

# Wpływ kriostymulacji ogólnoustrojowej na zmiany temperatury wybranych obszarów ciała w odniesieniu do wartości współczynnika BMI

Influence of the whole body cryotherapy on the body temperature in chosen regions in reference to the body mass index

Paweł Zalewski<sup>1</sup>, Katarzyna Buszko<sup>2</sup>, Jacek J. Klawe<sup>3</sup>, Małgorzata Tafil-Klawe<sup>4</sup>, Andrzej Lewandowski<sup>5</sup>, Krzysztof Słomiński<sup>6</sup>, Izabela Panowicz<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Katedra i Zakład Laseroterapii i Fizjoterapii Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. M. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz, tel. +48 (0) 52 585 34 85, e-mail: p.zalewski@cm.umk.pl

<sup>2</sup> Katedra Podstaw Teoretycznych Nauk Biomedycznych i Informatyki Medycznej, Zakład Teorii Układów Biomedycznych CM UMK, ul. Jagiellońska 13, 85-067 Bydgoszcz

<sup>3</sup> Katedra i Zakład Higieny i Epidemiologii CM UMK, ul. M. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz

<sup>4</sup> Katedra Fizjologii, Zakład Fizjologii Człowieka CM UMK, ul. Karłowicza 24, 85-092 Bydgoszcz

<sup>5</sup> Katedra i Zakład Podstaw Kultury Fizycznej CM UMK, ul. Świętojańska 20, 85-877 Bydgoszcz

<sup>6</sup> Oddział Neurologii i Leczenia Padaczki z Pododdziałem Udarowym Szpitala Uniwersyteckiego nr 2 im. dra J. Bizuela w Bydgoszczy, ul. Ujejskiego 75, 85-165 Bydgoszcz

<sup>7</sup> Klinika Uzdrawiskowa Pod Tężniami im. Jana Pawła II w Ciechocinku, ul. Warzelniana 7, 87-720 Ciechocinek

## Streszczenie

Krioterapia ogólnoustrojowa (WBC – *whole body cryotherapy*) opiera się na oddziaływaniu na organizm bodźcem termicznym o krańcowo niskiej temperaturze, od -100 °C do -160 °C, w czasie nieprzekraczającym 2-3 min. Jedną z bezinwazyjnych metod obiektywizacji skutków krioterapii ogólnoustrojowej jest analiza termowizyjna.

Celem badań była próba określenia zależności pomiędzy średnią temperaturą w obrębie wyznaczonych obszarów (R01-R28) a wskaźnikiem masy ciała BMI (*Body Mass Index*).

Badaniami objęto 36 zdrowych mężczyzn w wieku od 22 do 49 lat (średnia wieku 31,8 +/- 3,1), wskaźnik BMI wynosił od 20 do 32 (średni BMI 25,8 +/- 6,2). Metodyka badania opierała się na poddaniu badanych osób jednokrotnemu, 3-minutowemu zabiegowi krioterapii ogólnoustrojowej, a następnie wykonaniu termowizyjnej rejestracji temperatury powierzchni ciała przed zabiegiem krioterapii, w pierwszej minucie po wyjściu z kriokomory, po 40 min oraz po 3 godzinach.

Stopień wychłodzenia powierzchni ciała na skutek oddziaływania temperatur kriogenicznych nie koreluje w istotny sposób z wartością współczynnika BMI. Niemniej, odnotowano ujemne istotne statystycznie korelacje pomiędzy wartością współczynnika BMI a wartością temperatury w obrębie niektórych z badanych obszarów mierzonej zaraz po zabiegu oraz 40 min po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej.

**Słowa kluczowe:** krioterapia ogólnoustrojowa, ocena termowizyjna, wskaźnik BMI

## Abstract

Whole-body cryotherapy (WBC) is a therapy modality relying on the extreme cold exposure, within the range from -100 °C to -160 °C and duration not exceeding 2-3 minutes. One of the non-invasive methods of objectivization of systemic cryotherapy effects is thermovisual analysis.

The aim of this study was to assess the temperature changes of specific body regions in subjects exposed to whole-body cryotherapy in reference to the value of the BMI (body mass index).

36 healthy male volunteers aging from 22 to 49 (31,8 +/- 3,1), body mass index ranging from 20 to 32 (25,8 +/- 6,2) were once exposed to WBC. Peripheral body temperature was measured by means of thermovision camera before 1 minute, 40 minutes as well as within 3 hours after WBC. Analyzed body thermograms were divided into 28 areas (marked R01-R28).

Results suggest that there is no statistically significant correlation between the body mass index and peripheral temperature of selected areas. However, the statistically significant negative correlations between BMI and peripheral temperature values within some selected areas measured just after and 40 minutes after WBC, were noticed.

**Key words:** whole body cryotherapy, thermovisual analysis, body mass index

## Wstęp

Zabieg krioterapii ogólnoustrojowej polega na poddaniu pacjentów oddziaływaniu powietrza o bardzo niskiej temperaturze (około -110 °C) i bardzo niskiej wilgotności w czasie nieprzekraczającym 2-3 minut. W trakcie zabiegu pacjenci ubrani są w odpowiednią odzież, odsłaniającą możliwie największe partie ciała, jednak ze względu na bardzo niską temperaturę powietrza dystalne części kończyn oraz twarz muszą zostać osłonięte. Krioterapia ogólnoustrojowa z powodzeniem stosowana jest w Japonii, Niemczech oraz Polsce. W tych krajach prowadzone są liczne badania w zakresie klinicznego wykorzystania tej metody leczenia fizykalnego [1-3].

Kriostymulację ogólnoustrojową wykorzystuje się w leczeniu wielu stanów chorobowych, m.in. chorób zwyrodnieniowych narządu ruchu, chorób reumatycznych, świeżych urazów sportowych, stanów zapalnych, przewlekłych dolegliwości bólowych i fibromialgii [1, 2, 4, 5].

W trakcie 3-minutowego zabiegu temperatura powierzchni ciała ulega obniżeniu, następnie w ciągu kolejnych kilku minut od zakończenia zabiegu jej wartość wzrasta, jednakże obniżona wartość utrzymuje się jeszcze przez kilkadziesiąt minut [3, 6, 7]. Wychłodzenie powierzchni ciała nie jest równomierne, stopień wychłodzenia danej okolicy uzależniony jest przede wszystkim od właściwości termicznych otaczających tkanek, tj. stopnia ukrwienia danej okolicy i grubości podskórnej tkanki tłuszczowej. Do innych czynników wpływających na stopień wychłodzenia organizmu podczas zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej zalicza się również płeć, wiek oraz aktualne tempo metabolizmu pacjenta [8-10]. Według niektórych autorów typ psychologiczny danego pacjenta jest również traktowany jako czynnik wpływający na stopień tolerancji intensywnie oddziaływującego bodźca termicznego o niskiej temperaturze [10, 11]. Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że reakcja organizmu na działanie temperatur kriogenicznych uzależniona jest również od stopnia adaptowania pacjenta, ilości i czasu trwania poszczególnych zabiegów [11, 12].

W celu zachowania prawidłowych funkcji fizjologicznych temperatura wewnętrzna organizmu ludzkiego nie może ulegać większym wahaniom niż  $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tj. od poziomu hipotermii ( $35,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) do poziomu hipertermii ( $39,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Z kolei, zakres fizjologicznych zmian temperatury zewnętrznej jest zdecydowanie większy i może się wahać od  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ze względu na rozkład temperatury, ciało człowieka można podzielić na dwie części, centralną – stałocięplną oraz obwodową (osłonową) – zmiennocięplną. W części obwodowej rozkład temperatur zmniejsza się w kierunku od wnętrza ciała do obwodu [10, 13, 14]. Jak już wspomniano, skóra, tkanka podskórna, a w szczególności podskórna warstwa tłuszczowa tworzą ciepły izolator ciała. Ciepło może być odprowadzane z powierzchni ciała do otoczenia na drodze: radiacji – promieniowania, kondukcji – przewodzenia, ewaporacji – odparowywania. U osoby zdrowej przebywającej w pomieszczeniu o temperaturze pokojowej ok.  $60\%$  ciepła tracone jest na drodze promieniowania, ok.  $15\%$  w wyniku kondukcji ciepła do powietrza, a tylko ok.  $3\%$  na drodze kondukcji ciepła z ciała do obiektów stałych [13].

Ze względu na tak istotną rolę izolacyjną podskórnej tkanki tłuszczowej ciekawą będzie próba oceny stopnia wychłodzenia powierzchni ciała u osób poddanych zabiegowi kriostymulacji ogólnoustrojowej w odniesieniu do składu ciała, ze szczególnym uwzględnieniem zawartości tkanki tłuszczowej. W tym celu przydatne jest przeprowadzenie pomiarów antropometrycznych i określenie grubości fałdów skórno-tłuszczowych w obrębie wybranych okolic ciała oraz wyznaczenie wartości wskaźników antropometrycznych, tj. BMI (*body mass index*), WC (*waist circumference*), HC (*hip circumference*) lub WHR (*waist to hip ratio*). W niniejszym opracowaniu podjęto próbę oceny korelacji wartości wskaźnika BMI badanych osób ze zmianami temperatury na powierzchni ciała na skutek oddziaływania temperatur kriogenicznych. Wartość wskaźnika BMI określanego również wskaźnikiem Quateleta II, otrzymuje się przez podzielenie masy ciała danej osoby wyrażonej w kilogramach [kg] przez kwadrat liczby, określającej wzrost podany w metrach [m]. Wyznaczenie wartości wskaźnika BMI jest niezwykle proste, a zarazem bardzo przydatne w antropometrycznych badaniach przesiewowych oraz w określeniu stopnia nadwagi bądź otyłości. Wskaźnik BMI w sposób miarodajny odzwierciedla stopień otłuszczenia, według niektórych autorów wskaźnik ten jest w wyższym stopniu wiarygodny niż zdecydowanie bardziej zaawansowane metody określających skład ciała [15-17].

Jedną z bardziej precyzyjnych metod rejestracji rozkładu temperatury powierzchni ciała jest analiza termowizyjna. Metoda ta ze względu na nieinwazyjny charakter znalazła zastosowanie w diagnostyce medycznej. Termowizja wykorzystuje promieniowanie podczerwone, które emitowane jest przez każde, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględniego. Skóra człowieka wysyła i pochłania energię promieni podczerwonych w paśmie  $3\text{-}15\text{ }\mu\text{m}$ , współczynnik emisyjności dla tego zakresu wynosi  $0,98\text{-}1,0$ , dlatego też skórę można uważać

w przybliżeniu za ciało doskonale czarne. Rozkład temperatury na powierzchni ciała determinowany jest przez czynniki opisane powyżej [18, 19].

## Cel badań

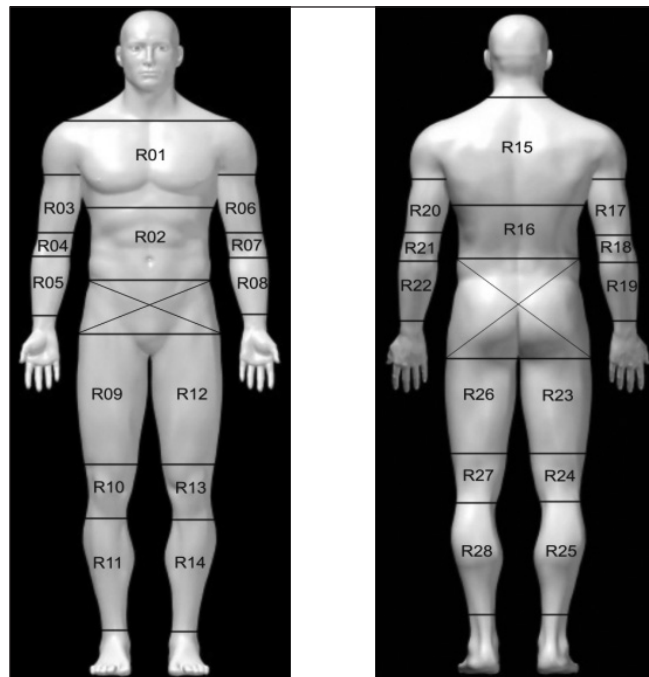
Celem niniejszej pracy jest próba określenia występowania korelacji pomiędzy wartością wskaźnika BMI a zmianami temperatury powierzchniowej wybranych okolic ciała u osób poddanych oddziaływaniu temperatur kriogenicznych.

## Materiał i metody

Badaniami objęto 36 zdrowych mężczyzn w wieku od 22 do 49 lat (średnia wieku  $31,8 \pm 3,1$ ), wskaźnik BMI wynosił od 20 do 32 (średni BMI  $25,8 \pm 6,2$ ). Wśród badanych osób nie stwierdzono przeciwwskazań do zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej. Kwalifikacja do badań następowała na podstawie ankiety wypełnianej przez ochotnika i badania lekarskiego. Osoby badane nie były poddawane zabiegom kriostymulacji ogólnoustrojowej co najmniej przez 12 miesięcy przed wykonaniem tych badań.

Metodyka badania opierała się na wykonywaniu zabiegów krioterapii ogólnoustrojowej w kriokomorze o typie sprężarkowym, składającej się z dwóch przedsiłonek (pierwszej ok.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , drugiej ok.  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i komory właściwej. Badani przebywali w kriokomorze – w komorze właściwej przez 3 minuty w temperaturze od  $-105\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na 2 godziny przed zabiegiem do momentu zakończenia badania osoby przebywały w pomieszczeniu klimatyzowanym, o stałej temperaturze i wilgotności. Badani nie wykonywali intensywnych ruchów, aktywność ograniczono do spacerów. Tym samym wyeliminowano wpływ czynności mięśni na dynamikę wychłodzenia organizmu.

Rejestracja powierzchniowej temperatury ciała została wykonana za pomocą kamery termowizyjnej firmy Flir Systems® ThermaCam P640. Parametry kamery termowizyjnej są następujące: pole widzenia/minimalna ogniskowa –  $240 \times 18^{\circ}/0,3\text{ m}$ ; IFOV –  $0,65\text{ mrad}$ ; czułość termiczna –  $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$  przy  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; częstotliwość obrazu –  $50/60\text{ Hz}$ ; regulacja ostrości – automatyczna; dokładność –  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  lub  $2\%$ ; rozdzielczość detektora –  $640 \times 480$  pikseli, niechłodzony.



Rys. 1, 2 Schematyczne przedstawienie mapy termicznej powierzchni ciała, oznaczono badane obszary od R01 do R28 – widok od strony brzusznej i grzbietowej

Zdjęcia termowizyjne zostały wykonane zgodnie z wytycznymi *European Association of Thermology* [19, 20]. Rejestracji temperatury dokonano przed zabiegiem krioterapii, w pierwszej minucie po wyjściu z kriokomory, po 40 minutach oraz 3 godzinach. Obraz poddany analizie podzielono na 28 obszarów (oznaczenie od R01 do R28); obejmowały one stronę brzuszną i grzbietową. Podział uwzględniał strukturę anatomiczną wyznaczonych obszarów [rys. 1, 2]. Używając specjalistycznego oprogramowania, z każdego obszaru wyznaczono temperaturę minimalną, maksymalną, średnią oraz odchylenie standardowe średnie.

## Analiza statystyczna

Na każdym etapie badania, tj.: przed zabiegiem oraz bezpośrednio po zabiegu, w 40 minut i 3 godziny po zabiegu, porównano temperatury w poszczególnych obszarach ciała. Wskazano obszary, między którymi różnice temperatur są statystycznie istotne. Analizę zmian temperatury w czasie przeprowadzono w oparciu o test Friedmana. Do każdego z testów wykonano odpowiednie testy *post hoc*. W celu eliminacji tzw. grubych błędów pomiarowych dla wszystkich uzyskanych średnich temperatur przeprowadzono test Grubbsa. Testem Shapiro-Wilka sprawdzono normalność rozkładu analizowanych temperatur. W celu oceny zależności między średnią temperaturą wskazanych obszarów ciała a wartościami BMI pacjentów wyznaczono współczynniki korelacji Pearsona oraz przeprowadzono test istotności współczynników korelacji. Wszystkie testy przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Do analizy statystycznej wykorzystano program Statistica 6.0.

## Wyniki

Na podstawie zgromadzonych wyników i analiz termogramów przedstawiono współczynniki Pearsona, oceniające zależność między wartością wskaźnika BMI pacjentów a średnią zarejestrowaną temperaturą dla obszarów R01-R28 na kolejnych etapach badania.

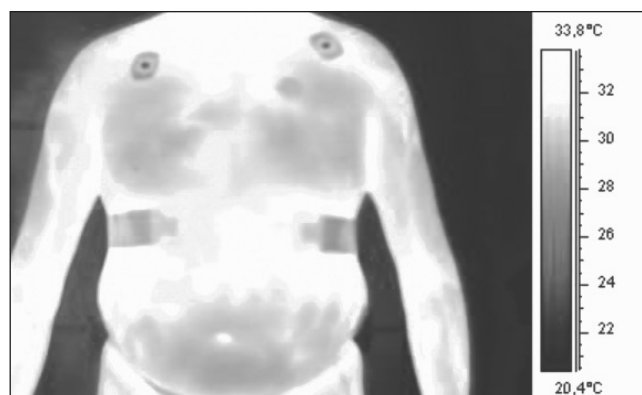
Obok przedstawiono przykładowe termogramy uzyskane na poszczególnych etapach badania u osób znacznie różniących się wartością współczynnika BMI. Na każdym z przedstawionych termogramów widoczne są elektrody bioimpedancyjne, elektrody EKG oraz zewnętrzny czujnik temperatury Vital Sense®, które służyły do zebrania innych sygnałów biologicznych, obszary pod elektrodami zostały pominięte w analizie.

Przed zabiegiem krioterapii ogólnoustrojowej zarejestrowano średnie temperatury w zakresie od 30,05 °C (R13) do 33,25 °C (R15). Po zabiegu najniższa średnia temperatura wyniosła 9,6 °C (R06), natomiast najwyższa 20,05 °C (R15). W czasie 40 minut od zabiegu najniższa średnia temperatura wyniosła 27,9 °C (R13), a najwyższa 31,64 °C (R15) (tabela 1).

W 3 godziny po zabiegu zarejestrowana najniższa średnia temperatura wyniosła 30,52 °C (R13), najwyższa 34,07 °C (R15).

Test Friedmana wykazał, że występują statystycznie istotne różnice między zarejestrowanymi pomiarami średniej temperatury w kolejnych etapach badania ( $\alpha=0,05$ ,  $p<0,05$ ). W celu oceny, które pomiary w czasie wpływają na taki wynik testu Friedmana, dla każdego obszaru wykonano test *post hoc* Dunna.

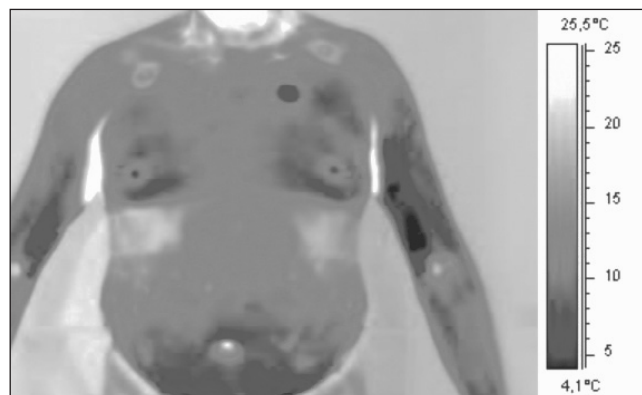
W teście Dunna nie stwierdzono występowania statystycznie istotnych różnic między temperaturą przed zabiegiem ( $T_{\text{przed krio}}$ ) i 40 minut po zabiegu ( $T_{40 \text{ min po krio}}$ ) dla regionów: R01, R03, R06. Stwierdzono występowanie statystycznie istotnych różnic między średnią temperaturą przed zabiegiem ( $T_{\text{przed krio}}$ ) a średnią temperaturą w 3 godziny po zabiegu ( $T_{3 \text{ h po krio}}$ ) dla regionów: R01, R02, R06. W przypadku pozostałych regionów wykazano, że na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  nie występują istotne statystycznie różnice między średnią temperaturą przed zabiegiem ( $T_{\text{przed krio}}$ ) a średnią temperaturą w 3 godziny po zabiegu ( $T_{3 \text{ h po krio}}$ ).



Rys. 3 Termogram osoby badanej, BMI 32, wykonany przed zabiegiem kriostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony brzusznej



Rys. 4 Termogram osoby badanej, BMI 32, wykonany przed zabiegiem kriostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony grzbietowej

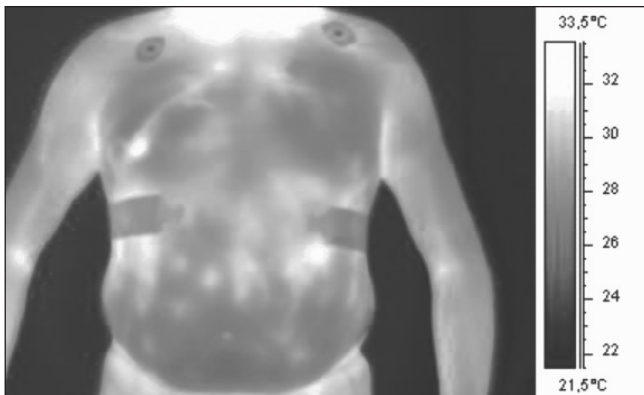


Rys. 5 Termogram osoby badanej, BMI 32, wykonany po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony brzusznej

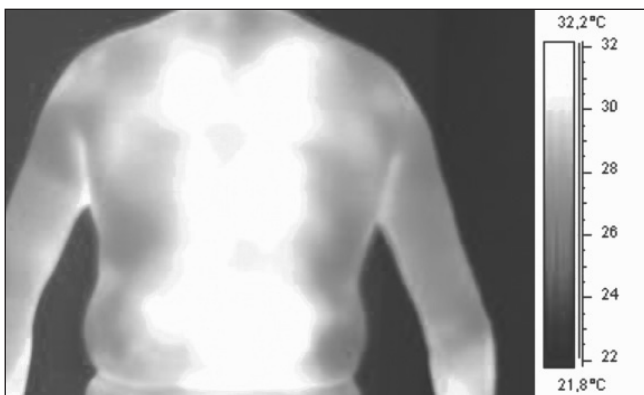


Rys. 6 Termogram osoby badanej, BMI 32, wykonany po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony grzbietowej

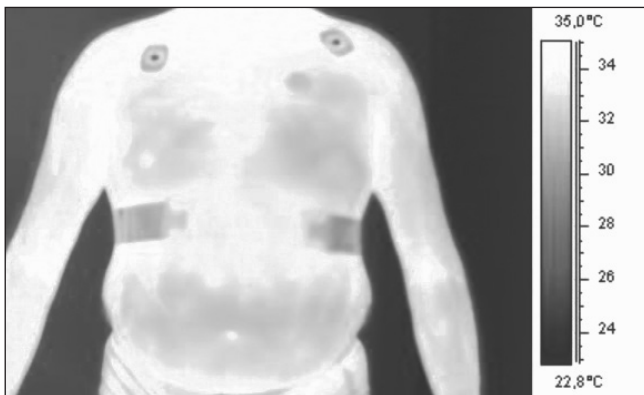




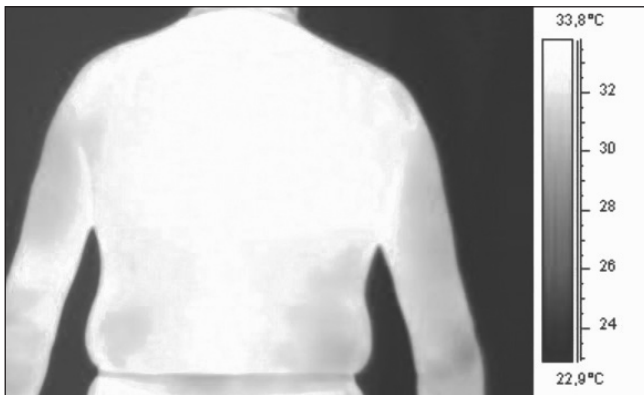
Rys. 7 Termogram osoby badanej, BMI 32, wykonany 40 min po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony brzusznej



Rys. 8 Termogram osoby badanej, BMI 32, wykonany 40 min po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony grzbietowej



Rys. 9 Termogram osoby badanej, BMI 32, wykonany 3 godziny po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony brzusznej



Rys. 10 Termogram osoby badanej, BMI 32, wykonany 3 godziny po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony grzbietowej

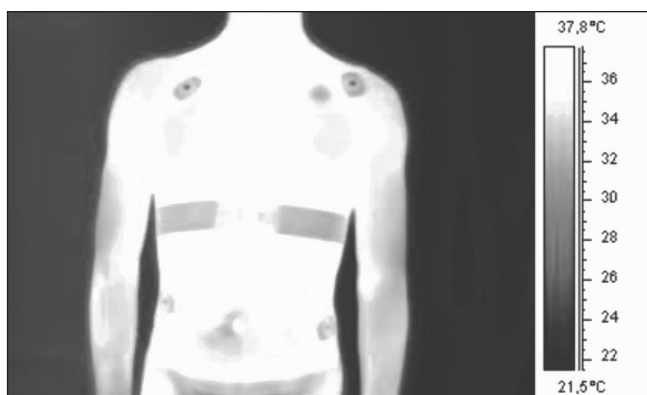
Tabela 1 Średnie wartości temperatur w obrębie regionów R01-R028 rejestrowane przed, po, 40 min i 3 godziny po, zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

Badany obszar	T <sub>przed krio</sub>	T <sub>po krio</sub>	T <sub>40 min po krio</sub>	T <sub>3 h po krio</sub>
R15	33,25	20,03	31,64	34,07
R16	32,73	19,00	30,60	33,44
R27	32,71	19,50	31,18	33,31
R24	32,42	19,01	30,79	32,93
R26	32,40	18,82	30,68	32,95
R01	32,34	15,00	30,45	33,87
R04	32,21	13,17	30,05	33,28
R28	32,21	17,23	31,21	32,38
R23	32,09	18,40	30,47	32,68
R02	31,93	14,48	29,41	33,42
R25	31,89	16,83	30,77	32,10
R14	31,83	17,90	30,21	32,24
R22	31,78	17,15	29,29	32,38
R03	31,71	10,94	29,57	33,13
R05	31,59	13,08	29,36	32,54
R11	31,58	17,90	29,87	32,38
R07	31,48	11,79	29,29	32,67
R21	31,43	16,37	28,79	31,84
R19	31,38	17,32	29,51	31,98
R20	31,36	15,11	29,05	31,84
R06	31,35	9,61	29,38	32,64
R09	31,28	14,44	29,75	31,74
R12	31,21	14,31	29,65	31,60
R08	30,90	11,73	28,43	31,96
R18	30,68	16,31	28,19	31,40
R17	30,39	14,47	28,29	31,29
R10	30,15	16,20	27,96	30,64
R13	30,05	15,75	27,91	30,53

Następnie przeprowadzono analizę korelacji pomiędzy temperaturą w poszczególnych obszarach a wartością współczynnika BMI, wyznaczonego zgodnie z przyjętymi standardami [15, 16, 17] – tabela 2. Wyznaczono współczynniki korelacji Pearsona oraz przeprowadzono test istotności współczynnika korelacji. Czcionką pogrubioną zaznaczono istotne statystycznie korelacje. Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników nie wykazano istotnych statystycznie korelacji między średnią temperaturą w analizowanych obszarach R01-R28 a wartością współczynnika BMI przed zabiegiem kriostymulacji.

Stwierdzono, że na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  występują przeciętne ujemne statystycznie istotne korelacje między wartością współczynnika BMI a średnią temperaturą mierzoną zaraz po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej w następujących obszarach: R11 ( $r = -0,44$ ), R14 ( $r = -0,46$ ), R24 ( $r = -0,48$ ), R27 ( $r = -0,48$ ). Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresach zależności BMI od temperatury powierzchniowej dla danego obszaru. Na rycinach wykreślono dopasowaną z regresji liniowej prostą wraz z 95% przedziałem ufności (rys. 19-22).

Na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  występuje przeciętna ujemna statystycznie istotna korelacja między wartością współczynnika BMI a średnią temperaturą mierzoną 40 min po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej w obszarze: R12 ( $r = -0,40$ ). Z kolei nie wykazano istotnych statystycznie korelacji między średnią temperaturą analizowanych obszarów a wartością współczynnika BMI w 3 godziny od zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej (rys. 23).



Rys. 11 Termogram osoby badanej, BMI 21, wykonany przed zabiegiem krostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony brzusznej



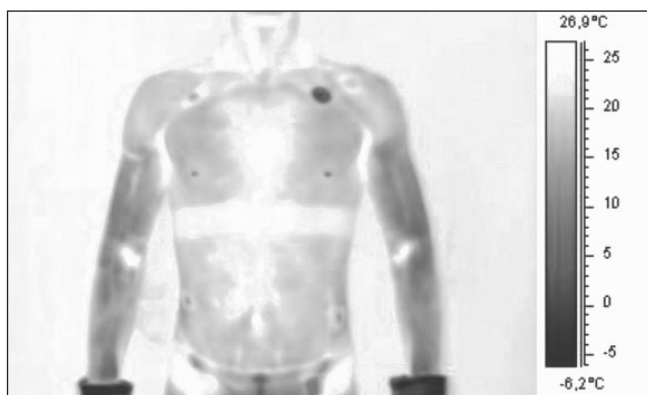
Rys. 15 Termogram osoby badanej, BMI 21, wykonany 40 min po zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony brzusznej



Rys. 12 Termogram osoby badanej, BMI 21, wykonany przed zabiegiem krostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony grzbietowej



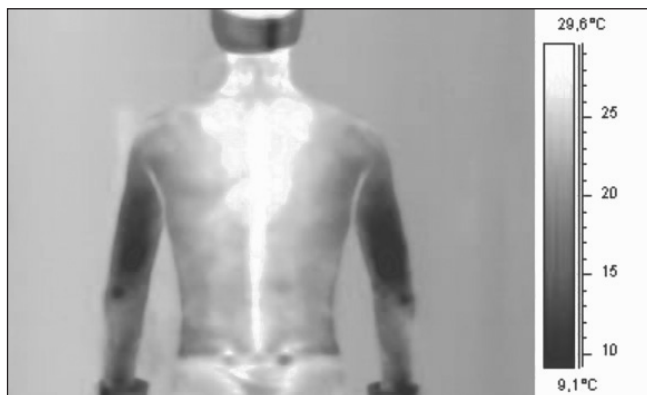
Rys. 16 Termogram osoby badanej, BMI 21, wykonany 40 min po zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony grzbietowej



Rys. 13 Termogram osoby badanej, BMI 21, wykonany po zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony brzusznej



Rys. 17 Termogram osoby badanej, BMI 21, wykonany 3 godziny po zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony brzusznej



Rys. 14 Termogram osoby badanej, BMI 21, wykonany po zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony grzbietowej



Rys. 18 Termogram osoby badanej, BMI 21, wykonany 3 godziny po zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej – widok od strony grzbietowej

Tabela 2 Korelacje pomiędzy temperaturą poszczególnych obszarów a wartością współczynnika BMI przed, po, 40 min po i 3 godziny po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

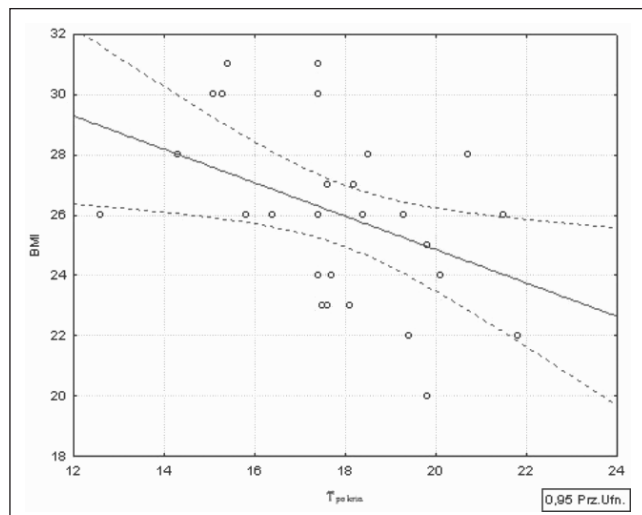
Badany obszar	Wartość współczynnika korelacji			
	przed krio.	po krio.	40 min po krio.	3 h po krio.
R01mean	-0,22	0,00	-0,30	-0,07
R02mean	-0,23	-0,11	-0,12	-0,25
R03mean	-0,17	-0,04	0,08	-0,01
R04mean	-0,03	0,12	0,21	0,19
R05mean	-0,02	-0,02	0,21	0,20
R06mean	-0,17	-0,02	0,05	0,00
R07mean	-0,09	0,06	0,12	0,06
R08mean	-0,12	-0,04	0,19	0,05
R09mean	-0,20	-0,10	-0,26	0,05
R10mean	-0,04	-0,18	0,04	0,27
R11mean	-0,16	<b>-0,44</b>	0,06	0,22
R12mean	-0,22	-0,13	<b>-0,40</b>	0,04
R13mean	0,20	-0,12	0,03	0,20
R14mean	-0,23	<b>-0,46</b>	-0,13	0,18
R15mean	-0,29	0,03	-0,37	0,04
R16mean	-0,05	-0,21	-0,30	-0,08
R17mean	-0,09	-0,16	-0,10	-0,01
R18mean	-0,10	-0,23	0,20	0,24
R19mean	-0,11	-0,36	0,30	0,27
R20mean	-0,07	-0,16	0,01	-0,02
R21mean	-0,08	-0,18	0,18	0,22
R22mean	-0,11	<b>-0,43</b>	0,28	0,13
R23mean	0,09	-0,26	-0,04	0,20
R24mean	-0,18	<b>-0,48</b>	-0,13	0,21
R25mean	-0,04	-0,34	0,10	0,25
R26mean	-0,15	-0,25	-0,10	0,23
R27mean	-0,18	<b>-0,48</b>	-0,09	0,20
R28mean	-0,03	-0,37	0,08	0,28

Natomiast w czasie 3 godzin od zakończenia 3-minutowego zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej nie wykazano istotnych statystycznie korelacji pomiędzy wartością współczynnika BMI a wartością temperatury średniej w obrębie analizowanych obszarów R01-R28.

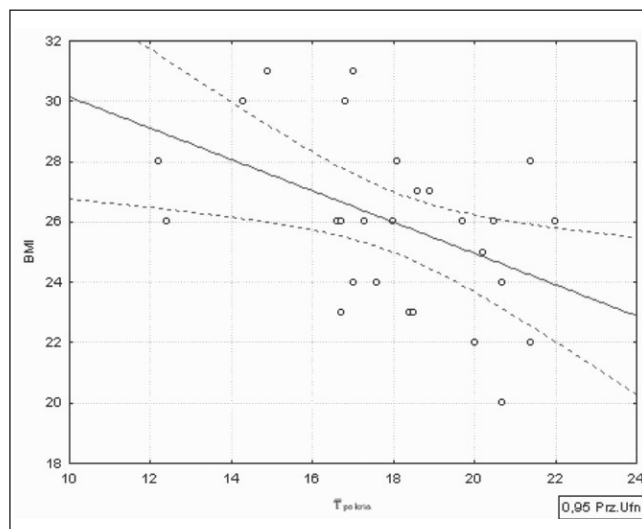
Ponadto, w tabeli 3 przedstawiono wartości średnie temperatury powierzchniowej kilku wybranych obszarów (R01, R02, R17, R20) dla 4 osób spośród całej grupy badawczej, które cechowały się skrajnie niskimi bądź wysokimi wartościami współczynnika BMI. Dane antropometryczne wskazują na te okolice ciała, które szczególnie ulegają procesowi otluszczenia, grubość tkanki tłuszczowej w tych okolicach w sposób miarodajny odzwierciedla stopień otluszczenia całego organizmu. Zmiany temperatury w obrębie obszarów R01, R02, R17 oraz R20 można odnieść do przedstawionych powyżej termogramów rys. 3-18.

## Dyskusja

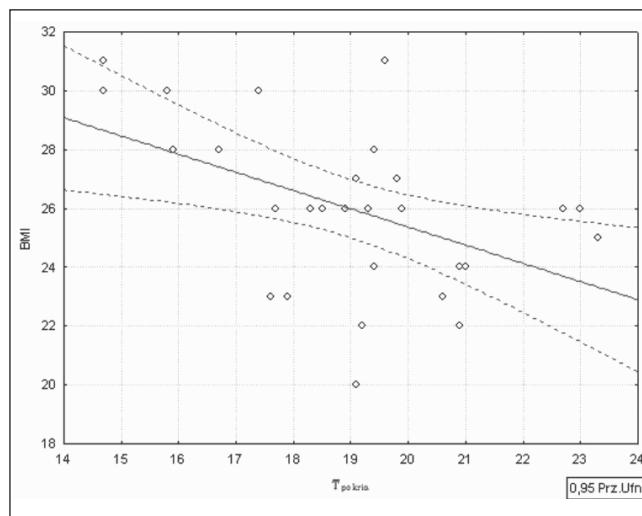
Analiza termowizyjna potwierdza obserwację, że poszczególne obszary powierzchni ciała zdecydowanie różnią się zarówno pod względem stopnia wychłodzenia pod wpływem czynnika kriogenicznego, jak i dynamiką zmian temperatury po zakończeniu zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej. Opie-



Rys. 19 Wykres zależności wartości współczynnika BMI od wartości temperatury dla obszaru R11 – okres po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

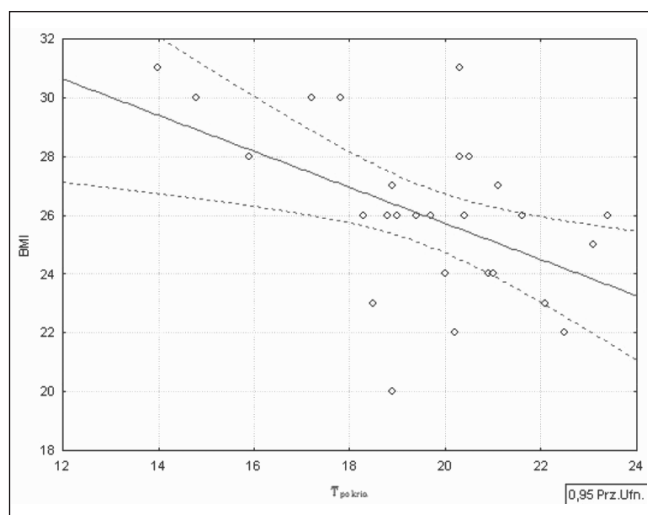


Rys. 20 Wykres zależności wartości współczynnika BMI od wartości temperatury dla obszaru R14 – okres po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

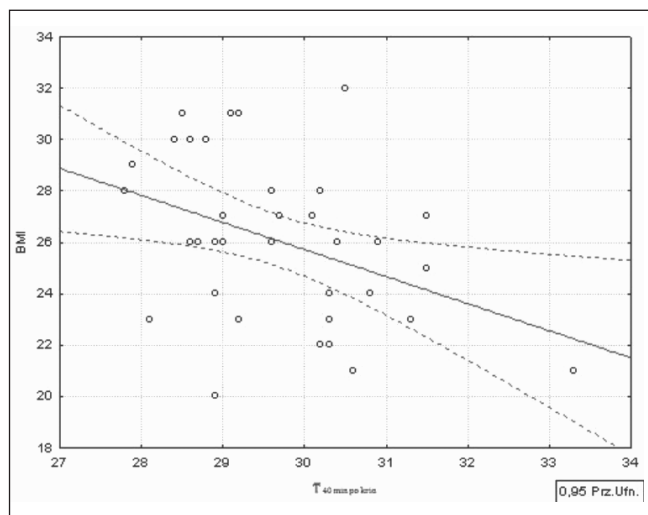


Rys. 21 Wykres zależności wartości współczynnika BMI od wartości temperatury dla obszaru R24 – okres po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej





Rys. 22 Wykres zależności wartości współczynnika BMI od wartości temperatury dla obszaru R27 – okres po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej



Rys. 23 Wykres zależności wartości współczynnika BMI od wartości temperatury dla obszaru R12 – okres 40 min po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

racząc się na doniesieniach innych autorów, można uznać, że jest to spowodowane budową i strukturą poszczególnych obszarów ciała, nawet wówczas, gdy wykluczy się czynnik dyrmorfizmu płciowego [7, 14, 18, 21]. Wartość wskaźnika BMI w miarodajny sposób odzwierciedla stopień otluszczenia organizmu, dlatego też celowe wydaje się wykorzystanie tego parametru antropometrycznego w ocenie właściwości izolacyjnych tkanki tłuszczowej wśród badanych osób, zwłaszcza w odniesieniu do oddziaływania na organizm temperatur kriogenicznych [14, 15, 17].

Analiza wyników wykazała występowanie ujemnych istotnych statystycznie korelacji pomiędzy wartością współczynnika BMI a średnią temperaturą powierzchniową w obrębie niektórych z analizowanych obszarów. W odniesieniu do tych obszarów wartość współczynnika BMI wpływa na stopień ich wychłodzenia. Z wyższymi wartościami wskaźnika BMI wiąże się uzyskanie niższej temperatury w tych obszarach. Fakt ten, najprawdopodobniej spowodowany jest obkurczeniem się naczyń skórnych na skutek działania bodźca o bardzo niskiej temperaturze, co wiąże się z ograniczeniem przepływu krwi z wnętrza ciała, a dodatkowo tkanka tłuszczowa blokuje skuteczny transport ciepła na drodze przewodnictwa z wnętrza do warstw powierzchniowych. Jednocześnie może to tłumaczyć fakt szybszego powrotu do temperatury wyjściowej po zadziałaniu czynnika kriogenicznego

Tabela 3 Wartości średnie temperatury powierzchniowej w obrębie obszarów R01, R02, R17, R20 dla 4 osób ze skrajnymi wartościami wskaźnika BMI

BMI	przed krio.	po krio.	40 min po krio.	3h po krio.
	<b>R01mean</b>	<b>R01mean</b>	<b>R01mean</b>	<b>R01mean</b>
32	31,4	15,9	31,0	35,7
31	32,9	10,5	30,2	33,9
21	33,2	18,1	31,0	34,5
B	33,4	17,5	30,9	34,6
	<b>R02mean</b>	<b>R02mean</b>	<b>R02mean</b>	<b>R02mean</b>
32	31,0	17,9	31,3	34,7
31	31,7	10,9	28,0	31,8
21	31,9	15,8	28,7	33,7
22	33,5	16,9	28,8	34,8
	<b>R09mean</b>	<b>R09mean</b>	<b>R09mean</b>	<b>R09mean</b>
32	29,9	14,5	30,2	32,5
31	31,9	8,5	28,7	32,4
21	30,4	18,5	30,2	30,5
22	31,1	15,4	30,2	33,1
	<b>R12mean</b>	<b>R12mean</b>	<b>R12mean</b>	<b>R12mean</b>
32	29,8	14,7	30,5	32,7
31	31,9	7,7	28,5	32,4
21	30,4	18,4	30,2	30,4
22	31,0	15,2	30,3	31,7
	<b>R17mean</b>	<b>R17mean</b>	<b>R17mean</b>	<b>R17mean</b>
32	28,9	13,8	28,7	32,6
31	31,4	9,5	28,2	31,3
21	32,3	19,9	29,8	32,0
22	31,3	14,4	29,8	32,9
	<b>R20mean</b>	<b>R20mean</b>	<b>R20mean</b>	<b>R20mean</b>
32	29,4	14,2	29,1	33,0
31	33,4	10,3	29,6	31,7
21	32,9	19,9	29,6	32,5
22	32,3	15,7	29,4	33,6

u osób mających cieńszą warstwę podskórnej tkanki tłuszczowej. Istotnie statystycznie korelacje pomiędzy temperaturą średnią a wartością BMI w obrębie obszarów R11, R12, R24 oraz R27 wskazują, że okolice o znikomej grubości podskórnej warstwy tłuszczowej ulegają zdecydowanie szybszemu wychłodzeniu, lecz również szybciej ulegają ponownemu ociepleniu, co jest zgodne z fizjologicznymi właściwościami skórnego łożyska naczyniowego. Istotna statystycznie korelacja w obrębie znacznie otluszczonego obszaru R12 wydaje się potwierdzać dwojakie działanie podskórnej warstwy tłuszczowej, z jednej strony stanowi warstwę izolacyjną skutecznie chroniącą głębsze warstwy ciała przed wyziębieniem, a z drugiej – blokuje transport ciepła z wnętrza ciała. Takie właściwości podskórnej tkanki tłuszczowej sugerują, że jej zawartość nie ma zbyt istotnego wpływu na dynamikę zmian temperatury powłok skórnych w wyniku oddziaływania bodźców kriogenicznych. Uzyskane wyniki nie pozwalają na jednoznaczne określenie zależności stopnia wychłodzenia powierzchni ciała od wartości współczynnika BMI, wskazane byłoby zatem kontynuowanie badań w tym zakresie, z uwzględnieniem dodatkowych metod antropometrycznych. Istotne wydaje się również porównanie grup badawczych o większej liczebności i zdecydowanie mniejszej zmienności wartości BMI w obrębie jednej grupy.

## Wnioski

1. Stopień wychłodzenia powierzchni ciała na skutek oddziaływania temperatur kriogenicznych nie koreluje w istotny sposób z wartością współczynnika BMI.
2. Odnotowano ujemne istotne statystycznie korelacje pomiędzy wartością współczynnika BMI a wartością temperatury w obrębie niektórych z badanych obszarów mierzonej zaraz po zabiegu oraz 40 min po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej.
3. Wyniki wskazują, że wartość współczynnika BMI nie wpływa na wartość temperatury powierzchniowej w żadnym z analizowanych obszarów przed zabiegiem oraz w 3 godziny po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej.
4. Wskazane jest prowadzenie dalszych badań w tym zakresie z wykorzystaniem szerszych metod i narzędzi antropometrycznych. ■

## Literatura

1. T. Westerlund, J. Smolander, A. Uusitalo-Koskinen i in.: *The blood pressure responses to an acute and long-term whole-body cryotherapy (-110°C) in men and women*, Journal of Thermal Biology, vol. 29, 2004, s. 285-290.
2. J. Smolander, M. Mikkelsson, J. Oksa i in.: *Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water*, Physiology & Behavior, vol. 82, 2004, s. 691-695.
3. P. Zalewski, K. Buszko, J.J. Klawe i in.: *Krótkoczasowa termowizyjna analiza skutków krioterapii ogólnoustrojowej u osób zdrowych*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 14, 2008, s. 272-277.
4. R. Fricke: *Ganzkörperkalttherapie in einer Kältekammer mit Temperaturen um -110°C*, Z. Phys. Med. Bal. Med. Klim., vol. 18, 1989, s. 1-10.
5. A.A. Algafly, K.P. George: *The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance*, British Journal of Sports Medicine, vol. 41, 2007, s. 365-369.
6. T. Westerlund, J. Oksa, J. Smolander i in.: *Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110°C)*, Journal of Thermal Biology, vol. 28, 2003, s. 601-608.
7. L. Jansky, V. Vavra, P. Jansky i in.: *Skin temperature changes in humans induced by local peripheral cooling*, Journal of Thermal Biology, vol. 28, 2003, s. 429-437.
8. I. Hołowacz, H. Podbielska, P. Hurnik i in.: *Computer aided acquisition and processing of thermovision images for evaluation of cryotherapy results*, Acta Biomedical Engineering. Whole Body Cryotherapy, vol. 1, 2006, s. 92-102.
9. T. Westerlund, J. Smolander, A. Uusitalo-Koskinen i in.: *The blood pressure responses to an acute and long-term whole-body cryotherapy (-110°C) in men and women*, Journal of Thermal Biology, vol. 29, 2004, s. 285-290.
10. H. Rintamaki: *Human Responses to Cold*, Alaska Medicine, Supplement, vol. 49(2), 2007, s. 29-31.
11. J. LeBlanc, M.B. Ducharme, L. Pasto i in.: *Response to thermal stress and personality*, Physiology & Behavior, vol. 80, 2003, s. 69-74.
12. F. Marino, J.M. Sockler, J.M. Fry: *Thermoregulatory, metabolic and sympathoadrenal responses to repeated brief exposure to cold*, Scand J Clin Lab Invest, vol. 58, 1998, s. 537-546.
13. S. Konturek i in.: *Fizjologia Człowieka*, tom IV; *Neurofizjologia*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 1998.
14. P. Sebo, S. Beer-Borst, D.M. Haller i in.: *Reliability of doctors' anthropometric measurements to detect obesity*, Preventive Medicine, vol. 47, 2008, s. 389-393.
15. M. Rajewski, J. Łazowski, A. Pisula: *Rozkład temperatury ciała w zabiegach krioterapii ogólnoustrojowej*, Fizjoterapia, vol. 9(1), 2001, s. 20-25.
16. S.B. Heymsfield, D. Gallagher, L. Mayer i in.: *Scaling of human body composition to stature: new insights into body mass index*, Am. J. Clin. Nutr., vol. 86, 2007, s. 82-91.
17. V.J. Poustie, R.L. Smyth, T.J. Cole: *Reliability of calculating body mass index centile*, European Journal of Clinical Nutrition, vol. 59, 2005, s. 717-719.
18. I. Hołowacz, H. Podbielska, P. Hurnik i in.: *Komputerowa akwizycja i obróbka obrazów termowizyjnych w ocenie skutków oddziaływania niskich temperatur*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 6, 2000, s. 35-46.
19. J. Żuber, A. Jung: *Metody termograficzne w diagnostyce medycznej*, BAMAR, Warszawa 1997.
20. A. Nowakowski [red.]: *Postępy termografii – aplikacje medyczne*, Wydawnictwo Gdańskie, Gdańsk 2001.
21. B.G. Vainer: *FPA-based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans*, Phys. Med. Biol., vol. 50, 2005, R63-R94.

Dziękujemy firmie Wod. En. Gaz-Test  
za pomoc w przeprowadzeniu badań.

[www.termowizja.eu](http://www.termowizja.eu) [wodengaz@wp.pl](mailto:wodengaz@wp.pl)