

Milan Čoh¹, Brane Širok², Tom Bajcar², Matevž Dular², Marko Hočvar², Mitja Bračič¹

Uporaba termovizije pri športnem treningu

V prispevku je predstavljena infrardeča (IR) diagnostična metoda, ki je eno od orodij za spremljanje obremenitvenih stanj športnikov pri njihovih treningih. Prednost metode je v kvantitativnem pristopu, hitri analizi in primerjalnih študijah, ki so možne z njeno uvedbo. Predstavljeni so vsi osnovni mehanizmi prenosa toplote na površini kože, kar omogoča razumevanje eksperimentalnih rezultatov, ki so v prispevku podani kot distribucija temperaturnega polja na izbrani površini kože, ki se v odvisnosti od integralnih parametrov obremenitve športnika spreminjajo s časom. Raziskane so značilne spremembe polja v odvisnosti od telesnih obremenitev športnika atleta. Poleg kvalitativnega vrednotenja topoloških struktur temperaturnega polja smo ocenili časovne spremembe krajevno povprečne temperature v izbranem oknu in pripadajoča krajevna nihanja temperature v odvisnosti od časa za posamezne obremenitvene režime treninga. Rezultati raziskave navajajo na smiselnost uporabe IR-metode pri spremljanju različnih tipov obremenitev posameznih mišičnih segmentov telesa športnikov. Prav tako je metodo mogoče uporabiti kot primerjalno orodje ugotavljanja učinkovitosti različnih sredstev in metod procesa treninga.

Gljučne besede: športni trening, termovizija, diagnostike, mišične obremenitve

Thermovision and sport training

This article presents infra-red (IR) colour diagnostic method as one of the tools for monitoring changes in athletes' loading during exercise. The advantage of the method lies in its quantitative approach, rapid analysis and comparative studies that are enabled by application of this method. All basic mechanisms of convection of heat on skin surface are presented, thus allowing comprehension of experimental results. In this article, these are shown as distribution of temperature field on a selected skin area and, depending on integral parameters of athlete's loading, change with time. The characteristic changes in the field were investigated, depending on the physical loading of athlete. In addition to quality evaluation of topological structures of the temperature field, the time-related changes in locally averaged temperatures in a selected window were assessed as well as the pertaining time-dependent local temperature variations in individual loading regimes of training. The study results imply that the application of the IR method in monitoring various types of loading of athlete's muscle segments is reasonable. This method may also be used as a comparative tool for establishing the efficiency of different means and methods in the training process.

Key words: thermovision, diagnostics, muscle loading, training.

Uvod

Termovizija je brezstična metoda merjenja toplotnega sevanja na površini telesa, ki temelji na infrardečem delu elektromagnetnega spektra. Pogosto se uporablja kot neinvazivna metoda v medicini pri diagnostiki rakavih tumorjev na dojkah, vnetnih obolenj – revmatizmov, poškodb in bolezni mehkega tkiva, vnetja tkiv okoli umetnih vsadkov, ožilja diabetikov, prekrvljenosti udov ter trupa para- in tetraplegikov, temperature kože pri novorojenčkih ipd. V ekologiji s to metodo odkrivamo motnje in bolezni vegetacije, merimo stopnje določenega tipa onesnaženja okolice in odkrivamo zakopane objekte pod zemljo. V industriji je termovizija uporabna kot metoda pri pregledih elektroenergetskih, strojnih in drugih naprav ter

objektov, kjer ugotavljajo dejansko stanje naprav med njihovim delovanjem. Pri tem predčasno odkrivajo pregrevanja strojnih elementov in s tem preprečujejo večje okvare na tehnoloških sistemih.

Podobni pregledi so tudi v gradbeništvu. Vedno večji stroški ogrevanja, želja po čim udobnejšem in zdravem bivalnemu okolju ter ozaveščenost o ekološki rabi energentov so tudi v gradbeništvu postavili nova merila in zahteve. Termovizijska kamera postaja nepogrešljiva za odkrivanje toplotnih mostov, za odkrivanje napak pri gradnji, za odkrivanje netesnih mest oken in vrat. V energetiki pa uporabljajo termovizijske preglede za iskanje napak izolacije na toplovodnih omrežjih, položenih v zemljo.

in Lenhart, 1975; Clark, Mullan in Pugh, 1977; Wade in Veghte, 1977; Veghte, Adams in Bernauer, 1979; Buckhout in Warner, 1980; Nakayama, Ohnuki in Kanosue, 1981). Glavni cilj večine raziskav v športu je bil izmeriti padec ali povišanje temperature na koži med specifično športno obremenitvijo, med spreminjanjem temperature zraka (tek, kolesarjenje, plavanje) ter pri pojavu poškodb. Clark, Mullan in Pugh (1977) so med prvimi uporabili metodo merjenja z infrardečo termovizijo pri analizi temperaturnih sprememb na površini kože. Merili so kožo dveh atletov, ki sta stala in tekla na stadionu (zunanj pogoji) pri temperaturi zraka 20 °C in v klimatski sobi pri temperaturi zraka 11 °C. Ugotovili so, da je temperatura kože višja v mišičevju, ki je bilo obremenjeno, kot v preostalih strukturah in da je precej višja kot pred obremenitvijo. Ugotovili so tudi, da je temperatura trupa višja od

¹Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani.

²Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.

V športni praksi so začeli to metodo uporabljati že pred tridesetimi leti (Keyl

temperature udov in da je temperatura kože nad mišicami za 2 do 4 °C višja kot nad kostmi.

Keyl in Lenhart (1975) sta začela s termografijo med prvimi raziskovati temperaturne spremembe kože na mestu poškodb (raztrganine, udarnine, meniskusi, tendo- in hondropatije) lokomotornega sistema. Slike z infrardečo kamero so pokazale, da se poškodbe pokažejo kot lokalna hipertermija, vendar v primeru, če poškodba ni pregloboko v tkivu. V kombinaciji anamneze ter kliničnih in radioloških preiskav je infrardeča termovizija ena boljših metod za določitev diagnoze in nadaljnje spremljanje zdravljenja poškodbe. Wade in Veghte (1977) sta ugotavljala regionalne spremembe temperature kože pri štirih plavalcih. Ti so nihali v sestavi telesa. Meritve so izvajali pred skokom v vodo, po 5 minutah v vodi, ki je imela 23,5 °C, in po 500 metrih plavanja s tempom treniranja. Ugotovili so, da je bila temperatura kože po plavanju višja v delujočem mišičevju in da ni odvisna od debeline kože. Temperatura kože je bila povišana v predelu mišic m. deltoideus, m. trapezius, m. triceps in m. biceps. Veghte, Adams in Bernauer (1979) so merili dinamične temperaturne spremembe pri različnih obremenitvah treninga: stisk roke pri 20, 50 in 80 % maksimalnega stiska je povzročil za 1,7 °C povišano temperaturo. Asimetrična ergometrija noge je pokazala večjo temperaturo obremenjene noge kot noge, ki ni bila obremenjena, in vaje teka, ki so povzročile padec temperature kože obeh nog.

Buckhout in Warner (1980) sta opravila longitudinalno raziskavo na igralcih rokometu, s katero sta ugotavljala učinek ponavljajočih se strelav na gol. Uporabila sta metodi termovizije in rentgenskega slikanja. Pri igralcih z več kot 200 urami odigranih tekem nista zaznala večjih sprememb na skeletu in mehkem mišičevju okoli ramenskega sklepa.

Torii, Yamasaki, Sasaki in Nakayama (1992) so v svoji raziskavi ugotavljali padec temperature pri treningu na kolesu pri različni obremenitvi. Testirali so deset zdravih kolesarjev pri obremenitvi

50 in 150 W, in sicer v klimatski sobi, v kateri so spreminjali temperaturo zraka od 10 do 40 °C (relativna vlažnost zraka je bila od 45 do 55 %). Pri obremenitvi 50 in 150 W ter temperaturi 10 in 20 °C je temperatura kože začela takoj padati, kar kaže, da je vzrok za to povečana intenzivnost. Rezultati so pokazali, da je padec temperature kože pri obremenitvi povzročila vazokonstrikcija in ne povečano ohlajevanje kože (znojenje). Zaproudina, Ming in Hanninen (2006) so z infrardečo termovizijo merili temperaturne spremembe pri naraščanju intenzivnosti bolečine v spodnjem delu hrbta. Ugotovili so, da je naraščanje bolečine močno povezano z naraščanjem lokalne temperature. Zaïdi, Taiar, Fohanno in Polidori (2006) so ugotavljali učinke plavalne tehnike na temperaturne spremembe telesne površine. Testni protokol je bil sestavljen iz 4 plavalcev, ki so tekmovali v štafeti 4 x 100 metrov mešano. Pri metuljčku je bil izmerjen porast temperature za 2,16 °C, pri hrbtni tehniki za 2,56, pri prsni za 1,78 in pri prosti tehniki za 2,00 °C.

Pričujoči prispevek je usmerjen v aplikacijo IR-metode kot diagnostične – monitoring metode pri spremljanju telesne aktivnosti mišičnih skupin pri vadbi atletov in drugih športnikov. Cilj raziskave je podati oceno o značilnih spremembah temperaturnega polja, izmerjenega na površini kože v določenih predelih, in te povezati z integralnimi parametri vadbe.

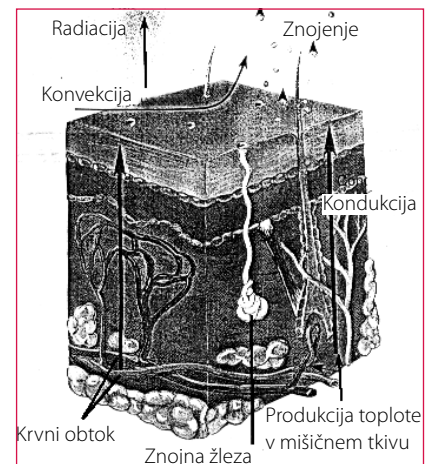
Mehanizmi prenosa toplote

Ljudje smo homeotermna bitja, kar pomeni, da se naša telesna temperatura ohranja nespremenjena vse življenje. Nihanja telesne temperature ne presegajo 1,0 °C. Le med daljšo telesno obremenitvijo, boleznijo ali v ekstremnih razmerah visoke temperature ali hudega mraza pride do večjih temperaturnih odstopanj od običajnega temperaturnega razpona med 36,1 in 37,8 °C. Telesna temperatura se spreminja glede na toplotno ravnovesje med proizvodnjo toplote v telesu in toplotnim tokom v okolico, ki nastaja na površini telesa. Osnovni mehanizem prenosa toplote iz notranjosti telesa na njegovo površino se izvaja konvektivno s krvnim obtokom. Prenos toplote skozi kožo v okolico pa se prenaša s temi mehanizmi:

1. prevajanje – kondukcija,
2. prenos – konvekcija,
3. sevanje,
4. izhlapevanje.

1. prevajanje – kondukcija,
2. prenos – konvekcija,
3. sevanje,
4. izhlapevanje.

Na sliki 1 so predstavljeni posamezni mehanizmi prenosa toplote, ki se dogajajo na koži.



Slika 1: Prenos toplote skozi kožo v okolico (Wilmore, Costill, 1999)

Mehanizem prevajanja ali konduktivni prenos je molekularni prenos toplotnega toka iz predela višje temperature v predel z nižjo temperaturo. Ta prenos toplotnega toka je značilen za trdne oziroma materiale, kjer se pojavljajo medmolekularne povezave, v našem primeru je to mišično tkivo, ki prehaja v tkivo kože organizma na površini telesa. V primeru, da je zunanja temperatura višja od telesne, je lahko toplotni tok usmerjen tudi z zunanje površine – s kože v smeri mišičnega tkiva.

Prenos ali konvekcija vsebuje prenos toplote z enega kraja na drugega s pomočjo gibanja tekočine, ki je lahko plin ali kapljevina. V notranjosti telesa je to pretežno prenos toplote s krvnim obtokom in prenosom vode v koži iz notranjosti na površino kože. Neposredno ob zunanji površini kože pa se toplota

odvaja konvektivno z gibanjem zraka ob površini kože.

Sevanje je primarna metoda za sproščanje presežne telesne temperature v okolico. Pri normalni sobni temperaturi (med 21 in 25°C) golo telo s sevanjem izgubi približno 60 % presežne temperature (Wilmore, Costill, 1999). Toplota se oddaja v obliki infrardečih žarkov. Intenzivnost sevalnega toka na enoto površine kože pa je odvisna od temperature telesa na površini kože in od temperature okolice telesa.

Izhlapevanje je glavni način oddajanja toplote med telesno vadbo. Znaša približno 80 % vse toplotne izgube v aktivnem stanju vadbe in le 20 % v mirovanju. Pri procesu izhlapevanja tekočine nastopi intenzivni prestop toplote v okolico. Gre za tako imenovani samodejni, vsiljeni prenos toplote vode, ki se med telesnim naporom, ko je telesna tekočina v stiku z zunanjim okoljem, pospeši. Med telesno aktivnostjo postane izhlapevanje glavni način izgubljanja toplote, še posebno, ko se temperatura okolja bliža temperaturi kože.

Fiziološki odzivi na telesne napore

Krvo-žilni sistem prenaša toploto, ki jo proizvajajo mišice, na površje telesa, kjer se toplota lahko prenese na okolje. V tem procesu mora velik delež srčno-krvne zmogljivosti preiti na mišice in kožo. Ker je krvni volumen omejen, predstavlja telesni napor kompleksen odziv, ki ima za posledico povečan krvni pretok teh področjih in zmanjša dotok krvi v druge dele telesa.

S povečanjem telesne aktivnosti se poveča potreba po pretoku krvi skozi mišice in po oskrbi mišic s kisikom. Prav tako se poveča metabolična proizvodnja toplote. Ta toplotni presežek je mogoče porabiti le, če se poveča prekrvljenost kože, s čimer se toplota intenzivneje prenaša na površje telesa. V določenem trenutku telo ne more več nevtralizirati toplotnega presežka zaradi vse večjih obremenitvenih zahtev. Niti mišice niti koža ne prejemajo več

dovolj krvi. V tem trenutku lahko vsak dejavnik, ki povzroči preobremenitev krvo-žilnega sistema ali prekine prenos toplote, oslabi učinkovitost in povzroči tveganje, da se telo pregreje.

Študija Finka (1975) je pokazala, da telesna aktivnost v vročini ne poveča le srčnega utripa in telesne temperature, temveč tudi absorpcijo kisika, kar v delujočih mišicah povzroči, da porabijo več glikogena in proizvedejo več mlečne kisline. V prispevku se na osnovi predstavljenih mehanizmov prenosa toplote in fizioloških omejitev usmerimo v merjenje temperature na površini kože v atleta, v različnih fazah telesnih obremenitev. Na osnovi hipoteze o značilni soodvisnosti temperature na površini kože in intenzivnosti telesne obremenitve pri konstantnih pogojih merjenja želimo raziskati možnosti ugotavljanja obremenitve atleta pri različnih obremenitvenih stopnjah.

Predmet študije

Novo tehnologije v procesu športnega treniranja nam omogočajo vse bolj natančno spremljanje telesnih obremenitev. V mnogo športih so prav telesne obremenitve dosegle zgornje meje športnikovih zmogljivosti, zato bodo predvsem sodobni postopki modeliranja treninga na osnovi objektivnih metod v prihodnje omogočali nadaljnji razvoj športnih rezultatov. Ena od metod identifikacije telesnih obremenitev je tudi termovizijska metoda, ki temelji na ugotavljanju temperaturnih polj na površini kože. Metoda nam omogoča časovno in pozicijsko verifikacijo temperaturnih polj v odvisnosti od stopnje in značaja obremenitve športnika.

Postaviti je mogoče hipotezo, da se s povečanjem obremenitev pojavi značilna sprememba temperaturnega polja na površini kože. Poleg integralnega povečanja temperature je mogoče pričakovati tudi lokalno temperaturno nihanje, ki nakazuje tip in intenzivnost obremenitve športnika. V pričujoči študiji smo opravili eksperiment, v katerem skušamo poiskati značilno odvisnost izmerjenega temperaturnega

polja na površini izbranega segmenta (stegenske mišice) pri različnih tipih obremenitev. Na ta način bomo skušali ugotoviti primernost IR-vizualizacijske metode za spremljanje obremenitve športnikov v različnih fazah treninga.

Izvedba eksperimenta

Eksperiment, usmerjen v problematiko preučevanja kvalitativnih razmerij med integralnimi parametri vadbe atleta in temperaturnim odzivom na površini izbranega dela telesa, smo razdelili v dva dela. Prvi je bil povezan s protokolom štirih tipov obremenitev. Po vsaki obremenitvi smo izmerili temperaturo na površini stegenskih mišic v izbranih časovnih intervalih. To smo opravili z IR-termografijo, ki omogoča časovno spremljanje temperature na vsej površini izbranega dela stegenskih mišic. Protokol meritev motoričnih nalog in izvedba termografije sta predstavljena v preglednici 1.

Preglednica 1: Integralne obremenitve atleta

Serijska	Opis obremenitve
1.	neogreta mišica
2.	stegenske mišice po 15-minutnem ogrevanju
3.	šprint 60 m (intenzivnost 70 % max.)
4.	odmor 5 min
5.	šprint 60 m (intenzivnost 90 % max.)
6.	odmor 5 min
7.	šprint 4 x 50 m (intenzivnost 90 %)
8.	odmor
9.	vertikalni skoki (30 sek.)

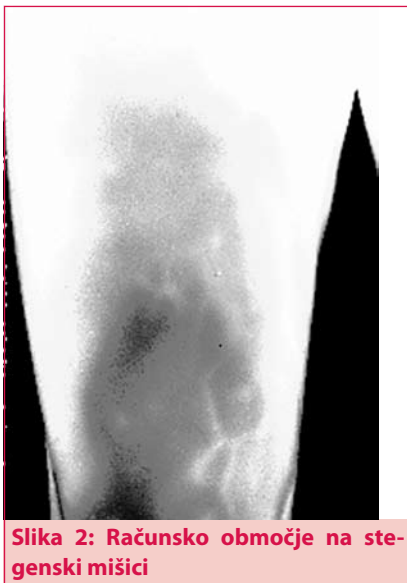
V eksperimentu je sodeloval en preiskovanec, trenirani športnik atlet (starost 24 let, telesna teža 84,5 kg, telesna višina 187,5 cm, osebni rekord na 400 m 49,65 sek.).

IR-termovizija

Pri zajemu temperaturnega polja smo uporabili hitro termokamero Thermo-sensorik – CMT384SM. Ta deluje v infrardečem območju med 3 in 5 μ m. Umerili smo jo na podlagi okolja, s katerim smo simulirali črno telo s stalno temperaturo in enakomerno tempera-



Slika 1A: Termovizija – izvedba merilnega postopka



Slika 2: Računsko območje na stegenski mišici

turno porazdelitvijo na površini. Temperature na umerjenem delu smo merili z zaznavali Pt100. Čeprav smo z uporabljenim metodo dosegli natančnost meritev absolutne temperature $\pm 0,5$ K, pa lahko glede na naš cilj, to je izmeriti in ovrednotiti časovno in krajevno odvisno temperaturno polje, za-

gotovimo mnogo večjo natančnost pri merjenju relativnih temperatur v opazovanem območju. Tako je na koncu relativna natančnost meritev znašala $\pm 0,02$ K.

Pri nastavitvah termokamere je potrebno upoštevati dva parametra, ki vplivata na hitrost snemanja. To sta velikost okna in integracijski čas. Manjša kot sta, večja je hitrost snemanja. Kot uporabno območje smo izbrali integracijski čas $\tau = 100$ ms z velikostjo okna 556×556 piksla in frekvenco kamere 25 posnetkov/s. Aktivno okno je predstavljeno na sliki 2, kjer je indeks i celoštevilčna vrednost $\{1, 2, \dots, N\}$ in indeks j celoštevilčna vrednost $\{1, 2, \dots, M\}$.

S termovizijsko kamero smo zajemali temperaturno polje na površini stegenske mišice. Pri tem je bil položaj kamere glede na izbrano površino kože ves čas eksperimenta. Enake so bile tudi prostorske razmere (teniška dvorana Fakultete za šport) in temperatura okolice oziroma so bila njihova nihanja zanemarljiva (slika 1A). Vsi drugi učinki, kot

so razmere na površini kože, vključno z njeno vlažnostjo, pa so zajeti v izmerjeni temperaturi kože in predstavljajo neposredni rezultat, ki je odvisen od integralnih parametrov obremenitve. Integrala – kvantitativna spremenljivka je za različne obremenitve iz zajetih termovizijskih posnetkov izračunana srednja temperatura na izbrani površini stegenske mišice in pripadajoč standardni odklon temperature na isti površini. Obe spremenljivki sta podani kot časovni vrsti, izračunani na serijah časovno zaporednih IR-posnetkih v opazovanem časovnem intervalu.

Algoritma, s katerima smo izračunali časovne vrste, sta podana z izrazoma:

$$A(t) = \frac{1}{NM} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M E(t, i, j) \quad E(t) \in \{T\} \quad (1)$$

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (E(t, i, j) - A(t))^2} \quad (2)$$

kjer je $E(t, i, j)$ celoštevilčna vrednost barvne skale v (i, j) elementu IR digitalnega posnetka pri času t . $A(t)$ je povprečna vrednost barvne skale v izbranem oknu pri času t , $\sigma(t)$ pa pripadajoč standardni odklon, ki ocenjuje heterogenost temperaturnega polja v izbranem oknu. Glede na to, da je temperatura ovrednotena z barvno skalo, izvedemo normiranje obeh spremenljivk $A(t)$ in $\sigma(t)$ na maksimalen iznos barvne skale v celotnem eksperimentu:

$$T(t) = \frac{A(t)}{\max A(t)} [-] \quad (3)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{A(t)} 100 [\%] \quad (4)$$

kjer je $\max A(t)$ največja vrednost, dosežena med eksperimentom v opazovanem polju v vsem naboru obremenitev. Spremenljivki $T(t)$ in $\varepsilon(t)$ sta v nadaljevanju uporabljeni kot proporcionalni cenilki temperaturnega polja v izbranem oknu pri opazovanih integralnih parametrih obremenitev. Predstavljata izhodišče za oblikovanje fenomenoloških razmerij med IR-termovizijo in parametri obremenitve.

Analiza IR-termovizijskih posnetkov

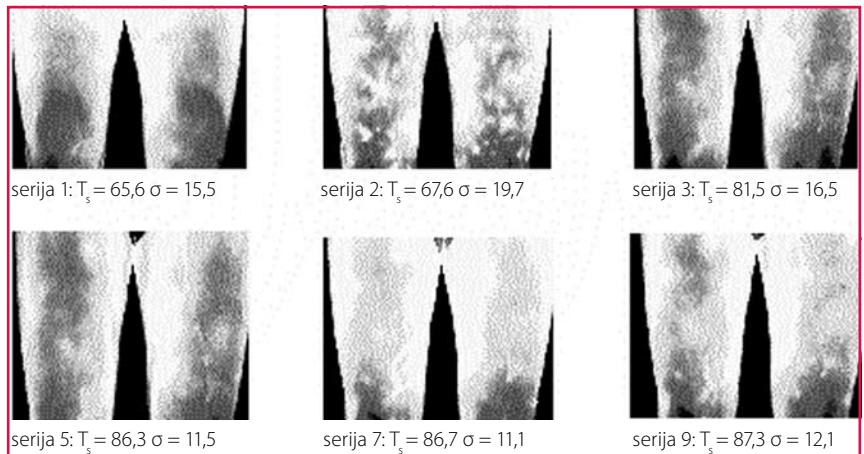
Na sliki 3 so predstavljeni značilni IR-termovizijski posnetki pri različnih obremenitvenih stanjih treninga. Na vsakem izmed posnetkov so predstavljene temperature na površini kože pri enakih pogojih zajemanja IR-posnetkov in istem času glede na začetni čas zajemanja serije IR-posnetkov. K IR-termovizijskim posnetkom so dodane srednje temperature T_s in pripadajoči standardni odkloni σ , izračunani z izrazoma 3 in 4.

S predstavitev različne temperaturne porazdelitve na površini kože želimo podati kvalitativno oceno različnih topoloških struktur, ki navajajo na značilno različnost, kar omogoča ocenjevanje obremenitvenih stanj stegenske mišice.

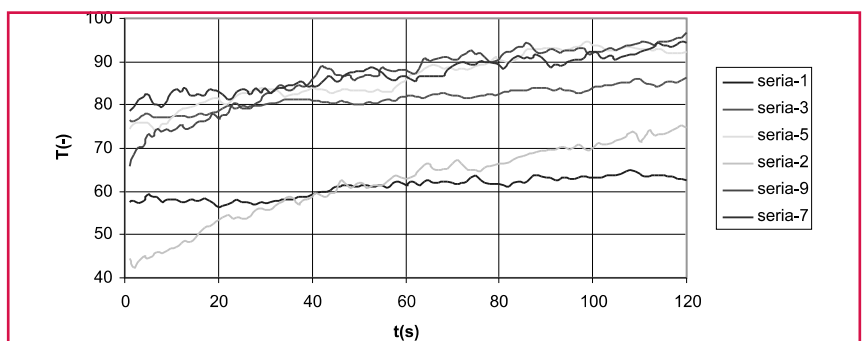
S slike 3 lahko sklepamo, da se različna obremenitvena stanja kažejo tako na izmerjeni temperaturi na površini kože kot na teksturi – strukturi porazdelitve temperature na površini kože. Srednja temperatura se s povečano obremenitvijo mišice značilno dvigne. Za teksturo – porazdelitev temperaturnega polja po površini kože – pa je značilno, da se v prehodnih obremenitvenih režimih pojavljajo dokaj veliki lokalni gradienti temperature, ki so povezani z aktiviranjem prenosnih mehanizmov toplote iz notranjosti mišične strukture na površino kože. S povečano obremenitvijo se temperaturno polje homogenizira na višji temperaturni ravni. Iz ravni kvalitativne ocene temperaturnih polj na sliki 3 lahko sklepamo, da se z obremenitvenimi režimi pri enakih razmerah pojavljajo značilne temperaturne razlike na IR-posnetkih, kar omogoča uporabo metode pri diagnostiki obremenitvenih stanj.

Kvantitativna analiza IR-termovizijskih posnetkov

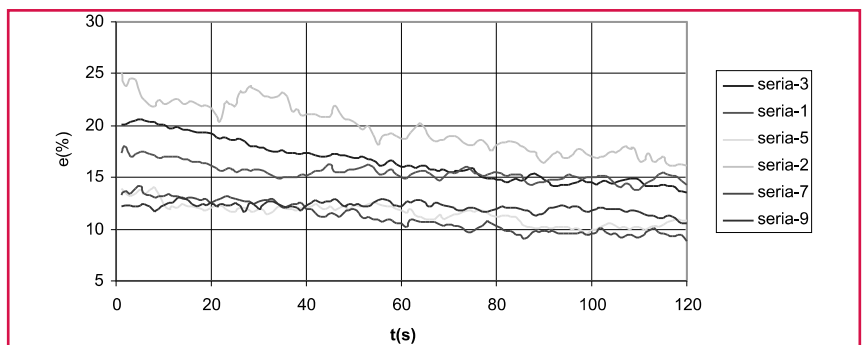
Z uporabo algoritmov od 1 do 4 smo na zaporednih digitaliziranih IR-posnetkih opravili analizo časovnega nihanja temperaturnega polja v izbranem oknu, ki je podano na sliki 2. Na sliki



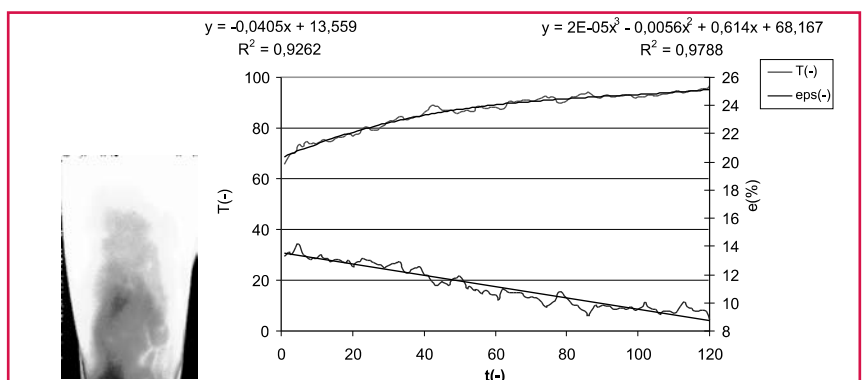
Slika 3: Vpliv obremenitvenih režimov na strukturo temperaturnega polja na IR-posnetkih



Slika 4: Prostorsko povprečna temperatura v izbranem aktivnem oknu



Slika 5: Nihanje temperature v izbranem aktivnem oknu



Slika 6: Režim obremenitve – serija 9

4 so predstavljene krivulje normirane temperature $T(-)$ v odvisnosti od časa za različna obremenitvena stanja. Za vse krivulje je značilno monotono naraščanje temperature od trenutka, ko se konča faza obremenitve in se začne zajemanje IR-posnetkov, traja pa 120 s. Opaženi pojav je posledica toplotnega toka iz notranjosti mišične mase na površino kože kot potreba po zmanjšanju temperature zaradi fizične obremenitve organizma.

Tudi pri analizi standardnega odklona temperaturnega polja v opazovanem oknu, ki je predstavljena na sliki 5 za različne obremenitvene pogoje, je zaslediti skupno lastnost. Opazno je monotono zmanjševanje spremenljivke, ki popisuje heterogenost slikovnega vzorca, kar pomeni, da se pri sproščanju organizma po fizičnem naporu homogenizira temperaturno polje na površini kože, kar navaja na večjo intenzivnost prenosa toplote s površine v okolico. Na primeru serije 9 – obremenitvenega stanja (vertikalni poskoki 30 s) želimo pokazati časovni potek temperature na površini kože v izbranem oknu ter pripadajoč standardni odklon temperaturnega polja v izbranem oknu. Iz diagrama na sliki 6 lahko vidimo, da lahko časovno spreminjanje opazovane normirane temperature opišemo s polinomom 3. stopnje, ki navaja na prilagoditveno odzivanje organizma pri temperaturni sproščanju po obremenitvi.

Krivuljo $\epsilon(\%)$, ki predstavlja standardni odklon temperaturnega polja v izbranem oknu, lahko opišemo kot linearno monotono padajočo funkcijo v času. Obe ugotovitvi sta značilni za vsa obremenitvena stanja, le da se razlikujeta v intenzivnosti časovnega nihanja glede na obremenitvena stanja.

Sklep

Infrardeča termovizijska metoda je brezstični postopek merjenja toplotnega sevanja na površini telesa in jo je mogoče učinkovito uporabiti tudi v športni praksi. Temelji na zaznavanju spremembe temperaturnega polja, ki

nastane zaradi povečane telesne obremenitve. V študiji smo opravili eksperiment, v katerem smo iskali odvisnost izmerjenega temperaturnega polja na površini izbranega segmenta (stegenske mišice) pri različnih tipih obremenitev. Predstavljena je metodologija analize temperaturnega polja v izbranem oknu na površini stegenske mišice, kjer smo analizirali krajevno povprečno normirano temperaturo na površini kože v izbranem časovnem intervalu. Opazovali smo tudi časovno spremembo tekture temperaturnega polja v istem izbranem oknu. Iz dobljenih rezultatov je razvidna značilna kvalitativno in kvantitativno različna temperaturna porazdelitev, ki je odvisna od načina obremenitve. Iz rezultatov lahko ugotovimo, da je IR-termovizijska metoda pomembno eksperto orodje pri spremljanju obremenitvenih stanj, ki so posledica različnih sredstev in metod treniranja.

Literatura

- Clark, R. P., Mullan, B. J., Pugh, L. G. (1977). Skin temperature during running – A study using infrared colour thermography. *J. Physiol.*, 267: 53–62.
- Buckhout, B. C., Warner, M. A. (1980). Digital perfusion of handball players. Effects of repeated ball impact on structures of the hand. *American Journal of Sport Medicine*, 8(3): 206–207.
- Fink, W. (1975). Thermal regulation and Exercise. 1: 242–265.
- Keyl, W., Lenhart, P. (1975). Thermography in sport injuries and lesions of the locomotor system due sport. *Fortschr. Med.*, 93(3): 124–126.
- Nakayama, T., Ohnuki, Y., Kanosue, K. (1981). Fall in skin temperature during exercise observed by thermography. *Jpn J Physiol.*, 31(5): 757–762.
- Sherman, R. A., Woerman, A. L., Karstetter, K. W. (1996). Comparative effectiveness of videothermography, contact thermography, and infrared beam thermography for scanning relative skin temperature. *J Rehabil Dev.*, 33(4): 377–386.
- Veghte, J. H., Adams, W. C., Bernauer, E. M. (1979). Temperature changes during exercise measured by thermography. *Aviat Space Environ Med.*, 50(7): 708–713.
- Torii, M., Yamasaki, M., Sasaki, T., Nakayama, H. (1992). Fall in skin temperature of exercising man. *Br J Sports Med.*, 26(1): 29–32.
- Wade, C. E., Veghte, J. H. (1977). Thermographic evaluation of the relative heat loss by area in man after swimming. *Aviat Space Environ Med.*, 48(1): 8–16.
- Zaproudina, N., Ming, Z., Hanninen, O. (2006). Plantar infrared thermography measurements and low back pain intensity. *J Manipulative Physiol Ther.*, 29(3): 219–223.
- Zaidi, H., Taiar, S., Fohanno, G., Polidori, G. (2006). New approach by infrared thermography to measure the skin temperature of a male competitive swimmer. *Journal of Biomechanics*, 39(1): 629.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L. (1999). Thermoregulation and Exercise. *Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics, Champaign, IL. P. O. Box 5076*: 311–338.

Dr. Milan Čoh, redni prof.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport,
Gortanova 22, 1000 Ljubljana – katedra
za atletiko
milan.coh@fsp.uni-lj.si