

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

Krzysztof Buśko

Zakład Biomechaniki, Instytut Sportu, Warszawa
Zakład Antropologii, Akademia Wychowania Fizycznego, Warszawa

ZMIANA WYDOLNOŚCI ANAEROBOWEJ POD WPŁYWEM TRENINGÓW REALIZOWANYCH WYSIŁKAMI O STAŁEJ MOCY W RÓŻNYM RYTMIE

CHANGES OF ANAEROBIC CAPACITY AFTER TRAINING
REALISE EFFORTS OF CONSTANT POWER AT DIFFERENT
PEDALLING RATES

Słowa kluczowe: kwas mlekowy, moc, test Wingate'a, trening na cykloergometrze, wydolność anaerobowa

Key words: blood lactate, anaerobic capacity, Wingate'a test, cycle ergometer training, power output

Summary

Background. The purpose of this research was to examine the effect of training sessions performed on cycloergometer, with equal energy expenditure, constant power output (250 Watts) but different cadences, on selected variables: anaerobic capacity, blood lactate level, and acids-bases balance. The relationship between blood lactate and anaerobic power was also investigated.

Material and methods. Twenty-three non-competitive male athletes, being the students from Academy of Physical Education participated in this study. They were divided into two groups. Each of them performed training sessions, which consisted each from five 3-minutes bouts of constant power output amounted 250 W, but of different cadences; group W80 (n=11) – 80 rpm, group W45 (12) – 45 rpm. The intermissions between the bouts were the same (2 minutes) for two groups. Wingate test were performed each Monday of the training period lasting 4 weeks, and of recovery period lasting two weeks.

Results. After training period non-significant rise of peak power output were noted in W80 group (by 1.2%), and in W45 group (by 2.6%). Significant changes in mean power output were observed in W80 (by 6.1%) and in W45 (by 7.2%) two and one weeks after training session respectively. After training periods the means peak blood lactate for both groups, calculated from individual post-exercise maximal responses were significantly lowered, compared to pre-training condition; in W80 from 15.50 ± 1.45 to 13.73 ± 2.60 mmol/L, in W45 from 15.06 ± 1.50 to 13.84 ± 2.19 mmol/L.

Conclusions. Both training regimens brought about significant alternations of anaerobic capacity. Blood lactate responses to Wingate, and anaerobic capacity does not depend on cycling cadence over training period.

Word count: 5448
Tables: 3
Figures: 2
References: 47

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Krzysztof Buśko
Zakład Biomechaniki, Instytut Sportu
01-982 Warszawa, ul. Trylogii 2/16, tel./fax: (0-22) 835-31-54 wew. 247, e-mail: krzbusko@poczta.onet.pl

Otrzymano / Received 19.07.2005 r.
Zaakceptowano / Accepted 07.09.2005 r.

Wstęp

W piśmiennictwie jest wiele prac opisujących zmiany wydolności anaerobowej po treningu szybkościowym [1,2,3,4,5] i niewiele opracowań dotyczących zmian mocy anaerobowej pod wpływem treningów realizowanych wysiłkami o stałej mocy [6]. Brakuje również w literaturze, mimo wielu prac opisujących reakcje organizmu na pojedyncze wysiłki submaksymalne o stałej mocy wykonywane w różnym rytmie na cykloergometrze [7,8,9,10,11,12,13,14], doniesień opisujących wpływ częstości pedałowania na potreningowe zmiany mocy. W pracach Woolforda i wsp. [15], Żołędzia [16], Żołędzia i wsp. [17] stwierdzono, że częstość pedałowania w zakresie 40-100 obr./min nie wpływa na wartości VO_{2max} otrzymanego w testach stopniowanych. Również moce generowane podczas pracy z rytmem pedałowania 60, 80 i 100 obr./min nie różniły się istotnie [16]. Natomiast w pracy McNaughtona i Thomasa [18], w teście stopniowanym niezależnie od częstości pedałowania 50, 90 i 110 obr./min, otrzymane wartości VO_{2max} nie różniły się istotnie, natomiast największą moc rozwinięto przy 50 obr./min, a najmniejszą przy 110 obr./min. Również w pracy Żołędzia i wsp. [19] VO_{2max} otrzymane w teście stopniowanym wykonanym z dwoma częstościami pedałowania 60 i 120 obr./min było takie same, ale rozwijane moce różniły się istotnie (odpowiednio: 293 i 223 W). W pracy Deschenesa i wsp. [20] stężenie kortyzolu ulegało zwiększeniu po 30-minutowym wysiłku submaksymalnym (50-55% VO_{2max}) wykonywanym z częstością 40 obr./min, podczas gdy nie zmieniło się po jeździe z częstością 80 obr./min. Natomiast Opaszowski i Buśko [21] otrzymali różne reakcje hormonalne po jednorazowych treningach realizowanych 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W, z częstością pedałowania 45 i 80 obr./min (wszystkie parametry jednorazowych treningów jak w prezentowanej pracy). Po wykonaniu pięciu wysiłków z częstością pedałowania 45 obr./min, stężenie hormonu wzrostu (GH) istotnie wzrosło z $0,27 \pm 0,15$ do $7,27 \pm 5,43$ ng/ml, stężenie kortyzolu uległo zaś nieistotnemu obniżeniu z równoczesnym istotnym zwiększeniem stężenia testosteronu. Wskaźnik T/C uległ istotnej zmianie z $3,48 \pm 1,13$ do $4,66 \pm 1,74$. Seria pięciu wysiłków wykonywanych z częstością pedałowania 80 obr./min spowodowała istotny wzrost stężenia GH z $0,45 \pm 0,41$ do $16,82 \pm 6,68$ ng/ml oraz istotny wzrost stężenia kortyzolu i testosteronu. Wskaźnik T/C uległ istotnemu obniżeniu z $4,0 \pm 1,55$ do $2,99 \pm 1,48$. Istotne różnice między wysiłkami realizowanymi z częstością pedałowania 45 obr./min a 80 obr./min znaleziono dla GH i kortyzolu. McNaughton i Thomas [18] zalecali dla jazdy wytrzymałościowej niższą częstość pedałowania, natomiast Żołędź [16] sugerował, że wybór wysokich częstości pedałowania podczas wysiłków o dużej mocy jest korzystniejszy w porów-

naniu z małymi częstościami. Opisane w piśmiennictwie rezultaty odmiennych reakcji hormonalnych i mocy rozwijanych przy tych samych wartościach VO_{2max} sugerują, że rytm pedałowania może mieć wpływ na reakcje organizmu wywołane treningiem realizowanym wysiłkami wykonywanymi z różną częstością pedałowania. Stąd też interesujące wydaje się zbadanie, jak treningi na cykloergometrze realizowane równoważnymi wysiłkami o stałej mocy 250 W wpływają na wydolność anaerobową i powysiłkowe stężenie LA oraz czy rytm pedałowania ma istotny wpływ na otrzymane rezultaty.

Celem pracy było określenie wpływu treningów złożonych z równoważnych wysiłków o stałej mocy 250 W i różnej częstości pedałowania na cykloergometrze na: wydolność anaerobową, stężenie kwasu mlekowego i równowagę kwasowo-zasadową we krwi kapilarnej oraz zależności między stężeniem kwasu mlekowego a mocą anaerobową rozwijaną w teście Wingate'a.

Materiał i metody

W badaniach uczestniczyło 23 studentów AWF (podzielono ich na dwie grupy), którzy nie trenowali wyczerpująco. Pierwsza grupa W80 (n=11) wykonywała 3-minutowe wysiłki o stałej mocy 250 W z częstością pedałowania 80 obr./min. Druga grupa W45 (n=12) wykonywała 3-minutowe wysiłki o stałej mocy 250 W z częstością pedałowania 45 obr./min. Charakterystykę badanych zamieszczono w Tabeli 1. Pod względem cech antropometrycznych grupy nie różniły się istotnie.

Badania uzyskały akceptację Komisji Etyki Badań Naukowych. Uczestnicy byli poinformowani o celu badań i metodyce postępowania oraz możliwości rezygnacji z udziału w eksperymencie na dowolnym etapie realizacji badań. Badani wyrazili pisemną zgodę na udział w eksperymencie. Wszystkie pomiary wykonano w godzinach rannych.

Przed rozpoczęciem eksperymentu uczestnicy zapoznani się z protokołem. Wszyscy badani przez 4 tygodnie, 4 razy w tygodniu, wykonywali trening na cykloergometrze Monark 824E (Szwecja), połączonym z komputerem z oprogramowaniem „MCE v. 4.0” („JBA” Zb. Staniak, Polska). W czasie treningów zadaniem badanych było utrzymanie stałej częstości pedałowania. Za pomocą programu „MCE” dokonywano pomiarów i obliczeń mocy, wartości wykonanej pracy oraz czasów pracy i wypoczynku. Pojedynczy trening obejmował:

- grupa W80 – pięć wysiłków 3-minutowych o stałej mocy 250 W i wykonanej pracy ok. 45 kJ (częstość pedałowania 80 obr./min, obciążenie 31,0 N zawieszona na szalce cykloergometru). Przerwa między wysiłkami wynosiła 2 minuty.
- grupa W45 – pięć wysiłków 3-minutowych o stałej mocy 250 W i wykonanej pracy ok. 45 kJ (czę-

Tab. 1. Charakterystyka badanych grup (średnie \pm SD)

Tab. 1. Mean (\pm SD) of physical characteristic

Grupy	Wiek [lata]	Wysokość ciała [cm]	Masa ciała [kg]
W80 (n=11)	23,3 \pm 1,1	182,8 \pm 7,9	80,3 \pm 12,1
W45 (n=12)	22,7 \pm 1,4	182,1 \pm 6,5	79,7 \pm 9,6

trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obr./min

– grupa W80 i 45 obr./min – grupa W45;

stość pedałowania 45 obr./min, obciążenie 55,0 N zawieszona na szalce cykloergometru). Przerwa między wysiłkami wynosiła 2 minuty.

Ponieważ w obu grupach wartości wykonanej pracy i mocy treningowej były takie same, częstość pedałowania różnicowała odpowiedź organizmu na trening.

Przez cały okres trwania eksperymentu badani nie wykonywali żadnych dodatkowych treningów oraz nie stosowali suplementacji żywieniowej.

W każdy poniedziałek, przed rozpoczęciem treningów (0), przez cztery tygodnie treningów (1-4) i dwa tygodnie po zaprzestaniu treningów (5-6), wykonywano pomiary kontrolne wydolności anaerobowej (test Wingate'a). Oznaczeń stężenia kwasu mlekowego i równowagi kwasowo-zasadowej w spoczynku oraz po wykonaniu testu Wingate'a w 5, 7, 9 i 30 minucie dokonano w poniedziałek przed rozpoczęciem treningów (0), po dwóch (2) i czterech tygodniach treningu (4) oraz w dwa tygodnie po zaprzestaniu treningów (6). Dodatkowo w obu grupach zmierzono stężenie kwasu mlekowego w spoczynku przed rozpoczęciem 16 treningu i po jego zakończeniu.

Test Wingate'a wykonywano po standardowej rozgrzewce na cykloergometrze i 5-minutowej przerwie odpoczynkowej. Test polegał na wykonaniu maksymalnego 30-sekundowego wysiłku z indywidualnie dobranym obciążeniem, uwzględniającym masę ciała badanego [22]. Obciążenie wynosiło 7,5% masy ciała. W badaniach wykorzystano cykloergometr Monark 824 E (Szwecja) połączony z komputerem klasy IBM PC Pentium z programem „MCE v. 4.0” („JBA” Zb. Staniak, Polska). Czujniki mocowano na kole zamachowym, które pokonywało dystans 6 m podczas jednego obrotu pedałem. Badani, po dobraniu dla siebie odpowiedniej wysokości siodełka i kierownicy, wykonywali test w pozycji siedzącej bez wstawiania na pedały, rozpoczynając jazdę z nieruchomej pozycji ze stopami przymocowanymi paskami do pedałów. Przestrzegano standardowych warunków podczas wykonania wysiłku oraz energicznie zachęcano badanych do osiągania jak najszybciej maksymalnej częstości pedałowania i utrzymania jej jak najdłużej. Korzystając z oprogramowania „MCE v. 4.0” dokonano pomiarów i obliczeń: mocy średniej (P_m), mocy maksymalnej (P_{max}), pracy wykonanej w 30-sekundowym wysiłku (W) i indeksu zmęczenia (FI). P_m liczono jako iloraz wykonanej w teście pracy i czasu trwania wysiłku, FI natomiast jako stosunek średniej wartości spadku mocy od uzyskania P_{max} do wartości mocy na końcu testu. Dodatkowo 30-sekundowy przebieg mocy podzielono na dwa przedziały trwające: pierwsze 10 s – P_{m10} i pozostałe 20 s – P_{m20} .

W celu oznaczenia stężenia kwasu mlekowego i równowagi kwasowo-zasadowej pobierano krew kapilarną z opuszki palca do heparynowanych kapilarów w spoczynku oraz po wykonaniu testu Wingate'a w 5, 7, 9 i 30 minucie wycieczki. Między pobraniami badani biernie odpoczywali.

Kwas mlekowy analizowano używając gotowych zestawów do oznaczeń kwasu mlekowego Lactat Enzymat DRLANGE firmy Dr B. Lange GmbH (Niemcy), w minifotometrze LP 20 firmy DRLANGE (Niemcy).

W analizatorze gazów krwi Ciba-Corning 248 (Wielka Brytania) analizowano następujące parametry równowagi kwasowo-zasadowej: BE , HCO_3^{act} , pCO_2 i pH . W analizie powysiłkowej parametrów równowagi kwasowo-zasadowej uwzględniono tylko pH ,

ze względu na równoległy (podobny) przebieg pozostałych wskaźników.

Rezultaty testu Wingate'a, stężenia kwasu mlekowego i równowagi kwasowo-zasadowej porównywano wykonując analizę ANOVA/MANOVA w układzie z powtarzającymi pomiarami. Istotność różnic średnich badano post hoc testem LSD (least significant difference test). Stopień zależności między wartościami wskaźników wydolności anaerobowej a stężeniem kwasu mlekowego oceniano na podstawie współczynników korelacji Pearsona. Wszystkie obliczenia wykonano programem Statistica TM v. 5.5. (StatSoft, Inc., USA).

Wyniki

Wyniki badań uzyskane w 30-sekundowych wysiłkach maksymalnych przedstawiono w Tabeli 2. Moc maksymalna (P_{max}) nie uległa istotnym zmianom w obu grupach (W80 1,2% i W45 2,6%).

W przypadku mocy średniej (P_m), największe istotne zmiany obserwowano w grupie W45 (7,2%) w pierwszym tygodniu po zaprzestaniu treningów, a w grupie W80 (6,1%) – w drugim tygodniu po zaprzestaniu treningów. Średnie wartości P_{max} i P_m nie różniły się istotnie między grupami.

Indeks zmęczenia (FI) uległ istotnemu, największemu zmniejszeniu w grupach W80 i W45 po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów. Istotne różnice między grupami W80 i W45 obserwowano po pierwszym i trzecim tygodniu trwania treningu.

Analizując przebieg mocy średniej w pierwszych 10 s (P_{m10}) i pozostałych 20 s (P_{m20}) trwania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego w grupie W80 stwierdzono istotne zmiany P_{m20} po trzecim i czwartym tygodniu treningów oraz w dwutygodniowym okresie po-treningowym zarówno w wartościach bezwzględnych, jak i w procentowych różnicach liczonych względem pomiaru sprzed rozpoczęcia treningów (Tab. 3). P_{m10} nie uległo istotnym zmianom w grupie W45 i W80. Natomiast P_{m20} w grupie W45 uległa istotnym zmianom zarówno w wartościach bezwzględnych, jak i w procentowych różnicach liczonych względem pomiaru sprzed rozpoczęcia treningów, po 1, 2, 3 i 4 tygodniach treningu oraz w dwutygodniowym okresie po-treningowym.

Zmierzone przed i po 16 treningu stężenie kwasu mlekowego (LA) we krwi kapilarnej wyniosło w grupach: W80 – 8,09 3,08 mmol/l, W45 – 8,79 3,74 mmol/l. Nie znaleziono istotnych różnic między W80 i W45 w stężeniu LA .

Analizując stężenie mleczanu po teście Wingate'a obserwowano w grupie W45 przesunięcie czasu wystąpienia największego stężenia mleczanów z 9 minuty w pomiarze przed rozpoczęciem treningów do 5 minuty w pomiarach kontrolnych wykonanych po 4 tygodniach treningu i po dwóch tygodniach od zakończenia treningów (Ryc. 1). Największe istotne zmiany stężenia LA stwierdzono w badaniach wykonanych po czterech tygodniach treningów w 5, 7 i 9 minucie. W grupie W80 we wszystkich pomiarach kontrolnych największe stężenie LA wystąpiło w 5 minucie po zakończeniu testu Wingate'a. Największe zmiany liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem treningów obserwowano po 4 tygodniach treningu w 5, 7, 9 i 30 minucie. Średnie wartości indywidualnego piku stężenia LA (największa wartość stężenia LA występująca po teście Wingate'a dla każdego bada-

Tab. 2. Średnie wartości (SD) mocy maksymalnej (P_{max}), mocy średniej (P_m) i indeksu zmęczenia (FI) oraz istotność różnic średnich między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy (* – $p < 0,05$).

Tab. 2. Mean (\pm SD) of maximal power (P_{max}), mean power (P_m), fatigue index (FI) and the significance differences between mean value measurement before starting investigations (0) and successive measurements in the period of a four week training (1-4) and a two week period after finishing the training (5-6); $p < 0.05$

Zmienne		0	1	2	3	4	5	6
	W80	869,8	880,5	874,9	895,0	864,3	869,4	878,4
P_{max}		$\pm 114,9$	$\pm 124,8$	$\pm 134,0$	$\pm 123,7$	$\pm 131,4$	$\pm 120,3$	$\pm 102,3$
[W]	W45	861,5	872,4	856,1	859,3	873,8	875,4	878,8
		$\pm 120,3$	$\pm 85,6$	$\pm 82,2$	$\pm 95,1$	$\pm 103,4$	$\pm 93,0$	$\pm 93,8$
	W80	10,87	10,99	10,89	11,17	10,78	10,88	11,00
$P_{max}/masa$		$\pm 0,61$	$\pm 0,59$	$\pm 0,33$	$\pm 0,50$	$\pm 0,62$	$\pm 0,91$	$\pm 0,66$
[W/kg]	W45	10,81	10,99	10,79	10,82	10,99	11,03	11,06
		$\pm 0,80$	$\pm 0,58$	$\pm 0,61$	$\pm 0,63$	$\pm 0,67$	$\pm 0,74$	$\pm 0,67$
	W80	659,3	680,4*	684,6*	704,9*	689,1*	696,3*	698,2*
P_m		$\pm 88,7$	$\pm 91,8$	$\pm 94,5$	$\pm 98,2$	$\pm 102,0$	$\pm 91,4$	$\pm 86,9$
[W]	W45	669,3	704,0*	693,6*	709,8*	709,8*	715,3*	712,0*
		$\pm 84,3$	$\pm 73,3$	$\pm 67,3$	$\pm 76,6$	$\pm 79,5$	$\pm 73,7$	$\pm 73,5$
	W80	8,24	8,49*	8,54*	8,80*	8,60*	8,72*	8,73*
$P_m/masa$		$\pm 0,47$	$\pm 0,34$	$\pm 0,34$	$\pm 0,46$	$\pm 0,49$	$\pm 0,71$	$\pm 0,49$
[W/kg]	W45	8,42	8,87 ^a	8,74*	8,94*	8,93*	9,01*	8,96*
		$\pm 0,68$	$\pm 0,45$	$\pm 0,45$	$\pm 0,53$	$\pm 0,48$	$\pm 0,58$	$\pm 0,48$
	W80	26,5	24,9	23,6*	23,5*	22,1*	21,8*	22,6*
FI		$\pm 3,0$	$\pm 2,3$	$\pm 2,2$	$\pm 2,0$	$\pm 1,5$	$\pm 3,4$	$\pm 1,8$
[%]	W45	23,9	20,8 ^a	20,4*	18,8 ^a	20,0*	19,5*	20,4*
		$\pm 4,1$	$\pm 4,8$	$\pm 5,0$	$\pm 4,2$	$\pm 4,9$	$\pm 4,8$	$\pm 3,7$

trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedałowania: 80 obr./min

– grupa W80 i 45 obr./min – grupa W45; W80 vs. W45, ^a – $p < 0,05$;

Tab. 3. Średnie wartości (SD) mocy średniej rozwijanej w pierwszych 10 sekundach (P_{m10}) i pozostałych 20 sekundach (P_{m20}) trwania testu Wingate'a oraz istotność różnic średnich między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy (* – $p < 0,05$).

Tab. 3. Mean (\pm SD) of mean power during first 10-s (P_{m10}), and mean power during remaining 20-s (P_{m20}) of 30-s of test Wingate and the significance differences between mean value measurement before starting investigations (0) and successive measurements in the period of a four week training (1-4) and a two week period after finishing the training (5-6); $p < 0.05$

Zmienne		0	1	2	3	4	5	6
	W80	758,1	759,5	750,2	775,9	754,3	756,3	762,9
P_{m10}		$\pm 100,2$	$\pm 118,9$	$\pm 118,5$	$\pm 115,4$	$\pm 127,7$	$\pm 110,3$	$\pm 102,0$
[W]	W45	733,9	766,3	744,3	748,7	759,3	755,8	762,1
		$\pm 99,6$	$\pm 78,4$	$\pm 76,8$	$\pm 85,9$	$\pm 91,5$	$\pm 78,2$	$\pm 80,5$
	W80	625,0	639,1	649,3	667,4*	654,0*	663,6*	663,5*
P_{m20}		$\pm 85,1$	$\pm 80,2$	$\pm 82,9$	$\pm 90,9$	$\pm 89,0$	$\pm 85,1$	$\pm 80,5$
[W]	W45	619,9	671,6*	665,8*	688,1*	682,9*	692,4*	684,3*
		$\pm 82,9$	$\pm 77,0$	$\pm 68,1$	$\pm 76,9$	$\pm 79,4$	$\pm 76,2$	$\pm 72,8$

trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedałowania: 80 obr./min

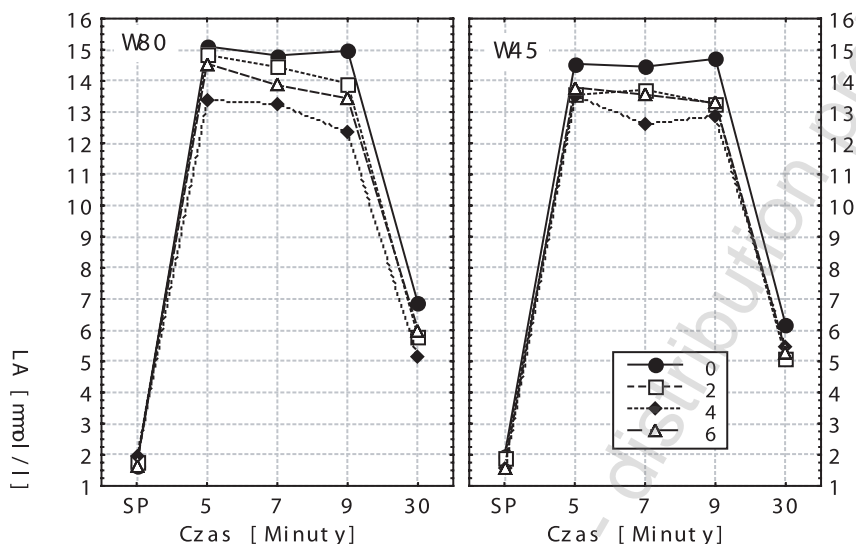
– grupa W80 i 45 obr./min – grupa W45;

nego) uległy istotnej zmianie w grupie W80 z $15,49 \pm 1,45$ mmol/l w pomiarze sprzed rozpoczęcia treningów do $13,73 \pm 2,60$ mmol/l w pomiarze wykonanym po 4 tygodniach treningów.

W grupie W45 istotne różnice obserwowano między pomiarem LA sprzed rozpoczęcia treningów ($15,06 \pm 1,50$ mmol/l) a pomiarem LA po teście Wingate'a wyko-

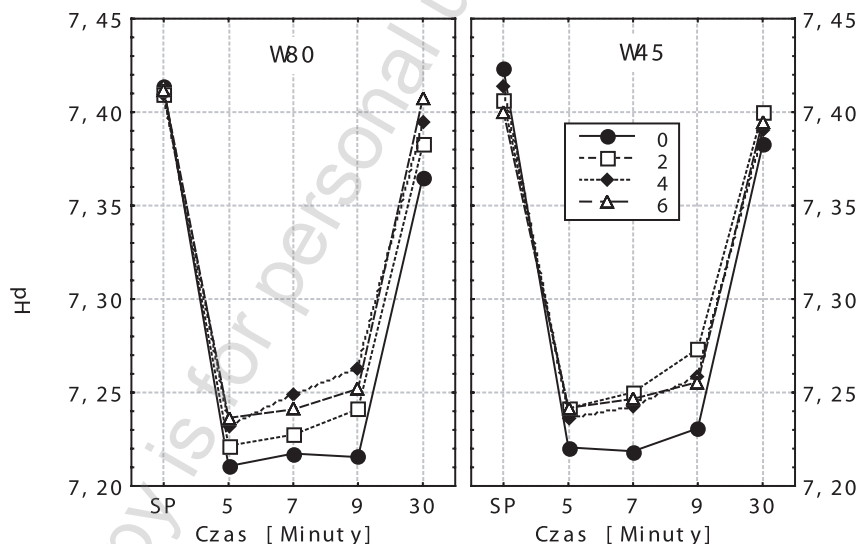
nanym po czterech tygodniach treningów ($13,84 \pm 2,19$ mmol/l).

W przypadku pH w grupie W45 obserwowano przesunięcie czasu wystąpienia najniższych wartości z 7 minuty w pomiarze przed rozpoczęciem treningów do 5 minuty w pozostałych pomiarach kontrolnych (Ryc. 2). Istotne różnice między pomiarem wy-



Ryc. 1. Zmiana średnich wartości stężenia kwasu mlekowego (LA) po teście Wingate'a w grupach W80 i W45; (pomiar przed rozpoczęciem badań (0), po dwóch (2), czterech (4) tygodniach treningu i po dwóch tygodniach od zakończenia treningów (6); SP – wartość spoczynkowa, 5, 7, 9 i 30 – czas pobrania po zakończeniu testu Wingate'a)

Fig. 1. Changes of mean values of blood lactate (LA) during Wingate test for groups W80 and W45; (measurement before starting investigations (0) and successive measurements in the period of a four week training (2, 4) and a two week period after finishing the training (6); the capillary blood samples were obtained immediately before (SP) and after end of Wingate test at 5, 7, 9 and 30 min of the recovery period)



Ryc. 2. Zmiana średnich wartości stężenia pH występującego po teście Wingate'a w grupach W80 i W45; (pomiar przed rozpoczęciem badań (0), po dwóch (2), czterech (4) tygodniach treningu i po dwóch tygodniach od zakończenia treningów (6); SP – wartość spoczynkowa, 5, 7, 9 i 30 – czas pobrania po zakończeniu testu Wingate'a)

Fig. 2. Changes of mean values of pH during Wingate test for groups W80 and W45; (measurement before starting investigations (0) and successive measurements in the period of a four week training (2, 4) and a two week period after finishing the training (6); the capillary blood samples were obtained immediately before (SP) and after end of Wingate test at 5, 7, 9 and 30 min of the recovery period)

konanym przed rozpoczęciem treningów a kolejnymi pomiarami wystąpiły po 4 tygodniach treningu i po 2 tygodniach od zaprzestania treningów (w 5, 7 i 9 minucie). Dodatkowo w grupie W45 obserwowano istotne obniżenie spoczynkowego pH w pomiarze wykonanym po dwóch tygodniach od zakończenia treningów.

Znaleziono istotny związek między LA i P_{max} w grupie W45 w pomiarach wykonanych przed rozpoczęciem treningów w 5 i 7 minucie (kolejno: $r=-0,60$, $r=-0,76$). LA i P_m korelowały istotnie w W45 w pomiarach wykonanych przed rozpoczęciem treningów w 5 i 7 minucie (kolejno: $r=-0,59$, $r=-0,74$). Nie stwierdzono istotnego związku między LA a P_m /masa i P_{max} /masa w pozostałych pomiarach. W grupie W80 P_{max} /masa i P_m /masa istotnie korelowały z LA tylko w pomiarze wykonanym po dwóch tygodniach od zakończenia treningów w 5, 7 i 9 minucie (odpowiednio: $r=0,79$, $r=0,73$ i $r=0,70$ oraz $r=0,84$, $r=0,70$ i $r=0,71$). Nie znaleziono istotnego związku między LA a P_m i P_{max} .

Dyskusja

Badania wykazały, że: rytm pedałowania nie wywierał istotnego wpływu na potreningowe zmiany mierzonych wielkości; trening realizowany wysiłkami o stałej mocy 250 W spowodował w obu grupach obniżenie stężenia kwasu mlekowego po teście Wingate'a (wykonywanym po czterech tygodniach treningu), w porównaniu z wartościami LA otrzymanymi w pomiarach przed rozpoczęciem treningów; obniżeniu stężenia mleczanów towarzyszył istotny wzrost mocy średniej (P_m) w obu grupach. Otrzymane w tej pracy wyniki są tylko częściowo zgodne z rezultatami wcześniejszych doniesień innych autorów.

W pracach Linossiera i wsp. [2,3], Parry i wsp. [4], Stathisa i wsp. [5] oraz Sharpa i wsp. [23] trening „sprinterski” (szybkościowy) realizowany wysiłkami maksymalnymi (o czasie trwania od 6 do 30 s) spowodował wzrost mocy maksymalnej i mocy średniej. W doniesieniach Esbjörnsson Liljedahl i wsp. [1], Allemeiera i wsp. [24], Jacobsa i wsp. [25], MacDougalla i wsp. [26], McKenny i wsp. [27] oraz Rodasa i wsp. [28], w których treningi złożone były z 30-sekundowych wysiłków maksymalnych, nie obserwowano istotnych zmian mocy maksymalnej (P_{max}) i mocy średniej (P_m) rozwijanej w teście Wingate'a. Natomiast w pracy O'Connor [6] obserwowano istotny wzrost mocy maksymalnej i mocy średniej po treningu realizowanym dwuminutowymi wysiłkami o intensywności 120% VO_{2max} . W prezentowanej pracy trening na cykloergometrze realizowany trzyminutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W, nie spowodował, odmiennie niż w pracy O'Connor [6], istotnych zmiany mocy maksymalnej (1,2% w grupie W80 i 2,6% w W45), natomiast moc średnia wzrosła istotnie w obu grupach – kolejno o 6,1% i 7,2%. Brak w tych badaniach istotnych zmian mocy maksymalnej jest w zgodzie z pracami Esbjörnsson Liljedahl i wsp. [1], Allemeiera i wsp. [24], Jacobsa i wsp. [25], McKenny'ego i wsp. [27] oraz Rodasa i wsp. [28]. Jednak w odróżnieniu od prac, w których zmiany mocy maksymalnej i średniej były nieistotne [1,24,25,27,28,29], w prezentowanym doniesieniu moc średnia uległa istotnemu zwiększeniu. Być może otrzymane w tej pracy różnice (biorąc pod uwagę dane z piśmiennictwa) zostały spowodowane innymi wysiłkami użytymi w treningu (trzyminutowe

wysiłki o stałej mocy 250 W, co odpowiada intensywności pojedynczego wysiłku na poziomie ok. 80% VO_{2max}). Tego typu trening interwałowy powinien przede wszystkim oddziaływać na metabolizm glikolizy beztlenowej (komponenta mleczanowa), czyli zwiększać moc średnią, a nie wpływać na rozwój mocy maksymalnej (komponenta bezmleczanowa). Pośrednio zostało to uwidocznione w potreningowych zmianach przebiegu mocy w pierwszych 10 sekundach i pozostałych 20 s trwania testu Wingate'a. Analizując zapis przebiegu mocy podzielony na pierwsze 10 sekund (P_{m10}) i pozostałe 20 sekund (P_{m20}) zaobserwowano, że oba zastosowane w tej pracy treningi poprawiały istotnie tylko P_{m20} o 7,0% w W80 i 13,0% w W45. Różnice między grupami nie były istotne. Te wyniki pokazują, że zastosowany trening powodował istotne zmiany w drugiej fazie testu Wingate'a (komponenta mleczanowa).

W 30-sekundowym teście Wingate'a energia wykorzystywana jest ze źródeł beztlenowych i tlenowych [30]. Zdaniem Bar-Ora [30] 13-28%, Calbeta i wsp. [31] 22,9%, Medbo i Tabata [32] do 40% całkowitej energii produkowanej podczas testu Wingate'a pochodzi ze źródeł tlenowych. W literaturze przyjęto, że o ile moc maksymalna oraz czas jej uzyskania i utrzymania określają możliwości beztlenowo-fosfagenowe, to wielkość wykonanej w ciągu 30 sekund pracy i/lub moc średnią są podstawowym wykładnikiem poziomu wydolności anaerobowej [30,33]. Jacobs i wsp. [34] stwierdzili, że najwyższa moc rozwijana w teście Wingate'a w ciągu pierwszych 5 sekund wytwarzana jest z wewnątrzmięśniowych zasobów fosfagenów (komponenta bezmleczanowa). Ponieważ zasób fosfagenu mięśniowego jest ograniczony, to dalsze kontynuowanie wysiłku możliwe jest dzięki jego odbudowie w procesie beztlenowej glikolizy. Efektem udziału beztlenowej glikolizy w pokrywaniu zapotrzebowania energetycznego 30-sekundowego wysiłku jest wzrost stężenia kwasu mlekowego we krwi. Towarzyszą temu zmiany w równowadze kwasowo-zasadowej krwi: spadek pH oraz niedobór zasad. Uważa się, że trening powoduje wzrost transportu kwasu mlekowego z mięśni do krwi i przyspiesza jego utylizację (eliminację) z krwi przez wątrobę i mięśnie. Wpływ na to ma rodzaj treningu (szybkościowy, wytrzymałościowy, siłowy) [35] i jego intensywność [36]. MacRae i wsp. [36] sugerowali, że po treningu o małej intensywności produkcja LA obniża się, a po treningu o wysokiej intensywności wzrasta wydzielenie kwasu mlekowego [36,37,38]. W pracy Sharpa i wsp. [23] akumulacja mleczanu istotnie wzrastała po treningu sprinterskim, podczas gdy poziom pH w mięśniach nie ulegał zmianie. W pracach Parry i wsp. [4] oraz Rodasa i wsp. [28] trening realizowany 15- i 30-sekundowymi wysiłkami maksymalnymi spowodował spadek stężenia wewnątrzmięśniowego LA w mięśniach, podczas gdy stężenie LA we krwi kapilarnej wzrastało, a pH nie ulegało zmianom po teście Wingate'a. Natomiast w pracy Neville i wsp. [29] obserwowano po treningu wzrost stężenia wewnątrzmięśniowego LA oraz wzrost stężenia kwasu mlekowego we krwi, którym towarzyszył spadek pH po 30-sekundowym maksymalnym wysiłku testowym. W doniesieniu Phillipsa i wsp. [39] trening realizowany na poziomie 59% VO_{2max} spowodował obniżenie stężenia LA po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym. Niższy poziom wewnątrzmięśniowego LA sugeruje, zdaniem

Phillipsa i wsp. [39], obniżenie wczesnej rekrutacji glikolizy w ćwiczeniach. W prezentowanej pracy trening realizowany wysiłkami o stałej mocy 250 W spowodował zmniejszenie powysiłkowego stężenia LA występującego po teście Wingate'a w 5, 7, 9 i 30 minucie kolejno o -11,3%, -10,7%, -17,4% i -25,1% w W80 oraz o -7,2%, -12,9%, -12,3% i -11,1% w W45 po czterech tygodniach treningu. Ponieważ pojedynczy wysiłek 250 W jest wysiłkiem submaksymalnym, to otrzymane w tej pracy rezultaty stężenia mleczanów i pH są w zgodzie z dotychczasowymi poglądami głoszącymi, że trening realizowany wysiłkami maksymalnymi powoduje powysiłkowy wzrost stężenia LA [23,28,36,37], a złożony z wysiłków submaksymalnych powoduje zmniejszenie stężenia LA po teście Wingate'a [36,39]. Obniżenie stężenia LA w prezentowanych badaniach mogło wynikać z tego, że pod wpływem prowadzonego treningu mogło dojść do zmian polegających na obniżeniu rozpadu glikogenu i zmniejszenia akumulacji kwasu mlekowego w mięśniach podczas potreningowego testu Wingate'a. Zmniejszenie stężenia mleczanów we krwi może również wynikać ze wzrostu utylizacji mleczanów we włóknach mięśniowych [28]. Obniżenie wytwarzania energii na drodze beztlenowej mogło korelować ze wzrostem wykorzystania energii powstającej na drodze aerobowej, która odgrywa ważną rolę w tego typu testach [40]. Pośrednim dowodem tego faktu w tych badaniach był obserwowany w obu grupach istotny wzrost wydolności tlenowej mierzonej testem PWC170 (wyniki zamieszczono w pracy Buśki [41]). Należy również wziąć pod uwagę to, że trening interwałowy może powodować wzrost zużycia kwasu mlekowego jako metabolicznego źródła dla uzyskania energii na drodze tlenowej. Użycie mleczanów jako źródła mięśniowej energii zostało opisane przez Phillipsa i wsp. [39] jako wynik zmian potreningowych. Kinetyka „wyrzucenia” mleczanów z mięśni do krwi nie jest w pełni poznana. Rodas i wsp. [28] sugerują, że mleczany są usuwane z mięśni do krwi przez transportery mleczanowe. Mechanizm ten może być następstwem treningu powodującego większy lub mniejszy wyrzut mleczanów do krwi, a tym samym powodując spadek lub wzrost koncentracji LA w mięśniach [42].

Uważa się, że zależność między maksymalnym stężeniem kwasu mlekowego a pracą anaerobową może ulegać zmianie w zależności od treningu, aczkolwiek w piśmiennictwie jest niewiele prac na ten temat [35]. Istotne korelacje między stężeniem kwasu mlekowego a rezultatami w testach beztlenowych opisano dla: P_{max} vs. LA w pracach Linossiera i wsp. [2] ($r=0,87$), Graniera i wsp. [40] ($r=0,75$); P_m vs. LA w doniesieniach Graniera i wsp. [40] ($r=0,76$), Gratas-Delamarche i wsp. [43] ($r=0,73$), Lutostawskiej i wsp. [35] ($r=0,80$ i $r=0,81$) oraz Tamayo i wsp. [44] ($r=0,47$). Natomiast Gratas-Delamarche i wsp. [43] nie stwierdzili istotnej korelacji między LA i pracą wykonaną przez sprinterów w teście Wingate'a, a Jacobs i wsp. [45] nie znaleźli związku między stężeniem LA i mocą w testach 10- i 30-sekundowych u kobiet i mężczyzn. W prezentowanych badaniach istotny związek między LA i P_{max} stwierdzono w grupie W45 w pomiarach wykonanych przed rozpoczęciem treningów w 5 i 7 min. LA i P_m korelowały istotnie w W45 w pomiarach wykonanych przed rozpoczęciem treningów w 5 i 7 min. Nie stwierdzono istotnego związku między LA a P_m /masa i P_{max} /masa w pozo-

stałych pomiarach. W grupie W80 P_{max} /masa i P_m /masa istotnie korelowały z LA tylko w pomiarze wykonanym po dwóch tygodniach od zakończenia treningów w 5, 7 i 9 min. Nie znaleziono istotnego związku między LA a P_m i P_{max} . Na podstawie otrzymanych rezultatów wydaje się, że występowanie liniowej zależności między stężeniem LA a wielkościami mierzonymi w teście Wingate'a może mieć charakter przypadkowy, a istniejące w piśmiennictwie rozbieżności dotyczące powysiłkowych stężeń LA mogą być spowodowane różnym czasem pobrania próbek krwi po teście Wingate'a, który w cytowanym piśmiennictwie wynosi od 1 do 10 minut [25,28,35,46,47]. W tej pracy pobrania wykonywano przed rozpoczęciem testu oraz w 5, 7, 9 i 30 minucie, co umożliwiło zaobserwowanie zjawiska przesunięcia czasu wystąpienia szczytu wyrzutu LA w grupie W45. Podobny efekt wcześniejszego wystąpienia największego stężenia LA w porównaniu z pomiarami sprzed rozpoczęcia treningu zaobserwowano w pracach Sharpa i wsp. [23] oraz Rodasa i wsp. [28], którzy opisali skrócenie czasu wystąpienia największego wyrzutu LA po treningu złożonym z maksymalnych wysiłków (15- i 30-sekundowych) na cykloergometrze.

Podsumowując, oba rodzaje treningów spowodowały istotny przyrost mocy średniej rozwijanej w teście Wingate'a. Moc maksymalna nie uległa istotnej zmianie. Przyrostowi mocy średniej towarzyszyło istotne obniżenie stężenia mleczanów po teście Wingate'a w porównaniu z wartościami LA otrzymanymi w pomiarach przed rozpoczęciem treningów. Brak istotnych różnic między grupami świadczy o tym, że rytm pedałowania nie wpływa istotnie na wydolność anaerobową i powysiłkowe stężenie kwasu mlekowego. Wydaje się, że liniowy związek między stężeniem kwasu mlekowego a wielkościami mierzonymi w teście Wingate'a może mieć charakter przypadkowy.

Wnioski

Oba treningi spowodowały istotny wzrost wydolności anaerobowej. Rytm pedałowania nie wpływa istotnie na wydolność anaerobową i powysiłkowe stężenie kwasu mlekowego.

Piśmiennictwo

1. Esbjörnsson Liljedahl M, Holm I, Sylvén Ch, Jansson E. Different responses of skeletal muscle following sprint training in men and women. *Eur J Appl Physiol* 1996; 74: 375-383.
2. Linossier M-T, Denis C, Dormois D, Geysant A, Lacour JR. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol* 1993; 67: 408-414.
3. Linossier M-T, Dormois D, Perier C, Frey J, Geysant A, Denis C. Enzyme adaptations of human skeletal muscle during bicycle short-sprint training and detraining. *Acta Physiol Scand* 1997; 161 (4): 439-445.
4. Parra J, Cadefau JA, Rodas G, Amigó N, Cussó R. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiol Scand* 2000; 169: 157-165.
5. Stathis CGA, Febraio MA, Carey MF, Snow RJ. Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *J Appl Physiol* 1994; 76: 1802-1809.

6. O'Connor J. A cross-sectional and longitudinal investigation of a physical activity classification system. Unpublished doctoral dissertation. Arizona State University 1987 [za poz. 22; Inbar i wsp. 1996; 48-49].
7. Buśko K. Optimal pedalling velocity characteristics during maximal and submaximal efforts on cycloergometer. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 2002; 4 (suppl. 1): 624-625.
8. Buśko K. The influence of pedalling frequency on mechanical efficiency in exercises with the same intensity. *Biology of Sport* 2004; 21 (1): 51-56.
9. Ahlquist LE, Bassett DR Jr, Sufit R, Nagle FJ, Thomas DP. The effect of pedalling frequency on glycogen depletion rates in type I and type II quadriceps muscle fibres during submaksimal cycling exercise. *Eur J Appl Physiol* 1992; 65: 360-364.
10. Chavarren J, Calbet JAL. Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1999; 80: 555-563.
11. Marsh AP, Martin PE. Effect of cycling experience, aerobic power, and power output on preferred and most economical cycling cadences. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29 (9): 1225-1232.
12. Patterson RP, Moreno MI. Bicycle pedalling forces as a function of pedalling rate and power output. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22: 512-516.
13. Sanderson DJ. The influence of cadence and power output on the biomechanics of force application during steady-rate cycling in competitive and recreational cyclists. *J Sports Sci* 1991; 9: 191-203.
14. Swain DP, Wright RL. Prediction of VO₂peak from submaximal cycle ergometry using 50 versus 80 obr/min. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29 (2): 268-272.
15. Woolford SM, Withers RT, Craig NP, Bourdon PC, Stanef T, McKenzie I. Effect of pedal cadence on the accumulated oxygen deficit, maximal aerobic power and blood lactate transition thresholds of high-performance junior endurance cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1999; 80: 285-291.
16. Żołądź JA. Power output, mechanical efficiency and fatigue in human skeletal muscles. *Studia i Monografie* 8, Kraków 1999.
17. Żołądź JA, Rademaker AC, Sargeant AJ. Human muscle power generating capability during cycling at different pedaling rates. *Exp Physiol* 2000; 85 (1): 117-124.
18. McNaughton L, Thomas D. Effects of differing pedalling speeds on the power-duration relationship of high intensity cycle ergometry. *Int J Sports Med* 1996; 17 (4): 287-292.
19. Żołądź JA, Duda K, Majerczak J, Thor P. Effect of different cycling frequencies during incremental exercise on the venous plasma potassium concentration in humans. *Physiol Res* 2002; 51 (6): 581-586.
20. Deschenes MR, Kraemer WJ, McCoy RW, Volek JS, Turner BM, Weinlein JC. Muscle recruitment patterns regulate physiological responses during exercise of the same intensity. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol* 2000; 279: 2229-2236.
21. Opaszowski BH, Buśko K. Plasma growth hormone, cortisol and testosterone responses to repeated and intermittent ergometer exercise at different pedalling rates. *Biol Sport* 2003; 20 (2): 159-172.
22. Inbar O, Bar-Or O, Skinner JS. *The Wingate Anaerobic Test*. Human Kinetic Publisher, USA 1996.
23. Sharp RL, Costill DL, Fink WJ, King DS. Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int J Sports Med* 1986; 7 (1): 13-17.
24. Allemeier CA, Fry AC, Johnson P, Hikida RS, Hagerman FC, Staron RS. Effects of sprint cycle training on human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 1994; 77 (5): 2385-2390.
25. Jacobs I, Esbjornsson M, Sylven C, Holm I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc* 1987; 19: 368-374.
26. MacDougall JD, Hicks AL, MacDougal JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* 1998; 84 (6): 2138-2142.
27. McKenna MJ, Schmidt TA, Hargreaves M, Cameron L, Skinner SL, Kjeldsen K. Sprint training increases human skeletal muscle Na⁺-K⁺-ATPase concentration and improves K⁺ regulation. *J Appl Physiol* 1993; 75 (1): 173-180.
28. Rodas G, Ventura JL, Cadefau JA, Cussó R, Parra J. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82: 480-486.
29. Nevill ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol* 1989; 67 (6): 2376-2382.
30. Bar-Or O. The Wingate anaerobic test: An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med* 1987; 4: 381-394.
31. Calbet JAL, Chavarren J, Dorado C. Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s Wingate test. *Eur J Appl Physiol* 1997; 76: 308-313.
32. Medbo JI, Tabata I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* 1989; 67 (5): 1881-1886.
33. Patton JF, Duggan A. Upper and lower body anaerobic power, comparison between biathletes and control subjects. *Int J Sports Med* 1987; 8: 94-98.
34. Jacobs I, Bar-Or O, Karlsson J, Dotan R, Tesch PA, Kaiser P, Inbar O. Changes in muscle metabolites in female with 30-s exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exercise* 1982; 14 (6): 457-460.
35. Lutosławska G, Hübner-Woźniak E, Sitkowski D, Borkowski L. Relationship between anaerobic capacity and blood lactate following the Wingate test in elite wrestlers during an annual training cycle. *Biol Sport* 1998; 15 (2): 67-74.
36. MacRae HS-H, Dennis SC, Bosch AN, Noakes TD. Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *J Appl Physiol* 1992; 72: 1649-1656.
37. Houston ME, Wilson DM, Green HJ, Thomson JA, Ranney DA. Physiological and muscle enzyme adaptations to two different intensities of swim training. *Eur J Appl Physiol* 1981; 46 (3): 283-291.
38. Saltin B, Nazar K, Costill DL, Stein E, Jansson E, Essén B, Gollnick PD. The nature of the training response; peripheral and central adaptations to one-legged exercise. *Acta Physiol Scand* 1976; 96 (3): 289-305.
39. Phillips SM, Green HJ, Tarnopolsky MA, Grant SM. Increased clearance of lactate after short-term training in men. *J Appl Physiol* 1995; 79 (6): 1862-1869.
40. Granier P, Mercier B, Mercier J, Anselme F, Préfaut C. Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur J Appl Physiol* 1995; 70: 58-65.

41. Buško K. Changes in maximal power of lower limbs in response to various training mode on a cycloergometer. *Phys Educ Sport* 2004; 48 (2): 125-131.
42. Bonen A, McCullagh KJA, Putman CT, Hultman E, Jones NL, Heigenhauser GJF. Short-term training increases human muscle MCT1 and femoral venous lactate in relation to muscle lactate. *Am J Physiol* 1998; 274 (Endocrinol Metab 37): 102-107.
43. Gratas-Delamarche A, Le Cam R, Delamarche P, Monnier M, Koubi H. Lactate and catecholamine responses in male and female sprinters during the Wingate test. *Eur J Appl Physiol* 1994; 68: 362-366.
44. Tamayo M, Sucec A, Philips W, Buono M, Laubach L, Frey M. The Wingate anaerobic power test, peak blood lactate, and maximal oxygen debt in elite volleyball players, a validation study. *Med Sci Sports Exerc* 1984; 16 (2): 126.
45. Jacobs I, Tesch PA, Bar-Or O, Karlsson J, Dotan R. Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise. *J Appl Physiol* 1983; 55: 365-367.
46. Ben-Sira D, Sagiv M. The effect of gender on left ventricular function immediately after the wingate test. *Eur J Appl Physiol* 1997; 75: 549-553.
47. Klimek AT, Cempla J, Pilch W. Exercise-induced changes in selected indices of acid-base balance in pre- and post-pubertal boys. *Biol Sport* 1998; 15 (3): 151-156.

This copy is for personal use only - distribution prohibited.