

Zaangażowanie Autorów

- A – Przygotowanie projektu badawczego
B – Zbieranie danych
C – Analiza statystyczna
D – Interpretacja danych
E – Przygotowanie manuskryptu
F – Opracowanie piśmiennictwa
G – Pozyskanie funduszy

Author's Contribution

- A – Study Design
B – Data Collection
C – Statistical Analysis
D – Data Interpretation
E – Manuscript Preparation
F – Literature Search
G – Funds Collection

Łukasz Tota^{1(A,B,C,D,E)}, Wanda Pilch^{1(B,C,D,E)}, Tomasz Pałka^{1(C,D,E)},
Wiesław Błach^{3(D,F,G)}, Grzegorz Lech^{2(D,G)}, Marta Szarek^{1(F,G)},
Dorota Gryka^{1(F,G)}

¹ Instytut Nauk Biomedycznych, Akademia Wychowania Fizycznego, Kraków, Polska

² Instytut Sportu, Akademia Wychowania Fizycznego, Kraków, Polska

³ Katedra Dydaktyki Sportu, Akademia Wychowania Fizycznego, Wrocław, Polska

¹ Institute of Biomedical Sciences, University School of Physical Education in Cracow, Poland

² Institute of Sports, University School of Physical Education in Cracow, Poland

³ Faculty of Sports Didactics, University School of Physical Education in Wrocław, Poland

WPŁYW TRENINGU FIZYCZNEGO I WARUNKÓW HIPOKSYCZNYCH NA WYDOLNOŚĆ AEROBOWĄ ZAWODNICZKI TRENUJĄCEJ BIEGI NARCIARSKIE

EFFECT OF PHYSICAL TRAINING AND HYPOXIC CONDITIONS FOR AEROBIC CAPACITY ATHLETES THE TRAINED CROSS-COUNTRY SKIING

Słowa kluczowe: trening wysokogórski, wydolność aerobowa, narciarstwo biegowe
Key words: altitude training, aerobic capacity, cross-country skiing

Streszczenie

Wstęp. Pojemność tlenowa krwi, jest jednym z podstawowych czynników warunkujących zdolność organizmu do wykonywania wysiłków długotrwałych (wydolność aerobowa). Jednym z najpopularniejszych sposobów wpływających na zwiększenie pojemności tlenowej krwi jest trening w warunkach obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu w powietrzu atmosferycznym (hipoksji). Celem pracy było scharakteryzowanie efektów oddziaływania treningu w naturalnych warunkach hipoksji na zdolność wysiłkową i wybrane wskaźniki hematologiczne wysoko wytrenowanej zawodniczki uprawiającej biegi narciarskie.

Materiał i metody. Badana zawodniczka w okresie przeprowadzenia badań była reprezentantką Polski w biegach narciarskich. Zawodniczka przebywała na 12-dniowym obozie sportowym w Bormio (Passo Stelvio) na wysokości 3100 m n.p.m. Bezpośrednio po zakończeniu obozu oraz w 3, 6 oraz 9 dniu po powrocie wykonano oznaczenia wybranych wskaźników krwi. Do oceny wydolności tlenowej zastosowano test o stopniowo wzrastającym obciążeniu.

Wyniki. Maksymalny minutowy pobór tlenu w ujęciu bezwzględnym nie uległ wyraźnej zmianie po 12-dniowym treningu w warunkach wysokogórskich. Stosunek $\dot{V}O_2$ do masy ciała na poziomie progu niekompensowanej kwasicy metabolicznej uległ poprawie. Zaobserwowano wyższy poziom mleczanu oraz szybsze tempo jego restytucji po przeprowadzeniu treningu hipoksycznego.

Wnioski. Najprawdopodobniej czas trwania obozu mógł być zbyt krótki na zaobserwowanie pozytywnych morfologicznych zmian wynikających z realizowanego treningu wysokogórskiego. Wyniki niniejszego badania powinny skłonić trenerów oraz działaczy sportowych do pełniejszej periodyzacji systemu szkolenia dla zawodników trenujących sporty wytrzymałościowe.

Summary

Background. Blood oxygen capacity is one of the basic factors conditioning body ability to perform long-term exercise (aerobic capacity). One of the most popular ways to increase blood oxygen capacity is training under conditions of decreased partial pressure of oxygen in the atmosphere (hypoxia). The aim of the study was to determine the effect of training under natural hypoxic conditions on aerobic capacity and selected haematological indices in a highly trained female competitor involved in cross-country skiing.

Material and methods. During the study period the studied female competitor was a Polish representative of cross-country skiing. She participated in a 12-day sport camp in Bormio (Passo Stelvio) at an altitude of 3100 meters above sea level. Immediately after the camp and during the third, sixth and ninth day after the camp, selected blood parameters were assayed. The assessment of aerobic capacity was performed by means of a test involving a gradual increased of load.

Results. The absolute $\dot{V}O_{2max}$ levels did not significantly change after 12-day training at a high altitude. An improvement was noted in the ratio of $\dot{V}O_{2max}$ level to body mass, compared to the value at the level of threshold of decompensated metabolic acidosis (TDMA). A higher lactate level and a higher lactate restitution rate were noted after the training under hypoxic conditions.

Conclusions. Most probably, the duration of the sport camp was too short to note any favourable morphological changes resulting from the altitude training. The results of this study should motivate the trainers for a more complete periodization of training for athletes involved in endurance sport

Word count: 6065
Tables: 5
Figures: 0
References: 26

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Łukasz Tota
AWF Kraków Aleja Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków
e-mail: lukasztotal@gmail.com

Otrzymano / Received 12.06.2013 r.
Zaakceptowano / Accepted 07.10.2013 r.

Wstęp

Pojemność tlenowa krwi jest jednym z podstawowych czynników warunkujących zdolność organizmu do wykonywania wysiłków wytrzymałościowych (wydolność aerobowa). Wielkość jej uzależniona jest od ilości erytrocytów oraz poziomu hemoglobiny we krwi. Jednym z najpopularniejszych sposobów wpływających na zwiększenie pojemności tlenowej krwi jest trening wysokogórski [1]. Niedotlenienie organizmu wynikające z obniżenia ciśnienia parcjalnego tlenu w powietrzu atmosferycznym powoduje między innymi nasilenie jego reakcji obronnej w postaci pobudzenia szpiku kostnego do większej produkcji czerwonych krwinek (erythropoezy), a tym samym wzrostu zawartości hemoglobiny.

Rozważania na temat optymalnej wysokości n.p.m. na której powinien odbywać się wysiłek fizyczny oraz czasu trwania pobytu w warunkach obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu pokazują wiele możliwych metod postępowania, ale również dostarczają często rozbieżnych wniosków związanych z wpływem treningu wysokościowego na wydolność fizyczną [1-3]. Często stosowanymi modelami treningu hipoksycznego przez sportowców jest „mieszkać wysoko – trenuj wysoko” (live high and train high: LH+TH), „mieszkać wysoko – trenuj nisko” (live high and train low: LH+TL) oraz „mieszkać nisko – trenuj wysoko” (live low and train high: LL+TH), a ich skuteczność i wpływ na poprawę wydolności fizycznej sportowców nie jest do końca jednoznaczna [1,4]. W literaturze pojawiają się także liczne doniesienia na temat treningu hipoksycznego metodą przerywaną – Intermittent Hypoxic Training – IHT [1]. Wszystkie te metody mają na celu poprawę wydolności fizycznej na poziomie morza, jednak skuteczność różnych modeli treningu, przy różnym czasie ich trwania, jest wciąż dyskusyjna. Wiele badań wskazuje na poprawę wskaźników biochemicznych i morfologicznych oraz wydolności fizycznej przedstawicieli różnych dyscyplin wytrzymałościowych, jednakże część autorów jest odmiennego zdania [5,6].

Z racji wielu sprzecznych doniesień naukowych dotyczących czasu trwania, jak i optymalnej wysokości treningu wysokościowego, celem pracy było scharakteryzowanie efektów oddziaływania 12-dniowego treningu w naturalnych warunkach hipoksji (live high and train high: LH+TH) na zdolność wysiłkową i wybrane wskaźniki fizjologiczne, biochemiczne oraz hematologiczne wysoko wytrenowanej zawodniczki uprawiającej biegi narciarskie.

Materiał i metody

Badaną zawodniczką w okresie przeprowadzenia badań była reprezentantką Polski w biegach narciarskich. W 2013 roku była drugą zawodniczką na Ogólnopolskiej Olimpiadzie Młodzieży w sportach zimowych w biegu łączonym 5 km CL (styl klasyczny)+5 km F (styl łyżwą).

Badaną zawodniczką została dokładnie zapoznana z przebiegiem eksperymentu. Bezwzględny warunkiem dopuszczenia do testów laboratoryjnych było posiadanie aktualnych badań sportowo-lekarskich. Badana została poinformowana o możliwości wycofania się z projektu w dowolnym momencie. Testy wysiłkowe odbywały się pod stałym nadzorem lekarza.

Background

Blood oxygen capacity is one of the basic factors conditioning body ability to perform endurance exercise (aerobic capacity). Its level depends on red blood cell count and haemoglobin level. One of the most popular ways of increasing blood oxygen capacity is training at high altitudes [1]. Hypoxia resulting from a decrease in partial oxygen pressure in the atmosphere contributes, *inter alia*, to the enhancement of the defensive response of the body by stimulating bone marrow to produce greater amounts of red blood cells (erythropoiesis) and thus, to increase haemoglobin level.

The discussions about the optimal altitude at which physical exercise should be performed and about the duration of exposure to a decreased partial oxygen pressure suggests that multiple possible approaches can be applied, but also often provide contradictory conclusions concerning the effect of altitude training on physical capacity [1-3]. The frequently used models of hypoxic training by athletes are: “live high and train high” (LH+TH), live high and train low (LH+TL) and live low and train high (LL+TH); the effectiveness of these approaches in terms of physical capacity improvement is questionable [1,4]. In the literature there are numerous reports on altitude training using Intermittent Hypoxic Training (IHT) [1]. All these methods aim at physical capacity improvement at sea level, however, the effectiveness of a selection of training models of different duration is still open to discussion. Multiple studies indicate improvement of blood biochemical and morphological parameters and physical capacity in athletes involved in various endurance disciplines, however, some authors express different views [5,6].

Due to many contradictory scientific reports on the duration of high altitude training and the optimal altitude the athletes are exposed to, the goal of the presented study was to describe the effects of a 12-day training under natural conditions of hypoxia (live high and train high: LH+TH) on exercise capacity and selected physiological, biochemical and haematological indices in a highly trained female competitor involved in cross-country skiing.

Material and methods

During the study period the studied female competitor was a Polish representative of cross-country skiing. In 2013 she was the second female competitor at the All Poland Youth Winter Olympics in combined running at 5 km distance (classical style) + 5 km (skate style).

The competitor was informed in detail about the course of the experiment. The absolute inclusion criterion for the laboratory tests was providing the results of physical examination by a sports physician. The participant was informed that she could any time withdraw from the project. Endurance tests were constantly controlled by a physician.

Projekt badań uzyskał zgodę Komisji Bioetycznej przy Okręgowej Izbie Lekarskiej w Krakowie i został ujęty w uczelnianym planie badawczym.

Obserwacje i wszystkie badania przeprowadzono w okresie przygotowawczym do sezonu, w którym docelową imprezą sportową były Mistrzostwa Świata Juniorów w Narciarstwie Klasycznym w czeskim Libercu (2013).

Projekt badawczy zakładał zrealizowanie testów fizjologicznych (ocena wydolności aerobowej), analiz morfologicznych, biochemicznych oraz pomiarów somatycznych. Pomiarów wybranych wskaźników fizjologicznych, morfologicznych, biochemicznych oraz somatycznych dokonano przed wyjazdem na 12-dniowe zgrupowanie w Bormio (Passo Stelvio; 3100 m n. p. m.) (I seria badań) oraz bezpośrednio po zakończeniu obozu (II seria badań). Dodatkowo w 3, 6 oraz 9 dniu po powrocie wykonano ponowne oznaczenia podstawowych wskaźników krwi, przy prawidłowym nawodnieniu ustroju (III, IV oraz V seria badań).

Przystępując do pierwszej serii badań dokonano pomiarów wysokości ciała (BH), masy ciała (BM) oraz szacowania składu ciała. W pomiarze określono: wskaźnik masy ciała (BMI), procentowy poziom tkanki tłuszczowej w organizmie (%FAT), masę tkanki tłuszczowej (FM), beztłuszczową masę ciała (FFM), zawartość wody w organizmie (TBW).

Wysokość ciała zmierzono wykorzystując antropometr typu Martin. Masa i struktura ciała zostały określone techniką bioimpedancji elektrycznej z wykorzystaniem analizatora składu ciała Jawon Medical, model IOI 353 (Korea).

Wskaźnikami służącymi do oceny wydolności aerobowej były maksymalny minutowy pobór tlenu (VO_{2max}) oraz próg niekompensowanej kwasicy metabolicznej (TDMA). Do oceny wydolności tlenowej zastosowano test o stopniowo wzrastającym obciążeniu wykonywanym na bieżni mechanicznej do odmowy kontynuowania pracy.

Wysiłek testowy rozpoczynano czterominutową rozgrzewką przy kącie nachylenia bieżni wynoszącym 1° , w czasie której badana biegła ze stałą prędkością $8,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, następnie co 2 minuty zwiększano prędkość biegu o $1,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Gdy intensywność wysiłku zbliżała się do poziomu maksymalnego, a miarą tego była częstość skurczów serca (HR na poziomie około: $HR_{max} - 2 \text{ sk/min}$), podnoszono bieżnię o 1° i po każdej następnej minucie o kolejny stopień. Próba wykonywana była do momentu odmowy kontynuowania dalszej pracy.

Celem tego testu było wyznaczenie wielkości maksymalnego minutowego poboru tlenu oraz innych wskaźników fizjologicznych charakteryzujących wysiłek o narastającej intensywności, a także określenie progów wentylacyjnych – zgodnie z koncepcją Reinharda i wsp. [7] oraz Bhambhani'go i Singhla [8] – co odpowiadało progowi niekompensowanej kwasicy metabolicznej (TDMA).

W trakcie wykonywania testu stopniowanego, na podstawie analizy powietrza wydychanego, dokonano pomiaru podstawowych wskaźników układu oddechowego (wentylacja minutowa płuc – V_E , objętość oddechu – V_T , częstość oddychania – f_R , procentowa zawartość tlenu i dwutlenku węgla w powietrzu wydychanym – FEO_2 , $FECO_2$, minutowy pobór tlenu – VO_2 , minutowe wydalenie dwutlenku węgla – VCO_2 , iloraz (współczynnik) oddechowy – RQ, równoważnik

The project was approved by the Bioethics Committee at the Regional Medical Chamber in Cracow and included in the research plan of the University.

The observations and all the tests were conducted during the preparatory period before the Olympic season in which Junior World Ski Championships in Liberec, Czechoslovakia (2013) were the target sports event.

The research project assumed implementation of physiological tests (assessment of aerobic capacity), morphological and biochemical analyses and somatic measurements. Selected physiological, morphological, biochemical and somatic indices were measured prior to the 12-day camp in Bormio (Passo Stelvio; at an altitude of 3100 meters above sea level) (first series of tests) and immediately on finishing the camp (second series of tests). Additionally, during the third, sixth and ninth day after return from the camp, the next assays of basic blood parameters were performed after normal body hydration (the third, fourth and fifth series of tests).

Before the first series of tests body height (BH) and body mass (BM) were measured and body composition was assessed. The measurements assessed: body mass index (BMI), percentage of body fat (% FAT), fat mass (FM), fat-free mass (FFM) and total body water (TBW).

Body height was measured using Martin anthropometer. Body mass and structure were determined by means of electric bio-impedance using Jawon Medical body composition analyser, model IOI 353 (Korea).

The indices for the assessment of aerobic capacity included maximal oxygen uptake (VO_{2max}) and threshold of decompensated metabolic acidosis (TDMA). For the assessment of aerobic capacity a test with a gradually increased load on a treadmill (graded exercise test) was applied until refusal to continue.

The exercise test started with a 4 minute warm up with the treadmill inclination angle of 1° when the subject ran at the constant speed of $8.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, and next the speed was increased every 2 minutes by $1.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. When the intensity of exercise was near the maximal level, measured by the heart rate (HR at the level of about: $HR_{max} - 2 \text{ BPM}$) the treadmill was lifted by 1° and every next minute by a subsequent degree. The trial was performed until the subject refused to continue running.

The aim of the above mentioned test was to determine VO_{2max} level and other physiological indices, reflecting exertion of growing intensity and to determine ventilation thresholds according to the conception developed by Reinhard et al. [7] and Bhambhani and Singhl [8], which corresponded to the threshold of decompensated metabolic acidosis (TDMA).

During the graded exercise test, the basic indices of respiratory system function (minute ventilation – V_E , respiratory volume – V_T , respiratory frequency – f_R , percentage of oxygen and carbon dioxide in the expired air – FEO_2 , $FECO_2$, oxygen uptake per minute – V , carbon dioxide output per minute – VCO_2 , respiratory quotient RQ, ventilator equivalents for oxygen and carbon dioxide – $VE\cdot VO_2^{-1}$, $VE\cdot VCO_2^{-1}$) were measured.

Recording of the respiratory parameters started three minutes prior to the exercise and finished immediately after the graded exercise test. The recording was carried out in a continuous manner and the

oddechowy dla tlenu i dwutlenku węgla – $VE \cdot VO_2^{-1}$, $VE \cdot VCO_2^{-1}$).

Rejestrację wskaźników układu oddechowego rozpoczynano trzy minuty przed rozpoczęciem wysiłku, a kończono bezpośrednio po zakończeniu próby wysiłkowej. Rejestracja odbywała się w sposób ciągły, z wydrukiem danych w odstępach trzydziestosekundowych. Poziom wskaźników układu oddechowego rejestrowano z zastosowaniem skomputeryzowanego ergospirometru „Medikro 919” produkcji fińskiej, zaprogramowanego na pomiary w odstępach 30-sekundowych.

Testy wysiłkowe wykonywane były w Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie (wysokość 233 m n.p.m.) na bieżni mechanicznej Saturn 250/100R firmy h/p/Cosmos (produkcji niemieckiej) – z możliwością regulacji prędkości przesuwu taśmy, a także kąta nachylenia platformy.

Podczas testu monitorowano częstość skurczów serca (HR) za pomocą urządzenia typu „Polar S 610i” produkcji fińskiej. Rejestrację rozpoczynano trzy minuty przed startem, a kończono po trzech minutach restytucji. Częstość skurczów serca zapisywano w interwałach pięciosekundowych.

Próbki krwi do analizy stężenia mleczanu (La^-) pobierano przed testem stopniowanym, w 3 oraz w 20 minucie po jego przerwaniu. W celu oceny stężenia mleczanu w osoczu krwi zastosowano metodę kolorymetryczną, z wykorzystaniem testów enzymatycznych Lactate PAP firmy BioMerieux, przy użyciu spektrofotometru „Spekol 11” (Carl Zeiss Jena) produkcji niemieckiej.

Krew do oznaczeń hematologicznych (stężenie hemoglobiny, liczba erytrocytów, retykulocytów, wielkość hematokrytu) oraz biochemicznych (stężenie erytropoetyny), analizowano przed obozem sportowym, a także bezpośrednio po powrocie oraz w 3, 6 oraz 9 dniu od zakończenia zgrupowania.

Wskaźniki biochemiczne oznaczano testami firmy Abbott (zestawy Iron i Quantia Feritin) na analizatorze c8000 (Abbott USA). Wskaźniki hematologiczne oznaczano na analizatorze Symex 4500.

Wielkości obciążeń treningowych określono, wykorzystując dotychczasowe osiągnięcia naukowe dotyczące metod rejestracji obciążeń treningowych [9, 10]. Na podstawie prowadzonego przez zawodniczkę dziennika treningowego określono wielkość wykonanej pracy w pokonanych kilometrach i minutach w poszczególnych strefach metabolicznych: poniżej progu TDMA (strefa podprogowa), powyżej tego progu (strefa nadprogowa), w strefie okoloprogowej ($HR_{ANT} \pm 3$ sk·min⁻¹). Wartości tętna dla poszczególnych stref metabolicznych wyznaczonych podczas testu laboratoryjnego na AWF w Krakowie zostały obniżone o 10-12% dla intensywności środków treningowych w poszczególnych strefach intensywności wykonywanych podczas zgrupowania. Obciążenie organizmu będące efektem realizowanych środków treningowych było monitorowane przy użyciu kardiomonitora „POLAR 610 i” oraz monitorowana w programie POLAR.

Do opracowania wyników posłużyła aplikacja komputerowa: Excel pakietu Office 2000 firmy Microsoft®.

Badana zawodniczka w momencie przeprowadzenia badań była w wieku 20,1 lat, a jej staż treningowy wynosił 9 lat. Wysokość zawodniczki wynosiła 166,0 cm, masa ciała zmniejszała się z poziomu 60,2 kg w pierwszym badaniu do 59,4 kg w drugim badaniu.

results were printed out every three seconds. The values of the respiratory indices were recorded using the Medikro 919 Finnish computer ergospirometer, programmed for measurements in 30-second intervals.

The exercise tests were carried out at the University School of Physical Education in Cracow (at an altitude of 233 meters above sea level on the h/p/Cosmos mechanical treadmill (Germany) Saturn 250/100R. The treadmill speed and the inclination angle of the platform were regulated.

During the test, HR was monitored using the Finnish Polar S 610i heart rate monitor. The recording started three minutes prior to the test and finished after three minutes of restitution. HR values were recorded in 5-second intervals.

Blood samples for lactate (La^-) assay were collected prior to the graded exercise test during the third and the twentieth minute after the test was interrupted. In order to assess plasma lactate level, enzymatic colorimetry method (BioMerieux Lactate PAP) was applied using Spekol 11 spectrophotometer (Carl Zeiss Jena, Germany).

Blood samples for the haematological assay (haemoglobin level, erythrocyte and reticulocyte count, hematocrit) and the biochemical assay (erythropoietin level) were analysed prior to the sport camp, immediately on return and during the third, sixth and ninth day after the camp.

The biochemical indices were assayed using Abbott tests (Iron and Quantia Feritin kits) on c8000 analyser (Abbott USA). Haematological parameters were assayed using Symex 4500 analyser.

The training load was determined using current scientific achievements in training load recording [9, 10]. Based on the subject's training log, the load translated into kilometres and minutes was determined for individual metabolic zones: below TDMA (subthreshold zone), above TDMA (suprathreshold zone) and in the perithreshold zone ($HR_{ANT} \pm 3$ sk·min⁻¹). Pulse rate values for individual metabolic zones, determined during the laboratory test, carried out at the University School of Physical Education in Cracow were decreased by 10-12% for the intensity of training measures in individual spheres of intensity during the camp. Body load, resulting from the applied training measures was monitored using a POLAR 610i cardiac monitor and POLAR program monitoring.

The results were analysed using Office 2000 Microsoft® Excel package.

During the study, the subject was 20 years old and had trained for 9 years. Her body height was 166.0 cm and her body mass decreased between the tests from 60.2 kg (first test) to 59.4 (second test). This change resulted mainly from the reduction of body fat mass between the tests, from 14.3 kg (first test) to 13.2 kg (second test). Fat-free body mass of about 46 kg was maintained at a constant level throughout the study (Table 1).

Tab. 1. Wskaźniki antropometryczne badanej zawodniczki

Tab. 1. Anthropometric indices in the studied competitor

wskaźniki indices seria badań ↓ series of test	BH [cm]	BM [kg]	FFM [kg]	FM [kg]	FAT [%]	TBW [kg]	BMI
seria I first series	166,0	60,2	45,9	14,3	23,8	33,0	21,6
seria II second series		59,4	46,2	13,2	22,2	33,3	21,4

BH – wysokość ciała; BM – masa ciała, BMI – wskaźnik masy ciała, FFM – beztłuszczowa masa ciała, FM – masa tkanki tłuszczowej, FAT – odsetek tkanki tłuszczowej w organizmie, TBW – zawartość wody w organizmie
I i II seria – pomiary antropometryczne wykonane przed zgrupowaniem oraz bezpośrednio po jego zakończeniu
BH – body height, BM- body mass, BMI – Body Mass Index, FFM- fat-free body mass, FM- fat mass, FAT – percentage of body fat, TBW- total body water

The first and the second series – anthropometric measurements performed prior to and immediately following the sport camp

Zmiana ta wynikała głównie z obniżenia stopnia otluszczenia ciała – masa tkanki tłuszczowej zmniejszyła się z 14,3 kg w pierwszym badaniu do poziomu 13,2 kg w drugim. Beztłuszczowa masa ciała była w każdym badaniu na względnie stałym poziomie i wynosiła około 46 kg (Tabela 1).

Wyniki

W analizowanym okresie zawodniczka zrealizowała 26 jednostek treningowych, podczas których pokonała 450 km, a łączny czas pracy wyniósł 39:30 min. W tym okresie najwięcej środków treningowych realizowanych było z intensywnością okołoprogową – 240,9 km. Zanotowano zbliżoną ilość zrealizowanych środków treningowych o intensywności nadprogowej (24,4%) i podprogowej (22,0%). Czas zajęć poświęconych na stretching wyniósł 360 minut (Tabela 2).

Badana zawodniczka charakteryzowała się wysokim poziomem wydolności aerobowej, a potwierdzają to wysokie rezultaty pomiaru maksymalnego zużycia tlenu, które w pierwszym badaniu kształtowały się na poziomie 61,0 mL·min⁻¹·kg⁻¹. Zwiększenie poziomu relatywnych wielkości VO_{2max} o około 1,6% podczas drugiego badania wynika ze zmniejszenia masy ciała badanej zawodniczki. Zaobserwowano wydłużenie czasu biegu podczas drugiej serii badań laboratoryjnych o 60 s oraz prędkości maksymalnej o 0,8 km/h w stosunku do serii pierwszej. Poprawie uległ pokonany dystans podczas testu biegowego. Niewielkie zmiany zaobserwowano w wielkościach bezwzględnych maksymalnego minutowego poboru tlenu (Tabela 3).

Results

During the studied period of time, the subject completed 26 training units, covering the distance of 450 km and her total training time was 39:30 minutes. Within this period, most of the training measures were applied with perithreshold intensity of 240.9 km. A similar number of training measures of suprathreshold (24.4%) and subthreshold (22.0%) intensity was noted. The time of performing stretching exercises was 360 minutes (Table 2).

The subject was found to have high-level aerobic capacity, confirmed by the high values, reflecting maximal oxygen uptake, which were at the level of 61.0 mL·min⁻¹·kg⁻¹ during the first trial. The increase in the relative VO_{2max} values by about 1.6% during the second trial resulted from body mass reduction in the studied competitor. An increase in the running time was observed during the second series of laboratory tests by 60 s, and the maximal speed by 0.8 km/h, as compared with the first series. The distance covered during the running test was longer. Slight changes were noted in the absolute values of maximal oxygen uptake (Table 3).

Tab. 2. Analiza zrealizowanych obciążeń treningowych badanej zawodniczki

Tab. 2. Analysis of the training load applied for the studied competitor

Obóz sportowy Sport camp Passo Stelvio (3100 m n.p.m.) 3100 metres above sea level	Liczba jednostek treningowych Number of training units	Łączny czas treningu biegowego (h:min) Total time of running	Łączny pokonany dystans (km) Total distance covered	Intensywność podprogowa Subthreshold intensity (%)	Intensywność okołoprogowa Perithreshold intensity (%)	Intensywność nadprogowa Suprathreshold intensity (%)	Rozciąganie (min) Stretching
		26	39:30	450,3	22,05	53,50	24,45

Zaobserwowano pozytywny wpływ treningu 12-dniowego w warunkach wysokogórskich na zmiany wskaźników fizjologicznych notowanych na poziomie progu niekompensowanej kwasicy metabolicznej (Tabela 3). Poprawie uległ pobór tlenu w ujęciu względnym: 50,0 mL·min⁻¹·kg⁻¹ podczas I serii badań oraz 52,7 mL·min⁻¹·kg⁻¹ podczas II serii. Zmiany zaobserwowano także w częstotliwości skurczów serca: 175 sk·min⁻¹ oraz 177 sk·min⁻¹ odpowiednio podczas I i II serii badań (Tabela 3).

Po okresie treningu w warunkach wysokogórskich odnotowano wyższe wielkości stężenia mleczanu we krwi w trzeciej minucie od zakończenia testu o maksymalnej intensywności. Tempo usuwania mleczanu z krwi po treningu wysokogórskim uległo poprawie (Tabela 4).

Nie zanotowano istotnych zmian wskaźników wpływających na pojemność tlenową krwi podczas żadnej serii badań (Tabela 5).

A favourable effect of the 12-day altitude training on the physiological parameters was observed at the level of TDMA threshold (Table 3). The relative values of oxygen uptake improved from 50.0 mL·min⁻¹·kg⁻¹ during the first series of tests to 52.7 mL·min⁻¹·kg⁻¹ during the second series of tests. Changes were also noted in HR, from 175 beats·min⁻¹ to 177 beats·min⁻¹ during the first and the second series of tests respectively (Table 3).

After the high altitude training, higher values of blood lactate concentration were noted during the third minute after performing the test of maximal intensity. The rate of lactate elimination from the blood improved (Table 4).

No significant changes in the parameters affecting blood oxygen capacity throughout the study (Table 5).

Tab. 3. Pokonany dystans, wielkości maksymalne oraz progowe wybranych wskaźników fizjologicznych badanej zawodniczki

Tab. 3. The distance covered by the competitor, maximal and threshold values of selected physiological indices

Wskaźnik ↓ Parametr	Seria badań → Series of tests		*	I seria 1st series	II seria 2nd series
	1	2			
Pokonany dystans [m] Distance covered				4556	4811
t (min)	1			17,00	17,30
	2			23,0	24,00
v (km·h ⁻¹)	1			13,8+1 ⁰	14,0+1 ⁰
	2			16,0+2,3 ⁰	16,8+3 ⁰
HR (sk·min ⁻¹)	1			175	177
	2			197	196
VO ₂ (L·min ⁻¹)	1			3,10	3,03
	2			3,67	3,68
VO ₂ (mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	1			50,0	52,7
	2			61,0	62,0
VE (L·min ⁻¹)	1			74	70,6
	2			109	116

*1 - poziom progu niekompensowanej kwasicy metabolicznej (TDMA),

*2 - końcowa faza wysiłku finiszowego (poziom maksymalny wskaźnika).

I i II seria – testy laboratoryjne wykonane przed zgrupowaniem oraz bezpośrednio po jego zakończeniu

t – czas pracy w teście stopniowanym, HR – częstość skurczów serca; VE – wentylacja minutowa płuc; VO₂ – minutowy pobór tlenu w ujęciu globalnym (L·min⁻¹) oraz relatywnym do masy ciała (mL·min⁻¹·kg⁻¹)

*1 – the level of threshold of decompensated metabolic acidosis (TDMA)

*2 – the final phase of the final exertion (maximal index level)

1st and 2nd series – laboratory tests performed prior to and immediately following the camp

t - time of graded exercise test performance, HR – heart rate, VE – minute ventilation, VO₂ – global (L·min⁻¹) and relative to body mass minute oxygen uptake

Tab. 4. Zmiany stężenia mleczanu we krwi po teście stopniowanym
 Tab. 4. Change in blood lactate concentration after graded exercise test

Wskaźnik ↓ Index	Seria badań → Series of tests	Seria I 1st series	Seria II 2nd series
	La _{sp} (mmol·L ⁻¹)	1,04	1,13
	La ₃ (mmol·L ⁻¹)	11,11	12,0
	La ₂₀ (mmol·L ⁻¹)	2,12	3,79
	Δ La	7,99	8,61

La – stężenie mleczanu we krwi: sp. – wyjściowe, 3' - w trzeciej minucie po zakończeniu testu stopniowanego, 20' w dwudziestej minucie po zakończeniu testu, Δ - różnica La₃- La₂₀)

La – blood lactate concentration: sp. baseline, 3' – during the third minute after graded exercise test, 20' – during the 20th minute after the test, Δ - difference La₃- La₂₀)

Tab. 5. Wybrane wskaźniki morfologiczne krwi u badanej zawodniczki w okresie obserwacji
 Tab. 5. Selected blood morphological parameters in the studied competitor during the period of observation

Seria badań ↓ Series of tests	Wskaźnik Index →	RET [‰]	RBC [mln/μl]	HGB [g/dl]	EPO [mIU/ml]
I seria 1st series		5,9	4,67	15,7	9,87
II seria 2nd series		6,0	4,37	14,7	9,99
III seria 3rd series		6,2	4,27	14,4	9,74
IV seria 4th series		6,0	4,32	15,0	9,65
V seria 5th series		5,9	4,55	15,3	9,57

RET – retikulocyty, RBC – erytrocyty, HGB – hemoglobina, EPO – erytropoetyna

I - V seria – oznaczenia wybranych wskaźników krwi, kolejno: przed zgrupowaniem, bezpośrednio po powrocie z obozu oraz w 3, 6 i 9 dniu od jego zakończenia

RET – reticulocyte count, RBC – erythrocyte count, HGB – haemoglobin, EPO – erythropoietin

1st-5th series –determination of selected blood parameters before, immediately after, during the 3rd, 6th and 9th day following the camp

Dyskusja

Powszechnie uznawaną metodą zwiększającą poziom adaptacji organizmu sportowca do realizowanych obciążeń treningowych, a tym samym poprawy wydolności fizycznej jest klasyczny trening wysokościowy LH+TH [11]. Sportowcy od lat wykorzystują warunki środowiskowe, w tym obniżenie ciśnienia parcjalnego tlenu w celu zoptymalizowania procesu szkolenia.

Doniesienia wielu autorów jednoznacznie wskazują na poprawę wydolności fizycznej na poziomie morza na skutek treningu LH+TH. Inne, najczęściej występujące zmiany występujące po takim modelu treningu, to zwiększenie zdolności transportu tlenu [12], zwiększenie stężenia erytropoetyny [13] oraz zwiększenie całkowitej masy hemoglobiny [14].

Poprawę wydolności fizycznej na skutek treningu wysokościowego dopatruje się w różnych czynnikach. Oprócz wpływu warunków hipoksycznych na poprawę pojemności tlenowej krwi, należy uwzględnić doniesienia wielu autorów świadczące o wpływie treningu wysokogórskiego na zwiększenie gęstości kapilar i zwiększenie aktywności enzymów utleniających w mięśniach [15], a także podniesienie poziomu mioglobiny [16] oraz polepszenie zdolności do buforowania mięśni [17].

Discussion

Classical altitude training of LH+TH type is a recognised method, increasing the level of athlete's body adaptation to training load and thus, improving physical capacity [11]. Athletes for years have been using environmental conditions including reduction of partial oxygen pressure to optimize the training process.

The reports presented by many authors definitely indicate an improvement of physical capacity at the sea level due to LH+TH training. Other most frequent changes noted after this type of training involve the increase in oxygen uptake [12] erythropoietin concentration and total haemoglobin mass [14].

Various factors are responsible for physical capacity improvement due to altitude training. Apart from the effect of hypoxia on blood oxygen capacity improvement, we should consider the reports presented by many authors, indicating the effect of high altitude training on the improvement of capillary density and the increase in the activity of oxidising enzymes in muscles [15] as well as on the increase of myoglobin level [16] and the improvement of muscle buffering capacity [17].

Zasadniczym celem niedotlenienia organizmu podczas treningu hipoksyjnego jest usprawnienie transportu tlenu poprzez zwiększenie hematokrytu i objętości krwi. Obniżenie ciśnienia parcjalne tlenu w powietrzu atmosferycznym wzmacnia reakcję obronną organizmu na niedotlenienie, czego efektem jest stymulacja nerek do wzmożonej syntezy erytropoetyny, co z kolei stymuluje erytropoezę.

Siewierski i wsp. [18] wykazali, że 23-dniowe zgrupowanie na wysokości 2300 m n.p.m. spowodowało wzrost liczby erytrocytów, retikulocytów, stężenia hemoglobiny oraz liczby hematokrytowej. W badaniach Maciejczyka i wsp. [2] nie zaobserwowano u zawodnika trenującego chód sportowy (o wysokim poziomie sportowym) wzrostu liczby retikulocytów po 26-dniowym treningu na wysokości 1800 m n.p.m., mimo wzrostu liczby erytrocytów. Natomiast w badaniach Saunders i wsp. [15] na 9 lekkoatletach poddanych 46-dniowemu treningowi na wysokości 2860 m n.p.m., zaobserwowano zwiększenie zawartości erytropoetyny oraz hemoglobiny we krwi. Podobne zmiany w liczbie erytrocytów i retikulocytów obserwowano u badanej zawodniczki. W badaniach tych, przy analizie wskaźników morfologicznych, nie uwzględniono jednak zmian objętości osocza, których uwzględnienie podczas tego rodzaju pomiarów wydaje się zasadne [19].

Model treningu wysokogórskiego LH+TH zakłada trenowanie w okresie 3-4 tygodni na wysokości 1500-3000 m n.p.m. [11]. W procesie planowania intensywności ćwiczeń treningowych podczas treningu wysokogórskiego, należy mieć na uwadze doniesienia autorów świadczące o spadku wydolności tlenowej mierzonej maksymalnym minutowym poborem tlenu, który na wysokości 2300 m n.p.m. jest obniżony o 15%, a jego spadek na każde 1000 m wynosi 6-7% [20], a według innych doniesień, 1-2% na każde 100 m powyżej wysokości 1500 m n.p.m. [21]. Periodyzacja procesu szkolenia ma istotny wpływ na osiągnięcie najlepszych rezultatów na zawodach wysokiej rangi. Jak pokazują wieloletnie badania naukowe przeprowadzone przez Suslova [22], w pierwszych dwóch dniach po zgrupowaniu wysokogórskim obserwowane jest obniżenie wydolności fizycznej na poziomie morza. Pierwsza faza podwyższonej wydolności fizycznej występuje między 3 a 7 dniem, druga między 12 a 13 dniem. Najlepsze jednak wyniki na poziomie morza uzyskiwane są między 18 a 20 dniem oraz między 36 a 46 dniem po powrocie z obozu wysokogórskiego.

Badania Burtschera i wsp. [23] na studentach trenujących lekkoatletyczne biegi o poziomie maksymalnego minutowego poboru tlenu wynoszącym średnio $62 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, pokazały wzrost wartości $\text{VO}_{2\text{max}}$ o 10% po zastosowaniu 12-dniowego treningu na wysokości 2315 m n.p.m. U badanej zawodniczki nie zaobserwowano znaczącej poprawy maksymalnego minutowego poboru tlenu. Gore i wsp. [24] są zdania, że klasyczny trening wysokościowy LH+TH nie wpływa istotnie na poprawę wydolności fizycznej.

U badanej zawodniczki zaobserwowano wzrost maksymalnego poziomu mleczanu po teście stopniowanym o 8% w stosunku do badań przeprowadzonych przed treningiem wysokościowym. Wielu autorów zanotowało obniżenie maksymalnego poziomu mleczanu we krwi lub nie zanotowało istotnych zmian po klasycznym treningu wysokościowym trwającym 3-4 tygodnie, przeprowadzonym na poziomie 1600-1800 m n. p. m. [25,26].

The main goal of evoking hypoxia during hypoxic training is to improve oxygen transport through the increase in hematocrit level and blood volume. Decreased partial oxygen pressure in the atmospheric air enhances body defensive response to hypoxia, resulting in stimulation of kidneys to increase erythropoietin synthesis which, in turn, stimulates erythropoiesis.

Siewierski et al. [18] showed that the 23 day training at an altitude of 2300 meters above sea level resulted in the increase in erythrocyte and reticulocyte count, haemoglobin concentration and hematocrit. Maciejczyk et al. [2] did not observe any increase in reticulocyte count after the 26 day training at an altitude of 1800 meters above sea level, despite the increase in erythrocyte count. Conversely, Saunders et al. [15] in the sample of 9 track and field athletes, participating in 46 day training at an altitude of 2860 meters above sea level, noted a higher blood erythropoietin and haemoglobin concentrations. Similar changes in erythrocyte and reticulocyte count were noted in this study subject. The analysis of morphological parameters, however, did not consider changes in plasma volume which should be considered in such measurements [19].

The LH+TH model of altitude training involves 3-4 week training at altitudes of 1500-3000 meters above sea level [11]. In the process of planning of the exercise intensity during training sessions, the reports indicating a decrease in oxygen capacity, measured by maximal oxygen uptake should be considered; at an altitude of 2300 meters above sea level $\text{VO}_{2\text{max}}$ is decreased by 15% in 6-7% decrements for each 1000 m [20]. According to other reports, it decreases by 1-2% at each 100 meters above 1500 meters above sea level [21]. Periodization of training process allows obtaining the best results in high rank competitions. The results obtained by Suslov [22] in his long-term study, carried out during the first two days after returning from high-mountain camp, indicate a decrease in physical capacity at sea level. The first phase of physical capacity increase is noted between the third and the seventh day, while the second phase of this increase is noted between the twelfth and the thirteenth day. However, the best results at sea level are obtained between the eighteenth and the twentieth day and between the thirty sixth and the forty sixth day after return from the high mountain camp.

Burtscher et al. [23], in the studied sample athletes involved in running at 10% $\text{VO}_{2\text{max}}$ level amounting to $62 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ on average, showed an increase in $\text{VO}_{2\text{max}}$ values after 12 day training at an altitude of 2315 meters above sea level. In the studied competitor no improvement of maximal oxygen uptake per minute was noted. Gore et al. [24] believe that classical high altitude training of LH+TH type does not significantly improve physical capacity.

An increase of maximal lactate concentration was noted in the studied competitor after the graded test, by 8%, compared to the value obtained prior to the high altitude training. Many researchers noted a decrease in maximal blood lactate concentration or did not observe any significant changes after classical 3-4 week high altitude training at 1600-1800 meters above sea level [25, 26].

In summary, the 12-week training did not bring the expected results as no significant improvement was

Podsumowując, zrealizowany 12-dniowy trening nie przyniósł zamierzonych efektów – nie odnotowano istotnej poprawy wydolności aerobowej badanej zawodniczki, nie zaobserwowano również znacznego progressu wyników sportowych. Można zatem przypuszczać, że zbyt krótki okres pobytu na wysokości 3100 m n.p.m. jak również brak przeprowadzenia wstępnej aklimatyzacji oraz nieodpowiedni dobór intensywności stosowanych środków treningowych są mało skutecznym modelem treningu wysokościowego.

Wnioski

1. Trening realizowany na wysokości 3100 m n. p. m. o czasie trwania 12 dni w wersji „mieszkaj wysoko – trenuj wysoko” (live high and train high: LH+TH) wpłynął w niewielkim stopniu na poprawę wskaźników fizjologicznych na poziomie prognozy niekompensowanej kwasicy metabolicznej.
2. Zanotowano zwiększenie maksymalnego poziomu mleczanu po teście stopniowanym, poprawie uległo także jego tempo restytucji.
3. Najprawdopodobniej czas trwania obozu mógł być zbyt krótki na zaobserwowanie pozytywnych morfologicznych zmian wynikających z realizowanego treningu wysokogórskiego.
4. Wyniki niniejszego badania powinny skłonić trenerów oraz działaczy sportowych do pełniejszej periodyzacji systemu szkolenia dla zawodników trenujących sporty wytrzymałościowe.

noted in the aerobic capacity of the studied competitor. Her sport results did not significantly improve either. We can thus assume that too short exposure to high altitude of 3100 meters above sea level without initial acclimatization and inadequate intensity of the applied training measures results in low effectiveness of high altitude training model.

Conclusions

1. Training at an altitude of 3100 meters above sea level within 12 days in live high and train high (LH+TH) version resulted only in slight improvement of physiological parameters at the level of threshold of decompensated metabolic acidosis (TDMA).
2. An increase of maximal lactate level was noted after the graded test and lactate restitution rate improved as well.
3. Most probably, the duration of the sport camp was too short for any favourable morphological changes, resulting from the implemented high altitude training.
4. The results obtained in this study should motivate trainers and sport activists for a more complete periodization of training for endurance athletes.

Piśmiennictwo / References

1. Wilber RL. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *J Hum Sport Exerc* 2011; 6 (2): 271-286.
2. Maciejczyk M, Sudół G, Szygula Z. Influence of hypoxia training on the aerobic capacity of an elite race walker. *Hum Mov* 2012; 13 (4): 360-366.
3. Ashenden M, Gore C, Dobson G, Hahn A. Effects of a 12 days live high, train low camp on reticulocyte production and haemoglobin mass in elite female road cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; 80 (5): 472-478.
4. Wilber RL. Live High + Train Low: Thinking in Terms of an Optimal Hypoxic Dose. *Int J Sports Physiol Performance* 2007; 2 (3): 223-238.
5. Loffredo BM, Glazer JL. The ergogenics of hypoxia training in athletes. *Current Sports Medicine Reports* 2006; 5: 203-209.
6. Richalet JP, Gore CJ. Live and/or sleep high: train low, using normobaric hypoxia. *Scand J Med Sci Sports* 2008; 18 (suppl.1): 29-37.
7. Reinhard U, Müller PH, Schulling RM. Determination of anaerobic threshold by ventilatory equivalent in normal individuals. *Respiration* 1979; 38: 36-42.
8. Bhambhani Y, Singh M. Ventilatory thresholds during a graded exercise test. *Respiration* 1985; 47: 120-128.
9. Ważny Z. Struktura obciążeń treningowych oraz metody jej rejestracji i analizy [in Polish]. The structure of training loads, and methods of recording and analysis. *Zeszyty Naukowe 27: AWF Wrocław*, 1982.
10. Sozański H, Śledziwski D. Obciążenia treningowe dokumentowanie i opracowywanie danych [in Polish]. Training load – recording and processing of data. Biblioteka Trenera, Centralny Ośrodek Sportu, Resortowe Centrum Metodyczno-Szkoleniowe Kultury Fizycznej i Sportu: Warszawa, 1995.
11. Friedmann-Bette B. Classical altitude training. *Scand J Med Sci Sports* 2008; 18 (suppl.1): 11-20.
12. Levine BD, Stray-Gundersen J. Living high-training low: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 1997; 83 (1): 102-112.
13. Rusko HK, Tikkanen H, Paavolainen L. Effect of living in hypoxia and training in normoxia on sea level VO_{2max} and red cell mass [abstract]. *Med Sci in Sport Exer* 1999; 31 (5): 86.
14. Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Hahn AG, Gore CJ. Improved running economy and increased hemoglobin mass in elite runners after extended moderate altitude exposure. *J Sci Med Sport* 2009; 12 (1): 67-72.
15. Miyashita M. Key factors in success of altitude training for swimming. *Research Quarterly for Exercise & Sport* 1996; 67 (Suppl. 3): 76-78.
16. Hoppeler H, Vogt M. Muscle tissue adaptations to hypoxia. *J Exp Biol* 2001; 204: 3133-3139.
17. Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ, Martin DT, Ashenden MJ, Clark SA. et al. Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand* 2001; 173 (3): 275-286.
18. Siewierski M, Słomiński P, Białecki R, Adamczyk J. Athletic performance of swimmers after altitude training (2300 meters above sea level) in view of their blood morphology changes. *Biol Sport* 2012; 29 (2): 115-120.

19. Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 1974; 37 (2): 247-248.
20. Wehrlin JP, Hallen J. Linear decrease in VO_{2max} and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 2006; 96: 404–412.
21. Drust B, Waterhouse J. Exercise at Altitude. *Scott Med J* 2010; 55 (2): 31-34.
22. Suslov FP. Basic principles of training at high altitude. *New studies in athletics The IAAF Quarterly Magazine for NSA* 1994; 2: 45-49.
23. Burtcher M, Nachbauer W, Baumgartl P, Philadelphia M. Benefits of training at moderate altitude versus sea level training in amateur runners. *Eur J Appl Physiol* 1996; 74: 558–563.
24. Gore CJ, Hahn A, Rice A, Bourdon P, Lawrence S, Walsh C. et al. Altitude training at 2690 m does not increase total haemoglobin mass or sea level VO_{2max} in world champion track cyclists. *J Sci Med Sport* 1998; 1: 156-170.
25. Bailey DM, Davies B, Romer L, Castell L, Newsholm E, Gandy G. Implications of moderate altitude training for sea-level endurance in elite distance runners. *Eur J Appl Physiol Occupat Physiol* 1998; 78: 360–368.
26. Jensen K, Nielsen JK, Fiskestrand A, Lund JO, Christensen NJ, Secher NH. High-altitude training does not increase maximal oxygen uptake or work capacity at sea level in rowers. *Scand J Med Sci Sports* 1993; 3: 256–262.