

SELÉN V KRVNOM SÉRE ZDRAVEJ EURÓPSKEJ POPULÁCIE

INGRID HAGAROVÁ a LUCIA NEMČEK

Ústav laboratórneho výskumu geomateriálov, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava
ingrid.hagarova@uniba.sk

Došlo 21.5.19, prijaté 22.11.19.

Kľúčové slová: selén, spektrometrické metódy, krvné sérum, zdravá európska populácia

Obsah

1. Úvod
2. Spektrometrické metódy využívané pri kvantifikácii selénu v biologických tekutinách
3. Najčastejšie analyzované biologické tekutiny pri zisťovaní koncentrácie selénu v ľudskom tele
4. Prehľad literatúry venovanej selénu
5. Selén v krvnom sére zdravej európskej populácie
6. Záver

1. Úvod

Pri kvantifikácii (ultra)stopových prvkov v biologických tekutinách je zvýšená pozornosť venovaná prvkom toxickým a potenciálne toxickým. Mnohé z nich totiž majú schopnosť kumulovať sa v organizme a dlhotrvajúca expozícia aj v prípade nízkych koncentrácií môže viesť až k chronickým somatickým ochoreniam rôznych ľudských orgánov. Nemenej dôležité je brať do úvahy aj riziko deficitu esenciálnych prvkov, ktoré je spojené s poruchami biochemických a fyziologických procesov. Z uvedeného je zrejmé, že spoľahlivá kvantifikácia prvkov v biologických tekutinách je nevyhnutná. Súčasťou analýzy býva aj stanovenie optimálneho koncentračného rozsahu pre konkrétny stopový prvok, ktoré môže napomôcť pri riešení problémov súvisiacich s deficitom daného prvku, určitou nerovnováhou alebo intoxikáciou. Práve selén je jedným zo stopových prvkov, ktorý je pre ľudský organizmus pri nízkych koncentráciách nepostrádateľný, ale pri vysokých koncentráciách môže pôsobiť toxicky. Hranice medzi deficitom, normálnou a toxickou úrovňou sú relatívne úzke, a práve preto je jeho spoľahlivá kvantifikácia veľmi dôležitá.

Zo zlúčenín ako aj z procesov, v ktorých selén zohráva dôležitú úlohu, možno uviesť nasledovné.

Selén možno považovať za základnú zložku niektorých enzýmov vrátane glutatiónpoxidáz (GSH-Px), čo je skupina enzýmov zabraňujúcich oxidácii hemoglobínu a hemolyze červených krviniek peroxidom vodíka tým, že katalyzuje jeho redukciu na vodu¹. Selén je tiež prítomný v selenoproteíne P, čo je extracelulárny glykoproteín bohatý na selenocystein². Je to jeden z 25 selenoproteínov doteraz identifikovaných v ľudskom tele³, ktorý sprostredkova transport selénu z pečene do ostatných orgánov⁴, a na ktorý pripadá až 40–60 % selénu nachádzajúceho sa v plazme^{5,6}. Hoci jeho úplná funkcia doteraz nebola v plnom rozsahu objasnená, je známe, že má tiež antioxidantné vlastnosti a poskytuje tak ochranu pred škodlivými účinkami reaktívnych foriem kyslíka (ROS); tvorba ROS radikálov indukuje stály oxidatívny stres, ktorý prispieva k vzniku rakoviny^{3,7}. Ďalšou dôležitou funkciou zlúčenín selénu sú ich katalytické účinky pri reakciách intermediálnych metabolizmov⁸. Zlúčeniny selénu slúžia aj ako detoxikačné činidlá reagujúce s toxickými kovmi (Hg, Cd, Pb, As, ale aj mnohými ďalšími) za vzniku nerozpustných selenidov týchto kovov, čím dochádza k zabráneniu otravy organizmu⁹. Okrem uvedených funkcií je selén jednou zo zložiek detoxikačného systému, ktorý čistí organizmus od organických zlúčenín uvoľňovaných počas infekčných ochorení, traumy a stresu a podieľa sa aj na udržiavaní homeostázy¹⁰.

V prípade vysokých koncentrácií však selén pôsobí toxicky. Akútna toxicita bola pozorovaná u experimentálnych zvierat¹¹ a bolo tiež popísaných niekoľko prípadov akútnej otravy selénom aj u človeka¹². Podľa Rady pre potraviny a výživu Národnej akadémie vied Spojených štátov amerických (Food and Nutrition Board of the National Research Council; National Academy of Sciences) je súčasná odporúčaná denná dávka príjmu selénu 55 µg pre obe pohlavia, pričom horná hranica denného príjmu bola stanovená na 400 µg pre dospelého jedinca¹³. Optimum by podľa prepočtu mala predstavovať dávka cca 1 µg selénu na kilogram hmotnosti. Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) stanovila najvyššiu limitnú koncentráciu selénu v pitnej vode na 10 µg l⁻¹ (cit.¹⁴); uvedená limitná koncentrácia platí aj pre Slovensko a Českú republiku.

2. Spektrometrické metódy využívané pri kvantifikácii selénu v biologických tekutinách

Na základe zmienených skutočností je zrejmé, že spoľahlivá kvantifikácia selénu v biologických tekutinách si vyžaduje použitie citlivých a presných analytických

metód. Z mnohých detekčných metód vhodných na stanovenie (ultra)stopových koncentrácií selénu sú často využívané metódy spektrometrické, a to najmä atómová absorpčná spektrometria s technikou generovania hydridov (HG-AAS)¹⁵, atómová absorpčná spektrometria s elektrotermickou atomizáciou (ETAAS)¹⁶, atómová fluorescenčná spektrometria s technikou generovania hydridov (HG-AFS)¹⁷ a hmotnostná spektrometria s indukčne viazanou plazmou (ICP-MS)¹⁸. Uvedené príklady len ilustrujú široké využitie spektrometrických metód, čo je zdokumentované v mnohých vedeckých databázach narastajúcim počtom publikovaných článkov a kníh venovaných tejto problematike.

Keďže každá z uvedených metód má svoje pre aj proti, výber tej vhodnej závisí od konkrétneho riešeného problému ako aj od prístrojového vybavenia, s ktorým klinické laboratórium disponuje¹⁹. Dôležitú úlohu pri výbere zohrávajú taktiež analytické parametre, ako je medza stanovenia, presnosť a lineárny rozsah, spolu s predpokladanými možnými interferenciami. V prípade zisťovania deficitných stavov by mala byť medza stanovenia použitej detekčnej metódy pre sledovaný analyt nižšia ako je najnižší referenčný limit.

Z metód uvedených vyššie patrí jednoznačne k najcitlivejším ICP-MS, pri ktorej sa často uvádzajú inštrumentálne medze dôkazu medzi 0,01–0,1 $\mu\text{g l}^{-1}$; výhodou tejto metódy je aj rýchlosť analýzy a lineárny rozsah, ktorý sa uvádza minimálne 5 rádo¹⁹. Nevýhodou zostáva cena, jednak nadobúdacia cena spektrometra ako aj cena za jednu analýzu. Inštrumentálne medze dôkazu pre HG-AAS a HG-AFS sa uvádzajú 0,1 $\mu\text{g l}^{-1}$, tu je však lineárny rozsah 2–3 rády^{17,19}. Lineárny rozsah maximálne 2 rády je bežný pri použití ETAAS, kde sa inštrumentálne medze dôkazu pohybujú často v jednotkách $\mu\text{g l}^{-1}$. Medze dôkazu medzi 0,3–6,0 $\mu\text{g l}^{-1}$ možno nájsť v prehľade venovanom využitiu ETAAS pri analýze rôznych biologických tekutín²¹. Nevýhodou tejto metódy je aj čas analýzy. No aj napriek tomu je v prípade monoprvkovej analýzy a pri snahe upravovať vzorku pred samotným stanovením iba minimálne určite najvhodnejšou voľbou ETAAS. V tomto prípade je časť biologickej matrice odstránená v priebehu teplotného programu a častokrát plne postačuje jednoduché nariadenie vzorky bez potreby predchádzajúceho rozkladu, čo zároveň znižuje riziko kontaminácie ako aj riziko strát analytu pred samotným stanovením²⁰. Pozitívum predstavujú aj malé objemy vzoriek potrebné na injektovanie do spektrometra, vysoká selektivita a akceptovateľné náklady²¹.

3. Najčastejšie analyzované biologické tekutiny pri zisťovaní koncentrácie selénu v ľudskom tele

Ak je záujem zameraný na určenie koncentrácie konkrétneho stopového prvku v ľudskom tele, častokrát sú v takýchto prípadoch analyzované biologické tekutiny ako krv, krvná plazma alebo krvné sérum, ktoré predstavujú komplexnú maticu.

Krv sa skladá z plazmy a krvných teliesok (erytrocyty, trombocyty a leukocyty). Krvná plazma obsahuje vodu (viac ako 90 %) a rozpustené organické a anorganické zlúčeniny. Hlavnými organickými zložkami sú proteíny, ako albumíny, globulíny a fibrinogén. Z anorganických solí sú to predovšetkým chlorid sodný a uhličitan sodný, ale aj iné anorganické soli (asi 1 %). Súčasťou krvnej plazmy sú taktiež živiny, hormóny, vitamíny, enzýmy, medzi produkty ako aj konečné produkty metabolizmu, ktoré môžu vytvárať silné komplexy s mnohými prvkami. Krvné sérum sa svojim zložením podobá plazme, neobsahuje však fibrinogén a ďalšie zrážacie faktory krvi.

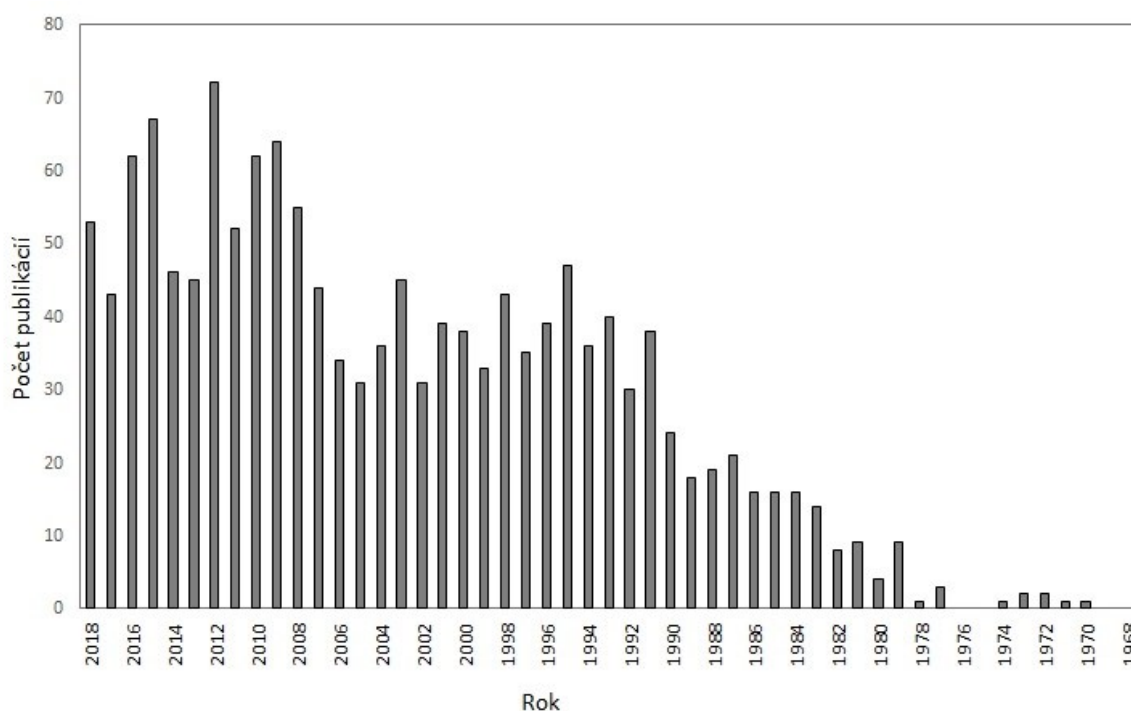
V snahe eliminovať negatívny vplyv biologickej matrice na stanovenie možno vzorku buď jednoducho zriediť alebo ju možno pred samotnou analýzou rozložiť. V prípade prvej možnosti je potrebné zvoliť určitý kompromis medzi stupňom riedenia matrice a citlivosťou použitej detekčnej metódy, najmä pri stanovení (ultra)stopových prvkov. Ak sa použije rozklad, organická matica sa odstráni alebo premení na jednoduchšie anorganické zlúčeniny. Biologické vzorky sa najčastejšie rozkladajú zmesou kyselín, najmä kyselinou dusičnou v kombinácii s kyselinou chloristou za zvýšenej teploty²². Ďalšou často používanou kombináciou je zmes kyseliny dusičnej a peroxidu vodíka²³. Takýto typ rozkladu sa obvykle robí v uzavretých nádobách za zvýšenej tlaku s využitím mikrovlnného žiarenia.

Koncentrácia selénu v organizme sa najčastejšie zisťuje jej stanovením v krvi, krvnej plazme, krvnom sére, erytrocytoch, krvných doštičkách, alebo stanovením aktivity GSH-Px v krvi alebo krvných doštičkách. Koncentrácie selénu v krvnom sére alebo plazme hovoria o množstve nedávno prijatom v potrave, zatiaľ čo erytrocyty kumulujú selén a pravdepodobne odzrkadľujú obsah selénu, ktorý bol prijatý do organizmu počas 120 dní (cit.¹).

Z uvedených biologických tekutín patria k najčastejšie analyzovaným krvná plazma a krvné sérum. Koncentrácie selénu stanovené vo vzorkách krvného séra zdravej populácie niektorých európskych krajín budú uvedené v nasledujúcom texte.

4. Prehľad literatúry venovanej selénu

Vedecký záujem o selén má nepochybne narastajúcu tendenciu, čo potvrdzuje aj počet publikácií zaregistrovaných v databáze „ISI Web of Knowledge“ (viď obr. 1). Časový úsek zobrazený na obr. 1 možno pomyselne rozdeliť na štyri časti, ktoré zaznamenávajú určitý skokový nárast počtu štúdií. Zatiaľ čo v prvých desiatich rokoch sledovaného obdobia bola publikovaná v priemere jedna práca ročne, v ďalšej dekáde to bolo priemerné 14 prác za rok. V treťom časovom úseku, ktorý predstavuje nasledujúcich 20 rokov, možno v priemere nájsť 38 publikácií za rok a posledné desaťrocie sa vyznačuje publikačnou aktivitou predstavujúcou približne 57 prác za rok. V tomto prípade bolo hľadaným kľúčovým slovným spojením „selenium status“ a celkový počet publikácií dosiahol



Obr. 1. Počty publikácií venované problematike selénu za obdobie rokov 1968–2018; databáza „ISI Web of Knowledge (Web of Science)“, hľadané kľúčové slovo „selenium status“, január 2019

1450. Počet štúdií zameraných na problematiku týkajúcu sa tohto prvku sa pohyboval okolo 1400 aj v prípade použitia kľúčových slov „determination of selenium“ alebo „selenium concentration“. Z uvedeného je zrejmé, že detailné spracovanie dostupnej literatúry s cieľom ponúknuť ucelený prehľad o danej problematike by bolo časovo mimoriadne náročné. Nespochybniteľným faktom však zostáva, že selén patrí medzi najsledovanejšie stopové prvky v biologických tekutinách.

5. Selén v krvnom sére zdravej európskej populácie

Z výsledkov početných publikovaných štúdií môžeme vyvodit', že koncentrácie selénu v krvnom sére alebo plazme zdravej populácie mnohých európskych krajín sú nízke. Možno to pripísať jeho nízkym koncentráciám v pôde a následne aj v celom potravinovom reťazci, obzvlášť v krajinách východnej Európy. Uvádza sa, že pre správne fungovanie GSH-Px je optimálna koncentrácia selénu v krvnom sére alebo plazme medzi 90–100 $\mu\text{g l}^{-1}$ (cit.²⁴). Ako vyplýva z tab. I, z tu uvádzaných prác boli priemerné koncentrácie prvku spadajúce do tohto intervalu namerané jedine v Dánsku²⁵ a Grécku²⁶. Z dánskej štúdie posudzujúcej vzájomné korelácie medzi selénom v krvnom sére a prijímanou potravou vyplýva, že zatiaľ čo zvýšená konzumácia rýb a morských plodov korelovala pozitívne so

zvýšenou koncentráciou selénu v krvnom sére; zvýšený príjem mlieka, chleba a iných cereálií nemal vplyv na koncentráciu selénu v krvnom sére²⁵. Štúdia sledujúca grécku populáciu²⁶ nepotvrdila žiadnu výraznú koreláciu medzi skupinami s rôznymi stravovacími návykmi. Štatisticky významne znížené koncentrácie selénu v krvnom sére boli pozorované jedine u seniorov so značne obmedzeným príjmom potravín bohatých na selén (najmä červeného mäsa, rýb a mliečnych výrobkov).

Osobitná pozornosť v hodnotení stavu selénu u klinicky zdravej populácie patrí jednoznačne prácam publikovaným fínskymi vedcami^{27,28}. Fínsko ako jediná krajina na svete pristúpila v roku 1984 k obohacovaniu priemyselných hnojív seleničitanom. Uvádza sa, že priemerná koncentrácia selénu v krvnom sére pred začatím „obohateného“ hnojenia bola 70,3 $\mu\text{g l}^{-1}$ (cit.²⁷). Po zavedení pridávania seleničitanu do hnojív boli vykonávané systematické kontroly zamerané na koncentráciu selénu v krvnom sére alebo plazme zdravého fínskeho obyvateľstva. Štyri roky po začatí hnojenia priemerná koncentrácia selénu u fínskej populácie stúpila na 118,4 $\mu\text{g l}^{-1}$, v nasledujúcich rokoch mierne klesla a od roku 2000 sa pohybuje medzi 102,6–118,4 $\mu\text{g l}^{-1}$ (cit.²⁷). Uvedené hodnoty patria k najvyšším v Európe. Následkom úpravy priemyselných hnojív sa tak hodnoty koncentrácie selénu u fínskej populácie zvýšili o 70 %.

Opačným extrémom sú veľmi nízke koncentrácie selénu v krvnom sére (viď tab. I). Priemerné hodnoty niž-

Tabuľka I

Koncentrácia selénu v krvnom sére zdravej dospeléj populácie európskych krajín

Krajina	n ^{a,b,c}	Vek ^d [roky]	Priemerná koncentrácia Se ^d [$\mu\text{g l}^{-1}$]	s ^{e,f} [$\mu\text{g l}^{-1}$]	Lit.
Švédsko	443 Ž+M	70–80	67,1	nz	37
Dánsko	197 Ž	18–22	94,4	15,4	25
Dánsko	232 Ž	40–45	97,0	15,7	25
Dánsko	229 Ž	60–65	104,3	26,5	25
Dánsko	151 M	60–65	98,7	16,8	25
Fínsko	18 Ž+M	18–50	118,4*	nz	28
Estónsko	404 Ž+M	18–69	75,0	nz	38
Portugalsko	44 Ž	18–40	59,5	16,6	33
Španielsko	110 M	21–79	80,4	10,3	39
Španielsko	114 M	21–79	74,0	11,2	39
Španielsko	490 Ž	nz	79,9	8,1	40
Francúzsko	5141 M	40–60	90,0	nz	41
Francúzsko	7876 Ž	35–60	86,1	nz	41
Belgicko	26 Ž+M	23–69	84,3	9,4	42
Belgicko	430 M	52–72	79,6	14,2	43
Belgicko	155 Ž	52–72	76,3	12,9	43
Nemecko	492 Ž+M	58,1 (priemer)	87,7	13,4	44
Poľsko	70 Ž	26,8 (priemer)	57,0	10,5	29
Česká republika	367 Ž+M	25–64	74,0	nz	45
Česká republika	121 Ž+M	18–65	54–75	nz	46
Česká republika	90 M	18–65	67,9	nz	47
Česká republika	106 Ž	18–65	71,1	nz	47
Česká republika	65 M	36–49	53,0	nz	31
Česká republika	74 M	18–65	58,1	9,2	31
Česká republika	60 M	18–65	58,4	11,3	31
Česká republika	481 Ž+M	60–99	59,0	14,4	32
Česká republika	386 Ž+M	nz	52,9–73,4	nz	48
Česká republika	127 Ž+M	60–99	72,5	13,5	49
Slovensko	576 Ž+M	40–60	67,3	26,4	50
Slovensko	nz	20–60	83,4	nz	35
Rakúsko	14 M	nz	75,0	21,0	51
Rakúsko	14 Ž	nz	65,0	16,0	51
Maďarsko	24 Ž	22–38	77,4	14,8	52
Slovinsko	10 M	nz	70,0	12,0	51
Slovinsko	10 Ž	nz	66,0	15,0	51
Chorvátsko	62 Ž+M	27–43	64,2	11,5	53
Chorvátsko	123 M	19–48	72,7	nz	54
Taliansko	445 M	44–58	77,5	18,4	55
Grécko	80 Ž	35–55	67,6	5,4	56
Grécko	506 Ž+M	18–75	91,8	33,7	26

^a n – počet zdravých subjektov, ^b Ž – ženy, ^c M – muži, ^d * – medián, ^e nz – nezistené, ^f s – štandardná odchýlka

šie ako $60 \mu\text{g l}^{-1}$ boli namerané vo vzorkách zdravej populácie v Poľsku²⁹, Českej republike^{30–32} a Portugalsku³³. Za hraničnú hodnotu koncentrácie selénu v krvnom sére sa považuje $45 \mu\text{g l}^{-1}$, pričom koncentrácie zistené pod touto hodnotou môžu predstavovať zvýšené riziko kardiovasku-

lárnych a karcinogénnych ochorení^{34,35}; takéto hodnoty boli namerané u časti obyvateľstva v už spomenutých krajinách. Pri koncentráciách nižších ako $30 \mu\text{g l}^{-1}$ sa začínajú prejavovať klinické symptómy³⁵.

Tabuľka II
Koncentrácia selénu v krvnom sére zdravých detí európskych krajín

Krajina	n ^{a,b,c,d}	Vek ^e [roky]	Priemerná koncentrácia Se ^f [μg l ⁻¹]	s ^{d,g} [μg l ⁻¹]	Lit.
Taliansko	97 Ch	11	82,0	9,9	57
Taliansko	90 D	11	78,0	9,3	57
Francúzsko	118 Ch+D	2–5	62,1	14,0	58
Belgicko	nz	0–1	29,2**	nz	59
Belgicko	nz	1–4	55,3**	nz	59
Belgicko	nz	4–14	59,2**	nz	59
Nemecko	41 Ch+D	<1*	50,5**	nz	60
Nemecko	80 Ch+D	1–4*	34,7**	nz	60
Nemecko	45 Ch+D	4–12*	49,0**	nz	60
Nemecko	221 Ch+D	1–5	71,1**	nz	60
Nemecko	623 Ch+D	5–8	78,2**	nz	60
Česká republika	83 Ch	6–13	56,6	nz	47
Česká republika	101 D	6–13	55,9	nz	47
Česká republika	59 Ch	6–13	51,0	8,8	31
Česká republika	60 D	6–13	50,5	11,3	31
Česká republika	20 Ch+D	9–17	54,5	5,5	61
Česká republika	20 Ch+D	9–17	77,4	5,5	61
Slovensko	441 Ch	11–18	61,0	18,6	62
Slovensko	450 D	11–18	59,2	20,1	62
Slovensko	68 Ch+D	0–16	49,4	11,7	63
Rakúsko	58 Ch+D	3	48,0	13,0	64
Rakúsko	39 Ch+D	1–9	48,0	14,0	65
Rakúsko	26 Ch+D	10–19	53,0	20,0	65
Švédsko	372 Ch+D	15	110,0	2,0	36
Fínsko	1235 Ch+D	3–18	74,2	13,9	66

^an – počet zdravých subjektov; ^bD – dievčatá; ^cCh – chlapci; ^dnz – nezistené; ^e* – vek v mesiacoch; ^f** – medián, ^gs – štandardná odchýlka

Odhadnutý priemer koncentrácie Se v krvnom sére zdravého obyvateľstva väčšiny európskych krajín uvedených v tab. I je 75 μg l⁻¹.

Z dostupných publikovaných výsledkov možno zhrnúť nasledovné. Rozdiely v zistených koncentráciách medzi mužmi a ženami sú väčšinou štatisticky nevýznamné. Veľkosť hodnoteného súboru sa najčastejšie pohybuje od niekoľkých desiatok až po niekoľko stoviek analyzovaných vzoriek, no v súčasnosti už nie sú výnimočné ani práce, kde bolo odobrané krvné sérum tisíckam jedincov v snahe získať hodnoverné informácie. Čo sa týka korelácií, v ktorých jedným z parametrov je vek sledovaných subjektov, len v niekoľkých prípadoch boli pozorované znížené koncentrácie selénu, jednalo sa o krvné séra odobraté seniorom. Vo väčšine štúdií boli korelácie zamerané na tento ukazovateľ nevýznamné.

V prípade detí možno skonštatovať, že trend koncentrácií selénu kopíruje trend dospeljej populácie (viď tab. II). Pri tejto cieľovej skupine sú zaujímavé nižšie koncentrácie zistené u detí do jedného roku. Koncentrácie

selénu v krvnom sére detí zo Slovenska a Českej republiky patria v tomto hodnotení medzi najnižšie. Z hodnôt uvádzaných v tab. II je jedinou, ktorá sa vymyká z priemeru, a to priemerná hodnota zistená pre švédske deti³⁶. Zaujímavá je aj skutočne nízka hodnota pre štandardnú odchýlku, čo je pri testovanom súbore pozostávajúcom z 372 subjektov trochu prekvapivé, aj napriek skutočnosti, že krvné sérum bolo odobraté rovnako starým adolescentom. Ak pri určovaní priemernej koncentrácie selénu v krvnom sére detí túto hodnotu vylúčime, odhadnutý priemer pre zdravé deti väčšiny európskych krajín uvedených v tab. II je 65 μg l⁻¹.

6. Záver

Na záver možno skonštatovať, že v porovnaní s optimálnou koncentráciou selénu v krvnom sére alebo plazme, ktorá sa uvádza v rozmedzí 90–100 μg l⁻¹ (cit.²⁴), sú výsledky väčšiny štúdií uvedených v tomto prehľade zameranom na zdravé obyvateľstvo Európy ďaleko pod touto hodnotou, a teda stav selénu možno považovať za nedosta-

točný. Odhadnutý priemer pre koncentráciu selénu v krvnom sére zdravých dospelých jedincov z údajov získaných z tu uvedených prác je $75 \mu\text{g l}^{-1}$. Pre populáciu Slovenska platí, že publikované koncentrácie nie sú príliš vzdialené od tejto hodnoty. Čo sa týka Českej republiky, sú dostupné práce uvádzajúce koncentrácie podobné európskemu priemeru, ale aj práce, poukazujúce na koncentrácie selénu nedosahujúce ani hodnotu $60 \mu\text{g l}^{-1}$, čo ich v tomto hodnotení radí medzi práce s najnižšími nameranými koncentraciami selénu v krvnom sére odobratom zdravým dospelým jedincom.

Odhadnutý európsky priemer je blízko k hodnotám zverejneným fínskymi vedcami pred začatím programu „obohateného“ hnojenia. Pridávaním seleničitanu do priemyselných hnojív používaných v poľnohospodárstve však dokázali postupne zvýšiť koncentráciu selénu u fínskej populácie až o 70 %.

Ani dlhodobé systematické štúdie však nedokážu jednoznačne potvrdiť, či tento krok vedie k zníženiu počtu pacientov trpiacich kardiovaskulárnymi a onkologickými problémami, keďže spektrum príčin vedúcich k vzniku týchto ochorení je veľmi široké.

Práca vznikla v rámci riešenia projektu, ktorý je finančne podporovaný grantom Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a Slovenskej akadémie vied VEGA 1/0153/17.

LITERATÚRA

- Robberecht H., Van Cauwenbergh R., Hermans, N.: Trace Elem. Electrolytes 29, 172 (2012).
- Burk R. F., Hill K. E.: Biochim. Biophys. Acta 1790, 1441 (2009).
- Brozmanová J.: Klin. Onkol. 24, 171 (2011).
- Schweizer U., Streckfuss F., Pelt P., Carlson B. A., Hatfield D. L., Köhrle J., Schomburg L.: Biochem. J. 386, 221 (2005).
- Moschos M. P.: Cell. Mol. Life Sci. 57, 1836 (2000).
- Hollenbach B., Morgenthaler N. G., Struck J., Alonso C., Bergmann A., Köhrle J., Schomburg L.: J. Trace Elem. Med. Biol. 22, 24 (2008).
- Mostert V.: Arch. Biochem. Biophys. 376, 433 (2000).
- Nordberg G. F., Fowl B. A., Nordberg M., Friberg L. T.: *Handbook of the Toxicology of Metals*. Elsevier, Amsterdam 2007.
- D'Ulivo A.: Analyst 122, 117R (1997).
- Barceloux D. G.: J. Toxicol., Clin. Toxicol. 37, 145 (1999).
- Gasmi A., Garnier R., Galliot-Guilley M., Gaudillat C., Quarterenoud B., Buisine A., Djebbar D.: Vet. Hum. Toxicol. 39, 304 (1997).
- Wietecha-Posluszny R., Lech T., Kościelniak P.: J. Forensic Sci. 56, 518 (2011).
- U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological profile for selenium. Washington 2003.
- World Health Organization: Trace Elements in Human Nutrition and Health. WHO, Geneva 1996.
- Milde D., Šobrová M., Macháček J., Stuzka V.: Chem. Listy 96, 708 (2002).
- Viitak A., Volynsky A. B.: Talanta 70, 890 (2006).
- Wietecha R., Kościelniak P., Lech T., Kielar T.: Microchim. Acta 149, 137 (2005).
- Tinggi U., Gianduzzo T., Francis R., Nicol D., Shahin M., Scheelings P.: J. Radioanal. Nucl. Chem. 259, 469 (2004).
- Bolann B. J., Rahil-Khazen R., Henriksen H., Isrenn R., Ulvik R. J.: Scand. J. Clin. Lab. Invest. 67, 353 (2007).
- da Costa Júnior A. C., Vieira M. A., Luna A. S., de Campos R. C.: Talanta 82, 1647 (2010).
- Zacharia A. N., Arabadji M. V., Chebotarev A. N.: J. Appl. Spectrosc. 84, 1 (2017).
- Altunay N., Gürkan R.: Food Chem. 175, 507 (2015).
- Shah F., Kazi T. G., Afridi H. I., Naeemullah, Arain M. B., Baig J. A.: J. Hazard. Mater. 192, 1132 (2011).
- Stoffaneller R., Morse L. M.: Nutrients 7, 1494 (2015).
- Rasmussen L. B., Hollenbach B., Laurberg P., Carle A., Hog A., Jergensen T., Vejbjerg P., Ovesen L., Schomburg L.: J. Trace Elem. Med. Biol. 23, 265 (2009).
- Letsiou S., Nomikos T., Panagiotakos D., Pergantis S. A., Fragopoulou E., Antonopoulou S., Pitsavos C., Stefanadis C.: Biol. Trace Elem. Res. 128, 8 (2009).
- Alfthan G., Euroola M., Ekholm P., Venalainen E. R., Root T., Korkalainen K., Hartikainen H., Salminen P., Hietaniemi V., Aspila P., Aro A.: J. Trace Elem. Med. Biol. 31, 142 (2015).
- Elorinne A. L., Alfthan G., Erlund I., Kivimäki H., Paju A., Salminen I., Turpeinen U., Voutilainen S., Laakso J.: PLoS One 11, e0148235 (2016).
- Zagrodzki P., Krzyczkowska-Sendrakowska M., Nicol F., Wietecha-Posluszny R., Milewicz T., Kryczyk-Kozioł J., Chaykivska Z., Jach R.: J. Trace Elem. Med. Biol. 44, 241 (2017).
- Kvíčala J., Zamrazil V., Čerovská J., Bednář J., Janda J.: Biol. Trace Elem. Res. 47, 365 (1995).
- Kvíčala J., Zamrazil V., Jiránek J.: Biol. Trace Elem. Res. 71-72, 31 (1999).
- Kvíčala J., Zamrazil V., Němeček J., Jiránek J.: J. Radioanal. Nucl. Chem. 275, 537 (2008).
- Almeida A. A., Lopes C. M. P. V., Silva A. M. S., Barrado E.: J. Trace Elem. Med. Biol. 22, 196 (2008).
- Maďarič A., Kadrabová J., Ginter E.: J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis. 8, 43 (1994).
- Ursínyová M., Hladíková V.: Chem. Listy 92, 495 (1998).
- Bárány E., Bergdaht I. A., Bratteby L. E., Lundh T., Samuelson G., Schütz A., Skerfving S., Oskarsson A.: Sci. Total Environ. 256, 129 (2002).
- Alehagen U., Alexander J., Aaseth J.: PLoS One 11, e0148235 (2016).
- Rauhamaa P., Kantola M., Viitak A., Taasik T., Musalo-Rauhamaa H.: Eur. J. Clin. Nutr. 62, 1075

- (2008).
39. Torra M., Casals G., Cervera C., Deulofeu R.: *Trace Elem. Electrolytes* 24, 92 (2007).
 40. Amorós R., Murcia M., González L., Rebagliato M., Iñiguez C., Lopez-Espinosa M. J., Vioque J., Broberg K., Ballester F., Llop S.: *Environ. Res.* 166, 215 (2018).
 41. Arnaud J., Bertrais S., Roussel A. M., Arnault N., Ruffieux D., Favier A., Berthelin, S., Estaquio C., Galan P., Czernichow S., Hercberg S.: *Br. J. Nutr.* 95, 313 (2006).
 42. Van Cauwenbergh R., Robberecht H., Van Vlaslaer V., Deelstra H.: *J. Trace Elem. Med. Biol.* 18, 99 (2004).
 43. Kornitzer M., Valente F., De Bacquer D., Neve J., de Backer G.: *Eur. J. Clin. Nutr.* 55, 98 (2004).
 44. Steinbrecher A., Meplan C., Hesketh J., Schomburg L., Endermann T., Jansen E., Akesson B., Rohrmann S., Linseisen J.: *Cancer Epidemiol., Biomarkers Prev.* 19, 2958 (2010).
 45. Korunová V., Škodová Z., Dědina J., Valenta Z., Pařízek J., Piša Z., Stýblo M.: *Biol. Trace Elem. Res.* 37, 91 (1993).
 46. Kvíčala J., Zamrazil V., Čermák S.: *Biol. Trace Elem. Res.* 43-45, 497 (1994).
 47. Kvíčala J., Zamrazil V., Soutorová M., Tomiška F.: *Analyst* 120, 959 (1995).
 48. Střítecká H., Hlubik P., Nováková J.: *Mediterr. J. Nutr. Metab.* 2, 133 (2009).
 49. Kvíčala J., Hrdá P., Zamrazil V., Němeček J., Hill M., Jiránek V.: *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 280, 275 (2009).
 50. Brtková A., Magálová T., Babinská K., Béderová A.: *Biol. Trace Elem. Res.* 46, 163 (1994).
 51. Li F. S., Rossipal E., Micetic-Turk D.: *Biol. Trace Elem. Res.* 73, 201 (2000).
 52. Molnar J., Garamvolgyi Z., Herold M., Adanyi N., Somogyi A., Rigo J.: *Biol. Trace Elem. Res.* 121, 16 (2008).
 53. Kljai K., Runje R.: *Biol. Trace Elem. Res.* 55, 223 (2001).
 54. Jurasović J., Cvitković P., Pizent A., Čolak B., Telišman S.: *Biometals* 17, 735 (2004).
 55. Stranges S., Galletti F., Farinaro E., D'Elia L., Russo O., Iacone R., Capasso C., Carginale V., De Luca V., Delia Valle E., Cappuccio F. P., Strazzullo P.: *Atherosclerosis* 217, 274 (2011).
 56. Charalabopoulos K., Kotsalos A., Batistatou A., Charalabopoulos A., Vezyraki P., Peschos D., Kalfakakou V., Evangelou A.: *Br. J. Cancer* 95, 674 (2006).
 57. Morisi G., Patriarca M., Menotti A.: *Clin. Chem.* 34, 127 (1988).
 58. Chakar A., Mokni R., Chappuis P., Mahu J. L., Walravens P. A., Bleiberg-Daniel F., Therond P., Navarro J., Lemonnier D.: *Biol. Trace Elem. Res.* 36, 25 (1993).
 59. Van Biervliet S., Van Biervliet J. P., Bernard D., Matthys M., Vercaemst R., Blaton V.: *Biol. Trace Elem. Res.* 79, 115 (2001).
 60. Muntau A. C., Streiter M., Kappler M., Röschinger W., Schmid I., Rehnert A., Schrämet P., Roscher A. A.: *Clin. Chem.* 48, 555 (2002).
 61. Dastyh M., Cienciala J., Krbec M.: *J. Orthop. Res.* 26, 1279 (2008).
 62. Brtková A., Magálová T., Béderová A., Babinská K., Barteková S.: *Biol. Trace Elem. Res.* 67, 49 (1999).
 63. Hagarová I., Žemberyová M.: *Chem. Listy* 99, 34 (2005).
 64. Tiran B., Tiran A., Rossipal E., Lorenz O.: *J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis.* 7, 211 (1993).
 65. Tiran B., Tiran A., Petek W., Rossipal E., Wawschinek O.: *Trace Elem. Med.* 9, 75 (1992).
 66. Stranges S., Tabak A. G., Guallar E., Rayman M. P., Akbaraly T. N., Laclaustra M., Alftan G., Mussalo-Rauhamaa H., Viikari J. S. A., Raitakari O. T., Kivimaki M.: *J. Intern. Med.* 270, 469 (2011).

I. Hagarová and L. Nemček (*Institute of Laboratory Research of Geomaterials, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Bratislava, Slovak Republic*): **Selenium in Blood Serum of Healthy European Population**

During recent years, interest concerning selenium has considerably increased. It is due to the combined behaviour it can have in humans, as either a toxic or an essential element depending on its concentration. For these reasons, its reliable quantification is extremely important. Blood serum is one of the most often analysed biological fluids when focusing on selenium concentration. Many detection methods can be used for the quantification of selenium, electrothermal atomic absorption spectrometry being one of the most suitable ones to perform such analyses. This is due to the possibility of a direct analysis (even though it is a complicated biological matrix) and the use of a small volume of the samples (mostly 20 µl for a single analysis). This article offers an overview of the selenium concentrations found in blood serum for healthy populations in European countries. The data presented here indicate that selenium status is not optimal in most European countries. The estimated mean value is 75 µg L⁻¹ and 65 µg L⁻¹ for adults and children, respectively. These results, combined with growing knowledge of the importance of selenium to overall health, require more systematic studies aimed to a reliable quantification of selenium in biological fluids for large populations correlated with various parameters, in order to subsequently ensure adequate selenium supplementation for those populations where selenium intake is significantly reduced.

Keywords: selenium, spectrometric methods, blood serum, healthy European population

Acknowledgements

This work was supported by VEGA 1/0153/17.