

ANNA SZEWIELOW

## WYDALANIE FLUORU W MOCZU I KALE SZCZURÓW W ZALEŻNOŚCI OD ŹRÓDŁA TEGO PIERWIĄSTKA I ZAWARTOŚCI BIAŁKA W DIECIE

### FLUORINE EXCRETION IN RAT URINE AND FECES IN DEPENDENCE ON THE SOURCE OF FLUORINE AND DIETARY PROTEIN CONTENT

Z Zakładu Badania Żywności i Przedmiotów Użytku  
Państwowego Zakładu Higieny w Warszawie  
Kierownik: doc. dr hab. K. Karłowski

*Szczury rasy Wistar otrzymywały w dietach o różnej zawartości białka (12 i 24%) fluor z fluorku sodowego bądź z mączki kryłowej. Zawartość fluoru oznaczano w moczu i kale. Stwierdzono, że zwierzęta otrzymujące fluor z mączki kryłowej wydalają ten pierwiastek głównie z kałem, natomiast po podaniu diet z fluorkiem sodowym wydalanie następuje z moczem. Ze wzrostem zawartości białka w diecie zwiększa się wydalanie fluoru z moczem i kałem.*

Fluor należy do grupy pierwiastków śladowych, które w zależności od ilości mogą być szkodliwe bądź też niezbędne dla zdrowia, przy czym różnica pomiędzy dawką niezbędną a toksyczną jest bardzo mała.

Z organizmu fluor wydala się głównie moczem, w mniejszym stopniu z kałem i potem [5, 9]. Dzieci wydalają z moczem 50–60% pobranej dawki fluoru, podczas gdy dorośli – do 90 [10]. Szybkość wydalania nie różni się w zależności od płci. Wydalanie z moczem uznane jest jako jeden z najlepszych wskaźników wielkości pobierania tego pierwiastka. Przy względnie stałym dostarczaniu fluoru do organizmu ustala się stan równowagi między ilością wchłanianą a wydalaną w moczem.

Fluor obecny w kale pochodzi z dwóch źródeł – z pobranego wraz z pożywieniem i nie zaabsorbowanego oraz puli, która w wyniku krążenia wątrobowo-jelitowego znalazła się ponownie w przewodzie pokarmowym.

Badania *Ekstranda*, 1979 wykazały, że z kałem ulega wydalaniu mniej niż 10% pobranego fluoru. Zależy to jednak od formy przyjętego związku, zawartości wapnia, fosforu, magnezu i glinu, które zmniejszają absorpcję, a także obecności witaminy C i białka [2, 3].

Uwzględniając, że skład diety może wpływać na absorpcję fluoru w organizmie, wydawało się celowe podjęcie badań oceny wpływu zawartości białka w paszy szczurów na wchłanianie z przewodu pokarmowego i bilans w organizmie.

Źródło fluoru stanowił fluorek sodowy i mączka kryłowa – stosowana jako pasza dla zwierząt.

Mączka kryłowa posiada zezwolenie władz sanitarnych na stosowanie w karmieniu drobiu i trzody chlewnej jako bogate źródło białka. Ograniczenia w jej stosowaniu wynikają głównie z powodu wysokiej zawartości fluoru w mączkach.

W niniejszej pracy podjęto także próbę sprawdzenia, w jakim stopniu fluor z mączki krylowej jest przyswajalny dla zwierząt w porównaniu z fluorem mineralnym z fluorku sodowego.

### CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Doświadczenie wykonano na szczurach rasy *Wistar* obu płci, w wieku około 5 tygodni. Zwierzęta podzielono na grupy (po 5 zwierząt w grupie) i żywiono dietami półsyntetycznymi o różnej zawartości białka, zawierającymi także fluor pochodzący z mączki krylowej bądź też z fluorku sodowego.

Źródło białka w badanych dietach stanowiła kazeina lub mączka krylowa.

W poszczególnych grupach diety zawierały:

I – 24% białka kazeiny – kontrola

II – 12% białka kazeiny

III – 24% białka kazeiny oraz fluor z fluorku sodowego

IV – 12% białka kazeiny oraz fluor z fluorku sodowego

V – 12% białka oraz fluor – pochodzące z mączki krylowej

VI – 12% białka kazeiny oraz 12% białka i fluor pochodzące z mączki krylowej.

Skład stosowanych dieta przedstawia tabela I [8].

Tabela I. Skład diet stosowanych w doswiadczeniu (%)  
Composition of the experimental diets (%)

Składniki	Rodzaj diety			
	I 24 % białka	VI 24 % białka + mączka krylowa	II 12 % białka	V 12 % białka + mączka krylowa
kazeina	27.4	14.0	13.7	–
mączka krylowa	–	21.0	–	21.0
skrobia ziemniaczana	2.9	2.9	2.9	2.9
skrobia pszenna	59.5	54.0	73.2	68.0
olej	5.0	3.0 **	5.0	3.0 **
metionina	0.2	0.2	0.2	0.2
mieszanka mineralna***	4.0	4.0	4.0	4.0
mieszanka witaminowa****	1.0	1.0	1.0	1.0

\* Diety III i IV z fluorkiem sodu (NaF) przygotowano, dodając do odpowiedniej diety kontrolnej fluorek sodu w ilości 0.79 g/kg paszy

\*\* Mączka krylowa zawiera 16 % tłuszczu, a więc całkowita ilość tłuszczu w diecie wynosi 5 % (jak w dietach I i II)

\*\*\* Skład mieszanki mineralnej (g):  $K_2HPO_4$  – 32.2;  $CaCO_3$  – 30.0,  $NaCl$  – 16.1,  $MgSO_4$  – 10.0,  $Fe(C_6H_5O_7) \times 6H_2O$  – 2.75,  $MnSO_4$  – 0.51,  $KJ$  – 0.08,  $CuSO_4$  – 0.03,  $ZnCl_2$  – 0.025,  $CoCl_2$  – 0.005,  $Na_2MoO_4 \times 2H_2O$  – 0.06,  $Na_2SeO_3$  – 0.01,  $NaF$  – 0.01

\*\*\*\* Skład mieszanki witaminowej (mg/kg diety): kw. askorbinowy – 450, chlorek choliny – 750, inozytol – 50, kw. amino-benzoesowy – 50, pantotnian Ca – 30, amid kw. nikotynowego – 45, tiaminy HCl – 10, pirydoksyny HCl – 10, ryboflawina – 10, kw. foliowy 0.9, wit  $B_{12}$  – 0.0135, wit A – 45, wit D – 2.5,  $\alpha$ -tokoferol – 50, biotylna – 0.2, menadion – 22.5

Zawartość fluoru mineralnego (z NaF) odpowiadała ilości fluoru stwierdzonego w mączce krylowej i wynosiła 357,0 mg/kg diety. Paszę półsyntetyczną i wodę zwierzęta otrzymywały bez ograniczeń przez okres 7 miesięcy. Po upływie tego okresu zaprzestano podawania diet z fluorem i grupy III, IV,

V i VI otrzymywały diety zawierające odpowiednio 12 i 24% białka w celu uzyskania danych o wydalaniu fluoru po zaprzestaniu jego podawania.

Oznaczona w paszy kontrolnej zawartość fluoru wynosiła 4,6 mg/kg (na podstawie teoretycznych wyliczeń powinna ona wynosić 4 mg/kg); w wodzie zawartość fluoru wahała się od 0,5–1.0 mg/l.

Po 7 i 14 tygodniach, oraz dodatkowo, po 32, zbierano mocz i kał zwierząt doświadczalnych w celu sporządzenia bilansu spożytego fluoru.

Doświadczenie bilansowe, trwające 3 dni, wykonywano w klatkach metabolicznych.

Mocz i kał, po oczyszczeniu z resztek pokarmu i sierści szczurów zbierano każdego dnia, przechowując w chłodni, w temp. 4°C do czasu oznaczenia.

Zawartość fluoru oznaczano przy użyciu elektrody jonoselektywnej [7]. Wykrywalność metody wynosiła 2 mg/kg. Hydrolizę moczu i kału wykonano zgodnie ze zmodyfikowaną metodą Dolana, w roztworze buforowym i wersenianie sodowym [4].

Na podstawie ilości fluoru oznaczonej w moczu i kale, obliczono następujące współczynniki:

- strawności (stosunek fluoru wchłoniętego do ilości fluoru pobranego),
- retencji (stosunek fluoru zatrzymanego do pobranego),
- stopień zatrzymania fluoru wchłoniętego (stosunek fluoru zatrzymanego do wchłoniętego).

Współczynniki te wyrażono w procentach.

### WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Ilość fluoru spożytego przez zwierzęta doświadczalne z grup III, IV, V i VI, przedstawiono w tabeli II.

Tabela II. Ilość fluoru spożytego przez szczury (mg)\*  
Amounts of fluorine ingested by rats (mg)

Rodzaj diety	Czas skarmiania zwierząt (tygodnie)			
	♂		♀	
	7	14	7	14
III-24 % białka + NaF	12.64 ± 1.30	18.78 ± 2.06	9.64 ± 1.49	9.64 ± 1.75
VI-24 % białka + mączka kryłowa	14.21 ± 5.24	20.08 ± 4.63	11.93 ± 2.99	14.85 ± 1.28
IV-12 % białka + NaF	10.85 ± 1.20	15.44 ± 2.15	11.07 ± 0.61	11.60 ± 2.23
V-12 % białka + mączka kryłowa	12.78 ± 1.81	17.13 ± 1.40	12.21 ± 2.40	16.35 ± 1.27

\* w tabeli podano wartości średnie z uzyskanych dla 5 zwierząt, wraz z odchyleniem standardowym

Wartości te wynoszą w grupach samic od ok. 10 do 12 mg po 7 tygodniach skarmiania i od 10 do 16,5 mg po 14 tygodniach. W grupach samców w pierwszym okresie zwierzęta spożywały od ok. 11 do 13 mg fluoru, zaś w drugim od ok. 15,5 do 20 mg.

Zawartość fluoru w moczu i kale ilustruje tabela III. Porównanie ilości fluoru wydalonego w moczu i kale zwierząt po 7 i 14 tygodniach wskazuje, że w grupach żywionych dietą z dodatkiem fluorku sodowego pierwiastek ten wydala się głównie z moczem, natomiast w grupach szczurów żywionych dietą z mączką kryłową – ilość fluoru wydalonego z moczem jest ok. 4 – 6 krotnie mniejsza niż wydalonego z kałem.

Zaobserwowano także zwiększone wydalanie fluoru w moczu (niezależnie od źródła z jakiego pochodzi) przy wyższej, 24% zawartości białka w diecie.

W kale, różnice w wydalaniu fluoru w zależności od ilości białka są mniejsze.

Po upływie jednego miesiąca od zaprzestania podawania fluoru w diecie stwierdzono jeszcze zwiększone, w porównaniu z kontrolą wydalanie fluoru w kale, przy czym najwięcej tego pierwiastka ulegało wydaleniowi w grupach samic otrzymujących 24% białka (III i VI).

Tabela III. Wydalanie fluoru w moczu i kale szczurów żywionych dietami o różnej zawartości białka, z dodatkiem tego pierwiastka (mg)\*  
Urinary and fecal excretion of fluorine in diets differing in protein content, with additions of this element (mg)

Rodzaj diety	Zawartość fluoru wydalonego w:							
	moczu		kale		moczu		kale	
	po 7 tygodniach		po 14 tygodniach		po upływie 1 m-ca od zaprzestania podawania fluoru			
I – 24 % białka	0.08 ± 0.05	0.10 ± 0.04	0.08 ± 0.05	0.10 ± 0.04	0.08 ± 0.05	0.10 ± 0.04	0.08 ± 0.05	0.10 ± 0.04
II – 12 % białka	0.08 ± 0.06	0.09 ± 0.07	0.08 ± 0.06	0.09 ± 0.07	0.08 ± 0.06	0.09 ± 0.07	0.08 ± 0.06	0.09 ± 0.07
III – 24 % białka + NaF	4.47 ± 0.73	1.97 ± 0.54	4.79 ± 0.85	4.10 ± 1.13	0.08 ± 0.06	0.18 ± 0.04	0.08 ± 0.06	0.18 ± 0.04
♂ VI – 24 % białka + mączka krylowa	2.50 ± 0.40	10.94 ± 3.58	2.80 ± 1.04	14.30 ± 3.61	0.12 ± 0.07	0.25 ± 0.07	0.12 ± 0.07	0.25 ± 0.07
IV – 12 % białka + NaF	2.84 ± 0.76	1.34 ± 0.69	3.94 ± 0.84	4.14 ± 2.36	0.11 ± 0.06	0.24 ± 0.11	0.11 ± 0.06	0.24 ± 0.11
V – 12 % białka + mączka krylowa	1.70 ± 0.15	9.01 ± 2.31	2.19 ± 0.44	13.86 ± 1.79	0.05 ± 0.00	0.24 ± 0.03	0.05 ± 0.00	0.24 ± 0.03
I – 24 % białka	0.09 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.09 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.09 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.09 ± 0.05	0.06 ± 0.04
II – 12 % białka	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.03	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.03	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.03	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.03
III – 24 % białka + NaF	3.29 ± 0.80	1.80 ± 0.61	3.83 ± 0.63	1.69 ± 0.67	0.13 ± 0.08	0.55 ± 0.40	0.13 ± 0.08	0.55 ± 0.40
♀ VI – 24 % białka + mączka krylowa	2.18 ± 0.26	8.52 ± 1.33	2.82 ± 0.63	9.43 ± 1.20	0.16 ± 0.08	0.41 ± 0.16	0.16 ± 0.08	0.41 ± 0.16
IV – 12 % białka + NaF	2.18 ± 0.34	1.27 ± 0.16	3.02 ± 0.48	1.90 ± 0.92	0.13 ± 0.06	0.22 ± 0.05	0.13 ± 0.06	0.22 ± 0.05
V – 12 % białka + mączka krylowa	1.46 ± 0.32	6.90 ± 1.39	2.44 ± 0.19	12.44 ± 2.93	0.09 ± 0.03	0.23 ± 0.08	0.09 ± 0.03	0.23 ± 0.08

\* w tabeli podano wartości średnie uzyskane dla 5 zwierząt, wraz z odchyleniem standardowym. Kał i mocz zbierano przez 3 dni.

Obliczone współczynniki strawności, retencji oraz stopień zatrzymania fluoru wchłoniętego podaje tabela IV.

Współczynniki strawności w obu okresach badania – po 7 i 14 tygodniach były ok. 3–4 krotnie wyższe u zwierząt otrzymujących w diecie fluor z fluorku sodowego, w porównaniu ze zwierzętami otrzymującymi mączkę krylową, niezależnie od poziomu białka w diecie. Nie było różnic zależnych od płci.

**Tabela IV.** Współczynniki strawności, retencji i stopnia zatrzymania fluoru wchłoniętego u szczurów żywionych dietą o różnej zawartości białka z dodatkiem fluoru (%) \*  
Coefficients of digestibility and retention, and retention degree of absorbed fluorine in rats fed diets differing in protein content, with additions of this element (%)

Rodzaj diety	Czas karmienia zwierząt (tygodnie)											
	okres bilansowy											
	7						14					
	współczynnik strawności		współczynnik retencji		stopień zatrzymania fluoru wchłoniętego		współczynnik strawności		współczynnik retencji		stopień zatrzymania fluoru wchłoniętego	
♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	
24 % białka + NaF (III)	84.20± 4.56	81.00± 7.25	48.81± 5.58	46.39± 14.90	57.94± 5.47	56.45± 14.56	78.11± 6.16	82.27± 5.54	52.55± 4.27	41.72± 14.91	67.35± 3.76	50.22± 15.89
24 % białka + mączka kryłowa (VI)	21.65± 9.75	26.64± 10.75	10.07± 4.84	15.08± 5.95	35.18± 13.48	42.73± 15.39	28.56± 9.82	36.61± 4.60	14.52± 14.34	17.71± 3.85	43.00± 30.63	48.25± 7.27
12 % białka + NaF (IV)	87.73± 5.35	88.75± 1.34	61.51± 10.23	68.71± 2.77	69.83± 8.33	77.43± 3.45	72.21± 18.56	84.00± 5.81	46.30± 24.42	57.70± 7.70	59.56± 23.89	68.49± 5.13
12 % białka + mączka kryłowa (V)	29.58± 14.11	42.37± 11.36	16.04± 14.24	30.15± 13.94	44.85± 24.96	68.44± 12.89	19.18± 6.55	24.32± 9.44	6.35± 4.02	10.97± 6.31	30.22± 11.44	32.76± 19.17

\* w tabeli podano wartości średnie uzyskane dla 5 zwierząt, wraz z odchyleniem standardowym

Współczynnik retencji wykazywał tę samą zależność i był ok. 4–9-krotnie wyższy w porównaniu ze zwierzętami otrzymującymi fluor z mączki krylowej, przy czym nieco większe różnice zaobserwowano w grupach samców.

Współczynniki retencji w grupach otrzymujących 12% białka po 7 tygodniach doświadczenia uległy obniżeniu w porównaniu do uzyskanych po 14 tygodniach: u samców z 61,51 do 46,30 (grupa IV) i z 16,04 do 6,35 (grupa V), u samic: z 68,71 do 46,30 (grupa IV) i z 30,15 do 10,97 (grupa V). Przy obniżeniu zawartości białka w diecie (do 12%), współczynniki retencji wzrastają, z wyjątkiem współczynników po 14 tygodniach u szczurów żywionych dietą z mączką krylową.

Stopień zatrzymania fluoru zaabsorbowanego w organizmie jest ok. 1,5 do 2 razy wyższy w grupach zwierząt otrzymujących fluorek sodowy niż w grupach otrzymujących mączkę krylową, niezależnie od ilości białka w diecie.

Obserwowane w niniejszych badaniach zwiększone wydalanie fluoru w kale szczurów żywionych dietą z mączką krylową jest zgodne z wynikami badań *Adelunga* [1]. Autor ten badał zawartość fluoru w moczu i kale pingwinów – żywiących się krylem.

Zawartość fluoru w kale była 2–7 krotnie wyższa niż w moczu. Zmiany wartości współczynników strawności, retencji oraz stopnia zatrzymania fluoru wchłoniętego potwierdzają wcześniejsze wyniki badań własnych [6], w których szczury karmiono dietami zawierającymi ok. 10% białka oraz fluor pochodzący również z mączki krylowej i fluorku sodowego w ilości 290 mg/kg.

Uzyskane wyniki wskazują na znacznie mniejszą dostępność fluoru z mączki krylowej w porównaniu z fluorem mineralnym. Stwierdzona różnica zawartości fluoru w moczu i kale w zależności od ilości białka w diecie wskazuje, że białko pełni „funkcję ochronną” w organizmie, powodując zwiększenie wydalania fluoru z moczem i kałem.

#### WNIOSKI:

1. U szczurów otrzymujących mączkę krylową, wydalanie fluoru następuje głównie z kałem, natomiast pierwiastek ten podawany w formie fluorku sodowego wydala się przede wszystkim z moczem.

2. Wyższy poziom białka w diecie pełni „funkcję ochronną w organizmie, powodując zwiększenie wydalania fluoru z moczem i kałem.

3. Przyswajalność fluoru pochodzącego z mączki krylowej jest znacznie mniejsza niż fluoru mineralnego, z fluorku sodowego.

4. Po zaprzestaniu podawania fluoru, uwalnia się on nadal z organizmu i zostaje wydany głównie z kałem.

A. Szewielow

#### FLUORINE EXCRETION IN RAT URINE AND FECES IN DEPENDENCE ON THE SOURCE OF FLUORINE AND DIETARY PROTEIN CONTENT

##### Summary

Wister rats of both sexes were fed semisynthetic diets containing 12 or 24% of protein derived from casein or from krill meal, as well as comprising fluorine (357 mg/kg diet) either from krill meal or from sodium fluoride. After 7, 14 and 32 weeks urine and feces were collected for constructing the

fluorine balance. It was found that rats fed krill meal excrete fluorine mainly in feces, and those administered sodium fluoride – mainly in urine. A higher dietary protein level leads to enhanced fluorine excretion. Fluorine from krill meal is definitely less assimilable than that from sodium fluoride. When fluorine administration is discontinued, this element is released from the organism and is excreted (mainly in feces).

### PIŚMIENNICTWO

1. *Adelung D, Bößmannk, Rößler D.*: The distribution of fluoride in some antarctic seals. *Polar Biol.*, 1985, 5, 31. – 2. *Ekstrand J., Chrnebe M.*: Influence of milk products on fluoride bioavailability in man. *Eur. J. Clin. Pharmacol.*, 1979, 16, 211. – 3. Fluorine and Fluorides, *Environmental Health Criteria 36*, WHO, Geneva 1984. – 4. *Kowalczyk M., Kostuch S.*: Oznaczanie zawartości fluoru w krylu zmodyfikowaną metodą Dolana. *Bromat. Chem. Toksykol.* 1982, 1–2, 121. – 5. *Obersztyń A., Trykowski J.*: Wybrane zagadnienia dotyczące reakcji jonu fluorkowego ze szkliwem, *Czas. Stomat.*, 1983, 36, 485. – 6. *Pastuszewska B., Buraczewska L., Szewielow A.*: Retencja fluoru u szczurów żywionych dietami zawierającymi mączkę krylową i NaF. *Mat. XIX Zjazd PT Bioch, Szczecin, 26–28 września 1983.* – 7. *Szewielow A.*: Oznaczanie fluoru w materiale biologicznym metodą elektrody jonoselektywnej *Roczn. PZH* 1989, 40, 65. – 8. *Urbanek-Karłowska B.*: Wpływ niedoborów białkowych u szczurów na toksyczność kaptanu. *Roczn. PZH*, 1975, 26, 137. – 9. *Weatherell J.A. i wsp.*: *Caries Res.*, 1987, 11 Suppl. 1, 85. – 10. *Vandeputte M. i in.*: A contribution to the study of fluoride excretion. *Clin. Chim. Acta*, 1977, 75, 205.

Dn. 1991.12.17

00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24