

Armand CHOLEWKA¹, Agata STANEK², Teresa KASPRZYK¹, Paweł URBAŃCZYK³, Leszek JAGODZIŃSKI, Aleksander SIEROŃ², Zofia DRZAZGA¹

¹A. CHEŁKOWSKI INSTITUTE OF PHYSICS, DEPARTMENT OF MEDICAL PHYSICS, UNIVERSITY OF SILESIA, Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice, Poland

²CHAIR AND CLINIC OF INTERNAL DISEASES AND PHYSICAL MEDICINE, SILESIAN MEDICAL UNIVERSITY, Batorego 15, 41-902 Bytom, Poland

³CENTRUM DIAGNOSTYKI SPORTOWEJ DIAGNOSTIX, oś. Bajcary 13, 43-460 Wisła - Malinka

Zastosowanie termowizji w badaniach wydolności sportowców – badania pilotażowe

Dr n. fiz. Armand CHOLEWKA

Jest adiunktem w Zakładzie Fizyki Medycznej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Podstawową dziedziną badawczą jest zastosowanie diagnostyki termowizyjnej w różnych dziedzinach medycyny. Jest Prezesem Oddziału Śląskiego Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej oraz Z-cą Dyrektora Centrum Kształcenia Podyplomowego UŚ ds. Uniwersytetu Śląskiego Młodzieży.



e-mail: armand.cholewka@gmail.com

Dr hab. n. med. Agata STANEK

Jest adiunktem Katedry i Oddziału Klinicznego Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizycznej w Bytomiu Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, specjalistą w zakresie chorób wewnętrznych i angiologii. Jest badaczem o uznanym dorobku naukowym międzynarodowym i krajowym obejmującym głównie nowoczesne zagadnienia medycyny fizycznej.



e-mail: astanek@tlen.pl

Inż. Teresa KASPRZYK

Jest studentką IV roku fizyki medycznej na wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Tytuł inżyniera otrzymała za pracę pilotażową na temat Zastosowania termografii w sporcie.



e-mail: ter.kasprzyk@gmail.com

Mgr inż. Paweł URBAŃCZYK

Jest absolwentem Politechniki Śląskiej (wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki) oraz trenerem kolarstwa. Ponadto 3 krotnie zdobył tytuł amatorskiego Mistrza Polski w maratonie MTB. Jest współautorem książki "Maraton z blatu 2.0". Od 2010 pełni funkcję dyrektora d/s badań sportowych Centrum Diagnostyki Sportowej Diagnostix w Wiśle.



Prof. dr hab. n. med. dr h. c. Aleksander SIEROŃ

Kieruje Katedrą i Oddziałem Klinicznym Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizycznej w Bytomiu Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach. Jego znany w kraju i na świecie dorobek naukowy wskazuje nowe możliwości wykorzystania medycyny fizycznej w praktyce klinicznej. Jest Prezesem Polskiego Towarzystwa Medycyny Fotodynamicznej i Laserowej oraz Prezesem Elektem Polskiego Towarzystwa Angiologicznego.



e-mail: sieron1@tlen.pl

Prof. zw. dr hab. Zofia DRZAZGA

Kierownik Zakładu Fizyki Medycznej od 1996, pełnomocnik ds. Fizyki medycznej od 2000 r. Główne zainteresowania: Zastosowanie metod fizycznych w innowacjach technologii medycznych i podnoszeniu wartości diagnostycznych w ochronie zdrowia w tym; obrazowanie termowizyjne, przy pomocy magnetycznego rezonansu magnetycznego w szczególności rezonans funkcjonalny i techniki dyfuzyjne (DWI i DTI) oraz optyczna spektroskopia fluorescencyjna i rentgenowska analiza fluorescencyjna XRF.



e-mail: zofia.drzazga@us.edu.pl

Streszczenie

Celem badań była próba korelacji parametrów termicznych obliczonych na podstawie termogramów powierzchni ciała ludzkiego wykonanych w trakcie badań wydolnościowych sportowców, jak również mocy liczonej według wzoru Stefana – Boltzmanna z parametrami uzyskanymi z aparatury używanej w testach progresywnych. Otrzymane wyniki pokazały wysokie wartości korelacji poszczególnych parametrów, co może świadczyć o dużym potencjale możliwości zastosowania termowizji w sporcie jako metody wspomagającej planowanie treningów.

Słowa kluczowe: termowizja, moc organizmu człowieka, wydolność organizmu, testy progresywne.

Application of thermovision to sportsmen efficiency tests – a pilot study

Abstract

The aim of the studies was to determine and compare the temperature parameters as well as the organisms radiation power calculated with use of the Stefan-Boltzman law with the standard parameters calculated by apparatus normally used during efficiency tests. All the studies were made by a thermovision camera Flir Systems A40 (temperature sensitivity was 0,07K). The group of subjects was tested in the Sports Diagnostic Center, Diagnostics, in Wisła. The results of the studies showed almost full

correlation between the mean radiation power loss of organism calculated with the Stefan-Boltzman law and the mean power set on the controller of ergometer. Moreover, other very important parameter called the coefficient of respiratory exchange was described by almost full correlation coefficient with the mean power loss from organism during training. Other temperature parameters were also highly correlated with the parameters obtained from the ergometer controller. It seems that thermovision may be a useful tool in sportsmen efficiency evaluation. Maybe, it could be possible to use this technique as a complementary or even as a substitution of some standard methods used in planning of training cycle. However, the conclusion must be drawn very carefully due to the small statistic group of volunteers.

Keywords: thermovision, organism power loss, organism efficiency, progressive tests.

1. Wprowadzenie

Zastosowanie termografii w ostatnich latach jest coraz szersze. Rozwój ten dotyczy nie tylko medycyny, ale też innych dziedzin nauki [1-7]. W sporcie termowizja również znalazła swoje zastosowanie jako metoda nieinwazyjnej analizy temperatury powierzchni ciała już kilkadziesiąt lat temu, gdzie podstawowym celem badań było określenie wzrostu lub spadku temperatury skóry podczas określonego wysiłku fizycznego (bieganie, jazda na rowerze, pływanie) oraz diagnostyka w przypadku urazów prowa-

dzących do zmiany temperatury tkanek powierzchniowych organizmu [8-13]. Być może rozwój termowizji właśnie w kierunku badań sportowców ale nie pod kątem czysto diagnostycznym tylko treningowym i wydolnościowym może doprowadzić do tego, iż termowizja stanie się metodą używaną nie tylko do monitorowania stanu zdrowia sportowców, ale także znajdzie zastosowanie w badaniach ich możliwości wydolnościowych i być może dostarczy informacji, które pomogą planować cały cykl treningów dla danego sportowca.

Jednakże aby próbować korelować parametry takie jak, strumień energii tracony na sposób promieniowania cieplnego z organizmu sportowca w trakcie treningu potrzebne są nie tylko parametry uzyskane z termogramów, ale także znajomość pewnych podstawowych wzorów z zakresu transportu ciepła. Znając temperaturę powierzchniową różnych części naszego ciała możemy oszacować średnią temperaturę całego ciała na podstawie empirycznego wzoru:

$$T_{org} = 0,07T_{stopy} + 0,32T_{golenie} + 0,17T_{plecy} + 0,18T_{piers} + 0,14T_{ramiona} + 0,05T_{reca} + 0,07T_{glowa} \quad (1)$$

Wzór (1) jest wzorem empirycznym opartym na pomiarach temperatury odpowiednich powierzchni ciała, w którym największy wkład w średnią temperaturę całkowitej powierzchni ciała mają golenie, plecy, klatka piersiowa oraz ramiona [14].

Strumień energii radiacyjnej promieniowania cieplnego jaki emituje z powierzchni ciała organizm podczas treningu można wyliczyć stosując prawo Stefana-Boltzmanna [4, 15-17]:

$$\Phi_R = \sigma \varepsilon A (T_{ciała}^4 - T_{otoczenia}^4) \quad (2)$$

gdzie: σ – stała Stefana- Boltzmanna, równa $5,67 \cdot 10^{-8}$ [$Wm^{-2}K^{-4}$], ε – zdolność emisyjna powierzchni promieniującej, A – powierzchnia ciała.

Powyższe zależności pomogą nam w obliczeniu strumienia energii promieniowania cieplnego generowanego przez organizm w trakcie wysiłku – w naszym przypadku testów wydolnościowych sportowców. Są to najczęściej testy progresywne, które opierają się na wzroście intensywności ćwiczeń. W przypadku kolarzy przeprowadzane są na ergometrze rowerowym z regulowanym obciążeniem podawanym w watach. Testy te pokazują jak układ krwionośny zawodnika reaguje na wzrost intensywności ćwiczeń, ponadto pozwalają określić próg przemian beztlenowych i mierzą tętno [18, 19]. Wszystkie te parametry mają na celu określenie możliwości wydolnościowych danego sportowca pod kątem planowania treningu.

2. Materiał i metody

W przeprowadzanych badaniach termograficznych udział wzięło 5 sportowców - ochotników. Byli to kolarze uprawiający MTB (ang.: *mountain biking*). Badania przeprowadzono w Centrum Diagnostyki Sportowej *Diagnostix*, w Wiśle, które świadczy usługi w zakresie prób wydolnościowych u sportowców.

Obrazowanie termiczne wykonano za pomocą kamery termowizyjnej A40 Flir Systems o czułości 0,07 K, kalibrowanej ciałem doskonale czarnym. Przygotowanie pacjentów przed badaniem polegało na adaptacji do temperatury otoczenia pomieszczenia, w którym wykonywano badania, co trwało ok. 30-40 minut. Temperatura w pomieszczeniu, w którym przeprowadzano badania była utrzymywana na stałym poziomie i wynosiła $21 \pm 1^\circ C$. W tym czasie sportowcy mieli odkryte miejsca podlegające badaniu. Termogramy wykonywano dla następujących obszarów zainteresowań: głowa, ramiona, plecy, klatka piersiowa oraz golenie.

W niniejszej pracy starano się wykonać porównanie parametrów termicznych obliczonych na podstawie termogramów wybranych obszarów powierzchni ciała w trakcie testów wydolnościowych, z wartościami uzyskanymi z aparatury specjalistycznej

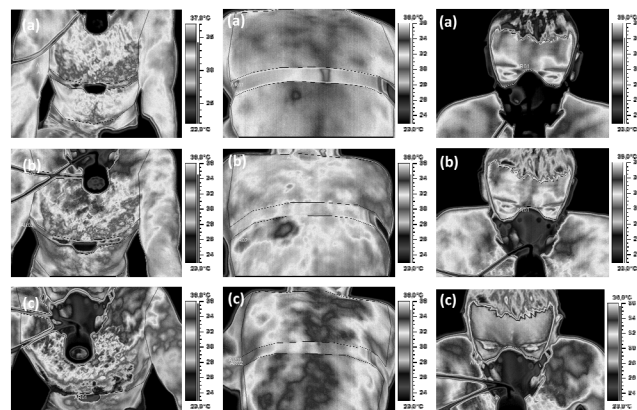
i badań wykorzystywanych standardowo w testach wydolnościowych.

W badaniach pojawiły się pewne ograniczenia techniczne, np. ruch kończyn sportowców oraz pochylona pozycja ciała, jednakże wszystkie pomiary starano się wykonywać w taki sposób, aby jak najbardziej zbliżyć się do przyjętych standardów obrazowania termicznego w medycynie zawartych w protokole z Glamorgan [20, 21]. Ponadto, mieć na uwadze, że podczas takich testów to badacz musi się dostosować do sportowca, a nie odwrotnie. Dlatego też część badań – dla kończyn dolnych wykonano dzięki możliwości nagrania filmu kamerą termowizyjną, a dopiero potem wybierano pojedyncze termogramy, które analizowano i z których odczytywano niezbędne parametry. Z kolei wykonując termogramy klatki piersiowej oraz pleców starano się ustawić kamerę prostopadle do badanej powierzchni ciała [20, 21].

Następnie mocowano rower na specjalnym urządzeniu, zakładano kolarzom maskę do pomiarów spirometrycznych na twarz i rozpoczynano test wydolnościowy. W trakcie testu progiem początkowym było 60 W obciążenia, które zwiększano co 3 minuty o 30 W. Test każdego pacjenta trwał aż do osiągnięcia maksymalnej wartości obciążenia, po której organizm nie był już w stanie znieść dalszego wysiłku. Cały test trwał zwykle około 30 minut.

3. Wyniki i dyskusja

Na rys. 1 przedstawiono przykładowe termogramy dla reprezentatywnego sportowca wykonane na początku próby wysiłkowej (a) oraz po 10 (b) i 30 (c) minutach treningu.

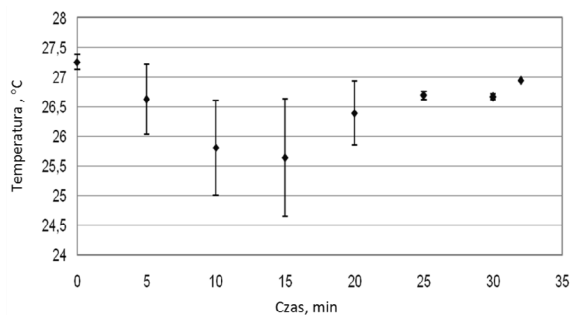


Rys. 1. Przykładowe termogramy wybranych obszarów zainteresowania dla reprezentatywnego sportowca wykonane na początku próby wysiłkowej (a) oraz po 10 (b) i 30 (c) minucie testu wydolnościowego na ergometrze kolarskim

Fig. 1. Exemplary thermal images of the chosen regions of interest for a representative sportsman made at the beginning (a), after 10 (b) and 30 min. (c) of the efficiency test performed with the bicycle ergometer

Już na podstawie oceny wizualnej rys. 1 widać zmiany temperatury powierzchni ciała występujące w trakcie próby wysiłkowej. Średnia temperatura powierzchni całego ciała sportowców została obliczona na podstawie wzoru (1), a wyniki przedstawiono także w formie wykresu (rys. 2). Ze względu na fakt, że niemożliwe było dokonanie pomiaru obszarów takich jak stopy i dłonie, ograniczono się do wymienionych w metodyce oraz twarzy, przy czym w tym przypadku obrysowywano twarz w taki sposób aby nie uwzględniać maski tlenowej. Należy podkreślić, że ujęte obszary powierzchni ciała stanowią największy i główny wkład do temperatury średniej całego ciała.

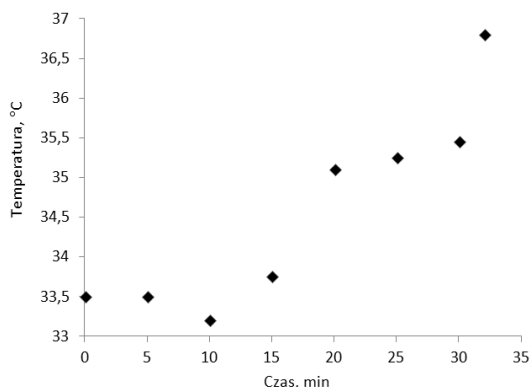
Na wykresie przedstawiającym zmiany temperatury powierzchni ciała (rys. 2) jak i temperatury organizmu odczytanej z kątka oka sportowców (rys. 3) od czasu trwania próby wydolnościowej widać, że temperatura nie wzrasta liniowo.



Rys. 2. Zależność średniej temperatury powierzchni ciała obliczona dla wszystkich badanych sportowców na podstawie wzoru (1) od czasu trwania próby wydolnościowej

Fig. 2. Relation between the mean temperature and the duration time of the performance test for the body surface calculated from Eq. (1) for all sportsmen

W przypadku temperatury powierzchni ciała można zaobserwować pewne oscylacje w czasie. Natomiast dla temperatury wewnętrznej organizmu można się dopatrzeć kształtu zbliżonego do krzywej sigmoidalnej. Prawdopodobnie taka zmiana temperatury jest związana z włączającymi się mechanizmami termoregulacyjnymi w wyniku, których organizm dopiero po pewnym czasie reaguje zmianą temperatury wewnętrznej. Podobnie jest w przypadku temperatury powierzchni ciała, która obniża się wskutek wydalania potu.



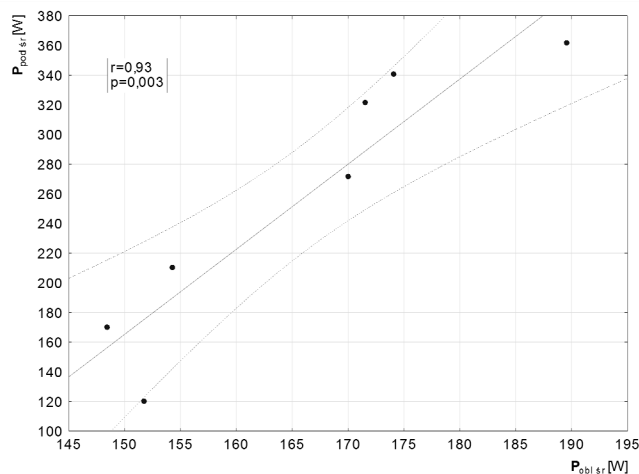
Rys. 3. Zmiany średniej temperatury wewnętrznej organizmu obliczonej z kąciaka oka analizując termogramy w trakcie trwania próby wydolnościowej na ergometrze kolarskim

Fig. 3. Changes of the mean body core temperature measured in the eye corner obtained from the thermograms recorded during the efficiency test by the bicycle ergometer

Na rys. 3 można zauważyć, iż temperatura wewnętrzna organizmu stopniowo, choć nieregularnie, wzrasta w trakcie badania, osiągając po 30 minutach wartość ponad 37°C . Jest to oczekiwany efekt, gdyż testy progresywne przeprowadzane u sportowców muszą powodować wzrost temperatury ciała wskutek regularnego wzrostu obciążenia fizycznego organizmu. Podobną zależność otrzymano dla zmiany mocy radiacyjnej organizmu liczonej zgodnie ze wzorem (2). Można przypuszczać, iż nieregularny wzrost temperatury wewnętrznej, czy też pewne oscylacje temperatury powierzchni ciała jest spowodowany tym, iż organizm łatwiej się chłodzi w początkowej fazie testu, gdyż obciążenie jest mniejsze i układ termoregulacyjny łatwiej jest w stanie zapanować nad wzrostem temperatury. Dopiero po przekroczeniu pewnego czasu treningu (ok. 15 minut) - wysiłek jest na tyle intensywny, że temperatura powierzchni ciała zaczyna wzrastać bardziej dynamicznie i prawie liniowo. Inną hipotezą wzrostu temperatury powierzchni ciała dopiero od 15 minuty może być fakt, że w początkowym okresie wysiłku fizycznego krew zlokalizowana w naczyniach krwionośnych zostaje przetransportowana głównie do mięśni, które wykonują pracę i muszą zostać natlenowane. W związku

z tym, iż krew odpowiedzialna jest w dużej mierze za transport ciepła w organizmie czyli termoregulację, wymiana ciepła w warstwach powierzchniowych naszego organizmu nie będzie zachodziła natychmiast, ale po pewnym czasie, co jest spowodowane pewną bezwładnością procesów termoregulacyjnych, które w trakcie wzmożonego wysiłku fizycznego organizm aktywuje dopiero gdy informacja o zmienionej temperaturze ciała, oraz krwi dojdzie do podwzgórze. Uruchomienie mechanizmu termoregulacji (zwany regulacją fizyczną), czyli np. rozpoczęcie wydalania potu przez gruczoły potowe, odpowiedzialne za chłodzenie ciała może mieć miejsce dopiero po pewnym czasie wynikającym z możliwości reakcji organizmu na bodźce. Z kolei ośrodek termoregulacji aktywny jest tak długo, aż przywrócony zostanie stan równowagi [14]. Wynik tych procesów, jako zmiana temperatury wewnętrznej organizmu oraz temperatury powierzchni ciała jest łatwo zauważalny zarówno na termogramach jak i wykresach (rys. 1 – 3).

Ponadto, korzystając ze wzoru (1) i obliczonej mocy radiacyjnej (2) organizmu podczas trwania próby, sprawdzono korelacje między średnią mocą podaną na aparaturze sterującej ergometrem a średnią temperaturą powierzchni ciała sportowców oraz średnią mocą radiacyjną na podstawie parametrów temperaturowych badanych części powierzchni ciała (rys. 4). W pierwszym przypadku otrzymano korelację wysoką dodatnią ($r=0,57$) a w drugim prawie pełną dodatnią ($r=0,93$) oraz wysoki współczynnik istotności statystycznej $p \ll 0,05$. Otrzymane wyniki wskazują na powiązanie między zmianą temperatury powierzchni ciała a mocą generowaną przez organizm, w tym przypadku narzuconą w treningu przez oprogramowanie wykorzystywane w testach wydolnościowych. Z jednej strony takiego wyniku można było się spodziewać, podobnie jak w przypadku zmian temperatury wewnętrznej organizmu, gdyż organizm wykonuje ciężką pracę fizyczną, co musi prowadzić do wzrostu metabolizmu i tym samym wzrostu temperatury ciała. Jednakże korelacja między średnią mocą podaną na aparaturze sterującej ergometrem a średnią mocą radiacyjną obliczoną ze wzoru (2) wydaje się być bardzo interesującym wynikiem badań (rys. 4).



Rys. 4. Zależność średniej mocy radiacyjnej ($P_{obl_{st}}$) obliczonej na podstawie rozkładu temperatury powierzchni ciała od średniej mocy podanej na sterowniku ergometru

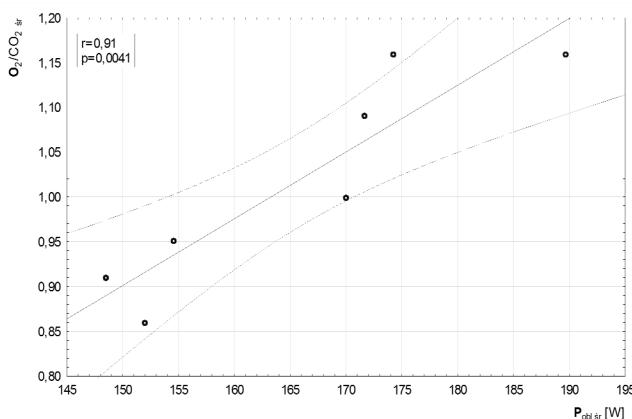
Fig. 4. Relation between the mean radiation power ($P_{obl_{st}}$) calculated from the temperature distribution on the body surface and the mean power indicated by the ergometer controller

Otrzymana prawie pełna korelacja oraz bardzo niska wartość współczynnika istotności statystycznej ($p=0,003$) otrzymana dla zależności średniej mocy radiacyjnej emitowanej z powierzchni ciała od średniej mocy podanej na sterowniku ergometru może świadczyć o dużym potencjale możliwości zastosowania termowizji w sporcie, nie tylko jako techniki diagnostycznej, ale również jako metody służącej do analizy wydatku energetycznego ciała.

W związku z tym, iż w niniejszej pracy skupiono się tylko na zależnościach pomiędzy emitowanym promieniowaniem cieplnym z powierzchni ciała sportowców podczas wysiłku a parametrami standardowo wykorzystywanymi podczas testów progresywnych wydaje się być uzasadnionym aby uwzględnić w obliczeniach wydatku energetycznego również straty ciepła na sposób konwekcji, jak i przewodzenia.

Innym bardzo ważnym czynnikiem określanym w trakcie badań wydolnościowych jest parametr $V_{O_{2max}}$, który określa zarówno poziom aktywności fizycznej, jak i jest wskaźnikiem dolegliwości związanych z niewydolnością układu krążenia. Pokazuje jaka jest pojemność tlenowa organizmu, a także dostarcza informacji o ilości metabolizowanego tlenu. Pomiar $V_{O_{2max}}$ jest wykonywany za pomocą maski mocowanej na twarzy sportowca tzw. maski spirometrycznej, w której sportowiec wykonuje test wydolnościowy. Maskę ma zamontowane odpowiednie czujniki, które pozwalają na pomiar poboru tlenu V_{O_2} oraz ilość wydalanego dwutlenku węgla V_{CO_2} . Kiedy parametr V_{O_2} osiąga fazę plateau względem wzrastającego obciążenia, wtedy występuje maksymalny pobór tlenu, co jest określane jako $V_{O_{2max}}$ [19]. Stosunek objętości pobranego tlenu do objętości wydychanego dwutlenku węgla jest nazywany współczynnikiem wymiany oddechowej. Zależność tego parametru od obliczonej mocy radiacyjnej organizmu podczas próby (zgodnie ze wzorem 2) jest pokazana na rys. 5. Otrzymana prawie pełna korelacja ($r=0,91$) oraz współczynnik istotności ($p=0,0041$) wskazujący istnienie znamiennej statystycznej zależności pokazują, iż także współczynnik oddechowy być może będzie można oszacować korzystając z pomiarów termowizyjnych.

Pomimo otrzymanych wysokich korelacji pomiędzy badanymi parametrami należy podkreślić, iż są to badania wstępne, i w dodatku wykonane na małej próbie, stąd wnioski należy stawiać bardzo ostrożnie.



Rys. 5. Zależność współczynnika wymiany oddechowej od średniej mocy radiacyjnej (P_{obs}) obliczonej na podstawie parametrów termicznych otrzymanych z termogramów wybranych powierzchni ciała

Fig. 5. Relation between the coefficient of respiratory exchange and the mean radiation power (P_{obs}) calculated using the thermal parameters obtained from the thermal images of the chosen body parts

4. Wnioski

Zaprezentowane w tej pracy wyniki pokazują, iż termowizja może znaleźć szerokie zastosowanie w sporcie, nie tylko jako technika diagnostyczna, ale być może będzie pomocna w różnych testach i próbach wysiłkowych.

Otrzymane wysokie wartości korelacji pomiędzy parametrami termicznymi obliczonymi z termogramów oraz standardowymi parametrami wykorzystywanymi podczas prób wydolnościowych

mogą wskazywać na ciekawe możliwości wykorzystania termowizji w badaniach wydolności organizmu w kontekście planowania cyklu treningowego.

5. Literatura

- [1] Coh M., Sirok B.: Use of the thermovision method in sport training, Facta Universitatis, Physical Education and Sport, 2007, Vol. 5, No 1:85 -94.
- [2] Mikulska D., Maleszka R. i wsp.: Zastosowanie badań termograficznych jako metody diagnostycznej w dermatologii, Dermatologia Kliniczna, 2002, 4:57-60.
- [3] Postępy termografii – aplikacje medyczne, praca zbiorowa, pod red. A. Nowakowskiego, Gdańsk, 2001.
- [4] Cholewka A., Drzazga Z., Kajewski B., Bogucki R., Wiśniowska B. Thermal imaging of skin body surface due to whole body cryotherapy – preliminary report. Physica Medica 2004:1:81 – 83.
- [5] Cholewka A., Stanek A., i wsp.: Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy, Skin Research and Technology, 2011.
- [6] Cholewka A., Drzazga Z., i wsp.: Thermovision diagnostics in chosen spine diseases treated by whole body cryotherapy, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.
- [7] Ring J.F.; Mercer J.: Thermal Imaging for Fever Screening, The Magazine of the International Organization for Standardization 2007; Vol. 4, ISSN 1729-8709, str:33-35.
- [8] Clark RP., Mullan BJ., i wsp.: Skin temperature during running - a study using infra-red colour thermography, J. Physiol., 1977, 267:53-62.
- [9] Keyl W, Lenhart P.: Thermography in sport injuries and lesions of the locomotor system due to sport, Fortschr Med., 1975, 93(3):124-6.
- [10] Wade CE., Veghte JH.: Thermographic evaluation of the relative heat loss by area in man after swimming, Aviat Space Environ Med., 1977, 48(1):16-8.
- [11] Veghte JH., Adams WC., i wsp.: Temperature changes during exercise measured by thermography, Aviat Space Environ Med. 1979, 50(7):708-13.
- [12] Nakayama T, Ohnuki Y, i wsp.: Fall in skin temperature during exercise observed by thermography, Jpn J Physiol. 1981, 31(5):757-62.
- [13] Coh M., Sirok B.: Use of the thermovision method in sport training, Facta Universitatis, Physical Education and Sport, 2007, Vol. 5, No 1:85 -94.
- [14] Pilawski A., Podstawy biofizyki, PZWL, Warszawa, 1983.
- [15] Tuszynski J., Dixon J.: Biomedical Applications for Introductory Physics, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2002.
- [16] Wiśniewski S., Wiśniewski S. T.: Wymiana ciepła, wyd. 6, WNT, Warszawa, 2009, ISBN 978-83-204-3671-6.
- [17] The influence of low temperature on organism, in-vitro and in-vivo studies. Armand Cholewka A. Chełkowski Institute of Physics, University of Silesia Katowice Poland, Doctor Thesis 2005.
- [18] Friel J.: Biblia treningu kolarza górskiego, Buk Rower, Zielonka, 2004.
- [19] Zatoń M., Hebisz R. i wsp.: Fizjologiczne podstawy treningu w kolarstwie górskim, AWF Wrocław, 2011.
- [20] Ammer K.: The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body, Thermology International, 2008.
- [21] Ring E.F.J., Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. Thermol. Intern. 2000:10(1): 7-14.

otrzymano / received: 18.06.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.08.2013

artykuł recenzowany / revised paper