogramy mohly poskytnout odpovídající podrobnosti (Soroko & Howell 2018). Při tomto typu snímání by vzdálenost mezi koněm a termokamerou měla být přibližně 7 m (Soroko et al. 2017). Získaný obraz celého těla koně je nápomocný při nastavování teplotní stupnice pro další snímky a určuje obecné rozložení teploty na těle. Snímek celého těla však nemusí být vhodný k detekci malých teplotních rozdílů, které jsou spojeny s určitými patologiemi (Soroko & Howell 2018).

Při termografickém vyšetření by měly být přední i zadní končetiny koně zatíženy stejně a z obou stran by měly být viditelné distální části končetin z bočního i středního hlediska (Eddy et al. 2001).

Do vyšetření je vhodné zahrnout snímky distálních částí předních a zadních končetin nebo také snímky z hřbetního hlediska. Pro zobrazování takovýchto oblastí by vzdálenost mezi kamerou a koněm měla být 1,5–2 m (Van Hoogmoed & Snyder 2002).

Při zobrazování dvou kontralaterálních končetin společně na jednom snímku by měly být v postavení vedle sebe – tedy kůň by měl stát rovně a s minimálním natočením končetin do boku nebo do středu (Soroko & Howell 2018).

V případě podezření na výskyt muskuloskeletální patologie, by měly být součástí vyšetření také snímky boční horní části hrudní a pánevní oblasti, dále krku, hlavy a trupu z boční pravé i levé strany (Turner 1996). Pro snímání těchto oblastí těla by měla být vzdálenost mezi kamerou a koněm přibližně 3 metry. Hrudně-bederní a křížové části páteře by měly být snímány z dorzálního hlediska, přičemž kamera by měla být umístěna ve výšce přibližně 2 m a ve vzdálenosti 1,5 m (Soroko & Howell 2018).

Pokud je třeba, lze pořídit detailní snímky oblastí zájmu z různých hledisek nebo provést analýzu symetrie povrchové teploty těla napříč kontralaterálními oblastmi těla (Soroko et al. 2017). Opakovaným snímáním podezřelých oblastí je možné získat spolehlivější výsledky (Turner 1991).

Důležité je pořizovat termografické snímky se správným zaostřením kamery. Oprava v softwaru totiž není poté možná. Rozsah teplot a také barevnou paletu lze často upravit pomocí počítačového softwaru dodávaného spolu s termokamerou, jenž je určený pro zpracování termografických snímků (Soroko & Howell 2018).

V některých softwarových balíčcích totiž může uživatel, pokud je to třeba, vytvořit vlastní barevnou škálu pro konkrétní aplikaci (Ring & Ammer 2012).

Běžná paleta barev „duha“ umožňuje optimální interpretaci termografických snímků. Jsou dostupné ale i jiné typy palet (Soroko & Howell 2018). Obecně v medicíně, kde je rozsah zobrazovaných teplot omezenější (obvykle 10 ° C) oproti jiným odvětvím, je paleta „duha“ preferovaná.

Na této paletě klasicky červená značí vysokou teplotu a modrá až černá barva nízkou teplotu. Barevná teplotní paleta použitá při zobrazování, by měla být k dispozici vedle konečného snímku. Bez ní je snímek špatně interpretovatelný, protože znát rozsah a úroveň teplot je nutné pro získání úplných informací, které termogram poskytuje (Ring & Ammer 2012). Nastavení teplotního rozsahu kamery by mělo být provedeno takovým způsobem, aby byl zahrnut celý rozsah teplot vyskytujících se na těle koně. Není příliš vhodné používat automatické nastavení teplotního rozsahu, který používá kamera pro každý snímek, protože zde není možná kontrola teplotní stupnice uživatelem.

Poznámky patřící k termografickému vyšetření by měly zahrnovat základní údaje o koni jako je věk, pohlaví, plemeno, dále jaké je jeho pracovní využití či intenzita tréninku, informace o jeho sedle. Také je požadována anamnéza koně a výsledky z dalších vyšetření – například rentgenografie, ultrasonografie nebo vyšetření palpací.

Než se člověk stane skutečným odborníkem na termografické zobrazování, předchází tomu důkladný trénink. Termosnímky lze totiž snadno pokazit změnou podmínek okolního prostředí nebo špatnou přípravou koně. Také k samotnému rozlišení mezi normální a patologicky změněnou teplotou jsou potřeba značné zkušenosti.

Většina veterinárních lékařů však nemá přístup k žádnému schválenému termografickému školení, díky kterému by mohli získat potřebné instrukce. To je omezující faktor v problematice širšího přijetí metody infračervené termografie. Přesto s veterináři stále častěji spolupracují zavedení profesionálové na termografické vyšetření koní, aby bylo zajištěno, že zobrazování bude provedeno dostatečně kvalitně a bude kombinováno se správnou diagnostikou a léčbou.

Zásadním omezením, kvůli kterému nemá využití termografie větší důvěru, je nepochybně nedostatek výzkumu mnoha důležitých koňských patologií s vycházejícími důkazy.

Velké množství literatury je příliš staré a nemůže těžit z dnešní nejnovější generace termokamer, které disponují vysokou výkonností. Nebo obsahuje příliš malé soubory dat a jen v malé nebo žádné míře je zde uvedeno porovnání s jinými diagnostickými metodami nebo klinickými výsledky. Bez těchto informací není možné stanovit citlivost a specifitu termografie pro detekci daných patologií. Nyní je třeba provést lepší výzkum, aby byla zajištěna spolehlivost metody ve všech formách jejího použití u koní.

Nezbytné je také důsledně se držet standardizovaných zobrazovacích protokolů a používat pro vyšetření kvalitní zařízení. To by mohlo podpořit celkové přijetí použití metody termografie pro koně v praxi, a mohla by vzrůst i důvěra jejích uživatelů. S rostoucími znalostmi a zlepšujícími se standardy v tomto oboru, by se také mohlo uvažovat o regulaci poskytovatelů těchto služeb. Tím by se zajistilo, že všechna použití metody termografie by probíhala jen dle nejnovějších vědeckých poznatků (Soroko & Howell 2018).

3.6 Využití termografie ve zdravotní diagnostice a léčbě koní

3.6.1 Problémy s končetinami

Velká fyzická zátěž, které jsou koně často vystaveni, se pojí s vysokým rizikem vzniku problémů s pohybovým aparátem. K diagnostice těchto klinických syndromů spjatých s výskytem kulhání může být použita právě infračervená termografie velmi účinně a také k následnému nepřetržitému monitorování průběhu hojení (Tálas & Tálas 20107).

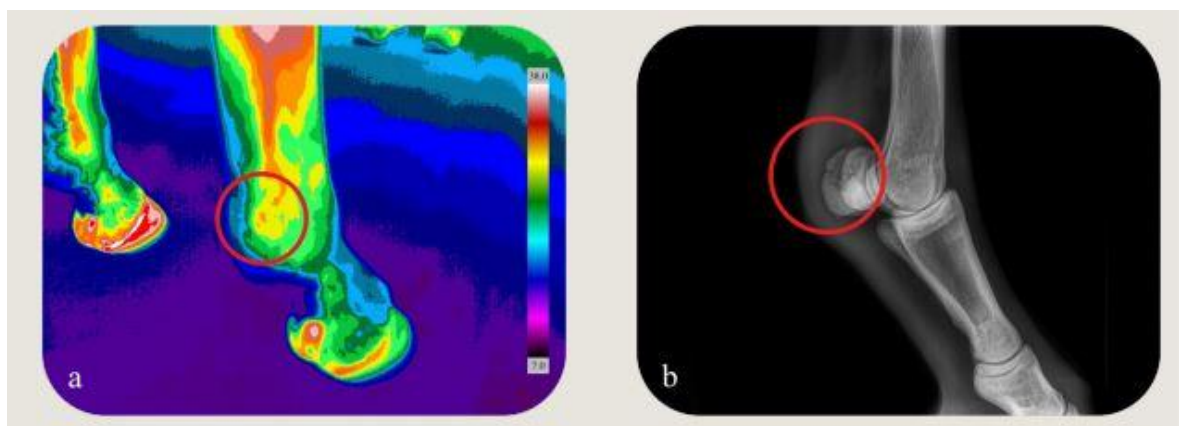
Tálas & Tálas (2017) provedli případové studie, které představují použití infračervené termografie v několika případech k lokalizaci problému či onemocnění končetin, sledování účinnosti léčby a následného uzdravovacího procesu:

Případ čipové zlomeniny sezamské kosti spěnkového kloubu

Na veterinární klinice v Německu byl hospitalizován vestfálský hřebec se zjevnými známkami bolesti v dolní části pravé přední končetiny a vykazoval jasné nepohodlí při manipulaci se spěnkovým kloubem. Také u něj bylo pozorováno rozvíjející se kulhání.

Hřebec podstoupil termografické vyšetření, přičemž výsledné snímky pravého předního spěnkového kloubu ukázaly zvýšenou povrchovou teplotu v zadní části kloubu kolem spěnkových sezamských kostí.

Dále byla detekována zvýšená teplota v levém kopytě, což naznačuje, že kůň z důvodu šetření poškozené pravé končetiny přenáší více váhy na levou končetinu (Obr. 6a). Následným zrentgenováním pravé končetiny byla detekována čipová zlomenina sezamské kosti spěnkového kloubu (Obr. 6b).

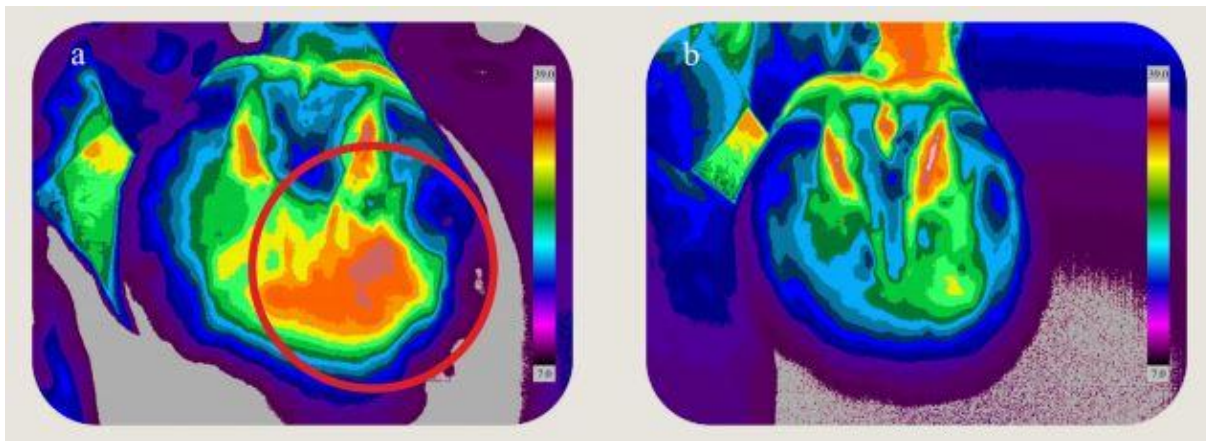


Obr. 6a (vlevo) – Termografický snímek spěnkového kloubu pravé přední končetiny, která vykazovala zvýšenou teplotu kolem spěnkových sezamských kostí. Dále na tomto snímku levé kopyto vykazuje vyšší teplotu, což signalizuje větší zatížení levé končetiny.

Obr. 6b (vpravo) – Rentgenový snímek pravé končetiny v místě spěnkového kloubu, kde byla odhalena čipová zlomenina sezamské kosti (Tálas & Tálas 2017).

Případ kopytního abscesu

V maďarském Sükösdu byla nahlášena lipická klisna s akutním kulháním na pravou přední končetinu 4 dny poté, co byla kovaná. Dle diagnózy bylo stanoveno podezření na výskyt kopytního abscesu. Klisna podstoupila termografické vyšetření a výsledný snímek spodní strany kopyta značil zvýšenou teplotu ve střední oblasti (Obr. 7a). Následně byla naordinována léčba protizánětlivým lékem fenylobutazonem po dobu 3 dnů a aplikace mokřých obkladů. Po čtyřech dnech byly pořízeny další snímky spodní strany kopyta (Obr. 7b) a ukázaly, že abnormální teplota v centru chodidlové oblasti výrazně poklesla. To naznačuje, že aplikovaná léčba byla účinná.



Obr. 7a (vlevo) – Termografický snímek akutního abscesu kopyta v pravé přední končetině.

Obr. 7b (vpravo) – Po nasazené léčbě se teplota postižené oblasti výrazně snížila (Tálas & Tálas 2017).

Termografie má také důležitou roli v prevenci kulhání u dostihových koní (Soroko et al. 2017). Studie Strömberga (1971, 1972, 1974) prokazují schopnost termografického zobrazování předpovědět zánět povrchové flexorové šlachy o 14 dní dříve, než se objeví klinické příznaky. Při vyšetření termografií byla detekována zvýšená teplota poškozené končetiny, avšak následné vyšetření pomocí rentgenu neprokázalo žádné patologické změny.

Autoři Eddy et al. (2001) se zaměřili na využití termografie s dalšími diagnostickými metodami v problematice kulhání. Zkoumali korelaci termografických nálezů s využitím ostatních diagnostických metod u skupiny 64 koní trpících tímto problémem. Nálezy pomocí termografie souhlasily s ultrazukovým vyšetřením v 10 z 15 případů (66,7 %), s nukleární scintigrafií v 15 z 20 případů (75 %), v případě rentgenografie to bylo pouze v 15 z 29 případů (51,7 %).

Vysvětlit to lze tím, že termografie je méně účinná v detekci chronických poranění kostí nebo degenerativního onemocnění kloubů, kde je minimální změna cévního zásobení postižené oblasti.

Na problematiku kulhání a využití různých diagnostických metod u koní se zaměřili také Çetinkaya & Demitruku (2012) ve své studii. Jejím cílem bylo získat další poznatky o přínosech termografie, rentgenografie a ultrasonografie pro zdravotní diagnostiku.

Studie se účastnilo 47 koní, jež trpěli kulháním. Pro zkoumání končetin proběhlo hodnocení podezřelých oblastí palpací a poté prostřednictvím termografického zobrazování. Nalezené problematické oblasti byly dále vyšetřeny pomocí rentgenografie a ultrasonografie.

V 6 případech byl diagnostikován ústřel a u ostatních subjektů potíže s končetinami (Obr. 8) – akutní kloubní výpotek, akutní a chronický zánět šlach, kloubní výpotek a současně zánět šlach, infekce pojivové tkáně a osteoartróza kyčelního kloubu.

V podezřelých oblastech byla při termografickém vyšetření detekována zvýšená povrchová teplota. V případě akutních případů počítačový software termální kamery vyhodnotil zvýšení lokální teploty o 0,5 až 1,5 ° C u podezřelé oblasti ve srovnání s normální oblastí. Zatímco v případě chronických onemocnění nebyly žádné takové rozdíly teploty pomocí termografického vyšetření zjištěny. Následná vyšetření rentgenografií a ultrasonografií odhaleny problém potvrdila.

Podle získaných výsledků z vyšetření všemi třemi diagnostickými metodami (termografie, rentgenografie, ultrasonografie) byla každé z nich přidělena čísla v hodnotách 0 až 3 podle jejich diagnostické hodnoty (viz Tab. 1).

Dle skóre tří diagnostických metod byly zjištěny tyto poznatky: termografické vyšetření podezřelých oblastí bylo užitečné pro diagnostiku patologie ve všech akutních případech, naopak pro chronické případy nikoli. Pravděpodobně je to způsobeno skutečností, že povrchová teplota se v případě chronických onemocnění časem upraví na normální hodnotu.

Rentgenografické vyšetření bylo vhodnou metodou pro detekci zdravotních potíží končetin, ale nebyla nápomocná pro odhalení ústřelu. Avšak některé případy zánětu šlach nedokázala rentgenografie diagnostikovat nebo jen obtížně.

Ultrasonografické vyšetření podezřelých oblastí bylo vhodné pro diagnostiku případů kloubního výpotku a zánětu šlach, ale nebylo užitečné pro odhalení případů ústřelu, infekce pojivové tkáně a osteoartrózy kyčelního kloubu.

V této studii byla infračervená termografie užitečná pro detekci oblastí, kde se vyskytovaly teplotní abnormality. V minulosti se však změny povrchové tělesné teploty hodnotily manuálně pomocí palpce a stále se této techniky využívá. Manuální palpce však není jednoduchý způsob. Vyhodnocení změn povrchové tělesné teploty a také určení, zda se teplota jedné končetiny oproti druhé končetině nějakým způsobem odlišuje nebo ne, závisí na subjektivitě vyšetřujícího a mezi jednotlivými osobami se liší. Například zvýšená teplota o 1 ° C, pomocí které termografie snadno určí lokalizaci problému, je palpací často špatně posuzovatelná.

Çetinkaya & Demitruku (2012) ke studii závěrem dodávají, že vyšetřovací metoda termografie je důležitou metodou, která může pomoci diagnostice a měla by být tímto způsobem využívána pro včasnou detekci potíží především v kombinaci s dalšími diagnostickými zobrazovacími metodami.



Obr. 8 – Zleva doprava – klinický, termografický a rentgenový pohled na končetinu koně s výpotkem karpálního kloubu po zátěži (Çetinkaya & Demitruku 2012).

Tab. 1 – Vyhodnocení diagnostických metod.

Hodnocení: 0 = nelze diagnostikovat; 1 = obtížná diagnostika; 2 = snadná diagnostika; 3 = velmi snadná diagnostika.

Case no.: číslo případu, Ther.: termografie, Rad.: radiografie, Ultr.: ultrasonografie; (a) akutní, (c) chronické, (b) bilaterální.

JE: kloubní výpotek, Ten: zánět šlach, c: karpální, t: tarzální, m - cph: metakarpofalangeální, m - tph: metatarzofalangeální, Fl - flx: šlacha ohybače přední končetiny, Hl - flx: šlacha ohybače zadní končetiny, osteoart.: osteoartrtida, Con. tis. inf.: infekce pojivové tkáně (upraveno podle Çetinkaya & Demitruku 2012).

Case no.	Problem	Ther.	Rad.	Ultr.	Case no.	Problem	Ther.	Rad.	Ultr.
1	(a) JE; t, m - tph	3	2	3	25	(c) Ten; Fl - flx	0	1	3
2	(a) JE; c, m - cph	3	2	2	26	(a) Ten; Fl - flx	3	1	3
3	(a) JE; m - tph	3	3	3	27	(a) Ten; Fl - flx	3	1	3
4	(a) JE; m - cph	2	3	3	28	(c) Ten; Fl - flx	0	2	3
5	(a) JE; (b) c	3	3	3	29	(a) Ten; Fl - flx	3	1	3
6	(a) JE; c, m - cph	3	2	3	30	(a) Ten; Fl - flx	3	0	2
7	(a) JE; m - cph	3	3	3	31	(a) Ten; (b) Fl - flx	2	0	3
8	(a) JE; c	3	3	3	32	(c) Ten; (b) Fl - flx	0	2	3
9	(a) JE; c	3	3	3	33	(a) Ten; Hl - flx	3	0	3
10	(a) JE; c	2	2	3	34	(c) Ten; Hl - flx	0	2	3
11	(a) JE; m - cph	3	3	3	35	(a) Ten; Hl - flx	3	0	3
12	(a) JE; c, m - cph	3	2	3	36	Lumbago	3	0	0
13	(a) JE; m - cph	3	3	3	37	Lumbago	3	0	0
14	(a) JE; m - tph	3	2	3	38	Lumbago	3	0	0
15	(a) JE; m - cph	3	3	3	39	Lumbago	3	0	0
16	(a) JE; m - cph	2	2	3	40	Lumbago	3	0	0
17	(a) JE; c	3	1	3	41	Lumbago	3	0	0
18	(a) JE; c	3	2	2	42	Con.tis.inf.; "distal to t"	3	2	0
19	(a) JE; c	3	2	3	43	Con.tis.inf.; "distal to c"	3	2	0
20	(a) JE; m - cph	3	2	2	44	Con.tis.inf.; "between t and m - tph"	3	2	0
21	(a) JE; c	3	2	3	45	Con.tis.inf.; "between t and m - tph"	3	2	0
22	(a) JE, (a) Ten; t, m - tph; Hl - flx	3	3	3	46	Con.tis.inf.; "distal to elbow"	3	2	0
23	(a) JE, (a) Ten; m - tph; Hl - flx	3	2	3	47	(c) Hip osteoart.	0	3	0
24	(a) JE, (a) Ten; m - cph; Fl - flx	3	2	3					

3.6.2 Lokalizace skrytých zdravotních problémů

Další případy ze studie autorů Tálás & Tálás (2017) jsou příkladem využití termografie jako pomocného nástroje k odhalení zdravotních komplikací, které jsou zpočátku nejasné:

Případ lokalizace bolesti

Majitel valacha amerického Quarter Horse chovaného v Rakousku uvedl, že u koně pozoruje známky bolesti při zatáčení vpravo během práce. Tato neochota k otočení hlavy jedním směrem může být následkem různých zdravotních komplikací jako potíže se zuby, problémy s končetinami nebo třeba páteří. Cílem bylo odhalit lokalizaci bolesti.

Bylo provedeno termografické vyšetření levé i pravé strany krku. Poněkud vyšší teplotu vykazovala levá strana krku. Nalezená zvýšená teplota v daném místě mohla vzniknout z mnoha důvodů – například zánět svalů, artróza krčního obratle nebo periostitida (zánět okostice) a další. Tento případ však ukazuje, že důkladnější diagnózu je často nesnadné stanovit pouze podle termografického vyšetření a je zapotřebí využít další analýzu pomocí jiných diagnostických metod. Výsledky termografického vyšetření byly předány veterinárnímu lékaři koně, který v tomto případě dále pokračoval.

Případ zlomené stoličky

Podobně jako u předchozího případu byla termografie úspěšně využita k lokalizaci místa patologie u westfálské klisny, u které se projevovaly příznaky bolesti při žvýkání. Tyto projevy by mohly značit problém se zuby – například nadměrné opotřebení zubů, zánět či zlomeninu.

Pravá i levá strana hlavy klisny byla podrobena termografickému vyšetření na klinice. Při analýze termosnímků levé strany hlavy byla odhalena lokálně zvýšená teplota v místě horní čelisti, konkrétně v oblasti třenových zubů a stoliček. To mohlo značit možný výskyt zánětu. Naopak na pravé straně žádný takový nález učiněn nebyl. Klisna byla poté dále vyšetřena pomocí rentgenu, který ukázal zlomeninu první stoličky.

Tálás & Tálás (2017) dále uvádějí, že infračervená termografie v kombinaci s ultrasonografií je zvláště úspěšná v detekci lézí v thorakolumbální oblasti. Fonseca et al. (2006) analyzovali 24 koní Quarter Horse a ukázali, že termografii lze použít k rychlému mapování lézí, které lze následně charakterizovat pomocí ultrasonografie. V této studii byla nalezená horká místa přirovnána k zánětlivým lézím.

Po vyšetření těchto míst ultrazvukem byla odpovídající léze potvrzena. Na druhou stranu je nutno dodat, že ne všechny léze detekované ultrasonografií byly zjištěny i pomocí termografie, což ukazuje na omezenou citlivost metody.

3.7 Využití termografie v chovu a péči o koně

3.7.1 Vliv dekování na povrchovou teplotu koní

Koně se přirozeně dokážou adaptovat na různé klimatické podmínky včetně prostředí s nízkými teplotami. Přesto v některých situacích jejich majitelé upřednostňují použití dek pro koně z důvodu zajištění dalšího tepla a ochrany. Na trhu jsou k dispozici různé druhy a typy dek, avšak neexistují žádná standardizovaná doporučení pro jejich používání (Hammer & Gunkelman 2020).

Průzkum napříč majiteli koní ve Švédsku a Norsku vyvodil zjištění, že více než 80 % dotázaných v chladném období deky používá a největší část z nich se rozhodla pro použití deky již při poklesu teploty na 10 ° C a níže (Hartmann et al. 2017).

Další zajímavá zjištění přinesla studie autorů Mejdell et al. (2019), ve které bylo koním umožněno vybrat si, zda chtějí nosit deku nebo ne. Ve výsledku 80 % koní preferovalo nošení deky při teplotách nižších než - 10 ° C.

Pokud porovnáme tyto dvě studie, uvidíme zásadní rozdíl mezi volbou majitelů a koní v otázce, při jakých teplotách je již vhodné použít deku – rozdíl je 20 ° C. Je však nutno zmínit, že ani v jedné studii nebyl standardizován typ používaných dek pro koně (Hammer & Gunkelman 2020).

Hammer & Gunkelman (2020) tvrdí, že problematika, zda deky používat či ne, může být kontroverzní a jsou jen omezené informace o tom, jaký vliv má deka na tělesnou teplotu koně. Jejich studie si stanovila za cíl zkoumat změny tělesných teplot koní, kteří nosí zimní deky v chladném počasí pomocí termografie a poskytnout informace pro majitele koní, kteří by na jejich základě dokázali dělat vhodnější rozhodnutí o používání dek.

Studie se účastnili čtyři dospělí zdraví koně v dobré kondici. Pro výzkum byly použity tři typy zimních dek pro koně s rozdílem v gramáži výplně: lehká váha s gramáží výplně 0 g, střední váha s gramáží 200 g, těžká váha s gramáží 400 g a možnost bez příkrývky.

Bylo provedeno termografické zobrazování bederní oblasti vždy před zakrytím koně dekou a bezprostředně po návratu z výběhu a sejmutí deky.

Výsledky měření povrchové tělesné teploty v bederní oblasti po vystavení koně chladu byly následující: teplota 22,3 ° C po testu bez použití deky, 26,8 ° C po použití lehké deky, 30,3 ° C po použití středně těžké deky a 31,5 ° C po použití těžké deky.

Z výsledků studie tedy vyplývá, že použití zimní deky v chladném počasí může zvýšit povrchovou tělesnou teplotu, přičemž hmotnost deky, má vliv na stupeň tepla.

3.7.2 Využití v oblasti reprodukce koní

Využití infračervené termografie k určování gravidity bylo zkoumáno pro různé druhy zvířat s různou úspěšností (Rekant et al. 2016).

Studie autorů Bowers et al. (2009), viz níže, se zaměřila na tuto problematiku u koní a zjistili, že teplota boku březích klisen vykazovala podstatný rozdíl. Termografie byla také použita k detekci březosti u exotických druhů zvířat jako žirafy, zebry a nosorožci černí (Hilsberg et al. 1997), avšak výsledky studií zaměřující se na psy (Durrant et al. 2006) a dobytek Jones et al. 2005) ukazují tuto metodu k detekci březosti jako nevhodnou.

Rekant et al. (2016) rozdílné závěry studií vysvětluje tím, že pravděpodobným důvodem je důsledek fyziologických charakteristik, jež jsou jedinečné pro tyto druhy. Například feny mívají více mláďat a není pozorováno, že by se plody implantovaly více na jednu stranu – teplota boku se tedy výrazně nemění. Dále velký bachor u krav zabírající většinu levého boku pravděpodobně může zakrývat teplotní změny vzniklé v důsledku březosti.

Naopak u žiraf (jež také patří mezi přežvýkavce) je bachor ve srovnání malý – je tedy málo pravděpodobné, že bude známky březosti krýt a postupně se ukazuje, že využití termografie pro zjištění březosti je vhodné pouze pro druhy s jedním mládětem a u přežvýkavců pro jejich malé podskupiny.

Jak již bylo zmíněno výše, studie autorů Borwes et al. (2009) se zaměřila na využití termografie v oblasti reprodukce koní. Jejich cílem bylo prozkoumat použití termografického zobrazování ke zjištění, zda se vyskytují rozdíly teplotního gradientu povrchové teploty mezi březími a jalovými klisnami. Termografie by tak mohla být použita jako bezkontaktní způsob pro stanovení březosti.

Pro výzkum studie bylo použito 10 pozdně březích klisen a 17 jalových klisen.

Probíhala termografická měření pravého a levého boku, teploty v kohoutku (pro kontrolu teploty povrchu těla) a rektální teploty po dobu 5 týdnů před porodem a 3 týdny po porodu. Výsledky přinesly tato zjištění: gravidní klisny vykazovaly vyšší průměrné teploty boku ($36,0 \pm 0,28$ ° C) než jalové klisny ($34,2 \pm 0,28$ ° C) nebo klisny, které již porodily ($34,29 \pm 0,928$ ° C). Teploty boku a v oblasti kohoutku spolu pozitivně korelovaly a stejně tak i s teplotou okolí. Avšak nebyl zaznamenán rozdíl teploty povrchu těla mezi březími a jalovými klisnami. Dále byl na termosnímčích březích klisen patrný asymetričtější barevný vzor oproti jalovým klisnám.

Autoři Borwes et al. (2009) následně dospěli k závěru, že využití termografie může být hodnotným nástrojem pro bezkontaktní potvrzování březosti v pozdním stádiu březosti u některých druhů zvířat.

Pro úspěšné umělé inseminování klisen je zásadním bodem přesná detekce fáze říje a také ovulace. Běžně je tato detekce prováděna transrektální palpací a ultrasonografickým vyšetřením reprodukčního ústrojí. Jinou, alternativní metodou by však mohlo být měření elektrické impedance vaginálního hlenu a perivulární a vulvární teploty. Množství informací o využití infračervené termografie při detekci říje u klisen je omezené (Stelletta et al. 2012). Z toho důvodu bylo cílem studie autorů Stelletta et al. (2012) změřit perivulární a vulvární teplotu pomocí termografie coby neinvazivní metody k monitorování estrálního cyklu klisen. Pro studii bylo použito 9 klisen, z toho 5 klisen mělo hříbě. Sledování probíhalo ve třech fázích: fáze 1 – folikul o průměru více než 3 cm, fáze 2 – folikul v růstu a fáze 3 – ovulace. Pro každou fázi bylo provedeno nejprve termografické vyšetření v perivulární a vulvární oblasti. Následovala transrektální palpace a ultrasonografické vyšetření reprodukční soustavy. Pět klisnám byly odebrány vzorky krve pro měření koncentrace progesteronu a estrogenu – ve fázi 2 a ve fázi 3.

Z výsledné analýzy vzešla pozitivní korelace v rámci termografických parametrů jako perivulvární maximální teplota (dále PMT), perivulvární střední teplota (dále PST), vulvární maximální teplota (dále VMT) a vulvární střední teplota (dále VST). Tyto parametry se současně zvýšily a pozitivně korelovaly s průměrem většího folikulu. Naopak negativně korelovaly s přítomností žlutého tělíska (corpus luteum).

Tyto výsledky tedy naznačují zvýšení maximální a střední perivulvární a vulvární teploty ve fázi růstu folikulů a její snížení během vzniku žlutého tělíska. Pravděpodobným důvodem je to, že pod vlivem estrogenu dochází k překrvení ve vulvární oblasti.

Navíc se vyskytla pozitivní korelace mezi PMT a koncentrací estrogeneru (pojí se s fází růstu folikulů) a negativní korelace s koncentrací progesteronu (pojí se s fází ovulace). Tyto výsledky jsou předběžně ve prospěch možného využití metody termografie k nápomoci sledování estrálního cyklu klisen neinvazivním způsobem.

3.8 Využití termografie v jezdeckém sportu

3.8.1 Problematika správně padnouceho sedla

Správně napasované sedlo se musí přizpůsobit měnícímu se tvaru hřbetu koně při změnách ruchu a také zaručit, že jezdec bude stále vyvážený (Soroko et al. 2019). Dále by sedlo mělo správně rozložit váhu jezdce přes sedlové polštáře v hrudní oblasti hřbetu koně s uvolněním trnitých výběžků páteře. Kromě koně musí ale sedlo vyhovovat také jezdcovi (Soroko et al. 2017).

Naopak nesprávně napasované sedlo může mít škodlivé následky pro koně jako bolest v torakolumbální oblasti, ztuhlost a citlivost svalů, problémy s páteří (Soroko et al. 2019) či poranění měkkých tkání, kdy v poškozených místech vznikají bílé chlupy, nebo se objevuje neobvyklé opotřebení srsti. Klinické projevy jsou různé; kulhání, bolestivost při palpaci, dále také změny v chůzi nebo chování koně.

Bylo také zjištěno, že nesprávné sedlo způsobuje nerovnováhu v pohybu koně (Soroko et al. 2019) a může často vést k nerovnoměrnému rozložení váhy jezdce, jež lze detekovat dle asymetrického tepelného vzoru (Tálas & Tálas 2017).

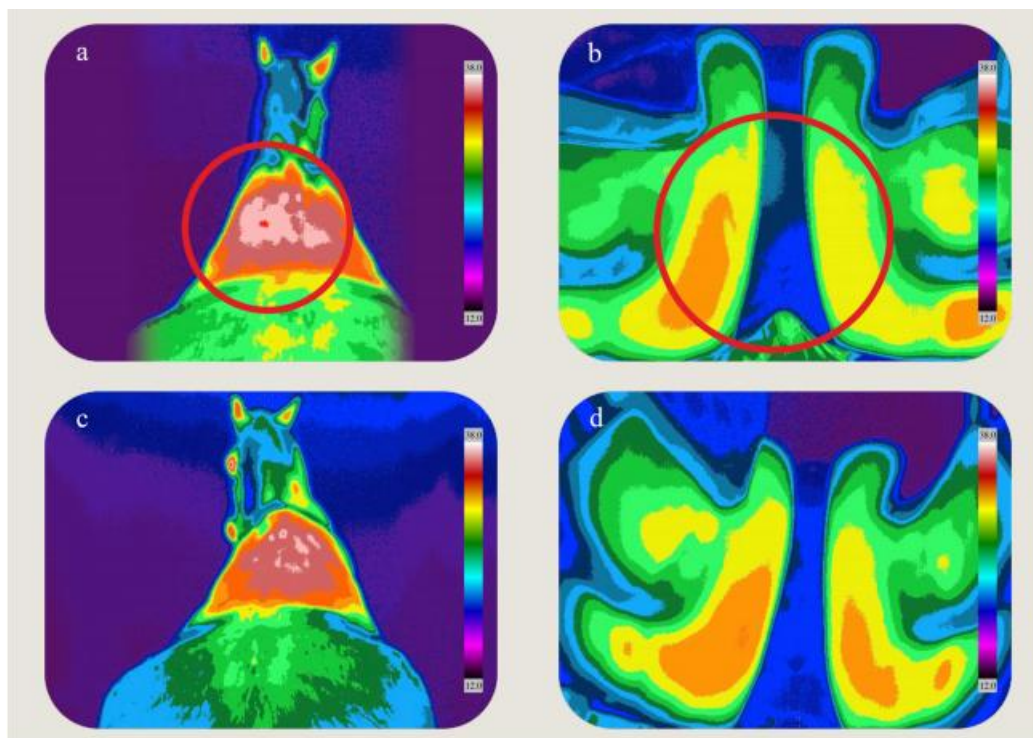
Běžně se používají sedla s dřevěnou kostrou a sedlové polštáře vyplněné vlněnou plstí, což umožňuje rozložit hmotnost jezdce (Soroko et al. 2019). Meschan et al. (2007) prokázali, že u špatně padnoucích sedel je ve srovnání s dobře padnoucími celkové zatížení (součet hmotnosti sedla a jezdce) rozloženo na menší plochu, což vede k vytvoření tlakových bodů. Přitom to, jakým způsobem je rozložena váha jezdce na sedlo, je důležitým faktorem pro volný pohyb koně pod jezdcem (Soroko et al. 2019).

Fruehwirth et al. (2004) uvádějí, že celková síla působící na plochu sedla přibližně odpovídá působení hmotnosti jezdce při chůzi koně, ale s měnícími aspekty chůze koně se však mění také velikost síly, kterou váha jezdce vyvíjí. Při klusu se hodnota síly zvýší přibližně na dvojnásobek hmotnosti jezdce a při cvalu se síla zvýší na dva a půl násobek tělesné hmotnosti jezdce.

Pomocí termografie lze vyhodnotit dynamickou interakci mezi sedlem a hřbetem koně, k odhalení problémů s nesprávně padnoucím sedlem. Výsledné tepelné vzorce svědčí o teple vznikajícím v místech větší interakce se sedlem a fyziologických účincích jízdy na hřbetě koně.

Pro termografické vyhodnocení sedla by měla být na koni použita podsedlová dečka a těsný podbřišník. Testovací jízda by měla probíhat alespoň 20 minut a ve všech chodech. Následné snímky hřbetu koně by měly být pořízeny ihned po odsedlání koně (Soroko et al. 2017).

V případové studii autorů Tálas & Tálas (2017) byl fenomén špatně padnoucího sedla demonstrován na patnáctileté polokrevné klisně z maďarské jezdecké školy. Klisna byla záměrně osedlána nevyhovujícím sedlem a krátce ježděna. Po deseti minutách ježdění bylo provedeno termografické zobrazování hřbetu klisny a spodní strany sedla. Strana hřbetu, kde byl vyvíjen větší tlak, vykazuje vyšší teplotu (Obr. 9a). Tato nerovnováha je pozorovatelná také na snímku sedla (Obr. 9b). Zatímco při použití správně padnoucího sedla je tepelný obraz hřbetu koně symetrický s tepelným obrazem sedla (Obr. 9 c, d).



Obr. 9 – Tepelný vzorec nesprávně a správně sedícího sedla. Pokud sedlo nesedí správně, nerovnoměrný tlak má za následek asymetrické rozložení tepla na hřbetě koně (a) – v tomto případě se zvýšená teplota vyskytla na levé straně hřbetu, což je vidět také na tepelném vzorci sedla (b). Pokud je sedlo správně napasováno, vznikne symetrický obraz rozložení teploty jak na hřbetě koně (c), tak na sedle (d) (Tálas & Tálas 2017).

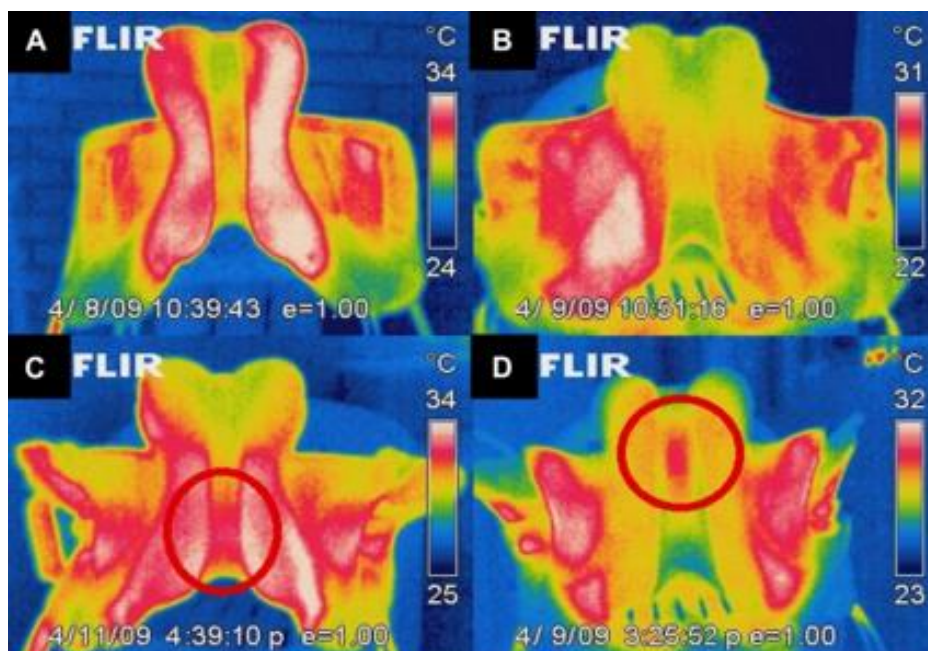
Arruda et al. (2011) provedli průzkum, kdy pomocí termografie hodnotili 62 sedel použitých na 129 skokových koních. U všech koní proběhlo termografické vyšetření torakolumbální oblasti před fyzickým tréninkem a po jeho ukončení. Ihned po odsedlání byly pořízeny termografické snímky hřbetu i sedla k vyhodnocení oblasti interakce se hřbetem koně.

Na termosnímku sedlových polštářů byla místa se zvýšenou teplotou (což naznačuje větší interakci se hřbetem koně) hodnocena na asymetrii a kontakt se hřbetní středovou linií. Následovalo porovnání snímků pořízených před a po tréninku, čímž byly detekovány tepelné body. Snímky hřbetu byly dále porovnány se snímky sedla po tréninku pro vyhledání možného bodu chronického tepla, jež se pojí s nesprávným napasováním sedla.

Z výsledných snímků bylo možné vyhodnotit více informací jako interakce mezi sedlem a páteří koně, asymetrie teplotního vzorce mezi sedlovými polštáři nebo sedlovými polštáři a hřbetem koně.

Závěrem byl zjištěn asymetrický tlak na hřbet a páteř u 55,8 % koní, dále se vyskytlo 37,2 % případů, kdy sedlo bylo v přímém kontaktu s páteří (Obr. 10 a, b). Pouze u 51,2 % sedel se vyskytla interakce 76 až 100 % se hřbetem koně.

Termografie se v této studii ukázala být užitečnou metodou pro hodnocení správně padnoucích sedel použitých u skokových koní.



Obr. 10 – Termografické snímky sedel; a – asymetrický tlak na pravé straně; b – asymetrický tlak na levé straně; c + d – výskyt kontaktního bodu na hřbetní středové linii (Arruda et al. 2011).

Existují i další studie, které ukázaly, že infračervená termografie je cenným nástrojem pro hodnocení sedlového tepelného vzoru neinvazivním způsobem. Avšak při posuzování sedel pomocí infračervené termografie je důležité vzít v potaz skutečnost, že existuje mnoho okolních faktorů, které mají vliv na výsledný termografický snímek (Soroko et al. 2017).

3.8.2 Srovnání účinků udidla z nerezové oceli a udidla z titanu

Od doby, kdy došlo k domestikaci koní, bylo udidlo klíčovým nástrojem pro manipulaci s koňmi. Prvotní podoby udidel byly vyrobeny pravděpodobně z vinných výhonků, dále dřeva, rohů nebo kostí. První udidla z kovu se ale objevila až v době bronzové a v dnešní moderní době je nejvíce rozšířeným materiálem pro výrobu udidel ocel.

Nicméně použití udidla způsobem, který omezuje čelistní pohyby, požadavky na neobvyklé držení těla či jakékoli další nepohodlí způsobené koni, mohou způsobit zvýšení svalového napětí, které se následně může projevit zvýšením teploty na kůži krku a tlamě a vedou dále ke špatným výkonům koně.

Obvykle jsou udidla vyrobena z nerezové oceli, jak již bylo zmíněno, ale došlo ke zkoumání jiných inovativních materiálů, které snižují nepohodlí či riziko poranění koně. Například materiál titan je lehký, biokompatibilní a mohl by zlepšit pohodu koní.

Tato studie se zaměřila na srovnání účinků udidel ze dvou různých materiálů – nerezové oceli (O) a titanu (T) u parkurových koní.

Pro výzkum bylo použito 18 párů jezdců a koní, kterým bylo přiděleno udidlo O na dva dny a udidlo T na dva dny, aniž by jezdci věděli, které udidlo je které.

Pro porovnání účinků dvou typů udidel byly zohledňovány tyto faktory: teplota huby a krku před a po tréninku, teplota udidla (pomocí termografie), pH slin koní po tréninku a odpovědi z dotazníku pro jezdce skládajícího se ze šesti otázek. Sliny byly odebírány k pro detekci možných rozdílů pH v důsledku kontaktu s různými materiály udidel.

Snímky byly pořízeny u všech koní před a po tréninku – vždy na obou stranách huby a krku a to před i po nauzdění koně. Teplota na udidle byla také měřena ihned po tréninku. Otázky v dotazníku pro jezdce se týkaly vnímání jezdce při přijímání udidla koněm, míry svalového uvolnění, produkce slin a další.

Z výsledků vzešla zjištění, že změny teploty získané z termografického měření huby a krku, před a po tréninku, skutečně ukázaly významný účinek v závislosti na materiálu udidla.

T udidlo vykazovalo menší nárůst teploty svalů (1,96 ° C pro T vs. 2,70 ° C pro O) a také teploty huby (0,63 ° C pro T vs. 1,39 ° C pro O) během tréninku než O udidlo. Dále mezi teplotou samotných udidel byl pozorován rozdíl – 30,23 ° C pro T vs. 32,10 ° C pro O). Všechny uvedené teploty však byly ve fyziologickém rozmezí.

Průzkum slin neprokázal žádné výrazné rozdíly v důsledku interakce s udidly krom mírně vyššího, ale nevýznamného přijetí pro T udidlo než O udidlo.

Celkový průzkum z dotazníku pro jezdce přinesl vyšší hodnocení (tedy upřednostnění) po tréninku s použitím titanového udidla než udidla z oceli.

Použití materiálu titanu pro výrobu udidel bylo nedávno zvažováno kvůli jeho vysoké odolnosti vůči mechanickému stlačení a typické lehkosti. Další výhodou je jeho biokompatibilita, což znamená dobrou odpověď uživatele, není toxický a nezpůsobuje žádné zánětlivé či alergické reakce a další. Jeho nižší tepelná vodivost by také mohla po použití udidla vést k nižší teplotě huby koně. Tyto vlastnosti mohou vést k pozitivnímu přijetí udidla z tohoto materiálu (Guzzo et al. 2018).

3.8.3 Adaptace muskuloskeletárního systému koní na dostihový trénink

Životnost anglických plnokrevníků závisí na úspěšnosti prvního roku jejich kariéry (jako závodního koně) nepřerušené zdravotními komplikacemi. Zahájení tréninku jednoletých zvířat s sebou však nese vysoké riziko výskytu potíží s pohybovým aparátem.

Současný výzkum ohledně plnokrevných závodních koní se zaměřuje na lepší porozumění faktorům, které vedou k vysokému výskytu zranění pohybového aparátu, způsobují snížení výkonu, přerušování výcviku a předčasné vyřazení v závodní kariéře těchto zvířat. Navíc ohledně welfare zvířat tato zranění mají špatný vliv na veřejné vnímání koňských dostihů, dále také emocionální a finanční důsledky a ohrožují bezpečnost ostatních koní a jezdců. Z toho důvodu je potřeba porozumět fyziologickým adaptacím pohybového aparátu koní při jejich tréninku.

Bylo zjištěno, že dostihové koně postihuje adaptivní selhání muskuloskeletálních struktur, pokud je trénink natolik intenzivní, že přesáhne schopnost kostí a kloubů se přizpůsobit nebo dojde k přetrénování. Následkem je zvyšující se cyklická únava, která dále způsobuje nadměrné stlačení kostí a/nebo kloubů, které nemohou adekvátně přestavět, aby zvládly takovou zátěž. Taková zranění jsou velmi častá a mohou se u koní vyskytovat, aniž by se objevily klinické příznaky jako kulhání či příznaky bolesti.

K patologickým změnám dochází časně, jsou velmi jemné a téměř bez důkazů při radiografickém vyšetření. To podnítilo potřebu nalézt metody pro snadnou a spolehlivou detekci těchto časných známek nesprávného přizpůsobení pohybového aparátu koní na trénink.

V souvislosti s tím je metoda infračervené termografie založená na sledování změn povrchové teploty, která může signalizovat změny v krevním oběhu, jež vyplývají ze zánětlivého procesu. Její citlivost ve srovnání s lidskou rukou je až 10krát vyšší. Termografie byla již dříve popsána jako diagnostická metoda, jež dokáže detekovat patologické změny šlach a kloubů u sportovních koní v časné fázi a to už 14 dní před tím, než se projeví klinické příznaky. Běžně se používá k diagnostice kulhání a předpokládá se, že pokud bude využívána pravidelně, může být nápomocná pro pochopení změn pohybového aparátu během závodního výcviku koní (Prochno et al. 2020).

U dostihových koní jako první použil termografii k detekci a monitoringu poranění končetin Strömberg (1971, 1972, 1974).

Hlavním cílem studie (Strömberg 1972) bylo zjistit, jak lze pomocí termografie detekovat časná poškození šlach. Ve výsledku změny odhalené termografickým vyšetřením korelovaly s klinickým průběhem lézí šlach. Autor závěrem hodnotil termografii jako dobrou a objektivní metodu pro detekci lézí šlach a nepochyboval o tom, že pravidelné termografické sledování dokáže poskytnout důležité informace o pro trénink a závodění, aby se předešlo vážným poškozením šlach.

Studii na podobné téma provedli také Prochno et al. (2020). Jejich studie si kladla za cíl zhodnotit tepelné změny v muskuloskeletálních oblastech u mladých plnokrevných koní během prvních měsíců závodního tréninku. Dále byla studie zaměřena na zkoumání prediktivní hodnoty infračervené termografie při předvídání výskytu patologií muskuloskeletálního aparátu.

Pro výzkum bylo vybráno šestnáct koní, kteří začali trénovat současně a ve stejných podmínkách. Od příjezdu koní do dostihového střediska byla prováděna termografická vyšetření jednou za 2 týdny po dobu 7 měsíců. Jednalo se o měření teploty v oblastech zájmu – spěnka, metakarpus, metatarsus, karpus, tarsus, torakolumbální část páteře, sakroiliakální bod a obě kyčle.

V počátečních termografických vyšetření byla pozorována tepelná rovnováha a všechny oblasti zájmu vzájemně pozitivně korelovaly. Zatímco s postupujícím průběhem výcviku byl u koní zjištěn významný rozdíl mezi pravou a levou stranou.

Rozdíl teplot mezi kontralaterálními oblastmi těla více než 1 ° C byl považován za nerovnováhu a naznačoval možné riziko vzniku úrazu. U všech oblastí zájmu bylo zjištěno zvýšení teploty při posledním vyhodnocení ve srovnání s teplotami naměřenými v počátku studie.

Čtyři koně byli kvůli zdravotním komplikacím v metakarpální oblasti vyřazeni ze studie po polovině hodnocení, avšak termografie tyto změny odhalila ještě před klinickými projevy. Poškození, která se u nich vyskytla, se řadí k těm nejčastějším u dostihových koní během prvního roku výcviku. U třech ze čtyř těchto koní proběhlo vyřazení mezi třetím a čtvrtým měsícem tréninku – to zdůrazňuje důležitost pečlivého a preventivního klinického sledování během počátků výcviku. Všichni čtyři koně vykazovali před klinickými příznaky významné změny při termografických hodnoceních jako teplotní rozdíly mezi levou a pravou končetinou, ale také v dalších oblastech, jež nesouvisely s vyřazením. Tato skutečnost dokazuje vzájemnou závislost mezi strukturami muskuloskeletálního systému.

Zvýšení teploty v oblastech zájmu během období průzkumu nenastalo postupně a docházelo ke změnám – proto se termografie prokázala jako citlivý nástroj, jež dokáže detekovat změny muskuloskeletálního systému během jeho adaptace na trénink.

Výsledky studie prokázaly, že metodu infračervené termografie lze úspěšně použít pro prediktivní diagnostiku a k lepšímu porozumění změnám muskuloskeletálního systému během tréninku dostihových koní. Tyto výsledky studie atorů Prochno et al. (2020), se tedy shodují se zjištěními studie Strömberga (1972).

3.8.4 Vliv váhy jezdce na zvýšení povrchové tělesné teploty koně

Volnočasové ježdění na koni si získává stále větší popularitu, ale mnohdy bez ohledu na dostatečně dobré životní podmínky jezdeckých koní. Nejčastějším problémem je nevhodná pracovní zátěž, nedostatečné zkušenosti majitelů nebo přetěžování koní nadměrnou hmotností jezdce. Obezita totiž postihuje stále větší část společnosti. Nošení velké zátěže má výrazný vliv na mechaniku pohybu a snižuje pohodlí koně. Při dlouhodobém přetěžování koně může dojít k projevu zdravotních problémů se zády nebo končetinami.

Aktuálně nejsou stanoveny žádné přísné limity pro hmotnost jezdců, přesto by tomuto tématu měli jezdci věnovat pozornost. Má se za to, že tělesná hmotnost jezdce významně ovlivňuje dopad fyzického cvičení na tělo koně (Wilk et al. 2020).

Powell et al. (2008) provedli studii na 8 koních, které testovali na nošení váhy 15, 20, 25 a 30 % jejich tělesné hmotnosti a zjistili, že srdeční frekvence zůstávala výrazně vyšší, když koně nosili 25 a 30 % své tělesné hmotnosti a koncentrace kyseliny mléčné v krevní plazmě se bezprostředně a 10 minut po ježdění lišila, když koně nosili 30 % své tělesné hmotnosti ve srovnání se zatížením 15, 20 a 25 %. Dále koně se zatížením 25 % měli tendenci k větší bolesti a ztuhlosti svalů a u zatížení 30 % nastala významná hodnota bolesti a ztuhlosti svalů. Tato zjištění naznačují, že zatížení koně by nemělo být vyšší než 20 % jeho tělesné hmotnosti.

Wilk et al. (2020) předpokládali, že nošení jezdce v horní hmotnostní hranici může mít negativní vliv na životní pohodu koně. Nepohodlí během jízdy vyvolává nervovou reakci a mění rovnováhu mezi aktivitou sympatického a vagálního nervového systému. K hodnocení této rovnováhy se běžně používá analýza srdeční frekvence a variability. Také bylo prokázáno, že nadměrná převaha aktivity sympatického systému má negativní vliv na životní pohodu a výkonnost koní.

Cílem jejich studie tedy bylo zhodnotit rozdíly ohledně tělesné teploty a vybraných parametrů srdeční frekvence u koní jako reakci na fyzickou námahu s různým zatížením vahou jezdce.

Studie se účastnilo 12 rekreačních koní a dva stejně zkušené jezdci s rozdílnou tělesnou hmotností (jezdec č. 1 s přibližnou hmotností 20 % průměrné hmotnosti koní a jezdec č. 2 s 10 % průměrné hmotnosti koní). Každý jezdec absolvoval na každém koni nenáročnou jízdu. Termografické snímky koní byly pořízeny ve třech fázích – v klidu před jízdou, po jízdě přímo po odsedlání a během fáze zotavení (10 minut po odsedlání).

Pro hodnocení bylo použito měření povrchové teploty ve vybraných částech těla – povrch hlavy, krku, přední a střední části trupu, zádě, předních končetin a zadních končetin (Graf 1). Výsledkem pak byla průměrná teplota celé části těla.

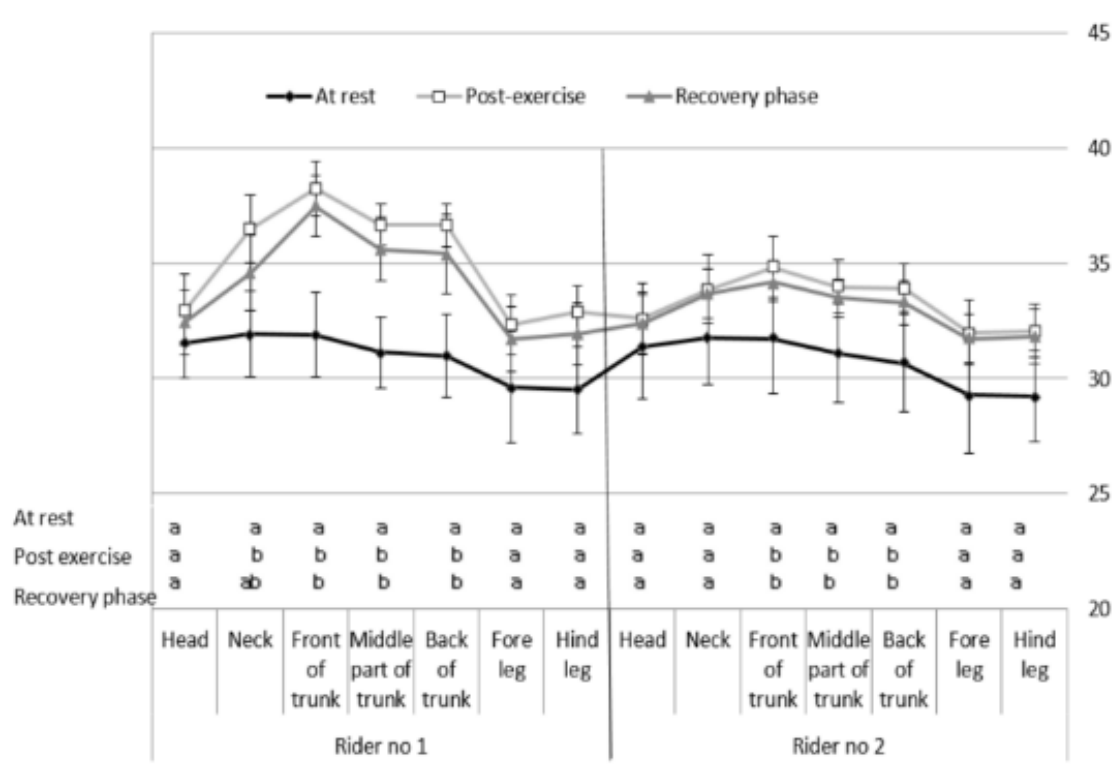
Jednu hodinu před testem byla provedena příprava koní – čištění a zapletení hřívy i ocasu, což je běžný postup pro termografické zobrazování koní.

Měření parametrů srdeční frekvence proběhlo nejprve v klidu koně před ježděním, dále během a po ukončení jízdy.

Dle výsledků bylo zjištěno, že průměrné povrchové teploty krku, částí trupu a zádě byly významně vyšší u koní, na kterých jezdil jezdec č. 1 (20 % hmotnosti koně) než u koní, které jezdil jezdec č. 2 (10 % hmotnosti koně). Nebyl však zjištěn významný vliv zátěže na průměrnou teplotu hlavy a končetin. Hodnota srdeční frekvence byla významně vyšší po jízdě s jezdcem č. 1 než po jízdě s jezdcem č. 2 a to i ve fázi po zotavení.

Výsledky studie tedy ukazují, že zatížení koně vyšší než 20 % jeho tělesné hmotnosti, má vliv na povrchovou teplotu i aktivitu autonomního nervového systému a to i při nenáročné jízdě.

Se zvyšující se náročností cvičení, kterému je kůň vystaven, se také zhoršuje dopad nadměrného zatížení jezdcovou vahou na organismus koně. Čím vyšší je hmotnost jezdce, tím je třeba vyšší fyzická námaha koně, čímž se zvyšuje riziko přetížení.



Graf 1 – Průměrná povrchová teplota (° C) vybraných oblastí zájmu na těle koně zaznamenaná v jednotlivých fázích pokusu (Wilk et al. 2020).

At rest – v klidu, Post exercise – po jízdě, Recovery time – po zotavení. Head – hlava, Neck – krk, Front of trunk – přední část trupu, Middle part of trunk – střední část trupu, Back of trunk – zád', Fore leg – přední končetina, Hind leg – zadní končetina. Rider no 1 – jezdec č. 1, Rider no 2 – jezdec č. 2.

4 Závěr

Metoda infračervené termografie se ukázala být velmi užitečnou metodou, především v oblasti zdravotní diagnostiky koní. Nabízí ale i mnoho dalších rozmanitých možností využití v problematikách týkajících se chovu koní a jezdeckého sportu.

Velkým přínosem této použití této metody ve zdravotní diagnostice je její schopnost odhalit patologii ještě před klinickým projevem příznaků, kde jiné diagnostické metody neuspějí. Včasná detekce problému je důležitá k zabránění dalšímu rozvoji či zhoršení problému a nasazení včasné léčby, s čímž souvisí i ušetření finančních nákladů. Následné sledování průběhu a účinků léčby může přinést informace o tom, zda byla léčba zvolena správně a celý proces tak urychlit.

Také jezdecký sport a samotný chov koní, které jsou v dnešní době velmi oblíbené, vyžadují posun ve vývoji a používání vhodnějších pomůcek, stylu chovu a tréninku koní tak, aby se předcházelo poškození jejich zdraví, psychiky a jejich výkon byl co nejlepší. Správně padnoucí sedlo je základem správné výbavy koně a má velký vliv na jeho pohyb, ochotu k práci a zamezení vzniku zdravotních problémů. Termografie je v problematice sedel ideálním a relativně snadným nástrojem s úspěšnými výsledky.

Jejími nejlepšími vlastnostmi jsou mobilita a neinvazivnost. Cílem chovatelů zvířat, hlavně v zájmovém chovu, je zdravé a ochotné zvíře spolupracující s člověkem. Proto je termografie zvláště vhodná pro použití ve veterinární medicíně. Není potřeba zvíře převážet na kliniku, vystavovat jej stresu a riziku jak během přepravy, tak při využití invazivních nástrojů či používat znečitlivující látky. Například při srovnání využití metody rentgenografie, která využívá ionizující záření, jež má negativní vliv na organismus, je termografie neškodná.

Termografie však nebyla prokázána jako užitečný nástroj pro detekci chronických onemocnění, kdy se teplota dostává do normálu a pro určení příčiny vzniku patologie.

Tato zjištění ukazují na její velkou užitečnost v určitých oblastech, kde ji jiné diagnostické metody nenahradí, ale zároveň existují problematiky, kde její využití není vhodné nebo je nedostačující bez využití dalších nástrojů. Neoptimálnějším způsobem jejího využití je tedy kombinace s jinými diagnostickými metodami.

Závěrem lze říci, že termografie jakožto diagnostická metoda má velký přínos a potenciál a je potřeba další výzkum, aby se tato technologie stala rozšířenější, přístupnější a získala si větší důvěru.

5 Literatura

Al-Nakhli HH, Petrofsky JS, Laymon MS, Berk LS. 2012. The Use of Thermal Infra-Red Imaging to Detect Delayed Onset Muscle Soreness. *Journal of Visualised Experiments* (e3551) DOI: 10.3791/3551.

Arruda TZ, Brass KE, De La Corte FD. 2011. Thermographic assessment of saddles used on jumping horses. *Journal of Equine Veterinary Science* **31**: 625–629.

Bartolomé E, Sánchez MJ, Molina A, Schafer A, Cervantes I, Valera M. 2013. Using eye temperature and heart rate for stress assessment in young horses competing in jumping competition and its possible influence on sport performance. *Animal* **7**: 2044–2053.

Bertmaring I, Babski-Reeves K, Nussbaum MA. 2008. Infrared imaging of the anterior deltoid during overhead static exertions. *Ergonomics* **51**: 1606–1619.

Bowers S, Gandy S, Anderson B, Ryan P, Willard S. 2009. Assessment of pregnancy in the late-gestation mare using digital infrared thermography. *Theriogenology* **72**: 372–377.

Cena K, Clark JA. 1973. Thermal radiation from animal coats: coat structure and measurements of radiative temperature. *Physics in Medicine & Biology* **18**: 432–443.

Cena K, Monteith JL. 1975. Transfer processes in animal coats. I. Radiative transfer. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* **188**: 377–393.

Cena K. 1974. Radiative heat loss from animal and man. Pages 34–57 in Monteith JL, Mount LE editors. *Heat loss from animals and man*. Butterworths, London.

Çetinkaya MA, Demirutku A. 2012. Thermography in the assessment of equine lameness. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* **36**: 43–48.

Clark JA, Cena K. 1977. The potential of infra-red thermography in veterinary diagnosis. *Veterinary Record* **100**: 402–404.

Čebulj-Kadunc N, Frangež R, Kruljc P. 2020. Infrared Thermography in Equine Practice. *Veterinarska stanica* **51**: 109–116.

Durrant BS, Ravida N, Spady T, Cheng A. 2006. New technologies for the study of carnivore reproduction. *Theriogenology* **66**: 1729–1736.

Eddy AL, Van Hoogmoed LM, Snyder JR. 2001. The role of thermography in the management of equine lameness. *Veterinary Journal* **162**: 172–181.

Fernández-Cuevas I, Bouzas Marins JC, Arnáiz Lastras J, Gómez Carmona PM, Piñonosa Cano S, García-Concepción MA, Sillero-Quintana M. 2015. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology* **71**: 28–55.

Fonseca BPA, Alves ALG, Nicoletti JLM, Thomassian A, Hussni CA, Mikail S. 2006. Thermography and ultrasonography in back pain diagnosis of equine athletes. *Journal of Equine Veterinary Science* **26**: 507–516.

Formenti D, Merla A, Priego-Quesada JI. 2017. The Use of Infrared Thermography in the Study of Sport and Exercise Physiology. Pages 111–136 in Priego-Quesada JI, editor. *Application of infrared thermography in sports science*. Springer Nature, Switzerland.

Francis E, Ring J. 2012. History of Thermology and Thermography: Pioneers and Progress. In Gabriel J, Vardasca R, Ammer K, editors. *Thermology International*. European Association of Thermology and the Austrian Society of Thermology.

Fruehwirth B, Peham C, Scheidl M, Schobesberger H. 2004. Evaluation of pressure distribution under an English saddle at walk, trot and canter. *Equine Veterinary Journal* **36**: 754–757.

Guzzo N, Sartori C, Stelletta C, Bailoni L, Mantovani R. 2018. Comparison Between Stainless Steel and Titanium Snaffle Bits in Sport Horses During Show Jumping Exercise. *Journal of Equine Veterinary Science* **71**: 105–111.

Hammer C, Gunkelman M. 2020. Effect of different blanket weights on surface temperature of horses in cold climates. *Journal of Equine Veterinary Science* (e102848) DOI: 10.1016/j.jevs.2019.102848.

Hartmann E, Boe KE, Jorgensen GHM, Mejdell CM, Dahlborn K. 2017. Management of horses with focus on blanketing and clipping practices reported by members of the Swedish and Norwegian equestrian community. *Journal of Animal Science* **95**: 1104–1117.

Head J, Dyson S. 2001. Taking the temperature of equine thermography. *Veterinary Journal* **162**: 166–167.

Hilsberg S, Göltenboth R, Eulenbèrger K. 1997. Infrared thermography of zoo animals, first experience in its use for pregnancy diagnosis. *Verh Ber Erkr Zootiere* **38**: 187–190.

- Ijichi C, Evans L, Woods H, Yarnell K. 2020. The Right Angle: Validating a standardised protocol for the use of infra-red thermography of eye temperature as a welfare indicator. *Animal Welfare* **29**: 123–131.
- Jodkowska E, Dudek K. 2000. Studies on symmetry of body surface temperature of race horses. *Przeegl. Nauk. Lit. Zoot.* **50**: 307–319.
- Jones M, Denson A, Williams E, Graves K, dos Santos LD, Kouba A. 2005. Assessing pregnancy status using digital infrared thermal imaging in Holstein dairy heifers. *Journal of Animal Science* **83**: 40–41.
- Kameya T, Yamaoka S. 1968. Effect on atmospheric conditions on skin temperature in horses. *Experimental Reports of Equine Health Laboratory* **5**: 1–12.
- Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. 2012. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology* **55**: 221–235.
- Maniar N, Bach AJE, Stewart IB, Costello JT. 2015. The effect of using different regions of interest on local and mean skin temperature. *Journal of Thermal Biology* **49–50**: 33–38.
- Mejdell CJ, Jorgensen GHM, Buvik T, Torp T, Boe KE. 2019. The effects of weather conditions on the preference in horses for wearing blankets. *Applied Animal Behaviour Science* **212**: 52–57.
- Meschan EM, Peham C, Schobesberger H, Licka TF. 2007. The influence of the width of the saddle tree on the forces and the pressure distribution under the saddle. *The Veterinary Journal* **173**: 578–584.
- Mogg KC, Pollitt CC. 1992. Hoof and distal limb surface temperature in the normal pony under constant and changing ambient temperatures. *Equine Veterinary Journal* **24**: 134–139.
- Palmer SE. 1983. Effect of ambient temperature upon the surface temperature of equine limb. *American Journal of Veterinary Research* **44**: 1098–1101.
- Powell D, Bennett-Wimbush K, Peeples A, Duthie M. 2008. Evaluation of indicators of weight-carrying ability of light riding horses. *Journal of Equine Veterinary Science* **28**: 28–33.
- Priego-Quesada JI, Kunzler MR, Carpes FP. 2017a. Methodological Aspects of Infrared Thermography in Human Assessment. Pages 49–79 in Priego-Quesada JI, editor. *Application of infrared thermography in sports science*. Springer Nature, Switzerland.

Priego-Quesada JI, Ortiz de Anda RMC, Pérez-Soriano P, Palmer RS. 2017b. Introduction: Historical Perspective of Infrared Thermography and Its Application in Sport Science. Pages 1–23 in Priego-Quesada JI, editor. *Application of infrared thermography in sports science*. Springer Nature, Switzerland.

Priego-Quesada JI, Palmer RS, Ortiz de Anda RMC. 2017c. Physics Principles of the Infrared Thermography and Human Thermoregulation. Pages 25–48 in Priego-Quesada JI, editor. *Application of infrared thermography in sports science*. Springer Nature, Switzerland.

Prochno HC, Barussi FM, Bastos FZ, Weber SH, Bechara GH, Rehan IF, Michelotto PV. 2020. Infrared Thermography Applied to Monitoring Musculoskeletal Adaptation to Training in Thoroughbred Race Horses. *Journal of Equine Veterinary Science* (e102935)
DOI: 10.1016/j.jevs.2020.102935.

Rekant SI, Lyons MA, Pacheco JM, Arzt J, Rodriguez LL. 2016. Veterinary applications of infrared thermography. *American Journal of Veterinary Research* **77**: 98–107.

Ring FJ, Ammer K. 2012. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological Measurement* **33**: 33–46.

Soroko M, Davies-Morel MCG, Howell K. 2017. The Application of Infrared Thermography in Equestrian Sport. Pages 265–296 in Priego-Quesada JI, editor. *Application of infrared thermography in sports science*. Springer Nature, Switzerland.

Soroko M, Dudek K, Howell K, Jodkowska E, Henklevski R. 2014. Thermographic Evaluation of Racehorse Performance. *Journal of Equine Veterinary Science* **34**: 1076–1083.

Soroko M, Howell K. 2018. Infrared Thermography: Current Applications in Equine Medicine. *Journal of Equine Veterinary Science* **60**: 90–96.

Soroko M, Morel MCD. 2016. *Equine thermography in practice*. CABI, Wallingford.

Soroko M, Zaborski D, Dudek K, Yarnell K, Górnica W, Vardasca R. 2019. Evaluation of thermal pattern distributions in racehorse saddles using infrared thermography. *PLOS ONE* (e0221622) DOI: 10.1371/journal.pone.0221622.

Stelletta C, Giancesella M, Vencato J, Fiore E, Morgante M. 2012. Thermographic Applications in Veterinary Medicine. Pages 118–140 in Prakash R V, editor. *Infrared Thermography*. InTech, Croatia.

Strömberg B. 1971. The normal and diseased superficial flexor tendon in race horses. A morphologic and physiologic investigation. *Acta Radiologica Supplements* **305**: 1–94.

- Strömberg B. 1972. Thermography of the superficial flexor tendon in race horses. *Acta Radiologica: Diagnosis* **12**: 295–297.
- Strömberg B. 1974. The use of thermography in equine orthopedics. *Veterinary Radiology & Ultrasound* **15**: 94–97.
- Tálas L, Tálas L. 2017. Infrared thermography as an imaging diagnostics tool for equine medicine. *Magyar Állatorvosok Lapja* **139**: 259–268.
- Tesař J. 2014. Termografie v plazmových a laserových technologiích [disertační práce]. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň.
- Tunley BV, Henson FM. 2004. Reliability and repeatability of thermographic examination and the normal thermographic image of the thoracolumbar region in the horse. *Equine Veterinary Journal* **36**: 306–312.
- Turner TA, Fessler JF, Lamp M, Pearce JA, Geddes LA. 1983. Thermographic evaluations of podotrochlosis in horses. *American Journal of Veterinary Research* **44**: 535–539.
- Turner TA, Pansch J, Wilson JH. 2001. Thermographic assessment of racing thoroughbreds. *Proceedings of the Annual Convention of the AAEP* **47**: 344–346.
- Turner TA. 1991. Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* **7**: 311–338.
- Turner TA. 1996. Thermography as an aid in the localization of upper hindlimb lameness. *Pferdeheilkunde Equine Medicine* **12**: 632–634.
- Valera M, Bartolomé E, Sánchez MJ, Molina A, Cook N, Schaefer A. 2012. Changes in Eye Temperature and Stress Assessment in Horses During Show Jumping Competitions. *Journal of Equine Veterinary Science* **32**: 827–830.
- Van Hoogmoed LM, Snyder JR. 2002. Use of infrared thermography to detect injections and palmar digital neurectomy in horses. *Veterinary Journal* **164**: 129–141.
- Westermann S, Buchner HHF, Schramel JP, Tichy A, Stanek C. 2013. Effects of infrared camera angle and distance on measurement and reproducibility of thermographically determined temperatures of the distolateral aspects of the forelimbs in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **242**: 388–395.

Wilk I, Wnuk-Pawlak E, Janczarek I, Kaczmarek B, Dybczyńska M, Przetacznik M. 2020. Distribution of Superficial Body Temperature in Horses Ridden by Two Riders with Varied Body Weights. *Animals* (e10020340) DOI: 10.3390/ani10020340.

Yarnell K, Hall C, Billett E. 2013. An assessment of the aversive nature of an animal management procedure (clipping) using behavioral and physiological measures. *Physiology & Behavior* **118**: 32–39.