



# Termografia w diagnozowaniu nowotworów – fakt czy mit?

## Thermal imaging in cancer diagnosis – fact or myth?

Armand Cholewka<sup>1</sup>, Waldemar Wiśniewski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski, ul. Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice

<sup>2</sup> Passio Ecomed sp. z o.o., Elbląski Park Technologiczny, ul. Stanisława Sulimy 1, 82-300 Elbląg

### Wprowadzenie

Choroby onkologiczne stanowią coraz większy problem kliniczny. Na całym świecie od wielu lat obserwuje się wzrost zachorowalności na nowotwory, w związku z powyższym wzrasta również liczba zgonów. Sytuacja ta wymusza działania naukowo-badawcze prowadzące do rozwoju istniejących metod diagnostycznych oraz wprowadzenia nowych, które mogą uzupełnić dane otrzymywane ze standardowo wykorzystywanych metod diagnostycznych lub nawet umożliwić wczesne badania przesiewowe, metod niekorzystających z promieniowania jonizującego. W te ostatnie trendy wpisuje się termografia w podczerwieni.

Podstawową ideą diagnostyki czy też raczej podejrzania istnienia zmiany nowotworowej wewnątrz ciała jest asymetria lub też niecharakterystyczny rozkład temperatury powierzchni ciała widoczny na obrazie termicznym. Obrazując symetryczne części ciała, takie jak piersi, należy poszukiwać asymetrii termalnej występującej między dwoma gruczołami. Taka asymetria może wskazywać na obecność zmian chorobowych, w tym nowotworowych, przy założeniu spełnienia procedur wykonywania badań termograficznych [1]. Sytuacja jest dość łatwa w ocenie, gdy zmiana chorobowa znajduje się na powierzchni ciała lub tuż pod nią. Wtedy zarówno sama mapa termiczna obrazowanej części ciała, jak i porównanie stron symetrycznych wskazuje różnicę

222

### Streszczenie

Termografia w podczerwieni to całkowicie nieinwazyjna, bezdotykowa i szybka w zastosowaniu technika obrazowania. Ponadto w ostatnich dwóch dekadach postęp technologiczny w termografii spowodował istotny wzrost jakości otrzymywanych obrazów poprzez zwiększenie czułości i rozdzielczości termicznej stosowanych detektorów. Zapewne te fakty, jak i znaczące obniżenie ceny kamer termowizyjnych przyczyniły się zarówno do zwiększenia liczby prowadzonych badań naukowych, jak i do coraz szerszego zastosowania kamer termowizyjnych w różnych aplikacjach medycznych. Poza wieloma zaletami metody, podstawowymi pytaniami, jakie należy zadać w kontekście diagnostyki termowizyjnej nowotworów, są: czy obrazowanie termiczne może być wykorzystywane w diagnostyce każdego rodzaju nowotworu? Jakie ograniczenia należy wziąć pod uwagę w ocenie otrzymanej mapy termicznej oraz jaki jest kontrast i od czego może zależeć?

**Słowa kluczowe:** diagnostyka termowizyjna, nowotwory, termografia

### Abstract

Thermal imaging is totally noninvasive, noncontact and quick in use imaging technique. Moreover last two decades showed important technology of thermography development which led to significant improvement of images quality due to thermal sensitivity and resolution increase of camera detectors what led simultaneously with cost decrease caused increase of number of science studies across the world as well as spread of the thermal imaging use in different medical branches. However beside many advantages of this method there are some questions that should be asked: is thermal imaging proper to use in every type of cancer, what are the limitations of thermal map obtained from thermal camera or what is the cause of the thermal imaging contrast and what may influence on it?

**Key words:** thermovision diagnostics, cancers, thermography

otrzymano / received:

09.03.2021

poprawiono / corrected:

12.04.2021

zaakceptowano / accepted:

03.05.2021



nie tylko temperatur ekstremalnych, ale i średnich liczonych z regionów zainteresowania. Jednakże gdy mamy do czynienia z sytuacją, kiedy np. zmiana chorobowa umiejscowiona jest na większej głębokości, to można wykorzystać metody wzmacniające kontrast termogramów, np. schładzając powierzchnię ciała [2]. Schłodzenie ciała i jego przydatność w diagnostyce termowizyjnej, a nawet w ocenie efektów leczenia schorzeń kręgosłupa, pokazano w literaturze w wielu pracach [3-6]. Należy jednak zwrócić uwagę, iż diagnostyka zmian nowotworowych umiejscowionych nie tuż pod powierzchnią ciała, ale na większej głębokości jest badaniem ani łatwym w ocenie, a nawet czasem niemożliwym do zobrazowania w termografii w podczerwieni ze względu na obowiązujące podstawowe prawa transportu ciepła i występujące tłumienie (opór termalny) energii emitowanej nawet z bardzo wysoko metabolicznie aktywnych tkanek nowotworowych. Zdecydowanie zastosowanie diagnostyki termowizyjnej zostało potwierdzone dla zmian nowotworowych skóry, dla których otrzymano wyższą temperaturę niż dla skóry zdrowej [7]. Przydatność obrazowania termicznego pokazano nie tylko w samej diagnostyce takich zmian, ale również w ocenie efektów leczenia [8-10]. Bardzo ważnym elementem wpływającym na wzrost przydatności i coraz szersze wykorzystanie kamer termowizyjnych w medycynie jest dynamiczny postęp technologiczny w dziedzinie detekcji promieniowania podczerwonego oraz szerszy dostęp do wysokiej klasy kamer termowizyjnych, których czułość termiczna sięga nawet 0,02 K. Sytuacja ta wpłynęła znacząco na wzrost jakości prowadzonych badań naukowych i co jest z tym bezpośrednio związane – diagnostycznych poprzez wzrost rozdzielczości termicznej detektorów oraz dokładności pomiaru.

Warto nadmienić, iż termowizja jako technika diagnostyczna nie jest szczególnie nowa, wręcz przeciwnie – jest wykorzystywana od kilkudziesięciu lat jednakże to ostatnie dwie dekady, a w szczególności początek XXI wieku pokazał dynamiczny wzrost zainteresowania tą techniką i to zarówno przez samych badaczy, jak i praktyków. Jest to przede wszystkim widoczne w liczbie publikacji pojawiających się w renomowanych światowych czasopismach na całym świecie opisujących możliwości wykorzystania termografii w podczerwieni nie tylko w medycynie, ale w sporcie czy technice.

W diagnostyce termowizyjnej zmian nowotworowych ważne jest nie tylko zrozumienie samego procesu powstawania nowotworu czy też fizjologii i anatomii prawidłowej obrazowanej tkanki. Należy także rozumieć podstawy endokrynologii, jak w przypadku wspomnianej wcześniej diagnostyki chorób piersi, oraz podstaw fizyki, w szczególności opisujących procesy, które prowadzą do powstania obrazu termicznego. Należy pamiętać, iż w termografii nie oceniamy struktury wewnętrznej ciała, lecz mapy termiczne powierzchni ciała poddanej inspekcji. Wspomniane procesy fizjologiczne oraz fizyczne, takie jak transport ciepła wewnątrz tkanek oraz wymiana ciepła między powierzchnią ciała i otoczeniem, powodują gradient temperatury, a więc wpływają na zmianę temperatury powierzchni ciała. Przy czym


najistotniejszy wpływ na temperaturę powierzchni ciała, czyli swoiste odwzorowanie metabolizmu i jego dynamiki wewnętrznej, mają te procesy fizjologiczne, metaboliczne, które zachodzą na lub tuż pod powierzchnią skóry. Dlatego też ocena termogramów nie będzie należała do łatwej w interpretacji, gdyż mamy co najmniej kilka ważnych czynników wpływających na oceniany obraz. Kolejnym ważnym aspektem mającym znaczenie w diagnostyce termowizyjnej jest fakt, iż stopień złośliwości nowotworu zależy od rodzaju komórek nowotworowych i ich agresywności, co również znacząco może wpłynąć na temperaturę ciała. Mając na uwadze powyższe aspekty wykorzystania termografii w podczerwieni w diagnostyce schorzeń nowotworowych, należy podkreślić, że termografia daje informacje o zmianach w fizjologii tkanki. Bardzo często to ten właśnie argument jest wymieniany jako jeden z istotniejszych w diagnostyce chorób piersi. Będąc przy diagnostyce chorób onkologicznych, należy również zwrócić uwagę, iż obraz termiczny dostarcza pośrednio informacji o przebiegu angiogenezy, pokazując przebieg nowopowstałych naczyń krwionośnych w formie wydłużonych obszarów charakteryzujących się wyższą temperaturą niż otoczenie oraz o zmianach aktywności metabolicznej, a nie o strukturze wewnętrznej samego gruczołu. Jednakże można przyjąć, iż te informacje mogą być równie, jeśli nie bardziej diagnostycznie przydatne, biorąc pod uwagę ryzyko zachorowania, gdyż to właśnie zmiany fizjologiczne pojawiają się na długo przed powstaniem zmian strukturalnych, które możemy zobaczyć np. za pomocą ultrasonografii. W literaturze można znaleźć prace, które udowodniły, że pacjentki, u których obrazy termiczne wskazywały na asymetrię termalną przy jednoczesnym braku zaobserwowanych zmian w mammografii, należy ze szczególną uwagą prowadzić. Widoczny w powtarzanych badaniach termograficznych nieprawidłowy/asymetryczny obraz termiczny oceniono jako dziesięciokrotnie bardziej istotny w diagnostyce nowotworu piersi niż przypadki wystąpienia raka w rodzinie pacjentki oraz potwierdzono, że obrazowanie termiczne piersi jest w stanie wykryć zmiany nowotworowe nawet do dziesięciu lat wcześniej niż jakkolwiek inna metoda diagnostyczna [11, 12]. Ponadto najważniejszymi i niepodważalnymi zaletami obrazowania termicznego jest jej całkowita nieinwazyjność, bezpieczeństwo stosowania dla pacjenta oraz krótki czas wykonania badania. Dlatego też diagnostyka termowizyjna może być stosowana jako technika przesiewowa lub uzupełnienie innych technik diagnostycznych, takich jak mammografia czy ultrasonografia. Takie skojarzenie kilku badań diagnostycznych pokazało, iż odsetek wykrywalności raka piersi wyniósł 95% [13].

Zatem jakie procesy wynikające z etiologii chorób nowotworowych prowadzą do zmian fizjologicznych i metabolicznych, które mogą skutkować zmianą temperatury tkanki i, co jest najważniejsze z punktu widzenia diagnostyki termowizyjnej, zmianą mapy termicznej powierzchni ciała? Należy zdać sobie sprawę z tego, że dzielące się komórki nowotworowe potrzebują energii, a więc substancji odżywczych i tlenu transportowanego z krwią, co wymaga przyspieszenia procesu angiogenezy i budowy



nowych naczyń krwionośnych. Wynik uruchomienia tego procesu w rozwoju nowotworu bardzo często jest widoczny na termogramach już w bardzo wczesnej fazie choroby. W procesie angiogenezy istotną rolę odgrywa naczyniowo-śródbłonkowy czynnik wzrostu (ang. *vascular endothelial growth factor* – VEGF), który stymuluje rozwój naczyń krwionośnych, a sam jest syntetyzowany przez komórki tworzące strukturę nowopowstałych naczyń. Podczas rozwoju choroby nowotworowej zwiększone stężenie VEGF występuje zarówno we krwi, osoczu, jak i samej tkance nowotworowej i jest proporcjonalne do złośliwości nowotworu [14]. W tworzeniu nowych naczyń krwionośnych istotną rolę odgrywa, wydzielany przez komórki śródbłonka, tlenek azotu odpowiedzialny za aktywację neoangiogenezy. Jest to kolejny czynnik, którego stężenie jest podwyższone w komórkach nowotworowych, a stężenie jest proporcjonalne do złośliwości nowotworu podobnie jak w przypadku VEGF [15-18]. Budowa nowych naczyń krwionośnych oraz wykorzystanie przez tkankę nowotworową już istniejących wpływa na zwiększenie metabolizmu, zatem również na zmiany temperatury ciała. Zatem można pokusić się o stwierdzenie, iż wynik działania opisanych procesów umożliwia pośrednio poprzez analizę map termicznych otrzymywanych na obrazach diagnostycznych „ocenę” rozwoju tkanki nowotworowej [19, 20]. Kolejnym istotnym procesem w rozwoju nowotworu jest także ułatwiona penetracja komórek śródbłonka do różnych tkanek, powodując w ten sposób tworzenie nowych naczyń i ich proliferacji, prowadząc do tworzenia nowego naczynia krwionośnego. Tak powstałe naczynia wymagają w swoim otoczeniu sieci komórek mięśni gładkich [17, 18]. Opisane procesy prowadzące do tworzenia naczyń oraz niezbędna praca mięśni gładkich otaczających i wspierających w pracy nowopowstałe naczynia krwionośne podwyższa lokalny metabolizm tkanki. Z kolei metabolizm to ciepło i energia emitowana z wnętrza ciała, co wpływa na zmianę mapy termicznej na powierzchni ciała. Oczywiście efekt ten będzie najwyraźniej widoczny, gdy zmiany związane z ukrwieniem mają miejsce na powierzchni lub tuż pod nią, gdyż opór cieplny tkanki mięśniowej czy też tłuszczowej może w sposób znaczący ten efekt tłumić lub nawet w sytuacji, kiedy procesy chorobowe mają miejsce głęboko wewnątrz ciała – uniemożliwić detekcję w klasycznym obrazowaniu termicznym. Jednakże w związku z tym, że na rynku są dostępne coraz tańsze, a jednocześnie czulsze detektory podczerwieni, mające coraz większą rozdzielczość termiczną i tym samym dokładność pomiaru, staje się możliwe rozróżnienie coraz mniejszych zmian temperatury na powierzchni ciała, które mogą wynikać właśnie z procesów chorobowych zachodzących głębiej i dających znacznie mniejszy wkład do mapy termicznej na powierzchni ciała. Jest to kolejny argument za tym, aby pacjentów z nieprawidłowym/nieswoistym dla obrazowanej części ciała obrazem termicznym badać częściej i to z wykorzystaniem również innych dostępnych technik diagnostycznych.

Opisane charakterystyczne czynniki występujące w trakcie rozwoju nowotworu i prowadzące do zmian metabolizmu tkanki przemawiają i uzasadniają wykorzystanie diagnostyki

termowizyjnej w onkologii jako techniki całkowicie bezpiecznej, nieinwazyjnej, bezkontaktowej i szybkiej w obsłudze w badaniach zarówno przesiewowych, jak i umożliwiających ocenę procesu leczenia. Należy również podkreślić, iż przyszłość diagnostyki termowizyjnej przedstawia się obecnie również jako technika, którą można uznać w pewnym sensie za „funkcjonalną”, wspierającą standardowo wykorzystywaną diagnostykę stosującą fale mechaniczne oraz promieniowanie jonizujące w diagnostyce nowotworów. 

## Piśmiennictwo

1. E.Y.K. Ng: *A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor*, International Journal of Thermal Sciences, 48, 2009, 849-859.
2. W.C. Amalu et al.: *Infrared imaging of the breast – an overview*, in: J.D. Bronzino (Ed.), *Biomedical Engineering Handbook, third ed.*, Medical Devices and Systems, CRC Press, 2006, 20.
3. A. Cholewka, A. Stanek, M. Wojcik, K. Sieron-Stoltny, Z. Drzazga: *Does local cryotherapy improve thermal diagnosis similar to whole-body cryotherapy in spinal diseases?*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 127(2), 2017, 1155-1162.
4. A. Cholewka, A. Stanek, A. Sieroń, Z. Drzazga: *Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy*, Skin Research and Technology, 2011.
5. A. Cholewka, Z. Drzazga, A. Sieroń, A. Stanek: *Thermovision diagnostics in chosen spine diseases treated by whole body cryotherapy*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 102(1), 2010, 113-119.
6. A. Cholewka, Z. Drzazga, A. Sieroń: *Monitoring of whole body cryotherapy effects by thermal imaging – preliminary report*, Physica Medica, 22(2), 2006, 57-62, 2006.
7. G.F. Maillard, C. Hessler: *La thermographie des melanomes malins cutanes*, Dermatologica, 139, 1969, 353-358.
8. A. Cholewka, A. Stanek, S. Kwiatek, G. Cieslar, D. Straszak, J. Gibinska, K. Sieron-Stoltny: *Proposal of thermal imaging application in photodynamic therapy-Preliminary report*, Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, 14, 2016, 34-39.
9. A. Cholewka, A. Stanek, S. Kwiatek, A. Sieroń, Z. Drzazga: *Does the temperature gradient correlate with the photodynamic diagnosis parameter numerical colour value (NCV)?*, Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, 10(1), 2013, 33-38. doi: 10.1016/j.pdpdt.2012.07.001.
10. A. Cholewka, A. Stanek, A. Klimas, A. Sieroń, Z. Drzazga: *Thermal imaging application in chronic venous disease: pilot study*, J Therm Anal Calorim., 115(2), 2014, 1609-1618, DOI 10.1007/s10973-013-3356-0.
11. J. Haberman: *An overview of breast thermography in The United States*, in *Medical Thermography*, American Academy of Thermology, Washington, 1986, 218-223.
12. J.F. Head, C.A. Lipari, R.L. Elliot: *Comparison of mammography and breast infrared imaging: sensitivity, specificity, false negatives, false positives, positive predictive value, and negative predictive value*, IEEE, 1999.
13. J.R. Keyserlingk, P.D. Ahlgren: *Infrared imaging of the breast: initial reappraisal using high – resolution digital technology in 100 successive cases of stage 1 and 2 breast cancer*, Breast J., 4, 1998, 245-251.
14. L.M. Ellis, I.J. Fidler: *Angiogenesis and breast cancer metastasis*, Lancet, 346, 1995, 388.
15. D.A. Rodenberg, M.S. Chaet, R.C. Bass: *Nitric Oxide: An Overview*, The American Journal of Surgery, 170, 1995, 292.
16. Y. Nakamura, H. Yasuoka: *Nitric Oxide in Breast Cancer*, Clin. Cancer Res., 12, 2006, 1201.
17. T.M. Zielonka: *Angiogenesis – mechanism of neovascularization*, Alergia Astma Immunologia, 8, 2003, 169.
18. T.M. Zielonka: *Angiogenesis – modulators regulating neovascularization*, Alergia Astma Immunologia, 9, 2004, 25.
19. M. Anbar: *Hyperthermia of the cancerous breast: Analysis of mechanism*, Cancer Lett, 84, 1994, 23.
20. S.B. Fox, D.G. Generali: *Breast tumour angiogenesis*, Breast Cancer Research, 9, 2007, 216.