

## BIOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THALLIUM

(oryg. Właściwości biologiczne i fizyko-chemiczne talu)

Bożena MUSZYŃSKA<sup>1</sup>, Jacek ROJOWSKI<sup>2</sup>, Konrad DOBOSZ<sup>1</sup>, Włodzimierz OPOKA<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Department of Pharmaceutical Botany, Faculty of Pharmacy, Jagiellonian University, Medical College, Medyczna 9 St., 30-688 Cracow, Poland
- <sup>2</sup> Department of Inorganic and Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Jagiellonian University, Medical College, Medyczna 9 St., 30-688 Cracow, Poland

### Abstract

Thallium is a toxic and quite common element in the environment, but it is poorly examined, despite the known toxic activity of this metal. The ionic radius of the element is similar to the ionic radius of potassium, and at the same valence ( $K^+$ ,  $Tl^+$ ) allows substitution of this element in the nervous system and muscle, which results in its toxic activity. Thallium interferes with many enzymes and also has a strong affinity to the group –SH. The most dangerous symptoms of poisoning come from central nervous system. This element is easily cumulated by many living organisms, which poses a serious threat. In the past, it was used in rodenticides, and despite the risks, in many countries is still used for this purpose due to its low production costs. Contamination of this element of industrial areas is associated with the steel industry and cement production, while residents of these areas are often not aware of the threat and grow in these area vegetables that can absorb thallium, and in particular here talking about the Brassicaceae family. This element in the environment should be constantly monitored. Its isotope such as <sup>201</sup>Tl (Thallium-201) has some significance in medicine, as radiopharmaceutical.

**Keywords:** Thallium, <sup>201</sup>Tl, elements, toxicity of Thallium

**Corresponding author:** Bożena Muszyńska, muchon@poczta.fm

### Wstęp

Tal pierwiastek toksyczny, jednak wykorzystywany przemysłowo oraz do produkcji pestycydów, stał się przyczyną skażenia tym pierwiastkiem, w niektórych krajach przede wszystkim gleby, wód, a nawet roślin i będących na kolejnych poziomach łańcucha pokarmowego zwierząt [1,2]. Wiele roślin posiada zdolność do kumulacji tego pierwiastka, a są to głównie gatunki z rodziny *Brassicaceae* (kapusta, rzodkiewka, kalafior, brokuły, rzepak), oraz *Apiaceae* (marchew, seler, pietruszka) [3]. Grzyby też pobierają ze środowiska ten metal [4]. Największą zawartość stwierdzono w niejadalnym gatunku workowca (*Ascomycota*) – *Peziza badia*: 5,5 mg/kg suchej masy (s.m.). W jadalnych gatunkach *Lactarius deliciosus* (mleczaj rydz) i *Suillus luteus* (maślak zwyczajny) stwierdzono odpowiednio 4,79 oraz 3,48 mg/kg s.m [3,4]. Obszary zanieczyszczenia tym pierwiastkiem występują w Polsce, Hiszpani i Chinach. We Francji znaleziono stężenie tego pierwiastka w glebie wynoszące aż 50 mg/kg [5-7]. Ze względu na toksyczność i zagrożenie dla ludzi rząd USA oraz WHO w 1973 roku wprowadziły dyrektywy odnośnie zakazu produkcji

i używania talu jako pestycydu oraz nawet ograniczono jego wykorzystanie do celów medycznych. Przesztano go stosować w chemioterapii gruźlicy, chorób skóry jak i w chorobach wenerycznych. W wielu krajach wprowadzono także zakaz używania talu do produkcji preparatów depilujących. Niestety w uboższych krajach nadal stosowane są rodentycydy (środki toksyczne służące do zwalczania szkodliwych gryzoni, dodawane do pokarmu lub substancji do opylania pól), które zawierają tal ( $Tl_2SO_4$ ), co związane jest z niskimi kosztami produkcji. W Polsce norma dla skażenia talem nie została do tej pory ustalona [1,2]. Wykorzystywany jest jako katalizator w syntezach organicznych oraz do produkcji szkieł, termometrów do pomiaru niskich temperatur. Pierwiastek ten ma znaczenie do produkcji szkieł o dużej gęstości i współczynniku załamania światła, soczewek optycznych, sztucznej biżuterii, wyposażenia elektrochemicznego i stopów odpornych na korozję. Inne ważne znaczenie tego pierwiastka związane jest z zastosowaniem go do scyntygrafii układu krwionośnego (<sup>201</sup>Tl) [8-11]. Pierwiastek ten powoduje silne skażenia gleby,

a ich najczęstszym źródłem jest hutnictwo rud cynku, ołowiu i żelaza oraz spalanie węgla, produkcja cementu i kwasu siarkowego(VI). Ponadto dostaje się on do środowiska naturalnego także ze zużytych akumulatorów oraz nawozów fosforowych. W XX wieku otrzymywanie talu było niewielkie – ok. 12-18 ton/rok, a w latach 90. około 10-15 ton. Ze względu na problemy środowiskowe obecnie nadal obserwowana jest spadkowa tendencja w pozyskiwaniu talu [12].

### Właściwości fizykochemiczne talu

Tal (łac. *Thallium* – z greckiego zielona gałązka, ponieważ sole talu barwią płomień na kolor zielony) odkrył w 1861 roku William Crookes wkrótce po odkryciach w dziedzinie spektroskopii. Pierwiastek ten jest srebrzystobiałym, bardzo miękkim metalem o gęstości wynoszącej 11,9 g/cm<sup>3</sup> i liczbie atomowej 81, temperaturze topnienia wynoszącej 303,5°C, występuje na I i III stopniu utlenienia. Zarówno Tl(I) i Tl(III) jest silnie toksyczny. Tal różni się od pozostałych metali III grupy przede wszystkim tym, że łatwo tworzy jednododatnie jony (TlCl). Potencjał standardowy Tl<sup>+</sup>/Tl<sup>0</sup> wynosi – 0,34V. Na powietrzu silnie ogrzewany ulega utlenieniu do mieszaniny tlenków. Z fluorem, fluorowodorem, kwasem solnym, azotowym(V) i siarkowym(VI) reaguje w temperaturze pokojowej. Silnie ogrzany wchodzi w reakcje z siarką i parą wodną. Jest odporny na działanie wodoru, azotu, ditlenku węgla i alkaliów. Jako pierwiastek jest on otrzymywany z siarczynu(VI) talu(I). Wielkość promienia jonu talu jest zbliżona do wielkości promienia potasu (Tl 170 pm, a K 164 pm) z czym związane jest jego toksyczne działanie na organizmy żywe [1-3].

### Występowanie w przyrodzie

Tal zajmuje w skorupie ziemskiej 67 miejsce pod względem rozpowszechnienia (procenty wagowe). W naturze nie znaleziono talu w formie pierwiastkowej, natomiast sole Tl(III) w stanie naturalnym występują jedynie w środowisku silnie kwaśnym, w niewielkich ilościach w minerałach towarzysząc takim metalom jak Zn, Pb, Fe, Cr i Cu. Pierwiastek ten stanowi domieszkę rud cynku, żelaza, miedzi i ołowiu. Towarzyszy jednak rzadko siarczkom tych metali. Minerale zawierające tal to są np.: lorandyt – TlAsS<sub>3</sub>, i krokesyt – (Cu,Tl,Ag)<sub>2</sub>Se czy huthinsanit – (Pb,Tl)<sub>2</sub>As<sub>3</sub>S<sub>9</sub>. Występują one jednak rzadko i nie mają znaczenia komercyjnego. Koncentracja talu w minerałach może osiągać

zawartość: w galenie (PbS) 1,4-20 mg/kg, w sfalerycie (ZnS) 8-45 mg/kg i pirycie (FeS<sub>2</sub>) 5-23 mg/kg [1-3]. Wprowadzanie talu do środowiska wiąże się głównie z działalnością hut (Pb, Zn, Cd, Fe), cementowni, zakładów produkcji kwasu siarkowego oraz elektrowni spalających węgiel kamienny. Obliczono, że wraz z różnego typu odpadami przemysłowymi rocznie na świecie do środowiska dostaje się nawet do 5000 ton talu, co jest znacznie większą wartością niż wynosi jego zapotrzebowanie przemysłowe. Na terenach nieskażonych zawartość tego pierwiastka wynosi 0,2-1,0 mg/kg, zwykle 0,2 mg/kg. Jednakże w pobliżu starych kopalń cynku czy cementowni zawartość była dużo większa i wynosiła odpowiednio 0,1-73 mg/kg, oraz 0,1-15 mg/kg. Średnią zawartość tego pierwiastka w węglu szacuje się na 0,05 mg/kg, natomiast w pyłach lotnych z cementowni wartość ta może wynosić nawet ponad 400 mg/kg [6,7,12].

### Bioakumulacja talu

U ssaków pierwiastek ten odkłada się głównie w nerkach (nawet do dziesięciu razy więcej niż w innych tkankach). Ponadto w mięśniu sercowym, gruczołach ślinowych, jądrach, mięśniach szkieletowych, tarczycy i nadnerczach. Może on się odkładać także we włosach i kościach, choć niektórzy podkreślają, że stężenie talu u osób zatrutych było również duże w nerkach i mięśniu sercowym [12,13]. Poziom we krwi, moczu i włosach może być wskaźnikiem intoksykacji tym pierwiastkiem. Stężenie powyżej 50 mg Tl/L w moczu powinno być traktowane, jako bardzo niepokojące, a 300 mg Tl/L jako krytyczny limit intoksykacji. W Polsce, dużo wyższe od naturalnych, stężenia talu stwierdzono we włosach pracowników fabryki akumulatorów. Wydalanie talu odbywa się głównie z moczem oraz kałem, w mniejszym stopniu ze łzami i śliną, jest to jednak proces powolny. Naturalna zawartość Tl w roślinach wynosi: w warzywach od 0,02 do 0,3 mg/kg, w trawach od 0,02 do 0,6 mg/kg [13-15].

Z roślin największą zdolność do kumulacji talu wykazują rośliny z rodziny *Brassicaceae* takie jak kapusta, rzepa, kalarepa, jarmuż, przez co nie są one zalecane do hodowli na terenach zagrożonych. Przy czym stężenie talu w kapustach znacznie wzrasta wraz z obniżaniem pH [14,15].

Stwierdzono akumulację tego pierwiastka przez grzyby jadalne. Podgrzybek brunatny (*Boletus badius*) jest jednym z najpopularniejszych w Polsce grzybów jadalnych, posiadający

aromat podobny do prawdziwka. Grzyby a więc także podgrzybek mają zdolność do remediacji, dzięki czemu mogą pochłaniać metale ciężkie i inne toksyny w ich ścianie chitynowej [15, 17, 18].

### Izotopy talu

Tal ma 37 izotopów o masach od 176 do 212 [1]. W 1975 roku wprowadzono radioaktywny  $^{201}\text{Tl}$  i do dzisiaj jest podstawowym radiofarmaceutykiem w celu nieinwazyjnej scyntygrafii perfuzji mięśnia sercowego. Dzięki szybkiemu wychytowi przez tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną serca w wyniku działania pompy sodowo-potasowej (ze względu na to, że tal i potas mają podobny wymiar promienia jonu), jest po ok. minucie wychwytywany z krwi i osiąga maksimum w mitochondriach. Ze względu na ten sam mechanizm jest też stosowany do znakowania guzów złośliwych: mózgu (zwłaszcza po ich wznowach) oraz guzach płuc [8-11].

Izotop  $^{204}\text{Tl}$ , który jest źródłem promieniowania  $\beta$ , jest wykorzystywany między innymi do pomiarów grubości papieru [1].

### Skażenie talem

Tal jest często emitowany w procesach produkcji cementu, hutnictwie rud cynku i ołowiu jak i przez stosowanie trutek na gryzonie. W USA przyjęto, że stężenie talu w wodzie pitnej nie powinno przekraczać 2  $\mu\text{g/L}$ , natomiast w Polsce żadna norma nie została ustalona [8]. Skażenie tym pierwiastkiem występować może w wielu miejscach w tym także w Polsce, czego przykładem są okolice Bukowna koło Olkusza oraz Szopienic. Źródłem skażenia był tam kombinat Górniczo-Hutniczy „Bolesław”, natomiast informację o skażeniu uzyskano przez badanie sterówek srok przy pomocy metody ICP-MS. Wyniki pochodziły z lat 1989-1993, gdyż wtedy sroki były odławiane [12]. Wyniki badań przeprowadzonych na uniwersytecie w Graz, wskazywały na wysoki poziom talu spowodowany w trakcie przetwarzania rud Zn-Pb, na skutek emisji pyłów z kombinatu oraz w wyniku działania trutek z talem na gryzonie i rozprzestrzeniania martwych zwierząt przez ptaki wszystkich szeregów z rodziny krukowate, a zwłaszcza sroki. Innym dowodem na skażenie tego miejsca talem było schwytywanie z tego obszaru kilku myszerek zarosłowych (znanych jako myszy zarosłowe) z cechami łysienia, przy czym ubytki były głównie w tylnej części grzbietu i u nasady ogona. U gryzoni stężenie talu w nerkach wynosiło od 2,02 do

33,33 mg/kg s.m. zaś u pozostałych były poniżej normy, natomiast w wątrobie były wysokie dla wszystkich osobników. Skażenie na obszarach dalekich od osiedli ludzkich wskazywało na to, że rodentycydy nie mogą być główną przyczyną skażenia w tym rejonie [12]. Ze względu na specyficznie zbudowaną skórę tzn. wilgotną i silnie ukrwioną oraz ze względu na zatrzymywanie mocznika we krwi, a co za tym idzie zdolność do pobierania wody z otoczenia wraz z substancjami w niej rozpuszczonymi, dużą zawartość talu oznaczano także w organizmach płazów.

Stężenia talu w rejonach, w których nie ma jego zwiększonej emisji wynoszą od 0,03 do 0,1 mg/kg s.m. Natomiast znaczna część warzyw z tego rejonu, zwłaszcza liście, korzenie pietruszki, marchwi czy buraka zawierały od 1,2 do 3,7 mg/kg s.m. talu. Wskazywało to na poważne zagrożenie dla ludzi, gdyż Niemiecki Federalny Urząd ds. Zdrowia uznał 0,1 mg/kg s.m. za maksymalną dopuszczalną dawkę talu. Natomiast według amerykańskiej organizacji OSHA (ang. Occupational Safety and Health Administration) dopuszczalna łączna dawka dziennego poboru talu (ADI) wraz z płynami, pożywieniem i wdychanym powietrzem nie powinna przekraczać 15,4  $\mu\text{g}$ . Oznacza to, że spożycie zaledwie kilku gramów pietruszki z tego rejonu oznaczało już przekroczenie tej ilości. Stężenie w próbkach owoców z tego rejonu stwierdzono na poziomie poniżej progów detekcji. Badając okoliczne strumienie największe stężenie oznaczano w próbkach osadu ze strumienia, który płynie przez rejon huty wynoszące 146,57 mg Tl/kg. Natomiast w aluwiach Białej Przemysły dochodziło ono do 25,23 mg/kg. Badania korzeni roślin z tego rejonu wykazały dla np. babki wąskolistnej (*Plantago lanceolata*) – 45 mg/kg s.m czy goździk kartuzek (*Dianthus carthusianorum*) – 9 mg Tl/kg s.m. (ten ostatni skumulował w pędzie 13 mg Tl/kg s.m). Wyniki te świadczą o wysokim skażeniu okolic Bukowna oraz o tym, że powinny być one monitorowane i kontrolowane ze względu na zdrowie mieszkańców tego terenu. Dotyczy to także innych skażonych rejonów, natomiast badaniami powinno objąć się zarówno czynniki biotyczne jak i abiotyczne, w tym także składniki żywności czy tkanki ludzkie [12,14].

Powinny zostać też wyeliminowane z uprawy rośliny, które szczególnie kumulują ten pierwiastek.

Pomimo swojej wysokiej toksyczności jest pierwiastkiem bardzo rzadko badanym w

Polsce. Badanie gleb na zawartość talu wykazało odpowiednio 0,3; 1,5 oraz 3,3 mg/kg, w próbkach zebranych z obszarów o niskich, średnich i wysokich poziomach talu. Akumulacja tego pierwiastka przez rośliny z gleb o wysokiej zawartości może być poważnym zagrożeniem dla ludzi [12,14].

Badanie zdolności akumulacji talu w owocnikach grzybów w celu oszacowania możliwości remediacji środowiska przeprowadzono w Katedrze Botaniki Farmaceutycznej UJ CM. Do badań wykorzystano owocniki podgrzybka brunatnego (*Boletus badius*) zebrane w latach 2011-2013 w lasach mieszanych i świerkowych w południowej Polsce [19,20]. W ramach tej pracy kultury *in vitro* zostały wprowadzone na zmodyfikowanym podłożu według Oddoux, z dodatkiem talu o wartościach 0,5 i 2 mg/L w postaci azotanu(V) talu [4,21]. Po 4 tygodniach uzyskano przyrost masy wynoszący 8,5 g s.m./L pożywki. Zawartość talu oznaczana była metodą impulsowej różnicowej anodowej voltamperometrii strippingowej – DP ASV. Natomiast stężenie było określane metodą wielokrotnego dodatku wzorca [22]. Zawartość talu w pożywce zawierającej 0,5 mg/L oznaczono tal w zakresie od 2,37 do 18,04 ppm, natomiast w pożywce zawierającej 2 mg/L wartość ta wzrosła aż do zakresu od 27,52 do 91,97 ppm suchej biomasy, co wyraźnie pokazuje, że ilość zabsorbowanego talu wzrasta wraz ze stężeniem w podłożu [4].

### Zatrucie talem

Doustna dawka śmiertelna mieści się w przedziale 6-40 mg/kg masy ciała. Najczęściej 10-15 mg/kg. Pierwiastek ten, mimo, że jest silnie toksyczny jest tylko sporadycznie badany, mimo iż według wielu może być on groźniejszy dla żywych organizmów niż kadm, rtęć czy ołów. Stosowanie tego pierwiastka, jako składnika trutki na szczyry spowodowało silne skażenie wielu rejonów przez ten pierwiastek. Pierwiastek ten ulega akumulacji zarówno w tkankach roślin jak i zwierząt. Wchłaniany jest łatwo przez drogi oddechowe, skórę i przewód pokarmowy, przez co wzrasta zagrożenie związane z jego silną toksycznością. Tal jest silnym inhibitorem wielu enzymów takich jak np. kinazy, uszkadza także rybosomy. Wykazuje silne powinowactwo do grup – SH, przez co następuje zmiana trzeciorzędowej struktury białek, na skutek zniszczenia mostków disiarczkowych. Zaburza pracę mitochondriów, hydrolaz, oksydoreduktaz i transferaz [1,23]. Zatrucie tym

pierwiastkiem jest związane z dysfunkcją Na/K-ATP-azy w układzie nerwowym i pokarmowym, a przyczyną tego jest podstawianie się talu w miejsce potasu w reakcjach biochemicznych organizmu. Związane jest to z podobnym promieniem jonów talu i potasu. W początkowym etapie zatrucia nie następują żadne charakterystyczne objawy. W moczu pojawia się białko a na dżąsłach powstaje ciemny rąbek z osadzającego się siarczku talu. Zmiany następują w obrazie krwi, pierwiastek pojawia się we krwi, włosach moczu i kale, prowadząc do ciężkich uszkodzeń a nawet śmierci. Wraz z obniżającą się sprawnością mięśni pojawia się paraliż mięśni ocznych, czemu towarzyszy opadanie powiek, oraz mięśni twarzowych, a w dalszej konsekwencji śpiączka a nawet śmierć [3]. Skutkuje to nerwowością, paraliżem twarzy, mięśni oka, powiek, ponadto bezsennością, halucynacjami, częstoskurczem i wzrostem ciśnienia krwi. Jednym z wczesnych objawów ze strony układu nerwowego są bóle i zaburzenia czucia w dolnych kończynach, jak i silniejsze reakcje na bodźce skórne. Efektem zaburzeń układu autonomicznego jest stopniowe przyspieszanie akcji serca prowadzące do tachykardii, wzrostu ciśnienia krwi, a także do obniżenia poziomu hemoglobiny we krwi, spadku liczby erytrocytów, limfocytów i płytek krwi [23,24]. Pierwiastek ten odkłada się w organizmie człowieka przede wszystkim w wątrobie, mózgu i włosach. Utrudnienie tworzenia się połączeń S-S między resztami cysteinowymi w keratynie, prowadzi do zahamowania procesu keratynizacji. Cechami tego działania są linie na paznokciach (tzw. linie Mee), oraz czarna pigmentacja korzeni włosów (które są cechami diagnostycznymi zatrucia talem) [3,23]. Niszczy on także gruczoły potowe, co powoduje nadmierne pocenie się, natomiast skóra przybiera łuskowatą suchą postać. Kumulacja tego pierwiastka ma negatywny wpływ na rozwój ssaków, co jest związane z zaburzeniem rozrodu. Zmniejsza on ruchliwość plemników, uszkadza jądra, zmniejsza popęd płciowy i powoduje impotencję [3,23]. Mimo że tal przenika przez łożysko, nie jest do końca znane jego działanie teratogenne. Nie stwierdza się wad wrodzonych u potomstwa, ale znacznie zmniejsza się ciężar płodu, co związane jest z nieprawidłowościami kostnienia, szczególnie u ptaków.

Jak już wspomniano tal może dostawać się do organizmu wieloma drogami. Zatrucia talem u ludzi najczęściej powstają u osób zawodowo

związanych z gałęziami przemysłu w których używa się tego pierwiastka (lub występuje on jako zanieczyszczenie w procesie produkcyjnym) albo w wyniku narażenia środowiskowego [12,14,25] Zatrucia mogą również wystąpić przypadkowo wśród ludności krajów rozwijających się, w których nadal stosuje się ten metal jako rodentycyd [26] lub mogą być spowodowane celowym działaniem człowieka (w celach samobójczych lub przestępczych) [27]. Oprócz uniwersalnego dla zatrucia postępowania jeśli narażenie nastąpiło drogą pokarmową, pierwsza pomoc w zatruciach talem polega na wywołaniu wymiotów (u osób przytomnych, jeśli od narażenia nie minęło więcej niż 30-60 minut), podtrzymywaniu funkcji życiowych oraz jak najszybszym zapewnieniu zatrutemu pomocy w specjalistycznym ośrodku toksykologicznym [28]. Amerykańska agencja Food and Drug Administration (FDA) zaleca błękit pruski jako leczenie z wyboru w zatruciach talem – podawanym doustnie w dawce początkowej 3 g natychmiast po ekspozycji, a następnie w dawce dobowej 250 mg/kg m.c. podzielonej na cztery części [29,30,31]. Leczenie doustne błękitem pruskim powinno być kontynuowane do spadku stężenia talu w moczu do wartości dopuszczalnej (0-5 µg/L). Leczenie błękitem pruskim jest bezpieczne u większości pacjentów [32]. Po zatruciu pokarmowym lub wziewnym, jeśli nie można zastosować błękitu pruskiego zaleca się wielokrotne podawanie zawiesiny węgla aktywowanego (240 mL wody/30 g węgla aktywowanego). Zwyczajowo w dawce 25 do 100 g u osób dorosłych i młodzieży lub 25 do 50 g u dzieci (1-12 lat), oraz 1 g/kg m.c. u niemowląt poniżej pierwszego roku życia [28]. W zatruciach talem FDA nie poleca postępowania z użyciem EDTA, dimerkaptolu i innych substancji chelatujących, tak samo jak wymuszonej diurezy, stosowania N-acetylocysteiny lub l-cysteiny. Zastosowanie hemodializy lub hemoperfuzji jest dyskusyjne – może być pomocne jeśli nie zdążyła nastąpić biodystrybucja talu do tkanek [28,33,34].

### Wykrywanie skażenia talem

Ze względu na wysoką toksyczność tego pierwiastka i występujące zazwyczaj niskie stężenia talu, dobór metody jego oznaczania w materiałach biologicznych i próbkach środowiskowych ma istotne znaczenie. Najbardziej czułyimi metodami oznaczenia talu są spektrofotometria w nadfiolecie i światło widzialnym (UV VIS), Absorpcyjna Spektrometria Atomowa

(ASA), spektrometria mas (głównie spektrometria mas ze sprężoną plazmą ICP-MS) oraz metody voltamperometryczne (anodowa i katodowa voltamperometria strippingowa ASV i CSV) [35,36]. Metody tandemowe takie jak wysokosprawna chromatografia cieczowa lub chromatografia cieczowa sprężona ze spektrometrią masową (HPLC/LC-ICP-MS) – pozwalają na specjację tego pierwiastka oraz oznaczenie talu równoległe z innymi toksycznymi pierwiastkami takimi jak ołów, kadm, arsen czy antymon [36].

### Podsumowanie

Tal, mimo, że jest pierwiastkiem toksycznym i nadal konieczne są badania nad jego remediacją ze środowiska, a w tym przede wszystkim z gleby (możliwość wykorzystania owocników grzybów), to jednak niektóre jego izotopy mają zastosowanie w medycynie, diagnostyce chorób serca i wybranych guzów złośliwych.

### Resumo

Talio estas toksikema kemia elemento sufiĉe facile trovebla en la natura medio, sed malgraŭ tio, ke danĝeraj efikoj de ĝia toksika influo estas bone konataj ĝi mem ne estas precize esplrita. La diametro de metaljono de tiu ĉi elemento similas al diametro de metaljonoj de kalio, kaj la sama valeco (K<sup>+</sup>, Tl<sup>+</sup>) ebligas anstataŭigi tiun ĉi elementon en la nerva kaj muskola sistemoj, de kie rezultas ĝia toksika efiko. Malfunkciigas multajn enzimojn kaj havas fortan emon al la tiolaj kemiaj grupoj – SH. La plej danĝeraj estas simptomoj flanke de la centra nerva sistemo. Tiu ĉi kemia elemento estas facile absorбата de multaj vivantaj organismoj, pro tio kaŭzas seriozan damaĝon. Antaŭe estis aplikata kiel veneno kontraŭ ratoj, sed nun malgraŭ danĝero en multaj landoj estas plu eluzita por tiu ĉi celo pro malgrandaj kostoj de produktado de venenoj enhavantajn talion. Toksigado per tiu ĉi kemia elemento de industria terenoj estas kunligita precipe kun fandindustrio, produktado de cemento kaj loĝantaro de tiuj ĉi regionoj ofte ne estas konscia pri danĝero kulturante sur tiu ĉi tereno legomojn, kiuj povas absorbi talion, precipe tio rilatas al la familio *Brassicaceae*. Tiun ĉi elementon oni devas senĉese kontroli en la natura medio. Unu el izotopoj de la talio nome <sup>201</sup>Tl estas aplikata en medicino kiel radiofarmaceutikaĵo.

### Piŝmiennictwo

1. Thallium Research. United States Department of Energy. Retrieved 2010.



2. Chemical fact sheet – Thallium. Spectrum Laboratories. 2001. Retrieved 2008.
3. Opoka, W.; Muszyńska, B.; Rutkowska, A.; Schlegel-Zawadzka, M.; Płonka M.; Wydawnictwo ZOZ Ośrodka UMEA Shinoda-Kuracejo, Kraków, 2015.
4. Zembrzusi W.; Muszyńska B.; Karbowska B.; Zembrzaska J.; Dobosz K.; Opoka W.; Elektrochemia stosowana. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT. 2015, 235-240.
5. Marqués, M. J.; Martínez-Conde, E.; Rovira, J. V.; Ordóñez, S.; Environ. Geol. 2001, 40, 1125-1137.
6. Zhang, G. P.; Liu, C.Q.; Yang, Y.G.; Wu, P.; Water Air Soil Poll., 2004, 155, 51-62.
7. Xiao,T.; Guha, J.; Boyle, D.; Liu, C.Q.; Chen, J.; Sci. Total Environ. 2004, 318, 223-244.
8. Lebowitz, E.; Greene, M.W.; Fairchild, R.; J. Nucl. Med. 1975; 16, 151-155.
9. Weich, H.F.; Strauss, H.W.; Pitt B.; Circulation.1977; 56, 188-191.
10. Elgazzar, A.H.; et al. Nucl. Med. Comm. 1993, 14, 96-105.
11. Sjöholm, H.; Elmqvist, D.; Rehnrona, S.; Rosen, I.; Salford, L. G.; Acta Neurol. Scand. 1995, 91, 66-70.
12. Dmowski, K.; Kozakiewicz, A.; Kozakiewicz, M.; Kosmos. 2002, 51, 151-163
13. McCall, D.; Zimmer, L.J.; Katz, A.M.; Circ. Res. 1985, 56, 370-376.
14. Dmowski, K.; Badurek, M.; Acta Biol Cracov (series Botanica). 2002, 44, 57-61
15. Lukaszewski, Z.; Jakubowska, M.; Zembrzusi, W.; Karbowska, B.; Pasieczna, A.; Electroanalysis. 2010, 22, 1963-1966.
16. Muszyńska, B.; Wyd. ZOZ Ośrodku Umea Shinoda-Kuracejo, Kraków 2012.
17. Kalač, P.; Food Chem. 2010, 122, 2-15.
18. Adamiak, E. A.; Kalembsa, S.; Kuziemska, B.; Acta Agrophysica. 2013, 20, 7-16.
19. Reczyński, W.; Muszyńska, B.; Opoka W.; Smalec A.; Sułkowska-Ziaja K.; Biol Trace Elem Res. 2013, 153, 355-362.
20. Piech, R.; Szłózarczyk, M.; Opoka, W.; Paczosa-Bator, Baś, B.; Krzek J.; Muszyńska B.; Int J Environ Anal Chem. 2014, 94, 269-276.
21. Oddoux, L.; (ed.). Imprimerie de Trevoux, Lyon. 1957.
22. Zając, M.; Muszyńska, B.; Opoka, W.; Farm Pol. 2014, 70, 336-344.
23. Emsley, J.; Thallium. Oxford University. 2006.
24. Hassan, I. M.;Sahweil, A.; et al. Clin. Nucl. Med. 1989, 14, 333-340.
25. LaDou, J.; Metals. Occupational and Environmental Medicine. 2nd ed. 1997, 429-430.
26. Wang, C.; Chen, Y.; Liu, J.; Wang, J.; Li, X.; Zhang, Y.; et al. Ecotoxicol Environ Saf. 2013, 90, 76-81.
27. Inoue, N.; Japan J Foren Toxicol, 1999, 17, 92-95.
28. Mercurio, M.; Hoffman, R.S.; Thallium. Goldfrank's Toxicologic Emergencies. 9th ed. 2011. 1326-1333.
29. Gresham, C.; et all.; Thallium Toxicity Treatment & Management Medscape Reference Guide (accessed 2015.08.22)
30. Hoffman, R.S.; Toxicol Rev. 2003. 22, 29-40.
31. Miller, M.A.; Patel, M.M.; Coon, T.; Hosp Pharm. 2005, 40, 796-797.
32. Yang, Y.; Brownell, C.; Sadrieh, N.; et al. Clin Toxicol (Phila). 2007, 45, 776-781.
33. Misra, U.K.; Kalita, J.; Yadav, R.K.; et al. Postgrad Med J. 2003, 79, 103-1055.
34. Huang, C.; Zhang, X.; Li, G.; Jiang, Y.; Wang, Q.; Tian, R.; Hum Exp Toxicol. 2014, 33, 554-558.
35. Das, A.K.; Dutta, M.; Cervera, M.L.; de la Guardia, M.; Microchem. J. 2007, 86, 2-8.
36. Szopa, S.; Michalski, R.; Spectroscopy 2015, 30 2.