

# Neinvazivno mjerenje stresa kod goveda uporabom termografije

---

**Radošević, Tomislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:441601>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tomislav Radošević

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Zootehnika

**Ne invazivno mjerenje stresa kod goveda uz uporabu  
infracrvene termografije**

Završni rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tomislav Radošević

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Zootehnika

**Ne invazivno mjerenje stresa kod goveda uz uporabu  
infracrvene termografije**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Prof. dr. sc. Pero Mijić, mentor
2. Izv. prof. dr. sc. Tina Bobić, član
3. Doc. dr. sc. Maja Gregić, član

Osijek, 2021.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivrede, smjer Zootehnika

Završni rad

Tomislav Radošević

### **Ne invazivno mjerenje stresa kod goveda uz uporabu infracrvene termografije**

**Sažetak:** Infracrvena termografija je oprema ili metoda koja otkriva infracrvenu energiju koja se emitira iz objekta, pretvara je u temperaturu i prikazuje sliku raspodjele temperature. Kako bismo precizirali, opremu i metodu treba drugačije nazvati. Opremu možemo nazvati infracrvenim termografom, a metodu infracrvenom termografijom. Završni rad opisuje ne invazivno mjerenje stresa kod goveda uz uporabu infracrvene termografije. Naime, rad se sastoji od dva dijela. U prvi dio prikazuje definiciju infracrvene termografije i termo kamere. U drugom dijelu rada opisuje se istraživanje mjerenja stresa kod goveda navedenim instrumentima po fazama.

**Ključne riječi:** Infracrvena termografija, termo kamera, govedo, mjerenje stresa

26 stranica, 4 tablice, 5 slika, 23 literaturna navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
Undergraduate university study Agriculture, course Zootechnique

BSc Thesis

### **Non-invasive stress measurement in cattle using infrared thermography**

**Summary:** Infrared thermography is equipment or method that detects infrared energy emitted from an object, converted to temperature, and displays the temperature distribution temperature. To be precise, we should call the equipment and the method differently, call the equipment infrared thermograph, call the method infrared thermography. The final paper describes non-invasive stress measurement in cattle using infrared thermography. Namely, the work consists of two parts. The first part is theoretical which shows the definition of infrared thermography and thermal cameras. In the second part of the paper, they described the research of measuring stress in cattle visited instruments by stages.

26 pages, 4 tables, 5 figures, 23 references

**Keywords:** infrared thermography, thermal camera, cattle, stress measurement

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek.

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. Uvod .....  | 1  |
| 2. Infracrvena termografija.....                         | 2  |
| 2.1. Termalna energija.....                              | 4  |
| 2.2. Emisivnost .....                                    | 5  |
| 2.3. Razlika od infracrvenog filma .....                 | 6  |
| 2.4. Pasivna naspram aktivne termografije .....          | 6  |
| 2.5. Prednosti .....                                     | 7  |
| 2.6. Ograničenja i nedostaci.....                        | 7  |
| 3. Primjer ne invazivnog mjerenja stresa kod goveda..... | 9  |
| 3.1. Termografska kamera.....                            | 11 |
| 3.2. Uzorkovanje krvi .....                              | 13 |
| 3.3. Infracrvena termografija .....                      | 14 |
| 3.4. Hormonski testovi.....                              | 14 |
| 3.5. Neesterificirane masne kiseline .....               | 15 |
| 3.6. Statistička analiza .....                           | 15 |
| 3.7. Rezultati .....                                     | 15 |
| 4. Učinkovitost IRT metode.....                          | 21 |
| 5. Zaključak .....                                       | 23 |
| 6. Pregled literature .....                              | 25 |

## 1. UVOD

Ne postoje standardne, univerzalno prihvaćene znanstvene definicije stresa, straha ili boli kod životinja. Ovaj nedostatak konsenzusa u pogledu definicija odražava složenost i poteškoće u procjeni dobrobiti životinja. Strah je definiran kao emocionalni / anticipativni odgovor na uočenu opasnost, koja igra presudnu ulogu u motiviranju životinja da izbjegnu potencijalno štetne situacije. Stres je definiran kao stanje koje nastaje kada životinja postane nenormalna ili se od iste traže ekstremne prilagodbe u njenoj fiziologiji ili ponašanju kako bi se mogla nositi s nepovoljnim značajkama svog okruženja i upravljanja. Stoga je strah primarna emocija koja motivira životinju na bijeg, a stres je mehanizam koji tjera životinju da brže reagira i bježi. Stres je samo prikladan izraz koji označava opću temu rasprave, a u nekim slučajevima je najbolje izbjegavati upotrebu izraza (Rushen, 2000.).

Procjena i ublažavanje boli i stresa tijekom i nakon rutinskih uzgojnih postupaka koji se koriste na stočarskim farmama (poput uklanjanja roščića ili kastracija teladi) važne su sastavnice dobrobiti farmi. Kod domaćih životinja bol se tradicionalno zanemaruje, a liječenje boli nije napredovalo u jednakoj mjeri kao kod kućnih životinja. To je zbog mnogih čimbenika, uključujući dostupnost učinkovitih analgetika, stavove farmera i veterinara te etička pitanja u vezi s upotrebom domaćih životinja u istraživanjima. Međutim, sada postoji viša razina javne svijesti i brige o dobrobiti životinja na farmi, a posljednjih godina potražnja potrošača vršila je pritisak na poljoprivredne industrije da osiguraju proizvode koji 'pogoduju dobrobiti' koji ujedno zadovoljavaju visoke standarde kvalitete i sigurnosti hrane. Unatoč dokazima koji dokazuju dobrobit dobrobiti od upotrebe analgetika, u većini je zemalja još uvijek uobičajena praksa i zakonito provođenje postupaka poput uklanjanja pupoljaka, uklanjanja rogova i kastracije mlade teladi bez ublažavanja boli. Razlozi koji se koriste za objašnjenje nedostatka analgetika kod domaćih životinja uključuju praktične i ekonomske čimbenike, poteškoće u primjeni lijekova, nisku vrijednost životinje, visoke troškove liječenja, oskudicu odobrenih analgetika za upotrebu kod životinja namijenjenih za prehranu ljudi i zabrinutost zbog ostataka lijekova u hrani (Vinuela-Fernandez i sur., 2007.).

Cilj ovog rada je bio pregledno prikazati najvažnije značajke infracrvene termografije u primjeni ne invazivnog mjerenja stresa kod goveda.

## 2. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA

Infracrvena termografija (IRT), termičko snimanje i toplinski video primjeri su znanosti o infracrvenom slikanju. Termografske kamere obično otkrivaju zračenje u daljinskom infracrvenom rasponu elektromagnetskog spektra (otprilike 9000–14.000 nanometara ili 9–14  $\mu\text{m}$ ) i proizvode slike tog zračenja, nazvane termogramima. Budući da infracrveno zračenje emitiraju svi objekti s temperaturom iznad apsolutne nule prema zakonu o zračenju crnog tijela, termografija omogućava vidjeti nečije okruženje sa ili bez vidljivog osvjetljenja. Količina zračenja koju emitira objekt povećava se s temperaturom. Dakle, termografija omogućuje uvid u razlike u temperaturi. Ako se gledaju preko termičke kamere, topli predmeti dobro se ističu u pozadini hladnjaka; ljudi i druge toplokrvne životinje postaju lako vidljivi u okolini, danju ili noću. Kao rezultat toga, termografija je posebno korisna vojsci i drugim korisnicima nadzornih kamera.

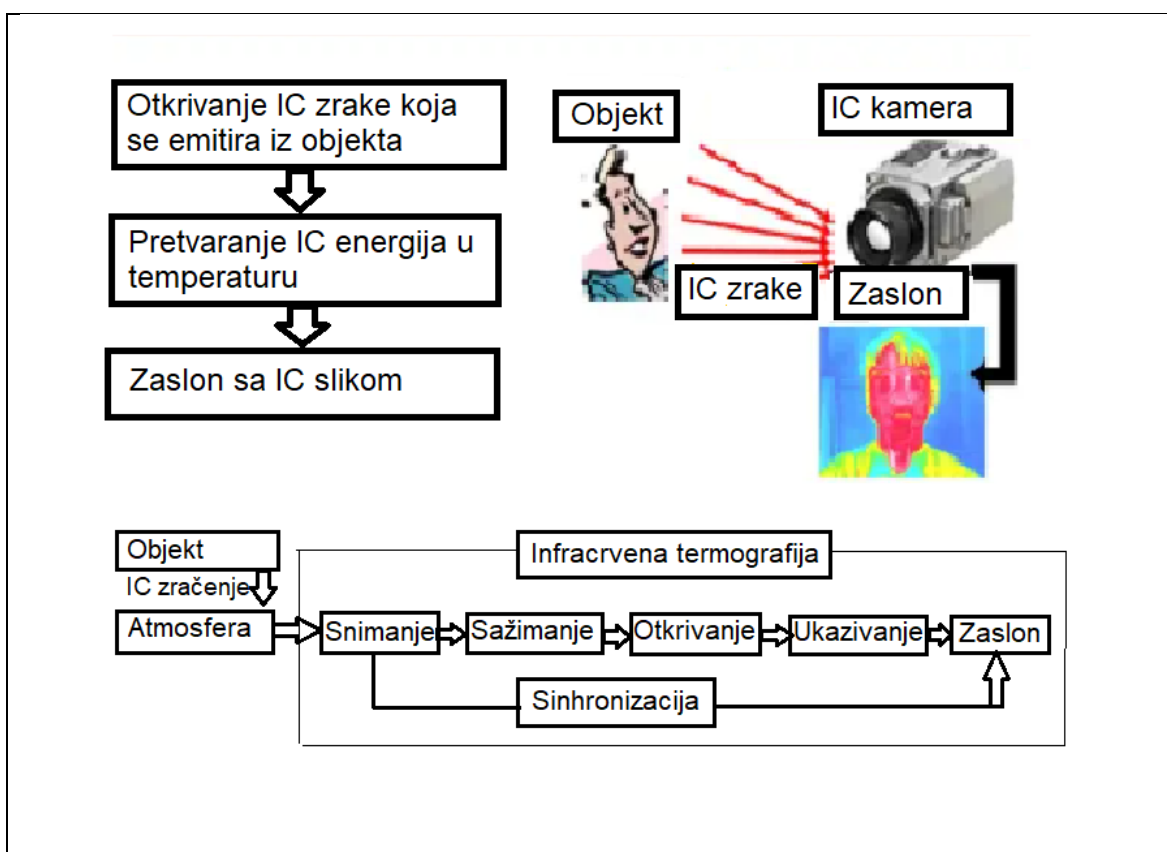
Neke fiziološke promjene kod ljudi i drugih toplokrvnih životinja također se mogu nadzirati toplinskim snimanjem tijekom kliničke dijagnostike. Termografija se koristi u otkrivanju alergija i veterini. Neki liječnici alternativne medicine promoviraju njegovu uporabu za probir dojki, unatoč upozorenju FDA-e da „oni koji se odluče za ovu metodu umjesto mamografije mogu propustiti priliku da otkriju rak u najranijoj fazi“. Vladino i zračno osoblje koristili su termografiju za otkrivanje sumnjivih slučajeva svinjske gripe tijekom pandemije 2009. godine.

Termografija ima dugu povijest, iako se njezina upotreba dramatično povećala s komercijalnom i industrijskom primjenom u posljednjih pedeset godina. Vatrogasci koriste termografiju kako bi vidjeli kroz dim, pronašli osobe i lokalizirali podlogu požara. Tehničari za održavanje koriste termografiju za pronalaženje pregrijavanja spojeva i dijelova dalekovoda, što je znak predstojećeg kvara. Građevinski tehničari mogu vidjeti toplinske potpise koji pokazuju istjecanje topline u neispravnoj toplinskoj izolaciji i mogu koristiti rezultate za poboljšanje učinkovitosti grijaćih i klimatizacijskih jedinica.

Izgled i rad moderne termografske kamere često je sličan kamkorderu. Često živi termogram otkriva temperaturne razlike tako jasno da fotografija nije potrebna za analizu. Modul za snimanje nije uvijek ugrađen. Nespecijalizirani CCD i CMOS senzori imaju većinu spektralne osjetljivosti u području valne duljine vidljive svjetlosti. Međutim, korištenjem područja „njihove“ spektralne osjetljivosti, naime dijela infracrvenog spektra koji se naziva

blizu infracrveni (NIR), i korištenjem CCTV kamere bez polica, u određenim okolnostima moguće je dobiti istinske toplinske slike objekata s temperaturom oko 280 ° C i višom.

Specijalizirane kamere za termičku obradu koriste žarišne matrice (FPA) koje reagiraju na veće valne duljine (infracrveni srednji i dugi valni duljina). Najčešći tipovi su InSb, InGaAs, HgCdTe i QWIP FPA. Najnovije tehnologije koriste jeftine, neohlađene mikroblometre kao FPA senzore. Njihova razlučivost znatno je niža nego kod optičkih kamera, uglavnom 160x120 ili 320x240 piksela, do 1280 x 1024 za najskuplje modele. Kamere za termičko snimanje mnogo su skuplje od njihovih "kolega" vidljivog spektra, a modeli viših razreda često su ograničeni na izvoz zbog vojne upotrebe ove tehnologije. Stariji bolometri ili osjetljiviji modeli poput InSb zahtijevaju kriogeno hlađenje, obično minijaturnim hladnjakom iz ciklusa Stirlinga ili tekućim dušikom.



Slika 1. Princip rada infracrvene kamere i termografije

## 2.1. Termalna energija

Toplinske slike ili termogrami zapravo su vizualni prikazi količine infracrvene energije koju emitira, prenosi i reflektira objekt. Budući da postoji više izvora infracrvene energije, teško je dobiti točnu temperaturu objekta korištenjem ove metode. Kamera s termičkim slikama može izvoditi algoritme za interpretaciju tih podataka i izgradnju slike. Iako slika gledatelju



prikazuje približnu temperaturu na kojoj objekt djeluje, kamera zapravo koristi više izvora podataka na temelju područja oko objekta za određivanje te vrijednosti, a ne otkrivanje stvarne temperature.

Ova pojava može postati jasnija kada se uzme u obzir formula:

Incident Radiant Power = emitirana snaga zračenja + odašiljana snaga zračenja + reflektirana snaga zračenja;

gdje se radijska snaga zračenja odnosi na snagu zračenja kada se promatra kroz termičku kameru. Emitovana snaga zračenja je obično ono što se želi mjeriti; prenesena snaga zračenja je radijalna snaga koja prolazi kroz subjekt iz udaljenog toplinskog izvora,  $i$ ; odbijena snaga zračenja je količina snage zračenja koja se odbija od površine objekta od udaljenog toplinskog izvora (Herschel, 1800.).

Taj se fenomen pojavljuje svuda, cijelo vrijeme. To je proces poznat kao zračenja izmjenom topline, jer je snaga zračenja  $\times$  vrijeme jednaka zračnoj energiji. Međutim, u slučaju infracrvene termografije, gornja jednadžba koristi se za opisivanje snage zračenja unutar frekvencijskog opsega spektralne valne duljine toplinske slike koja se koristi. Potrebe zračenja toplinske izmjene opisane u jednadžbi primjenjuju se jednako na svakoj valnoj duljini u elektromagnetskom spektru.

Ako objekt zrači na višoj temperaturi od okoline, tada će se odvijati prijenos snage i snaga će zračiti od toplog do hladnog slijedeći princip iz drugog zakona termodinamike. Ako u hladnom području postoji termogram, taj će objekt apsorbirati zračenje toplog objekta.

Sposobnost objekata da emitiraju naziva se emisivnost, a ako apsorbiraju zračenje naziva se apsorptivnost. U vanjskim okruženjima može se uzeti u obzir i konvektivno hlađenje od vjetra kada se pokušava dobiti precizno očitavanje temperature.

Kamera toplinskog snimanja koristila bi niz matematičkih algoritama. Budući da kamera može vidjeti samo elektromagnetsko zračenje koje je ljudskim okom nemoguće detektirati, ona će u gledatelju izgraditi sliku i snimiti vidljivu sliku, obično u JPG formatu.

Kako bi izvršio ulogu beskontaktnog uređaja za snimanje temperature, kamera će promijeniti temperaturu objekta koji se pregledava pomoću svoje postavke emitivne emisije.

Za utjecaj na mjerenje mogu se koristiti i drugi algoritmi, uključujući sposobnost prijenosa medija (obično zraka) i temperaturu tog prijenosnog medija. Sve će ove postavke utjecati na krajnji ishod za temperaturu objekta koji se gleda.

Ova funkcija čini termalnu kameru odličnim alatom za održavanje električnih i mehaničkih sustava u industriji i trgovini. Upotrebom ispravnih postavki kamere i pažnjom prilikom snimanja slike mogu se skenirati električni sustavi i pronaći problemi. Lako je pronaći greške s parnim klopama u sustavima parnog grijanja.

U području uštede energije, termalna kamera može učiniti više. Budući da može vidjeti efektivnu temperaturu zračenja objekta i ono što taj objekt zrači, to može pomoći u pronalaženju izvora toplinskog curenja i pregrijanih područja.

## **2.2. Emisivnost**

Emisivnost je pojam koji se često pogrešno shvaća i zlouporabljuje. Predstavlja sposobnost materijala da emitira toplinsko zračenje i optičko je svojstvo materije.

Svaki materijal ima različitu emisivnost, koja se može razlikovati ovisno o temperaturi i infracrvenoj valnoj duljini. Na primjer, čiste metalne površine imaju emisivnost koja se smanjuje pri većim valnim duljinama; mnogi dielektrični materijali, kao što su kvarc ( $\text{SiO}_2$ ), safir ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kalcijev fluorid ( $\text{CaF}_2$ ), itd., imaju emisivnost koja raste pri većoj valnoj duljini; jednostavni oksidi, poput željezovog oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), pokazuju relativno ravnu emisivnost u infracrvenom spektru.

Emisivnost materijala može se kretati od teorijskih 0,00 (potpuno ne emitirajući) do jednako teorijskih 1,00 (u potpunosti emitirajuće). Primjer tvari s niskom emisijskom snagom bi bilo srebro s koeficijentom emisivnosti 0,02. Primjer tvari s visokom emisijskom snagom bi bio asfalt, s koeficijentom emisivnosti 0,08.

Crno tijelo je teoretski objekt s emisijskom snagom 1 koji zrači toplinskim zračenjem karakterističnim za njegovu dodirnu temperaturu. To jest, ako bi temperatura kontakta toplinski ujednačenog radijatora crnog tijela bila  $50\text{ }^\circ\text{C}$  ( $122\text{ }^\circ\text{F}$ ), crno tijelo emitira toplinsko zračenje karakteristično za  $50\text{ }^\circ\text{C}$  ( $122\text{ }^\circ\text{F}$ ). Običan predmet emitira manje infracrvenog zračenja od teorijskog crnog tijela. Udio njegove stvarne emisije u teorijskoj emisiji (crnog tijela) je njegova emisivnost (ili koeficijent emisivnosti).

Da biste izvršili mjerenje temperature objekta pomoću infracrvenog slika, potrebno je procijeniti ili odrediti emitivnost objekta. Za brzi rad, termograf može uputiti tablicu emisije

za određenu vrstu objekta i unijeti tu vrijednost u imager. Slikovni uređaj zatim bi izračunao temperaturu kontakta objekta na temelju vrijednosti upisane u tablicu i emisije infracrvenog zračenja objekta kako je detektirao.

Kako bi dobio preciznije mjerenje temperature, termograf može na površinu predmeta primijeniti standardni materijal poznate visoke emisije. Standardni materijal može biti tako složen kao industrijski sprej za emisiju emisije proizveden posebno za tu svrhu ili jednostavan kao standardna crna izolacijska vrpca, s emisivnom snagom od oko 0,97. Poznata temperatura objekta može se tada izmjeriti standardnom emisivnošću. Po želji, stvarna emisijska snaga objekta (na dijelu objekta koji nije pokriven standardnim materijalom) može se tada odrediti podešavanjem postavke imagera na poznatu temperaturu. Međutim, postoje situacije kada takav ispitivanje emisije nije moguće zbog opasnih ili nepristupačnih uvjeta. U tim se situacijama termograf mora osloniti na tablice (Barr, 1962. a).

### **2.3. Razlika od infracrvenog filma**

IR film osjetljiv je na infracrveno (IR) zračenje u rasponu od 250 do 500 ° C (482 do 932 ° F), dok je raspon termografije približno od -50 do 2.000 ° C (-58 do 3.632 ° F). Dakle, da bi IR film termografski radio, mora biti iznad 250 ° C (482 ° F) ili biti odraz infracrvenog zračenja iz nečega što je barem tako vruće.

Infracrveni uređaji noćnog vida slikaju se u infracrvenom, neposredno izvan vizualnog spektra, i mogu vidjeti emitiranu ili reflektiranu blizinu infracrvene veze u potpunoj vizualnoj tami. Međutim, opet, oni se obično ne koriste za termografiju zbog visokih temperaturnih potreba, već se umjesto toga koriste s aktivnim izvorima blizu IR.

Uređaji za noćno gledanje zvjezdanog svjetla uglavnom povećavaju samo okolno svjetlo.

### **2.4. Pasivna naspram aktivne termografije**

Svi objekti iznad apsolutne nulte temperature (0 K) emitiraju infracrveno zračenje. Stoga je izvrstan način mjerenja toplinskih varijacija upotreba uređaja s infracrvenim vidom, obično infracrvenom kamerom fokalne ravni (FPA) koja može detektirati zračenje u srednjem (3 do 5  $\mu\text{m}$ ) i dugom (7 do 14  $\mu\text{m}$ ) valovima infracrvenog zračenja pojasevi, označeni kao MWIR i LWIR, što odgovara dvama infracrvenim prozorima visoke propusnosti. Nenormalni temperaturni profili na površini objekta pokazatelj su potencijalnog problema.

U pasivnoj termografiji karakteristike koje se zanimaju su prirodno na višoj ili nižoj temperaturi od pozadine. Pasivna termografija ima brojne primjene kao što su nadzor ljudi na mjestu događaja i medicinska dijagnoza (posebno termologija).

U aktivnoj termografiji potreban je izvor energije da se proizvede toplinski kontrast između karakteristike koja je zanimljiva i pozadine. Aktivni pristup je nužan u mnogim slučajevima s obzirom na to da su pregledani dijelovi u ravnoteži s okolinom. S obzirom na superlinearnosti zračenja crnog tijela, aktivna termografija se također može koristiti za poboljšanje razlučivosti sustava za obradu slike preko granice difrakcije ili za postizanje mikroskopije super rezolucije (Barr, 1962. b).

## **2.5. Prednosti**

Prema navodima prikazuje vizualnu sliku pa se temperature na velikom području mogu usporediti. Može uhvatiti pokretne ciljeve u stvarnom vremenu. Može otkriti propadanje, tj. Komponente s višom temperaturom prije njihovog neuspjeha. Može se koristiti za mjerenje ili promatranje na područjima koja su nepristupačna ili opasna za druge metode. To je nerazorna metoda ispitivanja. Može se koristiti za pronalaženje oštećenja u osovinama, cijevima i drugim metalnim ili plastičnim dijelovima. Može se koristiti za otkrivanje predmeta u tamnim područjima. Ima neku medicinsku primjenu, u osnovi u fizioterapiji (Corsi, 1995.).

## **2.6. Ograničenja i nedostaci**

Postoje razne kamere jeftinije i skuplje. Kvalitetne kamere često imaju visoki raspon cijena (često 3.000 USD ili više) zbog troška većeg niza piksela (najmodernije 1280 x 1024), dok su jeftiniji modeli (s nizovima piksela od 40x40 do 160x120 piksela) također dostupno. Manji broj piksela smanjuje kvalitetu slike što otežava razlikovanje neposrednih ciljeva unutar istog vidnog polja.

Postoji razlika i u brzini osvježavanja. Neki fotoaparati mogu imati osvježavajuću vrijednost samo 5–15 Hz, drugi (npr. FLIR X8500sc) 180 Hz ili čak više, bez načina punog prozora.

Također leća može biti integrirana ili ne.

Mnogi modeli ne daju mjerenja zračenja koja se koriste za izradu izlazne slike; gubitak ovih podataka bez ispravne kalibracije za emisivnost, udaljenost i temperaturu okoline i relativnu vlažnost zraka podrazumijeva da su rezultirajuće slike inherentno neispravna mjerenja temperature. Slike mogu biti teško precizno protumačiti ako se temelje na određenim

objektima, posebno objektima s promjenjivim temperaturama, mada je ovaj problem smanjen u aktivnom toplinskom snimanju.

Termografske kamere stvaraju toplinske slike na temelju zračenja toplinske energije koju prima. Budući da na razine zračenja utječe emisija i refleksija zračenja, poput sunčeve svjetlosti s površine koja se mjeri, to uzrokuje pogreške u mjerenjima. Većina kamera ima  $\pm 2\%$  točnosti ili lošije u mjerenju temperature i nisu tako točne kao kontaktne metode. Metode i instrumenti ograničeni su na izravno otkrivanje površinske temperature (Graciani i Amblard (2019.)).

### 3. PRIMJER NE INVAZIVNOG MJERENJA STRESA KOD GOVEDA

Aktivacija osi hipotalamus-hipofiza-nadbubrežna žlijezda (HPA) primarni je fiziološki odgovor na stres kod sisavaca. Mjerenje aktivnosti HPA iz kortikosteroida u plazmi obično se koristi za procjenu akutnih reakcija na stres na postupke upravljanja kod mliječnih goveda. Međutim, mnoge metode koje se koriste za mjerenje stresa zahtijevaju suzdržavanje, rukovanje i uzimanje uzorka krvi životinje jer može izazvati odgovor na stres i dovesti do zbunjujućih rezultata. Zato je kao podloga za navedenu tezu osi HPA daleko zanimljivije pratiti ne invazivno mjerenje stresa. Današnja razina tehnologije omogućuje ovakva mjerenja. Do sada je rađeno više ne invazivnih mjerenja stresa kod sisavaca. U ovom radu pratit ćemo istraživanje koja su rađena na govedima pri čemu su mjerene promjene temperature očiju pomoću infracrvenom termografijom (IRT). Kao podloga za ovakvo može nam poslužiti istraživanje koje su proveli Stewart i sur., (2006.). Autori su u svojim istraživanjima radili šest različitih stimulacija naprezanja osi HPA, a istraživanje je provedeno na šest krava Holstein pasmine dobi od 3 do 5 godina.

Tretmani su bili davani u vremenu 0, a uzorci krvi uzeti su u -30, -15, 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 120, 180 i 240 min, osim epinefrina koji je uzorkovan na -30, -15, -10, -5, 0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 i 120 minuta. Temperatura jezgre je bila snimana svakih 10 min, a slike očiju prikupljene svake 2 minute. Temperatura oka i kortizol se povećao nakon kateterizacije ( $P < 0,05$ ), a ACTH se povećao nakon bCRH, kortizol se povećao nakon ACTH, a bCRH ( $P < 0,001$ ) i NEFA povećao slijedeći epinefrin ( $P < 0,001$ ). Tretmani nisu utjecali na temeljnu tjelesnu temperaturu. Na očnu temperaturu nije utjecao bCRH i epinefrin, ali je bila viša nakon 30 i 60 min kontrole. Rezultati daju dokaz tome da egzogena stimulacija HPA ne povećava temperaturu očiju. Temperatura oka povećava se nakon kateterizacije te se ipak, povećava mogućnost kognitivnog komponenta koji može biti potreban da se pojavi reakcija očne temperature.

Aktivacija osi hipotalamo-hipofiza-nadbubrežna (HPA) primarni je fiziološki odgovor na stres kod sisavaca. Mjerenje HPA aktivnosti iz plazme se obično koristi za procjenu akutnih reakcija na stres u goveda. Nažalost, mnoge metode koje se koriste za mjerenje stresa zahtijevaju suzdržavanje, rukovanje i uzimanje uzorka krvi životinje što može uzrokovati nastanak reakcija na stres i dovodi do zbunjujućih rezultata.

Na primjer, prikupljanje singla uzorka krvi putem jugularne venepunktore ili iz jugularnog kateter može uzrokovati porast koncentracije kortizola u plazmi kod kravljeg mlijeka do 60,

odnosno 130 min. Iako je HPA aktivnost korisna mjera stresa, ona ne obuhvaća cjelinu reakcija na stres (npr. simpatički i kognitivni ili emocionalni odgovori) te oprez treba uzeti kod tumačenja aktivnosti HPA. Uloge kognitivnih i emocionalnih reakcija na stres prepoznaju se kao važno razmatranje pri tumačenju reakcije na stres. Stoga su pouzdane, neinvazivne metode sposobne za mjerenje čitavog spektra reakcija na stres te bi uvelike poboljšale sposobnost procjene o skrbi životinja.

Bliski odnos stresa i metaboličkog sustava dobro je dokumentiran. Kada se simpatički živčani sustav aktivira zbog stresa, otkucaji srca se povećavaju, oslobađa se adrenalin (epinefrin), aktivacija  $\beta$ -receptora povećava raspoloživost metaboličkih "goriva", poput glukoze i masnih kiselina, a protok krvi se preraspodijeli na skeletni i srčani mišići kako bi se životinja pripremila za odgovor odnosno borbu ili bijeg. Temperatura ekstremiteta i kože uvelike ovisi o količini krvi koja teče kroz periferne žile, zbog čega se protok krvi mijenja, a kao rezultat stres će izmijeniti količinu zračene topline koja se gubi na termoregulacijskim mjestima životinja.

Nedavna istraživanja, koristeći IRT, pokazala su da temperatura oka može biti dobar pokazatelj stresa. Konkretno, temperatura malih područja oko stražnje granice očnog kapka i *caruncula lacrimalis*, koji imaju bogate kapilarne slojeve, unutar kojih se nalazi korica simpatičkog sustava, reagiraju na promjene u protoku krvi. IRT može otkriti suptilno temperaturne promjene u ovom području kao odgovor na stres uzrokovan od strane ljudi (Pavlidis i sur., 2002.).

Levine i sur. (2001.) otkrili su da se temperatura očiju povećala kao odgovor na iznenadni glas i buku kod ljudi, što sugerira da je povezan s povećanjem protoka krvi do oka. Temperatura oka se također povećala kao odgovor na uklanjanje baršunastog roga u Wapiti. Cook i sur. Istražili su uzroke ovog povećanja temperature oka pomoću IRT-a i kortizola iz plazme i sline kao mjere adrenokortikalne i metaboličke aktivnosti u konja. Usklađivanje uzoraka krvi, sline i slika očiju, kako navode Cook-u i sur (2005.). sakupljeni su u određenim intervalima prije i nakon injekcije adrenokortikotrofne hormona (ACTH).

Došlo je do značajne korelacije između maksimalne temperature oka i kortizola iz sline i u plazmi, što sugerira promjene u samoj temperaturi oka koje se mogu potaknuti aktiviranjem osi HPA. Međutim, specifično je da odgovori i mehanizmima koji su uključeni u promatranom odnosu između HPA osi i IRT-a nisu poznati. Bilo bi potrebno odrediti koje su

komponente HPA te je potreban i vremenski okvir odgovora kako bi se detaljnije poboljšao IRT kao tehnika za mjerenje stresa.

Cilj ovog istraživanja bio je istražiti potencijal korištenja IRT-a za mjerenje temperature očiju kao sredstvo za otkrivanje stresa kod goveda. To je postignuto mjerenjem reakcije očne temperature na stimulaciju različitih komponenti stresnog sustava, uključujući HPA, simpatičan i psihološki sustav. Nadalje, za procjenu na kojoj je razini osi HPA uključena, mjerena je temperatura oka ACTH i goveđeg kortikotropina koji oslobađa hormon (bCRH) te su prepoznate metode za procjenu funkcije osi HPA kod goveda.

Epinefrinski izazov korišten je za utvrđivanje utječe li temperatura oka i na simpatički živčani sustav. Epinefrin je kateholamin koji uglavnom izlučuje medula, nadbubrežna žlijezda, i kao odgovor na stres, rezultira pojačanim otkucajima srca, hidrolizom glikogena do glukoze i razgradnju lipida u masnim stanicama. Djeluje i na proširivanje zjenice i ograničava protok krvi u koži i crijevima. Na kraju, istražit će se i temperatura oka kao odgovor na psihološki stresor, a koristila se socijalna izolacija (tj. Krava - govedo je bilo izolirano od ostatka svoje skupine).

Hipoteze bile su da bi temperatura oka porasla kada su krave podvrgnute ACTH, bCRH i izolaciji, a smanjenje u odgovor na epinefrin. Kateterizacija za gore navedene izazove osigurala je priliku za procjenu reakcije očne temperature na ovaj stresor.

### **3.1. Termografska kamera**

Termografska kamera (koja se naziva i infracrvena kamera ili termička kamera ili termički imaler) je uređaj koji stvara sliku pomoću infracrvenog zračenja, sličan uobičajenoj kameri koja oblikuje sliku koristeći vidljivu svjetlost. Umjesto 400–700 nanometričkog raspona kamere za vidljivo svjetlo, infracrvene kamere osjetljive su na valne duljine od oko 1.000 nm (1  $\mu$ m) do oko 14.000 nm (14  $\mu$ m). Praksa hvatanja i analiziranja podataka koje pružaju naziva se termografija.

Infra crvene zrake otkrio je Sir William Herschel 1800 kao oblik zračenja izvan crvene svjetlosti. Te "infracrvene zrake" (infra je latinski prefiks za "ispod") uglavnom su korištene za termičko mjerenje. Postoje četiri osnovna zakona IR zračenja: Kirchhoffov zakon toplinskog zračenja, Stefan-Boltzmannov zakon, Planckov zakon i Wien-ov zakon izmještanja. Razvoj detektora bio je uglavnom usmjeren na upotrebu termometra i bolometara sve do Prvog svjetskog rata. Značajan korak u razvoju detektora dogodio se



1829. godine, kada je Leopoldo Nobili, pomoću Seebeckovog efekta, stvorio prvi poznati termoelement, izrađujući poboljšani termometar, sirovi termopile. Opisao je ovaj instrument Macedonio Melloni. U početku su zajednički razvili znatno poboljšani instrument. Nakon toga, Melloni je radila sama, razvijajući instrument 1833. godine (višeslojni termopile) koji je mogao otkriti osobu udaljenu 10 metara. Sljedeći značajan korak u poboljšanju detektora bio je bolometar, koji je 1880. izumio Samuel Pierpont Langley. Langley i njegov pomoćnik Charles Greeley Abbot nastavili su poboljšavati ovaj instrument. Do 1901. godine imao je sposobnost otkrivanja zračenja od krave s 400 metara udaljenosti i bio je osjetljiv na razlike u temperaturi od sto tisuća udjela Celzijusa. Prva komercijalna termička kamera prodana je 1965. godine za inspekcije visokonaponskih vodova.

Prva napredna primjena IR tehnologije u civilnom odjeljenju možda je uređaj za otkrivanje prisutnosti ledenih brijega i parobrodskih brodova pomoću ogledala i termopila, patentiran 1913. godine. To je ubrzo nadmašilo prvi pravi IR detektor ledenog brijega, koji nije koristio termopile, koji je 1914. patentirao R. D. Parker. Slijedio je G.A. Barker-ov prijedlog da se IR sustav koristi za otkrivanje šumskih požara 1934. Tehnika nije bila istinski industrijalizirana sve dok nije korištena za analizu ujednačenosti grijanja u vrućim čeličnim trakama 1935. godine (Hapke, 2012.).

Slike s infracrvenih kamera obično su jednobojne jer kamere uglavnom koriste senzor slike koji ne razlikuje različite valne duljine infracrvenog zračenja. Senzori slike u boji zahtijevaju složenu konstrukciju za razlikovanje valnih duljina, a boja ima manje značenja izvan normalnog vidljivog spektra, jer se različite valne duljine ne podudaraju jednoliko u sustavu boje vida koji koristi čovjek.

Ponekad se ove jednobojne slike prikazuju u pseudo boji, gdje se koriste promjene u boji, a ne promjene intenziteta za prikaz promjena u signalu. Ova tehnika, nazvana rezanje gustoće, korisna je jer ljudi imaju mnogo veći dinamički raspon u detekciji intenziteta od ukupne boje, mogućnost da se uoče sitne razlike intenziteta u svijetlim područjima je prilično ograničena.

Za mjerenje temperature najsvjetliji (najtopliji) dijelovi slike su obično bijele boje, crvene i žute boje srednjih temperatura, a najtamniji (najsladji) dijelovi crne boje. Pored lažne slike u boji treba prikazati ljestvicu kako bi se boje odnosile na temperature. Njihova razlučivost znatno je niža nego kod optičkih kamera, uglavnom samo 160 x 120 ili 320 x 240 piksela, iako skuplje kamere mogu postići rezoluciju od 1280 x 1024 piksela. Termografske kamere

mного su skuplje od njihovih parova vidljivog spektra, premda su niske performanse dodatnih termalnih kamera za pametne telefone postale dostupne za stotine dolara u 2014. Modeli višeg ranga često se smatraju dvostrukom i izvozom ograničenom, osobito ako je rezolucija 640 x 480 ili veća, osim ako brzina osvježavanja nije 9 Hz ili manja. Izvoz toplotnih kamera reguliran je Pravilnikom o međunarodnom prometu oružja.

U neohladenim detektorima temperaturne razlike na pikselima senzora su minutne; 1 ° C razlika na prizoru inducira samo 0,03 ° C razlike na senzoru. Vrijeme reakcije piksela je također prilično sporo, u rasponu od nekoliko desetaka milisekundi.

Termografija pronalazi mnoge druge svrhe. Na primjer, vatrogasci ga koriste za promatranje dima, pronalaženje ljudi i lokaliziranje žarišta požara. Uz termičko snimanje, tehničari za održavanje dalekovoda pronalaze spojeve i dijelove za pregrijavanje, što je znak njihovog kvara, kako bi uklonili potencijalne opasnosti. Tamo gdje toplinska izolacija postane neispravna, građevinski tehničari za građevinarstvo mogu uočiti istjecanje topline radi poboljšanja učinkovitosti hlađenja ili grijanja klimatizacijskih uređaja.

Kamere za termičku obradu ugrađene su i u neke luksuzne automobile kako bi se pomoglo vozaču (Automotive night vision), a prvi je bio Cadillac DeVille 2000.

Neke fiziološke aktivnosti, posebice reakcije poput groznice kod ljudi i drugih toplokrvnih životinja mogu se pratiti i termografskim snimanjem. Ohlađene infracrvene kamere mogu se naći u glavnim astronomskim istraživačkim teleskopima, čak i onima koji nisu infracrveni teleskopi.

### **3.2. Uzorkovanje krvi**

Vremena uzorkovanja krvi za tretmane T1-T4 bila su na -30, -15, 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90 i 120 min u odnosu na tretmane koji su primijenjeni u vremenu 0. Uzorci krvi (25 ml) uzeti su putem jugularnog katetera u štrcaljku. Pokazano je da pouzdano procjenjuju kortizol u plazmi i ACTH reakcije na HPA izazov za 4-6 sati.

Za liječenje T5, intervali uzorkovanja su bili -30, -15, -5, 0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 i 120, kako su opisali Kolver i sur. uzimanje uzorka, intervali za T6 bili su isti kao i za T1-T4, osim osnovne vrijednosti (prethodna obrada), a uzorci su uzimani svakih 20 min.

Uzorci krvi također su prikupljeni od svih krava prije postupka kateterizacije, venompunkcijom kaudalnih vena i nakon kateterizacija, putem jugularnog katetera, u prvom i drugom tjednu. Uzorci krvi prikupljeni kateterom odmah su stavljeni u dvije različite cijevi

za usisavanje. Za NEFA i kortizol krv je stavljena u epruvete koje sadrže Litijev heparinski antikoagulant, stavljen na led, centrifugiran u roku od jednog sata od sakupljanja i pohranjen na -20o C do ispitivanja. Za ACTH, krv je prenesena u K3-EDTA epruvete, te se odmah centrifugira i čuva na -80 ° C do ispitivanja. Plazma je ispitana za koncentracije kortizola, ACTH i ne-esterificirane masne kiseline (NEFA) ((Stewart i sur., 2006.).

### **3.3. Infracrvena termografija**

Dvije identične kamere bile su od koristi za prikupljanje slika očiju tako da se istovremeno uzorkovanje od šest životinja često moglo postići. Prikupljanje slika započelo je neposredno prije prve početne analize uzorka krvi i završeno u trenutku zadnjeg uzimanja uzorka krvi. Svaki operator infracrvene kamere više puta se kretao između tri krave, istim redoslijedom, pri čemu je snimio po jednu sliku svakog vremenskog perioda, što rezultira u prosjeku 2,37 min između slika za svaku kravu tokom cijelog razdoblja istraživanja. Sve su krave skenirane s iste strane (slijeva), kuta (90 stupnjeva) i udaljenost (0,5-1,0 m). Uzimale su se i slike očiju za svaku kravu prije i poslije svakog postupka kateterizacije. Temperatura okoline i relativna vlaga unutar staje bilježili su se svakih 30 min, te su te vrijednosti korištene tijekom analize slike kako bi se omogućile atmosferske promjene. Slike su snimljene kao JPEG datoteke i pohranjene na kompaktnoj flash kartici unutar fotoaparata. Softver za analizu slika (ThermaCam Researcher 2.7, FLIR Systems AB, Danderyd, Švedska) korišten je za određivanje maksimalne temperature unutar ovalnog područja oko očiju, uključujući očnu jabučicu i oko 1 cm okruženja vanjske strane kapka BINDT, 2009.).

### **3.4. Hormonski testovi**

Kortizol je izmjeren korištenjem radioimunoeseja dvostrukog antitijela kako je opisano prethodno. Minimalna detektirajuća razina bila je 0,58 ng / ml. Unutarnji test koeficijent varijacije (CV) za bazene plazme s 4,4, 45,5 i 86,2 ng / ml 0,0, 6,7 i 4,4%, odnosno životopisi između ispitivanja (n = 2) za iste bazene bili su 14,6, 12,7 i 9,4%. Koncentracija ACTH u plazmi određena je korištenjem, a dvostruko imunoradiometrijsko ispitivanje (Euro-Diagnostica B.V., Arnhem, Nizozemska) kako su opisali Fisher i sur. Osjetljivost testa bila je 2,2 pmol / l. Kroz intra-test CV (n = 2) za uzorke koji sadrže 5,6 i 50,7 pmol / l iznosio je 0,0 i 3,2% respektivno, i životopisi između ispitivanja (n = 2) bili su 12,6, odnosno 2,4%, respektivno.

### **3.5. Neesterificirane masne kiseline**

Uzorci plazme testirani su na koncentracije neesterificiranih masnih kiselina (NEFA) (kolorimetrijska metoda: Wako, Japan) pomoću Hitachi 717 analizatora (Roche) na 30 ° C by Alpha Scientific Ltd (Hamilton, Novi Zeland).

### **3.6. Statistička analiza**

Promjena očne temperature tijekom 30 minuta pred-tretmana (isključujući prvi uzorak) izračunata je linearnom regresijom za svaku životinju svaki dan. Ove promjene zatim su analizirane pomoću ANOVA za izračunavanje srednje promjene za svaki tretman. Promjena temperature očiju kao odgovor na svaki tretman je izračunata za svaku životinju oduzimanjem prosječne temperature tijekom 30 minuta pred-obrađe od prosječne temperature tijekom 30 ili 60 minuta nakon tretmana.

Promjene u očnoj temperaturi analizirane su pomoću ANOVA da bi se odredili učinci liječenja. Ista metoda korištena je za tjelesne temperature osim REML (ograničena korištena analiza - najveća vjerojatnost) jer nisu sve životinje imale jezgru mjerenja temperature na sve dane. Za tretman socijalne izolacije promjene na oku, temperatura od predobrađe do prvog tretiranja uzorka i do 15 i 30 minuta poslije tretmana izračunata je za svaku životinju. Značaj ovih razlika testiran je t-testom. Visina vrha, vrijeme vrha i prilagođeno područje ispod krivulje (područje odziva na liječenje minus kontrolno područje odziva, AUC) koncentracije ACTH i kortizola izračunate su za svaku životinju svaki dan, i analizirane pomoću ANOVA.

Za ACTH su i AUC i visina vrha bili log transformirane zbog nenormalne distribucije podataka. Prosječna temperatura očiju i koncentracija kortizola neposredno prije i nakon dvije kateterizacije izračunati su postupci, a dvostruki t-test upotrijebljen je za analizu razlika. Upotrijebljeni t-test također je korišten za usporedbu plazemskih koncentracija NEFA u vrijeme primjene epinefrina s vršnom koncentracijom 5 minuta nakon tretmana.

### **3.7. Rezultati**

Nakon tretmana bili su izraženi vrhovi koncentracija kortizola i ACTH s ACTH i bCRH, a vrlo malo se povećava nakon epinefrina ili socijalne izolacije. Kortizol je dosegao vrh između 40 i 42 min nakon ACTH i bCRH tretmana. AUC za ACTH bio je veći nego na kontroli nakon visoke doze bCRH ( $P < 0,001$ ), a AUC za kortizol bila je veća nakon oba ACTH i bCRH nego na kontroli ( $P < 0,001$ ). Nije bilo učinka epinefrina kao ni socijalne

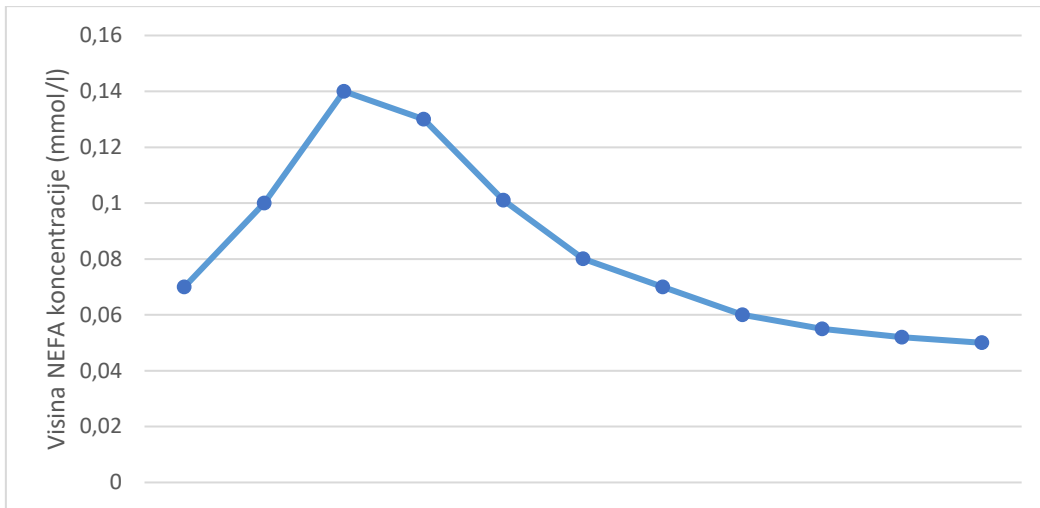
izolacije na AUC zbog ACTH ili kortizola. Značajno su povećane koncentracije NEFA nakon epinefrina, a razina je dostignuta već 5 minuta nakon tretmana ( $P < 0,001$ ).

Reakcije očne temperature su različite u različitim tretmanima (slika 2). Tijekom polaznih granica prethodne obrade, temperatura očiju porasla je ( $P < 0,01$ ) i u kontrolnoj i u ACTH skupini (Tablica 2). Prosječna temperatura očiju bila je viša 30 i 60 min nakon tretmana za krave kojima je dodan ACTH i fiziološka otopina (kontrola) u usporedbi s 30 min polaznih vrijednosti predtretmana ( $P < 0,001$ ) (Tablica 3). Prvo mjerenje temperature oka snimljeno nakon društvenih izolacija je bila niža od osnovne ( $P < 0,01$ ) i razine na 30 min ( $P < 0,001$ ).

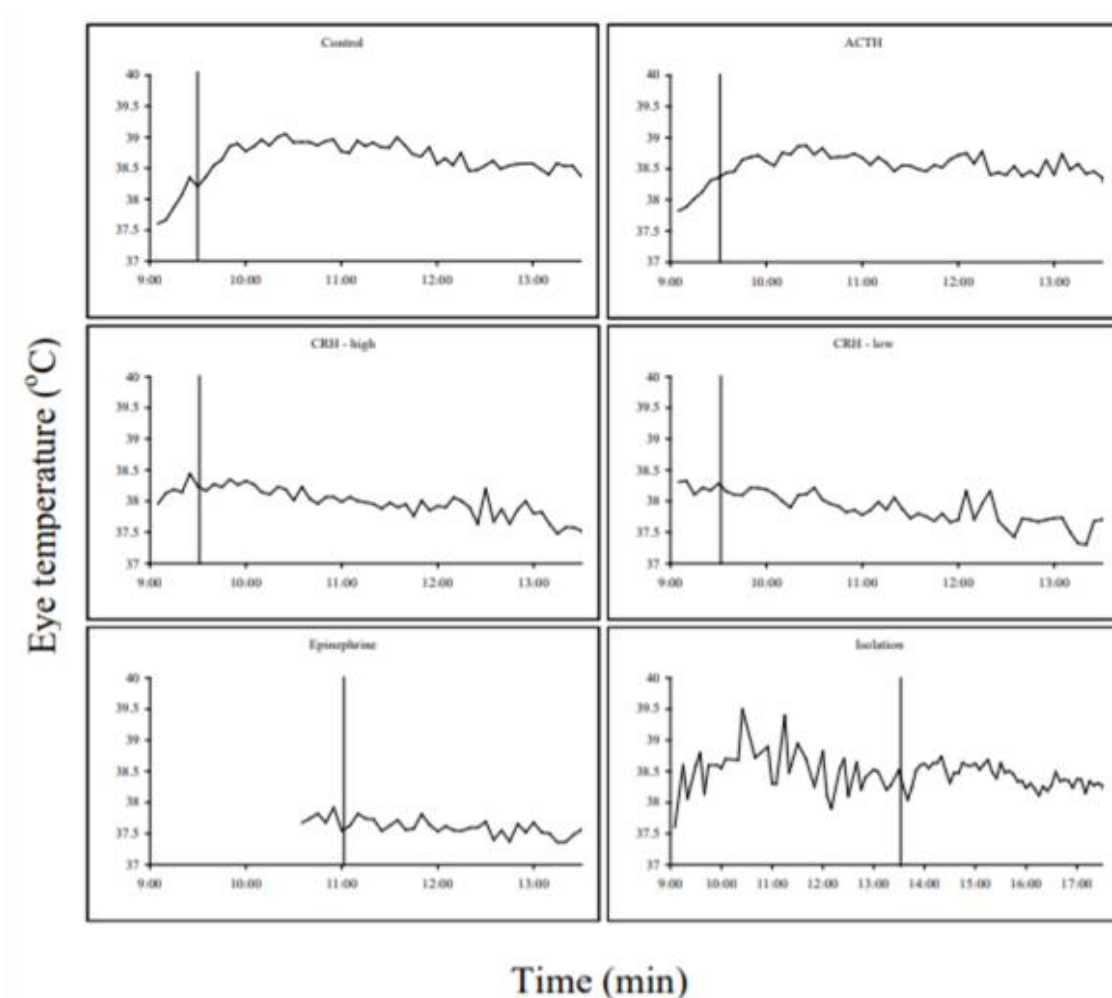
Tablica 1. Srednja vrijednost pred-tretmana, srednja visina vrha i vrijeme do vrha ACTH u plazmi i koncentracije kortizola 1 sat nakon tretmana i dodani (iznad kontrole) AUC (Stewart i sur., 2006.)

| Tretman    | ACTH                                      |                        |                           |                 | Kortizol                                  |                        |                           |                 |
|------------|---|------------------------|---------------------------|-----------------|---|------------------------|---------------------------|-----------------|
|            | Srednja vrijednost prije tretmana (pg/ml) | Visina vrhunca (pg/ml) | Vrijeme vrhunca (min:sec) | AUC (pg/ml)min) | Srednja vrijednost prije tretmana (ng/ml) | Visina vrhunca (ng/ml) | Vrijeme vrhunca (min:sec) | AUC (ng/ml)min) |
| Kontrola   | n/a                                       | n/a                    | n/a                       | n/a             | n/a                                       | n/a                    | n/a                       | n/a             |
| ACTH       | 35,5                                      | 94,0                   | 05:01                     | -180,1          | 2,0                                       | 45,1                   | 41:40                     | 4005,6          |
| CRH niski  | 25,8                                      | 83,0                   | 17:30                     | 1086,4          | 2,4                                       | 37,7                   | 40:00                     | 2096,6          |
| CRH visoki | 25,9                                      | 101,9                  | 22:29                     | 2865,1          | 1,6                                       | 36,8                   | 39:59                     | 2589,2          |
| Epiferin   | 31,5                                      | 38,0                   | 15:20                     | -521,9          | 4,7                                       | 10,5                   | 15:00                     | 105,5           |
| Izolacija  | 32,8                                      | 39,6                   | 20:00                     | -609,7          | 4,7                                       | 14,1                   | 20:50                     | 566,0           |
| Se         | 12,8                                      | 12,9                   | 09:51                     | 603,3           | 2,2                                       | 3,0                    | 04:47                     | 341,5           |

Izvor: Izrada autora prema Stewart, M., Non-invasive measurement of stress and pain in cattle using infrared thermography, 2008, Massey University, Palmerston North, New Zealand



Slika 2. Srednja koncentracija NEFA u plazmi nakon liječenja epinefrinom (Stewart i sur., 2006.)



Slika 3. Prosječna temperatura očiju kao odgovor na šest tretmana. Okomite crte označavaju vrijeme primjene tretmana (Stewart i sur., 2006.)

Tablica 2. Stopa porasta (stupnjeva / min) temperature očiju tijekom perioda predtretmana od 30 minuta za svaki tretman (Stewart i sur., 2006.)

| Tretiranje | Nagib (stupanj/min) |
|------------|---------------------|
| Kontrola   | 0,030               |
| ACTH       | 0,023               |
| CRH niski  | -0,003              |
| CRH visoki | 0,013               |
| Epiferin   | -0,001              |
| Izolacija  | -0,003              |
| Sed        | 0,009               |

Tablica 3. Prosječna temperatura očiju 30 minuta prije i 30 i 60 min nakon tretmana (Stewart, 2006.)

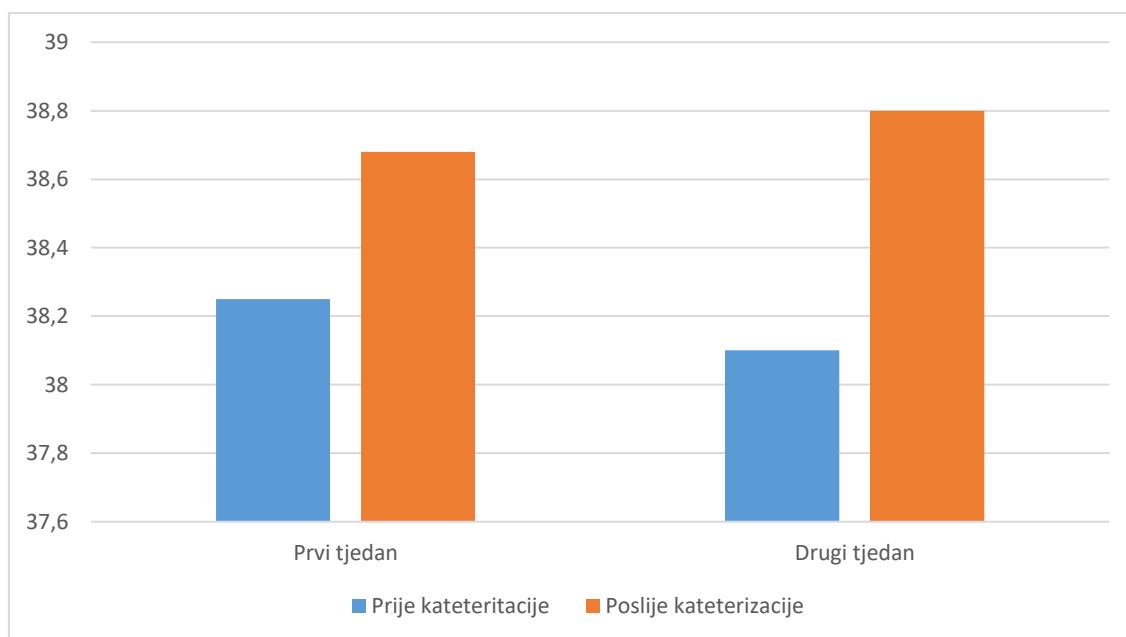
| Tretman    | 30 minuta prije | 30 minuta poslije | 60 minuta poslije | Razlika 30 min | Razlika 60 min |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|
| Kontrola   | 37,9            | 38,6              | 38,8              | 0,7            | 0,9            |
| ACTH       | 37,8            | 38,4              | 38,5              | 0,5            | 0,6            |
| CRH niski  | 37,0            | 37,0              | 36,9              | 0,0            | -0,1           |
| CRH visoki | 37,2            | 37,2              | 37,2              | 0,1            | 0,1            |
| Epiferin   | 36,6            | 36,5              | 36,5              | -0,1           | -0,1           |
| Izolacija  | 38,4            | 38,4              | 38,5              | -0,1           | 0,0            |
| Sed        |                 |                   |                   | 0,12           | 0,12           |

Postojala je tendencija povećanja tjelesne temperature jezgre nakon liječenja za sve životinje, ali nije bilo značajnih razlika između prosječne temperature jezgre te temperatura tijekom osnovne vrijednosti i 30 i 60 min nakon bilo kojeg od tretmana (tablica 4).

Očne temperature i koncentracije kortizola nisu se značajno povećale nakon kateterizacija u prvom tjednu ( $P > 0,05$ ), ali one su bile veće ( $P = 0,002$  i  $P = 0,026$  odnosno) nakon kateterizacije kada je postupak ponovljen tjedan dana kasnije (Slike 3 i 4).

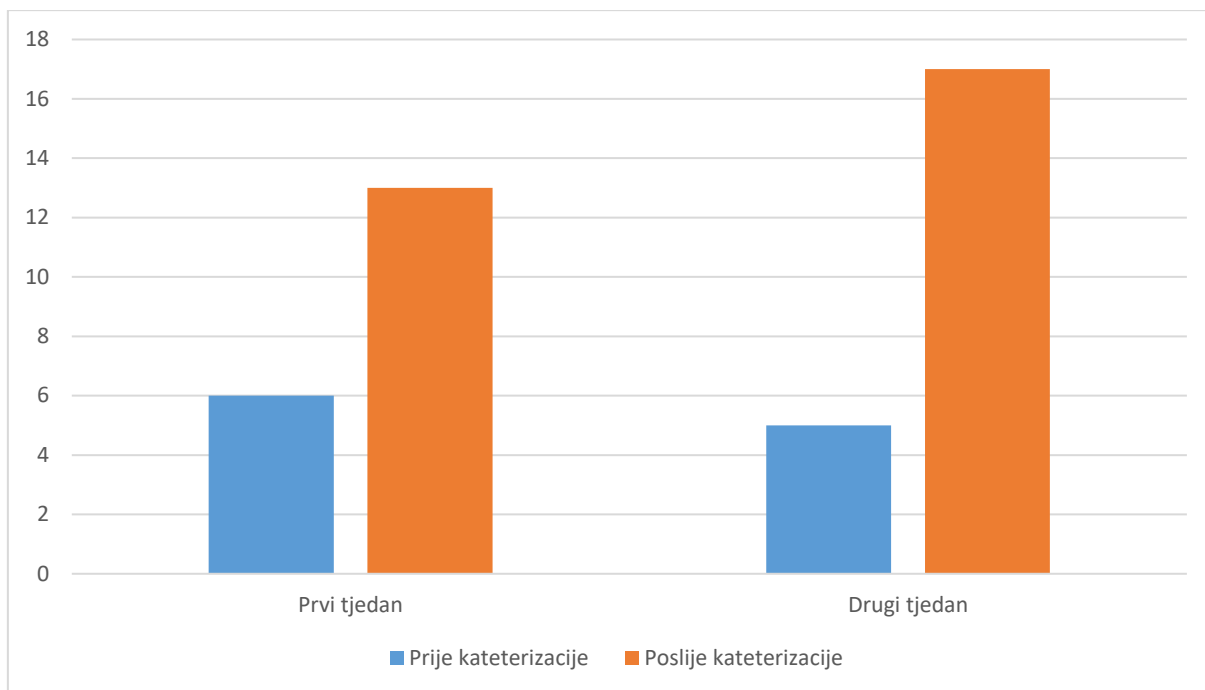
Tablica 4. Prosječna tjelesna temperatura jezgre 30 min prije i 30 i 60 min nakon tretmana (Stewart, 2006.)

| Tretman    | 30 min prije | 30 min poslije | 60 min poslije | Procjena REML 30 min | Procjena REML 60 min |
|------------|--------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|
| Kontrola   | 38,1         | 38,4           | 38,4           | 0,2                  | 0,3                  |
| ACTH       | 38,5         | 38,5           | 38,5           | 0,1                  | 0,2                  |
| CRH niski  | 38,4         | 38,5           | 38,5           | 0,1                  | 0,1                  |
| CRH visoki | 38,3         | 38,5           | 38,4           | 0,2                  | 0,2                  |
| Epiferin   | 38,4         | 38,5           | 38,5           | 0,0                  | 0,0                  |
| Izolacija  | 38,3         | 38,4           | 38,4           | 0,1                  | 0,1                  |
| Sed        |              |                |                | 0,08                 | 0,08                 |



Slika 4. Prosječna temperatura očiju neposredno prije i nakon prvog (prvi tjedan) i drugi (drugi tjedan) postupci kateterizacije (Stewart, 2006.)





Slika 5. Prosječne koncentracije kortizola u plazmi neposredno prije i nakon prvog (prvi tjedan) i drugog (drugi tjedan) postupka kateterizacije (Stewart, 2006.).

#### 4. UČINKOVITST IRT METODE

Tokom istraživanja nisu pronađeni dokazi koji bi podupirali hipoteze da se temperatura oka mjerena korištenjem IRT povećava kao odgovor na egzogeno stimuliranje aktivnosti HPA ili smanjuje kao odgovor na injekciju epinefrina. Reakcije kortizola u plazmi i ACTH na tretmane ACTH i bCRH bili su u skladu s prethodnim istraživanjima koja su to i potvrdila. Rezultati stoga nisu u skladu s rezultatima Kuka i sur. koji su otkrili povezanost između temperature očiju i razine kortizola nakon ubrizgavanja ACTH u konje. Mogući razlozi za to odstupanje između istraživanja su eksperimentalnog dizajna, jer u istraživanju nije provedeno nikakvo kontrolno liječenje poput fiziološke otopine, IRT i uzorci krvi uzimani su rjeđe (svakih 20 min) od onih u ovom istraživanju, a razlika je i u vrstama životinja (u ovom istraživanju korištene su krave, a ne konji). Također, treba imati na umu da se sposobnost otkrivanja porasta očne temperature nakon liječenja može smanjiti sa porastom očne temperature prije tretmana. Iako, činilo se da su ove mliječne krave bile visoko naviknute na ljudski kontakt te su i olakšice koje su smatrane, pa tako i postupci, mogli prouzrokovati da se temperatura povećava prije liječenja.

Predviđeno je da će se primijetiti pad temperature očiju kao odgovor na epinefrin zbog simpatički posredovanog smanjenja protoka krvi i rezultirajućeg smanjenje gubitka topline iz orbitalnih kapilarnih korita. Nakon epinefrina, liječenjem se povećala koncentracija NEFA u plazmi, što ukazuje na mobilizaciju masne kiseline, a temperatura očiju obično se smanjivala postupno, ali ne značajno. Moguće je da doza epinefrina nije bila dovoljna da uzrokuje smanjenje perifernog protoka krvi ili da interval uzorkovanja nije bio dovoljno čest da se vidi, a pad temperature očiju je bio samo kratkotrajan (Levine, 2001.).

Eksperimentalni model nije bio osmišljen za otkrivanje brzog pada u temperature očiju nakon tretmana. Ipak, niža temperatura očiju prvog uzorka nakon društvene izolacije sugerira da je moglo doći do pada. Ovaj rezultat je nedovoljan za rješavanje ovog problema jer uzorkovanje nije bilo dovoljno učestalo da se zabilježi nagli pad očne temperature, a bazne linije su bile previše promjenjive. Još jedno objašnjenje za nedostatak odgovora mogao bi biti ono aktiviranje simpatičkog sustava egzogenim epinefrinom. Možda nije reprezentativan za cjelokupni repertoar tijela (npr. bihevioralno, neuroendokrine i autonomne) reakcije na stres do kojih bi došlo tijekom borbe ili let odgovor na fizički ili psihološki stresor. Izvijestio je McMillan kako nekoliko istraživanja, koja pokazuju da sama aktivacija simpatika ne daje učinak reakcija na stres, ali kada je prisutan stres ili strah, simpatička aktivacija pojačava odgovor. Ovo također može objasniti zašto nije bilo učinaka

liječenja na tjelesnu jezgru temperatura kao što ni dani egzogeni tretmani možda nisu potaknuli pun i dovoljan odziv na stres potreban da uzrokuje promjenu tjelesne temperature jezgre.

Druga istraživanja pokazala su da životinja možda ne opaža i pokazuje znakove stresa, čak i kad je fiziološki izazvan, osim ako nema kognitivne svijesti da se stres događa. Ta važnost kognitivne svjesnosti može objasniti nedostatak reakcije očne temperature nakon egzogenih tretmana. Stimulacija osi naprezanja koristeći egzogeni ACTH, CRH i epinefrin nisu imali kognitivnu komponentu, dok je postojala socijalna izolacija i kateterizacija. Nakon druge kateterizacije porast i kod kortizola i očne temperature bila je veća nego što je bilo nakon prve, što je moglo biti posljedica iščekivanja postupka, tj. bilo je percipirani stresor kao i fiziološki stresor. Mogućnost da postoji kognitivna komponenta također može objasniti zašto su druga istraživanja pokazala povećavanje temperature oka kada postoji psihološka komponenta, poput reakcije na baršun, uklanjanje roga i kontakt s ljudima.

Zaključno, ovo istraživanje pronašlo je dokaze da egzogena stimulacija osi HPA sama po sebi ne uzrokuje porast očne temperature. Međutim, povećanje temperature oka nakon kateterizacije postavlja pitanje uključivanja kognitivnih komponenti u ovom odgovoru i treba ih riješiti (Costello, 2012.).

## 5. ZAKLJUČAK

Infracrvena termografija (IRT), termičko snimanje i toplinski video primjeri su znanosti o infracrvenom slikanju. Termografske kamere obično otkrivaju zračenje u daljinskom infracrvenom rasponu elektromagnetskog spektra (otprilike 9000–14.000 nanometara ili 9–14  $\mu\text{m}$ ) i proizvode slike tog zračenja, nazvane termogramima. Budući da infracrveno zračenje emitiraju svi objekti s temperaturom iznad apsolutne nule prema zakonu o zračenju crnog tijela, termografija omogućava vidjeti nečije okruženje sa ili bez vidljive osvjetljenja. Količina zračenja koju emitira objekt povećava se s temperaturom; dakle, termografija omogućuje uvid u razlike u temperaturi. Ako se gledaju preko termičke kamere, topli predmeti dobro se ističu u pozadini hladnjaka; ljudi i druge toplokrvne životinje postaju lako vidljivi u okolini, danju ili noću. Kao rezultat toga, termografija je posebno korisna vojsci i drugim korisnicima nadzornih kamera.

Toplinske slike ili termogrami zapravo su vizualni prikazi količine infracrvene energije koju emitira, prenosi i reflektira objekt. Budući da postoji više izvora infracrvene energije, teško je dobiti točnu temperaturu objekta korištenjem ove metode. Kamera s termičkim slikama može izvoditi algoritme za interpretaciju tih podataka i izgradnju slike. Iako slika gledatelju prikazuje približnu temperaturu na kojoj objekt djeluje, kamera zapravo koristi više izvora podataka na temelju područja oko objekta za određivanje te vrijednosti, a ne otkrivanje stvarne temperature.

Infracrveni uređaji noćnog vida slikaju se u infracrvenom, neposredno izvan vizualnog spektra, i mogu vidjeti emitiranu ili reflektiranu blizinu infracrvene veze u potpunoj vizualnoj tami. Međutim, opet, oni se obično ne koriste za termografiju zbog visokih temperaturnih potreba, već se umjesto toga koriste s aktivnim izvorima blizu IR.

Postoje razne kamere jeftinije i skuplje. Kvalitetne kamere često imaju visoki raspon cijena (često 3.000 USD ili više) zbog troška većeg niza piksela (najmodernije 1280 x 1024), dok su jeftiniji modeli (s nizovima piksela od 40x40 do 160x120 piksela) također dostupno. Manji broj piksela smanjuje kvalitetu slike što otežava razlikovanje neposrednih ciljeva unutar istog vidnog polja.

Mogućnost promjene temperature očiju, mjereno infracrvenom termografijom (IRT), može otkriti stres kod mliječnih goveda, a ispitano je sa šest različitih stimulacija osi naprezanja.

Nismo pronašli dokaze koji bi podupirali naše hipoteze da je temperatura oka mjerena korištenjem IRT, povećava se kao odgovor na egzogeno stimuliranje aktivnosti HPA ili smanjuje u odgovor na injekciju epinefrina. Reakcije kortizola u plazmi i ACTH na tretmane ACTH i bCRH bili su u skladu s prethodnim studijama koje su to potvrdile. Naši rezultati stoga nisu u skladu s rezultatima Kuka i sur. koji su otkrili povezanost između temperature očiju i razine kortizola nakon ubrizgavanja ACTH u konje i sugeriralo je da HPA osovina možda vozi odgovor IRT-a. Mogući razlozi za to odstupanje između studija su eksperimentalnog dizajna, jer u studiji nije provedeno nikakvo kontrolno liječenje poput fiziološke otopine Cook i sur., IRT i uzorci krvi uzimani su rjeđe (svakih 20 min) od onih u ovoj studiji ili razlika u vrstama između konja i krava muzara. Također, treba imati na umu da se naša sposobnost otkrivanja porasta očne temperature nakon liječenja može smanjiti sa porastom očne temperature prije tretmana. Iako, činilo se da su ove mliječne krave bile visoko naviknute na ljudski kontakt te su i olakšice koje su smatrane pa tako i postupci mogli prouzrokovati da se temperatura povećava prije liječenja.

## 6. PREGLED LITERATURE

1. Barr, E. S. (1962.): The infrared pioneers-II. Macedonio Melloni. *Infrared Physics*, 2 (2), 67-74.
2. Barr, E. S. (1962.): The infrared pioneers-III. Samuel Pierpoint Langley. *Infrared Physics*, 2 (3) 195-206.
3. BINDT - The British Institute of Non-Destructive Testing (2009.): FLIR infrared cameras help detect the spreading of swine flu and other viral diseases. <https://www.bindt.org/News/june-2009/FLIR-infrared-cameras-help-detect-the-spreading-of-swine-flu-and-other-viral-diseases/> Pristupljeno: 10. 04. 2021.
4. Cook, N. J., Schaefer A.L., Warren, L, Burwash, L, Anderson, M., Baron, V. (2001.): Adrenocortical and metabolic responses to ACTH injection in horses: An assessment by salivary cortisol and infrared thermography of the eye. *Can. J. Anim. Sci.*, 81:621.
5. Corsi, C. (1995.): Smart sensors. *Microsystem Technologies*. 1 (3), 149–154.
6. Costello, J.T., McInerney C.D., Bleakley C.M., Selfem J., Donnelly, A.E. (2012.): "The use of thermal imaging in assessing skin temperature following cryotherapy: a review"
7. Fisher AD, Verkerk GA, Morrow CJ, Matthews LR. (2002.): The effects of feed restriction and lying deprivation on pituitary-adrenal axis regulation in lactating cows. *Livest Prod Sci*
8. Fraser, D., Ritchie, J.S., Fraser, A.F. (1975.): The term "stress" in a veterinary context. *Br. Vet. J.* 131, 653-662.
9. Graciani, G., Amblard, F. (2019.): Super-resolution provided by the arbitrarily strong superlinearity of the blackbody radiation. *Nature Communications*. 10 (1): 5761. [doi.org/10.1038/s41467-019-13780-4](https://doi.org/10.1038/s41467-019-13780-4).
10. Hapke B. (2012.): *Theory of Reflectance and Emittance Spectroscopy*. Cambridge University Press <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025683>
11. Herschel, W. (1800.): Experiments on the refrangibility of the visible rays of the sun. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 90, 284–292.
12. Kolver. E.S., Roche, J.R., De Veth, M.J., Mackle, T.R. (2001.): Lipolytic response of New Zealand and overseas Holstein-Friesian dairy cows challenged with epinephrine. U zborniku radova: Proceedings of the 61st New Zealand Society of Animal Production, ur. Peterson, S.W., Lincoln University, Christchurch, New Zealand
13. Levine, J.A., Pavlidis, I., Cooper, M. (2001.): The face of fear. *Lancet*. 357, (9270) 1757.

14. McMillan FD. (2005): *Mental health and well-being in animals*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
15. Molony, V., Kent, J.E. (1997.): Assessment of acute pain in farm animals using behavioral and physiological measurements. *J. Anim. Sci.* 75, 266-272.
16. Porev VA, Porev GV (2004.): "Experimental determination of the temperature range of a television pyrometer". *Jou. of Optical Tech.* 71 (1): 70–71.
17. Pavlidis, I., Eberhardt, N.L., Levine, J.A.. (2002.): Human behaviour: Seeing through the face of deception. *Nature.* 415, 35. /doi.org/10.1038/415035a.
18. Rushen, J. (2000.): Some issues in the interpretation of behavioural responses to stress. In: Moberg, G.P., Mench, J.A. (Eds.), *The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare*, CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 23-42.
19. Stewart, M., Webster, J.R., Schaefer, A.L., Cook, N.J., Scott, S.L. (2005.): Infra-red thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare.* 14, 319-325.
20. Stewart, M., Webster, J.R., Verkerk, G.A., Schaefer, A.L., Colyn, J.J., Stafford, K.J. (2006.): Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiology and Behavior.* 92, 520-525.
21. Verkerk G A, Macmillan K L, McLeay L M. (1994.): Adrenal cortex response to adrenocorticotrophic hormone in dairy cattle. *Domest Anim Endocrinol*
22. Vinuela-Fernandez, I., Jones, E., Welsh, E. M., Fleetwood-Walker, S. M. (2007.): Pain mechanisms and their implication for the management of pain in farm and companion animals. *Vet. J.*, 174, (2), 227-239. doi: 10.1016/j.tvjl.02.002.
23. <http://www.infrared.avio.co.jp/en/products/ir-thermo/what-thermo.html#:~:text=Infrared%20thermography%20is%20equipment%20or,displays%20image%20of%20temperature%20distribution>