

10. METABOLIZMUS STOPOVÝCH PRVKOV

Ráčz Oliver a Chmelárová Anna

10.1. BIOGÉNNE PRVKY A ICH KLASIFIKÁCIA

Prvky, z ktorých sú stavané živé systémy a ktoré majú v týchto systémoch známu funkciu, nazývame biogénnymi prvkami. Delíme ich na tri skupiny (tab. 10.1. a príloha 10.1).

1. Hlavné **biogénne prvky**, ktoré tvoria 99 % všetkých atómov živočíšneho a ľudského tela sú: uhlík, vodík, kyslík, dusík, fosfor a síra (C, H, O, N, P a S).
2. Päť ďalších prvkov – sodík, draslík, horčík, vápnik a chlór (Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Cl^-) sú **elektrolyty**. Nepomer medzi kationmi a aniónmi je len zdanlivý – okrem chloridu ostatné anióny nie sú prvky, ale zlúčeniny (fosfáty, hydrogénkarbonát a i.) Metabolizmus elektrolytov je opísaný v kapitole 18.
3. Poslednú skupinu tvoria **stopové prvky**, ktoré sú rozdelené na podskupinu kovov (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Cr, Co, V a Sn) a nekovov (F, I, Se, Si a B).

TAB. 10.1.
BIOGÉNNE PRVKY A ICH MIESTO V PERIODICKEJ TABUĽKE

Periódá	Hlavné biogénne	Elektrolyty	Stopové, Kovy	Stopové, nekovy	Toxické (výber)
I	^1H	^{11}Na ^{19}K	^{29}Cu		^{47}Ag ^{79}Au
II		^{12}Mg ^{20}Ca	^{30}Zn		^4Be ^{48}Cd ^{56}Ba ^{80}Hg
III				^5B	^5B ^{13}Al
IV	^6C		^{50}Sn	^{14}Si	^{82}Pb
V	^7N ^{15}P		^{23}V		^{33}As ^{73}Ta ^{83}Bi
VI	^8O ^{16}S		^{24}Cr ^{42}Mo	^{34}Se	^{82}Pb
VII		^{17}Cl	^{25}Mn	^9F ^{53}I	^9F ^{35}Br
VIII			^{26}Fe ^{27}Co ^{28}Ni		^{26}Fe ^{27}Co ^{28}Ni

Toxické prvky sú zaradené do tabuľky, aby bolo zrejmé, že tie isté prvky môžu mať dôležitú funkciu v tele, ale môžu byť aj toxické.

Pri chemickej analýze nájdeme v ľudskom tele aj iné prvky, ako napríklad kadmium, striebro, olovo a mnohé iné. Sú to kontaminanty bez fyziologickej funkcie a niektoré z nich sú toxické. Iné látky (napr. Li, Au, Hg) sa vo forme rôznych zlúčenín používali alebo používajú ako lieky, ale to neznamená, že majú aj fyziologickú funkciu¹.

10.2. VŠEOBECNÝ PREHĽAD STOPOVÝCH PRVKOV

Naše vedomosti o výskyte stopových prvkov v živých systémoch sú dostatočné. Medzi rastlinnou a živočíšnou ríšou sú dosť veľké rozdiely – rastliny sú totiž v priamom kontakte s pôdou, zvieratá získajú živiny z týchto rastlín a z iných zvierat. Je známe aj to, že kovové stopové prvky v telesných tekutinách a tkanivách sa nachádzajú len vo forme komplexov. Príklady sú uvedené v tabuľke 10.2.

Oveľa menej sú prebádané cykly jednotlivých stopových prvkov v organizme. S tým súvisí aj to, že koncentrácia jednotlivých prvkov v plazme nehovorí nič o dynamike daného prvku (Tab. 10.3). Zvýšená alebo znížená hodnota určitého prvku pri nejakej chorobe neprehrádza nič o tom, či zmena koncentrácie je príčina alebo následok choroby. Najmenej je objasnená otázka vzájomnej interakcie stopových prvkov v živých systémoch.

Z tabuľky 10.1. je zrejmé, že mnohé stopové prvky môžu byť aj toxické. Závisí to od množstva a látkovej formy daného prvku (kobalt, molybdén, selén a i.).

Geografické rozdiely vo výskyte prvkov môžu ovplyvniť zdravotný stav obyvateľstva. V určitých oblastiach je nedostatok selénu, jódu, molybdénu. V iných oblastiach môže hroziť nadbytok niektorých

¹ Prvým účinným liekom proti syfilisu bola zlúčenina obsahujúca arzén. Vyvinuli ho Ehrlich a Hata v roku 1909 a firma Hoechst ho začala vyrábať pod názvom Salvarsan od roku 1910

prvkov a nebezpečie intoxikácie. Uvoľnenie prvkov z rúd pri ich ťažbe a priemyselnom spracovaní má za následok ekologické problémy s možným vplyvom na zdravie obyvateľstva.

TAB. 10.2.

PEVNE VIAZANÉ STOPOVÉ PRVKY V BIELKOVINÁCH

PRVOK	ENZÝM alebo BIELKOVINA
Železo v héme	Hemoglobín Myoglobín Cytochrómy Kataláza
Nehémové železo	Niektoré dehydrogenázy Ferredoxín
Meď a zinok	Superoxiddismutáza (cytosól)
Meď	Ceruloplazmín Lyzínoxidáza Tyrozínáza
Zinok	Hemocyanín (prenos kyslíka u slimákov) Karboanhydráza Karboxypeptidáza Niektoré dehydrogenázy DNA/RNA polymerázy (a viac ako 300 iných enzýmov) Zinkové prsty
Mangán	Superoxiddismutáza (mitochondrie) Argináza Pyruvátkarboxyláza Galaktozyltransferáza
Kobalt v koríne	Homocystein:metionín metyltransferáza Ribonukleotidreduktáza (baktérie)
Molybdén	Xantínoxidáza Nitrátreduktáza (rastliny)
Nikel	Ureáza
Chróm	Fosfoglukomutáza
Selén	Glutatiónperoxidáza

TAB. 10.3.

DYNAMIKA METABOLIZMU STOPOVÝCH PRVKOV

FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE ROVNOVÁHU	VÝSLEDKOM MÔŽE BYŤ
Dodávka v strave	Vyrovnaná bilancia
Absorbcia z tráviaceho traktu Transport krvou k orgánom a tkanivám	Negatívna bilancia a deplécia (latentná alebo s klinicky zjavnými následkami)
Distribúcia v jednotlivých orgánoch a tkanivách Exkrécia tráviacim traktom alebo obličkami	Pozitívna bilancia a niekedy intoxikácia

10.3. METABOLIZMUS ŽELEZA

Množstvo železa v ľudskom organizme je najväčšie zo všetkých stopových prvkov (4 – 5 g). Jednotlivé komponenty železa sú uvedené v tabuľke 10.4. Železo v organizme má skoro uzavretý cyklus. Z erytrocytov sa denne uvoľní 20 mg železa (súvisí to s dobou života červených krviniek – ich doba života je 120 dní, z čoho vyplýva, že denná výmena je $\approx 0,8\%$ erytrocytov). Z toho stolicou sa stráca len malé množstvo a 90 – 95 % uvoľneného železa je opäť využité na syntézu Hb a ostatných hemoproteínov. Potravou sa do organizmu dostane asi 10 – 12 mg železa denne, z čoho sa rezorbuje 1 – 2 mg, čo zabezpečuje rovnováhu medzi stratou a príjmom.

Železo v potravinách sa nachádza vo forme komplexov - dobrá je dostupnosť železa z mäsa (hém) a horšia z rastlín (špenát, šošovica). Predpokladom rezorbcie je redukcia Fe^{3+} na Fe^{2+} a prítomnosť HCl v žalúdočnej šťave. Fosfáty tvoria nerozpustné komplexy so železom a znižujú jeho rezorbciu.

z čriev. Vitamín C zvyšuje rezorbciu železa. Vstrebávanie železa závisí aj od potrieb organizmu - pri deficite sa zvyšuje, pri plných zásobách sa znižuje.

V krvi železo cirkuluje viazané na transferín – glykoproteín o molekulovej hmotnosti 90 kDa. Viaže a prenáša dva ióny trojmocného železa. Jeho celkové množstvo v tele je nízke, ale jeho dynamika je veľmi vysoká. Saturácia transferínu u zdravých ľudí je okolo 20 - 55 %.

Hlavnou zásobárňou železa je feritín. Je to bielkovina guľovitého tvaru, ktorá pozostáva z 20 podjednotiek. V dutine feritínu je miesto až pre 4500 iónov trojmocného železa. Koncentrácia feritínu v krvi je nízka, ale napriek tomu je dobrým ukazovateľom celkových zásob železa v tele.

Poruchy metabolizmu železa

Nedostatok železa - sideropénia je častá u žien v zaostalých krajinách sveta (následok častých gravidít, pôrodov, malnutrície a rôznych ochorení), ale vyskytuje sa aj v ekonomicky vyspelých krajinách. Deficit železa sa môže objaviť pri ochoreniach tráviaceho traktu (achlórhydria, malabsorpcia) a pri chronických, často nediagnostikovaných stratách krvi (urogenitálne príčiny, vredová choroba, atď.). Po vyčerpaní zásob železa pri týchto stavoch sa objaví **mikrocytová hypochrómna anémia**. Odhaduje sa, že karenciou železa trpí na svete asi 700 miliónov ľudí.

Nedostatok železa má 4 stupne:

1. Negatívna bilancia (znížená saturácia transferínu, nízky feritín)
2. Deplécia železa (ako hore, ale výraznejší pokles)
3. Porucha erytropoézy (pokles plazmatického železa, vysoký protoporfyrín v červených krvinkách)
4. Mikrocytová hypochrómna anémia

Nadbytok železa má za následok **hemochromatózu**, ktorá má dve formy. **Primárna hemochromatóza** je recesívne dedičná genetická porucha (je zvýšená črevná rezorpcia železa) pri ktorej sa železo ukladá v parenchýmových bunkách tela. Transportné a zásobné bielkoviny sú preplnené železom a v telesných tekutinách sa nachádza tzv. "katalytické" železo (nie je to voľné železo, ale železo v takých komplexoch, ktoré sú schopné katalyzovať Fentonovu reakciu, t.j. vznik hydroxylového radikálu. Je veľmi pravdepodobné, že hydroxylový radikál má dôležitú úlohu v patogenéze **rakoviny pečene**, ktorá je častou komplikáciou poškodenia pečene pri hemochromatóze.

Pri **sekundárnej hemochromatóze alebo hemosideróze** sa železo hromadí v makrofágoch. Vyskytuje sa pri porušenéj rovnováhe železa. Pri varení jedál v nesmaltovaných železných nádobách sa denný príjem železa môže zvýšiť až na 80 mg a zapríčiniť tak zdravotné problémy. Podobné nebezpečenie je pri neopodstatnenom podávaní preparátov železa spolu s vitamínom C.

Pri zvýšenom rozpade erytrocytov môže dôjsť k paradoxnej situácii – k hemosideróze orgánov spojených s anémiou (hemolytické anémie, talasémia, opakované transfúzie u dialyzovaných chorých).

Zvýšená hladina feritínu (zvýšené zásoby železa v tele) je dôležitým rizikovým faktorom aterosklerózy. Pravdepodobne aj v tomto prípade ide o oxidačné poškodenie lipoproteínov a endotelu sprostredkované katalytickým účinkom železa.

Biochemická diagnostika porúch metabolizmu železa

Vyšetrenie ukazovateľov metabolizmu železa patrí medzi základné biochemické vyšetrenia. Stanovenie sérovej hladiny železa nestačí na vyslovenie diagnózy deficitu alebo nadbytku železa v organizme, pretože vykazuje veľké výkyvy. Presnejší obraz poskytuje **väzbová kapacita séra** pre železo. Princíp vyšetrenia spočíva v tom, že k séru sa pridá soľ železa, čím dôjde k úplnému nasýteniu transferínu. Z koncentrácie železa pred a po nasýtení sa dá vypočítať percento nasýtenosti transferínu železom. Ak táto hodnota je pod 20, svedčí to o sideropénii, ak je nad 55, ide o nadbytok železa v organizme. Novšie sa na posúdenie používa presnejší ukazovateľ – solubilný transferový receptor. Jeho nízka hodnota svedčí o dostatočnej saturácii železom, vysoké hodnoty sú spoľahlivým ukazovateľom deficitu železa. Ostatné biochemické vyšetrenia uvedené v tabuľke 10.5 sa v bežnej praxi používajú menej. Pri poklese ukazovateľov červeného krvného obrazu už je deficit železa výrazný.

TAB. 10.4.
DISTRIBÚCIA A ROVNOVÁHA ŽELEZA V ORGANIZME

DISTRIBÚCIA	mg	%
Celkové množstvo	4000	100
Hemoglobín	2500	63
Myoglobín	160	4
Enzýmy	8	0,2
Zásoby	1350	33
Transport (transferín)	5	0,12
ROVNOVÁHA	mg/d	%
obrat (Hb)	20 – 25	100
fyziológické straty	1 – 2	4 – 10
príjem (RDA)	10 - 15	100
rezorbcia	1 - 2	7 – 20
STRATY U ŽIEN	mg	
menštruácia	30 za 3-6 dní	
gravídita	300 za 9 mesiacov	
laktácia	180 za 6 mesiacov	

TAB. 10.5.
BIOCHEMICKÉ DIAGNOSTICKÉ UKAZOVATELE METABOLIZMU ŽELEZA

1. KONCENTRÁCIA HEMOGLOBÍNU, HEMATOKRIT A POČET ERYTHROCYTOV pokles svedčí o pokročilom štádiu deficitu
2a. ŽELEZO V SÉRE muži: 14 - 28, ženy: 12 - 23 $\mu\text{mol/l}$ (až \pm 30 % diurnálne variácie !)
2b. CELKOVÁ VÄZOBNÁ KAPACITA PRE ŽELEZO (TOTAL IRON BINDING CAPACITY, TIBC) Saturácia séra (= transferínu) železom a stanovenie železa muži: 53 - 80, ženy: 44 - 70 $\mu\text{mol/l}$
2c. SATURAČNÝ INDEX (Fe/TIBC) < 0.2 - nedostatok železa > 0.55 - nadbytok železa
3. SOLUBILNÝ TRANSFERÍNOVÝ RECEPTOR Normálne hodnoty 0,8 – 2,3 mg/l: Pre sideropéniu svedčia zvýšené hodnoty
4. LEN PRE ŠPECIÁLNE ÚČELY: transferín v sére: 2 – 3 mg/l (využíva sa ako marker stavu výživy), feritín v sére 40 – 50 ng/l (nano!)

10.4. OSTATNÉ STOPOVÉ PRVKY – KOVY

Meď

Meď je súčasťou aktívneho centra mnohých (predovšetkým oxidoredukčných) enzýmov. Súvisí to s tým, že meď môže prijať alebo odovzdať elektrón ($\text{Cu}^+ / \text{Cu}^{++}$). Príkladom je cytochróm-c oxidáza, posledný článok prenosu elektrónov v terminálnej oxidácii. Ďalší enzým, lyzyoxidáza má význam v syntéze elastínu a kolagénu.

V ľudskom tele je 100 – 150 mg medi, z toho 60 mg je vo svaloch, 23 mg v kostiach a 18 mg v pečeni. RDA je 2 - 5 mg/deň, hlavné zdroje sú orechy, ustrice, morské ryby a vnútornosti. Z GIT sa meď dostane do krvi, kde sa viaže na albumín, aminokyseliny, a transcuprein. Tieto transportné formy sa dostanú do pečene, kde sa meď zabuduje do **ceruloplazmínu**, ktorý je hlavným transportným proteínom medi. **Ceruloplazmín** je α_2 -globulín o molekulovej hmotnosti 160 kDa a je schopný viazať 8 atómov medi. Ceruloplazmín má aj enzýmovú (oxidázovú) aktivitu.

Meď sa vylučuje z tela predovšetkým žlčou – pri obštrukcii žlčových ciest sa hromadí v tele.

Nutričný nedostatok medi sa v praxi nevyskytuje. V experimente vedie k anémii.

Wilsonova choroba (hepatolentikulárna degenerácia) je autozomálne recesívne dedená porucha charakterizovaná deficitom ceruloplazmínu. Meď je viazaná na aminokyseliny a nešpecifické bielkoviny vo forme labilných komplexov a poškodzuje predovšetkým mozog a pečeň. Na okraji rohovky vidieť zelený **Kayser - Fleischerov** prstenec. Vylučovanie medi močom je zvýšené, biliárna exkrécia znížená.

Intoxikácia soľami medi má za následok hnačku, bolesti brucha, zvracanie, poškodenie pečene a obličiek. Chronická intoxikácia má za následok cirhózu pečene. Vysoká koncentrácia medi v cigaretovom dyme podporuje oxidačné poškodenie v pľúcach a v krvi fajčiarov.

Zinok

Zinok je súčasťou aktívneho centra viac ako 300 enzýmov a pre iné bielkoviny je potrebný ako aktivátor alebo stabilizátor štruktúry. Zinok je esenciálny prvok pri syntéze nukleových kyselín a pre funkciu génov. Zvláštnosť zinku v porovnaní s inými stopovými prvkami spočíva v tom, že nie je veľmi aktívny v oxidoredukčných reakciách (nekatalyzuje vznik a premenu bioreaktívnych foriem kyslíka). Je schopný vytvoriť 4 koordinačné väzby s atómami síry v cysteínoch alebo s dusíkmi histidínov. Hlavnou úlohou zinku v bielkovinách je stabilizácia ich priestorovej konformácie.

Zinkové prsty sú malé domény bielkovín (predovšetkým transkripčných faktorov), ktoré obsahujú zinok viazaný koordinačnými väzbami s aminokyselinami histidínom a cysteínom. Peptidový reťazec okolo zinku vytvára stabilné a zároveň špecifické trojdimenzionálne štruktúry, ktoré sa viažu k určitým tripletom v DNA. Zinkové prsty v iných bielkovinách sa špecificky viažu na niektoré miesta RNA alebo bielkovín. Interakcia zinkových prstov zmení činnosť cieľovej štruktúry - môže byť napríklad signálom pre expresiu génu.

Zinok je dôležitý aj pri vzniku kryštálikov inzulínu v sekrečných granulách Langerhansových ostrovčekov a hrá zatiaľ neobjasnenú úlohu aj pri funkcii chuťových a čuchových receptorov.

Množstvo zinku v ľudskom tele je 2 - 3 g. Na rozdiel od medi sú zásoby Zn v pečeni malé a pri nedostatočnom prívode sa jeho deficit prejavuje pomerne skoro. Hlavné zdroje sú: pečeň, obličky, huby, cvikla. RDA je 12 - 15 mg. Fytáty nachádzajúce sa v cereáliach viažu zinok a znižujú jeho absorpciu. Zn sa vylučuje z organizmu predovšetkým žlčou.

Deficit zinku v experimente vedie k malformáciám, retardácii rastu, hypogonadizmu a k zhoršenej funkcii imunitného systému. U ľudí sa vyskytuje deficit na Strednom Východe (vysoká konzumácia cereálií). U chorých s nefrotickým syndrómom, cirhózou pečene, malabsorpčným syndrómom a u alkoholikov sú zvýšené straty zinku. Marginálny deficit zinku je pravdepodobne častý aj u nás. Môže byť jedným z faktorov recidivujúcich infekcií dýchacích ciest u detí. V týchto prípadoch je suplementácia zinkom opodstatnená.

Chróm

Chróm v bunkách aktivuje fosfoglukomutázu a reaguje s SH skupinami biomembrán. Množstvo chrómu (≈ 1 mg) v tele klesá vekom a tento pokles súvisí s inzulínovou rezistenciou starých ľudí. Podávanie chrómu (komplexy s obsahom Cr^{3+}) zlepšuje glukózovú toleranciu u ľudí s porušenou glukózovou toleranciou a diabetom.

Vanád

Niektoré morské živočíchy, baktérie, jedlé a jedovaté huby obsahujú vysokú koncentráciu vanádu. Soli vanádu majú inzulínu podobný účinok, ale zatiaľ nie je známa fyziologická podstata tohoto javu. U ľudí sa deficit vanádu nevyskytuje.

Mangán

Mangán je súčasťou niekoľkých metaloenzýmov a hrá úlohu v metabolizme mukopolysacharidov chrupavky. V rastlinách je veľké množstvo mangánu, a preto sa jeho deficit v živočíšnej ríši nevyskytuje. U človeka 1 - 2 šálky čaju už kryjú dennú potrebu tohoto prvku.

Kobalt

Pre ľudí je esenciálny jedine vo forme vitamínu B_{12} . Soli kobaltu (dávnejšie používané v liečbe anémie a pridávané do piva) sú vysoko toxické – poškadzujú predovšetkým myokard.

Molybdén

Je antagonistom medi. V niektorých častiach sveta je vysoká koncentrácia molybdénu v pôde a zapríčiňuje choroby hovädzieho dobytku. Je súčasťou niektorých enzýmov, (patrí k nim xantinoxidáza a retinaloxidáza) ale jeho deficit u ľudí nie je známy.

Nikel

Vysoká koncentrácia nikelu je v cigaretovom dyme a je pravdepodobne rizikovým faktorom vzniku rakoviny pľúc u fajčiarov. Deficit nie je známy.

Cín (Sn, stannum)

Pravdepodobná úloha v metabolizme kostí. Deficit neexistuje.

10.5. STOPOVÉ PRVKY – NEKOVY

Selén

Selén je štruktúrnym komponentom aktívneho centra **glutatiónpoxidázy**, kľúčového enzýmu antioxidantnej ochrany a jednej formy **jódyroníndejodínázy**, enzýmu, ktorý reguluje metabolizmus iného stopového prvku - jódu. Selén (ako jediný stopový prvok) nie je zabudovaný do týchto enzýmov postsynteticky, ale v DNA je zvláštny kód pre selenocysteín, ktorý vzniká enzymaticky z metionínu.

Hlavné zdroje: Cesnak, kvasinky a morské ryby. RDA je $\approx 70 \mu\text{g}$ pre mužov a $\approx 50 \mu\text{g}$ pre ženy. Rozpätie medzi esenciálnou a toxickou dávkou je pre pomerne úzke.

Ťažký deficit selénu (pre jeho nedostatok v pôde) sa vyskytuje v niektorých oblastiach Číny a prejavuje sa degeneratívnou myokardiopatiou (**m. Keshan**). **Marginálny deficit** selénu pravdepodobne vedie k oslabeniu antioxidantnej ochrany organizmu a nepriamo umožňuje rýchlejší rozvoj aterosklerózy a mnohých iných ochorení súvisiacich s oxidačným poškodením. Podľa najnovších údajov hladina selénu v krvi u obyvateľov Slovenska v porovnaní s ostatnými krajinami Európy je nízka.

Nedávno bola v USA dokončená veľká desaťročná štúdia o úlohe selénu v prevencii rakoviny. Účastníci (z oblastí s nedostatkom selénu v pôde) dostávali až 200 mikrogramov selénu denne. Podávaný selén zvýšil hladinu selénu v krvi až o 67 %. Po desiatich rokoch došlo v liečenej skupine k výraznému výskytu rakoviny prostaty, hrubého čreva, konečníka pľúc. Vedľajšie príznaky zvýšeného prísunu selénu sa nevyskytli.

Predávkovanie selénu vedie ku gastrointestinálnym poruchám a kachexii. Vyskytuje sa u zvierat v oblastiach s vysokým obsahom Se v pôde (Írsko, niektoré oblasti USA).

Jód

Jód je najťažší stopový prvok (atómové číslo 53, atómová hmotnosť 127). Ľudské telo obsahuje asi 50 mg jódu, z čoho 10 – 20 mg sa nachádza v štítnej žľaze ako anorganický jód a vo forme hormónov viazaných na zásobnú bielkovinu. Hlavné zdroje sú morské ryby a riasy, vaječný žltok. RDA je 100 – 200 $\mu\text{g/d}$. V strave sa nachádzajú predovšetkým jodidy, ktoré v štítnej žľaze sú oxidované na I_2 a potom zabudované do molekuly tyrozínu. Plazmatická koncentrácia jódu za normálnych okolností je medzi 8 – 10 $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$. Markerom rovnováhy metabolizmu jódu je jeho exkrécia v moči – má byť nad 100 $\mu\text{g/d}$.

Na Zemi deficit jódu a jeho následky (endemická struma, hypofunkcia štítnej žľazy s mentálnou retardáciou) ohrozujú viac ako 500 miliónov ľudí. Pred 40 rokmi v niektorých oblastiach našej krajiny výskyt endemickej strumy dosahoval 70 %. Preventívne opatrenia (jodidácia soli; 25 mg KI/kg NaCl) viedli k dramatickému zlepšeniu tejto situácie. Okrem deficitu aj **strumigény** môžu narušiť rovnováhu jódového metabolizmu.

Flór

Tento halogén je metabolický jed, ale v malých koncentráciách (1 – 2 mg/d) má dôležitú úlohu v prevencii zubného kazu. Jeho účinok je pravdepodobne trojnásobný:

1. Už **0,1 mmol/l** fluoridu blokuje enolázu baktérií
2. **Fluoroapatit**, ktorý tvorí 10 % zubnej skloviny je oveľa rezistentnejší na kyslú hydrolyzu ako hydroxyapatit.

3. Flór pomáha pri premene amorfného kalciumfosfátu na kryštalický apatit.

Dodávka môže byť zabezpečená floridáciou pitnej vody (optimálna koncentrácia 0,08 mmol/l), ústnej vody, zubnej pasty alebo podávaním tabletiiek KF. Predávkovanie blokuje mineralizáciu kostí a zubov a zvyšuje kazivosť (floróza).

Bór a kremík (silícium, Si)

Obidva prvky sú esenciálne pre rastliny, ale bór je toxický pre zvieratá a ľudí. Pravdepodobne majú určitú úlohu v metabolizme kalcia a tvorbe kostí. Ich deficit nie je známy.

PRÍLOHA 10.1.

Prvkové zloženie tela vyšších živočíchov

PRVOK	VÁHOVÉ %	MNOŽSTVO (80 kg ČLOVEK)	% Z POČTU ATÓMOV V TELE
O*	65	52,0 kg	25,5
C	18	14,4 kg	9,4
H*	10	8,0 kg	62,7
N	3	2,4 kg	1,34
Ca**	1,5	1,2 kg	0,23
P**	1,0	800 g	0,20
K	0,35	280 g	0,056
S	0,25	200 g	0,050
Na	0,15	120 g	0,044
Mg	0,05	40 g	0,0125
Fe	0,005	4 g	0,0006 (6 na 1 milión)
Zn	0,0025	2 g	0,00026
Cu	0,00015	120 mg	0,000013
I	0,00006	50 mg	0,000003 (3 na 100 miliónov)
Mn	0,000012	10 mg	0,0000013
V	0,0000012	1 mg	0,0000001 (1 na miliard)
ostatné		560 g	

* Väčšinou ako voda (50 - 55 %). 80 kg ľudské telo obsahuje asi 42 kg vody. Z toho na O pripadá 37.3 a na H 4.7 kg. To znamená, že z 10% H len 4.2 je v organických zlúčeninách a z 65% kyslíka 46.7% pripadne na vodu. Váhové množstvo O₂ v ľudskom tele je zanedbateľné, lebo jeden liter O₂ váži len asi 1,5 g.

** skoro všetko v kostiach