

Analiza przydatności wybranych prób biologicznych dla ocen narażenia na rtęć w aspekcie interakcji z innymi pierwiastkami

Analysis of exposure to Hg from the perspective of interaction between elements

Jerzy Kwapuliński^{1 (a, b, g)}, Barbara Brodziak-Dopierata^{2 (b, c, g)}, Ewa Nogaj^{2 (b, c, g)},
Bożena Ahnert^{2 (b, c, g)}, Piotr Z. Brewczyński^{1 (b, c, g)}, Elżbieta Rabsztyn^{4 (d, e, f)},
Jarosław Rutkiewicz^{3 (d, e, f)}

¹ Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec
Dyrektor: dr n. med. P.Z. Brewczyński

² Śląski Uniwersytet Medyczny Katedra Toksykologii Sosnowiec
Kierownik: dr hab. D. Wiechula

³ Powiatowa Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna, Bielsko-Biała
Dyrektor: dr n. med. J. Rutkiewicz

⁴ Wojewódzki Szpital Urazowy, Zakład Diagnostyki, Piekary Śląskie
Dyrektor: dr n. med. B. Koczy

(a) opracowanie założeń pracy

(b) interpretacja

(c) opracowanie statystyczne

(d) wykonanie analiz

(e) opracowanie wyników

(f) badanie ankietowe

(g) opracowanie tekstu

STRESZCZENIE

Wstęp. Celem pracy było określenie zawartości rtęci w wybranych próbkach biologicznych: migdałków gardłowych, głowach kości udowej oraz złogach pęcherzyka żółciowego. Przeanalizowano również współwystępowanie rtęci z innymi wybranymi pierwiastkami. **Metody.** Zawartość Hg w migdałkach gardłowych (n = 474), złogach pęcherzyka żółciowego (n = 180), w tkankach głowy kości udowej (n = 319) oznaczono metodą ICP-AES, za pomocą spektrometru plazmowego Optima 5300DV. Próby biologiczne roztwarzano za pomocą kwasu azotowego (V) w ciśnieniowym mineralizatorze w układzie zamkniętym PDS-6. **Wyniki.** Sposób współwystępowania rtęci z innymi pierwiastkami oceniano na podstawie wyników korelacyjnej analizy dwuczynnikowej. Analizę sposobu współwystępowania rtęci z innymi pierwiastkami w przykładowych próbkach biologicznych przeprowadzono dla prób, w których zawartość rtęci zawierała się: w tkance kostnej kości udowej w przedziale 0,02–0,97 µg/g; w hydroksyapatytach złogów pęcherzyka żółciowego w przedziale 0,02–0,99 µg/g, a w migdałkach gardłowych

dzieci w przedziale 0,05–5,85 µg/g. Zauważono, że największy stopień bezpośredniego oddziaływania mający miejsce w migdałkach gardłowych, położonych w głównym wdychanym strumieniu powietrza, równocześnie skutkuje największym uporządkowaniem w sposobie kumulacji Hg z innymi śladowymi pierwiastkami. Ilość istotnych kumulacji jest w tych przypadkach największa, a duże znaczenie w ocenach narażenia posiadają wyniki dwuczynnikowej analizy korelacyjnej, dotyczące tkanki kostnej głowy kości udowej. W złogach pęcherzyka żółciowego zmiany zawartości rtęci istotnie korelowały wprost proporcjonalnie ($r > 0,80$, $p < 0,005$) z Ag, Sr, Ba, Se, Cu, Al u kobiet, a u mężczyzn z Cu ($r > 0,80$, $p < 0,001$). **Wniosek.** Biodostępność niektórych pierwiastków, takich jak: As, Se, Be, Sb miała duży wpływ na zawartość Hg w poszczególnych badanych tkankach. Przydatność danej próby biologicznej do oceny narażenia na rtęć powinien uwzględnić wyniki pilotowych badań nad sposobem współwystępowania jej z innymi metalami.

Słowa kluczowe: rtęć, pierwiastki składowe, złogi pęcherzyka żółciowego, głowa kości udowej, migdałki gardłowe

ABSTRACT

Background. The aim of the study has been to determine mercury content in selected biological samples: pharyngeal tonsils, gallbladder and femoral head tissues. **Methods.** Hg content in pharyngeal tonsils ($n=474$), deposits of the gallbladder ($n=180$) in femoral head tissues ($n=319$) has been determined by ICP-AES method with the use of the plasma spectrophotometer Optima 5300DV. Biological samples were dissolved by nitric acid (V) in pressure digestion system in a closed system PD 3-6. **Results.** Co-occurrence of Hg with other elements was assessed based on two way correlation analysis results. The analysis of mercury co-occurrence with other elements in exemplary biological samples was carried out for samples in which Hg content generally ranged: in femur bone tissue from 0,02–0,97 $\mu\text{g/g}$; in hydroxyapatites of deposits of the gallbladder from 0,02–0,99 $\mu\text{g/g}$ and in pharyngeal tonsils of children

from 0,05 to 5,85 $\mu\text{g/g}$. Because pharyngeal tonsils are located in the main stream of inhaled air where the highest concentration occurred, the highest accumulation of mercury Hg with other trace elements also occurred. The number of significant accumulations is the greatest and the results are very important in the risk evaluation of two way correlation analysis concerning femoral head tissues. In deposits of the gallbladder the changes of mercury content significantly correlated directly proportional ($r > 0,80$ $p < 0,005$) Ag, Sr, Ba, Se, Cu, Al in women and in men Cu ($r > 0,80$ $p < 0,001$). **Conclusion.** Biological availability of some elements such as As, Se, Be, Sb had a big impact on Hg content in single investigated tissues. The choice of a given biological sample, for risk assessment of Hg, ought to take into account pilot studies results on how mercury co-occurs with other metals.

Key words: mercury, trace elements, gallstones, femoral head, pharyngeal tonsils

WSTĘP

Badanie zagrożenia obecnością związków rtęci w środowisku przyrodniczym posiada wiele złożonych aspektów, wśród których można wymienić: kwestię doboru właściwej metodyki oznaczenia dla danego rodzaju próby biologicznej i środowiskowej; dobór metodyki poboru prób, która zapewni reprezentatywność dla podjętego zakresu badań; dobór właściwych metod analizy statystycznej; poprawna analiza kryteriów włączenia i wyłączenia, np. poszczególnych obszarów badań, parametrów wpływu, itp.

Dotychczas ekspozycje ludności na związki rtęci były odwzorowywane w oparciu o biomarkery ekspozycji długookresowej, np. za pomocą tkanki kostnej, co było czynione w niedostatecznym stopniu. Ten rodzaj próby biologicznej posiada duże właściwości kumulowania metali lub odpowiednie zmiany w strukturze mineralnej kości [1]. Szerzej wykorzystywane były mocz i krew [2, 3]. W ocenie narażenia poziomu zawartości Hg wykorzystano wartości odpowiadając średniej geometrycznej i 95 percentylowi. Zjawisko narażenia ludności związkami rtęci jest bardzo istotne na obszarze woj. śląskiego, ze względu na skalę wykorzystywania węgla kamiennego w energetyce [4]. Na tym terenie wykorzystywane są węgle kamienne zawierające rtęć w ilości 0,1–0,95 $\mu\text{g/g}$, przy prawidłowej średniej zawartości 0,42 $\mu\text{g/g}$. Niektóre związki rtęci łatwo uruchamiane są w łańcuchu troficznym, poczynając od gleby i obejmują także człowieka jako konsumenta. Zawartość rtęci w glebach w Polsce wynosi w gra-

nicach 0,05–0,3 mg/kg, w zasięgu oddziaływania elektrowni węglowych wartości te wzrastają [5]. Ponadto obecność związków rtęci w glebie determinowana jest pierwotnymi lub wtórnymi zmianami zawartości związków innych pierwiastków, np. Cd, Sb, Mo, Se, Ni, Ag które występują w granicach 25–36%, a które są charakterystyczne geochemicznie dla gleb występujących na obszarach rudonośnych, czyli bogatymi w pierwiastki Pb, Zn, Cu, S, Cr, występującymi w granicach 60–80%.

Obserwowany udział związków rtęci w ogólnym bilansie pierwiastków w glebie determinowany jest przede wszystkim zjawiskiem sezonowych zmian występowania związków rtęci w powietrzu, jej temperatury oraz odległością od źródeł emisji o charakterze punktowym lub obszarowym [6]. Rtcę w głównej mierze występuje w powietrzu jako adsorbowana na powierzchni drobnych pyłów zawieszanych (TPM) lub w formie gazowej (TGM) [7]. Mniejsze ilości rtęci zaadsorbowanej obserwuje się w okresach zimowych i przy mniejszych prędkościach wiatru – 2,25 ng/m^3 , a latem ponad dwukrotnie więcej – 5,27 ng/m^3 . Odwrotnie jest w przypadku gazowej formy związków rtęci – latem obecność tej formy na poziomie zawieszin jest na poziomie zawartości 1,63 ng/m^3 , co zgodne jest z przeciętnym stężeniem w Europie 1,43–1,68 ng/m^3 [8, 9]. Zimą natomiast zawartość Hg gazowej jest znacznie wyższa – 4,15 ng/m^3 . Zielonka, Wängberg i współautorzy [6, 8, 9] uważają, że właśnie adsorbowana na cząsteczkach rtęć jest dobrym wskaźnikiem dla oceny wielkości emisji tego pierwiastka. Temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru decydują

o sezonowym rozkładzie zawartości Hg w przyziemnej warstwie powietrza. Czynniki te wpływają na stopień wchłaniania tego pierwiastka przez układ oddechowy, a później przez układ krwionośny i ostatecznie wpływają na obecność rtęci w tkankach o ustabilizowanej strukturze mineralnej. Dlatego dla oceny narażenia ludności na rtęć pochodzenia atmosferycznego wykorzystano tkanki kostne głowy kości udowej, migdałki gardłowe oraz złogi pęcherzyka żółciowego.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiał badawczy stanowił materiał biologiczny w postaci migdałków gardłowych, złogi pęcherzyka żółciowego oraz próby głowy kości udowej. Na przeprowadzenie badań uzyskano zgody Komisji Bioetycznej Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach (nr NN-043-19/98, nr NN-013-75/I/02, nr NN-6501-130/06).

Migdałek gardłowy

Materiał badawczy stanowiły próbki przerośniętych migdałków gardłowych pozyskanych na drodze zabiegu adenotomii ze wskazań lekarskich. Analizie poddano 150 prób biologicznych pochodzących od dziewczynek ($n=60$) i chłopców ($n=90$) w wieku 2–12 lat, zamieszkujących województwo śląskie. Usunięty migdałek gardłowy po zważeniu i oznaczeniu jego wilgotności doprowadzono do stałej masy w temp. $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ w suszarce KPC-65G. Mineralizacje migdałków przeprowadzono w ciśnieniowym mineralizatorze w obiegu zamkniętym – PDS6, za pomocą spektralnie czystego kwasu azotowego (Supra pure) Merck. Oznaczenie rtęci przeprowadzono metodą ICP-AES za pomocą aparatu Perkin Elmer Optima 5300DVTM. Precyzja pomiaru dla rtęci wynosiła 1,3%, a wykrywalność tego pierwiastka $0,01\text{ }\mu\text{g/g}^{-1}$.

Złogi pęcherzyka żółciowego

Materiałem do badań były kamienie żółciowe powstające w przebiegu kamicy żółciowej, pozyskane śródoperacyjnie od 93 kobiet (33 kobiet palących, 60 kobiet niepalących) oraz od 40 mężczyzn (14 palących, 26 niepalących), zamieszkujących tereny województwa śląskiego. Pozyskane kamienie żółciowe suszono w suszarce laboratoryjnej, w temperaturze $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, do stałej masy ($\pm 0,001\text{g}$), a następnie rozdrabniano. Rozdrobniona próbka o masie 0,5 g została poddana procesowi mineralizacji na mokro: zadawano 5 cm^3 spektralnie czystego 65% HNO_3 (V) (Supra pure) Merck i pozosta-

wiono pod przykryciem. Po 24 godzinach roztwór odparowywano do sucha na łaźni piaskowej, a następnie ponownie zalewano 3 cm^3 spektralnie czystego 65% HNO_3 (V) i 2 cm^3 70% HClO_4 . Uzyskany mineralizat przenoszono ilościowo do kolby miarowej o pojemności 25 cm^3 . Zawartość rtęci w analizie oznaczono metodą ICP-AES, za pomocą spektrometru plazmowego Optima 5300DV, wykorzystując linię jonową 194,168 nm.

Głowa kości udowej

Przedmiotem badań były próby głowy kości udowej kobiet ($n=68$) i mężczyzn ($n=24$), mieszkających na terenie trzech miast Górnego Śląska: Siemianowic Śląskich, Katowic i Piekar Śląskich. Głowy kości udowej pozyskiwano śródoperacyjnie w trakcie protezoplastyk stawu biodrowego, następnie cięto je na przekroje z których wydzielano fragmenty chrząstki stawowej, kości korowej i gąbczastej. Średnia wieku badanej populacji wynosiła 69,2 lat: w tym u kobiet 71,7, a u mężczyzn 62,1. Osób palących było 34 w tym 29 kobiet i 5 mężczyzn, a niepalących 58, kobiet 39 i mężczyzn 19. Do oznaczeń metodą ICP próbki kości o znanej masie (ok. 5 g) poddano spopieleniu w piecu muflowym w temperaturze 100°C . Naważkę uzyskanego popiołu roztwarzano za pomocą 5 ml spektralnie czystego HNO_3 (Supra pure) firmy Merck. Czynność tę powtarzano do całkowitego roztworzenia próbki. Otrzymany roztwór przenoszono ilościowo do kolbki o objętości 25 ml i uzupełniano wodą redestylowaną do kreski. W ten sposób uzyskiwano analit.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Projektując zakres badań, uwzględniono wszystkie wymogi dobrej praktyki laboratoryjnej oraz wcześniejsze wyniki badań Boguni i wsp. [10], Brodziak-Dopierały i wsp. [11], Misiołka i wsp. [12] oraz Nogaj i wsp. [13]. Wszystkie oznaczenia rtęci wykonano w laboratorium Zakładu Monitoringu Środowiskowego zgodnie z procedurami oznaczeń metali w materiale biologicznym opracowanym w Głównym Instytucie Górnictwa (Katowice 2010). Analizę współwystępowania rtęci z innymi pierwiastkami przeprowadzono dla prób, w których zawartość rtęci zawierała się: w tkance kostnej kości udowej w przedziale $0,02\text{--}0,97\text{ }\mu\text{g/g}$, w hydroksypatyfach złogów pęcherzyka żółciowego w przedziale $0,02\text{--}0,99\text{ }\mu\text{g/g}$, w migdałkach gardłowych dzieci w przedziale $0,05\text{--}5,85\text{ }\mu\text{g/g}$. Charakterystycznym jest, że zawartość rtęci w próbach biologicznych

pochodzących od pacjentów zamieszkujących tereny objęte wpływem emisji przemysłowej, podlega większej zmienności. Przykładowo, współczynnik zmienności dla rtęci przedstawiał się następująco: w migdałkach gardłowych dzieci pochodzących z Rybnika: 152% u chłopców, 129% u dziewczynek, odpowiednio u dzieci z terenów wiejskich: 79%; 61%. Podobnie było w przypadku współczynnika zmienności występowania rtęci w hydroksypatytach złożeń pęcherzyka żółciowego: 73% u mieszkańców

Sosnowca, w stosunku do 53% mieszkańców terenów wiejskich. Zróżnicowanie ze względu na stopień oddziaływania emisji przemysłowej, który maleje w funkcji odległości od emitora, przedstawiono na przykładzie wyników zawartych w tab. I. Dodać należy, że rozkład całości występowania poszczególnych związków rtęci w badanych próbach biologicznych ma charakter nieparametryczny, na ogół prawostronnie rozwinięty z silnie zaakcentowanym maksimum zawartości Hg.

Tab. I. Zawartości Hg odpowiadające średniej geometrycznej–Xg, 10 i 95 percentylowi (µg/g)

Tab. I. The content of Hg of the corresponding geometric mean–Xg, 10 and 95 percentile (µg/g)

Parametry	Xg	10 percentyl	95	Współczynnik zmienności
Głowa kości udowej				
część stawowa n = 92	0,05	0,02–0,20		65%
część korowa n = 110	0,14	0,03–0,97		166%
część gąbczasta n = 117	0,05	0,02–0,16		79%
Złogi pęcherzyka żółciowego				
m. Sosnowiec n = 80	0,23	0,1–0,99		73%
miejsowości semirekreacyjne n = 43	0,07	0,005–0,12		53%
m. Bielsko-Biała n = 57	0,12	0,02–0,34		59%
Migdałki gardłowe				
m. Sosnowiec n = 103 chłopcy	0,22	0,05–0,77		142%
n = 121 dziewczynki	0,16	0,08–0,29		55%
miejsowości semirekreacyjne n = 87 chłopcy	0,13	0,03–0,53		71%
n = 63 dziewczynki	0,12	0,07–0,45		61%
m. Rybnik n = 43 chłopcy	0,56	0,16–5,85		152%
n = 57 dziewczynki	0,53	0,18–3,52		129%

Wyniki dwuczynnikowej analizy korelacyjnej przedstawiono w Tab. II, przy czym prawdopodobieństwo współwystępowania rtęci kształtowało się następująco:

● migdałki gardłowe dla

$r \geq 0,30$ $p \leq 0,05$
 $r \geq 0,50$ $p \leq 0,01$
 $r \geq 0,70$ $p \leq 0,005$
 $r \geq 0,80$ $p \leq 0,000$

● tkanka kostna dla

$r \geq 0,30$ $p \leq 0,05$
 $r \geq 0,50$ $p \leq 0,02$
 $r \geq 0,80$ $p \leq 0,008$
 $r \geq 0,90$ $p \leq 0,000$

● złogi pęcherzyków żółciowych dla

$r \geq 0,35$ $p \leq 0,05$
 $r \geq 0,5$ $p \leq 0,04$
 $r \geq 0,80$ $p \leq 0,00$

Tab. II. Współwystępowanie Hg z innymi pierwiastkami w wybranych częściach głowy kości udowej, dla $r \geq 0,40$, $p \leq 0,05$
 Tab. II. Coexistence of Hg with other elements in selected parts of the femoral head, for $r \geq 0.40$, $p \leq 0.05$

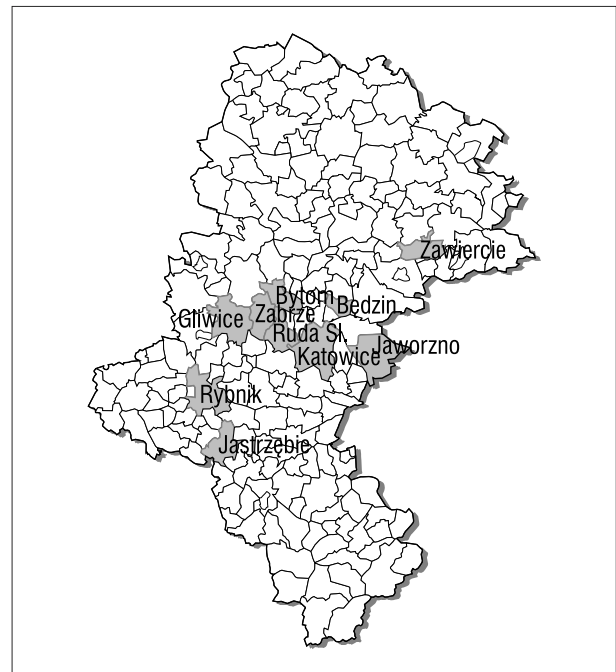
	Si	Fe	Mn	B	Al	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Se	Be	Mo	Ti	Sb	Bi	Ba	Sr	Li
Kość gąbczasta	-0,23	0,67	0,62	-0,22	0,14	0,74	0,96	1,00	0,04	0,44	-0,06	0,36	0,39	1,00	1,00	1,00	1,00	0,34	1,00	1,00	-0,13	-0,02	0,75
Kość korowa	-0,2	0,59	0,48	0,24	0,15	0,02	0,54	1,00	0,11	0,14	0,00	0,39	0,24	1,00	1,00	1,00	1,00	0,76	1,00	1,00	0,16	-0,08	0,54
Chrzątka stawowa	0,02	0,32	0,55	0,04	0,22	0,34	0,79	0,99	0,22	0,82	0,35	0,16	0,41	1,00	1,00	1,00	0,46	0,14	1,00	0,83	0,13	0,52	0,55
Kobiety	0,22	0,55	0,52	0,24	0,16	0,05	0,58	1,00	0,15	0,22	0,07	0,09	0,25	1,00	1,00	1,00	0,97	0,52	1,00	0,99	0,18	0,07	0,43
Mężczyźni	-0,38	0,04	0,44	-0,15	-0,24	0,12	0,99	1,00	-0,03	0,02	-0,05	-0,17	-0,33	1,00	1,00	1,00	0,85	0,41	1,00	1,00	-0,34	-0,41	0,11

W poszczególnych rodzajach tkanki kostnej stawu biodrowego stwierdzono, że:

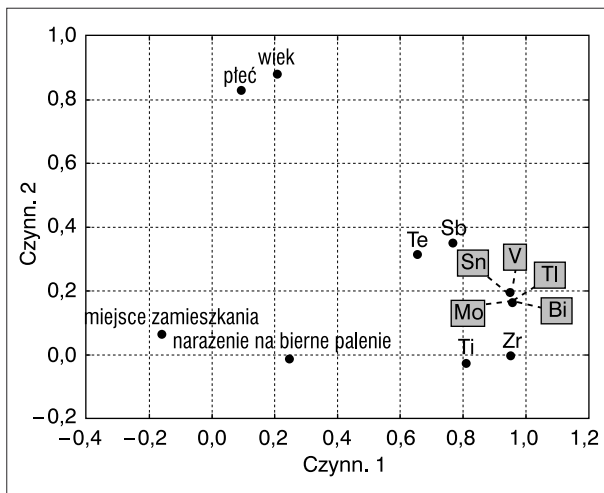
- we wszystkich częściach głowy kości udowej rtęć silnie współwystępuje z As, Be, Se, Mo, Sb, Cd, Co, Bi, gdzie $r > 0,9$, $p < 0,000$;
- wspólne zmiany zawartości rtęci we wszystkich częściach głowy kości udowej dotyczą Fe, Mn, Li, gdzie $p \leq 0,05$;
- zróżnicowany sposób współwystępowania obejmuje Hg z Li (0,52) w chrząstce stawowej, gdzie $p \leq 0,05$;
- Hg z Fe (0,67) w kości gąbczastej, w kości korowej 0,59 i chrząstce stawowej 0,32, gdzie $p \leq 0,05$;
- Hg z Cu: (0,44) w kości gąbczastej, 0,82 kości stawowej i brak w kości korowej, gdzie $p \leq 0,04$;
- Hg z Pb: 0,36 w części gąbczastej i korowej; w części stawowej tylko 0,16; gdzie $p \leq 0,05$;
- Hg z Zn na poziomie korelacji $r = 0,36-0,39$;
- Hg z Ti w części gąbczastej 0,34; w części stawowej 0,14; w części korowej 0,76, gdzie $p \leq 0,01$;
- obserwuje się brak relacji w zmianach zawartości Ni, Be, gdzie $p \leq 0,676$.

W złogach pęcherzyka żółciowego mężczyzn zmiany zawartości Hg istotnie ($p < 0,000$) zmieniały się wprost proporcjonalnie ze zmianą zawartości Cd, Co, As, Se, Be, Mo, Sb, a odwrotnie proporcjonalnie ($p < 0,05$) ze zmianą zawartości Si, Zn, Ba, Mn (Ryc. 2). Z kolei zawartość rtęci w złogach pęcherzyka żółciowego kobiet na poziomie istotności $p < 0,000$ zmieniała się proporcjonalnie ze zmianą zawartości Co, Se, Be, Sb, Mo, Bi, a na poziomie prawdopodobieństwa $p < 0,01$ zmieniała się ze zmianą zawartości Fe, Mn, Cd, Ti, Li. Sposób współwystępowania wybranych pierwiastków jest nieco odmienny ze względu na płeć (dotyczy on kobiet), a zmienność ta występuje w przypadku Ti, Li, Mn i Fe. W złogach pęcherzyka żółciowego zmiany

zawartości rtęci istotnie korelowały wprost proporcjonalnie ($r > 0,80$; $p < 0,005$) z Ag, Sr, Ba, Se, Cu, Al u kobiet, a u mężczyzn z Cu ($r > 0,80$; $p < 0,001$). Natomiast zmiany o charakterze odwrotnie proporcjonalnym w złogach pęcherzyka żółciowego kobiet dotyczyły pierwiastków S, Si, B, Cr, Zn, Bi, K ($r > 0,40$; $p < 0,004$), a w największym stopniu Mn i Fe ($r > 0,95$; $p < 0,000$). Wymienione odwrotne tendencje zmian zawartości Hg z tymi metalami były dużo słabsze w złogach pęcherzyka żółciowego mężczyzn. Ujemny współczynnik korelacji wahał się w granicach 0,17–0,22. Spośród badanych prób biologicznych najsilniejsze korelacje $r > 0,60$ obserwowano w migdałkach chłopców i dziewczynek.



Ryc. 1. Rozmieszczenie elektrowni i elektrociepłowni węglowych w woj. śląskim
 Fig. 1. Distribution of coal fired power plants and heat and power plants in Silesia Province



Ryc. 2. Rola wybranych parametrów chemicznych, biologicznych i środowiskowych w kształtowaniu się kumulacji określonych pierwiastków

Fig. 2. The role of selected chemical, biological and environmental parameters in accumulation of certain elements

Przedstawione wyniki analiz pokazują, że niektóre pierwiastki charakterystyczne dla emisji na danym obszarze na poziomie zawartości 0,0X–0,X µg/g będą podlegać na ogół podobnej kumulacji w niektórych tkankach ludzkich. Ponadto, zawartość rtęci w migdałkach gardłowych, położonych w głównym wdychanym strumieniu powietrza, charakteryzuje się największym uporządkowaniem w sposobie kumulacji Hg z innymi śladowymi pierwiastkami, gdzie ilość istotnych kumulacji jest największa (Ryc. 2). Oprócz tego, warta podkreślenia jest rola tkanki kostnej głowy kości udowej w ocenach narażenia na Hg.

WNIOSKI

Ostateczna zawartość Hg w poszczególnych badanych tkankach determinowana była biodostępnością As, Se, Be, Sb.

Wybór danej próby biologicznej dla ocen narażenia Hg winien uwzględnić wyniki pilotowych badań nad sposobem współwystępowania jej z innymi metalami na poziomie 0,X–X,0 µg/g.

Źródło finansowania: środki własne Śląskiego Uniwersytetu Medycznego

PIŚMIENNICTWO

1. Brodziak-Dopierała B., Kwapuliński J., Kowol J., Gajda Z.: The application of principal component analysis to interpretation of occurrence of metals in the femur capitulum. *Pol J Environ Stud* 2010;19 (1): 49-58.
2. Heitland P., Köster H.D.: Biomonitoring of 37 trace elements in blood samples from inhabitants of northern Germany by ICP-MS. *J Trace Elem Med Biol* 2006; 20: 253-262.
3. Heitland P., Köster H.D.: Biomonitoring of 30 trace elements in urine of children and adults by ICP-MS. *Clin Chim Acta* 2006; 365: 310-318.
4. Michalska A.: Analiza zanieczyszczeń środowiska rtęcią na terenie woj. Katowickiego. *J Ecology Health* 2010; 4: 165-168.
5. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1999.
6. Zielonka U., Hławiczka S.T., Fudała J., Wängberg I., Munthe J.: Seasonal mercury concentrations measured in rural air in Southern Poland. *Atmospheric Environment* 2005; 39: 7580-7586.
7. Schroeder H., Munthe J.: Atmospheric Mercury – an overview. *Atmospheric Environment* 1998; 29: 809-822.
8. Wängberg I., Munthe J., Pirrone N.: Atmospheric mercury distribution in Northern Europe and in the Mediterranean region. *Atmospheric Environment* 2001; 35: 3019-3025.
9. Wängberg I., Munthe J., Ebinghaus R., Gardfeldt K.: Distribution JTPM in Northern Europe. *Sci Total Environ* 2003; 53-59.
10. Bogunia M., Kwapuliński J., Ahnert B., Brodziak-Dopierała B., Kowol J., Fischer A., Bogunia E., Stawinoga D.: Tytuł oryginalny: Statistical characteristic of mercury occurrence in gallstones in the inhabitants of Upper Silesia. *Oceanol Hydrobiol Stud* 2007; 36: 177-187.
11. Brodziak-Dopierała B., Kwapuliński J., Kusz D., Bogunia M., Ahnert B.: Mercury co-occurrence with other metals in an osseous tissue exemplified by femur head. *Oceanol Hydrobiol Stud* 2007; 36: 171-176.
12. Misiólek M., Kwapuliński J., Macioł Z.: Pharyngeal tonsil cadmium contamination in children from regions of Upper Silesia and Małopolska. *Bull Environ Contam Toxicol* 2007; 78(6): 436-439.
13. Nogaj E., Kwapuliński J., Misiólek M., et al.: Changes in chromium content in pharyngeal tonsils. *Pol J Environ Stud* 2006; 15(5): 90-93.

Adres do korespondencji:

Prof. dr hab. Jerzy Kwapuliński

Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego

41-208 Sosnowiec ul. Kościelna 13