



# Zastosowanie termografii w podczerwieni w analizie zmian temperatury po kriostymulacji organizmu sportowca – analiza przypadku

## The applications of infrared thermography in temperature changes analysis after athlete' body cryostimulation – case study

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

<sup>1</sup> Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski, ul. Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice, e-mail: ter.kasprzyk@gmail.com

<sup>2</sup> Katedra i Oddział Kliniczny 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, ul. Medyków 12, 40-752 Katowice

### Streszczenie

### Abstract

Organizm człowieka jest stałocieplny, co przekłada się na utrzymywanie stałej temperatury środowiska wewnętrznego z niewielkimi zmianami w cyklu dobowym. Powtórka zewnętrzna zmienia jednak temperaturę ciała ze względu na wpływ środowiska zewnętrznego oraz procesów zachodzących wewnątrz ciała.

Krioterapia, czyli oddziaływanie na organizm skrajnymi ujemnymi temperaturami, jest coraz to bardziej popularne nie tylko w medycynie, ale i jako element fizykoterapii, odnowy biologicznej czy treningu sportowego. Zabiegi krioterapii wykorzystywane w medycynie sportowej przyczyniają się do uśmierzania bólu obniżeniem się procesów zapalnych, spadkiem napięcia mięśniowego, wzrostem siły mięśniowej czy przyspieszeniem procesów regeneracji i naprawy organizmu.

W przedstawionej pracy wykonano obrazowanie termiczne sportowca będącego ponad 12 godzin po treningu przed i po sesji krioterapii o czasie trwania 3 minut i temperaturze zadanej na poziomie  $-140^{\circ}\text{C}$ . Pomiary przeprowadzono przy użyciu jednoosobowej komory kriogenicznej CryoSpace (tzw. typ kriosauuny). Zaobserwowano spadek temperatury powierzchni ciała w wybranych do analizy partiach mięśniowych oraz lokalnie występującą asymetrię temperaturową pomiędzy stroną lewą i prawą, która uwidoczniła się po zabiegu w przypadku mięśnia czworogłowego uda, która wynosiła  $1,1^{\circ}\text{C}$  oraz mięśnia piszczelowego przedniego ( $0,5^{\circ}\text{C}$ ).

Zgodnie z danymi literaturowymi uważa się, że kriostymulacja powoduje m.in. wzrost metabolizmu tkanek oraz uruchomienie procesów adaptacyjnych organizmu. Na podstawie przeprowadzonych badań widać, że w wybranych regionach zainteresowania dochodzi do obniżenia się temperatury powierzchni ciała nawet o  $17,5^{\circ}\text{C}$ . W odniesieniu do literatury zmiany temperatury powierzchni ciała w przypadku krioterapii mogą być związane z dynamiką usuwania energii termicznej skumulowanej w organizmie w trakcie treningu.

**Słowa kluczowe:** obrazowanie termiczne, termowizja, krioterapia, kriostymulacja

Human body is homoeothermic, which resulting in maintaining a constant temperature of body core temperature with small daily changes. However, the body surface temperature is changing due to external environment impact and internal processes.

Cryotherapy is a stimulation of organism by using the critically small temperatures, which become more and more popular not only in medicine, but also as an element in physiotherapy, wellness treatments or sport training. The cryotherapy in sport medicine contribute to pain relief, inflammation decreasing, decrease muscle tension and the acceleration of recovery and repair processes.

In this work the thermal imaging of sportsman was done before and after the cryotherapy treatment in  $-140^{\circ}\text{C}$  in time 3 minutes. The athlete was at least 12 hours after the training. Measurements were done by use the one person cryo-chamber CryoSpace (so-called cryosauna).

A decrease in body surface temperature was observed in selected muscle parts and locally the temperature asymmetry occurred between left and right sides. Asymmetry became apparent after the procedure for the quadriceps muscle ( $1,0^{\circ}\text{C}$ ) and for tibialis anterior muscle ( $0,5^{\circ}\text{C}$ ).

According to literature it is believed that cryostimulation causes increase of tissue metabolism and activation of the body's adaptation processes. Based on the research, it can be seen that in selected regions of interest, body surface temperature drops to as much as  $17,5^{\circ}\text{C}$ . In reference to literature, changes in body surface temperature in the case of cryotherapy may be associated with the dynamics of removing thermal energy accumulated in the body during training.

**Key words:** thermal imaging, thermovision, cryotherapy, cryostimulation

otrzymano / received:

08.06.2020

poprawiono / corrected:

19.06.2020

zaakceptowano / accepted:

24.06.2020

## Wprowadzenie

Termowizja jest metodą obrazowania wykorzystującą promieniowanie podczerwone emitowane z obiektów. Pozwala ona na bezkontaktowy pomiar temperatury w formie mapy termicznej analizowanej powierzchni [1]. Poza zastosowaniem obrazowania termicznego w naukach technicznych, coraz szerzej stosowana jest ona w różnych dziedzinach medycyny, w tym w medycynie sportowej [3-5].

Organizm człowieka jest stałocieplny, co oznacza, że temperatura wewnętrzna ciała utrzymywana jest na stałym poziomie z niewielkimi zmianami, jakie zachodzą w cyklu dobowym. Z powtórką zewnętrzną jednak sytuacja ma się zupełnie inaczej. A mianowicie powierzchnia ciała wykazuje własności zmienno-ciepłne i wrażliwa jest na oddziaływanie środowiska zewnętrznego oraz wpływ procesów, jakie zachodzą wewnątrz ciała [6, 7].

Dobowe zmiany temperatury organizmu sięgają  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Spadek lub wzrost temperatury wewnętrznej powyżej lub poniżej pewnych wartości skutkuje uruchomieniem procesów regulacyjnych [7, 8]. Zachowanie homeostazy termicznej ciała odbywa się poprzez produkcję ciepła (termogenezę) lub utratę energii termicznej, czyli termolizę [6]. Termogeneza zależna jest od podstawowej przemiany materii, pracy mięśni szkieletowych lub czynności przewodu pokarmowego, natomiast termoliza zachodzi poprzez skórę, układ oddechowy czy poprzez układ wydalniczy [9].

System zapewnienia homeostazy termicznej sterowany jest w ośrodku w mózgu zwanym podwzgórzem. Wspomagają go receptory obwodowe zlokalizowane w skórze czy narządach wewnętrznych dokonujące pomiaru temperatury. Dodatkowo receptory skórne reagują nie tylko na samą zmianę temperatury, ale również na dynamikę tej zmiany [6, 7]. Receptory skórne podzielone są na dwa rodzaje – jedne informują o obniżaniu (receptory zimna), a drugie o podwyższaniu (receptory ciepła) temperatury skóry. Najogólniej mówiąc, receptory te działają na zasadzie systemu wczesnego ostrzegania, który pozwala na uruchomienie wczesnych mechanizmów regulujących [6].

Krioterapia ogólnoustrojowa polega na działaniu ekstremalnie niskich temperatur na organizm w celu osiągnięcia pozytywnych efektów fizjologicznych. Intensywność zabiegów zależna jest od zadanej temperatury ( $-110^{\circ}\text{C}$  do  $-160^{\circ}\text{C}$ ) oraz czasu trwania stymulacji [10, 11]. Na skutek krioterapii uruchomione zostają reakcje hormonalne w ciele, co skutkuje wzrostem przemiany tkankowej. Poza bezpośrednim oddziaływaniem krioterapii na układ narządu ruchu w ciele zachodzą także procesy pośrednie poprzez układ nerwowy i dokrewny [11, 12]. Ponadto istotnym faktem w zabiegach krioterapii są zmiany zachodzące w krążeniu obwodowym. Ukrwienie kończyn regulowane jest poprzez układ współczulny, co powoduje znaczący spadek temperatury w stosunku do tułowia. Po upływie pewnego czasu zachodzi jednak otwarcie lub zamknięcie przetok tętniczko-żylnych, co warunkuje podniesienie się temperatury kończyn [7].

Obecnie zastosowanie krioterapii zyskuje popularność w wielu dziedzinach – od medycyny po zabiegi odnowy biologicznej. Metody leczenia zimnem dzieli się ze względu na wywoływane efekty tkankowe i wyróżnia się kriochirurgię, w której niską temperaturę wykorzystuje się do niszczenia zmienionych chorobowo tkanek oraz krioterapię, której istota działania opiera się na stymulacji różnych fizjologicznych mechanizmów pod wpływem niskiej temperatury [13, 14].

## Materiał i metody

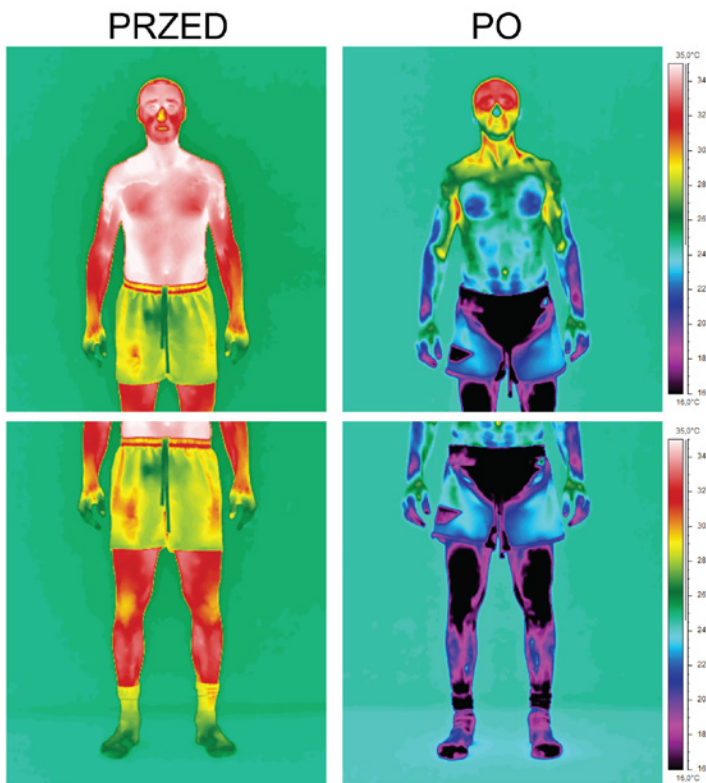
W niniejszej pracy wykonano obrazowanie termiczne powierzchni ciała sportowca, który znajdował się po ponad 12 h przerwy po treningu sportowym. Pomiary termowizyjne wykonano przed i po zabiegu kriostymulacji, który odbył się w jednoosobowej komorze kriogenicznej CryoSpace (prod. JBG-2, Polska) przedstawionej na rysunku 1. Parametry temperaturowe zabiegu ustalono na  $-140^{\circ}\text{C}$ , natomiast czas trwania: 3 minuty. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe obrazy termiczne przedniej strony płaszczyzny czołowej sportowca wykonane przed i po zabiegu krioterapii.



**Rys. 1** Jednoosobowa komora kriogeniczna CryoSpace użyta podczas pomiarów w niniejszej pracy  
Źródło: Archiwum własne.

Obrazowanie wykonano kamerą termowizyjną Flir Systems T640 o czułości 30 mK.

Obszary anatomiczne wybrane do analizy wyznaczono zgodnie z anatomią partii mięśniowych [15]. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2 Przykładowe termogramy sportowca wykonane przed i po zabiegu krioterapii  
Źródło: Archiwum własne.

Tabela 1 Wartość temperatury poszczególnych partii mięśniowych wybranych do analizy oraz twarzy

| Partia mięśniowa         | Temperatura PRZED [°C] |      | dT (L-R) | Temperatura PO [°C] |      | dT (L-R) | dT PRZED-PO [°C] |      |
|--------------------------|------------------------|------|----------|---------------------|------|----------|------------------|------|
|                          | L                      | R    |          | L                   | R    |          | L                | R    |
| twarz                    | 33,2                   |      |          | 30,4                |      |          | 2,8              |      |
| m. dwugłowy ramienia     | 33,1                   | 33,6 | -0,5     | 26,1                | 25,9 | 0,2      | 7,0              | 7,7  |
| m. ramiennie-promieniowy | 30,6                   | 31,5 | -0,9     | 21,0                | 22,0 | -1,0     | 9,6              | 9,5  |
| m. piersiowy większy     | 33,9                   | 34,2 | -0,3     | 24,7                | 25,1 | -0,4     | 9,2              | 9,1  |
| m. prosty brzucha        | 34,4                   | 34,2 | 0,2      | 24,3                | 23,9 | 0,4      | 10,1             | 10,3 |
| m. czworogłowy uda       | 31,8                   | 31,9 | -0,1     | 15,4                | 14,4 | 1,1      | 16,4             | 17,5 |
| m. piszczelowy przedni   | 32,2                   | 32,5 | -0,3     | 19,2                | 19,7 | -0,5     | 13,0             | 12,8 |
| m. płaszczkowaty         | 32,8                   | 32,5 | 0,3      | 19,6                | 19,7 | -0,1     | 13,2             | 12,8 |
| m. czworoboczny          | 35,0                   | 35,0 | 0,0      | 29,7                | 29,8 | -0,1     | 5,3              | 5,2  |
| m. najszerzy grzbietu    | 34,5                   | 34,4 | 0,1      | 26,0                | 25,9 | 0,1      | 8,5              | 8,5  |
| m. naramienny tylny      | 34,3                   | 34,3 | 0,0      | 27,8                | 27,7 | 0,1      | 6,5              | 6,6  |
| m. trójgłowy ramienia    | 31,9                   | 31,9 | 0,0      | 22,0                | 22,1 | -0,1     | 9,9              | 9,8  |
| m. dwugłowy uda          | 33,3                   | 33,4 | -0,1     | 20,9                | 21,0 | -0,1     | 12,4             | 12,4 |
| m. brzuchaty łydki       | 33,0                   | 33,2 | -0,2     | 19,3                | 19,5 | -0,2     | 13,7             | 13,7 |

Źródło: Opracowanie własne.

Analizę obrazów termicznych wykonano przy użyciu programu ThermoCAM Researcher PRO 2.9.

## Wyniki i dyskusja

Spodziewanym wynikiem jest spadek temperatury powierzchni ciała na skutek działania zabiegu krioterapii. W niektórych partiach mięśniowych zaobserwowano także asymetrię

temperatury pomiędzy stroną lewą i prawą, np. mięsień czworogłowy uda, gdzie różnica pomiędzy lewą i prawą stroną po zabiegu krioterapii wynosi 1,1°C, natomiast przed zabiegiem różnica ta była na poziomie zaniedbywalnym, tj. -0,1°C.


Największy spadek temperatury przed i po zabiegu zaobserwowano dla m. czworogłowego uda, gdzie dla lewej i prawej strony gradient temperatury wynosił odpowiednio 16,4 oraz 17,5°C. Następnie również dość wysoki spadek temperatury odnotowano dla m. brzuchatego łydki (13,7°C), m. piszczelowo-przedniego (odpowiednio lewej i prawej strony: 13,0 oraz 12,8°C) oraz dla m. płaszczkowatego (odpowiednio dla lewej i prawej strony: 13,2 oraz 12,8°C).

Na podstawie danych literaturowych uważa się, że kriostymulacja powoduje nie tylko wzrost metabolizmu, ale także uruchomienie procesów adaptacyjnych organizmu, które przekładają się na zwiększenie tolerancji wysiłku i odporności organizmu [10, 11]. W wybranych obszarach zainteresowania dochodzi do znacznego obniżenia temperatury powierzchni ciała po zabiegu nawet o 17,5°C. W związku z faktem, że w trakcie wysiłku fizycznego dochodzi do wzrostu metabolizmu tkanek, a także zwiększonego przepływu krwi temperatura ciała ma tendencję wzrostową ze względu na wytwarzanie ciepła przez pracujące mięśnie. W przypadku analizy zmian temperatury w kontekście medycyny sportowej można przypuszczać, że zmiany temperatury mogą być pośrednio związane z dynamiką usuwania energii termicznej skumulowanej w organizmie w trakcie treningu, co odzwierciedla poziom procesu regeneracji organizmu [10, 16].

Istotnym aspektem przeprowadzonych badań jest fakt, że mimo ciągłego rozwoju różnorodnych metod badawczych stosowanych w medycynie sportowej, termowizja w podczerwieni pozwala na nowe spojrzenie na fizjologię sportowców w trakcie ich cyklu treningowego. Zmiany temperatury powierzchni ciała rejestrowane zarówno w trakcie, jak i po treningu czy podczas zabiegów wspomagających regenerację, pośrednio pozwalają na ocenę wydolności temperaturowej organizmu oraz mechanizmów fizjologicznych, które mogą mieć wpływ na uchronienie sportowca przed szkodliwym zjawiskiem przetrenowania [4, 6, 17-19].



## Wnioski

Termografia w podczerwieni jako bezkontaktowa i nieinwazyjna metoda obrazowania diagnostycznego może pozwolić na ocenę dodatkowych parametrów fizjologicznych ciała sportowca. Mierzony rozkład temperatury wydaje się dawać możliwość pośredniej oceny parametrów fizjologicznych, takich jak przepływ krwi czy metabolizm tkanek, co z kolei przełoży się na ocenę zarówno wydolności organizmu sportowca, jak i poziomu zaawansowania procesów adaptacyjnych organizmu. 

## Literatura

1. B. Więcek, G. De Mey: *Termowizja w podczerwieni – podstawy i zastosowanie*, Wydawnictwo PAK, Warszawa 2011.
2. A. Cholewka, A. Stanek i in.: *Thermography study of skin response due to wholebody cryotherapy*, Skin Research and Technology, 2011.
3. W. Minkina: *Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
4. A. Cholewka, T. Kasprzyk, A. Stanek, K. Sieroń-Stożny, Z. Drzazga: *May thermal imaging be useful in cyclist endurance tests?*, J Therm Anal Calor, 123(3), 2015, 1973-1979.
5. J. Costello, B. Stewart, J. Selfe, A. Karki, A. Donnelly: *Use of thermal imaging in sports medicine research: A short report*, Int Sport-med J, 14(2), 2013, 94-98.
6. J. Górski (red.): *Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego*, Warszawa, PZWL, 2011.
7. A. Pilawski: *Podstawy biofizyki*, PZWL, Warszawa 1977.
8. D. Wendt, L. van Loon, W. van Marken Lichtenbelt: *Thermoregulation during Exercise in the heat*, Sports Medicine, 37(8), 2007, 669-682.
9. W. Traczyk: *Fizjologia człowieka w zarysie*, Warszawa, PZWL, 1989.
10. A. Dębiec-Bąk, Ł. Pawlik, A. Skrzek: *Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography*, J Therm Anal Calor, 126, 2016, 1633-1644.
11. H. Podbielska, A. Skrzek (red.): *Zastosowanie niskich temperatur w biomedycynie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
12. H. Gregorowicz, Z. Zagrobelny: *Krioterapia ogólnoustrojowa, wskazania i przeciwwskazania, przebieg zabiegu i jego skutki fizjologiczne i kliniczne*, Acta Bio-Optica et Informatica Medica, 4, 1998, 120-131.
13. A. Stanek, A. Sieroń: *Współczesna krioterapia ogólnoustrojowa w odnowie biologicznej*, Annales Academiae Medicae Silesiensis, 66(4), 2012, 64-70.
14. A. Gage, J. Baust: *Cryosurgery – a review of recent advances and current issues*, Cryo. Lett, 23(2), 2002, 30-32.
15. Źródło internetowe z dnia: 07.06.2020, Anatomy and Physiology: 11.2 Naming Skeletal Muscles, <https://opentextbc.ca/anatomyandphysiology/chapter/11-2-naming-skeletal-muscles/>
16. M. Chudecka, A. Lubkowska: *Evaluation of the body Surface temperature changes in the basketball players' after training*, Acta Bio Opt Inf Med., 17, 2011, 271-274.
17. S. Rountree: *The Athlete's Guide to Recovery: Rest, Relax, and Restore for Peak Performance*, Boulder, VeloPress, 2011.
18. T.O. Bompa, C.A. Buzzichelli: *Periodization – Theory and Methodology of Training*, Champaign, Human Kinetics, 2019.
19. T. Kasprzyk, A. Cholewka, M. Kucewicz, K. Sieroń, M. Sillero-Quintana, T. Morawiec, A. Stanek: *A quantitative thermal analysis of cyclists' thermoactive base layers*, J Therm Anal Calor, 2018, doi.org/10.1007/s10973-018-7775-9.