

*Jan Chmura, Beata Manowska, Ewelina Smol, Adam Zajac,
Wiesław Pilis, Tomasz Pilis*

ZMIANY STĘŻENIA JONÓW SODOWYCH I POTASOWYCH WE KRWI WYWOŁANE WYSIŁKIEM FIZYCZNYM O STOPNIOWO WZRASTAJĄCEJ INTENSYWNOŚCI U UMEŹCZYŹN NA TLE PROGU MLECZANOWEGO I WENTYLACYJNEGO

Wiele wielkości fizjologicznych podczas wysiłku o stopniowo wzrastającej intensywności układu się liniowo począwszy od najmniejszych obciążeń. Następnie przy pewnym obciążeniu submaksymalnym liniowość ta ulega załamaniu, po czym ponownie występuje, lecz zmiany tych parametrów mają bardziej intensywne przyrosty. Dobrze poznany jest progowy model zmian stężenia mleczanu we krwi podczas takiego rodzaju wysiłku. Próg mleczanowy, który występuje przy intensywności pracy 55-75% VO_2max i stężeniu mleczanu ok. 4 mmol/l, będący wyznacznikiem progu anaerobowego – wskaźnika wydolności fizycznej, wykazuje istotne korelacje z obciążeniem, przy którym występuje ostry wzrost aktywności bioelektrycznej mięśni szkieletowych [12], wzrost stężenia adrenaliny i noradrenaliny [11], hormonu wzrostu [2], hormonu adrenokortykotropowego [4] we krwi oraz wzrost aktywności reninowej osocza (5). Podobny do mleczanu wzorzec zmian mają zmiany stężeń jonów amonowych (NH_4^+) [1], jonów potasowych (K^+) [10] we krwi czy zmiany niektórych wielkości oddechowych, będących wyznacznikiem progu wentylacyjnego [13].

Celem niniejszej pracy było zbadanie, czy wysiłek fizyczny o stopniowo narastającym obciążeniu wywołuje zmiany stężenia jonów Na^+ i K^+ we krwi o charakterze progowym i czy próg mleczanowy oraz wentylacyjny korespondują z obciążeniem, przy którym występuje ewentualny ostry wzrost stężenia badanych jonów we krwi.

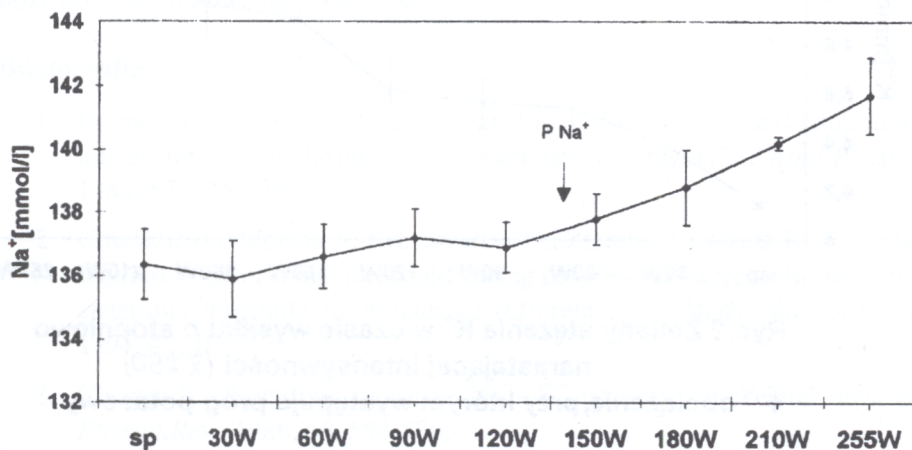
Materiał i metody badań

W badaniach uczestniczyło 10 zdrowych mężczyzn, ochotników, studentów Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach w wieku około 22 lat, o średniej masie ciała $75,7 \pm 5,03$ kg i wysokości ciała $181,2 \pm 6,01$ cm. Badani wykonywali wysiłek fizyczny o stopniowo wzrastającej intensywności co 3 minuty o 30 W, „aż do odmowy”, poprzedzony rozgrzewką. Przed przystąpieniem do testu wysiłkowego przez okres 3 dni badani spożywali dietę mieszaną o wartości energetycznej 3000 kcal/24h/75kg, która dodatkowo dobowo zawierała ok. 120 mmol Na^+ . Przez dalsze 3 dni spożywali beźmięsną dietę o tej samej wartości kalorycznej. W spoczynku oraz ostatniej minucie każdego obciążenia pobierano próbki krwi z żyły łokciowej, celem oznaczenia stężenia jonów Na^+ i K^+ , natomiast z opuszki palca w analogicznych warunkach pobierano krew kapilaryzowaną w celu oznaczenia stężenia mleczanu, oraz oznaczono wentylację płucną (V_E), jak również minutowe wydalanie dwutlenku węgla ($V\text{CO}_2$). Poziom badanych elektrolitów we krwi określano spektrofotometrycznie przy użyciu aparatu Kodak Ektachem DT60 (dla przeliczenia stężenia Na^+ i K^+ , na objętość osocza oznaczano wskaźnik hematokrytu). Stężenie mleczanu we krwi oznaczono spektrofotometrycznie przy użyciu enzymatycznego testu firmy Boehringer (Mannheim, Niemcy). Próg mleczanowy jako ostry, nieliniowy wzrost stężenia, wyznaczono metodą dwóch regresji, operując wartościami zlogarytmizowanymi. Podobnie wyznaczono próg wentylacyjny operując wartościami V_E i $V\text{CO}_2$. Wyniki przedstawiono w postaci średnich arytmetycznych i odchyłeń standardowych, a współzależność zjawisk określono poprzez wyliczenie współczynników korelacji liniowej. Za istotne statystycznie przyjmowano wartości przy $p \leq 0,05$.

Wyniki badań i ich omówienie

Zastosowany w niniejszej pracy wysiłek fizyczny o stopniowo narastającym obciążeniu, aż do maksymalnego, wywołał wzrost stężenia jonów Na^+ i K^+ we krwi, co jest zgodne z doniesieniami innych autorów [3, 6, 8]. Stężenie jonu K^+ w warunkach spoczynkowych wynosiło $4,35 \pm 0,12$ mmol/l i wzrosło przy maksymalnej intensywności do $5,35 \pm 0,18$ mmol/l, natomiast spoczynkowe stężenie jonów Na^+ z $137,6 \pm 0,9$ mmol/l wzrosło do $141,5 \pm 0,7$ mmol/l podczas maksymalnego obciążenia. Przyczyną wzrostu stężenia jonów K^+ w osoczu podczas wysiłku fizycznego jest prawdopodobnie ich wpływ z pracujących komórek mięśni szkieletowych, co jest skorelowane z przemieszczeniami wody z przestrzeni śródkomórkowej do pozakomórkowej. Jon K^+ jest głównym regulatorem molarności płynu śródkomórkowego [14]. Stężenie zewnątrzkomórkowych jonów K^+ wzrasta proporcjonalnie do częstotliwości i czasu trwania stosowanej stymulacji, po czym w restytucji zmniejsza się osią-

gając nawet wartości poniżej poziomu spoczynkowego (9, 10). Podobnie w prezentowanych badaniach wzrastało ono progowo i uzależnione było od intensywności pracy. Wzrost stężenia pozakomórkowych jonów K^+ , prowadzi do obniżenia pobudliwości mięśni już nawet przed wyczerpaniem substratów energetycznych. Zatem kumulujące się jony K^+ w osoczu mogą stanowić sygnał

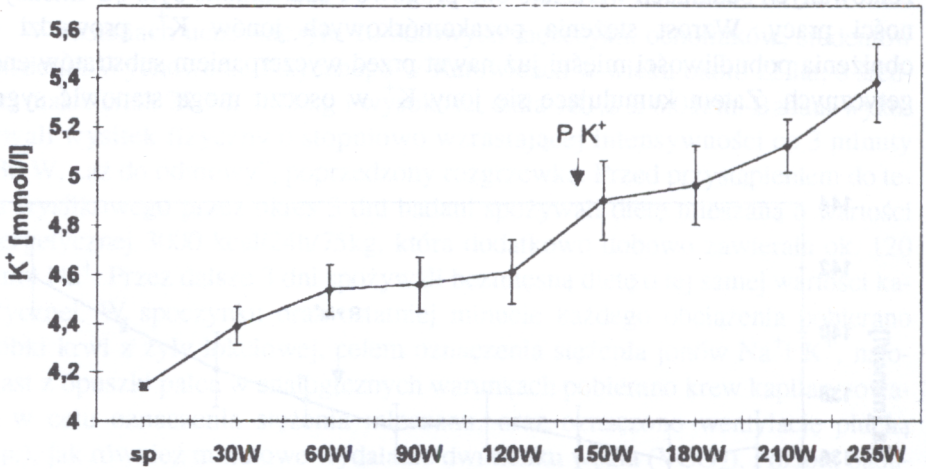


Ryc. 1 Zmiany stężenia Na^+ w czasie wysiłku o stopniowo narastającej intensywności ($\bar{x} \pm SD$)

▼ obciążenie, przy którym występuje próg sodowy

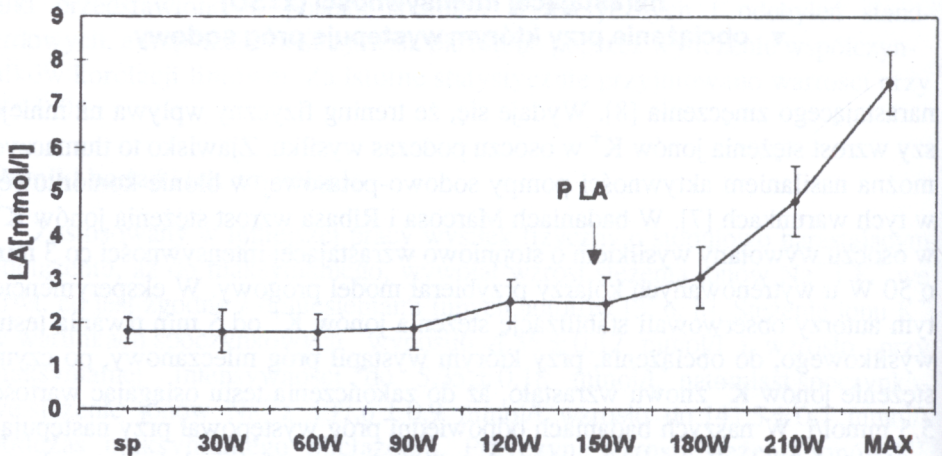
narastającego zmęczenia [8]. Wydaje się, że trening fizyczny wpływa na mniejszy wzrost stężenia jonów K^+ w osoczu podczas wysiłku. Zjawisko to tłumaczyć można nasilaniem aktywności pompy sodowo-potasowej w błonie komórkowej w tych warunkach [7]. W badaniach Marcosa i Ribasa wzrost stężenia jonów K^+ w osoczu wywołany wysiłkiem o stopniowo wzrastającej intensywności co 3 min o 50 W u wytrenowanych kolarzy przybierał model progowy. W eksperymencie tym autorzy obserwowali stabilizację stężenia jonów K^+ od 5 min trwania testu wysiłkowego, do obciążenia, przy którym wystąpił próg mleczanowy, po czym stężenie jonów K^+ znowu wzrastało, aż do zakończenia testu osiągając wartość 5.5 mmol/l. W naszych badaniach odpowiedni próg występował przy następujących obciążeniach oraz przyjmował następujące wartości stężenia: sodowy $ATNa^+$ (137.13 ± 17.26 W, 138.6 ± 0.4 mmol) (ryc.1); potasowy ATK^+ (138.73 ± 21.54 W, 4.77 ± 0.09 mmol/l) (ryc. 2); mleczanowy $ATLa$ (146.8 ± 23.36 W, 2.79 ± 0.14 mmol/l) (ryc.3); wentylacyjny ATV_E – 138.8 ± 19.5 W.

Znaleziono istotną korelację pomiędzy progiem mleczanowym i wentylacyjnym ($r = 0.96$, $p < 0,001$). Stwierdzono także, że próg mleczanowy, jak i wentylacyjny



Ryc.2 Zmiany stężenia K⁺ w czasie wysiłku o stopniowo narastającej intensywności ($\bar{x} \pm SD$)

↓ - obciążenie, przy którym występuje próg potasowy



Ryc.3 Zmiany stężenia mlecyanu (LA) w czasie wysiłku o stopniowo narastającej intensywności ($\bar{x} \pm SD$)

↓ - obciążenie, przy którym występuje próg mlecyanowy

ny korelują z progiem potasowym i sodowym ($ATLa - ATK^+ r = 0.92, p < 0.001$; $ATV_E - ATK^+ r = 0.95, p < 0.05$; $ATV_E - ATNa^+ r = 0.74, p < 0.05$, $ATLa - ATNa^+ r = 0.75, p < 0.05$).

Reasumując należy stwierdzić, że podczas testów wysiłkowych o narastającej intensywności można wyznaczyć próg sodowy i potasowy oraz, że koresponduje on z progiem anaerobowym. Można zatem przy ich pomocy wyznaczać możliwości wysiłkowe badanych osób.

Bibliografia

1. Buono M.J., Clancy T.R., and Cook J.R. „Blood lactate and ammonium ion accumulation during graded exercise in humans”, *J.Appl.Physiol.*, 1984, 57, 135-139.
2. Chwalbińska-Moneta J., Krzysztofiak H., Ziemia A., Nazar K., Kaciuba-Uściłko H. „Hormonal threshold during progressive exercise in relation to anaerobic threshold in athletes of different age”, *Medycyna Sportowa*, 1994, 42, 10-11.
3. Clausen T. „Regulation of active Na^+ - K^+ transport in skeletal muscle”, *Physiol.Rev.*, 1986, 66, 554-580.
4. Farrell P.A., Garthwaite T.L., Gustafson A.B. „Plasma adreno-corticotropin and cortisol responses to submaximal and exhaustive exercise”, *J.Appl.Physiol* 1983, 55, 1441-1444.
5. Gleim G.W., Zabetakis P.M., De Pasquale E.E., Michelis M.F., and Nicholas J.A. „Plasma osmolality, volume, and renin activity at the "anaerobic threshold"”, *J.Appl.Physiol.* 1984, 56, 57-63.
6. Juel C., Bangsbo J., Graham T., Saltin B., „Lactate and potassium fluxes from human skeletal muscle during and after intense, dynamic, knee extensor exercise”, *Acta Physiol Scand* 1990, 140, 147-159.
7. Knochel J.P., Blachley J.D., Johnson J.H., Carter N.W. „Muscle cell electrical hyperpolarization and reduced exercise hyperkalemia in physically conditioned dogs”, *J.Clin.Invest.*, 1985, 75, 740-745.
8. Marcos E., Ribas J. „Kinetics of plasma potassium concentrations during exhaustive exercise in trained and untrained men. Eur”, *J.Appl.Physiol.* 1995, 71, 207-214d
9. Martin G., Morad M. „Activity-induced potassium accumulation and its uptake in frog ventricular muscle”, *J.Physiol* 1982, 328, 205-227.
10. Medbo I.J., Sejersted O.M. „Plasma potassium changes with high intensity exercise”. *J.Physiol* 1990. 421, 105-122.

11. Mazzeo R.S., Marshall P.: Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J. Appl.Physiol.* 1989, 67 (4), 1319-1322.
12. Nagata A., Muro M, Moritani T., and Yoshida T.: Anaerobic threshold determination by blood lactate and myoelectric signals. *Jap.J.Physiol.* 1981, 31, 585-597.
13. Paterson D.J.: Potassium and ventilation in exercise. *J.Appl. Physiol.* 1992, 72, 811-820.
14. Sjogaard G., Saltin B.: Extra-and intracellular water spaces in muscles of man at rest and with dynamic exercise. *Am.Physiol.* 1982, 243, R271-R280.

SUMMARY

J.Chmura, B.Manowska, A.Zajac, Ewelina Smol, W.Pilis, T.Pilis

CHANGES IN SODIUM AND KALIUM ION CONCENTRATION IN THE BLOOD OF MALES SUBJECTED TO GRADUALLY INCREASED PHYSICAL EXERCISE AGAINST LACTATE AND VENTILATION THRESHOLDS

10 healthy, young men were investigated while being subjected to physical exercise gradually intensified to maximum workload. At each level of load, a blood sample was taken from the pulp of a finger to determine concentration of lactate. Blood samples were also taken from the elbow vein to determine concentration of sodium and kalium ions. Apart from those, minute pulmonary ventilation and minute secretion of carbon dioxide were determined. The investigation revealed that during the graded intensity exercise, there was an exponential increase in sodium and kalium ion concentration in their blood. Apart from that, minute pulmonary ventilation and minute secretion of carbon dioxide were determined.

The investigation revealed that during the graded intensity physical exercise there was an exponential increase in sodium and kalium ion concentration in the blood of the investigated subjects. The sodium threshold ($ATNa^+$) occurred at the load of $137,13 \pm 17,26$ W, the kalium threshold (ATK^+) occurred at the load of $138,73 \pm 21,54$ W, the lactate threshold ($ATLa$) occurred at the load of $146,8 \pm 32,36$ W and the ventilation threshold ($ATVE$) occurred at the load of $138,8 \pm 19,5$ W.

At the threshold point, the concentration of sodium and kalium was $138,6 \pm 0,4$ mmol/l and $4,77 \pm 0,09$ mmol/l respectively.

Besides, it was revealed that there was a significant correlation between the lactate threshold and the ventilation threshold ($r = 0,96$, $p < 0,001$). It was also revealed that the lactate and ventilation thresholds correlate with the kalium and sodium thresholds ($ATLa - ATK^+$, $r = 0,92$, $p < 0,001$, $ATVE - ATK^+$ $r = 0,95$, $p < 0,001$, $ATVE - ATNa^+$ $r = 0,74$, $p < 0,05$, $ATLa - ATNH_4^+$ $r = 0,75$, $p < 0,057$).