

ANAEROBIC THRESHOLD IN CANOEISTS DURING SPECIFIC PHYSICAL EXERTION ON WATER OR CANOE ERGOMETER

Anaerobic threshold in canoeists

DARIUSZ SITKOWSKI

Institute of Sport in Warsaw, Physiology Department

Mailing address: Dariusz Sitkowski, Instytut of Sport, 2/16 Trylogii Street, 01-982 Warsaw, tel. +48 22 8340812, e-mail: dariusz.sitkowski@insp.waw.pl

Abstract: Although there is no common agreement among authors about the transferability of the laboratory results to natural conditions, the intensity of water training in canoeing is nevertheless customarily determined on the basis of ergometer tests. Therefore the objective of this study was to compare HR values referring to LA blood level of 4 mmol/l (HR_{AT4}), obtained in diverse conditions. At three days' intervals eight canoeists underwent two stress tests on water and a laboratory test on the Dansprint ergometer. The tests were used to determine HR_{AT4} , and to verify whether its constant level during the training will increase LA content to values oscillating at 4 mmol/l.

No significant differences were determined between HR_{AT4} values obtained during on-water and ergometer tests. Following the exercise test to verify the accuracy of the procedure designed to determine the on-water HR_{AT4} values, the lactate levels fell on average within the range of 3.99 ± 0.55 mmol·l⁻¹. Even though the HR_{AT4} values obtained during on-water and ergometer tests were shown to be strongly correlated ($R^2=0.892$, $p<0.001$, $SEE=2.771$), the limit of agreement varied from -5.5 to +5.7 s/min.

The final conclusion of this study is that an exercise test conducted in special conditions offers a relatively accurate method of determining the intensity corresponding to AT4 in the same conditions. While the results of such tests are closely correlated with the ergometer results, their verification is nevertheless understandable when applying laboratory results to on-water training.

Key words: stress tests, anaerobic threshold, canoeing

Introduction

Training effectiveness depends to a considerable extent on properly matched intensity. The process of intensity identification is based on metabolic references, including anaerobic threshold at fixed blood lactate level (LA) of 4 mmol/l (AT4). It is suggested that AT4 is optimum intensity underlying adaptation to aerobic exertion [15, 23]. The specificity of physical exertion is another issue of particular significance for the evaluation of training effects in sportsmen. Several types of ergometers were designed to precisely imitate motion structure in for example skiers [1], rowers [18] and kayakers [21].

Sportsmen all over the world are familiar with the air-braked Dansprint kayak ergometer [25], and all the same scientific literature provides little information on this device [4]. Precisely this ergometer has for several years been used to conduct diagnostic examination of Polish competitors. On account of the unstable environmental conditions related to the temperature, wind, water depth, and waves, it is difficult to control the intensity of training in canoeing based on the boat speed, and therefore heart rate (HR) has been adopted as a reference value.

Precise selection of the intensity rate is particularly important in aerobic exertion [14], which is a substantial component of training in canoeing. However, a question arises whether laboratory results can be directly transferred into the results obtained in natural conditions. Authors are by and large in dispute over this hypothesis [12, 22]. Hence, this study aimed at comparing HR_{AT4} values determined during on-water and ergometer tests as a general intensity index for aerobic training in canoeing.

Material and methods

Study sample

The study sample consisted of 8 canoeists and members of national senior team in canoe flatwater racing. Their major features are presented in Table 1.

Table 1. General features of the study participants

	Mean±SD	Minimum - maximum
Age [years]	25.5±4.5	18.5-31.8
Sports career [years]	13±4	7-18
Height [cm]	180±6	175-192
Body mass [kg]	83.3±5.7	73.5-91.4
Fatty tissue content [%]	11.0±1.8	8.1-13.2

Anthropometric measurements were taken at the experiment's commencement. The content of fatty tissue was determined using the bioimpedance method (Tanita TBF 300)

The experiment was conducted within the preparatory period. Two on-water exercise tests (on a C-1 single boat) and one laboratory test on a canoe ergometer were held at three days' intervals to identify the relationship between the heart rate (HR) and lactate level (LA) as well as to determine or verify the anaerobic threshold of 4 mmol/l LA (AT4). All tests were carried out in the morning.

Exercise tests in natural conditions

1) Graded exercise test on canoe was preceded with an approximately 10 minutes' long individual warm-up. The test consisted of 4 repetitions of increasing intensity at 1 minute intervals. During successive test stages, the competitors were to maintain possibly constant HR to progressively achieve the desired value after approx. 60-80 s following the test commencement. Originally the constant HR level was to provide 80, 90, 100 and 110% of individual HR values at AT₄ (HR_{AT4}) identified during the previously held laboratory tests. The test objective was to determine the on-water HR_{AT4} value.

2) On a 2100 m distance the competitors were to maintain possibly constant heart rate, corresponding to HR_{AT4}, identified three days earlier. As during the previous test, the target values of this indicator were to be achieved after approx. 60-80 s following the test commencement. The test aimed at verifying the accuracy of the HR_{AT4} procedure.

During the test existed almost windless conditions, and the temperature in shadowed areas was +17 and +12°C respectively.

Laboratory test

The graded exercise test was conducted on the air-braked ergometer Dansprint, I Bergman A/S (version for canoeists). During the test fan resistance was entirely open. It consisted of five 4 minutes' stages held at 1 minute intervals. Power values to be achieved by competitors in successive subtests were 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 and 1.9 kg per body mass. The selection of values was based on the assumption that intensity of the fourth stage exceeds the AT₄ level. The first and lightest test corresponded to an on-water warm-up.

Indicators under study

The HR values were recorded on-line using S610 recorders by Polar Electro. The analysis included mean values of this indicator obtained in the last minute of each stage and within three last minutes of the 2100 m test. Immediately after each stage (on water from a motorboat accompanying the competitors) 10 µl samples of capillary blood were collected to determine the LA level using LKM 140 kits by DR. LANGE. The anaerobic threshold was established by interpolation, identifying the HR values corresponding to 4 mmol/l LA.

Statistical analysis

The significance of differences between HR values was determined using the ANOVA test with repeated measurements (differences at $p < 0.05$ were assumed to be statistically significant), and the consistency of measurements was assessed using linear regression and the Bland-Altman method [5].

Results

No significant difference was determined between the on-water HR_{AT4} mean values (mean 163.3 ± 8.6 s·min⁻¹) and ergometer results (mean 163.1 ± 7.8 s·min⁻¹), and the HR value maintained within three last minutes of the 2100 m test (mean 164.5 ± 8.6 s·min⁻¹) ($F_{2,14} = 1.563$; $p > 0.05$). The mean lactate level immediately after the test amounted to 3.99 ± 0.55 mmol·l⁻¹ and fell within the range of 3.6 – 5.1 mmol·l⁻¹ (Fig. 1).

The HR/LA curves determined during the on-water and Dansprint ergometer tests was found to be similar (Fig. 2).

The relationship between the on-water and ergometer HR_{AT4} values was statistically significant ($R^2 = 0.892$, $p < 0.001$, standard error of estimation 2.8 s·min⁻¹) (Fig. 3).

The Bland-Altman analysis showed that mean differences between the on-water and ergometer HR_{AT4} values was 0.1 sk·min⁻¹, however the limit of agreement of the results obtained from these two tests ranged from -5.5 to 5.7 s·min⁻¹ (Fig. 4).

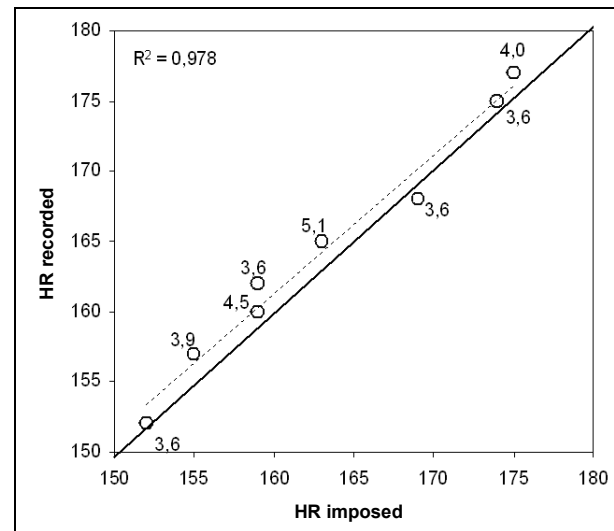


Figure 1. Linear regression between the imposed and recorded heart rate (HR) values within the last 3 minutes' of the 2100 m test and the immediately following lactate level.

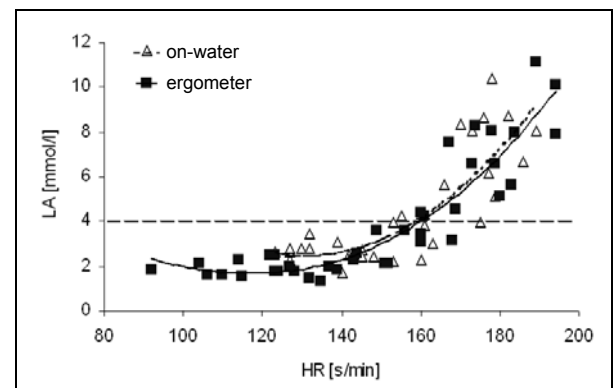


Figure 2. The HR/LA curves determined during the on-water or kayak ergometer tests

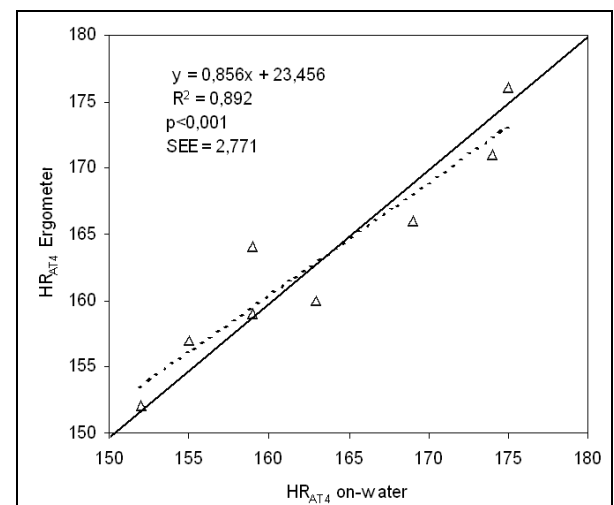


Figure 3. The linear regression between the HR_{AT4} values determined during the on-water or kayak ergometer tests

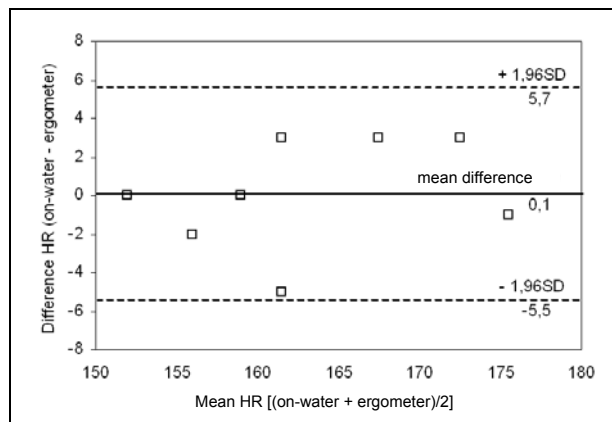


Figure 4. The Bland-Altman plot showing the consistency range between the methods of HR_{AT4} identification. X-axis represents the average of results obtained from two measurements, and Y-axis the absolute difference between them; solid line represents the average difference between the methods and the dashed line the consistency range, i.e. limits of the acceptable discrepancy.

Discussion

Aerobic training is applied to almost all sport disciplines where physical capacity is a key to successful performance. The training objective is to adapt organism in functional, metabolic and morphological terms which is indispensable to the tolerance of extreme exercise load. Interindividual differences even in reaction to identical physical exertion are an obstacle to the application of universal intensity criteria, such as $\%VO_{2max}$ or $\%HR$ reserve, and indicators based on metabolic response, such as e.g. fluctuations in LA blood level [2], appear to be better suited.

Although this indicator is widely used to evaluate the physical capacity and to adjust training intensity, its interpretation is subject to critical disagreement. The primary evaluation criterion follows the principle that at a certain level of physical intensity, a threshold phenomenon, expressed by a sudden LA increase, can be observed. There are several methods allowing its determination [3, 6], however for practical reasons, though not without some reservations, intensity related to 4 mmol/l ($AT4$) was adopted as an appropriate value to model adaptation to aerobic exertion, and also as an indicator of its assessment [8]. For many years this type of indicator has also been used in diagnostic examination of Polish kayakers [16].

Physical exertion over 2100 m, when the athletes were asked to maintain their HR at the HR_{AT4} value from the graded test, caused LA to increase from 3.6 to 5.1 mmol/l (mean 3.99 ± 0.55 mmol \cdot l $^{-1}$), which proves this method to be satisfactorily accurate for the determination of the threshold intensity (Fig. 1). The available literature was found to provide hardly any data on simultaneous HR_{AT4} identification and its verification in natural conditions. For a group of 17 flatwater kayakers and canoeists it was concluded [17] that physical effort on a 2 km section at HR_{AT4} intensity established in the 2-speed test [13], induced an increase in LA level from 3.4 to 4.9 mmol/l (mean 4.1 ± 0.5 mmol \cdot l $^{-1}$). Another experiment [10], including 20 white water kayakers, the HR threshold (HRT) was determined using the Conconie test. It was shown that following physical exercise at a level of HRT intensity, the average LA level was 4.2 ± 0.9 mmol \cdot l $^{-1}$.

Unstable atmospheric conditions during the kayak on-water training, specifically during the preparatory period (November-April), substantially hamper diagnostic tests, therefore intensity recommendations for training are in general developed on the

basis of laboratory results. Observations of numerous authors [6, 19, 20, 21] allowed us to expect that such results may be applied to on-water training. Both in our studies (Fig. 2) as well as in paddlers, the HR/LA relationship, obtained from ergometer (Gjessing Comp.) and on-water tests [19], was determined to be similar. In kayakers, the modified Dmax method for on-water exercises and K1 ERGO (Australian Sport Commission) kayak ergometer tests showed no significant differences in the threshold heart rate [6]. In other group of canoeists [20], undergoing 20 minutes' on-water physical exercise, regulated by HR related to the lactate threshold (LT) [3, 6], LA levels were found to be similar with those resulting from K1 ERGO ergometer tests. Heart rate, adopted as an intensity criterion in the long-distance training, was also tested in rowers [9]. This indicator was determined in the graded test using the Concept II (Morisville, VT, USA) ergometer based on the analysis of its fluctuation dynamics, conducted concurrently with the lung ventilation analysis. It was concluded that maintaining HR at a preset level during 30 minutes' paddling in a single boat, produced an increase in the LA level of up to 2 – 6 mmol/l (mean 3.7 ± 1.2 mmol \cdot l $^{-1}$).

In canoeists participating in this study, the regression analysis showed that both in-canoe and ergometer HR_{AT4} values were strongly correlated (Fig. 3). It indicates that laboratory results may be directly used for on-water training. However, the conclusions based on the Bland-Altman method (Fig. 4) require greater caution in such evaluations, as the values defining the limit of agreement fall within fairly broad range between -5.5 and +5.7 s \cdot min $^{-1}$. This range is nonetheless much narrower than the one derived from the comparison of HR_{AT4} values in football players [12] with respect to laboratory and natural conditions (from -11 to +7 s \cdot min $^{-1}$) and from the repeatability analysis of this indicator in two identical laboratory tests on a mobile treadmill, including participants showing moderate physical activity (from -15 to +11 s \cdot min $^{-1}$) [7].

The interpretation of the study results should take into account that the LA and HR values are subject to a multitude of factors. These include e.g. morphological muscle features, availability of energy substrates, environmental conditions, total body water level [11, 24]. Their influence is particularly significant as the threshold value is defined by the fixed LA level.

The results of this study allow to state that an exercise test conducted in special conditions is a relatively accurate method of determining intensity related to $AT4$. Furthermore, the resulting values are consistent with the results derived from the Dansprint kayak ergometer tests. Nevertheless, the limit of agreement shows it is necessary to verify the laboratory results whenever they are applied to on-water training programmes.

Literature

- Bertolan L., Pellegrini B., Finizia G., Schena F. (2008) Assessment of the reliability of custom built Nordic Ski ergometer for cross-country skiing power test. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 48, 177-182.
- Billat V. (1996) Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Med.*, 22, 157-175.
- Bishop D., Jenkins D. G., MacKinnon L. T. (1998) The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30, 1270-1275.
- Bjerkefors A., Carpenter M. G., Thortensson A. (2007) Dynamic trunk stability is improved in paraplegics following kayak ergometer training. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 17, 672-679.
- Bland J. M., Altman D. G. (1995) Comparing methods of

- measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet*, 346, 1085-1087.
6. Bourdon P. (2000) Blood lactate transition thresholds: concepts and controversies. [in]: C. J. Gore (ed.) *Physiological testing of elite athletes*. Human Kinetics, Leeds, 50-65.
 7. Grant S., McMillan K., Newell J., Wood L., Keatley S., Simpson D., Leslie K., Fairlie-Clark S. (2002) Reproducibility of the blood lactate threshold, 4 mmol·l⁻¹ marker, heart rate and ratings of perceived exertion during incremental treadmill exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 87, 159-166.
 8. Heck H., Mader A., Hess G., Mücke S., Müller R., Hollmann W. (1985) Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int. J. Sports Med.*, 6, 117-130.
 9. Hofmann P., Jürimae T., Jürimae J., Purge P., Maetsu J., Wonisch, R., Pokan R., von Duvillard S. P. (2007) HRTP, prolonged ergometer exercise, and single sculling. *Int. J. Sports Med.*, 28, 964-969.
 10. Hofmann P., Peinhaupt G., Leitner H., Pokan R. (1995) Evaluation of heart rate threshold by means of lactate steady state and endurance test in white water kayakers. *Proceedings of International Congress on Applied Research in Sports "The way to win"*, 9-11.08.1994, Helsinki, 217-220.
 11. Janssen P. (2001) Lactate threshold training. *Human Kinetics, Campaign*.
 12. Kunduracioglu B., Guner R., Ulkar B., Erdogan A. (2007) Can heart rate values obtained from laboratory and field lactate tests be used interchangeably to prescribe exercise intensity soccer players. *Adv. Ther.*, 24, 890-902.
 13. Mader A., Heck H., Hollmann W. (1978) Evaluation of the lactic acid anaerobic energy contribution by determination of postexercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers. *Exerc. Physiol.*, 4, 187-200.
 14. Madsen O. (1982), Aerobic training: not so fast there. *Swimming Technique*, 19, 13-17.
 15. Priest J. W., Hagan R. D. (1987) The effects of maximum steady state pace training on running performance. *Br. J. Sports Med.*, 21, 18-21.
 16. Sitkowski D. (2002) Some indices distinguishing Olympic or World Championship medallists in sprint kayaking. *Biol. Sport*, 19, 133-147.
 17. Sitkowski D., Pośnik J. (1994) Częstość skurczów serca jako kryterium progowej intensywności ćwiczeń w specjalistycznym treningu kajakarzy. Materiały z ogólnopolskiej konferencji „Prognostyczna wartość progu przemian beztlenowych w sporcie kwalifikowanym”, 24.05.1994 r., Katowice, 17-23.
 18. Soper C., Hume P. A. (2004) Reliability of power output during rowing changes with ergometer type and race distance. *Sports Biomech.*, 3, 237-248.
 19. Steinecker J. M., Lormes W., Stauch M. (1991) Sport specific testing in rowing. [in]: N. Bachl, T. E. Gracham, H. Lollgen (ed.) *Advances in ergometry*, Springer Verlag, Berlin, 443-454.
 20. van Someren K. A., Oliver J. E. (2002) The efficacy of ergometry determined heart rates for flatwater kayak training. *Int. J. Sports Med.*, 23, 28-32.
 21. van Someren K. A., Phillips G. R., Palmer G. S. (2000) Comparison of physiological response to open water kayaking and kayak ergometry. *Int. J. Sports Med.*, 21, 200-204.
 22. Vergès S., Flore P., Favre-Juvin A. (2003) Blood lactate concentration/heart rate relationship: laboratory running test vs. field roller skiing test. *Int. J. Sports Med.*, 24, 446-451.
 23. Walsh M. L., Bannister E. W. (1988) Possible mechanisms of the anaerobic threshold: a review. *Sports Med.*, 5, 268-302.
 24. Weltman A. (1995) The blood lactate response to exercise. [in]: *Current issues in exercise science*, Monograph no. 4. Human Kinetics, Champaign.
 25. www.dansprint.com/content.asp

Submitted: October 6, 2008

Accepted: November 14, 2008

PRÓG BEZTLENOWY U KANADYJKARZY PODCZAS SPECYFICZNEGO WYSIŁKU NA WODZIE I NA ERGOMETRZE KAJAKARSKIM

Próg beztlenowy u kanadyjkarzy

DARIUSZ SITKOWSKI

Instytut Sportu, Zakład Fizjologii

Adres do korespondencji: Dariusz Sitkowski, Instytut Sportu, ul. Trylogii 2/16,
01-982 Warszawa, tel. 022 8340812, e-mail: dariusz.sitkowski@insp.waw.pl

Streszczenie: Chociaż opinie autorów nie są zgodne, co do możliwości przenoszenia wyników badań laboratoryjnych w warunki naturalne, to jednak u kajakarzy ustalanie intensywności treningu na wodzie odbywa się często na podstawie testów przeprowadzanych na ergometrze. Dlatego celem niniejszych badań było porównanie wartości HR odnoszących się do $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ LA we krwi (HR_{AT_4}), które wyznaczano w różnych warunkach. W trzydniowych odstępach ośmiu kanadyjkarzy wykonało po dwie próby wysiłkowe na wodzie i test laboratoryjny na ergometrze Dansprint. Za ich pomocą wyznaczano HR_{AT_4} , a także sprawdzano, czy utrzymywanie jej w czasie treningu spowoduje przyrost stężenia LA do wartości zbliżonych do $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wartościami HR_{AT_4} na wodzie i na ergometrze. Stężenia mleczanu po wysiłku sprawdzającym trafność wyznaczania HR_{AT_4} na wodzie wynosiły średnio $3,99\pm 0,55 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Chociaż stwierdzono istotną zależność pomiędzy HR_{AT_4} na wodzie i na ergometrze ($R^2=0,892$, $p<0,001$, $\text{SEE}=2,771$), to jednak zakres przedziału zgodności mieścił się w granicach od $-5,5$ do $+5,7 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$.

Ostatecznym wnioskiem wypływającym z tych badań jest, że próba wysiłkowa wykonywana w warunkach specjalnych, daje możliwość dość precyzyjnego wyznaczania intensywności odpowiadającej AT_4 w tych samych warunkach. Chociaż wyniki tej próby wykazują silny związek z wynikami uzyskiwanymi na ergometrze, to jednak w przypadku wykorzystywania wyników laboratoryjnych do treningu na wodzie uzasadniona jest ich weryfikacja.

Słowa kluczowe: testy wysiłkowe, próg beztlenowy, kajakarstwo

Wstęp

O skuteczności treningu w znacznym stopniu decyduje odpowiednio dobrana intensywność. Przy ustalaniu intensywności wykorzystywane są metaboliczne punkty odniesienia, do których zaliczany jest m.in. próg beztlenowy przy stałym stężeniu mleczanu (LA) we krwi, wynoszącym $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (AT_4). Sugeruje się, że AT_4 stanowi optymalną intensywność dla kształtowania adaptacji do wysiłków tlenowych [15, 23]. Inną kwestią, szczególnie ważną dla oceny efektów treningowych u sportowców, jest specyficzność wysiłku. Skonstruowano szereg ergometrów, które dokładnie imitują strukturę ruchu m.in. u narciarzy [1], wioślarzy [18] i kajakarzy [21]. Hamowany powietrzem ergometr kajakarski Dansprint [25] jest znany sportowcom na całym świecie, mimo to w piśmiennictwie naukowym istnieją nieliczne informacje na jego temat [4]. Od kilku lat właśnie ten ergometr jest wykorzystywany do badań diagnostycznych polskich zawodników. Ze względu na zmienne warunki środowiska, związane z temperaturą, wiatrem oraz głębokością i falowaniem wody, trudno jest regulować intensywność treningu kajakarskiego na podstawie rozwijanej prędkości łodzi i stąd kryterium odniesienia stanowi tu częstość skurczów serca (HR). Precyzyjny dobór intensywności ma szczególne znaczenie w wysiłkach tlenowych [14], które w treningu kajakarzy stanowią pokaźny procent. Powstaje jednak pytanie, czy wyniki badań laboratoryjnych mają bezpośrednie przełożenie na wyniki uzyskiwane w warunkach naturalnych. Co do tego, nie ma zgodności wśród autorów [12, 22]. Dlatego

celem tej pracy było porównanie HR_{AT_4} wyznaczanej na wodzie i na ergometrze jako podstawowego wskaźnika intensywności treningu tlenowego u kajakarzy.

Materiał i metody

Badani

W badaniach uczestniczyło 8 kanadyjkarzy należących do kadry narodowej seniorów w kajakarstwie klasycznym. Ich ogólną charakterystykę przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Ogólna charakterystyka badanych

	Średnia \pm SD	Minimum - maksimum
Wiek [lat]	25,5 \pm 4,5	18,5-31,8
Staż zawodniczy [lat]	13 \pm 4	7-18
Wysokość ciała [cm]	180 \pm 6	175-192
Masa ciała [kg]	83,3 \pm 5,7	73,5-91,4
Zawartość tkanki tłuszczowej [%]	11,0 \pm 1,8	8,1-13,2

Pomiary antropometryczne wykonano na początku eksperymentu. Zawartość tkanki tłuszczowej określano metodą bioimpedancji (Tanita TBF 300)

Eksperyment przeprowadzono w okresie przygotowawczym. W trzydniowych odstępach wykonano dwie próby wysiłkowe na wodzie (na łodzi pojedynczej C-1) i test laboratoryjny na ergometrze kajakarskim, w których określano zależność po-

między częstością skurczów serca (HR) a stężeniem mleczanu (LA) oraz wyznaczano lub weryfikowano próg beztlenowy przy $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ LA (AT4). Wszystkie badania przeprowadzono w godzinach przedpołudniowych.

Próby wysiłkowe w warunkach naturalnych

1) Stopniowany wysiłek na kanadyjce poprzedzony był ok. 10-min, indywidualną rozgrzewką. Składał się on z czterech, 4-min powtórzeń o narastającej intensywności, oddzielonych 1-min przerwami. Na kolejnych stopniach próby zawodnicy mieli utrzymywać możliwie stałą HR, dochodząc progresywnie do pożądanej wartości po ok. 60-80 s od rozpoczęcia wysiłku. Utrzymywana HR miała z założenia stanowić 80, 90, 100 i 110% indywidualnych wartości HR przy AT4 (HR_{AT4}) z ich ostatnich badań laboratoryjnych. Celem tej próby było wyznaczenie HR_{AT4} na wodzie.

2) W czasie przejazdu na odcinku 2100 m zadaniem zawodników było utrzymywanie możliwie stałej częstości skurczów serca, odpowiadającej HR_{AT4} , którą wyznaczono trzy dni wcześniej. Podobnie jak w poprzedniej próbie docelowe wartości tego wskaźnika miały być osiągane po ok. 60-80 s od rozpoczęcia pracy. Celem tej próby była weryfikacja trafności wyznaczenia HR_{AT4} .

W czasie wykonywania prób panowały prawie bezwietrzne warunki, a temperatura powietrza w cieniu wynosiła odpowiednio $+17$ i $+12^\circ\text{C}$.

Test laboratoryjny

Test stopniowany wykonywany był na hamowanym powietrzem ergometrze kajakarskim Dansprint, I Bergman A/S (wersja dla kanadyjkarzy) przy całkowicie otwartej przystanie. Składał się on z pięciu, 4-min wysiłków, rozdzielonych 1-min przerwami. Moc, którą zawodnicy mieli utrzymywać w kolejnych wysiłkach wynosiła: 0,6, 0,9, 1,2, 1,5 i 1,9 w-kg masy ciała⁻¹. Jej dobór zakładał, że intensywność czwartego z nich spowoduje przekroczenie AT4. Pierwszy, najlżejszy wysiłek był odpowiednikiem rozgrzewki na wodzie.

Badane wskaźniki

Przy wykorzystaniu rejestratorów S610 firmy Polar Electro w sposób ciągły zapisywano HR. Do analizy brano średnie wartości tego wskaźnika uzyskiwane w ostatniej minucie stopniowanych wysiłków oraz w ostatnich trzech minutach próby na 2100 m.

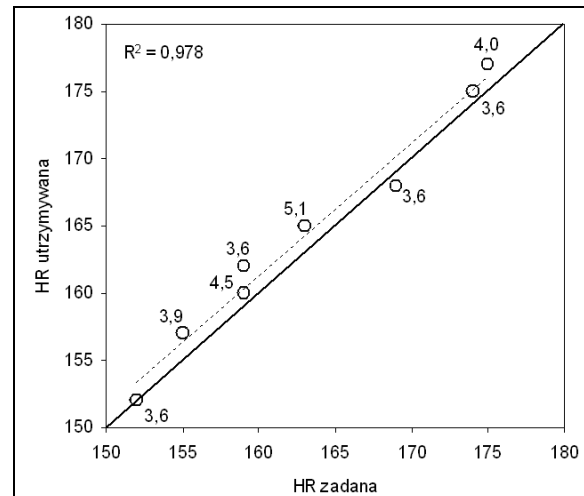
Bezpośrednio po każdym z wysiłków (na wodzie z towarzyszącą zawodnikom łodzi motorowej) pobierano 10 μl krwi włósczkowej, w której za pomocą zestawów LKM 140 firmy DR. LANGE, określano stężenie LA. Próg beztlenowy wyznaczano za pomocą interpolacji, ustalając wartości HR odpowiadające $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ LA.

Analiza statystyczna

Istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami HR określano za pomocą testu ANOVA z powtarzonymi pomiarami (różnice na poziomie $p < 0,05$ przyjęto jako znamienne statystycznie), natomiast zgodność pomiarów była oceniona na podstawie regresji liniowej oraz przy wykorzystaniu metody Blanda-Altmana [5].

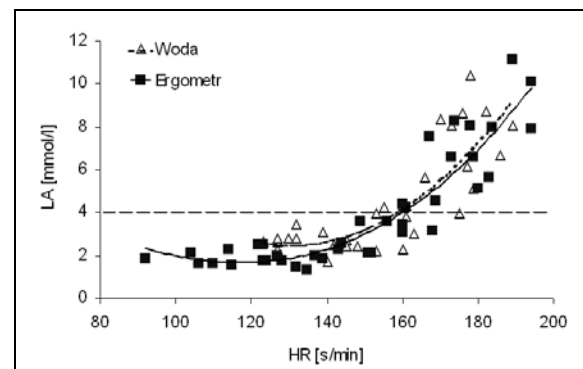
Wyniki

Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania średnich wartości HR_{AT4} wyznaczanej na wodzie (śr. $163,3 \pm 8,6 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$) i na ergometrze (śr. $163,1 \pm 7,8 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$) oraz HR utrzymywanej w ostatnich trzech minutach przejazdu na 2100 m (śr. $164,5 \pm 8,6 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$) ($F_{2,14} = 1,563$; $p > 0,05$). Średnie stężenie mleczanu bezpośrednio po tym przejeździe wyniosło $3,99 \pm 0,55 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ i mieściło się w zakresie od 3,6 do $5,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Ryc. 1).



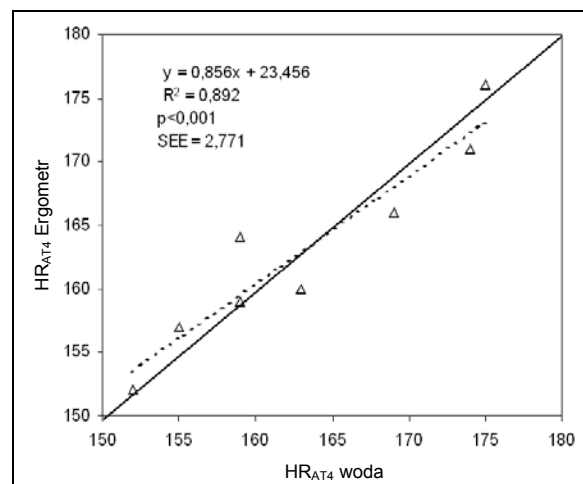
Rycina 1. Zależność pomiędzy zadaną a zarejestrowaną częstością skurczów serca (HR) w ostatnich 3 min przejazdu na 2100 m oraz uzyskane bezpośrednio po nim stężenia mleczanu.

Zależności HR/LA wyznaczone na wodzie i na ergometrze Dansprint wykazywały podobny przebieg (Ryc. 2).



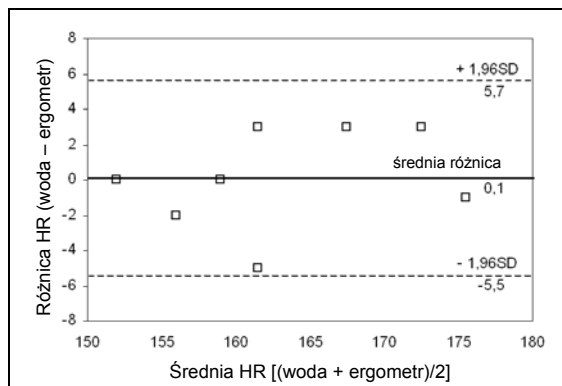
Rycina 2. Zależność HR/LA stwierdzona na wodzie i na ergometrze kanadyjkowym.

Związek pomiędzy wartościami HR_{AT4} wyznaczonymi na wodzie i na ergometrze był istotny statystycznie ($R^2 = 0,892$, $p < 0,001$, błąd standardowy estymacji $2,8 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$) (Ryc. 3).



Rycina 3. Zależność pomiędzy wartościami HR_{AT4} wyznaczonymi na wodzie i na ergometrze kanadyjkowym.

Analiza Blanda-Altmana wykazała, że średnia różnica pomiędzy HR_{AT4} na wodzie i na ergometrze wynosiła $0,1 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$, jednak przedział zgodności wyników wyznaczonych w tych dwóch badaniach mieścił się granicach od $-5,5$ do $5,7 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$, (Ryc. 4).



Rycina 4. Wykres Blanda-Altmana opisujący zgodność pomiędzy metodami wyznaczania HR_{AT4} . Na osi x pokazana jest średnia wartość wyników dwóch pomiarów, a na osi y bezwzględna różnica pomiędzy nimi; cięła linia przedstawia średnią różnicę pomiędzy metodami, a linie przerywane przedział zgodności, czyli granice dopuszczalnych różnic.

Dyskusja

Trening tlenowy jest stosowany niemal we wszystkich konkurencjach sportowych, w których o sukcesach decyduje wydolność fizyczna. Jego celem jest wywołanie adaptacji organizmu w aspekcie czynnościowym, metabolicznym i morfologicznym, która jest niezbędna dla tolerowania krańcowo wysokich obciążeń wysiłkowych. Różnice międzysobnicze w reakcji nawet na taki sam wysiłek utrudniają stosowanie uniwersalnych kryteriów intensywności takich jak $\%VO_{2max}$ lub $\%$ rezerwy HR, a lepszymi wydają się wskaźniki oparte na metabolicznej odpowiedzi organizmu, takie jak np. zmiany stężenia LA we krwi [2]. Pomimo szerokiego wykorzystania tego wskaźnika w ocenie zdolności wysiłkowej i przy ustalaniu intensywności treningu, jego interpretacja jest znacznie zróżnicowana. Główne kryterium oceny oparte jest na obserwacji, że przy pewnej intensywności wysiłku następuje zjawisko progu, wyrażone przez gwałtowny przyrost stężenia LA. Opracowano szereg metod jego wyznaczania [3, 6], jednak ze względu na praktycznych, choć nie bez pewnych zastrzeżeń, przyjęto intensywność odnoszącą się do $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($AT4$), jako odpowiednią dla kształtowania adaptacji do wysiłków tlenowych, a także jako wskaźnik jej oceny [8]. Tego rodzaju wskaźnik jest od wielu lat wykorzystywany również w badaniach diagnostycznych polskich kajakarzy [16].

Wysiłek na kanadyjce na dystansie 2100 m, w którym zawodnicy mieli utrzymywać HR na poziomie HR_{AT4} z próby stopniowanej, spowodował przyrost stężenia LA do wartości od $3,6$ do $5,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (śr. $3,99\pm 0,55 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), co wskazuje na zadowalającą trafność tej metody wyznaczania intensywności progowej (Ryc. 1). W dostępnym piśmiennictwie znaleziono niewiele danych na temat jednoczesnego wyznaczania i weryfikacji HR_{AT4} w warunkach naturalnych. W grupie 17 kajakarzy klasyków stwierdzono [17], że 2-km wysiłek z intensywnością odpowiadającą HR_{AT4} , określoną za pomocą testu 2-prędkości [13], spowodował przyrost stężenia LA do wartości od $3,4$ do $4,9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (średnio $4,1\pm 0,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). W innym eksperymencie [10], w którym uczestniczyło 20 zawodników uprawiających slalom kajakowy, progową HR (HRT) wyznaczano za

pomocą testu Conconiego. Stwierdzono, że po wysiłku, w którym intensywność odpowiadała HRT, stężenia LA wynosiły średnio $4,2\pm 0,9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Zmienne warunki atmosferyczne towarzyszące kajakarzom w czasie treningu na wodzie, szczególnie w okresie przygotowawczym (listopad-kwiecień), znacznie utrudniają przeprowadzanie testów diagnostycznych, stąd zalecenia dotyczące intensywności dla treningu opracowywane są głównie na podstawie badań laboratoryjnych. Spostrzeżenia różnych autorów [6, 19, 20, 21] pozwoliły przypuszczać, że wyniki tych badań mogą być wykorzystywane podczas treningu na wodzie. W naszych badaniach (Ryc. 2), tak jak u wioslarzy stwierdzono podobieństwo w przebiegu zależności HR/LA, wyznaczonej na ergometrze (Gjessing Comp.) i na wodzie [19]. U kajakarzy nie stwierdzono istotnych różnic w progowej częstości skurczów serca wyznaczonej za pomocą zmodyfikowanej metody Dmax na wodzie i na ergometrze kajakowym K1 ERGO (Australian Sport Commission) [6]. U innych kajakarzy [20] wykonujących 20-min wysiłek na wodzie, regulowany za pomocą HR odnoszącą się do progu mleczanowego (LT) [3, 6], stwierdzono zbliżone stężenia LA do tych, jakie przy LT uzyskiwali na ergometrze K1 ERGO. Częstość skurczów serca, stanowiącą kryterium intensywności w czasie długodystansowego treningu, wyznaczono też u wioslarzy [9]. Wartość tego wskaźnika była ustalana w stopniowanym wysiłku na ergometrze Concept II (Morisville, VT, USA) w oparciu o analizę dynamiki jego zmian, prowadzoną równocześnie z analizą wentylacji płuc. Stwierdzono m.in., że utrzymywanie HR na zadanym poziomie w czasie 30 min wiosłowania na łodzi pojedynczej, spowodowało przyrost stężenia LA do wartości mieszczących się w zakresie $2-6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (śr. $3,7\pm 1,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$).

U kanadyjkarzy uczestniczących w niniejszych badaniach, analiza regresji wykazała, że wartości HR_{AT4} wyznaczone na kanadyjce i na ergometrze były bardzo silnie ze sobą związane (Ryc. 3). Przemawia to za tym, że wyniki badań laboratoryjnych mogą być bezpośrednio wykorzystywane w czasie treningu na wodzie. Jednak wnioski wypływające z metody Blanda-Altmana (Ryc. 4) nakazują większą ostrożność w tej ocenie, gdyż wartości określające przedział zgodności mieszczą się w dość szerokim zakresie od $-5,5$ do $+5,7 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$. Zakres ten jest jednak znacznie węższy od tego, jaki stwierdzono przy porównaniu HR_{AT4} wyznaczonej w laboratorium i w warunkach naturalnych u piłkarzy [12] (od -11 do $+7 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$) i przy badaniu powtarzalności tego wskaźnika w dwóch identycznych próbach laboratoryjnych na ruchomej bieżni, wykonywanych przez osoby o umiarkowanej aktywności fizycznej (od -15 do $+11 \text{ s}\cdot\text{min}^{-1}$) [7].

W interpretacji uzyskanych wyników należy uwzględnić fakt, że liczne czynniki mają wpływ na wartości LA i HR. Można do nich zaliczyć m.in. charakterystykę morfologiczną mięśni, dostępność substratów energetycznych, warunki środowiska, stan nawodnienia organizmu [11, 24]. Ich wpływ jest szczególnie istotny, gdy kryterium progu stanowi stała wartość LA.

Wyniki niniejszych badań upoważniają do stwierdzenia, że próba wysiłkowa wykonywana w warunkach specjalnych daje możliwość precyzyjnego wyznaczania intensywności odpowiadającej $AT4$, a także wykazują one silny związek z wynikami uzyskiwanymi na ergometrze kajakarskim - Dansprint. Niemniej jednak zakres przedziału zgodności sugeruje konieczność weryfikacji wyników badań laboratoryjnych, gdy są one wykorzystywane do treningu na wodzie.

Piśmiennictwo

1. Bertolan L., Pellegrini B., Finizia G., Schena F. (2008) Assessment of the reliability of custom built Nordic Ski ergometer for cross-country skiing power test. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 48, 177-182.
2. Billat V. (1996) Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Med.*, 22, 157-175.
3. Bishop D., Jenkins D. G., MacKinnon L. T. (1998) The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30, 1270-1275.
4. Bjerkefors A., Carpenter M. G., Thortensson A. (2007) Dynamic trunk stability is improved in paraplegics following kayak ergometer training. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 17, 672-679.
5. Bland J. M., Altman D. G. (1995) Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet*, 346, 1085-1087.
6. Bourdon P. (2000) Blood lactate transition thresholds: concepts and controversies. [w]: C. J. Gore (red.) *Physiological testing of elite athletes*. Human Kinetics, Leeds, 50-65.
7. Grant S., McMillan K., Newell J., Wood L., Keatley S., Simpson D., Leslie K., Fairlie-Clark S. (2002) Reproducibility of the blood lactate threshold, 4 mmol·l⁻¹ marker, heart rate and ratings of perceived exertion during incremental treadmill exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 87, 159-166.
8. Heck H., Mader A., Hess G., Mücke S., Müller R., Hollmann W. (1985) Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int. J. Sports Med.*, 6, 117-130.
9. Hofmann P., Jürimae T., Jürimae J., Purge P., Maetsu J., Wonisch, R., Pokan R., von Duvillard S. P. (2007) HRTP, prolonged ergometer exercise, and single sculling. *Int. J. Sports Med.*, 28, 964-969.
10. Hofmann P., Peinhaupt G., Leitner H., Pokan R. (1995) Evaluation of heart rate threshold by means of lactate steady state and endurance test in white water kayakers. Proceedings of International Congress on Applied Research in Sports "The way to win", 9-11.08.1994, Helsinki, 217-220.
11. Janssen P. (2001) Lactate threshold training. Human Kinetics, Campaign.
12. Kunduracioglu B., Guner R., Ulkar B., Erdogan A. (2007) Can heart rate values obtained from laboratory and field lactate tests be used interchangeably to prescribe exercise intensity soccer players. *Adv. Ther.*, 24, 890-902.
13. Mader A., Heck H., Hollmann W. (1978) Evaluation of the lactic acid anaerobic energy contribution by determination of postexercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers. *Exerc. Physiol.*, 4, 187-200.
14. Madsen O. (1982), Aerobic training: not so fast there. *Swimming Technique*, 19, 13-17.
15. Priest J. W., Hagan R. D. (1987) The effects of maximum steady state pace training on running performance. *Br. J. Sports Med.*, 21, 18-21.
16. Sitkowski D. (2002) Some indices distinguishing Olympic or World Championship medallists in sprint kayaking. *Biol. Sport*, 19, 133-147.
17. Sitkowski D., Pośnik J. (1994) Częstość skurczów serca jako kryterium progowej intensywności ćwiczeń w specjalistycznym treningu kajakarzy. Materiały z ogólnopolskiej konferencji „Prognostyczna wartość proggu przemian beztlenowych w sporcie kwalifikowanym”, 24.05.1994 r., Katowice, 17-23.
18. Soper C., Hume P. A. (2004) Reliability of power output during rowing changes with ergometer type and race distance. *Sports Biomech.*, 3, 237-248.
19. Steinecker J. M., Lormes W., Stauch M. (1991) Sport specific testing in rowing. [w]: N. Bachl, T. E. Gracham, H. Lollgen (red.) *Advances in ergometry*, Springer Verlag, Berlin, 443-454.
20. van Someren K. A., Oliver J. E. (2002) The efficacy of ergometry determined heart rates for flatwater kayak training. *Int. J. Sports Med.*, 23, 28-32.
21. van Someren K. A., Phillips G. R., Palmer G. S. (2000) Comparison of physiological response to open water kayaking and kayak ergometry. *Int. J. Sports Med.*, 21, 200-204.
22. Vergès S., Flore P., Favre-Juvin A. (2003) Blood lactate concentration/heart rate relationship: laboratory running test vs. field roller skiing test. *Int. J. Sports Med.*, 24, 446-451.
23. Walsh M. L., Bannister E. W. (1988) Possible mechanisms of the anaerobic threshold: a review. *Sports Med.*, 5, 268-302.
24. Weltman A. (1995) The blood lactate response to exercise. [w]: Current issues in exercise science, Monograph no. 4. Human Kinetics, Champaign.
25. www.dansprint.com/content.asp

Otrzymano: 06.10.2008

Przyjęto: 14.11.2008