

## Nedostatek vitamínu D a jeho zdravotní dopady

Pavel Horák

*III. interní klinika – nefrologická, revmatologická, endokrinologická LF UP a FN Olomouc*

### Souhrn

Vitamin D<sub>3</sub> cholekalciferol je produkován z cholesterolových prekurzorů v kůži vlivem ultrafialového záření. Jeho následná hydroxylace v játrech a v ledvinách vede k vytvoření jeho neaktivnějšího metabolitu kalcitriolu, který hraje jednu z klíčových rolí v řízení kalcium-fosfátového metabolismu. Má však také schopnost regulovat funkci řady buněk a tkání, které exprimují receptor pro vitamin D. Nejrozšířenější metodou k hodnocení statusu vitamínu D v organizmu je měření sérových hladin jeho metabolitu 25-hydroxyvitamínu D – 25(OH)D. Optimální hodnoty se pohybují mezi 75–125 nmol/l. Jeho deficit je v lidské populaci celosvětově velmi rozšířen a má významný dopad na prevalenci metabolických chorob skeletu. Jeho nedostatek může podporovat vznik dysfunkce řady dalších tělesných systémů. Zajištění optimálních hladin vitamínu D v populaci představuje úkol nejen pro zdravotnictví, ale především pro státní správu.

**Klíčová slova:** kalciferol – kostní choroby – metabolismus vápníku – nedostatek – pleiotropní efekt

## Vitamin D deficiency and its health effects

### Summary

Vitamin D<sub>3</sub> cholecalciferol is produced from its cholesterol precursors in the skin under the influence of ultraviolet calc. Its subsequent hydroxylation in the liver and kidneys leads to the formation of its most active metabolite calcitriol, which plays one of the key roles in the management of calcium phosphate metabolism. However, it also has the ability to regulate the function of a number of cells and tissues that express the vitamin D receptor. The most widespread method to evaluate the status of vitamin D in the body is to measure serum levels of its metabolite 25 hydroxyvitamin D – 25 (OH) D. Optimal values range between 75–125 nmol / l. Its deficit is widespread in the human population worldwide and has a significant impact on the prevalence of metabolic bone diseases. Its deficiency may support the dysfunction of many other body systems. Ensuring optimal levels of vitamin D in the population is a challenge not only for health care and especially for government administration.

**Key words:** bone diseases – calciferol – calcium metabolism deficiency – pleiotropic effect

### Fyziologie a význam vitamínu D

Steroidní prekurzory kalcitriolu se historicky označují jako vitamíny D, kalciferoly, i když dle současných názorů se v případě kalcitriolu jedná spíše o endokrinní molekulu (hormon) produkován ledvinou. Kalciferoly jsou v tuku rozpustné látky vyskytující se v potravě zpravidla jen ve velmi nízké koncentraci. Mezi nejrozšířenější kalciferoly patří cholekalciferol (D<sub>3</sub>), který se tvoří z cholesterolových prekurzorů účinkem ultrafialového záření v kůži savců, a fylogeneticky starší a biologicky méně aktivní ergokalciferol (D<sub>2</sub>) nacházející se v rostlinách. Dle současných názorů se doporučuje terapeutické podávání pouze vitamínu D<sub>3</sub>. Vitamin D je v přirozené formě inertní, je aktivován hydroxylací v játrech na kalcidiol – 25(OH)D<sub>3</sub> – a následně v ledvinách na kalcitriol – 1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>. Kalcitriol má ze všech více než 50 metabolitů vitamínu D největší biologickou aktivitu. Jeho fyziologický efekt je zprostředkován recep-

torem pro vitamin D (VDR). Metabolismus vitamínu D je striktně regulován parathormonem, samotným kalciferolem, sérovou koncentrací vápníku a fosforu a dalšími hormony, jako je růstový hormon, prolaktin či FGF23. Po transmembránovém přechodu komplex VDR a kalcitriolu aktivuje genovou sekvenci VDRE (vitamin D responsive element) nacházející se v promotorové oblasti vitamin D dependentních genů kódujících například vápník transportující proteiny či proteiny kostní matrix [1,2]. Tento mechanismus aktivace genové transkripce stojí za celým komplexem metabolických dějů směřujících k udržení homeostázy vápníku a fosforu v těle, k mineralizaci kostí, svalové a nervové činnosti a podílí se také na řadě dalších buněčných dějů. Samotný kalcitriol stimuluje střevní absorpci vápníku a fosforu z potravy a ovlivňuje aktivitu osteoklastů a osteoblastů v rámci kostní remodelace. Při poklesu hladiny ionizovaného vápníku v séru zvýšená produkce parathor-

monu stimuluje renální 1 $\alpha$ -hydroxylázu k produkci kalcitriolu, který navýší střevní, kostní a ledvinový transport vápníku a normalizuje jeho sérové hladiny. Další sekrece parathormonu je negativně zpětnou vazbou ovlivněna nejen hladinou vápníku, ale také přímo hladinou kalcitriolu. Pro dostatečnou produkci kalcitriolu je nutný dostatek jeho prekurzoru 25(OH)D<sub>3</sub>. K této ústřední roli v řízení kalcium-fosfátového metabolismu přistupuje rovněž schopnost kalcitriolu regulovat funkci řady buněk a tkání, neboť většina normálních i nádorových buněk exprimuje alespoň v některé fázi své existence VDR receptor. Kalcitriol reguluje buněčnou diferenciaci a proliferaci a sekreci hormonů. Je potentním inhibíto-rem buněčného růstu, stimulatorem sekrece inzulínu či inhibíto-rem produkce reninu. Nádorové buňky exprimující VDR snižují svou růstovou aktivitu při expozici kalcitriolu. Zájem si zasluhuje také objev VDR receptorů v buňkách imunitního systému svědčící pro jeho imunomodulační efekt. Agonisté VDR inhibují diferenciaci dendritických buněk, proinflammatorních T-lymfocytů, jako jsou Th1 a Th17 a podporují Th2 buněčnou odpověď stejně jako diferenciaci regulačních T-buněk a NK-buněk [3]. Těmito mechanismy může vitamin D potlačovat experimentální projevy autoimunity.

### Statut vitamínu D v organismu a laboratorní definice jeho nedostatku

Nejrozšířenější metodou k hodnocení nedostatku vitamínu D v organismu je měření sérových hladin jeho nejstabilnějšího metabolitu 25-hydroxyvitamínu D – 25(OH)D [4]. Stanovení hranice optimální hladiny vitamínu D je však stále předmětem diskusí. Většina pramenů považuje za optimální hladiny 75–125 nmol/l [5], byť některá doporučení hovoří o bezpečných hladinách až do 250 nmol/l. Hladiny vitamínu D pak lze kategorizovat jako:

<b>těžký deficit</b>	
(vysoké riziko osteomalacie)	< 12,5 nmol/l
<b>deficit</b>	< 25 nmol/l
<b>insuficience</b>	< 50 nmol/l
<b>dostatečná hladina</b>	< 75 nmol/l
<b>optimální hladina</b>	75–125 nmol/l

### Prevalence nedostatku vitamínu D v populaci

Již počátkem 20. století bylo zjištěno, že těžký deficit vitamínu D je nejčastější příčinou dětské křivice a osteomalacie dospělých, která v té době byla velmi častým medicínským problémem. Ve vyspělých zemích se podařilo výskyt křivice způsobené nedostatkem vitamínu D výrazně snížit, přibývá však případů tohoto onemocnění mezi kojennými dětmi asijského či afrického původu, protože u těchto etnických skupin jsou hladiny vitamínu D v mateřském mléku z dlouhodobějšího pohledu nedostatečné k udržení jeho normální hladiny u kojenců. Ukazuje se však, že i mírnější stupeň nedostatku vitamínu D má velmi rozsáhlé důsledky a výsledky řady epidemiologických studií hodnotících sérové koncentrace 25(OH)D<sub>3</sub> dokazují, že nedostatek vitamínu D je běžným problé-

mem celosvětově. Deficit vitamínu D s obrazem senilní hyperparatyreózy se zvýšeným kostním obratem byl prokázán u starších žen žijících doma zejména během zimního období [6], ale také v mladších populacích [7]. Observační studie u 1 536 postmenopauzálních žen ze Severní Ameriky z 61 center, které dostávaly anti-resorpční či anabolické léky pro léčbu či prevenci osteoporózy, prokázala u 52 % těchto žen sérovou koncentraci 25(OH)D<sub>3</sub> < 30 ng/ml (75 nmol/l), což je prahová hodnota optimálních hodnot [8]. O všeobecně neuspokojivé situaci ohledně statusu vitamínu D vypovídá například také kanadská národní studie, která prokazuje nízké hladiny vitamínu D zejména mezi obézními a nebělochy v zimním a jarním období [9]. Deficit vitamínu D je rovněž velmi častý v naší geografické oblasti, což sumarizuje publikace Pludowského et al [10]. V České republice je situace poměrně málo zmapovaná. Dle průřezové studie se novorozenci v ČR zejména v jarních měsících rodí s nedostatečnou hladinou vitamínu D [11]. Dle výzkumu Státního zdravotního ústavu ČR u 419 dětí ve věku 5–9 let byl deficit vitamínu D (< 25 nmol/l) přítomen u 3 % dětí, insuficience (25–50 nmol/l) u 24 % a suboptimální hladiny (50–75 nmol/l) u 40 % dětí s významným vlivem roční doby měření s nejnižšími průměrnými hodnotami zjištěnými na jaře [12]. Z tohoto pohledu je až alarmující zjištění, že dietní příjem vitamínu D nedosahuje doporučených dietních hodnot u více než 95 % české populace [13].

Deficit vitamínu D je však přítomný v celé evropské populaci, 13 % z 55 844 zařazených osob v rozsáhlém evropském výzkumu vykazovalo hodnoty 25(OH)D<sub>3</sub> < 30 nmol/l, a to bez ohledu na věk, etnické pozadí či zeměpisnou šířku [14]. Nedostatek vitamínu D se nevyhýbá ani slunné Africe, v súdánské studii z Chartúmu postihoval deficit vitamínu D 82,6 % vyšetřené ženské populace [15].

Mez hlavní příčiny nedostatku vitamínu D patří jeho nízká tvorba, akcelerované ztráty a porucha hydroxylace v obou hydroxylačních pozicích, případně kombinace těchto vlivů [16].

### Nedostatek vitamínu D a metabolická onemocnění skeletu

Velmi těžký deficit vitamínu D vede k poruše mineralizace kostí a manifestuje se jako **křivice** u dětí či **osteomalacie** u dospělých. Osteomalacie způsobuje značné kostní i svalové bolesti a slabost, laboratorně je charakterizovaná nízkými hladinami vápníku, zvýšenou aktivitou kostní alkalické fosfatázy a sníženým vylučováním vápníku močí, sekundární hyperparatyreózou, histologickými změnami kosti (zvětšení osteoidních povrchů kostí), přítomností pseudofraktur (Looserovy zóny) a zvýšeným rizikem pádu.

**Osteoporóza** je multifaktoriální a nejčastější metabolické onemocnění kostí charakterizované sníženou pevností kostí a zvýšeným rizikem zlomeniny. Role vitamínu D v rozvoji osteoporózy byla dlouhou dobu podceňována. Teprve v posledních dekádách 20. století se objevila řada prací, které prokázaly velmi častou při-

tomnost lehkého až středního nedostatku vitamínu D narůstající s věkem populace, a to v různých etnických skupinách a v různých zeměpisných šířkách a ukázala na jeho zásadní roli v rozvoji osteoporózy [6,17–19].

### Pleiotropní efekt vitamínu D

Bylo by chybou omezit význam vitamínu D pouze na jeho účinek na kostní tkáň a metabolismus vápníku. Vitamin D hraje významnou roli rovněž v metabolismu svalové a tukové tkáňe či endotelu, ve správné funkci imunitního systému a v obraně organismu proti nádorovým chorobám i infekcím [20]. Jeho nedostatek je spojený se sarkopenií, s poruchou svalové síly a koordinace a s větším rizikem pádu a koreluje s jednoduchými funkčními testy pohybového ústrojí [21]. Řada epidemiologických studií poukázala na asociaci nízkých hladin vitamínu D a rizika rozvoje ischemické choroby srdeční, hypertenze, diabetes mellitus 2. typu, metabolického syndromu i kardiovaskulární mortality [22, 23]. Je studován pozitivní vliv vitamínu D na zpomalení makulární degenerace sítnice či diabetické retinopatie [24]. Nízké hladiny vitamínu D jsou spojeny také s vyšším rizikem rozvoje autoimunitních chorob včetně revmatoidní artritidy, systémového lupusu či systémového lupu [25,26].

### Dávkování vitamínu D a riziko vedlejších účinků

Obsah vitamínu D<sub>3</sub> v komerčních preparátech se udává v mezinárodních jednotkách. Mezinárodní jednotka vitamínu D (IU) představuje 0,025 µg krystalického vitamínu D<sub>3</sub>. Doporučené denní dávky vitamínu D se liší dle věku nemocných a přítomnosti komorbidit. U nemocných ve zvýšeném riziku zlomenin se na suplementaci vitamínu D shoduje naprostá většina doporučení včetně doporučení české Společnosti pro metabolická onemocnění skeletu [27]. Cílovou koncentrací vitamínu 25(OH)D<sub>3</sub> je jeho dolní fyziologická hranice 75 nmol/l. Ve většině případů postačuje k dosažení optimálních hladin substituce 800–2 000 IU denně, vyšší příjem vitamínu D k optimalizaci jeho sérové koncentrace vyžadují jedinci s těžkou osteoporózou, malabsorpcí, obézní, pacienti s cystickou fibrózou, výrazně omezenou expozicí slunečnímu záření či neevropská etnika (Blízký východ, jižní Asie, Afrika) [10,28–30]. Potřebná individuální dávka vitamínu D se často značně liší. U nemocných s chronickými chorobami jater či ledvin je potřeba podávat aktivní metabolity. Zvolenou dávku vitamínu D je možno podávat denně či v krátkodobých, zpravidla týdenních intervalech. V současnosti se nedoporučuje podávat jednorázově vysoké dávky vitamínu D v ročních intervalech s výjimkou potřeby vysoké nasycovací dávky (50 000–100 000 IU) u nemocných s velmi nízkými hodnotami 25(OH)D<sub>3</sub> s následnou klasickou pravidelnou substitucí [27].

Léčba vitamínem D je všeobecně dobře tolerovaná, terapeutické okno je široké. Při použití přirozeného vitamínu D je předávkování velmi málo pravděpodobné.

Vitamin D může být u dospělých toxický, je-li podáván denně v dávce > 10 000 IU po dobu několika týdnů, během nichž dochází k jeho akumulaci v organismu a jsou dosaženy sérové koncentrace kolem 500 nmol/l. Klinicky se předávkování projevuje nechutenstvím, nauzeou, únavou, bolestí hlavy, polydipsií, polyurií, průjmy, pocením a paresteziemi. V laboratoři je přítomna hyperkalcemie, hypernatremie a zvýšené odpady vápníku a fosforu močí. Mohou se vyskytnout kalcifikace měkkých tkání, ledvinných tubulů a stěny cévní [31].

### Závěr

Nedostatek vitamínu D je v populaci velmi častý a normalizace jeho statutu je někdy obtížná. V léčbě a prevenci vzniku metabolických chorob skeletu nelze jeho zcela zásadní roli opomenout. Je však třeba mít na mysli i jeho pozitivní extraskeletální a pleiotropní efekt na řadu cílových tkání, který se při jeho dlouhodobém nedostatku vytrácí. Potvrzení jeho široce rozšířeného nedostatku v populaci včetně české by mělo povzbudit státní orgány a organizace nejen k široké podpoře osvěty a vzdělávání na tomto poli, ale také k přímé intervenci a zavedení nových regulačních opatření zejména v oblasti obohacování vybraných potravin vitamínem D, jak se to děje v zemích severní Ameriky. Úspěšným příkladem z naší vlastní historie může být významný vliv jodizace soli na eradikaci endemického kretenizmu a endemické strumy.

Podpora: Grant IGA-LF-2019\_006 a MZ ČR-RVO (FNOL-0098892)

### Literatura

1. Haussler MR. Vitamin D receptors: nature and function. *Ann Revs Nutr* 1986; 6: 527–562. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.nu.06.070186.002523>>.
2. Pavek P, Pospechova K, Svecova L et al. Intestinal cell-specific vitamin D receptor (VDR)-mediated transcriptional regulation of CYP3A4 gene. *Biochem Pharmacol* 2010; 79(2): 277–287. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bcp.2009.08.017>>.
3. Adorini A, Penna G. Control of autoimmune diseases by the vitamin D endocrine system. *Nat Clin Pract Rheumatol* 2008; 4(8): 404–412. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/ncprheum0855>>.
4. Hart GR. Overview of vitamin D measurement and methodologies. *Immunodiagnostic systems* 2005; 2: 1–9.
5. Pludowski P, Holick MF, Grant WB et al. Vitamin D supplementation guidelines. *J Steroid Biochem Mol Biol* 2018; 175: 125–135. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsbmb.2017.01.021>>.
6. Vieth R, Cole DE, Hawker GA et al. Wintertime vitamin D insufficiency is common in young Canadian women, and their vitamin D intake does not prevent it. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55(12): 1091–1097. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601275>>.
7. Välimäki VV, Alftan H, Lehmuskallio E et al. Vitamin D status as a determinant of peak bone mass in young finnish men. *J Clin Endocrinol Metabol* 2004; 89(1): 76–80. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1210/jc.2003-030817>>.
8. Holick MF, Siris ES, Binkley N et al. Prevalence of Vitamin D inadequacy among postmenopausal North American women receiving osteoporosis therapy. *J Clin Endocrinol Metab* 2005; 90(6): 3215–3224. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1210/jc.2004-2364>>.
9. Greene-Finestone LS, Berger C, de Groh M et al. 25-Hydroxyvitamin D in Canadian adults: biological, environmental, and behavioral

- correlates. *Osteoporosis Int* 2011; 22(5): 1389–1399. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00198-010-1362-7>>.
10. Pludowski P, Grant WB, Bhattoa HP et al. Vitamin D status in central Europe. *Int J Endocrinol* 2014; 2014:589587. doi: Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1155/2014/589587>>.
  11. Dort J, Bayer M, Dortová E et al. Vitamin D and other parameters of calcium and phosphate metabolism in healthy term newborns after birth. *Osteol Bull* 2007; 12(2): 70–73.
  12. Sochorová L, Hanzlíková L, Černá M et al. Assessment of vitamin D status in Czech children. *Cent Eur J Public Health* 2018; 26(4): 260–264. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.21101/cejph.a5386>>.
  13. Bischofova S, Dofkova M, Blahova J et al. Dietary Intake of Vitamin D in the Czech Population: A Comparison with Dietary Reference Values, Main Food Sources Identified by a Total Diet Study. *Nutrients* 2018; 10(10): pii: E1452. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.3390/nu10101452>>.
  14. Cashman KD, Dowling KG, Škrabáková Z et al. Vitamin D deficiency in Europe: pandemic? *Am J Clin Nutr* 2016; 103(4): 1033–1044. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.3945/ajcn.115.120873>>.
  15. Husain NE, Badie Suliman AA, Abdelrahman I et al. Vitamin D level and its determinants among Sudanese Women: Does it matter in a sunshine African Country? *J Family Med Prim Care* 2019; 8(7): 2389–2394. Dostupné z DOI: <[http://dx.doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc\\_247\\_19](http://dx.doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_247_19)>.
  16. Geusens P, van Brusel MS, Lems WF. Osteoporosis and fracture risk: pathogenesis, epidemiology, clinical aspects and diagnosis. In: Bijlsma JW (ed). *Eular compendium on rheumatic diseases*. BMJ Publishing: London 2009: 523–538. ISBN 978-1905545353.
  17. McKenna MJ. Differences in vitamin D status between countries in young adults and the elderly. *Am J Med* 1992; 93(1): 69–77. Dostupné z DOI: <[http://dx.doi.org/10.1016/0002-9343\(92\)90682-2](http://dx.doi.org/10.1016/0002-9343(92)90682-2)>.
  18. Krexner E, Resch H, Pietschmann P et al. Vitamin D status in residents of a long-term-care geriatric hospital in Vienna. *Osteologie* 1996; 5: 13–18.
  19. Chapuy MC, Durr F, Chapuy P. Age-related changes in parathyroid hormone and 25 hydroxycholecalciferol levels. *J Gerontol* 1996; 38(1): 19–22. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1093/geronj/38.1.19>>.
  20. Cantorna MT, Mahon BD. D hormone and immune system. *J Rheumatol Suppl* 2005; 76: 11–20.
  21. Verhaar HJ, Samson MM, Jansen PAF et al. Muscle strength, functional mobility and vitamin D in older women. *Aging (Milano)* 2000; 12(6): 455–460.
  22. Judd S, Tangpricha V. Vitamin D Deficiency and Risk for Cardiovascular Disease. *Am J Med Sci* 2009; 338(1): 40–44. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1097/MAJ.0b013e3181aeee91>>.
  23. Kheiri B, Abdalla A, Osman M et al. Vitamin D deficiency and risk of cardiovascular diseases: a narrative review. *Clin Hypertension* 2018; 24: 9. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1186/s40885-018-0094-4>>.
  24. Skowron K, Pawlicka I, Gil K. The role of vitamin D in the pathogenesis of ocular diseases. *Folia Med Cracov* 2018; 58(2): 103–118. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.24425/fmc.2018.124662>>.
  25. Dankers W, Colin EM, van Hamburg JP et al. Vitamin D in Autoimmunity: Molecular Mechanisms and Therapeutic Potential *Front Immunol* 2016; 7: 697. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.3389/fimmu.2016.00697>>.
  26. Konduru M, Sastry KS, Fatima A et al. Vitamin D and the pathophysiology of inflammatory skin diseases. *Skin Pharmacol Physiol* 2018; 31(2): 74–86. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1159/000485132>>.
  27. Rosa J, Šenk F, Palička V et al. Diagnostika a léčba postmenopauzální osteoporózy. Stanovisko Společnosti pro metabolická onemocnění skeletu ČLS JEP 2015. *Osteol Bull* 2015; 20(4): 150–168.
  28. Bouillon R, van Schoor NM, Gielen E et al. Optimal vitamin D status: a critical analysis on the basis of evidence-based medicine. *J Clin Endocr Metab* 2013; 98(8): E1283–304. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1210/jc.2013-1195>>.
  29. Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA et al. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab* 2011; 96(7): 1911–1930. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1210/jc.2011-0385>>.
  30. Bischoff-Ferrari HA, Shao A, Dawson-Hughes B et al. Benefit-Risk assessment of vitamin D supplementation. *Osteopor Int* 2010; 21(7): 1121–1132. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00198-009-1119-3>>.
  31. Kalvachová B. Vitamin D – nové poznatky a endokrinní mikrosystémy katcetriolu. *Osteol Bull* 2007; 12(2): 62–67.

**prof. MUDr. Pavel Horák, CSc.**

✉ [Pavel.Horak@fnol.cz](mailto:Pavel.Horak@fnol.cz)

III. interní klinika – nefrologická, revmatologická, endokrinologická LF UP a FN Olomouc

[www.lf.upol.cz](http://www.lf.upol.cz)

*Doručeno do redakce 25. 10. 2019*