



ZASTOSOWANIE TERMOGRAFII W MEDYCYNIE. CZĘŚĆ II

Application of thermography in medicine. Part II



Małgorzata Chochowska¹, Dagmara Porada¹, Krzysztof Rujna^{1,2}, Leszek Kubisz²

1. Zakład Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu, Zamiejscowy Wydział Kultury Fizycznej w Gorzowie Wielkopolskim, Polska
2. Katedra Biofizyki, Zakład Biofizyki, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Polska

Małgorzata Chochowska –  0000-0002-7391-647X

Streszczenie

W pierwszej części artykułu przedstawiono podstawy fizyczne termografii oraz kamer termowizyjnych (detektorów), wykorzystujących detekcję promieniowania cieplnego, które umożliwiają wykrycie zmiany temperatur w różnych częściach ciała ludzkiego, dzięki czemu termografia znajduje zastosowanie w diagnostyce uzupełniającej chorób w wielu dziedzinach medycyny: angiologii, chorobach wewnętrznych, chirurgii estetycznej i rekonstrukcyjnej (co opisano w pierwszej części artykułu), a także w ginekologii i położnictwie, kardiologii i kardiochirurgii, onkologii, ortopedii, pediatrii, reumatologii, stomatologii i urologii (co przedstawiono w niniejszej, drugiej części artykułu). Termografia jest obiecującą, uzupełniającą metodą diagnostyczną. Ma zarówno zalety (bezinwazyjność, szybkość wykonania, możliwość obrazowania całego ciała i jednoczesnego wykrycia wielu problemów zdrowotnych oraz diagnozowanie na etapie subklinicznym), jak i wady (wrażliwość pomiaru na czynniki zewnętrzne, takie jak zmiany temperatury otoczenia, wilgotność i ruch powietrza), o których należy pamiętać podczas jej stosowania.

Abstract

The first part of the article presents the physical basis of infrared thermography and thermal imaging cameras (detectors) using the detection of infrared radiation, enabling the detection of temperature changes in various parts of the human body, thanks to which infrared thermography is used in complementary diagnostics of diseases in many fields of medicine: angiology, internal diseases, aesthetic and reconstructive surgery (as described in the first part of the article), as well as in gynecology and obstetrics, cardiology and heart surgery, oncology, orthopedics, pediatrics, rheumatology, dentistry and urology (as described in this, second part of the article). Infrared thermography is a promising complementary diagnostic method. Infrared thermography has both advantages (non-invasiveness, high-speed of execution, ability to generate images of the entire body, simultaneous detection of a host of health problems and diagnosis at the subclinical stage), as well as disadvantages (sensitivity of the measurement to the external factors: changes in ambient temperature, humidity and air movement) which should be kept in mind when applying this diagnostic method.

Słowa kluczowe: onkologia; ortopedia; termografia; ginekologia i położnictwo; kardiologia i kardiochirurgia

Keywords: oncology; orthopedics; thermography; gynecology and obstetrics; cardiology and cardiac surgery

DOI 10.53301/lw/175040

Praca wpłynęła do Redakcji: 11.10.2023

Zaakceptowano do druku: 09.11.2023

Autor do korespondencji:

Małgorzata Chochowska
Zakład Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego
w Poznaniu, Zamiejscowy Wydział Kultury Fizycznej
w Gorzowie Wielkopolskim, ul. Estkowskiego 13,
66-400 Gorzów Wielkopolski
e-mail: chochowska.malgorzata@gmail.com

Wprowadzenie

Celem pracy jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat możliwości zastosowania termografii w różnych dziedzinach medycyny. W pierwszej części artykułu przedstawiono podstawy fizyczne termografii (ang. *infrared thermography*, IRT) oraz kamer termowizyjnych (detektorów), wykorzystujących detekcję promieniowania cieplnego (ang. *infrared*, IR), które umożliwiają wykrycie zmiany temperatury w różnych częściach ciała ludzkiego, dzięki czemu IRT znajduje zastosowanie w diagnostyce uzupełniającej chorób w wielu dziedzinach medycyny: angiologii, chorobach wewnętrznych, chirurgii estetycznej i rekonstrukcyjnej (co opisano w pierwszej części artykułu), a także w ginekologii i położnictwie, kardiologii i kardiochirurgii, onkologii, ortopedii, pediatrii, reumatologii, stomatologii i urologii (co przedstawiono w niniejszej, drugiej części artykułu).

Termografia w ginekologii i położnictwie

W ginekologii IRT wykorzystuje się podczas histerektomii (wykonywanej z powodów onkologicznych) do różnicowania struktur anatomicznych (np. pomiędzy moczowodem a naczyniem lejkowo-miedniczkowym czy pomiędzy naczyniami biodrowymi a moczowodem), których przebieg i wygląd może zostać zmieniony z uwagi na proces nowotworowy lub endometriozę [1].

W położnictwie metodę tę stosuje się do przesiewowego badania rany po cesarskim cięciu w celu wykrycia jej wczesnego zakażenia [2] oraz zakażeń późnych, co ma szczególne znaczenie u kobiet otyłych, z uwagi na gorsze gojenie się ran [3]. Ponadto od lat 90. XX w. IRT wykorzystuje się do oceny temperatury piersi w okresie laktacji, zarówno w prewencji zapalenia piersi (przesiewowo), jak i do monitorowania procesu zdrowienia i skuteczności podjętego leczenia (np. zastosowania ultradźwięków) [4], a także w diagnostyce zapalenia piersi u noworodków i dziewcząt w okresie pokwitania [5].

Termografia w kardiologii i kardiochirurgii

W kardiologii termografia wewnątrznaczyniowa umożliwia wykrywanie i lokalizowanie blaszek miażdżycowych (zwłaszcza niestabilnych) w tętnicach wieńcowych (hipoteza powstawania blaszek opiera się na inicjacji miejscowego, aktywnego stanu zapalnego, a tym samym wzroście temperatury, który może zostać wykryty przez kamerę termowizyjną) [6].

IRT pozwala ponadto na:

- zminimalizowanie ryzyka termicznego uszkodzenia przełyku podczas zabiegu ablacji w migotaniu przedsionków (szybkie wykrycie temperatury krytycznej) [7];
- wykrycie nawet bardzo subtelnego zmniejszenia perfuzji ściany klatki piersiowej po pomostowaniu aortalno-wieńcowym wykonywanym w przypadku choroby niedokrwiennej serca, a także na zapobieganie zakażeniom miejsca operowanego [8];
- diagnostykę rzadkiego, kompleksowego zespołu bólu regionalnego typu I (ang. *complex regional pain syndrome*, CRPS) po przeprowadzeniu przezskórnej interwencji wieńcowej (poprzez wykrycie różnicy temperatur w obu przedramionach) [9].

Termografia w onkologii

IRT w onkologii jest przydatnym narzędziem podczas kontroli ryzyka rozwoju popromiennego zapalenia skóry po radioterapii zastosowanej w leczeniu raka piersi u pacjentek po mastektomii i zabiegach oszczędzających (analizowane są zmiany temperatury skóry w różnych odstępach czasu) [10].

Omawia się także potencjalne zastosowanie termografii w wykrywaniu i identyfikacji:

- zmian guzkowych piersi (zarówno łagodnych, jak i złośliwych), co stanowi alternatywę dla mammografii [11];
- guzów tarczycy i wstępnej weryfikacji ich złośliwości (zmiany złośliwe mają wyższą temperaturę niż łagodne) [12];
- różnych typów raka, nowotworów złośliwych i łagodnych skóry [13];
- guzów wewnątrzgałkowych i monitorowaniu skuteczności leczenia czerniaka wewnątrzgałkowego poprzez stwierdzenie regresji (spadek temperatury oka) [14].

Termografia w ortopedii

W ortopedii IRT wykorzystuje się:

- do szybkiej, przesiewowej diagnostyki złamań kości (ręki, stopy, obojczyka, przedramienia), wykonywanej na oddziale ratunkowym [15];
- jako badanie uzupełniające (obok EMG i badania przewodnictwa nerwowego) w rozpoznawaniu zespołu cieśni kanału nadgarstka (obniżenie temperatury na części dłoniowej i grzbietowej zajętej ręki) [16];
- w ocenie chorych zagrożonych zespołem Sudecka (algodystrofią współczulną) – co ważne, we wszystkich trzech okresach rozwoju tej choroby (obniżenie temperatury zajętej kończyny, opóźnienie wyrównania temperatury po stymulacji zimnem) [17];
- do monitorowania temperatury podczas operacji ortopedycznych (przegrzanie prowadzi do nekrozy i następnej resorpcji kości), co przekłada się w dalszej kolejności na możliwość modyfikacji konstrukcji narzędzi operacyjnych oraz technik chirurgicznych [18];
- do wczesnego wykrywania powikłań pooperacyjnych, np. zakażeń, które stanowią duży problem w endoprotezoplastyce stawu biodrowego i kolannowego [19].

Termografia w pediatrii

Ze względu na nieinwazyjność i szybkość pomiaru IRT stanowi cenne uzupełnienie diagnostyki w wielu obszarach pediatrii:

- w okulistyce dziecięcej, alergologii (obserwuje się wzrost temperatury po donosowej aplikacji sprayu z białkami orzecha u osób uczulonych) [20], w młodzieńczym zapaleniu stawów (głównie stawu skokowego) [21];
- w badaniach przesiewowych w kierunku cukrzycy typu 1 (zanotowano niższą temperaturę skóry w IRT po teście prowokacji zimnem u dzieci z cukrzycą, choć w ocenie klinicznej uszkodzenie perfuzji naczyniowej jest widoczne dopiero po wielu latach choroby) [22];
- do oceny ryzyka wystąpienia złamań lub do badania przesiewowego złamań [15];

- do oceny gojenia się oparzeń i ran (również poamputacyjnych), a także do podejmowania decyzji o zakresie amputacji [23];
- do monitorowania noworodków (w tym wcześniaków) zagrożonych między innymi chorobami układu oddechowego (na podstawie widocznych w IRT aberracji zmian temperatury związanych z opóźnieniem w przepływie powietrza pomiędzy klatką piersiową i brzuchem [24]) oraz martwiczym zapaleniem jelit (na podstawie różnic temperatury brzucha) [25];
- w neurologii dziecięcej (monitorowanie funkcjonowania zastawki u dzieci z wodogłowie, badania przesiewowe w kierunku zespół nadpobudliwości psychoruchowej z deficytem uwagi) [20].

Termografia w reumatologii

W reumatologii IRT stosuje się do diagnozowania zapalenia stawów (w tym reumatoidalnego zapalenia stawów i młodzieńczego zapalenia stawów [21]), gdyż stawy objęte aktywnym procesem zapalnym wykazują wzrost ucieplenia w stosunku do stawów w fazie remisji (choć tu różnica jest niewielka i z tego powodu prym wiedzie badanie USG [26]). Ponadto IRT stosuje się w badaniach objawu Raynauda, gdyż ocena powierzchniowej temperatury dłoni/palców jest miarą ogólnej wydolności krążenia włóscinkowego [27], co umożliwia potwierdzenie lub wykluczenie rozpoznania, a przy dodatkowej prowokacji zimnem/ciepłem pozwala odróżnić stan pierwotny i wtórny oraz przyczynia się do obiektywizacji oceny pacjenta [28]. Metoda ta jest również także wykorzystywana w terapii twardziny układowej – do oceny aktywności choroby i odpowiedzi na leczenie [27].

Termografia w stomatologii

IRT jest stosowana w stomatologii:

- do diagnostyki zmian zapalnych okołowierzchołkowych zęba, ostrego zapalenia miazgi z zapaleniem przyzębia wierzchołkowego, ostrego ropnia okołowierzchołkowego i przewlekłego ropnia okołowierzchołkowego (wszystkie w fazie przedklinicznej, co umożliwia szybkie rozpoznanie i leczenie) [29];
- w implantologii (nadmierny wzrost temperatury kości podczas opracowywania jej wiertłem pod implant jest negatywnym czynnikiem rokowniczym, ponieważ narusza równowagę fizjologiczną białek w komórkach kości [30]);
- w chirurgii stomatologicznej (do monitorowania temperatury podczas zastosowania różnego rodzaju technik podczas osteotomii: ablacji laserowej Er:YAG w trybie kontaktowym i bezkontaktowym, chirurgii piezoelektrycznej oraz wiertła chirurgicznego – w odniesieniu do negatywnego czynnika rokowniczego, jakim jest przegrzanie tkanek [31]);
- endodoncji (do oceny temperatury korzeni podczas stosowania różnych technik wypełniania, ilościowego, określania objętości materiałów do wypełnień endodontycznych oraz możliwego pozostawienia pustych przestrzeni, co stanowi negatywny czynnik rokowniczy [32]);
- w stanach zapalnych jamy ustnej (np. wywołanymi noszeniem protez zębowych – tu również jako badania przesiewowe i prognostyczne [33]).

Termografia w urologii

W urologii IRT wykorzystuje się do monitorowania stanów zapalnych w obrębie układu moczowo-płciowego, zapalenia gruczołu krokowego, jąder oraz pęcherza i dróg moczowych [34], a także do diagnostyki zmian w obrębie powrózka nasiennego u młodych mężczyzn [35]. IRT stosuje się również do oceny przepływu krwi przez nerki, co jest szczególnie przydatne u osób z cukrzycą czy chorobami serca oraz podczas transplantacji [36].

Podsumowanie

Termowizja jest obiecującą, uzupełniającą metodą diagnostyczną, wykorzystywaną w wielu dziedzinach medycyny. Jak każde narzędzie służące do diagnostyki, leczenia i terapii, również IRT ma zalety, jak i wady. Do zalet należy zaliczyć bezinwazyjność, szybkość wykonania, możliwość obrazowania całego ciała i jednoczesnego wykrycia wielu problemów zdrowotnych oraz, co szczególnie istotne, możliwość zdiagnozowania choroby na etapie subklinicznym, co pozwala szybko wdrożyć skuteczne leczenie. Wady, o których należy pamiętać podczas stosowania tej metody, to wrażliwość pomiaru na czynniki zewnętrzne (takie jak zmiany temperatury otoczenia, wilgotność i ruch powietrza), słaba rozdzielczość, zwłaszcza urządzeń tańszych, niższej klasy, która utrudnia interpretację wyniku, oraz znaczna cena urządzeń wysokiej klasy.

Piśmiennictwo

1. Angioli R, Terranova C, Plotti F, et al. Real-time infrared thermography for ureter detection during hysterectomy. *J Surg Res*, 2012; 178: 539–544. doi: 10.1016/j.jss.2012.07.006
2. Childs C, Siraj MR, Fair FJ, et al. Thermal territories of the abdomen after caesarean section birth: infrared thermography and analysis. *J Wound Care*, 2016; 25: 499–512. doi: 10.12968/jowc.2016.25.9.499
3. Childs C, Siraj MR, Fair FJ, et al. Thermal territories of the abdomen after caesarean section birth: infrared thermography and analysis. *J Wound Care*, 2016; 25: 499–512. doi: 10.12968/jowc.2016.25.9.499
4. Potter H, Horne R, Le May K, et al. The sensitivity of thermography to temperature changes in breast tissue. *Aust J Physiother*, 1997; 43: 205–210. doi: 10.1016/s0004-9514(14)60411-6
5. Stricker T, Navratil F, Sennhauser FH. Mastitis in early infancy. *Acta Paediatr*, 2005; 94: 166–169. doi: 10.1111/j.1651-2227.2005.tb01885.x
6. Sharif F, Murphy RT. Current status of vulnerable plaque detection. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2010; 75: 135–144. doi: 10.1002/ccd.22164
7. Crozier I, Daly M, Lim G, et al. Esophageal infrared thermography during atrial fibrillation ablation. *Heart Rhythm*, 2015; 12: 2362–2363. doi: 10.1016/j.hrthm.2015.07.037
8. Rasche S, Kleiner C, Müller J, et al. Infrared thermographic imaging of chest wall perfusion in patients undergoing coronary artery bypass grafting. *Ann Biomed Eng*, 2022; 50: 1837–1845. doi: 10.1007/s10439-022-02998-x
9. Pérez-Concha T, Tijero B, Acera M, et al. Usefulness of thermography in the diagnosis and classification of complex regional pain syndrome. *Neurologia (Engl Ed)*, 2020; 38: 342–349. doi: 10.1016/j.nrl.2020.10.011

10. Plaza D, Baic A, Lange B, et al. Comparison of the thermal reaction of patients after conserving procedures and after mastectomy to the radiation dose obtained during radiotherapy. *Int J Environ Res Public Health*, 2022; 19: 16085. doi: 10.3390/ijerph192316085
11. Kolarić D, Herceg Z, Nola IA, et al. Thermography-a feasible method for screening breast cancer? *Coll Antropol*, 2013; 37: 583–588
12. Damião CP, Montero JRG, Moran MBH, et al. Application of thermography in the diagnostic investigation of thyroid nodules. *Endocr J*, 2021; 68: 573–581. doi: 10.1507/endocrj.EJ20-0541
13. Verstockt J, Verspeek S, Thiessen F, et al. Skin cancer detection using infrared thermography: measurement setup, procedure and equipment. *Sensors (Basel)*, 2022; 22: 3327. doi: 10.3390/s22093327
14. Modrzejewska A, Cieszyński Ł, Zaborski D, et al. Thermography in clinical ophthalmic oncology. *Arq Bras Oftalmol*, 2021; 84: 22–30. doi: 10.5935/0004-2749.20210004
15. der Strasse WA, Campos DP, Mendonça CJA, et al. Detecting bone lesions in the emergency room with medical infrared thermography. *Biomed Eng Online*, 2022; 21: 35. doi: 10.1186/s12938-022-01005-7
16. Bargiel P, Czapla N, Prowans P, et al. Thermography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Open Med (Wars)*, 2021; 16: 175–182. doi: 10.1515/med-2021-0007
17. Bruehl S, Lubenow TR, Nath H, et al. Validation of thermography in the diagnosis of reflex sympathetic dystrophy. *Clin J Pain*, 1996; 12: 316–325. doi: 10.1097/00002508-199612000-00011
18. Shu L, Bai W, Shimada T, et al. Thermographic assessment of heat-induced cellular damage during orthopedic surgery. *Med Eng Phys*, 2020; 83: 100–105. doi: 10.1016/j.medengphy.2020.05.014
19. Scheidt S, Rüwald J, Schildberg FA, et al. Systematic review on the value of infrared thermography in the early detection of periprosthetic joint infections. *Z Orthop Unfall*, 2020; 158: 397–405. doi: 10.1055/a-0969-8675
20. Owen R, Ramlakhan S. Infrared thermography in paediatrics: a narrative review of clinical use. *BMJ Paediatr Open*, 2017; 1: e000080. doi: 10.1136/bmjpo-2017-000080
21. Lasanen R, Piippo-Savolainen E, Remes-Pakarinen T, et al. Thermal imaging in screening of joint inflammation and rheumatoid arthritis in children. *Physiol Meas*, 2015; 36: 273–282. doi: 10.1088/0967-3334/36/2/273
22. Zotter H, Kerbl R, Gallistl S, et al. Rewarming index of the lower leg assessed by infrared thermography in adolescents with type 1 diabetes mellitus. *J Pediatr Endocrinol Metab*, 2003; 16: 1257–1262. doi: 10.1515/jpem.2003.16.9.1257
23. Saxena AK, Willital GH. Infrared thermography: experience from a decade of pediatric imaging. *Eur J Pediatr*, 2008; 167: 757–764. doi: 10.1007/s00431-007-0583-z
24. Goldman LJ. Nasal airflow and thoracoabdominal motion in children using infrared thermographic video processing. *Pediatr Pulmonol*, 2012; 47: 476–486. doi: 10.1002/ppul.21570
25. Rice HE, Hollingsworth CL, Bradsher E, et al. Infrared thermal imaging (thermography) of the abdomen in extremely low birthweight infants. *J Surg Radiol*, 2013; 1. doi: 10.1515/jpm-2012-0239
26. Tan YK, Hong C, Li H, et al. Thumb J. Thermography in rheumatoid arthritis: a comparison with ultrasonography and clinical joint assessment. *Clin Radiol*, 2020; 75: 963.e17–963.e22. doi: 10.1016/j.crad.2020.08.017
27. Chojnowski M. Infrared thermal imaging in connective tissue diseases. *Reumatologia*, 2017; 55: 38–43. doi: 10.5114/reum.2017.66686
28. Pauling JD, Shipley JA, Harris ND, et al. Use of infrared thermography as an endpoint in therapeutic trials of Raynaud's phenomenon and systemic sclerosis. *Clin Exp Rheumatol*, 2012; 30: S103–S115
29. Aboushady MA, Talaat W, Hamdoon Z, et al. Thermography as a non-ionizing quantitative tool for diagnosing periapical inflammatory lesions. *BMC Oral Health*, 2021; 21: 260. doi: 10.1186/s12903-021-01618-9
30. Möhlhenrich SC, Modabber A, Steiner T, et al. Heat generation and drill wear during dental implant site preparation: systematic review. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2015; 53: 679–689. doi: 10.1016/j.bjoms.2015.05.004
31. Gabrić D, Aumiler D, Vuletić M, et al. Thermal evaluation by infrared thermography measurement of osteotomies performed with Er:YAG laser, piezosurgery and surgical drill-an animal study. *Materials (Basel)*, 2021; 14: 3051. doi: 10.3390/ma14113051
32. Suassuna FCM, de Araújo DKM, Amorim AMAM, et al. Thermal and volumetric assessment of endodontic filling techniques using infrared thermography and micro-CT. *J Oral Sci*, 2023; 65: 34–39. doi: 10.2334/josnusd.22-0285
33. Iosif L, Preoteasa CT, Murariu-Măgureanu C, et al. Clinical study on thermography, as modern investigation method for Candida-associated denture stomatitis. *Rom J Morphol Embryol*, 2016; 57: 191–195
34. Kesztyüs D, Brucher S, Kesztyüs T. Use of infrared thermography in medical diagnostics: a scoping review protocol. *BMJ Open*, 2022; 12: e059833. doi: 10.1136/bmjopen-2021-059833
35. Belay RE, Huang GO, Shen JK, et al. Diagnosis of clinical and subclinical varicocele: how has it evolved? *Asian J Androl*, 2016; 18: 182–185. doi: 10.4103/1008-682X.169991
36. Pabisiak K, Romanowski M, Myślak M, et al. Variations in temperature of the donor kidney during cold ischemia time and subsequent assessment of reperfusion using the application of thermovision camera. *Transplant Proc*, 2003; 35: 2157–2159. doi: 10.1016/s0041-1345(03)00777-2