



# Wpływ wstępnego schłodzenia ciała z wykorzystaniem automatycznego nawiewu na wartość diagnostyczną obrazów termicznych gruczołu piersiowego

## The effect of pre-cooling the body with the use of automatic ventilation on the diagnostic value of thermal images of the mammary gland

Agnieszka Szurko<sup>1</sup>, Agnieszka Kietboń<sup>1</sup>, Dorota Lasyk<sup>2</sup>, Katarzyna Kokoszka<sup>1</sup>,  
Agata Stanek<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, tel. +48 32 349 75 86, e-mail: agnieszka.szurko@us.edu.pl

<sup>2</sup> Uniwersyteckie Centrum Kliniczne im. prof. K. Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, Zakład Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej, ul. Ceglana 35, 40-514 Katowice

<sup>3</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

### Streszczenie

### Abstract

Termografia, jako nieinwazyjna metoda pozwalająca szybko i skutecznie wykryć obszary o podwyższonej temperaturze powierzchni ciała, idealnie nadaje się do celów wspomagających diagnostykę schorzeń piersi. Celem przeprowadzonych badań było udoskonalenie procedur badawczych z wykorzystaniem termowizji poprzez zastosowanie wstępnego schłodzenia ciała ochotników. Pomiary wykonano w Laboratorium Medycyny Sportowej Instytutu Inżynierii Biomedycznej na Uniwersytecie Śląskim. Grupa badawcza składała się z 5 zdrowych, młodych osób. Ciało ochotników zostało schłodzone w komorze kriogenicznej CryoSpace firmy JBG2 przy pomocy powietrza o temperaturze 0°C. Na uzyskanych termogramach gruczołów piersiowych oznaczone zostały obszary pomiarowe według stosowanej w medycynie konwencji. Analizowane termogramy oraz parametry temperaturowe jednoznacznie wykazały zwiększenie zakresu obserwowanych różnic temperaturowych po schłodzeniu piersi. Kontrast temperaturowy obliczany na podstawie różnic średnich temperatur symetrycznych obszarów piersi wzrastał nawet kilkakrotnie. Prosty zabieg ochłodzenia badanego obszaru może zatem podnieść czułość i dokładność pomiarów termowizyjnych.

Thermography as a non-invasive method that allows to detect quickly and effectively areas with increased body surface temperature, is ideally suited for supporting the diagnosis of breast diseases. The aim of the research was to improve research procedures using thermovision by applying pre-cooling of the volunteers' bodies. The measurements were made at the Sports Medicine Laboratory of the Institute of Biomedical Engineering at the University of Silesia. The research group consisted of 5 healthy young people. The body of the volunteers was cooled in the CryoSpace cryogenic chamber by JBG2, with the use of air at a temperature of 0°C. Measurement areas were marked on the obtained thermographs of the mammary glands according to the convention used in medicine. The analysed thermograms and temperature parameters clearly showed an increase in the range of observed temperature differences after breast cooling. The temperature contrast, calculated on the basis of differences in mean temperatures of symmetrical breast areas, increased even several times. A simple treatment of cooling the examined area can therefore increase the sensitivity and accuracy of thermal imaging measurements.

**Słowa kluczowe:** termografia piersi, kriokomora, nowotwór piersi

**Key words:** breast thermography, cryochamber, breast cancer

otrzymano / received:

23.11.2022

poprawiono / corrected:

29.11.2022

zaakceptowano / accepted:

05.12.2022



## Wprowadzenie

W obecnych czasach choroby nowotworowe uważane są za główną przyczynę śmierci w wielu krajach. Rak piersi jest najczęstszym nowotworem wśród kobiet [1]. Global Cancer Observatory (GLOBOCON) szacuje, że wskaźnik zachorowalności na raka piersi u kobiet na całym świecie wyniesie 11,7% w 2020 r. (2,3 mln nowych przypadków) [2, 3].

Tradycyjnie badania przesiewowe w kierunku raka piersi wykonywano głównie za pomocą mammografii, a następnie rezonansu magnetycznego (MRI) i ultrasonografii medycznej (USG). Zaletą mammografii pojedynczej jest z pewnością jej wysoka swoistość (do 99,5%) [4]. Mammografia jest uważana za złoty standard badań przesiewowych i narzędzie do wczesnego wykrywania raka piersi. Jednak sposób interpretacji i zmienność gęstości tkanek może wpływać na wyniki mammografii [5-7]. Wśród istotnych czynników, które należy brać pod uwagę w trakcie diagnostyki chorób piersi, trzeba wymienić zmiany hormonalne występujące szczególnie u kobiet, które przeszły hormonalną terapię zastępczą [7]. Można zatem przyjąć z pewnym przybliżeniem, że mammografia wiąże się z występowaniem wyników fałszywie ujemnych, niebezpieczeństwem promieniowania jonizującego i jest niekomfortowe dla pacjentów. Ponadto nie jest akceptowaną metodą przesiewową w celu wykrycia raka piersi u młodych kobiet, kobiet z piersiami radiologicznie gęstymi lub u kobiet z implantami piersi [6, 8-10]. Z kolei MRI ma wysoką czułość (do 100 %) i wysoką swoistość (do 95 %), ale jest drogi jako standardowa czy przesiewowa procedura diagnostyczna, zajmuje dużo czasu i musi być wykonany ze środkiem kontrastowym. USG generuje wiele wyników fałszywie dodatnich, ale ma dobrą specyficzność w gęstej tkance piersi [4, 11].

W przeciwieństwie do innych metod obrazowych termografia jest techniką nieinwazyjną, nieinkluzywną, wolną od promieniowania i tanią [12, 13]. Termografia dobrze nadaje się do wykrywania zmian w perfuzji krwi, które są spowodowane m.in. stanem zapalnym, angiogenezą, guzami łagodnymi i złośliwymi [13, 14]. Jest to metoda pomiaru temperatury powierzchni obiektu poprzez wykrywanie promieniowania podczerwonego (tj. energii cieplnej) emitowanego przez obiekt. Wykorzystanie obrazowania w podczerwieni w diagnostyce onkologicznej opiera się na założeniu, że aktywność metaboliczna i krążenie naczyniowe w tkance przednowotworowej i jej okolicach są często wyższe niż w prawidłowej tkance, czego nie zobaczymy w mammografii czy też ultrasonografii. Guzy nowotworowe zwiększają krążenie w swoich komórkach w celu dostarczenia składników odżywczych poprzez otwarcie istniejących naczyń krwionośnych, naczyń uśpionych (nieaktywnych) i nowych. Powoduje to zatem wzrost regionalnej temperatury powierzchni piersi, który można wykryć za pomocą obrazowania w podczerwieni [7].

Termografia piersi dostarcza informacji termicznych, takich jak rozkład temperatury, gradienty temperatury i schematy cieplne, a także zlokalizowane lub uogólnione cechy termiczne, z których wszystkie mogą być użytecznymi danymi wejściowymi

w środowisku badań przesiewowych w kierunku raka [15]. Jednak dokładność termografii zależy od wielu czynników, takich jak symetria temperatury piersi, stabilność temperatury, stan fizjologiczny i cykl miesięczkowy [7, 16]. Należy zatem zwrócić uwagę, że interpretacja termografii piersi jest trudna ze względu na złożoność wzorców naczyniowych, a niektórych typów nowotworów (zimnych guzów) nie można wykryć (fałszywie ujemne) za pomocą IR [10, 17]. Ponadto metoda ta nie pozwala na wykrycie niewielkich zmian umiejscowionych na głębokości 2-3 cm [10]. Z drugiej strony termografia ma przewagę nad innymi technikami badania piersi, zwłaszcza gdy guz znajduje się w gęstej tkance [13, 18, 19].

Najczęstszą metodą wykrywania nieprawidłowości piersi jest analiza obustronnej asymetrii termogramów piersi, która opiera się na założeniu, że wzorce termiczne obu piersi na nieprawidłowym termogramie są zauważalnie asymetryczne [20, 21]. W literaturze podaje się, że termogramy, które posiadają asymetryczne rozkłady temperatury najczęściej wskazują na fizjologiczną dysfunkcję piersi pacjentek [22-24]. W porównaniu z tymi termogramami termogramy przedstawiające podwyższoną temperaturę brodawki sutkowej, plamy gorąca i zmiany naczyniowe mogą budzić większe podejrzenia i wskazywać na poważniejsze zmiany chorobowe występujące w gruczole piersiowym [21, 25, 26]. Jednak odróżnienie nieprawidłowych termogramów od prawidłowego jest nadal bardzo trudne ze względu na subtelny charakter wzorców temperaturowych na termogramach piersi [21].

Dlatego wciąż nie dokonano standaryzacji w obrazowaniu termicznym. Konieczne jest opracowanie przyjaznego dla użytkownika, znormalizowanego systemu do celów przesiewowych badań termowizyjnych piersi.

Nasze badania termowizyjne, w połączeniu ze wstępnym schłodzeniem ciała ochotników, miały na celu opracowanie szybkiej i dokładniejszej techniki wykrywania ewentualnych zmian metabolizmu tkanek, która w przyszłości mogłaby być wykorzystywana w medycynie do badań przesiewowych i uzupełniających piersi.

## Materiał i metodyka

Pomiary przeprowadzono w Laboratorium Medycyny Sportowej w Instytucie Inżynierii Biomedycznej w Uniwersytecie Śląskim, gdzie jest zainstalowana komora kriogeniczna CrioSpace firmy JBG2. Firma udostępniła do badań kriokomorę własnej produkcji oraz przystosowała ją do badań, w których nawiew chłodzący pacjenta otrzymywany jest za pomocą agregatu schładzającego powietrze do temperatury 0°C (Ryc. 1).

Obrazowanie termiczne przeprowadzono z wykorzystaniem kamery termowizyjnej FLIR T1020 (Ryc. 2).

Grupę badawczą stanowiło 5 osób (2 mężczyzn i 3 kobiety) w przedziale wiekowym 20-30 lat. Do badania zakwalifikowano tylko osoby bez zdiagnozowanych schorzeń gruczołu piersiowego, zdrowe, niestosujące leków mogących wpłynąć na temperaturę ciała, np. leków przeciwzapalnych.



**Ryc. 1** Kriokomora wykorzystywana do badań z agregatem umożliwiającym uzyskanie nawiewu o temperaturze 0°C wewnątrz, bez stosowania ciekłego azotu  
Źródło: Materiał własny.



**Ryc. 2** Kamera termowizyjna FLIR T1020  
Źródło: Materiał własny.

Kilka godzin przed przystąpieniem do pomiarów ochotnicy ubrani byli w przewiewne koszulki, aby nie wywoływać otarć w obrębie badanego obszaru. W pomieszczeniu pomiarowym ochotnicy rozbierali się, tak aby odstąpić górną część ciała. Po kilkunastominutowej aklimatyzacji można było przystąpić do pomiarów. Pierwsze zdjęcie termiczne wykonywane było bezpośrednio przed wejściem ochotnika do komory chłodzącej. Wszystkie pomiary termograficzne zakładały wykonanie zdjęcia w projekcji AP (łac. *anterior-posterior*), tzn. pacjent stał na wprost kamery termowizyjnej z rękami splecionymi za głową (Ryc. 3).



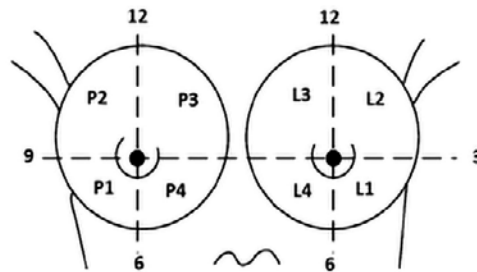
**Splecione ręce za głową**

**Ryc. 3** Pozycja stosowana przy wykonywaniu zdjęć termograficznych  
Źródło: Materiał własny.

Schłodzenie gruczołów piersiowych odbywało się w komorze kriogenicznej, gdzie pacjent bez koszulki przebywał 3 minuty.

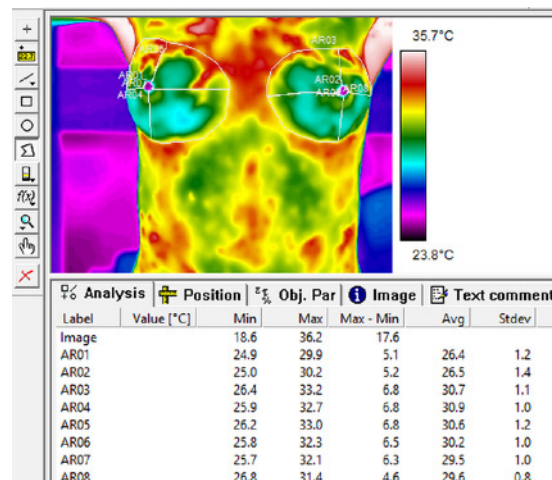
Nawiew schłodzonego do temperatury 0°C równomiernie schładzał powierzchnię ciała. Zdjęcie termowizyjne po schłodzeniu ciała wykonywano niezwłocznie po wyjściu ochotnika z komory.

Analiza termogramów została przeprowadzona w programie ThermoCAM Researcher Pro 2.10. Obszary pomiarów temperatury (ROI) wybrane zostały według konwencji stosowanej przy badaniu piersi, tzn. każda pierś została podzielona na 4 kwadranty oznaczone odpowiednio: P/L1 – kwadrant dolny zewnętrzny, P/L2 – kwadrant górny zewnętrzny, P/L3 – kwadrant górny wewnętrzny, P/L4 – kwadrant dolny wewnętrzny, gdzie P i L oznaczają pierś prawą oraz lewą (Ryc. 4). Osobno uwzględniono brodawki sutkowe i oznaczono jako BS P – brodawka sutkowa piersi prawej oraz BS L – brodawka sutkowa piersi lewej. Otrzymano wartości temperatury średniej wraz z odchyleniem standardowym, temperatury maksymalnej, minimalnej, a także ich różnicę.



**Ryc. 4** Podział piersi na kwadranty  
Źródło: [27].

Analiza statystyczna danych została przeprowadzona z wykorzystaniem programu Statistica 12. Ocena wpływu krótkiego ochłodzenia gruczołów piersiowych na otrzymane parametry termiczne została przeprowadzona z uwzględnieniem różnic średnich temperatur symetrycznych obszarów piersi oraz zakresu temperaturowego termogramów przed i po schłodzeniu określonego jako kontrast temperaturowy ( $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ ). Przykładowe wyniki zbiorcze otrzymane dla jednego pomiaru przedstawiono na rycinie 5. Wykonano nieparametryczne testy Wilcoxon. Przyjęty próg istotności statystycznej wyniósł  $p < 0,05$ .

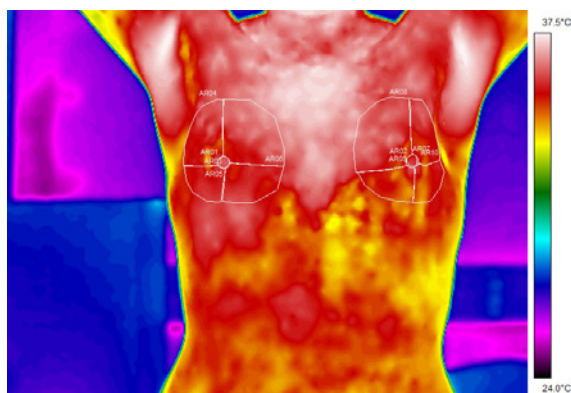


**Ryc. 5** Okno programu ThermoCAM Researcher 2.10  
Źródło: Materiał własny.

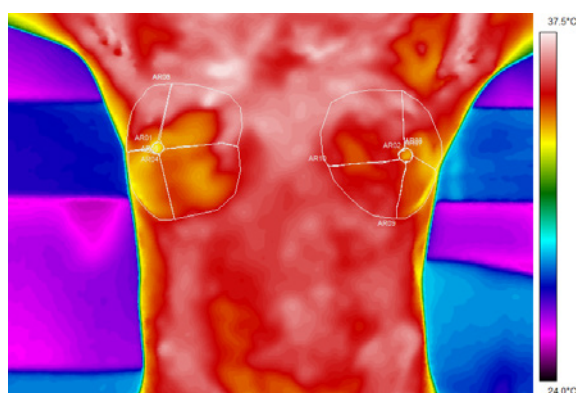
## Wyniki

Analiza wyników badań termograficznych dostarczyła szczegółowych informacji o rozkładzie temperatury na powierzchni piersi badanych ochotników przed i po schłodzeniu ciała. Termogramy uzyskane dla przykładowych ochotników przedstawiono na rycinach 6-11. Szczegółowe wyniki przedstawiono w formie tabel zawierających pomiary temperatur charakteryzujących poszczególne kwadranty, tj. badane obszary piersi pod odpowiednimi termogramami (Tabele 1-3). Termogramy zaprezentowano w zakresie od 24 do 37,5°C, ponieważ po schłodzeniu ciała znacznie zwiększa się obserwowana rozpiętość temperaturowa. Oceniano parametry termiczne ze wszystkich odpowiadających sobie kwadrantów piersi, aby wykryć ewentualne anomalie temperaturowe po ich schłodzeniu.

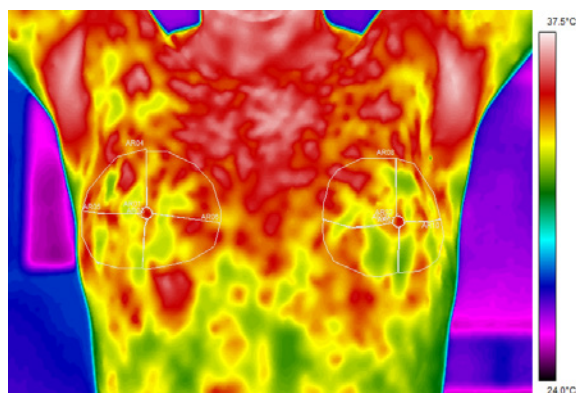
Termogramy wykonane przed schłodzeniem ciała dla ochotnika 1 (mężczyzna) (Ryc. 6, 7) wykazały podwyższoną różnicę temperaturową (o 0,5°C) w kwadrantach dolnych wewnętrznych obu badanych piersi P4/L4. Po schłodzeniu ciała uwidoczniła się duża niejednorodność temperaturowa. Nie wykryto jednak istotnych odchyień temperaturowych gruczołu piersiowego prawego względem lewego. Znaczne schłodzenie ciała, szczególnie w okolicach brodawek sutkowych, widoczne jest dobrze na termogramach wykonanych dla ochotnika 2 (kobieta) (Ryc. 8, 9). Temperatura powierzchni ciała pacjenta wskutek nawiewu chłodnego powietrza znacznie statystycznie obniżyła się w różnych badanych obszarach nawet o kilka stopni Celsjusza. Różnica temperatur, oceniania symetrycznie pomiędzy kwadrantami dla prawej i lewej piersi, mieści się w normie,



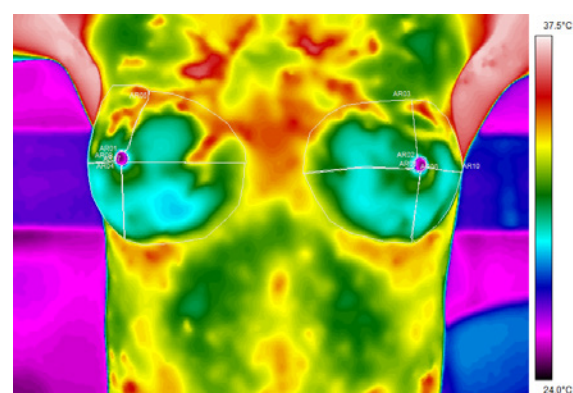
Ryc. 6 Termogram ochotnika 1 wykonany przed zabiegiem schłodzenia ciała  
Źródło: Materiał własny.



Ryc. 8 Termogram ochotnika 2 wykonany przed zabiegiem schłodzenia ciała  
Źródło: Materiał własny.



Ryc. 7 Termogram ochotnika 1 wykonany po schłodzeniu ciała w kriokomorze  
Źródło: Materiał własny.



Ryc. 9 Termogram ochotnika 2 wykonany po schłodzeniu ciała w kriokomorze  
Źródło: Materiał własny.

Tabela 1 Wartość średnia temperatur uzyskanych z poszczególnych kwadrantów dla obu piersi przed i po schłodzeniu ciała ochotnika 1

OBSZAR	T średnia PRZED [°C]	T średnia PO [°C]	ΔT PRZED [°C]	ΔT PO [°C]
P1/L1	35,4/35,0	33,0/32,7	0,4	0,3
P2/L2	35,4/35,3	33,2/32,9	0,1	0,3
P3/L3	35,9/35,7	33,4/33,3	0,2	0,1
P4/L4	35,4/34,9	33,1/32,8	0,5	0,3
BS P/BS L	35,7/35,5	33,7/33,7	0,2	0

Źródło: Opracowanie własne.

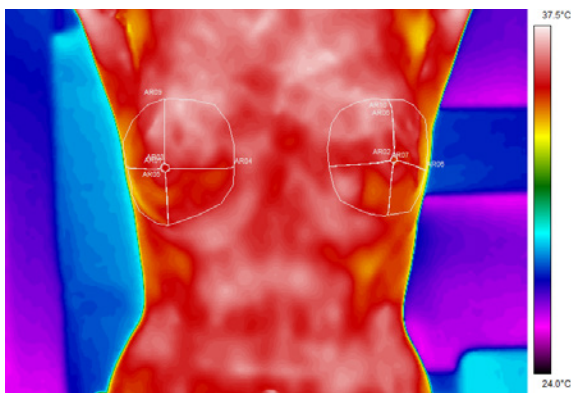
Tabela 2 Wartość średnia temperatur uzyskanych z poszczególnych kwadrantów dla obu piersi przed i po schłodzeniu ciała ochotnika 2

OBSZAR	T średnia PRZED [°C]	T średnia PO [°C]	ΔT PRZED [°C]	ΔT PO [°C]
P1/L1	34,5/34,7	29,0/29,3	0,2	0,3
P2/L2	35,4/35,1	30,7/30,9	0,3	0,2
P3/L3	35,4/35,5	30,6/30,2	0,1	0,4
P4/L4	34,9/35,2	29,5/29,6	0,3	0,1
BS P/BS L	34,2/34,6	25,9/26,0	0,4	0,1

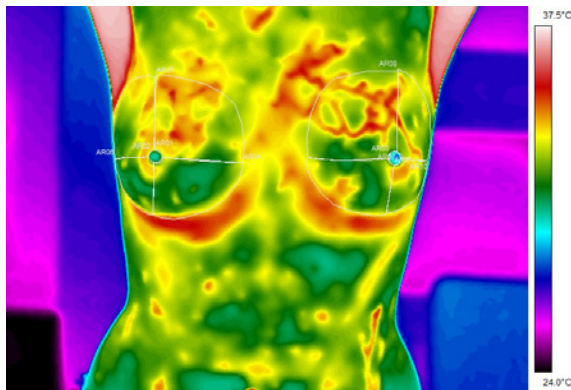
Źródło: Opracowanie własne.



którą przyjęto za 0,5°C. Kolejny przedstawiony na rycinach 10 i 11 przypadek to termogramy wykonane dla ochotnika 3 (kobieta). Na zdjęciu wykonanym w temperaturze pokojowej rozkład termiczny ciała ochotniczki jest stosunkowo jednorodny i symetryczny, a zmierzone wartości temperatur mieszczą się w normie. Po schłodzeniu temperatura niektórych obszarów zainteresowania obniżyła się nawet o 5,1°C, przy czym wyraźnie zaznaczyły się na termogramie obszary o podwyższonej temperaturze. Uwidoczniła się też wyraźna asymetria termalna brodawek sutkowych. Obserwuje się znacznie zmniejszoną temperaturę brodawki sutkowej lewej w stosunku do prawej, a zmierzona różnica temperatur wynosi 1,1°C. Również wartość różnicy średnich temperatur obliczona dla dolnych zewnętrznych kwadrantów P1/L1 jest stosunkowo wysoka: 0,5.



Ryc. 10 Termogram ochotnika 3 wykonany przed zabiegem schłodzenia ciała  
Źródło: Materiał własny.



Ryc. 11 Termogram ochotnika 3 wykonany po schłodzeniu ciała w kriokomorze  
Źródło: Materiał własny.

Tabela 3 Wartość średnia temperatur uzyskanych z poszczególnych kwadrantów dla obu piersi przed i po schłodzeniu ciała ochotnika 3

OBSZAR	T średnia PRZED [°C]	T średnia PO [°C]	ΔT PRZED [°C]	ΔT PO [°C]
P1/L1	34,8/34,9	30,3/30,8	0,1	0,5
P2/L2	35,3/35,2	31,0/31,0	0,1	0
P3/L3	35,8/35,8	31,3/31,2	0	0,1
P4/L4	35,2/35,3	30,2/30,6	0,1	0,4
BS P/BS L	35,2/35,0	31,0/29,9	0,2	1,1

Źródło: Opracowanie własne.

Wykonane po schłodzeniu ciała zdjęcia termiczne ochotników 2 i 3 bardzo dobrze uwidaczniają naczynia krwionośne w obrębie badanych gruczołów piersiowych.


Otrzymane wartości różnic temperatur maksymalnych oraz minimalnych dla wszystkich analizowanych obszarów gruczołu piersiowego dostarczyły informacji o znacznym zwiększeniu zakresu obserwowanych gradientów temperatur na zdjęciach termicznych po wykonaniu prostego zabiegu ochłodzenia piersi. Obserwowany na zdjęciach termowizyjnych zakres temperatury wzrastał nawet trzykrotnie w porównaniu do rozpiętości temperatury przed schłodzeniem. Przeprowadzona analiza wykazała istotny statystycznie wzrost różnicy między maksymalną oraz minimalną temperaturą w badanych kwadrantach na termogramach wykonanych przed i po ochłodzeniu piersi ( $p < 0,001$ ). Nie wykazano natomiast istotnych różnic średnich temperatur w odpowiadających sobie obszarach pomiarowych położonych symetrycznie względem siebie, np. P1 vs. L1 itd. Badania zostały przeprowadzone na grupie młodych, zdrowych ochotników, więc nie spodziewano się zaobserwowania różnic w symetryczności rozkładu temperatur badanych gruczołów piersiowych. Jest to jednak aspekt potencjalnie bardzo ważny w przypadku oceny termogramów wykonanych dla osób chorych, ze zmianami zlokalizowanymi najczęściej w obrębie jednej piersi.

Dzięki krótkiemu zabiegowi schłodzenia obszaru badanego wzrasta czułość i dokładność badania termowizyjnego, co jest doskonale widoczne na przedstawionych termogramach wykonanych po ochłodzeniu gruczołów piersiowych (Ryc. 6-11). Dodatkowe wprowadzenie zabiegu mającego na celu ochłodzenie miejsca badanego przed wykonaniem badania termowizyjnego wymaga jednak dodatkowej kontroli i czujności ze strony osoby wykonującej i oceniającej otrzymane zdjęcia. Widoczna na zdjęciach termicznych asymetria termalna może wynikać np. z nieodpowiedniej pozycji osoby badanej podczas ochładzania ciała. Miejsca o podwyższonej temperaturze mogą wiązać się z rozwijającym się stanem zapalnym lub być wyraźnie zarysowanym obszarem, gdzie uwidoczniły się naczynia krwionośne. Wydaje się, że standaryzacja procedury ochładzania jest stosunkowo łatwa do przeprowadzenia, a korzyści wynikające z zastosowania chłodzenia ciała w kontekście diagnostyki termowizyjnej są niezaprzeczalne. Miejsca o podwyższonej temperaturze mogą wiązać się z rozwijającym się stanem zapalnym lub być wyraźnie zarysowanym obszarem, gdzie uwidoczniły się naczynia krwionośne.

## Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdzają przydatność krótkiego ochłodzenia ciała w diagnostyce termowizyjnej schorzeń gruczołu piersiowego. W porównaniu z klasycznym obrazowaniem termicznym otrzymuje się termogramy znacznie precyzyjniej obrazujące różnice temperaturowe między symetrycznymi obszarami dzięki temu, że kontrast temperaturowy badanego obszaru istotnie wzrasta. Czynniki fizyczne, w postaci nawiewu powietrza o temperaturze 0°C, może mieć więc istotny wpływ na



parametry temperaturowe otrzymywane z termogramów, a zatem na czułość i dokładność diagnostyki termowizyjnej. Niewątpliwie dalsze badania na znacznie większej grupie badawczej, uwzględniające potwierdzone przypadki osób ze schorzeniami piersi, są niezwykle potrzebne i wzbogacą wkład badań termowizyjnych w diagnostyce chorób gruczołów piersiowych. 

## Piśmiennictwo

1. M.P. Curado: *Breast cancer in the world: incidence and mortality*, *Salud Publica de Mexico*, 53(5), 2011, 372-384.
2. S. Civilibal, K.K. Cevik, A. Bozkurt: *A deep learning approach for automatic detection, segmentation and classification of breast lesions from thermal images*, *Expert Systems with Applications*, 212, 2022, 118774, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118774>.
3. H. Sung, J. Ferlay, R.L. Siegel, M. Laversanne, I. Soerjomataram, A. Jemal, F. Bray: *Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries*, *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 71(3), 2021, 209-249, <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.
4. E. Lääperi, A.-L. Lääperi, M. Strakowska, B. Wiecek, P. Przymusiala: *Application of cold provocation for breast cancer screening using IR thermography*, *EAT2012 Book of Proceedings – Appendix 1 of Thermology International* 22(3), 2012, 55-58.
5. J.R. Keyserlingk, P.D. Ahlgren, E. Yu, N. Belliveau, M. Yassa: *Functional infrared imaging of the breast*, *IEEE engineering in medicine and biology magazine: the quarterly magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society*, 19(3), 2000, 30-41, <https://doi.org/10.1109/51.844378>.
6. J.G. Elmore, C.K. Wells, C.H. Lee, D.H. Howard, A.R. Feinstein: *Variability in radiologists' interpretations of mammograms*, *The New England Journal of Medicine*, 331(22), 1994, 1493-1499, <https://doi.org/10.1056/NEJM199412013312206>.
7. U.R. Acharya, E.Y. Ng, J.H. Tan, S.V. Sree: *Thermography based breast cancer detection using texture features and Support Vector Machine*, *Journal of Medical Systems*, 36(3), 2012, 1503-1510, <https://doi.org/10.1007/s10916-010-9611-z>.
8. J.K. Gohagan, N.D. Rodes, C.W. Blackwell, W.P. Darby, C. Farrell, T. Herder, D.K. Pearson, E.L. Spitznagel, M.D. Wallace: *Individual and combined effectiveness of palpation, thermography, and mammography in breast cancer screening*, *Preventive Medicine*, 9(6), 1980, 713-721, <https://doi.org/10.1016>.
9. K.R. Foster: *Thermographic detection of breast cancer*, *IEEE engineering in medicine and biology magazine: the quarterly magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society*, 17(6), 1998, 10-14, <https://doi.org/10.1109/51.734241>.
10. M. Sadeghi, A. Boese, I. Maldonado, M. Friebe, J. Sauerhering, S. Schlosser, H. Wehberg, K. Wehberg: *Feasibility test of Dynamic Cooling for detection of small tumors in IR thermographic breast imaging*, *Current Directions in Biomedical Engineering*, 5(1), 2019, 397-399, <https://doi.org/10.1515/cdbme-2019-0100>.
11. P.K. Ravert, C. Huffaker: *Breast cancer screening in women: An integrative literature review*, *Journal of the American Academy of Nurse Practitioners*, 22(12), 2010, 668-673, <https://doi.org/10.1111/j.1745-7599.2010.00564.x>.
12. J. Zuluaga-Gomez, N. Zerhouni, Z. Al Masry, C. Devalland, C. Varnier: *A survey of breast cancer screening techniques: thermography and electrical impedance tomography*, *Journal of Medical Engineering & Technology*, 43(5), 2019, 305-322, <https://doi.org/10.1080/03091902.2019.1664672>.
13. J. Zuluaga-Gomez, Z. Al Masry, K. Benagoune, S. Meraghni, N. Zerhouni: *A CNN-based methodology for breast cancer diagnosis using thermal images*, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, 9(2), 2021, 131-145, <https://doi.org/10.1080/21681163.2020.1824685>.
14. B. Krawczyk, G. Schaefer, S.Y. Zhu: *Breast cancer identification based on thermal analysis and a clustering and selection classification ensemble*, In: *International Conference on Brain and Health Informatics*, Maebashi, Gunma: Springer, 2013, 256-265.
15. A. Lozano, F. Hassanipour: *Infrared imaging for breast cancer detection: An objective review of foundational studies and its proper role in breast cancer screening*, *Infrared Physics & Technology*, 97, 2019, 244-257, <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.12.017>.
16. E.Y. Ng, Y. Chen, L.N. Ung: *Computerized breast thermography: study of image segmentation and temperature cyclic variations*, *Journal of Medical Engineering & Technology*, 25(1), 2001, 12-16, <https://doi.org/10.1080/03091900010022247>.
17. Y. Ohashi, I. Uchida: *Applying dynamic thermography in the diagnosis of breast cancer*, *IEEE engineering in medicine and biology magazine: the quarterly magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society*, 19(3), 2000, 42-51, <https://doi.org/10.1109/51.844379>.
18. G. Ursin, L. Hovanessian-Larsen, Y.R. Parisky, M.C. Pike, A.H. Wu: *Greatly increased occurrence of breast cancers in areas of mammographically dense tissue*, *Breast Cancer Research: BCR*, 7(5), 2005, 605-608, <https://doi.org/10.1186/bcr1260>.
19. V.A. McCormack, I. dos Santos Silva: *Breast density and parenchymal patterns as markers of breast cancer risk: a meta-analysis*, *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention: a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 15(6), 2006, 1159-1169, <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-06-0034>.
20. H. Qi, W.E. Snyder, J.F. Head, R.L. Elliott: *Detecting breast cancer from infrared images by asymmetry analysis*, In: *22nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, IEEE, <https://doi.org/10.1109/ieembs.2000.897952>.
21. U.R. Gogoi, M.K. Bhowmik, D. Bhattacharjee, A.K. Ghosh: *Singular value based characterization and analysis of thermal patches for early breast abnormality detection*, *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 41(4), 2018, 861-879, <https://doi.org/10.1007/s13246-018-0681-4>.
22. U.R. Gogoi, G. Majumdar, M.K. Bhowmik, A.K. Ghosh, D. Bhattacharjee: *Breast abnormality detection through statistical feature analysis using infrared thermograms*, *Proceeding of IEEE International Symposium on Advanced Computing and Communication (ISACC)*, IEEE, 2015, 258-265, <https://doi.org/10.1109/isacc.2015.7377351>.
23. B.B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jayakumar, J. Philip: *Medical applications of infrared thermography: A review*, *Infrared Physics & Technology*, 55(4), 2012, 221-235, <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>.
24. G. Schaefer, M. Závisek, T. Nakashima: *Thermography based breast cancer analysis using statistical features and fuzzy classification*, *Pattern Recogn*, 42(6), 2009, 1133-1137.
25. F.A.C. Faria, S.P. Cano, P.M. Gomez-Carmona, M. Sillero, C.M. Neiva: *Infrared thermography to quantify the risk of breast cancer*, *Bioimages*, 20(0), 2012, 1-7.
26. S. Uematsu: *Symmetry of skin temperature comparing one side of the body to the other*, *Thermology*, 1(1), 1985, 4-7.
27. <http://www.mp.pl/artykuly/1142,zasady-pobierania-i-oceny-materialu-pochodzacego-z-biopsji/>