

OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA TERMOWIZJI W DIAGNOSTYCE PROCESU REHABILITACYJNEGO PO KARDIOLOGICZNYM ZABIEGU BY-PASS

THE POSSIBILITY OF USING THERMAL IMAGING IN THE DIAGNOSIS OF THE REHABILITATION PROCESS AFTER CARDIOLOGY BY-PASS SURGERY

Aleksandra Skomudek^{1*}, Jan Szczegieliński¹, Waldemar Skomudek²

¹ Politechnika Opolska, Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii, Instytut Fizjoterapii,
Katedra Fizjoterapii Klinicznej, 45-758 Opole, ul. Prószkowska 76

² Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Instytut Innowacyjności
Procesów i Produktów, 45-036 Opole, ul. Luboszycka 5

* e-mail: a.skomudek@po.opole.pl

STRESZCZENIE

Kompleksowa rehabilitacja po zabiegu pomostowania aortalno-wieńcowego odgrywa istotną rolę w procesie poprawy wydolności fizycznej. Informacja określająca intensywność ukrwienia tkanek i wpływ zastosowanych zabiegów fizjoterapeutycznych na jego poziom może być ważnym elementem umożliwiającym określenie efektów rehabilitacji kardiologicznej. Termowizyjna metoda badań diagnostycznych może dostarczać istotnych informacji o rozkładzie temperatury w wyznaczonym obszarze ciała pacjenta. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań termowizyjnych u chorych po przeprowadzonym zabiegu pomostowania aortalno-wieńcowego z wykorzystaniem własnej żyły odpiszczelowej.

ABSTRACT

Comprehensive rehabilitation in patients after coronary artery bypass grafting plays an important role in improving of physical fitness. Information indicating the intensity of the impact of tissue perfusion and used physical therapy procedures can be an important element to determine the effects of cardiac rehabilitation. Thermal imaging diagnostic method can provide an important information on the distribution of the temperature within the chosen body parts. The paper presents some results of thermovision studies performed in patients after the coronary artery bypass grafting surgery.

Słowa kluczowe: pomosty aortalno-wieńcowe, rehabilitacja, zabiegi fizjoterapeutyczne, termowizja

Keywords: coronary artery bypass grafting, rehabilitation, physiotherapy, thermovision

1. Wstęp

Jedną z metod leczenia choroby niedokrwiennej serca jest zabieg wszczepienia pomostów aortalno-wieńcowych, które wykonuje się przy użyciu żyły odpiszczelowej, piersiowej wewnętrznej lub promieniowej [1, 2, 3]. Najczęściej do wszczepienia pomostów aortalno-wieńcowych wykorzystuje się żyłę odpiszczelową pobraną z kończyny dolnej chorego. Liczba zakładanych pomostów zależna jest od stanu klinicznego pacjenta, jednak w praktyce nie przekracza czterech [1].

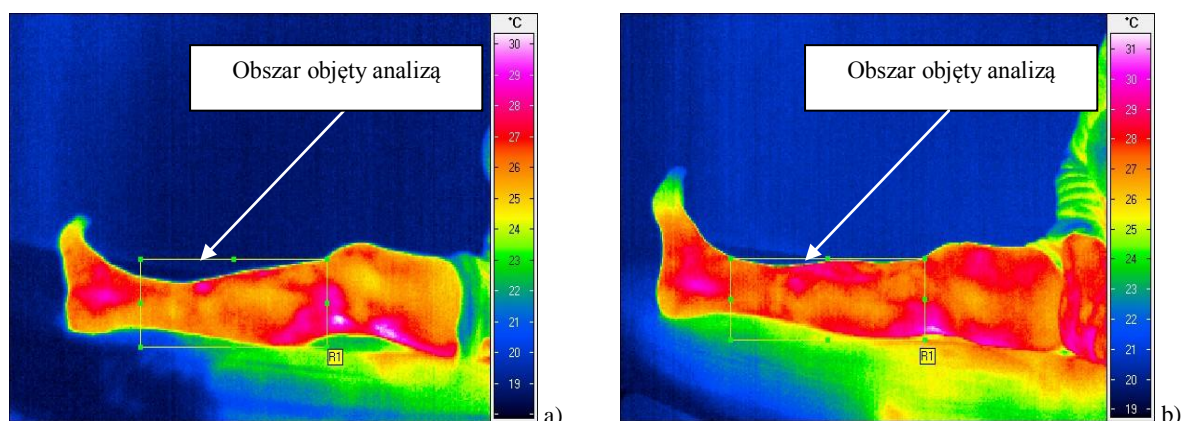
Analizując możliwości i dostępność różnych rodzajów metod i badań wchodzących w zakres diagnostyki, mając na względzie szczególną troskę o zachowanie ich neutralności w oddziaływaniu na pacjenta, zwrócono uwagę na możliwość zastosowania w procesie rehabilitacji metody pomiaru rozkładu temperatur z wykorzystaniem urządzenia termowizyjnego [4, 5]. Metoda ta znajduje coraz szersze zastosowanie w identyfikacji stopnia ukrwienia wyznaczonych fragmentów ciała pacjenta, co może mieć istotne znaczenie przy ocenie skuteczności stosowanych zabiegów fizjoterapeutycznych. Zaletą tej metody jest możliwość sporządzania termogramów w sposób bezdotykowy i nieinwazyjny.

W diagnostyce fizjoterapeutycznej termografię można wykorzystać również do porównania temperatury ukrwienia kończyny przed i po zabiegu pomostowania aortalno-wieńcowego, a także w przypadku wystąpienia przewlekłej niewydolności żylniej. Za pomocą termowizji można już we wczesnym stadium rozwoju choroby wskazać miejsca ograniczonego przepływu krwi w obrębie kończyn dolnych, zwłaszcza w obszarze ich części dystalnych [6, 7, 8]. W wyniku przeprowadzonych badań można określić mapę rozkładu temperatury i na jej podstawie dokonać oceny dynamiki zmian patologicznych w obrębie miejsc dotkniętych ingerencją chirurgiczną, a także monitorować efekty leczenia i procesu rehabilitacji [9, 10].

Celem pracy była ocena możliwości zastosowania pomiarów termowizyjnych w diagnostyce ukrwienia kończyn dolnych chorych po operacji wszczepienia by-passów i dokonaniu wycięcia żyły odpiszczelowej, poddanych określonemu wysiłkowi fizycznemu.

2. Materiał i metoda badań

Zbadano 55 losowo dobranych chorych, leczonych od stycznia do września 2012 roku w szpitalu MSW w Głuchołazach na Oddziale Rehabilitacji i Prewencji Kardiologicznej. W grupie tej znajdowało się 13 kobiet i 42 mężczyzn, a średnia wieku badanych wynosiła 62,3 lata ($\pm 8,11$). Kryterium kwalifikującym chorych do badań z wykorzystaniem termowizyjnej metody pomiaru temperatury była ingerencja chirurgiczna w postaci pomostowania aortalno-wieńcowego z wykorzystaniem przeszczepu z własnej żyły odpiszczelowej pozyskanej z jednej z kończyn dolnych (p. rys. 1).



Rys. 1. Przykład uzyskanych termogramów z widocznym rozkładem temperatury na powierzchni kończyny dolnej u wybranego chorego, który został poddany zabiegowi wycięcia żyły odpiszczelowej; termogramy przed (a) i po (b) wysiłku fizycznym

Z badań wyłączono chorych, i których doszło do pobrania żyły odpiszczelowej z obu kończyn. Badania wykonano po upływie dwóch miesięcy od zabiegu pomostowania aortalno-wieńcowego.

Pomiary wykonywano w wydzielonym pomieszczeniu o stałej temperaturze 25 °C i wilgotności powietrza 45%. Stanowisko pomiarowe (p. rys. 2) posiadało następujące urządzenia:

- kamerę termowizyjną VarioCam,
- komputer przenośny z zainstalowanym oprogramowaniem termowizyjnym IRBIS 3 Professional firmy Intra Tec GmbH Niemcy,
- aparat fotograficzny do wykonywania zdjęć cyfrowych z obiektywem szerokokątnym,
- termometr do pomiaru temperatury w pomieszczeniu,
- higrometr do pomiaru wilgotności w pomieszczeniu.

Z uwagi na konieczność zapewnienia prawidłowych warunków pracy kamery termowizyjnej pierwsze jej uruchomienie następowało na około 30 minut przed rozpoczęciem badań. W trakcie badań kamera była usytuowana w stałej odległości 150 cm od badanego chorego.



a)



b)

Rys. 2. Stanowisko badawcze: a) rozmieszczenie aparatury pomiarowej, b) stanowisko do kontrolowanego wysiłku fizycznego z wykorzystaniem cykloergometru rowerowego

Program badań obejmował:

- pomiar termowizyjny przed przystąpieniem do wysiłku fizycznego,
- pomiar termowizyjny po określonym wysiłku fizycznym.

Zastosowany wysiłek fizyczny na cykloergometrze rowerowym był zgodny z ustalonym programem rehabilitacji, dostosowany do indywidualnych możliwości wysiłkowych chorego i ograniczony limitem tętna w określonym modelu rehabilitacji. U każdego chorego wykonywane były 3 serie pomiarowe składające się z 25 zdjęć. Liczba serii i liczba wykonanych zdjęć pozwoliła na uzyskanie reprezentatywnej średniej wartości temperatur, przed i po wysiłku oraz określenie wartości ich przyrostu. Każdy pomiar termowizyjny obejmował obszar od stawu kolanowego do stawu skokowego. Zdjęcia wykonywane kamerą termowizyjną w ujęciu bocznym kończyny umożliwiały uzyskanie termogramów przedstawiających stronę przyśrodkową kończyny dolnej, z której dokonywano poboru żyły odpiszczelowej oraz kończyny zdrowej.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Określono średnie wartości przyrostu temperatury dla obu kończyn badanego (zdrowej i chorej) ΔT_{sr} , istotność różnic oceniano za pomocą testu *t*-Studenta. Zbadano także zależności między średnią temperaturą przed i po wysiłku, stosując wzór:

$$W = \frac{T_{sr2} - T_{sr1}}{T_{sr2}} = 1 - \frac{T_{sr1}}{T_{sr2}} \quad (1)$$

gdzie: T_{sr1} , T_{max1} – odpowiednio średnia lub maksymalna temperatura przed wysiłkiem oraz T_{sr2} , T_{max2} – odpowiednio średnia lub maksymalna temperatura po wysiłku.

Wartości uzyskane dla wybranych pomiarów zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wartości temperatur przed i po wysiłku fizycznym w obrębie badanej kończyny

Badana kończyna	Rodzaj parametru	Wartość parametru – pomiar przed wysiłkiem	Wartość parametru – pomiar po wysiłku	$\Delta T_{\text{śr}}$, ΔT_{min} , ΔT_{max}	Wartość wskaźnika <i>W</i>	Test <i>t</i> -Studenta
zdrowa	Średnia wartość temperatury $T_{\text{śr1}}$, $T_{\text{śr2}} \pm SD$ [°C]	31,23 ± 0,92	31,31 ± 1,13	0,08	0,01	$p < 0,05$
	Minimalna wartość temperatury T_{min1} , T_{min2} [°C]	28,79	26,46	-2,33	-	
	Maksymalna wartość temperatury T_{max1} , T_{max2} [°C]	33,03	33,28	0,25	-	
chora	Średnia wartość temperatury $T_{\text{śr1}}$, $T_{\text{śr2}} \pm SD$ [°C]	31,11 ± 1,01	31,43 ± 1,17	0,32	0,02	$p < 0,05$
	Minimalna wartość temperatury T_{min1} , T_{min2} [°C]	28,81	26,51	-2,3	-	
	Maksymalna wartość temperatury T_{max1} , T_{max2} [°C]	33,18	32,98	-0,20	-	
$\Delta T_{\text{śr}} = T_{\text{śr2}} - T_{\text{śr1}}$, $\Delta T_{\text{min}} = T_{\text{min2}} - T_{\text{min1}}$, $\Delta T_{\text{max}} = T_{\text{max2}} - T_{\text{max1}}$ $T_{\text{śr1}}$, T_{min1} , T_{max1} – odpowiednio średnia, minimalna lub maksymalna temperatura przed wysiłkiem $T_{\text{śr2}}$, T_{min2} , T_{max2} – odpowiednio średnia, minimalna lub maksymalna temperatura po wysiłku <i>SD</i> – odchylenie standardowe Wartość $p < 0,05$ uznano za istotne statystycznie						

Tabela 2. Zestawienie wartości temperatur przed i po wysiłku fizycznym pomiędzy badaną kończyną chorą i zdrową

		Kończyna zdrowa	Kończyna chora	$\Delta T_{\text{śr}}$, ΔT_{min} , ΔT_{max}	Test <i>t</i> -Studenta
Przed wysiłkiem fizycznym	Średnia wartość temperatury $T_{\text{śr1}}$, $T_{\text{śr2}} \pm SD$ [°C]	31,23 ± 0,92	31,11 ± 1,01	0,12	$p < 0,05$
	Minimalna wartość temperatury T_{min1} , T_{min2} [°C]	28,79	28,81	-0,02	
	Maksymalna wartość temperatury T_{max1} , T_{max2} [°C]	33,03	33,18	-0,15	
Po wysiłku fizycznym	Średnia wartość temperatury $T_{\text{śr1}}$, $T_{\text{śr2}} \pm SD$ [°C]	31,31 ± 1,13	31,43 ± 1,17	0,12	$p < 0,05$
	Minimalna wartość temperatury T_{min1} , T_{min2} [°C]	26,46	26,51	-0,05	
	Maksymalna wartość temperatury T_{max1} , T_{max2} [°C]	33,28	32,98	0,30	
$\Delta T_{\text{śr}} = T_{\text{śr2}} - T_{\text{śr1}}$, $\Delta T_{\text{max}} = T_{\text{max2}} - T_{\text{max1}}$, $\Delta T_{\text{min}} = T_{\text{min2}} - T_{\text{min1}}$ <i>SD</i> – odchylenie standardowe $T_{\text{śr1}}$, T_{min1} , T_{max1} – temperatura kończyny chorej $T_{\text{śr2}}$, T_{min2} , T_{max2} – temperatura kończyny zdrowej Wartość $p < 0,05$ uznano za istotne statystycznie					

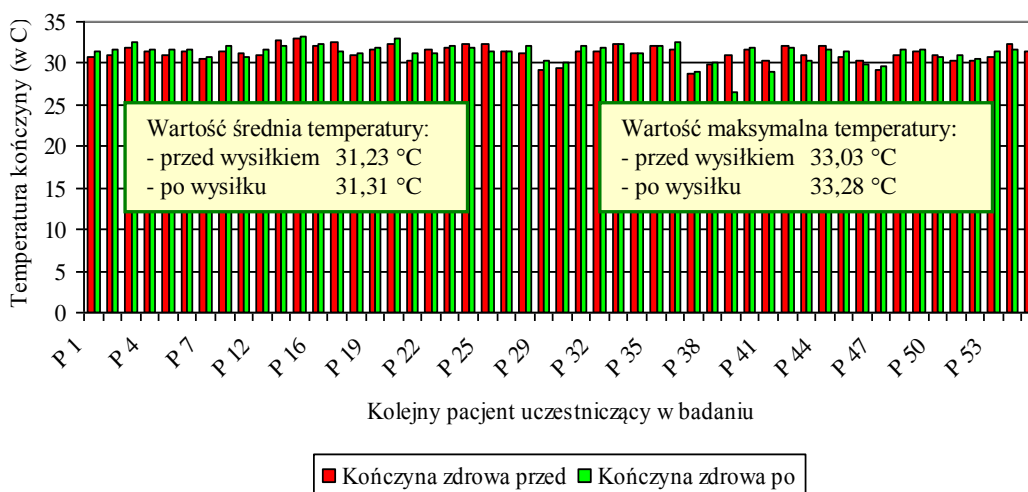
3. Wyniki badań

Uzyskane w trakcie badań serie termogramów pozwoliły na wyznaczenie wartości temperatury minimalnej, maksymalnej oraz średniej w analizowanym obszarze kończyny dolnej.

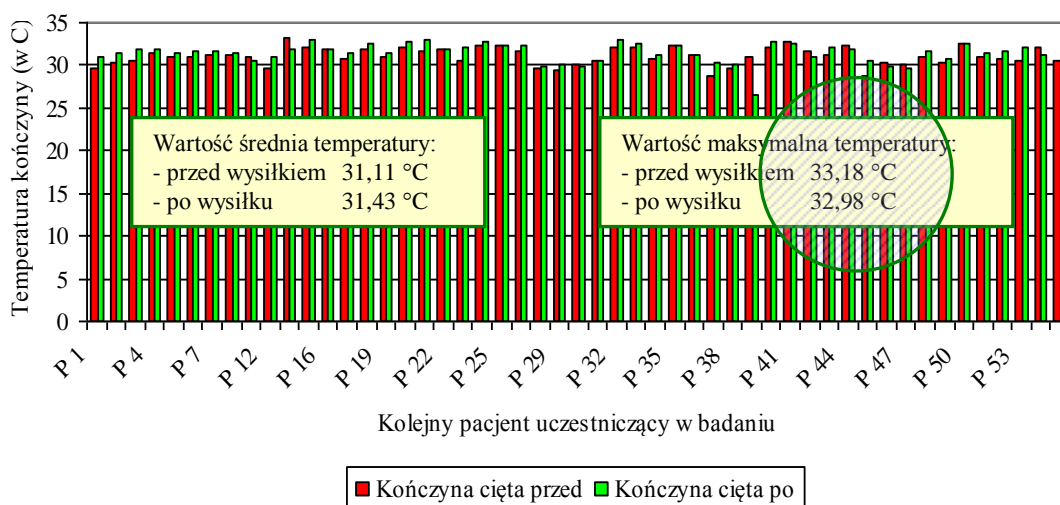
W badaniach wykazano występowanie istotnych statystycznie różnic średnich wartości temperatur pomiędzy kończyną zdrową a kończyną chorą, zarówno przed, jak i po wysiłku fizycznym. Przed wysiłkiem fizycznym zarejestrowana średnia temperatura kończyny zdrowej były wyższa od temperatury kończyny chorej o $0,12^{\circ}$. Po zastosowanym wysiłku fizycznym wartość średnia temperatury dla kończyny chorej była wyższa o $0,11^{\circ}\text{C}$ (p. tab. 2).

Stwierdzono także występowanie istotnych statystycznie różnic temperatur przed i po zastosowanym wysiłku fizycznym dla tej samej badanej kończyny. Badania wykazały wyższą o $0,08^{\circ}\text{C}$ średnią temperaturę po zastosowanym wysiłku fizycznym dla kończyny zdrowej i wyższą o $0,32^{\circ}\text{C}$ średnią temperaturę po zastosowanym wysiłku fizycznym w obszarze kończyny chorej (p. tab. 1).

W badaniach obserwowano także wystąpienie różnic najwyższych wartości temperatur, uwarunkowanych stopniem ukrwienia ocenianych kończyn, zarówno przed, jak i po obciążeniu chorego wysiłkiem fizycznym (p. rys. 3 i 4).

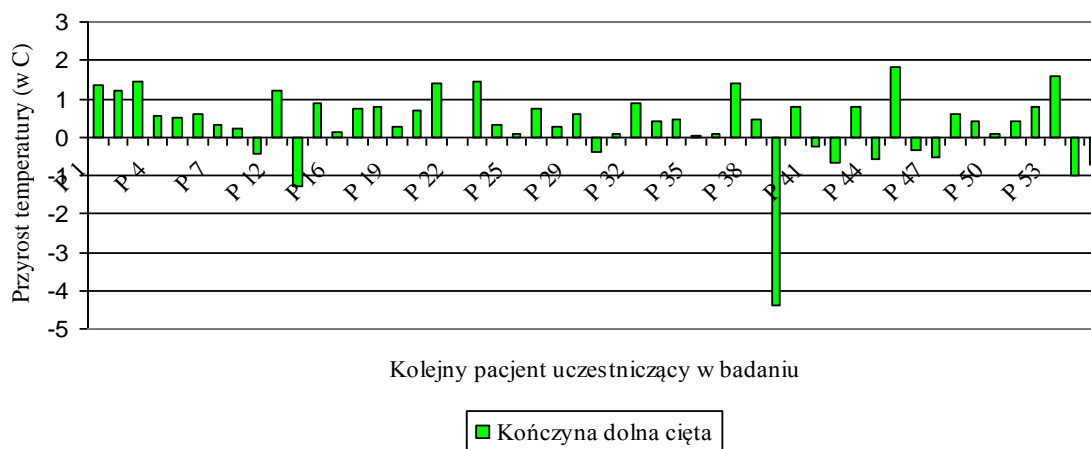


Rys. 3. Wartości temperatury badanych kończyn zdrowych przed i po wysiłku fizycznym



Rys. 4. Wartości temperatury badanych kończyn poddanych zabiegowi chirurgicznemu przed i po wysiłku fizycznym

Przeprowadzona analiza uzyskanych wyników wykazała również przypadki obniżenia temperatury kończyny operowanej po wysiłku fizycznym (p. rys. 5). Należy jednak podkreślić, że analiza zarejestrowanych w trakcie badań ujemnych przyrostów temperatur (dotyczy ok. 20% badanych przypadków) nie wykazała jednoznacznych tendencji.



Rys. 5. Przyrosty temperatury dla badanych kończyn poddanych zabiegowi chirurgicznemu

Na podstawie zastosowanego wzoru (1) określono trzy możliwe do wystąpienia tendencje przyrostu temperatur w ocenie efektów fizjoterapii:

1. gdy $T_{sr2} = T_{sr1}$ wartość wskaźnika $W = 0$, co odpowiada wynikom badań uzyskanym dla kończyn zdrowych;
2. gdy $T_{sr2} > T_{sr1}$ wartość wskaźnika W jest dodatnia, mniejsza od jedności, co odpowiada wynikom badań uzyskanym dla kończyn chorych, przy czym wartość wskaźnika bliższa jedności może świadczyć o bardziej skutecznym procesie rehabilitacji;
3. gdy $0 < T_{sr2} < T_{sr1}$ wartość wskaźnika W jest ujemna, co odpowiada wynikom badań uzyskanym dla kończyn chorych, sugerującym mniejszą skuteczność procesu rehabilitacji.

4. Dyskusja

Termowizja, jako metoda nieinwazyjna, bezbolesna i bezpieczna umożliwia określenie stanu fizjologicznego badanych tkanek dzięki emisji promieniowania cieplnego, które odzwierciedla tempo zachodzących w nich zmian metabolicznych, związanych z lokalnym ukrwieniem. Różnica temperatur jest związana z upośledzeniem ukrwienia obserwowanych rejonów ciała, wskazując na zaburzenia przepływu krwi w badanym obszarze [11, 12]. Zastosowanie termowizji w kardiologii opisali Borodulin [13] oraz Markiewicz i Bednarzewski [14]. Badali oni temperaturę skóry w obrębie klatki piersiowej u pacjentów po świeżym zawale serca. Ich obserwacje wskazywały na obniżenie wartości temperatury o ok. 0,5–3 °C oraz, że tendencja ta utrzymywała się u chorych od 5 do 10 dni po zawale [15].

Inni autorzy wykazali, że pobór żyły promieniowej powoduje spadek temperatury o maksymalnie 0,9 °C, a zmiany wartości temperatury następują po wysiłku fizycznym polegającym na zaciskaniu ręki w pięść [16]. Zaobserwowali oni również wzrost temperatury w otoczeniu tętnicy łokciowej, co może oznaczać uwalnianie się ciepła z mięśni przedramienia wskutek zwiększonego przepływu krwi przez tętnicę łokciową. Ciekawa wydaje się także analiza temperatur, dotycząca przypadków odnotowanego jej obniżenia po zastosowanym wysiłku fizycznego. Podobnie, jak u innych autorów po przeprowadzonym wysiłku zarejestrowana temperatura zarówno na palcach kończyny górnej, jak i w odniesieniu do całego przedramienia z uwzględnieniem żyły łokciowej i wyciętej żyły promieniowej uległa obniżeniu [11, 16].

Z przeprowadzonych w tym zakresie badań własnych u chorych z wszczepieniem by-passów oraz na podstawie dostępnego piśmiennictwa można zauważyć, że wykorzystanie metody

termowizyjnej może być przydatne w diagnostyce pacjentów kardiochirurgicznych poddanych procesowi rehabilitacji [16, 17].

Otrzymane w trakcie badań własnych obrazy termowizyjne kończyn dolnych w jednoznaczny sposób obrazują wpływ zabiegu i zastosowanego wysiłku fizycznego na rozkład temperatury w wyznaczonym obszarze badań. Porównując wartość średnią temperatur, przed i po wysiłku fizycznym, w obszarze kończyny zdrowej i kończyny poddanej ingerencji chirurgicznej, wykazano, że u większości chorych wyższe wartości temperatur dotyczą kończyny zdrowej. Stwierdzone istotnie niższe wartości temperatur kończyny chorej wskazują na możliwość długotrwałego ograniczenia transportu krwi w obrębie kończyny poddanej ingerencji chirurgicznej.

Ocena efektywności prowadzonego procesu usprawniania u chorych po wycięciu żyły odpiszczelowej może być wspomagana diagnostyką termowizyjną. Potwierdzają to prace niektórych autorów, w których dostrzega się celowość i potrzebę prowadzenia badań nad stopniem ukrwienia kończyn po wycięciu żyły odpiszczelowej [13, 16].

Uzyskane wyniki badań mogą więc stanowić podstawę określania intensywności i poziomu skuteczności obciążania wysiłkiem fizycznym stosowanym w procesie usprawniania chorych po zabiegach kardiochirurgicznych, stanowiąc przesłankę do dalszych badań ukierunkowanych na zastosowanie diagnostyki termowizyjnej w fizjoterapii.

5. Wnioski

1. Stwierdzono występowanie istotnej różnicy temperatur pomiędzy badaną kończyną dolną zdrową i chorą przed i po zastosowanym wysiłku fizycznym.
2. W badaniach własnych stwierdzono istotne przyrosty temperatur po zastosowanym wysiłku fizycznym w obu badanych kończynach dolnych.
3. Przeprowadzone badania wskazują na możliwość zastosowania diagnostyki termowizyjnej w ocenie skuteczności fizjoterapii.

LITERATURA

- [1] A.L. Hawkes, M. Nowak, B. Bidstrup, R. Speare: *Outcomes of coronary artery bypass graft surgery*, *Vascular Health and Risk Management*, vol. 2(4), 2006, s. 477–484.
- [2] *Standardy rehabilitacji kardiologicznej*, *Folia Cardiologica*, vol. 11, sup. A, 2004.
- [3] M. Misterski, M. Jemielity, B. Perek, P. Buczkowski, P. Samolewski, R. Szajkowski, W. Stachowiak, W. Sarnowski, M. Walczak, W. Dyszkiewicz: *Zastosowanie tętnicy promieniowej w operacjach bezpośredniej rewaskularyzacji mięśnia sercowego*, *Nowiny Lekarskie*, vol. 74(1), 2005, s. 8–12.
- [4] E. Krauze, M. Wyględowska-Kania, E. Pierzchała, E. Syguła, D. Wcisło-Dziadecka, B. Kajewski, R. Bogucki: *Próba porównania wyników badań termograficznych i histopatologicznych w ocenie znamion barwnikowych i wybranych nowotworów skóry*, *Dermatologia kliniczna*, vol. 7(4), 2005, s. 199–203.
- [5] A. Jung, J. Żuber, F. Ring: *Możliwość zastosowania termografii w diagnostyce medycznej*, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna*, vol. 14(1), 2008, s. 27–28.
- [6] M. Chudecka, A. Lubkowska: *Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature*, *Journal of Thermal Biology*, vol. 35(8), 2010, s. 379–385.
- [7] D. Mikulska, R. Maleszka, M. Różewicka: *Zastosowanie badań termograficznych jako metody diagnostycznej w dermatologii*, *Dermatologia Kliniczna*, vol. 4(1–4), 2002, s. 57–60.
- [8] J. Taradaj: *Wykorzystanie badań termowizyjnych we współczesnej medycynie*, *Rehabilitacja w praktyce*, vol. 3, 2007, s. 16–17.
- [9] A. Dębiec-Bąk, A. Skrzek, A. Jonak: *Zróżnicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców w badaniach termowizyjnych*, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna*, vol. 15(4), 2009, s. 322–327.
- [10] A. Skrzek, J. Anwajler, K. Dudek, A. Dębiec-Bąk, U. Pilch: *Rozkład temperatury na powierzchni ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej w badaniach termowizyjnych*, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna*, vol.13(2), 2007, s. 141–146.
- [11] S. Bagvathiappan, T. Saravanan, J. Philip, T. Jayakumar, B. Ray, R. Karunanithi, T. M. R. Panicker, M.P. Korath, K. Jagadeesan: *Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders*, *Journal of Medical Physics*, vol. 34(1), 2009, s. 43–47.

- [12] A. Szentkuti, H.S. Kavanagh, S. Grazio: *Infrared thermography and image analysis for biomedical use*, Periodicum Biologorum, vol. 113(4), 2011, s. 385–392.
- [13] H. Borodulin: *Termometria kożnych pokrowow pieredniobokowej powierzchni grudnoj klatki w diagnostyce koronarnoj nedostatecznosti*, Terap Arch, vol. 35, 1963, s. 37–39.
- [14] M. Markiewicz, J. Bednarzewski: *Zachowanie się ciepłoty skóry przedniej powierzchni klatki piersiowej w zawale serca*, Polski Tygodnik Lekarski, vol. 20, 1965, s. 1893–1896.
- [15] M. Prasał, M.K. Sawicka, A. Wysokiński: *Termowizja jako metoda diagnostyczna stosowana w kardiologii*, Kardiologia Polska, vol. 68(9), 2010, s. 1052–1056.
- [16] Ł. Jaworski, P. Siondalski, K. Jarmoszewski, J. Rogowski: *Arm temperature distribution in thermographic pictures after radial artery harvesting for coronary bypass operation*, Interactive cardiovascular and thoracic surgery, vol. 6 2007, s. 598–602.
- [17] F.E. Ghashghaei, M. Sadeghi, S.M. Marandi, S.E. Ghashghaei: *Exercise-based cardiac rehabilitation improves hemodynamic responses after coronary artery bypass graft surgery*, ARYA Atherosclerosis Journal, vol. 7(4), 2012, s. 151–156.

otrzymano / submitted: 21.01.2013r.
wersja poprawiona / revised version: 08.03.2013r.
zaakceptowano / accepted: 10.04.2013r.