

Małgorzata Kalemba-Drożdż [ORCID: 0000-0002-7017-3279]

Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego,  
Wydział Lekarski i Nauk o Zdrowiu, Zakład Biochemii

## **CZY RODZAJ STOSOWANEJ DIETY: WEGAŃSKA I WEGETARIAŃSKA LUB TRADYCYJNA, NIEWYKLUCZAJĄCA MIĘSA, WPŁYWA NA ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH, DIOKSYN I POLICHLOROWANYCH BIFENYLI W MLEKU KOBIECYM? BADANIE WSTĘPNE\***

Adres korespondencyjny:

Małgorzata Kalemba-Drożdż, Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego,  
Wydział Lekarski i Nauk o Zdrowiu, Zakład Biochemii, ul. Gustawa Herlinga-Grudzińskiego 1,  
30-705 Kraków, tel.: +48 12 252 45 05, e-mail: mkalemba-drozd@afm.edu.pl

### **Streszczenie**

**Wstęp:** Zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi, dioksynami i polichlorowanymi bifenylami (PCB) jest poważnym problemem ekologicznym oraz zdrowotnym, ponieważ m.in. wraz z pokarmem trafiają one do naszego organizmu. Metale i dioksyny mogą ulegać bioakumulacji i biomagnifikacji, zatem teoretycznie mniejszy poziom toksyn w organizmie powinien charakteryzować osoby stosujące dietę wegańską, czyli wykluczającą produkty pochodzenia zwierzęcego.

**Materiał i metody:** W badaniu analizowano zawartość metali ciężkich: arsenu (As), baru (Ba), chromu (Cr), cynku (Zn), kadmu (Cd), kobaltu (Co), miedzi (Cu), niklu (Ni), ołowiu (Pb) i rtęci (Hg) oraz dioksyn i polichlorowanych bifenyli w mleku 34 kobiet w zależności od stosowanej przez nie diety (tradycyjnej lub wykluczającej mięso). Stężenie

---

\* Praca finansowana z Działalności Statutowej Krakowskiej Akademii im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego WZiNM/DS/2/2014. Podczas realizacji badania nie wystąpił żaden konflikt interesów.

metali w mleku oznaczono metodą spektrometrii masowej, natomiast stężenie dioksyn i PCB – metodą chromatografii gazowej.

**Wyniki:** Stwierdzono, że w części próbek zawartość arsenu, baru, chromu, niklu, ołowiu i rtęci przekroczyła dopuszczalne stężenia. Wyższe stężenie miedzi i chromu charakteryzowało próbki pochodzące od kobiet stosujących dietę tradycyjną, natomiast w mleku kobiet na diecie roślinnej występowało wyższe stężenie rtęci. Wiosną w pobieranych próbkach mleka występował wyższy niż jesienią poziom metali ciężkich. Stężenie dioksyn i polichlorowanych bifenyli nie przekroczyło dopuszczalnych wartości.

**Wnioski:** Na podstawie analizowanych danych nie stwierdzono jednoznacznie pozytywnego lub negatywnego wpływu diety wegańskiej i wegetariańskiej – w porównaniu do diety tradycyjnej – na stężenie metali ciężkich, dioksyn i PCB w mleku kobiecym.

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, dioksyny, mleko kobiece, zanieczyszczenia środowiska

## Wprowadzenie

Żyjemy w epoce antropocenu. Środowisko naturalne zostało nieodwracalnie zmienione przez człowieka, a zmiany te obejmują niestety głównie zniszczenia oraz wciąż narastające zanieczyszczenia wód, gleby i powietrza. Wielopierścieniowe węglowodory, dioksyny, polichlorowane bifenyle (PCB) oraz metale ciężkie, które wprowadzamy do otoczenia, zatruwają również nasze własne organizmy. Zanieczyszczenia wraz z wodą są pobierane z gleby przez rośliny, które następnie z wodą i pokarmem trafiają do organizmów zwierzęcych, a ponadto ulegają bioakumulacji i biomagnifikacji w kolejnych ogniwach łańcuchów pokarmowych, na których szczyście często znajduje się człowiek. Z zagrożeń dietetycznych dla ludzi analizie należy poddać produkty pochodzenia zwierzęcego, szczególnie ryby (również słodkowodne) i owoce morza, zwierzęta hodowlane karmione mączką rybną – ze względu na silną akumulację metali ciężkich i dioksyn w organizmach wodnych [1,2] – a także podroby [3]. Jednakże niektóre rośliny wykazują również zdolność akumulowania metali [4], a ponadto pestycydy stosowane w rolnictwie stanowią poważne źródło metali ciężkich, dioksyn i PCB w środowisku [5–7]. Jednocześnie flawonoidy i przeciwutleniacze obecne w roślinach wykazują działanie ochronne przeciwko zniszczeniom wywołanym przez metale ciężkie [8,9].

Celem pracy było zbadanie, czy poziom metali ciężkich, dioksyn i polichlorowanych bifenyli obecnych w mleku kobiecym jest zależny od stosowanej diety wegańskiej lub tradycyjnej. Ze względu na fakt, iż metale ciężkie i dioksyny mogą ulegać bioakumulacji i biomagnifikacji, wysunięto hipotezę, że niższy poziom badanych toksyn charakteryzuje osoby stosujące dietę wegańską, czyli wykluczającą produkty pochodzenia zwierzęcego niż osoby, które spożywają mięso, ryby, jajka i inne odzwierzęce produkty żywnościowe.

### ***Toksyny antropogeniczne***

Arsen (As) jest uwalniany z rud podczas produkcji miedzi, ołowiu i cynku, podczas spalania węgla oraz w trakcie produkcji pestycydów. Jego związki nieorganiczne mogą dostać się do organizmu poprzez wdychanie pyłów, picie skażonej wody oraz w wyniku kontaktu ziemi lub skażonej wody ze skórą. Metal ten ulega akumulacji w mięsie ryb oraz w ryżu. Arsen blokuje reszty siarkowe w białkach enzymatycznych, wykazuje działanie genotoksyczne i kancerogenne [10,11]. Z organizmu człowieka usuwany jest z moczem, gdzie wykrywa się go w stężeniu 0,013–0,25 mg/l [12].

Bar (Ba) stosowany jest w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym. W medycynie służy jako środek kontrastujący w badaniu układu pokarmowego. nierozpuszczalne sole baru, np. siarczan baru, są uznawane za nietoksyczne. Z kolei rozpuszczalne i jednocześnie toksyczne sole baru to m.in.: chlorek baru, azotan(V) baru, chloran(V) baru, octan baru i węglan baru, a narażenie na nie występuje w przemyśle metalurgicznym i przy użyciu pestycydów [13]. Toksyczność tego metalu wynika głównie z wypierania jonów potasu i wytrącania anionów siarczanowych [14].

Chrom (Cr) na +3 stopniu utlenienia jest uznawany za pierwiastek niezbędny dla zdrowia, który wchodzi w skład chromoduliny, tj. tetrapeptydu uczestniczącego w wiązaniu insuliny do receptora insulinowego. Jednakże chrom na +6 stopniu utlenienia wykazuje właściwości toksyczne i rakotwórcze, ponieważ łatwo przenika przez błony komórkowe i może dotrzeć do jądra komórkowego. Metal ten jest jednym z najpowszechniej występujących zanieczyszczeń środowiska, szczególnie wód [15,16].

Kobalt (Co) to mikroelement występujący w organizmie w postaci witaminy B12 (kobalaminy). Kobalt nieorganiczny jest powszechny w środowisku: w glebie, powietrzu i żywności; stosuje się go także w przemyśle metalurgicznym i ceramicznym, a w medycynie służy do powlekania protez i endoprotez. Zagrożenie kobaltem wynika głównie z ekspozycji wziewnej, a nadmierne spożycie nieorganicznego kobaltu może prowadzić do rozwoju kardiomiopatii [17].

Kadm (Cd) występuje w rudach cynku i jest wykorzystywany w przemyśle do produkcji elektrod akumulatorowych oraz jako barwnik. Wchłaniany jest drogą oddechową lub pokarmową, szczególnie z owocami morza i podrobami, a także z dymem tytoniowym [1,18]. Akumuluje się w wątrobie i w nerkach kompleksowany przez metalotioneiny. Kadm eliminowany jest bardzo powoli, a jego czas półtrwania w organizmie wynosi ok. 16 lat [19]. Jest silnie toksyczny i zaburza metabolizm: żelaza, cynku, miedzi, wapnia, magnezu i seleniu. Zwiększa ryzyko raka piersi, macicy i prostaty.

Miedź (Cu) należy do niezbędnych mikroelementów. Transportowana jest przez albuminę, a magazynowana przez wątrobową ceruloplazminę. Jest kofaktorem licznych enzymów, m.in.: hydroksylazy lizylowej, oksydazy cytochromu

c, dysmutazy ponadtlenkowej i tyrozynazy. Nadmiar miedzi usuwany jest z żółcią. Zaburzenia równowagi między jej pobieraniem a wydalaniem mogą spowodować jednak zapalenie wątroby, martwicę nerek i neurodegenerację [20].

Nikiel (Ni) wchłaniany jest przede wszystkim z wodą. Metal ten wywołuje często alergię typu IV oraz może działać neurotoksycznie i rakotwórczo [21].

Rtęć (Hg) szybko ulega akumulacji w organach wewnętrznych, m.in. w nerkach i mózgu nawet na dziesiątki lat. Ekspozycja na nią może uszkodzić układ nerwowy, wydalniczy i immunologiczny [22]. Rtęć występuje w postaci metalicznej w związkach nieorganicznych i organicznych. W żywności w wysokich stężeniach pojawia się szczególnie w owocach morza.

Ołów (Pb) wchłaniany jest przez przewód pokarmowy i układ oddechowy, w mniejszym stopniu również przez skórę. Przenika przez łożysko i w dużej ilości znajdować się może w mleku matki. U dorosłych w przewodzie pokarmowym wchłaniane jest 10% ołowiu obecnego w żywności, a u dzieci odsetek ten sięga nawet 50%. Wchłanianie ołowiu w jelitach zmniejsza się w obecności wapnia i fosforu w diecie, a zwiększa w obecności witaminy C. Akumulacja ołowiu doprowadza do uszkodzenia układu nerwowego i odpornościowego, szpiku kostnego, nerek oraz skóry, a także wywiera efekt mutageny i teratogeny [2,9,22].

Dioksynami nazywa się polichlorowane dibenzo-para-dioksyny (PCDD) i polichlorowane dibenzofurany (PCDF). Polichlorowane bifenyly (PCB) wykazują podobne działanie do dioksyn, stąd ze względu na efekt biologiczny klasyfikuje się je razem z dioksynami, pomimo braku atomów tlenu w ich strukturze chemicznej [5,6,23]. Dioksyny i związki dioksynopodobne były obecne w środkach ochrony roślin stosowanych w latach 80. XX wieku. Powstają m.in. podczas produkcji tworzyw sztucznych, przetapiania metali czy bielenia papieru, a także w trakcie niekontrolowanego spalania odpadów [5,6,23]. Są słabo rozpuszczalne w wodzie, za to dobrze rozpuszczają się w tłuszczach. Mają długi okres półtrwania i ulegają bioakumulacji, szczególnie w tkance tłuszczowej zwierząt [5]. Ekspozycja na dioksyny i PCB może prowadzić do: zaburzeń układu endokrynnego, m.in. modyfikując stężenia niektórych hormonów [6]; opóźnienia rozwoju układu nerwowego [23]; zaburzeń odporności, a także do mutacji i kancerogenezy [24], głównie poprzez oddziaływanie na receptory arylowe. Wykazano również, że dioksyny mogą wiązać się do receptorów tyroidowych, estrogenowych i androgenowych, a także hamować syntezę serotoniny [25]. Działanie hepatotoksyczne może objawić się jako następstwo zmian ekspresji genów i aktywności niektórych enzymów, a także na skutek uszkodzeń wywołanych reaktywnymi formami tlenu, generowanymi podczas I fazy detoksyfikacji tych związków w reakcjach chemicznych z udziałem cytochromu P450 [26].

Podsumowując, negatywne oddziaływanie metali ciężkich i dioksyn na organizm człowieka obejmuje: indukcję stresu oksydacyjnego, zmiany przeżywalności wewnątrzkomórkowego, zaburzenia endokrynnego, uszkodzenia narządów wewnętrznych, w tym czynności układu krążenia, oddechowego, wydalniczego,

nerwowego i rozrodczego, a także kancerogenezę [9,18]. Toksyny obecne w organizmie kobiety w czasie laktacji mogą zatruć mleko matki i w efekcie organizm niemowlęcia.

## **Material i metody**

### ***Grupa badana***

Projekt jako badanie pilotażowe objął 34 kobiety między 21 a 41 r.ż. będące w czasie laktacji. 16 uczestniczek stosowało dietę tradycyjną, która obejmowała produkty pochodzenia zwierzęcego, natomiast 18 kobiet stosowało dietę wykluczającą mięso, z czego 6 stosowało dietę wegetariańską i oprócz pokarmów pochodzenia roślinnego spożywało nabiał i okazjonalnie jajka, zaś 12 kobiet było na diecie czysto roślinnej (wegańskiej) przynajmniej przez trzy lata przed badaniem. Rekrutacja uczestniczek odbyła się drogą internetową przez ogłoszenie na stronie „Trochę Inna Cukiernia” (<http://pinkcake.blox.pl>) – blogu o tematyce kulinarnej odwiedzanym przez osoby na diecie wegańskiej. Uczestniczki zostały poinformowane o celu badania i wyraziły pisemną zgodę na udział w nim. Następnie wypełniły ankietę dotyczącą ich stylu życia i miejsca zamieszkania, wywiadu położniczego i sytuacji zdrowotnej, a także ankietę żywieniową. Na koniec pobrały próbkę swojego mleka między 1 a 10 tygodniem laktacji.

### ***Zawartość metali ciężkich w mleku***

Pobrane próbki mleka o objętości 10–50 ml przechowywano w -80°C do czasu wykonania oznaczeń. Badanie zawartości metali ciężkich w mleku zostało przeprowadzone w Akredytowanym Laboratorium Hydrogeochemicznym w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie przy użyciu metody spektrometrii masowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-MS) w spektrometrze ELAN 6100 (Perkin Elmer, USA). Analizowano zawartość arsenu, baru, chromu, cynku, kadmu, kobaltu, miedzi, niklu, ołowiu i rtęci zgodnie z normą PN-EN ISO 17294-2:2016-11.

### ***Zawartość dioksyn i polichlorowanych bifenyli w mleku***

Badanie zawartości dioksyn i polichlorowanych bifenyli (PCB) w mleku kobiecym przeprowadzono w próbkach o objętości 1 litra, które zostały dostarczone przez cztery uczestniczki badania pochodzące z Krakowa i podkrakowskich miejscowości. Do czasu analizy próbki przechowywano w -20°C w szklanych pojemnikach. Dwie z kobiet, które dostarczyły próbki do tego badania, stosowały dietę wegańską przez minimum trzy lata, zaś dwie kolejne dietę tradycyjną zawierającą nabiał, jajka i mięso. Oznaczenie wykonano w Akredytowanym

Laboratorium Analiz Śladowych Politechniki Krakowskiej metodą chromatografii gazowej i tandemowej spektrometrii masowej GC-MS/MS, zgodnej z rozporządzeniem UE 709/2014, według procedury P/01 wydanie 03 z dnia 11.03.2010 roku (certyfikat akredytacji AB 749). Średnią zawartość tłuszczu w mleku kobiecym przyjęto na poziomie 3%.

Analizowano kongenery dioksyn: 2,3,7,8-TCDD; 1,2,3,7,8-PeCDD; 1,2,3,4,7,8-HxCDD; 1,2,3,6,7,8-HxCDD; 1,2,3,7,8,9-HxCDD; 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD; OCDD; 2,3,7,8-TCDF; 1,2,3,7,8-PeCDF; 2,3,4,7,8-PeCDF; 1,2,3,4,7,8-HxCDF; 1,2,3,6,7,8-HxCDF; 1,2,3,7,8,9-HxCDF; 2,3,4,6,7,8-HxCDF; 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF; 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF; OCDF. Niepewność oznaczenia pojedynczego kongeneru szacowano na 26%. Analizie poddano kongenery PCB dioksynopodobnych (dl-PCB): PCB77, PCB81, PCB105, PCB114, PCB118, PCB123, PCB126, PCB156, PCB157, PCB167, PCB169 i PCB189. Niepewność ich oznaczenia oszacowano na 22%. Badano również zawartość kongenerów PCB o właściwościach niepodobnych do dioksyn (ndl-PCB): PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153, PCB180 z niepewnością oznaczenia poszczególnych kongenerów szacowaną na 22%. Wyniki przedstawiono zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (UE) nr 1259/2011 z dn. 2 grudnia 2011 r. zmieniającym rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów dioksyn, polichlorowanych bifenyli o działaniu podobnym do dioksyn i polichlorowanych bifenyli o działaniu niepodobnym do dioksyn w środkach spożywczych jako górny limit, a jako jednostkę przyjęto równoważniki toksyczności (TEQ).

### *Analiza statystyczna danych*

Analizę statystyczną zebranych danych przeprowadzono przy pomocy programu Statistica 12 (StatSoft, Polska). Analizy wariancji dokonano testem ANOVA, który został poparty analizą post hoc Tukeya (HSD). Siłę związku między zmiennymi oceniano przy pomocy ogólnego testu F oraz procedury Fishera. Aby ustalić istnienie współzależności pomiędzy mierzonymi parametrami, korzystano z regresji liniowej. Siła związku między zmiennymi została oceniona przez obliczenie współczynników korelacji Pearsona. Za istotne statystycznie uznawano wyniki testów, których prawdopodobieństwo błędu I rodzaju było mniejsze niż 0,05.

### **Wyniki**

Po wstępnej analizie statystycznej, w której nie wykazano istotnych różnic między grupą wegańską a wegetariańską, zdecydowano się na połączenie puli wyników dla diet wykluczających mięso, co pozwoliło na wyrównanie liczebności grup poddanych analizie.

Statystyki podstawowe dla wyników pomiaru stężeń metali ciężkich w mleku kobiecym zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich w mleku kobiecym (N = 34)

Metale oznaczane w mleku kobiecym	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. St.	Wartość normowa w mleku ssaczym	Liczba próbek powyżej normy	Norma w wodzie
As [µg/kg]	43,7	0,7	456,1	75,4	<100	3	<50
Ba [µg/kg]	51,4	1,7	463,4	84,0	–	3	<100
Cd [µg/kg]	0,5	0,1	2,6	0,6	<10	0	<5
Co [µg/kg]	10,9	1,6	62,5	12,3	0,5–7*	5	–
Cr [µg/kg]	40,1	2,8	245,2	48,4	–	1	<50
Cu [mg/kg]	0,2	0,06	0,4	0,2	0,2–0,3*	4	–
Hg [µg/kg]	4,4	0,0	68,5	9,1	<10	0	–
Ni [µg/kg]	108,6	4,4	1511,7	256,9	–	7	<50
Pb [µg/kg]	2,3	0,1	10,8	2,8	<20	1	<10
Zn [mg/kg]	0,818	0,139	7,122	1,011	1,7–5*	7	–

Odch. St. – odchylenie standardowe. Norma – dopuszczalne maksymalne stężenie

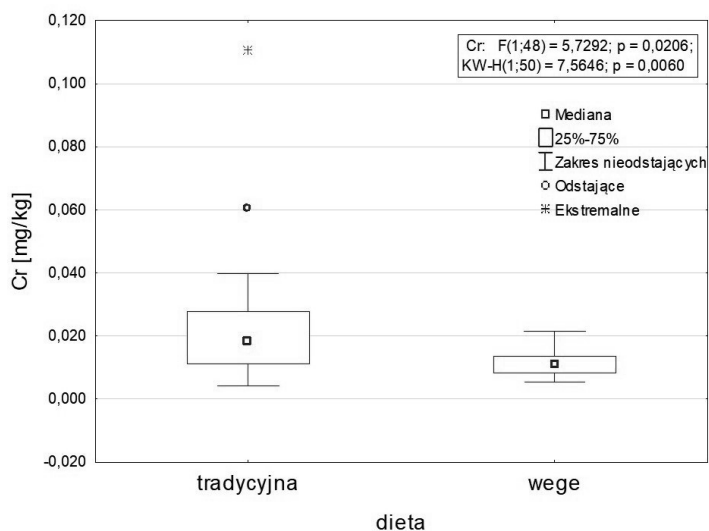
\* stężenie typowe dla mleka ssaków [27,28]

Stężenia metali ciężkich w mleku kobiecym były ze sobą istotnie skorelowane ( $p < 0,05$ ). Stwierdzono występowanie dodatkowo korelacji znamiennej statystycznie: między stężeniem arsenu a stężeniami kadmu, chromu i rtęci oraz między stężeniem baru a stężeniami kadmu, chromu, rtęci, niklu i ołowiu. Stężenie kadmu korelowało ponadto ze stężeniem chromu, rtęci, niklu i ołowiu.

Ustalono, że w badanej grupie nie występowała istotna statystycznie zależność między stężeniem metali w mleku ani od czasu trwania laktacji, ani od wieku kobiety.

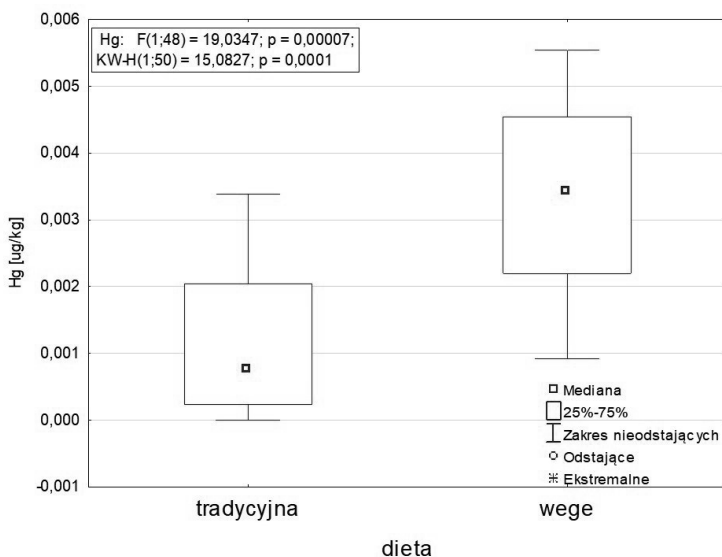
Zaobserwowano, że w mleku pochodzącym od kobiet stosujących dietę tradycyjną stężenie miedzi ( $p = 0,025$ ) oraz chromu ( $p = 0,037$ , rycina 1) było istotnie wyższe niż w mleku pochodzącym od weganiek i wegetarianek.

Rycina 1. Zależność zawartości chromu w mleku kobiecym (mierzonej przy pomocy spektrometrii masowej) w zależności od stosowanej przez kobiety diety: tradycyjnej lub wegetariańskiej/wegańskiej (wege)



Natomiast u kobiet stosujących diety wykluczające mięso stwierdzono wyższe stężenie rtęci ( $p = 0,003$ , rycina 2).

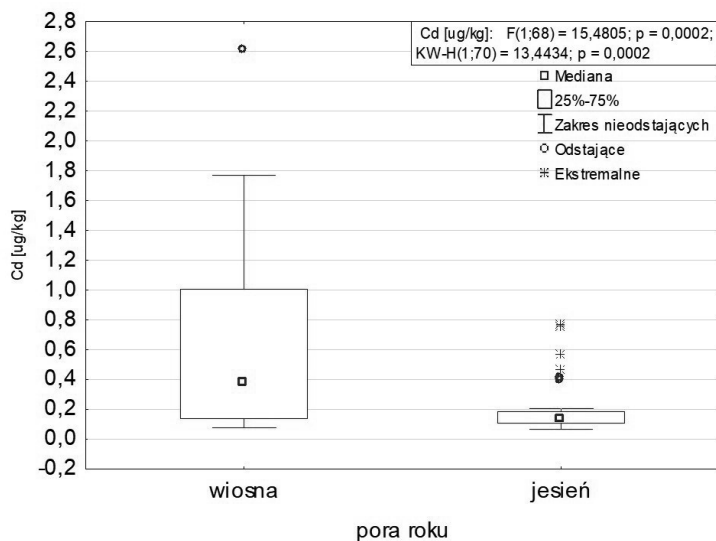
Rycina 2. Zależność zawartości rtęci w mleku kobiecym (mierzonej przy pomocy spektrometrii masowej) w zależności od stosowanej przez kobiety diety: tradycyjnej lub wegetariańskiej/wegańskiej (wege)





Stwierdzono również, że istotnie wyższe stężenia metali ciężkich występowały w próbkach mleka pobieranych od lipca do października niż w próbkach z okresu marzec–maj. Zależności te stwierdzono dla: baru –  $p = 0,001$ ; kobaltu –  $p < 0,001$ ; chromu –  $p = 0,004$ ; miedzi –  $p = 0,017$ ; rtęci –  $p < 0,001$ ; niklu –  $p < 0,001$ ; ołowiu –  $p = 0,004$  oraz kadmu –  $p < 0,001$  (rycina 3).

Rycina 3. Zależność zawartości kadmu w mleku kobiecym (mierzonej przy pomocy spektrometrii masowej) w zależności od pory roku w której pobrano próbkę



Zawartość polichlorowanych bifenyli i dioksyn w mleku kobiecym przedstawiono w tabeli 2 oraz w tabeli 3 (A, B, C, D).

Tabela 2. Zawartość sumy dioksyn, polichlorowanych bifenyli dioksynopodobnych (dl-PCB) oraz polichlorowanych bifenyli o właściwościach niepodobnych do dioksyn (ndl-PCB) w mleku czterech kobiet z Małopolski wyrażona jako równoważniki toksyczności TEQ [pg/g tłuszczu]

Oznaczenie	Mleko 1, dieta tradycyjna, duże miasto	Mleko 2, dieta tradycyjna, mała miejscowość	Mleko 3, dieta wegańska, duże miasto	Mleko 4, dieta wegańska, mała miejscowość
Suma dioksyn WHO-PCDD/F-TEQ [pg/g tłuszczu]	0,72 ± 0,19	7,0 ± 1,80	0,31 ± 0,08	0,91 ± 0,24
Suma dioksyn i dl-PCB WHO-PCDD/F-PCB-TEQ [pg/g tłuszczu]	1,30 ± 0,32	8,0 ± 2,00	0,35 ± 0,09	1,10 ± 0,27
ndl-PCB [ng/g tłuszczu]	12,00 ± 2,70	35,0 ± 7,60	0,35 ± 0,08	3,10 ± 0,67

Tabela 3. Szczegółowe wyniki oznaczenia zawartości dioksyn i polichlorowanych bifenyli w próbkach mleka od kobiet z Małopolski wyrażona jako równoważniki toksyczności TEQ [pg/g tłuszczu]

dl-PCB – polichlorowane bifenyle dioksynopodobne; ndl-PCB – polichlorowane bifenyle o właściwościach niepodobnych do dioksyn; LOQ – Limit of Quantification (dolna granica oznaczalności); TEQ – Toxic Equivalent (równoważnik toksyczności); WHO-TEF – World Health Organisation-Toxic Equivalency Factor (równoważnik toksyczności WHO)

Tabela 3A. Próbkę mleka 1 od kobiety na diecie tradycyjnej pochodzącej z dużego miasta

Oznaczany kongener	WHO-TEF	Dolna granica oznaczalności LOQ	Zawartość [pg/g tłuszczu]	TEQ [pg/g tłuszczu]
<b>Dioksyny</b>		0,231		0,72
2,3,7,8-TCDD	1	0,045	n.o.	0,045
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0,053	0,15	0,15
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,084	n.o.	0,0084
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,039	0,49	0,049
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,060	0,09	0,009
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,069	1	0,01
OCDD	0,0003	0,110	9,6	0,0029
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,069	0,45	0,045
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03	0,094	0,5	0,015
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3	0,110	0,83	0,25
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,230	0,48	0,048
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,150	0,39	0,039
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,140	n.o.	0,014
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,130	0,26	0,026
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,240	0,44	0,0044
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,520	0,88	0,0088
OCDF	0,0003	0,340	1,6	0,00048
dl-PCB		0,043		0,6
3,3',4,4'-TCB (PCB77)	0,0001	0,380	5,6	0,00056
3,3',4,4',5-PeCB (PCB126)	0,1	0,300	4,5	0,45
3,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB169)	0,03	0,430	3,4	0,102
3,4,4',5-TCB (PCB81)	0,0003	0,650	n.o.	0,0002
2,3,3',4,4'-PeCB (PCB105)	0,00003	0,510	234	0,00702
2,3,4,4',5-PeCB (PCB114)	0,00003	0,620	30	0,0009
2,3',4,4',5-PeCB (PCB118)	0,00003	0,360	1029	0,03087

Oznaczany kongener	WHO-TEF	Dolna granica oznaczalności LOQ	Zawartość [pg/g tłuszczu]	TEQ [pg/g tłuszczu]
2',3,4,4',5-PeCB (PCB123)	0,00003	0,700	13	0,00039
2,3,3',4,4',5-HxCB (PCB156)	0,00003	0,470	222	0,00666
2,3,3',4,4',5'-HxCB (PCB157)	0,00003	0,610	44	0,00132
2,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB167)	0,00003	1,000	88	0,00264
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (PCB189)	0,00003	0,910	29	0,00087
<b>ndl-PCB</b>	[ng/g tłuszczu]	0,00523	12	[ng/g tłuszczu]
PCB28		0,0024	1,9	
PCB52		0,0012	0,15	
PCB101		0,00046	0,31	
PCB138		0,00019	2,3	
PCB153		0,00058	4,4	
PCB180		0,00047	2,9	

Tabela 3B. Próbkę mleka 2 od kobiety na diecie tradycyjnej pochodzącej z małej miejscowości

Oznaczany kongener	WHO-TEF	Dolna granica oznaczalności LOQ	Zawartość [pg/g tłuszczu]	TEQ [pg/g tłuszczu]
<b>Dioksyny</b>		0,772		7
2,3,7,8-TCDD	1	0,19	n.o.	0,19
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0,18	3,7	3,7
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,26	n.o.	0,026
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,12	1,4	0,14
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,18	1,6	0,16
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,18	19	0,19
OCDD	0,0003	0,21	81	0,0243
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,34	0,63	0,063
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03	0,28	0,4	0,012
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3	0,39	3,9	1,17
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,59	9,2	0,92
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,34	1,8	0,18
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,36	n.o.	0,014
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,40	1,1	0,11
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,49	n.o.	0,0049
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,87	1,9	0,019

Oznaczany kongener	WHO-TEF	Dolna granica oznaczalności LOQ	Zawartość [pg/g tłuszczu]	TEQ [pg/g tłuszczu]
OCDF	0,0003	0,64	2,7	0,00081
dl-PCB		0,104		1
3,3',4,4'-TCB (PCB77)	0,0001	1,40	11	0,0011
3,3',4,4',5-PeCB (PCB126)	0,1	0,86	6,8	0,68
3,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB169)	0,03	0,60	6,9	0,207
3,4,4',5-TCB (PCB81)	0,0003	2,30	n.o.	0,00069
2,3,3',4,4'-PeCB (PCB105)	0,00003	0,83	499	0,015
2,3,4,4',5-PeCB (PCB114)	0,00003	0,81	74	0,0022
2,3',4,4',5-PeCB (PCB118)	0,00003	48,00	2403	0,072
2',3,4,4',5-PeCB (PCB123)	0,00003	1,10	15	0,00045
2,3,3',4,4',5-HxCB (PCB156)	0,00003	0,58	731	0,022
2,3,3',4,4',5'-HxCB (PCB157)	0,00003	0,75	142	0,004
2,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB167)	0,00003	1,00	240	0,0072
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (PCB189)	0,00003	0,96	94	0,00282
<b>ndl-PCB</b>	[ng/g tłuszczu]	0,0133	35	[ng/g tłuszczu]
PCB28		0,0096	1,2	
PCB52		0,0016	0,36	
PCB101		0,00067	0,98	
PCB138		0,00026	8	
PCB153		0,00068	14	
PCB180		0,00051	10	

Tabela 3C. Próbkę mleka 3 od kobiety na diecie wegańskiej pochodzącej z dużego miasta

Oznaczany kongener	WHO-TEF	Dolna granica oznaczalności LOQ	Zawartość [pg/g tłuszczu]	TEQ [pg/g tłuszczu]
<b>Dioksyny</b>		0,274		0,31
2,3,7,8-TCDD	1	0,062	n.o.	0,062
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0,059	n.o.	0,059
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,100	n.o.	0,01
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,040	n.o.	0,004
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,066	n.o.	0,0066
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,064	0,74	0,0074

Oznaczany kongener	WHO-TEF	Dolna granica oznaczalności LOQ	Zawartość [pg/g tłuszczu]	TEQ [pg/g tłuszczu]
OCDD	0,0003	0,079	6,7	0,0020
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,11	0,26	0,026
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03	0,11	n.o.	0,0033
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3	0,14	0,2	0,060
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,25	n.o.	0,025
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,16	n.o.	0,016
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,15	n.o.	0,015
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,14	n.o.	0,014
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,24	0,27	0,0027
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,47	0,54	0,0054
OCDF	0,0003	0,24	n.o.	0,000072
dl-PCB		0,039		0,04
3,3',4,4'-TCB (PCB77)	0,0001	0,59	4,6	0,00046
3,3',4,4',5-PeCB (PCB126)	0,1	0,32	n.o.	0,032
3,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB169)	0,03	0,21	n.o.	0,0063
3,4,4',5-TCB (PCB81)	0,0003	0,90	n.o.	0,00027
2,3,3',4,4'-PeCB (PCB105)	0,00003	0,32	7,5	0,000225
2,3,4,4',5-PeCB (PCB114)	0,00003	0,45	1,4	0,000042
2,3',4,4',5-PeCB (PCB118)	0,00003	0,23	19	0,00057
2',3,4,4',5-PeCB (PCB123)	0,00003	0,49	1,9	0,000057
2,3,3',4,4',5-HxCB (PCB156)	0,00003	0,24	3,4	0,000102
2,3,3',4,4',5'-HxCB (PCB157)	0,00003	0,29	0,76	0,0000228
2,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB167)	0,00003	0,49	1,2	0,000036
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (PCB189)	0,00003	0,37	n.o.	0,000011
<b>ndl-PCB</b>	[ng/g tłuszczu]	0,0015	0,35	[ng/g tłuszczu]
PCB28		0,00038	0,14	
PCB52		0,00033	0,43	
PCB101		0,00025	0,029	
PCB138		0,000086	0,034	
PCB153		0,00024	0,075	
PCB180		0,00021	0,025	

Tabela 3D. Próbkę mleka 4 od kobiety na diecie wegańskiej pochodzącej z małej miejscowości

Oznaczany kongener	WHO-TEF	Dolna granica oznaczalności LOQ	Zawartość [pg/g tłuszczu]	TEQ [pg/g tłuszczu]
<b>Dioksyny</b>		0,772		0,91
2,3,7,8-TCDD	1	0,10	n.o.	0,1
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0,09	0,17	0,17
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,16	n.o.	0,016
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,08	0,67	0,067
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,12	n.o.	0,012
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,12	6,2	0,062
OCDD	0,0003	0,13	33	0,0099
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,14	1,4	0,14
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03	0,16	0,3	0,009
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3	0,22	0,26	0,078
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,58	1,1	0,11
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,36	0,56	0,056
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,24	n.o.	0,024
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,25	0,28	0,028
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,42	n.o.	0,0042
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	1,60	2,4	0,024
OCDF	0,0003	0,39	1,5	0,00045
dl-PCB		0,128		0,14
3,3',4,4'-TCB (PCB77)	0,0001	1,00	26	0,0026
3,3',4,4',5-PeCB (PCB126)	0,1	0,97	n.o.	0,1
3,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB169)	0,03	1,00	n.o.	0,03
3,4,4',5-TCB (PCB81)	0,0003	1,70	n.o.	0,0051
2,3,3',4,4'-PeCB (PCB105)	0,00003	1,50	53	0,0016
2,3,4,4',5-PeCB (PCB114)	0,00003	1,80	5,1	0,00015
2,3',4,4',5-PeCB (PCB118)	0,00003	1,10	201	0,006
2',3,4,4',5-PeCB (PCB123)	0,00003	2,70	7,3	0,000219
2,3,3',4,4',5-HxCB (PCB156)	0,00003	1,20	10	0,000
2,3,3',4,4',5'-HxCB (PCB157)	0,00003	1,40	1,7	0,000
2,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB167)	0,00003	3,80	5,5	0,000165
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (PCB189)	0,00003	4,80	n.o.	0,00014

Oznaczany kongener	WHO-TEF	Dolna granica oznaczalności LOQ	Zawartość [pg/g tłuszczu]	TEQ [pg/g tłuszczu]
<b>ndl-PCB</b>	[ng/g tłuszczu]	0,0119	3,1	[ng/g tłuszczu]
PCB28		0,0025	0,89	
PCB52		0,0035	0,54	
PCB101		0,0014	0,97	
PCB138		0,00031	0,2	
PCB153		0,0021	0,41	
PCB180		0,0021	0,056	

## Dyskusja

### *Stężenie metali ciężkich w mleku*

Ze względu na brak wyznaczonych dopuszczalnych norm stężenia metali ciężkich w mleku kobiecym, uzyskane wyniki porównano do norm dopuszczalnej zawartości metali w mleku ssaków hodowlanych [3,29]. W przypadku braku opracowanych norm dla mleka (co dotyczy baru, chromu i niklu) odniesiono się do norm zawartości metali ciężkich w wodzie pitnej, ponieważ pokarm matczyny jest zwykle dla niemowląt jedynym pożywieniem i napojem przez pierwsze pół roku życia. Obydwa rodzaje zaproponowanych w pracy wartości granicznych stanowią jedynie zgrubny punkt odniesienia dla oceny bezpiecznego stężenia metali ciężkich w mleku kobiecym. Należy wziąć pod uwagę, że mleko zwierząt hodowlanych nigdy nie stanowi wyłącznego źródła pożywienia dla ludzi, dlatego dopuszczalne normy zawartości metali ciężkich w mleku mogą wydawać się zawyżone w odniesieniu do niemowląt i z tego względu wydaje się uprawnione skorzystanie pomocniczo z bardziej restrykcyjnych norm dopuszczalnego stężenia metali ciężkich w wodzie pitnej. Warto jednak zauważyć, że w badanej grupie nie stwierdzono wysokiego spożycia jaj zarówno wśród wegetarianek, jak i kobiet na diecie tradycyjnej, a także, co ważne, kobiety stosujące dietę tradycyjną nie spożywały dużych ilości ryb, które często są znaczącym źródłem metali ciężkich w pożywieniu.

Spośród badanych 34 próbek mleka kobiecego w trzech stężenie arsenu przekroczyło jego dopuszczalny poziom w mleku, zaś dozwolone normy zawartości w wodzie – sześć próbek. Stwierdzono także, że u trzech kobiet zawartość baru w mleku przekraczała dopuszczalne normy dla wody pitnej. Nie potwierdzono wpływu diety, miejsca zamieszkania ani innych czynników na stężenie tych metali.

Nie wykazano również, aby stężenie kadmu w próbkach mleka przekroczyło dozwolone normy jego zawartości w mleku i w wodzie, niezależnie od stosowanej diety przez dawczynię próbki.

Brak jest wyznaczonych norm zawartości kobaltu w produktach żywnościowych. Warto zauważyć, że może on występować nie tylko w niekorzystnych zdrowotnie związkach nieorganicznych, ale także w postaci witaminy B12, gdzie jest skoordynowany pierścieniem korynowym. Z kolei zastosowane metody analityczne nie umożliwiają rozróżnienia postaci, w jakiej kobalt wydzielany jest do mleka. Można jedynie stwierdzić, że w niektórych próbkach stężenie kobaltu wielokrotnie przekroczyło jego ilości typowo występujące w mleku kobiecym w postaci witaminy B12 [30].

W ponad 1/5 analizowanych próbek mleka stężenie niklu przekraczało normy wyznaczone dla wody pitnej. Jego wysoki poziom w mleku nie był jednak zależny od diety kobiet.

Nie stwierdzono, by w próbkach stężenie ołowiu przekroczyło dopuszczalne normy dla mleka i wody. Nie wykazano także zależności stężenia ołowiu w mleku kobiet od stosowanej przez nie diety.

Stężenie chromu w spożywanych produktach nie powinno przekroczyć 0,05–0,1 mg/kg, co jednak miało miejsce w jednej z próbek. Statystycznie wyższe stężenie chromu stwierdzono w mleku kobiet stosujących dietę tradycyjną, w której spożywa się mięso.

Statystycznie wyższe stężenie rtęci występowało u kobiet stosujących diety bazujące na produktach roślinnych, choć teoretycznie spodziewano się odwrotnej zależności ze względu na fakt, iż jej najbogatszymi źródłami są owoce morza.

W czterech próbkach stwierdzono nieznaczne przekroczenie normowego stężenia miedzi w mleku (2–3 mg/100 mg). Jednakże ze względu na istotne funkcje miedzi w organizmie, warto zwrócić uwagę, że wyższa zawartość tego pierwiastka charakteryzowała próbki pochodzące od kobiet stosujących dietę tradycyjną. Należy więc uwzględnić, że może to zarówno świadczyć o ich lepszym odżywieniu, jak i większym obciążeniu organizmu toksynami. Podobne obserwacje poczyniono w przypadku stężenia cynku. Ten pierwiastek jest niezbędnym mikroelementem i nie jest zazwyczaj uznawany za toksynę. W przypadku siedmiu próbek stwierdzono przekroczenie wartości typowych dla mleka kobiecego, jednakże nie można uznać, że były to stężenia niebezpieczne dla zdrowia niemowląt. Mogą one za to świadczyć o dobrym stopniu odżywienia kobiet.

Ponadto wykazano, że stężenie 8 z 10 analizowanych w mleku kobiecym metali ciężkich było zdecydowanie wyższe w próbkach pobieranych wiosną niż w tych z okresu późnego lata i początków jesieni (przed rozpoczęciem sezonu grzewczego). Jest to przesłanka która wskazuje, że być może kluczowe znaczenie w podniesieniu poziomu metali ciężkich w organizmie i mleku karmiących



matek ma nie dieta, lecz zanieczyszczenie powietrza. Spaliny samochodowe, ogrzewanie domów piecami węglowymi oraz stosowanie niskiej jakości opału powodują wielokrotne przekroczenia norm stanu powietrza w okresie zimowym, co być może jest właśnie przyczyną silnego zanieczyszczenia mleka kobiecego toksynami antropogenicznymi.

Pod uwagę należy wziąć również fakt, że w badaniu pilotażowym nie analizowano wielu czynników, które mogły wpłynąć na zwiększenie stężenia metali ciężkich w mleku, m.in. uwalniania złożeń toksyn z tkanek kobiet, np. na skutek zmian hormonalnych lub zmian masy ciała.

### ***Stężenie dioksyn i polichlorowanych bifenyli***

Ze względu na wykonanie analizy zawartości dioksyn i PCB dla małej liczby próbek, wyników badania nie można poddać analizie statystycznej. Mogą one jedynie być potraktowane jako doniesienie i stanowić odniesienie uzyskanych wartości do zawartości dioksyn w mleku zwierzęcym, a także w mleku kobiet z innych populacji.

Według zaleceń WHO maksymalna dopuszczalna dzienna dawka dioksyn PCDD wynosi 1 pg-TEQ/kg masy ciała. Według opublikowanych danych mleko kobiece zawiera 25–40 pg-TEQ/g tłuszczu, podczas gdy w mleku zwierzęcym zawartość ta kształtuje się na poziomie 0,1–6 pg-TEQ/g tłuszczu [31]. Zatem przy założeniu, że niemowlę ważące 5–8 kg, karmione wyłącznie naturalnie matczynym pokarmem zjada ok. 150 ml mleka o średniej zawartości tłuszczu w granicach 3%, jest prawdopodobne, że dziennie przyjmuje ono nawet 50-krotnie większą dawkę dioksyn niż osoba dorosła stosująca standardową dietę.

Wyniki uzyskane w niniejszym badaniu wskazują na zdecydowanie niższą zawartość dioksyn i polichlorowanych bifenyli dioksynopodobnych (dl-PCB) w badanym mleku kobiet mieszkających w Polsce niż uprzednio publikowane dane [31]. Zawartość dioksyn w mleku kobiecym w Holandii [32] mieściło się w zakresie 4,3–32 pg-TEQ/g tłuszczu oraz 0,6–8,1 pg-TEQ/g tłuszczu dla PCB dioksynopodobnych. Natomiast w Niemczech w mleku kobiet stwierdzono obecność dioksyn w stężeniach 1,8–34,7 pg-TEQ/g tłuszczu oraz dl-PCB 1,2–50,1 pg-TEQ/g tłuszczu [33]. W Chinach w mleku kobiecym stężenie dioksyn wynosiło 7,4–23,6 pg-TEQ/g tłuszczu oraz dl-PCB 0,9–7,9 pg-TEQ/g tłuszczu [34], a w Wietnamie 1,5–14,2 pg-TEQ/g tłuszczu [7]. Zatem zmierzone stężenia nie odbiegają od wartości raportowanych w innych badaniach, a co najważniejsze nie przekraczają sugerowanej przez WHO bezpiecznej dawki dziennej dla niemowlęcia, co wspiera tezę, że naturalny pokarm jest najlepszym rozwiązaniem w żywieniu noworodków [35], nawet pomimo występowania w nim niekiedy wyższego stężenia dioksyn niż w preparatach mlekozastępczych [31,36].

## Wnioski

Nie stwierdzono jednoznacznie pozytywnego lub negatywnego wpływu diety wegańskiej i wegetariańskiej na stężenie metali ciężkich w mleku kobiecym. Uczestniczki badania stosujące dietę tradycyjną miały w swoim mleku wyższe stężenie chromu i niklu, natomiast próbki pochodzące od kobiet wykluczających z diety mięso charakteryzowało wyższe stężenie rtęci. Sugerowana jest dokładniejsza analiza wpływu poszczególnych składników diety. Analiza danych pod kątem ustalenia, jakie czynniki wpływają na zawartość dioksyn w mleku matki, wymaga wykonania dalszych badań na większej liczbie próbek. Wątkiem wartym dogłębnej analizy wydaje się wpływ poziomu zanieczyszczenia powietrza na stężenie toksyn antropogenicznych w mleku karmiących matek.

## Bibliografia

1. Wang WX, Meng J, Weng N. *Trace Metals in Oysters: Molecular and Cellular Mechanisms and Ecotoxicological Impacts*. Environ Sci Process Impacts. 2018; 20 (6): 892–912. doi: 10.1039/c8em00069g.
2. Rehman K, Fatima F, Waheed I, Akash MSH. *Prevalence of Exposure of Heavy Metals and Their Impact on Health Consequences*. J Cell Biochem. 2018; 119 (1): 157–184. doi: 10.1002/jcb.26234.
3. Duma P, Pawlos M, Rudy M. *Zawartość metali ciężkich w wybranych produktach spożywczych województwa podkarpackiego*. Bromat Chem Toksykol. 2012; 45 (1): 94–100.
4. Kumarathilaka P, Seneweera S, Meharg A, Bundschuh J. *Arsenic Accumulation in Rice (*Oryza sativa* L.) is Influenced by Environment and Genetic Factors*. Sci Total Environ. 2018; 642: 485–496. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.030.
5. Mathew BB, Singh H, Biju VG, Krishnamurthy NB. *Classification, Source, and Effect of Environmental Pollutants and Their Biodegradation*. J Environ Pathol Toxicol Oncol. 2017; 36 (1): 55–71. doi: 10.1615/JEnvironPatholToxicolOncol.2017015804.
6. Tavakoly Sany SB, Hashim R, Salleh A, Rezayi M, Karlen DJ, Razavizadeh BB, Abouzari-Lotf E. *Dioxin Risk Assessment: Mechanisms of Action and Possible Toxicity in Human Health*. Environ Sci Pollut Res Int. 2015; 22 (24): 19434–19450. doi: 10.1007/s11356-015-5597-x.
7. Saito K, Nhu DD, Suzuki H, Kido T, Naganuma R, Sakakibara C, Tawara K, Nishijo M, Nakagawa H, Kusama K, Dung PT, Thom le H, Hung NN. *Association Between Dioxin Concentrations in Breast Milk and Food Group Intake in Vietnam*. Environ Health Prev Med. 2010; 15 (1): 48–56. doi: 10.1007/s12199-009-0106-9.
8. Vargas F, Romecín P, García-Guillén AI, Wangesteen R, Vargas-Tendero P, Paredes MD, Atucha NM, García-Estañ J. *Flavonoids in Kidney Health and Disease*. Front Physiol. 2018; 9: 394. doi: 10.3389/fphys.2018.00394.

9. Rana MN, Tangpong J, Rahman MM. *Toxicodynamics of Lead, Cadmium, Mercury and Arsenic- Induced Kidney Toxicity and Treatment Strategy: A Mini Review*. Toxicol Rep. 2018; 5: 704–713. doi: 10.1016/j.toxrep.2018.05.012.
10. Jia Y, Xi B, Jiang Y, Guo H, Yang Y, Lian X, Han S. *Distribution, Formation and Human-Induced Evolution of Geogenic Contaminated Groundwater in China: A Review*. Sci Total Environ. 2018; 643: 967–993. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.201.
11. Rager JE, Auerbach SS, Chappell GA, Martin E, Thompson CM, Fry RC. *Benchmark Dose Modeling Estimates of the Concentrations of Inorganic Arsenic That Induce Changes to the Neonatal Transcriptome, Proteome, and Epigenome in a Pregnancy Cohort*. Chem Res Toxicol. 2017; 30 (10): 1911–1920. doi: 10.1021/acs.chemrestox.7b00221.
12. PubChem; <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> [dostęp: 13.08.2018].
13. Goel A, Aggarwal P. *Pesticide Poisoning*. Natl Med J India. 2007; 20 (4): 182–191.
14. Kravchenko J, Darrah TH, Miller RK, Lyerly HK, Vengosh A. *A Review of the Health Impacts of Barium from Natural and Anthropogenic Exposure*. Environ Geochem Health. 2014; 36 (4): 797–814. doi: 10.1007/s10653-014-9622-7.
15. Bakshi A, Panigrahi AK. *A Comprehensive Review on Chromium Induced Alterations in Fresh Water Fishes*. Toxicol Rep. 2018; 5: 440–447. doi: 10.1016/j.toxrep.2018.03.007.
16. Chen QY, Costa M. *A Comprehensive Review of Metal-Induced Cellular Transformation Studies*. Toxicol Appl Pharmacol. 2017; 331: 33–40. doi: 10.1016/j.taap.2017.05.004.
17. Donaldson JD, Beyersmann D. *Cobalt and Cobalt Compounds* [headword]. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH, Weinheim 2005: 38.
18. Ramos-Treviño J, Bassol-Mayagoitia S, Hernández-Ibarra JA, Ruiz-Flores P, Nava-Hernández MP. *Toxic Effect of Cadmium, Lead, and Arsenic on the Sertoli Cell: Mechanisms of Damage Involved*. DNA Cell Biol. 2018; 37 (7): 600–608. doi: 10.1089/dna.2017.4081.
19. Satarug S. *Dietary Cadmium Intake and Its Effects on Kidneys*. Toxics. 2018; 6 (1): 15. doi: 10.3390/toxics6010015.
20. Bulcke F, Dringen R, Scheiber IF. *Neurotoxicity of Copper*. Adv Neurobiol. 2017; 18: 313–343. doi: 10.1007/978-3-319-60189-2\_16.
21. Song X, Fiati Kenston SS, Kong L, Zhao J. *Molecular Mechanisms of Nickel Induced Neurotoxicity and Chemoprevention*. Toxicology. 2017; 392: 47–54. doi: 10.1016/j.tox.2017.10.006.
22. Bjørklund G, Dadar M, Mutter J, Aaseth J. *The Toxicology of Mercury: Current Research and Emerging Trends*. Environ Res. 2017; 159: 545–554. doi: 10.1016/j.envres.2017.08.051.
23. Tai PT, Nishijo M, Anh NT, Maruzeni S, Nakagawa H, Van Luong H, Anh TH, Honda R, Kido T, Nishijo H. *Dioxin Exposure in Breast Milk and Infant Neurodevelopment in Vietnam*. Occup Environ Med. 2013; 70 (9): 656–662. doi: 10.1136/oemed-2012-101021.
24. Rathna R, Varjani S, Nakkeeran E. *Recent Developments and Prospects of Dioxins and Furans Remediation*. J Environ Manage. 2018; 1 (223): 797–806. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.06.095.

25. Rice CP, O'Keefe P, Kubiak TJ. *Sources, Pathways, and Effects of PCBs, Dioxins, and Dibenzofurans*. In: *Handbook of Ecotoxicology*, 2nd ed., eds. DJ Hoffman, BA Rattner, GA Burton Jr., J Cairns Jr. CRC Press, Boca Raton 2003: 499–571.
26. Inui H, Itoh T, Yamamoto K, Ikushiro S, Sakaki T. *Mammalian Cytochrome P450-Dependent Metabolism of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Coplanar Polychlorinated Biphenyls*. *Int J Mol Sci*. 2014; 15 (8): 14044–14057. doi: 10.3390/ijms150814044.
27. USDA National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release, April 2018.
28. Kunachowicz H, Przygoda B, Nadolna I, Iwanow K. *Tabele wartości odżywczej produktów spożywczych i potraw*. PZWL, Warszawa 2017.
29. Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych, wraz z Rozporządzeniem Komisji (UE) nr 420/2011 z dnia 29 kwietnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.
30. Pawlak R, Vos P, Shahab-Ferdows S, Hampel D, Allen LH, Perrin MT. *Vitamin B-12 Content in Breast Milk of Vegan, Vegetarian, and Nonvegetarian Lactating Women in the United States*. *Am J Clin Nutr*. 2018; 108 (3): 525–531. doi: 10.1093/ajcn/nqy104.
31. Grochowalski A. *Badania nad oznaczaniem polichlorowanych dibenzodioxyn, dibenzofuranów i bifenyli*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej. Monografia 272*. Kraków 2000.
32. Croes K, Colles A, Koppen G, De Galan S, Vandermarken T, Govarts E, Bruckers L, Nelen V, Schoeters G, Van Larebeke N, Denison MS, Mampaey M, Baeyens W. *Determination of PCDD/Fs, PBDD/Fs and Dioxin-Like PCBs in Human Milk from Mothers Residing in the Rural Areas in Flanders, Using the CALUX Bioassay and GC-HRMS*. *Talanta*. 2013; 113: 99–105. doi: 10.1016/j.talanta.2013.03.086.
33. Colles A, Koppen G, Van De Mieroop E, Covaci A, Croes K, Kotz A, Mampaey M, Schoeters G. *Are Policy Measures Reflected in Time Trends of Human Biomonitoring Results in Flanders (Belgium)?*. *Organohalogen Compounds*. 2011; 73: 1555–1558.
34. Leng JH, Kayama F, Wang PY, Nakamura M, Nakata T, Wang Y. *Levels of Persistent Organic Pollutants in Human Milk in Two Chinese Coastal Cities, Tianjin and Yantai: Influence of Fish Consumption*. *Chemosphere*. 2009; 75 (5): 634–639. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.01.008.
35. Mead MN. *Contaminants in Human Milk: Weighing the Risks against the Benefits of Breastfeeding*. *Environ Health Perspect*. 2008; 116 (10): A426–A434.
36. Costopoulou D, Vassiliadou I, Leondiadis L. *Infant Dietary Exposure to Dioxins and Dioxin-Like Compounds in Greece*. *Food Chem Toxicol*. 2013; 59: 316–324. doi: 10.1016/j.fct.2013.06.012.

## **Does diet (vegan, vegetarian or traditional) influence the concentration of heavy metals, dioxins and PCBs in human milk? A pilot study**

### **Abstract**

**Introduction:** Pollution of the environment with heavy metals, dioxins and PCBs is a serious ecological and health problem; moreover, these toxins are also found in food. Metals and dioxins can bioaccumulate and biomagnify, which theoretically means there is a lower risk of toxicity for vegans, who exclude animal products.

**Material and methods:** In the study the content of arsenic (As), barium (Ba), chromium (Cr), zinc (Zn), cadmium (Cd), cobalt (Co), copper (Cu), nickel (Ni), lead (Pb), mercury (Hg), dioxins and polychlorinated biphenyls were analyzed in the breast milk of 34 women on different types of diet (vegan, vegetarian or traditional). The level of heavy metals in milk was determined with mass spectrometry and the levels of dioxins and PCBs were analyzed using gas chromatography.

**Results:** The study revealed that in some samples the content of arsenic, barium, chromium, nickel, lead and mercury exceeded the allowable concentrations. Higher concentrations of copper and chromium were found in samples from women on a traditional diet, while in milk obtained from women on a plant diet there was a higher concentration of mercury. Higher concentrations of heavy metals were found in milk samples collected in spring than in samples collected in autumn. The concentration of dioxins and polychlorinated biphenyls did not exceed the admissible values.

**Conclusions:** Based on the obtained results, it cannot be stated unequivocally whether a vegan and vegetarian diet compared to a traditional diet have a positive or negative influence on the concentration of heavy metals, dioxins and PCBs in human milk.

**Key words:** heavy metals, dioxins, breast milk, environmental pollution

