

Maria DŁUGASZEK

ZASTOSOWANIE SPEKTROMETRII ABSORPCJI ATOMOWEJ W ANALIZIE PIERWIASTKOWEJ PRÓBEK KLINICZNYCH (KRWI)

STRESZCZENIE *Spektrometria absorpcji atomowej (AAS) jest instrumentalną metodą analityczną pozwalającą na oznaczanie śladowych ilości pierwiastków w próbkach o różnym charakterze, także klinicznych. Metoda ta należy do optycznych metod spektroskopowych i bada oddziaływanie promieniowania z zakresu UV i VIS na atomy. W metodzie tej wykorzystywane jest zjawisko absorpcji atomowej.*

W pracy zbadano i opisano korelacje między ilością pierwiastków w surowicy krwi i krwinkach czerwonych. Zawartość pierwiastków oznaczono stosując płomieniową i bezpłomieniową spektrometrię absorpcji atomowej. Analizę korelacji wykonano w odniesieniu do takich pierwiastków, jak wapń (Ca), magnez (Mg), cynk (Zn), miedź (Cu), żelazo (Fe), glin (Al), ołów (Pb), kadm (Cd) i chrom (Cr).

Słowa kluczowe: *spektrometria absorpcji atomowej, pierwiastki, surowica krwi, erytrocyty, analiza korelacji*

1. WSTĘP

Spektrometria absorpcji atomowej AAS jest jedną z najczęściej stosowanych metod instrumentalnych do pomiarów stężenia pierwiastków w próbkach klinicznych. Zawartość pierwiastków może być oznaczana w takich próbkach, jak mocz, mleko, żółć, ślina, płyn mózgowo-rdzeniowy, różne tkanki oraz krew i jej frakcje. Możliwości analityczne tej metody pozwalają oznaczyć ilościowo około 70 pierwiastków na poziomie mg/L mg/kg) lub µg/L (µg/kg) w płynach ustrojowych lub tkankach. Jest to metoda selektywna, dokładna i precyzyjna.

dr inż. Maria DŁUGASZEK
e-mail: mdlugaszek@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 266, 2014

Spektrometria absorpcji atomowej należy do metod spektroskopowych. Atomy oznaczanego pierwiastka znajdujące się w podstawowym stanie energetycznym absorbują promieniowanie optyczne charakterystyczne dla tego pierwiastka z zakresu od 193,7 nm (As) do 894,5 nm (Cs). Na podstawie ilości zaabsorbowanego promieniowania można oznaczyć ilość analitu w próbce. Podstawowe elementy spektrometru absorpcji atomowej to źródło światła emitujące promieniowanie elektromagnetyczne absorbowane przez wolne atomy analitu, atomizer w którym w wyniku dostarczonej energii termicznej następuje dysocjacja termiczna cząsteczek zawierających analit. Powstaje chmura wolnych atomów absorbujących promieniowanie emitowane przez lampę. W skład układu pomiarowego wchodzi monochromator wyodrębniający wiązkę promieniowania o odpowiedniej długości fali, detektor i rejestrator [2, 3, 9, 10, 12, 14, 15, 20].

Zawartość pierwiastków na potrzeby diagnostyki medycznej najczęściej oznaczana jest we krwi i jej frakcjach, tj. osoczu (płynna frakcja krwi), surowicy (osocze bez fibrynogenu i innych czynników krzepnięcia krwi, pozostałość po oddzieleniu skrzepu), krwinkach czerwonych i leukocytach. We krwi oznaczana jest zawartość przede wszystkim pierwiastków takich jak Ca, Mg, Zn, Cu i Fe. W zależności od potrzeb, w szczególnych przypadkach, np. podejrzeń zatrucia, oznacza się stężenie także innych pierwiastków, np. manganu (Mn), chromu (Cr), niklu (Ni), selenu (Se) i toksycznych, jak Pb, Cd, Al, rtęć (Hg), arsen (As), tal (Tl). Analiza stężenia pierwiastków we krwi pozwala określić, czy występują niedobory pierwiastka w organizmie lub też nadmiar np. metali ciężkich. Zawartość pierwiastków we krwi jest zmienna i uzależniona od wielu czynników, m.in. płci, wieku, stanu zdrowia, diety, bilansu wody w organizmie, przyjmowanych leków, indywidualnego zapotrzebowania na makro- i mikroelementy, przebiegających procesów homeostazy [1-3, 9, 10, 15, 17].

Krew pełna to przede wszystkim osocze zawierające 91-92% wody, krwinki czerwone, białe i płytkowe. Ilość wody w 1 l osocza określa stężenie zawartych w nim pierwiastków [1, 17]. Czerwone krwinki wykazują tendencję do kumulacji niektórych pierwiastków, np. Zn, Pb, Cd, Al i Cr [2, 3, 15, 17, 18]. Ilościowe zmiany pierwiastków w krwinkach obserwowano także w stanach chorobowych, np. Mg przy nadciśnieniu [15].

Pierwiastki – biopierwiastki i metale toksyczne oddziałują na siebie zarówno na etapie absorpcji jelitowej, przyswajania komórkowego, procesach biochemicznych, w których uczestniczą, jak i kumulacji w tkankach i narządach. Wzajemne interakcje mogą mieć charakter synergistyczny i antagonistyczny. Istotna jest więc nie tylko ilość pierwiastków, ale także wzajemne ilościowe proporcje między nimi. Znane są interakcje między takimi pierwiastkami, jak Cd i Zn, Fe, Ca, Se, Cu; Pb i Fe, Cu, Zn, Ca; Ca i Mg (synergistyczne i antagonistyczne) [2, 5-7].

Pierwiastki w płynach ustrojowych i tkankach występują w różnych ilościach. Wykonywane są komplementarne analizy krwi, moczu, włosów i, jeśli to konieczne, biopsji tkanek. Prowadzone badania zmierzają do opracowania metod pozwalających w jednoznaczny sposób ocenić zasoby mineralne organizmu.

Celem niniejszej pracy jest analiza korelacji między zawartością pierwiastków: Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Al, Pb, Cd i Cr w surowicy krwi (płynie pozakomórkowym) i czerwonych krwinkach (komórkach).

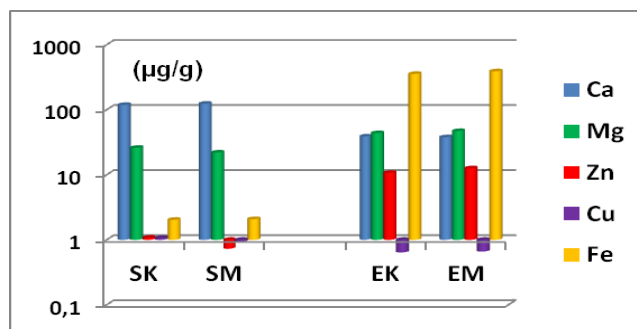
2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Zawartość pierwiastków oznaczono w 46 próbkach surowicy i krwinek czerwonych metodą spektrometrii absorpcji atomowej. Technika płomieniową ilościowo oznaczono Ca, Mg, Zn, Cu i Fe, natomiast w piecu grafitowym – Al, Pb, Cd i Cr. Szczegóły dotyczące badanych próbek, metod ich przygotowania, warunków analizy instrumentalnej, walidacji procedur analitycznych zawarte są w naszej (Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką w Bydgoszczy) wcześniejszej publikacji [7].

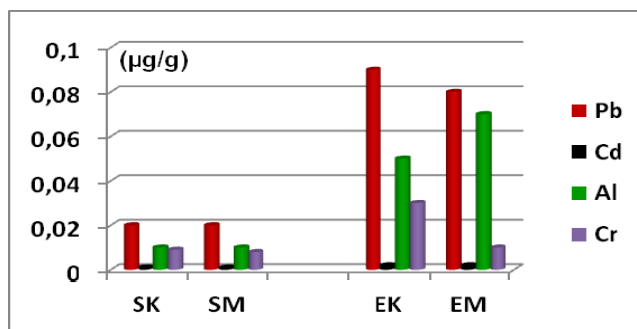
Na potrzeby tej pracy wyniki ilościowych badań próbek krwi podzielono na cztery grupy. Analizę korelacji wykonano dla osób dializowanych ($n = 31$, kobiety $n = 16$ i mężczyźni $n = 15$) i osób stanowiących grupę kontrolną ($n = 15$, kobiety $n = 11$ i mężczyźni $n = 4$), w wieku od 28 do 82 lat. W analizie statystycznej stosowano statystyki nieparametryczne: wyznaczono wartość współczynnika korelacji rang Spearmana, a istotność różnic badano za pomocą testu Kołmogorowa-Smirnowa. W statystycznym opracowaniu danych korzystano z oprogramowania Statistica (wersja 9.1).

3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono w postaci mediany zawartość pierwiastków w surowicy kobiet i mężczyzn. Nie stwierdzono istotnych różnic między stężeniem pierwiastków w badanych próbkach surowicy i erytrocytach dializowanych kobiet i mężczyzn (test Kołmogorowa-Smirnowa), choć były one różne. Takie różnice obserwowano w zawartości Ca, Mg, Al i Cr w surowicy oraz Mg, Zn, Cu, Al, Pb i Cr w erytrocytach osób z grupy kontrolnej i dializowanych [7]. W surowicy osób dializowanych stężenie pierwiastków nieznacznie, choć w sposób statystycznie istotny, wzrosło (zmałało jedynie w przypadku Ca), natomiast w krwinkach czerwonych poziom pierwiastków był około dwukrotnie wyższy (z wyjątkiem Cu, której stężenie było niższe). Stężenie Cr było trzykrotnie wyższe zarówno w surowicy, jak i erytrocytach osób dializowanych. Krwinki czerwone w większym stopniu podlegały zmianom w porównaniu do surowicy. Zawartość pierwiastków w surowicy i czerwonych krwinkach ba-



Rys. 1. Zawartość Ca, Mg, Zn, Cu i Fe w surowicy kobiet (SK) i mężczyzn (SM) oraz erytrocytach kobiet (EK) i mężczyzn (EM)



Rys. 2. Zawartość Pb, Cd, Al i Cr w surowicy i erytrocytach kobiet i mężczyzn

danych osób z grupy kontrolnej mieściła się w przyjętych normach w odniesieniu do surowicy i krwi pełnej, nie przekraczała też dopuszczalnych poziomów przyjętych dla metali toksycznych [8, 11, 17]. W surowicy i erytrocytach osób dializowanych także, poza Cr, stężenie pierwiastków nie odbiegało w zasadniczy sposób od norm. Aczkolwiek również w przypadku tego pierwiastka można przyjąć, że jego zawartość w próbkach krwi osób z grupy kontrolnej i mężczyzn nie przekracza poziomu uznanego za toksyczny, tj. 2,0-3,0 µg/100 dl krwi [16], a w przypadku kobiet porównywalna jest z ilością tego pierwiastka oznaczoną przez Shambergera [19]. Wyższy poziom Cr we krwi i tkance kostnej pacjentów dializowanych opisali D Haese i in. [4]. Zawartość pierwiastków oznaczona w badanych próbkach erytrocytów podobna jest do danych dostępnych w piśmiennictwie [2, 3, 9, 10, 15, 17-19]. Stężenie badanych pierwiastków, poza Ca (pierwiastek pozakomórkowy, około 85% Ca występuje w surowicy) i Cu (75%) jest wyższe w czerwonych komórkach krwi niż w surowicy. Pomiar wyższych stężeń pierwiastków, w pewnym ich zakresie, znacznie ułatwia procedury analityczne, a uzyskiwane wyniki cechuje lepsza precyzja i dokładność.

Generalnie rozrzut wyników, zwłaszcza dla metali ciężkich, jest mniejszy w erytrocytach niż w surowicy. Większy jest w przypadku Zn i Cd w krwinkach mężczyzn w porównaniu do krwinek kobiet, Al w surowicy i krwinkach mężczyzn w porównaniu do próbek krwi kobiet i Cr w obu frakcjach krwi kobiet wobec próbek mężczyzn.

Proporcje ilościowe między zawartością pierwiastków w badanych próbkach erytrocytów i surowicy przedstawiono w tabeli 1. Mimo, że w badanych próbkach krwi osób dializowanych nie stwierdzono istotnych różnic między wynikami analiz dla kobiet i mężczyzn, różnice w proporcjach ilościowych są widoczne szczególnie dla Zn, Fe, Pb, Al i Cr.

TABELA 1

Proporcje ilościowe między zawartością pierwiastków w erytrocytach i surowicy

	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	Al	Cr
Grupa kontrolna	0,25	1,7	10	0,7	206	3,0	2,7	7,5	3,0
Kobiety	0,30	1,7	10	0,6	175	4,4	2,9	3,0	2,7
Mężczyźni	0,30	2,1	17	0,7	188	5,2	3,0	6,0	1,4

TABELA 2

Proporcje ilościowe między niektórymi pierwiastkami w płynach ustrojowych i tkankach

	Ca/Mg	Zn/Cu	Ca/Pb	Mg/Pb	Zn/Cd
Surowica, grupa kontrolna	7,6	0,8	9969	1305	1186
S K	4,7	1,0	5290	1160	1543
S M	5,6	0,8	7993	1419	1043
Erytrocyty, grupa kontrolna	1,1	11,2	838	762	4421
E K	0,9	16,7	393	441	5350
E M	0,8	19,1	467	557	6300
Mocz	2,3	27	–	–	–
- Kobiety	2,2	22	–	–	–
- Mężczyźni	2,6	42	–	–	–
Włosy	18	16	354	20	3160
- Kobiety	17	16	551	32	3440
- Mężczyźni	17	16	249	15	2860

Proporcje ilościowe między wybranymi pierwiastkami w płynach ustrojowych: surowicy, erytrocytach i dla porównania w całodobowej zbiorce moczu [5] oraz tkance – włosach [6] są zawarte w tabeli 2.

TABELA 3

Współczynnik korelacji rang Spearmana pomiędzy zawartością pierwiastków w surowicy (powyżej przekątnej) i czerwonych krwinkach (poniżej przekątnej) osób z grupy kontrolnej

	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	Al	Cr
Ca		0,30	0,66	-0,08	0,12	-0,22	0,34	-0,08	0,16
Mg	-0,41		0,58	0,23	-0,45	0,16	0,17	-0,47	-0,01
Zn	-0,32	0,75		0,23	0,09	-0,34	0,17	0,01	0,44
Cu	0,35	0,15	0,25		-0,42	-0,24	-0,22	-0,02	0,14
Fe	0,56	0,71	0,55	-0,22		0,69	0,02	0,62	-0,04
Pb	0,15	-0,14	-0,21	-0,12	0,27		-0,06	0,50	0,17
Cd	-0,29	0,33	0,36	-0,19	0,70	-0,06		-0,55	-0,71
Al	0,18	0,33	0,50	0,33	0,16	0,15	-0,14		0,47
Cr	0,34	-0,29	-0,14	-0,14	0,01	0,59	0,08	0,01	

Wzajemne proporcje między pierwiastkami są inne w obu badanych frakcjach krwi, ale także w moczu i włosach. W moczu nie wyznaczono proporcji między Ca, Mg a metalami ciężkimi z powodu dużych różnic ilościowych między nimi.

W tabeli 3 przedstawiono wartości współczynnika korelacji Spearmana między zawartością pierwiastków w surowicy ludzkiej i erytrocytach osób z grupy kontrolnej, a w tabeli 4 w surowicy i erytrocytach osób dializowanych. Współczynniki istotnie statystycznie wyróżniono pogrubioną czcionką ($p < 0,05$).

TABELA 4

Współczynnik korelacji rang Spearmana pomiędzy zawartością pierwiastków w surowicy (powyżej przekątnej) i czerwonych krwinkach (poniżej przekątnej) osób dializowanych

	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	Al	Cr
Ca		0,16	0,34	0,16	0,15	0,39	-0,01	0,15	0,38
Mg	-0,21		0,38	0,03	-0,02	0,58	-0,10	0,26	0,52
Zn	-0,28	0,56		0,03	0,29	0,58	0,10	0,33	0,61
Cu	0,21	0,25	0,20		-0,23	0,01	-0,03	-0,14	0,18
Fe	-0,24	0,77	0,35	-0,10		0,19	0,02	-0,10	-0,01
Pb	0,18	0,04	-0,02	-0,09	0,32		-0,17	0,49	0,66
Cd	-0,02	-0,20	0,24	0,33	-0,44	-0,36		-0,02	0,08
Al	0,12	0,02	0,50	0,21	-0,16	-0,05	0,23		0,44
Cr	-0,28	0,41	0,06	0,06	0,53	0,33	-0,45	-0,49	

Ilość korelujących par pierwiastków w surowicy i erytrocytach osób dializowanych jest większa niż u osób z grupy kontrolnej. Różnice te są szczególnie widoczne w przypadku Pb i Cr w surowicy krwi. W erytrocytach osób z obu badanych grup w sposób istotny korelowały ze sobą Mg i Zn, Mg i Fe oraz Zn i Fe. W surowicy i erytrocytach kobiet i mężczyzn korelacje są podobne i pokrywają się z pierwiastkami korelującymi w grupie osób dializowanych. Wyjątek stanowią Zn i Fe. W grupie mę-

czyzn (erytrocyty) Zn korelował z Cd, Al i Cr, nie korelował w sposób istotny z Pb, Cd i Cr, jak to miało miejsce u kobiet. Podobne korelacje między Mg i Zn oraz Fe, także między Zn i Fe obserwowano w krwinkach czerwonych osób zdrowych ($n = 47$, kobiety $n = 24$, mężczyźni $n = 23$). Ponadto w sposób istotny dodatnio korelowały w nich Pb i Cd, a w surowicy Ca i Mg (dane niepublikowane). Obserwowane korelacje między pierwiastkami mogą być efektem wykorzystania tych samych białek transportujących we krwi np. transferyny (Al, Cr, Fe) oraz tych samych procesów transportu przez błonę komórki, tj. kanałów wapniowych i białka DMT-1, będącego nośnikiem kationów dwuwartościowych (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}) [13].

W próbkach całodobowej zbiórki moczu ($n = 74$) wyznaczono istotne dodatnie korelacje dla Mg-Ca, Mg-Fe; Ca-Fe; Cu-Fe, Cu-Cd; Fe-Cd oraz Cd-Pb [5]. We włosach ($n = 995$) wyznaczono korelacje m.in. dla par pierwiastków: Ca-Mg, Ca-Zn, Mg-Zn i Pb-Cd [6].

Tabela 5 zawiera wartości współczynnika korelacji między zawartością pierwiastków w surowicy i krwinkach czerwonych. Nie stwierdzono istotnych korelacji między stężeniem pierwiastków w surowicy i czerwonych krwinkach. Przeciętne korelacje wyznaczone zostały dla Mg, Zn, Cu i Fe. W przypadku osób dializowanych, istotną dodatnią korelację wyznaczono dla Cd [7].

TABELA 5

Współczynnik korelacji rang Spearmana pomiędzy zawartością pierwiastków w surowicy i czerwonych krwinkach osób z grupy kontrolnej

Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Pb	Cd	Al	Cr
-0,06	0,30	-0,41	0,32	-0,48	0,17	-0,05	-0,03	0,06

W grupie osób zdrowych ($n = 47$, dane niepublikowane) wartości współczynnika korelacji między stężeniem pierwiastków w surowicy i krwinkach czerwonych była następująca: Ca- 0,07, Mg- -0,09, Zn- 0,25, Cu- 0,16, Fe- -0,31 oraz Pb- 0,34 i Cd- 0,19. Korelacje te, poza Fe, nie były statystycznie istotne.

4. PODSUMOWANIE

Spektrometria absorpcji atomowej jest metodą instrumentalną, pozwalającą oznaczać zawartość pierwiastków: makroelementów, mikroelementów, pierwiastków toksycznych we krwi i jej frakcjach na poziomie śladów i mikrośladów. W wyniku wykonanej analizy śladowej próbek krwi stwierdzono, że stężenie Ca i w niewielkim stopniu Cu jest wyższe w surowicy niż w erytrocytach. Stężenie pozostałych badanych pierwiastków: Mg, Zn, Fe, Pb, Cd, Al i Cr jest większe kilka, a nawet prawie dwieście razy w czerwonych krwinkach. Obserwowano różnice w poziomie pierwiastków w wyodrębnionych grupach osób: grupa kontrolna, osoby dializowane, kobiety i mężczyźni. Oznaczone zawartości pierwiastków mieściły się jednak w zakresach przyjętych norm lub nie przekraczały dopuszczalnych ilości. Rozrzut wyników, szczególnie dla metali ciężkich w krwinkach jest mniejszy, niż w surowicy. Analiza statystyczna danych na

poziomie oznaczonych stężeń w badanych próbkach krwi pozwala na sformułowanie następujących spostrzeżeń:

1. Większe ilości Zn, Fe i Al w odniesieniu do surowicy są w czerwonych krwinkach mężczyzn, natomiast w krwinkach kobiet jest więcej Cr.
2. Inne są proporcje ilościowe między pierwiastkami w surowicy i erytrocytach.
3. Występują różnice zarówno w odniesieniu do surowicy, jak i erytrocytów osób z grupy kontrolnej i dializowanych w parach korelujących ze sobą pierwiastków. Powtarzające się pary korelujących pierwiastków w czerwonych krwinkach to Mg-Zn, Mg-Fe i Zn-Fe.
4. Stosowane leczenie, dieta, zaburzenia funkcji życiowych mogą wpływać na profil pierwiastkowy surowicy i erytrocytów i wzajemne interakcje między pierwiastkami.
5. Nie stwierdzono w badanych próbkach krwi osób z grupy kontrolnej istotnych zależności między stężeniem pierwiastków w surowicy i czerwonych krwinkach.

Dalsze badania eksperymentalne prowadzone na większych grupach osób zdrowych, chorych, w różnym wieku, kobiet, mężczyzn, zawodowo lub środowiskowo narażonych na metale ciężkie wraz z analizą statystyczną tych danych pogłębią wiedzę o wzajemnych interakcjach między pierwiastkami i o biologicznych markerach poziomów pierwiastków głównych i śladowych w organizmie człowieka.

Podziękowania

Artykuł został przedstawiony na konferencji POOMT 2014 w Baranowie Sandomierskim w dniach 28-30 maja 2014 r., dofinansowanej przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

1. Angielski S. (red.): *Biochemia kliniczna i analityka*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich PZWL, Warszawa 1990.
2. Apostoli P.L.: Elements in environmental and occupational medicine. *Journal of Chromatography B*, 778, 2002, pp. 63-97.
3. Cornelis R., Heinzow B., Herber R.F.M., Molin Christensen J., Paulsen O.M., Sabbioni E., Templeton D.M., Thomassen Y., Vather M., Vesterberg O.: Sample collection guide-lines for trace elements in blood and urine. *Pure & Applied Chemistry*, 67, 1995, pp. 1575-1608.
4. D'Haese P.C., Couttenye M.M., Lamberts L.V., Elseviers M.M., Goodman W.G., Schrooten I., Cabrera W.E., De Broe M.E.: Aluminum, iron, lead, cadmium, copper, zinc, chromium, magnesium, strontium, and calcium content in bone of end-stage renal failure patients. *Clinical Chemistry* 45(9), 1999, pp. 1548-1556.
5. Długaszek M., Kaszczuk M., Mularczyk-Oliwa M.: Magnesium, calcium, and trace elements excretion in 24-h urine. *Biological Trace Element Research*, 142, 2011, pp. 1-10.

6. Długaszek M., Kaszczuk M., Mularczyk-Oliwa M.: Application of atomic absorption spectrometry in the elements and heavy metals determination in biological media – human hair. *Prace Instytutu Elektrotechniki*, z. 255, 2012, pp. 345-355.
7. Długaszek M., Szopa M., Rzeszotarski J., Karbowski P.: Magnesium, calcium and trace elements distribution in serum, erythrocytes, and hair of patients with chronic renal failure. *Magnesium Research*, 21, 2008, pp. 109-117.
8. Gać P., Waliszewska M., Zawadzki M., Poręba R., Andrzejak R.: Neurologiczne skutki ekspozycji zawodowej na ołów. *Bezpieczeństwo Pracy*, 7-8, 2008, str. 15-17.
9. Goullé J.P., Mahieu L., Castermant J., Neveu N., Bonneau L., Lainé G., Bouige D., Lacroix C.: Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair, Reference value. *Forensic Science International*, 153, 2005, pp. 39-44.
10. Iyengar G.V.: Reevaluation of the trace element content in reference man. *Radiation Physics and Chemistry*, 51, 1998, pp. 545-560.
11. Jakubowski M.: Kadm i jego związki nieorganiczne – w przeliczeniu na Cd. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, 2(72), 2012, str. 111-146.
12. Kakkar P., Jaffery F.N.: Biological markers for metal toxicity, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 19, 2005, pp. 335-349.
13. Kasprzak K.S., Sunderman F.W. Jr, Salnikow K.: Nickel carcinogenesis. *Mutation Research*, 533, 2003, pp. 67-97.
14. McCrum M.: *Podstawy spektrometrii absorpcyjnej (AAS)*, GBC Scientific Equipment Pty. Ltd., Dandenong, 2002.
15. Milne D.: Laboratory assessment of trace element and mineral status. *Clinical Nutrition of the Essential and Trace Elements and Minerals: The Guide for Health Professionals* (red. Bogden J.D., Klevay L.M.), Humana Press Inc., NJ, XVI, 2000, pp. 69-90.
16. Oktawia A., Kolasa M., Bieniewska Z., Biniek Ł.: Chromium.
17. farmacja.cm-uj.krakow.pl/~oam/dow10/chrom.pdf.
18. Pawelski S., Maj S.: *Normy i kliniczna interpretacja badań diagnostycznych w medycynie wewnętrznej*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich PZWL, Warszawa 1987.
19. Prohaska C., Pomazal K., Steffan I.: Determination of Ca, Mg, and Zn in blood fractions and whole blood of humans by ICP-OES. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 367, 2000, pp. 479-484.
20. Shamberger R.J.: Calcium, magnesium, and other elements in the red blood cells and hair of normal and patients with premenstrual syndrome. *Biological Trace Element Research*, 94, 2003, pp. 123-129.
21. Tsalev D.L.: Atomic absorption spectrometry (flame, electrothermal, vapour generation in environmental, biological and food analysis. *Environmental Heavy Metal Pollution and Effects on Child Mental Development: Risk Assessment and Prevention Strategies* (L.I. Simeonov et al. (red.)). Springer, 2011, pp. 171-202.

APPLICATION OF ATOMIC ABSORPTION
SPECTROMETRY IN TRACE ANALYSES
OF CLINICAL SAMPLES (BLOOD)

Maria DŁUGASZEK

ABSTRACT *Atomic absorption spectrometry (AAS) is an instrumental analytical method dedicated for the determination of trace amounts of elements in samples of different nature, including clinical trials. It belongs to the optical spectroscopic methods and examines the impact of UV and VIS radiation on atoms. This method utilizes an atomic absorption phenomenon.*

In the study, correlations between the number of elements in the blood serum and red blood cells are described. The content of elements was determined using the flame and flameless atomic absorption spectrometry. The correlation analysis was performed with respect to such elements as calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn), copper (Cu), iron (Fe), aluminum (Al), lead (Pb), cadmium (Cd), and chromium (Cr).

Keywords: *atomic absorption spectrometry, elements, serum, red blood cells, correlation analysis*

Dr inż. Maria DŁUGASZEK – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Technologia Żywności (specjalizacja – żywienie człowieka). Doktor nauk chemicznych (specjalizacja – chemia bioanalityczna). Zatrudniona w Wojskowej Akademii Technicznej w Instytucie Optoelektroniki na stanowisku adiunkta. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z analizą instrumentalną ze szczególnym uwzględnieniem spektrometrii absorpcji atomowej, analizą śladów w próbkach środowiskowych, biologicznych, klinicznych, żywności oraz procesami biochemicznymi z udziałem pierwiastków.

