

Arkadiusz SZAREK, Instytut Obróbki Plastycznej, Inżynierii Jakości i Bioinżynierii,  
Politechnika Częstochowska, Częstochowa

## WYKORZYSTANIE ZJAWISKA TERMOGRAFII DO DIAGNOSTYKI MEDYCZNEJ

Streszczenie. Ocena temperatury ciała pacjentów jest powszechną metodą pozwalającą na diagnozowanie wielu schorzeń. Wykorzystanie zjawiska termografii w diagnostyce medycznej pozwala na uzyskanie map temperaturowych na powierzchni badanego ciała, dzięki czemu osoba monitorująca temperaturę może określić obszary, w których widoczny jest największy wzrost temperatury. Zjawisko to może mieć szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach medycyny np. onkologii, laryngologii, okulistyce, dermatologii, jak również chirurgii czy neurologii. W artykule przedstawiono wyniki badań pozwalające na wykorzystanie zjawiska termografii do diagnostyki medycznej.

### 1. WSTĘP

Termowizja jest bezdotykową metodą badawczą, dla której metodyka pomiaru polega na ocenie temperatury na powierzchni badanego obiektu bez kontaktu urządzenia z obiektem. Metoda ta opiera się na istocie promieniowania podczerwonego, które jest emitowane przez każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Promieniowanie to jest przekształcane na obraz widzialny – termogram. Barwa światła widzialnego odpowiada rozkładowi temperatury na badanym obiekcie [2,8].

W termowizji wykorzystuje się zakres dalekiej podczerwieni, przy czym najczęściej wykorzystywane są przedziały długości fal od 3  $\mu\text{m}$  do 5  $\mu\text{m}$  (często od 2  $\mu\text{m}$  do 6  $\mu\text{m}$ ), lub od 8  $\mu\text{m}$  do 13  $\mu\text{m}$ , jest to związane z właściwościami emisyjnymi obiektów, jak i też dobrą transmisją promieniowania podczerwonego w atmosferze. Promieniowanie podczerwone jest wynikiem ruchów drgających i obrotowych atomów i molekuł [1,5].

Promieniowanie podczerwone jest to promieniowanie niewidzialne, nieprzekraczające 1000  $\mu\text{m}$ . Przyjęto umownie następujący podział tego przedziału [2]:

- Bliska podczerwień (od  $\lambda = 0,78 \mu\text{m}$  do  $\lambda = 1,4 \mu\text{m}$ ),
- Średnia podczerwień (od  $\lambda = 1,4 \mu\text{m}$  do  $\lambda = 3 \mu\text{m}$ ),
- Daleka podczerwień (od  $\lambda = 3 \mu\text{m}$  do  $\lambda = 1000 \mu\text{m}$ ).

Zasadniczym problemem mającym decydujący wpływ na dokładność pomiarów jest określenie i usystematyzowanie emisyjności ciała. Emisyjność ma prostą interpretację fizyczną, natomiast w praktyce okazuje się, że parametrem trudnym do określenia (pomiaru), ponieważ zależy ona od wielu czynników. Dokładność określenia emisyjności ma wpływ na precyzję pomiarów kamery termowizyjną. Dlatego też nadal prowadzone są badania nad emisyjnością różnych materiałów i powierzchni [3,5].

Pomiary termowizyjne znajdują obecnie szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach życia i nauki podjęte zostały również próby zastosowania tej metody do diagnostyki w medycynie [4,8].

## 2. METODYKA BADAŃ

Do badań wykorzystano kamerę termowizyjną Vigo System S.A – typ V-10, posiadającą następujące parametry:

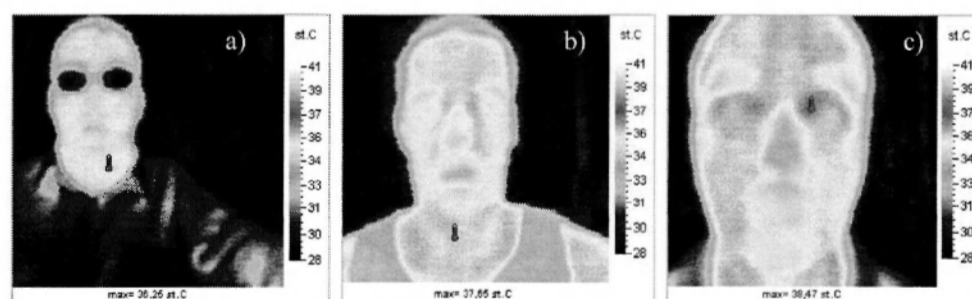
- Rozdzielczość przestrzenna sygnału – 3,5 mrad,
- Rozdzielczość termiczna NETD @ 30°– 0,05..10°C,
- Zakres spektralny – 3÷5  $\mu\text{m}$  lub 8÷12  $\mu\text{m}$ ,
- Zakres mierzonych temperatur – -10.. + 1500°C,
- Dokładność pomiaru – 5%
- Kąt skanowania (poziomy x pionowy) – 30°x30°,
- Minimalna odległość od obiektu – 40cm,
- Rozdzielczość obrazu – 240x240
- Rozdzielczość przetwarzania a/c – 8,12 lub 16 bitów,
- Czas tworzenia pełnego obrazu – 10÷24s,
- Typ detektora/ rodzaj chłodzenia – HgCdTe/ chłodzony termoelektrycznie.

Badania przeprowadzone zostały w trzech etapach pozwalających na określenie przydatności kamery termograficznej do diagnostyki map temperaturowych w różnych dziedzinach medycyny tj. ocena temperatury pacjenta, pooperacyjne monitorowanie temperatury w obszarze blizny pooperacyjnej oraz ocena wpływu wysiłku fizycznego na wzrost ukrwienia (temperatury) wybranych partii mięśniowych.

Badania przeprowadzone zostały w temperaturze otoczenia od 19°C do 21°C, z uwzględnieniem, iż dla poszczególnych badań była ona jednakowa. Tło, na którym wykonywane było badanie było jednorodne, bez dodatkowych źródeł ciepła. Odległość od obiektu ustalona została dla poszczególnych prób na tym samym poziomie. Zakres temperaturowy oraz szybkość skanowania kamery była jednakowa dla wszystkich prób w serii. Współczynnik emisji tła oraz współczynnik emisji skóry został przyjęty zgodnie z tabelami termograficznymi [6].

## 3. WYNIKI BADAŃ

W badaniach podjęto próbę zastosowania kamery termowizyjnej do badań zgrubnych przesiewowych w różnych dziedzinach medycyny. W pierwszym etapie wykorzystano termowizję do oceny temperatury ciała pacjentów. W tym celu wykonano cykl pomiarów zdrowych pacjentów (rys 1a) oraz szereg badań osób z podwyższoną temperaturą ciała (rys 1b, 1c).

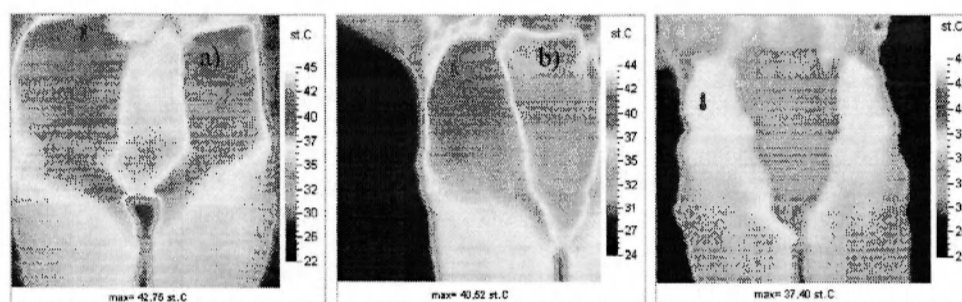


Rys. 1. Termogram osoby zdrowej oraz osób z podwyższoną temperaturą ciała

Badania lekarskie przy pomocy termometru potwierdziły podwyższoną temperaturę pacjentów. W przypadku pacjenta 2 (rys. 1b) badania szczegółowe pozwoliły na określenie stanu zapalnego krtani, przez co temperatura w tym obszarze wynosiła  $37,65^{\circ}\text{C}$ . W przypadku pacjenta 3 (rys. 1c) zdiagnozowano gorączkę oraz infekcję wirusową będącą przyczyną podwyższenia temperatury ciała do  $38,47^{\circ}\text{C}$ .

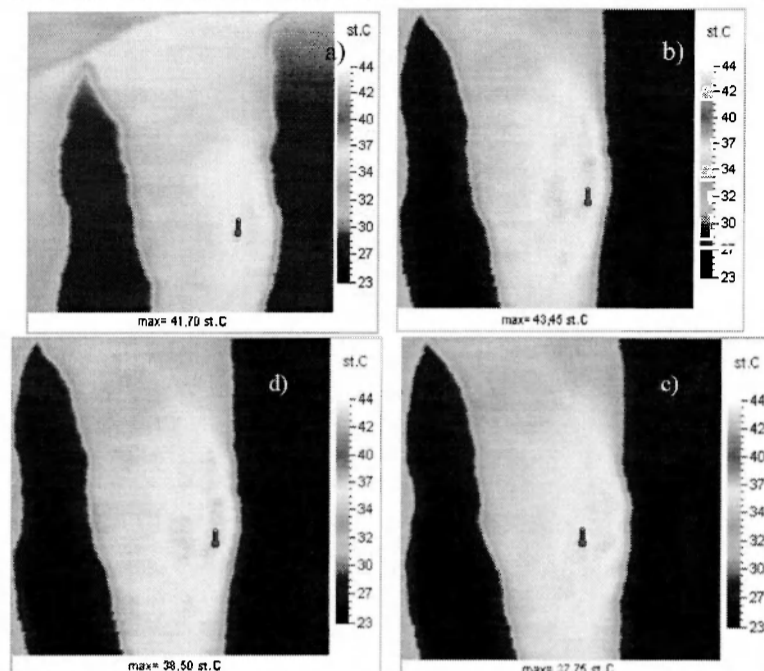
Zastosowanie kamery termowizyjnej do monitorowania temperatury obszaru inwazyjnego podczas endoprotezoplastyki stawu kolanowego. Wprowadzenie do organizmu endoprotez wiąże się z koniecznością ingerencji w organizm. W miejscu, gdzie doszło do przecięcia tkanek dochodzi do gwałtownego wzrostu temperatury. Podczas standardowych procedur kontrolnych diagnostyka tego obszaru polega głównie na obserwacji, czy nie następują stany zapalne i ropienie rany. Zastosowanie kamery termowizyjnej pozwala na precyzyjne określenie temperatury w obszarze rany, co jest niemożliwe w przypadku tradycyjnych (dotykowych) metod pomiarowych, ze względu na możliwość zabrudzenia rany oraz duży ból w obszarze pooperacyjnym. Badania przeprowadzono na pacjencie, u którego zastosowano endoprotezoplastykę stawu biodrowego z dojściem operacyjnym tylnim.

Pierwszy pomiar wykonany został 24 godziny po implantacji (rys. 2a). Temperatura w obszarze rany wynosiła wówczas  $42,75^{\circ}\text{C}$ , po kolejnych 24 godzinach pomiar kontrolny wykazał temperaturę  $40,52^{\circ}\text{C}$  (rys. 2b). Kolejny pomiar wykonano po 96 godzinach, temperatura w obszarze zablźniającej się rany wynosiła wówczas  $37,40^{\circ}\text{C}$  (rys. 2c).



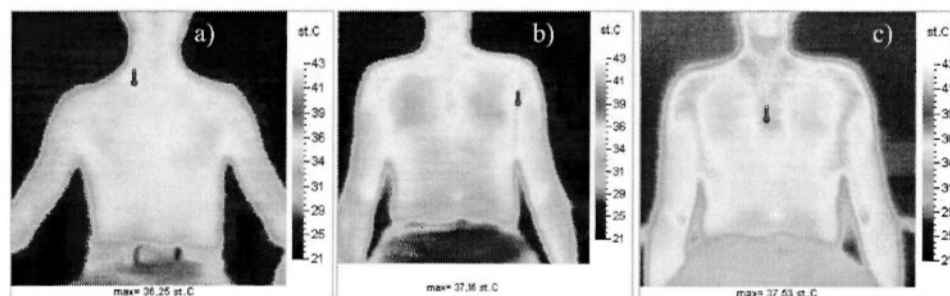
Rys. 2. Termograf blizny pooperacyjnej po endoprotezoplastyce stawu biodrowego

Monitorowanie procesu gojenia, ze szczególnym uwzględnieniem przebiegu zmiany temperatury wykonane zostało również dla pacjenta po endoprotezoplastyce stawu kolanowego. Badanie pierwsze wykonane 24 godziny po zabiegu pozwoliło na ustalenie temperatury w okolicy blizny na poziomie  $41,70^{\circ}\text{C}$  (rys 3a). Po kolejnych 24 godzinach od operacji zaobserwowano zmiany ropne, diagnostyka temperatury wykazała wzrost temperatury do  $43,45^{\circ}\text{C}$  (rys 3b). Odpowiednia opieka medyczna oraz wprowadzenie zestawu leków pozwoliło na zwalczenie stanu zapalnego i obniżenie temperatury do  $38,50^{\circ}\text{C}$  (rys 3c). Przed wypisaniem pacjenta do domu wykonano ostatni pomiar na podstawie, którego określono, iż widoczne jest konsekwentne obniżanie się temperatury w okolicach blizny pooperacyjnej – temp.  $37,75^{\circ}\text{C}$  rys 3c.



Rys. 3. Zmiana temperatury w okolicy blizny pooperacyjnej stawu kolanowego

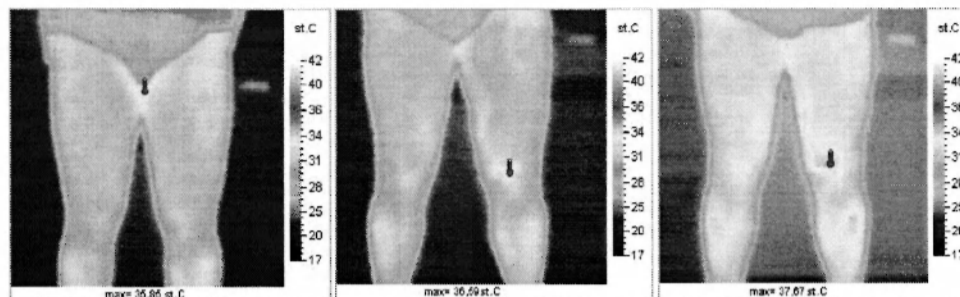
Kolejnym etapem badań było zastosowanie kamery termowizyjnej do oceny prawidłowego zestawu ćwiczeń podczas rehabilitacji. Do badań przyjęto grupę 10 Studentów Politechniki Częstochowskiej, dla których nie stwierdzono przeciwwskazań lekarskich do wykonania wysiłku fizycznego. Każdy z nich wykonał zestaw ćwiczeń pobudzających wybrane partie mięśniowe. W pierwszej grupie badawczej ochotnicy wykonali 2 serie ćwiczeń wzmacniających mięśnie klatki piersiowej oraz ramion. Ocena termiczna ciała pozwoliła określić obszary, w których pobudzenie mięśni było największe i zanotowany został wzrost temperatury z  $36,25^{\circ}\text{C}$  (rys 4a) przed wysiłkiem fizycznym, przez  $37,15^{\circ}\text{C}$  (rys 4b) po pierwszej serii, aż do temp.  $37,53^{\circ}\text{C}$  (rys 4c) po drugiej serii ćwiczeń.



Rys. 4. Zmiana map temperaturowych mięśni klatki piersiowej oraz ramion podczas wysiłku

W drugiej grupie ochotnicy wykonali cykl ćwiczeń pobudzających mięśnie nóg - trening odbył się na cycloergometrze. Pierwszy pomiar wykonany został bezpośrednio przed ćwiczeniem. Wysiłek fizyczny podzielony został na 2 etapy, etap I - obciążenie  $50[\text{W}]$  w czasie 5 minut, przy szybkości pedałowania 60 obrotów/min, oraz etap II - obciążenie  $100[\text{W}]$  w czasie 5 minut, przy szybkości pedałowania 60 obrotów/min.

Wstępna ocena map temperaturowych nóg pozwoliła określić, iż przed próbą wysiłkową najwyższa temperatura znajdowała się w okolicach krocza pacjenta, co może wynikać z tarcia między udami podczas chodu i wynosiła  $35,86^{\circ}\text{C}$  (rys 5a). Analiza stanu temperatury na powierzchni nóg po przejechaniu na cykloergometrze czasu 5 min przy obciążeniu 50 [W] spowodowało wzrost temperatury głównie w okolicy stawów kolanowych do  $36,56^{\circ}\text{C}$  (rys 5b), podczas gdy po 10 min i obciążeniu 100 [W] do  $37,67^{\circ}\text{C}$  - rys 5c.



Rys. 5. Zmiana map temperaturowych mięśni nóg podczas wysiłku na cykloergometrze.

Dzięki zastosowaniu kamery termowizyjnej do oceny temperatury na powierzchni wybranych partii mięśniowych można ocenić obszary o zwiększonym ukrwieniu.

#### 4. PODSUMOWANIE

Diagnostyka temperatury na powierzchni ciała z zastosowaniem kamery termowizyjnej może znaleźć szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach medycyny. Ze względu na szybkość pomiaru oraz bezdotykowość może posłużyć do oceny temperatury w okolicy ran pooperacyjnych, obrzęków, stłuczeń zmian zapalnych skóry oraz wielu innych przypadkach szczególnie tam, gdzie metody dotykowe mogą spowodować zabrudzenie rany i infekcję. Monitorowanie wzrostu ukrwienia mięśni może być przydatne szczególnie przy rehabilitacji ruchowej. Kontrola temperatury wybranych obszarów pozwoli na potwierdzenie słuszności zakresu ćwiczeń oraz dedykowanie treningu na obszary mięśni, które chcemy wzmocnić (pobudzić).

Zarejestrowana na termogramie temperatura nie stanowi materiału diagnostycznego ze względu na fakt, iż jest obarczona błędem pomiarowym wynikającym z wielu czynników tj. odległość kamery od obiektu, czułości urządzenia, zmianę temperatury otoczenia podczas pomiarów (np. nasłonecznienie pomieszczenia, inne źródła ciepła, zmiana wilgotności powietrza itp.). Wszystkie te czynniki mają wpływ na dokładność pomiarów, stąd też zaprezentowane wyniki stanowią jedynie wyniki poglądowe i nie mogą stanowić materiału diagnostycznego, a jedynie pozwalają na określenie słuszności koncepcji, iż zjawisko termografii może znaleźć szerokie zastosowanie w diagnostyce medycznej.

#### LITERATURA

- [1] Bielecki Z., Rogalski A., Detekcja sygnałów optycznych: WNT, Warszawa 2001
- [2] DeWitt D.P., Inferring Temperature from optical radiation measurements: Proc. of SPIE, Vol. 0446, 1983
- [3] Kaplan H., Infrared spectral bands – the importance of color in the infrared: Proc. of InfraMation Conference, Orlando, Florida (24-27.09.2000) edited by: G. Orlove, Vol. 1.

- [4] Madura H., Modelowanie i testowanie urządzeń detekcyjnych podczerwieni: Monografia habilitacyjna, Wydawnictwo WAT, Warszawa 1998
- [5] Michalski L., Eckersdorf K., Kucharski J., Termometria – przyrządy i metody: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1998
- [6] PN-90/E-01005 „Technika świetlna – terminologia”, Wydawnictwa normalizacyjne, Warszawa 1991
- [7] Pręgowski P., Spectral analysis of radiant signals in processes of tele-thermodetection: Proc. of SPIE, Vol. 4360 Thermosenese XXIII
- [8] Żubr J., Jung A., Metody termograficzne w diagnostyce medycznej: Bamar Marketing, Wydawnictwo Warszawa 1997.

### USE OF THERMOGRAPHY FOR MEDICAL DIAGNOSTICS

Summary. Taking body temperature in patients is a very popular method for diagnosis of various illnesses. Use of the effect of thermography in medical diagnostics provides opportunities for thermal imaging of the examined patients' body, which allows people responsible for monitoring to determine the areas of the highest rise in the temperature. The phenomenon can be successfully used in many fields of medicine such as oncology, laryngology, ophthalmology as well as surgery or neurology. This paper presents the results of investigations which allow for application of the phenomenon of thermography for medical diagnostics.