

Z jídelníčku našich předků – stabilní izotopy v rekonstrukci výživy minulých populací

Současná antropologie dokáže z lidských kosterních pozůstatků vyčíst množství informací o průběhu života daného jedince – o jeho zdravotním stavu, typu pracovní zátěže nebo stresu, kterým procházel v období dětství a dospívání. Co ale zůstává na první pohled utajeno, je informace o jeho stravování. Kvalitní strava přitom tvoří jednu ze základních podmínek správného fungování organismu, růstu a vývoje a v dospělosti je základním předpokladem úspěšné reprodukce. Zároveň je lidské potravní chování vysoce plastické nejen v reakci na dostupnost zdrojů. Tak jako dnes i v minulosti byly naše stravovací návyky ovlivňovány kulturními, sociálními a náboženskými představami nebo pravidly. Současné trendy vegetariánského, veganského či raw stravování jsou pouze jedním z příkladů. Znalost jídelníčku našich předků tedy může nejen pomoci zlepšit náhled na zdravotní stav minulých populací, ale také dokumentovat reálný účinek společenských norem a jejich změn na životní podmínky konkrétních lidí.

Možnosti antropologie byly však v tomto směru dlouhou dobu omezené na nepřímé informace. Po generace se vědci opírali hlavně o studium zdravotního stavu chrupu, kdy se zvýšená kazivost, stejně jako výrazný obrus (abraze) zubních tkání spojovaly s konzumací méně kvalitní stravy založené na sacharidech (a tedy zejména na obilninách), při nízkém podílu proteinů. Patologie kosterního systému (např. projevy křivice nebo kurdějí) pak dokladovaly závažný nedostatek některých složek potravy. Tím byly možnosti kosterní antropologie v podstatě vyčerpány a badatelé tak

zůstávali dlouho odkázáni výhradně na poznatky dalších vědních oborů – především archeozoologie a archeobotaniky. Díky analýze rostlinných zbytků a zvířecích kostí nalezených na studované lokalitě – sídlišti – pomáhaly rekonstruovat spektrum konzumovaných rostlin a zvířat. Od středověku potom naše znalosti doplňují písemné prameny, církevními doporučeními počínaje a kuchařskými předpisy konče. Všechny tyto zdroje však poskytují opět pouze nepřímé informace, v případě písemných pramenů byly navíc předmětem zájmu hlavně vyšší společenské

vrstvy, zatímco jak se stravovala většina populace, nezmiňují. V posledním desetiletí se ale rozšiřují metody chemických analýz organické i anorganické složky kostní tkáně, které umožňují získat informace o výživě konkrétních jedinců. Nejrozšířenější metodou tohoto typu představuje analýza stabilních izotopů.

Jako izotopy označujeme formy téhož prvku, které se liší počtem neutronů v atomovém jádře, což způsobuje jejich rozdílnou atomovou hmotnost. Ačkoli jde o rozdíly v reálných číslech zanedbatelné, i ty významným způsobem ovlivňují chování izotopu v chemických reakcích. V průběhu izotopové analýzy se pak měří poměr jednotlivých izotopů ve vzorku, který vyjadřuje určitá hodnota např. $\delta^{15}\text{N}$ (blíže také seriál Stabilní izotopy a bioarcheologie, Živa 2008, 1–2).

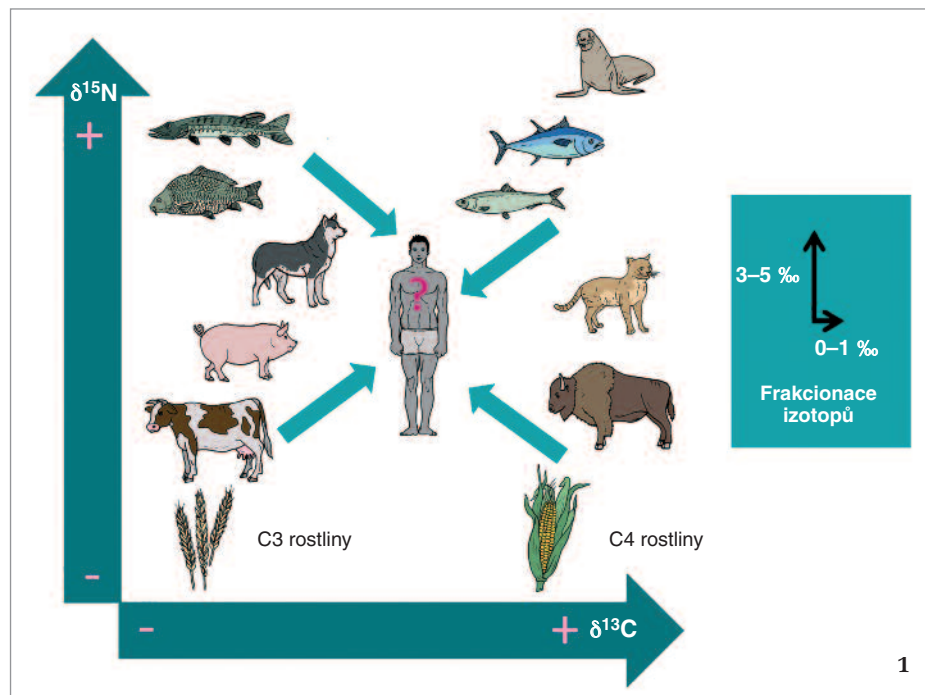
Pro rekonstrukci výživy minulých populací používáme zejména poměry stabilních izotopů dusíku ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) a uhlíku ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) ve vzorcích kolagenu kostní tkáně. V ekosystému se v průběhu cyklu určitého prvku uplatňuje několik základních geochemických principů, díky nimž můžeme získat představu o prostředí, v němž daný jedinec žil, a o potravě, kterou konzumoval. Prvním typem údaje poskytovaného stabilními izotopy je pozice jedince v potravním řetězci. Hodnoty stabilních izotopů obou zmíněných prvků se totiž na každé úrovni potravního řetězce zvyšují. Jinými slovy, konzumenti 1. řádu – býložravci mají nižší hodnoty než konzumenti 2. řádu – masožravci (obr. 1). V případě člověka to znamená, že jsme schopni zjistit míru zastoupení živočišné složky (masa a mléka) v jídelníčku.

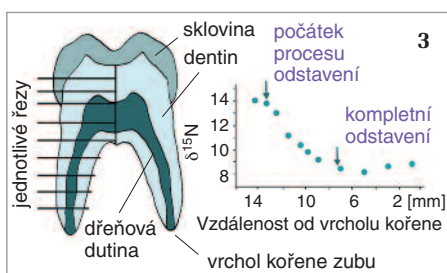
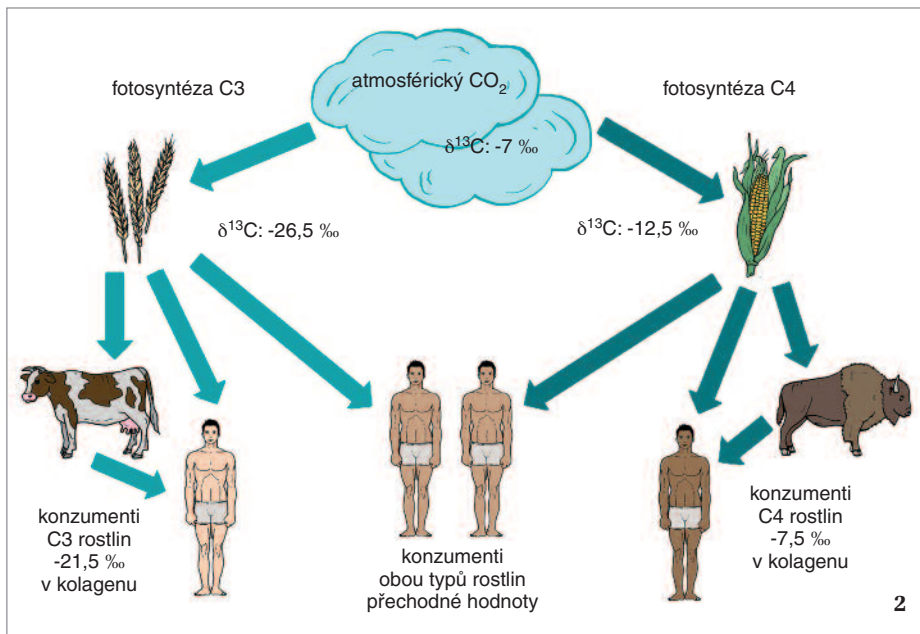
Dále nám stabilní izotopy umožňují odhalit význam konzumace rostlin se specifickou fotosyntetickou drahou ve výživě jednotlivců i populací (např. kukuřice a v našich podmínkách hlavně proso). Jde o skupinu C4 rostlin, přizpůsobených suchému a horkému klimatu. Ty se vyznačují zvláštním typem fotosyntézy, která má za následek změnu jejich izotopových hodnot oproti C3 rostlinám (viz např. Živa 2010, 2: 52–54), mezi něž patří většina druhů mírného pásu (obr. 2). Charakteristické hodnoty mají i vodní organismy, a to jak sladkovodní, tak mořské (Lee-Thorp 2008).

Využití stabilních izotopů: od předků člověka po moderní populace

Pro naše území je použití izotopové analýzy k rekonstrukci výživy minulých populací stále v počátcích, přestože se poslední dobou začíná také stávat rutinní součástí bioarcheologického výzkumu. Dosud nejrozsáhlejší studie se věnují stravě středo-

1 Schematické znázornění nárůstu izotopových hodnot prvků na každé úrovni potravního řetězce (efekt frakcionace) v různých typech ekosystémů. Mezi jednotlivými úrovněmi potravního řetězce dochází k navýšení izotopových hodnot uhlíku a především dusíku. Izotopové hodnoty na bázi potravního řetězce se liší mezi ekosystémy založenými na C3/C4 rostlinách, mezi prostředím sladkovodním a mořským. Na základě toho lze odvodit složení lidských potravních zdrojů. Blíže v textu





2 Efekt typu fotosyntézy na izotopové hodnoty rostlin a jejich konzumentů. Podle M. A. Katzenberg (2007), upraveno
3 Schéma sériových řezů první stálou stoličkou a výsledná izotopová data. Izotopové hodnoty dusíku v horní části zubní korunky jsou odrazem stravy kojeneckého období – vysoké hodnoty ukazují na fakt, že dítě bylo kojeno. Hodnoty naměřené v průběhu dalšího růstu zubu klesají, což odpovídá procesu odstavení. Podle: J. W. Eerkens a kol. (2011), upraveno. Orig. M. Chumchalová (obr. 1–3)

věké populace, především obyvatel Velké Moravy. Možnosti izotopové analýzy však sahají do mnohem starších období lidské existence.

Na otázku, u jak starých kosterních pozůstatků můžeme studovat výživu na základě analýzy využívající izotopy, nelze jednoznačně zodpovědět. Vždy závisí na stupni zachování původní struktury organické nebo minerální složky kostní tkáně. V případě organické složky – kolagenu byla např. s úspěchem získána data ze souboru neandertálců (*Homo neanderthalensis*) a současně žijících anatomicky moderních lidí (*H. sapiens*) ze svrchní fáze starší doby kamenné. Dokládají shodný jídelníček obou druhů v období jejich koexistence na evropském kontinentě, a to znamená, že pravděpodobně docházelo ke vzájemné konkurenci o potravní zdroje, která mohla přispět k vymizení neandertálců. Zároveň ukazují, že strava anatomicky moderních lidí se v období po vymizení neandertálců výrazným způsobem proměnila – zdá se, že směrem k diverzifikovanějším potravním zdrojům s vyšším podílem ryb. Studie

podporuje hypotézu o změně životního prostředí, způsobující fluktuaci potravních zdrojů, které anatomicky moderní člověk – na rozdíl od neandertálce – dokázal úspěšně čelit (Fabre a kol. 2011).

V případě minerální složky kostní tkáně byly s úspěchem analyzovány vzorky od předchůdců dnešního člověka a jejich příbuzných – australopitéků (rodů *Australopithecus* a *Paranthropus*), staré až 4,1 miliónu let. I tyto výsledky naznačují, že právě vysoká adaptabilita stravovacích návyků představovala jednu z klíčových vlastností příslušníků lidské evoluční linie, která ji odlišovala od evolučně neúspěšných skupin homininů (Sponheimer a kol. 2013).

Pomocí izotopové analýzy tedy můžeme sledovat vliv podstatných změn životního stylu na potravní chování lidských populací od počátku existence člověka až po moderní dobu. Jednou z nejzákladnějších změn, již byla bezpochyby věnována značná pozornost, je přechod od lovecko-sběračského způsobu obživy k zemědělské produkci (subsistenční změna). Přestože umožnila bezprecedentní nárůst početnosti lidské populace, dopad na kvalitu stravy a dalších životních podmínek jednotlivců je mnohem spornější. Na řadě míst Evropy pozorujeme pokles kvality výživy, kdy izotopová data ukazují na přechod od stravy s vysokým podílem živočišných proteinů s velkým zastoupením ryb na suchozemskou stravu s vysokým podílem rostlinné složky, pravděpodobně obilovin (např. Richards a kol. 2003). Tento pozorovaný pokles kvality potravy nejspíše přispěl ke zhoršení zdravotního stavu zemědělců doloženému napříč populacemi. Nižší výška postavy, vyšší kazivost chrupu a zvýšený výskyt dokladů biologického stresu na kostře (jako např. projevy anémie) byly pozorovány v řadě kosterních souborů z rané zemědělských populací.

Izotopové analýzy však umožňují zjišťovat i ne tak přelomové změny stravovacích návyků a zemědělské produkce. Využitím této metody jsme např. schopni detekovat zavedení nových produktů do stravy, i změny v zastoupení pěstovaných plodin. Jednou z nejlépe prostudovaných novinek jsou počátky a následná intenzifi-

kace pěstování kukuřice na americkém kontinentě (detailně se této problematice věnuje příspěvek v Živě 2008, 2: 87–90).

Na rozdíl od Nového světa, kde se v některých obdobích stala právě kukuřice základní složkou potravy, v Evropě C4 rostliny s podobně klíčovým hospodářským významem nenalzáme. Jedinou rostlinou s C4 fotosyntetickým cyklem, jejíž konzumaci máme doloženou pro období evropského pravěku a středověku, je proso (viz také str. 221). Intenzita jeho pěstování zde nikdy nedosáhla významu kukuřice pro některé americké populace. Přesto změny jeho hospodářského využití v čase a prostoru dosvědčují přírodní a společenské změny, kterým populace v minulosti čelily. Proso je nenáročná plodina poskytující stabilní výtěžky i na nekvalitních půdách. Navíc dokáže přestát nepříznivé klimatické podmínky jako delší období sucha. Rozdíl v intenzitě jeho pěstování proto mohou odrážet změny jak klimatických poměrů, tak v sociální struktuře populace. Díky nízkým nárokům na kvalitu půdy bývá totiž proso často považováno za plodinu chudších skupin obyvatelstva, případně rovnou „hladových“ období. Právě změnou socio-ekonomické struktury obyvatel lze vysvětlit rozdíly pozorované v izotopovém signálu v období po rozpadu Velkomoravské říše. Přestože proso se v hojné míře konzumovalo už na Velké Moravě, a to napříč všemi společenskými vrstvami, v následujícím mladohradištním období (druhá polovina 10. stol. až první polovina 12. stol.) se jeho konzumace ještě podstatně zvýšila. Jako nejpravděpodobnější vysvětlení se nám jeví nová společenská struktura, kdy zánik hustě osídlených bohatých velkomoravských center (např. Mikulčice nebo Pohansko) způsobil v oblastech dnešní jižní Moravy pokles poptávky po náročnějších plodinách. Za jednu z nich se považuje i pšenice pro její požadavky na kvalitu půdy a příznivé klimatické podmínky. Na základě izotopových analýz se zdá, že v okamžiku, kdy lidé ztratili bohaté obdoby této nejkvalitnější chlebové obiloviny, přirozeně obrátili své úsilí k pěstování méně náročného žita a prosa, které zajišťovaly s menším úsilím stabilnější úrodu (Kaupová a kol. 2014).

Stabilní izotopy dokladem komplexity lidských společností

Lze však sledovat nejen výživu na úrovni populace, ale také získávat informace o potravním chování konkrétních jedinců a porovnávat výživu mezi jednotlivými skupinami zkoumané lokality, např. mezi muži a ženami, mezi jedinci pohřbenými v hrobech s bohatou a chudou hrobovou výbavou.

Přestože v tradičním pohledu ve většině minulých populací zaujímalí dominantní postavení muži, z hlediska výživy není situace vůbec jednoznačná. V řadě případů to byla strava žen, která se jevila konzistentnější a za nepříznivých socio-ekonomických nebo přírodních podmínek (Reitsem a Vercellotti 2012). Tento trend pozorujeme např. u středověkých populací, včetně velkomoravské a mladohradištní populace Moravy. Zdá se, že ženám, jakožto matkám příštích generací, poskytovala středověká společnost určitou ochranu před



4 Terénní výzkum velkomoravského pohřebiště v Mikulčicích. V ideálním případě se vzorky pro chemické analýzy odebírají rovnou při výzkumu.

5 Příprava vzorků kolagenu pro izotopová měření. Závěrečná etapa týden trvajících procesu – zhodnocení kvality extrahovaného vzorku

6 Detail vzorků kolagenu pro izotopová měření. Snímky P. Velemínského

vat i další tkáně nalezené při archeologickém výzkumu. Kromě kostí jde především o zubní tkáň, v případě analýzy výživy zejména zubovinu (dentin). Analýza zubních tkání prošla v posledních letech bouřlivým rozvojem díky vývoji technologií, pro které postačují stále menší vzorky. Z jednoho zachovalého zubu jsme v dnešní době schopni získat izotopová data vypovídající o změnách stravy v průběhu formování zubu (obr. 3). Podle toho, který ze zubů si vybereme, pak dokážeme charakterizovat stravu v určitých etapách dětství a dospívání. Nejčastějším využitím izotopové analýzy dentinu je rekonstrukce délky kojení v minulých populacích. Sledováním změn izotopového signálu v průběhu růstu první stálé stoličky (ta se vytváří od narození zhruba do 6 let věku) jsme schopni určit stáří, kdy byl konkrétní jedinec odstaven. Měření v tkáni později se vytvářejících zubů (až po třetí stoličku, která ukončuje svůj vývoj na prahu dospělosti) umožňuje např. detekovat změny výživy v souvislosti s přijetím pohlavně determinovaných a sociálních rolí. Tím lze přesněji definovat věk, kdy dávní lidé tyto role v životě přijímali.

Kostí a zuby jsou bezpochyby nejčastěji dochované v archeologickém kontextu, nicméně podle stejných principů změříme izotopové hodnoty i dalších tkání. Pokud pomíneme případy mumifikace, posledním materiálem, který se – za určitých okolností – v archeologickém kontextu dochovává a který je možné také podrobit izotopové analýze, jsou vlasy. I v jejich případě se uplatní metoda sériového vzorkování, ovšem s tím podstatným rozdílem, že proti zubním tkáním, které nesou záznam o výživě na počátku života, vlasy poskytují informace týkající se posledních měsíců před smrtí. Délka tohoto období samozřejmě závisí na délce vlasového porostu, ale vzhledem k nízké variabilitě růstového tempa vlasů ji dokážeme poměrně přesně

negativními vlivy vnějšího prostředí, včetně nedostatku potravy.

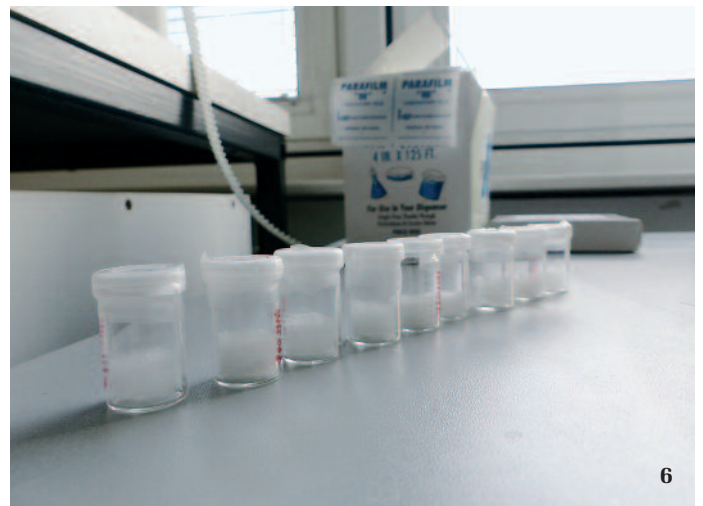
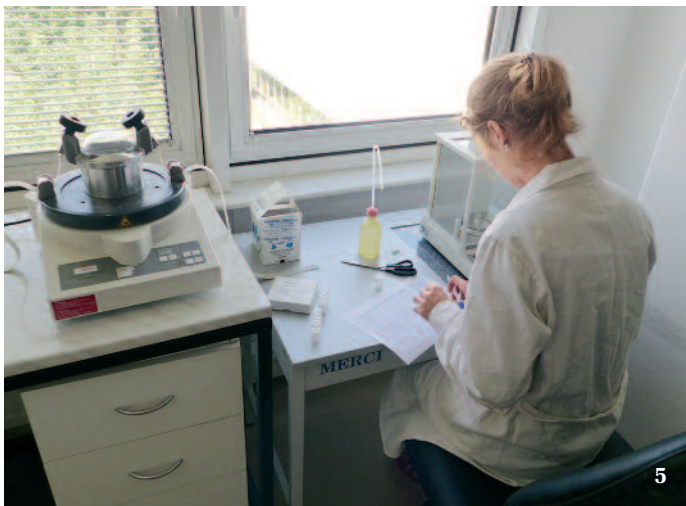
Počátky sociálních rozdílů ve výživě a využití zemědělské půdy byly pozorovány na našem území již u nejstarších zemědělců (Bentley a kol. 2012). Obecně však lze říci, že se systematicky objevují až s nárůstem sociální komplexity společnosti a formováním prvních státních struktur, v kontextu střední Evropy v období raného středověku. Sociálně motivované rozdíly ve výživě se v průběhu středověku dále zvyšovaly spolu se socio-ekonomickým rozdělením společnosti.

V případě pozdně antických a středověkých populací vstupuje do hry další faktor ovlivňující potravní chování, a tím je přijetí křesťanské víry a následné utužování autority církve. Křesťanství přineslo do života lidí mnoho nových pravidel, mezi nimi postní regule, které zapovídaly v určitých dnech – v součtu po značnou část roku – konzumaci masa. Ve středoevropském kontextu to dokazuje např. známý spis z 9. stol. Odpovědi papeže Mikuláše I. na otázky Bulharů, kde je půst předepisován v čtyřech hlavních obdobích a mimoto při dalších příležitostech: „před Velikonocemi, v postě po svatém Duchu, v postě před svátkem Nanebevzetí svatě Bohorodičky a vždy Panny naší Paní

Marie a též v půst před svátkem Narození Pána našeho Ježíše Krista... V pátek však každého týdne a o všech vigiliích předních svátků máme se vzdát požívání masitých pokrmů a zachovávat půst...“ Jako postní jídlo byly po většinu času uznávány ryby. Tolik praví dobová křesťanská nauka. A právě stabilní izotopy nám umožňují posoudit, jaký měla dopad na životy konkrétních lidí. Podařilo se prokázat častější konzumaci ryb zhruba v období po r. 1 000, dávanou do souvislosti právě s upevněním autority církve. Před koncem prvního tisíciletí je však situace mnohem nejednoznačnější (Salamon a kol. 2008). Zatímco v některých oblastech pozorujeme častější konzumaci ryb už u prvních generací křesťanských konvertitů, v jiných populacích tento trend nevidíme, bez ohledu na stupeň christianizace. To je i případ Velké Moravy, kdy ani u souboru pocházejícího z jednoho z nepochybných center velkomoravského křesťanství – z Mikulčic – nebyla zjištěna významná konzumace ryb, a to ani u příslušníků elitních vrstev, u nichž byl předpokládán nejrychlejší průběh přijetí křesťanství.

Další možnosti izotopové analýzy

Do této chvíle jsme zmiňovali pouze izotopovou analýzu kostí, dají se však analyzo-



odhadovat. Rychlé a nepřetržité přirůstání vlasů tak v analýze zachytí sezonní odchylky ve výživě, v závislosti na dostupnosti jednotlivých produktů. Mohou také poodhalit bezprostřední okolnosti smrti jedince, např. zda jí předcházela nesprávná výživa nebo hladovění. V případě dostatečné sezonní fluktuace potravních zdrojů pak určíme, v jaké části roku došlo k úmrtí, a tedy které roční období znamenalo pro danou populaci největší riziko.

Náš příspěvek rozhodně nemůže ukázat všechny možnosti izotopové analýzy. Zcela jsme mimo jiné opomněli druhou zásadní sféru využití, tedy uplatnění při studiu migrací minulých populací. Tato metoda využívající izotopy navíc stále prochází rychlým rozvojem a hledáním nových cest, jak zpřesnit výsledky. Doposud jsme zde hovořili zejména o analýze kolagenu. Ten, jakožto protein, se skládá z jednotlivých aminokyselin, které můžeme rozdělit na dvě skupiny. Na prvním místě aminokyseliny esenciální, jež si lidské tělo neumí samo vyrobit, a musíme je tedy přijímat v potravě. Tyto kyseliny jsou přímo zabudovány do struktury vznikajících proteinů a odrážejí tak izotopový signál konzumované stravy v nezměněné podobě. Naproti tomu aminokyseliny neesenciální mohou

být také využívány přímo z potravy, v případě potřeby však mohou být syntetizovány v těle z dalších složek stravy (sacharidů a lipidů). V průběhu jejich syntézy se uplatňují obecně platná geochemická pravidla, jako efekt frakcionace. Do jaké míry k této syntéze *de novo* dochází, ovlivňuje zejména kvalita stravy – podíl proteinů, jejich stravitelnost a aminokyselinové složení. Výzkum v této oblasti je stále převážně na experimentální úrovni, přesto se jeví pravděpodobné, že tento typ analýzy může přinejmenším zpřesnit naše poznatky o výživě minulých populací. Jednou z potenciálních aplikací je možnost prokazování některých složek potravy i v případě, že byly konzumovány pouze sporadicky, v příliš nízkém množství, aby byly viditelné v „celkovém“ izotopovém signálu (Webb a kol. 2016). Týká se to především konzumace sladkovodních i mořských ryb. Právě podobné využití může mít v budoucnosti velký význam při studiu počátku a nárůstu intenzity dálkového obchodu. Přestože v středoevropském kontextu lze předem vyloučit, že by mořské ryby tvořily významnou složku stravy našich předků, mohly být luxusním předmětem dovozu, ať už ve formě sušené, nebo fermentované.

Experimentuje se také s využitím nových izotopových systémů, a to nejen v oblasti analýzy výživy, ale i fyziologie. Např. kombinace stabilních izotopů železa a mědi se podle prvních výsledků zdá mít velký potenciál pro studium reprodukčního zdraví. Hodnoty obou izotopů se liší mezi pohlavími, v případě žen se však významným způsobem mění v období menopauzy, kdy se začínají podobat hodnotám mužským. Další výzkum tedy může pomoci osvětlit délku reprodukčního období žen v minulosti, což je důležité pro studium demografického vývoje. Zajímavé by mohlo být i porovnání, jaké procento žen se v jednotlivých historických etapách nebo společenských vrstvách dožívalo konce reprodukčního období, což poskytne přesnější informace, jak velké riziko spojené s porody ženy nesly v různém přírodním i sociálním kontextu.

Izotopová analýza tedy zdaleka nevyčerpala všechny své možnosti a její využití jistě v budoucnu přinese mnoho nového.

Citovaná a doporučená literatura je uvedena na webové stránce Živý.

Lenka Kovačiková

Co o vztahu člověka a zvířete v minulosti prozrazují stabilní izotopy

O zvířatech v blízkosti člověka a podobě jejich vzájemného vztahu v minulosti se dozvídáme prostřednictvím výsledků archeozoologické analýzy, neboť hmotné prameny (např. plastiky zvířat) nejsou vždy dostupnou variantou. Archeozoologie se ve svém tradičním pojetí opírá o vizuální posouzení morfologických znaků na kostech, které byly získány při archeologických výzkumech a které jsou specifické pro jednotlivé druhy živočichů. Většinou jde o nálezy fauny z různých sídlištních i pohřebních kontextů, ať už ze zásobních jam v okolí domů prvních zemědělců v období neolitu, z hrobů mladší doby bronzové, nebo nefunkčních studní ve vrcholně středověkých městech; jejich propojení s minulostí člověka je takřka nezpochybnitelné. Archeozoologie se v několika posledních desetiletích propojuje s izotopovou geochemií. Výsledkem jsou nové informace o potravním chování a životním prostředí zvířat v minulosti, což rovněž přispívá k přiblížení historie člověka, který je choval a lovil.

Na základě makroskopického přístupu jsme schopni nabídnout více informací o zvířatech, která se v okolí člověka vyskytovala, a rekonstruovat, jaký byl jejich ekonomický, náboženský, případně jiný význam. Zvířecí kosti, zuby a další struktury, např. zbytky srsti nebo rohoviny, staré stovky až tisíce let, lze podrobovat i studiu na mikroskopické až molekulární či

atomární úrovni. V tomto ohledu připadají v úvahu metody jako zubní mikroabrazie (obrušování), analýza starobylé DNA, stopových prvků nebo lehkých i těžkých stabilních izotopů, jimž budeme věnovat více pozornosti v tomto příspěvku. Mezi stabilní izotopy, které archeozoology zajímají nejvíce, patří uhlík ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, resp. $\delta^{13}\text{C}$; δ udává podíl těžkého ^{13}C a lehkého

^{12}C izotopu ve vzorku ve vztahu k jejich poměru v mezinárodně uznaném standardu), dusík ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $\delta^{15}\text{N}$) a kyslík ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $\delta^{18}\text{O}$), méně často síra ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $\delta^{34}\text{S}$) nebo stroncium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) uchované buď v minerální, nebo organické složce kosti či zubu (viz také Živa 2008, 1: 42–45 a 2: 87–90).

O analýze stabilních izotopů s přesahem do archeologie víme již několik desetiletí. Začátky v 70. a první polovině 80. let byly zaměřeny na sledování poměrného izotopového složení kyslíku ($\delta^{18}\text{O}$) ve schránkách mořských měkkýšů s cílem upřesnit, nejen v kterém ročním období je člověk sbíral, ale i jaká byla jeho sídelní strategie. První výsledky studia stabilních izotopů uhlíku ($\delta^{13}\text{C}$) a dusíku ($\delta^{15}\text{N}$) byly spojeny hlavně s lidskými ostatky a úloha zvířecích kostí spočívala v jejich využití jako pozadí při vymezení potravních preferencí člověka. Díky rozvoji metodických možností se postupně rozšiřovalo spektrum kladených otázek. Ty už nesměřovaly pouze k dietetickým návykům lidí, ale také k výživě a krmení zvířat, pastevním strategiím (např. transhumance – sezonní pastva dobytka v horách a nížinách, lesní pastva), výměnám zemědělských produktů mezi různými komunitami, biogeografii živočichů a vlivu klimatu na jejich reprodukční chování.

Počasí archivované v zubech

Znalost období, kdy se rodí mláďata domestikovaných i divokých savců, nám může, ve vztahu k člověku, pomoci objasnit jeho subsistenční chování (způsob obživy), případně upřednostňované pasivecké nebo lovecké strategie. Co se týče sezonality, pak nás zajímají stabilní izotopy kyslíku ($\delta^{18}\text{O}$), které jsou přijímány v molekulách vody nebo v potravě, jež vodu obsahuje, a ukládány ve formě uhlíčanů a fosforečnanů do kostní tkáně. Izotopové