

DOROTA SKRAJNOWSKA, REGINA OŁĘDZKA

BILANS MAGNEZU I ŻELAZA ORAZ ICH ZAWARTOŚĆ W NARZĄDACH  
I PŁYNACH USTROJOWYCH SZCZURÓW PODDANYCH  
SUPLEMENTACJI WĘGLANEM MAGNEZU

MAGNESIUM AND IRON BALANCE AND THEIR CONCENTRATIONS IN TISSUES  
AND BODY FLUIDS OF RATS AFTER SUPPLEMENTATION WITH MAGNESIUM  
CARBONATE

Katedra i Zakład Bromatologii  
Wydział Farmaceutyczny, Akademia Medyczna  
02-097 Warszawa, ul. Banacha 1  
Kierownik: prof. dr hab. R. Ołędzka

*Badano oddziaływanie węglanu magnezu (w dawkach 2,5; 5,0 i 10,0 mg Mg/kg m.c./24 h) w czasie jego podawania oraz po zaprzestaniu suplementacji na bilans magnezu i żelaza oraz ich zawartość w narządach, płynach ustrojowych, kości udowej i sierści szczurów. Stwierdzono znaczne obniżenie współczynnika retencji pozornej żelaza oraz zmiany jego zawartości w tkankach. Nie wykazano trwałych zmian w retencji magnezu.*

WSTĘP

Do prawidłowego funkcjonowania organizmu niezbędne jest dostarczenie z żywnością odpowiednich składników odżywczych, w tym składników mineralnych. Jednakże na biodostępność makro- i mikroelementów wpływa bardzo wiele czynników np. stopień wysycenia tkanek, wielkość zapasów (stan deficytu lub nadmiaru pierwiastka), obecność jonów konkurencyjnych oraz substancji utrudniających albo ułatwiających wchłanianie, stres (uwalnianie hormonów), używki (kawa, herbata, alkohol), współistniejące choroby [5, 11, 14, 17, 22]. Wśród makroelementów często występują niedobory magnezu [6, 7, 9]. Dzielne zapotrzebowanie magnezu według danych WHO wynosi: 5-6 mg Mg/kg m.c./24 h [7]. Wiadomym jest również, że powszechne stosowanie nawozów sztucznych, zanieczyszczenia przemysłowe, kwaśne deszcze dodatkowo zubożają żywność w ten pierwiastek [2, 10]. Pośpiech życia codziennego utrudnia prawidłowe skomponowanie diety, dlatego chętnie sięgamy po suplementy. Długotrwała podaż jednego pierwiastka przypuszczalnie oddziałuje na inne makro- i mikroelementy. Postanowiono prześledzić losy żelaza w ustroju po doustnym podaniu magnezu. Niewiele jest prac dotyczących interakcji magnez - żelazo, ale wyniki ich są bardzo ciekawe i wskazują na istotne wzajemne oddziaływanie [4, 12].

Celem pracy była próba określenia na modelu zwierzęcym wpływu doustnej suplementacji magnezem w dawkach: 2,5; 5,0 i 10,0 mg Mg/kg m.c./24 h szczurów karmionych paszą standardową na retencję i rozmieszczenie magnezu i żelaza

w poszczególnych narządach, surowicy krwi, sierści i kości udowej szczurów w czasie podawania magnezu i po jego zaprzestaniu.

### MATERIAŁY I METODY

Badania wykonano na 4–5 tygodniowych szczurach samcach rasy *Wistar* o masie 60–70 g. Otrzymywały one paszę hodowlaną LSM i wodę dejonizowaną *ad libitum*. Zwierzęta podzielono na cztery grupy (3 badane i kontrolną). Szczurom z grup badanych I, II, III – podawano przez 4 tyg. sondą dożołądkowo zawieszinę węglanu magnezu w 2% roztworze gumy arabskiej w ilości odpowiadającej 2,5; 5,0 i 10 mg Mg/kg m.c./24 h (ilość zalecana 4 mg Mg/kg m.c./24 h) [8] oraz przez następne 4 tygodnie kontynuowano doświadczenie bez podaży magnezu. Szczurom z grupy kontrolnej podawano przez 4 tygodnie: 2% roztwór gumy arabskiej. W trakcie eksperymentu po 2, 4, 6, 8-tygodniach, po 6 zwierząt z każdej grupy usypiano za pomocą narkozy eterowej, pobierano krew z serca i odwirowywano surowicę. Następnie izolowano narządy: mózg, serce, wątrobę, nerkę, śledzionę, ok. 10 centymetrowy fragment jelita cienkiego, kość udową oraz gołono sierść. W trakcie całego doświadczenia trzykrotnie tj. w 2, 4 i 8-tygodniu, po dwa zwierzęta umieszczano w klatkach metabolicznych, zbierano ilościowo mocz i kał od każdej pary szczurów przez 36 h, w celu oznaczenia bilansu magnezu i żelaza. Bilans obliczano jako współczynnik retencji pozornej korzystając ze wzoru:

$$\frac{\text{ilość spożyta} - (\text{ilość wydalona z kałem i moczem}) \times 100\%}{\text{ilość spożyta}}$$

W tym czasie kontrolowano również spożycie diety i przyrost masy ciała. Zawartość magnezu i żelaza w surowicy krwi i narządach, sierści i diecie oznaczano metodą spektrometrii atomowej ASA.

### WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Biodostępność danego pierwiastka często określana jest jako retencja (zatrzymanie) w organizmie i obliczana jako różnica pomiędzy ilością spożytą pierwiastka, a ilością wydaloną z kałem i moczem w ustalonym przedziale czasowym.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że retencja pozorna magnezu nie zmienia się dla grupy badanej I, oraz zwiększa się dla grup badanych II i III w 2 tyg. doświadczenia w stosunku do kontroli (Tab. I). Natomiast w 4 tyg. podawania nie wystąpiły już żadne istotne różnice. Prawdopodobnie następstwa wielokrotnego podawania magnezu są usuwane przede wszystkim przez nerki, przewód pokarmowy oraz dzięki regulacji hormonalnej [1, 13]. Po czterotygodniowej przerwie w suplementacji magnezem czyli w 8 tyg. badań jedynie w grupie badanej II odnotowano zmniejszenie współczynnika retencji pozornej magnezu o około 28% w stosunku do grupy kontrolnej. Brak zmian retencji w czasie suplementacji magnezem uzyskano również we wcześniejszej pracy [21] z zastosowaniem dawki – 20 mg Mg/kg m.c./24 h, pięciokrotnie przekraczającej ilość zalecaną [8].

Stwierdzono natomiast, że suplementacja magnezem w zastosowanych dawkach w znacznym stopniu modyfikuje retencję żelaza. Jedynie w pierwszym okresie podawania nie wystąpiły żadne zmiany. Natomiast już w 4 tyg. suplementacji odnotowano w grupach badanych I i II obniżenie retencji pozornej żelaza a w grupie badanej III współczynnik retencji pozornej żelaza osiągnął nawet wartość ujemną wynoszącą: – 23% (Tab. I). Nawet po czterotygodniowej przerwie w suplementacji (8 tydzień) ujemną wartość współczynnika retencji pozornej żelaza stwierdzono we wszystkich

Tabela I. Współczynnik retencji pozornej magnezu i żelaza (%)  
Percentage of magnesium and iron retention

Symbol grupy	Tygodnie doświadczenia	Współczynnik retencji pozornej magnezu (%)	Współczynnik retencji pozornej żelaza (%)
kontrolna	2	45 ± 8	50 ± 4
	4	53 ± 16	54 ± 9
	8	52 ± 10	44 ± 12
badana I	2	52 ± 11	49 ± 8
	4	57 ± 9	42 ± 9*
	8	41 ± 10	-103 ± 17*
badana II	2	59 ± 10*	53 ± 12
	4	48 ± 13	41 ± 8*
	8	38 ± 2	-17 ± 3*
badana III	2	55 ± 9*	46 ± 7*
	4	57 ± 8	-23 ± 8*
	8	40 ± 4	-25 ± 7*

\* - różnica pomiędzy grupą kontrolną i badaną w danym tygodniu doświadczenia istotna statystycznie ( $p \leq 0,05$ )

± - odchylenie standardowe

grupach badanych. Zaburzona homeostaza żelaza utrzymuje się długo po zaprzestaniu suplementacji magnezem, co świadczy o niewydolności ustroju do szybkiej adaptacji w stosunku do zmienionej podaży magnezu. W zastosowanych warunkach doświadczenia ma miejsce nadmierne wydalanie żelaza z kałem i moczem i znaczne obniżenie retencji żelaza. Metabolizm żelaza odbywa się normalnie w układzie zamkniętym. Większa część żelaza uwalnianego przez rozpad hemoglobiny jest zachowywana i powtórnie wykorzystywana przez organizm. Żelazo wchłaniane jest głównie w dwunastnicy i górnej części jelita czczego w wyniku transportu aktywnego.

Stężenie magnezu w surowicy było dość wyrównane. Zmiany występowały w okresie po zakończeniu podawania magnezu (6 i 8 tydzień) w grupie badanej I, kiedy wykazano obniżenie o średnio 26% w stosunku do grupy kontrolnej (Tab. II). W grupie badanej II nie wystąpiły żadne zmiany. Dopiero w grupie o najwyższym pobraniu magnezu - 10,0 mg Mg/kg m.c./24 h (badana III) stężenie magnezu w surowicy zwiększyło się w 2 tyg. doświadczenia o 14%, a w 6 tyg. o 46%. Dane w piśmiennictwie na temat zmian ilości tego pierwiastka w surowicy są zmienne - od braku różnic w zawartości magnezu [16], po korelację ze wzrostem spożycia magnezu [22]. Jednakże stężenie magnezu w surowicy, choć nie musi być w równowadze z zawartością tego jonu w innych tkankach, jest wyjściowym testem do wykrywania ewentualnych zaburzeń w jego metabolizmie.

Suplementacja magnezem wydaje się w małym stopniu w warunkach doświadczenia wpływać na zawartość magnezu w przebadanych narządach i tkankach (Tab. II i III). Nie stwierdzono prawie żadnych zmian w stężeniu magnezu w nerkach i w sierści dla

Tabela II. Zawartość magnezu w surowicy, mózgu i sercu szczurów  
The concentrations of magnesium in serum, brain and heart of rats

surowica/ narządy	Tygodnie doświadczenia	symbol grupy							
		kontrolna	n	badana I	n	badana II	n	badana III	n
mmol/Mg/l									
surowica	2	1,02 ± 0,14	6	1,18 ± 0,19	5	1,09 ± 0,13	6	1,17 ± 0,07*	5
	4	1,16 ± 0,15	4	1,12 ± 0,15	6	1,14 ± 0,29	6	1,21 ± 0,18	5
	6	1,03 ± 0,13	6	0,864 ± 0,11*	6	0,952 ± 0,06	6	1,51 ± 0,06*	6
	8	1,07 ± 0,19	5	0,842 ± 0,12*	6	1,17 ± 0,22	6	1,46 ± 0,84	5
µg Mg/g tkanki									
mózg	2	107,9 ± 6,7	6	91,51 ± 12,2*	5	108,8 ± 17,2	5	104,3 ± 4,5	5
	4	106,7 ± 6,5	5	102,1 ± 7,6	6	115,3 ± 10,9	6	110,1 ± 3,54	6
	6	110,4 ± 3,9	5	106,3 ± 8,5	6	131,4 ± 6,0*	5	109,5 ± 2,11	6
	8	105,1 ± 8,1	5	105,1 ± 2,4	6	117,3 ± 12,9	6	103,9 ± 5,78	5
µg Mg/g tkanki									
serce	2	198,2 ± 9,27	6	204,4 ± 1,9	5	215,8 ± 11,8*	6	213,9 ± 12,9*	5
	4	210,1 ± 11,7	5	198,7 ± 15,4	5	212,9 ± 10,7	5	210,0 ± 6,2	6
	6	208,6 ± 14,8	5	189,8 ± 5,1	6	203,2 ± 5,6	5	208,1 ± 8,6	6
	8	234,6 ± 22,7	5	196,5 ± 5,6*	6	211,0 ± 6,8*	6	198,9 ± 14,3*	5

n – liczba szczurów; ± – przedział ufności; \* – różnice istotne statystycznie ( $p < 0,05$ )

wszystkich grup badanych w porównaniu do kontroli. Jedynie w śledzienie wystąpił stały wzrost stężenia magnezu (w grupach badanych I i II). Odnotowano również pojedyncze zmiany wzrostowe poziomu magnezu w wątrobie (w grupie badanej III w 4 i 8 tygodniu), w mózgu (tylko w grupie badanej II w 6 tygodniu) i w tkance jelita (w grupach: badana I – 2 tydzień o 28%, badana II o 13% i 22% w 2 i 6 tygodniu oraz badana III o 20% – 6 tydzień). Jednakże w innych pracach wykazano że, indukowana hipermagnezemia wywołuje wzrost stężenia magnezu w mózgu [22].

Interesującym jest fakt stwierdzenia w sercu szczurów suplementowanych magnezem po początkowym wzroście o 8% (w grupach badanych II i III), obniżenie ilości magnezu we wszystkich grupach o kilkanaście procent (8 tydzień). W poprzednich pracach [20, 21] wykazano także zmniejszenie zawartości magnezu w sercu szczurów po podaży magnezu w dawce 20,0 mg Mg/kg m.c./24 h praktycznie przez cały okres badań, zarówno w okresie suplementacji (4 tydzień), jak i po jej zaprzestaniu (6 i 8 tydzień) z jednoczesnym wzrostem stężenia wapnia w sercu. Jak wiadomo magnez spowalnia pracę serca i działa antyarytmicznie. W warunkach jego niedoboru zwiększa się ryzyko zawału mięśnia sercowego, zwłaszcza że występuje też często miażdżycza naczyń. Należy więc podkreślić, że już po 4 tygodniach od zaprzestania suplementacji magnezem wystąpiło obniżenie stężenia tego pierwiastka w sercu szczurów badanych niezależnie od wielkości dawki.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zawartość magnezu w kości udowej szczurów suplementowanych magnezem jest zależna od zastosowanej dawki magnezu. W grupach o niższym pobraniu (czyli badanych I i II) wykazano po zaprzestaniu suplementacji magnezem obniżenie zawartości magnezu w kości udowej szczurów. Natomiast w grupie badanej III otrzymującej magnez w dawce 2,5-krotnie przekraczającej dzienne zapotrzebowanie wystąpił wzrost w 2, 4 i 8 tygodniu badań. Zważywszy na to, że 2/3 całkowitej ilości magnezu zlokalizowane jest w szkielecie i że wpływa on na homeostazę mineralną kości i funkcje komórek kości – tym samym deficyt magnezu może prowadzić do zmian gęstości kości i ich odporności [24]. Bowiem nawet umiarkowany niedobór magnezu ponad 21 dni powoduje różne zmiany w kościach np. spadek stężenia magnezu [5]. Wynikałoby z tego, że po umiarkowanej suplementacji magnezem mogą mieć miejsce zmiany w zawartości magnezu w kości.

Uzyskane wyniki częściowo potwierdzają spostrzeżenia innych autorów, że dodatek magnezu do diety w małym stopniu wpływa na jego zawartość w narządach [3, 23]. W prezentowanej pracy wykazano dość dużą stałość stężenia magnezu w przebadanych tkankach mimo 2,5 krotnego przekroczenia dawki dziennego zapotrzebowania na ten pierwiastek (tj. 4,0 mg Mg/kg m.c./24 h).

Z przeprowadzonych badań wynika, że zawartość żelaza w surowicy szczurów suplementowanych zastosowanymi dawkami magnezu nie zmienia się w stosunku do kontroli (Tab. IV). Brak różnic w zawartości żelaza w surowicy w poszczególnych grupach związany jest być może z tym, że ok. 2/3 całkowitej ilości żelaza w organizmie zawarte jest w krwinkach czerwonych w hemoglobinie. Natomiast stężenie żelaza w osoczu oraz całkowita zdolność osocza do wiązania żelaza osiągają bardzo różne wartości w zależności od stanu fizjologicznego lub chorobowego. Dla przykładu przy deficytach magnezu odnotowano zwiększone stężenie żelaza w surowicy, ze względu na wzmoczoną hemolizę krwinek.

Tabela III. Zawartość magnezu w wątrobie, śledzionie, jelicie, nerce, sierści i kości szczurów  
The concentrations of magnesium in liver, spleen, intestine, kidneys, hair and bones of rats

surowica/ narządy	Tygodnie doświadczenia	symbol grupy							
		kontrolna	n	badana I	n	badana II	n	badana III	n
µg Mg/g tkanki									
wątroba	2	230,1 ± 25,0	5	235,2 ± 37,0	5	244,0 ± 17,0	5	224,2 ± 28,0	6
	4	209,6 ± 15,1	6	221,1 ± 9,2	6	207,7 ± 14,0	5	247,7 ± 17,0*	6
	6	210,4 ± 6,0	6	217,4 ± 6,0*	5	200,1 ± 16,0	6	211,5 ± 24,0	5
	8	207,5 ± 17,0	6	195,6 ± 16,0	6	198,9 ± 11,0	6	227,3 ± 14,0*	6
µg Mg/g tkanki									
śledziona	2	148,9 ± 7,6	6	180,0 ± 10,9*	5	174,2 ± 13,3*	5	148,5 ± 6,9	6
	4	137,9 ± 6,8	6	183,4 ± 13,5*	6	176,6 ± 9,5*	6	142,4 ± 12,3	5
	6	143,7 ± 7,9	5	197,1 ± 20,5*	6	166,9 ± 11,1*	5	138,1 ± 10,3	6
	8	143,1 ± 7,5	6	173,5 ± 6,7*	5	168,9 ± 9,9*	6	145,5 ± 9,8	6
µg Mg/g tkanki									
jelito	2	137,4 ± 21,6	5	162,7 ± 9,0*	5	156,9 ± 10,0*	6	146,2 ± 10,2	5
	4	152,4 ± 8,5	6	157,7 ± 8,5	5	158,6 ± 7,5	6	160,9 ± 9,9	6
	6	130,8 ± 11,6	6	135,5 ± 11,9	5	159,5 ± 7,0*	6	157,8 ± 15,6*	6
	8	142,9 ± 15,6	6	136,9 ± 13,0	6	144,7 ± 12,1	5	159,8 ± 19,8	6

Tabela III cd.

surowica/ narządy	Tygodnie doświadczenia	symbol grupy							
		kontrolna	n	badana I	n	badana II	n	badana III	n
µg Mg/g tkanki									
nerki	2	193,4 ± 10,9	6	180,3 ± 14,4	5	179,7 ± 11,4*	6	193,5 ± 16,1	5
	4	168,7 ± 15,5	6	169,7 ± 5,1	6	176,2 ± 14,3	6	179,7 ± 16,8	5
	6	173,0 ± 7,9	6	166,1 ± 14,5	5	173,2 ± 9,7	6	168,9 ± 13,2	6
	8	159,7 ± 17,2	6	158,7 ± 6,6	6	166,9 ± 12,1	5	167,5 ± 9,1	6
µg Mg/g tkanki									
sierść	2	73,4 ± 8,39	6	77,02 ± 5,0	5	69,34 ± 12,3	6	65,39 ± 8,29	4
	4	62,9 ± 8,66	6	61,43 ± 8,13	6	61,96 ± 11,11	6	78,69 ± 9,26*	6
	6	71,4 ± 5,91	6	65,77 ± 15,7	6	71,22 ± 9,08	6	73,14 ± 7,23	5
	8	69,48 ± 16,3	6	83,58 ± 4,95	6	75,01 ± 8,72	6	79,19 ± 16,99	6
µg Mg/g tkanki									
kość udowa	2	1,446 ± 0,071	6	1,414 ± 0,236	5	1,344 ± 0,222	6	1,838 ± 0,234*	6
	4	1,725 ± 0,254	6	1,823 ± 0,181	5	1,623 ± 0,120	5	2,220 ± 0,129*	6
	6	2,148 ± 0,031	5	1,672 ± 0,125*	5	1,576 ± 0,165*	6	2,199 ± 0,195	5
	8	1,983 ± 0,091	6	1,607 ± 0,167	6	1,632 ± 0,196*	6	2,264 ± 0,110*	5

n – liczba szczurów; ± – przedział ufności; \* – różnice istotne statystycznie ( $p < 0,05$ )

Tabela IV. Zawartość żelaza w surowicy, mózgu, sercu, wątrobie, śledzionie, sierści i kości udowej szczurów  
The concentrations of iron in serum, brain, heart, liver, spleen, hair and bones of rats

surowica/ narządy	Tygodnie doświadczenia	symbol grupy							
		kontrolna	n	badana I	n	badana II	n	badana III	n
$\mu\text{mol Fe/l}$									
surowica	2	89,16 $\pm$ 18,20	6	97,18 $\pm$ 35,30	5	114,6 $\pm$ 50,8	6	117,8 $\pm$ 57,2	6
	4	70,65 $\pm$ 5,93	4	81,41 $\pm$ 18,93	6	67,32 $\pm$ 28,7	5	73,72 $\pm$ 31,36	5
	6	53,01 $\pm$ 9,90	5	65,70 $\pm$ 28,03	5	86,04 $\pm$ 21,4*	6	52,36 $\pm$ 13,69	6
	8	72,99 $\pm$ 28,6	4	100,8 $\pm$ 34,02	5	93,82 $\pm$ 28,80	6	66,87 $\pm$ 17,95	5
$\mu\text{g Fe/g tkanki}$									
mózg	2	18,62 $\pm$ 2,43	6	18,46 $\pm$ 2,25	5	29,29 $\pm$ 9,07*	5	23,95 $\pm$ 1,71*	5
	4	16,85 $\pm$ 1,65	5	19,21 $\pm$ 4,95	6	22,72 $\pm$ 1,79*	5	23,72 $\pm$ 1,73*	5
	6	18,93 $\pm$ 1,41	6	19,77 $\pm$ 3,73	6	30,84 $\pm$ 6,46*	5	32,18 $\pm$ 5,39*	6
	8	24,28 $\pm$ 4,29	5	21,63 $\pm$ 2,69	6	32,70 $\pm$ 6,89*	6	31,99 $\pm$ 4,43*	6
$\mu\text{g Fe/g tkanki}$									
serce	2	82,95 $\pm$ 7,46	5	75,54 $\pm$ 7,90	5	67,80 $\pm$ 1,46*	6	114,2 $\pm$ 14,8*	5
	4	81,39 $\pm$ 4,73	6	81,21 $\pm$ 5,03	5	83,37 $\pm$ 8,28	5	142,5 $\pm$ 15,9*	5
	6	85,30 $\pm$ 5,61	5	86,00 $\pm$ 6,97	5	90,44 $\pm$ 9,33	5	135,6 $\pm$ 18,1*	5
	8	146,9 $\pm$ 27,7	5	89,52 $\pm$ 7,47*	6	105,2 $\pm$ 9,28*	5	94,07 $\pm$ 9,09*	5



Tabela IV cd.

surowica/ narządy	Tygodnie doświadczenia	symbol grupy							
		kontrolna	n	badana I	n	badana II	n	badana III	n
$\mu\text{g Fe/g tkanki}$									
wątroba	2	122,9 ± 9,22	5	78,44 ± 8,75*	6	117,8 ± 13,1	5	111,1 ± 16,4	5
	4	137,3 ± 12,6	5	110,7 ± 20,2*	6	80,08 ± 6,88*	5	149,5 ± 16,5	6
	6	104,2 ± 8,17	6	124,9 ± 4,59*	6	151,8 ± 9,2*	6	119,1 ± 12,1*	4
	8	115,8 ± 16,3	4	128,6 ± 4,88*	6	151,1 ± 16,7*	4	125,6 ± 6,1	5
$\mu\text{g Fe/g tkanki}$									
śledziona	2	156,5 ± 8,29	6	169,7 ± 34,6	5	119,6 ± 10,6*	5	163,9 ± 32,5	5
	4	251,8 ± 31,4	6	181,6 ± 26,4*	5	174,4 ± 21,3*	6	255,1 ± 20,7	5
	6	310,6 ± 32,0	5	227,9 ± 16,8*	6	321,4 ± 23,8	5	233,2 ± 38,3*	5
	8	446,0 ± 27,9	6	369,0 ± 27,6*	5	310,8 ± 34,9*	6	556,5 ± 28,3*	6
$\mu\text{g Fe/g tkanki}$									
jelito	2		5	20,67 ± 2,78	5	21,11 ± 2,89	6	16,09 ± 3,50	6
	4		5	19,66 ± 1,83*	5	16,85 ± 2,29*	6	33,99 ± 5,96	6
	6		6	21,72 ± 4,67	5	27,52 ± 5,52	5	27,13 ± 5,78	5
	8		6	29,07 ± 6,48*	5	22,23 ± 5,90*	5	22,88 ± 5,58*	5

Tabela IV cd.

surowica/ narządy	Tygodnie doświadczenia	symbol grupy							
		kontrolna	n	badana I	n	badana II	n	badana III	n
$\mu\text{g Fe/g tkanki}$									
nerki	2	41,96 $\pm$ 9,56	6	86,99 $\pm$ 13,11*	5	47,18 $\pm$ 8,66		61,77 $\pm$ 7,73*	6
	4	41,80 $\pm$ 7,34	6	52,78 $\pm$ 12,33	6	54,2 $\pm$ 7,17*		63,28 $\pm$ 12,5*	6
	6	31,54 $\pm$ 3,44	6	53,17 $\pm$ 8,11*	5	61,25 $\pm$ 12,9*		68,78 $\pm$ 13,8*	6
	8	37,54 $\pm$ 5,43	5	53,53 $\pm$ 14,14*	5	84,22 $\pm$ 15,8*		73,90 $\pm$ 13,6*	5
$\mu\text{g Fe/g tkanki}$									
sierść	2	28,23 $\pm$ 12,02	4	23,07 $\pm$ 10,77	4	16,40 $\pm$ 2,38*	4	29,75 $\pm$ 10,7	5
	4	25,93 $\pm$ 8,95	4	19,64 $\pm$ 12,24	4	12,93 $\pm$ 4,11*	5	32,83 $\pm$ 12,9	6
	6	45,13 $\pm$ 14,29	5	17,77 $\pm$ 1,43	6	29,48 $\pm$ 12,0	5	25,5 $\pm$ 19,8	4
	8	32,52 $\pm$ 9,45	5	17,71 $\pm$ 2,88*	4	24,09 $\pm$ 6,6	4	41,48 $\pm$ 13,06	4
$\mu\text{g Fe/g tkanki}$									
kość udowa	2	32,86 $\pm$ 7,53		45,89 $\pm$ 16,7	5	37,54 $\pm$ 13,50	6	57,32 $\pm$ 26,8*	5
	4	41,94 $\pm$ 4,54		37,83 $\pm$ 8,67	6	44,99 $\pm$ 8,67	5	43,59 $\pm$ 7,82	5
	6	41,25 $\pm$ 4,62		37,60 $\pm$ 6,25	6	42,53 $\pm$ 10,83	6	51,32 $\pm$ 6,79*	5
	8	69,14 $\pm$ 18,8		37,38 $\pm$ 8,34*	6	44,07 $\pm$ 6,60*	6	52,72 $\pm$ 4,91	5

n – liczba szczurów;  $\pm$  – przedział ufności; \* – różnice istotne statystycznie ( $p < 0,05$ )

Natomiast suplementacja magnezem w zastosowanych dawkach w znacznym stopniu oddziałuje na zawartość żelaza w przebadanych narządach (Tab. IV). W organizmie ssaków jest ok. 4,0–5,0 g żelaza, z tego 16%–29% zmagazynowane jest w postaci ferrytyny i hemosyderyny, głównie w wątrobie, śledzionie i szpiku kostnym [18]. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że zawartość żelaza w śledzionie szczurów w grupach badanych I i II była niższa praktycznie przez cały czas doświadczenia o około 20%–30% w stosunku do grupy kontrolnej. Natomiast w grupie badanej III zmiany stężenia żelaza w śledzionie dotyczą jedynie okresu zaprzestania suplementacji i charakteryzują się zmniejszeniem o 25% (6 tydzień), a następnie wzrostem o 24% (8 tydzień). Podobnie w wątrobie w okresie podawania magnezu w grupach badanych I i II wystąpiło obniżenie zawartości żelaza w porównaniu do grupy kontrolnej, przeciwnie do okresu zaprzestania suplementacji (6 i 8 tydzień).

W warunkach doświadczenia wykazano w grupach badanych I i II po czterotygodniowej przerwie w suplementacji magnezem późny efekt w postaci obniżenia ilości żelaza w kości udowej szczurów, podobnie jak w przypadku zawartości tego pierwiastka w sercu, jelicie i śledzionie. Jedynie w grupie badanej III stężenie żelaza w kości udowej było 2 i 6 tygodniu podwyższone w stosunku do grupy kontrolnej.

Zawartość żelaza w tkance jelita w 4 i 8 tygodniu badań jest istotnie obniżona w stosunku do kontroli: w grupie badanej I o odpowiednio 48% i 22%, w grupie badanej II o 56% i 41%, a w grupie badanej III o 41% (tylko 8 tydzień). Wykazane zmniejszone stężenie żelaza w tkance jelita zaistniałe po 8 tygodniu doświadczenia, czyli już po czterotygodniowej przerwie w suplementacji, może sugerować ewentualne zaburzenia wchłaniania żelaza wskutek podaży magnezu w zastosowanych dawkach, co wymaga dodatkowych wyjaśnień.

Zawartość żelaza w sercu szczurów suplementowanych magnezem wzrasta jedynie w grupie badanej III w 2, 4 i 6 tygodniu o odpowiednio 36%, 75%, i 58% w porównaniu do kontroli. Natomiast pod koniec badań (8 tydzień) nastąpiło we wszystkich grupach istotne obniżenie stężenia żelaza we wszystkich grupach badanych.

W sierści szczurów suplementowanych magnezem stężenie żelaza ulega zmniejszeniu w grupach: badanej I o 47% (8 tydzień) i badanej II o 71%, 62% (odpowiednio 2, 4 tydzień). W grupie o największym pobraniu brak już zmian w stosunku do grupy kontrolnej.

Wśród przebadanych narządów jedynie w nerkach i mózgu miał miejsce ciągły wzrost stężenia żelaza. Być może wiąże się to z przemieszczeniem żelaza do rejonów w których zapasy ferrytyny są niewielkie, a niedobór żelaza może wywrzeć niekorzystny wpływ na ich funkcje, dotyczy to zwłaszcza mózgu [15].

Reasumując, na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wielokrotne podanie magnezu w zastosowanych dawkach wywołało szereg zaburzeń w retencji i rozmieszczeniu pierwiastków, szczególnie żelaza, zarówno w okresie suplementacji magnezem jak i po jego zakończeniu.

#### WNIOSKI

Stwierdzono, że wielokrotna podaż magnezu we wszystkich zastosowanych dawkach zaburza biodostępność żelaza w ustroju szczura oraz jego bilans. Zmiany stężenia żelaza w niektórych tkankach dotyczą całego przebiegu badań, czyli zarówno okresu suple-

mentacji magnezem, jak i czasu po jej zaprzestaniu. Przykładem może być stale zwiększone stężenie żelaza w mózgu i nerkach lub zmniejszenie poziomu tego pierwiastka w śledzionie i częściowo w jelicie. Natomiast obniżenie zawartości żelaza w wątrobie było ściśle związane wyłącznie z okresem suplementacji magnezem, bowiem po jego zakończeniu stężenie żelaza wzrosło. W pozostałych tkankach (serce, kość udowa) zmiany w stężeniu żelaza wystąpiły w postaci tzw. późnego efektu – dopiero pod koniec badań (oprócz grupy o największym pobraniu magnezu). Współczynnik retencji pozornej żelaza niezależnie od okresu badań był znacznie obniżony.

W porównaniu do żelaza, podanie magnezu w zastosowanych dawkach w mniejszym stopniu wpływa na biodostępności magnezu i jego bilans. Wyjątkiem był niezmienny w czasie wzrost stężenia magnezu w śledzionie i częściowo w wątrobie i jelicie. Wykazano, że jedynie w początkowym okresie podawania magnezu wzrosła jego ilość w sercu, a po zaprzestaniu suplementacji pod koniec doświadczenia we wszystkich grupach badanych nastąpiło obniżenie stężenia magnezu w sercu. Również w tkance kostnej charakter zmian zależny był od zastosowanej dawki magnezu i czasu badań. Natomiast współczynnik retencji pozornej magnezu wzrasta jedynie w początkowym okresie suplementacji.

D. Skrajnowska, R. Olędzka

#### MAGNESIUM AND IRON BALANCE AND THEIR CONCENTRATIONS IN TISSUES AND BODY FLUIDS OF RATS AFTER SUPPLEMENTATION WITH MAGNESIUM CARBONATE

##### Summary

Effect of magnesium on iron and magnesium metabolism in rats were investigated. 96 male *Wistar* rats were divided into four groups received 2,5; 5,0 and 10,0 mg magnesium daily per kg of body weight – dissolved in 2% – solution of arabic gum (tests groups) or clear 2% – solution of arabic gum (test group) for 4 weeks and the next 4 weeks without supplements. Iron concentrations increased in the brain and kidney of the experimental rats, but decreased in the spleen, intestine and liver (2 and 4 weeks only) also in the heart and femur (only 8 week). Percentage of iron retention decreased during the whole experiment.

Magnesium concentrations increased in the spleen, liver and intestine of rats. It was shown that at 8 weeks of experiment the magnesium level of heart and femur decreased (only groups received 2,5 mg and 5,0 mg Mg/kg b.w./24 h), but in group received 10,0 mg Mg/kg b.w./24 h increased for all experiment. The apparent retention of magnesium increased in start of the experiment.

This results show that oral magnesium supplementation disturbs metabolism of these elements, especially balance of iron.

##### PIŚMIENNICTWO

1. Carney S., Wong L., Quamme A. et al.: Effect of magnesium deficiency on renal magnesium and calcium transport in the rat. *J. Clin. Invest.* 1980, 65, 180–186.
2. Bednarek W., Lipiński W.: Zapotrzebowanie na magnez jęczmienia jarego nawożonego różnicowanymi dawkami nawozów mineralnych. *Biul. Magnezol.* 1994, 4, 12–14.
3. Brannan P., Vergne-Marini P. et al.: Magnesium absorption in the human small intestine. *J. Clin. Invest.* 1976, 57, 1412.
4. Campos M.S., Barrionuevo M., Alferes M.J., Gomez Ayala A.E., Rodrigueuz-Matas M.C., Lopez Aliaga I., Lisbona F.: Interactions among iron, calcium, phosphorous and magnesium in the nutritionally iron-deficient rat. *Experim. Physiol.* 1998, 83, 771–81.

5. *Creedon A., Flynn A., Cashman K.*: The effect of moderately and severely restricted dietary magnesium intakes on bone composition and bone metabolism in the rat. *Brit. J. Nutr.* 1999, 82, 63-71.
6. *Durlach J.*: Magnez w praktyce klinicznej. PZWL, Warszawa 1991.
7. *Durlach J., Bac P., Durlach V., Rayssiguier Y., Bara M., Guiet-Bara A.*: Magnesium status and ageing: an update (Review). *Magn. Res.* 1998, 11, 25-42.
8. Edited by *Griffith and Farris*. Lippincott Company, The rats in laboratory investigation, 1942, 97.
9. *Gilligan C., Po A.L.W.*: Magnesium therapeutic and dietary use. *Pharm. J.* 1992, 248, 81.
10. *Harling B., Van Delft W.*: Changes in the mineral composition of food as a result of cooking in hard and soft water. *Arch. Environ. Health* 1998, 36, 33-35.
11. *Hunt J.R., Roughead Z.K.*: Adaptation of iron absorption in men consuming diets with high or low iron bioavailability. *Amer. J. Clin. Nutr.* 2000, 71, 94-102.
12. *Kimura M., Yokoi K.*: Iron accumulation in tissues of magnesium – deficient rats with dietary iron overload. *Biol. Trace Elem. Res.* 1996, 51, 177-197.
13. *Kuhn J., Jost V., Wieckhorst G.* et al.: Renal elimination of magnesium as a parameter of bioavailability of oral magnesium therapy. *Methods. Find. Exp. Clin. Pharmacol.* 1992, 14, 269-272.
14. *Matsuzaki H., Arai K., Uchara M., Suzuki K., Sato S., Kanke Y., Goto S.*: Increasing magnesium intake prevents high phosphorus diet – induced kidney damage in young rats. *Nutr. Res.* 1997, 17, 325-337.
15. *Parks Y., Wharton B.*: Iron deficiency and the brain. *Acta. Paed. Scand.* 1989, Suppl. 361-371.
16. *Plum-Wirell M., Stegmar B., Wester P.*: Nutritional magnesium supplementation does not changes blood pressure nor serum or muscle potassium and magnesium untreated hypertension. A double – blind crossover study. *Magnes. Res.* 1994, 7, 277-283.
17. *Princi T., Artero M., Malusa N., Uxa N., Livia V., Reina G.*: Serum and intracellular in intoxicated chronic alcoholic and control subjects. *Drug and Alcohol Dependence* 1997, 46, 119-122.
18. *Rafalski H.*: Współczesne pojmowanie molekularnej, metabolicznej i klinicznej roli żelaza w kształtowaniu zdrowia. *Żyw. Człow. Metab.* 1994, 21, Suppl., 111-131.
19. *Skibniewska A., Smoczyński S.*: Składniki mineralne w dietach szpitalnych z wybranych miast w Polsce. *Żyw. Człow. Metab.* 1996, 23, 3-9.
20. *Skrajnowska D., Olędzka R.*: Wpływ suplementacji magnezem na bilans magnezu i wapnia oraz ich zawartość w płynach i tkankach szczurów. *Biul. Magnezol.* 1999, 4, 412-417.
21. *Skrajnowska D., Olędzka R.*: Wpływ suplementacji węglanem magnezu na bilans magnezu i żelaza oraz ich zawartość w narządach i płynach ustrojowych szczurów. *Bromat. Chem. Toksykol.* 1998, 32, 387-393.
22. *Standley C.A., Cotton D.B.*: Brain ionized magnesium and calcium levels during magnesium supplementation and deficiency in female long-evans rats. *Obst. Gynecol.* 1996, 88, 184-188.
23. *Vorman J., Gunthter T., Holtrigel V.* et al.: Effect of various degrees and duration of magnesium deficiency on lipid peroxidation and mineral metabolism in rats. *Nutr. Biochem.* 1995, 6, 681-688.
24. *Wallach S.*: Effects of magnesium on skeletal metabolism. *Magnes. Trace Elem.* 1990, 9, 1-14.