

# ZASTOSOWANIE TERMOWIZJI W DIAGNOSTYCE CHORÓB NACZYŃ U CHORYCH HEMODIALIZOWANYCH

## THE ROLE OF THERMOVISION IN THE DIAGNOSTICS OF VASCULAR DISEASES IN HEMODIALYSIS PATIENTS

Wojciech Żyłka<sup>1\*</sup>, Agnieszka Gala-Błądzińska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy,  
Katedra Mechatroniki i Automatyki, 35-310 Rzeszów, ul. Pigoń 1

<sup>2</sup> Kliniczny Szpital Wojewódzki Nr 2 im. Św. Jadwigi Królowej w Rzeszowie,  
Ośrodek Dializoterapii, 35-301 Rzeszów, ul. Lwowska 60

\*e-mail: wojzyl@op.pl

### STRESZCZENIE

W pracy pokazano przydatność obserwacji termogramów rąk u chorych hemodializowanych w ocenie patologicznych zmian w zakresie unaczynienia rąk. Omówiono zasadę działania kamer termowizyjnych oraz ich zastosowanie w badaniach biomedycznych. Pokazano technikę termowizyjną jako dodatkowe nieinwazyjne narzędzie pozwalające na wyłonienie grupy chorych hemodializowanych szczególnie narażonych na powikłania naczyniowe. Zaobserwowano tendencje do obniżania się temperatury rąk chorych wraz z gorszymi parametrami gospodarki wapniowo fosforanowej oraz aterogennym profilem lipidowym. Badania przeprowadzono w grupie 35 chorych przewlekle hemodializowanych, a uzyskane dane porównano do wyników 22 zdrowych mężczyzn.

**Słowa kluczowe:** termowizja, hemodializoterapia, powikłania naczyniowe

### ABSTRACT

The study shows the usefulness of the observation of thermographs of hands in hemodialysis patients in the evaluation of pathological changes in the vascularity of hands. The main principle of working of thermal imaging cameras and their application in biomedical researches were discussed. The thermographic technique was shown as an additional non-invasive tool to identify a group of hemodialysis patients who are particularly susceptible to vascular complications. It was observed the tendency to reduce the temperature of hands in patients with worse parameters of a calcium-phosphate metabolism and atherogenic lipid profile. The study was conducted in a group of 35 hemodialysis patients and the data was compared to results obtained in 22 healthy men.

**Keywords:** thermovision, hemodialysis, vascular complication

## 1. Wstęp

Coraz niższe ceny kamer termowizyjnych oraz poprawa ich jakości i możliwości pomiarowych sprawiają, że pomiary termowizyjne stają się coraz bardziej atrakcyjne dla zastosowań w wielu nowych obszarach. Termowizja jest zdalną bezdotykową metodą diagnostyczną opartą na obserwacji promieniowania podczerwonego emitowanego przez każde ciało o temperaturze wyższej od zera absolutnego wynoszącego zero stopni Kelvina ( $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Natężenie promieniowania cieplnego jest ściśle związane z temperaturą promieniującego obiektu. Im wyższa jest temperatura, tym wyższa intensywność promieniowania. Wynikiem pomiaru termowizyjnego jest informacja o rozkładzie temperatury na powierzchni obserwowanego obiektu. Promieniowanie podczerwone jest formą promieniowania elektromagnetycznego, tak jak światło czy fale radiowe. Zakres długości tych fal wynosi od 0,78 do 1000  $\mu\text{m}$ . Są to fale dłuższe od światła, ale krótsze od fal radiowych i sklasyfikowane od bliskiej do dalekiej podczerwieni. Promieniowanie podczerwone stanowi również energię promieniowania za sprawą ruchu atomów i molekuł na powierzchni obiektów o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Kamera termowizyjna przetwarza to promieniowanie na obraz – światło widzialne. W ten sposób można uwidocznić, zarejestrować oraz zinterpretować rozkład temperatury na powierzchni badanych obiektów w tym na powierzchni ciała ludzkiego. Metody termograficzne oparte są na pomiarach emisji fal podczerwieni przez różne części ciała, co z kolei zależy od intensywności metabolizmu tkanek i ich ukrwienia. Unaczynienie tkanek i narządów człowieka podlega regulacji układu wegetatywnego i lokalnych mediatorów obkurczających lub rozszerzających naczyń krwionośnych [1, 2, 3]. Termografia może stanowić cenne w praktyce klinicznej uzupełnienie stosowanych rutynowo metod diagnostyki obrazowej. Stałocieplność organizmu ludzkiego oraz emisyjność tkanek w zakresie podczerwieni, powoduje, że organizm ludzki jest dobrym obiektem w badaniach termowizyjnych. Wizualizacja rozkładu temperatury na powierzchni ciała ludzkiego będąca w większości odzwierciedleniem procesów fizjologicznych i patologicznych zachodzących wewnątrz organizmu może stanowić informację diagnostyczną [4, 5]. Zastosowanie termowizji w diagnostyce schorzeń cechuje kilka zalet. Jest to metoda bezdotykowa, nieinwazyjna, szybka, możliwa do zastosowania przy łóżku chorego, nie wymaga skomplikowanego przeszkolenia osoby obsługującej, daje wynik łatwy do interpretacji (pomiar temperatury w wartościach liczbowych), jest powtarzalna. Ponadto, uzyskane termogramy mogą być opracowywane i analizowane komputerowo [6, 7]. Przewlekłemu postępującemu spadkowi filtracji kłębuszkowej na skutek uszkodzenia nerek towarzyszy stopniowy spadek wydalania nadmiaru fosforanów z moczem. To zaburzenie jest podłożem kolejnych zmian patologicznych u chorych z uszkodzeniem nerek, np. pod postacią wzrostu stężenia parathormonu (PTH) w osoczu. Te patologiczne procesy mają następnie wielokierunkowy wpływ na tkankę kostną, układ nerwowy, układ sercowo-naczyniowy, układ endokryny [8]. Hipersekrecja PTH jest przyczyną demineralizacji kości i powikłań sercowo-naczyniowych [9]. Naczynia krwionośne są główną ofiarą zaburzeń gospodarki wapniowo-fosforanowej. Ocenia się, że zwapnienia naczyniowe obecne są już u 63–69% pacjentów ze schyłkową niewydolnością nerek rozpoczynających dializoterapię [10]. Celem badania było wykazanie przydatności termografii w ocenie zaburzeń ukrwienia rąk u osób hemodializowanych w porównaniu z wynikami uzyskanymi od zdrowych ochotników. Ponadto podjęto próbę korelacji termogramów dializowanych chorych z powikłaniami sercowo-naczyniowymi, gospodarką wapniowo-fosforanową, lipidogramem oraz biopskazykiem stanu zapalnego, tj. białkiem C-reaktywnym (CRP).

## 2. Termowizja w badaniach medycznych

Intensywne badania w czasie II Wojny Światowej nad militarnym zastosowaniem detektorów podczerwieni spowodowały gwałtowny rozwój termografii. Pierwsze pomiary termowizyjne w medycynie przeprowadził Ray Lawson w 1956 i dotyczyły one chorób piersi u kobiet [11]. Obecnie technika termografii najbardziej rozwinęła się w badaniach nowotworów piersi u kobiet. Badania termowizyjne stanowią uzupełnienie podstawowej diagnostyki opartej na mammografii. Polegają one na wykrywaniu i porównywaniu niesymetryczności w rozkładzie temperatury pomiędzy lewą a prawą piersią. Termowizja ma również zastosowanie w diagnostyce zespołu Raynauda i innych chorobach reumatycznych, a także jest z powodzeniem stosowana do monitorowania procedur chirurgicznych

w operacji na otwartym sercu [11, 12, 13]. Jednym z przykładów jest wykorzystanie kamery termowizyjnej w trakcie zabiegu pomostowania naczyń wieńcowych. W trakcie tej procedury konieczne jest spowolnienie metabolizmu przez schładzanie serca do temperatury 12–14 °C. W trakcie operacji na otwartym sercu termografia służy ocenie stanu ukrwienia jam serca oraz ocenie stanu tętnic wieńcowych w warunkach kontrolowanej hibernacji. Obserwacja rozkładu temperatury schłodzonego serca podczas zabiegu ułatwia ocenę tętnic poddanych zabiegowi oraz pozwala określić skuteczność zabiegu [14, 15]. W 1966 roku C.E. Crandell i R.P. Hill wykorzystali termografię w diagnostyce stomatologicznej diagnozując ropnie okołozębowe [16]. W piśmiennictwie światowym istnieją również doniesienia o przydatności termowizji w badaniach powłok skórnych twarzoczaszki celem diagnostyki stanów zapalnych tego obszaru, obserwacji gojenia złamań twarzoczaszki oraz procesu osteointegracji po implantacji wszczepów, a także stanów zapalnych zatok przynosowych i stawów skroniowo-żuchwowych [17, 18, 19, 20]. T. Rok podjął próbę sprawdzenia użyteczności termografii w termoablacji nowotworów wątroby oraz wykorzystał termografię do oceny reakcji alergicznych. Monitorował również ustępowanie stanu zapalnego po zabiegu wszczęcia endoprotezy [14]. Termowizja znalazła zastosowanie w dermatologii, w diagnostyce zmian łuszczykowych w zakresie skóry i tkanki podskórnej. Przy użyciu termowizji badano odpowiedź skóry na działanie niskich temperatur stosowanych w krioterapii ogólnoustrojowej [21]. W pracy A. Renkielskiej i wsp. zaproponowano klasyfikację oparzeń opierając się na zrekonstruowanej wartości współczynnika przewodności cieplnej skóry oraz wykorzystano termografię do określenia głębokości i rozległości oparzeń [22]. Badania z zastosowaniem termowizji przeprowadzono również wśród osób dializowanych. W pracach z Austrii, Wielkiej Brytanii czy Polski badacze wykazywali, że monitorowanie stanu przetok naczyniowych za pomocą nieinwazyjnej metody, jaką jest termowizja, jest skutecznym i praktycznym sposobem oceny dostępu naczyniowego [23, 24, 25, 26].

### 3. Materiał i metodyka badań

Badanie przeprowadzono w grupie 35 chorych (13 kobiet i 22 mężczyzn) przewlekle hemodializowanych w Ośrodku Dializoterapii Klinicznego Szpitala Wojewódzkiego nr 2 im. Św. Królowej Jadwigi w Rzeszowie. Przy użyciu kamery termowizyjnej Infrared Thermography R300 NEC Avio Infrared Technologies Co (p. rys. 1) dokonano rejestracji pola termicznego powierzchni skóry oraz pomiarów temperatury w zakresie opuszków palców dłoni zwracając uwagę na rozróżnienie chorych dializowanych na cewniku oraz na przetoce tętniczo żyłnej.

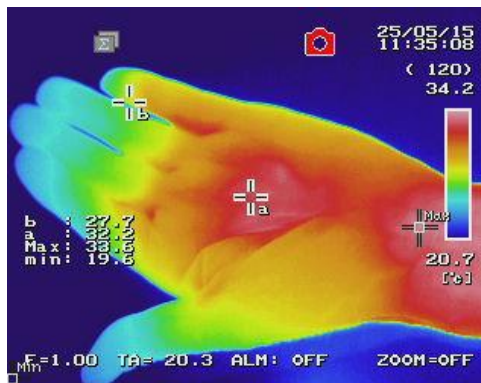


Rys. 1. Kamera Infrared Thermography R300 NEC Avio Infrared Technologies Co (materiał własny)

Zastosowana kamera posiada detektor o rozdzielczości 320×240 pikseli oraz niechłodzoną matrycę mikrobolometryczną wykonaną w nowoczesnej technologii. Pole widzenia rejestratora z obiektywem standardowym wynosi 22°×17°. Urządzenie wyposażone jest w zoom cyfrowy ciągły od 1x do 4x. Kamera jest przeznaczona dla jednostek naukowych, laboratoryjnych, przemysłowych. Kamery termowizyjną InfRec R300 wyposażono w detektor pomiarowy będący owocem wieloletnich badań w dziedzinie mikrobolometrów. Detektor jest szczytowym osiągnięciem technologicznym w swojej klasie. Deklarowana rozdzielczość termiczna matrycy (NETD) to 0,03 °C (w 30 °C), dokładność ±1 °C oraz rozdzielczość przestrzenna lub chwilowy kąt widzenia (I.F.O.V) 1,2 mrad. Wymienione

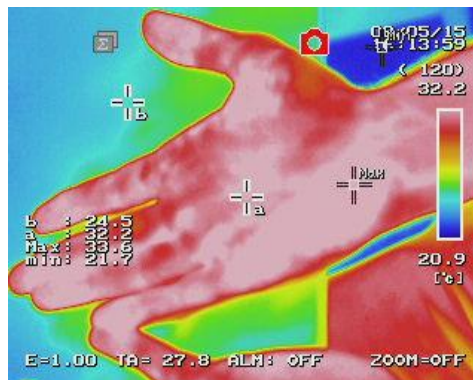
cechy wraz z opcjonalnym zakresem pomiarowym do 2000 °C oraz wymiennymi obiektywami (2x tele, 0,5x szerokokątnym, close-up, etc.) spełniają wszystkie wymagania stawiane urządzeniom pomiarowym. Posiada funkcję zapisu danych w trybie rzeczywistym (real-time), dodatkowo umożliwia analizę obrazu i wygenerowanie raportu. Kamera posiada funkcję równoległego przechwytywania zdjęcia termowizyjnego i widzialnego poprzez USB kamery. Złożenie zdjęcia termowizyjnego i widzialnego można obserwować na komputerze w czasie rzeczywistym. Kamera termowizyjna InfRec R300 łączy ergonomiczną obudowę z łatwą obsługą [27].

Celem wyeliminowania niekorzystnego wpływu niskiej temperatury otoczenia na temperaturę rąk, pomiarów dokonywano bezpośrednio przed hemodializą, przy 28 stopniowej temperaturze zewnętrznej oraz stałej 22,5 stopniowej temperaturze w pomieszczeniu badawczym. Przed dializą pacjentów poproszono o ułożenie obu rąk na jednorazowym arkuszu papieru położonym na stole służącym do badania. U każdego chorego dokonano pomiaru temperatury opuszków każdego z palców rąk (p. rys. 2).



Rys. 2. Przykładowy obraz termograficzny dłoni osoby hemodializowanej (materiał własny)

Otrzymane dane skorelowano z dostępnymi badaniami laboratoryjnymi pobranymi przed dializą w trakcie rutynowych badań okresowych. Jednocześnie wyniki badań termograficznych dłoni osób hemodializowanych skorelowano z wynikami badań termograficznych dłoni 22 zdrowych studentów (p. rys. 3).



Rys. 3. Przykładowy obraz termograficzny dłoni osoby zdrowej (materiał własny)

Na podstawie przeprowadzonego wywiadu lekarskiego i badania fizykalnego grupę kontrolną studentów uznano za zdrową. U wszystkich osób zrekrutowanych do badania, bezpośrednio po badaniu termowizyjnym rąk dokonano również pomiaru temperatury ciała w uchu zewnętrznym. Przed przystąpieniem do badania chorzy wyrazili świadomą zgodę na udział w badaniu. Na przeprowadzenie badania uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Okręgowej Izby Lekarskiej w Rzeszowie (Nr 17/B/2016). Analizie statystyki opisowej poddano liczbę pacjentów i odsetek (%) dla zmiennych nominalnych lub medianę (minimum-maksimum dla zmiennych ciągłych). Do oceny różnic pomiędzy dwoma grupami (porównanie z wartościami referencyjnymi) wykorzystano test t-Studenta dla zmiennych niepowiązanych. Do oceny liczebności zastosowano test niezależności

chi-kwadrat. Do badania korelacji zastosowano współczynnik R Pearsona lub R Spearmana w zależności od charakteru rozkładu analizowanych parametrów. Za istotne statystycznie uznano wyniki przy poziomie istotności  $p < 0,05$ . W obliczeniach wykorzystano pakiet Statistica 12 Trial (Statsoft).

#### 4. Wyniki badań

Zarejestrowane termogramy przeanalizowano w kolejności badania korzystając z oprogramowania producenta kamery. Następnie uzyskane dane liczbowe zaimplementowano do specjalnie utworzonej bazy danych. Charakterystykę grupy badanej przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Charakterystyka badanej grupy pacjentów

	Osoby zdrowe (N=26)	Chorzy dializowani (N=35)
Liczba pacjentów, płeć [N, %]	26 (100)/0	22 (63)/13 (37)
wiek [lata]	21 (20–24)	65 (18–89)
Temperatura ciała [°C]	36,07 (33,7–37,6)	36,56 (35,4–37,4)
Czas trwania dializoterapii [lata]	-	3,4 (1–8)
Parathormon PTH [pg/ml]	15–65†	374,4 (15,5–1385)
Wapń w surowicy [mmol/l]	2,2–2,6†	2,1 (1,8–2,5)
Fosforany w surowicy [mmol/l]	1,59 (1,0–2,52)†	0,8–1,45
Cholesterol całkowity [mmol/l]	<5,17†	3,98 (2,43–6,93)
HDL-cholesterol [mmol/l]	>0,9†	1,03 (0,65–1,58)
LDL-cholesterol [mmol/l]	<2,6†	2,22 (0,72–4,11)
Trójglicerydy [mmol/l]	1,69†	1,61 (0,62–4,64)
Prokalcytonina (PCT) [ng/ml]	<0,5†	0,32 (0,035–4,02)
Białko C-reaktywne (CRP) [mg/l]	0–5†	17,8 (0,5–151,3)

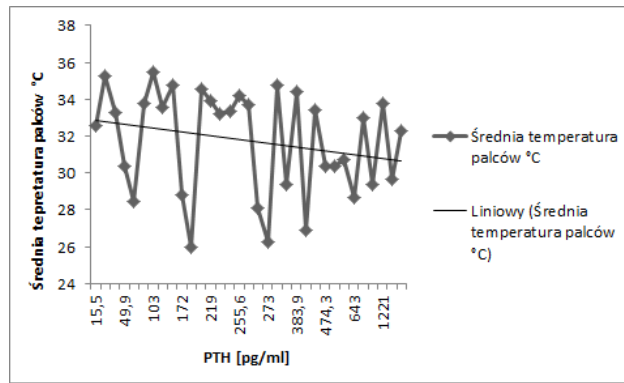
‡ wyniki badań pobranych przed hemodializą

† zakresy norm dla zdrowej populacji

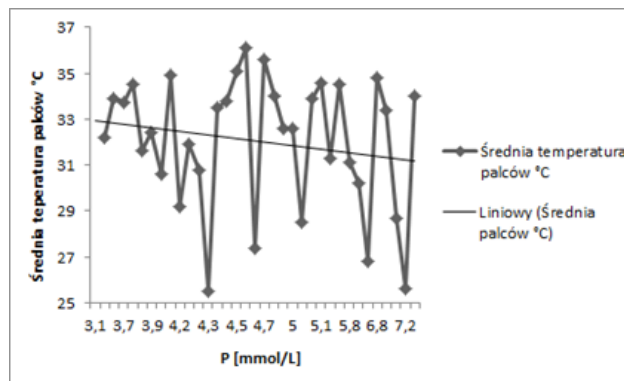
Średnia temperatura palców rąk u osób dializowanych różniła się istotnie statystycznie od średniej temperatury palców rąk zdrowych mężczyzn z grupy kontrolnej ( $31,39 \pm 2,93$  °C vs  $32,35 \pm 2,17$  °C;  $p = 0,028$ ).

W populacji chorych hemodializowanych nie uzyskano istotnie statystycznych różnic w średniej temperaturze rąk pomiędzy chorymi z wynikami badań w surowicy krwi (P, Ca, PTH, hsCRP, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol, trójglicerydy, cholesterol całkowity) pozostającymi w normie dla populacji dializowanej oraz chorymi z wynikami badań odbiegającymi od tej normy.

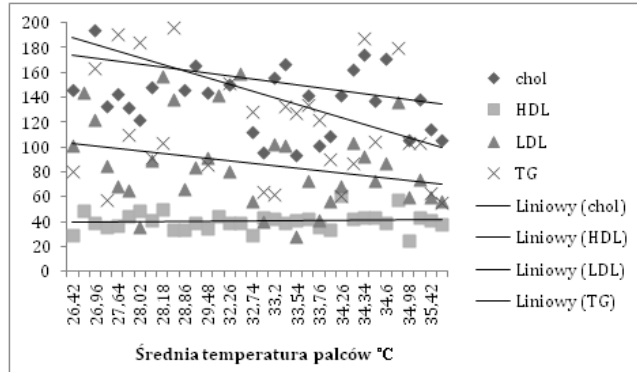
Jednak w całej grupie chorych zaobserwowano tendencję podwyższania się uśrednionej temperatury palców rąk wraz ze spadkiem PTH (p. rys. 4), oraz spadkiem stężenia fosforanów w surowicy krwi (p. rys. 5), a także spadkiem stężenia cholesterolu całkowitego, LDL-cholesterolu i trójglicerydów (p. rys. 6). Jednocześnie nie zaobserwowano tej tendencji w stosunku do stężenia wapnia w surowicy krwi (p. rys. 7).



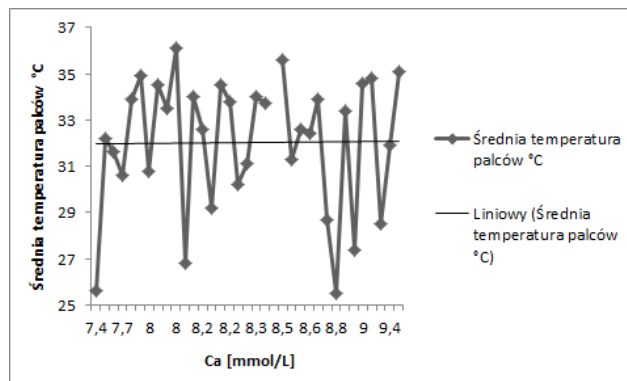
Rys. 4. Korelacja uśrednionej temperatury palców rąk z PTH w populacji osób hemodializowanych



Rys. 5. Korelacja uśrednionej temperatury palców rąk ze stężeniem fosforanów w surowicy krwi populacji osób dializowanych na przetocze a-v



Rys. 6. Korelacja średniej temperatury palców rąk chorych hemodializowanych na przetocze a-v oraz cewniku z cholesterolu całkowitym, cholesterolu LDL i HDL oraz trójglicerydami



Rys. 7. Korelacja uśrednionej temperatury palców rąk ze stężeniem wapnia całkowitego w surowicy krwi populacji osób dializowanych na przetocze a-v

Średni czas dializoterapii wynosił 3 lata i 5 miesięcy (max.: 8 lat, min.: 2 miesiące). Zanotowano ujemną oraz istotną statystycznie korelację między średnią temperaturę rąk osób hemodializowanych a czasem trwania dializoterapii (p. tab. 2). Ponadto w obecnym badaniu na niższe ucieplenie rąk osób dializowanych wpływało: dłuższy czas leczenia dializami, palenie papierosów, starszy wiek (p. tab. 2). Zaobserwowano również istotne różnice w temperaturze rąk osób z powikłaniami sercowo-naczyniowymi w porównaniu ze zdrową populacją (p. tab. 2).

Tabela 2. Czynniki kliniczne związane ze wzrostem ryzyka kalcyfikacji naczyń w badanej populacji

Czynnik kliniczny	Wartość w badanej populacji dializowanych	Wartość w populacji zdrowej	P*
Średni wiek [lata]	65	21	< 0,05
Średni czas trwania dializy [lata]	3,4	-	< 0,05
Współistnienie choroby wieńcowej [L,%]	13 (37,14)	0	< 0,05
Palenie papierosów [L,%]	10 (28,5)	8 (30,8)	< 0,05

## 5. Omówienie wyników badań i dyskusja

W omawianym badaniu, za pomocą kamery termowizyjnej przeanalizowano temperaturę opuszków palców rąk osób dializowanych i skorelowano je z termogramami rąk młodych zdrowych mężczyzn oraz z danymi klinicznymi i wynikami badań laboratoryjnych tych chorych. Autorzy pracy założyli, że wizualizacja rozkładu temperatury na powierzchni rąk osoby dializowanej może stanowić cenną informację diagnostyczną będącą odzwierciedleniem patologicznych procesów zachodzących w naczyniach krwionośnych organizmu. Założono, że na skutek patologicznej przebudowy naczyń krwionośnych u chorych hemodializowanych dochodzi do niemego klinicznie pogorszenia ukrwienia dystalnych części rąk, co może skutkować obniżaniem się temperatury opuszków palców. U chorych ze schyłkową niewydolnością nerek występuje odmienna, w porównaniu z populacją bez niewydolności nerek, dystrybucja wapniów. Do ektopowej mineralizacji naczyń dochodzi w zakresie intymy i medii, w których pojawia się częsty również w populacji ogólnej proces miażdżycowy z charakterystycznym dla populacji dializowanej wapnieniem błony środkowej naczyń krwionośnych zwanym również stwardnieniem błony środkowej typu Möckenberga. W mocznicy oba typy zmian współistnieją ze sobą [28, 29].

W obecnym badaniu wykazano istotną statystycznie różnicę średnich temperatur rąk osób hemodializowanych w porównaniu z grupą kontrolną, co potwierdza obecność zaburzeń ukrwienia dystalnych części rąk u chorych dializowanych.

Wyniki termografii rąk badanej populacji korelowały (p. tab. 2) ze znanymi czynnikami ryzyka wywołującymi kalcyfikację naczyń u osób z przewlekłą niewydolnością nerek jak: wiek, czas trwania dializoterapii, współistnienie choroby wieńcowej czy palenie papierosów [30].

Wiadomo, że w populacji osób dializowanych ryzyko kalcyfikacji naczyń wzrasta dodatkowo wraz ze wzrostem nieprawidłowości w wynikach badań laboratoryjnych związanych z wtórną nadczynnością przytarczyc jak: hiperfosfatemia, podwyższone stężenie parametrów stanu zapalnego, zaburzenia profilu lipidowego (niskie stężenie HDL i wzrost wartości trójglicerydów) [28, 29, 30]. W obecnym badaniu zaobserwowano w grupie chorych hemodializowanych tendencje do obniżania się temperatury rąk chorych wraz z wyższym stężeniem fosforanów oraz wraz ze wzrostem stężenia PTH w surowicy krwi (p. rys. 4, rys. 5). Ta obserwacja jest spójna z wiedzą na temat patologii naczyniowej w przebiegu wtórnej nadczynności przytarczyc, która może dotyczyć w praktyce każdego łożyska naczyniowego [29], również obwodowego unaczynienia rąk. Nie zaobserwowano korelacji średniej temperatury palców rąk ze stężeniem wapnia w surowicy krwi (p. rys. 7), ponieważ w codziennej praktyce nefrologicznej w leczeniu wtórnej nadczynności przytarczyc suplementuje się wapń, co mogło mieć wpływ na uzyskane wyniki pomiarów. Na podstawie przeprowadzonego badania termowizyjnego można wysnuć wniosek, że obserwacja termogramów rąk u chorych dializowanych pozwala na nieinwazyjną ocenę kalcyfikacji. Chorzy z chłodniejszymi dłońmi charakteryzują się większymi nieprawidłowościami w zakresie gospodarki wapniowo, fosforanowej, mają wyższy PTH i bardziej aterogenny profil lipidowy. Ci pacjenci mogą być bardziej niż pozostali dializowani narażeni na powikłania sercowo-naczyniowe, które stanowią główną przyczynę zgonu

w tej populacji [31]. Mimo, że średnia temperatura palców rąk w obecnym badaniu była niższa u chorych ze współistniejącymi powikłaniami sercowo-naczyniowymi w porównaniu z chorymi bez takich powikłań (31,7 °C vs 33,03 °C), nie uzyskano istotności statystycznej tej w obserwacji. Wymaga ona potwierdzenia w większej grupie chorych. Natomiast istotna statystycznie okazała się korelacja temperatury rąk osób dializowanych z chorobą wieńcową w porównaniu z populacją zdrową ( $p=0,019$ ).

## 6. Wnioski

Technika termowizyjna jest całkowicie nieinwazyjną, bezdotykową, stosunkowo niedrogą, efektywną i bezpieczną metodą pozwalającą wstępnie diagnozować zaburzenia w krążeniu obwodowym chorych hemodializowanych. W praktyce klinicznej może stanowić dodatkowe narzędzie pozwalające na wyłonienie grupy chorych dializowanych szczególnie narażonych na powikłania naczyniowe. Tacy chorzy wymagają szczególnego nadzoru nefrologicznego nastawionego na poprawę gospodarki wapniowo-fosforanowej, lipidowej oraz poprawy szeroko rozumianej adekwatności dializoterapii.

## LITERATURA

- [1] I. Całkosiński, L. Borodulin-Nadzieja, M. Stańda, U. Wasilewska, T. Pietraszkiewicz: *Wpływ magnetostymulacji leczniczej na stężenie pochodnych kolagenu w przebiegu doświadczalnego zapalenia opłucnej*, Medycyna Weterynaryjna, vol. 59, 2003, s. 161–164.
- [2] I. Całkosiński, M. Dobrzyński, A. Haloń, K. Fita, M. Całkosińska, J. Majda: *Odpowiedź krążeniowo-humoralna w odruchu somatyczno-vegetatywnym wywołanym przez czynniki bólowe*, Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, vol. 61, 2007, s. 331–337.
- [3] I. Całkosiński: *Przebieg doświadczalnego zapalenia opłucnej po stosowaniu nitrogranulogenu (NTG) i 2,3,7,8-Tetra-chlorodibenzopdioksyny (TCDD)*, Akademia Medyczna we Wrocławiu, Wrocław 2005.
- [4] G.S. Woodhead, P.S. Varrier-Jones, *Clinical Thermometry*, Lancet 1916.
- [5] R. Lawson: *Implications of surface temperatures in the diagnosis of breast cancer*, Canadian Medical Association Journal, vol. 75, 1956, s. 309–310.
- [6] K. Booth, H. Steven: *Optoelectronics*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001.
- [7] *Infrared Thermography R300: User manual*, NEC Avio Infrared Technologies Co. Ltd. 2011.
- [8] C. Wood, E.A. González, K.J. Martin: *Challenges in the therapy of secondary hyperparathyroidism*, Therapeutic Apheresis and Dialysis, vol. 9, 2005, s. 4–8.
- [9] A. S. Dusso, T. Sato, M.V. Arcidiacono, D. Alvarez-Hernandez, J. Yang, I. Gonzalez-Suarez, Y. Tominaga, E. Slatopolsky: *Pathogenic mechanism for parathyroid hyperplasia*, Kidney International. Supplement, vol. 102, 2006, s. 8–11.
- [10] M.Y. Speer, C.M. Giachelli: *Cardiovascular pathology; regulation of cardiovascular calcification*, Cardiovascular Pathology, vol.13, 2004, s. 63–70.
- [11] B.B. Lahiri, S. Bagavatiappan, T. Jayakumar, J. Philip: *Medical applications of infrared thermography. A review*, Infrared Physics & Technology, vol. 55, 2012, s. 221–235.
- [12] K. Ammer: *The sensitivity of infrared imaging for diagnosing Raynaud's phenomenon and for Thoracic Outlet Syndrome is dependent on the method of temperature extraction from thermal images*, Thermology International, vol. 18, 2008, s. 81–88.
- [13] S.J. Spalding, C.K. Kwok, R. Boudreaux, J. Enama, J. Lunich, D. Huber, L. Denes, R. Hirsch: *Three-dimensional and thermal surface imaging produces reliable measures of joint shape and temperature: a potential tool for quantifying arthritis*, Arthritis Research & Therapy, vol. 10(1), 2008, R10.
- [14] T. Rok: *Wykorzystanie termografii w diagnostyce i terapii*, Rozprawa doktorska, Uniwersytet Jagielloński, Zakład Fizyki Medycznej, Kraków 2010.
- [15] X. Chen, K.J. Barkauskas, S.G. Nour, J.L. Duerk, F.W. Abdul-Karim, G.M. Saidel: *Magnetic resonance imaging and model prediction for thermal ablation of tissue*, Journal of Magnetic Resonance Imaging, vol. 26, 2007, s. 123-132.
- [16] C.E. Crandell, R.P. Hill: *Thermography in dentistry, A pilot study*, Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, vol. 21, 1966, s. 316–320.
- [17] K. Fita, M. Dobrzyński, I. Całkosiński, K. Dudek, D. Bader-Orłowska: *Przydatność termografii w diagnostyce lekarsko-stomatologicznej - doświadczenia własne*, Roczniki Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie, vol. 53, 2007, Supl. 3, s. 34–38.
- [18] P.A. Biagioni, J.G. McGimpsey, P.J. Lamey: *Electronic infrared thermography as a dental research technique*, British



- Dental Journal, vol. 180, 1996, s. 226–230.
- [19] J. Hartel, M. Sonnenburg, H. Birr, K. Mahnke: *Thermometric measurements of the course of mandibular fracture healing*, Beiträge zur Orthopädie und Traumatologie, vol. 23, 1976, s. 280–284.
- [20] D.B. Soffin, D.R. Morse, S. Seltzer, M.S. Lapayowker: *Thermography and oral inflammatory conditions*, Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, vol. 56, 1983, s. 356–362.
- [21] A. Cholewka, Z. Drzazga, B. Kajewski, A. Sieroń, B. Wiśniowska: *Termograficzna ocena skutków krioterapii ogólnoustrojowej*, VI Krajowa konferencja termograficzna i Termometria w Podczzerwieni, Ustroń-Jaszowiec 2004.
- [22] A. Renkielska, A. Nowakowski, M. Kaczmarek, M.K. Dobke, J. Grudziński, A. Karmolinski, W. Stojek: *Static thermography revisited – An adjunct method for determining the depth of the burn injury*, Burns, vol. 31, 2005, s. 768–775.
- [23] T. Maca et al: *Infrared thermography for control of hemodialysis shunts*, Proceedings of the 19th Annual International Conference of the IEEE, Engineering in Medicine and Biology Society, vol. 2, 1997, s. 621–624.
- [24] J. Allen, C.P. Oates, A.D. Chishti, I.A.M. Ahmed, D. Talbot, A. Murray: *Thermography and colour duplex ultrasound assessments of arterio-venous fistula function in renal patients*, Physiol Meas, vol. 27, 2006, s. 51–60.
- [25] A. Czupryniak, A. Kałużyńska, M. Nowicki, B. Wiecek, D. Owczarek: *Raynaud's phenomenon and endothelial dysfunction in end-stage renal disease patients treated with hemodialysis*, Kidney Blood & Pressure Research, vol. 28, 2005, s. 27–31.
- [26] J.A. Pietrzyk, P. Korohoda, L. Krawentek, D. Drożdż, K. Zachwieja, M. Miklaszewska: *Thermography as an introductory method for evaluation of vascular access in hemodialysed subjects*, Pediatric Review, vol. 34, 2004, s. 119–124.
- [27] Test – Therm. Aparatura kontrolno-pomiarowa, <http://www.testtherm.pl/>
- [28] S.M. Moe, N.X. Chen: *Mechanisms of vascular calcification in chronic kidney disease*, Journal of American Society of Nephrology, vol. 19, 2008, s. 213–216.
- [29] T. Stompur: *An overview of the pathophysiology of vascular calcification in chronic kidney disease*, Peritoneal Dialysis International, vol. 27, 2007, s. 215–222.
- [30] G. Schlieper: *Vascular calcification in chronic kidney disease: not all arteries are created equal*, Kidney International vol. 85, 2014, s. 501–503.
- [31] C.P. Schmitt, T. Odenwald, E. Ritz: *Calcium, calcium regulatory hormones, and calcimimetics; impact on cardiovascular mortality*, Journal of American Society of Nephrology, vol. 17, 2006, s. 78–80.

otrzymano / submitted: 19.10.2016

wersja poprawiona / revised version: 21.10.2016

zaakceptowano / accepted: 15.11.2016