

Akademia Wychowania Fizycznego w Warszawie¹,
Centrum Medyczne „Gallen” Katowice – Bieruń²
Academy of Physical Education in Warsaw¹,
Medical Center „Gallen” Katowice-Bieruń²

TOMASZ GABRYŚ¹, URSZULA SZMATLAN-GABRYŚ¹, KRZYSZTOF FICEK²

*The influence of height hypoxia on level of heart rate,
blood lactate concentration and total work
in work about progressive intensity at alpine skiers*

**Wpływ hipoksji wysokościowej na poziom częstości skurczów serca
i stężenia mleczanu we krwi oraz pracy o progresywnej intensywności
u narciarzy alpejskich**

Podczas wysiłku wykonywanego na wysokości przekraczającej 1200 m n.p.m. w porównaniu do wielkości rejestrowanych na nizinie stwierdzono także: wzrost wentylacji (VE) oraz wzrost maksymalnej częstości skurczów serca (HRmax). Podczas wysiłków na wysokości ponad 2500 m n.p.m. dochodzi do wystąpienia reakcji obronnych organizmu przed nadmiernym obciążeniem. Wielkość i intensywność wykonywanego wysiłku jest limitowana przez funkcje organizmu, które nie będą osiągały parametrów dostępnych na niższych wysokościach. Maksymalne wartości mocy, czasu pracy i stężenie mleczanu ulegają obniżeniu. Efektem wzrostu wysokości jest także zmniejszenie maksymalnego pochłaniania tlenu (VO₂max) przy stałym poziomie wentylacji (VE), (Astrand i wsp. 2003). Wraz z wysokością koszt energetyczny pracy rośnie, będąc związany z charakterem metabolicznym wysiłku (Fulco C. 1998). W jednokrotnych wysiłkach beztlenowych o czasie do 120 s wpływ wysokości na koszt energetyczny jest niewielki. Wzrasta natomiast z wydłużaniem czasu pracy i udziału metabolizmu tlenowego. Ma to miejsce podczas wysiłków beztlenowych powtórzeniowych lub interwałowych. Wówczas siła i efektywność metabolizmu tlenowego warunkuje w znacznym stopniu odbudowę glikogenu. Podczas wysiłków wykonywanych na wysokości stosunek ATP/ADP obniża się bardziej niż na poziomie morza, a wykorzystanie glikogenu jest również mniejsze. Wytwarzanie mleczanu jest zahamowane. Nie stwierdzono jednoznacznie czy przyczyną jest zmniejszenie kurczliwości mięśni, czy ściślej związek między rozpadem ATP a jego wytwarzaniem w wyniku utleniania. (Cerretelli 1980). Powyższe zjawisko określane jest jako „fenomen mleczanowy”, kiedy warunki wymuszają na organizmie wyższy udział metabolizmu beztlenowego w celu zachowania określonej intensywności pracy w porównaniu do obserwowanych na poziomie morza, jednocześnie funkcjonuje mechanizm ograniczający uruchamianie rezerwy glikogenu podczas wysiłku. Ze wzrostem wysokości zmniejsza się pojemność buforowa krwi i w końcowym efekcie negatywny wpływ na wydolność sportowców wykonujących wysiłki, którym towarzyszy narastanie długu tlenowego. W praktyce treningowej rejestracja wszystkich wymienionych parametrów jest utrudniona, a często ze względu na dostępność laboratorium niemożliwa.

Celem podjętych badań była ocena wpływu wysokości na indywidualne zachowania charakterystyki HR i LA u narciarzy alpejskich o różnym stażu treningowym w warunkach dużych wysokości oraz na charakterystykę zdolności do wykonania pracy maksymalnej i uzyskania maksymalnej intensywności glikolizy w grupie narciarzy alpejskich.

MATERIAŁ BADAŃ

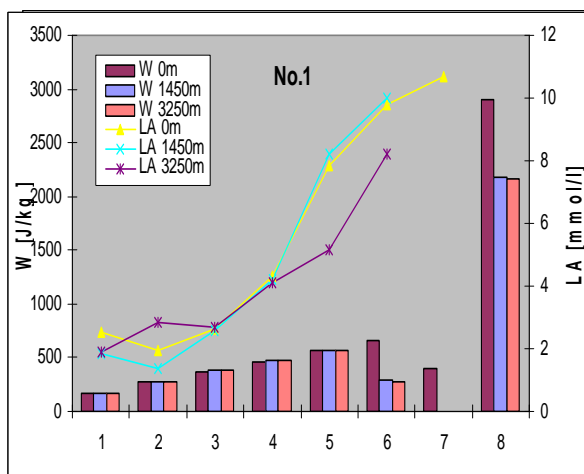
Badaniami objęto zawodników polskiej kadry olimpijskiej B i C (n=6, wiek $20 \pm 2,8$ wzrost $180,5 \pm 3,5$ cm, c.ciała $72,8 \pm 4,4$ kg) w narciarstwie alpejskim mężczyzn.

METODY BADAŃ

Program badań zakładał wykonanie testu wysiłkowego na cykloergometrze rowerowym o stopniowo wzrastającej intensywności ze stałą częstotliwością 60 ob./min, z obciążeniem wzrastającym co 3 min. Pierwsze obciążenie wynosi 1 W/kg masy ciała, a przyrost 0.5 W/kg masy ciała. Rejestrowana jest praca całkowita na każdym stopniu oraz stężenie mleczanu we krwi (LA) (fotometr Dr Lange LP 20, odczytniki LKM 140, Dr Lange, Germany), a także częstość skurczów serca (HR) (Sport Tester Polar 720i, OY Kempele, Finlandia). Badania przeprowadzono na trzech wysokościach : w Centralnym Laboratorium AWF Warszawa (wysokość 260 m npm), oraz w Austrii, miejscowość Hintertux (wysokość 1450 m npm) oraz lodowiec Hintertux (wysokość 3250 m np.m.). Rezultaty badań opracowano metodami statystyki matematycznej, posłużono się także analizą porównawczą pojedynczych przypadków.

WYNIKI

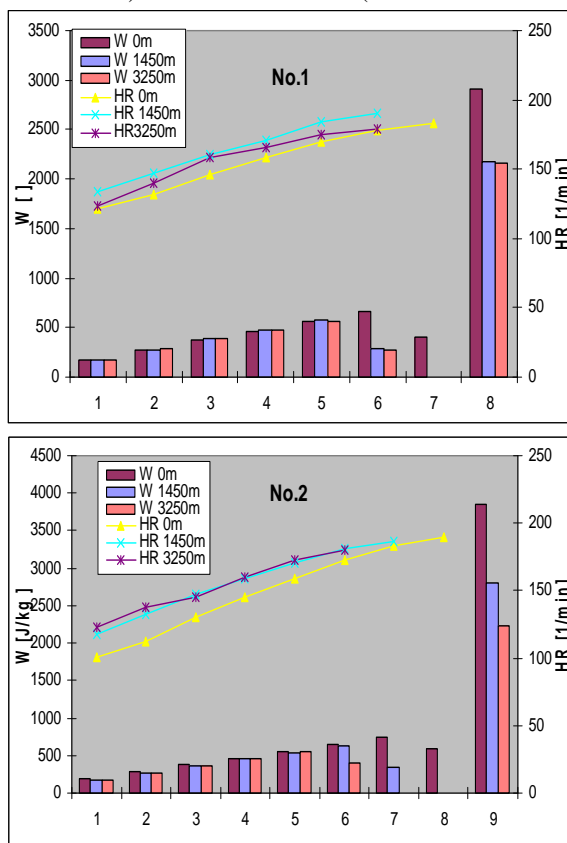
Analizę porównawczą dynamiki pracy całkowitej i stężenia mleczanu we krwi rejestrowanych na poziomie 200 m n.p.m., 1450 m n.p.m. oraz 3250 m n.p.m. u dwóch narciarzy alpejskich przedstawiono na ryc. 1.



Ryc. 1. Dynamika pracy całkowitej i stężenia mleczanu we krwi rejestrowanych na poziomie 200 m n.p.m., 1450 m n.p.m. oraz 3250 m n.p.m. u dwóch narciarzy alpejskich

Narciarz no. 1, to zawodnik w wieku 16 lat, który od 3 lat przebywa i trenuje w ciągu roku 120-150 dni na wysokości powyżej 2500 m n.p.m. Badany no. 2 to narciarz także w wieku 16 lat, którego ilość dni treningowych w ostatnich 2 latach na wysokości przekraczającej 250 m n.p.m. zawierała się w przedziale 40-50. Suma wykonanej pracy na poziomie 200 m n.p.m. u badanego no. 2 wynosi 3846,23 J/kg i jest statystycznie istotnie ($p < 0.001$) niższa niż u badanego no. 1 - 2907,07 J/kg. Wraz ze wzrostem wysokości, charakterystyka zmian tego parametru ulega dalszemu różnicowaniu. U badanego no. 2 istotnie ($p < 0.001$) obniża się już na wysokości 1450 m n.p.m., do poziomu 2795,88 J/kg oraz do poziomu 2228,86 J/kg na wysokości 3250 m n.p.m. Zaobserwowane charakterystyki są zgodne z obserwacjami zmian poziomu wykonywanej pracy dokonanymi w badaniach (Fulco 1998). Odmienne przedstawia się charakterystyka zmian zarejestrowana u badanego no. 1. Na wysokości 200 m n.p.m. wartość pracy całkowitej - 2907,07 jest statystycznie niższa ($p < 0.001$) od zarejestrowanej u dwójki pozostałych zawodników. Poziom ten, ulega obniżeniu na wysokości 1450 m n.p.m. (do 2172,81 J/kg, $p < 0.001$). Dalszy wzrost wysokości nie wpływa już jednak na zmiany zdolności do wykonania pracy o progresywnie wzrastającej intensywności u tego badanego no. 1.

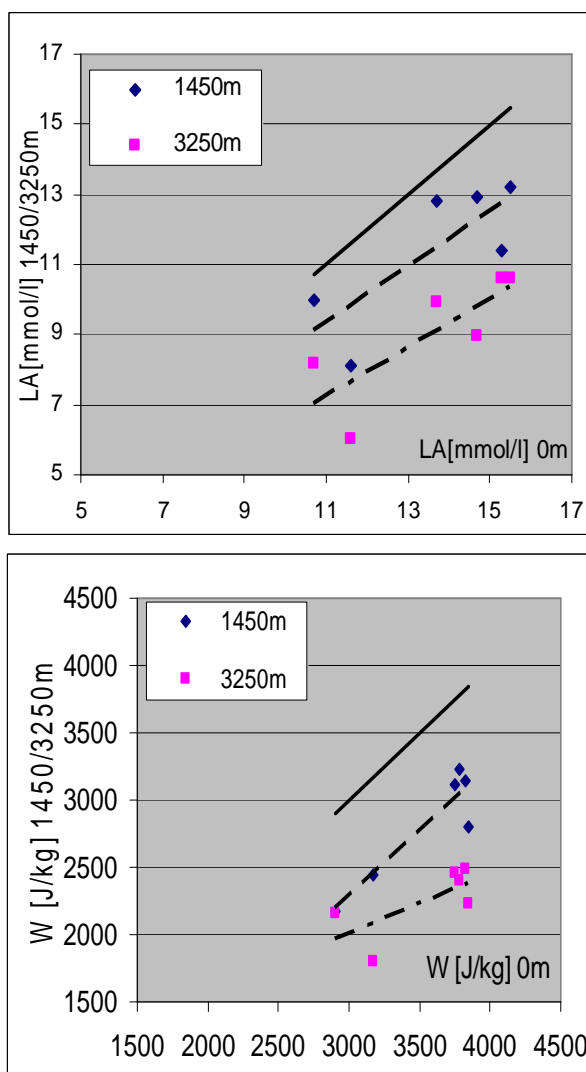
Zarejestrowana tej wysokości wielkość pracy całkowitej (2163,57 J/kg), nie różni się statystycznie istotnie od rejestrowanej na wysokości 1450 m n.p.m. Na wysokości 3250 m n.p.m., wartości rejestrowane u badanego no. 1 nie różniły się od rejestrowanych u badanego no. 2. Charakterystyka dynamiki stężenia mleczanu we krwi (LA) na poszczególnych stopniach wysiłkowych u obydwu badanych nie wykazuje różnicy ze względu na charakter zmienności, zależnie od wysokości. Najwyższe wartości rejestrowano na wysokości 200 m n.p.m., najniższe na poziomie 3250 m n.p.m. Zakres zmian jest jednak zróżnicowany. Większą wartość różnicy stwierdzono u zawodnika nr 2 (obniżenie od 11.6 do 6.04 mmol/l) niż u zawodnika no. 1 (od 10.7 do 8.19 mmol/l).



Ryc. 2. Dynamika pracy całkowitej i HR rejestrowanych na poziomie 200 m n.p.m., 1450 m n.p.m. oraz 3250 m n.p.m. w grupie narciarzy alpejskich

Trzecim wskaźnikiem charakteryzującym reakcję organizmu na zmianę wysokości podczas wysiłku, była częstość skurczów serca (ryc. 2a, b). Pod względem poziomu wartości maksymalnych, obserwowana charakterystyka jest zbieżna u badanych no. 1 i 2 tylko pod względem tendencji. Najwyższe wartości zarejestrowano u obydwu badanych na wysokości 200 m n.p.m. (No.1-183, no. 2- 190 ud/min.). Na wysokości 1450 m n.p.m. obserwowany jest wzrost jedynie u badanego no 1 (do 188 ud/min). Na wysokości 3250 m n.p.m. u obydwu narciarzy stwierdzono obniżenie wartości HRmax (No. 1- od 188 do 179 ud/min, No.2 – 190 do 180 ud/min.,).

Na ryc. 3 przedstawiono charakterystykę wpływu wysokości na maksymalną wielkość wykonywanej pracy i LAmax u narciarzy alpejskich.



Ryc. 3. Charakterystyka wpływu zmiany wysokości na poziom pracy całkowitej i LA rejestrowanych na poziomie 200 m n.p.m., 1450 m n.p.m. oraz 3250 m n.p.m. w grupie narciarzy alpejskich

Linia trendu opisana równaniem $y=x$, wyznacza charakterystykę zależności między LAmax i pracą całkowitą w przypadku dwóch takich samych wartości zarejestrowanych u badanego w kolejnych badaniach. Sytuacja powyższa występuje wówczas, kiedy w krótkim odstępie czasu powtarzana jest ta sama próba wysiłkowa w tej samej grupie badanych. Zmiany w wartościach rejestrowanych parametrów zachodzą wówczas kiedy wprowadzony zostaje do procedury eksperymentalnej czynnik modyfikujący warunki lub protokół próby. W naszym eksperymencie czynnikiem zmiennym, była wysokość na której wykonywano badanie. Tym samym przyjęto założenie, że na zmiany w zakresie wartości rejestrowanych parametrów istotny wpływ ma hipoksja wysokościowa. Wzrost odchylenia od trendu wartości wyznaczonego równaniem $y = x$ zaobserwowano w przebiegu wartości obydwu parametrów i jest on ściśle związany ze wzrostem wysokości. W przypadku LAmax, trendy dla wysokości 1450 m n.p.m. ($y=0.7884x + 0.6753$) i 3250 m n.p.m. ($y=0.6988x - 0.4489$), układają się równolegle. W przypadku pracy całkowitej trend dla wysokości 1450 m n.p.m. opisany równaniem

$y=0.9747x - 639.17$ jest ułożony równoległe do trendu $y = x$ z lekkim odchyleniem w kierunku osi wartości na nizinie (oś OX). Dla wartości rejestrowanych na wysokości 3250 m n.p.m. wyznaczony trend opisany równaniem $y= 0.4458x + 677.56$ jest odchylony wyraźnie w kierunku osi wartości rejestrowanych na nizinie.

WNIOSKI

Na podstawie rezultatów przedstawionych badań można wysunąć następujące wnioski:

- ⇒ zawodnik o mniejszym udziale metabolizmu beztlenowego w wysiłku progresywnym na poziomie 200 m n.p.m. w mniejszym stopniu reaguje pod względem wielkości całkowitej wykonanej pracy oraz stężenia mleczanu na wzrost wysokości;
- ⇒ wieloletnie długotrwałe przebywanie i podejmowanie wysiłku treningowego na dużych wysokościach może prowadzić do adaptacji organizmu i zmniejszenia wpływu hipoksji wysokościowej na zdolność do podejmowania pracy;
- ⇒ nie obserwuje się zauważalnego wpływu wielokrotnego długotrwałego przebywania na dużych wysokościach na obniżenie częstości maksymalnej częstości skurczów serca postępujące z wysokością, obserwowane min. w badaniach (Sime et al 1974).
- ⇒ proporcjonalne do wysokości następuje zmniejszanie się maksymalnego stężenia mleczanu jakie osiągają podczas wysiłku progresywnego narciarze alpejscy;
- ⇒ wraz ze wzrastającą wysokością następuje ograniczenie zdolności do wykonania pracy znacznej objętości charakterystycznej dla wysiłku o stopniowo wzrastającej intensywności

PIŚMIENNICTWO

1. Astrand P.O., i wsp. [2003] Textbook of work physiology. Human Kinetics, Champaign, I, 2003l.
2. Cerretelli P. Gas exchange at high altitude (w) Pulmonary Gas Exchange, Vol. II (red. J. West), Academic Press, N.Y.,1980 :97-147.
3. Fulco C. Maximal and submaximal exercise performance at altitude. Aviat. Space Enviro. Med. 69, 1998 :793.
4. Stenberg J., Ekblom B., Messin R. Hemodynamic response to work at simulated altitude, 4000m. J. Appl. Physiol. 21 (5), 1966 :1589-1594.
5. Sime F., Penalzoza D., Ruiz L., Gonzales N., Covarrubias E., Postigo R. Hypoxemia, pulmonary hypertension and low cardiac output in newcomers at low altitude. J. Appl. Physiol. 36, 1974: 5661.

STRESZCZENIE

Celem podjętych badań była ocena wpływu wysokości na indywidualne zachowania dynamiki HR i LA u narciarzy alpejskich oraz na charakterystyki zdolności do podjęcia pracy o maksymalnej intensywności w warunkach intensywnej glikolizy u narciarzy alpejskich. Rezultaty badań wskazują, że wieloletnie długotrwałe przebywanie i podejmowanie wysiłku treningowego na dużych wysokościach może prowadzić do adaptacji organizmu i zmniejszenia wpływu hipoksji wysokościowej na zdolność do podejmowania pracy. Proporcjonalne do wysokości następuje zmniejszanie się maksymalnego stężenia mleczanu jakie osiągają podczas wysiłku progresywnego narciarze alpejscy, co wpływa na ograniczenie zdolności do wykonania pracy o znacznej objętości charakterystycznej dla wysiłku o stopniowo wzrastającej intensywności

SUMMARY

The aim of the investigations was to estimate the influence of height on the individual behavior of the dynamic HR and LA the alpine skiers as well on the characteristic of the ability to realize the maximal work intensity during intense glycolysis in those athletes. The results of the investigations show that long stay and realize the effort on the high altitude can lead to adaptation of the body and decrease the influence of the height hypoxia for the ability to perform the work. In proportion to the

height it occurs the decrease maximal blood lactic acid concentration, what impacts for limitation the ability to realize the work to large capacity which is characteristic for gradual intensity.