Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Vliv příjmu hořčíku na fungování lidského organismu

Bakalářská práce

2026 Petra Večeřová

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2025/2026

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Petra Večeřová**
Osobní číslo:	**C23369**
Studijní program:	**B0531A130012 Farmakochemie a medicinální materiály**
Téma práce:	**Vliv příjmu hořčíku na fungování lidského organismu**
Zadávající katedra:	**Katedra polygrafie a fotofyziky**

Zásady pro vypracování

1. Literární rešerše zaměřená na popis funkcí hořčíku v lidském organismu

2. Literární rešerše zaměřená na popis struktur přírodních zdrojů a doplňků stravy obsahujících hořčík

3. Výsledky zpracujte formou závěrečné práce v souladu se Směrnicí UPCE č. 7/2025 "Pravidla pro odevzdávání, zpřístupňování závěrečných prací veřejnosti a jejich formální úpravu".

Rozsah pracovní zprávy: **dle potřeby**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

veškerá dostupná odborná literatura

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Marek Bouška, Ph.D.**
Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **28. února 2026**
Termín odevzdání bakalářské práce: **30. července 2026**

L.S.

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Tomáš Syrový, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. února 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem „Vliv příjmu hořčíku na fungování lidského organismu“ jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2025 Pravidla pro odevzdávání, zpřístupňování závěrečných prací veřejnosti a jejich formální úpravu, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 6. 2026

Petra Večeřová v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala především vedoucímu mé bakalářské práce docentu Ing. Marku Bouškovi, PhD. za ochotu zahájit se mnou novou práci pouhé 2 měsíce před odevzdáním, za jeho vstřícný přístup a za veškerý čas, který mi věnoval.

Velké poděkování patří mému manželovi za všechnu podporu, povzbuzování, trpělivost a péči o našeho syna po dobu psaní této práce. Děkuji také zbytku mé rodiny, zejména rodičům za motivování k dokončení studia a babičce za zásobování dobrým jídlem a hlídání syna.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá významem hořčíku pro lidský organismus a důležitostí jeho optimálního příjmu. Popisuje výskyt tohoto minerálu v přírodě, jeho metabolismus a distribuci v organismu a detailně rozebírá jeho vliv na energetický metabolismus, nervovou soustavu, svalstvo, kardiovaskulární systém a kostní tkáň. Dále se věnuje potřebě hořčíku v různých životních etapách a u specifických skupin se zvýšenými nároky, jako jsou těhotné ženy či osoby vystavené chronickému stresu. Práce také shrnuje jeho hlavní zdroje ve výživě, včetně jednotlivých forem doplňků stravy, a porovnává jejich biologickou dostupnost. Pozornost je věnována rovněž možným příčinám a klinickým projevům jeho nedostatku i nadbytku. Hořčík je esenciálním minerálem, nezbytným pro udržení celkového zdraví lidského organismu, a proto je zásadní zajistit jeho dostatečný příjem prostřednictvím pestré stravy, případně vhodnou suplementací.

KLÍČOVÁ SLOVA

hořčík, metabolismus, biologická dostupnost, doplňky stravy

TITLE

The Effect of Magnesium Intake on the Functioning of the Human Body

ANNOTATION

This bachelor’s thesis focuses on the role of magnesium in the human organism and the importance of its optimal intake. It describes the occurrence of this mineral in nature, its metabolism and distribution in the organism, and provides a detailed overview of its effects on energy metabolism, the nervous system, muscles, the cardiovascular system, and bone tissue. It further deals with magnesium requirements at different life stages and for specific groups with increased needs, such as pregnant women or people exposed to chronic stress. The thesis also summarizes its main food sources, including various forms of dietary supplements, and compares their bioavailability. Attention is also given to the possible causes and clinical manifestations of both magnesium deficiency and excess. Magnesium is an essential mineral necessary for maintaining the overall health of the human organism, and it is therefore vital to ensure an adequate intake through a balanced diet or, if necessary, appropriate supplementation.

KEY WORDS

magnesium, metabolism, bioavailability, dietary supplements

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK 9

SEZNAM ZKRATEK 10

ÚVOD 11

1 HOŘČÍK JAKO ESENCIÁLNÍ BIOGENNÍ PRVEK 12

1.1 Základní charakteristika hořčíku 12

1.2 Výskyt hořčíku v přírodě 13

1.3 Zastoupení hořčíku v organismu 14

1.4 Metabolismus hořčíku 14

1.4.1 Absorpce hořčíku 15

1.4.2 Transport hořčíku v organismu 15

1.4.3 Vylučování hořčíku 16

1.4.4 Regulace homeostázy hořčíku 16

2 FUNKCE HOŘČÍKU V LIDSKÉM ORGANISMU 18

2.1 Hořčík a metabolismus 18

2.1.1 Úloha Mg v enzymatických procesech 18

2.1.2 Energetický metabolismus 19

2.1.3 Metabolismus živin 21

2.2 Hořčík a nervový systém 22

2.2.1 Úloha Mg při přenosu nervového vzruchu 22

2.2.2 Vliv na neurologické zdraví a psychiku 23

2.3 Hořčík a svalová soustava 24

2.3.1 Ovlivnění svalové kontrakce a relaxace 24

2.3.2 Prevence svalových křečí, zranění a úbytku svalové hmoty 24

2.4 Hořčík a kardiovaskulární systém 25

2.4.1 Ovlivnění krevního tlaku 25

2.4.2 Ovlivnění srdečního rytmu 25

2.5 Hořčík a kostní tkáň 26
2.5.1 Úloha Mg při mineralizaci kostí 26
2.5.2 Prevence osteoporózy a zlomenin 26
3 DOPORUČENÝ PŘÍJEM HOŘČÍKU 28
3.1 Základní doporučené denní dávky 28
3.2 Zvýšená potřeba hořčíku 28
3.2.1 Stárnoucí populace 28
3.2.2 Fyzická aktivita a sport 29
3.2.3 Stres a psychická zátěž 29
3.2.4 Těhotenství a kojení 30
3.3 Vliv životního stylu na hladinu hořčíku 30
4 ZDROJE HOŘČÍKU VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA 32
4.1 Potraviny 32
4.2 Pitná voda 33
4.3 Doplňky stravy 34
4.4 Porovnání jednotlivých zdrojů hořčíku 37
5 NEDOSTATEK HOŘČÍKU 39
5.1 Příčiny nedostatku 39
5.2 Klinické projevy nedostatku 40
6 NADBYTEK HOŘČÍKU 42
6.1 Příčiny nadbytku 42
6.2 Klinické projevy nadbytku 43
ZÁVĚR 44
POUŽITÁ LITERATURA 45

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1. Struktura komplexu $[Mg(H_2O)_6]^{2+}$. Kation je obklopen šesti molekulami vody (černé body), které vytvářejí charakteristickou oktaedrickou geometrii. Osy X, Y a Z znázorňují prostorovou orientaci (převzato podle Pasternak, K. et al., 2010).[4] 13

Obrázek 2. Metabolismus a distribuce hořčíku v lidském organismu (upraveno podle Al Alawi, A. M. et al., 2018).[3].....15

Obrázek 3. Možné komplexy hořečnatého kationtu s ATP. Nejčastěji se Mg^{2+} váže na kyslíkové atomy β- a γ- fosfátových skupin oxyaniontu (převzato podle Holm, N. G., 2012).[11] 19

Obrázek 4. Vliv hořčíku na synaptický přenos (upraveno podle Pickering, G. et al., 2020).[13] 23

Tabulka 1. Doporučený denní příjem hořčíku v závislosti na věku a pohlaví.[14] 28

Obrázek 5. Zjednodušená struktura chlorofylu s centrálním iontem Mg^{2+}. Hořčík je koordinován čtyřmi atomy dusíku v porfyrinovém kruhu (převzato podle Tertre, E. et al., 2014).[19] 32

Tabulka 2. Obsah hořčíku ve vybraných potravinách a jeho množství v běžné porci (upraveno podle Elgar, K., 2022).[18].....33

Obrázek 6. Struktura citrátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).[22].....35

Obrázek 7. Struktura bisglycinátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).[23] ...35

Obrázek 8. Struktura malátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).[24].....35

Obrázek 9. Struktura taurátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).[25].....36

Obrázek 10. Struktura L-threonátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).[26] ..36

Tabulka 3. Klinické projevy nedostatku hořčíku (upraveno podle Seo, J. W. a Park, T. J., 2008).[7] 42

Tabulka 4. Klinické projevy nadbytku hořčíku (upraveno podle Seo, J. W. a Park, T. J., 2008).[7].....44

SEZNAM ZKRATEK

ADP – adenosindifosfát

ATP – adenosintrifosfát

AI – adekvátní příjem (Adequate Intake)

DNA – deoxyribonukleová kyselina

EFSA – Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority)

GABA – kyselina γ-aminomáselná

GTP – guanosintrifosfát

NADH – nikotinamidadenindinukleotid (v redukované formě)

NMDA – N-methyl-D-aspartát

PTH – parathormon

RANK/RANKL/OPG – signální dráha řídící metabolismus kostí

RANK – receptor aktivující nukleární faktor κ B (Receptor Activator of Nuclear factor κ B)

RANKL – ligand výše uvedeného receptoru

OPG – Osteoprotegerin

RDA – doporučená denní dávka (Recommended Daily Allowance)

RNA – ribonukleová kyselina

mRNA – mediátorová RNA

rRNA – ribozomální RNA

TRPM6 a **TRPM7** – melastatinový kanál přechodného receptorového potenciálu typu 6, resp. 7 (Transient Receptor Potential Melastatin)

ÚVOD

Hořčík, respektive hořečnatý kation Mg^{2+}, patří mezi esenciální biogenní minerály a je nezbytný pro správné fungování lidského organismu. V přírodě se vyskytuje v zemské kůře, v půdě, vodě i rostlinách a díky svým fyzikálně-chemickým vlastnostem vykazuje významnou biochemickou aktivitu.

Hořečnatý kation se podílí na řadě základních fyziologických procesů. Slouží jako kofaktor mnoha enzymů a ovlivňuje například energetický metabolismus, nervosvalové vedení, svalovou kontrakci a relaxaci, krevní tlak, srdeční rytmus nebo přestavbu kostí. Nachází se převážně v buňkách, a to zejména ve formě komplexu s ATP, a významná část je uložena v kostech.

Hlavním zdrojem hořčíku je zelená listová zelenina, dále ho ve velké míře obsahují obiloviny, luštěniny, ořechy a semena. V současné době je poměrně rozšířený nedostatečný příjem tohoto minerálu, což souvisí zejména s konzumací průmyslově zpracovaných potravin a demineralizací zemědělských půd. V těchto případech může být vhodným řešením užívání doplňků stravy s hořčíkem.

Nedostatek hořčíku může vést k celé řadě nespecifických příznaků, jako jsou svalové křeče a slabost, únava, bolest hlavy, poruchy srdečního rytmu a deprese. Dlouhodobě pak může mít negativní dopad na celkové zdraví a přispívat k rozvoji závažnějších onemocnění. Nadbytek Mg^{2+} je naopak méně častý a vyskytuje se především u pacientů s poruchou funkce ledvin nebo při nadměrném příjmu tohoto minerálu.

Cílem této bakalářské práce je shrnout současné poznatky o významu hořčíku v lidském organismu, jeho zdrojích ve výživě a důsledcích jeho nedostatku a nadbytku.

1 HOŘČÍK JAKO ESENCIÁLNÍ BIOGENNÍ PRVEK

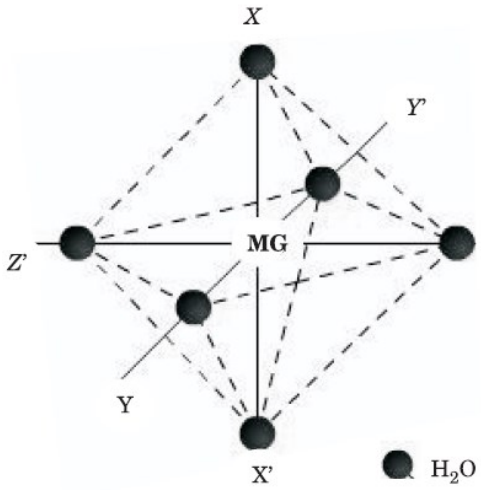
1.1 Základní charakteristika hořčíku

Hořčík (latinsky Magnesium, chemická značka Mg) je stříbrno-bílý lehký, poměrně měkký kov, který na vlhkém vzduchu pomalu oxiduje.[1,2] Jeho atomové číslo je 12 a relativní atomová hmotnost 24,31. Patří mezi nejrozšířenější prvky zemské kůry a přirozeně se vyskytuje ve 3 izotopech: ^{24}Mg (78,99 %); ^{25}Mg (10,00 %); ^{26}Mg (11,01 %).[1]

V periodické soustavě prvků náleží do II. skupiny (kovy alkalických zemin). Má silně elektropozitivní charakter a velkou afinitu k elektronegativním prvkům. Je velmi reaktivní a ve svých sloučeninách vystupuje prakticky výhradně s oxidačním číslem +II, je typicky dvojmocný. Odtržením 2 valenčních elektronů totiž zaujme velmi stabilní konfiguraci předchozího vzácného plynu (neonu). Snadno tedy vytváří také bezbarvý dvojmocný kation Mg^{2+}.[2]

Hořečnatý kation plní v lidském organismu celou řadu funkcí. Působí jako kofaktor u více než 300 enzymů, regulujících mnoho základních funkcí. Kromě toho hraje také životně důležitou roli při tvorbě energie, aktivním transportu jiných iontů přes membránu, syntéze jaderného materiálu a vývoji kostí. Nedostatek hořčíku je navíc spojován s mnoha různými onemocněními.[3]

Tato jeho výjimečná biochemická aktivita je dána nejen hojným výskytem hořečnatých kationtů v přírodě či jejich poměrném množství v živých organismech, ale také tím, že Mg^{2+} má relativně malý iontový poloměr v poměru k velikosti jádra. Hořečnatý kation se obvykle váže na 6–7 molekul vody. Koordinace Mg-H_2O probíhá v charakteristické oktaedrické konformaci (*obrázek 1*), a proto vykazuje pomalejší výměnu vody než jiné ionty. V důsledku toho je hydratovaný hořečnatý kation v biologických systémech mnohem větší a stabilnější než např. Ca^{2+}, další významný dvojmocný kation v organismu. Díky svým fyzikálně-chemickým vlastnostem se tedy intracelulární hořčík může vázat na jádro, ribozomy, buněčné membrány nebo makromolekuly nacházející se v cytosolu buňky.[4]



Obrázek 1. *Struktura komplexu $[Mg(H_2O)_6]^{2+}$. Kation je obklopen šesti molekulami vody (černé body), které vytvářejí charakteristickou oktaedrickou geometrii. Osy X, Y a Z znázorňují prostorovou orientaci (převzato podle Pasternak, K. et al., 2010).*[4]

1.2 Výskyt hořčíku v přírodě

Hořčík patří mezi nejrozšířenější prvky zemské kůry. Vzhledem ke své velké reaktivitě se v přírodě vyskytuje pouze vázaný ve svých sloučeninách, nikdy jako ryzí prvek. [2] V zemské kůře se vyskytuje především ve formě uhličitanů a síranů, méně dostupně pak ve formě křemičitanů. Odhad jeho celkového zastoupení je 2,76 %, což řadí hořčík na šesté místo.[5]

Z uhličitanů jsou nejdůležitějšími minerály dolomit $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, který tvoří z velké části i celá pohoří (například Dolomity v Itálii), a magnezit $MgCO_3$. Ze síranů je pak významný epsomit $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (neboli hořká sůl) a kieserit $MgSO_4 \cdot H_2O$, který téměř vždy provází kamennou sůl. Křemičitany jsou zastoupeny běžným bazickým minerálem olivínem $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$ či enstatitem $Mg_2[Si_2O_6]$, dále například mastkem a azbestem. Podstatný je také přeměněný minerál spinel $MgO \cdot Al_2O_3$, jehož různé odrůdy jsou drahými kameny.[2,5]

Ačkoli je tedy většina hořčíku na Zemi vázána v nerostných ložiscích, mnoho hořečnatých solí je vysoce rozpustných ve vodě. Neustálé procesy zvětrávání a následné vyplavování vedou ke konstantní a relativně vysoké koncentraci Mg^{2+} jak v půdě, tak v hydrosféře.[6] Hořečnaté soli se spolu s vápenatými vyskytují ve většině přírodních vod a jsou zodpovědné za jejich tvrdost. Mnoho minerálních pramenů hojně obsahuje síran hořečnatý.[2] V mořské vodě je pak hořčík zastoupen přibližně z 0,13 % ve formě $MgCl_2$, $MgBr_2$ a $MgSO_4$.[2,5]

Hořčík je rovněž významně zastoupen v živých organismech.[2] Je přítomný zejména v zelených listech rostlin — chlorofyl je totiž porfyrinovým komplexem s hořčíkem.[5] Takto

následně vstupuje do potravního řetězce a tvoří základ příjmu hořčíku v lidské výživě, která bude podrobněji popsána v následujících kapitolách.

1.3 Zastoupení hořčíku v organismu

Hořečnatý kation je čtvrtým nejhojnějším kationtem v organismu.[3] Jedná se o hlavní intracelulární dvojmocný kation a plní zásadní fyziologickou roli v mnoha funkcích organismu.[7]

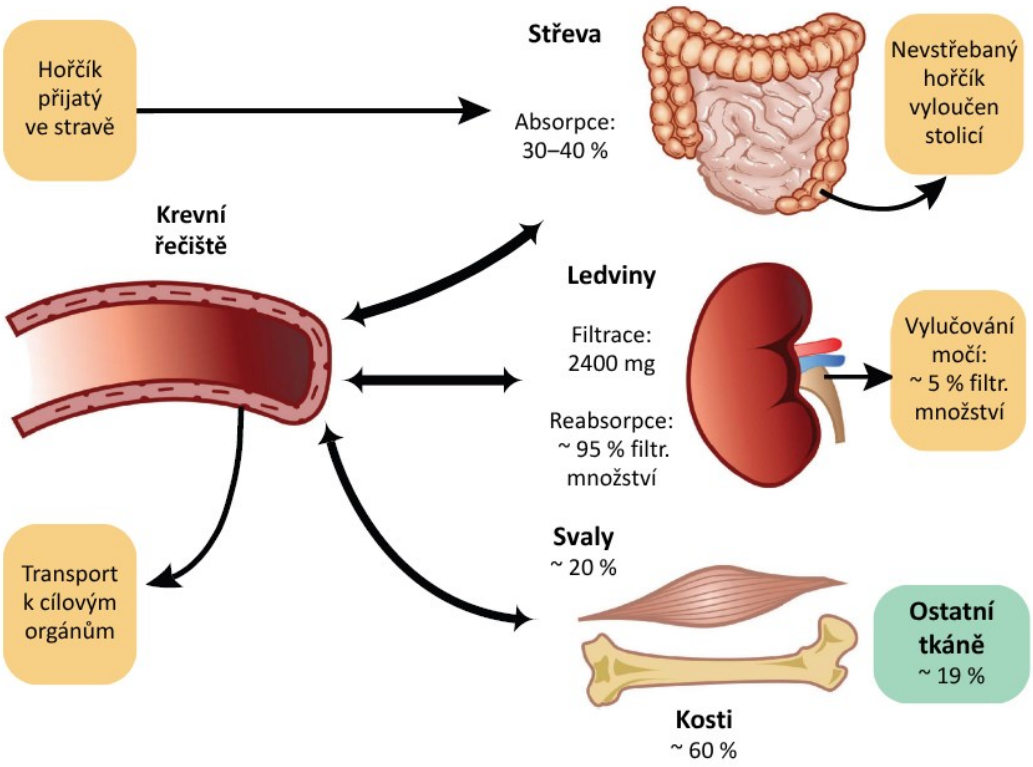
Celkový obsah Mg^{2+} v organismu průměrného dospělého člověka činí přibližně 22–26 g. Většina, přibližně 60 %, je uložena v kostech, třetina z tohoto množství je vyměnitelná za účelem udržení stabilní koncentrace hořčíku v séru. Kosterní svalstvo obsahuje asi 20 % a ostatní měkké tkáně kolem 19 %. V extracelulárním prostoru, zejména v krevní plazmě, se pak nachází méně než 1 %.[7]

Většina hořčíku se nachází v buňkách, po draslíku je druhým nejhojnějším intracelulárním kationtem. Jeho celková koncentrace se pohybuje v rozmezí 17–20 mmol/l a vyskytuje se převážně v mitochondriích, jádru, endo- a sarkoplasmatickém retikulu. Většina je zde vázaná na fosfolipidy, proteiny, nukleové kyseliny, chromatin či nukleotidy (podle konkrétní organely) a pouze zlomek je volný hořčík, resp. ionizovaný (tedy ve formě Mg^{2+}). [8] V cytoplazmě je pak přítomen zejména ve formě komplexu s ATP, nebo s jinými nukleosidtrifosfáty. [6,8]

V séru se nachází méně než 0,3 % celkového hořčíku v organismu. Sérová hladina hořčíku tedy neodráží jeho celkový obsah v těle. Přesto je v klinické praxi nejpoužívanější metodou pro posouzení stavu Mg právě stanovení jeho koncentrace v séru. [3] V současné době totiž neexistuje žádný jednoduchý, rychlý a přesný laboratorní test, který by určil celkový stav hořčíku v organismu.[7]

1.4 Metabolismus hořčíku

Metabolismus hořčíku v organismu a jeho distribuce v jednotlivých tkáních jsou schematicky znázorněny na *obrázku 2*. Jednotlivé fáze metabolismu, tedy absorpce, transport a vylučování, budou podrobněji popsány v následujících podkapitolách.



Obrázek 2. *Metabolismus a distribuce hořčíku v lidském organismu (upraveno podle Al Alawi, A. M. et al., 2018).*[3]

1.4.1 Absorpce hořčíku

Většina hořčíku se vstřebává v ileu a distálních částech jejuna, menší množství pak také v tlustém střevě. Při dostatečném příjmu převažuje pasivní paracelulární transport, zatímco při nízkém příjmu se uplatňuje také aktivní transcelulární transport.[3,7]

Běžně se vstřebává přibližně 30–40 % přijatého hořčíku. Podíl absorbovaného hořčíku však nepřímo úměrně závisí na jeho přijatém množství: při nízkém příjmu je to až 65 %, naopak při vysokém pouze kolem 11 %.[7,9] Dalším faktorem ovlivňujícím absorpci je stav zásob hořčíku v organismu.[3] Vliv má také složení stravy: fytáty, oxaláty, potraviny s vysokým obsahem vlákniny a vysoké dávky vápníku, fosforu a železa mohou vstřebávání brzdit, zatímco laktóza, některé sacharidy (oligosacharidy a inulin), bílkoviny a triglyceridy se středně dlouhým řetězcem jej mohou podporovat.[10]

1.4.2 Transport hořčíku v organismu

V krevní plazmě se hořčík vyskytuje ve 3 formách: 19–33 % je vázáno na proteiny (zejména albumin), 7–14 % je ve formě komplexu, zejména s citrátem, fosforečnanem či hydrogenuhličitanem, a zbylých 55–67 % cirkuluje jako volný (ionizovaný) Mg^{2+}, což

představuje aktivní část dostupnou pro různé biochemické procesy.[9] Jeho normální koncentrace v krevní plazmě se pohybuje v rozmezí 0,7–1 mmol/l. [3]

Vzhledem k velmi důležité roli hořčíku v lidském organismu je nutné přísně regulovat jeho intracelulární koncentraci. Existuje několik specifických transportérů regulujících pohyb hořčíku mezi buňkami. Do buněk vstupuje s využitím elektrochemického gradientu a prostřednictvím specifických kationtových kanálů. Nejdůležitějšími jsou TRPM6 a TRPM7 (Transient Receptor Potential Melastatin), které jsou nezbytné pro regulaci celkové hladiny hořčíku v organismu, přežití buněk a jejich funkci. Výstup hořčíku z buněk je zajišťován mechanismem výměny iontů. Je známo několik výměnných procesů, z nichž nejdůležitější je Na^+/Mg^{2+} výměník.[3]

1.4.3 Vylučování hořčíku

Glomeruly v ledvinách filtrují denně přibližně 2400 mg hořčíku, z toho je asi 95 % znovu vstřebáno.[3,9] Za normálních podmínek je menší část reabsorbována již v proximálním tubulu (asi 20 %), většina (60 %) pak v tlustém vzestupném raménku Henleovy kličky a zbývající množství (5–10 %) v distálních tubulech.[7] Pouze asi 120 mg hořčíku je denně vyloučeno močí.[9]

Část je vyloučena také stolicí, jedná se o nevstřebané množství hořčíku přijatého v potravě.[3] Kromě toho může docházet k exkreci hořčíku potem a slinami, i když tyto cesty hrají jen okrajovou roli.[10]

1.4.4 Regulace homeostázy hořčíku

Homeostáza hořčíku je výsledkem interakce mezi třemi orgánovými systémy: ledvinami, střevem a kostmi.[9] Regulace tedy začíná již ve střevech, kde podíl vstřebaného hořčíku závisí na jeho přijatém množství a celkových zásobách v organismu.[3] Při nedostatku hořčíku dochází ke zvýšení střevní absorpce.[9]

Primární úlohu v homeostáze však mají ledviny, mohou regulovat množství vylučovaného hořčíku v závislosti na jeho koncentraci v séru.[3] Akutní nedostatek hořčíku zvyšuje tubulární reabsorpci, frakční exkrece se může snížit až na méně než 0,5 % (12 mg/den). Pokud zvýšená střevní absorpce spolu se sníženým vylučováním ledvinami nestačí vyrovnat nedostatek hořčíku v organismu, začne vyměnitelný rezervoár z kostí přispívat k udržení jeho stabilní extracelulární koncentrace.[9]

Důležitou roli v homeostáze hrají také vitamin D a některé hormony, zejména parathormon (PTH). Aktivní forma vitaminu D může zvýšit absorpci až na 70 % při nedostatku

hořčíku, ale jeho role zůstává kontroverzní.[7] PTH zase zvyšuje reabsorpci hořčíku v distálním spletitém tubulu ledvin a ve střevech a zvyšuje uvolňování hořčíku z kostí.[3]

Homeostáza hořčíku je navíc regulována koncentrací intracelulárního ionizovaného volného hořčíku, který je v rovnováze jak s intracelulárně vázaným, tak s extracelulárním Mg^{2+}.[9]

Metabolismus hořčíku je úzce propojen s jeho fyziologickými funkcemi, které budou předmětem následující kapitoly.

2 FUNKCE HOŘČÍKU V LIDSKÉM ORGANISMU

Hořčík, resp. hořečnatý kation Mg^{2+}, reguluje řadu základních funkcí lidského organismu, jako je svalová kontrakce či relaxace, nervosvalové vedení, hladina glykémie v krvi, kontrakce srdečního svalu a krevní tlak. Působí jako vyrovnávací ion pro ATP a nukleové kyseliny, reguluje transmembránový transport a plní řadu úloh ve struktuře a fungování bílkovin, nukleových kyselin a mitochondrií. Je také důležitým minerálem pro mineralizaci kostí a mnoho dalších buněčných funkcí.[3] Jeho konkrétní role v jednotlivých orgánových systémech bude rozebrána níže.

2.1 Hořčík a metabolismus

Hořečnatý kation se podílí prakticky na všech metabolických dráhách, včetně přeměny bílkovin, lipidů, sacharidů a nukleových kyselin, jakož i na transportu elektrolytů přes buněčné membrány.[4] Kromě toho je často nezbytným kofaktorem při replikaci, opravě a transkripci DNA a RNA. V důsledku toho má řada nesouvisejících enzymatických tříd, jak proteinových, tak ribozomálních, absolutní závislost na hořčíku.[6]

2.1.1 Úloha Mg v enzymatických procesech

Jak již bylo zmíněno, Mg^{2+} se podílí na více než 300 enzymatických reakcích a je nepostradatelný pro aktivitu proteinových kináz, glykolytických enzymů, fosforylačních procesů a reakcí závislých na ATP.[10] Většina enzymů sice může být aktivována i jinými kovovými ionty, nicméně taková náhrada vede ke snížení účinnosti enzymatické reakce.[4]

Aktivace enzymů probíhá dvojím způsobem. Hořečnatý kation se buď může vázat chelatací na substrát, čímž vzniká komplex s vhodnou strukturou pro daný enzym, nebo interagovat přímo s enzymem, a vytvořit tak aktivní strukturu schopnou působit na substrát. Nicméně, tyto mechanismy se vzájemně kombinují. Například, správným substrátem pro ATPázu je komplex ATP–Mg a enzym na něj působí pouze tehdy, je-li sám aktivován dalším iontem Mg^{2+}.[4]

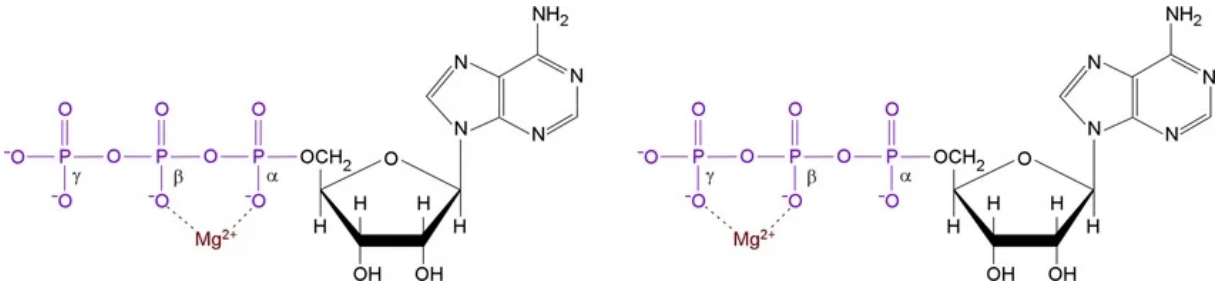
V aktivním místě enzymů může hořečnatý kation působit prostřednictvím několika různých mechanistických rolí. Například se podílí na stabilizaci meziproduktu, nebo stabilizuje skupinu odštěpující se ze substrátu, nebo se současně váže na 2 substráty a usnadňuje reakci díky efektu blízkosti.[4,6]

Hořečnatý kation navíc vykazuje mírné antagonistické vlastnosti vůči vápenatému kationtu a podílí se na mnoha strukturálních funkcích uvnitř buňky, jako jsou multienzymové komplexy, G-proteiny, receptory a činnost mitochondrií.[12]

2.1.2 Energetický metabolismus

Nejčastější rolí hořečnatých kationtů je vazba s nukleosidtrifosfáty. Celkové množství intracelulárního Mg^{2+}, které interaguje s ATP, se pohybuje od 50 % do 75 %. Vzhledem k tomu, že se jedná o základní biochemickou jednotku energie v životních pochodech, je tato jeho funkce zásadní. Téměř všechny procesy, na nichž se ATP podílí, závisí na hořčíku jako kofaktoru.[6]

Většina volného ATP v buňkách je právě ve formě komplexu $MgATP^{2-}$ (*obrázek 3*), který je obecně přijímán jako jeho biologicky aktivní forma. Ve svém fosfátovém řetězci obsahuje řadu atomů kyslíku a každý z nich je schopen se vázat na Mg^{2+}. Při pH = 7 je tento řetězec zcela deprotonován a hořečnatý kation interaguje s ATP pouze jeho prostřednictvím, nukleotidová část se na chelataci nepodílí.[6]



Obrázek 3. *Možné komplexy hořečnatého kationtu s ATP. Nejčastěji se Mg^{2+} váže na kyslíkové atomy β- a γ- fosfátových skupin oxyaniontu (převzato podle Holm, N. G., 2012).*[11]

Ve vzniklém komplexu Mg^{2+} částečně neutralizuje záporný náboj fosfátových skupin, což usnadňuje jeho vazbu na enzymy a napomáhá hydrolýze terminální fosfoanhydridové vazby.[9] Hořčík tedy hraje důležitou roli v řadě klíčových procesů energetického metabolismu, mezi které patří syntéza a hydrolýza ATP, glykolýza a buněčné dýchání.

Biosyntéza ATP

Jedná se o poměrně složitou, extrémně endotermickou reakci. Dochází k ní v mitochondriích prostřednictvím účinné kombinace komplexního biomechanického motoru s chemickými procesy. ATP syntázy se skládají ze dvou základních komponent – katalytické jednotky F_1, která je zodpovědná za chemickou reakci, a transmembránové jednotky F_0, která dodává potřebnou energii ve formě elektrochemického protonového gradientu. Pro celou reakci

je nezbytná přítomnost Mg^{2+}. Je vázán v jednotce F_1 a usnadňuje spojení ADP s P_i za vzniku konečného ATP.[6]

Hydrolýza ATP

Všechny nesčetné biochemické funkce ATP souvisí se specifickou hydrolýzou fosfoanhydridové vazby P_γ–O–P_β, nebo P_β–O–P_α. Hydratovaný kation Mg^{2+} podporuje hydrolýzu především stabilizací přechodových struktur, nebo meziproduktů a konečných produktů. Tato stabilizace však zdaleka nestačí k překonání kinetické bariéry, která brání spontánní hydrolýze ATP ve vodných roztocích, komplex $MgATP^{2-}$ je ve vodě při pH 7 poměrně stabilní. Aby byla tedy hydrolýza možná, musí být na trifosfátový řetězec koordinovány dva kovové ionty. Vazba dvou iontů Mg^{2+} na tento řetězec zřetelně podporuje hydrolýzu vazby O_β–P–O_γ.[6]

Glykolýza

Během této metabolické dráhy dochází k oxidaci glukózy a jejímu rozštěpení na dva ekvivalenty pyruvátu. Celková reakce je exotermická a uvolněná energie se přeměňuje na ATP. Navíc během ní vznikající NADH slouží jako palivo pro ATP syntázy. Čistý výtěžek ATP na 1 molekulu glukózy je buď 6, nebo 8, podle toho, který mechanismus je následně využit k transportu elektronů z NADH do mitochondrií. Polovina z deseti enzymů podílejících se na glykolýze je závislých na přítomnosti hořečnatého kationtu, jedná se o hexokinázu, fosfofruktokinázu, fosfoglycerátkinázu, enolázu a pyruvátkinázu. Vzhledem k tomu, že krok katalyzovaný fosfofruktokinázou určuje rychlost celého procesu, hraje Mg^{2+} klíčovou roli v regulaci glykolytické dráhy.[6]

Hořečnatý kation působí jako kofaktor několika enzymů také v Krebsově cyklu,[4] a podílí se tak na tvorbě redukčních ekvivalentů potřebných pro následnou produkci ATP v procesu buněčného dýchání.

Buněčné dýchání

Mitochondrie představují jeden z hlavních buněčných zásobníků Mg^{2+}.[8] Hořečnatý kation má klíčovou roli v regulaci jejich funkce, včetně kontroly objemu, složení iontů a produkce ATP. Nejzásadnější je udržování dýchacího řetězce, v němž mají fosforylace i oxidace vysokou účinnost. Změny koncentrace Mg^{2+} v matrix mitochondrií ovlivňují rychlost buněčného dýchání, navíc Mg^{2+} je integrální součástí podjednotky IV komplexu cytochrom c oxidázy, posledního enzymu dýchacího řetězce katalyzujícího redukci molekulárního kyslíku.[4]

Ionty hořčíku jsou rovněž nezbytné pro syntézu glutathionu, jehož nedostatek podporuje hromadění reaktivních forem kyslíku, což způsobuje mitochondriální dysfunkci. Ta hraje rozhodující roli v kaskádě, která vede až k programované buněčné smrti.[4]

2.1.3 Metabolismus živin

Hořečnatý kation se podílí na mnoha metabolických procesech, včetně přeměny bílkovin, lipidů, sacharidů a nukleových kyselin.[4]

Sacharidy

Jak již bylo uvedeno, hořečnatý kation má zásadní vliv na rychlost a regulaci glykolýzy, jelikož mnoho glykolytických enzymů je na něm závislých. Působí také jako kofaktor enzymů zapojených do metabolismu glukózy a činnosti inzulínu a reguluje aktivitu inzulínových receptorů, čímž usnadňuje vstup glukózy do buněk a podporuje její využití zprostředkované inzulínem. Mg^{2+} tak celkově zlepšuje citlivost buněk na inzulín a pomáhá udržovat glykemii v optimálních hodnotách. Navíc odstranění extracelulárního Mg^{2+} nebo chelatace intracelulárního Mg^{2+} výrazně omezuje transport glukózy erytrocyty, hořčík se tedy podílí na její distribuci mezi buňkami. Přispívá i ke správné funkci beta-buněk slinivky břišní a reguluje různé signální dráhy související s přenosem a metabolismem glukózy.[4,12]

Nedostatek hořčíku je spojen s inzulínovou rezistencí, narušeným metabolismem glukózy a sníženou citlivostí na inzulín, může tedy vést k rozvoji diabetu 2. typu. Naopak udržování adekvátních hladin Mg^{2+} dostatečným příjmem v potravě (nebo případnou suplementací) může hrát klíčovou roli v prevenci a léčbě tohoto onemocnění.[12]

Nukleové kyseliny

Více než polovina Mg^{2+} obsaženého v jádře buněk je úzce vázána na nukleové kyseliny a volné nukleotidy, ve kterých neutralizuje záporně nabité fosfátové skupiny. Významně tak přispívá ke stabilizaci sekundární a terciární struktury DNA. Navíc díky své schopnosti přímo interagovat s proteiny může modulovat fosforylaci histonů, nebo ve formě komplexu Mg-ATP hrát klíčovou roli ve fosforylační kaskádě katalyzované proteinovými kinázami. Dále se hořečnatý kation podílí na aktivaci enzymů důležitých pro opravu DNA (endonukleáza), její replikaci (topoizomeráza II, polymeráza I) a transkripci (ribonukleáza H). Mg^{2+} je tak zásadní pro fyzickou integritu dvouvláknové DNA.[4]

V cytosolu buňky je Mg^{2+} vázán především na rRNA nebo na proteiny, které jsou nezbytné pro udržení stability ribozomů i jejich agregaci do polyzomů. Může také působit jako

kofaktor enzymů na bázi ribonukleové kyseliny (ribozymů), které jsou schopny specificky rozpoznat a štěpit mRNA.[4]

Bílkoviny

Hořečnatý kation nepřímo ovlivňuje syntézu bílkovin čtyřmi mechanismy: usnadněním polymerace nukleových kyselin, zrychlením syntézy a degradace DNA, zvýšením vazby ribozomů na mRNA, a regulací interakcí protein:DNA, a tím i transkripční aktivity.[9]

Kromě toho hrají jak volné Mg^{2+}, tak komplex GTP-Mg důležitou roli v polymeraci tubulinu a následně v oddělení chromozomů během mitózy.[4]

Lipidy

Hořečnatý kation má vliv na ideální poměr jednotlivých lipidů v krvi, ovlivňuje tedy lipidový profil. Jeho nedostatek je spojován se sníženou hladinou HDL cholesterolu, zvýšenými hladinami triglyceridů a celkového cholesterolu, a s tím souvisejícím vysokým rizikem aterosklerózy.[3]

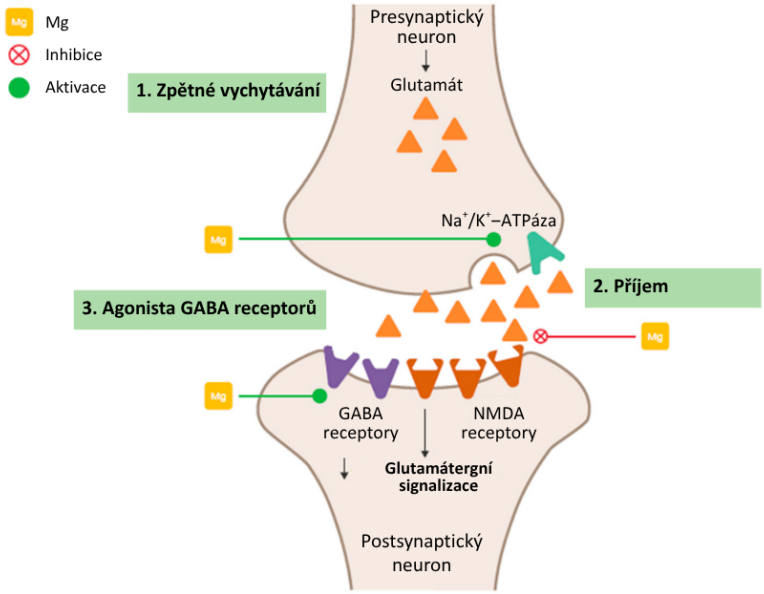
Mg^{2+} dále hraje roli v odbourávání mastných kyselin (β-oxidaci), protože tento proces je regulován enzymy na něm závislými.[4]

2.2 Hořčík a nervový systém

V nervovém systému má hořčík tlumivý účinek na synapse. Prostřednictvím několika mechanismů reguluje příliv vápníku do nervových buněk a brání jejich nadměrné vzrušivosti. Kromě toho hraje roli ve zvýšení produkce vasodilatačních prostaglandinů v CNS a stabilizaci neurální membrány.[3,9]

2.2.1 Úloha Mg při přenosu nervového vzruchu

Extracelulární Mg^{2+} nekompetitivně blokuje N-methyl-D-aspartátové (NMDA) receptory, jejichž stimulace vede k excitačním postsynaptickým potenciálům, a zároveň jako antagonista působí přímo na napěťově řízené vápníkové kanály. Tyto mechanismy vedou k regulaci přílivu Ca^{2+} do buňky a modulaci synaptického přenosu. Hořčík hraje také zásadní roli v rovnováze neurotransmiterů. Ovlivňuje syntézu a uvolňování serotoninu a dopaminu, podporuje inhibici prostřednictvím kyseliny γ-aminomáselné (GABA) a současně tlumí excitační signalizaci glutamátu. Dále soutěží s vápníkem v procesu spřažení podnětu a sekrece, například v neuromuskulárním spojení takto brání vylití acetylcholinu z presynaptických buněk. Vliv hořčíku na rovnováhu mezi excitací a inhibicí znázorňuje *obrázek 4*.



Obrázek 4. *Vliv hořčíku na synaptický přenos (upraveno podle Pickering, G. et al., 2020).*[13]

Kromě toho Mg^{2+} moduluje dráhy stresové reakce, protože enzymy a buněčné děje podílející se na těchto pochodech jsou na něm závislé. Může rovněž ovlivňovat synaptickou plasticitu a podporovat tak kognitivní funkce. Navíc díky regulaci neurální aktivity chrání nervové buňky před excitotoxicitou.[3,9,10,12,13]

2.2.2 Vliv na neurologické zdraví a psychiku

Nízká hladina Mg^{2+} může přispívat k vazokonstrikčním mechanismům v mozku, jako je zvýšení agregace krevních destiček nebo stimulace vylučování serotoninu, což může vyvolat akutní bolest hlavy. Navíc zvyšuje neuronální dráždivost a spouští kortikálně se šířící depresi CNS. Je tedy spojována s neurologickými poruchami, zejména s migrénami, a se zvýšeným rizikem nebo zhoršením neurodegenerativních onemocnění, včetně Alzheimerovy choroby a mírné kognitivní dysfunkce. Narušený transport a homeostáza hořčíku pak souvisí s Parkinsonovou nemocí.[3,10]

Stav hořčíku se jeví jako relevantní také pro duševní zdraví a jeho nedostatek je spojen s vyšší prevalencí a závažností deprese a úzkosti. Kromě toho může přispívat k rozvoji několika dalších psychiatrických poruch a onemocnění, včetně podrážděnosti, nespavosti, záchvatů paniky, schizofrenie a psychotického chování.[10,12]

Vyšší příjem hořčíku naopak může přispívat ke strukturální integritě mozku zvětšením objemu šedé i bílé hmoty, zejména v oblasti pravého hipokampu. Dále je soustavně spojován s delší dobou spánku a menším počtem probuzení. Jeho suplementace se navíc jeví jako slibná doplňková léčba psychiatrických poruch a vede ke zlepšení depresivních symptomů a zmírnění

úzkosti. Dostatečný příjem hořčíku prostřednictvím stravy nebo výživových doplňků tak může mít příznivé účinky v oblastech neurologického a psychického zdraví, podpořit kognitivní funkce a vést ke zlepšení duševní pohody a kvality spánku.[10,12]

2.3 Hořčík a svalová soustava

Hořčík je důležitý pro optimální zdraví svalů a ovlivňuje různé fyziologické mechanismy, které zajišťují správnou svalovou funkci. Přispívá k zlepšení fyzické výkonnosti tím, že se jako kofaktor pro produkci ATP podílí na energetickém metabolismu svalových buněk, čímž je zabezpečena dostatečná energie pro efektivní svalovou činnost. Dále hraje roli v syntéze bílkovin, a pomáhá tak následné regeneraci a růstu svalové hmoty. Navíc má protizánětlivé účinky, díky kterým může snížit bolestivost a poškození svalů při intenzivní fyzické aktivitě. Podporuje také přenos signálů mezi nervy a svaly, což je zásadní pro dobrou koordinaci a sílu.[12]

2.3.1 Ovlivnění svalové kontrakce a relaxace

Jednou z hlavních rolí Mg^{2+} je jeho účast na svalové kontrakci a relaxaci. Jako dvojmocný kation totiž soutěží s vápenatými ionty o vazebná místa na membránách uvnitř svalových buněk a moduluje jejich vazbu a uvolňování ze sarkoplazmatického retikula. Pomáhá tak regulovat intracelulární hladinu vápníku a udržovat jejich nízkou klidovou koncentraci. Při stimulaci pak dochází k uvolnění Ca^{2+} do cytosolu a vyvolání svalové kontrakce. Hořčík následně působí jako fyziologický antagonista vápníku a zablokuje jeho intracelulární kanály, čímž brání nadměrnému přílivu Ca^{2+} a přispívá tak k relaxaci svalů.[9,12]

2.3.2 Prevence svalových křečí, zranění a úbytku svalové hmoty

Nízká hladina Mg^{2+} může vést ke zvýšené nervosvalové dráždivosti, což má za následek hyperkontraktilitu a svalové křeče. Nedostatek hořčíku je dále spojován se zvýšeným rizikem svalových zranění, zhoršenou regenerací po cvičení a svalovou slabostí. Navíc může přispívat k rozvoji fibromyalgie, syndromu způsobujícího zvýšenou citlivost, plošnou bolest pohybového aparátu a extrémní únavu. Dostatečný příjem hořčíku ve stravě nebo pomocí výživových doplňků naopak zvyšuje svalovou sílu a vytrvalost, zlepšuje toleranci zátěže a snižuje svalové křeče, je tedy důležitý pro celkové zdraví svalů.[12]

Hořčík také hraje roli v prevenci úbytku svalové hmoty spojeného se stárnutím (sarkopenie) tím, že podporuje syntézu svalových bílkovin. Jeho suplementace přispívá k zachování zdraví a správné funkce svalů u stárnoucí populace, může předcházet poklesu fyzické výkonnosti a je spojena s vyšší silou a nižší prevalencí sarkopenie.[10,12]

2.4 Hořčík a kardiovaskulární systém

Hořčík hraje klíčovou roli v udržování zdraví kardiovaskulárního systému. Ovlivňuje cévní tonus, snižuje tuhost tepen a periferní cévní rezistenci, zlepšuje funkci endotelu a moduluje hladiny vápníku, což společně přispívá ke snížení krevního tlaku a zlepšení funkce srdce. Podílí se také na regulaci srdečního rytmu. Navíc má příznivý účinek na zánětlivé reakce a agregaci krevních destiček, a snižuje tak riziko trombózy.[3,10,12]

Nedostatek Mg^{2+} je pak spojován s patogenezí hypertenze a zvýšeným rizikem dalších kardiovaskulárních onemocnění, včetně cévní mozkové příhody a ischemické choroby srdeční.[10,12]

2.4.1 Ovlivnění krevního tlaku

Hlavním mechanismem, kterým se hořčík podílí na regulaci krevního tlaku, je jeho vazodilatační efekt. Jako antagonista Ca^{2+} je přirozeným blokátorem vápníkových kanálů a ovlivňuje hladinu vápníku v buňkách hladkého svalstva cév, čímž moduluje jejich kontraktilitu a hraje zásadní roli ve složité rovnováze vazodilatace a vazokonstrikce v cévním systému. Kromě toho je Mg^{2+} aktivátorem enzymu NO-syntázy, a podporuje tak produkci a uvolňování oxidu dusnatého v endoteliálních buňkách, čímž zesiluje jeho vazodilatační účinek; a současně antagonizuje účinek některých vazokonstrikčních mediátorů (např. angiotenzinu II či serotoninu). Tyto mechanismy vedou ke snížení napětí, poklesu periferní rezistence a následnému rozšíření cév. Mg^{2+} tak pomáhá snižovat krevní tlak. Navíc díky svému antioxidačnímu působení chrání cévní endotel, má na něj příznivý vliv a zlepšuje jeho funkci.[3,10,12]

Nedostatek hořčíku přispívá k patofyziologii hypertenze, protože vede k cévní hyperreaktivitě a zvýšenému krevnímu tlaku. Naopak byl opakovaně prokázán inverzní vztah mezi příjmem hořčíku v potravě a prevalencí a incidencí hypertenze. Jeho suplementace vedla k významnému snížení systolického i diastolického krevního tlaku. Dostatečný příjem Mg^{2+} prostřednictvím výživy nebo doplňků stravy tak může hrát roli v prevenci hypertenze nebo vést ke zlepšení stavu u hypertenzních pacientů.[3,10,12]

2.4.2 Ovlivnění srdečního rytmu

Hořčík je nezbytný pro udržení normálního srdečního rytmu. Má stabilizační účinek na membrány myokardiálních buněk a pomáhá zachovat vyrovnané membránové potenciály a stabilní vedení impulsů prostřednictvím několika možných mechanismů. Jako antagonista

vápenatých iontů je přirozeným blokátorem Ca^{2+} kanálů a ovlivňuje jejich aktivitu v srdečních buňkách, zejména v atrioventrikulárním uzlu (AV uzlu). Dále jako nezbytný kofaktor systému Na^+/K^+-ATPázy reguluje transport draselných iontů ven z buňky a má klíčovou roli v udržování správných intracelulárních hladin K^+ a Na^+, což je zásadní pro zachování negativního klidového membránového potenciálu. Kromě toho intracelulární Mg^{2+} moduluje aktivitu draslíkových kanálů v srdečních buňkách a blokuje nadměrný výstup K^+, čímž brání jejich přílišné depolarizaci. Nedostatek hořčíku je pak spojen se zvýšeným výskytem různých druhů srdečních arytmií.[3,9,10,12]

2.5 Hořčík a kostní tkáň

Hořčík je minerál zásadní pro zdraví kostí. Působí prostřednictvím řady mechanismů, které ovlivňují mineralizaci kostí a homeostázu vápníku.[10]

Na druhé straně jsou kosti důležitým rezervoárem hořčíku, protože uchovávají přibližně 60 % jeho celkového množství v organismu. Asi třetinu z tohoto množství tvoří Mg^{2+} v hydratačním obalu nebo adsorbovaný na povrchu krystalů hydroxyapatitu a je k dispozici pro uvolňování do krevní plazmy.[3]

2.5.1 Úloha Mg při mineralizaci kostí

Hořčík se účastní kostního metabolismu tím, že přímo podporuje proliferaci, diferenciaci a funkci osteoblastů a reguluje aktivitu osteoklastů. Kromě toho na buněčné úrovni ovlivňuje signální dráhu RANK/RANKL/OPG, která je klíčovým modulátorem kostní přestavby. Tímto dvojím působením pomáhá udržovat rovnováhu mezi tvorbou a odbouráváním (resorpcí) kostí. Dále ovlivňuje sekreci parathormonu a podílí se na aktivaci vitaminu D, kdy působí jako kofaktor při jeho vazbě na transportní protein a také při jeho přeměně na 1,25-dihydroxyvitamin D v játrech a ledvinách. Tím přispívá k regulaci rovnováhy vápníku, zvyšuje jeho vstřebávání a podporuje tak mineralizaci kostí. Hořčík má tedy zásadní význam pro udržení optimální kostní minerální hustoty a celkové integrity kostry.[3,10,12]

2.5.2 Prevence osteoporózy a zlomenin

Nízká hladina Mg^{2+} narušuje homeostázu vápníku. Současně může snížit cévní zásobení kostí a zvýšit hladinu zánětlivých cytokinů. To může vyvolat narušení přestavby kostí, narušenou tvorbu a mineralizaci kostní matrice, zvýšenou ztrátu kostní hmoty a snížení její hustoty (osteopenii). Nedostatek hořčíku může dále vést až k rozvoji osteoporózy, charakterizované křehkostí kostry, zvýšenou resorpcí a sníženou tvorbou kostí a narušeným

růstem. Navíc je spojen s vyšším rizikem zlomenin a může způsobit křivici rezistentní na vitamín D. Jeho suplementace naopak vedla ke zvýšení kostní minerální hustoty, zmírnění úbytku kostní hmoty a snížení rizika osteoporózy i zlomenin. Dostatečný příjem hořčíku ve stravě nebo pomocí doplňků tak přispívá k udržení celkového zdraví kostí.[3,10,12]

3 DOPORUČENÝ PŘÍJEM HOŘČÍKU

3.1 Základní doporučené denní dávky

Doporučený denní příjem (RDA) hořčíku u dospělých lidí činí přibližně 4,5 mg na kilogram tělesné hmotnosti.[7] Konkrétní referenční hodnoty se však v jednotlivých regionech mírně liší. Ve Spojených státech a Kanadě je RDA pro muže 400–420 mg, u žen je to 310–320 mg.[10] Adekvátní příjem (AI) stanovený Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA) shrnuje *tabulka 1*.

Tabulka 1. *Doporučený denní příjem hořčíku v závislosti na věku a pohlaví.*[14]

Věková skupina	Adekvátní příjem Mg
Kojenci (7–11 měsíců)	80 mg
Batolata (1–3 roky)	170 mg
Děti (3–10 let)	230 mg
Dívky (10–18 let)	250 mg
Chlapci (10–18 let)	300 mg
Dospělé ženy	300 mg
Dospělí muži	350 mg

V populaci mnoha západních zemí je přísun hořčíku nižší než doporučené množství. Přispívají k tomu konzumace průmyslově zpracovaných potravin a demineralizované vody a zemědělské postupy využívající k pěstování potravin půdu chudou na hořčík.[3] Příjem hořčíku totiž závisí především na jeho koncentraci v pitné vodě a složení stravy.[7]

3.2 Zvýšená potřeba hořčíku

RDA a AI jsou stanoveny pro většinovou populaci. Potřeba hořčíku však závisí, kromě věku a pohlaví, na reprodukčním stavu, míře fyzické aktivity a celkovém zdraví organismu. Zvyšuje se u starších lidí, dospívajících, osob s vysokou fyzickou aktivitou, jedinců s určitými onemocněními, jako je diabetes nebo hypertenze, a během těhotenství a kojení. Zohlednění těchto faktorů při stanovení optimálního denního příjmu může pomoci předcházet nedostatku hořčíku a zlepšit zdraví u ohrožených podskupin.[10,12]

3.2.1 Stárnoucí populace

Jednou z fyziologicky zranitelných skupin, která má zvýšenou potřebu hořčíku, je starší populace. S věkem klesá střevní absorpce a zároveň stoupá renální ztráta Mg^{2+}, což přispívá ke snížení jeho systémových hladin. Nedostatečný příjem u této populace souvisí s chronickým

zánětem a celkovou křehkostí. Naopak vyšší přísun hořčíku, zejména ve stravě, byl spojován s nižším rizikem křehkosti.[10]

3.2.2 Fyzická aktivita a sport

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, hořčík hraje klíčovou roli v energetickém metabolismu a svalové funkci. Sportovci a fyzicky aktivní osoby mají proto zvýšenou potřebu tohoto minerálu. Zároveň fyzická zátěž, zejména dlouhotrvající vyčerpávající cvičení, vyvolává redistribuci Mg^{2+} v organismu a vede ke snížení jeho koncentrace v krevní plazmě. Je to dáno jeho přesunem do jiných tekutinových kompartmentů a zejména intenzivnějším vylučováním potem a močí. Cvičení tak urychluje ztráty hořčíku, což může vést až k jeho nedostatku. Ten je spojen s omezením svalové síly a výdrže, což má vliv na sportovní výkon, a může mít za následek také neuromuskulární dysfunkci.

Současně je však u sportovců denní přísun hořčíku často nižší než je doporučovaná dávka. Na základě výživových průzkumů bylo vypozorováno, že příjem nižší než 260 mg/den u mužů a 220 mg/den u žen může opět vést k jeho nedostatku, a tím mít negativní dopad na výkonnost.

Denní dávka hořčíku u fyzicky aktivních jedinců by proto měla být o 10–20 % vyšší než u osob se sedavým způsobem života. Jeho suplementace je spojována se zlepšením fyzické aktivity, sportovního výkonu a regenerace po intenzivním cvičení.[15]

3.2.3 Stres a psychická zátěž

Mezi hladinou hořčíku v organismu a stresem existuje komplexní obousměrný vztah, který je v odborné literatuře často popisován jako „bludný kruh“.

Při expozici stresovým podnětům dochází k aktivaci sympatického nervového systému a uvolňování stresových hormonů, jako jsou katecholaminy a kortizol, což vede k přesunu Mg^{2+} z intracelulárního do extracelulárního prostoru. V důsledku toho je větší množství filtrováno ledvinami a následně vylučováno močí, což při chronickém stresu vede k postupnému vyčerpání zásob tohoto minerálu. Vzhledem k tomu, že hořčík hraje klíčovou inhibiční roli v regulaci stresové reakce a neurotransmise, jeho nedostatek zpětně zvyšuje náchylnost organismu na stres a může zesílit jeho negativní projevy, jako jsou únava, podrážděnost a úzkost.

Jedinci vystavení chronickému stresu mají tedy zvýšenou potřebu hořčíku, kterou často nestačí pokrýt strava. Výzkumy naznačují, že u osob s výraznou psychickou zátěží je poměrně vysoká prevalence nedostatku tohoto minerálu. Za těchto okolností může být vhodná

suplementace, která je spojována se snížením hladiny kortizolu a celkovým zmírněním příznaků stresu.[13]

3.2.4 Těhotenství a kojení

V těhotenství dochází k intenzivnějším ztrátám Mg^{2+} močí a současně k jeho vyšší potřebě v důsledku růstu plodu. Doporučená denní dávka hořčíku tak během této etapy činí 350–360 mg/den. Nedostatečný příjem v těhotenství je spojován s nepříznivými následky pro matku i plod. U těhotných žen může souviset s vyšším rizikem těhotenské cukrovky, preeklampsie, předčasného porodu a dysfunkce placenty. U novorozence je spojen s nízkou porodní hmotností, narušenou poporodní adaptací a nižším Apgar skóre. Zajištění dostatečného přísunu hořčíku během těhotenství je proto zásadní pro podporu zdraví matky i dítěte.[10,12]

Podle metaanalýzy randomizovaných studií může doplňování hořčíku snížit riziko rozvoje preeklampsie, zejména u žen s vysokým rizikem. U žen s gestačním diabetem bylo zaznamenáno zlepšení hladiny glukózy v plazmě nalačno i inzulínu. Na druhou stranu u těhotenských křečí v nohou nebylo pozorováno významné snížení příznaků při suplementaci. Intravenózní podání síranu hořečnatého je běžné pro profylaxi záchvatů u žen s těžkou preeklampsií. Kromě toho bylo potvrzeno, že snižuje riziko mozkové obrny u velmi předčasně narozených dětí.[10]

V období laktace dochází k mírnému zvýšení potřeby hořčíku vlivem vylučování do mateřského mléka. Doporučená denní dávka pro kojící ženy tak činí 310–320 mg.[10]

3.3 Vliv životního stylu na hladinu hořčíku

Kofein

Kofein může narušovat renální regulaci homeostázy hořčíku. Jedná se o přírodní diuretikum, zvyšuje tedy vylučování Mg^{2+} močí a může přispívat ke snížení jeho hladiny v organismu. Současně může negativně ovlivnit střevní absorpci. Existují však protichůdné údaje o tom, zda se minerální ztráta při pravidelné konzumaci kofeinu postupně zhoršuje nebo se naopak časem zmírní. Podle některých odborníků se organismus přizpůsobí, takže nedochází k tak velkým ztrátám tekutin. Jiní se naopak domnívají, že opakovaný přísun kofeinu zvyšuje riziko problémů se vstřebáváním hořčíku. Pro zajištění optimálního stavu hořčíku je tedy vhodné zohlednit příjem kofeinu jako faktor, který může ovlivňovat jeho metabolismus.[16]

Konzumace alkoholu

Chronická konzumace alkoholu představuje významný rizikový faktor pro vznik nedostatku hořčíku, přičemž u osob s poruchou užívání alkoholu je vysoký výskyt hypomagnezémie. Hlavní příčinou tohoto stavu je negativní vliv na tubulární resorpci v ledvinách, což vede k nadměrným ztrátám tohoto minerálu močí. Alkohol totiž narušuje schopnost ledvin regulovat vylučování hořčíku v závislosti na jeho hladině v organismu. Kromě výrazného snížení koncentrace Mg^{2+} v krevní plazmě dochází také k prokazatelnému vyčerpání zásob v kosterním svalstvu a v menší míře i v kostech. Současně dochází ke zhoršení střevní absorpce a častý je i nedostatečný příjem hořčíku ve stravě, což může dále přispívat k rozvoji jeho celkového nedostatku. Bylo však prokázáno, že po přibližně čtyřech týdnech abstinence od alkoholu nastává obnova renální regulace homeostázy hořčíku a stabilizace jeho hladin v organismu.[17]

Kouření

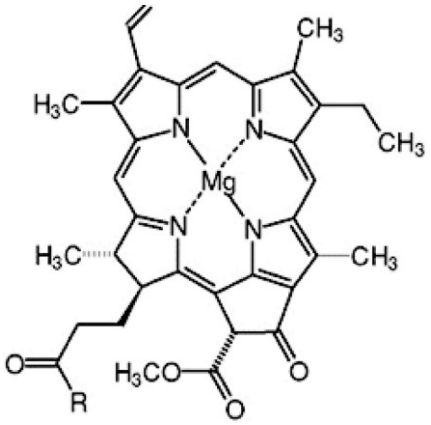
Kouření je spojováno s celkově horším nutričním stavem a zvýšeným oxidačním stresem, což může nepříznivě ovlivňovat homeostázu hořčíku.

4 ZDROJE HOŘČÍKU VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, hořčík se v přírodě vyskytuje kromě nerostných ložisek v hojné míře také v půdě a vodě, a následně v rostlinných organismech. Ty představují základ příjmu hořčíku pro člověka. Jeho konkrétní zdroje v lidské výživě a jejich vzájemné porovnání budou předmětem následující kapitoly.

4.1 Potraviny

Hořčík se hojně vyskytuje zejména v zelených rostlinách. Těm dodává barvu chlorofyl, což je porfyrinový komplex, jehož součástí je ion Mg^{2+} (*obrázek 5*). Zelená listová zelenina, jako je špenát nebo brokolice, patří proto mezi nejvýznamnější zdroje tohoto minerálu ve stravě.[7,18]



Obrázek 5. *Zjednodušená struktura chlorofylu s centrálním iontem Mg^{2+}. Hořčík je koordinován čtyřmi atomy dusíku v porfyrinovém kruhu (převzato podle Tertre, E. et al., 2014).*[19]

Vysoké množství hořčíku mají dále ořechy a semena, luštěniny a nezpracované obiloviny (celozrnné výrobky). Tyto potraviny však obsahují ve velké míře i fytáty, které mohou bránit vstřebávání hořčíku. Bohatým zdrojem tohoto minerálu jsou také banány, ostatní ovoce pak má spolu s masem, rybami, kávou, čokoládou a dalšími výrobky na bázi kakaa střední obsah hořčíku. Menší množství se nachází v mléce a mléčných výrobcích, zatímco rafinované a vysoce zpracované potraviny bývají o hořčík ochuzeny.[7,14,18]

Příklady potravin se středním až vysokým obsahem hořčíku jsou uvedeny v *tabulce 2*.

Tabulka 2. *Obsah hořčíku ve vybraných potravinách a jeho množství v běžné porci (upraveno podle Elgar, K., 2022).*[18]

Potravina	Obsah Mg na 100 g	Množství na porci (velikost porce)
Špenát, vařený	87 mg	157 mg (180 g)
Mangold, vařený	86 mg	150 mg (130 g)
Kapusta, vařená	25 mg	30 mg (118 g)
Quinoa, vařená	64 mg	118 mg (185 g)
Hnědá rýže, vařená	39 mg	76 mg (195 g)
Bílé fazole, vařené	63 mg	110 mg (175 g)
Červené fazole Kidney, vařené	45 mg	77 mg (172 g)
Dýňová semínka	592 mg	168 mg (28 g)
Para ořechy	376 mg	105 mg (28 g)
Mandle	272 mg	77 mg (28 g)
Kakaový prášek	499 mg	27 mg (5 g)

Množství hořčíku se však může lišit v závislosti na podmínkách pěstování potravin a způsobu jejich zpracování.

4.2 Pitná voda

Pitná voda, zejména pokud je bohatá na minerály, představuje další významný, byť často opomíjený, zdroj hořčíku. Obvykle pokrývá přibližně 10 % denní potřeby tohoto minerálu. Koncentrace Mg^{2+} v kohoutkové nebo balené vodě se však značně liší v závislosti na geologických podmínkách a procesech úpravy vody.[3,10,12]

Jedním z ukazatelů obsahu hořčíku ve vodě může být její tvrdost, která je způsobena rozpuštěnými vápenatými a hořečnatými ionty. Běžně se vyjadřuje jako ekvivalentní množství uhličitanu vápenatého a voda obsahující více než 200 mg/l ekvivalentu této soli se považuje za tvrdou. Tato hodnota však neudává poměr mezi vápníkem a hořčíkem. „Tvrdá voda“ tak může v některých případech obsahovat vysokou koncentraci Ca^{2+}, ale málo Mg^{2+} (nebo naopak).[20]

Důležitý je navíc i typ aniontu ve vápenaté soli. Například uhličitan je málo rozpustný, zejména v horké vodě, a při zahřátí se vysráží, síran naopak není ohřevem ovlivněn. Na základě toho se voda považuje za „dočasně“ nebo „trvale“ tvrdou. Všechny přirozeně se vyskytující hořečnaté soli jsou naproti tomu relativně rozpustnější.[20] Převaření vody tedy může představovat způsob, jak se alespoň některých vápenatých solí zbavit. To je výhodné z toho důvodu, že vápník může ovlivňovat vstřebávání hořčíku.[12]

Označení „měkká voda“ se používá k popisu druhů vody s nízkou koncentrací obou iontů. Obvykle pochází z rašeliny nebo magmatických hornin, případně ze žuly a pískovce. Tyto

sedimentární horniny často obsahují pouze malé množství vápníku a hořčíku, proto je i voda z nich pramenící na tyto minerály chudá. Přestože je tedy „tvrdá voda“ obecný pojem, většinou má 5–20krát vyšší obsah Mg^{2+} než „měkká voda“ a může potenciálně pokrýt až 30 % jeho denní potřeby.[20]

Přísun hořčíku prostřednictvím vody lze dále zvýšit konzumací minerálních vod bohatých na tento prvek. Nejznámější je Magnesia.

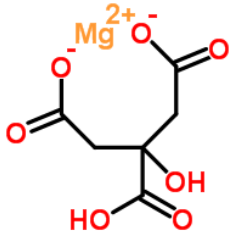
4.3 Doplňky stravy

Nedostatečný příjem hořčíku je rozšířený ve všech regionech světa, přičemž jeho rozsah se liší v závislosti na stravovacích návycích a socioekonomickém statusu. Je běžný především v západních zemích, kde rozsáhlé populační průzkumy soustavně ukazují, že značná část dospělých lidí, zejména žen a starších osob, nedosahuje doporučených denních dávek tohoto minerálu pouze prostřednictvím stravy. V těchto situacích je vhodné doplňování hořčíku, zejména u osob se zvýšenými fyziologickými potřebami. Ideální je komplexní přístup, kdy současně se suplementací dochází ke zlepšení stravovacích návyků jedince a celkové úpravě životního stylu.[10]

K dispozici je řada perorálních doplňků stravy s hořčíkem a jsou většinou dobře snášeny, přičemž hlavním projevem nadměrného přísunu je obvykle průjem.[13] Z toho důvodu EFSA stanovila horní přijatelnou hranici příjmu u zdravých dospělých na 250 mg/den.[14]

Suplementy se všeobecně rozdělují na organické a anorganické sloučeniny. V organických formách je Mg^{2+} chelatovaný s aminokyselinami nebo karboxylovými kyselinami. Jsou obecně lépe rozpustné, a vykazují tím pádem vyšší vstřebatelnost. Anorganické formy, jako je oxid, chlorid nebo síran, mají obvykle nižší rozpustnost a hůře a pomaleji se vstřebávají. Chemické složení tak významně ovlivňuje biologickou dostupnost a do značné míry na něm závisí i fyziologická účinnost. Jednotlivé sloučeniny hořčíku totiž mohou v organismu působit odlišně, vykazují například různý efekt na energetický metabolismus, nervovou soustavu, svaly, nebo kardiovaskulární systém. Mají také rozdílnou snášenlivost a s ní spojené typické nežádoucí účinky.[10,21] Níže jsou popsány nejčastěji používané formy hořčíku v doplňcích stravy.

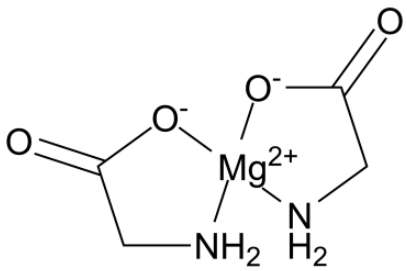
Citrát hořečnatý



Obrázek 6. *Struktura citrátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).*[22]

Jedná se o jednu z biologicky nejlépe dostupných forem, vyznačující se vysokou rozpustností ve vodě, což vede k účinnému vstřebávání. Běžně se používá k obecné suplementaci hořčíku a díky svému mírnému projímavému účinku také k podpoře trávení a léčbě zácpy, ve vysokých dávkách však způsobuje řídkou stolici. Zároveň může působit proti únavě a svalovým křečím.[10,21]

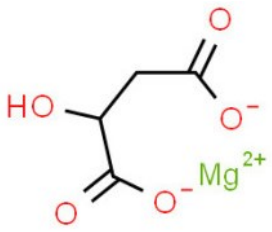
(Bis)glycinát hořečnatý



Obrázek 7. *Struktura bisglycinátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).*[23]

Tato forma, chelát Mg^{2+} s aminokyselinou glycinem, vykazuje obzvláště dobrou vstřebatelnost a díky ní i velmi vysokou biologickou dostupnost. Je to dáno její chelátovou strukturou, která usnadňuje transport a minimalizuje interakci s jinými minerály. (Bis)glycinát hořečnatý má uklidňující účinky, které mohou vést ke snížení stresu nebo úzkosti a zlepšení spánku. Dále způsobuje svalovou relaxaci. Současně má ve srovnání s jinými formami dobrou gastrointestinální snášenlivost a méně často způsobuje zažívací potíže, takže je vhodný i pro osoby s citlivým žaludkem.[10,21]

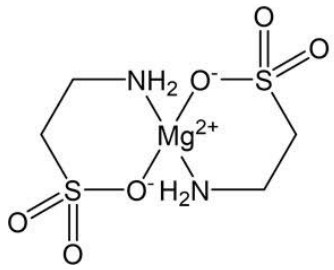
Malát hořečnatý



Obrázek 8. *Struktura malátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).*[24]

Jedná se o chelát Mg^{2+} s kyselinou jablečnou, která je součástí Krebsova cyklu – procesu, jehož prostřednictvím organismus produkuje energii. Díky tomu může tato forma podporovat energetický metabolismus a svalový výkon a využívá se nejvíce při únavě, bolesti svalů a regeneraci po sportovním výkonu. Je obecně dobře snášena.[10,21]

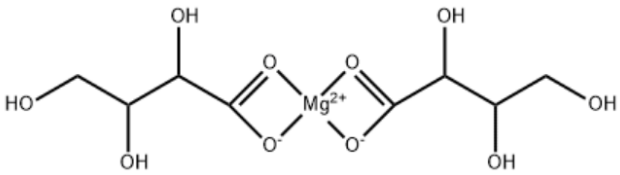
Taurát hořečnatý



Obrázek 9. *Struktura taurátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).*[25]

Tato forma, chelát Mg^{2+} s aminokyselinou taurinem, se dobře vstřebává a obecně je dobře snášena. Může příznivě ovlivňovat metabolismus. Současně má potenciál podporovat kardiovaskulární systém a zdraví srdce tím, že pomáhá regulovat krevní tlak a udržovat pravidelný srdeční rytmus.[10,21]

L-threonát hořečnatý



Obrázek 10. *Struktura L-threonátu hořečnatého (převzato z internetového zdroje).*[26]

Tato forma, chelát Mg^{2+} s aminokyselinou L-threoninem, se vyznačuje schopností překonat hematoencefalickou bariéru a díky tomu má potenciál podporovat kognitivní funkce a neurologické zdraví. Výzkum naznačuje, že by mohl zlepšovat paměť, a některé studie prokázaly, že má příznivý vliv na kvalitu spánku. Mezi nežádoucí účinky však patří gastrointestinální potíže, vzácně letargie.[10,21]

Oxid hořečnatý (MgO)

Obsahuje sice vysoký podíl elementárního hořčíku, je však málo rozpustný, což vede k špatnému vstřebávání a nízké biologické dostupnosti. Používá se především ke krátkodobé úlevě při zácpě a pálení žáhy, než k dlouhodobé nápravě nedostatku hořčíku, ačkoli v přiměřených dávkách může mít nutriční přínos. Typickými nežádoucími účinky, zejména při vyšších dávkách, jsou řídká stolice a nadýmání.[10,21]

Síran hořečnatý ($MgSO_4$)

Účinky se liší v závislosti na způsobu podání. Používá se zejména intravenózně k léčbě hypomagnezémie a k prevenci záchvatů při (pre)eklampsii. Perorálně má nízkou biologickou dostupnost, při vyšších dávkách má však silný projímavý účinek a slouží tak především k léčbě zácpy. Může vyvolávat nežádoucí účinky, jako jsou návaly horka nebo hypotenze.[10,12]

Chlorid hořečnatý ($MgCl_2$)

Má střední biologickou dostupnost a je k dispozici v perorální i topické formě. Používá se k obecné suplementaci, dále k uvolnění svalů a udržení elektrolytické rovnováhy. Při topickém použití však může nastat podráždění kůže a při vyšších perorálních dávkách zažívací potíže.[10,21]

Kožní podávání hořčíku

Topické použití má dlouhou tradici, například v podobě koupelí s epsomskou solí (síran hořečnatý) nebo solí z Mrtvého moře, která má vysoký obsah tohoto minerálu. Tímto způsobem hořčík sice působí relaxačně na svaly, chybí však kvalitní důkazy o vlivu této metody na jeho celkový stav v organismu. Několik malých studií naznačilo, že může být vstřebáván kůží a při dlouhodobém každodenním užívání krémů či koupelí s hořčíkem dojde ke zvýšení jeho hladin, nicméně vedle perorální suplementace hraje dermální aplikace vedlejší roli.[10,18]

4.4 Porovnání jednotlivých zdrojů hořčíku

Biologická dostupnost hořčíku ze stravy je velmi komplexní a je ovlivněna řadou faktorů. Sloučeniny, jako jsou fytáty a oxaláty, mohou s Mg^{2+} tvořit cheláty, a snižovat tak jeho střevní absorpci. Naopak fermentace, namáčení nebo klíčení rostlinných potravin mohou jeho biodostupnost zvýšit. Celkový přísun tohoto minerálu tak není závislý pouze na množství stravy, ale také na výběru potravin a způsobu jejich přípravy.[10] Velká výhoda tohoto zdroje je, že hořčík přijatý z potravy nevyvolává průjem ani jiné nežádoucí účinky.[18]

Využitelnost Mg^{2+} z pitné vody je obecně dobrá, a to kolem 60 %; jeho absorpce z tohoto zdroje však s věkem výrazně klesá.[20] V některých případech dokonce může převyšovat jeho biodostupnost z potravin, což představuje výhodnou možnost pro doplňování hořčíku, protože obohacování vody je prakticky proveditelné, na rozdíl od většiny potravin. Kromě toho může zvýšený obsah tohoto minerálu ve vodě používané k vaření ovlivnit jeho množství v připravených jídlech, čímž se potenciálně snižují jeho ztráty během úpravy potravin.[12]

Jak již bylo uvedeno v předchozí podkapitole, biologická dostupnost jednotlivých forem hořčíku v doplňcích stravy se liší především v závislosti na jejich rozpustnosti a chemickém složení. Organické soli vykazují obecně lepší střevní absorpci a využitelnost než anorganické sloučeniny. Nejlépe se vstřebávají citrát hořečnatý a glycinát hořečnatý, považují se tedy za nejúčinnější. Současně jsou nejlépe gastrointestinálně snášeny, jsou proto stále častěji používány. Velmi rozšířený a hojně užívaný je však i oxid hořečnatý, i přes svou nízkou biologickou dostupnost a s ní související omezenou účinnost.[10,21]

5 NEDOSTATEK HOŘČÍKU

Hypomagnezémie je definována jako koncentrace Mg^{2+} v séru nižší než 0,7 mmol/l. Sérové hladiny hořčíku však mohou zůstat stabilní i přes vyčerpání jeho celkových zásob v organismu, a to díky různým regulačním mechanismům. Naopak může existovat významná hypomagnezémie bez celkového deficitu tohoto minerálu. Přesto se pojmy „hypomagnezémie“ a „nedostatek hořčíku“ běžně zaměňují. Vzhledem k tomu, že není dostupná jiná jednoduchá, rychlá a přesná metoda ke zjištění stavu hořčíku v organismu, nejčastěji se využívá stanovení jeho koncentrace v séru, a tudíž spíše dochází k odhalení hypomagnezémie než deficitu.[7,18] V následující kapitole budou tyto pojmy využívány jako synonyma.

Hypomagnezémie se vyskytuje u 2,5–15 % populace, ale vzhledem k tomu, že může být i bezpříznaková, zůstává často neodhalena. Zjevný deficit hořčíku je tedy poměrně vzácný, latentní nedostatek je však běžný a může mít negativní důsledky pro dlouhodobé zdraví.[18]

5.1 Příčiny nedostatku

Hypomagnezémie může být podmíněna geneticky, častěji však má jednu nebo více získaných příčin, mezi něž patří snížený příjem, snížená střevní absorpce, zvýšené renální nebo gastrointestinální ztráty a redistribuce hořčíku. Hladiny Mg^{2+} ovlivňují různými mechanismy rovněž některé léky.[3,7]

Snížený příjem

Jak již bylo několikrát zmíněno, v populaci mnoha (zejména západních) zemí je častá nedostatečná konzumace hořčíku v důsledku zpracování potravin a využívání chudých půd pro zemědělství. Kromě toho se může hypomagnezémie vyskytnout u pacientů, kteří jsou léčeni intravenózními roztoky bez obsahu Mg^{2+} nebo celkovou parenterální výživou. Dále může nastat při dlouhodobém hladovění a podvýživě (včetně anorexie) nebo nasogastrickém odsávání.[3,7,18]

Narušená absorpce

Zhoršené střevní vstřebávání hořčíku může být vyvoláno řadou faktorů, jako je celiakie, zánětlivá onemocnění střev, chronický průjem, steatorea, nedostatečná funkce slinivky břišní, chronický alkoholismus a syndrom krátkého střeva.[3,18] Může však být způsobeno i dědičnou poruchou, spočívající v izolované malabsorpci hořčíku spojené s hypokalcémií, tetanií a záchvaty.[7]

Redistribuce hořčíku

Hypomagnezémie způsobená přesunem hořčíku z extracelulárního prostoru do buněk nebo kostí se vyskytuje při realimentačním syndromu (opětovném příjmu potravy u vyhladovělých pacientů), během léčby metabolické acidózy a u syndromu „hladových kostí“, který se objevuje po odstranění příštitných tělísek nebo u pacientů s osteoblastickými metastázami. Zároveň může nastat v těhotenství, při kojení nebo po kardiopulmonální operaci. Může k ní vést také zmýdelnění vyvolané akutním zánětem slinivky spojeným s nekrózou tukové tkáně.[3,7]

Zvýšená renální ztráta

K nadměrné filtraci hořčíku ledvinami a jeho zvýšeným ztrátám močí dochází při několika stavech a onemocněních, jako je diabetes mellitus, akutní tubulární nekróza, období po transplantaci ledviny, postobstrukční diuréza nebo akutní selhání ledvin, příležitostně i u chronického selhání. Sníženou renální tubulární reabsorpci mohou dále vyvolat poruchy rovnováhy jiných iontů (hypokalémie, hyperkalcémie a hypofosfatémie), chronický alkoholismus, řada léků i několik vrozených onemocnění. Zpětné vstřebávání Mg^{2+} v proximálních tubulech je navíc úměrné reabsorpci sodíku, snížení reabsorpce sodíku během dlouhodobé intravenózní infuzní terapie tak může vést k nedostatku hořčíku.[3,7]

Hypomagnezémie vyvolaná léky

Bylo zjištěno, že hypomagnezémii způsobuje přibližně 50 léků. Mezi nejčastěji předepisované patří některé antimikrobiální látky (aminoglykosidová antibiotika, amfotericin B, foscarnet), látky působící proti receptoru epidermálního růstového faktoru, imunosupresiva (např. cyklosporin a takrolimus), chemoterapeutika (např. cisplatina a karboplatina), smyčková a thiazidová diuretika, pentamidin a inhibitory protonové pumpy.[3,18]

5.2 Klinické projevy nedostatku

Nedostatek hořčíku je často spojený s léky nebo jinými zdravotními problémy, zejména s metabolickými poruchami jako je hypokalémie, hypokalcémie a metabolická acidóza. Příznaky primárního onemocnění tak mohou hypomagnezémii komplikovat nebo maskovat. Symptomy navíc mohou být nespecifické a obvykle se překrývají s projevy jiných poruch elektrolytové rovnováhy, proto je obtížné určit, které jsou způsobeny výhradně deficitem hořčíku. Závažnost příznaků a známek závisí na celkové míře vyčerpání zásob Mg^{2+} v organismu a/nebo rychlosti vývoje jeho deficitu. Mnoho pacientů s nedostatkem tohoto minerálu však zůstává asymptomatických.[3,7,18]

Klinické projevy mohou postihnout všechny systémy, včetně neuromuskulárního, kardiovaskulárního, renálního a gastrointestinálního.[3] Příznaky závažného nebo středně závažného nedostatku hořčíku jsou uvedeny v *tabulce 3*.[7]

Tabulka 3. *Klinické projevy nedostatku hořčíku (upraveno podle Seo, J. W. a Park, T. J., 2008).*[7]

Poruchy elektrolytů	Hypokalémie Hypokalcémie
Neuromuskulární příznaky	Spasmy v chodidlech a zápěstích Konvulze (záchvat křečí) Svalové křeče Svalová slabost, záškuby a třes Atetoidní a choreiformní pohyby
Centrální nervový systém	Vertigo Nystagmus Deprese Psychózy
Kardiovaskulární systém	Síňové tachykardie, fibrilace Supraventrikulární arytmie Komorové arytmie Torsade de pointes (typ komorové tachykardie) Citlivost na digoxin
Dlouhodobá zdravotní rizika	Porucha homeostázy glukózy Aterosklerotické cévní onemocnění Hypertenze Infarkt myokardu Osteoporóza
Různé	Migréna Astma Syndrom chronické únavy Zhoršená sportovní výkonnost

6 NADBYTEK HOŘČÍKU

Hypermagnezémie je definována jako hladina Mg^{2+} v séru vyšší než 26 mg/l. Obvykle se vyskytuje zřídka a nejčastěji se objevuje u lidí s renální nedostatečností, protože zdravé ledviny dokáží regulovat vylučování hořčíku a v případě vyšší sérové koncentrace dojde i ke zvýšení exkrece. Její prevalence se pohybuje okolo 6–9 %, u hospitalizovaných pacientů však může dosahovat až více než 30 %, což ukazuje, že je často iatrogenního původu (tedy neúmyslně způsobená léčbou). Bylo popsáno, že těžká hypermagnezémie bývá charakteristickým rysem u lidí, kteří utonuli v Mrtvém moři.[3,7,18]

6.1 Příčiny nadbytku

Nadměrný příjem

Přípravky obsahující hořčík se běžně používají jako projímadla, antacida a rektální klystýry. Hypermagnezémie se vyskytuje v důsledku nadměrného užívání těchto léků nebo solí Mg^{2+}, například při dlouhodobé terapii nebo po podání větší dávky. Objevuje se zejména u pacientů s renální nedostatečností, může však nastat i u lidí s normální funkcí ledvin.[7]

Selhání ledvin

Hypermagnezémie se často vyskytuje u pacientů s terminálním selháním ledvin a při akutním renálním poškození. Při chronickém selhání ledvin nastává až tehdy, když glomerulární filtrační rychlost (clearance kreatininu) klesne pod 30 ml/min. Se sníženou renální funkcí jsou navíc spojeny abnormální hladiny vitamínu D, PTH a vápníku, což může dále negativně ovlivnit homeostázu hořčíku. U pacientů podstupujících pravidelnou peritoneální hemodialýzu je sérová hladina Mg^{2+} přímo úměrná jeho koncentraci v dialyzátu, použití roztoku s vyšší koncentrací tohoto minerálu tak může způsobit hypermagnezémii.[7]

Různé příčiny

Hypermagnezémie může být vzácně způsobena redistribucí hořčíku z buněk, například v důsledku akutní acidózy. K uvolnění velkého množství Mg^{2+} do extracelulární tekutiny může dojít rovněž při rozsáhlém poškození měkkých tkání nebo nekróze v důsledku šoku, sepse, zástavy srdce, nebo rozsáhlých popálenin. Mezi další méně časté příčiny, způsobující obvykle pouze mírnou hypermagnezémii, patří léčba lithiem, familiární hypokalciurická hyperkalcemie, hypotyreóza, Addisonova choroba a syndrom mléčných zásad.[3,7]

6.2 Klinické projevy nadbytku

Klinické příznaky hypermagnezémie se objevují až při hladině Mg^{2+} v séru vyšší než 2 mmol/l a značně se liší právě v závislosti na sérové koncentraci.[3,7] Nejčastější symptomy jsou shrnuty v *tabulce 4*.

Tabulka 4. *Klinické projevy nadbytku hořčíku (upraveno podle Seo, J. W. a Park, T. J., 2008).*[7]

Neuromuskulární	Svalová slabost
	Zánik hlubokých šlachových reflexů
	Respirační útlum
	Gastrointestinální hypomotilita
	Paralytický ileus
	Retence moči
	Paralýza močového měchýře
Kardiovaskulární	Hypotenze
	Bradykardie
	Inhibice atrioventrikulárního a interventrikulárního vedení
	Srdeční blokáda
	Zástava srdce
Ostatní	Hypokalcémie
	Nevolnost
	Zvracení
	Ospalost
	Letargie
	Zmatenost
	Zarudnutí obličeje
	Dilatace zornic

ZÁVĚR

Hořčík je esenciální minerál, který hraje klíčovou roli v řadě enzymatických reakcí a fyziologických procesů. Jeho význam se projevuje v ovlivnění funkce nervového, svalového i kardiovaskulárního systému a podílu na energetickém metabolismu a udržení optimální kostní hustoty. Různé studie ukazují, že může mít úlohu v prevenci různých onemocnění, jako je deprese a úzkost, sarkopenie, hypertenze nebo osteoporóza.

Jeho metabolismus zahrnuje absorpci převážně v tenkém střevě a následnou distribuci v organismu, kde se vyskytuje z větší části uvnitř buněk. Vylučován je především ledvinami, které jsou důležitým orgánem v regulaci homeostázy tohoto minerálu.

Hlavními zdroji hořčíku jsou zelená listová zelenina, ořechy, semena, luštěniny a celozrnné výrobky. V současné době však velká část populace, zvláště v západních zemích, nedosahuje doporučeného denního příjmu tohoto minerálu pouze prostřednictvím stravy, což souvisí zejména s nevhodnými stravovacími návyky. V těchto případech se zdá být velmi významná suplementace, přičemž biologická dostupnost jednotlivých doplňků stravy se liší v závislosti na chemickém složení, tedy na použité formě hořčíku.

Nedostatek hořčíku je poměrně častý a může se projevovat celou řadou příznaků, může však být i asymptomatický, a z dlouhodobého hlediska vést k rozvoji různých onemocnění. Naopak jeho nadbytek je spíše vzácný a obvykle souvisí s renální nedostatečností nebo nadměrným příjmem.

Práce tedy ukázala, že zajištění optimálního příjmu hořčíku je zásadní pro udržení celkového zdraví organismu. Významnou roli hraje zejména pestrá, vyvážená strava, doplněná v případě potřeby i vhodnou suplementací.

POUŽITÁ LITERATURA

1. MAGNESIUM. *The Merck Index* online.* Online. Rahway (New Jersey): Royal Society of Chemistry, ©2026. Last updated: 25th June 2026. Dostupné z: https://merckindex.rsc.org/monographs/m6987. [cit. 2026-05-15].
2. REMY, Heinrich. *Anorganická chemie.* 1. díl. 1. české vyd. Vladimír MACHÁLEK, Jaroslav NOVOTNÝ, Lieselotta PAČESOVÁ a Marie ŠKOLOVÁ (překladatelé); Stanislav ŠKRAMOVSKÝ (odborný vedoucí). Praha: SNTL (Státní nakladatelství technické literatury), 1961. Autorizovaný překlad devátého německého vydání publikovaného v Leipzigu roku 1957. Dostupné z: https://ndk.cz/view/uuid:1fd22c30-c895-11e8-bc37-005056827e51?page=uuid:ade003c0-e67d-11e8-9445-5ef3fc9bb22f. [cit. 2026-05-18].
3. AL ALAWI, Abdullah M.; MAJONI, Sandawana William a FALHAMMAR, Henrik. Magnesium and Human Health: Perspectives and Research Directions. *Int. J. Endocrinol.* **2018**, 9041694. DOI: 10.1155/2018/9041694.
4. PASTERNAK, Kazimierz; KOCOT, Joanna a HORECKA; Anna. Biochemistry of magnesium. *J. Elementol.* **2010**, *15*(3), 601–616. DOI: 10.5601/jelem.2010.15.3.601-616.
5. GREENWOOD, N. N. a EARNSHAW, A. *Chemistry of the Elements.* 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997. ISBN 978-0-7506-3365-9.
6. WESTON, James. Biochemistry of Magnesium. In: RAPPOPORT, Zvi (ed.). *PATAI'S Chemistry of Functional Groups*. Hoboken (New Jersey): Wiley, 2009, s. 315–367. eISBN: 9780470682531. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/9780470682531.pat0407.
7. SEO, Jang Won a PARK, Tae Jin. Magnesium Metabolism. *Electrolyte Blood Press.* **2008**, *6*(2), 86–95. DOI: 10.5049/EBP.2008.6.2.86.
8. ROMANI, Andrea M. P. Cellular magnesium homeostasis. *Arch Biochem Biophys.* **2011**, *512*(1), 1–23. DOI: 10.1016/j.abb.2011.05.010.
9. NORONHA, J. Luis; MATUSCHAK, George M. Magnesium in critical illness. *Intensive Care Med.* **2002**, *28*, 667–679. DOI: 10.1007/s00134-002-1281-y.
10. MATEK SARIĆ, Marijana; SORIĆ, Tamara; JUKO KASAP, Željka; LISICA ŠIKIĆ, Nataša; MAVAR, Mladen et al. Magnesium: Health Effects, Deficiency Burden, and Future Public Health Directions. *Nutrients*. **2025**, *17*, 3626. DOI: 10.3390/nu17223626.

11. CRONK, J. *[Possible Mg^{2+} complexes with ATP. The most common complex is formed with oxygen of the β- and γ-P parts of the oxyanion.]* Obrázek. In: HOLM, N. G. The significance of Mg in prebiotic geochemistry. *Geobiology*. **2012**, *10*(4), 269–279. DOI: 10.1111/j.1472-4669.2012.00323.x.
12. FATIMA, Ghizal; DZUPINA, Andrej; ALHMADI, Hekmat B.; MAGOMEDOVA, Aminat; SIDDIQUI, Zainab et al. Magnesium Matters: A Comprehensive Review of Its Vital Role in Health and Diseases. *Cureus*. **2024**, *16*(10), e71392. DOI: 10.7759/cureus.71392.
13. PICKERING, Gisèle; MAZUR, André; TROUSSELARD, Marion; BIENKOWSKI, Przemyslaw; YALTSEWA, Natalia et al. Magnesium Status and Stress: The Vicious Circle Concept Revisited. *Nutrients*. **2020**, *12*, 3672. DOI: 10.3390/nu12123672.
14. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for magnesium. *EFSA Journal*. **2015**, *13*(7), 4186. DOI: 10.2903/j.efsa.2015.4186.
15. LAIRES, Maria José; MONTEIRO, Cristina Paula; MATIAS, Catarina Nunes; SANTOS, Diana Aguiar; SILVA, Analiza Monica a BICHO, Manuel. Magnesium status and exercise performance in athletes. *Trace Elem. Electrolytes*. **2014**, *31*(1), 13–20. DOI: 10.5414/TEX01304.
16. HILL, Kirstyn. *How Drinking Caffeine May Affect Your Magnesium Levels.* Online. In: Health (New York: People Inc.). 26. 3. 2026. Dostupné z: https://www.health.com/can-caffeine-affect-your-magnesium-levels-11934651. [cit. 2026-06-10]
17. VANONI, Flora O.; MILANI, Gregorio P.; AGOSTONI, Carlo; TREGLIA, Giorgio; FARÉ, Pietro B. et al. Magnesium Metabolism in Chronic Alcohol-Use Disorder: Meta-Analysis and Systematic Review. *Nutrients*. **2021**, *13*, 1959. DOI: 10.3390/nu13061959.
18. ELGAR, Karin. Magnesium: A Review of Clinical Use and Efficacy. *Nutr Med J*. **2022**, *1*(1), 79–99. Dostupné z: https://www.nmi.health/magnesium-a-review-of-clinical-use-and-efficacy/.
19. TERTRE, Emmanuel. *Chemical structure of chlorophyll a, one of the main unsaturated molecules in crude rice bran oil.* Online, obrázek. In: ResearchGate. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-chlorophyll-a-one-of-the-main-unsaturated-molecules-in-crude-rice_fig3_266858130. [cit. 2026-06-26].
20. ISMAIL, Adel A. A. a ISMAIL, Nour A. Magnesium: A Mineral Essential for Health Yet Generally Underestimated or Even Ignored. *J Nutr Food Sci*. **2016**, *6*(4), 523. DOI: 10.4172/2155-9600.1000523.

21. CEPEDA, Violeta; RÓDENAS-MUNAR, Marina; GARCÍA, Silvia; BOUZAS, Cristina a TUR, Josep A. Unlocking the Power of Magnesium: A Systematic Review and Meta-Analysis Regarding Its Role in Oxidative Stress and Inflammation. *Antioxidants*. **2025**, *14*, 740. DOI: 10.3390/antiox14060740.
22. *Magnesium citrate.* Online, obrázek. In: ChemSrc. Dostupné z: https://www.chemsrc.com/en/cas/144-23-0_900458.html. [cit. 2026-06-16].
23. Magnesium glycinate. Online, obrázek. In: GLPBIO, Good Laboratory Practice Bioscience. Dostupné z: https://www.glpbio.com/magnesium-glycinate.html. [cit. 2026-06-16].
24. *Magnesium Malate (12% Magnesium).* Online, obrázek. In: myskinrecipes. https://www.myskinrecipes.com/shop/en/potassium-magnesium-mineral-for-dietary-supplement/31824-magnesium-malate-12-magnesium.html. [cit. 2026-06-16].
25. *Magnesium Taurate.* Online, obrázek. In: Pharmaffiliates. Dostupné z: https://www.pharmaffiliates.com/en/92785-94-9-magnesium-taurate-pa270023332.html. [cit. 2026-06-16].
26. *L-Threonic acid magnesium salt CAS 778571-57-6.* Online, obrázek. In: WATSON International. Dostupné z: https://www.watson-int.com/l-threonic-acid-magnesium-salt-cas-778571-57-6/. [cit. 2026-06-16].