

# Zastosowanie obrazowania termicznego w ocenie wydolności organizmu sportowców przy użyciu ergometru wioślarskiego

## The applications of thermal imaging in sportsman' efficiency rating using a rowing ergometer

Teresa Kasprzyk-Kucewicz<sup>1</sup>, Agata Stanek<sup>2</sup>, Maksymilian Kazior<sup>1</sup>,  
Agnieszka Szurko<sup>1</sup>, Karolina Sieroń<sup>3</sup>, Armand Cholewka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Instytut Inżynierii Biomedycznej, Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Bankowa 12, 40-007 Katowice, e-mail: ter.kasprzyk@gmail.com

<sup>2</sup> Katedra i Oddział Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Batorego 15, 41-902 Bytom

<sup>3</sup> Wydział Nauk o Zdrowiu w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Zakład Medycyny Fizykalnej Katedry Fizjoterapii, Medyków 12, 40-752 Katowice

### Wprowadzenie

Każde ciało o temperaturze wyższej od temperatury zera bezwzględnej (0 K) emituje promieniowanie, którego energia mieści się w zakresie podczerwieni [1, 2]. Również ciało ludzkie emituje promieniowanie podczerwone, co pozwala na obrazowanie jego powierzchni z wykorzystaniem termowizji [3].

Analiza termiczna swoje zastosowanie znalazła również w zakresie medycyny sportowej. Szeroko rozwinięta technologia termowizyjna pozwala na obserwację wybranych momentów procesu treningu sportowców, a ponadto weryfikację procesów regeneracji ciała po aktywności fizycznej. Badania temperatury

przy wykorzystaniu kamer pracujących w paśmie podczerwieni pozwalają oszacować poziom eksploatacji fizycznej organizmu, a w konsekwencji wykorzystać dane temperaturowe do ochrony organizmu przed groźnym zjawiskiem przetrenowania [4-7].

Mechanizmy powrotu termiki organizmu do homeostazy w znacznym stopniu uwarunkowane są odpowiedzią układu krwionośnego na aktywność fizyczną [8-10]. Medycyna sportowa monitorująca proces wysiłku fizycznego kreuje dylemat doboru odpowiednich procesów regeneracji organizmu do danego zestawu ćwiczeń na podstawie diagnostyki parametrów organizmu, takich jak tętno, parametry oddechowe, ciśnienie krwi czy poziom kwasu mlekowego we krwi [8, 10].

### Streszczenie

Obrazowanie termiczne zyskuje na popularności w różnorodnych dziedzinach medycyny, w tym także w medycynie sportowej. Organizm człowieka jest doskonałym emitерem energii cieplnej, przez co możliwe jest obrazowanie powierzchni ciała w zakresie podczerwieni.

Celem niniejszej pracy była próba zastosowania obrazowania termicznego w ocenie wydolności organizmu człowieka w zależności od jego poziomu wytrenowania.

Obrazowanie termiczne wykonano bezpośrednio przed i po krótkim, dynamicznym treningu na ergometrze wioślarskim oraz 10, 20, 30, 40 i 50 minut po treningu. Badania przeprowadzono na dwóch grupach sportowców, tj. amatorów i profesjonalistów, liczących po 5 sportowców płci męskiej.

Otrzymane wyniki wskazują na rozbieżności między grupami amatorów i profesjonalistów. Różnica temperatury przed i po wysiłku ( $dT_{\text{przed-po}}$ ) wynosi odpowiednio 1,4°C oraz 1,2°C dla amatorów i profesjonalistów. Jednakże przebieg zmian temperatury od czasu dla obu grup wykazuje podobny kształt.

Wstępne pomiary mogą wskazywać na przydatność metody obrazowania termicznego w weryfikacji planów treningowych sportowców. Otrzymane wyniki termiczne sugerują wpływ stażu treningowego na procesy adaptacyjne organizmu w kontekście zachodzących przemian motoryczno-metabolicznych.

**Słowa kluczowe:** obrazowanie termiczne, wydolność organizmu, trening.

### Abstract

Thermal imaging is becoming more and more popular in medicine, including the sports medicine. The human body is an excellent heat energy emitter, which makes it possible to measure the body surface in the infrared spectrum.

The aim of study was to attempt to use thermal imaging in the human body performance rating depending on its level of training. Thermal imaging was performed immediately before and after a short and dynamic workout on a rowing ergometer and 10, 20, 30, 40 and 50 minutes after the training. The study contains two groups of athletes, i.e. amateurs and professionals, both consisting of 5 male athletes.

Obtained results show the differences between groups of amateurs and professionals. The temperature difference before and after the exercise ( $dT_{\text{before-after}}$ ) is 1,4°C and 1,2°C for individual groups, respectively. However, the shape of temperature changes over time shows similar shape for both groups.

The preliminary results may indicate the usefulness of thermal imaging in athletes training plans monitoring. The thermal results obtained suggest the impact of training period on the body's adaptation processes in the context of motor-metabolic changes.

**Key words:** thermal imaging, efficiency, training.

otrzymano / received:

01.01.2020

poprawiono / corrected:

15.01.2020

zaakceptowano / accepted:

31.01.2020



Analiza rozkładu temperatury w trakcie treningu powinna opierać się na odpowiednio dobranej intensywności i długości ćwiczeń, pozwalających na uzyskanie mapy termicznej mięśni zaangażowanych w wysiłek, biorąc pod uwagę proces pocenia wpływający na temperaturę powierzchni skóry [9, 11].

Stosownym do tego celu wydaje się być ćwiczenie na ergometrze wioślarskim angażujące dużą ilość mięśni, określaną jako około 80% ogółu partii mięśniowych człowieka. Wśród zaangażowanych w tym ćwiczeniu mięśni grzbietu wyróżnia się m.in.: m. czworoboczny, m. naramienny, m. obły większy i mniejszy, m. prostownik grzbietu; wśród mięśni klatki piersiowej i brzucha: m. prosty brzucha, m. piersiowy większy i m. zębaty przedni; wśród mięśni kończyny górnej: m. trójgłowy i dwugłowy ramienia, m. ramiennie-promieniowy czy prostownik przedramienia; natomiast wśród mięśni kończyny dolnej: m. pośladowy wielki, średni i mały, m. gruszkowaty, m. czworogłowy uda, m. dwugłowy uda, m. płaszczkowaty, m. piszczelowy przedni czy m. brzuchaty tydki [11, 12]. Należy zauważyć, że poszczególne segmenty mięśniowe wykonujące pracę wzdłuż płaszczyzny strzałkowej, przechodzącej przez oś długą ludzkiego organizmu, są zaangażowane w wysiłek symetrycznie zarówno z prawej, jak i z lewej strony [11, 13].

Samo ćwiczenie na ergometrze wioślarskim składa się z powielania pojedynczego cyklu treningowego, w którego skład wchodzi fazy: chwytu, pierwsza, druga i trzecia faza przyciągania (kolejno wyprost nóg, odchylenie tułowia do tyłu i przyciąganie ramion do tułowia), faza odepchnięcia i faza relaksacji (tj. faza powrotu) [11].

## Materiał i metody

W badaniach udział wzięło 10 zdrowych sportowców płci męskiej podzielonych na dwie grupy – amatorów i profesjonalistów zgodnie ze stażem treningowym i stopniem wytrenowania organizmu. Do grupy profesjonalistów zakwalifikowano osoby o co najmniej średniozaawansowanych zdolnościach aktywności fizycznej, regularnie trenujących, ze stażem przekraczającym okres 2 lat. Każda z wymienionych grup liczyła 5 sportowców. Średni wiek grupy amatorów wynosi  $30 \pm 5$  lat, natomiast dla grupy profesjonalistów wynosi  $27 \pm 3$  lata.

Każdy ochotnik przed obrazowaniem termicznym przeszedł proces aklimatyzacji ciała do temperatury otoczenia, który trwał 30 minut. W trakcie procesu obrazowane części ciała pozostawały odkryte. Warunki klimatyczne pomieszczenia, w którym odbywały się pomiary, wynosiły: temperatura –  $19,9 \pm 0,6^\circ\text{C}$  oraz  $45,1 \pm 2,1\%$  – wilgotność powietrza.

Każdy ochotnik przed przystąpieniem do eksperymentu poddany został wywiadowi wymaganemu zgodnie z protokołem obowiązującym w diagnostyce termowizyjnej w medycynie [14, 15]. Wywiad miał na celu sprawdzenie, czy badana osoba nie przyjmuje leków przeciwzapalnych, nie korzystała przed badaniem z seansów w saunie oraz używek. Wśród ochotników zakwalifikowanych do pomiarów wszystkie odpowiedzi były

negatywne, a stan zdrowia we wszystkich przypadkach był na dobrym poziomie.

Obrazowanie wykonano bezpośrednio przed i po treningu na ergometrze oraz po 10, 20, 30, 40 i 50 minutach po ćwiczeniach na ergometrze. Protokół treningowy polegał na wykonaniu trzyminutowej próby wysiłkowej na ergometrze wioślarskim *Concept 2 model D* na 90% poziomie oporu.

Pomiar temperatury wykonano przy użyciu kamery termowizyjnej FLIR Systems T640, której czułość temperaturowa w dokumentacji dostarczonej przez producenta wynosi 0,03 K. Kamera IR ulokowana została na statywie w odległości  $3,0 \pm 0,1$  m od obrazowanego sportowca. Pomiary cech somatycznych badanych sportowców przeprowadzone zostały przy użyciu wagi TANITA UM-018, której pomiary masy obciążone zostały niepewnością pomiarową 0,1 kg, a tkanki tłuszczowej z niedokładnością 0,1%.

Obszary anatomiczne ludzkiego organizmu wybrane do analizy to twarz, klatka piersiowa, plecy, ramiona oraz golenie. Przy obrysie struktur na termogramach uniknięto artefaktów pochodzących z innych przyrządów pomiarowych, m.in. opaski tętna.

Uzyskane obrazy termiczne opracowano, wykorzystując specjalistyczne oprogramowanie dedykowane do kamer termowizyjnych ThermaCAM TM Researcher Pro 2.8 SR-3, konwertując dane pomiarowe w postaci arkuszy kalkulacyjnych do programu MS EXCEL 2007. Opracowanie statystyczne oraz graficzne przedstawienie wyników wykonano przy wykorzystaniu Microsoft Office EXCEL 2007.

## Wyniki i dyskusja

Na podstawie empirycznej formuły (1) wyliczona została średnia temperatura powierzchni ciała:

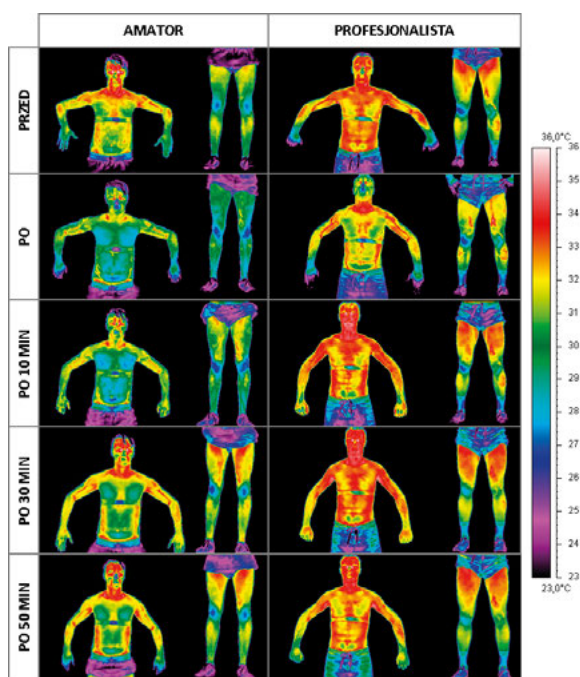
$$T_{org} = 0,07 T_{głowa} + 0,18 T_{klatka} + 0,17 T_{plecy} + 0,14 T_{ramiona} + 0,32 T_{golenie} \quad (1),$$

gdzie:

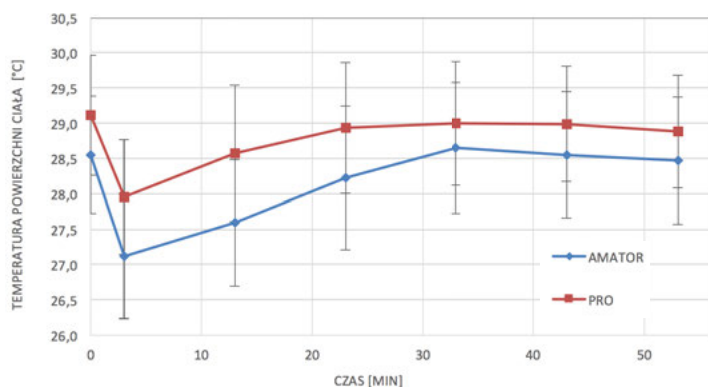
- $T_{głowa}$  – średnia temperatura powierzchni głowy,
- $T_{klatka}$  – średnia temperatura powierzchni klatki piersiowej,
- $T_{plecy}$  – średnia temperatura powierzchni pleców,
- $T_{ramiona}$  – średnia temperatura powierzchni kończyn górnych (z wyłączeniem dłoni),
- $T_{golenie}$  – średnia temperatura powierzchni kończyn dolnych (z wyłączeniem stóp).

Mapy termiczne powierzchni ciała dla reprezentatywnych sportowców z grupy amatorów i profesjonalistów przedstawiono na rysunku 1. Dla obu grup temperatura ciała uległa wyraźnemu obniżeniu bezpośrednio po treningu, względem temperatury ciała przed treningiem. Wraz z upływem czasu po zakończeniu aktywności fizycznej następuje stopniowy wzrost temperatury powierzchni ciała zarówno dla grupy amatorów, jak i profesjonalistów.

Zależność zmian temperatury od czasu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1 Mapy termiczne powierzchni ciała dla przedstawicieli grup pomiarowych w wybranych fazach obrazowania



Rys. 2 Zależność średniej względnej temperatury powierzchni ciała od czasu dla badanych grup, gdzie AMATOR – grupa amatorów, PRO – grupa profesjonalistów

Największą zmianę względem temperatury początkowej dla obu grup zanotowane zostało bezpośrednio po zakończonym treningu. Wśród amatorów temperatura ciała obniżyła się średnio o 1,44°C, natomiast u profesjonalistów o 1,15°C. Następnie obserwowany jest stopniowy powrót wartości temperatury organizmu do wartości przedwysiłkowych, kiedy to organizm znajdował się w stanie spoczynku. W 20 minucie po wysiłku temperatura ciała sportowców grupy PRO stabilizuje się, natomiast u amatorów rośnie aż do 30 minuty po wysiłku [8, 16]. 30 minut po wysiłku fizycznym wśród grupy amatorów zaobserwowano wzrost temperatury ponad poziom wyjściowy sięgający niemal o 1°C. Dla grupy profesjonalistów temperatura po wysiłku fizycznym nie przyjmuje wartości wyższych niż wartość temperatury wyjściowej.

Regulacja homeostazy termicznej dla grupy profesjonalistów przeprowadzona została w krótszym okresie czasowym niż dla

grupy amatorów, a przebieg zmian temperaturowych odbywał się w sposób znacznie bardziej uporządkowany. Krotność i staż treningowy mogą wpływać na procesy adaptacyjne organizmu na skutek zachodzących przemian motoryczno-metabolicznych rejestrowanych jako zmiany temperatury organizmu na powierzchni ciała w trakcie wzmożonej aktywności fizycznej. Może to pozwolić na korelacje parametrów termicznych z poziomem zaawansowania treningu i w konsekwencji oceny wydajności mechanizmów termoregulacji organizmu.

## Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że powyższe badania zmian temperatury powierzchni ciała sportowców przy użyciu kamery termowizyjnej ukazują rozbieżności w przebiegu krzywych dla danych grup. Funkcje temperatury w czasie nie powielają się, lecz zachowują zbliżone tendencje przebiegu. Różnice wartości temperatur w czasie po aktywności fizycznej mogą stanowić pewien wyznacznik parametryczny wydolności organizmu.

Ukazane dane pomiarowe są jedynie wstępną metodyką pomiaru wydolności organizmu, wymagającą kontynuacji analizy skorelowanej z innymi metodami diagnostyki z zakresu medycyny sportowej.

## Literatura

1. B. Więcek, G. De Mey: *Termowizja w podczterwieni, podstawy i zastosowania*, Warszawa, Wydawnictwo PAK, 2011.
2. S. Wiśniewski, S.T. Wiśniewski: *Wymiana Ciepła*, wydanie 6. Warszawa, WNT, 2009.
3. J. Steketee: *Spectral emissivity of skin and pericardium*, *Phys Med Biol.*, 18, 1973, 686-694.
4. T.O. Bompa, C.A. Buzzichelli: *Periodization – Theory and Methodology of Training*, Champaign, Human Kinetics, 2019.
5. S. Rountree: *The Athlete's Guide to Recovery: Rest, Relax, and Restore for Peak Performance*, Boulder, VeloPress, 2011.
6. A.C. Fry: *The role of training intensity in resistance exercise overtraining and overreaching*, [in:] R.B. Kreider, A.C. Fry, M.I. O'Toole: *Overtraining in sport*, Champaign, Human Kinetics, 1998, 107-127.
7. M. Lehmann, C. Foster, U. Gastmann, H. Keizer, J.M. Steinacker: *Definition, Types, Symptoms, Findings, Underlying Mechanisms, and Frequency of Overtraining and Overtraining Syndrome. Overload, Performance Incompetence, and Regeneration in Sport*, Boston, Springer, 1999.
8. I.P. Herman: *Physics of the Human Body*, New York, Springer, 2016.
9. A. Cholewka, T. Kasprzyk, A. Stanek, K. Sieroń-Stożny, Z. Drzazga: *May thermal imaging be useful in cyclist endurance tests?*, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2015.
10. J. Górski [red.]: *Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego*, Warszawa, PZWL, 2011.
11. T. Mazonne: *Kinesiology of the rowing stroke*, *National Strength and Conditioning Association Journal*, 10(2), 1988, 4-13.
12. T. Kasprzyk, A. Cholewka, M. Kuczewicz, K. Sieroń, M. Sillero-Quintana, T. Morawiec, A. Stanek: *A quantitative thermal analysis of cyclists' thermo-active base layers*, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2018.
13. A. Ronikier: *Fizjologia wysiłku w sporcie, fizjoterapii i rekreacji*, Warszawa, Centralny Ośrodek Sportu, 2008.
14. J. Bauer, E. Dereń: *Standaryzacja badań termograficznych w medycynie i fizjoterapii*, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica*, 20(1), 2014, 11-20.
15. E.F.J. Ring, K. Ammer: *The technique of infrared imaging in medicine*, *Thermology International*, 10, 2000, 7-14.
16. P.A. Mackowiak, S.S. Wasserman, M.M. Levine: *A critical appraisal of 98.6 degrees F, the upper limit of the normal body temperature, and other legacies of Carl Reinhold August Wunderlich*, *JAMA*, 268(12), 1992, 1578-1580.