

Janusz Wojtyna, Aleksandra Żebrowska, Leon Rak

ZMIANY WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW HEMATOLOGICZNYCH ORAZ STEŻENIA MLECZANU WE KRWI I WENTYLACJI MINUTOWEJ PODCZAS WYSIŁKU O STOPNIOWO WZRASTAJĄCEJ INTENSYWNOŚCI

Wstęp

Podstawowym warunkiem umożliwiającym wykonywanie pracy o dużym koszcie energetycznym jest sprawność funkcji organizmu współdziałających w pokrywaniu zapotrzebowania tlenowego tkanek.

Do głównych czynników sterujących zaopatrzeniem tlenowym, które determinują wydolność fizyczną organizmu, należy pojemność tlenowa krwi. Wielkość ta zależna jest przede wszystkim od zawartości hemoglobiny we krwi, a ponadto od jej powinowactwa z tlenem [1,17]. Astrand i Rodhal [1] stwierdzili wysoką korelację między maksymalnym poborem tlenu ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) a całkowitą ilością krążącej hemoglobiny.

Podczas wysiłków fizycznych obserwowano również zwiększenie masy erytrocytów powodującej wzrost koncentracji hemoglobiny, a tym samym pojemności tlenowej krwi [9,19]. W warunkach fizjologicznych zjawisko to jest efektem zmniejszania się objętości osocza krwi, a nie nasileniem procesów erytropoezy w szpiku kostnym. Podobny mechanizm steruje zwiększaniem wartości wskaźnika hematokrytowego. W wyniku zmian metabolicznych, zachodzących podczas wysiłku, powstają w mięśniach substancje czynne osmotycznie (np. kwas mlekowy), powodując zwiększoną filtrację wody do obszarów pozanaczyniowych. Doprowadza to do chwilowego zagęszczenia krwi, wyrażającego się podwyższeniem wartości hematokrytowej. Prowadzone badania wykazały waha-

nia hematokrytu i objętości osocza krwi podczas wysiłku trwającego 1 – 1,5 godz., połączone z 1-2% odwodnieniem organizmu [15].

Regulacja prawidłowego rozmieszczenia wody, podobnie jak kontrola ciśnienia osmotycznego w organizmie są ściśle związane ze stężeniem jonów sodu, który łącznie z jonami chloru i potasu steruje prawidłowym rozmieszczeniem płynów ustrojowych i stopniem uwodnienia tkanek. Usuwanie z organizmu elektrolitów podczas pracy fizycznej może być zmniejszone przy zastosowaniu diety bogatej w roztwory soli. Ubytek wody wraz z solami mineralnymi, przy równoległym wahaniu stosunku jonów potasu do sodu w komórkach mięśniowych, redukuje $\dot{V}O_2$ max, a w konsekwencji prowadzi do obniżenia wydolności fizycznej [13,19].

W ostatnich latach za szczególnie istotny wskaźnik oceny wytrzymałości uznano położenie progu mleczanowego – LAT [7, 12, 20, 21]. Wyniki licznych badań potwierdzają dużą zależność pomiędzy wysokością progu anaerobowego (AT) a zdolnością do pokonywania długotrwałych wysiłków, pojemnością tlenową krwi oraz gęstością naczyń włosowatych mięśni szkieletowych [6, 7, 8, 10, 11, 12]. Na podstawie przedstawionych rozważań, interesujące wydało się określenie poziomu zmian stężenia hemoglobiny oraz wartości hematokrytu towarzyszące wysiłkom fizycznym o stopniowo narastającej intensywności.

Materiał i metody badań

W badaniach wzięło udział 10 zdrowych mężczyzn, studentów Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach, w wieku $\bar{x} = 22,3 \pm 0,5$ lat, o masie ciała $\bar{x} = 75,7 \pm 5,0$ kg i wysokości ciała $\bar{x} = 181,2 \pm 6,1$ cm. Badani zostali wcześniej poinformowani o celu i metodologii planowanego eksperymentu, zaakceptowanego uprzednio przez Komisję Etyczną Badań Naukowych przy ŚIAM w Katowicach.

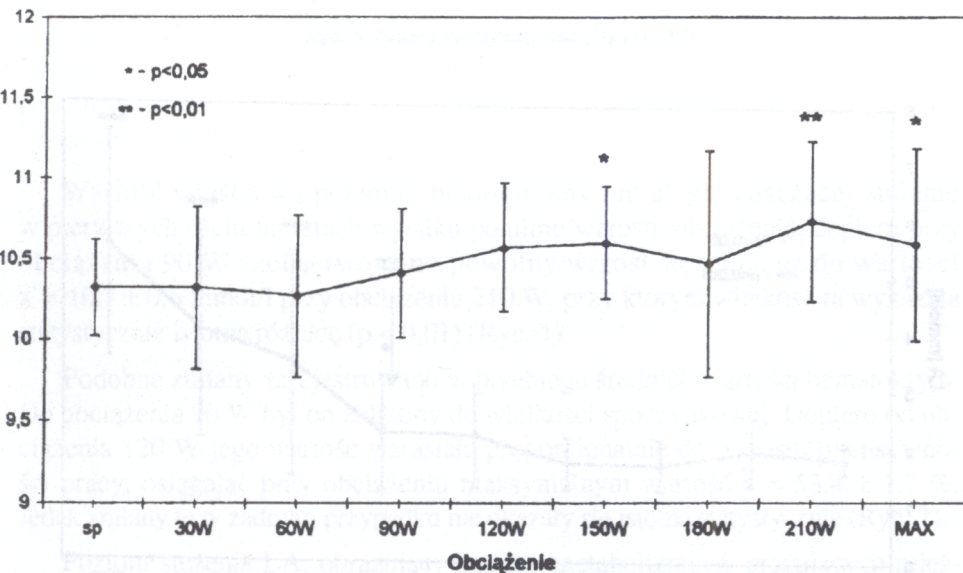
Studenci wykonywali test wysiłkowy po 6-ciodniowej zrównoważonej diecie mieszanej, o takiej samej wartości energetycznej (3000 kcal/75 kg m.c./doba), wzbogaconej dodatkowo solą kuchenną (NaCl – w roztworze) w ilości 120 mmol/doba. W badaniach zastosowano test wysiłkowy o stopniowo wzrastającej intensywności, wykonywany na cykloergometrze typu „Elema”. Badani podejmowali wysiłek przy obciążeniu 30 W, które co 3 minuty zwiększano o 30 W aż do indywidualnie dobranego obciążenia maksymalnego („do odmowy”). W spoczynku, a następnie w trzeciej minucie każdego obciążenia pobierano z opuszki palca krew kapilaryzowaną celem oznaczenia stężenia hemoglobiny i mleczanu we krwi oraz wartości hematokrytu, dokonywano również pomiarów wentylacji minutowej (\dot{V}_E) i analizy zawartości tlenu w wydychanym powietrzu. Przez cały okres wysiłku kontrolowano ciśnienie tętnicze krwi (RR) i częstość skurczów serca (HR).

Próg przemian beztlenowych (LAT), jako ostry, nieliniowy wzrost stężenia mleczanu, wyznaczono metodą dwóch regresji, zgodnie z procedurą zaproponowaną przez Beaver'a i wsp. [3]. Przy zastosowaniu tej samej metody, wyznaczono próg wentylacyjny (VAT). Wyniki przedstawiono w postaci średnich arytmetycznych \pm SD.

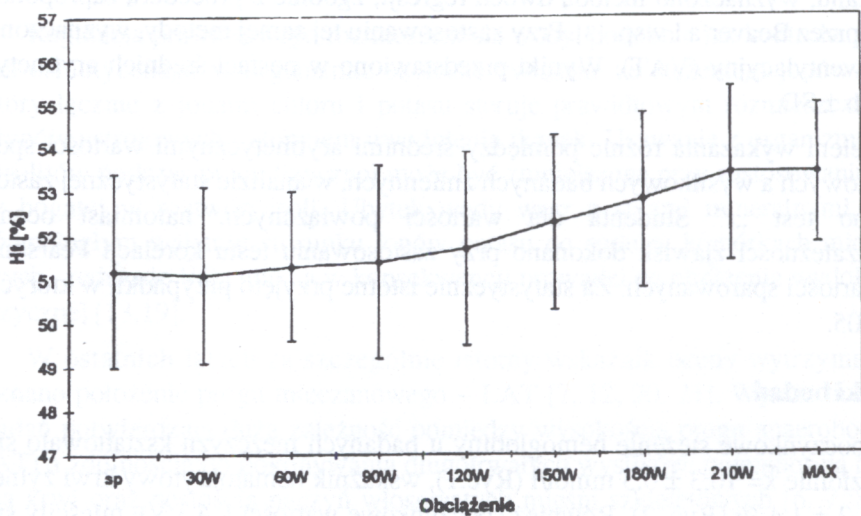
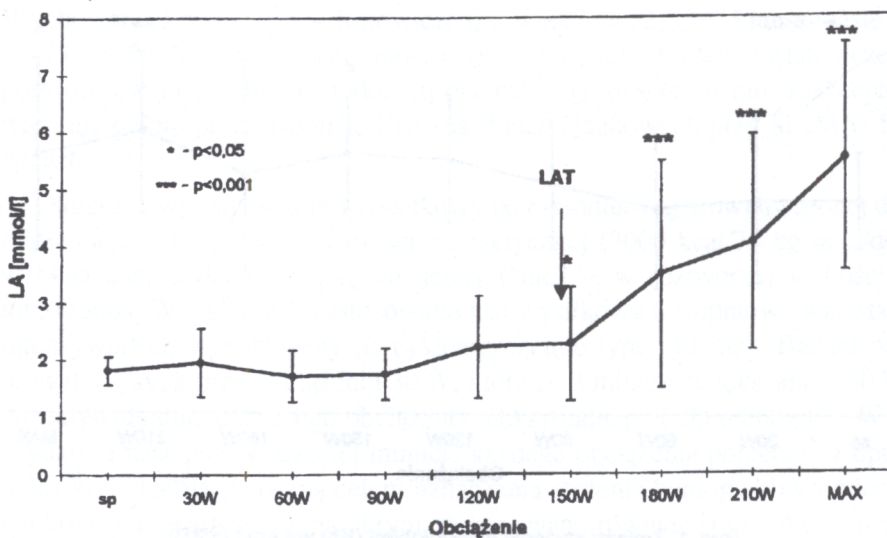
Celem wykazania różnic pomiędzy średnimi arytmetycznymi wartości spoczynkowych a wysiłkowych badanych zmiennych, w analizie statystycznej zastosowano test „t” Studenta dla wartości powiązanych, natomiast oceny współzależności zjawisk dokonano przy zastosowaniu testu korelacji Pearsona dla wartości sparowanych. Za statystycznie istotne przyjęto przypadki, w których $p < 0,05$.

Wyniki badań

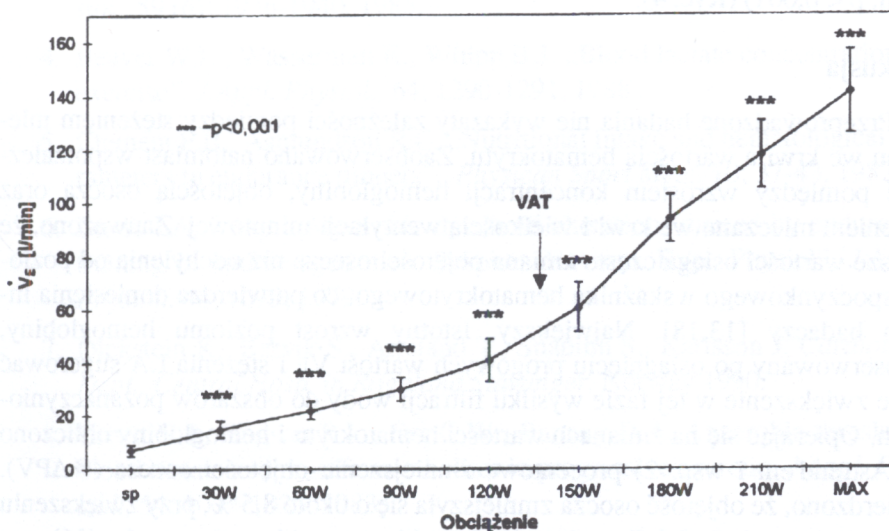
Spoczynkowe stężenie hemoglobiny u badanych mężczyzn kształtowało się na poziomie $\bar{x} = 10,3 \pm 0,3$ mmol/l (Ryc. 1), wskaźnik hematokrytowy krwi żyłnej $\bar{x} = 51,2 \pm 1,4$ % (Ryc. 2). Również spoczynkowe wartości LA i $\dot{V}E$ mieściły się



Ryc. 1 Zmiany stężenia hemoglobiny (Hb) we krwi ($\bar{x} \pm SD$)

Ryc. 2 Zmiany wartości hematokrytowej (Ht) (\bar{x} :SD)Ryc. 3 Zmiany stężenia mlekczanu (LA) we krwi (\bar{x} :SD)

w fizjologicznej normie i wynosiły odpowiednio: $\bar{x} = 1,83 \pm 0,2$ mmol/l (Ryc. 3) oraz $\bar{x} = 7,2 \pm 2,1$ l/min. (Ryc. 4).



Ryc. 4 Zmiany wentylacji płuc (\dot{V}_E) ($\bar{x} \pm SD$)

Wartość wyjściowa poziomu hemoglobiny nie uległa znaczącej zmianie w pierwszych 6-ciu minutach wysiłku pomimo wzrostu obciążenia, dopiero przy obciążeniu 90 W zaobserwowano powolny wzrost stężenia, aż do wartości $\bar{x} = 10,7 \pm 0,6$ mmol/l przy obciążeniu 210 W, przy którym wielkość ta wykazała statystycznie istotną różnicę ($p < 0,01$) (Ryc. 1).

Podobne zmiany zarejestrowano w przebiegu średnich wartości hematokrytu. Do obciążenia 90 W był on zbliżony do wielkości spoczynkowej. Dopiero od obciążenia 120 W jego wartość wzrastała proporcjonalnie do wzrostu intensywności pracy, osiągając przy obciążeniu maksymalnym wartość $\bar{x} = 53,4 \pm 1,7$ %. Jednak zmiany te w żadnym przypadku nie okazały się istotne statystycznie (Ryc. 2).

Poziom stężenia LA, obrazujący zmiany metabolizmu w pracujących mięśniach, wykazał statystycznie istotny wzrost ($p > 0,05$) od obciążenia 150 W, osiągając wartość maksymalną przy obciążeniu maksymalnym ($\bar{x} = 5,8 \pm 2,1$ mmol/l; $p < 0,001$). Po wyciszeniu (operując wartościami zlogarytmowanymi) próg mleczanowy (LAT) wystąpił przy obciążeniu $\bar{x} = 148,8 \pm 23,4$ W (Ryc. 3).

Zbliżony przebieg zmian obserwowano w wartościach wentylacji minutowej ($\dot{V}E$). Z tą tylko różnicą, że próg wentylacyjny (VAT) wystąpił wcześniej, bo przy obciążeniu $\bar{x} = 138,8 \pm 19,5$ W, natomiast swoje wartości maksymalne $\dot{V}E$ osiągnęła, podobnie jak LA, przy obciążeniu maksymalnym ($\bar{x} = 141,2 \pm 19,2$ l/min; $p < 0,001$) (Ryc. 4).

Dyskusja

Przeprowadzone badania nie wykazały zależności pomiędzy stężeniem mleczanu we krwi a wartością hematokrytu. Zaobserwowano natomiast współzależność pomiędzy wzrostem koncentracji hemoglobiny, objętością osocza oraz stężeniem mleczanu we krwi i wielkością wentylacji minutowej. Zauważono, że wyższe wartości osiąga często zmiana objętości osocza niż odchylenia od poziomu spoczynkowego wskaźnika hematokrytowego, co potwierdza doniesienia innych badaczy [13,18]. Największy, istotny wzrost poziomu hemoglobiny, zaobserwowany po osiągnięciu progowych wartości $\dot{V}E$ i stężenia LA sugerować może zwiększenie w tej fazie wysiłku filtracji wody do obszarów pozanaczyniowych. Opierając się na zmianach wartości hematokrytu i hemoglobiny obliczono (za Astrand'em i wsp. 2) procentowe zmniejszenie objętości osocza ($\% \Delta PV$). Stwierdzono, że objętość osocza zmniejszyła się o około 8,5 %, przy zwiększeniu hematokrytu o około 2,3 %, co jest zgodne z hipotezami innych autorów (16).

W prezentowanych badaniach stężenie LA i $\dot{V}E$ wzrastało proporcjonalnie do intensywności pracy mięśni, podobnie jak we wcześniej cytowanych publikacjach [4,7,8,10,12]. Z tym tylko, że maksymalne wartości LA, uzyskane w niniejszym eksperymencie, były niższe o około 30 %. Niemniej jednak zarejestrowano istotne statystycznie ($p < 0,001$) zwiększenie stężenia mleczanu we krwi i wentylacji minutowej. Zastosowany test wysiłkowy potwierdził również dużą dodatnią korelację ($r = 0,96$; $p < 0,001$) pomiędzy poziomem występowania LAT i VAT, obserwowaną między innymi przez Dickstein'a i wsp. (7).

Reasumując, należy stwierdzić, że wykonany przez badanych wysiłek fizyczny nie wywołał u nich progowych zmian w wartościach analizowanych wskaźników hematologicznych, a w przypadku wskaźnika hematokrytowego nie spowodował nawet istotnego wzrostu.

Zmiany wielkości $\dot{V}E$ i stężenia LA miały typowy dla tego rodzaju wysiłku przebieg, z wystąpieniem wartości progowych VAT i LAT.

Bibliografia

1. Astrand P.O., Rodhal K. *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill Book Company, New York 1986.

2. Astrand P.O., Saltin B. „Plasma and red cell volume after prolonged severe exercise”, *J.Appl. Physiol.*, 19; 829-832, 1964.
3. Beaver W.L., Wasserman K., Whipp B.J. „Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation”, *J.Appl. Physiol.*, 59 (6); 1936-1940, 1985.
4. Beaver W.L., Wasserman K., Whipp B.J. „Blood lactate concentration in exercise”. *J.Appl. Physiol.*, 64; 1290-1291, 1988.
5. Clement P.B., Asmundson R.C. „Nutritional intake and hematological parameters in endurance runners”, *Physican Sport Med.*, 10; 37-43, 1982.
6. Davis J.A. i wsp. „Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *Respirat. Environ. Exer. Physiol*”, *J.Appl. Physiol.*, 46; 1039, 1979.
7. Dickstein K., Barvik S., Arrstrand T., Snapinn S., Karlsson J. *Cardiology Dept., Central Hosp. in Rogaland Stavanger, Norway* 1990.
8. Green H.J., Hugson R.L., Orr G.W., Ranney D.A. Anaerobic threshold, blood lactate and muscle metabolites in progressive exercise. *J.Appl. Physiol.*, 54; 1032-1038, 1983.
9. Greenleaf J.E. i wsp. „Plasma volume and elektrolyte shifts with havy exercise in siting and supine position”, *Am. J.Physiol.*, 236; R 206, 1979.
10. Hugson R.L., Weisner K.H. „Swanson G.D. Blood lactate concentration increases as continuous function in progressive exercise”, *J.Appl. Physiol.*, 62 (5); 1975-1981, 1987.
11. Ivy J.L. i wsp. „Muscle respiratory capacity and fibre type as determinants of the lactate threshold”, *J.Appl. Physiol.*, 48; 523, 1980.
12. Laskowska H., Golińska A., Lewicki R. „Wartość diagnostyczna progu anaerobowego (AT) w ocenie możliwości wysiłkowych zawodników o różnym stażu sportowym”, w: *Prognostyczna wartość progu przemian beztlenowych w sporcie kwalifikowanym.*, AWF Katowice, 11-16; 1994.
13. Kozłowski St. *Fizjologiczne mechanizmy wpływu odwodnienia ustroju na wydolność fizyczną*, AM Warszawa, 1970.
14. Kubica R., Nielsen B., Bonnesen A., Rasmusen J.B., Stokłosa J., Wilk B. „Relationship between plasma volume reduction and plasma elektrolyte changes after prolonged bicycle exercise, pasive heating and diuretic dehydration”, *Acta Physiol. Pol.*, 34; 569-579, 1983.

15. Pilawski A., Kubica R. „Wpływ wyrównania odwodnienia wysiłkowego na wydolność fizyczną człowieka”. Materiały z sympozjum pt.: *Badania fizjologiczne w wychowaniu fizycznym i sporcie*. Poznań 1973.
16. Saltin B. „Circulatory response to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration”, *J. Appl. Physiol.*, 19; 1125-1132, 1964.
17. Szyguła Z. „Erythrocytic system under the influence of physical exercise and training”. *Sport Med.*, 10; 181-197, 1990.
18. Tibbin G., Bergentz S.E., Bjure J., Wilhelmsen L. „Hematocrit, plasma protein, plasma volume and viscosity in early hypertensive disease”, *Am. Heart J.*, 72; 165-176, 1966.
19. Van Beaumont W., Greenleaf J.E., Juhas L. „Disproportional changes in hematocrit, plasma volume and proteins during exercise and bed rest”, *J. Appl. Physiol.*, 33; 55-61, 1972.
20. Wojtyna J., Zarzeczny R., Langfort J., Pilis W., Pokora I., Rak L. „Zmiany progu mleczanowego w warunkach ketozy”. w: *Prognostyczna wartość progu przemian beztlenowych w sporcie kwalifikowanym.*, AWF Katowice, 25-30; 1994.
21. Żołądź J., *Reakcje fizjologiczne i biochemiczne wywołane przekroczeniem progu niekompensowanej kwasicy metabolicznej (TDMA)*, Wyd. Mon. AWF Kraków nr 63, 1994.

SUMMARY

J. Wojtyna, A. Żebrowska, L. Rak

CHANGES OF SELECTED HEMODYNAMIC INDICATORS AND LACTATE CONCENTRATION IN BLOOD AND MINUTE PULLMONARY VENTILATION DURING GRADUALLY INTENSIFIED EXERCISE

One of the cardinal conditions that allows performing high intensity exercise is the efficiency of organism functions, cooperating in satisfying oxygen requirement of the tissues. Reference sources stress the meaningful relation between maximum oxygen intake ($VO_2\max$) and total volum of circulating hemoglobin (Hb), as well as the strong correlation between position of the anaerobic threshold (AT) and ability to perform longlasting exercise, oxygen capacity and capillary density of skeletal muscles.

The aim of this paper is to determine changes in Hb concentration and haematocrit value (Ht) against the background of lactate concentration in blood (LA) and minute ventilation (VE) during gradually intensified exercise.

The investigation was carried out on 10 students of Academy of Physical Education aged 20 to 23. A cycloergometric exercise test was used in the investigation. The investigated students started their exercise from 30 W workload which was intensified by 30 W every 3 minutes until it reached their individual maximum workload. Selected parameters were determined at rest and then in every third minute of each level of workload. The exercise test did not result in any threshold changes of values of the analysed hematological indicators in any of the investigated students, and in case of Ht it did not even result in any significant increase. Changes in VE and LA concentration were typical for that kind of exercise, with presence of threshold values; for LAT at workload $\bar{x} = 148,8 + 23,4$ W, and for VAT even earlier, at the workload of $\bar{x} = 138,8 + 19,5$ W.