

VERIFICATION OF ANAEROBIC THRESHOLD INDICATORS FOR CROSS-COUNTRY SKIERS IN NATURAL CONDITIONS

Verification of anaerobic threshold indicators

ANDRZEJ KLUSIEWICZ¹, WIESŁAW CEMPA²

¹ *Institute of Sport in Warsaw, Department of Physiology*

² *Polish Skiing Association*

Mailing address: Andrzej Klusiewicz, Institute of Sport, Department of Physiology, 2/16 Trylogii Street, 01-982 Warszawa, tel.: +48 508269190, fax: +48 22 8350977, e-mail: andrzej.klusiewicz@insp.waw.pl

Abstract

Introduction. The objective of this paper was to verify heart rate values for the anaerobic threshold in cross-country skiers during long-term submaximal intensity training effort. **Material and methods.** Stress tests were conducted for 6 athletes (4 female and 2 male members of the Polish National Team). The first test involved a graded-intensity laboratory stress test on a mechanical treadmill which consisted of 5-minute exercising periods and enable determining the anaerobic threshold values. The subsequent test (performed within 2-7 days after the first test) involved a submaximal intensity run test based on the determined heart rate (HR) ranges for 400 m on a tartan track. The test involved a 10-minute run done three times at a given intensity based on the HR values for blood lactate level at 4 mmol/l (HRppa), previously determined during the laboratory tests. First exercise: a run at a speed corresponding to HRppa minus 10 bpm, second exercise: HRppa minus 5 bpm and third exercise: HRppa. **Results.** The verification of the HRppa values recorded in the laboratory tests on a mechanical treadmill confirmed that this indicator is moderately useful for the purpose of selecting the exercise load during race trainings in natural conditions. **Conclusion.** The race speeds determined on a mechanical treadmill for the anaerobic threshold need to be corrected (increased speed) for the purpose of finding similar exercise load for race trainings in natural conditions.

Key words: cross-country skiers, tests in laboratory and natural conditions, anaerobic threshold, HR range

Introduction

Anaerobic threshold is generally used for assessment of adaptation to exercising during trainings of cross-country skiers [1, 2]. Also training intensity is planned on the basis of the threshold exercise load. It is generally assumed that the anaerobic threshold is the upper limit of the exercise load which can be realised based on aerobic metabolism [3]. Additionally, trainings for cross-country skiers often take place in various natural conditions (e.g. flat areas, ascents) where ordinarily it is not possible to assess training intensity based on lap time measurements. Thus, heart rate (HR) recorded value is the essential indicator in such circumstances. It should also be noted that so-called HR for the anaerobic threshold is only one precisely determined value, while during trainings HR ranges are used on account of cardiovascular drift, i.e. HR increase as exercises continue [4]. It is worth mentioning that further optimisation of the exercise load to develop endurance is possible based on the concept of the so-called Maximal Lactate Steady State (MLSS) [4, 5]. MLSS refers to the upper blood lactate level during steady exercise when lactate generation and utilisation are in equilibrium [6]. It is emphasised that MLSS plays a vital role in establishing effective training schemes aimed at increasing efficiency and reducing the risk of an injury and overtraining [7]. These issues continue to attract rather strong interest of researchers who have recently been seeking to find a simple method for determining MLSS [7, 8]. A rarely endeavoured attempt to apply HR ranges as determinants of lactate equilibrium is particularly interesting [9]. Similarly, this study was carried out under an assumption that the HR threshold value determined in laboratory conditions is the main upper intensity limit for developing endurance in natural conditions. The objective of this paper was to verify HR values for the

anaerobic threshold in cross-country skiers during long-term submaximal intensity training.

Material and methods

Physical stress tests were performed during the period of general preparation for 6 professional skiers (4 female and 2 male members of the National Team). Profiles of the study subjects are shown in Table 1.

Table 1. Profiles of the female cross-country skiers (n=4) and male cross-country skiers (n=2) included in the study

Study subject	Age (years)	Body height (cm)	Body mass (kg)	Years of training	VO ₂ max (ml/kg/min)
Female cross-country skiers					
1. A	20.4	168	62.5	5	51.7
2. B	23.3	160	55.6	10	57.8
3. C	23.8	170	56.6	7	60.0
4. D	23.9	165	52.5	13	53.1
Male cross-country skiers					
5. E	28.2	177	73.0	13	59.3
6. F	35.3	177	74.0	20	57.0

The first test to have been performed was a laboratory stress test on a mechanical treadmill consisting of 5-minute periods of physical exercise. The initial treadmill slope was 1.5% and the initial speed was 10 km/h (females) and 12 km/h (males). The running speed was increased by 2 km/h in the following exercise periods. During the fifth exercise period at a constant speed of 16 km/h (females) and 18 km/h (males) the initial slope was increased by 1.5% and then every 2 minutes as long as it was not stopped by the study subject. The above-described test is routinely applied to measure physical fitness of country-cross

skiers in the National Team. The subsequent test performed within 2-7 days after the laboratory test included a submaximal intensity run test based on the HR ranges for a 400 m run on a tartan track. The objective of the test was to verify HR ranges during an intense endurance training. The test was preceded by a 5-minute warm-up with HR intensity ranging from 130 to 140 bpm, followed by a 3-minute break. The test involved a 10-minute run done 3 times at a pre-determined intensity based on the HR threshold values (HRppa), earlier determined during the laboratory tests on a mechanical treadmill. The following intensity levels were used: first exercise – run at a speed corresponding to HRppa minus 10 bpm, second exercise – HRppa minus 5 bpm and third exercise – at the level of HRppa. The study subjects maintained the pre-determined HR value for submaximal intensity exercise of 2 to 10 minutes. 1.5-minute breaks were organised between the tests to take blood samples.

During the laboratory test gas exchange ratios (lung ventilation, oxygen uptake and carbon dioxide evacuation) were recorded on a continuous breath-by-breath (BxB) basis using SensorMedics Vmax29 (Yorba Linda, CA, USA). The parameters determined on a continuous basis during both tests included heart rate (HR) recorded using Polar recorder (Polar Electro Oy, Finland), and blood lactate level (LA) during the breaks between the tests (in laboratory and natural conditions) and within 4 minutes after the laboratory test using LP400 photometer (Dr Lange, Germany).

The anaerobic threshold (PPA) was interpolated for blood lactate level of 4 mmol/l [10] based on the laboratory stress test results. The average values of the test parameters and standard deviation (SD) were calculated.

Results

Table 2 shows the values of the selected indicators at the level of the anaerobic threshold, determined during the test on a mechanical treadmill. The HR threshold was 165-176 bpm, i.e. 88-91% of the maximal HR. Such high HR proportion was characteristic for professional sportsmen practicing endurance disciplines. The obtained 400 m lap times, HR values and blood lactate levels for the anaerobic threshold and during the submaximal intensity run test on a tartan track (3 x 10 min) for the study subjects are shown in Tables 3 and 4. It should be noted that only one female skier (C) was determined to have blood lactate level after 30 min higher than the anaerobic threshold (4.89 mmol/l), while this indicator was similar (E-4.05) or explicitly below the lactate level of 4.0 mmol/l for the other subjects (Tab. 3). The study subjects were observed to have increased lactate levels during the last 20 min of the test within the range of 0.2-1.6 mmol/l, except for the skier A – no changes (Tab. 4). The obtained HR range for exercise of 10-30 min in accordance with the test objectives was similar to 10 bpm (10-13 bpm).

Table 2. Results for the selected exercise indicators recorded in the mechanical treadmill tests in female cross-country skiers (n=4) and male cross-country skiers (n=2)

Study subject	Speed (km/h)	HRppa (bpm)	HRmax (bpm)	HRppa (% HRmax)
Female cross-country skiers				
1. A	12.2	176	193	91
2. B	14.2	173	194	89
3. C	14.1	172	189	91
4. D	12.8	176	194	91
Male cross-country skiers				
5. E	15.0	167	187	89
6. F	14.1	165	187	88

Table 3. 400 m lap times, HR values and blood lactate levels (LA) during the run tests (graded-intensity test on a mechanical treadmill and based on the HR range on a tartan track) in female cross-country skiers (n=4) and male cross-country skiers (n=2)

Study subject	Indicator	PPA	10 min	20 min	30 min	Average LA
Female cross-country skiers						
1. A	400 m (min:sec)	1:58	1:50	1:46	1:43	
	HR (bpm)	176	166	170	178	
	LA (mmol/l)	4.0	2.28	2.12	2.24	2.2
2. B	400 m (min:sec)	1:41	1:45	1:42	1:37	
	HR (bpm)	173	163	168	176	
	LA (mmol/l)	4.0	2.07	2.06	2.78	2.3
3. C	400 m (min:sec)	1:42	1:43	1:41	1:37	
	HR (bpm)	172	162	166	172	
	LA (mmol/l)	4.0	3.78	3.97	4.89	4.2
4. D	400 m (min:sec)	1:53	1:46	1:48	1:42	
	HR (bpm)	176	166	173	177	
	LA (mmol/l)	4.0	2.75	2.39	3.07	2.7
Male cross-country skiers						
5. E	400 m (min:sec)	1:36	1:36	1:32	1:28	
	HR (bpm)	167	157	161	167	
	LA (mmol/l)	4.0	2.43	2.68	4.05	3.1
6. F	400 m (min:sec)	1:42	1:47	1:44	1:40	
	HR (bpm)	165	155	161	166	
	LA (mmol/l)	4.0	1.93	2.13	2.17	2.1

Key: PPA – 400 m lap time and HR determined for the anaerobic threshold (lactate level at 4 mmol/l) during the test on a mechanical treadmill; 10, 20 and 30 min – results for the exercise indicators during the tartan track test; Average LA – calculated for the lactate level after 10, 20 and 30 min of exercising

Table 4. Blood lactate level (LA) kinetics and HR ranges during the tartan track run test (3x10 min) in female cross-country skiers (n=4) and male cross-country skiers (n=2)

Test subject	Average LA* (mmol/l)	LA difference (mmol/l)	Resulting HR range (bpm)		HR difference (bpm)
			10 min	30 min	
Female cross-country skiers					
1. A	2.2	0.0	166	178	12
2. B	2.7	0.3	166	177	11
3. C	2.3	0.7	163	176	13
4. D	4.2	1.1	162	172	10
Male cross-country skiers					
5. E	2.1	0.2	155	166	11
6. F	3.1	1.6	157	167	10

Key: Average LA – calculated for the lactate level after 10, 20 and 30 min of exercising; LA, HR difference – differences between the lactate levels and HR values respectively after exercising for 10 and 30 minutes

Discussion

The above-described tests included a small group of Polish senior cross-country skiers at the highest level of sports skills. The objective of the tests stemmed from the fact that in practical trainings it is usually expected that the exercise load for the anaerobic threshold should correspond to the lactate production and utilisation equilibrium [3, 11]. However, the earlier tests among representatives of various sports disciplines showed that the application of the exercise load corresponding to the constant blood lactate level of 4.0 mmol/l (so-called anaerobic threshold) to all competitors can cause unexpected blood lactate levels during trainings aimed at developing aerobic physical fitness [4, 12]. Furthermore, Keskinen et al. [13] showed how the changes in methods for determining the anaerobic threshold (various duration of the exercise load) affect the resulting threshold HR values.

Because in practical trainings it is often attempted to apply laboratory indicators to choose the exercise load in natural con-

ditions, it became necessary to develop a stress test which could help verify the HR threshold values (HRppa). A model of a sub-maximal intensity 30-minute test was proposed to enable the assessment of the lactate level and HR increase kinetics during long-term exercise, and thus the selection of a HR range for endurance trainings.

It should be noted that non-invasive methods for selecting training intensity has for a long time been applied in practical trainings as they reduce financial costs and enable greater mental comfort of competitors [9, 14, 15]. In some disciplines, including cross-country skiing, measurements of mechanical parameters which determine exercise intensity, such as e.g. running speed, are rarely used on account of variable natural conditions. In many cases, when HR is the only available indicator to control exercise intensity at a pre-determined level, it is necessary to use HR ranges and not a constant value as in the case of HR determined for the anaerobic threshold. It should be noted that the 30-minute run test of cross-country skiers performed according to HR ranges based on HRppa values proved effective for selecting pre-determined intensity of endurance trainings. The cross-country skiers included in the study were observed to have blood lactate level lower than 4.0 mmol/l after completion of the test, and in only two cases it was slightly higher - 4.89 mmol/l (C) and 4.05 mmol/l (E) (Tab. 3). The lactate level kinetics was also characterised by small increments (in the last 2 periods of 10-minute run tests they ranged from 0.0 to +1.6 mmol/l respectively) (cf. Tab. 3 and 4). According to the literature data [6], 30-minute exercise with constant increase in lactate level in the last 20 minutes by 1.0 mmol/l characterises the maximal lactate steady state (MLSS). As 10-minute runs were done during the tests at variable speed, it was impossible to estimate MLSS. The relatively small lactate level increments obtained in the above-described tests can be interpreted as an equilibrium between the production and utilisation of this metabolite which shows that the exercise concerned is aerobic exercise.

Although Foster et al. [9] showed that the exercise load is more effectively selected based on direct measurements of the blood lactate level compared to HR measurements, nonetheless these simple methods, which do not require collecting blood samples, should also be recognised as highly useful. The results of the conducted tests showed in the case of two study subjects (A and F) that the selection of exercise intensity based on HR threshold values involved excessively low blood lactate levels, i.e. about 2.0 mmol/l (Tab. 3). In such case the results for 30-minute exercise should be re-verified by increasing the initial HR range by 5 bpm. However, it should be noted that relatively low blood lactate levels for MLSS were also recorded during the tests of female canoeists: 2.64 ± 0.12 mmol/l [7] and oarswomen: 2.72 ± 0.54 mmol/l [4]. For example, in other tests conducted for ice skaters during their training on ice rink, it was recorded for 68% of the study subjects that MLSS was only achieved by controlling the intensity based on HR measurements [9].

Interesting results were also obtained by comparing lactate levels and running speed for a mechanical treadmill and tartan track (Fig. 1). It is also worth noticing that lower lactate levels for tartan track compared to the anaerobic threshold (average level for collected blood samples after exercising for 10, 20 and 30 minutes was 1.9 mmol/l in the case of females and 2.6 mmol/l in the case of males) were accompanied by better 400 m lap times recorded in natural conditions. It should also be noted that in other studies different responses were observed between specific exercises in laboratory conditions and exercises in natural conditions [16, 17]. The studies conducted for canoeists showed no significant differences between HRppa values recorded when exercising in water and using canoe ergometers [18]. However, when an indicator determined in laboratory conditions is used

for training in water, it was also postulated that it should be verified in water.

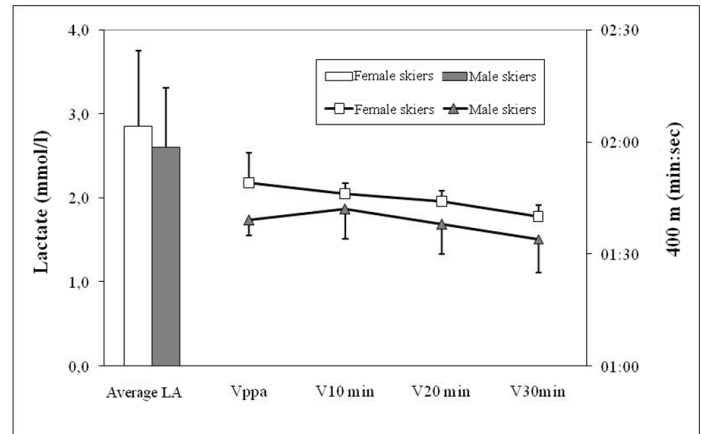


Figure 1. Lactate levels (\pm SD) from three 10-minute runs on a tartan track and lap times for 400 m runs (V) determined for the anaerobic threshold on a mechanical treadmill (ppa) and 10-minute runs on a tartan track in female skiers (n=4) and senior male skiers (n=2)

Conclusions

1. The verification of the HR threshold values recorded in the laboratory tests on a mechanical treadmill for the blood lactate level at 4 mmol/l confirmed that this indicator is moderately useful in selecting the exercise load for race trainings in natural conditions.
2. The race speeds determined on a mechanical treadmill for the anaerobic threshold need to be reviewed and corrected (increased speed) for the purpose of finding similar exercise load for race trainings in natural conditions.

Literature

1. Klusiewicz, A., Trzaskoma Z., Borkowski L. & Starczewska-Czapowska J. (2004). An assessment of the specific, exertion-related abilities of first-rate of skiers, runners and biathletes. *Wych. Fiz. Sport* 48(3), 207-214. [in Polish]
2. Larsson, P., Olofsson P., Jakobsson E., Burlin L. & Henriksen-Larsén K. (2002). Physiological predictors of performance in cross-country skiing from treadmill tests in male and female subjects. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 12(6), 347-353.
3. Klusiewicz, A. & Zdanowicz R. (2002). The anaerobic threshold and the state of maximum lactate balance - practical considerations. *Sport Wyczyn.* 1-2, 58-70. [in Polish]
4. Klusiewicz, A. (2005). Relationship between the anaerobic threshold and the maximal lactate steady state in male and female rowers. *Biol. Sport* 22, 171-180.
5. Billat, V.L., Sirvent P., Py G., Koralsztein J-P. & Mercier J. (2003). The concept of maximal lactate steady state. A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med.* 33, 407-426.
6. Heck, H., Mader A., Hess G., Mucke S., Muller R. & Hollmann W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int. J. Sports Med.* 6, 117-130.
7. Diafas, V., Chrysikopoulos K., Diamanti V. & Kaloupsis S. (2009). Assessment of maximal lactate steady state in elite female kayakers. *Med. Sport* 13, 43-48.

8. Laplaud, D., Guinot M. & Favre-Juvin A. (2006). Maximal lactate steady state determination with a single incremental test exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 96, 446-452.
9. Foster, C., Crowe M.P., Holum D., Sandvig S., Schrager M., Snyder A.C. et al. (1995). The bloodless lactate profile. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 927-933.
10. Mader, A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Schürch P.M. & Hollmann W. (1976). Assessment of specific sports efficiency in laboratory. *Sportartz Sportmed.* 27, 80-88. [in German]
11. Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 863-867.
12. Beneke, R. & Petelin von Duvillard S. (1996). Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28, 241-246.
13. Keskinen, K.L., Komi P.V. & Rusko H. (1989). A comparative study of blood lactate tests in swimming. *Int. J. Sports Med.* 10, 197-201.
14. Gilman, M.B. & Wells C.L. (1993). The use of heart rates to monitor exercise intensity in relation to metabolic variables. *Int. J. Sports Med.* 14, 339-344.
15. Swensen, T.C., Harnish C.R., Beitman L. & Keller B.A. (1999). Noninvasive estimation of the maximal lactate steady state in trained cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, 742-746.
16. Klusiewicz, A., Sitkowski D., Bieńko A., Furdal S. & Skwarczyński T. (1991). Optimizing the selection of indices for assessing the work capacity of rowers. *Biol. Sport* 8, 167-175.
17. Urhausen, A., Weiler B. & Kindermann W. (1993). Heart rate, blood lactate, and catecholamines during ergometer and on water rowing. *Int. J. Sports Med.* 14, Suppl. 1, S20-23.
18. Sitkowski, D. (2008). The anaerobic threshold of canadian canoers during specific exertions on the water and on a kayak ergometer. *Pol. J. Sport Tourism* 15, 166-173.

Submitted: April 21, 2011

Accepted: July 6, 2011

WERYFIKACJA WSKAŹNIKÓW PROGU BEZTLENOWEGO U NARCIARZY BIEGACZY W WARUNKACH TERENOWYCH

Weryfikacja wskaźników progu beztlenowego

ANDRZEJ KLUSIEWICZ¹, WIESŁAW CEMPA²

¹ Instytut Sportu w Warszawie, Zakład Fizjologii

² Polski Związek Narciarski

Adres do korespondencji: Andrzej Klusiewicz, Instytut Sportu, Zakład Fizjologii, ul. Trylogii 2/16, 01-982 Warszawa, tel.: 508269190, fax: 22 8350977, e-mail: andrzej.klusiewicz@insp.waw.pl

Streszczenie

Wprowadzenie. Celem pracy była weryfikacja częstości skurczów serca dla progu beztlenowego u narciarzy biegaczy w długotrwałym wysiłku biegowym o submaksymalnej intensywności. **Materiał i metody.** Badaniom wysiłkowym poddano 6 zawodników (4 kobiety i 2 mężczyzn członków polskiej Kadry Narodowej). W pierwszym badaniu przeprowadzono laboratoryjny test wysiłkowy o stopniowanej intensywności na bieżni mechanicznej, który obejmował 5-min wysiłki i umożliwił wyznaczenie progu beztlenowego. W kolejnym badaniu (2-7 dni po pierwszym teście) przeprowadzono test biegowy o submaksymalnej intensywności w oparciu o ustalone zakresy częstości skurczów serca (HR) na 400 m, tartanowej bieżni lekkoatletycznej. Test polegał na 3-krotnym pokonaniu 10-min odcinka czasowego z zadaną intensywnością w oparciu o wartości HR dla stężenia mleczanu we krwi 4 mmol/l (HRppa), wcześniej wyznaczonego w badaniach laboratoryjnych. Pierwszy wysiłek: bieg z prędkością odpowiadającą HRppa minus 10 sk/min, drugi: HRppa minus 5 sk/min oraz trzeci: na poziomie HRppa. **Wyniki.** Weryfikacja HRppa wyznaczonego w laboratoryjnym teście na bieżni mechanicznej, potwierdziła umiarkowaną przydatność tego wskaźnika w doborze obciążeń wysiłkowych dla treningu biegowego w warunkach naturalnych. **Wniosek.** Wyznaczone w teście na bieżni mechanicznej prędkości biegu dla progu beztlenowego wymagają korekty (zwiększenia prędkości) dla potrzeb analogicznego obciążenia w wysiłku biegowym w warunkach naturalnych.

Słowa kluczowe: narciarze biegacze, badania laboratoryjne i terenowe, próg beztlenowy, zakresy HR

Wstęp

Wskaźniki progu beztlenowego, wykorzystywane są powszechnie do oceny przebiegu adaptacji wysiłkowej w procesie treningu sportowego narciarzy biegaczy [1, 2]. W oparciu o wielkość obciążenia progowego, planuje się również intensywność samego treningu. Na ogół zakłada się, że próg beztlenowy stanowi górną wartość obciążenia wysiłkowego, które może być realizowane w oparciu o metabolizm tlenowy [3]. Dodatkowo u narciarzy biegaczy bardzo często trening prowadzony jest w różnorodnym terenie (np. teren płaski, podbiegi), gdzie najczęściej nie ma możliwości oceny intensywności wysiłku w oparciu o pomiary międzyczasów. W takich warunkach podstawowym wskaźnikiem pozostaje więc rejestracja częstości skurczów serca (HR). Zwraca uwagę fakt, iż tzw. HR dla progu beztlenowego stanowi jedynie jedną, precyzyjnie wyznaczoną wartość, natomiast podczas treningu stosuje się zakresy HR z uwagi między innymi na zjawisko dryftu sercowo-naczyniowego, czyli przyrostu HR w miarę kontynuowania wysiłku [4]. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że dalszą optymalizację obciążeń treningowych służących rozwojowi wytrzymałości umożliwi konsepcja tzw. stanu maksymalnej równowagi mleczanowej (Maximal Lactate Steady State – MLSS) [4, 5]. MLSS odnosi się do górnej wartości stężenia mleczanu we krwi w wysiłkach o stałej intensywności, gdy zachowana jest równowaga pomiędzy produkcją a utylizacją mleczanu [6]. Podkreśla się, że MLSS stanowi kluczową kwestię w ustalaniu skutecznych programów treningowych mających na celu wzrost efektywności oraz redukcję ryzyka kontuzji i przetrenowania [7]. Zagadnienia te wciąż cieszą się sporym zainteresowaniem badaczy poszukujących ostatnio uproszczonej metodyki wyznaczania MLSS [7, 8]. Szczególnie interesującym zagadnieniem była po-

dejmowana rzadko próba zastosowania zakresu HR jako wyznacznika stanu równowagi mleczanowej [9]. Podobnie w przeprowadzonych badaniach własnych przyjęto założenie, że progowa wielkość HR wyznaczona w laboratorium, stanowi górną wartość intensywności dla treningu wytrzymałości w warunkach naturalnych. Celem pracy była weryfikacja częstości skurczów serca dla progu beztlenowego u narciarzy biegaczy w długotrwałym wysiłku biegowym o submaksymalnej intensywności.

Materiał i metody

Badania wysiłkowe przeprowadzono w okresie przygotowania ogólnego u 6 zawodników (4 narciarek i 2 narciarzy biegaczy członków Kadry Narodowej). Charakterystykę badanych przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka badanych narciarek (n=4) i narciarzy biegaczy (n=2)

Badany	Wiek (lata)	Wysokość ciała (cm)	Masa ciała (kg)	Staż treningowy (lata)	VO ₂ max (ml/kg/min)
Narciarki biegaczki					
1. A	20,4	168	62,5	5	51,7
2. B	23,3	160	55,6	10	57,8
3. C	23,8	170	56,6	7	60,0
4. D	23,9	165	52,5	13	53,1
Narciarze biegacze					
5. E	28,2	177	73,0	13	59,3
6. F	35,3	177	74,0	20	57,0

Jako pierwszy, przeprowadzono laboratoryjny test wysiłkowy na bieżni mechanicznej, który obejmował 5-min wysiłki,

podczas których początkowe nachylenie bieżni wynosiło 1,5%. Test rozpoczynano od prędkości 10 km/h (kobiety) i 12 km/h (mężczyźni). W kolejnych wysiłkach prędkość biegu zwiększano o 2 km/h. W piątym wysiłku przy prędkości 16 km/h (kobiety) i 18 km/h (mężczyźni) przy stałej prędkości biegu, zwiększano kąt nachylenia bieżni o 1,5% od rozpoczęcia wysiłku i następnie co 2 min, aż do odmowy. Opisany test stanowi rutynowe badanie w okresowych pomiarach wydolności fizycznej Kadry Narodowej narciarzy biegaczy. W kolejnym badaniu, które odbyło się 2 do 7 dni po teście laboratoryjnym, przeprowadzono test biegowy o submaksymalnej intensywności według zakresu HR na 400 m, tartanowej bieżni lekkoatletycznej. Celem testu była weryfikacja zakresu częstości skurczów serca odpowiadającego intensywnemu treningowi wytrzymałości. Test poprzedziła 5 min rozgrzewka o intensywności odpowiadającej HR od 130 do 140 sk/min, po której zastosowano 3 min przerwę. Test stanowiło 3-krotne pokonanie 10-min odcinka czasowego z zadaną intensywnością w oparciu o progowe wartości HR (HRppa), wcześniej wyznaczone w badaniach laboratoryjnych na bieżni mechanicznej. Stosowano następujące intensywności: pierwszy wysiłek – bieg z prędkością odpowiadającą HRppa minus 10 sk/min, drugi wysiłek – HRppa minus 5 sk/min oraz trzeci – na poziomie HRppa. Badani utrzymywali zadaną wartość HR od 2 do 10 min wysiłku submaksymalnego. Pomędzy kolejnymi wysiłkami stosowano 1,5 min przerwy na pobranie krwi.

W czasie testu laboratoryjnego w sposób ciągły rejestrowano wskaźniki wymiany gazowej (wentylację płuc, pobór tlenu i wydalanie dwutlenku węgla) metodą „oddech za oddech” (BxB) aparatem serii Vmax 29 firmy SensorMedics (Yorba Linda, CA, USA). Podczas obu testów w sposób ciągły rejestrowano częstość skurczów serca (HR) przy użyciu rejestratora Polar firmy Polar Electro Oy (Finlandia), natomiast w przerwach między wysiłkami (test laboratoryjny i terenowy) oraz w 4 min po zakończeniu testu laboratoryjnego oznaczono stężenia mleczanu we krwi (LA) fotometrem LP 400 firmy Dr Lange (Niemcy).

W oparciu o przeprowadzony laboratoryjny test wysiłkowy wyznaczono wielkość progu beztlenowego (PPA) metodą interpolacji dla stężenia mleczanu we krwi 4 mmol/l [10]. Obliczono wartości średnie badanych cech i odchylenia standardowe (SD).

Wyniki

Wartości wybranych wskaźników na poziomie progu beztlenowego wyznaczone w teście na bieżni mechanicznej przedstawia Tabela 2. Progowa częstość skurczów serca wynosiła od 165 do 176 sk/min, co stanowiło 88-91% maksymalnej HR. Tak wysoka proporcja HR była charakterystyczna dla zawodników uprawiających dyscyplinę wytrzymałościową. Uzyskane międzyczasy na 400 m, wartości HR i stężenia mleczanu we krwi dla progu beztlenowego oraz podczas testu biegowego o submaksymalnej intensywności na bieżni tartanowej (3 x 10 min) u badanych narciarek i narciarzy biegaczy zestawiono w Tabeli 3 i 4. Zwraca uwagę fakt, iż tylko u jednej zawodniczki (C) stężenie mleczanu w 30 min przekraczało wartość progu beztlenowego (4,89 mmol/l), natomiast u pozostałych badanych wartość omawianego wskaźnika była zbliżona (E – 4,05) lub wyraźnie poniżej stężenia mleczanu 4,0 mmol/l (Tab. 3). U badanych zawodników obserwowano wzrost stężenia mleczanu w końcowych 20 minutach testu w zakresie od 0,2 do 1,6 mmol/l, za wyjątkiem narciarza A – brak zmian, (Tab. 4). Uzyskany zakres HR między 10 a 30 min wysiłku zgodnie z założeniem testu zbliżony był do 10 sk/min (od 10 do 13 sk/min).

Tabela 2. Wartości wybranych wskaźników wysiłkowych zarejestrowane w teście na bieżni mechanicznej u narciarek (n=4) i narciarzy biegaczy (n=2)

Badany	Prędkość (km/h)	HRppa (sk/min)	HRmax (sk/min)	HRppa (% HRmax)
Narciarki biegaczki				
1. A	12,2	176	193	91
2. B	14,2	173	194	89
3. C	14,1	172	189	91
4. D	12,8	176	194	91
Narciarze biegacze				
5. E	15,0	167	187	89
6. F	14,1	165	187	88

Tabela 3. Międzyczasy na 400 m, częstość skurczów serca (HR) i stężenie mleczanu (LA) podczas testów biegowych (testu o stopniowanej intensywności na bieżni mechanicznej i według zakresu HR na bieżni tartanowej) w grupie narciarek (n=4) i narciarzy biegaczy (n=2)

Badany	Wskaźnik	PPA	10 min	20 min	30 min	Średni LA
Narciarki biegaczki						
1. A	400 m (min:s)	1:58	1:50	1:46	1:43	
	HR (sk/min)	176	166	170	178	
	LA (mmol/l)	4,0	2,28	2,12	2,24	2,2
2. B	400 m (min:s)	1:41	1:45	1:42	1:37	
	HR (sk/min)	173	163	168	176	
	LA (mmol/l)	4,0	2,07	2,06	2,78	2,3
3. C	400 m (min:s)	1:42	1:43	1:41	1:37	
	HR (sk/min)	172	162	166	172	
	LA (mmol/l)	4,0	3,78	3,97	4,89	4,2
4. D	400 m (min:s)	1:53	1:46	1:48	1:42	
	HR (sk/min)	176	166	173	177	
	LA (mmol/l)	4,0	2,75	2,39	3,07	2,7
Narciarze biegacze						
5. E	400 m (min:s)	1:36	1:36	1:32	1:28	
	HR (sk/min)	167	157	161	167	
	LA (mmol/l)	4,0	2,43	2,68	4,05	3,1
6. F	400 m (min:s)	1:42	1:47	1:44	1:40	
	HR (sk/min)	165	155	161	166	
	LA (mmol/l)	4,0	1,93	2,13	2,17	2,1

Legenda: PPA – międzyczas na 400 m i HR wyznaczone dla progu beztlenowego (stężenia mleczanu 4 mmol/l) w teście na bieżni mechanicznej; 10, 20 i 30 min – wartości wskaźników wysiłkowych podczas testu na bieżni tartanowej; Średni LA – obliczony dla stężenia mleczanu z 10, 20 i 30 min

Tabela 4. Kinetyka zmian stężenia mleczanu we krwi (LA) i zakresy częstości skurczów serca (HR) podczas testu biegowego na bieżni tartanowej (3 x 10 min) u narciarek (n=4) i narciarzy biegaczy (n=2)

Badany	Średni LA* (mmol/l)	Różnica LA	Uzyskany zakres HR (sk/min)		Różnica HR (sk/min)
			10 min	30 min	
Narciarki biegaczki					
1. A	2,2	0,0	166	178	12
2. B	2,7	0,3	166	177	11
3. C	2,3	0,7	163	176	13
4. D	4,2	1,1	162	172	10
Narciarze biegacze					
5. E	2,1	0,2	155	166	11
6. F	3,1	1,6	157	167	10

Legenda: Średni LA* – średnie stężenie mleczanu z oznaczeń w 10, 20 i 30 min; Różnica LA, HR – różnice odpowiednio w stężeniu mleczanu i wartości HR pomiędzy 10 a 30 min wysiłku

Dyskusja

W przedstawianych badaniach uczestniczyła nieliczna grupa polskich narciarzy biegaczy seniorów o najwyższym poziomie sportowym. Zagadnienie podjęte w badaniach wynikało z faktu, że w praktyce treningowej oczekuje się zwykle, aby obciążenie wyznaczone dla progu beztlenowego odpowiadało stanowi równowagi pomiędzy produkcją a utylizacją mleczanu [3, 11]. Wczesniejsze badania wśród przedstawicieli różnych dyscyplin sportowych wykazały jednakże, że przyjęcie dla wszystkich zawodników obciążeń treningowych odpowiadających stałemu stężeniu mleczanu we krwi 4,0 mmol/l (tzw. próg beztlenowy), może prowadzić do niezdolnych z oczekiwanymi stężeń mleczanu w czasie treningów kształtujących wydolność tlenową [4, 12]. Badania Keskinena i wsp. [13] udokumentowały dodatkowo wpływ zmiennej metodyki wyznaczania progu beztlenowego (stosowano różny czas trwania obciążeń wysiłkowych) na uzyskane progowe wartości HR.

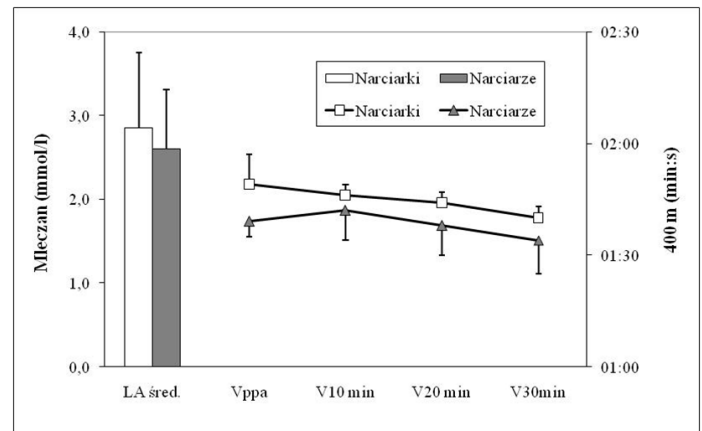
Ponieważ w praktyce treningowej często podejmuje się próby zastosowania wskaźników z badań laboratoryjnych do doboru obciążeń wysiłkowych w warunkach naturalnych, powstała potrzeba opracowania testu wysiłkowego pomocnego w weryfikacji progowej częstości skurczów serca (HRppa). Zaproponowano model submaksymalnego, 30-min testu, który umożliwi ocenę kinetyki stężenia mleczanu i przyrostów HR w długotrwałym wysiłku, a tym samym dobór zakresu HR do treningu wytrzymałości.

Należy zaznaczyć, że nieinwazyjne metody doboru intensywności treningowej od dawna znajdują szerokie zastosowanie w praktyce treningowej, gdyż wpływają na obniżenie kosztów finansowych jak i na podniesienie komfortu psychicznego zawodników [9, 14, 15]. W niektórych dyscyplinach, w tym w narciarstwie biegowym, ze względu na zmienne warunki terenowe w jakich odbywa się trening, często rezygnuje się z pomiaru parametrów mechanicznych określających intensywność wysiłku, takich jak np. prędkość biegu. W wielu przypadkach, gdy HR jest jedynym dostępnym wskaźnikiem kontroli intensywności wysiłku na założonym poziomie, niezbędne staje się posługiwanie zakresami HR, a nie jedną stałą wartością, jak w przypadku HR wyznaczonego dla progu beztlenowego. Zwraca uwagę fakt, że przeprowadzony u narciarzy biegaczy 30 minutowy test biegowy według zakresu HR opartego o HRppa, wykazał skuteczność w doborze planowanej intensywności dla treningu wytrzymałości. Wśród badanych narciarzy odnotowano stężenia mleczanu we krwi po zakończeniu testu na poziomie niższym aniżeli 4,0 mmol/l, jedynie w dwóch przypadkach było ono niewiele wyższe i wynosiło 4,89 mmol/l (C) i 4,05 mmol/l (E) (Tab. 3). Kinetykę stężenia mleczanu charakteryzowały także niewielkie przyrosty (w 2 ostatnich 10-min odcinkach biegowych wynosiły od 0,0 do +1,6 mmol/l), (porównaj Tabela 3 i 4). Według danych z literatury [6], uzyskanie w 30 minutowym wysiłku o stałej intensywności przyrostu stężenia mleczanu w ostatnich 20 min o 1,0 mmol/l charakteryzuje stan maksymalnej równowagi mleczanowej (MLSS). Ponieważ w przeprowadzonych badaniach odcinki 10 min były pokonywane ze zmienną prędkością biegu, niemożliwe było szacowanie stanu MLSS. Uzyskane natomiast w badaniach wymienione wyżej, stosunkowo niewielkie przyrosty stężenia mleczanu mogą świadczyć o równowadze między produkcją a utylizacją tego metabolitu, a więc tlenowym charakterze wysiłku.

Chociaż badania Foster'a i wsp. [9] wskazały wyższą skuteczność doboru obciążeń treningowych w oparciu o bezpośrednie pomiary stężenia mleczanu we krwi w porównaniu do pomiarów HR, to jednak proste metody nie wymagające pobrań krwi należy uznać również za wysoce przydatne. W przeprowadzonym teście, u dwojga badanych (A i F) dobór intensywności

wysiłku w oparciu o progowe HR związany był ze zbyt niskimi stężeniami mleczanu we krwi, tj. około 2,0 mmol/l (Tab. 3). W takim przypadku należy przeprowadzić powtórny weryfikację w 30 minutowym wysiłku zwiększając wartości przyjętego zakresu HR początkowo o 5 sk/min. Dodać jednak należy, że stosunkowo niskie wartości stężenia mleczanu dla MLSS notowano także w badaniach kajakarek 2,64±0,12 mmol/l [7] oraz wiosłarek 2,72±0,54 mmol/l [4]. Dla przykładu, w innych badaniach u łyżwiarzy w warunkach treningu na torze łyżwiarskim, u 68% badanych zanotowano, że MLSS uzyskano dzięki kontroli intensywności w oparciu tylko o pomiary HR [9].

Ciekawych wniosków dostarczyło porównanie stężenia mleczanu oraz prędkości biegu z bieżni mechanicznej i z bieżni tartanowej (Ryc. 1). Zwraca uwagę fakt, iż niższym stężeniom mleczanu z bieżni tartanowej w porównaniu do progu beztlenowego (średnie stężenie z pobrań w 10, 20 i 30 min wysiłku wynosiło 2,9 mmol/l u narciarek i 2,6 mmol/l u narciarzy) towarzyszyły korzystniejsze międzyczasy na 400 m odnotowane w warunkach terenowych. Należy nadmienić, że także w innych badaniach obserwowano odmienne reakcje pomiędzy wysiłkami specyficznymi wykonanymi w warunkach laboratoryjnych a wysiłkami wykonanymi w warunkach terenowych [16, 17]. W badaniach kanadyjkarzy, nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wartościami HRppa na wodzie i na ergometrze kajakarskim [18]. Jednak w przypadku wykorzystania tego wskaźnika wyznaczonego w laboratorium do treningu na wodzie, postulowano również przeprowadzenie weryfikacji na wodzie.



Rycina 1. Stężenie mleczanu (\pm SD) z trzech 10 min odcinków w teście na bieżni tartanowej oraz międzyczasy na 400 m (V) wyznaczone dla progu beztlenowego na bieżni mechanicznej (ppa) i dla 10 min odcinków na bieżni tartanowej u narciarek (n=4) i narciarzy biegaczy seniorów (n=2)

Wnioski

1. Weryfikacja progowej częstości skurczów serca wyznaczonej w laboratoryjnym teście na bieżni mechanicznej dla stężenia mleczanu we krwi 4 mmol/l, potwierdziła umiarkowaną przydatność tego wskaźnika w doborze obciążeń wysiłkowych dla treningu biegowego w warunkach naturalnych.
2. Wyznaczone w teście na bieżni mechanicznej prędkości biegu dla progu beztlenowego wymagają korekty (zwiększenia prędkości) dla potrzeb analogicznego obciążenia w wysiłku biegowym w warunkach naturalnych.

Piśmiennictwo

1. Klusiewicz, A., Trzaskoma Z., Borkowski L. & Starczewska-Czapowska J. (2004). Ocena specyficznej zdolności wysiłkowej wysokiej klasy narciarzy biegaczy oraz biathlonistów. *Wych. Fiz. Sport* 48(3), 207-214.
2. Larsson, P., Olofsson P., Jakobsson E., Burlin L. & Henriksen-Larsén K. (2002). Physiological predictors of performance in cross-country skiing from treadmill tests in male and female subjects. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 12(6), 347-353.
3. Klusiewicz, A. & Zdanowicz R. (2002). Próg beztlenowy a stan maksymalnej równowagi mleczanowej – uwagi praktyczne. *Sport Wyczyn.* 1-2, 58-70.
4. Klusiewicz, A. (2005). Relationship between the anaerobic threshold and the maximal lactate steady state in male and female rowers. *Biol. Sport* 22, 171-180.
5. Billat, V.L., Sirvent P., Py G., Koralsztein J-P. & Mercier J. (2003). The concept of maximal lactate steady state. A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med.* 33, 407-426.
6. Heck, H., Mader A., Hess G., Mucke S., Muller R. & Hollmann W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int. J. Sports Med.* 6, 117-130.
7. Diafas, V., Chrysikopoulos K., Diamanti V. & Kaloupsis S. (2009). Assessment of maximal lactate steady state in elite female kayakers. *Med. Sport* 13, 43-48.
8. Laplaud, D., Guinot M. & Favre-Juvin A. (2006). Maximal lactate steady state determination with a single incremental test exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 96, 446-452.
9. Foster, C., Crowe M.P., Holum D., Sandvig S., Schrager M., Snyder A. C. et al. (1995). The bloodless lactate profile. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 927-933.
10. Mader, A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Schürch P.M. & Hollmann W. (1976). Zur Beurteilung der Sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labour. *Sportartz Sportmed.* 27, 80-88.
11. Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 863-867.
12. Beneke, R. & Petelin von Duvillard S. (1996). Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28, 241-246.
13. Keskinen, K.L., Komi P.V. & Rusko H. (1989). A comparative study of blood lactate tests in swimming. *Int. J. Sports Med.* 10, 197-201.
14. Gilman, M.B. & Wells C.L. (1993). The use of heart rates to monitor exercise intensity in relation to metabolic variables. *Int. J. Sports Med.* 14, 339-344.
15. Swensen, T.C., Harnish C.R., Beitman L. & Keller B.A. (1999). Noninvasive estimation of the maximal lactate steady state in trained cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, 742-746.
16. Klusiewicz, A., Sitkowski D., Bieńko A., Furdal S. & Skwarczyński T. (1991). Optimizing the selection of indices for assessing the work capacity of rowers. *Biol. Sport* 8, 167-175.
17. Urhausen, A., Weiler B. & Kindermann W. (1993). Heart rate, blood lactate, and catecholamines during ergometer and on water rowing. *Int. J. Sports Med.* 14, Suppl. 1, S20-23.
18. Sitkowski, D. (2008). Próg beztlenowy u kanadyjkarzy podczas specyficznego wysiłku na wodzie i na ergometrze kajakarskim. *Pol. J. Sport Tourism* 15, 166-173.

Otrzymano: 21.04.2011

Przyjęto: 06.07.2011