

MIKOŁAJ A. GRALAK¹, JERZY BERTRANDT², ANNA KŁOS²,
ANNA B. STRYCZEK, BOGDAN DĘBSKI

WPLYW TRENINGU I DODATKU WITAMINY C NA ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW MINERALNYCH W WĄTROBIE SZCZURÓW

Streszczenie

Przeprowadzono badania wpływu wysiłku i dodatku witaminy C na zawartość wapnia, magnezu, żelaza, cynku, manganu i miedzi w wątrobach szczurów. Zwierzęta były podzielone na cztery grupy i przez 90 dni żywione były *ad libitum* dietami półsyntetycznymi o wartości energetycznej 1,47 kJ/100 g (350 kcal/100 g), z czego 20% energii pochodziło z białka. Dwie grupy szczurów otrzymywały powyższą dietę z dodatkiem witaminy C. Diety te zawierały 375 mg tej witaminy/kg diety, co stanowiło 15-o krotność poziomu w dietach bez dodatku witaminy C. Szczury z dwóch grup spośród wyżej wymienionych czterech, z jednej bez dodatku i z jednej otrzymującej dodatek witaminy C, były codziennie trenowane przez godzinę na bieżni. U trenowanych szczurów obserwowano wzrost stężenia badanych pierwiastków w wątrobie, z wyjątkiem żelaza. Istotnie wyższe stężenia stwierdzono u szczurów w przypadku: Mg (288 ±12 i 329 ±13 mg/kg), Zn (48,8 ±1,8 i 57,9 ±1,9 mg/kg) oraz Cu (4,50 ±0,18 i 5,36 ±0,19 mg/kg). Stężenie Cu u zwierząt nietrenowanych karmionych dietą z wysoką zawartością witaminy C było także istotnie wyższe (5,38 ±0,27 mg/kg) niż w grupie nietrenowanych szczurów nieotrzymujących witaminy C (3,63 ±0,24 mg/kg).

Słowa kluczowe: składniki mineralne, wysiłek, witamina C

Wprowadzenie

Po wysiłku następuje wzrost TBARS (thiobarbituric acid reactive substances) w osoczu, co sugeruje zaburzenie równowagi między powstawaniem i eliminacją wolnych rodników tlenowych (ROS). Temu procesowi towarzyszy obniżenie stężenia Mg, Zn i Cu w osoczu krwi, ale także wzrost stężenia Mg, Fe, Cu i Se w krwinkach czerwonych [15]. Stwierdzono także w badaniach na ludziach i zwierzętach, że po wysiłku wzrasta wydalanie Zn, Cu, Se i Cr w moczu oraz w pocie [1, 2, 3, 5, 12, 20]. Z drugiej

¹ Dr hab. M. A. Gralak, mgr inż. A. B. Stryczek, dr hab. B. Dębski Katedra Nauk Fizjologicznych, Wydział Medycyny Weterynaryjnej, SGGW, Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa,

² Dr hab. n. farm. J. Bertrandt, dr n. farm. A. Kłos, Zakład Higieny i Fizjologii, Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii, Kozielska 4, 01-163 Warszawa

strony wiadomo, że wysiłek i ruch, poprawia mineralizację kości, nawet u ludzi starszych w wieku powyżej 60 lat [16].

Wydaje się, że witamina C może mieć bezpośredni wpływ na metabolizm składników mineralnych, ze względu na swoje właściwości redukujące i chelatujące [13]. Niedobór witaminy C może zaburzyć tworzenie poprzecznych mostków w strukturze kolagenu [4], umożliwiających wychwytywanie i zatrzymywanie składników nieorganicznych w kości. Wydaje się, że najlepiej poznany jest wpływ witaminy C na wchłanianie i metabolizm żelaza. Jednak nie wszystko jest jasne i dlatego związek metabolizmu witaminy C i żelaza jest nadal przedmiotem wielu badań [21; 23]. Jednocześnie wiadomo, że składniki mineralne we krwi stanowią ułamek procenta z ich całkowitej zawartości w organizmie, a ich stężenie w osoczu jest względnie stałe ze względu między innymi na aktywność wątroby, przez którą migrują wszystkie składniki mineralne wchłonięte w przewodzie pokarmowym.

Biorąc pod uwagę dane literaturowe na temat interakcji między wysiłkiem, witaminą C i składnikami mineralnymi, postanowiono zbadać wpływ dodatku witaminy C do diety oraz wpływ treningu na stężenie wapnia, magnezu, żelaza, cynku, manganu i miedzi w wątrobie szczurów karmionych *ad libitum*.

Material i metody badań

Doświadczenie wykonano na 90 rosnących samcach, szczurach szczepu Wistar o początkowej masie około 150 g. Zwierzęta były podzielone na cztery grupy i utrzymywane indywidualnie w plastikowych klatkach umieszczonych w klimatyzowanym pomieszczeniu (23°C), z zachowaniem 12-godzinnej cyklu świetlnego. Zwierzęta otrzymywały *ad libitum* półsyntetyczną dietę o wartości energetycznej diety 3500 kcal/kg (1466,5 kJ/100 g), przy czym 20% energii pochodziło z białka a 15% z tłuszczów (tab.1).

Zawartość witaminy C w dwóch dawkach wynosiła 250 mg/kg diety. Dwie grupy szczurów otrzymywały dietę z dodatkiem witaminy C. Diety te zawierały 3,75 g tej witaminy/kg diety, co stanowiło 15-krotność poziomu w dietach bez dodatku witaminy C. Szczury z dwóch grup spośród wyżej wymienionych czterech, z jednej bez dodatku i z jednej otrzymującej dodatek witaminy C, były codziennie trenowane przez godzinę na bieżni.

W trakcie trwania doświadczenia kontrolowano zmiany masy ciała oraz ilość spożytej paszy dwukrotnie w ciągu tygodnia. 12 godzin przed końcem doświadczenia zwierzęta odstawiano od karmy. Szczury uśmiercano przez przerwanie rdzenia kręgowego po uprzednim uśpieniu eterem etylowym i pobrano wątroby do dalszych badań. Próbki wątroby (0,5 - 1 g) umieszczano w wysokociśnieniowych naczyniach teflonowych i dodawano do nich 5 ml HNO₃ (Merck 1.00441) oraz 1 ml H₂O₂ (Merck 107298). Mineralizację przeprowadzano w laboratoryjnym systemie mikrofalowym

Ethos 900 firmy Milestone, USA - Włochy. Po mineralizacji próbek, pierwiastki były oznaczane metodą płomieniowej absorpcji atomowej na aparacie Perkin-Elmer 1100B, przy użyciu próżniowych lamp katodowych.

Tabela 1

Skład diety szczurów.
Composition of the rat diet.

Składnik Component	g/kg	kcal
Kazeina Casein	189,7	607,0
Suszone jaja Egg powder	16,1	93,3
Mąka pszenna Wheat flour	194,3	676,1
Skrobia pszenna Wheat starch	300	1200
Skrobia ziemniaczana Potato starch	91,4	-
Sacharoza Sucrose	100	399
Olej słonecznikowy Sunflower oil	3,6	32,4
Smalec Lard	54,9	492,6
Premiks mineralny Mineral mixture*	40	-
Witaminy Vitamins**	10	-

* 1000 g premiksu mineralnego zawiera: KHPO_4 -322,0g, CaCO_3 -300,0g, NaCl -167,0g, MgSO_4 -102,0g, CaHPO_4 -75,0g, $\text{FeC}_6\text{P}_5\text{O}_7$ -27,5g, MnSO_4 -5,1g, KJ -0,8g, CuSO_4 -0,3g, ZnCl_2 -0,25g, CoCl_2 -0,05g.

* 1000 g mineral mixture contains: KHPO_4 -322,0g, CaCO_3 -300,0g, NaCl -167,0g, MgSO_4 -102,0g, CaHPO_4 -75,0g, $\text{FeC}_6\text{P}_5\text{O}_7$ -27,5g, MnSO_4 -5,1g, KJ -0,8g, CuSO_4 -0,3g, ZnCl_2 -0,25g, CoCl_2 -0,05g.

** 1000 g premiksu witaminowego zawiera: wit. D_3 -545000 IU, wit. K -1,0g, wit. B_{12} -30 μg , chlorek cholicy-10,0g, kwas foliowy-1,01g, biotyna-0,03g, inozytol 10,0g, PABA -10,0g, wit. A -1250000 IU, wit. B_6 -5g, wit. E -2,5g, wit. B_1 -5,0g, wit. C -25g, wit. PP -5,0g, wit. B_2 -2,5g, pantotenian wapnia -25,0g.

** 1000 g vitamin mixture contains: Vit. D_3 -545000 IU, Vit. K -1,0g, Vit. B_{12} -30 μg , Choline chloride-10,0g, Folic acid-0,03g, Biotin-0,03g, Inositol 10,0g, PABA -10,0g, Vit. A -1250000 IU, Vit. B_6 -1,5g, Vit. E -2,5g, Vit. B_1 -5,0g, Vit. C -25g, Vit. PP -5,0g, Vit. B_2 -2,5g, Calcium panthotenate-25,0g.

Ocena statystyczna uzyskanych wyników obejmowała jednoczynnikową (grupa) i dwuczynnikową (trening*witamina C) analizę wariancji. W celu zbadania równości wariancji w grupach przeprowadzono test Levene'a. Ponieważ wariancje w grupach różniły się od siebie istotnie to do porównania średnich zastosowano test Tamhane'a. Do obliczeń użyto programu SPSS 12.0 PL.

Wyniki i dyskusja

Średnie spożycie paszy w czasie doświadczenia wynosiło 23,5 g/dzień. Spożycie składników mineralnych było podobne we wszystkich grupach. Stężenie wapnia, magnezu, żelaza, cynku, manganu i miedzi w wątrobie wraz z wynikami analizy statystycznej są przedstawione w tabelach 2 – 7, osobno dla każdego pierwiastka. W tabelach podano średnie i błąd standardowy średniej (SEM).

Tabela 2

Stężenie wapnia w wątrobie szczurów ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej tkanki).
Liver calcium content in rats ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fresh tissue).

Grupa Group	n	Bez treningu Without training	n	Trening Training	n	Średnia ogólna Overall mean
Bez witaminy C Without vitamin C	26	48,16 \pm 3,40	20	53,87 \pm 4,08	46	51,01 \pm 2,66
Z dodatkiem wit. C With vitamin C	19	54,85 \pm 3,97	19	54,66 \pm 3,97	38	54,76 \pm 2,81
Średnia ogólna Overall mean	45	51,50 \pm 2,61	39	54,27 \pm 2,85	84	52,88 \pm 1,93

Tabela 3

Zawartość magnezu w wątrobie szczurów ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej tkanki).
Liver magnesium content in rats ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fresh tissue).

Grupa Group	n	Bez treningu Without training	n	Trening Training	n	Średnia ogólna Overall mean
Bez witaminy C Without vitamin C	27	276,8 \pm 15,6	20	306,9 \pm 18,2	47	291,8 \pm 12,0
Z dodatkiem wit. C With vitamin C	20	300,4 \pm 18,2	20	351,6 \pm 18,2	40	326,0 \pm 12,8
Średnia ogólna Overall mean	47	288,6 ^A \pm 12,0	40	329,3 ^B \pm 12,8	87	308,9 \pm 8,8

^{A,B} średnie ogólne oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $P \leq 0,05$ (test F)

^{A,B} overall means followed by the different superscript differ significantly at $P \leq 0.05$ (test F)

Wysiłek podwyższył ($P \leq 0,05$) zawartość magnezu (Tab. 3), cynku (Tab. 5) i miedzi (Tab. 7) w wątrobie. W przypadku pozostałych pierwiastków: wapnia, żelaza i manganu zmiany stężeń były statystycznie nieistotne. U szczurów poddanych treningowi zawartość magnezu w wątrobie wzrosło o 14,1%, cynku o 18,8% i miedzi aż o 19,3%. Ciekawe, że zawartość żelaza w wątrobie było najwyższe w grupie niepoddawanej treningowi i nieotrzymującej dodatku witaminy C (Tab. 4). Dodatek witaminy C nie miał wpływu na wzrost zawartości żelaza w wątrobie, chociaż wiadomo, że witamina C zwiększa wchłanianie tego pierwiastka z przewodu pokarmowego [13; 19]. Jednak skuteczność dodatku witaminy C na wchłanianie żelaza zależy również od rozpuszczalności związku, w jakim żelazo występuje [22]. Zwiększając dwukrotnie stosunek żelaza do witaminy C w mieszankach dla dzieci z 1:2.1 do 1:4.2 można zwiększyć

wchłanianie tego pierwiastka z 14,8 do 22,1% [7]. Być może w niniejszym doświadczeniu dawka witaminy C była zbyt duża i stąd jego niższe ($P > 0,05$) zawartość w wątrobie. Podobnie Oladipo i wsp. [17] obserwowali u ludzi obniżenie biodostępności żelaza pod wpływem dodatku witaminy C do racji pokarmowych.

Tabela 4

Zawartość żelaza w wątrobie szczurów ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej tkanki).
Liver iron content in rats ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fresh tissue).

Grupa Group	n	Bez treningu Without training	n	Trening Training	n	Średnia ogólna Overall mean
Bez witaminy C Without vitamin C	27	342,7 ±19,0	20	316,8 ±22,0	47	329,7 ±14,5
Z dodatkiem wit. C With vitamin C	20	305,6 ±22,0	20	318,3 ±22,0	40	312,0 ±15,6
Średnia ogólna Overall mean	47	324,2 ±14,5	40	317,5 ±15,6	87	320,8 ±10,7

Tabela 5

Zawartość cynku w wątrobie szczurów ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej tkanki).
Liver zinc content in rats ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fresh tissue).

Grupa Group	n	Bez treningu Without training	n	Trening Training	n	Średnia ogólna Overall mean
Bez witaminy C Without vitamin C	27	45,78 ^a ±2,35	20	59,06 ^b ±2,73	47	52,42 ±1,80
Z dodatkiem wit. C With vitamin C	20	51,75 ^{ab} ±2,73	20	56,83 ^b ±2,73	40	54,29 ±1,93
Średnia ogólna Overall mean	47	48,76 ^A ±1,80	40	57,94 ^B ±1,93	87	53,35 ±1,32

^{a,b} średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $P \leq 0,05$ (test Tamhane'a)

^{a,b} means followed by the different superscript differ significantly at $P \leq 0.05$ (test Tamhane'a)

^{A,B} średnie ogólne oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $P \leq 0,05$ (test F)

^{A,B} overall means followed by the different superscript differ significantly at $P \leq 0.05$ (test F)

Chociaż zawartość manganu nie uległo zmianom pod wpływem treningu, to był to jedyny pierwiastek, którego zawartość istotnie wzrosło pod wpływem dodatku witaminy C do dawki pokarmowej (Tab. 6). Wiadomo, że dodatek manganu zwiększa syntezę witaminy C w wątrobie z mannozy, galaktozy i glukozy [9]. Jednocześnie Davidsson i wsp. [6] doszli do wniosku, że dodatek witaminy C nie ma wpływu na wchłanianie manganu z przewodu pokarmowego. Można więc przypuszczać, że dodatek witaminy C prawdopodobnie ograniczył jej syntezę w wątrobie i zmniejszył wydalanie manganu z żółcią. We wcześniejszych badaniach stwierdziliśmy istotną korelację między zawartościami żelaza i manganu [11], ale zależność taka nie została potwierdzona w tym badaniu. W obecnym doświadczeniu nie zaobserwowano by dodatek witaminy C miał wpływ na zawartości wapnia, magnezu, cynku i miedzi, chociaż w literaturze można

znaleźć przykłady, niekiedy przeciwstawne, na istnienie zależności między witaminą C a składnikami mineralnymi. Prawdopodobnie zależy to także od dawki witaminy C.

Tabela 6

Zawartość manganu w wątrobie szczurów ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej tkanki).
Liver manganese content in rats ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fresh tissue).

Grupa Group	n	Bez treningu Without training	n	Trening Training	n	Średnia ogólna Overall mean
Bez witaminy C Without vitamin C	27	2,69 ^a ±0,14	20	2,79 ^a ±0,17	47	2,74 ^A ±0,11
Z dodatkiem wit. C With vitamin C	20	3,40 ^b ±0,17	20	3,62 ^b ±0,17	40	3,51 ^B ±0,12
Średnia ogólna Overall mean	47	3,04 ±0,11	40	3,20 ±0,12	87	3,12 ±0,08

^{a,b} średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $P \leq 0,05$ (test Tamhane'a)

^{a,b} means followed by the different superscript differ significantly at $P \leq 0.05$ (test Tamhane'a)

^{A,B} średnie ogólne oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $P \leq 0,05$ (test F)

^{A,B} overall means followed by the different superscript differ significantly at $P \leq 0.05$ (test F)

U ludzi żywionych dietą zawierającą rośliny strączkowe, dawki witaminy C w ilości do 100 mg na dobę wpływały pozytywnie na biodostępność wapnia, magnezu, żelaza i cynku, ale nie miały wpływu na biodostępność miedzi [17]. Ci sami autorzy stwierdzili, że dawki witaminy C powyżej 100 mg na dobę obniżały biodostępność tych składników mineralnych. Natomiast w przypadku diety z amarantusem dodatek witaminy C (50 - 300 mg/d) obniżył jedynie biodostępność miedzi. To może także świadczyć o nieznannej interakcji między witaminą C a składnikami diety. W naszym doświadczeniu szczury spożywały średnio 8,5 – 9,0 mg witaminy C na dzień (30 mg/kg m.c.), co spowodowało wzrost ($P > 0,05$) zawartości magnezu w wątrobie o 11,7% z 291,8 do 326,0 mg/kg. Zmiany w zawartości zarówno magnezu, jak i manganu w wątrobie mogą świadczyć o przesunięciu *pool*'i tych pierwiastków w organizmie zwierząt otrzymujących diety wzbogacone w tę witaminę. Z drugiej strony, biorąc pod uwagę udział kwasu askorbinowego w metabolizmie kolagenu [4] i witaminy D₃ [19] można sądzić, że dodatek witaminy C miał hamujące działanie na resorpcję kości. Jednak toksyczne dawki witaminy C (200 mg/dzień) u świnek morskich mogą wywołać demineralizację kości [18]. W naszym doświadczeniu dodatek witaminy C do dawki pokarmowej szczurów nie miał wpływu na zawartość wapnia, żelaza, cynku i miedzi w wątrobie.

Zastosowanie obu badanych czynników, treningu i witaminy C, zwiększyło ($P > 0,05$) dalej stężenie jedynie magnezu ($351,6 \pm 18,2$) w stosunku do grupy nietreningowanej, karmionej bez dodatku witaminy C ($276,8 \pm 15,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). W przypadku miedzi (Tab. 7), kombinacja treningu i dodatku witaminy C spowodowała obniżenie

($P > 0,05$) stężenia tego pierwiastka w wątrobie w stosunku do grup, w których czynniki te były stosowane oddzielnie.

Tabela 7

Zawartość miedzi w wątrobie szczurów ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej tkanki).
Liver copper content in rats ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fresh tissue).

Grupa Group	n	Bez treningu Without training	n	Trening Training	n	Średnia ogólna Overall mean
Bez witaminy C Without vitamin C	27	3,63 ^a ± 0,24	20	5,79 ^b ± 0,27	47	4,71 ± 0,18
Z dodatkiem wit. C With vitamin C	20	5,38 ^b ± 0,27	20	4,93 ^b ± 0,27	40	5,15 ± 0,19
Średnia ogólna Overall mean	47	4,50 ^A ± 0,18	40	5,36 ^B ± 0,19	87	4,93 ± 0,13

^{a,b} średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $P \leq 0,05$ (test Tamhane'a)

^{a,b} means followed by the different superscript differ significantly at $P \leq 0.05$ (test Tamhane'a)

^{A,B} średnie ogólne oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $P \leq 0,05$ (test F)

^{A,B} overall means followed by the different superscript differ significantly at $P \leq 0.05$ (test F)

Wnioski

1. Trening odgrywa ważną rolę w metabolizmie składników mineralnych podwyższając stężenie magnezu, cynku i miedzi w wątrobie.
2. Dodatek witaminy C do diety (3,75 g/kg) podwyższa stężenie manganu ($p \leq 0,05$) i magnezu ($p > 0,05$) w wątrobie.

Literatura

- [1] Anderson R.A.: New insights on trace elements, chromium, copper, and zinc, and exercise. In: Advances in nutrition and top sport, Med. Sport. Science. M. Hebbelinck, R.J. Sheppard Eds. S. Karger, Basel, Switzerland 1991, pp. 38-58.
- [2] Anderson R.A., Bryden N.A., Polansky M.M., Deuster P.A.: Exercise effects on chromium excretion of trained and untrained men consuming a constant diet. J. Appl. Physiol., 1988, 64, 249-252.
- [3] Antczak A., Gralak M.A.: Diabeł tkwi w szczegółach, czyli dlaczego warto chronić konie przed stresem. Cz. I. Hodowca i Jeździec 2003, 1 (1), 13-4.
- [4] Bates C.J., Tsuchiya H.: Comparison of vitamin C deficiency with food restriction on collagen cross-link rations in bone, urine and skin of weanling guinea-pigs. Br. J. Nutr., 2003, 89, 303-10.
- [5] Córdova A., Navas F.J.: Effect of training on zinc metabolism: Changes in Serum and Sweat Zinc Concentrations in Sportsmen. Ann. Nutr. Metab., 1998, 42, 274-282.
- [6] Davidsson L., Almgren A., Juillerat M.A., Hurrell R.F.: Manganese absorption in humans: The effect of phytic acid and ascorbic acid in soy formula. Am. J. Clin. Nutr., 1995, 62, 984-987.
- [7] Davidsson L., Dimitriou T., Walczyk T., Hurrell R.F.: Iron absorption from experimental infant formulas based on pea (*Pisum sativum*)-protein isolate: the effect of phytic acid and ascorbic acid. Br. J. Nutr., 2001, 85, 59-63.
- [8] Davidsson L., Galan P., Kastenmayer P., Cherouvrier F., Juillerat M.A., Herberg S., Hurrell R.F.: Iron bioavailability studied in infants: the influence of phytic acid and ascorbic acid in infant formulas based on soy isolate. Pediatr. Res., 1994, 36 (6), 816-822.

- [9] Gralak M.A.: Absorption of certain trace elements in different nutritional conditions. In: Biology of intestine in growing animals. R. Zabielski, P.C. Gregory, B. Weström Eds. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 2002, pp. 579-604.
- [10] Gralak M.A., Bertrandt J., Klos A., Stryczek A.: Wpływ głodzenia szczurów na stężenie makro- i mikroelementów w wątrobie. Żyw. Człow. i Metab., 2001, 28, suppl., 469-474.
- [11] Gralak M.A., Bertrandt J., Klos A., Stryczek A., Piastowska A.W., Morka A., Debski B.: Effect of restricted feed intake and addition of the vitamins B2, B6 and folic acid on the liver concentration of iron and manganese in rats. In: Metal Ions in Biology and Medicine 8. M.A. Cser, I. Sziklai Laszlo, J.-C. Etienne, J. Maynard, J. Centeno, L. Khassanova, Ph. Collery Eds. John Libbey Eurotext, Paris, 2004, pp. 299-302.
- [12] Lukaski H.C., Hoverson B.S., Gallagher S.K., Bolonchuk W.W.: Physical training and copper, iron and zinc status of swimmers. Am. J. Clin. Nutr., 1990, 51, 1093-1099.
- [13] McDowell L.R.: Vitamins in animal nutrition. Comparative aspects to human nutrition. Academic Press, Inc., San Diego 1989.
- [14] Milne D.B., Klevay L.M., Hunt J.R.: Effects of ascorbic acid supplements and a diet marginal in copper on indices of copper nutriture in women. Nutr. Res., 1988, 8, 865-873.
- [15] Monteiro C.P., Palmeira A., Felisberto G.M., Vaz C., Rodrigues A., Barata J., Laires M.J.: Magnesium, calcium, trace elements and lipid profile in trained volleyball players: Influence of training. In: Current research in magnesium. M.J. Halpern, J. Durlach Eds. John Libbey & Company Ltd, London 1996, pp. 231-5.
- [16] Nguyen T.V., Sambrook P.N., Eisman J.A.: Bone loss, physical activity, and weight change in elderly women: the Dubbo Osteoporosis Epidemiology Study. J. Bone Miner. Res., 1998, 13, 1458-1467.
- [17] Oladipo A., Falade M.S., Otemuyiwa I.O., Adewusi S.R.: Ascorbic acid and mineral availability in two Nigerian plant foods. Afr. J. Med. Sci., 2004, 33, 171-175.
- [18] Parker C.M., Sharma R.P., Shupe J.L.: The interaction of dietary vitamin C, protein and calcium with fluoride: effects in guinea pigs in relation to breaking strength and radiodensity of bone. Den. Tech., 1979, 15, 301-311.
- [19] Puls R.: Vitamin levels in animal health. Diagnostic data and bibliographies. Sherpa International, Clearbrook, British Columbia 1994.
- [20] Rubin M.A., Miller J.P., Ryan A.S., Treuth M.S., Patterson K.Y., Pratley R.E., Hurley B.F., Veillon C., Moser-Veillon P.B., Anderson R.A.: Acute and chronic resistive exercise increase urinary chromium excretion in men as measured with an enriched chromium stable isotope. J. Nutr., 1998, 128, 73-78.
- [21] Sturm B., Laggner H., Ternes N., Goldenberg H., Scheiber-Mojdehkar B.: Intravenous iron preparations and ascorbic acid: Effects on chelatable and bioavailable iron. Kidney Int., 2005, 67, 1161-1170.
- [22] Swain J.H., Johnson L.K., Hunt J.R.: An irradiated electrolytic iron fortificant is poorly absorbed by humans and is less responsive than FeSO₄ to the enhancing effect of ascorbic acid. J. Nutr., 2006, 136, 2167-2174.
- [23] Teucher B., Olivares M., Cori H.: Enhancers of iron absorption: ascorbic acid and other organic acids. Int. J. Vitam. Nutr. Res., 2004, 74, 403-419.

INFLUENCE OF TRAINING AND VITAMIN C SUPPLEMENTATION ON LIVER MINERAL CONTENT IN RATS

Summary

The objective was to study the effect of training and vitamin C supplementation on hepatic Ca, Mg, Fe, Zn, Mn and Cu concentration in rats. Animals were randomly divided into four groups fed *ad libitum* for 90 days with semipurified diets containing 1.47 MJ brutto energy per 100 g (350 kcal/100 g) and 20% of energy originated from protein. Two groups of rats were offered above diets enriched with

vitamin C (375 mg/kg diet in total). It was the 15 fold higher concentration than in groups without supplementation. Rats of two groups, one fed without addition of vitamin C and the other supplemented with vitamin C, were trained for one hour daily. In trained rats higher liver concentration of minerals was observed, except iron. The significantly higher concentration was stated in case of: Mg (288 ± 12 i 329 ± 13 mg/kg), Zn (48.8 ± 1.8 i 57.9 ± 1.9 mg/kg) and Cu (4.50 ± 0.18 i 5.36 ± 0.19 mg/kg). Liver Cu concentration in untrained animals supplemented with vitamin C was also significantly higher (5.38 ± 0.27 mg/kg) than in untrained group fed diet with normal vitamin C content (3.63 ± 0.24 mg/kg).

Key words: minerals, training, vitamin C 