VÔŇA VEDY

Kolektív autorov

VÔŇA VEDY

Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

kolektív autorov

Vôňa vedy

Táto publikácia bola spracovaná v rámci implementácie národného projektu PopVaT – Popularizácia vedy a techniky na Slovensku (26220220181, 26240220085)

Pre Centrum vedecko-technických informácií SR
www.cvtisr.sk
vydalo Vydavateľstvo Matice slovenskej, s. r. o.
www.vydavatel.sk
Prvé vydanie 2015

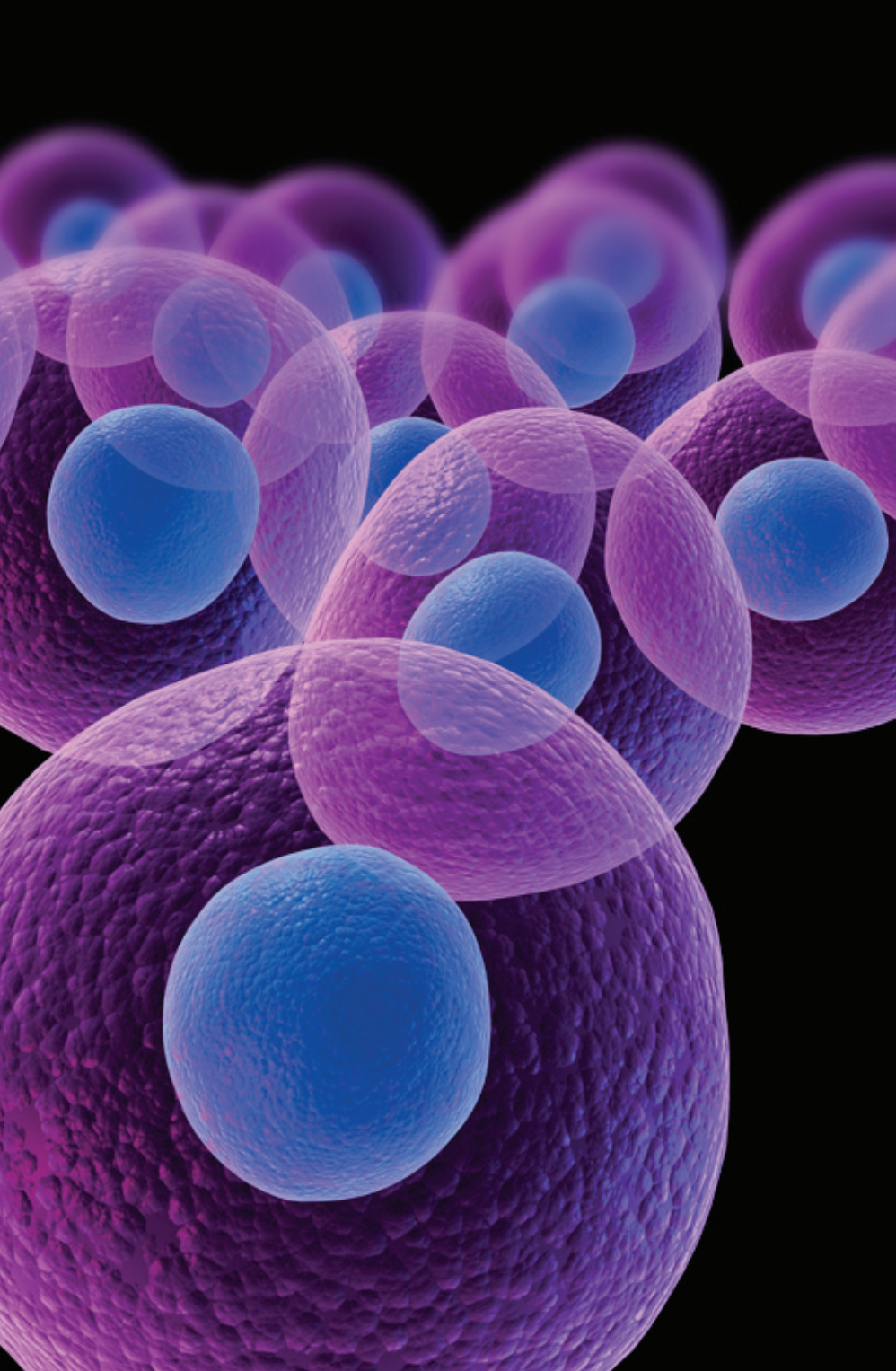
Autori: RNDr. Peter Biely, DrSc., RNDr. Katarína Bíliková, PhD., doc. MUDr. Ing. RNDr. Peter Celec, PhD., MPH, MUDr. Michal Čierny, CSc., doc. RNDr. Michal Galamboš, PhD., doc. Ing. Jarmila Hojerová, PhD., prof. RNDr. Dušan Hovorka, DrSc., Ing. Anton Janitor, PhD., Ing. Michal Kaliňák, doc. RNDr. Ľubomír Kováč, CSc., Mgr. Adrián Krajňák, doc. RNDr. Martin Kundrát, Ph.D., doc. PhDr. Michal Leško, CSc., Mgr. Juraj Littva, Michal Maturkanič, MVDr. Martina Miterpáková, PhD., RNDr. Ingrid Papajová, PhD., prof. Ing. Milan Nagy, CSc., Mgr. Jozef Pecho, doc. MVDr. Branislav Peťko, DrSc., Mgr. art. Mgr. Ladislav Šipeky, Mgr. Eva Viglašová, Mgr. Peter Vršanský, PhD.
Editorka: Bc. Katarína Matejíčková
Fotografie: RNDr. Katarína Bíliková, PhD., Ing. Vladimír Fecko, doc. RNDr. Ľubomír Kováč, CSc., Mgr. Juraj Littva, Bc. Katarína Matejíčková, MVDr. Martina Miterpáková, PhD., Mgr. Ondrej Ragač, doc. Ing. Miroslav Saniga, CSc., PhDr. Ján Súkup, doc. Ing. Jozef Šimúth, Mgr. Peter Vršanský, PhD.
Ilustrácie: Ing. Anton Janitor, PhD., doc. RNDr. Martin Kundrát, Ph.D., MVDr. Martina Miterpáková, PhD., Dr. Ing. Marcela Pekarčíková
Zodpovedná redaktorka: Ing. Barbora Malá
Jazyková redaktorka: Mgr. Elena Režná
Grafická úprava © Ing. Roman Krause
© Centrum vedecko-technických informácií SR, 2015
Tlač: NEOGRAFIA, a. s., Martin

Nepredajné

ISBN 978-80-8115-206-1

Obsah

Jupiter nie je hviezda 8
Spolupútnici dinosaurov 11
Aj operený tyran môže byť pôvabný 16
Ďalšie ochorenia líšok – besnota to už nie je 22
Novodobá liečiteľka včela 29
Za vzácnymi objavmi hľadajte košických zoológov 35
Moderné vyhľadávanie škrkaviek 40
Bunkové steny rozhodujú 45
Huba – ochranca zdravého lesa 48
Fyzikálny pohľad na hokejistu 52
Pokutový kop pod drobnohľadom fyziky 56
Zmeny v Arktíde nezostávajú len tam 60
Cesta z hlbín zeme na vrcholy hôr 64
Za čo vďačíme mladotreťohorným sopkám? 68
Od bentonitu k rádioaktivite 73
Vieme pozerať do vnútra hmoty 77
Pohonné látky z celulózy 80
Syntetické farbivá by nás mali zaujímať 84
Zvykajme si – hurikány už aj v Európe 86
Nezadržateľné pokroky v molekulárnej medicíne 89
Riešenie nielen obezity, ale aj cukrovky 98
Zaujímajte sa o prebiotiká 103
Číslo zlatého rezu je pre nás stále dôležité 108
Viete, čo je mumio? 111
Zázrak s názvom vaječná škrupina 115



Úvod

Veda má veľa rôznych vôní. Od nektárovej a omamnej z rozkvitnutého agáta cez výpary v chemických laboratóriách či typický pach ozónu po elektrických výbojoch... Pre každého vedca, ktorého fascinuje jeho práca, ktorého poháňa zvedavosť za výsledkami výskumu či nadchýna spoločné bádanie, je tá „jeho" vôňa najkrajšia.

V publikácii je niekoľko chuťoviek z vedeckého sveta. Dajte sa zlákať ich vôňou...

Mgr. Andrea Putalová
riaditeľka Národného centra pre popularizáciu vedy a techniky v spoločnosti

Jupiter nie je hviezda

Jupiter sa skladá z vodíka a hélia ako Slnko, no chemické zloženie a ani svietivosť nie sú kritériami na rozlíšenie planét od hviezd. Pri desaťnásobne väčšej hmotnosti by aj Jupiter zapálil jadrovú syntézu a zaradil by sa medzi hviezdy.

Hviezdy (pri zrode astronómie ich nazývali stálice) sú plynné (plazmové) telesá, ktorých zdrojom žiarenia je alebo bola termonukleárna reakcia. Ich obrovské vzdialenosti od nás majú za následok, že ich vôbec nevidíme, prípadne ich vidíme iba ako slabšie či silnejšie žiariace bodky na oblohe. Výnimkou je naša denná hviezda Slnko, ktorej stredná vzdialenosť od Zeme je približne len 150 miliónov kilometrov.

Planéty alebo obežnice (v staroveku nazývané pútnici či blúdivé hviezdy) nevyžarujú vlastné svetlo a svietia iba odrazeným svetlom materskej hviezdy. Okolie svojej obežnej dráhy okolo materskej hviezdy vyčistili od ďalších menších či väčších telies. Jadrovú energiu neprodukujú, prípadne ju produkujú v zanedbateľnom množstve.

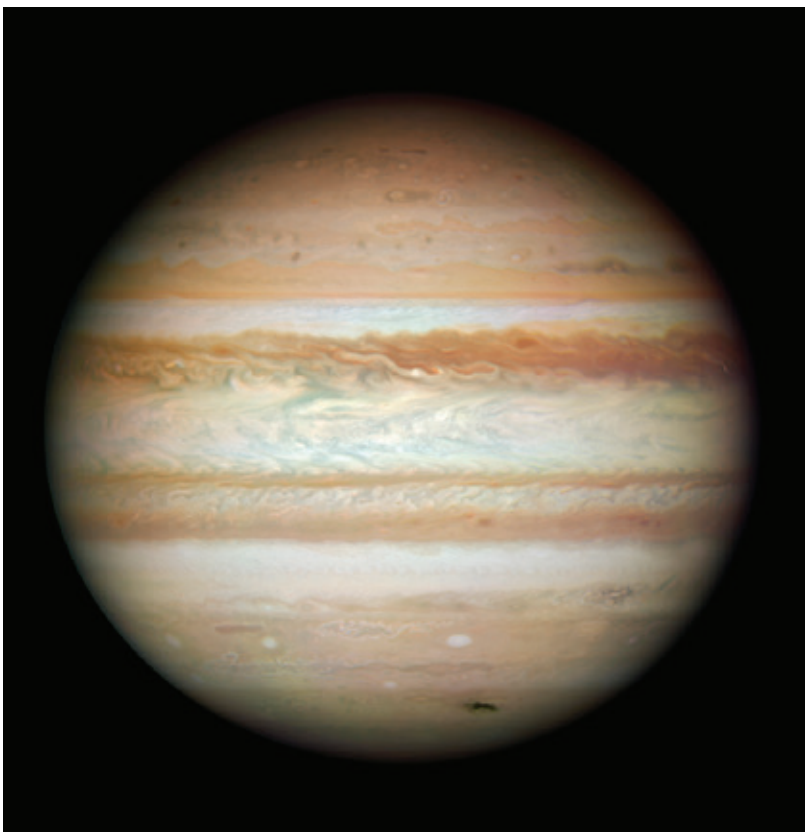
Záhada Jupiterovho tepla

Planéta Jupiter vyžaruje viac než dvojnásobok energie ako od Slnka dostáva. V minulosti to astronómovia prisudzovali gravitačnej kontrakcii (zmršťovaniu) priemeru planéty o jeden milimeter ročne. Dnes prevláda názor, že prebytok vyžarovanej **tepelnej energie** súvisí pravdepodobne s vnútornou skladbou planéty, prechodom ťažšieho hélia cez vrstvy kvapalného vodíka do stredu planéty a uvoľňovaním gravitačnej energie. Presnú odpoveď ešte nepoznáme. Je možné, že ide o zostatkové teplo z čias vzniku planéty zachované vďaka dosiahnutej hmotnosti.

Konvekcia (premiešavanie) sa výrazne podieľa na transporte zostatkového tepla na povrch a prispieva k tvorbe veľmi silného magnetického poľa planéty. A tomu vďačí Jupiter za vlastné rádiové žiarenie.

Zaregistrované pulzácie röntgenových emisií v oblasti severného rotačného pólu zatiaľ neboli dostatočne objasnené.

Svietivosť či žiarivý výkon je množstvo energie vyžiarenej hviezdou za jednu sekundu v celej oblasti elektromagnetického spektra. Uvádza sa v jednotkách svietivosti Slnka alebo v jednotkách hviezdnej veľkosti (magnitúdach). Je to fotometrická veličina jasnosti astronomického objektu na oblohe v logaritmickej škále, ale nie je kritériom na rozlíšenie planét od hviezd. Rozhodujúcim faktorom na porovnávanie jasnosti objektov je ich vzdialenosť.



Jupiter
Foto: NASA

Hoci Jupiter žiari vždy jasnejšie ako najjasnejšie hviezdy, je to len svetlo vypožičané od Slnka. Nemôže v žiarivom výkone súperiť s Venušou, ktorá svojím jasom ako Večernica či Zornička je po Slnku a Mesiaci tretím najjasnejším objektom na oblohe, aj to len vďaka slnečnému žiareniu, ktoré odráža. Venuša je rozmerovo menšia, no nachádza sa oveľa bližšie k Zemi ako Jupiter.

Vypnutý reaktor

Aj keď sú hviezdy charakterizované termonukleárnou syntézou, tá netrvá večne. Po vyčerpaní paliva sa skončí, nie však život hviezdy. Biele a červené trpaslíky pokračujú vo svojej evolúcii bez jadrovej syntézy desiatky až stovky miliárd rokov. Žiarivú energiu čerpajú zo zásob žeravého jadra z predchádzajúcich jadrových reakcií. Termonukleárna reakcia nesprevádza hviezdy počas celého ich života.

Rozhodujúcim faktorom na rozlíšenie hviezdy a planéty je **hmotnosť**. Dostatočne veľká hmotnosť hviezd štartuje jadrovú syntézu a vyžarovanie vlastného svetla, menšia hmotnosť planét ich odsudzuje na úlohu obežníc a na vyžarovanie odrazeného svetla materskej hviezdy. Ktovie, aký pohľad by sa nám naskytol na hviezdnu oblohu v systéme dvojhviezdy Slnko – Jupiter?

Michal Maturkanič
Vihorlatská hvezdáreň, Humenné

Spolupútnici dinosaurov

Či sa nám to páči, alebo nie, šváby, tento mimoriadne odolný hmyz, slúžia ako nezvyčajný príklad prispôsobivosti. Dostali sa a rozšírili sa všade po celom svete. Stali sa vďačným objektom aj na skúmanie svojich predhistorických foriem a vyvinuli sa do nespočetných podôb. Môžeme byť však hrdí – k pólom a do vesmíru sa dostali len vďaka nám ľuďom...

Nenechajme sa ich povesťou zmiasť. Šváby tu boli pred dinosaurami a prežili ich, čiže boli tu aj pred nami a s pravdepodobnosťou blížiacou sa istote prežijú aj nás. Typová rozmanitosť a obrovské množstvo ich druhov vyráža dych a nemá v živočíšnej ríši obdobu. V karbóne, pred asi 320 miliónmi rokov, keď sa oddelili od iných voľne žijúcich predstaviteľov lietajúceho hmyzu, muselo ísť o prevratnú konštrukčnú zmenu. Prešla ňou väčšina druhov, ktoré prežili dodnes. Ani jedna iná skupina suchozemských živočíchov (azda okrem škorpiónov) sa tak málo nezmenila za taký dlhý čas. Dôvodom je funkcia švábov. Od začiatku tieto druhy hmyzu slúžili zväčša ako čističe. Aj súčasné pokročilé ekosystémy úplne závisia od očisty, ktorú robia šváby a ich potomkovia – termity.

Zaujímavosti švábov

V zbierkach svetových múzeí je uložených viac ako stotisíc fosílií švábov, pretože počas prvohôr predstavovali dominantnú skupinu živočíchov súše. Poznáme stovky nálezísk, kde sa zachovali iba šváby. Až o približne 100 miliónov rokov neskôr vznikli dinosaury a z tej doby už poznáme šváby z najstarších jantárov, takže presne vieme – vrátane farieb, čo sa hmýrilo pod nohami dinosaurov a aké oči na dinosaury pozerali. Treťohorné nálezy už mnohí považujú za banalitu (aj keď sú nemenej zaujímavé), a tak spomenieme aspoň prípad zachovanej pavučiny aj s pavúkom a lapeným hmyzom. Jedným z chytených živočíchov v pavučine bol šváb, ktorý mal zachovaný obsah žalúdka. Boli v ňom zvyšky rastlinnej potravy, a tak presne vieme, čo jedol šváb pred 49 miliónmi rokov, keď ho chytil pavúk.

Nemyslime si však, že všetkých päťtisíc žijúcich druhov švábov behá po kuchyniach, hoci štyri miliardy dolárov minuté ročne na insekticídy proti švábom len v USA by to mohli naznačovať. Ich typová rozmanitosť vyráža dych a nemá v živočíšnej ríši obdobu. Spoločenská organizácia ako vyššia forma života začala vznikať práve v spoločenstve švábov. Nenechajme sa pomýliť, ľudia nemôžu ani len snívať, že by boli takí spoločenskí ako šváby či termity. Aby bolo jasné, termity sú spoločenské šváby, takisto modlivky (s niekedy až nezmyselnými prispôsobeniami) sú jednoducho dravými švábmi. Ale aj samotná konzervatívna skupina tohto hmyzu je rozmanitá. Sú medzi nimi opeľovače, vodné druhy, neviditeľní (priehľadní) obyvatelia jaskýň, imitátori rôznych jedovatých skupín; niektoré šváby lietajú ako motýle, iné svietia ako dokonalé svetlušky, ďalšie žijú ako parazity v hniezdach termitov – vlastných potomkov.

U nás okrem šiestich zdomácnených druhov švábov (obyčajný, americký, ázijský, hnedý, hnedopásy a rus domový) žijú tri voľne žijúce druhy rodu *Ectobius* (švábik hôrny, tmavoštíty, červenkavý) a šesť druhov rodu *Phyllodromica* (švábik sieťovaný, uhorský, *P. maculata*). Švábik muránsky, krasový (Slovenský kras) a Dobšíkov (Tisovec) nežijú nikde inde na svete. Maličkého, asi 8 mm dlhého švábika muránskeho (*Phyllodromica chladeki*) opísal nemecký entomológ Kurt Harz len roku 1977.

Plachý švábik červenkavý (*Ectobius erythronotus nigricans*)
Foto: autor

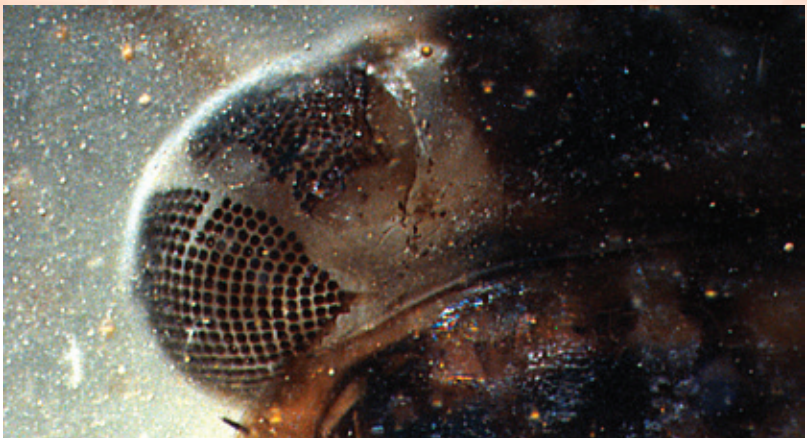
Vyhynul, a predsa žije

Zaujímavé skutočnosti o plachých švábikoch rodu *Ectobius* sme zistili už pred ôsmimi rokmi. Pôvodne tento nenápadný hmyz žil od najsevernejšieho cípu Európy až po najjužnejšiu časť Afriky. Do Ameriky ho priviezli moderní *kolonizátori*. V Európe bol dominantný počas takmer celých treťohôr a žije tu doteraz. Čo je však zaujímavé, tento nenápadný živočích bežne pobehoval aj po oboch Amerikách v eocéne pred 49 miliónmi rokov, a to vo viacerých formách a druhoch. Bezpečne však vieme, že pri príchode ľudí tam už nežil. Musel teda ako najbežnejší (dominantný) druh vyhynúť na celom kontinente. Je ešte prekvapujúcejšie, že ho po celé tie milióny rokov nikto nenahradil. Ostalo po ňom prázdne miesto v prírode, a to približne 10 miliónov rokov, kým sme ho tam nezaniesli naspäť. Čo presne zapríčinilo jeho vyhubenie, to dodnes nevieme. A prečo je to také významné? Hovorí nám to o tom, že aj dominantný druh môže náhle zmiznúť z celého kontinentu a nič ho dlho, naozaj dlho nenahradí.

Aj vďaka svojim zmyslom, ktoré tiež nemajú v živočíšnej ríši obdobu, sú šváby predmetom záujmu bezpečnostných agentúr. NASA vyvíja množstvo robotov – švábov – s neuveriteľne rýchlymi reflexmi a, držte sa, aj robotov pilotov. Na vesmírnej stanici MIR sa cítili šváby tiež ako doma – boli prvými živočíchmi, ktoré sa vyliahli vo vesmíre. Teraz si už život na Zemi bez nich nevieme predstaviť.

Skáčuci šváb

Keď nemecko-juhoafrická skupina vedená profesorom Horstom Bohnom objavila skáčuceho švába, ktorý žije v prírodnej rezervácii Stolovej hory v Južnej Afrike, bola z toho veľká sláva. Podarilo sa jej to však vďaka slovenským výsledkom. Význam nálezu žijúceho skáčuceho švába *Saltoblattella montistabularis* v Južnej Afrike spočíva najmä v tom, že skáčuce šváby sme ešte predtým opísali vo fosílnej, domnele vyhynutej forme z jurskej periódy, čiže z čias, keď ešte žili dinosaury.



Zložené oko mláďatka švába *Batola nikolai* (vyhynutá čeľaď Blattulidae) z kriedového jantáru Archingeay, prilákaného do živice vôňou spadnutej šušky
Foto: autor

Ako objaviteľ som mal to privilégium pomenovať nový druh, tak som využil slovenčinu a nový druh švába dostal vedecké pomenovanie *Skok svaba*, nová čeľaď sa nazýva Skokidae a rod Skok. Fosílny šváb pochádzal z rozsiahlych zbierok Paleontologického ústavu RAN v Moskve, zo sedimentov starých približne 150 miliónov rokov z lokality Karatau v Kazachstane. Spomedzi vyše tritisíc fosílnych, prevažne úplne zachovaných švábov z tejto lokality sa našli len štyri exempláre *Skok svaba*. Sú to maličké šváby, ktoré merajú približne jeden centimeter, majú polopriehľadné vrchné krídla a priehľadné zadné krídla. Majú oválnu hlavu so zreteľným vonkajším sfarbením a ich veľké oči nemajú v tejto skupine obdobu. Švábovi slúžili na skákanie nadmerne vyvinuté zadné končatiny posunuté dozadu, uložené pod telom. Zadné nohy sú 1,5-násobne dlhšie než dĺžka tela. Skáčuce nohy pomáhali švábovi rýchlejšie unikať pred predátormi. Zaujímavé sú aj zmenšené stredné končatiny, malá hlava a ústne prívesky prispôsobené na konzumáciu peľu (zachoval sa v pažeráku týchto fosílií). *Skok svaba* tak patrí do čeľade opeľovačov, ktorá nie je známa nikde inde na svete. Tento druh je zaujímavý aj pokročilou rozmnožovacou sústavou.

Minulosť pomáha súčasnosti

Opierajúc sa o tieto poznatky, objavila nemecko-juhoafrická skupina vedená profesorom Horstom Bohnom v prírodnej rezervácii Stolovej hory v Južnej Afrike žijúceho skáčuceho švába. Má takisto zväčšené zadné nohy posunuté, naopak, dopredu, ale aj rovnako obrovské oči. Adaptácia na skákanie v jeho prípade už dosiahla dokonalosť. Zatiaľ čo samičky sa podobajú na svojich fosílnych príbuzných (fosílne samce nie sú známe), žijúce samce majú tvar rakety a možno konštatovať, že nič podobné na zemi nemáme.

Význam opísaného druhohorného skáčuceho švába je nesporný na pochopenie vývinu hmyzu či pri vytváraní nových stratégií úniku a chytania koristi. Príroda svojimi nálezmi rozmanitých foriem fauny naďalej prekvapuje. A môžeme pripustiť aj to, že ďalšie zdanlivo vyhynuté živočíchy ešte žijú v skrytosti a čakajú na svoje odhalenie.

Mgr. Peter Vršanský, PhD.
Geologický ústav Slovenskej akadémie vied, Bratislava

Aj operený tyran môže byť pôvabný

Perie je jedným z najúžasnejších tvarových výtvorov evolúcie. Kombinuje v sebe štrukturálnu jednoduchosť, krásu a mnohorakú užitočnosť. Je typickým znakom vtákov, čím ich jednoznačne odlišuje od ostatných žijúcich tvorov. Bolo to tak vždy?

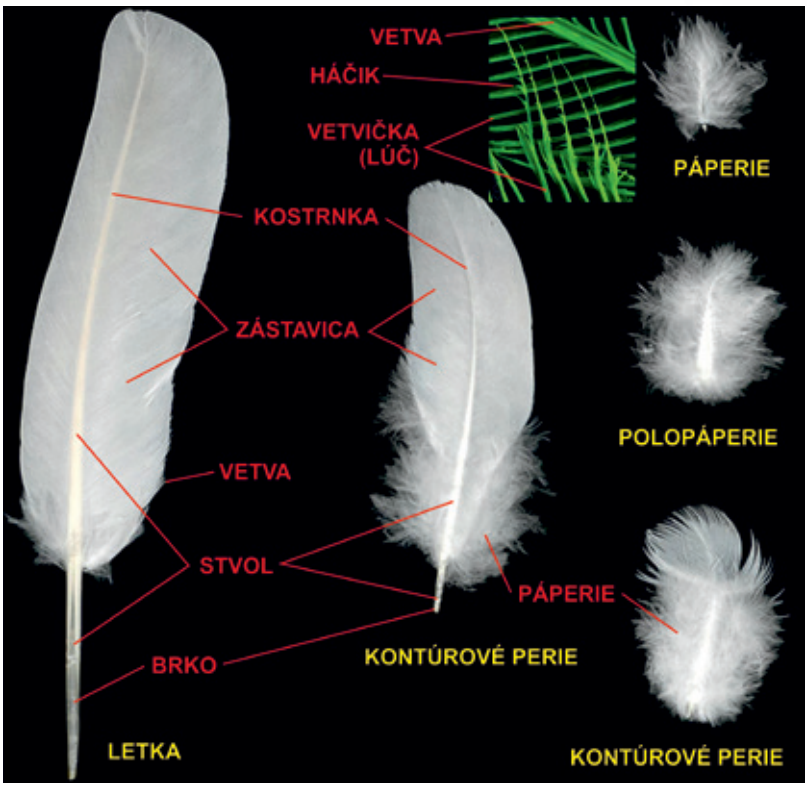
Nezvyčajný výrastok kože

Perie je rúrkovitý kožný výrastok schopný niekoľkoradového vetvenia. Najrozšírenejšie je obrysové perie tvorené centrálnym stvolom. Vrchná časť stvolu, ktorá má po oboch stranách zástavice, sa nazýva kostrnka. Spodná časť, ktorou je stvol ukotvený v koži, je brko. Zástavicu tvoria vetvy s menšími vetvičkami, ktoré sa končia háčikovitými útvarmi. Zástavica potom vznikne tak, že sa priľahlé vetvy háčikmi vzájomne spájajú do súvislej plochy. Samotný spôsob vetvenia je však variabilný a určuje výslednú podobu a vlastnosti peria. Je priam udivujúce, ako takáto rozvetvená štruktúra môže vzniknúť z plochej vrstvy kože. Tento malý zázrak je výsledkom biochemickej komunikácie medzi dvomi populáciami buniek: *epitelovými* (ektodermálneho pôvodu) a *mezenchymálnymi* (odvodenými z mezodermu a buniek neurálnej lišty).

Z epitelových buniek vzniká *pokožka* a z mezenchymálnych zasa *zamša,* časť ležiaca pod ňou. Počas embryonálneho vývoja začnú tieto dve bunkové populácie na niektorých miestach komunikovať. Výsledkom takéhoto medzibunkového *rozhovor*u je vytvorenie zhluku zamšových buniek a zhrubnutie nad nimi ležiacich pokožkových buniek do útvaru nazývaného *plakóda*. Takéto plakódy vznikajú len na určitých miestach povrchu tela dnešných vtákov. Vytvárajú *plakódové polia,* ktoré predurčujú miesta s perím. Ornitológovia označujú tieto miesta ako *pernice* a miesta, z ktorých perie nevyrastá, *holiny*.

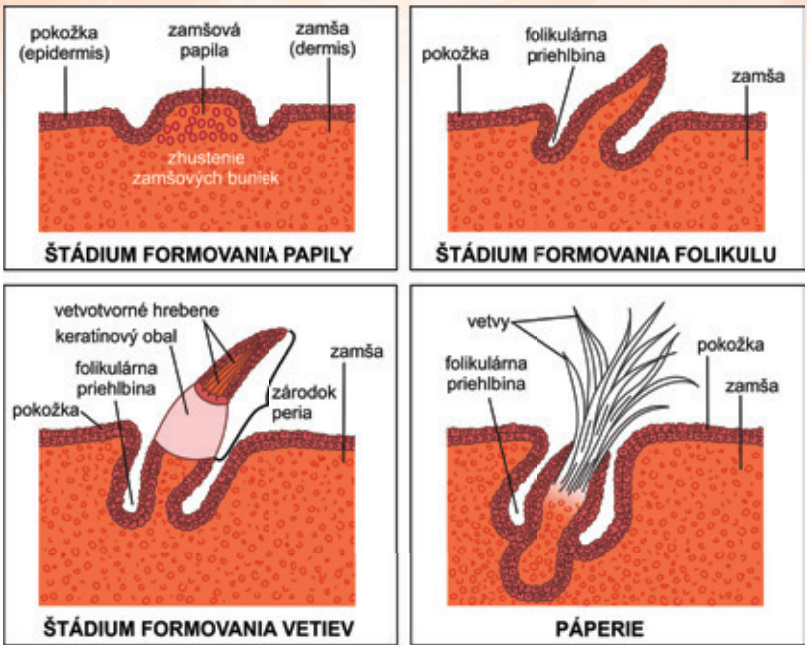
Pokožková plakóda a lokálne zhustenie zamšových buniek stoja za vznikom zárodku peria. Aktiváciou signálnych bielkovín si tento zárodok vytvára svoju vlastnú vnútornú organizáciu a začína rásť.

Predĺžením zárodku peria nad povrch tela vzniká *zárodočná papila peria*. V ďalšej fáze sa pokožková vrstva okolo spodnej časti papily zahĺbi do zamše a vytvorí *folikulárnu priehlbinu*. Tento moment je vo vývoji peria kritický pre ramifikáciu, čo je vznik zárodkov vetiev.



Štruktúra a najbežnejšie typy peria žijúcich vtákov
Foto: autor

Vývoj peria v zárodku je na prvý pohľad zložitý proces. Vzniká pôsobením niekoľkých génov. Ich vzájomným regulovaním sa premieňa súvislá vrstva pokožky tvoriacej stenu predĺženého kužeľa (zárodok peria) do komplexnej rozvetvenej štruktúry. Tieto gény majú rôzne poslanie v rôznych štádiách vývoja peria. Zmeny v časovaní ich



Základné vývojové štádiá peria
Ilustrácia: autor

pôsobenia môžu viesť k absencii peria alebo k vytváraniu kombinovaných (obrysové perie s páperím), netradičných (vlasové perie, hmatové perie) a rôznych iných foriem peria. Typy peria dnešných vtákov nie sú jedinými, ktoré v procese evolúcie vznikli.

Pôvod vtáčieho peria

Posledných desať rokov malo zásadný dosah na naše súčasné poznanie evolúcie peria. Toto poznanie sa opiera o sériu unikátnych nálezov z oblasti severovýchodnej Číny, kde sa vo vrchnojurských a spodnokriedových vrstvách objavilo veľa kostrových pozostatkov dinosaurov so skameneným perím. Objavy ďalších ešte stále pokračujú. Tento zvýšený záujem o perie vyvolal vlnu záujmu aj medzi vývojovými biológmi, ktorí ozrejmili základný molekulárny mechanizmus vzniku peria.

Prvým objaveným opereným dinosaurom bol *Sinosauropteryx prima* – prvý čínsky operený jašter. Jeho telo pokrývali tenké vláknité útvary 2 až 40 mm dlhé a 0,1 až 0,3 mm hrubé. Vedci sa začali sporiť o charaktere týchto útvarov. Pre jednu skupinu vedcov to bolo jednoduché vláknité perie a pre oponujúcu stranu to boli kolagénové vlákna z rozložených tkanív. Zásadný obrat nastal, keď sa zistilo, že tieto vláknité útvary obsahujú skamenené pigmentové vrecká melanínu, tmavého farbiva, ktoré sa nenachádzajú v kolagénových vláknach!

Vtáky teda podedili svoju mimoriadnu výsadu po svojich slávnych predkoch. Všetky typy peria známych dnešných vtákov mali už aj ich predchodcovia. Dinosaury sa však môžu pochváliť aj takým perím, ktoré by sme medzi dnešnými vtákmi už nenašli. Najpodivuhodnejšími sú rozličné formy takzvaného *membránového a páskovitého peria* plazopanvových dinosaurov a kožné stvolovité až vlasovité štruktúry vtákopanvových dinosaurov.

Dnes už je zrejmé, že sa niekoľkým skupinám dinosaurov – scansoriopterygidom, dromeosauridom a trodontidom spoločne s oviraptoridmi – vyvinulo dokonca kontúrové perie.

Mikroraptor (štvorkrídly dromaeosaurid) mal dokonca aj letky asymetrického tvaru, ktoré sú typické pre aktívne lietavé formy vtákov. Vlasovité perie pokrývalo aj alvarezsauridy, therizinosauridy, kompsognatidy, ba dokonca aj malé formy tyranosauridov. Aj keď nás ešte čaká dlhá cesta k evolučným počiatkom peria, nebude veľkým prekvapením, ak zistíme, že perie alebo periu podobné kožné útvary vznikli skôr ako samotné dinosaury.

Operili sme takmer všetky hlavné skupiny coelurosaurov a nevyzeralo to už na žiadne ďalšie senzácie. Čínski paleontológovia však radi prekvapia. Tentoraz operili aj blízkeho príbuzného tyranosaura!

Poldruhatonová sliepka

Keď v depozitári ústavu paleontológie stavovcov a paleoantropológie Čínskej akadémie vied rozložili všetky kamenné platne, vyzeralo to, akoby vydláždili nádvorie. Na týchto platniach sa nachádzala

takmer kompletná kostra deväť metrov dlhého dravého dinosaura *Yutyrannus huali* (125 – 130 mil. r.). Jeho meno je kombináciou mandarínskeho dialektu a latinčiny, a dalo by sa preložiť ako *pôvabný operený tyran*. Jasné znaky zrastov na lebke a kostre svedčia o dospelosti tohto jedinca. To sa však nedá povedať o ďalších dvoch exemplároch, ktoré patrili mláďatám toho istého druhu. Zatiaľ čo hmotnosť dospelého jedinca odhadujú vedci na 1,4 tony, obe mláďatá dosahovali približne tretinu jeho hmotnosti (569 kg a 493 kg). Ten najmenší bol pravdepodobne o 8 rokov mladší než dospelý jedinec. Uvedené nálezy prinášajú unikátnu príležitosť študovať zmeny vo vývoji tyranosauridov. Spôsob, akým rástla kostra u yutyrana sa však odlišoval od takej špecializovanej formy, akou je *Tyrannosaurus rex*. V porovnaní s rastom stehnovej kosti tyranosaura sa rast lopatky a bedrovej kosti yutyrana spomaľoval. Aj obmedzenie rastu holennej kosti a predpriehlavku bolo intenzívnejšie pri yutyranovi. Spomalenie rastu celého predlaktia je spoločnou črtou oboch. Prekvapujúcim znakom je vzduchom vyplnený čelový hrebeň formovaný voľne spojenou predčeľustnou a nosovou kosťou. Kostra yutyrana je kombináciou primitívnych a pokročilých znakov a poukazuje tak na *mozaikový charakter evolúcie* týchto gigantických predátorov.

Na mladšom jedincovi yutyrana sa v oblasti panvy a chodidla našli štruktúry známe ako *filamentózne (vlasovité) perie*. Najmladší jedinec mal 16 cm dlhé filamenty viditeľné v oblasti krku a pozdĺž ramennej kosti. Tieto nechýbali ani dospelému jedincovi! Nachádzali sa v blízkosti chvostových stavcov. Hoci sa už dlhšie špekulovalo, či mali veľké tyranosauridy perie, prevládal názor, že ho mali možno iba mláďatá. Nadobúdaním gigantických rozmerov sa perie pravdepodobne redukovalo.

Husté operenie dospelého yutyrana, hoci striktne preukázané zatiaľ len na chvoste, je pre mnohých prekvapením. Vychádzame z predstavy, že takéto nadrozmerné zviera by sa vystavovalo riziku prehriatia. V dôsledku gigantizmu sa zväčšuje celkový objem tela oveľa rýchlejšie než povrch tela. Takáto masa produkuje obrovské množstvo

nadbytočného metabolického tepla, ktorého sa zviera žijúce najmä v teplých klimatických pomeroch snaží zbaviť. Keby sme sa pridržali modelu dnes žijúcich veľkých cicavcov, potom by bola prítomnosť peria na yutyranovi nielen zbytočná, ale priam na obtiaž. Možné vysvetlenie ponúka paleoklimatológia.

Yutyranus žil v období, ktoré dnes označujeme za *najchladnejšie* počas celej kriedy. Priemerná ročná teplota miest, ktoré sú dnes západným Liaoningom (miesto nálezu yutyrana), sa odhaduje len na 10 °C. Husté operenie dospelého jedinca mohlo byť adaptáciou na tieto chladné klimatické pomery. Priemerná ročná teplota na tom istom mieste na konci kriedy bola už 18 °C. V takýchto teplotných podmienkach žila aj väčšia časť populácie tyranosaura, preto neskôr dospelé jedince už perie nemuseli mať, prípadne sa im zredukovalo. Výnimku by mohli tvoriť jedince, ktorých pozostatky sa našli pri polárnom kruhu. Za dôkazom sa budú musieť paleontológovia vydať opäť do nehostinného terénu. Yutyranus sa napriek istým pochybnostiam stáva *najväčším známym opereným* dinosaurom.

doc. RNDr. Martin Kundrát, Ph.D.
Centrum evolučnej biológie
Univerzita v Uppsale, Švédsko

Ďalšie ochorenia líšok – besnota to už nie je

Aj líšky majú svoje trápenia. Jedným z nich je malý parazit – pásomnica líščia (Echinococcus multilocularis), pôvodca jednej z najzávažnejších parazitárnych infekcií prenosných zo zvierat na človeka.

Človek a líška – rizikový vzťah?

Málokto si už pamätá časy, keď bola líška u nás taká vzácna, že poľovníkovi, ktorý ju ulovil, sa dostalo od jeho druhov výnimočnej pocty. Situácia sa výrazne zmenila. Líška hrdzavá (*Vulpes vulpes*) je najrozšírenejšou šelmou žijúcou v európskych lesoch, a niekedy, žiaľ, aj v mestách. Hlavným dôvodom tejto zmeny je úspešne zvládnutý program vakcinácie proti besnote, ktorá dovtedy regulovala početnosť líšok. Vakcináciou sa síce líščia populácia ozdravila a takmer zbavila besnoty (čo je, samozrejme, pozitívne aj z pohľadu verejného zdravia). Vysoká hustota a rozšírenie týchto zvierat však prispieva k šíreniu iných, najmä parazitárnych nákaz. Prvou z nich je každému známy svrab a tou druhou je **alveolárna echinokokóza**, ktorá mnohým znie exoticky.

Alveolárna echinokokóza sa v súčasnosti považuje za jedno z najzávažnejších parazitárnych ochorení prenosných zo zvierat na ľudí. Bola zaradená do kategórie infekcií, pri ktorých sa vyžaduje povinné monitorovanie vo všetkých krajinách Európskej únie. Prvé zmienky o nej pochádzajú ešte z čias starogréckeho lekára Hippokrata, ktorý pozoroval mechúrikovité štruktúry na pečeni zvierat aj ľudí. To, že ich pôvodcom je parazit, sa zistilo až oveľa neskôr – v 18. storočí.

Som malý, ale nebezpečný

Echinococcus multilocularis patrí medzi najmenšie pásomnice na svete. Dospelý jedinec dosahuje dĺžku iba 1,2 až 3,7 mm. Telo pásomnice sa skladá z *hlavičky*, na ktorej sú štyri prísavky a výstupok s dvomi radmi háčikov, z *krčka* a *článkov*. Články bývajú v počte dva až šesť a obsahujú samčie aj samičie pohlavné orgány. Posledný článok sa

Dospelá pásomnica (*Echinococcus multilocularis*)
Foto: autorka

označuje ako *zrelý* a pod lupou v ňom možno pozorovať maternicu vakového tvaru vyplnenú vajíčkami. V jednom zrelom článku sa môže nachádzať 100 až 1 500 vajíčok, ktoré odchádzajú trusom infikovaných zvierat, a tak zamorujú prostredie. Experimentálne sa zistilo, že 1 gram líščieho trusu môže obsahovať až 100 000 infekčných vajíčok!

Dospelá pásomnica žije v tenkom čreve rôznych mäsožravcov, predovšetkým líšok a psov. Medzihostiteľmi životného cyklu tohto parazita bývajú rôzne druhy drobných cicavcov, najmä hlodavce, ktoré sa nakazia vajíčkami pásomnice. Po tom, ako sa vajíčka dostanú do žalúdka medzihostiteľa, ich obaly sa natrávia a uvoľní sa z nich zárodok, odborne nazývaný *onkosféra*. Tá cez stenu žalúdka preniká do krvného obehu, ktorý ju zanesie do rôznych orgánov, predovšetkým do pečene. V nej sa zárodok usídli a ďalej sa vyvíja. Nasleduje larválne štádium, ktoré má podobu mechúrikov pozostávajúcich z veľkého počtu malých cýst. Pásomnica v larválnom štádiu ďalej rastie a prerastá celé tkanivo pečene. Najnebezpečnejšie pri tomto ochorení je, že z pôvodného ložiska v pečeni sa môžu odlučovať bunky, ktoré putujú krvou

a lymfou a usídľujú sa v ďalších orgánoch. Ide o tzv. metastázovanie, ktoré je typické pre nádorové ochorenia. Životný cyklus sa uzatvára, keď nakazeného hlodavca (medzihostiteľa) zožerie mäsožravec a v jeho čreve sa z larválneho štádia vyvíja znova dospelá pásomnica.

Človek v kolobehu

Z medicínskeho pohľadu je dôležité vedieť, že príležitostným hostiteľom *E. multilocularis* môže byť aj človek, ktorý sa nakazí náhodným požitím vajíčok vylúčených chorými líškami či psami. Napriek tomu, že človek nie je pravý hostiteľ a výskyt ochorenia u ľudí je v porovnaní s inými parazitárnymi infekciami nízky, predsa je tu niekoľko faktorov, ktoré enormne zvyšujú závažnosť alveolárnej echinokokózy. Inkubačná lehota infekcie (čas od nakazenia po objavenie sa prvých príznakov ochorenia) je veľmi dlhá – od 5 do 15 rokov. Po takejto dlhej dobe sú už chorobné zmeny v organizme vyvolané pôsobením parazita veľmi rozsiahle a ťažko liečiteľné. Navyše je liečba veľmi zložitá, nákladná a zväčša doživotná. Nezriedka treba prikročiť aj k transplantácii pečene.

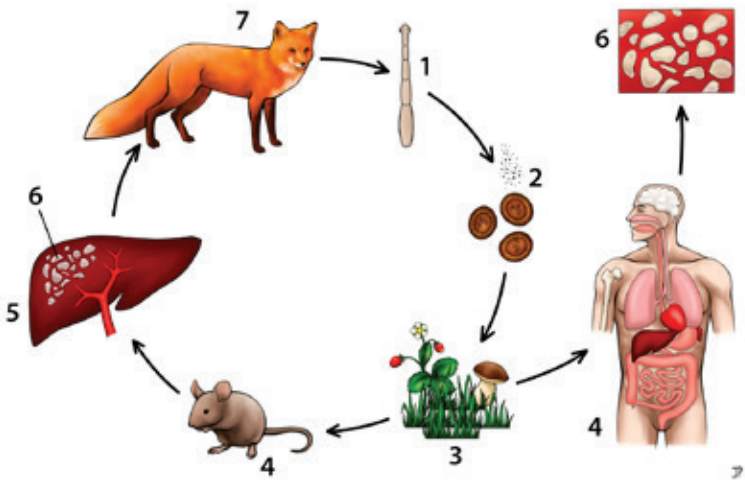
Putovanie pásomnice líščej Európou

Echinococcus multilocularis sa označuje za parazita chladnej klímy a je rozšírený iba na severnej pologuli. Vajíčkam vyhovuje vysoká vlhkosť a nízke teploty a za vhodných podmienok sú schopné po vylúčení trusom zotrvať v infekčnom stave až 240 dní.

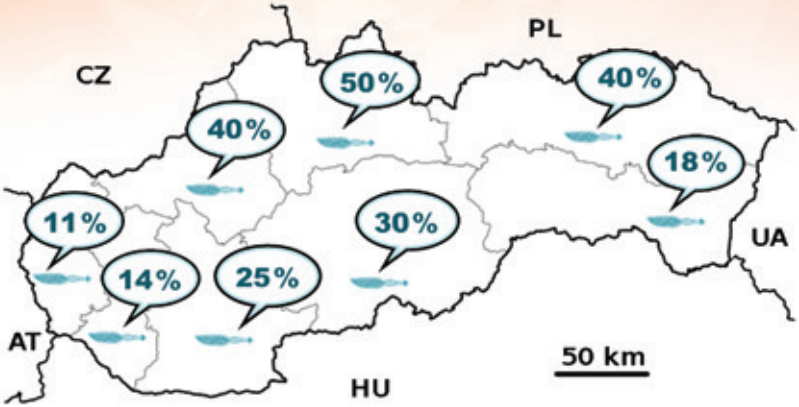
Dlho sa predpokladalo, že výskyt *E. multilocularis* v Európe je obmedzený iba na alpské oblasti Švajčiarska, Francúzska, Nemecka a Rakúska, kde sa už v druhej polovici 19. storočia pravidelne objavovali ľudské prípady infekcie. Až v sedemdesiatych rokoch 20. storočia sa začalo so systematickým vyšetrovaním mäsožravcov, ktoré odhalili nové oblasti výskytu pásomnice v týchto krajinách. Niekedy v deväťdesiatych rokoch minulého storočia a začiatkom tohto storočia *E. multilocularis* prekročil hranice ďalších európskych krajín – potvrdil sa výskyt nakazených líšok v Belgicku, Holandsku, Luxembursku, Poľsku, Česku, Maďarsku a roku

1999 aj na Slovensku. O rok neskôr, roku 2000, sme v Parazitologickom ústave SAV v Košiciach začali podrobnejšie monitorovať, kde na Slovensku sa tento parazit vyskytuje. V rámci tohto monitoringu sa doteraz vyšetrilo vyše päťtisíc líšok hrdzavých zo všetkých regiónov Slovenska. Pri pitve sme sa zamerali na tenké črevo, v ktorom dospelé pásomnice žijú, a zisťovali sme ich početnosť. Na základe týchto výskumov vieme povedať, že na Slovensku je nakazená približne každá tretia líška. Počet pásomníc v líščích črevách sa pohyboval od 1 po vyše 245 000 jedincov. Rekordérkou s takýmto vysokým počtom pásomníc v čreve bola líška ulovená v okrese Stará Ľubovňa na východnom Slovensku.

Náš výskum potvrdil, že parazit preferuje chladnejšie podnebie – oveľa vyššiu mieru nakazenia líšok sme zaznamenali v severnejších regiónoch krajiny, v Prešovskom, Žilinskom aj Trenčianskom kraji, v porovnaní s južnejšie položenými oblasťami. V mnohých okresoch



Životný cyklus pásomnice líščej
Pásomnica (1) vylúči trus spolu so zárodkom (2). Hlodavec, pasúci sa na tráve, zje infikované rastliny (3). Zárodok preniká cez stenu žalúdka do krvného obehu, ktorý ho zanesie do rôznych orgánov nakazeného medzihostiteľa (4), predovšetkým do jeho pečene (5). Medzihostiteľ ochorie: v jeho pečeni vznikajú cysty a prerastajú celé jej tkanivo. Životný cyklus sa uzatvára, keď ho mäsožravec zožerie (7), nakazí sa a v jeho čreve sa z larválneho štádia vyvíja znova dospelá pásomnica
Ilustrácia: autorka



Oveľa väčšiu mieru nakazenia líšok zaznamenali v severnejších regiónoch Slovenska – v Prešovskom, Žilinskom aj v Trenčianskom kraji – v porovnaní s južnejšie položenými oblasťami Slovenska
Ilustrácia: autorka

severného Slovenska sa nakazilo týmto parazitom dokonca viac ako 60 % vyšetrených líšok, čo predstavuje veľké riziko pre tu žijúcich ľudí. Navyše, viac ako polovicu územia Žilinského kraja tvoria národné parky a chránené krajinné oblasti, ktoré sú vyhľadávanými rekreačnými lokalitami Slovákov. Aj preto treba dbať na preventívne opatrenia týkajúce sa zvierat i ľudí.

Umývajte si ruky, prosím!

Aby sme sa dokázali vyhnúť ochoreniu, musíme poznať rizikové faktory. Z neznámeho dôvodu sa kedysi dávno ujala informácia, že pri prenose pásomnice líščej na človeka je najväčším rizikom konzumácia lesných plodov, predovšetkým čučoriedok, malín, černíc a húb, o čom nás každé leto presviedčajú médiá. Zvyčajne sa im tým podarí vyvolať medzi obyvateľmi paniku a zamestnanci Parazitologického ústavu potom čelia hysterickému davu konzumentov lesných plodov a ich žiadostiam o *okamžité vyliečenie*.

Ak sa však človek zamyslí, len veľmi ťažko si vie predstaviť líšku, ako kladie trus priamo na kriaky malín, černíc alebo aj čučoriedok, ktoré rastú nižšie pri zemi. Naopak, z početných epidemiologických štúdií, ktoré sa uskutočňovali v Nemecku a vo Švajčiarsku, kde sa alveolárna echinokokóza vyskytuje už dlhé roky, je zrejmé, že medzi najvýznamnejšie rizikové faktory patrí chov domácich mäsožravcov a poľovníctvo, čiže činnosti, pri ktorých človek priamo prichádza do styku so živými zvieratami alebo ich telami.

Preto by sme nemali zabúdať na to, že hostiteľom pásomnice môže byť popri líške aj pes, ktorý sa stáva potenciálnym prameňom infekcie pre svojho pána. Z tohto dôvodu je veľmi dôležité starať sa o pravidelné odčervovanie domácich zvieracích spoločníkov. Na druhej strane – odčervovanie líšok je síce možné a už aj odskúšané, ale vyžaduje veľké finančné prostriedky, a preto sa upustilo od jeho plošného využitia. Poľovníci, ale aj iní pracovníci v poľnohospodárstve a lesníctve by mali prísne dbať na osobnú ochranu pri manipulácii s ulovenými alebo uhynutými mäsožravcami.

Ďalšou ohrozenou skupinou sú záhradkári a turisti. V súčasnosti v mnohých európskych mestách dochádza k tzv. urbanizácii líšok. Líšky sa v čoraz hojnejšom počte zjavujú nielen v prímestských rekreačných oblastiach a v záhradkárskych kolóniách, ale aj v mestských parkoch či na detských ihriskách. Mnohí ľudia to dokonca považujú za *rozkošné*, prikrmujú ich a neuvedomujú si, že práve mohli byť pri zdroji infekcie.

Z toho vyplýva jediný záver: Riziko prenosu infekcie z najväčšej časti ovplyvňuje správanie ľudí, či už pri práci, alebo pri oddychových aktivitách v prírode. Ak sa na to pozeráme z tohto uhla, potom je prevencia alveolárnej echinokokózy jednoduchá. Stačí dodržiavať osobnú hygienu. Po manipulácii so zvieratami, živými či mŕtvymi, po práci v záhrade, ale najmä pred každou konzumáciou potravy je potrebné umyť si ruky (v sťažených podmienkach môžu poslúžiť vlhčené utierky). Plody zbierané v záhradke alebo v lese (a najmä zdvihnuté zo zeme) je nevyhnutné pred konzumáciou dôkladne umyť, prípadne tepelne upraviť.

Tieto preventívne opatrenia nesmieme zanedbávať. Hoci na ľudskú alveolárnu echinokokózu nezvykne ochorieť veľa ľudí, počet nakazených sa v Európe zvyšuje. Svedčí o tom aj situácia na Slovensku – prvý prípad ochorenia človeka bol diagnostikovaný roku 2000. Odvtedy pribudlo ďalších vyše tridsať prípadov.

V súčasnosti sa pásomnica líščia vyskytuje takmer vo všetkých krajinách západnej a strednej Európy. Naposledy, teda roku 2011, ju zaznamenali už aj vo Švédsku. Svoju púť však *Echinococcus multilocularis* pravdepodobne ešte neskončil – zatiaľ nedošiel do Fínska, Nórska, Veľkej Británie a Írska. Koľko času bude na to potrebovať?

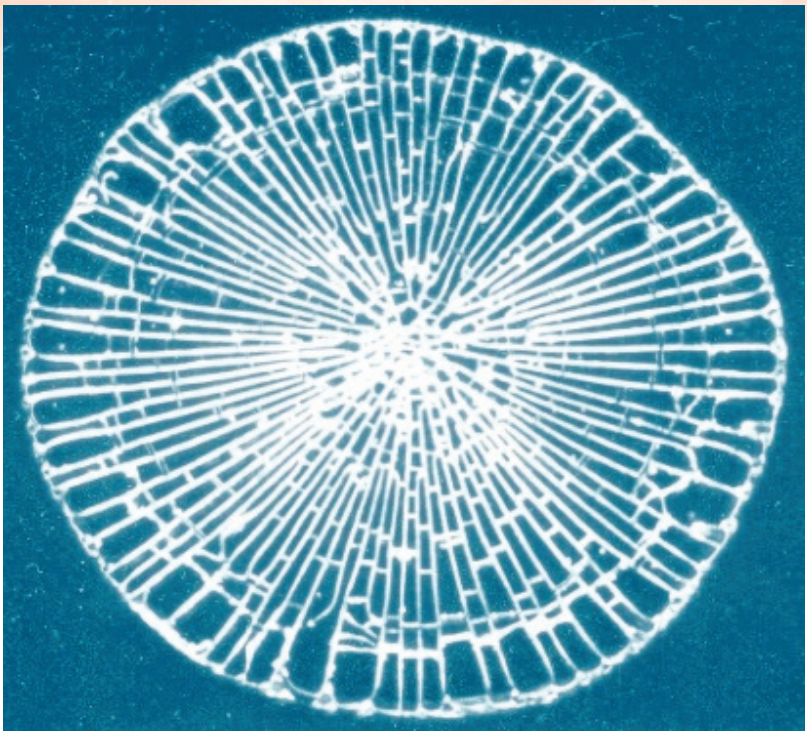
MVDr. Martina Miterpáková, PhD.
Parazitologický ústav Slovenskej akadémie vied, Košice

Novodobá liečiteľka včela

Jedným zo starodávnych prostriedkov, ktorými sa ľudia chránia pred prechladnutím, virózami a ďalšími chorobami, je med a ďalšie včelie produkty.

Ľudia poznajú med už tisícročia. V minulosti bol veľmi vzácny (získaval sa od divých včiel) a používal sa najmä pri liečbe rôznych ochorení. Dodnes je med zložkou zdravej výživy všetkých vekových skupín obyvateľstva. Našiel svoje uplatnenie pri chorobách srdca, pečene, obličiek, žalúdka a čriev; pri zápalových ochoreniach dýchacích ciest účinkuje ako antibiotikum, využíva sa pri liečení kožných a očných ochorení. Tajomstvom opradená materská kašička, potrava včelej kráľovnej, má mnohoraké liečivé účinky a záhadou je jej vplyv na predĺženie mladosti a na dlhovekosť. Zaháňa únavu a vyčerpanosť, obsahuje špecifické rastové a vitálne faktory, ktoré pôsobia ako biokatalyzátory pri bunkovej obnove. Včelí peľ je tiež veľmi účinný výživový doplnok s antioxidačnými účinkami. Propolis, pripomínajúci živicu, používajú včely na dezinfekciu a vypĺňajú ním drobné netesnosti (škáry) v úli. Získavajú ho z púčikov stromov a z rôznych výlučkov rastlín. Flavonoidy, ako aj ďalšie aromatické látky rastlinného pôvodu prítomné v propolise majú významné antibakteriálne, protiplesňové a protivírusové vlastnosti. Tento včelí tmel ľudia oceňujú pre jeho antibiotické účinky a najnovšie sa zistilo, že pôsobí proti HIV (proti aidsu). Včelí jed zmierňuje zápal, používa sa najmä na liečbu kĺbových ochorení (pri reume a artritíde).

Napriek existencii vedeckej literatúry a novým dôkazom pretrváva v odbornej lekárskej komunite skepticizmus a nedôvera k účinnosti včelích produktov i k liečbe pomocou nich. Problém spočíva v tom, že doteraz nie sú presne definované účinné látky a najmä nie sú dostupné údaje o množstve danej účinnej látky vo včeľom produkte.



Sieťovitá štruktúra apalbumínu 1
Vytváranie pavučinových nanoštruktúr apalbumínu 1 využíva včela pri zbere a spracovávaní kvetového peľu na obnôžkový peľ
Foto: Jozef Šimúth

Včely vo vede

Oddelenie molekulárnej apidológie (náuke o včelách) v Ústave ekológie lesa SAV vo Zvolene sa zameriava na výskum včiel a ich produktov. Systematický molekulárno-biologický výskum tohto oddelenia preukázal, že najdôležitejšou účinnou zložkou včelích produktov sú včelie bielkoviny. Najviac ich obsahuje materská kašička. Tieto špecifické bielkoviny zabezpečujú okrem výživy pre vyvíjajúci sa včelí plod aj ochranu pred rozličnými pôvodcami chorôb (vírusmi, baktériami, plesňami...). Vzhľadom na to, že včely *protekčne* produkujú materskú

kašičku ako mimoriadne výživnú potravu pre včeliu kráľovnú, matku rodu, môžeme ju nazvať prírodným zázrakom. Hlavná bielkovina materskej kašičky **apalbumín 1** hrá navyše dôležitú úlohu pri spracovaní nektáru na med a pri spracovaní kvetového peľu na obnôžkový. Včela po prílete na kvet striasa prudkými pohybmi peľ z jeho peľových vačkov, až je ním takmer celá obsypaná. Potom si ho z kožúška posúva výlučkami slinných žliaz, ktoré obsahujú apalbumín 1, formuje ho do hrudiek a ukladá do peľových košíčkov na zadných nohách. Po prílete do úľa ho ďalej spracováva a ukladá do plástu. Takto si pripravuje svoj *včelí chlieb.*

Výskum oddelenia molekulárnej apidológie naznačuje, že špecifické *včelie* bielkoviny vplývajú aj na imunitný systém vyšších živočíchov. Podnecujú tvorbu cytokínov (látok zodpovedných za riadenie vlastnej obrany organizmu proti infekciám). Požívanie medu teda podporuje odolnosť ľudí proti chorobám. Antibiotické vlastnosti medu a jeho vlastnosti podporujúce imunitu spolu so schopnosťou apalbumínu 1 vytvárať unikátne sieťovité nanoštruktúry vysvetľujú jeho účinok a použitie pri liečení popálenín a aj ťažko sa hojacich rán.

Náš výskum teda priniesol originálne poznatky o antibiotických a imunostimulačných vlastnostiach včelích bielkovín a o peptidoch, ktoré majú uplatnenie v prevencii včelstiev proti chorobám. Veľký význam majú aj pri exaktnom využití liečivých účinkov materskej kašičky a medu – pri liečení ľudí. Naše oddelenie prispelo k rozvoju vedeckého poznania v apidológii výsledkami riešenia troch rámcových projektov Európskej únie, ako aj účasťou na riešení projektu sekvenovania včelieho genómu. V rámci spoločného „Partner Group“ projektu nášho oddelenia s Ústavom Maxa Plancka pre molekulárnu genetiku v Berlíne sme vytvorili spoločné laboratórium pre funkčnú genomiku včely.

Včelie gény

Po ukončení sekvenovania včelieho genómu sme prekvapivo zistili, že v porovnaní s ostatnými, doteraz skúmanými druhmi hmyzu (vínna muška, komár, priadka morušová) má včela iba malý počet génov.

Obnôžkový peľ
Foto: autorka

S genetickou výbavou, ktorú má k dispozícii, však vie veľmi ekonomicky narábať. Výsledky nášho výskumu dokazujú, že vie premieňať výživové bielkoviny materskej kašičky tak, aby sa zmenila ich funkcia: napríklad nadobudnú antibiotické účinky alebo vplývajú na zvýšenie imunity. Tento predpoklad podporuje aj ich prirodzená funkcia vo včelstve, kde hlavné bielkoviny materskej kašičky zabezpečujú včelej larve potrebnú výživu, no môžu odštartovať aj obranné mechanizmy; počas vývoja larvy vedia dokonca ovplyvniť fenotypické znaky včely. To znamená, že bielkoviny materskej kašičky majú napríklad vplyv na to, či sa z geneticky rovnakého vajíčka vyvinie včelia kráľovná, alebo včelia robotníčka.

Samoliečenie včiel

Podobne ako iný hmyz či živočíchy aj včely môžu byť choré, vedia sa však liečiť samy. Mnohé liečivé látky si berú z rastlín, z *prírodnej lekárne*. Navyše sú schopné vytvárať vlastné antibiotiká. Zistili sme napríklad, že včelí peptid *royalizín* pôsobí proti rastu *Peanebacillus larvae,* pôvodcovi závažného ochorenia včiel – moru včelieho plodu. Nielen materská kašička, ale aj med obsahuje antibiotické včelie bielkoviny a peptidy, ktoré sú perspektívnou náhradou antibiotík pri liečení včelstiev proti mikrobiálnym patogénom. Predstavujú novú generáciu bielkovinových antibiotík pôsobiacich aj na baktérie odolné proti viacerým druhom antibiotík, ktorými sa liečia ľudia.

Podmienka liečenia medom

Základnou podmienkou na využitie účinných látok obsiahnutých vo včelích produktoch v praktickej medicíne je určenie ich množstva. Naše oddelenie vyvinulo originálnu metódu na kontrolu pravosti včelieho medu, opierajúcu sa o množstvo hlavnej bielkoviny materskej kašičky – apalbumínu 1. Je to prvá metóda, ktorou sa pravosť medu posudzuje podľa toho, čo musí obsahovať, aby sa mohol označiť ako včelí produkt. Zistili sme, že množstvo apalbumínu 1 má významný vplyv na kvalitu

medu a závisí od druhu rastlín, z ktorých včely pozbierali nektár. Metóda je vhodná nielen na zisťovanie falšovania medu a včelích produktov, ale aj ako dôkaz prítomnosti medu a včelej materskej kašičky v potravinárskych, farmaceutických i v kozmetických produktoch.

RNDr. Katarína Biliková, PhD.
Oddelenie molekulárnej apidológie
Ústav molekulárnej ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, Zvolen

Za vzácnymi objavmi hľadajte košických zoológov

Vedci odhadujú, že na celom svete existuje približne 7,7 milióna druhov živočíchov. Už to je pre laika neuveriteľný počet. Ešte zaujímavejšia je však informácia, že z tohto počtu poznáme približne len dvanásť percent živočíchov.

Noví jaskynní obyvatelia

Zdalo by sa, že nové druhy objavujú vedci takpovediac na bežiacom páse. Nie je to však tak, pretože väčšina zatiaľ neznámych živočíchov žije buď v hlbinách oceánov, alebo v rozsiahlych tropických pralesoch či iných, zatiaľ neprebádaných oblastiach sveta. V dobre *preskúmanej* Európe objavia vedci nové druhy živočíchov len zriedka. Aj preto je mimoriadne cenný objav, ktorý si na svoje konto pripísali zoológovia Prírodovedeckej fakulty Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach. V spolupráci s pracovníkmi Správy slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši objavili v jaskyniach na Slovensku tri nové druhy jaskynných živočíchov. Ide o drobných zástupcov bezkrídleho hmyzu zo skupiny chvostoskokov, ktorých vedecké názvy sú *Megalothorax hipmani*, *Megalothorax carpaticus* a *Megalothorax tatricus*.

Jaskynné chvostoskoky

Nájsť tieto nové druhy živočíchov vyžadovalo skutočne mimoriadnu pozornosť či vnímavosť vedcov, pretože merajú približne len pol milimetra. Tvar tela nových druhov bezstavovcov jednoznačne naznačuje, že ide o adaptované jaskynné formy, ktorých vývoj v podzemí trval pravdepodobne aj niekoľko desiatok miliónov rokov. Novoobjavené živočíchy majú zreteľne predĺžené končatiny a povrch ich tela pokrýva množstvo zmyslových chĺpkov nahrádzajúcich zrak. Na konci kráčavých nôh majú predĺžené pazúriky, ktoré im umožňujú ľahší pohyb po klzkom povrchu a po hladine vody. Tieto živočíchy poskytujú

jeden z ďalších dôkazov, že aj v našich jaskyniach prebiehal vývoj špecializovaných jaskynných živočíchov podobne ako v južnej Európe. Prispôsobili sa výhradne tomuto typu prostredia a v inom prostredí nedokážu prežiť. Novoobjavené druhy chvostoskokov sa živia prevažne mikroskopickými hubami. Preto sú súčasťou potravnej siete, ktorá v jaskyni zabezpečuje rozklad naplaveného lístia a dreva či trusu netopierov na jednoduchšie formy. Samo prostredie jaskyne so špecifickými podmienkami – rovnomernou teplotou prostredia, vysokou vlhkosťou vzduchu a relatívne obmedzenými zdrojmi potravy – kládlo na živočíchy podmienky, ktorým sa museli prispôsobiť. Teplota vzduchu sa v našich jaskyniach pohybuje najčastejšie v rozmedzí 5 až 10 °C a vlhkosť vzduchu býva často až stopercentná. Súčasný biospeleologický výskum na Slovensku prináša postupne viacero objavov nových jaskynných druhov aj v iných skupinách bezstavovcov.

Zber šťúroviek v jaskyni
Foto: autor

Šťúrovky na Slovensku

Po objave troch nových jaskynných živočíchov – chvostoskokov si košickí zoológovia pripísali na svoje konto ďalší objav. Týka sa významného zistenia o potrave šťúroviek – drobných pavúkovcov zo skupiny *Palpigradi*, ktorých výskyt na Slovensku, konkrétne v Ardovskej jaskyni v Slovenskom krase, zdokumentovali ako prví približne pred pätnástimi rokmi. Šťúrovky patria medzi najstarších zástupcov pavúkovcov, ktoré podľa skromných fosílnych záznamov obývajú našu Zem už približne 300 miliónov rokov. Doteraz sa predpokladalo, že sú to dravé živočíchy – rovnako ako väčšina ostatných pavúkovcov.

Tieto drobné slepé a biele živočíchy majú podlhovasté telíčko dlhé 1,5 – 2 mm.

V stavbe ich tela nachádzame viacero primitívnych znakov: hryzadlá pri ústnom otvore sú článkované, hmatadlá sú predĺžené a podobajú sa na nasledujúce štyri páry nôh. Bruško sa končí vzadu dlhým článkovaným bičíkom s množstvom zmyslových chĺpkov. Týmto bičíkom pohybujú smerom nahor alebo do strán a pri pohybe sa pomocou neho orientujú. Na podobný cieľ slúži aj prvý pár kráčavých nôh, ktoré sú najdlhšími končatinami a plnia podobnú funkciu ako tykadlá hmyzu. O biológii šťúroviek sa zatiaľ veľa nevie. Kladú jedno až dve vajíčka, ale nepoznáme spôsob ich rozmnožovania. Viackrát sme zaregistrovali výskyt samčeka a samičky v blízkosti seba na povrchu hladiny jazierok, kde sa zrejme aj rozmnožujú. Počas života prechádzajú viacerými štádiami, pričom sa postupne zväčšuje aj veľkosť ich tela. Nikdy sme však nespozorovali ich zvliekanie.

Pochutnávajú si na siniciach

Šťúrovky nájdeme bežne v pôdach tropických lesov, v Európe sa vyskytuje 28 druhov, 80 percent z nich však výlučne iba v jaskyniach. V jaskyniach na našom území sa vyskytuje iba jediný druh *Eukoenenia spelaea*, ktorý je veľmi vzácny. Tieto drobné živočíchy u nás totiž bežne nežijú, vedci sa teda snažia zistiť, čo ich výskyt limituje. Ardovská

Šťúrovka *Eukenenia spelaea* na hladine sintrového jazierka v Ardovskej jaskyni (Slovenský kras)
Foto: autor

jaskyňa je teda zjavne niečím špecifická a zoológovia by radi zistili, čo je to. Mali veľké šťastie, že začali robiť výskum práve v tejto jaskyni v blízkosti Domice, kde sa šťúrovky vyskytujú v hojnejšom počte v sedimentoch bohatých na organickú zložku.

Tím z katedry zoológie totiž nedávno zistil, že ústne ústroje šťúroviek nie sú hryzavé, ale plnia skôr funkciu akýchsi hrebienkov, ktorými si zbierajú potravu – drobné čiastočky z povrchu usadenín. Pomocou jedného z najmodernejších konfokálnych mikroskopov, ktorý majú k dispozícii na pracovisku v Košiciach, sa podarilo zistiť prítomnosť siníc v tráviacom trakte týchto pavúkovcov. Nie je však vylúčené, že šťúrovky kombinujú viaceré druhy potravy. Prítomnosť siníc v ich tele je však aj napriek tomu veľmi prekvapivá. Jaskynné pavúkovce podľa všetkého aktívne vyhľadávajú sinice v sedimentoch jaskýň a živia sa nimi.

Tvrdenie slovenských vedcov sa zatiaľ zakladá iba na anatomickom pozorovaní obsahu tráviaceho traktu šťúroviek. Prekvapivé je to najmä preto, lebo sinice patria medzi takzvané *autotrofné organizmy*, ktoré pre svoju existenciu potrebujú denné svetlo. Ich prítomnosť v jaskynných sedimentoch aj vo väčších vzdialenostiach od vchodu si vysvetľujú tak, že sa do vnútra jaskyne dostali ponornými vodami alebo vodami presakujúcimi z povrchu.

doc. RNDr. Ľubomír Kováč, CSc.
Katedra zoológie
Ústav biologických a ekologických vied Prírodovedeckej fakulty UPJŠ, Košice

Moderné vyhľadávanie škrkaviek

Škrkavky určite nepatria medzi obľúbené témy pri stolovaní. Napriek tomu sú súčasťou nášho života a dokážu ho pekne znepríjemniť. Vieme sa im vyhnúť?

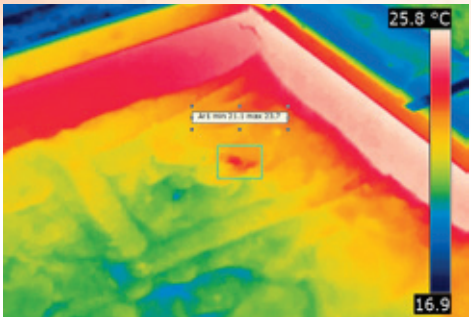
Škrkavky nie sú v našom živote nijakou zvláštnosťou. Môžeme ich vidieť pri čistení čriev počas domácej zakáľačky alebo pri riešení problémov svojich psích či mačacích miláčikov.

Ako ich spoznáme?

Škrkavky sú oblé biele červy, ktoré v dospelosti dorastajú do dĺžky až 40 cm. Parazitujú v tenkom čreve. Patria k najčastejším parazitom zvierat i ľudí, najmä mláďat a detí. Poznáme veľa druhov špecifických pre konkrétny druh či skupinu zvierat. Inými slovami, každý druh má svoju škrkavku. Napríklad človek má škrkavku detskú, odborne nazývanú *Ascaris lumbricoides*. Domáca ošípaná má škrkavku prasaciu – *Ascaris suum*, krava má tiež vlastnú škrkavku – *Neoascaris vitulorum*, pes škrkavku psiu – *Toxocara canis* a mačka škrkavku mačaciu – *Toxocara felis*. Dokonca aj hydina má svoju škrkavku – *Ascaridia galli*. Spoločným znakom všetkých škrkaviek je, že sa šíria potravou alebo vodou znečistenou výkalmi nakazených zvierat či ľudí. Ochrana pred škrkavkami je vždy otázkou hygieny rúk a prostredia.

Komplikované rozmnožovanie

Pripomeňme si, ako sa tento parazit rozmnožuje. Dospelá škrkavka žijúca v čreve svojho hostiteľa vylučuje vajíčka do črevného obsahu, ktoré sa výkalmi dostávajú do vonkajšieho prostredia. Vo vajíčku sa asi za 4 týždne vyvinie larva a čaká. Vo vonkajšom prostredí tak dokáže prežívať mesiace, dokonca niekoľko rokov. Ak sa takéto vajíčko dostane do tela nového špecifického hostiteľa, v čreve sa z vajíčka vyliahne larva, ktorá sa zavŕta do steny čreva a krvou sa dostane do pečene a rôznych orgánov.



Detailnejší pohľad do pieskoviska
Foto: Ondrej Ragač

Pre vývin škrkavky je dôležité dostať sa do pľúc, kde sa ďalej vyvíja a rastie. Dráždenie pľúc vyvoláva tvorbu hlienu a kašeľ. Larvička dorastie do tretieho štádia a vykašľaným hlienom sa dostáva do ústnej dutiny a prehltnutím opäť do žalúdka a čreva. Tam potom dorastie na dospelého červa – na samičku alebo samčeka. Samička je väčšia a mohutnejšia a môže dosiahnuť dĺžku 3 až 40 cm. Táto tzv. črevno-pečeňovo-pľúcna (entero-hepato-pulmonálna) cesta ovlpyvňuje ďalší vývin škrkavky.

Pre človeka je okrem škrkavky ľudskej nebezpečná aj škrkavka psia a mačacia. Keď vajíčko s čakajúcou larvou prehltne človek, vyliahne sa rovnako ako škrkavka detská. Cez črevnú stenu sa dostane do krvného obehu a krvou sa dostane do rôznych orgánov, do svalstva, pečene, mozgu či oka. Jej ďalší vývin sa v tele človeka, ktorý nie je špecifický hostiteľ, zastaví, no v mieste lokalizácie larva dráždi okolité tkanivo. Nebezpečná je najmä očná forma, pretože môže spôsobiť zápal oka až slepotu. Ochorenie sa nazýva *larválna toxokaróza*; putujúca larvička dostala odborný názov *larva migrans visceralis*.

Ako sa môže nakaziť človek?

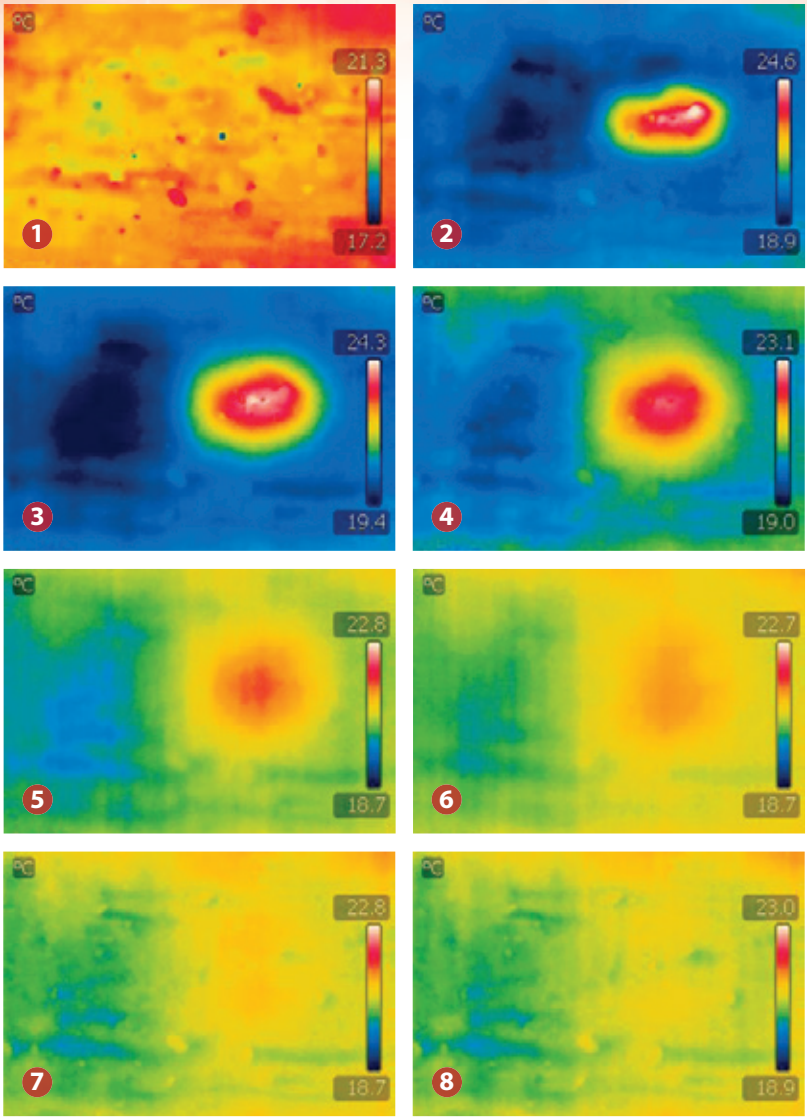
Opäť potravou znečistenou výkalmi nakazených zvierat. Ohrozené sú najmä deti. Medzi pacientmi s larválnou toxokarózou je až 50 % detí do 6 rokov. Nakaziť sa môžu na miestach, kde sú pôda alebo piesok znečistené trusom psov a mačiek. Keď sa prejdeme po našich mestských parkoch, s hrôzou zisťujeme znečistenie psím trusom. Stačí vyjsť pred panelák na sídlisku a priam musíme kľučkovať dokonca aj po chodníku, aby sme nešliapli do výkalov. Hoci majitelia zväčša svoje doma chované psy pravidelne odčervujú, sú aj výnimky, najmä medzi šteniatkami.

Asi 10 až 15 % psích výkalov v mestských parkoch bežne obsahuje vajíčka škrkaviek. Na daždi a slnku sa po čase výkaly rozpadnú a vajíčka sa ocitnú v pôde či na listoch trávy. Kosačky ich potom rozmetajú po blízkom okolí.

Inak je to s mačacími škrkavkami. Mačky svoje výkaly zahrabávajú do sypkej pôdy, s obľubou do piesku v detských pieskoviskách. Každý chovateľ mačiek vie, že doma potrebuje nádobu s pieskom. Keďže *pieskoviskové* mačky sú zväčša túlavé, unikajú veterinárnej kontrole a pravidelnému odčervovaniu, a práve ony sú veľmi často šíriteľkami larválnej toxokarózy ľudí. Naše výskumy odhaľujú, že miestami až do 30 % detských pieskovísk v krajských mestách je zamorených vajíčkami škrkaviek. Je to varovné zistenie. Dieťaťu, ktoré sa hrá v piesku holými rukami, zájde piesok za nechty... Stačí už len trocha nepozornosti. Oblizne si ruku, vezme si neumytými rukami maškrtu a je to.

Vajíčka psích a mačacích škrkaviek sú na nerozoznanie podobné. Ťažko ich odlíšiť a tak potvrdiť, kto je ich pôvodcom. Keď ochoriete, je vám to jedno, pretože oboje spôsobujú rovnaké ochorenie a príznaky, no z hľadiska epidemiológie a prevencie je to dôležité. Psie výkaly na vyšetrenie prítomnosti vajíčok škrkaviek môžeme nazbierať priamo na ulici či v parku, získať mačacie je však problém. Tie sú utajené pod niekoľkocentimetrovou vrstvou piesku či sypkej pôdy.

Ak sa v niektorom meste zvyšuje počet pacientov s larválnou toxokarózou, tak na zistenie zdroja a prameňa infekcie je dôležité, či sú príčinou psy, alebo mačky. No na vine môžu byť aj iné zvieratá. Do miest z periférnych lesoparkov prenikajú líšky, túlavé psy aj mačky, ale aj naopak – psy aj mačky vychádzajú na okraj obcí, kde majú kontakt s divo žijúcimi hostiteľmi škrkaviek. Kým túlavé psy vieme pomerne ľahko odchytiť a umiestniť v útulkoch, kde sa o ne postarajú veterinárni lekári, s túlavými mačkami je to zložitejšie. Ich stopy po nočnej návšteve pieskoviska nemožno vždy odhaliť, aj keď ich zanechajú. Dá sa prehrabať a preosiať piesok v pieskovisku a výkaly nájsť. Stačia na to husté hrabličky alebo veľká riečica. Takto za týždeň možno preosiať aj niekoľko desiatok pieskovísk. Žijeme však v technicky vyspelom svete, a tak prichádza na pomoc technika.



Obrázky z pieskoviska zachytené termovíznou kamerou
S pribúdajúcim časom sa teplota vzorky (párka) a okolitého piesku vyrovnala, až nakoniec tepelná stopa po 45 minútach úplne vymizla
Foto: Ondrej Ragač

Využitie termovízie

Trus mačky zahrabaný do sypkej pôdy alebo piesku má začiatočnú teplotu približne 39 °C. Vyžiari ju do okolitého substrátu a zohreje ho. Citlivá termovízna kamera ho zaregistruje už o niekoľko minút ako žltočervený bod, ktorý sa zväčšuje až do priemeru asi 15 cm a svoju tepelnú stopu si udrží v teplých letných dňoch pri teplote okolo 23 °C asi 60 minút. Na overenie sme urobili malý experiment. Do hĺbky 2 cm sme zahrabali 6 cm dlhý párok zohriaty na teplotu 39 °C. Termovíznou kamerou sme ho po 5 minútach kontrolovali. (Na obrázkoch sú zreteľné ako jasné farebné škvrny meniace farbu a veľkosť.) Táto tepelná stopa sa udržala asi hodinu, do 45 minút veľmi jasne. Sofistikovaná kamera vie automaticky zachytiť a vyhodnotiť toto spektrum a určí aj čas, kedy bol trus zahrabaný. Keby sme v nočných hodinách s touto kamerou skontrolovali detské pieskoviská a ich blízke okolie v hodinových intervaloch, poľahky by sme nazbierali dostatok materiálu na parazitologické vyšetrenia mačiek. A bez veľkého preosievania piesku.

Hľadanie mačacích výkalov v piesku pomocou termovízie je na praktickú ochranu pieskovísk príliš drahé, ale možné. Výhodné je použiť termovíziu pri epidemiologickom výskume na získanie dostatočného počtu vzoriek a zistenie nakazenia túlavých mačiek v mestách či na vidieku. Keďže mačky sú aktívne predovšetkým v noci, pomocou termovízie vieme zachytiť aj samotné zvieratá. Dokonca aj akýkoľvek iný čerstvý výkal vytvorí na termograme jasnú, evidentnú stopu. Odhalí tiež ležovisko, na ktorom ešte pred chvíľou oddychovalo zviera. Alebo zviditeľní jeho úkryt. Možnosti využitia termovízie aj v parazitológii sú veľké a zatiaľ pomerne nepoznané.

doc. MVDr. Branislav Peťko, DrSc., RNDr. Ingrid Papajová, PhD.
Parazitologický ústav SAV, Košice

Bunkové steny rozhodujú

Rastlinná bunková stena je orgán, ktorý určuje tvar bunky a plní rozhodujúcu úlohu v jej raste a delení. Chráni ju pred nepriaznivými vplyvmi okolia a bráni choroboplodným mikroorganizmom preniknúť do jej vnútra. Na tejto úrovni sa zvádza boj, ktorý rozhodne, či rastlina odolá, alebo ju zničia nepriatelia – fytopatogény.

Hlavnými zbraňami oboch znepriatelených strán v tomto boji sú bielkoviny ako výsledok dlhodobého vývoja. Biochemické a genetické štúdie tohto súboja ukazujú, že objektom vzájomného ničenia jednej i druhej strany, hostiteľa i nepriateľa, sú základné stavebné zložky bunkových stien – polysacharidy, cukry: celulóza, hemicelulóza, pektín a lignín. V rôznom pomere ich nájdeme zastúpené vo všetkých rastlinách. Čím je štruktúra bunkovej steny zložitejšia, tým lepšie odoláva mikroorganizmom. Tie si však aj napriek tomu nachádzajú spôsob, ako sa dostať k dobrému sústu.

Nepriateľ útočí!

Plesnenie zeleniny, zemiakov alebo obilia je nepríjemným znehodnotením práce poľnohospodárov a niekedy aj časti úrody v záhradke. Neviditeľné napadnutie rastlinného tkaniva plesňou či hubou sa začína priľnutím poletujúcej spóry. Spóra klíči smerom do bunky a pritom vylučuje do rastlinnej bunkovej steny celý rad enzýmov. Ich úlohou je štiepiť v stenovej štruktúre reťazce celulózy, pektínu a hemicelulózy. Takýmto spôsobom sa spóra ako útočník snaží kolonizovať svoju obeť a zabezpečiť si zdroj výživy a energie. Útočník už na svojej ceste cez bunkovú stenu zužitkuje časti cukrov a prerastaním dovnútra sa dostáva k aminokyselinám, nukleotidom a minerálnym látkam, ktoré potrebuje na svoj rast a existenciu.

Proces invázie mikroorganizmu do rastlinného tkaniva prebieha postupne. Prechádza cez štádium prieskumu až po riadny útok. Bunky

útočníka vysielajú do prostredia najrôznejšie enzýmy a tie, keď natrafia na živné prostredie, ho štiepia. Mikrobiálna bunka sa správa mimoriadne ekonomicky – produkuje iba tie enzýmy, ktoré momentálne potrebuje.

V prírode sú rastliny vystavené náporu obrovského množstva mikroorganizmov, z ktorých sa iba niektorým podarí nad rastlinou zvíťaziť. S väčšinou si rastlina poradí vďaka nesmierne zložitej štruktúre svojej bunkovej steny, ale aj mobilizáciou obranných procesov. Tie sú namierené buď proti bunkovým stenám patogénu, alebo proti enzýmom, ktorými si patogén razí cestu do tkaniva. Ak to obranné mechanizmy nezvládnu, rastlina hynie.

Obranné reakcie rastliny

Na zbrane útočníka, ktoré narúšajú celistvosť bunkovej steny, odpovedá rastlinná bunka viacerými spôsobmi. Prvým je zvýšená rýchlosť obnovy stenových polysacharidov v mieste útoku – akési rýchle plátanie diery. Druhým je výroba bielkovín vrátane enzýmov, ktorých úlohou je rozložiť bunkové steny útočníka, a tým ho aj likvidovať. Rastlina odpovedá teda podobnými zbraňami. Ak útočník produkuje kyslé zbrane, rastlina ho neutralizuje zásaditými v mieste útoku.

Foto: Katarína Matejíčková

Okrem týchto zbraní, ktoré majú privodiť smrť bunkám útočníka, infikované rastlinné bunky produkujú bielkoviny, ktoré sa viažu priamo na niektoré enzýmy mikroorganizmu, a tak blokujú ich aktivitu.

Rastlinné obranné bielkoviny

Najlepšie preskúmanou oblasťou je reakcia rastlín na mikrobiálne enzýmy, ktoré rozkladajú pektín, polysacharid spájajúci rastlinné bunky. Pektín je známy ako viskózna látka, ktorá spôsobuje okrem iného aj hustnutie džemov. S obľubou ju napádajú takmer všetky choroboplodné mikroorganizmy. Na takýto útok odpovedá rastlina tým, že začne produkovať obranné bielkoviny, ktoré blokujú aktivitu mikrobiálnych enzýmov rozkladajúcich pektín, nie však vlastné rastlinné pektolytické enzýmy, ktoré sa zúčastňujú na tvorbe bunkových stien alebo na zrení ovocia a zeleniny. Je skutočne fascinujúce, ako to príroda vie všetko racionálne zariadiť.

Ak budeme detailne poznať vzájomné pôsobenia rastlín a choroboplodných mikroorganizmov na molekulárnej úrovni, otvoria sa nové možnosti ochrany rastlín bez použitia chemických ochranných postrekov. Keďže ľudská populácia neustále veľmi rýchlo rastie, je zrejmé, že chemické ošetrovanie bude treba nahradiť inou metódou. Ekonomicky významným druhom rastlín, ako sú ryža či obilie, ktoré sú náchylné na mikrobiálne infekcie, zrejme vedci upravia genóm.

RNDr. Peter Biely, DrSc.
Chemický ústav SAV, Bratislava

Huba – ochranca zdravého lesa

Poslaním húb je spolužitie s rastlinami. V prírodných podmienkach takmer neexistujú stromy a kry, ktoré by rástli bez takéhoto spolužitia. Preto zdravie lesa závisí v podstatnej miere aj od húb.

Huby svojou rozmanitosťou, početnosťou a spôsobom života vytvárajú v systéme živých organizmov samostatný, ešte stále málo známy a neprebádaný svet. Rozvojom vedy o hubách – mykológie – sa poodhalili aj objavili ďalšie tajomstvá z ich života. Nové poznatky o hubách môžu pomôcť najmä pri riešení problematiky hladu, pri objavovaní nových biologicky aktívnych látok významných pre medicínu, farmáciu, fytopatológiu a pod.

Živitelia, sanitári a hospodári lesa

Je všeobecne známe, že bez húb by les zahynul od hladu. Každý lesník potvrdí, že len ten les je zdravý, v ktorom rastie veľa húb. Les bez húb je oslabený, má zníženú odolnosť proti chorobám a škodcom – je chorý. Huby les živia. Z odumretých rastlín recyklujú uhlík, vodík, dusík, fosfor a minerálne látky. Parazitické huby v úlohe sanitárov odstraňujú slabšie a podporujú silnejšie stromy, čím pomáhajú obnovovať vyčerpané a prázdne stanovištia lesných porastov. Zároveň sú aj ich ochrancami, keď vlastným telom – podhubím (mycéliom) – nahrádzajú najjemnejšie korienky lesných drevín, chránia pred pôdnymi škodcami a navyše zabezpečujú pre hostiteľskú drevinu dostatok vody a živín.

Ako príklad možno uviesť symbiózu huby so stromom počas suchého leta. Približne storočný dub alebo buk vyparí denne okolo sto litrov vody. Ako je možné, že v suchom lete ešte vôbec žije? Odpoveď je jednoznačná. Huby, ktorých podhubie sa rozprestiera pod stromom, snímajú kapilárnu vodu z pôdy a odovzdávajú ju cez koreňový systém rastline. Takto sa mohutný dub udrží nažive.

Huby sa začali objavovať už v prvohorách. Ich vznik možno predpokladať spolu s vývojom zelených rastlín. Podobne ako človek či zvieratá aj huby sú heterotrofné organizmy, ktoré získavajú organické látky (napr. uhlík) na svoj rast a vývoj rozkladom iných organických látok, nedokážu si ich vytvoriť samy. Na rozdiel od nich to zelené rastliny vďaka fotosyntéze dokážu.

Navyše, keby neboli huby a baktérie, všetka organická hmota – rastlinná i živočíšna – by sa nerozkladala, hromadila by sa na povrchu Zeme a všetko živé by zahynulo pre nedostatok priestoru.

Pestrosť húb je oveľa väčšia než pestrosť rastlín. Ich počet sa odhaduje na 1,5 milióna druhov. Podstatnú väčšinu tvoria mikroskopické huby. Tých húb, ktoré zaujímajú hubárov, je približne dve- až tritisíc druhov.

Vzťah medzi stromom a hubou

Vzťah medzi koreňmi stromu a hubou s podhubím okolo nich prvýkrát opísal A. B. Frank roku 1885 a nazval ho *mykoríza*. Napísal: *Mykorízna huba získava od stromu uhlík ako zdroj energie a strom prostredníctvom podhubia, ktoré je spojené s jeho jemnými korienkami, dostáva vodu a v nej rozpustené živiny.*

Spolužitie rastlín s hubami existuje len v suchozemských ekosystémoch. Rôzne podmienky života v rozličných nadmorských výškach a zemepisných šírkach vytvárali priestor pre rôzne mykorízne spoločenstvá a typy mykoríz.

V prírodných podmienkach takmer neexistujú stromy a kry bez mykorízneho spolužitia. Azda jedinou výnimkou sú umelé podmienky poľnohospodárskych a lesných kultúr. Pôda umelo dohnojovaná či už prírodnými, alebo umelými hnojivami poskytuje pestovaným rastlinám dostatok ľahko prijateľných živín.

Stromy, ktoré sú úzko viazané na spolužitie s hubami, sú u nás najčastejšie zastúpené. Patria k nim: jedľa, smrekovec, borovica, buk, dub a hrab. V prírodných podmienkach, hoci aj na pôdach bohatých na živiny, bez mykorízy chradnú a nerastú. Sú fyziologicky veľmi oslabené, majú horší zdravotný stav, znížený prírastok dreva a pod.

Mykoríza
Foto: Miroslav Saniga

K stromom v dobrých stanovištiach, ktoré nepotrebujú prítomnosť mykorízy, zaraďujeme napríklad vŕbu, brezu, jelšu, liesku, javor, borievku, eukalyptus a iné stromy z tropických a subtropických oblastí. V nepriaznivých stanovištiach sú odkázané na spolužitie s hubami. Dokladuje to napríklad aj kozák brezový, chutná huba rastúca pod brezami.

Význam mykorízy

Mykoríza je spoločný orgán tvorený dvomi partnermi – koncovými koreňmi stromu a hubou. Mykorízne korene v povrchovej časti pôdy lepšie odolávajú suchu a mrazu, ba dokonca dokážu upravovať pH okolitej pôdy. Rozrastené podhubie prináša ďalšiu výhodu – rozširuje plochu, z ktorej je strom schopný čerpať z pôdy vodu a minerálne živiny. Stromy s mykorízou majú väčšiu schopnosť prijímať dusík, fosfor i draslík a toto spolužitie prináša aj ďalšiu výhodu – mykoríza výrazne chráni hostiteľa produkciou antibiotík proti koreňovým škodcom. Chráni ho

Rôzne tvary mykorízy na koreňoch borovice lesnej
Ilustrácia: autor

aj na zdevastovaných a zvetraných územiach či pôdach s vyšším obsahom toxických látok. Po odumretí mykorízy zostáva v pôde na jednom hektári päťdesiatročného borovicového lesa za jeden rok približne viac ako 15,5 tony organickej hmoty.

Dôležitým poznatkom je, že koreňový systém jedného druhu rastlín môže vstúpiť do mykorízneho vzťahu s viacerými druhmi húb súčasne. Bez tohto spolužitia by sa svetové lesy zmenšili o 20 až 30 % a ich zánikom by sa stromová hranica znížila asi o sto metrov. Okrem rôznych prirodzených škodcov lesné porasty najviac poškodzuje znečistené ovzdušie. Znižuje ich životaschopnosť, spôsobuje chradnutie a odumieranie lesných drevín i celých porastov. Mykoríza zlepšuje rast a vývin, zdravotný stav, výživu stromov, zvyšuje odolnosť proti pôsobeniu emisií a škodlivých činiteľov.

V súčasnosti je celosvetovým problémom výrazné zhoršenie zdravotného stavu lesných porastov.

Mykorízne huby zohrávajú dôležitú, ale aj nikým a ničím nenahraditeľnú úlohu pri objasňovaní príčin zhoršujúceho sa zdravotného stavu lesných ekosystémov. Lesy sú naším veľkým bohatstvom a musíme sa usilovať zachrániť ich. Je to morálna zodpovednosť ľudstva. Ak odumrú lesy, odumrie život na zemi. Toto memento musí brať človek s plnou zodpovednosťou na vedomie a nesmie ho podceňovať.

Ing. Anton Janitor, PhD.
Ústav krajinnej ekológie SAV, Bratislava

Fyzikálny pohľad na hokejistu

O ľadovom hokeji sa neraz veľa diskutuje z najrozličnejších hľadísk – odborne aj laicky. Pozrime sa však na tento šport očami fyziky.

V ľadovom hokeji je veľa javov, ktorých vysvetlenie si vyžaduje uplatniť poznatky fyziky. Vyplýva to z jeho základných čŕt. Zvyčajne sa hokej charakterizuje ako rýchla a dynamická hra vyznačujúca sa častými osobnými súbojmi, vyžadujúca vytrvalosť, bojovnosť a hrdosť.

Uvedené črty evokujú fyzikálne parametre pohybu hokejistu aj puku. A tak sa pri opise hry používajú fyzikálne pojmy ako dráha, čas, rýchlosť, zrýchlenie, náraz... Činnosť hráča sa charakterizuje dráhou jeho pohybu po hracej ploche, rýchlosťou korčuľovania, zrýchlením pri odpútavaní sa od súpera, rýchlosťou strely, zrážkou so súperom, nárazom na mantinel a podobne. Všetky tieto javy možno merať a číselne vyjadriť ich kvantitu, čo dokazuje, že hokejová hra by bola vďačnou a zaujímavou témou na fyzikálne analýzy.

Z hľadiska fyziky je však veľa zaujímavého aj na tele hráča, ktoré môžeme považovať za fyzikálne teleso.

Ako jeho fyzikálne vlastnosti korešpondujú s nárokmi, ktoré naň kladie sama hra?

Zo spomínaných charakteristík hokeja vyplýva, že je to hra, ktorá je typická stálym kontaktom súperiacich hráčov, takže telo hokejistu je vystavené častým nárazom. Výsledok nárazu dvoch telies podmieňujú tri fyzikálne veličiny: hmotnosť telies, rýchlosť ich pohybu a ich pevnosť.

Je všeobecne známe, že hokej patrí medzi športy, v ktorých je väčšia hmotnosť hokejistu výhodou. Fyzikálne to možno zdôvodniť pomocou zákona zachovania hybnosti, podľa ktorého po priamom náraze dvoch nepružných telies nastáva pohyb oboch v smere pohybu telesa s väčšou hybnosťou, inými slovami: úspešnejší je hokejista, ktorý má väčšiu hybnosť. Z fyziky vieme, že hybnosť je súčin hmotnosti a rýchlosti. Pri rovnakej rýchlosti má väčšiu hybnosť hráč s väčšou

telesnou hmotnosťou. To vysvetľuje, prečo *hmotnejší* hokejista je v súbojoch *telo na telo* zvýhodnený za predpokladu, že nezaostáva ani v rýchlosti, ani technicky.

Na akej úrovni je tento fyzikálny parameter slovenských hokejistov? Pozrime sa na telesnú hmotnosť troch mužstiev Slovenska: reprezentantov z roku 1998, účastníkov OH v Nagane, členov družstva, ktoré získalo roku 2002 titul majstrov sveta, a reprezentantov z roku 2014. Tabuľka obsahuje priemerné hodnoty telesnej hmotnosti hokejistov (v kg) podľa funkcie v hre a družstva ako celku.

Družstvo	**Brankári**	**Obrancovia**	**Útočníci**	**Celkovo [kg]**
z roku 1998	80,25	87,6	83,95	84,52
z roku 2002	86,66	88,75	85	86,59
z roku 2014	86	94,91	92,29	92,60

Z tabuľky zisťujeme, že vo všetkých troch kategóriách hráčov – brankári, obrancovia a útočníci – majú reprezentanti z roku 2014 väčšie priemerné hodnoty telesnej hmotnosti. Možno to považovať za potvrdenie tézy o výhodnosti väčšej telesnej hmotnosti hokejistu. Zachováva sa aj relácia medzi obrancami a útočníkmi – obrancovia prevyšujú útočníkov, v individuálnych prípadoch dosť výrazne. Preto sa aj na majstrovstvách sveta objavujú *obrovití* obrancovia. Bývajú zväčša citliví na rýchlosť súperových útočníkov. Ale napriek tomu sa objavujú na ľade v kritických situáciách, čo zdôrazňuje význam väčšej telesnej hmotnosti.

Údaje o slovenských hokejistoch potvrdili, že väčšia telesná hmotnosť hokejistu je výhodou, a to pri osobných súbojoch, čo vyplynulo zo zákona zachovania hybnosti. Ale pri zrážke dvoch telies, za ktorú osobný súboj dvoch hokejistov môžeme považovať, vstupuje do hry ďalšia fyzikálna veličina – pevnosť. V prípade zrážky hokejistov ide o pevnosť tkanív ich tela.

Hokejista Ľuboš Bartečko v zápase s Ovečkinom
Foto: Ján Súkup

Výstroj hokejistu, ktorý pripomína brnenie stredovekého rytiera, dokazuje, že sa pri hre ráta s poriadnymi nárazmi. Napriek tomu hokej práve pre nárazy bolí a nie zriedkavo dochádza k zraneniam. Fyzikálne zranenie znamená trvalú deformáciu ako výsledok prekročenia medze pružnosti pri silovom namáhaní tkaniva. Pre tkanivá ľudského tela platí to, čo podľa fyziky platí pre všetky tzv. tuhé telesá, čiže telesá vyznačujúce sa relatívnou stálosťou objemu a tvaru. Deformovať ich možno vonkajšou silou iba po určitú hranicu – po medzu pružnosti. Po jej prekročení nastáva trvalá deformácia. Medza pružnosti závisí od viacerých činiteľov. Okrem iných je to spôsob silového namáhania a vek osoby.

Silové namáhanie sa môže prejavovať štyrmi spôsobmi – tlakom, ťahom, ohýbaním a krútením. Najväčšie namáhanie sa znáša pri pôsobení tlakom – pri tlaku je najvyššia medza pružnosti. Pri ďalších uvedených spôsoboch sa postupne znižuje. Závislosť medze pružnosti od veku je daná tým, že počas života prebiehajú v ľudskom tele

kvalitatívne zmeny, ktoré závisia od zmien chemického zloženia. Tak napríklad v kostiach, ktoré tvoria oporu mäkkým častiam tela a pri zrážkach hokejistov hrajú kľúčovú úlohu, pribúdajú vekom anorganické látky na úkor organických. Vekom sa stávajú kosti krehkejšie – ľahšie sa lámu.

Čo z toho vyplýva?

Po prvé – spôsob fyzikálneho namáhania tela vonkajšími silami treba kontrolovať. Znamená to, že sa treba vyhnúť namáhaniu tkanív tela, ktoré majú nižšiu medzu pružnosti. V tomto zmysle treba kontrolovať aj výber miesta na tele, ktoré hokejista *ponúkne ako nárazník*. Hokejista sa o to vedome aj podvedome snaží na základe získaných skúseností.

Po druhé – vekom sa znižuje fyzikálna odolnosť tela proti nárazom. Preto sú starší hráči menej spôsobilí *hrať na telo*. Znižovanie tejto odolnosti vekom je tiež urýchľovačom rozhodnutia hráča ukončiť aktívnu činnosť.

doc. PhDr. Michal Leško, CSc.
Fakulta telesnej výchovy a športu, Univerzita Komenského, Bratislava

Pokutový kop pod drobnohľadom fyziky

Futbalu azda každý rozumie – je častou témou najrôznejších stretnutí, ale odborníkov naň je ako šafranu. Korením futbalu sú góly, napríklad tie, ktoré padajú po pokutových kopoch. Aké sú šance brankára chytiť strelu z jedenástky?

Pri hľadaní odpovede na otázku, akú šancu chytiť pokutový kop (známu *jedenástku*) má brankár, nám pomôže fyzika a fyziológia. Pomocou fyzikálnych zákonov vieme zistiť rýchlosť pohybu lopty. Tvrdá strela, ktorá rozvlní sieť alebo zaduní na žrdi brány, je futbalový bonbónik, po ktorom baží duša futbalového diváka.

Akú rýchlosť dosahuje futbalová lopta po kopnutí, keď sa futbalista usiluje o maximálny výkon?

Lopta pomalšia než auto

V populárnej športovej tlači sa z času na čas objavujú vyjadrenia k tomuto problému. Vyskytli sa tvrdenia, že lopta po kope letí rýchlosťou až 200 km/h. Iné tvrdenia sú skromnejšie a uvádzajú, že je to okolo 100 km/h. Táto nezrovnalosť nás podnietila overiť si to. Merali sme lety lopty pri kopoch futbalistov jedného klubu najvyššej slovenskej futbalovej súťaže. Zistili sme, že pri kope *silnejšou* nohou so snahou o maximálnu razantnosť bola priemerná rýchlosť približne 70 km/h. Najtvrdší strelec dosiahol hodnotu cca 90 km/h. Pri kope druhou, *slabšou* nohou to bolo, samozrejme, menej – priemerne 55 km/h. Najvyššia hodnota bola zaokrúhlene 70 km/h. Sú to teda hodnoty, ktoré zaostávajú za odhadmi, ba ostávajú aj v tieni rýchlosti motorových vozidiel. Futbalový fanúšik je asi sklamaný. Treba si však uvedomiť, že autá sa rozbiehajú počas niekoľkých sekúnd. Futbalista pôsobí pri kope na loptu len niekoľko stotín sekundy. Keďže rýchlosť lopty je výsledkom impulzu sily, pri krátkom čase pôsobenia na loptu sila kopu musí byť značná. Jej veľkosť možno odmerať

alebo vypočítať prostredníctvom fyzikálnych vzťahov a údajov o trvaní kontaktu nohy s loptou.

Porovnania s inými športmi

Poznamenávame, že niektoré lopty či loptičky používané v iných športoch sú rýchlejšie ako futbalová lopta. Z celosvetovo rozšírených športových hier sa najvyššia rýchlosť uvádza pri hre tenisovou loptičkou, a to pri podaní – viac ako 230 km/h. Pri stolnom tenise sa hrá s ešte menšou loptičkou – najvyššia doteraz nameraná rýchlosť bola vyše 170 km/h.

Veľkú rýchlosť dosahuje aj golfová loptička. Uvádza sa, že svetoví hráči v tejto hre dokážu úderom pomocou špeciálnej palice poslať loptičku až na vzdialenosť 300 m. Z tejto hodnoty možno podľa vzorca pre dĺžku šikmého vrhu určiť, že rýchlosť loptičky pri odpale prekonáva rýchlosť 200 km/h.

Málo času pre brankára

Pri posudzovaní šance futbalového brankára zabrániť gólu pri pokutovom kope je okrem rýchlosti lopty ďalším dôležitým fyzikálnym faktorom vzdialenosť, ktorú lopta prekoná zo značky pokutového kopu po miesto, kde ju treba zastaviť, aby neskončila v sieti. Hodnoty týchto dvoch fyzikálnych veličín (rýchlosti pohybu lopty a dráhy) určia tretiu dôležitú veličinu – čas od vystrelenia lopty po dosiahnutie miesta, kde ju treba zastaviť či chytiť. Je to čas, za ktorý musí brankár postaviť niektorú časť svojho tela do cesty pohybu lopty. Najčastejšie sú to ruky, prípadne nohy, ale býva to aj iná časť tela. Stavať sa do cesty striel nie je pre brankára vždy príjemné. Na možnosť brankára zabrániť gólu vplýva aj jeho reakčná schopnosť, teda ako rýchlo je schopný na strelu reagovať, tzv. reakčný čas. Skúmanie tejto vlastnosti brankára patrí už do vedného odboru fyziológia.

Akú šancu mal brankár strelu chytiť?
Foto: Katarína Matejíčková

Reakčný čas

Vo všeobecnosti sa pod reakčným časom rozumie čas od zaevidovania určitého podnetu či signálu až po motorickú odpoveď. U futbalového brankára v uvažovanej situácii je to čas, ktorý uplynie od zaevidovania pohybu lopty až po jeho pohybovú činnosť. Reakčný čas je do určitej miery ovplyvniteľný tréningom, ale je aj geneticky podmienený. Jeho dĺžku ovplyvňujú i ďalšie činitele, ako sú únava, vek a druh podnetu, na ktorý reaguje. Výskumom sa zistilo, že dĺžka reakčného času sa pri akustickom podnete pohybuje v intervale 0,14 až 0,22 s, pri optickom podnete je to viac – 0,2 až 0,3 s.

Brankár rýchlejší ako lopta?

Rýchla reakcia je zrejme jeden z dôležitých kvalifikačných predpokladov futbalového brankára. Dá sa predpokladať, že brankári patria k ľuďom s najkratším reakčným časom. Stačí tento čas na to, aby bol brankár rýchlejší ako lopta? Pri odpovedi na túto otázku potrebujeme vypočítať čas, za ktorý lopta prejde dráhu zo značky pokutového kopu k bránkovej čiare. Na tento výpočet použijeme známy vzorec: $t = s/v$ (kde t = čas, s = dráha, v = rýchlosť). Pre pokutový

kop – *jedenástku* – je dĺžka dráhy 10 metrov, a ak vezmeme do úvahy maximálnu rýchlosťu lopty 70 km/h, vychádza nám čas na chytenie lopty cca 0,5 s. Vychádza to tak, že uvedené hodnoty reakčného času by mali stačiť na to, aby brankár reagoval na pokutový kop. Celá táto úvaha má však nie jeden, ale až dva háčiky.

Dva háčiky

Po prvé – uvedenie lopty do pohybu kopom nemusí byť jednoznačným signálom pre brankára, aká pohybová odpoveď sa vyžaduje, respektíve kam lopta smeruje.

Po druhé – okrem reakčného času, ktorý sme už spomínali, sa brankár na zachytenie lopty musí premiestniť najčastejšie zo stredu brány k jednej zo žrdí (kam zväčša smeruje dobre kopnutý pokutový kop). Vzdialenosť od stredu brány k žrdi je viac ako tri metre a na jej prekonanie potrebuje brankár určitý čas. Ten treba pripočítať k uvedeným hodnotám reakčného času. Najrýchlejší šprintéri prekonávajú túto vzdialenosť za cca 0,3 s. Brankár síce prekonáva túto vzdialenosť iným spôsobom ako šprintéri, ale jeho čas sa zásadne nelíši.

Intuícia a šťastie

Vychádza nám, že keby brankár chytal pokutový kop tak, že by reagoval na pohyb lopty ako optický signál, nemohol by stihnúť postaviť sa jej do cesty, prípadne ju chytiť, ak je pokutový kop dobre umiestnený k žrdi. A tak chytanie pokutového kopu ostáva viac vecou šťastia a intuície: brankár sa pokúša vycítiť, kam lopta poletí, rozmýšľa, ktorú stranu si má vybrať, a kam sa *hodiť*. Ak sa brankárovi aj podarí uhádnuť úmysel kopajúceho, nie je isté, či na loptu siahne, pretože jej let môže mať ešte aj rozličnú výšku. Preto vo veľkej miere platí známe konštatovanie: *Pokutový kop nemožno chytiť, možno ho iba zle kopnúť*.

doc. PhDr. Michal Leško, CSc.
Fakulta telesnej výchovy a športu, Univerzita Komenského, Bratislava

Zmeny v Arktíde nezostávajú len tam

Oblasť okolo severného pólu sa otepľuje oveľa rýchlejšie ako zvyšok sveta a tento trend bude ešte pokračovať. Vyššia priemerná teplota však neovplyvňuje len tento kút zeme – zmeny už pociťujeme aj v Európe.

Arktída sa počas 20. storočia otepľovala približne dvojnásobne rýchlejšie ako zvyšok sveta – v niektorých jej regiónoch sa teplota vzduchu za posledných šesťdesiat rokov zvýšila aj viac ako o 2 °C (napr. severné pobrežie Aljašky). Klimatické modely všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs) predpokladajú, že aj v dôsledku javu známeho pod termínom Arctic/Polar amplification effect (arktický/polárny zosilňujúci efekt) sa prevažná časť Arktídy bude v 21. storočí ďalej otepľovať, a to dokonca ešte rýchlejšie ako doposiaľ. Stredný odhad ráta so zvýšením priemernej ročnej teploty až o 8 °C do roku 2100. Dnes už vieme aj to, že súčasné otepľovanie ukončilo v Arktíde asi 2 000 rokov dlhé obdobie ochladzovania.

Jedným z najnápadnejších dôsledkov rýchleho otepľovania Arktídy je ústup polárneho zaľadnenia – plocha morského ľadu klesá rýchlosťou 12 – 13 % za desaťročie (na základe satelitných údajov z rokov 1979 – 2012). A tento pokles sa neustále zrýchľuje. Pritom rýchlosť, s akou sa tak deje v súčasnosti, prekvapuje dokonca aj vedcov. Oveľa alarmujúcejší je však rýchly a bezprecedentný úbytok viacročného ľadu – ten má oproti jednoročnému tú vlastnosť, že je nielen hrubší, ale predovšetkým stabilnejší. Ešte roku 1987 tvoril viac ako polovicu celého objemu morského ľadu päť- a viacročný ľad (57 %). V porovnaní s tým to bolo roku 2007 už len 7 %, pričom, napríklad, ľad s vekom deväť a viac rokov nebol takmer zaznamenaný.

Čo sa teda v Arktíde skutočne deje? Zdá sa, že okrem iniciálneho otepľovania v dôsledku rastúcej intenzity skleníkového efektu tu pôsobia aj nejaké ďalšie fyzikálne procesy, ktoré zvyšovanie teploty urýchľujú (zosilňujú). Medzi najznámejšie procesy zosilňujúce otepľovanie Arktídy patrí tzv. albedo-efekt, ktorý možno jednoducho

Filmár a fotograf James Balog pomocou trvalo nainštalovaných kamier zbiera technológiou časozberu snímky miznúceho ľadu z Arktídy
Na snímke zostupuje do novovytvoreného ľadovcového kaňonu
Foto: festival Hory a mesto 2013

vysvetliť asi takto: otepľovanie vzduchu vedie k roztápaniu/ústupu snehu a ľadu. V prípade, že sneh alebo ľad pokrýva zemský povrch, jeho prirodzene vysoké albedo (odrazivosť) zabezpečuje, že prevažná časť slnečného žiarenia sa odrazí späť do atmosféry a kozmického priestoru bez toho, aby prispel k ohrievaniu povrchu či atmosféry (pri čerstvom snehu to môže byť aj viac ako 90 – 95 % žiarenia). V prípade, že sneh alebo ľad na zemskom povrchu skutočne chýba – a to najmä v teplejšej časti roka, pri väčšom uhle dopadu slnečného žiarenia – a že ho nahradí tmavší povrch pôdy alebo morskej vody (alebo v závislosti od povrchu menej ako 30 %, pri vode aj menej ako 10 %), zemský povrch absorbuje väčšie množstvo žiarenia, a to znamená, že sa aj viac ohreje. Ohriaty povrch výraznejšie zohrieva prízemné vrstvy vzduchu, a tak sa rýchlejšie zvyšuje jeho teplota. Rýchly ústup nielen morského zaľadnenia, ale aj snehovej pokrývky v jarnom období vedie k zásadným zmenám (rastu) veľkosti toku tepla zo zemského povrchu do atmosféry, a tým aj k rýchlejšiemu otepľovaniu ako napríklad v iných častiach sveta. Takto nejako funguje Arctic/Polar amplification effect v realite. Nie je to však jediný príklad silnej pozitívnej spätnej väzby v oblasti Arktídy.

Fyzikálny mechanizmus jednej z novšie objavených spätných väzieb bol prednedávnom odhalený (kvantifikovaný) priamo na povrchu plávajúceho morského ľadu. O čo išlo? Teplejší vzduch nad povrchom ľadu spôsobuje topenie ľadu. Voda z topenia však neodteká priamo do oceána, ale istý čas zotrváva na povrchu ľadu a sústreďuje sa do menších alebo väčších jazierok. Nedávny výskum, ktorý sa zameral na meranie tokov tepla a dlhovlnnej radiácie pod morským ľadom, naznačil, že práve v dôsledku prítomnosti vody na povrchu ľadu sa samotný ľad nielen rýchlejšie topí (zvyšuje sa absorpcia tepla z priameho slnečného žiarenia), ale navyše je schopný prepúšťať väčšie množstvo tepla smerom do oceána. Vedci si doposiaľ mysleli, že pozitívna väzba otepľovania zo strany oceána (oceán má totiž výrazne nižšie albedo ako plávajúci ľad a je teda schopný prijať viac tepla zo slnečného žiarenia) funguje najmä vtedy, keď plávajúci ľad takmer stopercentne nahradí voľná hladina. Teraz sa však zdá, že uvedený efekt zosilňujúci otepľovanie vstupuje do hry oveľa skôr. Dôsledky tohto procesu sú alarmujúce – viac prepusteného tepla cez ľadovú masu neznamená len viac tepla a energie v oceáne, ale aj rýchlejšie topenie ľadu v jeho spodných častiach.

Rýchlejší ústup morského ľadu nie je teda len dôsledkom rastúcej teploty morských prúdov, ktoré privádzajú čoraz teplejšiu vodu do Arktídy z trópov, ale aj procesov, ktoré sa odohrávajú priamo na jeho povrchu. Nie je asi prekvapením, že fyzikálne podobný mechanizmus bol pred niekoľkými rokmi identifikovaný aj na povrchu grónskeho kontinentálneho ľadovca, kde sa podobne ako na povrchu morského ľadu vytvárajú jazerá roztopenej vody. Rozdiel je však nielen v tom, že na povrchu Grónska dosahujú jazerá plochu aj niekoľkých km^2 a hĺbku desiatok metrov, čím výraznejšie zrýchľujú topenie kontinentálneho ľadovca na jeho povrchu, ale aj v tom, že jazerá sladkej vody prostredníctvom priesakov vody do útrob ľadovca zrýchľujú jeho topenia aj hlboko pod povrchom (voda pôsobí aj na báze ľadovca ako lubrikačný gél, ktorý pohyb samotného ľadovca smerom k oceánu urýchľuje).

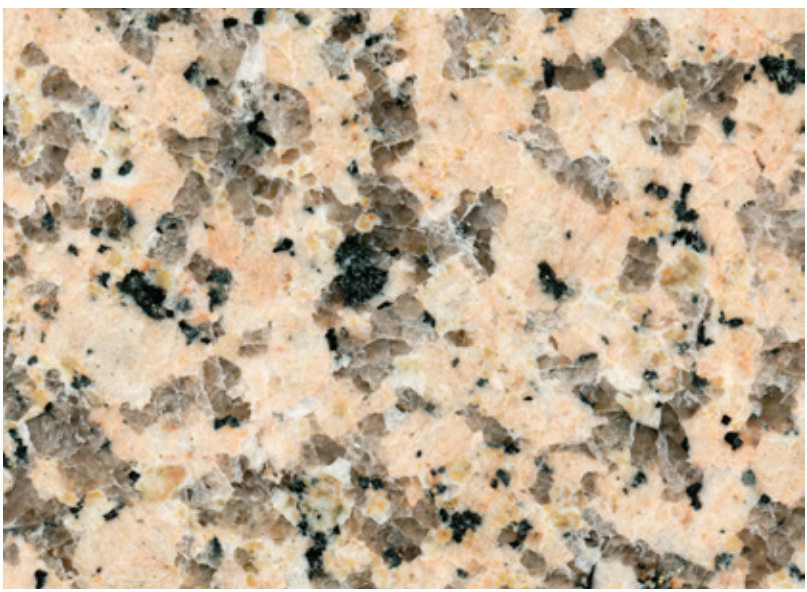
A prečo ten názov príspevku? Problém opísaných zmien je oveľa komplexnejší, než sme si ešte pred niekoľkými rokmi vedeli predstaviť. Posledné výskumy nielen z oblasti Arktídy čoraz nástojčivejšie naznačujú, že rýchlejšie sa otepľujúca Arktída významne prispieva k zmenšovaniu teplotného rozdielu medzi severným pólom, miernymi, ako aj tropickými pásmami. To zásadne modifikuje cirkuláciu vzduchu na celej severnej pologuli – zonálne prúdenie pozdĺž rovnobežiek (v našich podmienkach pohyb vzduchu zo západu na východ) čoraz častejšie strieda tzv. meridionálne prúdenie (pozdĺž poludníkov, zo severu na juh a naopak), ktoré v konkrétnych situáciách môže znamenať rýchlejšie premiešavanie polárnych a tropických vzduchových hmôt nad Európou. Výsledok je často jediný – väčšia extrémnosť počasia (vlny horúčav v lete, mimoriadne chladné počasie v zime atď.).

Mgr. Jozef Pecho
Ústav fyziky atmosféry Akadémie vied Českej republiky, Praha

Cesta z hlbín zeme na vrcholy hôr

Žuly vznikali počas celého obdobia tvorby zemskej kôry. U nás na Slovensku tvoria základ našich najvyšších pohorí. O ich vyzdvihnutie do najvyšších polôh sa zaslúžili superkontinenty Eurázia a Gondwana.

Kriváň je symbolom našej vlasti. Jeho krásu a jedinečnosť zvýrazňuje neopakovateľná silueta štítu, ale aj horniny, ktoré ho tvoria. Žuly vykryštalizovali a stuhli v hĺbke zemskej kôry na pevné a pomerne stále horniny. Ako sa však dostali horniny vzniknuté v hĺbke zemskej kôry do vysokohorských výšok? Kedy sa to stalo? Čo to boli za procesy? Odrazili sa na minerálnom zložení Tatier? Sú v nich aj nejaké rudné alebo nerudné suroviny? V akých množstvách? Ktorým typom hlbinných hornín ostatných pohorí Slovenska sú vysokotatranské žuly najpríbuznejšie? Pokúsime sa odpovedať aspoň na niektoré z množstva otázok.



Ružová žula
Foto: archív Katedry geológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Bratislava

V základoch starých blokov kontinentov

Granity (čo je medzinárodné označenie hornín skupiny žuly) všeobecne vznikali počas celého obdobia tvorby kôry našej Zeme. Je pritom charakteristické, že tvoria len súčasť kôry kontinentov, v profile oceánskej kôry chýbajú. Veľké granitové masívy tvoria najmä základ starých blokov kontinentov. No v podstatnej miere sú zastúpené aj v mladých *alpinotypných* pohoriach (Pyreneje, Alpy, Karpaty, Kaukaz a i.).

Žulové horniny predstavujú najrozšírenejšie hlbinné horniny kontinentálnej kôry. Tá je v porovnaní s oceánskou kôrou hrubšia.

Svojím chemickým zložením patria granity do skupiny *kyslých*, čiže takých, ktoré obsahujú viac ako 65 % oxidu kremičitého. Žuly sú všeobecne svetlo sfarbené horniny zložené z kremeňa, plagioklasov (sodno-vápenatých živcov), draselných živcov a niektorej zo sľúd. Zriedkavejšie sú prítomné aj tmavo sfarbené amfiboly a červený granát.

Žuly na Slovensku

Na území Slovenska je známych niekoľko vekových skupín žulových hornín.

Vek najstarších z nich sa podľa chladnutia pohybuje okolo 500 miliónov rokov. Tie sú zvyčajne premenené do podoby ortorúl.

Plošne najvýraznejšiu skupinu tvoria tzv. varíske granity. Vznikli prevažne v karbóne. Vek ich chladnutia z roztavenej magmy sa najčastejšie pohybuje okolo 320 až 340 miliónov rokov. Tvoria hrebeňové časti jadrových pohorí – sú to: Malé Karpaty, Považský Inovec, Tribeč, Suchý, Malá Magura, Malá a Veľká Fatra, Nízke Tatry, Tatry, Branisko – Čierna hora, ale aj veľké časti Veporských a Stolických vrchov. Menej žulových telies, ktoré sú oproti varískym masívom kyslejšie, vznikalo v období permu (najmladšie prvohory) až triasu (najstaršie druhohory) vo Veporských vrchoch (pri Čiernom Balogu), Stolických vrchoch (pri Klenovci až Zlatne) a vo Volovských vrchoch (južne a juhovýchodne od obce Hnilec, pri Betliari, južne od Zlatej Idky a inde). Ešte mladším granitom, ktorý prenikol z veľkých hĺbok na konci druhohôr,

je rochovecký granit – nachádza sa v hĺbke niekoľko sto metrov pod povrchom juhovýchodne od Slavošoviec. Najmladšiu skupinu tvoria granity mladších treťohôr v Kremnici a štiavnickom stratovulkáne.

Medzi mlynskými kameňmi superkontinentov

Stlačovaním priestoru druhohorného mora Tethys v mladších druhohorách a treťohorách sa zmenšovala oblasť medzi dvomi *mlynskými kameňmi*. Tými boli dva superkontinenty: na severe Eurázia, na ktorú sa od juhu tlačil superkontinent Gondwana. Výbežok Gondwany, dnes by sme hovorili o polostrove, tvorí podložie pod treťohornými a druhohornými usadeninami, ktoré tvoria horninovú náplň vrchnej časti zemskej kôry aj v oblasti Slovenska. Tento výbežok Afriky spôsobil vyklenutie a vyzdvihnutie karpatského horstva v jeho západnej časti. Hovoríme o varískych, ale najmä alpínskych príkrovoch, hercýnskom vrásnení. Vtedy sa premiestnili a vyzdvihli žulové masívy jednotlivých súčasných pohorí. Vývoj žúl Tatier, ale aj ostatných jadrových pohorí, sa však v súčasnej pozícii ešte nezastavil. Pohoria sa posúvajú, usádzajú či inak umiestňujú. Pri umiestňovaní krehkých žulových vrchov do ich súčasnej pozície popukali masívy. Dôsledok? Z našich granitových telies v podstate nedokážeme odrezať dosku veľkú 1 m^2, lebo vždy praskne na vlásočnicových trhlinách.

Vzájomné pohyby priľahlých blokov žúl však v nich spôsobujú aj iné deštrukčné procesy. Tie dokumentujú rôzne hrubé, prevažne strmo naklonené polohy hrubé desiatky centimetrov až metrov. Označujeme ich ako *blastomylonity*, v hovorovej reči často ako mylonity (od gréckeho *mylos* – mlyn, mlieť). Sú menej odolné proti rozrušovaniu, erózii a odnosu ako granity. Spravidla tvoria úzke sedlá v masíve Tatier.

Rudy v žulových horninách

Patrí sa začať Kriváňom. Na južných a juhozápadných svahoch tohto štítu sa v minulosti ťažili kremenné žily so zlatom – podobne ako v oblasti Cajly v Malých Karpatoch či v žulách pri Zlatej Idke vo východnej

časti Spišského rudohoria. Pomerne hojné nálezy plieškov a ojedinele aj drobných nugetov zlata v naplaveninách niektorých potokov poukazujú na jeho ďalší výskyt v žulách Slovenska. Pre niektoré lokálne oblasti Tatier sú charakteristické nepravidelné tenké žily sideritu. Ide napríklad o Medené lávky na severnom svahu Lomnického štítu.

Slovensko v minulosti patrilo k významným producentom antimónových rúd v Európe.

Známe boli ložiská pri Pezinku v Malých Karpatoch, v Dúbrave a na Magurke pod hrebeňom Nízkych Tatier, ale aj v Spišsko-gemerskom rudohorí.

V 19. storočí a na začiatku 20. storočia sa našli hospodársky významné nepravidelné šošovky kremeňa v žulách západnej časti Slovenského rudohoria. Boli základnou surovinou sklární v Utekáči, Katarínskej Hute, Málinci, Zlatne, Poltári a inde.

Na záver chceme uviesť aj to, že najmä v Malých Karpatoch sa vyskytujú žulové žily, v ktorých sú zvýšené koncentrácie rádioaktívnych minerálov.

Žula sa využíva ako stavebný a dekoratívny materiál najmä na obklady, pomníky, sochy, kozuby, schodiská...

V západnej Európe ju ťažia v severnom Portugalsku a Španielsku. Spomedzi ďalších krajín sveta je to Brazília, India, viacero krajín na juhu Afriky, najmä v Angole, Namíbii, Zimbabwe a Južnej Afrike. V USA je veľmi známy výskyt žuly v oblasti Skalnatých vrchov. Neporušené granity možno nájsť najbližšie v Českom masíve, najmä na Českomoravskej vrchovine, Šumave, v Českom lese, Krušných horách, Krkonošiach, Železných horách a v Jizerských horách.

prof. RNDr. Dušan Hovorka, DrSc.
člen Slovenskej akademickej spoločnosti

Za čo vďačíme mladotreťohorným sopkám?

Geologické procesy, ktoré sformovali časť surovinovej základne Slovenska, spôsobila aktivita mladotreťohorných sopiek.

Pokým sa dostali k slovu mladotreťohorné sopky a vychrlili na zemský povrch svoju magmu, už dlho predtým prebiehali rôzne geologické procesy. Láva zo starších sopiek sa vzájomne premiešala, kryštalizovala, ťažšie minerály v nej pôsobením gravitácie klesli, kým iné vystúpili na povrch. Vznikli horniny vápenato-alkalickej série (ryolit – andezit – vápenato-alkalický bazalt; medzi nimi je dominantný andezit v rôznych variáciách).

Druhú, geneticky nezávislú a menej zastúpenú skupinu láv predstavujú lávy alkalickej série, z ktorej vykryštalizovaním vznikli alkalické bazalty a bazanity. Táto sopečná činnosť sa udiala v mladších treťohorách najmä na vnútornej strane už na sever vyklenutého karpatského oblúka, pričom miestami pokračovala až vo štvrtohorách.

Typické rudy

Mladotreťohorné sopky (boli aktívne pred 13 až 15 miliónmi rokov) sú koncentrované v pohoriach stredného, južného a východného Slovenska. Od západu na východ sú to: Vtáčnik, Pohronský Inovec, kremnicko-štiavnická oblasť, Poľana, Javorie, prešovsko-tokajská oblasť a iné.

Je všeobecne známe, že vulkány chrlia lávu, úlomkovitý materiál (rôzne bomby či neslávne preslávený sopečný prach) a vulkanické plyny spolu s vodnými parami. Ich vzájomným pomerom vznikajú rozličné nerasty. Nerastné suroviny, ktoré vznikli ako dôsledok mladotreťohornej vulkanickej činnosti, využívali už naši dávni predkovia. A čo všetko nám darovali vulkány?

Zlato a striebro vyhľadávali ľudia už od čias eneolitu (mladšej kamennej doby). Spočiatku len na povrchu, neskôr hĺbili aj bane. Na našom území to boli predovšetkým Kotíni a Kelti, ktorí vedeli spracovávať

(taviť) najmä rudy zlata, medi a striebra, neskôr aj železa. Postupne sa banská činnosť rozvinula na veľmi špecializované technické odvetvie. V období stredoveku sa rozvíjali banské mestá, ktoré boli relatívne blízko pri Viedni, pri cisárskom dvore s jeho nárokmi. Boli to predovšetkým Banská Štiavnica a Kremnica. V Banskej Štiavnici vznikla prvá banská akadémia na svete, obe mestá sa mohli rozrastať do mohutnosti a krásy. Umožnilo to vznik mnohých unikátnych vynálezov a technických diel, ku ktorým patria vodné čerpadlá, štiavnické tajchy či systém prívodných jarkov a štôlní. Doprialo sa im omnoho viac pozornosti ako ložiskám na Spiši a v Gemeri.

Pre Banskú Štiavnicu a jej okolie je charakteristická koncentrácia rudných minerálov, nositeľov rôznych kovov v prevažne strmo orientovaných rudných žilách. Zväčša rudné minerály spolu so sprievodným kremeňom tvoria výplň žíl (pôvodne trhlín) v sopečných horninách. Minerálna výplň žíl vznikla kryštalizáciou z horúcich vôd a pár vystupujúcich k zemskému povrchu. Pre banských inžinierov bolo dôležité, že v rámci jednej žily často našli niekoľko úžitkových minerálov, zdrojov kovov. Tým, že horúce roztoky vystupovali zo sopečných kozubov cez už chladné horniny vrchnej časti sopiek, ochladili sa. V tomto procese postupne vypadávali (kryštalizovali) minerály žíl. Zvislá zemská puklina sa napĺňala rôznymi minerálmi podľa toho, akú mali teplotu vyzrážania sa z horúceho roztoku pri jeho chladnutí.

Rozptýlené rudy

Horúce roztoky ako prejav sopečnej aktivity prenikajú smerom k zemskému povrchu najmä po puklinách, dutinách v horninách, ale v menšej miere aj samotnými horninami. Tieto procesy spôsobujú premenu už existujúcich (magmatických) minerálov, pričom vzniká nová skupina minerálov. Tento proces sa označuje ako *propylitizácia*. Označenie je odvodené od gréckeho slova *propylea*, t. j. predsieň, ktorú museli baníci prekonať, aby sa dostali k nahromadeniu úžitkových minerálov v žile. Je logické, že propylitizácia je intenzívnejšia v okolí pôvodných puklín (neskôr mineralizovaných žíl) v hornine,

Ihličkovité kryštály antimonitu
Foto: archív Katedry geológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Bratislava

no postihuje aj celý objem horniny. Hovoríme o okoložilnej a miestnej propylitizácii. Jej produkty, propylity, pomáhajú aj dnes vyhľadávať rudné žily vzniknuté z horúcich roztokov.

Zatiaľ čo v Banskej Štiavnici sa spod zemského povrchu postupne ťažili rudy striebra i antimónu, neskôr olova a zinku, v najhlbších vrstvách boli rudy medi. K nim patria aj *porfýrové* (rozptýlené) rudy medi, ktoré sa zistili v tejto oblasti v posledných dvoch desaťročiach. Tetraedrit a chalkopyrit sú prítomné – spravidla v nízkej koncentrácii – v celej hmote horniny. Tento iný typ zrudnenia je z celosvetového hľadiska súčasne najperspektívnejší.

V Kremnici sa v kremeni pri povrchu vyskytoval antimón a striebro, no základným drahým kovom kremnických rudných žíl bolo zlato.

Ďalšie suroviny viazané na sopečnú aktivitu

Iným typom kovov viazaných na vulkanickú aktivitu boli železné *skarny*. Skarny (kremičitanové horniny, ktoré vznikali premenou uhličitanov) pri Vyhniach (Klokoč) a pri Tisovci (Magnetový vrch) vznikli

Tabuľkovité kryštály baritu
Foto: archív Katedry geológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Bratislava

na miestach styku žeravej magmy a horniny. V súčasnosti lokality nemajú význam pre ťažbu, hoci skarn na Klokoči ťažili. K neveľmi rozsiahlym, no v minulosti ťaženým patria rudy ortuti a arzénu. Vyskytujú sa najmä v oblasti Malachova. Hoci ložisko síry v lokalite Vígľašská Huta – Kalinka nepatrí medzi významné, aj tu sa v minulosti ťažilo.

K dozvukom vulkanickej aktivity patria výrony horúcich mineralizovaných vôd. Najmä vo vodnom prostredí sa vyzrážali hydrokvarcity (Lutila, Slaská, Stará Kremnička), ktoré sa pre vysoký obsah oxidu kremíka a vysokú čistotu využívali na výrobu ferosilícia (zliatiny železa s kremíkom), a v neskorom stredoveku sa z nich ešte vyrábali mlynské kolesá. Hydrokvarcity z uvedených lokalít využívali naši predkovia na výrobu kamenných nástrojov už v kamennej dobe.

Horniny, íly a pramene

V 20. storočí začalo ľudstvo využívať aj netradičné suroviny – horniny ako produkty vulkanickej aktivity. Kyslé vulkanické sklo, perlit, s vysokým obsahom vody (nad 3,5 %) sa zahrieva, voda v ňom sa mení na vodnú paru a tá za treskotu opúšťa zahriaty perlit. V takomto podrvenom perlite je množstvo drobných pórov. Hmota pri zahriatí až desaťnásobne zväčšuje svoj objem, vzniká expandovaný perlit. Je to vynikajúca tepelno- a zvukovoizolačná hmota. Iným výborným izolačným výrobkom sú čadičové vlákna, dlaždice či vata vo forme matracov z alkalických bazaltov. Spracúvajú ich v Novej Bani. Pri stavbe ciest, železníc, letiskových dráh a podobne majú nezastupiteľné miesto horniny sopečného pôvodu, najmä andezity. V Bielej hore pri Michalovciach zasa ťažia íly používané v moderných technológiách, ktoré tiež vďačia za svoj vznik hydrotermálnej premene.

Dôsledkom sopečnej činnosti tohto obdobia bol aj vznik teplých mineralizovaných prameňov (Sklené Teplice a iné), ktorými je Slovensko bohato obdarené.

prof. RNDr. Dušan Hovorka, DrSc.
člen Slovenskej akademickej spoločnosti

Od bentonitu k rádioaktivite

Náročnú úlohu, ktorej riešenie je však zastavené, nemožno odsúvať donekonečna. Výskum mladých vedcov Slovenska prispieva k budúcemu riešeniu...

Zachovať aspoň súčasný stav životného prostredia je ešte stále nedosiahnuteľným snom. Jedným z vážnych znečisťovateľov životného prostredia je nesporne energetika. Napriek udalostiam v japonskej Fukušime sa získavanie elektrickej energie jadrovými štiepnymi reakciami uránu považuje ešte aj dnes za najčistejší spôsob jej výroby.

Na Slovensku zabezpečuje jadrová energetika viac ako 50 % celkovej elektrickej energie v dvoch závodoch. Atómové elektrárne v Mochovciach sú situované na juhu Slovenska, medzi Nitrou a Levicami. Závod Atómové elektrárne Bohunice sa nachádza na západnom Slovensku, neďaleko Trnavy. Každý jadrový reaktor okrem množstva potrebnej elektrickej energie produkuje rádioaktívny odpad a vyhoreté palivové články, ktoré treba dlhodobo uložiť. Ako najvhodnejšie sa ukazuje hlbinné geologické úložisko. Pôvodne malo byť na Slovensku v plnej prevádzke už od roku 2037, v súčasnosti sa to z ekonomických dôvodov ukazuje ako nereálne.

Bentonit a jeho využitie

Bentonit je ílovitá hornina, ktorá vznikla zvetrávaním prevažne treťohorných hornín. Má schopnosť viazať na svoj povrch (proces sa nazýva absorpcia) niektoré rádioaktívne prvky, vznikajúce ako produkt reťazovej štiepnej reakcie uránu v jadrovom reaktore. Tieto vlastnosti bentonitov určuje ich chemická a mineralogická skladba, veľkosť ich povrchu a hodnota maximálneho množstva rádionuklidov, ktoré sú schopné na svoj povrch naviazať. Súbor úžitkových vlastností bentonitu závisí od minerálu *montmorillonitu*. Celkové zastúpenie montmorillonitu sa napríklad v bentonite zo slovenskej lokality Jelšový potok pohybuje od 50 do 85 %. Neílové častice tvorí kremeň, živec, biotit a nepremenený materiál.

Bentonit zo Slovenska
Foto: archív Katedry geológie Prírodovedeckej fakulty UK, Bratislava

Slovenské bentonity (Jelšový potok, Kopernica, Lieskovec, Lastovce, Dolná Ves) sa majú využiť ako súčasť izolácie, multibariérového systému, v hlbinnom geologickom úložisku pre rádioaktívny odpad a vyhoreté palivové články. Multibariérový systém pozostáva z viacnásobných izolačných bariér – jednu z nich tvoria bentonitové horniny. Zhotovenie hlbinného úložiska je nesmierne náročný proces, ktorý

si vyžaduje dôslednú prípravu. Hlbinné geologické úložiská predstavujú komplex v hĺbke 500 až 1 000 m pod zemským povrchom s vybudovaným monitorovacím a multibariérovým systémom ochrany. Ochranné bariéry sú inžinierskeho typu (palivová obálka, zatavenie do skla, kovový kontajner...) a prírodného typu (bentonitové zásypy, geologické podložie). V prípade zlyhania niektorej z inžinierskych bariér práve bentonitová bariéra môže zabrániť úniku rádioaktivity do biosféry. V celosvetovom výskume hrajú v tejto oblasti prím vyspelé jadrové veľmoci ako Amerika, Rusko, ale aj Škandinávia, najmä Švédsko a Fínsko. Lídrom v tejto problematike je momentálne Fínsko, ktoré je najďalej vo vývoji a výstavbe hlbinného geologického úložiska Onkalo v lokalite Olkiluoto. Existujú viaceré štúdie a koncepty úložiska, napríklad prototyp hlbinného geologického úložiska v lokalite Yucca Mountain (USA) alebo švédsky koncept, ktorý je teoreticky realizovateľný aj na Slovensku.

Na Slovensku sa prípravné a vývojové práce projektu hlbinného geologického úložiska začali roku 1996. Vytypovalo sa päť lokalít, kde by bolo vybudovanie úložiska bezpečné z hľadiska geologického podložia. Po prvotnom výskume a vytypovaní lokalít sa projekt roku 2001 zastavil a stojí dodnes. Odhady na začiatku smerovali k roku 2037. Vtedy sa mala začať skúšobná prevádzka takéhoto úložiska. Dnes je tento termín už nereálny. Keďže ide o mimoriadne nákladnú investíciu, reálnym riešením sa ukazuje vybudovanie spoločného úložiska pre niekoľko krajín. Tu však narážame na legislatívnu bariéru. Podľa platnej legislatívy EÚ je zakázané vyvážať vyhoreté jadrové palivo a rádioaktívny odpad z krajiny, v ktorej bolo vyprodukované. V nasledujúcich rokoch očakáva jadrová obec zmenu legislatívy pri zachovaní maximálnej ochrany životného prostredia a úplnej kontroly nad vyhoretým jadrovým palivom a rádioaktívnym odpadom. Preto sa na výskume využitia bentonitových hornín podieľajú chemici, fyzici, geológovia, environmentalisti aj hydrológovia. Úlohou multidisciplinárneho výskumu je nielen komplexne zhodnotiť ich vlastnosti, ale aj simulovať podmienky očakávané v hlbinnom geologickom úložisku.

Jedným zo základných predpokladov je odolnosť proti rádioaktívnemu žiareniu. To, že sa nakoniec bentonitové horniny použijú v úložisku vo forme zásypov alebo lisovaných blokov, predurčujú ich mineralogické, mechanické a deformačné vlastnosti.

Fyzikálne a chemické vlastností hornín a minerálov a rôznych činiteľov, ktoré tieto vlastnosti môžu ovplyvniť, či už v pozitívnom, alebo negatívnom smere, sú predmetom výskumu niekoľkých vedeckých skupín na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave.

Mgr. Adrián Krajňák, Mgr. Eva Viglašová, doc. RNDr. Michal Galamboš, PhD.
Katedra jadrovej chémie
Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava

Vieme pozerať do vnútra hmoty

Nukleárna magnetická rezonancia, čiže NMR spektroskopia, je jedna z metód, ktorou bez poškodenia možno nazerať do vnútra archeologických nálezov či do ľudského tela.

Aby sme vysvetlili metódu NMR spektroskopie, musíme začať od začiatku. Všetko okolo nás tvoria atómy. To, že sa skladajú z jadra a elektrónov a jadrá sa skladajú z protónov a neutrónov, je známe. Vlastnosti týchto častíc – *spin* a *magnetický moment* – sú už menej známe.

Spin v magnetickom poli

Spin (z angl. točiť sa) je stav, ktorý si predstavíme ako otáčanie sa atómového jadra okolo vlastnej osi, ako zotrvačník. Atómy s nenulovým spinom vytvárajú v svojom okolí magnetické pole. Správajú sa tak ako malá magnetka orientovaná v smere osi otáčania spinu, lenže každý atóm má inú orientáciu. Hovoríme, že majú *magnetický moment*. Keď sa atómy dostanú do magnetického poľa, mala by sa atómová magnetka zorientovať v jeho smere ako v kompase. Bráni jej v tom však spin, ktorý svojou zotrvačnosťou pôsobí proti zmene orientácie magnetického momentu. Výsledkom skladania síl je rotácia (správne precesia) osi magnetky okolo smeru magnetického poľa, kým spin stále rotuje okolo pôvodnej osi ako v gyroskope. Tento jav môžeme pozorovať na hračke *rotujúci vĺčik*, keď začína spomaľovať svoj pohyb a vychyľuje sa z osi otáčania.

Rýchlosť precesie (rotácie) závisí od typu atómového jadra a od veľkosti magnetického poľa. Pri súčasne používaných supravodivých magnetoch sa pohybuje na úrovni miliónov ráz za sekundu, čiže stoviek megaherzov, čo zodpovedá rádiofrekvenciám. Po krátkej chvíli sa aj napriek zotrvačnosti celková magnetizácia, zložená z príspevkov jednotlivých atómov, ustáli v smere magnetického poľa (teda do smeru, okolo ktorého spiny *rotujú*). No ustálenú celkovú magnetizáciu merať nemôžeme.

Čo spôsobí rádiovysielač

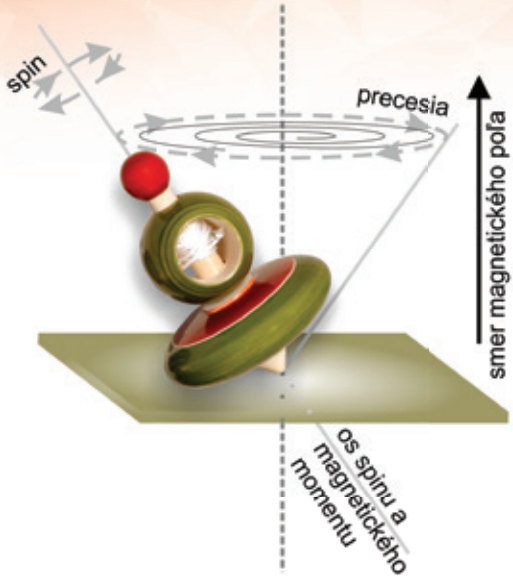
Na pozorovanie magnetizácie slúži cievka rádioprijímača uložená kolmo na smer magnetického poľa, do ktorej stredu sa vzorka vkladá. Ako však vychýliť ustálenú magnetizáciu, aby precesovala (rotovala) cez jadro cievky? V tejto chvíli sa do procesu zapojí tá istá cievka, ale ako rádiovysielač. Cievkou vieme vytvoriť lineárne striedavé elektromagnetické pole s určitou frekvenciou. Všetky spiny, a teda aj celková magnetizácia, sa začnú otáčať okolo nového magnetického poľa, no iba dovtedy, pokým sú rádiové vlny zapnuté. V tom najjednoduchšom prípade ich necháme zapnuté iba niekoľko mikrosekúnd, aby sa magnetizácia vzorky vychýlila o 90 stupňov. Po vypnutí vysielača spiny znovu reagujú na pôvodné magnetické pole a svojou precesiou (rotáciou) okolo neho generujú signál, ktorý trvá niekoľko milisekúnd až sekúnd. Signál sa dá sledovať pomocou cievky fungujúcej ako citlivý rádioprijímač, v ktorej rotujúca magnetizácia indukuje prúd.

Využitie magnetickej rezonancie

Ako sa dá tento jav magnetickej rezonancie využiť? Ako sme spomínali, rýchlosť precesie (rotácie) veľmi jemne ovplyvňuje sila magnetického poľa, preto sa snažíme udržiavať pole stabilné a homogénne. Na to sú najlepšie *supravodivé magnety*. Magnetické pole, ktoré však nevieme priamo ovplyvniť, je vytvárané v okolí samotných jadier pohybom a rozmiestnením elektrónov. Pohyb elektrónov vytvára dodatočné pole, ktorého veľkosť je ovplyvnená množstvom náboja. Množstvo náboja nachádzajúceho sa v okolí ľubovoľného jadra závisí od elektronegativity atómov v jeho okolí, teda od chemickej štruktúry. Ten istý atóm v inej molekule bude v mierne inom magnetickom poli a prispôsobí sa tomu aj jeho frekvencia. A od frekvencií k štruktúre je potom už len krôčik.

Čo môžeme pomocou NMR sledovať?

Asi najvýznamnejším využitím NMR je to, že pomáha určovať štruktúry – od jednoduchých chemických látok cez zložitejšie prírodné či



Precesia a rotácia spinu v magnetickom poli
Ilustrácia: Marcela Pekarčíková

syntetické produkty až po veľké molekuly bielkovín a iné makromolekuly. Okrem toho sa pomocou NMR dajú sledovať priebehy chemických reakcií, vzájomné pôsobenie látok i zmeny štruktúry jednotlivých (bio) molekúl. Možnosť rozlíšiť vo vzorke viacero látok naraz sa využíva pri štúdiu metabolizmu. V medicíne je známy spôsob zobrazovania vnútra ľudského tela – *magnetická rezonancia*, ktorý bez chirurgického zákroku či nebezpečného žiarenia umožní nahliadnuť do vnútra tela. Vývoj nových spôsobov merania a ovplyvňovanie spinov počas experimentu skladanými rádiovými vlnami umožňuje vyvíjať ešte pokročilejšie metódy na zrýchlenie merania, získavať z neho ešte viac informácií či zvyšovať jeho citlivosť. To sú hlavné ciele a trendy vývoja nukleárnej magnetickej rezonancie.

Ing. Michal Kaliňák
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie STU, Bratislava

Pohonné látky z celulózy

Automobilky chrlia dennodenne kvantá nových áut, výrobu nezastavili letecké ani lodiarske spoločnosti. Čo však bude poháňať dopravné prostriedky, keď vyčerpáme zásoby ropy aj zemného plynu? Možným riešením môže byť rastlinná biomasa.

Kvapalné palivá budúcnosti

Európska únia má za cieľ do roku 2050 nahradiť 30 % klasických motorových palív pre automobilovú, lodnú a leteckú dopravu motorovým palivom z rastlinnej biomasy. Ide vlastne o etylalkohol zo suchých rastlinných bunkových stien. To, čo predstavuje stavebný materiál každej rastliny, sa nazýva *lignocelulóza*. Tvorí pletivá v stonkách rastlín alebo kmeňov stromov. Skladá sa prevažne z celulózy, hemicelulózy a lignínu. Na vypestovanie rastlín ako materiálu na biopalivá sú potrebné veľké plochy pôdy. Biomasou však môžu byť tiež poľnohospodárske zvyšky, napríklad slama. Niektoré krajiny majú okrem obrovského množstva slamy a iných vedľajších produktov poľnohospodárskej výroby aj veľké rezervy vo využití menej kvalitných pôd, ktoré nie sú vhodné na poľnohospodárske účely. Takéto pôdy môžu slúžiť na pestovanie rýchlo rastúcich rastlín: tráv a niektorých drevín (napr. topoľov). Práve vlastnosti topoľov skúmali vedci v posledných dvoch desaťročiach v súvislosti s premenou ich hmoty na etylalkohol. Plantáže topoľa sú populárne v Česku a zakladajú sa aj u nás: zatiaľ ako zdroj biomasy na kúrenie. V našich podmienkach pri návrhoch produkcie rastlinnej biomasy treba brať do úvahy ochranu poľnohospodárskej pôdy a životného prostredia.

Rastliny verzus mikroorganizmy

Rastliny sa vyvíjali tak, aby odolávali nielen nepriaznivému počasiu, ale aj mikroorganizmom, využívajúcim rastlinnú hmotu ako zdroj výživy a energie. Evolúcia prinášala mikroorganizmy s čoraz účinnejšími enzýmami na rozklad bunkových stien rastlín. Rastliny sa preto stávali

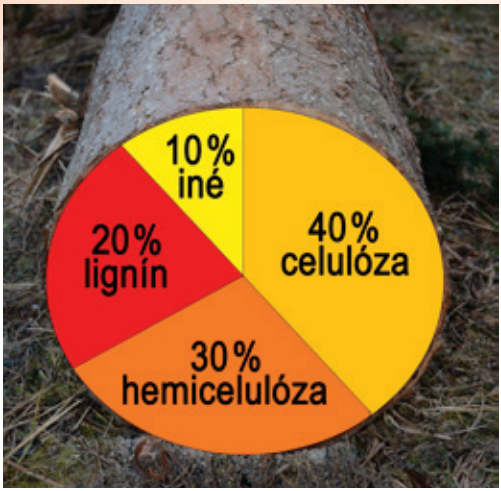
odolnejšími proti týmto útokom. Výsledkom sú neobyčajne ťažko rozložiteľné bunkové steny – vysoko zosieťované prírodné kompozity zložené z troch rôznych polymérov. Dva z nich sú vystavané z jednoduchých cukrov, sacharidov, pospájaných do dlhých reťazcov nazývaných polysacharidy. Tie spolu predstavujú 60 až 70 % suchej hmotnosti bunkových stien. Ich kostrou je vo vode nerozpustná celulóza. Reťazce tohto polysacharidu sa navzájom spájajú do pevných vláken, ktoré nazývame *celulózové fibrily*. Ďalšími polysacharidmi sú tzv. hemicelulózy zložené z iných cukrov než glukóza. Ich funkciou je spletať celulózové fibrily a vypĺňať priestor medzi nimi. Na rozdiel od celulózy sú vo vode čiastočne rozpustné a nemajú snahu tvoriť vlákna. Treťou zložkou bunkových stien rastlín je zvláštny polymér zvaný lignín, ktorý môžeme označiť za rastlinný decht alebo smolu. Je zodpovedný za hnedé sfarbenie dreva, má aromatický charakter a v stenách plní najmä ochrannú funkciu – bráni mikrobiálnym enzýmom rozkladať stenovú štruktúru.

Etylalkohol z celulózy

Uvedené tri polyméry sú prekážkou pri premene rastlinnej hmoty na biopalivá. Preto ich treba *rozbiť*, aby sa dokázali rozštiepiť na jednoduché cukry, z ktorých sa dá etylalkohol vyrobiť. Tieto postupy vyvíjali vedci už v tridsiatych rokoch minulého storočia v Nemecku, keď sa snažili rozložiť rastlinnú hmotu minerálnymi kyselinami. V ostatnom čase sa rozklad polysacharidov robí veľmi efektívne pomocou geneticky modifikovaných mikroorganizmov, ktoré dokážu nielen produkovať štiepiace enzýmy, ale aj premieňať cukry na etylalkohol.

Ešte stále pridrahý bioetanol

V dôsledku odolnosti rastlinných bunkových stien proti mikroorganizmom a ich enzýmom je etylalkohol vyrábaný z biomasy naďalej v Brazílii zrejme nie pridrahý na to, aby konkuroval klasickým motorovým palivám. To, čo sa pre rastliny ukazuje ako podmienka prežitia, ako výhoda, je pre naše potreby nevýhodou. Jednou z možností,



Priemerné zloženie rastlinnej hmoty
Foto: Miroslav Saniga

ako sa dá znížiť odolnosť bunkových stien, je ich enzýmová degradácia. Druhou možnosťou je zvýšenie podielu takých zložiek, ktoré sú zdrojom fermentovateľných sacharidov. Výskum vedie smerom ku genetickej modifikácii rastlín s nižším obsahom lignínu, aby sa tak odstránila prekážka sacharifikačného procesu. Inou stratégiou je vnášať do rastlín gény, ktoré by zabezpečili oslabenie bunkových stien. Čerstvým príkladom je klonovanie fungálneho enzýmu objaveného v Chemickom ústave SAV v Bratislave, ktorý v stenách rastlín štiepi krížové väzby spájajúce lignín s polysacharidmi. Proces úspešne uskutočnili vo švédskych a v kanadských laboratóriách. Tento smer je však spojený s rizikom, že upravená štruktúra bunkových stien môže mať nepriaznivé účinky na mechanické vlastnosti rastliny, prípadne na jej prežívanie.

Úloha génového inžinierstva

Okrem úsilia o úpravu štruktúry bunkových stien prebieha výskum aj v oblasti zníženia ceny a zvýšenia výkonnosti enzýmov. Enzýmy sa stávajú predmetom enzýmového inžinierstva. Ide o prípravu mutantov s vylepšenými vlastnosťami. Obrovské výskumné kapacity sa venujú vyhľadávaniu nových enzýmov využitím tzv. environmentálnej genomiky, iným slovom – *metagenomiky*. Vedci hľadajú inšpiráciu v prírode. Veď s rozkladom bunkových stien rastlín a využitím ich energie si dennodenne bežne dávajú rady kompostoviská alebo tráviaci trakt prežúvavcov.

Výskumníci sú schopní z týchto zdrojov izolovať súbor genómov mikroorganizmov. Takáto environmentálna alebo metagenomická deoxyribonukleová kyselina (DNA) obsahuje obrovský počet génov kódujúcich doteraz neobjavené enzýmy, ktoré môžu pomôcť pri výrobe etylalkoholu z lignocelulózy. Je však potrebné takéto gény vyhľadať.

Geneticky modifikované mikroorganizmy

Kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*, doteraz využívané na produkciu etanolu, nemajú schopnosť produkovať štiepiace enzýmy, a tak do nich vedci vnášajú gény z iných mikroorganizmov, ktoré to dokážu. Výskum je úspešný. Podarilo sa dokonca prerobiť kvasinky tak, že si takéto enzýmy zabudovávajú do svojej povrchovej štruktúry spojením cudzorodých bielkovín s bielkovinami vlastného povrchového plášťa.

Optimizmus na záver

Veľa dnešných technických výdobytkov si ľudstvo predtým nevedelo predstaviť. Dnes aj zásluhou slovenských vedcov boli objavené enzýmy rozkladajúce polysacharidy doteraz neznámym spôsobom. Vyhľadávanie nových enzýmov závisí od partnerstva metagenomikov s chemikmi. Výskum v tejto oblasti prináša poznatky pre zelenú, ekologicky čistú chémiu založenú na všestrannom využití rastlinnej hmoty, v ktorej sa recykluje skleníkový plyn oxid uhličitý.

RNDr. Peter Biely, DrSc.
Chemický ústav SAV, Bratislava

Syntetické farbivá by nás mali zaujímať

Dávajme si pozor na kozmetiku, ktorú používame po holení či depilovaní. Všímajme si zloženie lízaniek!

Syntetické farbivá bývajú zložkami nielen potravín, pochutín a nápojov, ale aj kozmetických výrobkov. Mnohé z nich používame opakovane a počas dlhých rokov. Zatiaľ čo po požití sa väčšina farbív v tráviacom trakte štiepi a zneškodňuje, nemusí to tak byť pri ofarbenej kozmetike, ktorá sa nanáša na pokožku. Vedecká obec je v súčasnosti znepokojená zdravotnými rizikami najmä azofarbív a trifenylmetánových farbív.

Riziko vstrebávania cez pokožku niektorých z nich potvrdzujú výskumníčky z Fakulty chemickej a potravinárskej technológie Slovenskej technickej univerzity. Výsledky ich výskumu naznačujú, že za určitých okolností môžu niektoré farbivá prenikať do živých štruktúr kože a cez krvný obeh sa stať systémovo dostupnými s menej alebo viac známymi zdravotnými dôsledkami. V rámci doktorandskej práce Mgr. Marianny Lucovej, PhD., sa kolektív okrem iného zameral na hodnotenie často používanej brilantnej modrej (na obale kozmetiky je identifikovateľná kódom CI 42090, na obale potravín kódom E133) a patentnej modrej (CI 42051, resp. E131).

Koža prasacieho ucha

Keďže v Európskej únii je od roku 2009 testovanie kozmetiky na živých zvieratách (lat. *in vivo*) zakázané, výskumníčky hodnotili vstrebávanie cez pokožku metódami *in vitro* (lat. v skle), a to v špeciálne upravených difúznych komôrkach. Utvorili podmienky simulujúce kožný prienik u človeka. Ako difúznu membránu použili kožu zo zadnej časti prasacieho ucha, ktorú Svetová zdravotnícka organizácia (WHO), Európska komisia a Organizácia pre hospodársku spoluprácu a rozvoj (OECD) uznávajú za vyhovujúcu alternatívu ľudskej kože.

Cez pokožku s neporušenou kožnou bariérou farbivá z kozmetických prípravkov neprenikali, takže obavy z ohrozenia zdravia sú

Je modrá farba neškodná?
Foto: Vladimír Fecko

neopodstatnené. Keď sa však pokožka narušila holením alebo depilovaním, situácia sa zmenila. Najvýraznejší prienik farbív do živých vrstiev kože v laboratóriu zaznamenali po aplikácii prípravkov s obsahom liehu (pleťovej vody, vody po holení a gélu po holení), ktoré sa nimi často prifarbujú.

Sliznica prasacieho jazyka

Výskumníčky zaujímal aj osud farbív, ktoré nezriedka výrazne zafarbia deťom jazyk po lízaní lízaniek. Pri týchto výskumoch použili ako *vstupnú bránu* sliznicu prasacieho jazyka. Hoci množstvo vstrebaných farbív nebolo veľké, treba si uvedomiť, že na rozdiel od zjedenia ofarbenej potraviny, ktorá putuje potom na spracovanie do tráviaceho traktu a tam sa do veľkej miery farbivo zneškodní, po prieniku sliznicou jazyka môžu farbivá prenikať priamo do krvi. Zafarbené jazyky detí, obľubujúcich pestrofarebné lízanky (neraz neznámeho pôvodu zakúpené na jarmokoch), nech sú varovaním! Výsledky výskumu publikovali v renomovanom časopise Food and Chemical Toxicology.

Nedávno tento výskumný kolektív dokončil výskum týkajúci sa prieniku široko diskutovaných konzervačných látok – parabénov – do pokožky. V súčasnosti sa venuje hodnoteniu ďalších zdravotne kontroverzných látok, akými sú určité ultrafialové filtre v kozmetike na ochranu pred slnečným žiarením, ale aj niektoré postrekové pesticídy bežne používané neprofesionálnymi pracovníkmi, napríklad záhradkármi.

doc. Ing. Jarmila Hojerová, PhD.
Ústav biotechnológie a potravinárstva
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie STU, Bratislava

Zvykajme si – hurikány už aj v Európe

Otepľujúci sa Atlantický oceán znamená pre západnú Európu väčšie riziko vzniku hurikánov.

K tomuto záveru dospela jedna z posledných štúdií analyzujúca zmeny podmienok vzniku a vývoja tropických cyklón v oblasti Atlantického oceána, predovšetkým však v blízkosti pobrežia západnej Európy. Hurikány alebo všeobecnejšie tropické cyklóny sú veľmi hlboké tlakové poruchy, ktoré sa odohrávajú na ploche v priemere od 100 do 1 000 km^2. Vytvárajú sa nad teplými tropickými oceánmi najčastejšie od druhej polovice leta do konca jesene (august až november). Hovoríme, že nastala *hurikánová sezóna*. V Atlantickom oceáne väčšina z týchto cyklón putuje najskôr od západného pobrežia Afriky a Kapverdských ostrovov smerom na západ okolo južného okraja Azorskej tlakovej výše. Ak neskončia nad Karibským morom, výškové prúdenie tlakovej výše ich trajektóriu postupne stáča po parabole najskôr smerom na severozápad, sever a neskôr na severovýchod až východ. V prípade, že sa udržia v *dobrej kondícii* a zachovajú si svoju silu a štruktúru aj po prechode cez rozsiahly Atlantik, môžu skončiť až pri pobreží Britských ostrovov, prípadne kontinentálnej západnej Európy.

Hurikán v malom

Keďže teplota povrchu oceána v oblasti centrálneho Atlantiku postupne klesá až pod prahovú hodnotu 26 – 27 °C, ktorá je nevyhnutná na podporu existencie tlakovej cyklóny, hurikány na ceste do Európy postupne slabnú, a to cez štádium tropickej búrky až do štádia tzv. mimotropickej cyklóny. Keď takáto hlboká tlaková níž zasiahne západnú Európu, vo väčšine prípadov už nejde o skutočný hurikán, ale skôr o jeho pozostatok. Jeho hlavné znaky – intenzívne zrážky a silný vietor – však hurikán ešte pripomínajú.

Hurikán Isabel nasnímaný z vesmírnej stanice ISS
Foto: Johnson Space Center, NASA

Neradostná budúcnosť

Na simulovanie výskytu cyklón (podobných hurikánom) v oblasti Severného i Biskajského zálivu, Britských ostrovov a západného pobrežia Nórska v období rokov 2094 až 2098 použili autori štúdie veľmi podrobný globálny klimatický model.

Šesť modelových simulácií na obdobie konca 21. storočia bežalo v podmienkach predpokladaných vyšších koncentrácií CO_2 a vyššej priemernej teploty povrchu Atlantického oceána. Výsledky porovnali so simuláciami súčasného stavu z rokov 2002 až 2006. Okrem toho pridali údaje z výskytu a intenzity cyklón v priestore východného Atlantiku. Závery sú veľmi zaujímavé. Ak sa v súčasnosti v oblasti západnej Európy vyskytnú počas americkej hurikánovej sezóny v priemere

len dve hlboké cyklóny tropického pôvodu, na konci 21. storočia by ich mohlo byť podľa spomínaného modelu až 13 ročne. Najviac by ohrozovali oblasť Biskajského zálivu. Za hlavnú príčinu tohto možného vývoja autori štúdie považujú najmä významné zvýšenie teploty povrchových vrstiev Atlantického oceána. Teplota by sa mala zvyšovať nielen v oblasti pobrežia západnej Európy, ale aj v priestore tropického Atlantiku pri brehoch Afriky.

V súčasnosti sme už svedkami, že v tropickej oblasti východného Atlantiku vzniká čoraz viac tropických cyklón a rýchlo sa vyvíjajú až do štádia hurikánu. Tropické cyklóny ohrozovali Európu aj v minulosti, veď v rokoch 1960 až 2010 zasiahlo západ Európy spolu 23 veľmi hlbokých tlakových porúch. Až 21 z nich malo pôvod v hurikánoch a dve v tropických búrkach. Keďže doterajší výskyt pozostatkov tropických cyklón v tejto oblasti sprevádzali značné škody spôsobené intenzívnymi zrážkami aj silným vetrom, výsledky štúdie nie sú pre obyvateľov Britských ostrovov, Nórska, Portugalska či Francúzska povzbudzujúce.

Hurikánová hrozba je pre husto osídlenú Európu veľkým mementom. Uvedomujú si bežní Európania, že na klimatických zmenách môže mať podiel aj silné znečisťovanie atmosféry, ku ktorému sami veľmi intenzívne prispievajú?

Mgr. Jozef Pecho
Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha

Nezadržateľné pokroky v molekulárnej medicíne

Objav princípu štruktúry dvojzávitnice úplne zmenil a ďalej mení biomedicínsku vedu aj klinickú prax zameranú na prevenciu, diagnostiku a liečbu chorôb. Lekári musia naozaj nepretržite študovať.

Kyselina deoxyribonukleová – DNA – bola známa už v 19. storočí, ale až počas druhej svetovej vojny sa zistila jej dôležitosť pri dedičnosti znakov. Pre amerického biológa Jamesa Watsona a britského biofyzika Francisa Cricka, ktorí pracovali v Cambridgei, to bol podnet, aby začali skúmať jej štruktúru. Svoje zistenia publikovali v apríli 1953 v časopise *Natur*e. Ich objav umožnil vznik molekulárnej biológie a medicíny, ako ju poznáme dnes.

Nosič informácií

Objav princípu štruktúry DNA umožnil nielen pochopiť dedičnosť, reprodukciu a evolúciu, ale priniesol aj možnosti skúmať DNA konkrétnych organizmov a jedincov. Hovoríme v tomto prípade *o čítaní* alebo *sekvenovaní DNA*. DNA je miesto, kde sa uchovávajú a prenášajú informácie o organizme, podobne ako kniha či pevný disk v počítači. A podobne ako pri prepisovaní knihy alebo kopírovaní dát na pevnom disku aj pri prepisovaní DNA dochádza k chybám, preklepom. Postupom času takto môžu vznikať poškodené sektory a chyby, ktoré sa zväčša dajú – ale nie vždy – opraviť. Skúsenosti so vznikom chýb pri prepisovaní dát viedli k nevyhnutnosti zálohovať ich. Zálohovanie dát sa uplatňuje aj v štruktúre DNA, keď v jej dvojzávitnicovej štruktúre je jedno vlákno pre druhé vlákno akousi biologickou zálohou.

Ľudský genóm

Čo dnes vieme o ľudskom genóme? Napríklad to, že obsahuje približne tri miliardy bázových párov – niečo ako bitov či písmen zo štvorpísmenkovej abecedy. Našli sme v ňom asi 26 000 génov, možno

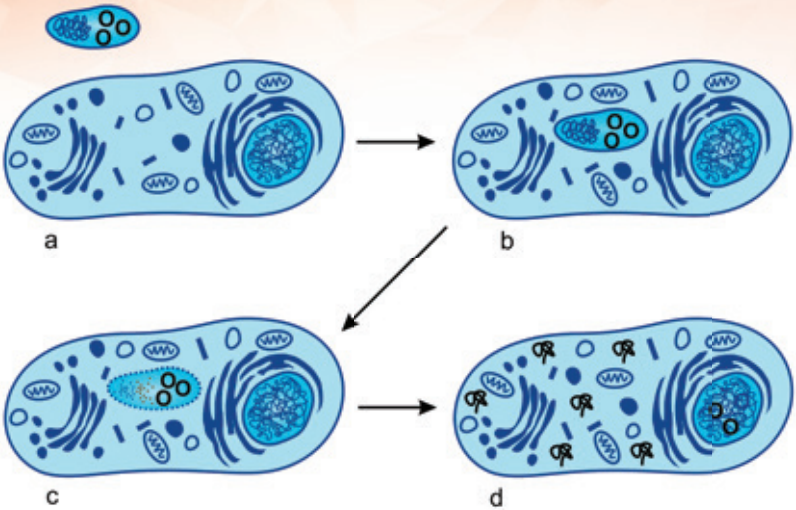
aj 40 000 podľa toho, ako základnú jednotku genetickej informácie definujeme. Posledné analýzy však naznačujú, že ich zrejme bude menej ako 20 000. V každom prípade ich je oveľa menej, než sa odhadovalo v minulosti (predpovedali sa milióny). Veľa vecí o ľudskom genóme ešte stále nevieme. Ani netušíme, na čo používajú bunky asi 80 % DNA, ktorá je mimo génov. Vieme, že ju čítajú, využívajú, ale na čo – to zatiaľ nevieme. Donedávna sme si ešte mysleli, že ide o *junk DNA* – jej nepodstatnú, nadbytočnú časť.

Vedomosti hodné Nobelovej ceny

Ak ste si mysleli, že spoznávanie ľudského genómu váš život nijako neovplyvnilo, mýlite sa. Celá súčasná medicína – a to nielen nové liečivá, ale aj nové protokoly, zistenia, zmeny terapeutických a diagnostických postupov – priamo a ešte viac nepriamo závisia od úsekov, sekvencií génov v našom genóme. Vďaka molekulárnym analýzam je možná presnejšia diagnostika, a to by bez poznania sekvencie ľudského genómu nebolo vôbec možné. Úspešnosť liečby viacerých typov rakoviny sa za posledné roky výrazne zlepšila práve vďaka spoznávaniu ľudského genómu. Pri srdcovo-cievnych chorobách dosahuje liečba už svoje limity. Zlepšenia možno dosiahnuť zrejme len liečbou šitou na mieru za pomoci genetických analýz. Nobelova cena za sekvenovanie ľudského genómu zatiaľ nebola udelená, ale myslím si, že by už bolo na čase udeliť ju.

DNA čip

Procesory v počítači dnes už pozná snáď každé dieťa. Hoci stále nerozumiem, ako fungujú, viem aspoň, že v každom čipe je veľa tranzistorov. Podobné je to aj s *DNA čipmi* – akurát namiesto tranzistorov ide *o sondy* nalepené na sklíčku. Sondy sú krátke vzorky RNA (kyseliny ribonukleovej) alebo navzájom sa dopĺňajúcich častí DNA. Na jeden DNA čip je dnes možné nalepiť aj viac ako tri milióny takýchto sond a pomocou nich vyhodnocovať vybraté miesta v analyzovanej DNA. Keď si uvedomíme, že máme približne dvadsaťtisíc génov, tak je jasné,



Prenos terapeutického génu 0 do cieľových buniek pomocou baktérií prechádzajúcich cez membránu a uvoľňujúcich daný gén do bunky
Geneticky modifikované baktérie nad bunkou (a) sa aktívne alebo pasívne dostávajú do cieľových buniek (b), rozpadajú sa (c) a odovzdávajú genetický materiál vo forme plazmidov 0, ktoré sa dostávajú do jadra, a hostiteľská bunka môže produkovať terapeutickú bielkovinu K (d)
Ilustrácia: Marcela Pekarčíková

že vyšetrením napríklad tkaniva z nádoru vieme analyzovať nielen to, ako tkanivo číta, a teda využíva dôležité onkogény alebo gény spomaľujúce rast tumoru, ale aj všetky gény, ktoré má k dispozícii.

Jeden DNA čip dnes stojí asi 500 eur, ale vyšetrenie pomocou neho môže stáť aj 3 000 eur. Dôvod je jednoduchý. Získať samotné údaje už nie je veľký problém, ale ich vysvetľovanie a opis áno. Pri jednom-dvoch génoch ešte približne tušíme, čo môže znamenať ich intenzívnejšie alebo slabšie čítanie – využívanie, ale pri sto génoch? Pri tisícke génov?

Rozdielne sekvencie DNA

Ľudia sa medzi sebou líšia a časť tejto rôznorodosti spôsobujú i rozdielne úseky DNA. Tieto rozdiely môžu byť relatívne veľké – našli sa aj ľudia, ktorí niektoré gény vôbec nemajú a pritom sú zdraví. V priemere

je však rozdiel medzi dvomi nepríbuznými ľuďmi len na každom tisícom mieste v sekvencii DNA. Čiže po 999 rovnakých písmenách príde jedno, ktorým sa od seba líšime. Znamená to, že v skutočnosti sme si veľmi blízki. Platí to však iba v rámci rovnakého pohlavia. Medzi pohlaviami sú rozdiely pre pohlavné chromozómy X a Y také veľké, že celý genóm mužov je geneticky bližší samcom šimpanza než ženám.

Dôležité je umiestnenie

Vzhľadom na veľkosť nášho genómu (asi tri miliardy bázových párov – písmen) a frekvenciu rôznorodých pozícií (1 : 1 000) môžeme v podstate teoreticky pomocou jedného čipu analyzovať u človeka všetky takéto variabilné miesta. Hoci je tento prístup veľmi zjednodušený, ukazuje silu a obrovskú výpovednú hodnotu analýz, ktoré v súčasnosti už ani nie sú také drahé.

Variabilné úseky v genóme sú zaujímavé aj pre medicínu. Medzi príčinami všetkých chorôb sú aj genetické faktory, ale aj iné – negenetické. Ak chceme vedieť, aký podiel má genetická premenlivosť na tom, či je človek zdravý, alebo chorý, môžeme ho odhadnúť, resp. vypočítať pomocou štúdií na jedno- a dvojvaječných dvojčatách. Tento parameter sa volá *heritabilita* a je pri mnohých chorobách, ale aj bežných fyziologických znakoch prekvapujúco vysoký. Takéto štúdie sa robili už dávno pred objavením štruktúry DNA. Lenže štúdie na dvojčatách neukážu, ktoré konkrétne gény, resp. ktoré varianty týchto génov sú dôležité.

Prečo analyzovať celú DNA

Ako príklad môže poslúžiť ischemická choroba srdca, pretože jej následkom je akútny infarkt myokardu, zlyhávanie srdca a často aj smrť. Vedci chceli odhaliť genetické faktory prispievajúce k vzniku a vývoju tejto choroby. Dlho sa to nedarilo. Keď je faktorov veľa a každý z nich má len malý účinok, na ich odhalenie treba veľké súbory pacientov. Navyše, vedci sa sústredili na tie časti DNA, ktoré kódovali

gény. To sa ukázalo ako chyba. Problém vyriešila až rozsiahla štúdia sponzorovaná spoločnosťou Welcome Trust, ktorej výsledky sa zverejnili roku 2007 v časopise *Nature*. V rámci tejto štúdie výskumníci zozbierali vzorky DNA od dvetisíc pacientov pre každú z vybraných siedmich chorôb. Medzi nimi bola aj ischemická choroba srdca. K týmto pacientom mali vedci jednu spoločnú kontrolnú skupinu tritisíc zdravých ľudí. Všetky vzorky analyzovali DNA čipy. Variabilné miesta roztrúsené po genóme testovali jedno po druhom, zisťovali, ako sú zastúpené u chorých a ako u zdravých ľudí. Ak sa vyskytla taká pozícia, na ktorej zdraví mali iné varianty než chorí, bolo jasné, že gén na tomto mieste súvisí s príslušnou chorobou. Pritom niektoré varianty môžu riziko ochorenia zvyšovať, iné znižovať. Pre ischemickú chorobu srdca takto identifikovali miesto na krátkom ramienku 9. chromozómu. Keď sa vedci pozreli bližšie na konkrétne miesto, boli prekvapení. Široko-ďaleko nič, ani jeden gén... Až neskoršie analýzy tejto tzv. *génovej púšte* ukázali, že práve tam sa nachádza informácia pre malú RNA, ktorá ovláda využívanie iných dôležitých génov v bunkách srdcového svalu. Odvtedy lepšie rozumieme ischemickej chorobe srdca. A navyše, tento výsledok prispel k motivácii detailne analyzovať práve *odpadovú DNA*. Ďalšie výskumy ukázali, že drvivá väčšina DNA sa v rôznych bunkách za rôznych podmienok využíva, aj keď zatiaľ nevieme na čo.

Nový pohľad na choroby

Takéto tzv. *celogenómové asociačné štúdie* úplne zmenili pohľad na mnohé choroby, o ktorých sme si mysleli, že ich príčiny poznáme. V súčasnosti sa nestačíme čudovať, aké gény sú veľmi dôležité. Mení sa náš pohľad na vznik a vývoj chorôb, ale tým aj na ich liečbu. Vieme, že mutácie a tzv. polymorfizmy – fyziologické varianty génov – ovplyvňujú riziko chorôb. Dá sa to využiť aj v diagnostike? Napríklad diabetes mellitus 2. typu. Ešte vždy mnoho laikov, ale, žiaľ, aj lekárov si myslí, že túto chorobu človek dostane, keď konzumuje veľa sladkého. Je to však fáma, ktorá s realitou nemá v podstate nič spoločné. Aj pri tomto type diabetu zohrávajú dôležitú úlohu genetické faktory,

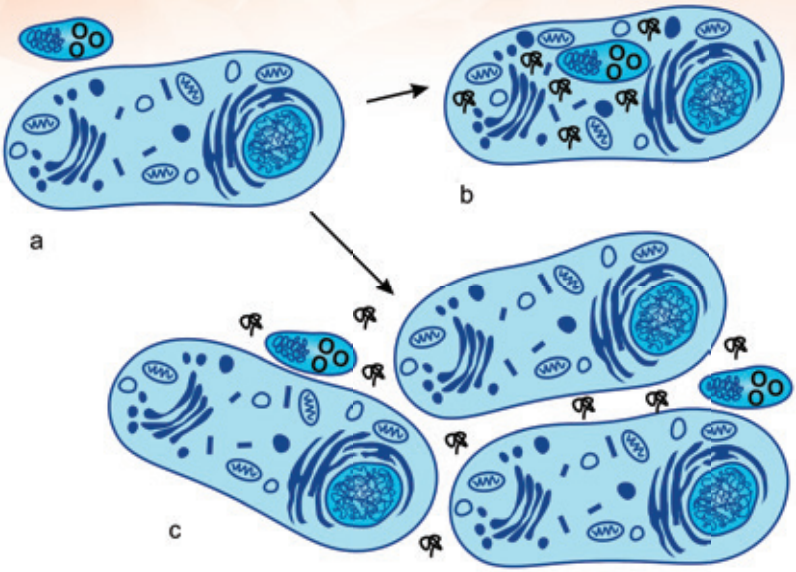
a dokonca sú dôležitejšie než pri diabete 1. typu. Akurát ich je veľmi veľa a každý z nich – aspoň z tých doteraz známych – má len relatívne malý vplyv. Nefunguje to teda tak, že analýza jedného až dvoch génov už povie, či pacient bude mať alebo nebude mať diabetes. Analýza približne 50 až 100 genetických variantov však už dáva relatívne dobrý odhad rizika, že sa u daného človeka vyvinie choroba.

Ako liečiť pomocou DNA

Načo skúmať DNA? Veď sa aj tak nedá zmeniť. Iste, DNA vieme zatiaľ zmeniť v rámci organizmu iba veľmi obmedzene, takže ak má raz niekto zvýšené genetické riziko vzniku diabetu, tak ho bude mať po celý život. To však nie je dôvod takéto analýzy nerobiť. Ak lekár vie, že jeho pacient má zvýšené genetické riziko ochorieť na nejakú chorobu, bude ho častejšie sledovať. Spraví mu diagnostický test, a keď zistí, že chorý nie je, pozve pacienta na podobný test o rok. Pacient má zaručené, že lekár včas odhalí nástup choroby, čo je práve pri diabete veľmi dôležité. Do akej miery bude vyšetrenie genetického rizika zmysluplné pre danú chorobu, závisí predovšetkým od lekára, ktorý výsledky dostane do rúk. Ak to bude niekto, kto ešte nepočul o genetických polymorfizmoch, DNA čipoch či celogenómových asociačných štúdiách, tak potom to vyšetrenie bolo zbytočné a pacient peniaze vyhodil.

Každý pacient je iný – personalizovaná medicína

Podobne ako pri odhaľovaní príčin chorôb môžu byť analýzy genetických asociácií dôležité aj vo farmakológii. Naša genetická variabilita vedie k mnohých drobným, ale dôležitým rozdielom. Líšime sa napríklad v tom, ako spracúvame liečivá v pečeni, ako na ne odpovedáme v cieľových tkanivách, prípadne ako ich vylučujeme. A tak niektorí z nás potrebujú nižšie dávky liekov na tzv. zriedovanie krvi, prípadne viac betablokátorov na zníženie krvného tlaku. Sme len na začiatku objavovania týchto genetických faktorov, ale už dnes má vďaka farmakogenetike úplne iný význam často používaná veta: *Každý pacient je iný*.



Alternatívna génová terapia
Geneticky modifikované baktérie (a) neodovzdávajú terapeutický gén 0 hostiteľským bunkám, ale samy produkujú terapeutickú bielkovinu K buď vnútri bunky (b), alebo mimo bunky (c). Pri dlhodobej produkcii vnútri bunky sa takto pripravená baktéria podobá na mitochondriu, a preto sa nazýva baktochondria
Ilustrácia: Marcela Pekarčíková

Farmakogenetiku, skríning, čiže aktívne vyhľadávanie genetických chorôb, prípadne genetických faktorov ovplyvňujúcich choroby, a ostatné podobné vyšetrenia možno brať ako základ skutočnej *personalizovanej medicíny*. Často sa o nej hovorí ako o tom type medicíny, ktorý konečne nahradí medicínu založenú na dôkazoch z klinických štúdií. Pri nich totiž platia údaje odrážajúce priemerné hodnoty skúmanej vzorky pacientov (napr. odporúčané dávkovanie liečiv), pričom konkrétni pacienti potrebujú iné ako priemerné. Lenže realita je taká, že aj každá forma *personalizovanej medicíny* musí prejsť klinickými štúdiami, ktoré preukážu vplyv príslušného genetického faktora, a teda prinesú ďalšie dôkazy na rozhodovanie sa pri liečbe.

Prvá génová terapia v Európe

Prielom vo výskume klinického využitia genetických modifikácií prinieslo zavedenie prvej génovej terapie do rutinnej praxe v Európe pred dvomi rokmi. Deficit *lipoproteínovej lipázy* je zriedkavé ochorenie, pri ktorom pacientom v dôsledku genetického defektu chýba v tele gén pre lipoproteínovú lipázu, teda enzým zodpovedný za odbúravanie niektorých tukov. Pacienti s týmto ochorením musia dodržiavať prísnu diétu s nízkym obsahom tuku a sú náchylní na časté zápaly pankreasu, čo je závažná komplikácia, ktorá môže ohrozovať ich život. V súčasnosti im už však rutinne možno pomôcť génovou terapiou, pri ktorej pomocou adenovírusov dostanú do tela správnu verziu postihnutého génu.

Napínavá budúcnosť molekulárnej medicíny

Málokto si Nobelovu cenu zaslúžil viac ako japonský lekár a výskumník Šinja Jamanaka. Dostal ju roku 2012, ani nie šesť rokov po publikovaní svojich výsledkov. Jamanaka našiel štyri faktory, ktoré dokážu zmeniť hotovú bunku aj dospelého organizmu do formy tzv. *indukovanej pluripotentnej kmeňovej bunky*. Pluripotentná kmeňová bunka dokáže vytvoriť všetky tri základné zárodočné listy (tkanivo, ktoré tvoria deliace sa bunky v skorých štádiách vývoja organizmu po oplodnení) a teoreticky akékoľvek tkanivo pre regeneračnú medicínu. Jamanaka nielenže vyriešil zásadný technický problém, ale aj zo dňa na deň zrušil debatu o používaní kmeňových buniek z embryí ako potenciálne živých ľudí. To všetko vďaka génovej terapii, lebo pluripotentné bunky vytváral práve pomocou génového prenosu. Objavenú štvoricu faktorov aplikoval na bunky vo forme génov a preniesli ich retrovírusy.

Aké možnosti ponúka ďalšie nové odvetvie vedy – *syntentická biológia*, o tom môžeme len špekulovať. Veda ide rýchlo dopredu, a tak sa dajú očakávať nové spôsoby liečby: probiotikami, v ktorých baktérie získavajú nové lepšie vlastnosti vďaka genetickým úpravám, geneticky

modifikovanými očkovacími látkami proti rôznym – aj neinfekčným chorobám, ďalej syntetickými vírusmi alebo baktériofágmi meniacimi tkanivá a mikroflóru v našom tele. Genetické modifikácie na myšiach už dávno ukázali, aké množstvo informácií pomocou génového inžinierstva môžeme získať. Budúcnosť molekulárnej medicíny tak bude určite napínavá.

doc. MUDr. Ing. RNDr. Peter Celec, PhD., MPH
Ústav molekulárnej biomedicíny
Lekárska fakulta Univerzity Komenského, Bratislava

Riešenie nielen obezity, ale aj cukrovky

Už vôbec nie je ojedinelým javom nadmerne obézny človek. Jedným z pridružených zdravotných problémov, ktoré ho postihnú, je takmer vždy cukrovka.

Odborníci prirovnávajú obezitu vyvolanú nadmerným jedením, a teda závislosťou od jedla, k alkoholizmu. Človek sa pomaly poddáva pohodlnému spôsobu života, prejedá sa, priberá, no neustále tvrdí, že má situáciu pod kontrolou. Dovtedy, pokým sa z estetického problému nestane problém zdravotný. Nadmerne tučného človeka, teraz už pacienta, dostáva do rúk obezitológ, ktorý spolupracuje s psychológom, internistom či špecialistom na výživu. Takýto pacient sa už nedokáže sám pomocou diéty a pohybu zbaviť nadmernej hmotnosti. A to, že sa čoraz menej hýbe, je jasné. Častou komplikáciou obezity je cukrovka 2. typu. S každým kilogramom hmotnosti navyše stúpa riziko vzniku diabetu o 16 %. Keď sa prejaví, zľaknú sa aj najväčší jedáci a chcú situáciu riešiť. Pri výskume *Diabetes Prevention Program* sa v USA počas vyše dvojročného sledovania podarilo intenzívnou zmenou životného štýlu viac ako trom tisíckam ľudí s nadváhou znížiť telesnú hmotnosť až o 7 %. V porovnaní so skupinou, ktorá zotrvala v svojom pôvodnom režime, sa znížilo u nich riziko vzniku cukrovky o vyše polovicu. Priaznivé zmeny v diéte a pohybovej aktivite sa darí dosiahnuť vo výskumných podmienkach, ale bohužiaľ, nie vždy v praxi. Najnovšie prehľadové odborné práce, ktoré hodnotia výsledky poradenstva a vzdelávania zameraného na úpravu životosprávy, dospievajú k záverom, že poradenstvo a takéto vzdelávanie neznižujú výskyt civilizačných ochorení ani úmrtnosť. Ak obezitológ, internista aj psychológ skonštatujú, že pre ich pacienta s nadmernou hmotnosťou už nestačia bežné postupy ako schudnúť, ponúknu mu radikálne riešenie – operačné zmenšenie žalúdka. Tieto operácie vykonáva *bariatrický chirurg*. Pacient však musí chcieť svoju obezitu riešiť a spolupracovať.

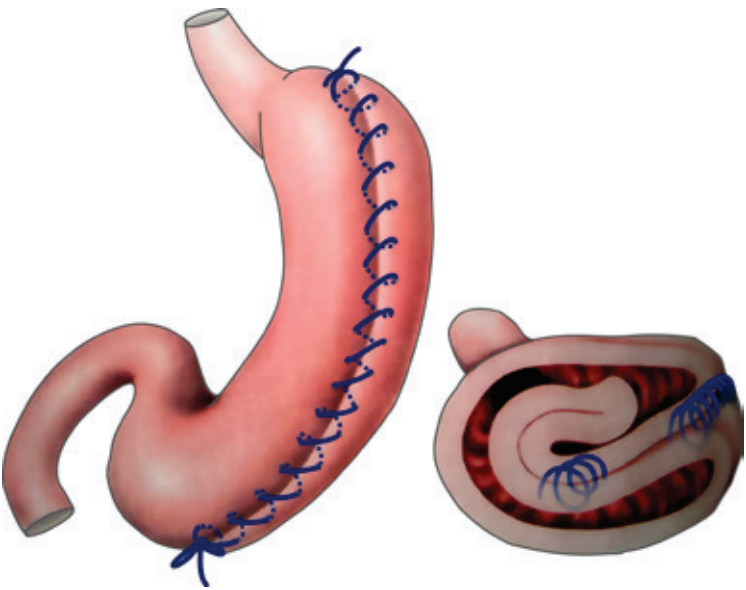
Ako zmenšiť žalúdok

Existuje niekoľko metód, ako sa dá žalúdok zmenšiť. Dnes sa vykonávajú tieto zákroky laparoskopicky, cez niekoľko malých rezov na bruchu. Najznámejšou metódou je bandáž žalúdka, keď sa na hornú časť žalúdka navlečie krúžok a vytvorí sa akési vrecko. Vznikne tak malý priestor, do ktorého sa zmestí len malé množstvo potravy. Pacientovi snažiacemu sa držať redukčnú diétu to pomáha, aby nejedol toľko jedla ako pred zákrokom. Cez úzku štrbinu krúžku potom potrava pokračuje ďalej do žalúdka a všetko ďalšie trávenie prebieha normálne. Inou metódou je pozdĺžne chirurgické zúženie žalúdka, ktorý nadobudne podobu rukáva (po anglicky sleeve). Inou formou je plikácia, pozdĺžne zanorenie väčšej steny žalúdka, ako keď krajčírka robí záševok. Nič sa z organizmu neodstraňuje, sliznica žalúdka zostáva zachovaná, môže vylučovať tráviace šťavy. Objem žalúdka sa však značne zmenší, do tzv. *rukávovej* podoby, potrava potom postupuje cez zúžený štrbinový priestor žalúdka ďalej do tráviaceho traktu. Ďalším typom je gastrický bypass, ktorý sa používa v podstate už viac ako štyri desaťročia. Tu sa bypassom obchádza väčšia časť žalúdka i začiatok tenkého čreva. Aj pri tejto operácii sa žalúdok podstatne zmenší, potrava prechádza iba malou hornou časťou žalúdka a cez malý otvor ide ďalej do tráviacej rúry, priamo do tenkého čreva. Tým, že sa trávenina dostáva rýchlejšie do vzdialenejšej časti tenkého čreva, nastávajú hormonálne zmeny. Prinášajú okamžitý liečebný účinok na diabetes i na viaceré metabolické poruchy súvisiace s obezitou ešte skôr, ako pacient schudne. Preto sa tieto bariatrické operácie označujú za *metabolickú chirurgiu*.

Prv ako sa pacient rozhodne pre chirurgický zákrok, lekári ho upozornia na rôzne vedľajšie nežiaduce dôsledky a riziká, ktoré operácia prináša. Napríklad doživotné užívanie výživových doplnkov, ako aj tekutá a kašovitá strava počas prvého mesiaca po operácii. Pacient musí zmeniť životný štýl, keďže je s operáciou spojená aj zmena stravovacích návykov – jesť častejšie, ale malé porcie. Riziká laparoskopickej bariatrickej (metabolickej) operácie vykonanej na špecializovanom pracovisku s dlhoročnou praxou nie sú väčšie ako pri bežnom laparoskopickom odstránení žlčníka.

Cukrovka

Jedným z výhodných účinkov bariatrickej operácie je jej pozitívny vplyv na cukrovku, na diabetes 2. typu, ktorou trpí viac ako 95 % diabetikov. Príčina vzniku cukrovky 2. typu vzniká mnoho rokov predtým, kým sa zistí samotné ochorenie. Prvotným problémom je porucha na úrovni steny buniek. Bunky a tkanivá strácajú citlivosť na inzulín, čiže na hormón, ktorý umožňuje glukóze vstúpiť do vnútra bunky, aby tam mohla byť zužitkovaná. Táto *inzulínová rezistencia* vedie v podstate k hladovaniu buniek, čo zasa kladie zvýšené nároky na slinivku brušnú, ktorá inzulín produkuje. Najprv sa neúmerne zvyšuje tvorba inzulínu. Keď to nestačí, začne stúpať hladina cukru v krvi a nakoniec sa cukor vylučuje aj močom. Diagnóza diabetu sa stanoví až v pokročilom štádiu chronickej poruchy metabolizmu, keď je slinivka brušná (čiže podžalúdková žľaza, pankreas) už vyčerpaná. V takomto stave nedokáže vyprodukovať dostatočné



Plikácia, čiže zanorenie žalúdka, vyzerá, ako keď krajčírka robí záševok
Ilustrácia: Marcela Pekarčíková

množstvo inzulínu potrebného na veľké množstvo telesnej hmoty. Veľký telesný objem vyžaduje vysokú koncentráciu cukru v krvi, aby sa prekonala inzulínová rezistencia a aby sa dostala výživa do buniek. Bežná koncetrácia cukru nestačí, vzniká hyperglykémia, čiže nadmerné množstvo cukru v krvi, a začína sa rozvíjať cukrovka 2. typu – zákerné i nebezpečné ochorenie. U ťažko obéznych vzniká so 40- až 90-násobne vyšším rizikom v porovnaní s normálne vážiacimi. Diabetes je najčastejšou príčinou zlyhania obličiek. Spôsobuje slepotu, úbytok sivej mozgovej hmoty, zvyšuje riziko infekcií, infarktu srdca a mozgovej mŕtvice, zhoršuje prekrvenie periférnych tkanív a až šesťsto Slovákom ročne musia amputovať končatiny. Ide o doživotné, nevyliečiteľné ochorenie. No štatistiky hovoria, že ak sa pacient podrobí bariatrickej operácii, pokým má ešte ako-tak funkčné Langerhansove ostrovčeky (žliazky v slinivke brušnej vylučujúce inzulín), vylieči sa. Do širokej praxe sa skúsenosti bariatrických chirurgov dostávajú iba pomaly a s neuveriteľným oneskorením. Veď v USA chirurgovia pozorovali a publikovali svoje výborné výsledky v liečbe cukrovky 2. typu pomocou gastrického bypassu už pred viac ako 20 rokmi! Takmer 10 % populácie u nás sú diabetici, aj keď niektorí o tom ani nevedia, pretože *cukrovka nebolí*. Podľa štatistických údajov až 28 % z nich má v dôsledku cukrovky závažné komplikácie, ako sú zlyhávanie obličiek, poruchy sietnice, poruchy hojenia rán či amputácie končatín. Najefektívnejšou liečbou diabetu 2. typu je nateraz bariatrická operácia. Takouto formou by sa možno mohli liečiť aj pacienti, ktorí nemajú enormnú nadváhu, ale iba prvý stupeň obezity podľa klasifikácie WHO. Celoživotné ochorenie cukrovkou 2. typu sa správnou a včasnou operáciou stáva vyliečiteľným. A aj keď operačné zmeny na tráviacom trakte po gastrickom bypasse možno vrátiť do pôvodného stavu, v praxi to nie je potrebné.

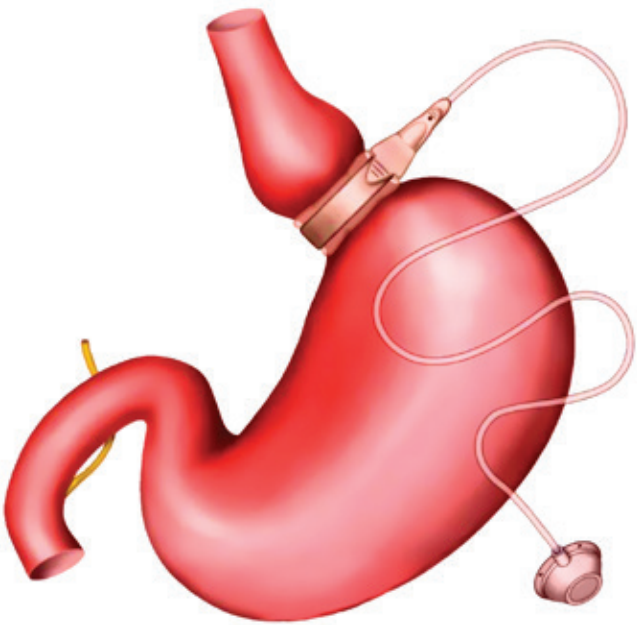
Situácia na Slovensku

Aj na Slovensku sa robia bariatrické operácie. Zdravotné poisťovne ich však neuhrádzajú, preto sa vykonávajú iba v nízkych počtoch, čo lekárom zatiaľ neumožňuje získať adekvátnu erudíciu. V českej Břeclavi, kde ročne operujú viac ako 150 obéznych pacientov, ponúkajú

plikáciu žalúdka, sleeve resekciu žalúdka a rôzne typy gastrických bypassov vrátane minigastrického bypassu. Poslednou metódou sa operovala už približne stovka pacientov s veľmi priaznivými ohlasmi (podrobnejšie na www.bandazzaludka.sk).

Zbaviť sa obrovského množstva nadbytočných kilogramov je nesmierne komplikované, oveľa jednoduchšie je chrániť sa pred nimi. Musíme to mať v hlave ako zvonček vždy, keď si budeme chcieť na tanier naložiť ešte nejaké ďalšie dobroty alebo keď budeme čakať na výťah miesto toho, aby sme zvládli niekoľko poschodí pešo.

MUDr. Michal Čierny, CSc.
Chirurgické oddelenie – bariatria
Nemocnica Břeclav, Česká republika



Bandáž žalúdka
Na hornú časť žalúdka sa navlečie krúžok, ktorý na ňom vytvorí malé vrecko
Ilustrácia: Marcela Pekarčíková

Zaujímajte sa o prebiotiká

O probiotikách už čo-to vieme. Súvisia so zdravou výživou. A prebiotiká? Pre mnohých je to len preklep. Omyl, ide o ďalšiu prirodzenú zložku potravín.

Termínom **probiotiká** sa označujú mikroorganizmy, spravidla baktérie (asi najpopulárnejšie sú mliečne baktérie rodu *Lactobacillus* a *Bifidobacterium*), ktoré sa po konzumácii usádzajú v tráviacom trakte. V hrubom čreve zdravého človeka žije v rovnováhe takmer päťsto druhov rôznych neškodlivých mikroorganizmov. Zdravá črevná mikroflóra je veľmi potrebná na trávenie. Produkuje rôzne enzýmy a vitamíny, obmedzuje hnilobné procesy a práve tie patogénne mikroorganizmy v čreve, ktoré sú rizikové z hľadiska výskytu rakoviny v hrubom čreve. Probiotiká sa stali pomerne nedávno výhodným obchodným artiklom, keď ich výrobcovia začali pridávať do potravín, aby tak získali *zdravé funkčné potraviny*, a tým aj nové produkty na rozšírenie sortimentu. Často však ide skôr o marketing než o užitočné množstvo probiotík, najmä v konzervovaných mliečnych produktoch.

Významným prirodzeným zdrojom probiotík sú však všetky nekonzervované kvasené produkty ako nepasterizovaná bryndza, domáce kyslé mlieko, jogurty a kefíry, kvasená kapusta, kvasená zelenina, mušty, víno, kvasinkové pivo, zrejúce syry, kvasené a pečené obilné výrobky a koláče (kvasené cesto) či droždie.

Prebiotikami neoznačujeme mikroorganizmy, ale látky, ktoré sú užitočné pre črevnú mikroflóru. Povzbudzujú ju k aktivite a pomáhajú jej rásť. Majú pozitívny účinok aj na mobilizáciu nášho imunitného systému. Znižujú množstvo jedovatých a rakovinotvorných látok v hrubom čreve, ktoré vznikajú enzymatickou činnosťou baktérií s výnimkou laktobacilov a bifidobaktérií a ako metabolické produkty trávenia. Je prekvapujúce, že takmer všetky doteraz známe prebiotiká majú povahu nestráviteľných *oligosacharidov* vybudovaných z jednoduchých cukrov navzájom pospájaných väzbami. V hrubom čreve

Foto: Vladimír Fecko

sa teda prebiotiká stávajú substrátom pre niektoré žiaduce bifidobaktérie, ktoré ich prekvasujú a rozkladajú na jednoduché sacharidy. Hlavnou požiadavkou na vlastnosti prebiotík je ich stabilita v žalúdku a tenkom čreve, aby sa v nezmenenom stave dostali až do hrubého čreva. Pri zámernom zavádzaní prebiotík do potravy treba vybrať iba také, ktoré nespôsobujú nadúvanie alebo iné výrazné tráviace problémy. Zdrojom prirodzených oligosacharidov sú napríklad strukoviny, korene čakanky, hľuzy topinambury, cesnak, pór či cibuľa.

Prebiotiká nenachádzame v bežnom cukre, sacharóze, v škrobe a iných látkach cukornatej povahy, ktoré dokáže ľudský organizmus využiť pomocou enzýmov. Z tohto stručného úvodu vyplýva aj návod, ako si zapamätať rozdiel v termínoch probiotiká a prebiotiká: **probiotiká** sú mikroorganizmy a **prebiotiká** sú potraviny pre mikroorganizmy v tráviacom trakte.

Japonci a prebiotiká

Výskum prebiotík je tradičnou doménou Japonska. Prvé prebiotiká sa tu začali pripravovať pomocou nových enzýmov už roku 1970. Rôzne druhy oligosacharidov, ktoré sa odvtedy v tejto krajine dostali do potravín, sú oveľa pestrejšie než v Európe alebo na americkom kontinente. U nás poznáme ako prebiotiká hlavne polysacharid *inulín* a fruktooligosacharidy (zložité cukry) získané jeho rozložením alebo enzýmovými premenami iných cukrov. Základným stavebným kameňom inulínu je ovocný cukor fruktóza. Jeho jednotky sú v tomto polysacharide pospájané väzbami, ktoré sa v žalúdku a tenkom čreve nerozložia. Na inulín sú bohaté viaceré druhy zeleniny, napr. špargľa, artičoka, cesnak, pór a čiastočne aj cibuľa. Inulín pridávaný do potravín sa získava z hľúz topinambury. V Japonsku predstavuje trh s prebiotickými oligosacharidmi stovky miliónov dolárov. Už roku 1991 japonská vláda povolila viac ako sto rôznych zdraviu prospešných potravinových doplnkov, ktoré obsahujú oligosacharidy. V Japonsku ako prví zaviedli aj výrobu *xylooligosacharidov* (pre ľudí nestráviteľných sacharidov) na báze rastlinnej hemicelulózy xylánu. Je to druhý najrozšírenejší polysacharid v prírode, predstavuje približne 30 % rastlinnej hmoty. Príkladom v tejto oblasti môžu byť firmy Santory Co a Biomaterials v Tokiu. Oligosacharidy ako populárne umelé sladidlo využívali Japonci ešte predtým, ako miestna vláda roku 1990 ustanovila Výbor pre štúdium funkčných potravín (obohatených o zdraviu prospešnú zložku) – *Functionalized Food Study Committee*.

Využitie rastlinnej hmoty

Celosvetový rozmach biopotravín, obohatených najmä o vlákniny a probiotické baktérie, zvýšil záujem výrobcov o xylooligosacharidy. V súčasnosti je ešte vyšší, pretože narástol aj záujem o komplexné využitie rastlinnej hmoty, ktorá sa nevyužíva na potravinárske účely. Fragmenty xylánu, ktorého základnou stavebnou jednotkou je päťuhlíkatý cukor xylóza, sú vyhľadávané prebiotiká. Aby sme mohli lepšie využiť

rastlinné hemicelulózy, musíme ich rozkladať, degradovať. Využívajú sa na to mikrobiálne enzýmy. Náš bratislavský príspevok poznania mikrobiálnych enzýmov nám otvoril dvere do japonských laboratórií orientovaných na premenu rastlinnej hmoty. Súčasťou nášho príspevku boli aj objavy nových xylanolytických enzýmov. Tieto nové enzýmy štiepu reťazce xylánu na netradične dlhé fragmenty, ktoré by mohli takmer ideálnym spôsobom spĺňať požiadavky na prebiotiká.

Príprava prebiotík a hodnotenie ich účinku

Existujú dva hlavné smery získavania prebiotických oligosacharidov. Prvým je štiepenie polysacharidov na oligosacharidy pomocou enzýmov alebo miernou kyslou hydrolýzou (rozkladom látok pôsobením vody). Druhým je premena oligosacharidov na štruktúry, ktoré im dávajú charakter prebiotík. Ide obvykle o zmenu väzby spájajúcej jednoduché cukry na typ, ktorý zabezpečuje ich nestráviteľnosť na ceste do hrubého čreva. Prebiotická účinnosť preparátov sa vyhodnocuje v laboratóriu pomocou črevných baktérií. V laboratórnych podmienkach sa izolujú črevné baktérie alebo bakteriálne zmesi zložené z užitočných a škodlivých baktérií. Známe sú aj testy v umelých podmienkach, ktoré simulujú podmienky v hrubom čreve, ale využíva sa aj priame počítanie baktérií vo fekáliách dobrovoľníkov konzumujúcich potenciálne prebiotiká. Aby sa teda v hrubom čreve čo najviac zvýšilo osídlenie užitočnými baktériami, musíme im vytvoriť podmienky v podobe prebiotík. Prebiotikami preto môžu byť len také oligosacharidy, ktoré priaznivo vplývajú na črevnú mikroflóru.

Skúsenosti z Japonska

V minulom roku som strávil tri mesiace na Katedre chemického inžinierstva na Shinshu University v Nagane. Pôsobil som na pracovisku, kde sa zaoberajú prípravou xylooligosacharidov z vedľajších produktov kukurice, konkrétne kukuričných oklaskov, ktoré dovážajú z Číny. Oklaskami nazývame odzrnené kukuričné šúľky. Na Katedre

chemického inžinierstva skonštruovali hydrotermálny reaktor, v ktorom sa pri zvýšenej teplote a tlaku uvoľňuje vyše 80 % hemicelulózy (xylánu) prítomnej v kukuričných oklaskoch, a to vo forme dlhých rozpustných xylooligosacharidov. Rozpustné sú vďaka tomu, že obsahujú okrem iného aj zvyšky kyseliny octovej, ktorá pochádza z pôvodného rastlinného tkaniva. Táto vlastnosť by mohla prispieť k väčšej stabilite látok na ceste do hrubého čreva, a tak zlepšiť ich prebiotický charakter. Spolupráca s japonským pracoviskom na tomto projekte pokračuje a premieta sa aj do našej výskumnej činnosti.

RNDr. Peter Biely, DrSc.
Chemický ústav SAV, Bratislava

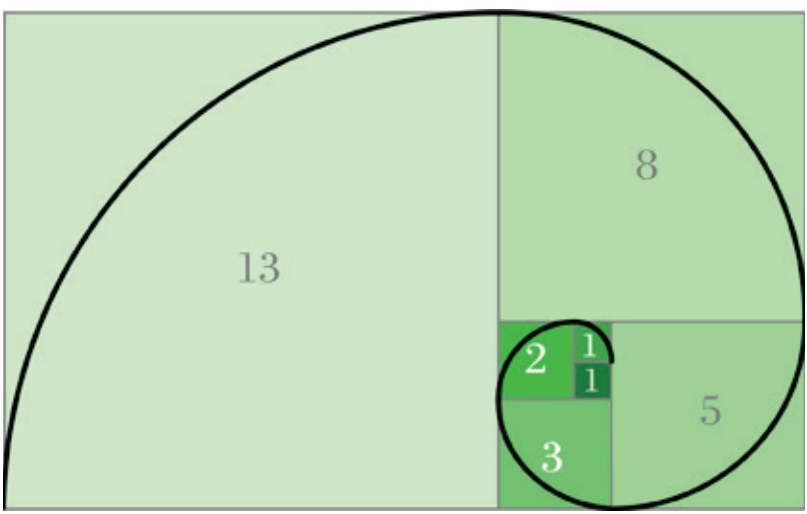
Číslo zlatého rezu je pre nás stále dôležité

Starovekí Gréci verili v mystiku čísel a proporcií. Podľa ich názoru správne čísla a pomery prispievali ku kráse a zdraviu. Ako prví práve oni definovali tzv. zlatý rez.

Pri viere Grékov v ideálne proporcie ani neprekvapí, že jedna z úloh, ktoré Euklides (žil približne v rokoch 325 – 265 pred n. l.) riešil, znela: Rozdeľ úsečku na dve časti tak, aby pomer dlhšej časti ku kratšej bol rovnaký ako pomer celej úsečky k dlhšej časti. Riešenie úlohy opísal v diele *Základy*.

Zlatý rez – pomer prírody a elegancie

Pomer dlhšej úsečky a kratšej úsečky sa neskôr ujal pod názvom *zlatý rez* (po latinsky sectio aurea). Dnes ho označujeme gréckym písmenom φ alebo Φ [fí], podľa gréckeho sochára Feidiasa (okolo 480 – 430 pred n. l.), ktorý ho používal v svojich dielach.



Zlatý rez
Ilustrácia: Marcela Pekarčíková

Dokonalý pomer, ako sa často nazýval v stredoveku, sa objavuje nielen v umení, ale aj v prírodných a spoločenských vedách, čím sa stáva azda najfantastickejším číslom.

Spoločenské vedy

Psychológ Gustav Fechner (1801 – 1887) experimentálne zistil, že ľuďom sa najviac páčia obdĺžniky, ktorých pomer strán sa najviac blíži k zlatému rezu. Maska, ktorú vytvoril Stephen Marquardt (phi mask), je estetickým ideálom proporcií tváre. Na jej vytvorenie využil pomer zlatého rezu. Dokonalé prekrytie masky možno vidieť na najkrajších tvárach histórie, napríklad na portréte kráľovnej Nefertiti, na Raffaelovej *Madonne* alebo na fotografii Marilyn Monroe.

Prírodné vedy

Zlatý rez sa vyskytuje aj v proporciách ľudského tela. Napríklad pomer výšky človeka k vzdialenosti pupka od zeme, pomer dĺžok kostí prstov na ruke, proporcie tváre...

Dokonalým pomerom v proporciách tela za zaoberal aj Leonardo da Vinci (1452 – 1519). Dôkazom je štúdia a kresba *Vitruviov muž* (podľa rímskeho architekta Vitruvia, 80/70 – 15 pred n. l.)

Pomer zlatého rezu je zakódovaný v každom živom organizme vo forme pomeru dĺžky a šírky cyklu molekuly DNA (kyseliny deoxyribonukleovej).

Umenie

Zlatý rez v umení je dôsledkom estetických ideálov. Preto ho umelci využívajú niekedy vedome, ale zväčša podvedome. Používaný pomer nie je presne 1 : φ, ide skôr o pomer dvoch celých čísel, ktorého hodnota je však dostatočne blízka k zlatému rezu. Príklady takéhoto použitia nachádzame v najznámejších umeleckých dielach.

Egyptské pyramídy majú rozmery podobné rozmerom *zlatej pyramídy*, kde pomer výšky trojuholníka (stena ihlanu) a polovice dĺžky

strany podstavy je zlatý pomer. Najznámejšiu gotickú katedrálu Notre Dame v Paríži tiež postavili s použitím pomerov blízkych zlatému rezu. Leonardova *Mona Lisa* je kompozične riešená podľa zlatého trojuholníka, v ktorom sa celá postava nachádza. Použitie zlatého pomeru nájdeme aj v hudobných skladbách.

Zlatý rez v matematike

Pomer zlatého rezu má unikátne matematické vlastnosti. Dá sa ľahko dokázať, že φ je iracionálne číslo (nedá sa vyjadriť pomerom celých čísel).

Jeho vyjadrenie je $(1 + \sqrt{5})/2$, čo je 1,618 033 9... Číslo φ je jediné také číslo, ktoré zmenšené o 1 sa rovná svojej prevrátenej hodnote, teda $\varphi - 1 = 1/\varphi$, a zároveň sa jeho druhá mocnina rovná svojej hodnote zväčšenej o jedna, teda $\varphi^2 = \varphi + 1$.

V matematickej postupnosti známej ako Fibonacciho postupnosť, ktorej členy sú súčtom predchádzajúcich dvoch členov, sa pomer dvoch po sebe idúcich hodnôt postupne blíži k zlatému rezu. Prvé členy Fibonacciho postupnosti sú 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34...

Mgr. art. Mgr. Ladislav Šipeky
Stavebná fakulta STU, Bratislava

Viete, čo je mumio?

Význam slova múmia pozná asi každý. Čo je však mumio? Je to nejaká časť múmie alebo surovina používaná pri mumifikácii zosnulých? Kdeže, s múmiami ho nič nespája.

Mumio je prírodný materiál svetlohnedej až hnedočiernej farby, polotuhej konzistencie, horkej chuti a so zápachom po kravskom moči. V Európe používané slovo *mumio* pochádza z perzštiny (momiai-faqurul-yahud), čo znamená *horský balzam*. Mumio sa však používa v rozličných oblastiach Ázie, preto má aj iné, v Európe málo známe názvy.

Mumio v rôznych jazykoch

Jazyk	Synonymum (prepis)
sanskrit	shilajatu, shilaras, silajit
hindský	shilajit, ral-yahudi
bengálsky	silajatu, shilajit
tamilský	perangyum, uerangyum
arabský	hajar-ul-musa, arakul-dzhibol
mongolský	brag-shun
barmský	kao-tui
turkménsky	mumno-gaj
uzbecký	asil
tadžický	kijem
kirgizský	archar-taš
grécky a ruský	mumijo

Sanskrit, najstarší známy indoárijský jazyk, navyše rozoznáva štyri farebné podtypy silajitov: rajat (strieborný), tamra (medený), sarvana (zlatý) a lauha (železný). Za najkvalitnejší sa považuje lauha. Jazyková pestrosť názvov súvisí s oblasťami výskytu a tradičného používania tejto prírodnej suroviny.

Čo to vlastne je?

Mumio (silajit) očistené od prímesí je homogénna hmota tmavohnedej alebo čiernej farby s pružnou textúrou a lesklým povrchom. Pri uskladnení, keď stráca vlhkosť, postupne tvrdne a stáva sa krehkým. Ľahko sa rozpúšťa vo vode, v liehu je veľmi málo rozpustné. Mumio sa zbiera zo skalných puklín, ale o jeho pôvode sa doteraz diskutuje. Existujú tri teórie vzniku, ktoré majú svojich prívržencov.

Biologický pôvod hovorí, že vzniklo z rozkladných produktov rastlín (najmä machov a papradí) alebo exkrementov zvierat (najmä svišťov), prípadne ich kombináciou. Geologický pôvod zasa tvrdí, že je výsledkom rôznych geologických procesov a biomineralogický pôvod je kombináciou oboch názorov. Zdá sa, že tretia hypotéza je najpravdepodobnejšia. Potvrdzujú to vedecké analýzy mumia z rôznych oblastí. Napriek určitej variabilite zloženia výskumy potvrdili 60 až 80 % organického podielu a 20 až 40 % minerálov. Veľkú časť *organickej zložky* tvoria humusu podobné časti sprevádzané aminokyselinami, bielkovinami, sterolmi, tukmi, organickými kyselinami (citrónová, šťaveľová, vínna, jantárová), voskmi, ale aj vitamínom B_1, B_{12} a D_3. Minerálny podiel reprezentujú najmä soli vápnika, draslíka a horčíka či stopové prvky (meď, mangán, molybdén a zinok).

Mumio (silajit) sa v ľudovom liečiteľstve používa asi dvetisíc rokov. Prvé zachované písomné zmienky o ňom nájdeme v staroindických textoch ajurvédy, indickom systéme prírodnej medicíny. Význam tam uvádzaného názvu *silajit* sa dá preložiť ako *dobyvateľ hory a ničiteľ slabosti*. Aj ostatné jazykové mutácie odkazujú na skaly a hory. Špeciálne vycvičení zberači ho nosia z horských jaskýň v Strednej Ázii (z pohoria Kaukaz, Altaj či Tibet). Momentálne sa za najkvalitnejšie považuje mumio z Kirgizska.

Ako sa mumio zbiera

Zber mumia obostiera tajomstvo. Vzhľadom na to, že sa získava vo vysokohorských jaskyniach nachádzajúcich sa často aj vo výške 3 000 m n. m., zberači podstupujú nebezpečné výstupy v ťažko dostupnom

Originálne mumio z Altaja
Foto: Katarína Matejíčková

teréne. Vysoká nadmorská výška je evidentne podmienkou na vytvorenie mumia. Na zber sa chodí až vtedy, keď napadne sneh a keď sa ochladí. Skupina zberačov sa vydáva na niekoľkotýždňovú cestu s plecniakmi, v ktorých postupne potraviny nahradí nazbierané mumio. Napriek tomu, že sa z takejto expedície často nevrátia všetci, zber mumia zostáva veľakrát najdôležitejším príjmom celej rodiny, keď chudobná oblasť neposkytuje iné podmienky obživy. Z jednej expedície sa dá priniesť 50 až 100 kg. V rodinách zberačov si preto po generácie úzkostlivo strážia miesta výskytu tohto čierneho pokladu, ktorý v jaskyniach získavajú zo stien, stropov a trhlín, zväčša však z previsov. Metódy zberu sú rôzne – podľa podmienok. Niekedy zberači mumio systematicky zoškrabávajú, prípadne ho iba strhávajú dolu, *ako sa podarí*, inokedy ho zostreľujú, ak je veľmi neprístupné. Nuž, je to ťažký chlebík.

Všeliek

Povesť mumia ako všelieku sa vysvetľuje práve biologickými účinkami pestrej zmesi jeho obsahových látok. Ochorenia a zdravotné ťažkosti, pri ktorých sa používa mumio v ľudovom liečiteľstve, sú skutočné rozmanité: pri obličkových kameňoch, pri zápaloch močových ciest, pri žltačke, pri žlčníkových kameňoch, pri ochoreniach žalúdka a čriev, pri obezite, pri nechutenstve, pri epilepsii, pri nervových ochoreniach, pri chronickom zápale priedušiek, pri hemoroidoch, pri anémii, pri vysokom tlaku krvi, ako afrodiziakum, na podporu imunity, na prevenciu rakoviny, na urýchlenie liečenia zlomenín, na tlmenie bolesti pri zápaloch kĺbov či v kombinácii s mliekom pri cukrovke. Podľa neoverených ústnych informácií sa prípravky z mumia používali v bývalom ZSSR na zvýšenie fyzickej aj psychickej odolnosti športovcov a vojakov.

V USA majú zaregistrované štyri patenty: na prípravu prečisteného mumia z prírodného materiálu, na zmes mumio + vitamíny + minerály, na zmes mumio + rastliny + minerály a na aplikáciu farmaceutických, výživových a kozmetických zložiek. Výživové doplnky s obsahom mumia sú dostupné najmä v ázijských krajinách, ale niektoré sa vyrábajú už aj v Nemecku.

Na Slovensku nie je v databáze Štátneho ústavu pre kontrolu liekov registrovaný ani jeden liek na báze mumia, a preto nemôže byť tento prírodný produkt dávaný do súvislostí ani s jednou uvedenou chorobou alebo jej prevenciou. Distribúcia výživových doplnkov aj prostredníctvom internetových obchodov so sídlom na Slovensku je možná len po schválení Úradom verejného zdravotníctva SR, ktorý u nás reguluje aj kategóriu výživových doplnkov. Opatrnosti pri konzumácii takýchto prípravkov však nikdy nie je dosť. V praxi sa opakovane zistilo znečistenie rôznych výživových doplnkov, ktoré mali byť distribuované v Európe (najmä pôvodom z ázijských krajín), toxickými prvkami (ortuťou, olovom, kadmiom, arzénom).

prof. Ing. Milan Nagy, CSc.
Katedra farmakognózie a botaniky
Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava

Zázrak s názvom vaječná škrupina

Vrstva vápnika chrániaca obsah vajíčka je škrupina, o ktorej nie sme zvyknutí dumať. Táto vrstva však predstavuje efektívny ochranný systém. Zárodku vnútri vajíčka umožňuje dýchať a zároveň významne podporuje rast jeho kostného tkaniva.

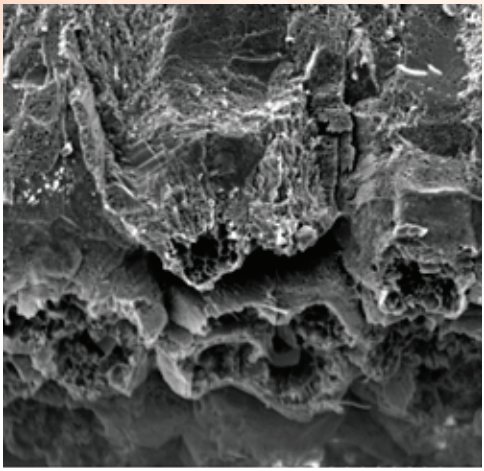
Škrupina slepačieho vajíčka je bežná vec, ktorá na prvý pohľad asi nikoho nezaujme. Keď sa však na ňu pozrieme podrobnejšie pomocou elektrónového mikroskopu, odhalí sa nám fascinujúci svet.

Škrupina – ochranná vrstva

Pri pohľade na priečny rez vaječnej škrupiny slepačieho vajca cez rastrovací elektrónový mikroskop zisťujeme, že vaječná škrupina vonkoncom nepredstavuje jednoduchú, celistvú vrstvu vápnika. Pozostáva nie z jednej, ale hneď z troch úplne odlišných vrstiev. Vnútornú vrstvu tvorí trojrozmerná sieť husto poprekrižovaných jemných organických vláken. Voľným okom ju vidíme ako *papierovú blanu*. Podobnú mikroštruktúru majú aj technológie slúžiace na filtráciu, preto môžeme predpokladať, že je to akýsi filter. Okrem toho papierová blana dodáva škrupine pružnosť a slúži ako podklad na upevnenie ďalšej vrstvy.

Najhrubšiu vrstvu vaječnej škrupiny tvoria tzv. *škrupinové jednotky* orientované kolmo na povrch škrupiny. Obsahujú najmä uhličitan vápenatý. Škrupinové jednotky sú s vláknitou vrstvou spojené pomocou kužeľovitých zakončení, do ktorých prerastajú vlákna papierovej blany. V bodoch, kde sa stretávajú viaceré škrupinové jednotky, vznikajú v dôsledku ich nepravidelného tvaru prázdne priestory. Nejde o defekt, veď práve tieto kanáliky umožňujú výmenu plynov cez škrupinu.

Jednotlivé škrupinové jednotky sú v spodnej časti dobre rozlíšiteľné, no vo vyšších častiach sú rozdiely medzi nimi čoraz menej zreteľné. Smerom dohora sa škrupinové jednotky začínajú komplikovaným spôsobom okolo seba obtáčať. Dôvod tohto komplikovaného



Pohľad cez elektrónový mikroskop na resorpčné krátery v spodnej časti škrupinových jednotiek
Foto: autor

a harmonického *tanca* skrýva v sebe jednoduchosť génia: zvyšuje pevnosť škrupiny bez toho, aby sa musela zväčšiť jej hrúbka. Hranoly pokrýva posledná vrstva, ktorá konečne spĺňa tradičné predstavy o vaječnej škrupine. Je to kompaktná vrstva prerušovaná iba ústiami kanálikov.

Pórové kanáliky síce umožňujú dýchanie, no zároveň predstavujú slabé miesto škrupiny, pretože tadiaľ môže obsah vajíčka napadnúť bakteriálna či plesňová infekcia.

Ochrana pred infekciami

Na ochranu pred vniknutím infekcií sa pri ústiach pórových kanálikov objavil celý rad ochranných bariér: ústia môžu prekrývať čapíky alebo ochranná organická vrstva – kutikula. V niektorých prípadoch sa na povrchu vajíčka vyskytujú oba typy ochranných bariér. Existujú však aj iné spôsoby, ako zabrániť vniknutiu infekcie: pri niektorých typoch vajíčok póry ústia pod najvrchnejšiu vrstvu do štruktúry pripomínajúcej včelí plást. Odtiaľ zasa cez najvrchnejšiu vrstvu vyúsťujú inými, samostatnými kanálikmi. Existencia takéhoto bludiska výrazne sťažuje prípadným votrelcom cestu k zraniteľným častiam vajíčka. To, aké ochranné systémy sa vo vaječnej škrupine vyskytujú, závisí od toho, či v hniezde panujú podmienky vhodné na rýchle množenie mikroorganizmov alebo húb. Napríklad na vajíčkach holubov, ktoré ich kladú do suchých hniezd, nie sú ústia pórových kanálikov v škrupine chránené.

No vajíčka plameniakov, ktoré ich kladú do hromady bahna, majú ústia kanálikov prekryté nielen čapíkmi, ale aj organickou kutikulou.

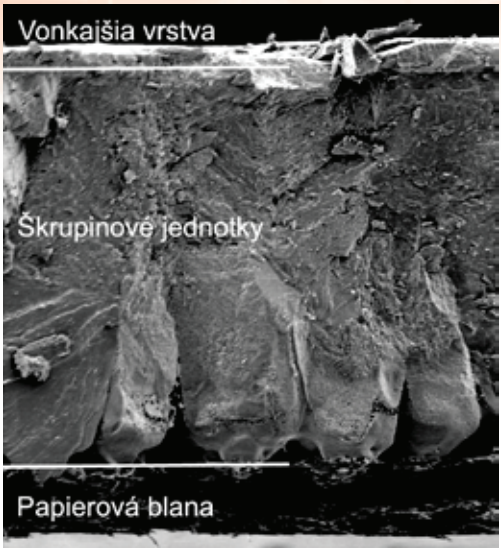
Aktívna vrstva

Výmenu plynov medzi embryom a okolitým prostredím zabezpečuje spolu s pórovými kanálikmi tzv. *allantochoriálny cievny systém*. Počas vývoja zárodku sa tento cievny systém prikladá k vnútornej strane škrupiny. Postupne sa rozrastá od *rovníka* vajíčka k jeho koncom, pričom jeho tupý koniec nikdy nedosiahne. V tom mu bráni vzduchová bublina, z ktorej embryo začne dýchať, keď sa mu vyvinú funkčné pľúca. Allantochoriálny cievny systém má však ešte jednu dôležitú funkciu.

Plyny, ktoré uvoľňuje embryo počas rastu, napríklad vodnú paru či oxid uhličitý, rozpúšťajú uhličitan vápenatý na vnútornej strane škrupiny. Cievny systém vstrebáva takto uvoľnený vápnik spolu s ďalšími minerálnymi látkami tvoriacimi vaječnú škrupinu a využíva ho pri tvorbe kostného tkaniva. Preto sa vtákom tak rýchlo tvoria kosti. Škrupina sa zároveň postupne stenčuje, čo neskôr embryu uľahčí liahnutie. V škrupinách pochádzajúcich z vyliahnutých vajíčok môžeme pod elektrónovým mikroskopom pozorovať výrazné vstrebávacie krátery.

Vyvíjajúca sa vrstva

Nie všetky živočíchy majú mikroštruktúru vaječnej škrupiny takú komplexnú ako vtáky. Vajcia živočíchov, ktoré sú na evolučnom rebríčku nižšie, majú vaječnú škrupinu výrazne jednoduchšiu. Škrupina väčšiny šupinatcov je na rozdiel od vtákov kožovitá, čo vidno aj v jej štruktúre pod elektrónovým mikroskopom: skladá sa iba z dvoch vrstiev – vláknitej a vápnitej, pričom vláknitá vrstva je podstatne hrubšia. V mikroštruktúre škrupiny vajec korytnačiek sa vyskytujú škrupinové jednotky. Najkožovitejšie škrupiny majú morské korytnačky, ktorých škrupinové jednotky sú malé a nepravidelne tvarované. Ostatné druhy korytnačiek ich majú väčšie a pravidelnejšie, čo sa premieta aj do väčšej pevnosti škrupiny. Vtáčej škrupine sa z dnešných živočíchov



Pohlcovacie krátery v spodnej časti škrupinových jednotiek
Foto: autor

najviac podobajú škrupiny krokodílov – najbližších žijúcich príbuzných vtákov. Škrupina krokodílov sa na prvý pohľad líši len tvarom škrupinových jednotiek: krokodílie škrupinové jednotky majú klinový tvar a neobtáčajú sa okolo seba.

Vajíčka uväznené v kameni

V bohatom fosílnom zázname sa okrem skamenených kostí vzácne vyskytujú aj skamenené vajcia. Najviac zachovaných fosílnych vajíčok sa zachovalo od dinosaurov, vyhynutých predkov vtákov. V mikroštruktúre vaječnej škrupiny dinosaurích fosílnych vajíčok tiež vidieť výrazné škrupinové jednotky. Mikroštruktúra vaječnej škrupiny niektorých zástupcov teropodov (teda dravých dinosaurov) sa dosť podobá mikroštruktúre škrupiny vtákov. Škrupinové jednotky oboch skupín živočíchov sa podobajú, dokonca v hornej časti začínajú byť nezreteľné, čo znamená, že sa okolo seba obtáčajú podobne, ako to vidno pri škrupinách vtákov.

Veda, ktorá sa zaoberá klasifikáciou jednotlivých typov mikroštruktúry škrupiny a ich priradeniu konkrétnym živočíšnym skupinám, sa nazýva *ooparaxonómia*. Jeden z mála spoľahlivých dôkazov príslušnosti živočícha k určitej mikroštruktúre škrupiny je zachovanie fosílneho embrya priamo vnútri vajíčka. Preto je priradenie špecifickej

mikroštruktúry škrupiny určitému vyhynutému druhu živočícha problematické. Vedci sa musia opierať iba o nepriame dôkazy, napríklad o výskyty mláďat a vaječných škrupín v tej istej horninovej vrstve.

Malý zlomok geniality

Vaječná škrupina predstavuje oveľa viac než len vrstvu vápnika, chrániaceho obsah vajíčka pred fyzickým poškodením. Je to aktívna vrstva zabezpečujúca mikrobiálnu ochranu a výmenu plynov, ktorá jedinečným spôsobom prispieva k rastu embrya vnútri vajíčka. Jej *dychberúca* komplexnosť je priamym výsledkom všadeprítomných evolučných procesov a dôležitou pripomienkou toho, že aj tie najobyčajnejšie prírodné diela v sebe skrývajú nesmiernu krásu a genialitu, nad ktorou ľudský um len nemo žasne.

Mgr. Juraj Littva
Katedra geológie a paleontológie
Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava

Populárne o vede a technike