

Katarzyna Czarnek*

WPŁYW WYBRANYCH MIKROELEMENTÓW NA ZDROWIE LUDZI

THE INFLUENCE OF SELECTED MICROELEMENTS ON HUMAN HEALTH

Abstract. Cobalt and chromium can be found everywhere in the natural environment. These metals can also be created through anthropogenic activity since they are used in various sectors of the industry, which causes pollution. Cobalt and chromium are microelements that are constantly present in human body and, at the same time, necessary for its proper functioning. They constitute the basic components of implants, more and more often used in medicine, as well as ingredients of: preparations, dietary supplements and energy drinks increasing the energy and performance of human body. When used, biomaterials may undergo corrosion in the environment of tissue fluids, while the released metal ions, which are stored for a longer period, can be toxic for humans. Moreover, during the intake of dietary supplements, one must remember to limit the consumption of energy drinks because they are the source of significant amount of chromium and cobalt. It is extremely important to avoid such supplements during a therapy or medicine intake in the case of chronic diseases without a prior consultation with a physician or a pharmacist. People must be aware that carefree and uncontrolled consumption of dietary supplements may cause negative results, since they may react with medicines and obstruct the course of one's therapy and become harmful to human body.

Keywords: microelements, cobalt, chromium, health, dietary supplements, implants, body performance, energy drinks.

Pierwiastki są wszechobecne, występują w wodzie, powietrzu i w ziemi. Z jednej strony są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmów roślinnych i zwierzęcych, ale z drugiej powodują zanieczyszczenia środowiska, przez co wpływają niekorzystnie na ich zdrowie. W ostatnich latach znacząco wzrosło

* Dr Katarzyna Czarnek – pracownik Wydziału Nauk Ścisłych i Nauk o Zdrowiu Instytutu Nauk o Zdrowiu Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II w Lublinie.

zainteresowanie zarówno mikro-, jak i makroelementami¹. Mikroelementy to pierwiastki występujące w niewielkich ilościach w organizmach roślinnych i zwierzęcych, tj. poniżej 1µg/g mokrej masy tkanki. Pierwiastki te są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Dostarczane w diecie zapewniają prawidłowy przebieg procesów biochemicznych zachodzących w organizmie. Do tej grupy zaliczany jest kobalt (II) i chrom (III). Każdy z tych mikroelementów pełni inne, niezwykle ważne funkcje w organizmie, a ich odpowiednia ilość warunkuje jego prawidłowe funkcjonowanie. Kobalt i chrom to mikroelementy, które odgrywają kluczową rolę w utrzymywaniu tzw. homeostazy organizmu, czyli jego równowagi i prawidłowego funkcjonowania².

1. KOBALT I CHROM – ZAPOTRZEBOWANIE I FUNKCJA W ORGANIZMIE

1.1. KOBALT

Dzienne zapotrzebowanie na kobalt (II) waha się w granicach od 11 do 45µg/dzień. Pierwiastek jest komponentem witaminy B₁₂, która pełni funkcję koenzymu w wielu procesach enzymatycznych i katalizie wielu reakcji. Ponadto uczestniczy ona w metabolizmie kwasu foliowego i puryn oraz pełni ważną rolę w wytwarzaniu erytrocytów³. Witamina B₁₂ wpływa na prawidłowe funkcjonowanie tkanki nerwowej poprzez utrzymywanie ciągłości osłonki mielinowej komórek⁴. W formie organicznej pierwiastek występuje w zielonych częściach roślin, w rybach oraz świeżych płatkach zbożowych (stanowi 0,2-0,1 µg Co/g suchej masy). Niewielkie jego ilości można znaleźć w mięsie, produktach mlecznych i cukrze (stanowi 0,01-0,03 µg Co/g suchej masy)⁵.

Kobalt (II) jest mikroelementem stale obecnym w naszym organizmie. Zawartość pierwiastka w organizmie dorosłego człowieka o wadze 70 kg waha się

¹ C. Tkaczyk, O.L. Huk, F. Mwale, J. Antoniou, D.J. Zukor, A. Petit, M. Tabrizian. *The molecular structure of complexes formed by chromium or cobalt ions in simulated physiological fluids*. „Biomaterials” 2009 30: 460-467.

² A.A. Saeed, M.A. Sandhu, M.S. Khilij, M.S. Yousaf, H.U. Rehman, Z.I. Tanvir, T. Ahmad. *Effect of dietary chromium supplementation on muscle and bone mineral interaction in broiler chicken*. „Journal of Trace Elements in Medicine and Biology” 2017 nr 42 s. 25-29.

³ B.L. Finley, A.D. Monnot, D.J. Paustenbach, S.H. Gaffney. *Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt*. „Regulatory Toxicology and Pharmacology” 2012 nr 64 s. 491-503.

⁴ O. Karovic, I. Tonazzini, N. Robola, E. Edstrom, C. Lovdahl, B.B. Fredholm, E. Dare. *Toxic effects of cobalt in primary cultures of mouse astrocytes. Similarities with hypoxia and role of HIF-1α*. „Biochemical Pharmacology” 2007 nr 73 s. 694-708; Y.H. Mou, J.Y. Yang, N. Cui, J.M. Wang, Y. Hou, S. Song, Ch.F. Wu. *Effects of cobalt chloride on nitric oxide and cytokines/chemokines production in microglia*. „International Immunopharmacology” 2012 nr 13 s. 120-125.

⁵ B.L. Finley [i in.]. *Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt* s. 491-503.

w granicach 1,1 mg, przy czym 85% z tej zawartości jest potrzebne do syntezy witaminy B₁₂. Natomiast dzienne zapotrzebowanie na witaminę B₁₂ wynosi od 1 do 2,5 µg/dzień, co odpowiada wartości 0,0434 Co µg/dzień. Jednak zważywszy na fakt, że tylko 50% spożywanej witaminy B₁₂ jest wchłaniane do przewodu pokarmowego, rekomendowana dzienna dawka jest wyższa i wynosi 2,4µg (0,10 µg kobaltu). Pierwiastek dostarczany z pokarmem u zdrowych ludzi osiąga wartość 7,5 ug/dzień, z czego tylko od 5 do 20% jest wchłaniane z jelita cienkiego do krwiobiegu. Absorpcja rozpuszczalnych form kobaltu jest wyższa u kobiet niż u mężczyzn, a pierwiastek jest magazynowany głównie w wątrobie, nerkach i płucach⁶.

1.2. CHROM

Chrom (III) to kolejny mikroelement pełniący niezwykle ważną funkcję w układach biologicznych. Reguluje gospodarkę węglowodanową i lipidową. Ponadto jest komponentem czynnika tolerancji glukozy, niezbędnego do prawidłowego metabolizmu glukozy oraz pełni rolę w aktywacji receptora insulinowego. Chrom (III) jest niezbędny do prawidłowego metabolizmu energetycznego białek, tj. pełni funkcje ochronne przed kwasimą ketonową, jak również redukuje ilość kwasów tłuszczowych⁷.

Głównym źródłem tego pierwiastka są: orzechy, produkty pełnoziarniste, drożdże, grzyby, ostrygi, wątroba, szparagi, owoce i piwo⁸. Ponadto jest obecny w niewielkich ilościach w naparach z czarnej i zielonej herbaty, kawie, przyprawach oraz piwie i winie⁹. Dzielne zapotrzebowanie na ten pierwiastek wynosi od 50 do 100 µg/dzień. Jednak w literaturze podawane są różne dawki zapotrzebowania, z uwzględnieniem płci, stanu zdrowia czy wieku: AI (*Adequate Intake*) wynosi 30 µg/dzień, a jej wartość została oszacowana na podstawie zawartości chromu w spożywanej diecie. Dla mężczyzn IA wynosi odpowiednio 35 µg/dzień, a dla kobiet 25 µg/dzień¹⁰. *Recommended Dietary Allowance* (RDA) jako zalecana racja żywienia dla chromu wynosi 50 µg¹¹. *Optimal Daily Allowance* (ODA) to optymalne dzienne zapotrzebowanie, które znacznie przewyższa wartość RDA. Dawka ta

⁶ B. Ebert, W. Jelkmann. *Intolerability of cobalt salt as erythropoietic agent*. „Drug Testing and Analysis” 2014 nr 6 s. 185-189; B. Gammelgaard, K. Jensen, B. Steffansen. *In vitro Metabolism and Permeation Studies in Rat Jejunum: Organic Chromium Compared to Inorganic Chromium*. „Journal of Trace Elements in Medicine and Biology” 1999.

⁷ D. Lison. *Handbook on the Toxicology of metals*. Elsevier 2015 s. 743-763.

⁸ B.L. Finley [i in.]. *Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt* s. 491-503.

⁹ D.G. Barceloux. *Chromium*. „Clinical Toxicology” 1999 nr 37 (2) s. 173-194.

¹⁰ W.T. Cefalu, F.B. Hu. *Role of chromium in human health and in diabetes*. „Diabetes Care” 2004 nr 27 s. 11; J.B. Vincent, Y. Neggers. *Roles of Chromium (III), Vanadium, and Zinc in sports nutrition*. „Nutrition and Enhanced Sports Performance” 2013 nr 46.

¹¹ J.B. Vincent. *Chromium: celebrating 50 years as an essential element?* „Royal Society of Chemistry” 2010 nr 39 s. 3787-3794.

jednak powinna być ustalana indywidualnie z uwzględnieniem płci, wieku jak i stanu zdrowia. *Estimated Safe and Adequate Daily Dietary Intake* (ESADDI) to największa dawka, wynosząca od 50 do 200 µg, dla której nie obserwowano skutków ubocznych. Przyswajalność pierwiastka jest związana ze składem diety i rodzajem związku, w jakim jest on dostarczany do organizmu. Dzielne wchłanianie chromu wynosi 40-240 µg/dzień, tak więc jest stosunkowo niewielkie na poziomie 0,4-2%¹². Łatwiej przyswajalne są formy organiczne pierwiastka, tj. pikolinianian i nikotynianian chromu, i wynoszą od 0,5 do 5,2%. W przypadku pokarmów zawierających znaczne ilości lipidów, węglowodanów i fosforanów oraz pierwiastków: cynku, manganu żelaza i miedzi zmniejsza się stopień absorpcji chromu w jelicie¹³. W przypadku chlorku chromu wynosi ono zaledwie 0,4%¹⁴.

1.3. NIEDOBÓR I NADMIAR MIKROELEMENTÓW W ORGANIZMIE

Zważywszy na fakt, że pierwiastki te są niezbędne tylko w śladowych ilościach dla prawidłowego funkcjonowania organizmu, ich nadmiar, jak i niedobór może zakłócać jego homeostazę i prowadzić do różnego rodzaju schorzeń¹⁵.

W przypadku kobaltu (II) jego niedobory są związane przede wszystkim z upośledzeniem syntezy witaminy B₁₂, będą więc powodowały anemię, sinicę i niedoczynności tarczycy. Natomiast nadmiar pierwiastka może nasilać czynność tarczycy i szpiku kostnego, z czym wiąże się wytwarzanie czerwonych krwinek oraz zwłóknienia w płucach i astma¹⁶.

Niedobory chromu (III) w organizmie powodują natomiast zaburzenia w metabolizmie zarówno węglowodanów, jak i lipidów. Ponadto są one związane z licznymi zaburzeniami, łącznie z objawami cukrzycy typu 2, a zwłaszcza z obniżeniem tolerancji glukozy oraz wzrostem poziomu insuliny we krwi i spadkiem liczby receptorów insulinowych. Podwyższony poziom insuliny we krwi powoduje hiperglikemię, czyli zaburzenia cukrzycowe. Ponadto niedobór pierwiastka może

¹² A. Pechova, P. Pavlata. *Chromium as an essential nutrient: a review*. „Veterinarni Medicina” 2007 nr 52 (1) s. 1-18.

¹³ J.B. Vincent, Y. Neggers. *Roles of Chromium (III)*; A. Pechova, P. Pavlata. *Chromium as an essential nutrient: a review* s. 1-18.

¹⁴ *Toxicological profile for chromium*. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2012.

¹⁵ E.M. Garoui, H. Fetoui, F.A. Makni, T. Boudawara, N. Zeghal. *Cobalt chloride induces hepatotoxicity in adult rats and their suckling pups*. „Experimental and Toxicologic Pathology” 2011 nr 63 s. 9-11; R.W. Leggett. *The biokinetics of inorganic cobalt in the human body*. „Science of the Total Environment” 2008 nr 289 s. 259-269.

¹⁶ O. Karovic [i in.]. *Toxic effects of cobalt in primary cultures of mouse astrocytes* s. 694-708; B. Patel, G. Favaro, F. Inam, M.J. Reece, A. Angadji, W. Bonfield, J. Huang, M. Edirisinghe. *Cobalt-based orthopaedic alloys: Relationship between forming route, microstructure and tribological performance*. „Materials Science and Engineering C” 2012 nr 32 s. 1222-1229.

także wywoływać objawy, takie jak w przypadku chorób układu sercowo-naczyniowego, a więc wzrost poziomu cholesterolu i triglicerydów oraz zmniejszenie poziomu lipoprotein (HDL). Największe niedobory chromu obserwowano u ludzi odżywianych pozajelitowo¹⁷.

2. DROGI WNIKANIA CHROMU I KOBALTU DO ORGANIZMU

Ze względu na wszechobecność występowania tych metali w środowisku, źródła narażenia na pierwiastki są bardzo różne. Powszechne zastosowanie kobaltu i chromu w różnych gałęziach przemysłu jest powodem zanieczyszczeń środowiska związkami tych metali, jak i narażenia na oddziaływanie jego form na ludzi zatrudnionych w fabrykach¹⁸. Możemy wymienić trzy główne drogi przedostawiania się tych metali do organizmu: przez skórę, przez drogi oddechowe i układ pokarmowy wraz z pożywieniem. Pierwiastki te mogą również przedostawać się do organizmu jako składniki biomateriałów medycznych stosowanych powszechnie w medycynie¹⁹. Niezależnie od drogi, jaką mogą dostawać się do organizmu, zawsze są wiązane przez białka krwi lub erytrocyty, a następnie transportowane do tkanek i narządów, w których są akumulowane lub z nich wydalane²⁰.

Skóra, jako najbardziej zewnętrzna tkanka, jest narażona na oddziaływanie wielu środowiskowych czynników, m.in. metali ciężkich. Metale te mogą wywoływać kontaktowe zapalenie skóry i dodatkowo powodować powstawanie miejscowych podrażnień. W sposób szczególny na ich działanie są narażeni pracownicy zatrudnieni w fabrykach produkujących stopy metali ciężkich, przy pozyskiwaniu sproszkowanego kobaltu i szlifowaniu diamentów. Również pracownicy zatrudnieni w przemyśle nuklearnym są narażeni na działanie radioaktywnych izotopów metali. Powstające wysokoenergetyczne promieniowanie gamma może

¹⁷ L. Chen, J. Zhang, Y. Zhu, Y. Zhang. *Interaction of chromium (III) or chromium (VI) with catalase and its effect on the structure and function of catalase: An in vitro study*. „Food Chemistry” 2018 nr 244 s. 378-385; D.W. Lamson, S.M. Plaza. *The safety and efficacy of high-dose chromium*. „Alternative Medicine Review” 2002 nr 7 s. 3; A. Pechova, P. Pavlata. *Chromium as an essential nutrient: a review* s. 1-18.

¹⁸ A. Bolewski. *Surowce mineralne świata*. Warszawa 1984; E. Persson, J. Henriksson, H. Tjälve. *Uptake of cobalt from the nasal mucosa into the brain via olfactory pathways in rats*. „Toxicology Letters” 2003 s. 19-27.

¹⁹ F.L. Filon, F. D'Agostin, M. Crosera, G. Adami, M. Bovenzi, G. Maina. *In vitro absorption of metal powders through intact and damaged human skin*. „Toxicology in Vitro” 2009 nr 23 s. 574-579; N.J. Hallab, K. Mikecz, C. Vermes, A. Skipor, J.J. Jacobs. *Orthopaedic implant related metal toxicity in terms of human lymphocyte reactivity to metal-protein complexes produced from cobalt-base and titanium base implant alloy degradation*. „Molecular and Cellular Biochemistry” 2001 nr 222 s. 127-136.

²⁰ H.-Y. Lin, J.D. Bumgardner. *In vitro biocorrosion of Co-Cr-Mo implant alloy by macrophage cells*. „Journal of Orthopaedic Research” 2004 nr 22 s. 121-123.

powodować u pracowników zatrudnionych w tym przemyśle wewnętrzne i zewnętrzne uszkodzenia komórek, związane z pochłanianiem radioaktywnych form metali²¹.

Znaczne ilości pierwiastków mogą przedostawać się do organizmu ludzi również przez układ oddechowy wraz z pyłami powstającymi w fabrykach, jak i podczas szlifowania koron, mostów i protez zębowych oraz z dymem tytoniowym²². Głównie formy metaliczne, tlenki metali kobaltu (II) i chromu (III) oraz w postaci pyłów i dymów spawalniczych przenikają jako niewielkie cząsteczki do naczyń limfatycznych i systemu naczyń włosowatych. Stopień pochłaniania cząstek metali jest zależny przede wszystkim od ich rodzaju, wielkości i rozpuszczalności²³.

Największe ilości pierwiastków przedostają się do organizmu przez układ pokarmowy wraz z pożywieniem, z suplementami diety, preparatami witaminowymi i mineralnymi, odżywkami dla sportowców i preparatami pomagającymi w redukcji nadwagi (zawierającymi znaczne ilości różnych pierwiastków)²⁴.

3. KOBALT I CHROM – SKŁADNIKI SUPLEMENTÓW DIETY

W ostatnich latach ogromnym zainteresowaniem cieszą się suplementy diety i preparaty witaminowe. Koncerny farmaceutyczne polecają je w celu polepszenia zdrowia fizycznego, wzrostu energii, wzmocnienia układu odpornościowego, jak również ochrony przed chronicznymi chorobami²⁵. Liczne reklamy w telewizji i w czasopismach zapewniające nas o tym, że znajdziemy „antidotum” na wszelkie nasze dolegliwości i kłopoty, rozbudzają nasze zainteresowanie. Takie wszechobecnie panujące przekonanie oraz łatwość dostępu do tych preparatów sprawia, że chętnie i nader często po nie sięgamy. Ogromny postęp i rozwój cywilizacyjny wymusza od ludzi bycie aktywnym w życiu zawodowym i prywatnym. Dużym

²¹ Ermolli M., Menne Ch., Pozzi G., Serra M.A., Clerici L.A., Nickel, cobalt and chromium-induced cytotoxicity and intracellular accumulation in human haccat keratinocytes. „Toxicology” 2001 nr 159 s. 23-31; F.L. Filon [i in.]. *In vitro absorption of metal* s. 574-579; R.W. Leggett. *The biokinetics of inorganic cobalt in the human body* s. 259-269.

²² S. Burgaz, G.Ç. Demircigil, M. Yilmazer, N. Erta, Y. Kemaloglu, Y. Burgaz. *Assessment of cytogenetic damage in lymphocytes and in exfoliated nasal cells of dental laboratory technicians exposed to chromium, cobalt, and nikel*. „Mutation Research – Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis” 2002 nr 521 s. 47-56.

²³ A. Sapota, A. Daragó. *Kobalt i jego związki nieorganiczne – w przeliczeniu na Co*. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” 2011 nr 3 (69) s. 47-94; L.O. Simonsen, H. Harbak, P. Bennekou. *Cobalt metabolism and toxicology. A brief update*. „Science of the Total Environment” 2012 nr 43 s. 210-215.

²⁴ I. Udousoro, A. Ikem, O.T. Akinbo. *Content and daily intake of essential and potentially toxic elements from dietary supplements marketed in Nigeria*. „Journal of Food Composition and Analysis” 2011 nr 62 s. 23-34.

²⁵ Tamże.

zainteresowaniem, zwłaszcza wśród młodzieży, cieszą się napoje energetyczne stosowane w celu zwiększenia energii. Ponadto popularne i łatwo dostępne odżywki dla sportowców są chętnie stosowane przez osoby trenujące w celu zwiększenia wydolności tlenowej organizmu. Potencjalni konsumenci sięgający po tego rodzaju preparaty, suplementy diety czy napoje energetyczne bardzo często nie mają świadomości, jaki jest ich skład oraz zawartość substancji aktywnych. Różnorodność preparatów witaminowych czy suplementów diety jest znacząca, wynika to z faktu, że wymogi prawne w stosunku do nich nie są tak rygorystyczne, jak co do leków. Należy podkreślić, że nie ma ściśle określonych wskazań przy zażywaniu suplementów diety i preparatów witaminowych, a w wielu przypadkach nie ma badań potwierdzających potrzebę ich przyjmowania²⁶. Według Ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia

suplement diety to środek spożywczy, którego celem jest uzupełnienie normalnej diety, będący skoncentrowanym źródłem witamin lub składników mineralnych lub innych substancji wykazujących efekt odżywczy lub inny fizjologiczny, pojedynczych lub złożonych, wprowadzany do obrotu w formie umożliwiającej dawkowanie, w postaci: kapsulek, tabletek, drażetek i w innych podobnych postaciach, saszetek z proszkiem, ampułek z płynem, butelek z kroplomierzem i w innych podobnych postaciach płynów i proszków przeznaczonych do spożywania w małych, odmierzonych ilościach jednostkowych, z wyłączeniem produktów posiadających właściwości produktu leczniczego w rozumieniu przepisów prawa farmaceutycznego²⁷.

Z badań przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych wynika, że na rynku dostępnych jest około 75 tys. różnych suplementów diety, a w 2008 r. konsumenci wydali na nie aż 25 bilionów dolarów. Stosowanie suplementów diety i preparatów witaminowych cieszy się dużą popularnością w różnych grupach wiekowych. Jak pokazują badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych w latach 2005-2008 przez NHANES (*National Health and Nutrition Examination Survey*), około 51% dorosłych (po 20. roku życia) zażywa suplementy diety. Natomiast inne badania, przeprowadzone w latach 2003-2006, podają, że 65% ludzi w wieku między 51. a 70. rokiem życia stosuje takie preparaty. Ponadto stosowanie suplementów w grupie wiekowej od 4 do 8 lat wynosiło odpowiednio 46% u chłopców i 40% u dziewczynek²⁸. Niezwykle ważne jest, aby w trakcie terapii czy przyjmowania leków w chorobach przewlekłych nie zażywać suplementów bez konsultacji z lekarzem lub farmaceutą. Należy mieć świadomość, że beztróskie przyjmowanie takich preparatów nie jest obojętne dla naszego organizmu, ponieważ między

²⁶ L. Brent, A.D. Finley, M. Dennis, J. Paustenbach, S.H. Gaffney. *Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt*. „Regulatory Toxicology and Pharmacology” 2012 nr 64 s. 491-503.

²⁷ Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia. Dz.U. 2020 poz. 2021.

²⁸ L. Brent [i in.]. *Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt* s. 491-503.

lekami a suplementami diety mogą zachodzić interakcje zakłócające przebieg terapii i szkodliwe dla organizmu.

Oddziaływania mikroelementów zawartych w preparatach witaminowych i w przyjmowanych lekach mogą mieć różny charakter. W przypadku nasilenia efektów ich oddziaływania obserwuje się synergizm, a w przypadku zmniejszenia ich działania antagonizm. Składnikiem wielu suplementów diety jest kobalt (II). Producenci zalecają jego spożycie aż w ilości 1 mg/dzień, w celu zapewnienia prawidłowego metabolizmu tłuszczu i cukrów, syntezy białek i wytwarzania czerwonych krwinek. Ponadto niektóre napoje energetyczne również zawierają kobalt, który występuje tam w formie cyjanokobalaminy. Metal ten obecny jest w znacznych ilościach, około 41,677%, co odpowiada około 100 µg kobaltu w porcji przy zalecanej dawce przez organizację FDA (*Food and Drug Administration*), która wynosi tylko 6 µg²⁹. Należy pamiętać, że największe ilości pierwiastka mogą być dostarczane wraz z pożywieniem oraz suplementami diety, preparatami witaminowymi, które w swoim składzie zawierają znaczne ilości tego pierwiastka, bardzo często przekraczające jego dobowe zalecane dawki³⁰.

W literaturze jest wiele informacji na temat zastosowań kobaltu (II) w sporcie jako środka dopingującego, ponieważ metal ten stymuluje syntezę erytropoetyny w celu zwiększenia wydolności tlenowej organizmu. Erytropoetyna może być zastąpiona solą metalu, tj. chlorkiem kobaltu działającym jako czynnik poprawiający wydolność tlenową³¹. Ze względu na stymulację procesu erytropoezy kobalt jest składnikiem wielu suplementów diety³². Ponadto jest wiele informacji pochodzących z Australii, które donoszą o stosowaniu anabolicznych sterydów i innych zakazanych substancji u koni startujących w wyścigach konnych w Nowej Południowej Walii i Victorii. Sole kobaltu są łatwo dostępne, niedrogie i mogą być podawane z pokarmem, dlatego niektórzy trenerzy je stosują³³.

Kolejnym mikroelementem jest chrom (III). Pierwiastek ten jest również składnikiem wielu suplementów diety, w których najczęściej występuje w formie

²⁹ B.E. Tvermoesa, B.L. Finley, K.M. Unicec, J.M. Otani, D.J. Paustenbach, D.A. Galbraith. *Cobalt whole blood concentrations in healthy adult male volunteers following two-weeks of ingesting a cobalt supplement*. „Food and Chemical Toxicology” 2013 nr 53 s. 417-424.

³⁰ K.U. Unice, A.D. Monnot, S.H. Gaffney, B.E. Tvermoes, K.A. Thuett, D.J. Paustenbach, B.L. Finley. *Inorganic cobalt supplementation: Prediction of cobalt levels in whole blood and urine using a biokinetic model*. „Food and Chemical Toxicology” 2012 nr 50 s. 2456-2461.

³¹ E.N.M. Ho, G.H.M. Chan, T.S.M. Wan, P. Curl, Ch.M. Riggs, M.J. Hurley, D. Sykes. *Controlling the misuse of cobalt in horses*. „Drug Testing and Analysis” 2014 nr 7 s. 21-30; T. Osathanon, P. Vivatbutisiri, W. Sukarawan, W. Sriarjce, P. Pavasanta, S. Soompon. *Cobalt chloride supplementation induces stem-cell marker expression and inhibits osteoblastic differentiation in human periodontal ligament cells*. „Archives of Oral Biology” 2015 nr 60 s. 29-36.

³² B.L. Finley [i in.]. *Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt* s. 491-503.

³³ A. Mobasher, Ch.J. Proudman. *Cobalt chloride doping in racehorses: Concerns over a potentially lethal practice*. „The Veterinary Journal” 2015 nr 205 s. 335-338.

pikolinianu chromu³⁴. Jest tak od lat 80. XX w., od opublikowania wyników badań przez G.W. Evansa, w których odnotował on większe zmniejszenie zawartości kwasów tłuszczowych i przyrost tkanki beztłuszczowej w grupie poddanej suplementacji pierwiastkiem. Wyniki tych badań były jednak niewiarygodne i kwestionowane, ze względu na fakt, że techniki badawcze dostępne w tamtym czasie nie pozwalały na bardziej dogłębną analizę. Wraz z rozwojem nowych technik laboratoryjnych nie potwierdzono wyników badań przeprowadzonych przez Evansa, nie znaleziono żadnych dowodów na to, że chrom wpływa na masę i skład ciała oraz zwiększenie masy mięśniowej³⁵. Pomimo to związek zaczęto stosować jako suplement. W 2000 r. sprzedaż dostępnych na rynku farmaceutycznym licznych suplementów diety zawierających w swoim składzie pikolinian chromu osiągnęła znaczną wartość około 1,5 biliona dolarów³⁶.

4. KOBALT I CHROM – KOMPONENTY BIOMATERIAŁÓW

Kobalt i chrom są komponentami materiałów biomedycznych służących do konstrukcji implantów, m.in. endoprotez stawów biodrowych czy kolanowych oraz stosowanych w stomatologii ze względu na wysoką wytrzymałość i twardość³⁷. Biomateriał definiowany jest jako substancja albo kombinacja substancji syntetycznych lub naturalnych, mająca na celu uzupełnienie lub zastąpienie narządu lub jego części w celu pełnienia określonych funkcji fizjologicznych przez określony czas³⁸. Endoprotetyka to wysoce skuteczna metoda mająca na celu przywrócenia funkcjonowania uszkodzonych części ciała, problem implantacji protez biodrowych czy też kolanowych dotyczy coraz większej liczby osób nie tylko w starszym wieku, lecz również młodych. Endoprotezy mogą być stosowane przez krótki czas, nie dłuższy niż 5 lat, lub dłużej, około 20 lat. Metale takie jak kobalt czy chrom charakteryzują się bardzo dobrym zespołem właściwości mechanicznych oraz

³⁴ E. Król, Z. Krejpcio. *Chromium (III) propionate complex supplementation improves carbohydrate metabolism in insulin-resistance rat model*. „Food and Chemical Toxicology” 2010 nr 48 s. 271-279; J.B. Vincent. *Chromium: celebrating 50 years as an essential element* s. 3787-3794

³⁵ J.B. Vincent, Y. Neggers. *Roles of Chromium (III)*.

³⁶ D.D.D. Hepburn, M. Burney, S.A. Woski, J.B. Vincent. *The nutritionla supplement chromium picolinate generates oxidative DNA damage and peroxidized lipids in vivo*. „Polyhedron” 2003 nr 94 s. 86-93.

³⁷ R.E. Andrews, K.M. Shah, J.M. Wilkinson, A. Gartland. *Effect of cobalt and chromium ions at clinically equivalent concentration after meta-on-metal hip replacement on human osteoblasts and osteoclasts: Implications for skeletal health*. „Bone” 2011 nr 49 s. 717-723; S. Burgaz [i in.]. *Assessment of cytogenetic damage in lymphocytes* s. 47-56; A. Petit, F. Mwale, C. Tkaczyk, J. Antoniou, D.J. Zukor, O.L. Huk. *Induction of protein oxidation by cobalt and chromium ions in human U937 macrophages*. „Biomaterials” 2005 nr 26 s. 4416-4422.

³⁸ S. Bauer, M.K. Schmuki, J. Park. *Engineering biocompatible implant surfaces. Part I: Materials and surfaces*. „Progres in Materials Science” 58:2013 s. 261-326.

wysoką biotolerancją. W trakcie użytkowania implantu jego powierzchnie ulegają zużyciu i mogą uwalniać do przestrzeni tkankowych jony metali. Ponadto biomateriały skonstruowane z metali ulegają korozji w środowisku płynów ustrojowych ciała zawierających w swoim składzie jony chloru, sodu, potasu, wapnia, fosforanów i składników organicznych, jak i wysokiej temperatury ciała i zmian pH w otaczających implant tkankach, co z czasem może bardzo niekorzystnie wpływać na organizm³⁹.

5. CYTOTOKSYCZNE I GENOTOKSYCZNE EFEKTY ODDZIAŁYWANIA KOBALTU I CHROMU NA KOMÓRKI

W literaturze jest wiele informacji na temat toksycznego działania kobaltu i chromu. Zważywszy, że te mikroelementy tylko w śladowych ilościach są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu, w wysokich stężeniach mogą być potencjalnie toksyczne dla komórek⁴⁰. Zarówno kobalt, jak i chrom w wysokich stężeniach mają zdolności do generowania reaktywnych form tlenu, które wykazują działanie silnie destrukcyjne wobec DNA i innych biomolekuł. Akumulacja kobaltu (II) w komórce może prowadzić do wzajemnych oddziaływań między metalem a DNA i białkami jądrowymi. Kobalt indukuje procesy utleniania i nitryfikacji białek, co prowadzi do śmierci komórek⁴¹. W nadmiarze może hamować aktywność niektórych enzymów i wywoływać efekty toksyczne⁴². Może też wpływać na mechanizmy naprawcze DNA poprzez interakcje z jonami magnezu i cynku zawartymi w enzymach. Hamowanie tego procesu przyczynia się do powstawania mutacji⁴³. Ponadto kobalt i jego związki są karcinogenne dla ludzi i są zaliczane do

³⁹ Tamże; O.L. Huk, I. Catelas, F. Mwale, J. Antoniou, J. Zukor, A. Petit. *Induction of apoptosis and necrosis by metal ions in vitro*. „The Journal of Arthroplasty” 2004 nr 19 s. 8; A. Sargeant, T. Goswami. *Hip implants. Paper V: Physiological effects*. „Materials & Design” 2006 t. 27 s. 287-307.

⁴⁰ V. Battaglia, A. Compagnone, A. Bandino, M. Bragadin, C.A. Rosii, F. Zanetti, S. Colombatto, M.A. Grillo, A. Toninello. *Cobalt induces oxidative stress in isolated liver mitochondria responsible for permeability transition and intrinsic apoptosis in hepatocyte primary cultures*. „The International Journal of Biochemistry & Cell Biology” 41:2009 s. 586-594.

⁴¹ C. Tkaczyk [i in.]. *The molecular structure of complexes* s. 460-467.

⁴² B. Ebert, W. Jelkmann. *Intolerability of cobalt salt as erythropoietic agent* s. 185-189; E.N.M. Ho [i in.]. *Controlling the misuse of cobalt in horses* s. 21-31.

⁴³ N. Gault, C. Sandre, J.-L. Poncy, C. Moulin, J.-L. Lefaix, C. Bresson. *Cobalt toxicity: chemical and radiological combined effects on HaCaT keratinocyte cell line*. „Toxicology in Vitro” 2010 nr 24 s. 92-98; R. Ortega, C. Bresson, A. Fraysse, C. Sandre, G. Devec, C. Gombert, M. Tabarant, P. Bleuet, H. Seznece, A. Simionovici, P. Morettoe, Ch. Moulin. *Cobalt distribution in keratinocyte cells indicates nuclear and perinuclear accumulation and interaction with magnesium and zinc homeostasis*. „Toxicology Letters” 2009 nr 188 s. 26-32.

grupy drugiej przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem IARC (*International Agency for Research on Cancer*)⁴⁴.

W medycynie kobalt stosowano w leczeniu opornych na działanie żelaza anemiach, jednak tylko przez pewien czas, terapie te zostały zaniechane z powodu toksyczności i pojawiającej się niedoczynności tarczycy. Chlorek kobaltu podawano w celu zwiększenia wydzielania estrogenów – jako alternatywę terapii hormonalnej⁴⁵. Ponadto w latach 60. XX w. w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie na szeroką skalę w przemyśle browarniczym (około 25% sprzedawanego towaru) stosowano siarczan kobaltu (CoSO)₄ jako dodatek do piwa w celu zapobiegania powstawania niepożądanego piany. Praktyki te zaniechano, gdyż u osób spożywających znaczne ilości tego trunku obserwowano kardiomiopatię⁴⁶. Wzrost stężenia kobaltu w organizmie wpływa na zmniejszenie zawartości magnezu i cynku w komórce, co może wpływać niekorzystnie na zachodzące procesy metaboliczne w układach biologicznych⁴⁷. Szkodliwe efekty oddziaływania chromu odnotowano w Szkocji pod koniec XXI w., kiedy to obserwowano zmiany nowotworowe w obrębie nosa u pracowników zatrudnionych w przemyśle garbarskim⁴⁸.

Chrom (VI) jest łatwiej rozpuszczalny i bardziej toksyczny niż chrom (III). Przedostając się do organizmu przez skórę, może powodować podrażnienia i alergiczne zapalenie skóry, objawiające się w postaci duszności i wysypki⁴⁹. W komórkach chrom może wiązać się z DNA i zakłócać proces replikacji (w niższych stężeniach) lub go całkowicie blokować (w wyższych stężeniach)⁵⁰. Związki chromu (III) mogą wiązać się bezpośrednio do DNA, *in vitro* tworząc kompleksy

⁴⁴ S. Burgaz [i in.]. *Assessment of cytogenetic damage in lymphocytes* s. 47-56; C. Bresson, C. Lamouroux, C. Sandre, M. Tabarant, N. Gault, J.L. Poncy, J.C. Lefaix, C. Den Auwer, R. Speziae, M.-P. Gaigeot, E. Ansoborlo, S. Mounicou, A. Fraysse, G. Deves. *An interdisciplinary approach to investigate the impact of cobalt in a human keratinocyte cell line*. „Biochimie” 2006 nr 88 s. 1619-1629.

⁴⁵ D. Lison. *Handbook on the Toxicology of metals* s. 743-763; K.U. Unice [i in.]. *Inorganic cobalt supplementations* s. 2456-2461; L.O. Simonsen [i in.]. *Cobalt metabolism and toxicology* s. 210-215.

⁴⁶ Tamże.

⁴⁷ R. Ortega [i in.]. *Cobalt distribution in keratinocyte cells* s. 26-32.

⁴⁸ J. Cheng, W. Fan, X. Zhao, Y. Liu, Z. Cheng, Y. Liu, J. Liu. *Oxidative stress and histological alterations of chicken brain induced by oral administration of chromium (III)*. „Biological Trace Element Research” 2016 nr 173 s. 185-193; A. Pechova, P. Pavlata. *Chromium as an essential nutrient: a review* s. 1-18.

⁴⁹ J. Cheng [i in.]. *Oxidative stress and histological alterations* s. 185-193; M. Fris, M.I. Sánchez de Rojas. *Total and soluble chromium, nickel and cobalt content in the main materials used in the manufacturing of Spanish commercial cements*. „Cement and Concrete Research” 2002 nr 32 s. 435-440; A. Pechova, P. Pavlata. *Chromium as an essential nutrient: a review* s. 1-18; *Toxicological profile for chromium*.

⁵⁰ D.A. Eastmond, J.T. MacGregor, R.S. Slesinski. *Trivalent chromium: Assessing the genotoxic risk of an essential trace element and widely used human and animals nutritional supplement*. „Critical Reviews in Toxicology” 2008 nr 38 s. 173-190.

Cr-DNA i powstawanie wiązań poprzecznych między DNA-DNA⁵¹. Liczne badania potwierdzają, że wysokie stężenia chromu (III), jak i jego związków, tj. pikolinianu i niktynianu chromu, działają destrukcyjnie na DNA, powodując jego fragmentację, indukując abberacji chromosomowych, wymianę chromatyd siostrzanych⁵².

KONKLUZJE – ROZWAŻNE STOSOWANIE SUPLEMENTÓW DIETY I PREPARATÓW WITAMINOWYCH

Wszechobecność mikroelementów w środowisku i wynikające z tego narażenie na ich oddziaływanie, ale i nadmierne stosowanie suplementów czy preparatów witaminowych może niekorzystnie wpływać na nasze zdrowie. Stosując takie preparaty, należy przyjmować je tylko w celu uzupełnienia ich niedoboru, pamiętając, że stale dostarczamy je w spożywanym pokarmie. Spożywanie znacznych ilości tych mikroelementów może powodować szereg zmian morfologicznych i biochemicznych w komórkach, tkankach i narządach i mieć niekorzystny wpływ na nasze zdrowie, a w przypadku kuracji zdrowotnej niekorzystnie na nią wpływać.

BIBLIOGRAFIA

- Andrews R.E., Shah K.M., Wilkinson J.M., Gartland A., *Effect of cobalt and chromium ions at clinically equivalent concentration after meta-on-metal hip replacement on human osteoblasts and osteoclasts: Implications for skeletal health*. „Bone” 2011 nr 49 s. 717-723.
- Barceloux D.G., *Chromium*. „Clinical Toxicology” 1999 nr 37 (2) s. 173-194.
- Battaglia V., Compagnone A., Bandino A., Bragadin M., Rosii C.A., Zanetti F., Colombatto S., Grillo M.A., Toninello A., *Cobalt induces oxidative stress in isolated liver mitochondria responsible for permeability transition and intrinsic apoptosis in hepatocyte primary cultures*. „The International Journal of Biochemistry & Cell Biology” 41:2009 s. 586-594.
- Bauer S., Schmuki M.K., Park J., *Engineering biocompatible implant surfaces*. Part I: *Materials and surfaces*. „Progres in Materials Science” 58:2013 s. 261-326.
- Bolewski A., *Surowce mineralne świata*. Warszawa 1984.

⁵¹ T.J. O'Brien, S. Ceryak, S.R. Patierno. *Complexities of chromium carcinogenesis: role of cellular response repair and recovery mechanisms*. „Mutation Research” 2003 nr 533 s. 3-36.

⁵² D.A. Eastmond [i in.]. *Trivalent chromium* s. 173-190; M. Figgitt, N. Newson, I.J. Leslic, J. Fisher, E. Ingham, Ch.P. Case. *The genotoxicity of physiological concentrations of chromium (Cr (III) and Cr (VI)) and cobalt (Co (II)): An in vitro study*. „Mutation Research” 2010 nr 688 s. 53-61; H. Staniek, M. Kostrzewska, M. Poczekaj, K. Arndt-Szyfterb, Z. Krejpcio. *Genotoxicity assessment of chromium (III) propionate complex in the rat model using the comet assay*. „Food and Chemical Toxicology” 2010 nr 48 s. 89-92.

- Brent L., Finley A.D., Dennis M., Paustenbach J., Gaffney S.H., *Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt*. „Regulatory Toxicology and Pharmacology” 2012 nr 64 s. 491-503.
- Bresson C., Lamouroux C., Sandre C., Tabarant M., Gault N., Poncy J.L., Lefaix J.C., Den Auwer C., Speziae R., Gaigeot M.-P., Ansoborlo E., Mounicou S., Fraysse A., Deves G., *An interdisciplinary approach to investigate the impact of cobalt in a human keratinocyte cell line*. „Biochimie” 2006 nr 88 s. 1619-1629.
- Burgaz S., Demircigil G.Ç., Yilmazer M., Erta N., Kemaloglu Y., Burgaz Y., *Assessment of cytogenetic damage in lymphocytes and in exfoliated nasal cells of dental laboratory technicians exposed to chromium, cobalt, and nickel*. „Mutation Research – Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis” 2002 nr 521 s. 47-56.
- Cefalu W.T., Hu F.B., *Role of chromium in human health and in diabetes*. „Diabetes Care” 2004 nr 27 s. 11.
- Chen L., Zhang J., Zhu Y., Zhang Y., *Interaction of chromium (III) or chromium (VI) with catalase and its effect on the structure and function of catalase: An in vitro study*. „Food Chemistry” 2018 nr 244 s. 378-385.
- Cheng J., Fan W., Zhao X., Liu Y., Cheng Z., Liu Y., Liu J., *Oxidative stress and histological alterations of chicken brain induced by oral administration of chromium (III)*. „Biological Trace Element Research” 2016 nr 173 s. 185-193.
- Eastmond D.A., MacGregor J.T., Slesinski R.S., *Trivalent chromium: Assessing the genotoxic risk of an essential trace element and widely used human and animals nutritional supplement*. „Critical Reviews in Toxicology” 2008 nr 38 s. 173-190.
- Ebert B., Jelkmann W., *Intolerability of cobalt salt as erythropoietic agent*. „Drug Testing and Analysis” 2014 nr 6 s. 185-189.
- Ermolli M., Menne Ch., Pozzi G., Serra M.A., Clerici L.A., *Nickel, cobalt and chromium-induced cytotoxicity and intracellular accumulation in human haccat keratinocytes*. „Toxicology” 2001 nr 159 s. 23-31.
- Figgitt M., Newson N., Leslic I.J., Fisher J., Ingham E., Case Ch.P., *The genotoxicity of physiological concentrations of chromium (Cr (III) and Cr (VI)) and cobalt (Co (II)): An in vitro study*. „Mutation Research” 2010 nr 688 s. 53-61.
- Filon F.L., D’Agostin F., Crosera M., Adami G., Bovenzi M., Maina G., *In vitro absorption of metal powders through intact and damaged human skin*. „Toxicology in Vitro” 2009 nr 23 s. 574-579.
- Finley B.L., Monnot A.D., Paustenbach D.J., Gaffney S.H., *Derivation of a chronic oral reference dose for cobalt*. „Regulatory Toxicology and Pharmacology” 2012 nr 64 s. 491-503.
- Frís M., Sánchez de Rojas M.I., *Total and soluble chromium, nickel and cobalt content in the main materials used in the manufacturing of Spanish commercial cements*. „Cement and Concrete Research” 2002 nr 32 s. 435-440.
- Gammelgaard B., Jensen K., Steffansen B., *In vitro Metabolism and Permeation Studies in Rat Jejunum: Organic Chromium Compared to Inorganic Chromium*. „Journal of Trace Elements in Medicine and Biology” 1999.
- Garoui E.M., Fetoui H., Makni F.A., Boudawara T., Zeghal N., *Cobalt chloride induces hepatotoxicity in adult rats and their suckling pups*. „Experimental and Toxicologic Pathology” 2011 nr 63 s. 9-11.

- Gault N., Sandre C., Poncy J.-L., Moulin C., Lefaix J.-L., Bresson C., *Cobalt toxicity: chemical and radiological combined effects on HaCaT keratinocyte cell line*. „Toxicology in Vitro” 2010 nr 24 s. 92-98.
- Hallab N.J., Mikecz K., Vermes C., Skipor A., Jacobs J.J., *Orthopaedic implant related metal toxicity in terms of human lymphocyte reactivity to metal-protein complexes produced from cobalt-base and titanium base implant alloy degradation*. „Molecular and Cellular Biochemistry” 2001 nr 222 s. 127-136.
- Hepburn D.D.D., Burney M., Woski S.A., Vincent J.B., *The nutritionla supplement chromium picolinate generates oxidative DNA damage and peroxidized lipids in vivo*. „Polyhedron” 2003 nr 94 s. 86-93.
- Ho E.N.M., Chan G.H.M., Wan T.S.M., Curl P., Riggs Ch.M., Hurleyc M.J., Sykesd D., *Controlling the misuse of cobalt in horses*. „Drug Testing and Analysis” 2014 nr 7 s. 21-30.
- Huk O.L., Catelas I., Mwale F., Antoniou J., Zukor J., Petit A., *Induction of apoptosis and necrosis by metal ions in vitro*. „The Journal of Arthroplasty” 2004 nr 19 s. 8.
- Karovic O., Tonazzini I., Robola N., Edstrom E., Lovdahl C., Fredholm B.B., Dare E., *Toxic effects of cobalt in primary cultures of mouse astrocytes. Similarities with hypoxia and role of HIF-1 α* . „Biochemical Pharmacology” 2007 nr 73 s. 694-708.
- Król E., Krejpcio Z., *Chromium (III) proprionate complex supplementation improves carbohydrate metabolism in insulin-resistance rat model*. „Food and Chemical Toxicology” 2010 nr 48 s. 271-279.
- Lamson D.W., Plaza S.M., *The safety and efficacy of high-dose chromium*. „Alternative Medicine Review” 2002 nr 7 s. 3.
- Leggett R.W., *The biokinetics of inorganic cobalt in the human body*. „Science of the Total Environment” 2008 nr 289 s. 259-269.
- Lin H.-Y., Bumgardner J.D., *In vitro biocorrosion of Co-Cr-Mo implant alloy by macrophage cells*. „Journal of Orthopaedic Research” 2004 nr 22 s. 121-123.
- Lison D., *Hanbook on the Toxicology of metals*. Elsevier 2015 s. 743-763.
- Mobasheria A., Proudman Ch.J., *Cobalt chloride doping in racehorses: Concerns over a potentially lethal practice*. „The Veterinary Journal” 2015 nr 205 s. 335-338.
- Mou Y.H., Yang J.Y., Cui N., Wang J.M., Hou Y., Song S., Wu Ch.F., *Effects of cobalt chloride on nitric oxide and cytokines/chemokines production in microglia*. „International Immunopharmacology” 2012 nr 13 s. 120-125.
- O'Brien T.J., Ceryak S., Patierno S.R., *Complexities of chromium carcinogenesis: role of cellular response repair and recovery mechanisms*. „Mutation Research” 2003 nr 533 s. 3-36.
- Ortega R., Bresson C., Fraysse A., Sandre C., Devec G., Gombert C., Tabarant M., Bleuet P., Seznece H., Simionovici A., Morettoe P., Moulin Ch., *Cobalt distribution in keratinocyte cells indicates nuclear and perinuclear accumulation and interaction with magnesium and zinc homeostasis*. „Toxicology Letters” 2009 nr 188 s. 26-32.
- Osathanon T., Vivatbutsiri P., Sukarawan W., Sriarjce W., Pavasanta P., Sooampon S., *Cobalt chloride supplementation induces stem-cell marker expression and inhibits osteoblastic differentiation in human periodontal ligament cells*. „Archives of Oral Biology” 2015 nr 60 s. 29-36.
- Patel B., Favaro G., Inam F., Reece M.J., Angadji A., Bonfield W., Huang J., Edirisinghe M., *Cobalt-based orthopaedic alloys: Relationship between forming route, microstruc-*

- ture and tribological performance.* „Materials Science and Engineering C” 2012 nr 32 s. 1222-1229.
- Pechova A., Pavlata P., *Chromium as an essential nutrient: a review.* „Veterinarni Medicina” 2007 nr 52 (1) s. 1-18.
- Persson E., Henriksson J., Tjälve H., *Uptake of cobalt from the nasal mucosa into the brain via olfactory pathways in rats.* „Toxicology Letters” 2003 s. 19-27.
- Petit A., Mwale F., Tkaczyk C., Antoniou J., Zukor D.J., Huk O.L., *Induction of protein oxidation by cobalt and chromium ions in human U937 macrophages.* „Biomaterials” 2005 nr 26 s. 4416-4422.
- Saeed A.A., Sandhu M.A., Khilij M.S., Yousaf M.S., Rehman H.U., Tanvir Z.I., Ahmad T., *Effect of dietary chromium supplementation on muscle and bone mineral interaction in broiler chicken.* „Journal of Trace Elements in Medicine and Biology” 2017 nr 42 s. 25-29.
- Sapota A., Daragó A., *Kobalt i jego związki nieorganiczne – w przeliczeniu na Co.* „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” 2011 nr 3 (69) s. 47-94.
- Sargeant A., Goswami T., *Hip implants. Paper V: Physiological effects.* „Materials & Design” 2006 t. 27 s. 287-307.
- Simonsen L.O., Harbak H., Bennekou P., *Cobalt metabolism and toxicology. A brief update.* „Science of the Total Environment” 2012 nr 43 s. 210-215.
- Staniek H., Kostrzevska M., Poczekaj M., Arndt-Szyfterb K., Krejpcio Z., *Genotoxicity assessment of chromium (III) propionate complex in the rat model using the comet assay.* „Food and Chemical Toxicology” 2010 nr 48 s. 89-92.
- Tkaczyk C., Huk O.L., Mwale F., Antoniou J., Zukor D.J., Petit A., Tabrizian M., *The molecular structure of complexes formed by chromium or cobalt ions in simulated physiological fluids.* „Biomaterials” 2009 30: 460-467.
- Toxicological profile for chromium.* U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2012.
- Tvermoesa B.E., Finley B.L., Unicec K.M., Otani J.M., Paustenbach D.J., Galbraith D.A., *Cobalt whole blood concentrations in healthy adult male volunteers following two-weeks of ingesting a cobalt supplement.* „Food and Chemical Toxicology” 2013 nr 53 s. 417-424.
- Udousoro I., Ikem A., Akinbo O.T., *Content and daily intake of essential and potentially toxic elements from dietary supplements marketed in Nigeria.* „Journal of Food Composition and Analysis” 2011 nr 62 s. 23-34.
- Unice K.U., Monnot A.D., Gaffney S.H., Tvermoes B.E., Thuett K.A., Paustenbach D.J., Finley B.L., *Inorganic cobalt supplementation: Prediction of cobalt levels in whole blood and urine using a biokinetic model.* „Food and Chemical Toxicology” 2012 nr 50 s. 2456-2461.
- Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia.* Dz.U. 2020 poz. 2021.
- Vincent J.B., *Chromium: celebrating 50 years as an essential element?* „Royal Society of Chemistry” 2010 nr 39 s. 3787-3794.
- Vincent J.B., Neggers Y., *Roles of Chromium (III), Vanadium, and Zinc in sports nutrition.* „Nutrition and Enhanced Sports Performance” 2013 nr 46.

Streszczenie. Kobalt i chrom są wszechobecne w środowisku naturalnym. Metale te mogą również powstawać w wyniku działalności antropogenicznej z powodu zastosowania tych pierwiastków w różnych gałęziach przemysłu, co jest powodem zanieczyszczeń środowiska. Kobalt i chrom to mikroelementy stale obecne w ludzkim organizmie i jednocześnie niezbędne do jego prawidłowego funkcjonowania. Są podstawowymi komponentami implantów, coraz częściej stosowanymi w medycynie, jak również składnikami: preparatów, suplementów diety i napojów energetycznych zwiększających energię i wydolność organizmu. W czasie użytkowania biomateriały mogą ulegać korozji w środowisku płynów tkankowych, a uwolnione w ten sposób jony metali magazynowane przez dłuższy czas mogą być toksyczne dla ludzi. Ponadto w trakcie przyjmowania suplementów diety należy pamiętać o ograniczeniu spożycia napojów energetycznych, ponieważ przez jednoczesne ich przyjmowanie wprowadzamy do organizmu znaczne ilości zarówno chromu, jak i kobaltu. Niezwykle ważne jest, aby w trakcie terapii czy przyjmowania leków w chorobach przewlekłych nie zażywać takich suplementów bez konsultacji z lekarzem lub farmaceutą. Należy mieć świadomość, że ich beztroknie, niekontrolowane przyjmowanie nie jest obojętne, ponieważ między lekami a suplementami diety mogą zachodzić interakcje zakłócające przebieg terapii i szkodliwe dla organizmu.

Słowa kluczowe: mikroelementy, kobalt, chrom, zdrowie, suplementy diety, implanty, wydolność organizmu, napoje energetyczne.