



# Analiza termiczna symetrii pracy wybranych grup mięśniowych – badania wstępne

## Thermal analysis of chosen muscles work symmetry – pilot study

Agnieszka Szurko<sup>1</sup>, Teresa Kasprzyk<sup>1</sup>, Agata Stanek<sup>2</sup>, Maksymilian Kazior<sup>1</sup>, Karolina Sieroń<sup>3</sup>, Armand Cholewka<sup>1</sup>, Tadeusz Morawiec<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski, ul. Bąkowa 12, 40-007 Katowice, tel. +48 32 359 21 45, e-mail: agnieszka.szurko@us.edu.pl

<sup>2</sup> Katedra i Oddział Kliniczny Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

<sup>3</sup> Wydział Nauk o Zdrowiu w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Zakład Medycyny Fizykalnej Katedry Fizjoterapii, ul. Medyków 12, 40-752 Katowice

<sup>4</sup> Katedra i Zakład Chirurgii Stomatologicznej w Bytomiu, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, adres.....

### Wprowadzenie

Przygotowanie efektywnego treningu sportowca wymaga rejestracji tzw. fizjologicznych mierników wysiłku. Dlatego sportowcy przechodzą testy wytrzymałościowe, które oceniają kondycję fizyczną organizmu. Podczas badania wydolności organizmu określa się jednocześnie szereg parametrów, począwszy od

parametrów łatwo mierzalnych, takich jak częstość akcji serca, po te, których pomiar jest bardziej skomplikowany, determinujących możliwości organizmu (np. poziom kwasu mlekowego, parametry oddechowce) [1].

Jedną z metod wykorzystywanych w medycynie sportowej do monitorowania procesów wysiłkowych oraz diagnostyki urazowej jest termografia [2-4].

488

### Streszczenie

Analiza efektywnego treningu sportowca przygotowującego się do zawodów to nie tylko odpowiednia moc wydatkowana, ale właściwe zaangażowanie mięśniowe, czyli np. symetryczność pracy mięśni. W analizie symetryczności przydatnym narzędziem wydaje się być termowizja, która pokaże zmiany temperatury powierzchni ciała odpowiadające poszczególnym partiom mięśni. Pilotażowe badania zostały przeprowadzone na grupie 5 ochotników. Były to osoby dorosłe płci męskiej, w przedziale wiekowym od 24 do 35 lat. Osoby biorące udział w badaniu cechowały się wysokim stopniem wytrenowania i odbywały minimum trzy jednostki treningowe w wymiarze tygodniowym. Analizie poddano zginacz łokciowy nadgarstka oraz dwugłowy ramienia. Otrzymane wyniki wskazały na wysoką symetrię pracy mięśni podczas treningu na ergometrze wiosłarskim. Ponadto wyniki mogą sugerować, iż monitorowanie pracy mięśni sportowców podczas ćwiczeń za pomocą termowizji może dać informacje o wydajności treningu, a nawet jego bezpiecznym przebiegu.

**Słowa kluczowe:** termowizja, analiza termiczna pracy mięśni, ergometr wiosłarski

### Abstract

The analysis of professional sportsman effective training preparing to the competition seasons is not only the engaged muscle power but especially proper muscle engaging i.e. symmetry of theirs work. The useful device in muscle work analysis may be thermal imaging showing the body surface temperature changes which is connected with different muscle parts. The studies were performed on 5 professional sportsmen in age 24 to 35 y. and the chosen muscle parts were taken into account: the extensor muscle of the wrist and biceps muscle of the shoulder. Obtained results showed clearly the symmetry of muscle work during training on rowing ergometer. Moreover results may suggest that thermal imaging may give some important information about efficiency of provided training as well as its safety.

**Key words:** thermovision, muscle work thermal analysis, rowing ergometer

otrzymano / received:

14.12.2021

poprawiono / corrected:

21.12.2021

zaakceptowano / accepted:

24.12.2021

Termowizję wykorzystywano zarówno do oceny poziomu sprawności fizycznej [5], jak i skuteczności rozgrzewki w wielu dyscyplinach sportowych [6-8]. Wciąż jednak istnieje potrzeba dalszych badań z wykorzystaniem termowizji w celu dostarczenia pełnej informacji dotyczącej zdrowia i tzw. sprawności sportowców, trenerom, a nawet lekarzom zajmującym się medycyną urazową i regeneracyjną w sporcie.

Analiza termograficzna powierzchni ciała sportowca może stać się niezastąpiona w ogólnej ocenie wydolności organizmu. Może ona ułatwić interpretację skomplikowanych parametrów opisujących zmiany wydolności organizmu, a przez to zoptymalizować dobór odpowiednich dla sportowca ćwiczeń. Zastosowanie termowizji może być także pomocne w zapobieganiu zjawisku przetrenowania [9-13]. Niniejsza praca przedstawia badania termograficzne przeprowadzone na grupie sportowców wykorzystujących do ćwiczeń ergometr wioślarski. Założeniem treningu z wykorzystaniem ergometru wioślarskiego była jego wysoka intensywność w krótkim wymiarze czasowym, angażująca możliwie największą partię mięśni. Ponadto chcieliśmy uzyskać efekt, aby trening był jednolity dla każdego uczestnika. W naszych badaniach chcemy scharakteryzować profil temperaturowy i stopień przygotowania do wysiłku w poszczególnych partiach mięśniowych. Stawiamy hipotezę, iż za pomocą badań termowizyjnych jesteśmy w stanie monitorować proces zarówno skuteczności rozgrzewki, jak i określić, iż wysiłek poszczególnych mięśni jest równomierny i symetryczny, co może przyczynić się do uniknięcia potencjalnego urazu.

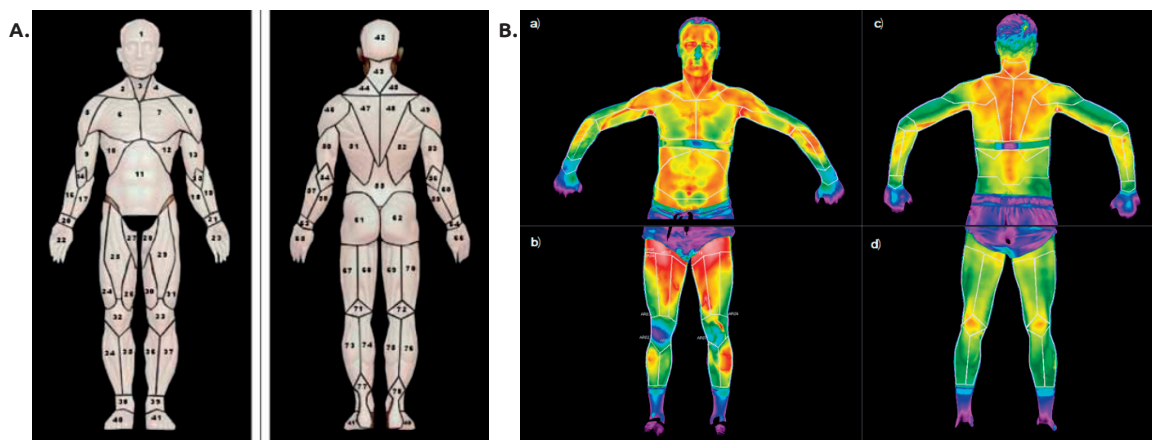
## Materiały i metody

Badania termowizyjne zostały przeprowadzone na grupie 5 ochotników. Były to osoby dorosłe płci męskiej, w przedziale wiekowym od 24 do 35 lat. Osoby biorące udział w badaniu cechowały się wysokim stopniem wytrenowania i odbywały minimum trzy jednostki treningowe w wymiarze tygodniowym.

Dodatkowo osoby te utrzymywały systematycznie, przez co najmniej dwa lata, ten wysoki poziom wytrenowania. Badania przeprowadzono na osobach, które we wstępnym wywiadzie zadeklarowały dobrą kondycję psychofizyczną i w dniu badania były zdrowe. Przed przystąpieniem do pomiarów każdy z ochotników przeprowadził krótką rozgrzewkę indywidualną w celu prewencji powstania urazu. Po wykonaniu wstępnego rozruchu każdy uczestnik badań przystąpił do fazy aklimatyzacyjnej trwającej 30 minut.

Pomieszczenie badawcze zostało przygotowane wedle wytycznych IATE (Interactive Thermology for Europ). W pomieszczeniu badawczym nie występowały promienniki ciepła, gdyż w dużym stopniu mogą one wywołać procesy termolizy badanej osoby oraz stworzyć przesłonę powietrzną o podwyższonej temperaturze, pomiędzy obiektywem kamery IR a obrazowanym obiektem. Podobnie w pomieszczeniu nie znajdowały się urządzenia wzbudzające cyrkulację powietrza, gdyż wpływają one na procesy termogenezy badanej osoby [30]. Temperatura i wilgotność otoczenia, zarejestrowane przy użyciu klasycznego termometru elektronicznego z opcją wilgotnościomierza, wynosiły odpowiednio  $19,9 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  i  $45,1 \pm 2,1\%$  (niepewności pomiarowe przyrządu:  $\Delta T = 0,1$ ;  $\Delta F = 0,1\%$ ).

Aktywność fizyczna sportowców prowadzona była na ergometrze wioślarskim i odbywała się wedle specjalnie sporządzonego protokołu. Użyty trener to Concept 2 model D, będący jednocześnie najpopularniejszym ergometrem wioślarskim w pracach naukowych z zakresu medycyny sportowej. Obrazowanie termograficzne zostało przeprowadzone wedle ustalonego schematu. Na początku wykonano pomiar przed wykonaniem aktywności fizycznej, będący pomiarem bazowym temperatury powierzchni ciała (w dalszej części określanej FAZA 0). Następnie, bezpośrednio po wykonaniu zdjęć w podczerwieni, przeprowadzono aktywność fizyczną, a bezpośrednio po niej dokonano kolejnego pomiaru w termowizji (FAZA 1). Na końcu przeprowadzono pomiar faz regeneracyjnych, wedle schematu od 10 do 50



**Ryc. 1** A. Obszary zainteresowania powierzchni ciała oprogramowania Termotracker firmy pemaGROUP [14]; B. Wykreślone obszary zainteresowania (ROI) na powierzchni ludzkiego ciała użyte w pracy: a) powierzchnia przednia klatki piersiowej i kończyn górnych, b) powierzchnia przednia kończyn dolnych, c) powierzchnia tylna klatki piersiowej (plecy) i kończyn górnych, d) powierzchnia tylna kończyn dolnych  
Źródło: Badania własne.



minuty po treningu, z zachowaniem interwału pomiędzy seriami obrazowania 10 minut (FAZA od 2 do 6). W pracy użyto kamery termowizyjnej Flir System T640 o czułości temperaturowej 0,3 K (baza parametrów technicznych urządzenia dostarczona przez producenta). Układ pomiarowy składał się z kamery rejestrującej obraz z zakresu podczerwieni, która znajdowała się na statywie oraz wyznaczonego miejsca dla ochotnika w odległości  $3,0 \pm 0,1$  m.

Obszary zainteresowania wykreślone na zarejestrowanych termogramach pomiarowych powstały na podstawie bazy danych specjalistycznego w tej dziedzinie oprogramowania Termotracker firmy pemaGROUP. Algorytm dedykowany jest do archiwizacji 78 obszarów powierzchni, z kolektynu objętości całego ludzkiego ciała (Ryc. 1A). Na potrzeby analizy podjętej w tej pracy został on skalibrowany do ułożeń obrazowanych ochotników oraz do powierzchni poddanych analizie (Ryc. 1B).

## Wyniki

W ramach badań wstępnych do analiz wybrano następujące partie mięśniowe: zginacz łokciowy nadgarstka oraz dwugłowy ramienia. Termogramy dla reprezentatywnego ochotnika, wykonane w każdej fazie treningu, wraz z zaznaczonymi obszarami zainteresowań poddanymi analizie termicznej przedstawiono na rycinie 2.

Przebieg zmian średniej temperatury dla każdej anatomicznej powierzchni zainteresowania poddano funkcji normalizacyjnej. Pomiar temperatury bazowej dokonano w fazie 0. Każdą kolejną wartość temperatury w każdej fazie pomiarowej znormalizowano do pomiaru wyjściowego wedle następującej formuły:

$$\Delta T = T_{FAZA0} - T_{FAZA X}$$

gdzie:

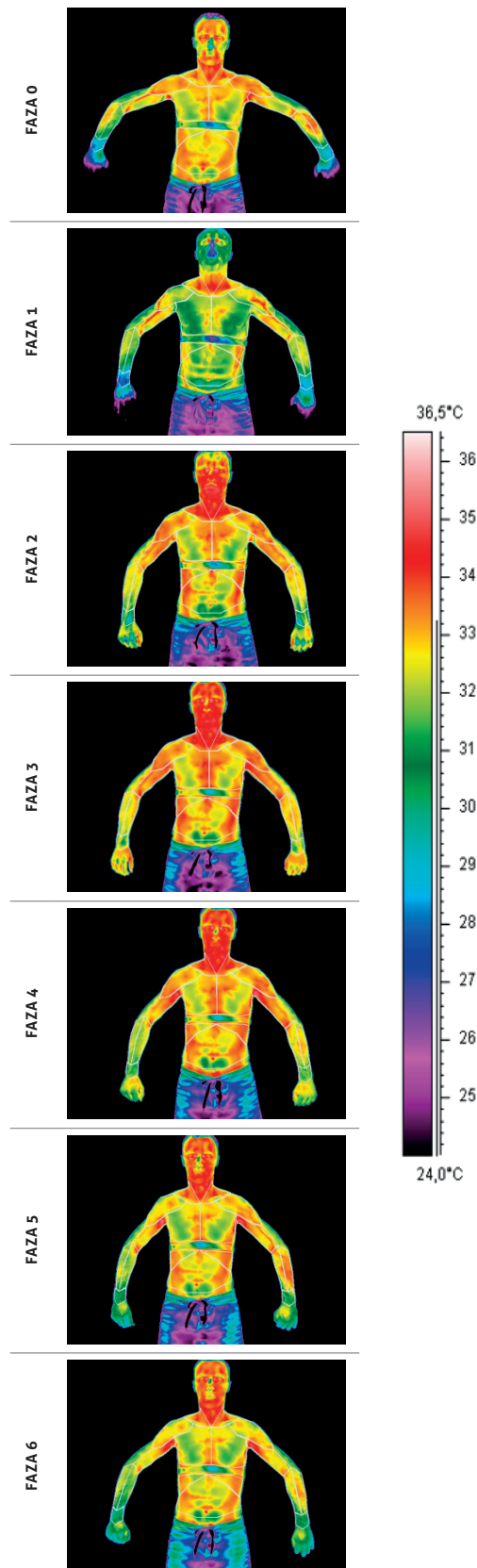
$\Delta T$  – zmiana średniej wartości temperatury danego obszaru zainteresowania

$T_{FAZA0}$  – średnia temperatura powierzchni ciała obszaru zainteresowania przed aktywnością fizyczną (FAZA 0)

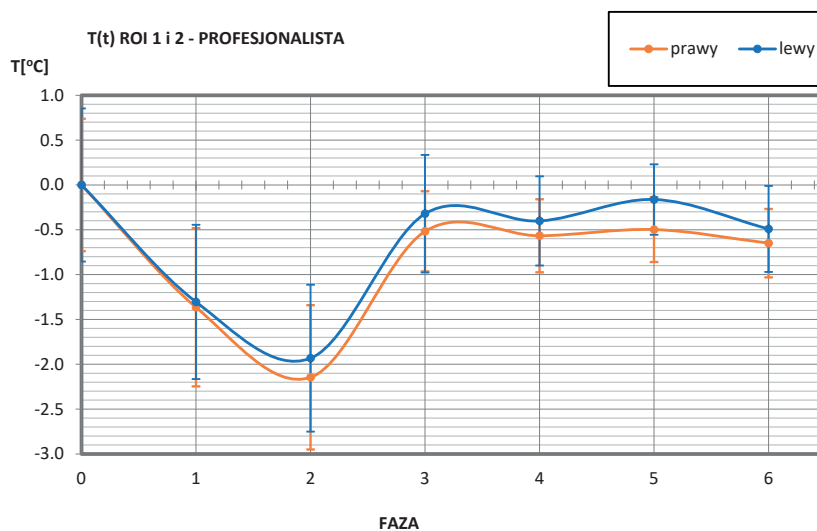
$T_{FAZA X}$  – średnia temperatura danego obszaru zainteresowania w kolejnych etapach pomiarowych (FAZA od 1 do 6).

Dokonując wstępnej analizy danych, można stwierdzić, że najniższe wskazanie temperatury otrzymane bezpośrednio po przeprowadzonym treningu przypadło dla ROI 8, tj. obszaru przypisanego dla mięśnia piersiowego większego po stronie lewej. Wyniki zmian temperatury przedstawiały się następująco: dla grupy badanych profesjonalistów obserwowaliśmy obniżenie temperatury początkowej wynoszącej  $25^{\circ}\text{C}$  o  $2,23 \pm 0,72^{\circ}\text{C}$ .

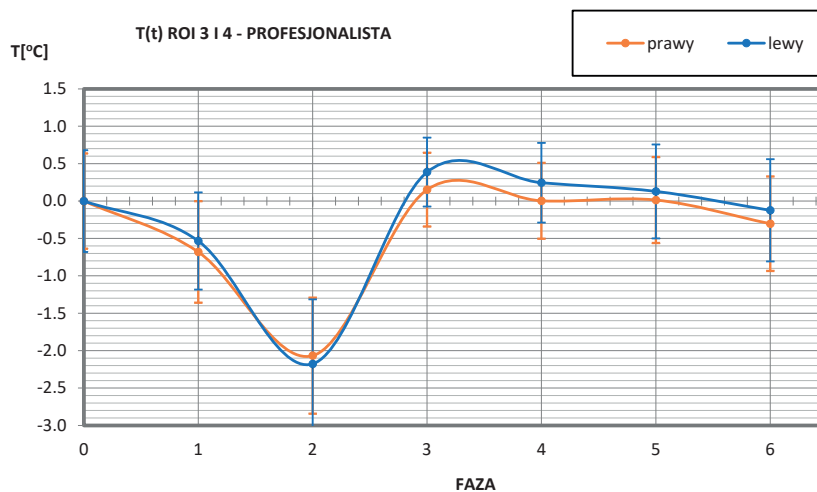
Następnie przystąpiono do szczegółowej analizy przebiegów zmian temperatury poszczególnych powierzchni zainteresowania, przypisanych topologicznie odpowiadającym im symetrycznym względem płaszczyzny strzałkowej przechodzącej przez oś długą kręgosłupa partiom mięśniowym. Zmiany te przedstawiono na rycinach 3 i 4.



**Ryc. 2** Termogramy reprezentatywnego ochotnika wykonane w każdej fazie treningu wraz z zaznaczonymi obszarami zainteresowań poddanymi analizie termicznej  
Źródło: Badania własne.



**Ryc. 3** Przebieg zmian temperatury (ROI 1 i 2) mięśnia zginacza łokciowego nadgarstka dla grupy profesjonalistów  
Źródło: Opracowanie własne.



**Ryc. 4** Przebieg zmian temperatury (ROI 3 i ROI 4) mięśnia dwugłowego ramienia dla grupy profesjonalistów  
Źródło: Opracowanie własne.

Zmiany przebiegu temperatury mięśnia zginacza łokciowego nadgarstka zostały zaprezentowane na rycinie 3. Charakterystyka termicznych parametrów analizowanej partii mięśniowej u profesjonalistów uwidacznia tendencję spadkową pod wpływem aktywności fizycznej do osiągnięcia minimalnego wskazania w fazie 2 (10 minut po wysiłku fizycznym). Dalej następuje wzrost temperatury, który począwszy od 3 fazy (20 minut po treningu) do końca czasu badania utrzymuje się na poziomie wartości sprzed aktywności. Analizując symetryczność zaangażowania mięśni w podziale na strony orientacyjne powierzchni ciała ludzkiego, w większości przykładów niższe odchylenia temperatury przypadły dla strony lewej. Niewiele wyższe odnotowania temperatur zarejestrowano po stronie prawej, lecz z uwagi na ich niewielką rozbieżność można przyjąć, że mięśnie zginacze łokciowe nadgarstka zostały zaangażowane w wysiłek


w jednakowy sposób, pracując symetrycznie względem osi długiej człowieka.

W grupie zaawansowanych sportowców symetryczność temperatury partii mięśniowych została zachowana. Obserwowalny jest spadek temperatury zarówno dla mięśnia dwugłowego ramienia prawego, który wynosi prawie 1°C, natomiast dla jego odpowiednika po stronie lewej o około 1,3°C. Czas powrotu do temperatury bazowej mięśnia dla strony prawej następuje w 10 minutę po treningu, natomiast dla strony lewej jest on nieco dłuższy i szacowany pomiędzy 10 a 20 minutą od skończonej aktywności. Następnie dla obu stron temperatura ulega nieznacznemu podwyższeniu, dla obu stron maksimum wzrostu temperatury przypada w fazie 4 pomiarów. Mierzalny wzrost temperatury w lokalnym maksimum po stronie lewej wynosi ok. 0,7°C, a dla lewej około 0,5°C.



## Podsumowanie

Podsumowując, najczęstszą obserwowaną reakcją był spadek temperatury skóry w początkowej fazie ćwiczeń, co pozostaje w zgodności z wynikami innych autorów [15-17]. Powodem takiej zmiany jest reakcja skurczu naczyń krwionośnych skóry na wysiłek fizyczny. Następnie temperatura skóry w określonych obszarach ciała może przede wszystkim wzrosnąć, gdy przepływ krwi dryfuje z tkanek wewnętrznych na powierzchnię skóry, aby rozproszyć wytwarzane ciepło powstałe w wyniku pracy mięśni i zwiększonej aktywności metabolicznej [18-20]. Podobnie w naszych badaniach obserwowaliśmy kolejny wzrost temperatury w kolejnych fazach ćwiczeń.

Zachowane tożsame przebiegi funkcji temperaturowej poszczególnych obszarów zainteresowania względem płaszczyzny strzałkowej przechodzącej przez oś długą człowieka zarejestrowane dla grupy profesjonalistów potwierdzają fakt, że konwencjonalne treningi na ergometrze wiosłarskim wywołują niemalże symetryczną pracę prawej i lewej strony organizmu. Monitorowanie pracy mięśni sportowców podczas ćwiczeń za pomocą termowizji pomaga także w ocenie wydajności treningu, a także jego bezpiecznym przebiegu. 

## Piśmiennictwo

- O.J. Quittmann, D. Appelhans, T. Abel, H.K. Strüder: *Evaluation of a sport-specific field test to determine maximal lactate accumulation rate and sprint performance parameters in running*, Journal of Science and Medicine in Sport, 23, 2020, 27-34.
- C. Hildebrandt, K. Zeilberger, E.F.J. Ring, Ch. Raschner: *The application of medical infrared thermography in sports medicine*, [in:] K.R. Zaslav (Ed.): *An International Perspective Topics in Sports Medicine and Sports Injury*, InTech, 2012, 258-274.
- M. Cöh, B. Širok: *Use of the thermovision method in sport training*, Facta Universitatis, 5(1), 2007, 85-94.
- P. Korman, A. Straburzyńska-Lupa, K. Kusy, A. Kantanista, J. Zieliński: *Changes in body surface temperature during speed endurance work-out in highly-trained male sprinters*, Infrared Physics & Technology, 78(9), 2016, 209-213.
- 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*, J. Therm. Biol, 35(8), 2010, 379-385.
- M. Chudecka, A. Lubkowska: *The use of thermal imaging to evaluate body temperature changes of athletes during training and a study on the impact of physiological and morphological factors on skin temperature*, Human Movement 13(1), 2012, 33-39.
- J.G. Adamczyk, M. Siewierski, D. Boguszewski: *Correlation of musculus quadriceps femoris temperature and power measured by vertical jump height*, Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury, 7, 2012, 94-97.
- S.H. Mandengue, I. Miladi, D. Bishop, A. Temfemoa, F. Cisse, S. Ahmaidi: *Methodological approach for determining optimal active warm-up intensity: predictive equations*, Sci. Sports, 24(1), 2009, 9-14.
- J. Kiely: *Periodization paradigms in the 21st century: evidence-led or traditiondriven?*, International Journal of Sports Physiology and Performance, 7(3), 2012, 242-250.
- S. Rountree: *The Athlete's Guide to Recovery: Rest, Relax, and Restore for Peak Performance*, Boulder, VeloPress, 2011.
- R.B. Kreider, A.C. Fry, M.I. O'Toole: *The role of training intensity in resistance exercise overtraining and overreaching*, Overtraining in sport. Champaign, Human Kinetics, 1998, 107-127.
- M. Lehmann, C. Foster, U. Gastmann, H. Keizer, J.M. Steinacker: *Definition, Types, Symptoms, Findings, Underlying Mechanisms, and Frequency of Overtraining and Overtraining Syndrome*, Overload, Performance Incompetence, and Regeneration in Sport. Boston, Springer, 1999.
- J. Górski [red.]: *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*, Warszawa, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2008.
- I. Fernandez-Cuevas et al.: *Monitoring skin thermal response to training with Infrared Thermography*, Thermography applied to injury prevention and monitoring the training load in Sports, 2014.
- G. Tanda: *The use of infrared thermography to detect the skin temperature response to physical activity*, Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2015, 012062.
- G. Tanda: *Skin temperature measurements by infrared thermography during running exercise*, Exp. Thermal Fluid Sci., 71, 2016, 103-113.
- M. Torii, M. Yamasaki, T. Sasaki, H. Nakayama: *Fall in skin temperature of exercising man*, Br. J. Sports Med., 26(1), 1992, 29-32.
- G.P. Kenny, F.D. Reardon, W. Zaleski, M.L. Reardon, F. Haman, M.B. Ducharme: *Muscle temperature transients before, during, and after exercise measured using an intramuscular multisensor probe*, J. Appl. Physiol. Bethesda, Md., 94(6), 1985 (2003), 2350-2357.
- B. Saltin, A.P. Gagge, J.A. Stolwijk: *Body temperatures and sweating during thermal transients caused by exercise*, J. Appl. Physiol., 28(3), 1970, 318-327.
- J.I.P. Quesada, N. Martínez, R.S. Palmer, A. Psikuta, S. Annaheim, R.M. Rossi, J.M. Corberán, R.M. Cibrián Ortiz de Anda, P. Pérez-Soriano: *Effects of the cycling workload on core and local skin temperatures*, Experimental Thermal and Fluid Science, 77, 2016, 91-99.