

Interakce a využitelnost esenciálních minerálních prvků v organismu

Iveta Kapavíková

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie a mikrobiologie potravin
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Iveta KAPAVÍKOVÁ**
Osobní číslo: **T090069**
Studijní program: **B 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**

Téma práce: **Interakce a využitelnost esenciálních minerálních prvků v organismu**

Zásady pro vypracování:

- . **Charakteristika esenciálních minerálních prvků**
- . **Výskyt esenciálních minerálních prvků v potravinách**
- . **Výskyt esenciálních minerálních prvků v organismu**
- . **Vazebné možnosti a metabolismus esenciálních minerálních prvků**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 1. 3. přeprac. vyd. Tábor: OSSIS 2009.*
2. KVASNIČKOVÁ, A. *Minerální látky a stopové prvky: esenciální minerální prvky ve výživě. Praha: ÚZPI 1998.*
3. PATWARDHAN, U. *Calcium bioavailability: an in vivo assessment. Nutrition Research. 2001, 21(4), 667-675.*
4. ERES, J., BUREAU, F., NEUVILLE, D., ARHAN, P., BOUGLE, D. *Inhibition of zinc absorption by iron depends on their ratio. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2001, 15(4), 237-241.*
5. WATZKE, H.J. *Impact of processing on bioavailability examples of minerals in foods. Trends in Food Science. 1998, 9(8-9), 320-327.*

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Soňa Škrovánková, Ph.D.
Ústav analýzy a chemie potravin

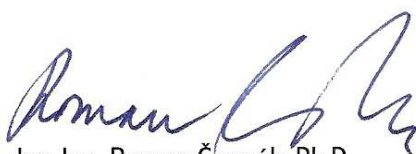
Datum zadání bakalářské práce:

1. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

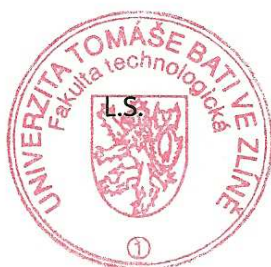
21. května 2012

Ve Zlíně dne 10. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan





doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Kapavikova' Iveta.....

Obor: ČFTP.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 1.8.2012.....

Kapavikova' Iveta.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o významných esenciálních minerálních prvcích, a to o vápníku, zinku, selenu, železu a chromu. Jsou zde uvedeny jejich biochemické a fyziologické funkce a potravinové zdroje těchto prvků. Pozornost je věnována metabolismu a biologické využitelnosti těchto vybraných prvků a jejich vazebným možnostem v potravinách.

Klíčová slova: esenciální minerální prvky, vápník, zinek, selen, železo, chrom, vazebné možnosti, využitelnost

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the important essential mineral elements, namely calcium, zinc, selenium, iron and chromium. Their biochemical and physiological functions in humans and food sources are mentioned. The work is also focused on metabolism and bioavailability of selected elements and options of their binding in foodstuffs.

Keywords: essentials mineral elements, calcium, zinc, selenium, iron, chromium, binding possibilities, bioavailability

Děkuji Ing. Soni Škrovánkové, Ph.D za odborné vedení a cenné rady poskytnuté při zpracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ESENCIÁLNÍ MINERÁLNÍ PRVKY	10
2 VÁPŇÍK	14
2.1 VÝSKYT A FUNKCE VÁPŇÍKU V ORGANISMU	14
2.2 VÝSKYT VÁPŇÍKU VE STRAVĚ	15
2.3 VAZEBNÉ MOŽNOSTI VÁPŇÍKU	16
2.4 METABOLISMUS A RESORPCE VÁPŇÍKU	17
2.4.1 Regulace bilance vápníku v organismu.....	17
2.4.2 Faktory ovlivňující resorpci vápníku	18
3 ZINEK	21
3.1 VÝSKYT A FUNKCE ZINKU V ORGANISMU	21
3.2 VÝSKYT ZINKU VE STRAVĚ.....	22
3.3 VAZEBNÉ MOŽNOSTI ZINKU.....	23
3.4 METABOLISMUS A RESORPCE ZINKU.....	24
3.4.1 Faktory ovlivňující vstřebávání zinku.....	25
4 SELEN	27
4.1 VÝSKYT A FUNKCE SELENU V ORGANISMU.....	27
4.2 VÝSKYT SELENU VE STRAVĚ	28
4.3 VAZEBNÉ MOŽNOSTI SELENU	30
4.4 METABOLISMUS A RESORPCE SELENU	31
5 ŽELEZO	32
5.1 VÝSKYT A FUNKCE ŽELEZA V ORGANISMU	32
5.2 VÝSKYT ŽELEZA VE STRAVĚ.....	33
5.3 VAZEBNÉ MOŽNOSTI ŽELEZA.....	34
5.4 METABOLISMUS A RESORPCE ŽELEZA.....	36
5.4.1 Faktory ovlivňující vstřebatelnost železa.....	37
6 CHROM	39
6.1 VÝSKYT A FUNKCE CHROMU V ORGANISMU	39
6.2 VÝSKYT CHROMU VE STRAVĚ.....	40
6.3 VAZEBNÉ MOŽNOSTI CHROMU.....	41
6.4 METABOLISMUS A RESORPCE CHROMU.....	42
ZÁVĚR	43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
SEZNAM OBRÁZKŮ	48
SEZNAM TABULEK	49

ÚVOD

Minerální prvky jsou v lidském organismu zastoupeny v malém množství, jsou však pro něj nezbytné. Do organismu jsou dodávány především prostřednictvím potravin, nápojů, někdy i vdechovaným vzduchem a přes kůži. Esenciální minerální prvky jsou nezbytné pro adekvátní růst, reprodukci a zdraví během života. Pro pokrytí potřeby jednotlivých prvků není důležitý jen jejich obsah ve stravě, ale i jejich stravitelnost a využitelnost v organismu a jejich vzájemné interakce.

Obsah minerálních látek se v potravinách velmi liší a variabilní jsou i koncentrace minerálních prvků v rámci určité komodity. Tyto odlišnosti jsou dány zejména podmínkami produkce potravin, ale i genetickými faktory a odlišnostmi v metabolismu prvků v organismu.

Biologická využitelnost prvků ve stravě je ovlivňována interakcemi mezi minerálními prvky a ostatními složkami stravy. Pro charakter interakcí prvku v organické matici potravinářského materiálu jsou rozhodující chemické vlastnosti daného prvku. Tyto vlastnosti jsou určeny umístěním prvku v periodické soustavě a vyplývají z elektronové konfigurace atomu prvku. Řada složek potravin může vázat minerální prvky a tím ovlivňovat jejich biologickou využitelnost.

Práce je zaměřena na možnosti interakcí a využitelnost významných esenciálních minerálních prvků - vápník, zinek, selen, železo a chrom. Vápník je v lidském organismu nejvíce zastoupeným minerálním prvkem. V organismu vápník zastává stavební funkci, nachází se v kostech a zubech, ovlivňuje nervosvalovou dráždivost a uplatňuje se při srážení krve. Zinek je pro lidský organismus nepostradatelný, protože aktivuje více než 200 enzymů, je zapojen do fotochemických procesů vidění, ovlivňuje spermatogenezi a uplatňuje se při tvorbě inzulinu. Selen chrání organismus před poškozením volnými radikály kyslíku, působí jako antikarcinogen a může inhibovat iniciační i progresivní fázi nádorového bujení v organismu. Železo je hlavním přenašečem dýchacích plynů v organismu, kde je součástí hemoglobinu a myoglobinu. Chrom v trojmocné formě ovlivňuje v organismu metabolismus sacharidů a tuků, zatímco šestimocný chrom je silné oxidační činidlo a má toxické účinky.

1 ESENCIÁLNÍ MINERÁLNÍ PRVKY

Minerální látky nemají energetický význam, podílejí se však na biochemických pochodech v organismu a na výstavbě tkání. Jsou také součástí hormonů a enzymů, a tak se účastní látkové přeměny. Minerální látky potravin jsou obvykle definovány jako prvky obsažené v popelu potraviny nebo přesněji jako prvky, které zůstávají ve vzorku potraviny po úplné oxidaci organického podílu na oxid uhličitý, vodu aj. Minerální podíl tvoří u většiny potravin 0,5 – 3 hmotnostních procent [1,2].

Minerální látky lze klasifikovat podle různých kritérií, např. s ohledem na jejich množství v potravinách, biologický a nutriční význam, účinky ve stravě a původ [2].

Podle množství v potravinách jsou minerální prvky děleny do skupin [2]:

- Majoritní minerální prvky dříve nazývané mikroelementy, se vyskytují v potravinách ve větším množství, obvykle v setinách až jednotkách hmotnostních procent (tj. ve stovkách až desetitisících mg/kg) a patří k nim Na, K, Mg, Ca, Cl, P a S.
- Minoritní minerální látky, které jsou v potravinách obsaženy v menších množstvích představujících několik desítek až stovek mg/kg; tvoří přechod mezi majoritními a stopovými prvky; obvykle se sem řadí Fe a Zn.
- Stopové prvky čili mikroelementy jsou v potravinách zastoupeny v ještě nižších koncentracích (desítky mg/kg a méně). Patří sem Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, I, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn; v literatuře se lze setkat také s termínem ultrastopové prvky, který označuje podskupinu stopových prvků se zvláště nízkým obsahem (jednotky µg/kg a méně).

Obsah minerálních látek se mezi jednotlivými potravinami velmi liší a také uvnitř určité komodity může být velmi variabilní. To je dáno odlišnostmi metabolismu prvků u různých organismů, genetickými faktory a zejména podmínkami produkce potravinářských surovin. Rostlinná pletiva a živočišné tkáně totiž obsahují proměnlivá množství minerálních složek. U rostlin je obsah minerálních látek závislý na obsahu prvků v půdě, na vlastnostech půdy,

způsobu a míře hnojení, na klimatických podmínkách, na stupni zralosti plodin atd. U živočišných produktů je rozhodující výživa, stáří a zdravotní stav zvířete [2].

Podle fyziologického významu pro organismus lze minerální prvky v potravinách rozdělit do tří skupin [2]:

- Esenciální prvky, tj. prvky nezbytné (též obligatorní), které organismus musí přijímat v potravě v určitém množství, aby byly zajištěny biologické funkce (např. stavba biologických struktur, katalytické funkce, regulační funkce, ochranné funkce atd.); mezi esenciální prvky patří všechny majoritní (Na, K, Mg, Ca, Cl, P, S), minoritní (Fe, Zn) a řada prvků stopových (Mn, Cu, Ni, Co, Mo, Cr, Se, I, F, B, Si).
- Toxické prvky, tj. prvky, které ve formě svých sloučenin nebo v elementární formě vykazují toxické účinky; mechanismus těchto účinků často spočívá v inhibici metabolicky významných enzymů, která je důsledkem interakce toxického prvku s molekulou enzymů, k nejdůležitějším toxickým prvkům patří Pb, Cd, Hg a As.
- Neesenciální prvky, tj. prvky fyziologicky indiferentní, či prvky u nichž není dosud známa biologická funkce a nejsou ani výrazně toxické; do této skupiny patří všechny ostatní chemické prvky v potravinách zastoupené obvykle ve stopách (např. Li, Rb, Cs, Ti, Au, Sn, Bi, Te, Br); tyto pravidelně doprovázejí esenciální prvky (např. Li doprovází Na).

Zařazení prvku do výše zmíněných skupin není zcela definitivní a je vázáno na biologický druh, pro který je daný prvek esenciální. Esenciální prvek je běžně dodáván dietou, vlastnosti jsou definovány následovně [2]:

- prvek je přítomen ve všech zdravých tkáních těla
- koncentrace prvku ve stejných tkáních těl různých biologických druhů jsou podobné
- vyloučení prvku z diety vede opakovaně k fyziologickým abnormalitám
- opětovným přidáním prvku do deficitní diety se fyziologický stav vrací k normálu
- úplná a dlouhodobá eliminace prvku z diety má za následek smrt organismu.

Při nedostatečném příjmu některých esenciálních prvků lze určité potraviny těmito prvky obohacovat. Pokud jsou vyrovnávány ztráty vzniklé při technologickém zpracování potravin, jedná se o restituci. V případě, kdy se zvyšuje hladina prvku nad jeho přirozenou koncentraci v dané potravíně, jedná se o obohacování – fortifikaci (např. k sušenému mléku určenému pro výživu kojenců je přidáváno železo ve formě fumarátu železnatého). Nejsou výjimečné ani případy, kdy se přidává do potravin prvek, který v nich nebyl přítomen. V těchto případech se jedná o nutrifikaci (např. přísady jodu k jodlé soli ve formě jodidu nebo jodičnanu) [3].

Fyziologické účinky minerálních látek závisejí na množství, které organismus přijme. Existuje účinný rozsah, tzv. bezpečný a adekvátní rozsah, zajišťující optimální funkci. Při příjmu výrazně nižším se objevují známky deficitu, pokud příjem přesahuje bezpečný a adekvátní rozsah, začínají se projevovat známky toxicity (např. F, Se). V podstatě lze všechny esenciální prvky považovat za toxické, jestliže se konzumují v nadměrném množství. Koncentrace, při kterých se projevuje toxicita, jsou však pro jednotlivé prvky rozdílné. Užitečným parametrem je index relativní toxicity, což je poměr mezi minimální toxicitou denní dávkou a nejvyšší doporučenou denní dávkou (Tab. 1) [4].

Tab. 1. Index relativní toxicity u vybraných minerálních prvků [4]

Prvek	Nejvyšší doporučený denní příjem [mg]	Odhadovaná min. toxická denní dávka [mg]	Index relativní toxicity
vápník	1200	12000	10
fosfor	1200	12000	10
hořčík	400	6000	15
železo	18	100	6
zinek	15	500	33
měď	3	100	33
jod	0,15	2	13
selen	0,2	1	5

Z Tab. 1 je např. patrné, že selen, který se dříve považoval za toxický, má relativní toxicitu podobnou železu. Cílem je zajistit, aby příjem jednotlivých prvků byl bezpečný a adekvátní. Jak požadovanou, tak toxickou koncentraci kteréhokoli prvku ovlivňují ostatní dietetické složky, zvyšující nebo snižující jeho biologickou využitelnost. Relativní biologická využitelnost se definuje jako podíl prvku v potravě, který se absorbuje a využívá ve srovnání s čistým standardem. Biologická využitelnost prvku se nejčastěji snižuje vytvářením chelá-

tů ve střevech (vzniká pevný nebo nerozpustný komplex) nebo přítomností antagonistů (např. fytát obsažený v semenech tvoří cheláty se zinkem a snižuje tak jeho biologickou využitelnost; nadměrný obsah zinku snižuje absorpci a využití mědi) [4].

Minerální látky obsažené v potravinách interagují s vodou, s přítomnými organickými látkami i navzájem mezi sebou. Tyto interakce pak ovlivňují biologickou využitelnost prvků ve stravě. O chemickém stavu prvku v potravine rozhoduje složení potraviny, hodnota pH, možnost hydratace kovových iontů, redoxní potenciál systému a s tím související možnost změny oxidačního stupně prvku a další faktory. V těsném vztahu k resorpci minerálních látek v organismu je rozpustnost příslušných chemických individuů. Řada důležitých složek potravin, jako jsou aminokyseliny, peptidy, bílkoviny, sacharidy, lignin, fytová kyselina, organické kyseliny a jiné sloučeniny, může vázat minerální prvky a tím ovlivňovat jejich biologickou využitelnost [2].

Nekovy a metaloidy se střední hodnotou elektronegativity (P, As, S, Se) tvoří v biologických systémech kovalentní sloučeniny (estery kyseliny fosforečné, difosforečné a trifosforečné, sirné aminokyseliny a jejich selenová analoga, sirné heterocykly aj.) [2].

Prvky s nízkými a vysokými elektronegativitami se v biologických materiálech vyskytují převážně jako volné ionty a přednostně se účastní elektrostatických interakcí. Avšak i těchto prvků je možná vazba v málo rozpustných, kovalentních i komplexních sloučeninách [2].

Přechodné kovy a některé nepřechodné mají výrazný sklon k tvorbě komplexních sloučenin. To je dáno mimo jiné menším poloměrem a větším nábojem jejich iontů. Stabilita komplexů závisí na druhu donorových atomů ligandu, na kovu a jeho oxidačním stupni a na sterických faktorech. Kationty kovů s vyšším nábojem však mohou v neutrálním nebo slabě kyselém prostředí tvořit nerozpustné hydroxidy (např. $\text{Fe}(\text{OH})_3$) nebo oxidy, případně oxokationty [2].

2 VÁPNIK

Vápník (kalcium) patří do II. A skupiny v periodické tabulce prvků, mezi kovy alkalických zemin. Vápník je stříbrobílý, lesklý a poměrně měkký kov. V jeho valenční vrstvě se nachází dva elektrony, které se snadno odštěpují a vápník tak tvoří dvojmocné kationty. V přírodě se vyskytuje nejčastěji ve formě nerozpustných uhličitanů, málo rozpustných síranů a rozpustných hydrogenuhličitanů [5].

2.1 Výskyt a funkce vápníku v organismu

Vápník je v lidském těle obsažen ve větším množství než kterýkoliv jiný prvek. Celkový obsah je kolem 1200 g u dospělého člověka vážícího 70 kg. Asi 99 % vápníku v těle se vyskytuje v kostře a zubech [6].

Vápník se v kostech vyskytuje spolu s fosforem ve formě krystalického komplexu, hydroxyapatitu. Krystaly jsou velmi malé, v průměru mají 20 - 30 nm. Ionty na povrchu krystalu se vzájemně ovlivňují s ionty v extracelulární tekutině. Kost tedy funguje jako velký iontový výměník. Tato anorganická složka kosti je vázána na kolagen a tvoří tak mezibuněčnou hmotu matrix. Taktéž zubovina (dentin) obsahuje hydroxyapatit [7].

Tvorba kostní hmoty probíhá během prvních dvou až tří dekad života. Maxima kostní hmoty se dosáhne ve věku 25 – 30 let. V pozdějším věku, i při trvale vysokém příjmu vápníku, se maximum kostní hmoty nezvýší. Během normálního biologického procesu stárnutí dochází k úbytku kostní hmoty, a to asi 0,5 % za rok u mužů a 1,0 % za rok u žen. Proto dostatečný příjem vápníku u dospělých je nezbytný z toho důvodu, aby se zamezilo vyšším ztrátám kostní hmoty než je nezbytně nutné [4].

Vápník, který není vázán ve strukturách kostry a zubech, je přítomen v tělních tekutinách. Přibližně polovina celkového obsahu vápníku v krevním séru je vázána na bílkoviny, především albumin. Malé množství vápníku je vázáno na citrát nebo sulfát. Zbývající část cirkuluje v těle jako volný vápenatý iont, který je nezbytný pro srážení krve, svalovou kontrakci, pro funkci nervů. Aktivuje nebo inhibuje některé enzymy a je nezbytný pro správnou funkci bílkovin a regulaci permeability buněčných membrán. Snížení koncentrace vápníku v krvi vede ke zvýšení nervosvalové dráždivosti, vzniku křečí. Vápník také ome-

zuje riziko rakoviny tlustého střeva, pomáhá proti nespavosti, účastní se vstřebávání železa. Reguluje pH krve a tak ji chrání před překyslením. Tímto způsobem neutralizuje kyselost, ke které dochází při metabolismu bílkovin [5,6,8,9].

Doporučené denní dávky vápníku jsou 400 - 500 mg u dětí do 1 roku, 800 - 1200 mg u starších dětí a adolescentů, 800 mg u dospělých a 1200 mg u těhotných a kojících žen [2].

Deficit vápníku se u mládeže projevuje jako křivice (rachitida), u dospělých jako měknutí kostí (osteomalacie), což může být problémem především u starých lidí a těhotných a kojících žen) [5].

Nejčastějšími projevy nadbytku vápníku v organismu jsou poruchy nervového systému a funkcí trávicího ústrojí. Při dlouhodobém nadbytku vápníku v organismu dochází k ukládání komplexů vápníku do měkkých tkání, jako jsou ledviny, kůže a rohovka. Dále mohou projevit poruchy srdečního rytmu [8,10].

2.2 Výskyt vápníku ve stravě

V České republice se přibližně 50 až 70% celkové denní potřeby vápníku hradí mlékem a mléčnými výrobky. Využitelnost vápníku z mléka a mléčných výrobků je vysoká. Mléko neobsahuje látky, které by vážaly vápník do nevstřebatelné formy, a tím znemožňovaly jeho využití, a naopak obsahuje laktózu a některé aminokyseliny, které využitelnost vápníku zvyšují. Obsah tuku v mléku a mléčných výrobcích nemá prakticky žádný vliv na obsah vápníku. Využitelnost vápníku z mléčných výrobků zvyšuje nízká hodnota pH v těchto výrobcích. Výjimkou jsou sýry tavené, při jejichž výrobě se používají fosforečné soli, které vápník vážou, a tak znemožňují jeho vstřebávání v organismu [1,4].

Potraviny obsahující vápník jsou uvedeny v Tab. 2. Rybí maso obsahuje 15 až 60 mg vápníku ve 100 g, není tedy bohatým zdrojem tohoto prvku. Relativně vysoký obsah vápníku se nachází v konzervovaných sardinkách, to je dáno tím, že se konzumují celé ryby, tedy i včetně kostí. Zvýšený obsah vápníku v drůbežích masných výrobcích z mēlněné suroviny, je způsoben větším podílem kostní hmoty, získané při mechanické separaci. Využitelnost takto získaného vápníku je ale minimální. Zelenina a ovoce obsahující šťavelany (např. špenát, rebarbora, rybíz, angrešt) nejsou dobrými zdroji vápníku, protože šťavelany výrazně snižují využití vápníku v organismu. Chléb a pečivo jsou také zdrojem vápníku, ale na-

příklad černý chléb a pečivo z nízko vymílané mouky obsahují fyáty, které zabraňují vstřebávání vápníku v organismu [1,5,9].

Pro výrobu doplňků stravy se využívá uhličitan vápenatý, vápenaté soli kyseliny citronové, chlorid vápenatý, glukonan vápenatý, mléčnan vápenatý, vápenaté soli kyseliny fosforečné a oxid vápenatý. Z důvodu nejlepší vstřebatelnosti jsou nejvhodnější z užívaných sloučenin vápenaté soli kyseliny citronové [11,12].

Tab. 2. Obsah vápníku ve vybraných potravinách [2]

Potravina	Obsah vápníku [mg/kg]	Potravina	Obsah vápníku [mg/kg]
maso vepřové	50-90	sója	1300-1800
maso hovězí	30-150	zelí	300-750
maso kuřecí	60-130	květák	180-310
játra vepřová	60-70	špenát	700-1250
ryby	60-5200	hlávkový salát	400-800
mléko	1100-1300	rajčata	60-140
tvoroh	960-990	mrkev	240-480
sýry	1500-12000	hrášek	260-410
jogurt	1400	cibule	200-440
vejce slepičí	550-570	brambory	30-130
vaječný bílek	50-110	jablka	30-80
vaječný žloutek	1300-1400	pomeranče	400-730
pšenice	230-500	banány	50-120
mouka pšeničná	130-260	jahody	180-260
chléb celozrnný	140-650	vlašské ořechy	600
rýže loupaná	50-110	čaj černý	4300
hrách	440-780	káva pražená	1300
čočka	400-750	čokoláda mléčná	2200-3200
fazole	300-1800		

2.3 Vazebné možnosti vápníku

Základní atomové a fyzikální vlastnosti vápníku jsou uvedeny v Tab. 3. Vápník má uzavřenou valenční sféru obsahující 2 elektrony. I přes vysokou ionizační energii se vápník běžně začleňuje do sloučenin v podobě kationtů Ca^{2+} . Vápník tvoří oktaedrické chelátové komplexy [13].

Tab. 3. Atomové a fyzikální vlastnosti vápníku [13]

Protonové číslo	20
Elektronová konfigurace	[Ar]4s ²
1. ionizační energie ^a [kJ/mol]	1735
Elektronegativita	1,0
Teplota tání [°C]	839
Kovový poloměr [pm]	197
Poloměr kationtu Ca ²⁺ [pm]	100

^a Odpovídá procesu $\text{Ca(g)} \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{g})$.

Vápník se v biologických materiálech vyskytuje jako volný iont a přednostně se účastní elektrostatických interakcí. Avšak je možná i vazba v málo rozpustných sloučeninách, kovalentních sloučeninách nebo komplexních sloučeninách. Vyskytuje se v komplexech s fosfáty, kyselinou fytoovou (Ca₅Mg-fytát), vlákninou (celulosou a hemicelulosou), kaseinem, fosfokaseinem, citráty, sírany, uhličitany, kyselinou askorbovou a šťavelovou, pektinem, fosfolipidy, proteiny a jako vápenatá mýdla [2,11].

Interakce s proteiny, peptidy a aminokyselinami probíhá pomocí vazby na kyselý konec řetězce, fosfoserinovou skupinu a vazbou ve fytát-proteinových komplexech. Dále se váže na kyselou skupinu pektinu a hydroxylovou skupinu ligninu [11].

2.4 Metabolismus a resorpce vápníku

Většina vápníku je v potravě vázána v komplexech s dalšími složkami. V této formě je pro střevní buňky nevstřebatelný, proto se v žaludku redukuje na dvojmocnou formu, která jediná je schopna vstřebání. Nejvíce se vstřebává v tenkém střevě, kde je kyselé prostředí. Stupeň resorpce vápníku je asi 5 -15 %. Absorpce v tlustém střevě je poněkud horší kvůli alkalickému prostředí, avšak je stěžejní pro potraviny rostlinného původu, kdy je vápník vyvazován z komplexů fermentační činností bakterií [2,14].

2.4.1 Regulace bilance vápníku v organismu

Vápníková homeostáza je řízena ledvinami, kostmi a gastrointestinálním traktem a pomocí a to pomocí tří hormonů, parathormon, kalcitonin a kalcitriol. Je udržována na hodnotě 2,2 - 2,55 mmol/l. Hlavním regulátorem je parathormon (PTH) vylučovaný příštítnými tělísky. Regulačním podnětem je přímo kalcémie. Hypokalcémie zvyšuje sekreci PTH,

hyperkalcémie ji snižuje. PTH reguluje koncentraci vápníku v plazmě, a to tak že z kostí podporuje uvolňování vápníku i fosforu, v ledvinných tubulech zvyšuje zpětnou resorpci vápníku a tím snižuje jeho vylučování močí. Současně snižuje resorpci fosfátů a zvyšuje jejich vylučování. Kalcitriol nebo také „D hormon“ (aktivní metabolit vitamínu D) rovněž zvyšuje kalcémii, i když biologickým smyslem je vlastně mineralizace kostí. Kalcitriol totiž zvyšuje ve střevě i v ledvinách resorpci jak vápníku, tak fosfátů a podporuje jejich ukládání do kostí. Kalcitonin je antagonistou kalcitriolu, inhibuje resorpci vápníku i fosfátů v kostech i ledvinách a tím snižuje kalcémii. Jeho význam je nejasný, protože regulace kalcémie je dostatečně zajištěna kolísáním hladiny PTH. Protože se však kalcitonin uvolňuje po jídle, usuzuje se, že snížením kalcémie vlastně podporuje resorpci vápníku ve střevě [7,8,15].

K dalším hormonům ovlivňujícím vápníkový metabolismus patří pohlavní hormony, estrogeny a androgeny, růstový hormon, tyreoidální hormony a glukokortikoidy [16].

Kromě hormonální regulace ovlivňují plazmatickou koncentraci iontů vápníku také fosfátové anionty a pH krve. Zvýšená koncentrace fosfátů vede k tvorbě neionizovaných molekul fosforečnanu vápenatého, jenž se pak ukládají do kostí a patologicky i do jiných tkání. Při zvýšeném pH se vápník váže na krevní bílkoviny a koncentrace ionizovaného vápníku klesá, to je příčinou tendence ke křečím při alkalóze [16].

2.4.2 Faktory ovlivňující resorpci vápníku

Biologickou dostupnost vápníku ovlivňuje mnoho faktorů, dietních i fyziologických. Mezi fyziologické faktory patří aktuální hladiny vápníku a vitamínu D v krvi, věk, těhotenství, kojení, patofyziologický stav. Potravinové zdroje zahrnují nutrienty, které inhibují nebo naopak podporují absorpci [7].

Vláknina, kyselina šťavelová, fytová a uronová

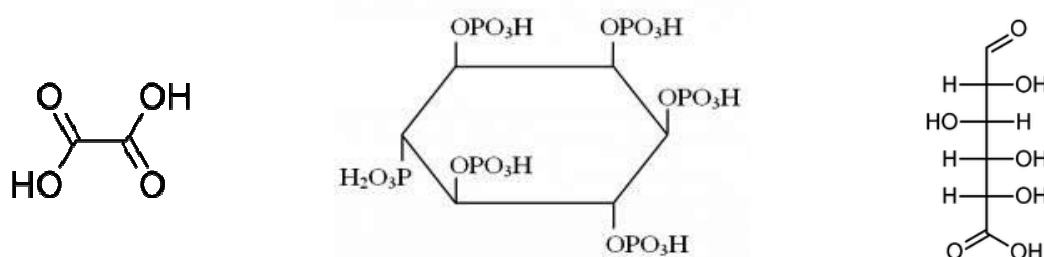
Potraviny rostlinného původu s vysokým obsahem vápníku (např. celozrnné obiloviny a luštěniny) jsou obvykle zároveň zdrojem vlákniny, která absorpci vápníku znesnadňuje. Vláknina totiž urychluje průchod potravy střevem a tím se pravděpodobnost využití vápníku snižuje [7,17].

Mezi další látky, které využití vápníku snižují, patří kyselina šťavelová, obsažená např. v rebarboře, špenátu, mangoldu, červené řepě, fazolích, vlašských ořeších, otrubách a čokoládě s vysokým podílem kakaa. Kyselina šťavelová vytváří s vápníkem nerozpustné sloučeniny – šťavelany – a tělo je pak nemůže dostatečně využít [7,17].

Podobně působí kyselina fytová (Obr. 1), která je obsažena v nevymýlaných obilovinách a ořeších a vytváří též nerozpustné komplexy, které jsou pro tělo těžko využitelné [7,17].

Stejný princip negativního působení na absorpci vápníku má i kyselina uronová, která se kromě masa a masných výrobků vyskytuje i v potravinách jako jsou sardinky, špenát, květák, červená řepa, fíky, hrášek, kakao a čokoláda [17].

Vláknina, šťavelany, fytáty a uronáty nesnižují absorpci vápníku jen dané potraviny, ve které se vyskytují, ale i dalších potravin konzumovaných současně, např. mléka [7].



Obr. 1. Kyselina šťavelová, kyselina fytová, kyselina glukuronová

Minerální látky: sodík, fosfor, draslík

Vysoký příjem sodíku snižuje resorpci vápníku v ledvinách a tím zvyšuje vylučování vápníku močí [18].

Protipólem sodíku je draslík, který naopak podporuje vstřebávání vápníku z ledvinových kanálů zpět do krve. Pravděpodobným mechanismem účinku draslíku je snižování endogenní tvorby kyselin, tím se zvýší pH extracelulárních tekutin, což vede ke zvýšení absorpce a snížení exkrece vápníku [19].

Stejný efekt jako vysoký příjem sodíku má i vysoký příjem fosforu. Uvádí se, že optimální hmotnostní poměr vápníku ku fosforu v dietě je 1 : 1 až 1 : 1,5. V současné době je příjem fosforu u většiny obyvatel poměrně vysoký, protože se jeho sloučeniny přidávají do mnoha potravinářských výrobků jako např. tavené sýry, kolové nápoje apod. [2,20]

Vitamin D

Sérová koncentrace kalcitriolu (aktivní formy vitamínu D) je pozitivně spojena se vstřebáváním vápníku, a má za následek asi 25 % z celkové absorpce. S přibývajícím věkem se snižuje senzitivnost receptorů pro vitamin D k cirkulujícímu kalcitriolu a míra vstřebatelnosti Ca ve střevech klesá [7].

I využitelnost vápníku z doplňků stravy ve formě uhličitanu vápenatého je zvýšena v přítomnosti vitamínu D. Rizikovým faktorem deficitu vitamínu D je kromě věku také nedostatečné vystavení UV záření. Také závisí na barvě pleti, kdy Afroameričané potřebují až 3x delší dobu pobytu na slunci k získání stejného množství vitamínu D, než lidé s bleudou pletí [7].

Tuk

Negativní efekt na vstřebávání vápníku má tuk pouze v případě tukové malabsorpce, tedy narušeného trávení či vstřebávání. Nadměrná koncentrace tuku odvádí vápník, který je navázán na mastné kyseliny (většinou nasycené mastné kyseliny) a tvoří nerozpustná vápenatá mýdla, která jsou nevstřebatelná [7].

Bílkoviny

Bílkoviny mají pozitivní účinek na resorpci vápníku. Nízký příjem bílkovin se v organismu projevuje krátkodobými změnami jako je zvýšená koncentrace parathormonu a kalcitriolu. Při dlouhodobém nedostatku proteinů ve stravě může dojít k narušení kalcémie. Hlavním transportním proteinem pro vápník je albumin, takže v důsledku jeho deficitu se snižuje biologická dostupnost vápníku [7].

3 ZINEK

Zinek patří mezi kovy II. B skupiny v periodické tabulce prvků. V přírodě se nevyskytuje volně, ale pouze ve sloučeninách. V biologických systémech se vyskytuje v dvojmocné formě a vytváří komplexy s koordinačním číslem IV [4,5].

3.1 Výskyt a funkce zinku v organismu

Zinek se v lidském organismu vyskytuje jako dvojmocný kation v množství 1,4 - 3 g, z toho se asi 55 % nachází ve svalech a 30 % v kostech, zbylý zinek se nachází v ostatních tkáních. Vysoké koncentrace se nacházejí především v kůži, vlasech, nehtech, očních tkáních, játrech, ledvinách, slezině a v mužských pohlavních orgánech. Krev obsahuje 6 - 7 mg/l zinku, přičemž asi 75 - 88 % tohoto množství připadá na erytrocyty, 12 - 22 % na krevní plazmu a zbytek na leukocyty a krevní destičky [2,4].

Zinek je v organismu nutný pro aktivaci více než 200 enzymů, např. alkalické fosfatázy, karboanhydrázy, alkoholdehydrogenázy, glutamátdehydrogenázy, retinolhydrogenázy (prevence šerosleposti). Enzym superoxidodismutáza chrání proti volným radikálům (Zn stabilizuje antioxidační účinky buněčné membrány a snižuje riziko lipoperoxidace). Zinek je nutný pro aktivitu DNA- a RNA-polymerázy, a tím pro syntézu nukleových kyselin a bílkovin (hojení ran), umožňuje stavbu bílkovin vazbou na cysteinové histidinové zbytky. Je součástí oční duhovky a je zapojen do fotochemických procesů vidění. Zinek může ovlivnit expresi genů, např. při syntéze metalothioneinu. Je významný pro vývoj a správnou gonadální funkci u mužů, ovlivňuje spermatogenezi a produkci testosteronu. Je důležitý pro integritu a bariérovou funkci kůže. Má komplexní účast na imunitním systému a při jeho deficitu je postižená především buněčná část imunity (pokles počtu a diferenciací T-lymfocytů). Dále má význam na aktivitu hormonu brzlíku thymulinu, uplatňuje se při tvorbě inzulinu a prodlužuje jeho hypoglykemický účinek. Snižuje toxický účinek olova a kadmia [5,8,10].

Optimální potřeby zinku na den jsou u dětí do 8 let 5 mg, nad 8 let 8-10 mg, pro ženy 12 mg, muže a těhotné a kojící ženy 15 mg [5].

Projevy mírného deficitu zinku nejsou klinicky výrazné. Závažnější deficit zinku se projevuje poruchami růstu u dětí a dospívajících, poruchou metabolismu kostí, opožděným dospíváním, poruchami vývoje pohlavních orgánů, u mužů snížením počtu a pohyblivosti spermií a u žen poruchami menstruace a hormonální disbalancí. Typické jsou poruchy kůže, dystrofie nehtů, zpomaluje se hojení ran, popálenin a vředů. Dále dochází k narušení imunity a mohou se objevit psychomotorické a psychosomatické poruchy. Je narušeno i smyslové vnímání, objevuje se šeroslepost, fotofobie, snížení ostrosti chuti [8,10].

Tolerance zinku je obecně velmi vysoká. Akutní i chronické otravy jsou výjimečné a jsou popsány jako choroby z povolání při vdechování par nebo prachu kovového zinku. Typickými příznaky akutní otravy jsou nevolnost, zvracení a průjem. Dlouhodobý nadměrný příjem zinku (jedná se zhruba o 10 – 20x vyšší dávku než je doporučena) snižuje vstřebávání železa a mědi, způsobuje poruchy funkce trávicího traktu [4,5,10].

3.2 Výskyt zinku ve stravě

Obsah zinku v potravinách se pohybuje v dosti širokém rozmezí. Obecně platí, že potraviny živočišného původu mají obsah zinku relativně vyšší, zatímco potraviny rostlinného původu spíše nižší. Obsah zinku ve vybraných potravinách je uveden v Tab. 4. Za dobré zdroje zinku se považuje maso, zvláště z vnitřních orgánů, celozrnné výrobky a mléčné výrobky (sýry). Velmi vysoký obsah zinku byl zjištěn v ústřicích (100 mg/kg) a některých typech ořechů (burské oříšky téměř 30 mg/kg) [4].

Některé potraviny jsou fortifikovány zinkem (např. dětská výživa, mléčné výrobky). Povolnými formami doplňků stravy jsou chlorid zinečnatý monohydrát, oxid zinečnatý, mléčnan zinečnatý trihydrát, octan zinečnatý dihydrát, síran zinečnatý monohydrát, síran zinečnatý heptahydrát, uhličitan zinečnatý, chelát zinku a aminokyselin [5,12].

Tab. 4. Obsah zinku ve vybraných potravinách [2]

Potravina	Obsah Zn [mg/kg]	Potravina	Obsah Zn [mg/kg]
maso vepřové	17-40	fazole	21-38
maso hovězí	30-43	sója	29-67
maso kuřecí	8,1-12	zelí	1,5-2,9
játra vepřová	56-112	květák	3,2-7,8
ryby	3,3-27	špenát	4,3-13
mléko plnotučné	3,4-4,7	hlávkový salát	3,3-9
tvaroh	13-14	rajčata	1,2-4,8
sýry	36-44	mrkev	2,5-5,9
jogurt	5,3-5,6	hrášek	11-15
vejce slepičí	13-15	cibule	3,1-5,2
vaječný bílek	2	brambory	1,7-4,9
vaječný žloutek	38	jablka	0,2-4,9
pšenice	26-38	pomeranče	0,9-1,2
žito	35-40	banány	1,8-2,6
mouka pšeničná	8-36	jahody	1,1-1,9
chléb celozrnný	13-29	vlašské ořechy	24
rýže loupaná	10-15	černý čaj	23,38
hrách	20-49	káva pražená	6,1-8
čočka	28-32	čokoláda mléčná	18-19

3.3 Vazebné možnosti zinku

Některé důležité vlastnosti zinku jsou uvedeny v Tab. 5. V porovnání s jinými kovy má zinek nízkou teplotu tání a varu. Struktura zinku v pevném skupenství je založena na typicky kovovém hexagonálním těsném uspořádání, které je však výrazně deformováno. Každý atom má šest nejbližších sousedů v těsně uspořádané rovině a tři sousedy z každé z přilehlých rovin ve vzdálenosti o 10 % větší. Důsledkem je, že má zinek mnohem menší hustotu a nižší pevnost v tahu než prvky I. B skupiny. Tyto vlastnosti jsou považovány za důsledek větší pevnosti vazby d elektronů k jádru, takže do kovové vazby jsou zapojeny pouze vnější elektrony s , a vazba je proto slabší [21].

Tab. 5. Vybrané vlastnosti zinku [21]

Protonové číslo	30	Ionizační energie [kJ/mol]	1. 906,1
Elektronová konfigurace	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²		2. 1733
Elektronegativita	1,6		3. 3831
Kovový poloměr (pro koordinační číslo 12) [pm]	134	Teplota tání [°C]	419,5
Iontový poloměr [pm] II	74	Teplota varu [°C]	907

Zinek na vlhkém vzduchu rychle ztrácí lesk a slučuje se s kyslíkem, sírou, fosforem a při zahřívání i s halogeny. Zinek se rozpouští ve vodných roztocích alkalických hydridů za vzniku zinečnatých iontů. Sloučeniny zinku mají konfiguraci d^{10} . Zinek se nevyznačuje ochotou tvořit komplexní sloučeniny s ligandy, ve kterých je donorový atom kyslík, dusík a síra. Pevné komplexy vznikají i s halogenidy a kyanidy [21].

Aminokyseliny mohou vázat zinek do koordinačních sloučenin prostřednictvím disociované karboxylové skupiny i aminoskupiny. V určitém intervalu pH může aktivně působit jako donor elektronového páru více funkčních skupin, což vede ke vzniku cyklických komplexů, chelátů (např. dihydrát glycinátového komplexu zinku $Zn(Gly)_2 \cdot 2H_2O$), které jsou termodynamicky stabilnější. Dále se často vyskytují cysteinátové a histidinátové komplexy [2].

U peptidů a bílkovin je možná vazba prostřednictvím N-koncové aminokyseliny, C-koncového karboxylu a dále funkčními postraními řetězci aminokyselinových zbytků. U peptidů mohou vznikat vícejaderné komplexy. Karboxypeptidáza obsahuje jeden atom zinku tetraedrity koordinovaný ke dvěma atomům dusíku histidinu, karboxylovému kyslíku glutamátového zbytku a molekule vody. Karbonátdehydratáza je zhruba kulová molekula obsahující jeden atom zinku umístěný v hluboké bílkovinné kapse, která obsahuje rovněž několik molekul vody. Atom zinku je koordinován ke třem imidazolovým atomům dusíku histidinových zbytků a k molekule vody. Dále vznikají metalothioneiny a metalloproteiny [2,21].

Komplex se zinkem může vytvořit laktóza, celulóza, hemicelulóza a kyselina fytová. Jako hlavní ligandy zinku v čajovém nálevu byly identifikovány glykosidy flavonolů [2].

3.4 Metabolismus a resorpce zinku

Zinek je vstřebáván v tenkém střevě, především v duodenu, pouze malé množství se vstřebává v žaludku a tlustém střevě. Účinnost resorpce je za normálních podmínek kolem 30 % a je regulována. Po vstupu do buňky střevní sliznice je zinek vázán na metalothioneinin, který zajišťuje homeostázu transportu přes střevní sliznici do krevního oběhu. V krvi je zinek transportován vázaný na proteiny – albumin a α -2-makroglobulin a na aminokyseliny histidin a cystin. Zinek je transportován do jater, odkud je dále uvolňován. Neexistuje

specifické místo, které by sloužilo jako zásobní. Hlavní cestou vylučování je gastrointestinální trakt, menší část je vyloučena močí a při laktaci je vylučován mlékem [2,8,10].

3.4.1 Faktory ovlivňující vstřebávání zinku

Biologickou dostupnost zinku ovlivňují fytáty, vláknina, aminokyseliny, proteiny, železo a vápník [22].

Fytáty a vláknina

Stejně jako vápník tvoří zinek s kyselinou fytovou nerozpustné komplexy. Bylo zjištěno, že molární poměr fytové kyseliny a zinku je určitým měřítkem biologické využitelnosti zinku z různých potravin. Strava s nízkým obsahem vlákniny a fytové kyseliny (poměr fytát/zinek <5), dává předpoklad dobré biologické dostupnosti. Střední využitelnosti (15 - 35 %) bývá dosaženo u smíšené stravy složené z potravin rostlinného i živočišného původu, kde se poměr fytát/zinek pohybuje asi od 5 do 10. Dlouhodobý příjem stravy s poměrem fytát/zinek větší než 20 vede k deficitu zinku. Obsah fytátu a jeho poměry se zinkem ve výrobcích z pšenice jsou uvedeny v Tab. 6 [2,23].

Existují metody k snížení obsahu kyseliny fytové v některých potravinách. První z nich je fermentace (kvašení chleba). Dále výrazně snižuje obsah fytátu vyklíčení a vymletí obilovin. V poslední době se používá úprava potravin s přidáním exogenních fytáz přímo do potravin a jako další možnost snížení fytátů v potravinách je pěstování geneticky modifikovaných rostlin [24].

Vláknina snižuje účinnost resorpce z důvodu interakce zinku a některých jejích složek. Některé výzkumy ovšem uvádějí, že vláknina nemá přímý vliv na absorpci. Potraviny obsahující vlákninu zpravidla obsahují i kyselinu fytovou, která tvoří se zinkem v organismu nerozpustný komplex. [2]

Aminokyseliny a proteiny

Množství a kvalita proteinů v jídle, může také ovlivnit vstřebávání zinku. Obecně proteiny zvyšují absorpci. Negativní vliv na absorpci má kasein v mléce (lépe využitelný je zinek

z mateřského než z kravského mléka) a proteiny sóji. Pozitivní vliv na absorpci mají aminokyseliny histidin a methionin [23,24].

Minerální látky: železo, vápník

Absorpce zinku může být snížena konzumací doplňků stravy s železem, ve kterých je obsaženo v množství nad 60 mg/den. Tato skutečnost má velký význam především při užívání doplňků stravy s železem během těhotenství a kojení. Interakce mezi železem a zinkem záleží na jejich vzájemném poměru, je-li poměr železo/zinek větší než 2:1 je absorpce zinku inhibována [22,25].

Samotný vápník nemá vliv na absorpci zinku. Může ji však ovlivnit, jsou-li v potravě přítomny fytáty. V tom případě se vytvoří nerozpustný komplex vápník-zinek-fytát. Obsah vápníku a fytátu je uveden v Tab. 6. Ve výživě člověka platí, že v dávce stravy, která zajistí energii 4,2 MJ, by hodnota poměru vápník x fytát/zinek neměla přesáhnout 200 mmol. Vyšší hodnoty představují riziko vážného deficitu zinku [2,22].

Tab. 6. Obsah zinku, vápníku, fytové kyseliny a další parametry ve výrobcích z pšenice [2]

Výrobek	Zn [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Fytát [%]	Fytát/zinek [mol/mol]	Ca x fytát/Zn [mmol/kg]	Ca x fytát/Zn [mmol/4,2MJ]
Pšeničná mouka bílá	10,2-16	170-240	0,21-0,34	14-29	86-138	24-38
Pšeničná mouka celozrnná	29	340	0,68-0,92	23-31	194-264	57-78
Pšeničné klíčky	132	390	1,64-2,24	13-18	129-185	36-49
Pšeničné otruby	73	730	1,98-2,69	27-37	490-670	227-309

4 SELEN

Selen patří do VI. A skupiny v periodické soustavě prvků a řadí se mezi chalkogeny a polokovy. V přírodě je poměrně vzácný. Chemicky se podobá síře a vyskytuje se v různých oxidačních stupních (-II, 0, +IV, +VI). Obvykle doprovází síru a telur. Je známo 6 různých alotropických modifikací selenu: tři červené monoklinické polymorfní formy, krystalická šedá forma, hexagonální forma a černá sklovitá forma [4,5,21].

4.1 Výskyt a funkce selenu v organismu

Selen se vyskytuje ve všech tkáních. V celém organismu je 63,5 - 190,5 μmol (5 - 15 mg) selenu. Největší množství je v ledvinách (0,2 - 1,5 mg/kg), játrech (0,24 - 0,4 mg/kg), pankreatu, vlasech (0,6 - 6 mg/kg) a kostech (1 - 9 mg/kg). Svalovina obsahuje 0,07 - 0,1 mg/kg selenu. Koncentrace selenu v krvi se pohybuje v rozmezí 40 - 350 $\mu\text{g/l}$. Je zde vázán v selenoproteinu P, v glutathionperoxidáze a asi 9 % na albumin [2,10].

Selen je součástí obranného systému organismu. Chrání buňky proti poškození způsobenému volnými radikály kyslíku. Je rozhodující pro vznik enzymu glutathionperoxidázy, který odstraňuje nadbytek peroxidů. Tento enzym existuje ve více formách: GSHPx1 je přítomný v cytosolu všech buněk (je považován za jeden z hlavních antioxidantů u savců), GSHPx2 se vyskytuje v trávicím traktu, GSHPx3 je v plazmě, GSHPx4 je intracelulární. Působení GSHPx je synergické s působením vitamínu E. Je také důležitý pro funkci T-lymfocytů. Selenoprotein P obsahuje víc než 50 % plazmatického selenu, váže se na endotelové buňky cév, které chrání před poškozením a působí jako transportní protein [10,26,27,28].

Selen je součástí jod-thyroninových dejodináz, které se podílí na metabolismu hormonů štítné žlázy a to tak, že odstraní atom jódu z tyroxinu (T4) a tím vytvoří bioaktivní tyroxin (T3) [8,26,27].

Selen má významnou úlohu při výskytu a progresi AIDS. Při nedostatku selenu v organismu viry snáze podléhají mutacím a vznikají jejich virulentnější formy [8,10].

Selenoprotein glutathionperoxidáza (GPx) je nezbytný pro biosyntézu testosteronu, spermatogenezi. Nedostatek selenu může vést k neplodnosti [29].

Selen účinkuje jako antikarcinogen a může inhibovat iniciační i progresivní fázi nádorového růstu v organismu. Inhibice spočívá v ochraně DNA před mutacemi. Selen se koncentruje v nádorové tkáni a selenoradionuklidy mohou sloužit k lokalizaci tumoru. Při podávání 200 µg selenu denně se výrazně snížila nemocnost a úmrtnost na plicní a kolorektální karcinom i karcinom prostaty [8,27].

Selen zmírňuje toxické účinky rtuti, kadmia, talia, arsenu a teluru [26].

Deficit selenu se u lidí projevuje svalovou slabostí, ztuhlostí, zvýšeným rizikem vzniku kardiovaskulárních onemocnění. Dále také zvýšeným výskytem trombóz, narušením imunitních funkcí, fertility, zhoršení funkce štítné žlázy a zvyšuje riziko karcinomu. Nedostatek selenu v organismu vyvolává řadu specifických onemocnění. U lidí byla popsána Keshanská choroba v Číně, při které byly zjišťovány endemické kardiomyopatie. Dále byly histologicky popsány nekrózy, dystrofické změny a fibróza myokardu [8,10,26].

Intoxikace selenem je poměrně vzácná. Jako toxická dávka se uvádí dávka větší než 12,7 µmol/den (1 mg) pro anorganickou formu a pro organickou je to 63,5 µmol/den (15 mg). Toxicitu selenu zvyšuje nedostatek vitamínu E. Při akutní otravě se objevuje nevolnost, trávicí potíže (zápach z úst jako po česneku a kyselém mléku), podrážděnost, únava, změny povrchu zubů, vypadávání vlasů, deformace nehtů. U těžkých otrav nastává edém plic. Chronická otrava se projevuje dermatózou, poruchami trávicího ústrojí, poškozením jater a srdce [10,26].

Doporučené denní dávky selenu jsou 10-15 µg pro děti do 1 roku, 20 µg pro děti od 1 roku do 6 let, 30 µg pro děti od 7 do 10 let, 40 µg pro chlapce a 45 µg pro dívky od 11 do 14 let, 55 µg pro dospělé ženy a 70 µg pro dospělé muže. U těhotných a kojících žen by měla být denní dávka zvýšena na 65-75 µg. V České republice se denní doporučené dávky odhadují na 25-40 µg [2].

4.2 Výskyt selenu ve stravě

Obsah selenu uvnitř určité komodity je závislý na lokalitě, ve které byla vyprodukována. Např. v Číně jsou oblasti jak s vysokou tak velmi nízkou koncentrací selenu. Oblasti s nízkou koncentrací selenu jsou Finsko, Švýcarsko, Česká republika, Slovenská republika a Nový Zéland. Vyšší koncentrace se vyskytuje v USA, Kanadě a Švédsku. Tab. 7 obsahuje údaje o koncentraci selenu v určitých potravinách ve vybraných zemích. Množství sele-

nu v potravinách rostlinného původu je přímo závislá na množství a formě selenu obsaženého v půdě, na které se pěstují. U potravin živočišného původu závisí obsah selenu na podávaném krmivu a jeho množství [2,26,30].

Obecně platí, že dobrými zdroji selenu jsou vnitřnosti (především ledviny a játra), ryby (jak mořské tak sladkovodní), mořské plody (ústřice, krevety) a vejce (hlavní podíl se nachází ve žloutku). Obsah v mléce a mase je menší a velmi závislý na výživě. Nejvíce selenu obsahuje mléko, ovčí pak kozí a pak kravské. Koncentrace v zelenině a ovoci jsou minimální, výjimku tvoří česnek a luštěniny [2,4,10,26].

Tab. 7. Obsah selenu v potravinách v různých zemích [2]

Potravina	Obsah Se [mg/kg]		
	USA	Kanada	ČR a SR ^{a)}
Maso vepřové	0,04-0,24	0,31	0,02-0,07 ^{a)}
Maso hovězí	0,06-0,27	-	0,02
Maso kuřecí	0,1-0,12	-	0,07-0,11
Játra vepřová	0,64-0,7	0,36	0,09-0,34
Játra hovězí	0,43	0,5	0,02-0,14
Ledviny vepřové	1,9-2,21	3,22	0,97-1,84
Ledviny hovězí	1,45-1,7	2,31	0,2-1,02
Ryby sladkovodní	0,34-0,37	0,59	0,05-0,38
Ryby mořské	0,12-1,41	0,75-1,48	-
Mléko plnotučné	0,06	0,15	0,003
Sýry	0,09	-	0,02-0,04 ^{a)}
Vejce slepičí	0,1	0,39	0,18-0,24
Vaječný bílek	0,03-0,05	0,12-0,15	0,06
Vaječný žloutek	0,13-0,18	0,13-0,69	0,53
Pšenice	0,2-0,61	0,58-1,09	-
Pšeničná mouka	0,18-0,52	0,28-0,64	0,016
Chléb celozrnný	0,33-0,41	0,59-0,68	0,015-0,026 ^{a)}
Rýže loupaná	0,21-0,38	-	0,024-0,034 ^{a)}
Čočka	-	0,61	0,03-0,08 ^{c)}
Fazole	0,02-0,13	0,06	0,09
Sója	0,08-0,48	0,09	-
Zelí	0,023	0,03	0,003
Květák	0,007	0,004	0,005
Rajčata	0,005	0,001	< 0,001 ^{a)}
Mrkev	0,022	0,006	0,001-0,003 ^{a)}
Hrášek	-	-	0,005
Cibule	-	-	0,003
Česnek	0,014-0,26	0,07	0,03-0,14
Brambory	< 0,002-0,055	0,023	0,003-0,018

^{a)} Údaje ze SR.

Jako doplňky stravy jsou používány anorganické sloučeniny jako seleničitan sodný nebo selenan sodný. Jako organické doplňky jsou používány selenocystein, selenomethionin, cheláty selenu a aminokyseliny selenu N-hydráty. Hojně jsou používány doplňky na bázi fortifikovaných kvasinek (*Saccharomyces cerevisiae*) [26,30].

4.3 Vazebné možnosti selenu

Selen má stejně jako ostatní prvky VI. B skupiny o dva elektrony méně než příslušné následující vzácné plyny. Některé atomové a fyzikální vlastnosti selenu jsou popsány v Tab. 8 [21].

Tab. 8. Některé atomové a fyzikální vlastnosti selenu [21]

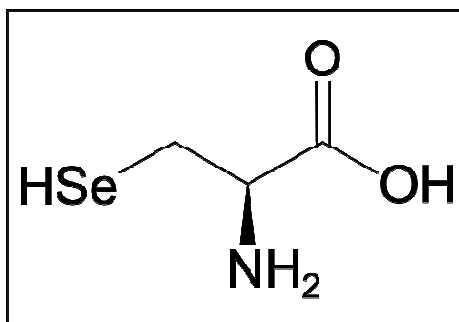
Protonové číslo	34	Iontový poloměr [pm] Se ⁴⁺	50
Elektronová konfigurace	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	Se ⁶⁺	42
Atomový poloměr (koord. č. 12) [pm]	140	Teplota tání [°C]	217
Ionizační energie [kJ/mol]	940,7	Teplota varu [°C]	685
Elektronegativita	2,4		

Selen je z chemického hlediska podobný síře, a to se projevuje především tím, že u selenu jsou známy prakticky všechny obdoby sloučenin síry. V mnoha sloučeninách mohou atomy selenu zastupovat atomy síry. Pokud jsou zaznamenány nějaké rozdíly, pak je lze přičíst velikosti atomů, energii vazeb, a odlišné stabilitě vyšších oxidačních stupňů. Selen je značně odolný vůči oxidaci do oxidačního stupně VI [21].

Nejstálějšími sloučeninami selenu jsou selenidy, které se tvoří se silně elektropozitivními prvky skupiny I. A, II. A a lanthanoidy. Ve sloučeninách s elektronegativními prvky O, F a Cl se selen vyskytuje v oxidačních stavech II, IV a VI [21].

Anorganické formy selenu jsou selenidy, seleničitany, selenany obsažené ve vodách, půdách a sulfidických rudách. Ve většině organických sloučenin má selen oxidační číslo –II a snadno nahrazuje síru. Ústřední úlohu hraje selenidový aniont HSe⁻, kde má selen vyšší nukleofilní aktivitu než síra. Selen se váže zejména na aminokyseliny, s nimiž tvoří např. L-selenocystein (Obr. 2), který vzniká ze selenu a O-acetyl-L-serinu, dále pak Se-methylselenocystein, selenocystathionin a selenomethionin. Selenocystein je součástí proteinů glutathionperoxidáz, jodotyronindejodináz, thioredoxinreduktáz, selenoproteinu P, selenoproteinu W, selenofosfátsyntetázy [2,26,31,32,33].

Příkladem selenocukru je 1,2-dideoxy-1-methylseleno-2-acetamido-D-galaktosa [2].



Obr. 2. *L*-selenocystein

4.4 Metabolismus a resorpce selenu

Selen se vstřebává hlavně v duodemu. Resorpce je závislá na formě selenu, u organických sloučenin je prakticky 100 %, u anorganických forem je kolem 50 %. Absorpce selenomethioninu probíhá cestou aktivního transportu, který využívá aktivních míst pro methionin. Přitom L-methionin se vstřebává lépe než směs izomerů L,D-methioninu. Selenocystein je absorbován aktivním transportem společně se základními aminokyselinami [8,32].

Absorpce seleničitanu probíhá cestou pasivní difúze (pouze ve směru koncentračního gradientu). Selenan je absorbován prostřednictvím Na⁺/selenanového kotransportu společně se sulfáty. Absorpce selenanu je vyšší než seleničitanu. V pokusech na zvířatech bylo dokázáno, že absorpce selenových kyselin je také poměrně dobrá (85%), ale vstřebatelnost elementárního selenu je menší než 50 % [32].

Vstřebaný selen je v krvi částečně přijímán krevními buňkami, částečně transportován ke tkáním krevní plazmou, která obsahuje specifický selenoprotein [2].

Vysoký příjem vlákniny, methioninu, zinku, kadmia a rtuti snižuje resorpci selenu [10].

Hlavní cestou vylučování je moč a v malé míře i stolice. Těkavé sloučeniny jsou vylučovány dechem [2,10].

5 ŽELEZO

Železo patří mezi přechodné kovy VIII. B skupiny periodické tabulky. Je druhým nejrozšířenějším kovovým prvkem na Zemi. Většina železa se však nachází v nerozpustné formě oxidů nebo sulfidů kovů. Vyskytuje se v II, III a VI oxidačním stupni [10].

5.1 Výskyt a funkce železa v organismu

Lidské tělo obsahuje 3 - 5 g železa (45 - 55 mg/kg tělesné hmotnosti u dospělých žen a mužů) a prakticky celé toto množství je v kombinaci s molekulami proteinu. Z celkového množství je v těle 67 % železa vázáno v hemoglobinu (krev), 4,5 % v myoglobinu (svalové buňky), 0,2 % je obsaženo v transferinu (krev) a 19 % tvoří depotní železo ve feritinu a hemosiderinu (játra, slezina). Zbylé železo se nachází v enzymech a dělí se na hemové enzymy (cytochromy, oxygenázy a peroxydázy) a nehemové enzymy (sukcinátdehydrogenáza, xanthinoxidáza, NADH-cytochrom-*c*-reduktáza a akonitáza) [2,10,34].

Primární úlohou železa v organismu je přenos kyslíku krevním řečištěm a skladování kyslíku ve svalech. To je uskutečňováno prostřednictvím dvojmocného železa vázaného na protoporfyrin a tvořícího tak koenzym hem, který je přítomen v hemoglobinu a myoglobinu. Na každou molekulu hemu se váže molekula kyslíku. V hemoglobinu jsou vázány čtyři hemy, přenáší tedy čtyři molekuly kyslíku. V myoglobinu je přítomna jedna hemová skupina, která váže jednu molekulu kyslíku [2,8,10].

Transferin je nehemový glykometaloprotein, obsahující trojmocné železo. 80 % transferinu přenáší železo do kostní dřeně, kde je syntetizován hemoglobin. Většina tohoto železa pochází z odbouraných červených krvinek [35].

Hemové enzymy jsou především mitochondriální cytochromy, které se účastní uvolňování energie z oxidativních fosforylací a ATP. Dále jsou to cytochromy endoplazmatického retikula, které se účastní detoxikace léků, karcinogenů a některých xenobiotik. Druhou skupinu tvoří enzymy, v nichž je železo vázáno na cystein. Je to např. adrenotoxin, který usnadňuje zavádění kyslíku do molekuly cholesterolu v biosyntéze aldosteronu, glukokortikoidů a pohlavních hormonů. Další enzymy se účastní syntézy DNA, působí v Krebsově cyklu a podílí se na syntéze polynenasycených mastných kyselin. Důležitou roli mají Fe-

metaloenzymy při syntéze kolagenu, neurotransmiterů, karnitinu a konverze β -karotenu na retinol [8,10].

Doporučený denní příjem je 6 mg pro děti do 6 měsíců, 10 mg pro děti od 6 měsíců do 10 let, 12 mg pro chlapce od 11 do 18 let, 15 mg pro dívky a ženy od 11 do 50 let, 10 mg pro dospělé muže a ženy nad 50 let. Pro těhotné ženy se doporučuje 30 mg a pro kojící 15 mg. Pro vegetariány by měli dávky železa činit asi 50 mg u žen a 30 mg u mužů [2,4].

Nedostatek železa vede k anemii (chudokrevnosti) a zhoršení imunity [35].

Při okamžité konzumaci velkého množství železa je jeho účinek extrémně toxický. Akutní intoxikace železem je jednou z nejběžnějších forem otrav především u předškolních dětí. Nejúčinnější prevencí je zamezení přístupu dětí k doplňkům stravy obsahující železo. Při akutní otravě železem dochází k poškození výstelky střev, což může vést ke krvavým průjmům a zvracení. Může následovat acidóza, selhání jater a šok. Aplikací preparátů vychytávajících železo lze počet případů úmrtí podstatně snížit. Smrtelná dávka při akutní otravě je 200 - 250 mg/kg tělesné hmotnosti. Příčinou chronické intoxikace železem je především genetická porucha. Onemocnění hemochromatóza je způsobeno nadměrným ukládáním železa v játrech, pankreatu a srdci v důsledku nadměrného vstřebávání železa střevní sliznicí [2,4,35].

5.2 Výskyt železa ve stravě

Řada potravin je potencionálně dobrým zdrojem železa, avšak biologická využitelnost je omezená. Hemové železo je důležitý dietetický zdroj, protože se účinněji absorbuje než železo nehemové. V běžné stravě je obsaženo přibližně 10 % hemového a 90 % nehemového železa, přičemž v živočišných zdrojích je přítomno asi 60 % a v rostlinných 100 % nehemového železa. Dobrymi zdroji železa (hemového = H, nehemového = NH) jsou např. kuřecí játra (H), ústřice (H), hovězí játra (H), jehněčí ledviny (H), tuňák (H), garnáti (H), nápoj z melasy (NH), hrozinky (NH), brambory se slupkou (NH), fazole (NH), tofu (NH). Nízký obsah má mléko a mléčné výrobky. V Tab. 9 jsou uvedeny obsahy železa ve vybraných potravinách [4,8].

Tab. 9. Obsah železa v potravinách [2]

Potravina	Obsah Fe [mg/kg]	Potravina	Obsah Fe [mg/kg]
maso vepřové	10-20	fazole	59-82
maso hovězí	22-30	sója	50-110
maso kuřecí	4,3-8,4	zelí	3,1-9,0
játra vepřová	130-370	květák	5,0-11
ryby	1,3-156	špenát	10-40
mléko plnotučné	0,35-0,8	hlávkový salát	5,8-11
tvaroh	0,91-1,5	rajčata	2,2-5,0
sýry	1,5-4,7	mrkev	3,4-7,4
jogurt	0,44-1,2	hrášek	18-22
vejce slepičí	21-26	cibule	3,0-6,1
vaječný bílek	1,0-2,0	brambory	3,0-8,4
vaječný žloutek	61-72	jablka	2,3-4,8
pšenice	33-66	pomeranče	1,3-5,0
žito	25-28	banány	3,1-5,5
mouka pšeničná	12-25	jahody	3,6-9,6
chléb celozrnný	24-33	vlašské ořechy	21-24
rýže loupaná	6,0-23	černý čaj	110-310
hrách	47-68	káva pražená	41
čočka	69-130	čokoláda mléčná	11-19

K obohacování potravin železem se používá řada sloučenin železa i elementární železo. Při zjišťování biologické hodnoty jednotlivých látek použitých při fortifikaci se jako referenční látka používá síran železnatý. Zdroje s relativně dobrou biologickou hodnotou (nad 70 % vůči FeSO_4) jsou citran amonno-železitý, chlorid železitý, síran železitý, síran amonno-železitý, fumaran železnatý, glukonan železnatý, síran železnatý, vinan železnatý. Zdroje železa se střední biologickou využitelností (20-70 %) jsou difosforečnan železitý a elementární železo. A zdroje s nízkou biologickou využitelností (< 20 %) jsou oxid železitý, fosforečnan železitý a uhličitan železnatý [5,12,36].

V České republice se fortifikují mléčné výrobky určené pro náhradní výživu kojenců fumaranem železnatým. Ve světě bývají fortifikovány často cereální výrobky [2].

5.3 Vazebné možnosti železa

Železo je lesklé a má stříbřitou barvu, je-li čisté není příliš tvrdé a dá se dobře opracovávat. Při normální teplotě tvoří železo prostorově centrovanou kubickou mřížku, při vyšší

teplotě krystaluje na plošně centrovanou kubickou mřížku [21]. V Tab. 10 jsou uvedeny některé vlastnosti železa.

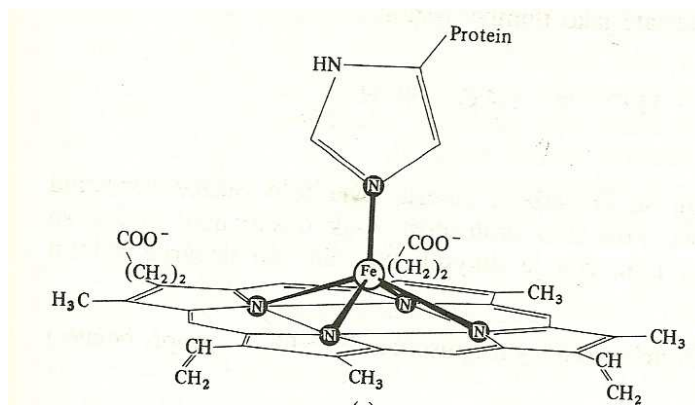
Tab. 10. Vybrané vlastnosti železa [21]

Protonové číslo	26	Efektivní iontový poloměr [pm] (pro koord. č.6)	IV	58,5
Elektronová konfigurace	[Ar]3d ⁶ 4s ²		III	55
Elektronegativita	1,8		II	61
Kovový poloměr (koord. č. 12) [pm]	126	Efektivní iontový poloměr [pm] (pro koord. č.4)	VI	25

Železo se snadno rozpouští ve zředěných kyselinách, se kterými tvoří příslušné soli. Neobvykle snadno se železo slučuje s oxidačními činidly a to F₂ a Cl₂ [21].

Železo v oxidačním stavu vyšším než III neposkytuje komplexy. Železo v oxidačním stupni III tvoří různé komplexní sloučeniny aniontové, kationtové a neutrální povahy. Charakteristickým rysem je, že Fe³⁺ dává přednost kyslíkatým donorům před dusíkovými. Vedle komplexních sloučenin s čistě kyslíkovým donorem jsou též známy komplexy vzniklé koordinací ligandů smíšenými donorovými atomy kyslíku a dusíku. Železo v oxidačním stavu II tvoří téměř se všemi běžnými anionty soli [21].

V organismu se železo vyskytuje vázané v hemoglobinu. Hemoglobin sestává ze 4 podjednotek, z nichž se každá skládá z bílkoviny (globinu) uspořádané v podobě skládané šroubovice nebo spirály, připojené vždy k jednomu atomu železa hemu. V hemu jsou Fe²⁺ koordinovány čtyřmi atomy dusíku, které jsou součástí rigidní plošné molekuly označované jako protoporfyrin IX. Hem je dále spojen s globinem koordinací k Fe²⁺ prostřednictvím dusíkatého atomu imidazolu, jednoho z histidinových zbytků obsažených v molekule globinu. Tyto poměry vystihuje Obr. 3 [21].



Obr. 3. Hemoglobin [21]

Dalším sloučeninami železa vyskytujícími se v lidském organismu jsou cytochromy. U cytochromů je charakteristická koordinace atomu železa k portifyrinovému skeletu. Hlavní úloha cytochromů spočívá v přenosu elektronů [21].

Pro mnoho bílkovin je charakteristická přítomnost vazeb železo-síra. Obsahují 1, 2, 4, nebo 8 atomů železa, přičemž každý z nich je koordinován 4 atomy síry. Nejjednodušší bílkovinou téhle skupiny je rubredoxin [21].

5.4 Metabolismus a resorpce železa

Z běžné diety se v trávicím traktu vstřebává 5 – 15 % přítomného železa [2].

Metabolismus železa je regulován tak, aby ho bylo dostatek pro krvetvorbu, ale zároveň aby se nikde nevyskytovalo ve dvoumocné formě. Jeho regulace probíhá jak na buněčné, tak na systémové úrovni. Denní příjem železa potravou vyrovnává pouze denní ztráty železa, jinak dochází k jeho recirkulaci v organismu. Neexistuje žádný mechanismus, který by zajistil vyloučení přebytečného železa, proto jsou jeho příjem a další distribuce v organismu velmi přísně regulována [35].

Většina nehemového železa v potravě je tvořena železitou formou (dále Fe^{3+}) v podobě nerozpustných sloučenin, které jsou ale dobře rozpustné v kyselém prostředí díky redukci na železnatou formu (dále Fe^{2+}). Proto je zvýšená žaludeční acidita nutná ke zvýšení rozpustnosti těchto sloučenin. V duodenu, kde je již acidita velmi malá, tuto redukci nerozpustných Fe^{3+} forem na rozpustné formy Fe^{2+} katalyzuje enzym duodenální ferireduktáza (duodenal cytochrom b). Tato redukce je velmi důležitá, protože právě v duodenu dochází k největší části vstřebávání jak hemové, tak i nehemové formy železa. Fe^{2+} nehemové formy se zde následně naváže na divalentní metalový transportér 1, který se nachází v kartáčovém lemu enterocyty. Železo následně vstupuje do krve prostřednictvím transportérů na druhém pólu enterocyty [37,38].

Hemová forma železa má trochu odlišný způsob vstřebávání. Hem obsažený v hemovém železe se absorbuje do enterocyty pomocí transportéru nazývaného Heme carrier protein 1 (HCP 1). V enterocyty je následně rozštěpen enzymem hemoxygenázou. Z hemu je tak uvolněno železo až v enterocyty. Takto může být v enterocyty všechno přijaté železo (z hemové i nehemové formy) buď uchováno ve formě feritinu, nebo může být podle potřeb uvolněno do plazmy kde je ihned oxidováno na Fe^{3+} a vázán na transferin [37,38].

Pro absorpci a distribuci Fe v organismu má rozhodující význam hormon hepcidin, peptid o 25 aminokyselinách [8].

5.4.1 Faktory ovlivňující vstřebatelnost železa

Mezi faktory ovlivňující vstřebávání železa patří organické kyseliny, peptidy a bílkoviny polyfenoly, fytát a minerální látky [39].

Organické kyseliny, kyselina askorbová

Mezi nejvýznamnější synergisty vstřebávání železa ze stravy patří kyselina askorbová. Její vliv je nejintenzivnější jsou-li přítomny inhibitory vstřebávání (fytáty a polyfenoly). Zvyšuje absorpci železa tím, že tvoří cheláty s méně rozpustnou trojmocnou formou železa i při nízkém pH. Tyto cheláty zůstávají později dobře rozpustné i v alkalickém prostředí duodena. Přidání 500 mg kyseliny askorbové zvyšuje vstřebatelnost železa ze stravy více jak 6x. Stejným způsobem zvyšují vstřebatelnost železa i ostatní organické kyseliny, jako je kyselina citronová, mléčná, jablečná, jantarová a vinná [39].

Sacharidy

Sacharidy také přispívají k zlepšení vstřebatelnosti. Účinnost klesá v řadě laktosa > sacharosa > glukosa > škrob [2].

Polyfenoly

Tyto látky se nacházejí především v rostlinných produktech. Největší obsah je v nápojích jako čaj, káva a víno, nachází se však i v obilovinách, zelenině i koření. Tyto látky patří mezi největší inhibitory absorpce železa. Vytváří s železem sloučeniny, ze kterých se železo nemůže vstřebat. Např. jeden šálek čaje konzumovaný spolu s jídlem snižuje celkovou absorpci železa přibližně o 75 - 80 %. Jeden šálek kávy redukuje absorpci železa zhruba o 60 %. Pokud je čaj nebo káva podávána k jídlu obsahujícímu maso, vstřebatelnost se sníží asi o 50 % [39,40].

Fytát, fosfáty a vláknina

Soli kyseliny fytové také silně snižují vstřebatelnost železa. Jsou obsaženy zejména v obilovinách a celozrnných výrobcích, ořechách, semenech a luštěninách. Vytvářejí s železem špatně rozpustné komplexy, ze kterých nemůže být železo uvolněno a absorbováno [2,39,40].

Vyšší dávky fosfátů, které tvoří velmi silné nerozpustné komplexy s železem, se tímto podílí na snížené absorpci železa ze stravy. Jsou přítomné např. v kolových nápojích [39,40].

Vliv vlákniny není s jistotou určen. Potraviny obsahující vlákninu obsahují většinou i dosti vysoké množství kyseliny fytové, takže nelze rozlišit účinky vlákniny od působení fytátů [2,40].

Aminokyseliny, peptidy, bílkoviny

Mechanismus zvyšování vstřebávání železa bílkovinami není dosud znám. Předpokládá se, že aminokyseliny a peptidy uvolněné při trávení bílkovin, které se nachází ve svalovině, tvoří sloučeniny usnadňující vstřebatelnost železa. Další možností je, že konzumace svaloviny působí na podporu absorpce železa i stimulací střevní sekrece [39].

Fosvitin obsažený ve vaječném žloutku a konalbumin ve vaječném bílku mohou vázat železo a být zodpovědné za sníženou využitelnost železa z vajec. Také sojový protein, kasein či syrovátkové proteiny mohou způsobovat nižší vstřebatelnost železa ze stravy [39].

Vápník a stopové prvky

Vápník velmi výrazně snižuje vstřebatelnost železa, a to jak nehemového, tak hemového. O tom, do jaké míry vápník snižuje vstřebávání železa, rozhoduje jeho množství konzumované spolu s jinou potravou. Např. podání 50 mg vápníku či ještě menšího množství v podobě tablet společně s jídlem má na absorpci železa malý nebo žádný vliv, naopak maximální snížení absorpce (asi 60 %) nastává při současném podání 300-600 mg vápníku [40].

Mimořádně vysoké dávky zinku, mědi inhibují vstřebávání železa, neboť se dělí o stejný transportní mechanismus [8].

6 CHROM

Chrom patří mezi kovy VI. B skupiny periodické tabulky. Vyskytuje se v různých sloučeninách, především v oxidech, a nabývá hodnoty oxidačního čísla II, III, VI. Elementární chrom je biologicky inertní. Šestimocný chrom pochází většinou z průmyslové produkce a je silným oxidačním činidlem [5,10].

6.1 Výskyt a funkce chromu v organismu

Chrom v oxidačním stupni III je pro organismus významným esenciálním prvkem, naproti tomu sloučeniny šestimocného chromu jsou toxické a přičítají se jim alergenní, mutagenní a karcinogenní účinky [2].

Zásoba chromu v lidském těle je nejvyšší po narození a s věkem klesá. Celkový obsah chromu v lidském těle se pohybuje mezi 0,4 a 6 mg. Trojmocný chrom má tendenci se hromadit v kožních derivátech (např. ve vlasech), kostech, játrech, ledvinách, slezině, plicích a tlustém střevě. V krvi cirkuluje chrom vázaný na β -globulinovou frakci plazmy a do tkání je transportován vázaný na transferin nebo jiné komplexy. Normální obsah chromu v krevní plazmě je 0,1-0,4 $\mu\text{g/l}$ [2,10,41].

Chrom působí při metabolismu sacharidů. Chrom byl původně spojován s látkou zvanou glukózový toleranční faktor (GTF). Později byl objeven oligopeptid vázající chrom, nazývaný low-molecular-weight chromium binding substance (LMWCr) tento oligopeptid je tvořen 4 typy aminokyselinových zbytků (glycin, cystein, glutamát, aspartát) a váže 4 Cr^{3+} ve čtyřjaderném komplexu. LMWCr je po aktivaci Cr ionty vázán na inzulinem stimulované inzulinové receptory, napomáhá udržení jejich aktivní konformace a zesiluje tak signalizaci inzulinu [10,41].

Chrom je nezbytný pro metabolismus tuků a snižování rizika aterosklerózy. Snižuje celkový cholesterol v krvi. Zvyšuje hladinu HDL-cholesterolu (lipoproteinu o vysoké hustotě) a snižuje koncentraci LDL-cholesterolu (lipoproteinu o nízké hustotě) i triacylglycerolů [8,41].

Vazba chromu v nukleových kyselinách je silnější než u jiných kovových iontů. Chrom chrání RNA před denaturací způsobenou teplem. Podílí se na expresi genů vazbou na chromatin, což způsobuje zvýšení syntézy RNA [41].

Za přiměřenou denní dávku chromu pro člověka se považuje množství 50-200 μg [2].

Při dlouhodobém nedostatečném příjmu chromu (5měsíců až 3 roky) dochází k poruchám metabolismu glukózy, tuků a bílkovin. Deficit se projevuje hyperglykemií, zvýšením koncentrace cholesterolu a triacilglycerolů v krvi, poruchami růstu, snížením podílu svalové hmoty, defekty rohovky a snížení plodnosti [8,10,41].

Toxicita chromu se vztahuje především k šestimocné formě, která pochází především z průmyslové produkce. Podstatou toxicity je pravděpodobně oxidativní poškození DNA. Příčinou genotoxicity je zřejmě v buňce přechodně vznikající Cr^{5+} vznikající při redukci Cr^{6+} na Cr^{3+} . Za letální dávku se považuje 50-70 mg/kg rozpustných chromanů [8,10].

6.2 Výskyt chromu ve stravě

Zdrojem chromu pro lidský organismus jsou celozrnné obilniny, brambory, ořechy, zelené fazole, pivovarské kvasnice a mořské produkty. Během zpracování potravin koncentrace chromu klesá, upravované potraviny mají nižší obsah chromu než neupravované [2,8,10].

Jako doplňky stravy se používají chlorid chromitý, mléčnan chromitý, dusičnan chromitý, pikolinát chromitý, síran chromitý [42].

Tab. 11. Obsah trojmocného chromu v potravinách [2]

Potravina	Obsah chromu [mg/kg]	Potravina	Obsah chromu [mg/kg]
maso vepřové	< 0,01-0,09	sója	0,05-0,08
maso hovězí	< 0,01-0,05	zelí	0,001-0,03
maso kuřecí	0,01-0,08	květák	0,001-0,01
játra vepřová	0,003-0,16	špenát	0,01-0,12
ryby	0,002-0,23	hlávkový salát	0,005-0,08
mléko	0,002-0,02	rajčata	0,002-0,01
tvaroh	0,02	mrkev	0,001-0,13
sýry	0,01-0,13	hrášek	0,005-0,04
jogurt	0,005-0,04	cibule	0,005-0,02
vejce slepičí	0,005-0,02	brambory	0,002-0,035
pšenice	0,007-0,06	jablka	0,003-0,03
mouka pšeničná	0,010-0,03	pomeranče	< 0,001-0,02
chléb celozrnný	0,01-0,13	banány	0,02-0,05
rýže loupaná	0,01-0,03	jahody	< 0,002-0,02
hrách	0,02-0,09	vlašské ořechy	0,08-0,29
čočka	0,048-0,054	čaj černý	0,62-2,6
fazole	0,05-0,10	káva pražená	0,01-0,05
čokoláda mléčná	0,04-0,1		

6.3 Vazebné možnosti chromu

Chrom krystalizuje v těsně centrovaných kubických mřížkách, má stříbrolesklý vzhled a v čistém stavu je poměrně měkký. Další vlastnosti chromu jsou uvedeny v Tab. 12. 3d elektrony, které začínají obsazovat inertní elektronovou sféru atomu, se stávají tvorbou kovové vazby méně přístupnými pro delokalizaci. Tato skutečnost je patrná na tom, že nejstálejším je oxidační stav III [21].

Tab. 12. Některé vlastnosti chromu [21]

Protonové číslo	24	Kovový poloměr (koord. č. 12) [pm]	128
Elektronová konfigurace	[Ar]3d ⁵ 4s ¹	Ionový poměr (koord. č.6) [pm]	VI 44
Elektronegativita	1,6		V 49
Teplota tání [°C]	1900		IV 55
Teplota varu [°C]	2690		III 61,5

Rozpustnost chromu je závislá na jeho čistotě, snadno se rozpouští v zředěné kyselině chlorovodíkové. V oxidačním stavu II je chrom silným redukčním činidlem [21].

Chrom v oxidačním stavu III, kromě toho že tvoří stále soli se všemi běžnými ionty, má mimořádně výraznou schopnost koordinovat se s libovolnými ligandy schopnými předat svůj elektronový pár. Komplexy, které s těmito ligandy poskytuje, mohou být aniontové, kationtové i neutrální. Atom chromu v nich téměř bez výjimky uplatňuje koordinační číslo 6 s oktaedrickým uspořádáním (např. $[\text{Cr}(\text{L-L})_3]^{-3}$, L-L = šťavelan). Dále se může chrom koordinovat s 2 nebo více rozdílných ligandů [21].

6.4 Metabolismus a resorpce chromu

Absorpce chromu z potravy je velmi nízká a pohybuje se zhruba od 0,04 % do 2,5 % prvku přiváděného potravou. Místem vstřebání je tenké střevo, především jejunum. Způsob absorpce není přesně znám, předpokládá se absorpce buď difuzí nebo transportním přenašečem. Je-li příjem chromu potravou 10 μg , tak se z celkového množství absorbují přibližně 2 %, při dávce větší než 40 μg chromu, se vstřebá pouhých 0,4-0,5 %. Resorpce chromu je velmi rychlá. Již 15 minut po podání lze zaznamenat zvýšení koncentrace v krvi a po dvou hodinách v moči [2,10].

Resorpce šestimocného chromu je 3 až 5 krát vyšší než trojmocného. Šestimocný chrom v krvi vstupuje mnohem snadněji do krevních buněk a v červených krvinkách se váže na hemoglobin [2].

Chrom je vylučován především močí, menší množství je vylučováno žlučí a potem. Vylučování močí může být zvýšeno 10-300 krát ve stresových situacích nebo při zvýšeném příjmu sacharidů [10].

Přítomnost aminokyselin, kyselin askorbové, vysoké hladiny cukrů, oxalátů a aspirinu v dietě resorpci chromu zvyšují, zatímco fytáty a antacida (hydrogenuhličitan sodný a draselný, hydroxid hořečnatý) vstřebávání snižují [10].

ZÁVĚR

Esenciální minerální prvky jsou pro lidský organismus nepostradatelné a musí být do těla dodávány v určitém množství, aby byly zajištěny důležité biologické funkce. Obsah minerálních prvků v potravinách je variabilní. U rostlin je obsah minerálních látek dán obsahem prvků v půdě, vlastnostmi půdy, způsobem a mírou hnojení, klimatickými podmínkami atd. U živočišných produktů je rozhodující výživa, stáří a zdravotní stav zvířete.

V práci jsou popsány interakce a využitelnost vybraných esenciálních minerálních prvků (vápník, zinek, selen, železo a chrom), které jsou nezbytné pro život člověka, jeho adekvátní růst, reprodukci a zdraví.

Vápník, nejvíce zastoupený minerální prvek v organismu, je vstřebáván v tenkém střevě ve své dvojmocné formě. Mezi fyziologické faktory ovlivňující jeho využitelnost patří přítomnost vitamínu D v krvi, věk, těhotenství, kojení, i případný patofyziologický stav. Z potravinových zdrojů inhibujících resorpci vápníku to jsou kyseliny šťavelová, fytová a uronová, vláknina a přítomnost sodíku. Absorpci podporuje vitamin D, draslík a proteiny.

Využitelnost a resorpce zinku je negativně ovlivněna přítomností kyseliny fytové, vlákniny, železa a vápníku v komplexu s fytátem. Za sloučeniny zlepšující resorpci zinku jsou považovány aminokyseliny a proteiny.

Využitelnost selenu, který je také absorbován v tenkém střevě, je závislá na formě sloučeniny, ve které se selen nachází. Organická forma selenu je vstřebávána téměř ze 100 %, anorganická asi z 50 %. Vysoký příjem vlákniny, metioninu a zinku, a toxické prvky kadmium a rtuť snižují resorpci selenu.

Železo je vstřebáváno v tenkém střevě ve své dvojmocné formě. Resorpce železa je inhibována polyfenoly, fytáty, fosfáty, vápníkem a zinkem. Využitelnost železa zvyšují přítomné sacharidy a organické kyseliny.

Absorpce trojmocného chromu je velmi nízká a probíhá v tenkém střevě. Zvyšuje ji přítomnost aminokyselin, kyseliny askorbové a vysoký obsah sacharidů, zatímco fytáty a antacida vstřebávání snižují.

Vysoký obsah minerálních prvků v jednotlivých potravinových zdrojích nezaručuje, že při jejich konzumaci bude organismus přijímat potřebné množství těchto prvků. Je proto nutné

sledovat i využitelnost minerálních prvků, která je dána jejich vazebnými možnostmi a interakcemi s ostatními složkami potravin.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PODSTATOVÁ, H. *Základy epidemiologie a hygieny*. Praha: Karolinum, 2009, s. 158, ISBN 978-80-7262-597-0.
- [2] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin I*. Havlíčkův brod: OSSIS, 2009, s. 602, ISBN 978-80-86659-15-2.
- [3] PÁNEK, J., DOSTÁLOVÁ, J. *Základy výživy a výživová politika*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 2002, s. 219, ISBN 80-7080-468-8.
- [4] KVASNIČKOVÁ, A. *Minerální látky a stopové prvky: esenciální minerální prvky ve výživě*. Praha: ÚZPI, 1998, s. 128, ISBN 80-85120-94-1.
- [5] ČERMÁK, B. *Výživa člověka*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2002, 224 s. ISBN 80-7040-576-7.
- [6] BLATNÁ, J. Potravinové zdroje vápníku a jejich využitelnost. *Výživa a potraviny: Zpravodaj školního stravování*. 2001, 56(5), 55-51.
- [7] THEOBALD, H. E. Dietary calcium and health. *Nutrition Bulletin*. 2005, 30,237-277.
- [8] SVAČINA, Š. *Poruchy metabolismu a výživy*. Praha: Galén, 2010, 505 s. ISBN 978-80-7262-676-2.
- [9] PAMPLONA, R. *Vychutnej život*. Praha: Advent – Orion, 1997, s. 187, ISBN 80-172-144-1.
- [10] VÁVROVÁ, J.: *Vitaminy a stopové prvky 2007*. Pardubice: SEKK, 2007, 155 s. ISBN 978-80-254-1171-1.
- [11] PATWARDHAN, U., PAHUJA D. N. Calcium bioavailability: an in vivo assessment. *Nutrition research*. 2001. 21(4). 667-675.
- [12] SZPI *Vyhláška č 225/2008 Sb., kterou se stanoví požadavky na doplňky stravy a na obohacování potravin*. [cit. 2. 7. 2012] Dostupné z :<http://www.szpi.gov.cz/docDetail.aspx?docid=1005983&docType=ART&nid=11816>
- [13] JURŠÍK, F. *Anorganická chemie kovů*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2002, s.152, ISBN 80-708-0504-8.
- [14] BASU, T. K., DONALDSON D. Intestinal absorption in health and disease: micronutrients. *Best practice & research in clinical gastroenterology*. 2003, 17(6), 957-979.

- [15] WILHELM, Z. *Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy*. Brno: Masarykova univerzita, 2010. 117 s. ISBN 978-80-210-5283-3.
- [16] BROULÍK, Petr. *Osteoporóza: osteoporóza, osteomalacie, osteodystrofie*. Praha: Maxdorf, 1999. 172 s. ISBN 80-85800-93-4.
- [17] JANELLE, K. C., BARR, S. I. Nutrient intakes and eating behavior scores of vegetarian and non-vegetarian women. *American Journal of Dietetic Association*. 1995. 95. 180-189.
- [18] ŠARIĆ, M., PIASEK, M. Sodium and calcium intakes and bone mass in rats revisited. *Nutrition*. 2005. 21(5). 609-614.
- [19] SELLMAYER D. E., SCHLOETTER, M. Potassium citrate prevents increased urine calcium excretion and bone resorption induced by a high sodium chloride diet. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2002. 87. 2008-2012.
- [20] CALVO, M. S. Dietary Phosphorus, Calcium Metabolism and Bone. *Journal Of Nutrition*. 1993. 123(9). 1627-1633.
- [21] GREENWOOD, N., N. *Chemie prvků*. Sv. 2. 1. vyd. Praha: Informatorium, 1993, s. 794-1635, ISBN 80-85427-38-9.
- [22] LÖNNERDAL, B. Dietary Factors Influencing Zinc Absorption. *The Journal of Nutrition*. 2000. 130(5). 1378–1383
- [23] MINDELL, E., MUNDIS, H. *Nová vitaminová bible*. Praha: Ikar, 2010, 572 s. ISBN 978-80-249-1419-0.
- [24] FAA, G., NURCHI, V. M. Zinc in gastrointestinal and liver disease. *Coordination Chemistry Reviews*. 2007. 9(24). 1257–1269.
- [25] PÉRÉS, J., BUREAU, F. Inhibition of zinc absorption by iron depends on their ratio. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2001. 15(4). 237-241.
- [26] NAVARRO-ALARCON, M., CABRERA-VIQUE C. Selenium in food and the human body: A review. *Science of The Total Environment*. 2008. 400(1-3). 115-141.
- [27] RIZKY, A., KAORI, M. Chemical forms of selenium for cancer prevention. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2005. 19(2-3). 141-150.
- [28] JAYAPRAKASH, V., MARSHAL, J. R. Selenium and other antioxidants for chemoprevention of gastrointestinal cancers. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. 2011. 25(4-5). 507-518.

- [29] MISTRY, H. D., PIPKIN F. Selenium in reproductive health. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 2012. 206(1). 21-30.
- [31] THIRY, C., RUTTENS, A. Current knowledge in species-related bioavailability of selenium in food. *Food Chemistry*. 2012. 130(4). 767-784.
- [32] BARCELOUX, D. G. Selenium, *Clinical Toxicology*. 1999. 37(2). 145-172.
- [30] FAIRWEATHER-TAIT, S. J., BAO Y. Selenium in human health and disease. *Antioxidants and Redox Signaling*. 2011. 14(7). 1337-1383.
- [33] ARTEEL, G. E., SIES, H. The biochemistry of selenium and the glutathione system. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2001. 10(4). 153-158.
- [34] PAPANIKOLAOU, G., PANTOPOULOS, K. Iron metabolism and toxicity. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2005. 202(2). 199-211.
- [35] LIEU, P. T., HEISKALA, M. The roles of iron in health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*. 2001. 22(1-2). 1-87.
- [36] MARTÍNEZ-NAVARRETE, N., CAMACHO M. M. Iron deficiency and fortified foods. *Food Research International*. 2002. 35(2-3). 225-231.
- [37] SEDLÁČKOVÁ, T., RACEK, J. Metabolismus železa a jeho regulace. *Klinická biochemie a metabolismus*. 2009. 17(1). 17-23.
- [38] ŽOUREK, M. Přehled metabolismu železa s ohledem na klinickou praxi. *Diabetologie, metabolismus, endokrinologie a výživa*. 2007. 10(2). 100-105.
- [39] LYNCH, S. R. Interaction of iron with other nutrients. *Nutrition Reviews*. 1997. 55(4). 102-110.
- [40] HALLBERG, L., HULTHÉN, L. Prediction of dietary iron absorption: an algorithm for calculating. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2000. 71(5). 1147-1160.
- [41] PECHOVA, A., PAVLATA L., Chromium as an essential nutrient. *Veterinarni medicina*. 2007. 52(1). 1-18.
- [42] EUR-LEX. *Úřední věstník Evropské unie* [online]. [citováno 2.7. 2012]. Dostupné z www:
<<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:314:0036:0042:CS:PDF>>

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Kyselina šťavelová, kyselina fytová, kyselina glukuronová</i>	19
<i>Obr. 2. L-selenocystein</i>	31
<i>Obr. 3. Hemoglobin [21]</i>	35

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Index relativní toxicity u vybraných minerálních prvků [4].....</i>	12
<i>Tab. 2. Obsah vápníku ve vybraných potravinách [2]</i>	16
<i>Tab. 3. Atomové a fyzikální vlastnosti vápníku [13].....</i>	17
<i>Tab. 4. Obsah zinku ve vybraných potravinách [2].....</i>	23
<i>Tab. 5. Vybrané vlastnosti zinku [21].....</i>	23
<i>Tab. 6. Obsah zinku, vápníku, fytové kyseliny a další parametry ve výrobcích z pšenice [2]</i>	26
<i>Tab. 7. Obsah selenu v potravinách v různých zemích [2].....</i>	29
<i>Tab. 8. Některé atomové a fyzikální vlastnosti selenu [21]</i>	30
<i>Tab. 9. Obsah železa v potravinách [2].....</i>	34
<i>Tab. 10. Vybrané vlastnosti železa [21]</i>	35
<i>Tab. 11. Obsah trojmocného chromu v potravinách [2]</i>	41
<i>Tab. 12. Některé vlastnosti chromu [21]</i>	41