

**MATEJ ČIERNIK**

# **ZÁZRAK, ŽE SME TU**

**ŽIVOT - CIVILIZÁCIA**



**ENIGMA**

# ZÁZRAK, ŽE SME TU

Matej Čiernik

časť 2

*ŽIVOT - CIVILIZÁCIA*

# Obsah

## Život

3

Nevyriešená záhada

3

Deoxyribonukleová kyselina - kniha života

6

## Gény

11

Rastliny a zázračné zelené farbivo

14

Ríša živočíchov

18

Človek a ostatné živočíchy

21

Krvný obeh a dýchanie

23

Signálne látky

28

Obrana proti neviditeľnému nepriateľovi

32

Informačná sieť organizmu

35

Pohyb: molekulárna mechanika svalov živočíchov

38

Výživa a udržiavanie stálosti vnútorného prostredia

40

Zmyslové orgány

42

Ľudské telo a civilizácia

45

**Civilizácia**

49

Spoločenstvá, komunikácia, učenie

49

Od tlupy k civilizácii

52

Skúmanie ľudskej spoločnosti: porozumieme sami sebe?

57

Prečo ľudia spolupracujú

63

Budúcnosť: má ľudstvo nádej prežiť?

67

**Doslov**

alebo Niekoľko viet o zákulisí vedy....

72

# Život

## Nevyriešená záhada

Vznik života je záhadou, ktorá dodnes odoláva nielen vyriešeniu, ale aj sformulovaniu úplne vierohodnej teórie. Skúmanie týmto smerom bolo v minulosti objektom nevôle cirkevných kruhov. Ale to, že doteraz chýbajú mnohé poznatky, to určite nie je len dôsledkom náboženských učení, ktoré vznik života tak či onak vysvetľovali ako dielo vyššej bytosti alebo sa zmierovali s faktom, že Stvoriteľ stojí tak akosi mimo času. Ani dnešné teórie, ktoré sa snažia vynechať z aktu vzniku života akékoľvek nadprirodzené sily, nie sú schopné predložiť celkom ucelenú predstavu, akou cestou sa počiatok života na Zemi uberal.

Dôvod, prečo dnes vieme popísať históriu celého vesmíru od prvých zlomkov sekúnd, ale tápeme v období stámiliónov rokov, počas ktorých život na Zemi vznikal, je zrejmy: celkom dobre sú známe podmienky, v ktorých prebiehal počiatok nášho vesmíru, dokonca jestvujú aj prejavy jeho prvých období v podobe reliktného žiarenia a pozorovania veľmi vzdialených oblastí vesmíru, pri ktorých vidíme udalosti, ktoré prebehli pred miliardami rokov. Naproti tomu je známych len veľmi málo podrobností o tom, aké boli podmienky na Zemi pred približne štyrmi miliardami rokov a celkom prvé organizmy mali zrejme príliš krehkú štruktúru na to, aby sa po nich mohli nájsť nejaké zvyšky. Takisto nádej, že by sme v dohľadnej budúcnosti mali šťastie preskúmať nejakú Zemi podobnú planétu v období raných štádií vývoja života je dosť mizivá.

Záujem o vedecké vysvetlenie vzniku života sa datuje do novoveku. Významným impulzom bolo poznanie, že organické látky môžu vzniknúť aj mimo živý organizmus. Dôkazom bol experiment, ktorý vykonal roku 1953 na univerzite v Chicagu Stanley Miller. Uzatvorená nádoba, naplnená plynmi, ktoré pravdepodobne tvorili prvotnú atmosféru Zeme (vodík, dusík, oxid uhličitý, metán, amoniak, voda) bola vystavená elektrickým výbojom, napodobujúcim blesky. Po určitej dobe boli v zmesi zistené aminokyseliny a iné organické látky. Neskôr sa zistilo, že jednoduché organické zlúčeniny sa vyskytujú aj v materiáli, ktorý dopadá na Zem z kozmu. Ale možnosť skutočne systematického výskumu sa začala otvárať len pred asi pred päťdesiatimi rokmi. Až tak mladý je objav spôsobu, akým je v

## Život

bunke zapísaná genetická informácia, plán, ako majú vyzerat' a fungovat' jej orgány. Bez znalosti spôsobu, ako organizmy uchovávajú, čítajú a uplatňujú informácie o svojej stavbe a funkcii sa s podrobným výskumom ich pôvodu vlastne ani nedalo začat'.

Ale chemická podstata života bola známa už o niečo skôr. Nie náhodou sa základom všetkého živého na Zemi stal jeden prvok, uhlík. Hodí sa na to z viacerých dôvodov. Hlavným je jeho schopnosť vytvárať obrovské množstvo zlúčenín, medzi ktorými dominujú organické - je ich známych oveľa viac, než všetkých ostatných dohromady. Pozostávajú z veľkého počtu vzájomne spojených atómov uhlíka, na ktoré sú pripojené menej početné atómy dusíka a kyslíka, doplnené množstvom vodíkových atómov. Podstatná je schopnosť uhlíka vytvárať molekuly vo forme reťazca, zloženého z množstva uhlíkových atómov a naviazať na každé zo svojich štyroch väzobných miest atóm iného prvku, takže je možný obrovský počet kombinácií. Okrem dlhých reťazcov bielkovín, zložených z aminokyselín napríklad molekula hému, súčasť červeného krvného farbiva obsahuje železo, životodarné zelené farbivo rastlín chlorofyl obsahuje horčík. Podstatným faktom je zrejme aj skutočnosť, že chemické reakcie medzi uhlíkatými organickými látkami prebiehajú pomerne pokojne a neuvolňuje sa pri nich také množstvo energie, ktoré by mohlo zničiť jemné štruktúry buniek. Ďalej, chemické reakcie v živých organizmoch prebiehajú len v úzkom rozsahu fyzikálnych podmienok a väčšinou v prítomnosti veľmi špecifických katalyzátorov, enzýmov. Aj tieto majú väčšinou zložené organické molekuly.

Jedna z vážnych námietok proti vzniku života v praoceánoch, ktoré pokrývali povrch Zeme v dávnej minulosti je tá, že živá bunka je nesmierne zložitá štruktúra a pravdepodobnosť jej náhodného vzniku je asi taká, ako že sa potriasaním krabice so súčiastkami náhodne poskladajú hodinky. Keby sa to malo stať takto, asi by neostávalo iné, než súhlasiť s takýmto argumentom. Bunku - nehovoriac už o celom organizme - si možno predstaviť ako veľmi zložitú chemickú továreň, v ktorej prebieha množstvo chemických reakcií. Lenže ani v chemickej továrni to nefunguje tak, že sa všetky vstupné suroviny nalejú do veľkej kade, pomiešajú, prípadne zohrejú a máme hotový výrobok. Jednotlivé reakcie prebiehajú v oddelených priestoroch, niekedy aj v rôznom čase, medziprodukty sa skladujú a transportujú oddelene, fyzikálne podmienky chemických reakcií, ako je tlak alebo teplota, koncentrácie surovín, sú dôkladne kontrolované a regulované, reakcie nezriedka prebiehajú za prítomnosti katalyzátorov.

## Nevyriešená záhada

Katalyzátory sú pre chémiu dôležité látky a v živých organizmoch majú životný význam. Plnia funkciu regulátorov biochemických reakcií. Princíp ich funkcie spočíva v tom, že poskytujú energeticky menej náročný, aj keď neraz zložitejší spôsob chemickej premeny látok. Je to podobná situácia, ako keď sa cyklista chce dostať do cieľa, ktorý síce leží nižšie, ako počiatok jeho cesty, tá však vedie cez horský priesmyk. Katalyzátor v tomto prípade otvára cestu, ktorá vrchy obchádza a rovnomerne klesá, teda je síce dlhšia, ale menej namáhavá. Ak ostaneme pri tomto prirovnaní, chemicky reagujúce látky v živých organizmoch bývajú veľmi slabí cyklisti, ktorí sa na namáhavú cestu ani nevydajú a čakajú na nejaký katalyzátor - tu nazývaný enzým - ktorý im otvorí tú pohodlnejšiu, energeticky zvládnuteľnú cestu.

Základom priestorovej organizácie bunky sú nesmierne jemné blany, membrány, ktoré oddeľujú od seba jednotlivé priestory v bunke. Ich štruktúra, niekedy dosť zložitá, pritom vytvára rôzne kanály, ktorými môžu jednotlivé látky prechádzať z jedného priestoru do iného. Existujú tiež štruktúry, ktoré dokážu tieto kanály otvárať alebo zatvárať a dokonca aj špecializované čerpadlá, napríklad iónové pumpy, schopné dopravovať vybrané látky z priestoru s nižšou koncentráciou do priestoru s vyššou koncentráciou. Príkladom takéhoto mechanizmu je napríklad tzv. protónová pumpa, mechanizmus, ktorý dopravuje ióny vodíka z buniek žalúdočnej sliznice dovnútra žalúdka, kde sa zlučujú s iónmi chlóru na kyselinu chlorovodíkovú, ktorá je súčasťou žalúdočnej tráviacej šťavy. (Názov protónová pumpa vznikol preto, lebo ión vodíka - jadro atómu vodíka bez jeho jediného elektrónu - je vlastne protón. Poučný je aj spôsob, ako organizmus manipuluje so silnou chemikáliou, kyselinou chlorovodíkovou: syntetizuje ju nie v stene, ale až vo vnútri žalúdka a aby spolu s potravou netrávila aj žalúdok, chráni si ho vrstvou odolného hlienu, ktorým je sliznica žalúdka - priestoru na prvotné chemické spracovanie potravy - povlečená.)

Vo vzniku života na Zemi mohla hrať náhoda aj veľkú úlohu, ale potriasanie krabice so súčiastkami zrejme nie je vhodné prirovnanie pre spôsob, akým vznikli zložitejšie organizmy. Membrány, oddeľujúce kompartmenty, "reakčné nádoby" aj veľmi jednoduchých organizmov vysvetľujú, ako mohli vzniknúť živé štruktúry, v ktorých prebieha väčší počet rôznych chemických reakcií. Hoci zatiaľ neexistuje úplný dôkaz, že to takto skutočne bolo, je tu reálna predstava, ako mohol fungovať jeden zo základných procesov, ktoré charakterizujú živú hmotu: premena látok. S premenou látok súvisia aj ostatné životné funkcie, najmä príjem potravy - teda surovín na premenu látok, a rast, budovanie vlastného tela.

Jednou z prvých teórií, ako vznikli prvé živé organizmy, bola dnes už spochybnená teória koacervátov. O čo išlo? Predpokladalo sa, že v pôvodnej "životodarnej polievke" praoceánov sa vyskytovali kvapky roztoku určitého zloženia, oddelené od prostredia nejakým druhom polopriepustnej membrány, ktorá bola schopná prepustiť dovnútra len niektoré látky. Vnútri prebiehali chemické reakcie, možno už katalyzované a možno aj vo viacerých čiastkových priestoroch, ktoré spôsobovali zväčšovanie kvapky a nakoniec jej roztrhnutie na viacero menších kvapôčok. Takéto útvary však nemali pevne uloženú informáciu o vlastnej štruktúre a ich rast bol oponentami prirovnávaný viac k rastu neživých kryštálov, ako k množeniu sa živých organizmov. Aby bol zárodok života životom so všetkými náležitosťami, ešte chýbalo niečo podstatné - dedičnosť.

### **Deoxyribonukleová kyselina - kniha života**

Jednou z rozhodujúcich vlastností živej hmoty je dedičnosť - schopnosť uchovať takú informáciu o svojej štruktúre, podľa ktorej môžu vzniknúť ďalšie generácie identických jedincov. Za objav spôsobu, ako je táto informácia v živých organizmoch zaznamenaná, vďačíme Jamesovi Watsonovi a Francisovi Crickovi. Do roku 1953, kedy vo svojej práci o štruktúre deoxyribonukleovej kyseliny (DNA) upozornili na spôsob, akým je v nej kódovaná genetická informácia, bola táto látka, tvoriaca v bunkovom jadre vláknité štruktúry, chromozómy, považovaná za niečo málo podstatné. Predpokladalo sa, že informáciu o výstavbe tela prenášajú z rodičov na potomkov bielkoviny, no nikto nevedel, ako presne by sa to malo diať. Maurice Wilkins, spolu s ktorým spomenutí dvaja vedci dostali za svoj objav Nobelovu cenu, rentgenovou kryštalografiou rozpoznal dvojito špirálovú štruktúru DNA. Táto štruktúra sa podobá na skrútený rebrík s niekoľkými miliónmi šteblíkov - priečok medzi oboma vláknami deoxyribonukleovej kyseliny. Tieto priečky sú väzby medzi štvorakými bázami, ktoré sa môžu vyskytovať na protiľahlých miestach oboch vlákien: buď adenínom a thymínom alebo cytozínom a guanínom. Spomínané dvojice báz sa svojím tvarom a väzobnými miestami hodia k sebe ako kľúč do zámky. Zásluhou Cricka a Watsona je zistenie, že práve ich sled vo vlákne DNA je tým hľadaným genetickým kódom a kombinácie štyroch báz abecedou, ktorou je zapísané všetko o tele živočíchov od baktérii až po človeka.

V DNA je zapísaná štruktúra bielkovín, ktoré tvoria organizmus. Bielkoviny sú veľké molekuly, ktoré sa skladajú z menších dielcov, aminokyselín. Pod organickými kyselinami si netreba predstavovať nejakú žieravinu - ich kyslosť sa prejavuje skôr symbolicky. Aminokyselinu si možno skôr predstaviť ako kocku zo



## Nevyriešená záhada

stavebnice LEGO: tieto kocky majú síce rôzny tvar, ale rovnaké príchytky, ktorými sa upevňujú na susedné kocky: na jednej strane výčnelok, na druhej dutinka, do ktorej výčnelky presne zapadajú. Aminokyselina je, zjednodušene povedané, na jednom konci nabitá trochu kladne a na druhom trochu záporne, no a tieto konce sa o seba prichytia ako dva maličké magnety, pretože okrem správneho náboja majú aj správny, do seba zapadajúci tvar molekuly. Z tejto stavebnice sa dajú vystavať najpozoruhodnejšie štruktúry, od svalového vlákna až po biokatalyzátory, ktoré riadia premenu látok v organizme. Samozrejme, na to už nestačí skladačka len z čistých bielkovín, niekedy sa na tento základ pripevňujú aj látky iného typu, práve tak, ako vyspelá stavebnica LEGO obsahuje figúrky, kolesá, alebo aj elektromotory. DNA obsahuje informáciu, v ako poradí sa majú aminokyseliny skladať do bielkoviny. Dvojica vlákien - rebríka - sa kvôli syntéze bielkovín dočasne rozpojí, urobí sa odtlačok jej príslušnej časti do ďalšieho prenášača informácie - ribonukleovej kyseliny a tá potom riadi vlastnú syntézu bielkoviny (podobne, ako zámočníci kedysi zhotovovali kópie kľúčov podľa ich odtlačku vo vosku).

Abeceda DNA obsahuje len štyri písmená (adenín, guanín, cytozín, thymín -A,G,C,T) a to na kódovanie všetkých potrebných aminokyselín nestačí. Potrebné sú kombinácie troch za sebou idúcich báz - triplety - z ktorých sa už dá vytvoriť aj viac "písmen", ako je potrebné. Každú aminokyselinu teda kódujú tri bázy (napríklad ACG, ACA) a ešte ostali aj voľné kombinácie na "znaky", ktoré riadia čítanie informácie. Svojim spôsobom príroda používa ten istý princíp, ako číslicové počítače - dvojkový kód (ale na kódovanie znakov počítače používajú osem dvojíc 0 alebo 1 - ASCII kód, napr. 01001100). Pri rozmnožovaní buniek je nevyhnutné, aby každá polovica pôvodnej bunky dostala celú genetickú informáciu. Preto sa pred rozdelením materskej bunky v jej jadre pripraví dve identické kópie DNA. Vykoná sa to v princípe jednoducho: obe vlákna "rebríka" sa od seba postupne oddeľujú a na uvoľnené väzobné miesta každého z oddelených vlákien sa pripájajú nové segmenty. Ako už bolo povedané, každá báza má svoj jednoznačne určený "protikus". Takže na miesto, kde bol v pôvodnom reťazci adenín, pripojí sa nová molekula adenínu, oddelený guanín sa nahradí obdobným guanínom. Opačne to prebehne v druhej polovici oddelenej dvojšpirály: oproti adenínu bol thymín, nahradí sa teda thymínom a oproti guanínu musel byť jedine cytozín, takže napojí sa sem nový cytozín. Pred rozdelením do dcérskych buniek sa vlákna DNA - chromozómy - zložitým spôsobom zvinú a rozdelia do oboch polovic deliacej sa materskej bunky. (Manipulácia s týmito nesmierne jemnými vláknami bez toho, aby sa zauzlili je tiež jeden zo zázrakov prírody. Pomocou väzobných miest na "vonkajšej" strane reťazca sa dokáže celá dvojšpirála bezchybne zložiť do

úhľadných slučiek napriek tomu, že súčet dĺžky všetkých vlákien DNA v každej ľudskej bunke je hodne vyše jedného metra!).

Každá dcérska bunka v zárodku nového organizmu, napríklad aj ľudského, teda dostane digitálnu kópiu projektu, ako má vyzerat' a fungovat' celý organizmus, ktorého je súčasťou. (Obsahuje nielen informáciu o stavbe a funkcii všetkých možných špecializovaných buniek organizmu, ale v tomto návode sú aj informácie, ktoré časti kódu sa majú použiť a ktoré vynechať v špecializovaných tkanivách - ako sa bunka stane povedzme mozgovou bunkou alebo krvinkou). Nie je ani tak záhadou, ako mohlo vzniknúť takéto dokonale pamäťové médium - chemicky nie je nijako výnimočne zložitá a trvanlivosť je tiež celkom dobrá, útržky záznamu sa dokonca získali z milióny rokov mŕtvych organizmov. Záhadou je, kto naň všetky tie informácie zapísal. Jednou možnosťou je zásah Stvoriteľa, no takéto vysvetlenie sa zdá dostatočne uspokojivé len niektorým ľuďom. Existuje však jeden druh nukleovej kyseliny, schopnej prenášať genetickú informáciu, podobný DNA: ribonukleová kyselina (RNA). V bunkách väčšiny dnešných organizmov sa využíva len na ako sprostredkovateľ pri prepise genetickej informácie do bielkovín, ale niektoré vírusy ju používajú ako hlavné "záznamové médium". Má však vlastnosti, ktoré ju mohli predurčiť ako nosič genetickej informácie prvých živých organizmov na Zemi: môže existovať a vytvárať vlastné kópie aj samostatne. Samozrejme, ostáva otázka, kde sa vzal prvý genetický kód v RNA. Práve na ňu je ťažko odpovedať. Možno to bolo naozaj dielo Stvoriteľa, možno dielo Náhody. Náhoda mala k dispozícii stamilióny rokov času a praoceány surovín, v ktorých sa mohlo vystriedať a vyskúšať nepredstaviteľné množstvo kombinácií organických látok, kým sa našla tá správna - takže obe možnosti sú otvorené a každý si môže vybrať.

Obídeme otázku o tom, aký zmysel či účel má život na Zemi a vrátim sa k príčine jeho vzniku. Je možné, hoci sa to pri súčasnom stave poznania nezdá príliš pravdepodobné, že nevyhnutnosť vzniku života priamo vyplýva z vlastností hmoty. (Nebudem sa prikláňať k možnosti, že táto vlastnosť do nej bola vložená Stvoriteľom, ani k názorom, že takéto jej vlastnosť je dôsledkom zatiaľ neznámych prírodných zákonov. Pre vyriešenie otázky, AKO vznikol život, nepotrebujeme mať tento spor vyriešený). Fyzika a kozmológia majú dnes celkom dobré poznatky, aké podmienky existovali v najprvších okamihoch existencie vesmíru a pozná aj zákony, podľa ktorých sa musel vyvinúť do podoby, akú pozorujeme dnes. Podľa tých zákonov síce nebolo určené, že okolo nijako výnimočnej hviezdy strednej veľkosti v Galaxii bude obiehať planéta, ktorú jej obyvatelia - dvojnohé

inteligentné bytosti pomenujú Zem, bolo však isté, že takáto planéta - a pravdepodobne ešte mnoho podobných - sa vo Vesmíre objaví. Podobne vieme, že na Zemi pred necelými štyrmi miliardami rokov existovali podmienky, v ktorých sa zákonite vytvorili organické zlúčeniny, potrebné pre vznik živých organizmov. Ale nepoznáme všetky zákony, podľa ktorých prebiehal proces vzniku života, takže nevieme, či existujú prírodné zákony, podľa ktorých bol vznik života za daných podmienok nevyhnutný tak, ako je nevyhnutné, že zlúčením vodíka a kyslíka vznikne voda, alebo išlo o zhodu okolností, možno reťaz náhod, ktorá spôsobila, že na tejto planéte, ale nie na tisícoch iných podobných nakoniec vznikol život.

Uchovávanie genetickej informácie v DNA v digitálnej podobe umožňuje, aby nebola skomolená počas zhotovovania tisícov nasledujúcich kópii. Ľuďom trvalo väčšinu obdobia, počas ktorého sa rozvíjala telekomunikačná technika, kým prišli na takýto bezpečný spôsob kódovania prenášanej informácie. Príkladom, s ktorým sa určite každý stretol, je záznam zvuku. Informácia na gramofónovej platni alebo magnetofónovej páske je spojená - dá sa zobrazit' ako krivka, ktorá zodpovedá časovému priebehu akustického tlaku vzduchu na membránu mikrofónu (alebo na blanu ušného bubienka). Zhotovenie a reprodukcia takého záznamu je technicky pomerne jednoduchá. Prvé gramofóny (a aj príslušné záznamové zariadenia) si vystačili aj bez elektroniky a už použitie starých elektrónkových zosilňovačov dávalo celkom slušné výsledky. Ale na opakované, mnohotisíc násobné kopírovanie sa takýto druh záznamu nehodí. Ak by ste skúsili prekopírovať hudbu, nahratú na magnetofónovej kazete čo len stokrát, na poslednej kópii by sa už okrem šumu nedalo rozoznať takmer nič. Náhodné elektrické signály, tvoriace šum, by sa pri každom kopírovaní záznamu postupne pridávali, až by nakoniec úplne prekryli pôvodnú nahrávku. Na druhej strane, kompaktný disk možno kopírovať teoreticky nekonečne mnoho ráz. Jediným obmedzením je, ak narazíte na nekvalitné médium, ktoré celý záznam razom znehodnotí. Tento voči poruchám odolný záznam je digitálny. Čo to znamená? Zvukový signál je rozsekaný na drobné úseky - každá sekunda sa rozloží na vyše 20 000 dielov. V každom tomto bode sa číselne zapíše hodnota akustického tlaku. Zápis sa vykoná v počítačovom jazyku, teda dvojkovej číslicovej sústave. Táto pozná len dve číslice, nulu a jednotku. Tomu zodpovedá stav elektrického okruhu vypnutý alebo zapnutý, na kompaktnom disku neporušený povrch alebo jamka (prípadne vypálená stopa vo farbive). Na strane prehrávača disku sa potom stopa - rad neporušených miest a jamôk v povrchu, tvoriaci líniu záznamu podobnú, ako drážka v gramofónovej platni číta a rozšifruje na spojitý elektrický signál. A tento sa v reproduktore mení na známy zvuk. Pre kopírovanie digitálneho záznamu je podstatné, že sa pri ňom nedá nič pomýliť: na nové

## Život

médium pri zápise laserová dióda vypáli stopu, alebo ho nechá hladký. Nič medzi tým neexistuje, žiaden šum nevzniká. Hlbšia alebo plytšia jamka je vždy jamka. Podobne v reťazci DNA existujú len štyri možnosti: adenín, guanín, cytozín, thymín. A,G,C,T a nič viac. Žiaden šum. Sú možné chyby, napríklad prehodenie poradia znakov - to má veľký význam, o ktorom ešte bude zmienka - ale tieto majú v podstate dva možné dôsledky: buď vznikne chyba, ktorá umožní prežívanie potomka a potom sa môže ďalej kopírovať, alebo ide o chybu pre potomka smrteľnú. Potom nedochádza k žiadnemu ďalšiemu kopírovaniu. Je to nepríjemná, až neľudská analógia: potenciálny potomok skončí v odpade ako kompaktný disk, pokazený pri lisovaní...

Dnes je už úplne jasné, ako odovzdávajú živé organizmy svojim potomkom informácie o stavbe a fungovaní svojho tela. A to isté sa dá povedať aj o spôsobe, akým sa táto informácia časom mení. Môžu za to spomenuté chyby pri prepisovaní, ale aj poškodenia reťazca DNA, ktoré vzniká napríklad vplyvom žiarenia. Hlavne po havárii atómovej elektrárne v Černobyle stal sa strach z ožiarenia témou dňa. Skoro každý sa dozvedel, že žiarenie je nebezpečné, že môže viesť k poškodeniam plodu alebo k vzniku nádorov. Skutočne, to všetko sú možné dôsledky pozmenenia genetickej informácie. Oveľa menej bolo ľudí, ktorí vedeli ďalšie dôležité podrobnosti. Jednou z nich je to, že rádioaktívne žiarenie je súčasťou nášho každodenného života. Časť prichádza z kozmického priestoru, pravda, už výrazne oslabená ochrannou vrstvou atmosféry, časť má pôvod v rádioaktivite hornín. Pre vývoj života na Zemi má nezastupiteľný význam práve tá jeho vlastnosť, ktorej sa viac alebo menej oprávnene obávame, schopnosť meniť genetický kód buniek. Podobnú schopnosť majú aj niektoré chemické látky, ktoré sa nazývajú mutagény a ktoré v životnom prostredí, potrave a medzi liekmi vôbec nemáme v láske.

Ako už bolo povedané, chyba v zápise do reťazca DNA väčšinou znamená pre potomka smrť alebo poškodenie. Ale nie vždy. Existujú výnimočné situácie, kedy takáto chyba znamená väčšiu alebo menšiu výhodu, lebo vyvolá vhodnú zmenu vlastností organizmu. Napríklad je dobre odôvodnený predpoklad, že strata génov pre tmavú farbu srsti sa stala výhodnou pre zvieratá po ochladení podnebia alebo po migrácii do polárnych krajín. Za obvyklých okolností, v miernom podnebnom pásme sú bielo sfarbení jedinci - albíni - vo výraznej nevýhode: buď sú nápadní ako potenciálna obeť dravcov, alebo ako dravci sú nežiadúco nápadní pre svoju možnú korisť. V zasneženej krajine sa ale situácia úplne obrátila. Dôkazom je sfarbenie polárnych medved'ov, líšok a ďalších zvierat - ak nie čisto biele, tak aspoň svetlé.

Že táto teória nie je len špekuláciou, môžeme sa nanešťastie presvedčiť denne. Vďačným objektom na sledovanie prispôsobovania sa zmeneným životným podmienkam sú choroboplodné baktérie: miliónové populácie, každý deň nová generácia - to sú výborné podmienky, aby sa čo najskôr dali spozorovať zmeny vlastností organizmu. Nepříjemným príkladom prispôsobovania sa prostrediu je vznik odolnosti (rezistencie) baktérii na antibiotiká. Keď sa počas druhej svetovej vojny začal používať penicilín, bol to zázračný liek. Nie náhodou jeden z prvých liečených pacientov bol populárny vojnový premiér Veľkej Británie, Winston Churchill. Penicilín bol spočiatku veľmi dobre účinný proti väčšine baktérii, a to aj v dávkovaní z dnešného pohľadu veľmi nízkom. No čoskoro sa situácia zmenila k horšiemu. Niektoré druhy baktérii, napríklad betahemolytický streptokok či väčšina meningokokov, sa proti nemu dodnes nedokážu brániť. Ale iný druh baktérie, zlatý stafylokok, sa stal postrachom nemocníc. Pôvodne ho penicilín tiež bezpečne zneškodňoval. Ale náhodnou zmenou v genetickom kóde (mutáciou) získava schopnosť vytvárať penicilinázu, enzým, ktorý rozkladá penicilín. V prostredí organizmu človeka, liečeného penicilínom (alebo iným antibiotikom, ktoré penicilináza rozkladá), sú baktérie, vyzbrojené penicilinázou jednoznačne vo výhode. Keďže ich príbuzné bez penicilinázy prestávajú rásť a množiť sa, o niekoľko dní preváži populácia penicilinorezistentných. Stav pacienta sa zhorší a lekári majú problém: čo s pacientom, u ktorého nezaberá liečba. Väčšinou to vyrieši zmena antibiotika. Nanešťastie, po desiatkách rokov používania antibiotík existujú multirezistentné kmene baktérii, ktoré sú viac alebo menej odolné proti všetkým známym antibiotikám. Sú to takzvané nosokomiálne kmene, obyvatelia nemocníc, obzvlášť jednotiek intenzívnej starostlivosti a operačných sál. Zvykli si žiť v prostredí, "zamorenom" antibiotikami. Rastú pomerne pomaly, pretože ich "výdavky na obranu" sú vysoké. Musia vytvárať ďalšie enzýmy, stavať odolnejší obal bunky, meniť vlastný metabolizmus. V bežnom vonkajšom prostredí by ich rýchle prerástli iné mikroby, napríklad spomenuté streptokoky. Ale vo svojom, vlastne človekom umelo vytvorenom prostredí, ktorému sa prispôbilibi, sú nanešťastie takmer úplne neohrozené.

## **Gény**

Uvedené príklady sú v súlade s klasickou Darwinovou teóriou prírodného výberu. Charles Darwin, nedoštudovaný medik, absolvent teológie, amatérsky biológ a geológ bol v roku 1831 vďaka svojim mnohostranným vedomostiam prijatý ako prírodovedec na loď Beagle na výskumnú plavbu okolo sveta. Z tejto cesty a z jeho neskoršej vedeckej práce vzišli viaceré objavy. Málokto dnes vie, že

## Život

to bol práve on, kto pochopil, ako vznikajú korálové útesy. Bol nadšeným šľachtiteľom domácich zvierat a určite aj táto práca ho priviedla k objavu, vďaka ktorému sa stal slávnym aj zatracovaným. V roku 1858 vydal dielo "O pôvode druhov", v ktorom publikoval svoju teóriu prírodného výberu. Je na prvý pohľad jednoduchá: najlepšie prispôsobení jedinci majú najlepšiu šancu na prežívanie a rozmnožovanie. Z ich potomstva opäť prevládnu tí najlepšie prispôsobení, až po viacerých generáciach dôjde opakovaným prispôsobovaním sa zmenenému okolitému prostrediu aj k zmene druhu. Darwin narazil na prudký odpor cirkvi i kolegov prírodovedcov, tým viac, že jeho pôvodná teória mala niektoré slabé miesta.

Zvlášť napádaná bola téza boja o prežitie medzi príslušníkmi toho istého druhu. Nešlo len o to, že bola skresľovaná a zneužívaná ideológmi krajnej pravice, ktorí pomocou nej dokazovali, že jedna ľudská rasa alebo národ je nadradená a povolaná ovládať inú. (Toto bola len jedna z falošných interpretácií jeho teórie, s obzvlášť smutnými dôsledkami, za to však Darwin naozaj nemôže). Z vedeckého hľadiska bolo zásadnejším problémom to, že chovanie niektorých druhov živočíchov obsahuje prvky, ktoré sú s touto tézou v rozpore. Aký dôvod má napríklad včela, aby obetovala svoje žihadlo aj život pri obrane úľa? Pre ňu samú je predsa najvýhodnejšie uletieť! Prečo sa v prírodnom výbere uplatňujú včielky, ktoré tak ľahkovážne hazardujú s vlastným životom? Počas 20. storočia boli publikované rôzne názory, ktoré sa snažili rozpory vysvetliť alebo odstrániť. Mnohé z nich sú eticky dosť ťažko stráviteľné. K asi najlogickejšiemu vysvetleniu sa priklonil profesor Oxfordskej univerzity Richard Dawkins: podľa neho prirodzený výber neprebíha medzi organizmami, ale medzi ich génmi. Najlepšie gény umožnia svojim nositeľom, aby zanechali najviac potomstva, a tým vlastne prevládnu na úkor iných, horších génov. Táto úprava evolučnej teórie lepšie vysvetľuje chovanie včelích robotníč, ktoré nesmeruje ani tak k vlastnému prospechu, ako k prežitiu spoločenstva, ktorého všetci príslušníci sú sestry (a zopár bratov- trúdov) a nositelia génov spoločnej matky - včelej kráľovnej. Sebaobetovanie v prospech druhých do Darwinovej teórie nepatrí: jedinec nemá rozumný dôvod, aby sa obetoval v záujme niekoho iného, ako svojich potomkov (ako to aj robia samice starajúce sa o svoje mláďatá). Génu nevadí, že niektorí jeho nositelia zahynú, ak tým umožnia ostatným prežitie a rozmnoženie (replikáciu) tohto génu - a v mnohých prípadoch správanie svojich nositeľov riadi podľa tohto pravidla: včely robotnice sa obetujú pre svoju kráľovnú, ktorá je ich sestrou a matkou ich pokrvných príbuzných, nositeliek veľkej časti spoločných génov. Gény sú teda tými elementami, ktoré riadia konanie svojich nositeľov tak, aby vytvorili čo najväčší počet ich kópií. Personifikácia tohto mechanizmu dala názov známej,

oslavovanej aj zatracovanej Dawkinsovej knihe: Sebecký gén.

Prispôsobovanie vlastností živých organizmov meniacemu sa prostrediu prostredníctvom zmien génov náhodnými mutáciami je síce ťažkopádne a pomalé, ale zjavne dostačujúce aj pre vznik veľmi zložitých druhov rastlín a živočíchov. Dokonca stačili aj na zakódovanie zložitého spoločenského správania pre primitívne organizmy, s jednoduchou a malou nervovou sústavou, akú má hmyz. Príkladom sú mravce, včely, termity. Lenže ich správanie je úplne stereotypné, jedinci nie sú schopní prispôsobiť ho zmeneným podmienkam. Na to už treba iný spôsob prenosu informácii, ktorý nie je viazaný na gény - ten sa objavil až u cicavcov. Nevieme, nakoľko je dokonalý - niet ho s čím porovnať, ale najdokonalejší známy spôsob, ako naučiť svojich spoločníkov a potomkov výhodnejšiemu správaniu sa vyvinul u človeka - je to reč a pamäť. Kam dospeje človek so svojimi technickými schopnosťami ešte dokonalejšie uchovávať a šíriť informácie, či dokáže aj účelne zasahovať do vlastnej genetickej informácie, to sa uvidí v budúcnosti.

Prečítanie ľudského genómu - teda zápisu genetickej informácie v chromozómoch bolo právom oslavované. Nie je však isté, či všetci oslavujúci vedeli, čo vlastne oslavovali. Bol získaný zápis zložitého textu s mnohými skríženými odkazmi a v cudzom, nezrozumiteľnom jazyku, prepis hrubej knihy, z ktorej ale rozumieme len niektorým útržkom. Analýzy, ktoré bude treba aj po rokoch nazývať počiatočnými, priniesli viac štatistické, ako vecné poznatky. Potvrdili väčšiu, ako očakávanú príbuznosť medzi človekom a ostatnými živočíchmi, nielen stavovcami a dokonca aj množstvo podobného kódu s rastlinami. Predpokladá sa, že väčšiu časť genetickej informácie netvoria štrukturálne gény, ktoré obsahujú informáciu o stavbe organizmu a látok, ktoré sa v ňom vyskytujú, ale regulačné gény, ktoré určujú, kedy, za akých okolností sa prečíta a použije informácia z toho alebo onoho štrukturálneho génu. Napriek tomu, pred genetikmi teraz leží hŕba nespracovaného, ale zaujímavého materiálu, z ktorého zrejme budú čerpať dlhé roky. Ako sa nové poznatky uplatnia v každodennom živote, ťažko predvídať. Nezdá sa, že by prvým použitím mohla byť výroba klonovaných detí s vopred určenými vlastnosťami. Ale každý, kto vie, ako naslepo a necielene sa robí prevencia závažných civilizačných chorôb, ako odlišné sú reakcie rôznych pacientov na tú istú, raz úspešnú a inokedy zlyhávajúcu liečbu, bude súhlasiť, aby sa nové poznatky mohli použiť napríklad na stanovenie individuálneho rizika vážnych ochorení alebo predpokladanej účinnosti liekov. Predstava, že lekári budú mať k dispozícii metabolický profil pacienta a budú

vopred poznať spôsob odpovede jeho organizmu na rôzne lieky, ktoré prichádzajú do úvahy, je skutočne lákavá a možno ani nie tak veľmi vzdialená. Na druhej strane, tieto informácie sú skutočne veľmi citlivé a zneužiteľné v neprospech jednotlivca - to je však problém nie pre vedcov, ale pre právnikov.

### **Rastliny a zázračné zelené farbivo**

Základné prvky stavby tela a množstvo metabolických pochodov je spoločných pre väčšinu živých tvorov. Základom všetkých organizmov je bunka - najmenšia žijúca jednotka, ktorá je schopná jestvovať a množiť sa samostatne. Väčšie organizmy sa skladajú z množstva buniek, ktoré sú špecializované na činnosti v prospech spoločného celku. Nič živé, menšie ako bunka, nie je schopné samostatnej existencie. (Možno namietnuť, že vírusy nemajú štruktúru bunky - to je pravda, ale ani nie sú schopné samostatnej existencie - potrebujú sa dostať do bunky, ktorú využijú vo svoj prospech a zničia.) Kľúčovým pre existenciu života je získavanie energie. Z teórie o vzniku života vyplýva predpoklad, že pôvodným zdrojom energie boli chemické reakcie. Tak získavali energiu aj prvé organizmy, ktoré mali štruktúru bunky, možno podobnú dnešným baktériam. Vnútro baktérie - cytoplazma je oddelené od vonkajšieho prostredia bunkovou blanou a oproti bunkám vývojovo vyšších organizmov obsahuje málo štruktúr, baktéria dokonca nemá ani bunkové jadro. Nosič genetickej informácie - deoxyribonukleová kyselina - je voľne uložená v cytoplazme vo forme prstencovitého chromozómu. Aj medzi dnes žijúcimi baktériami je dosť druhov, ktoré získavajú energiu aj oxidačnými reakciami bez potreby kyslíka. (Pod oxidáciou dnes nemyslíme reakcie, pri ktorých sa viaže kyslík - oxygenáciu, ale reakcie, pri ktorých prvok odovzdáva elektróny zo svojho obalu.) Takýmito chemickými reakciami je nitrifikácia a nitrácia, ktorými sa premieňa čpavok na dusičnany, sulfurikácia, ktorej výsledným produktom je kyselina sírová alebo oxidácia zlúčenín železa so vznikom červeno sfarbeného hydroxidu železitého. Všeobecne sa predpokladá, že najstaršie organizmy žili v praoceánoch, kde mali najlepší prístup k "potrave", ale existujú aj iné, menšinové názory.

Podmienky pre takéto získavanie energie zrejme existovali v počiatkových fázach vývoja Zeme, no po rozšírení sa života zrejme nastala energetická kríza: chemické látky sa spotrebúvali rýchlejšie, než vznikali. To bola situácia, ktorá viedla k vývoju druhov, ktoré boli schopné využívať ako zdroj energie slnečné svetlo, ktorého bolo a stále je dosť. Ich priamymi nasledovníkmi sú purpurové a



## Gény

zelené sírne baktérie. Zlomovým bodom bol nástup organizmov, ktoré dokážu využiť svetelnú energiu Slnka na syntézu organických látok v procese, ktorý sa volá fotosyntéza. Ako katalyzátory pri premene svetelnej energie na chemickú využívajú chlorofyly a karotény. Tieto farbivá (pigmenty) obsahujú aj dnešné zelené rastliny. Ich zelená farba je daná práve obsahom chlorofylu **a** a **b**, ktoré pohlcujú červené a modré zložky svetla a odrážajú zelenú. (Keď z vädnúcich listov vymizne chlorofyl, prevládnu žlté, červené a hnedé odtiene karoténov.) Chlorofyl je solárny článok živej prírody: podobne, ako v ľuďmi skonštruovaných kremíkových článkoch energia slnečného žiarenia je premieňaná na tok voľných elektrónov, elektrón v molekule chlorofylu, excitovaný do vyššej energetickej hladiny vstupuje do reťazca prenášačových molekúl takzvaného fotosystému I a II, v ktorom sa jeho energia využije na rozštiepenie molekuly vody na vodík a kyslík a vráti sa do pôvodnej energetickej hladiny v molekule chlorofylu, ktorá sa tým dostane do východiskového stavu. Kyslík je nakoniec uvoľnený do atmosféry, atómy vodíka sú zabudované do molekuly enzýmu NADP (nikotínamidadenín-dinukleotidfosfát) - vznikne NADP H<sup>+</sup> - a časť energie sa ukladá aj do molekuly ATP (adenozíntrifosfátu). Tieto potom vstupujú do druhej fázy fotosyntézy, v ktorej je vytvorená molekula glukózy, základného zdroja energie pre rastliny aj živočíchy. Oxidáciou glukózy a ostatných cukrov sa získava energia na syntézu všetkých ostatných látok, z ktorých pozostávajú živé organizmy.

Glukóza sa skladá z atómov uhlíka, kyslíka a vodíka. Vodík z rozštiepenej molekuly vody dodá NADP, kyslík a uhlík pochádza z atmosferického kysličníka uhličitého (CO<sub>2</sub>). Tento proces však nie je jednoduchý. Za jeho objasnenie dostal v roku 1961 Nobelovu cenu profesor Kalifornskej Univerzity v Berkeley Melvin Calvin. S pomocou rádioaktívneho izotopu uhlíka skúmal, na aké zúčeniny sa postupne atóm uhlíka z kysličníka uhličitého viaže. Zistil, že ide o cyklus chemických reakcií, na počiatku ktorých sa molekula kysličníka uhličitého viaže na ribulózo-1,5-difosfát, pokračuje štiepením na trojuhlíkaté látky (preto je označovaný ako C<sub>3</sub> cyklus) a na konci uvoľňuje molekulu glukózy. V tomto procese je kľúčový enzým, ktorý dokáže viazať a zabudovať kysličník uhličitý - 3-fosfo-D-glycerát-karboxyláza. Objavil ho americký biochemik S.G. Wildman (v špenáte, ktorý si kúpil na trhu, rozdrvil a dal do separátora). Pôvodne bol označený ako Frakcia I. - jeho molekula je taká veľká, že sa predpokladalo, že ide o zmes látok. Potom mal mnoho zložitých názvov, až ho jeden z Wildmanových priateľov žartom nazval Rubisco (skomolením jedného zo starších pomenovaní) - a tento názov zostal. Je to veľmi veľká a veľmi lenivá molekula - za sekundu spracuje len tri molekuly kysličníka uhličitého (iné enzýmy pracujú stokrát, tisíckrát rýchlejšie)

## Život

a preto jej rastliny musia vytvoriť obrovské množstvo - vyše polovice svojich telesných bielkovín. Predpokladá sa teda, že je to najhojnejšia bielkovina, alebo aspoň enzým na svete - máme jej tu asi 40 miliónov ton.

Pozoruhodné je, že k naštartovaniu fotosyntézy stačí už obsah 0,01% kyslíčnika uhličitého v atmosfére - teda jedna desaťtisícina celkového objemu, hoci kedysi ho tam zrejme bolo oveľa viac, než dnešných 0,03%. Pri všetkých nepríjemnostiach, ktoré hrozia pri dnešnom stúpaní jeho množstva v atmosfére, môže nás aspoň tešiť, že súčasne zrejme stúpne aj intenzita fotosyntézy, výnosy poľnohospodárskych plodín a produkcia kyslíka... Pre fotosyntézu sú vyhovujúce teploty v rozsahu od nuly po vyše 40 stupňov Celzia. Optimálne sú tie, blízke denným teplotám v miernych alebo teplých klimatických pásmach: 25 st. C pre rastliny s Calvinovým cyklom. Ešte výkonnejšie a univerzálnejšie sú rastliny s Hatch-Slackovým cyklom, ktorý prebieha cez štvoruhlíkaté zlúčeniny (C4 cyklus) a efektívne funguje aj pri 35 st.C - využíva ho aj kukurica, najefektívnejší producent biomasy zo všetkých hospodárskych rastlín.

Produkcia kyslíka fotosyntézou umožnila vznik dnešnej atmosféry. Práve kyslík, presnejšie jeho ozónová vrstva (ozón je molekula kyslíka, obsahujúca tri kyslíkové atómy na rozdiel od "obyčajného" kyslíka, ktorý dýchame v podobe dvojatómových molekúl) zachytáva ultrafialové žiarenie zo Slnka, ktoré by ináč zničilo všetok život na súši. Ochranný štít, ktorý sa pre pozemský život počas stámiliónov rokov vytvoril, pochádza od rastlín, žijúcich v bezpečí oceánov (tenká vrstva vody, ale aj obyčajného skla ultrafialové žiarenie pohltí). Tento štít umožnil rozšírenie života na suchú zem. Zelené rastliny sú už miliardy rokov základným článkom potravinového reťazca na Zemi. Zabezpečujú zdroj energie a kyslík pre ostatné druhy rastlín aj živočíchov. Ich štruktúra je podstatne zložitejšia, ako baktérii, aj keď aj medzi baktériami sú druhy, ktoré zvládajú fotosyntézu. Plnohodnotná, takzvaná eukaryotická bunka má v cytoplazme predovšetkým oddelené jadro, v ktorom si chráni svoju DNA v podobe chromozómov. Obsahuje už aj niečo, ako orgány - sú to organely, štruktúry, špecializované na vykonávanie niektorých životných funkcií. Napríklad mitochondrie majú na starosti dýchanie a látkovú premenu, na membránových štruktúrach - tylakoidoch sú naviazané asimilačné farbivá, na ktorých prebieha fotosyntéza.

Rastliny na vyššom vývojovom stupni majú pomerne zložitú stavbu. Skladajú sa z viacerých tkanív, z ktorých niektoré majú podobnú funkciu, ako u živočíchov: podporné tkanivá, cievy, pokryv tela, rozmnožovacie orgány. Ich

## Gény

látková premena väčšinou prebieha v špecializovaných orgánoch, voda a látky sa rozvádzajú špecializovanými systémami ciev (xylem vedie vodu a minerály do listov, phloem rozvádza cukry a aminokyseliny medzi listami a koreňmi). Hoci sa nedokážu pohnúť zo svojho stanovišťa - miesta, kde zakorenili, majú istú schopnosť usmerniť svoj rast a aj minimálnu možnosť pohybu. Hoci sa to nezdá, väčšina rastlín sa do istej miery dokáže brániť voči požieraniu. Nemusia to byť len ostne alebo iné, dalo by sa povedať mechanické obranné zariadenia. Väčšina rastlín vytvára aj chemické látky, ktoré ich chránia proti škodcom. Môžu to byť jedy (napríklad nikotín alebo kyanid) či antibiotikám podobné zlúčeniny, ktorými sa chránia proti baktériam a plesniam, alebo látky, ktoré zastavujú vývoj hmyzu, ktorý ich požiera. Často takéto substancie vo väčšom množstve produkujú práve poškodené rastliny. (Paradoxne, poškodené jablko, vypestované bez použitia "chémie" nakoniec môže obsahovať oveľa viac toxínov, ako by mohli predstavovať zvyšky pesticídu na chemicky ošetrovanom, zdravom plode.) Vývoj vyšších rastlín je ovládaný špeciálnymi chemickými látkami, hormónmi, ktoré pôsobia podobne, ako ich proťajšky u živočíchov. Napríklad auxíny podporujú rast, ale ich prebytok spôsobí nadmerný rast a uhynutie rastlín; takže sa chemicky pripravené látky tohto typu používajú ako herbicídy - látky, zabíjajúce rastliny. (Zmes herbicídov bola podstatnou zložkou neslávneho Agent Orange, ktorý kedysi použila americká armáda vo Vietname na zničenie vegetácie, ktorá slúžila ako úkryt pre partizánov. Prudko jedovatý dioxín nebol jeho podstatnou zložkou, ako sa to často chápe na základe povrchných informácií z tlače, ale nežiadúcou prímiesou - nanešťastie dosť hojnou na to, aby poškodil zdravie ľudí). Iným hormónom je etylén - plyn s jednoduchou molekulou, ktorý tvoria dozrievajúce plody. Vyvoláva dozrievanie susedných plodov - preto plody na jednom strome dozrievajú skoro súčasne a jedno zhnité jablčko spôsobí prezretie a skazu celej zásielky, uloženej v tom istom obale.

Pre úplnosť treba pripomenúť, že rozkladom - dekompozíciou tiel rastlín a živočíchov sa živí ďalšia veľká skupina živých organizmov - huby. Pod nimi si netreba predstavovať len to, čo zbierame v lese - basidomycota. Do tejto skupiny patria ešte aj plesne (aj tie, ktoré produkujú antibiotikum penicilín alebo sa používajú na výrobu Rokfortu a podobných syrov) alebo kvasinky, ktorým vďačíme za víno a pivo. Na Zemi sa objavili asi pred 900 miliónmi rokov. Do kolobehu v prírode sú zapojené tak, že rozkladajú organické látky, vytvorené rastlinami a živočíchmi, na anorganické. Väčšinou sa živia odumretými telami, ale časť z nich napáda aj živé organizmy, prevažne rastliny a aj niektoré ľudské choroby sú spôsobené kvasinkami, patriacimi do tejto dôležitej, no ináč dosť nezaujímavej ríše.

## Ríša živočíchov

Zrejme najzaujímavejšou z troch základných skupín organizmov je ríša živočíchov. Označujeme tak organizmy, ktoré získavajú energiu oxidáciou organických látok, vytvorených rastlinami (alebo z tiel iných živočíchov - tak sa živia dravci - predátori). Typickým, no nie celkom vždy prítomným znakom je aj schopnosť pohybu. Táto chýba napríklad koralom, ktoré sú - čuduj sa, svete - živočíchmi, prirastenými na jedno miesto. Namiesto nich sa pohybuje voda - a oni konzumujú, čo k nim pripláva. Je to zvláštna vetva v rodokmeni, na ktorého vrchole je miesto pre cicavce a človeka. Otázka môže zniet', ako si môžeme byť istí takýmito názormi - ako vieme, aké boli vývojové línie jednotlivých živočíchov. Umožňuje to aj prírodný zákon, že v ontogenéze - procese vývoja nového jedinca - prebehne skrátená fylogenéza - teda vývoj jeho druhu. Asi to mnohých zarazí, ale na každom z nás boli po niekoľkotýždňovom pobyte v maternici viditeľné žiabrové štrbiny, ktoré sa ale onedlho uzatvorili. Chrbticu, ktorá sa skladá zo stavcov, máme zas ako trvalú pamiatku po pradedkoch jašteroch, a možno ešte po červoch s článkovanou štruktúrou tela. Neuveriteľné? Skúmaním zárodokov, embryí zvierat v rôznom štádiu vývoja sa vedci dozvedeli ešte oveľa viac. Ale ešte presnejšie informácie sa získavajú porovnaním genotypu jednotlivých druhov.

Prvé živočíchov sa skladali z množstva podobných buniek, zoradených do dvoch vrstiev. Tvar ich tiel sa vyvinul z jednovrstvového, približne guľovitého útvaru. Táto guľa sa preliacila ako deravá lopta, na ktorú niekto stúpil a stala sa dvojvrstvovou miskou, no v ďalšom vývoji dorástla do formy dvojvrstvej gule s otvorom - prvoústami. Vnútoraná vrstva sa stala zárodkom tráviacej rúry, vonkajšia začala slúžiť ako ochranná vrstva. Medzi nimi ostalo miesto na uloženie orgánov. Jedna vývojová vetva, z ktorej vznikli napríklad medúzy a rôzne druhy osminohov (zvaných častejšie, ale nesprávne chobotnice) si ponechala kruhový pôdorys tela. Tieto živočíchov nikdy neprenikli na súš. Druhá vetva zahrňuje živočíchov, ktorých telo počas vývoja získalo podlhovastý tvar so stranovou súmernosťou. Zväčša sa skladali z viacerých článkov. Na prvý pohľad je toto článkovanie tela viditeľné u dážd'ovky alebo stonožky, u iných, hlavne vyspelejších živočíchov je rozpoznateľné len ťažko. Ani symetria sa úplne nedodržiava - u cicavcov sa z nej napríklad vymyká srdce a tráviaci trakt. Pôvodná jednoduchá tráviaca rúra najprimitívnejších malých živočíchov mala pomerne malý povrch na vstrebávanie živín, ktorý pre zásobovanie väčšieho tela nestačí. V ďalšom vývoji sa teda predĺžila a následkom toho všakovako poprehýbala a poskladala v brušnej dutine

do podoby čreva. Jej vnútorný povrch ďalej zväčšili výbežky - klky, takže pod mikroskopom sa javí ako riadne udržiavaný trávnik. Navyše sa vydělili skupiny špecializovaných buniek, slúžiacich na výrobu tráviacich enzýmov a spracovanie vstrebaných látok. Sú nielen rozosiate po čreve, ale ich sústredením na jedno miesto vznikla pečeň a podžalúdková žľaza. Tieto nepárové orgány už vôbec nerešpektujú nejakú symetriu tela.

Hoci človek v jednotlivých ohľadoch zaostáva za inými živočíchmi - určite nemá najdokonalejší zrak, sluch alebo čuch, nie je najrýchlejší bežec ani najodolnejší voči poraneniu, jeho telo je jedným z najdokonalejších v živočíšnej ríši. V nasledujúcom popise funkcii orgánov najvyspelejších predstaviteľov živočíšnej ríše preto budem vychádzať práve z fyziológie človeka. Väčšina životných funkcii je u vyspelých živočíchov veľmi podobná a hoci mnohé odlišnosti sú zaujímavé, ich popis, podobne ako podrobný popis všetkých orgánových systémov by bol neúmerne rozsiahly.

Ako je to s energiou? Jednou zo základných vlastností živočíchov je heterotrofizmus: neovládajú fotosyntézu, nedokážu získať energiu z anorganických, ale len z hotových organických látok, ktoré sú ich potravou. Aj tak je cesta k ich zužitkovaniu a zabudovaniu do vlastného tela živočíchov zložitá. V prvom rade musia nejakú potravu nájsť alebo uloviť a dopraviť do svojho tráviaceho traktu. Už bolo zmienené, že najjednoduchšie živočíchy ho majú tiež veľmi jednoduchý - krátku trubicu s polopriepustnými stenami. Veľké zvieratá potrebujú oveľa efektívnejšie získavanie živín z potravy a ich tráviaci trakt je rozdelený na špecializované úseky. Potrava sa väčšinou už v ústach drví a potom v ďalších častiach tráviaceho traktu chemicky spracúva pôsobením žalúdočnej šťavy, bohatej na kyselinu chlorovodíkovú, žlče a výlučku slinivky brušnej - pankreatickej šťavy. Na trávení sa podieľajú aj baktérie, normálne prítomné v čreve (ich množstvo v čreve ľudí sa meria v kilogramoch!). Dôvodom všetkého tohoto zložitého procesu je, že živočíchy potrebujú z potravy získať elementárne látky. Najjednoduchšie sa vstrebávajú malé polárne molekuly, rozpustné vo vode, preto bielkoviny sú v procese trávenia rozložené na jednotlivé aminokyseliny, vláknité molekuly zložitých cukrov (polysacharidov) na jednoduché cukry (oligosacharidy, monosacharidy). Tuky sú vo vode nerozpustné, preto soli, obsiahnuté v žlči najskôr rozpustia kvapky tuku na celkom drobné kvapôčky a potom ich enzým lipáza, obsiahnutý v tráviacej šťave podžalúdkovej žľazy rozloží na mastné kyseliny a glyceroly. Organizmus potrebuje aj isté množstvo dôležitých látok, ktoré sa nedostanú cez črevnú výstelku do krvi ináč, ako pomocou špecializovaných

transportných mechanizmov v črevnej stene. Len nepotrebné, nestráviteľné, nerozložiteľné látky ostanú v čreve a nakoniec ho opúšťajú análnym otvorom.

Vstrebané látky sa dostávajú do krvi a jej prostredníctvom k všetkým tkanivám v organizme. Orgán, najviac špecializovaný na premenu látok je pečeň. Jej bunky tiež majú ústrednú úlohu v budovaní a uvoľňovaní rezerv látok, bohatých na energiu - glykogénu a tukov. Jednoduché cukry, monosacharidy - ich hlavným predstaviteľom je spomínaná glukóza - sú základným pohotovým zdrojom energie pre všetky tkanivá, ktorého množstvo v krvi si organizmus veľmi bedlivo stráži. Pre nervové bunky je to totiž jediný zdroj energie a pri jeho nedostatku nervový systém prestáva fungovať - človek upadne do bezvedomia. Ako pohotovostná zásoba slúžia zložité cukry - polysacharidy, ktorých zväčša vláknité molekuly (napríklad glykogén, skladovaný v pečeni) vzniknú pospájaním mnohých molekúl jednoduchých cukrov. Táto zásoba človeku vydrží na niekoľko hodín. Dlhodobú zásobu predstavujú tuky. Bielkoviny, to sú predovšetkým stavebné kamene tkanív. Niektoré, veľmi špecifické slúžia ako enzýmy a hormóny, teda súčasti regulačného a informačného systému. No toto delenie nie je úplne striktné. Aj tuky a cukry sú súčasťou niektorých dôležitých štruktúr, napríklad membrán, alebo enzýmov, dokonca cukry ribóza a deoxyribóza sú stavebným prvkom zázračného pamäťového média, nosiča genetického kódu, deoxyribonukleovej kyseliny. A na druhej strane, bielkoviny a ich základné prvky, aminokyseliny sa v prípade krajnej núdze môžu stať aj zdrojom energie. Ale to už je pre organizmus úplne krajné riešenie (ako pre jazdeckú armádu, ktorá sa v krajnej núdzi živí aj vlastnými koňmi - síce prežíva, ale jej sila sa stráca).

Základnými biochemickými procesmi, ktorými telo získava energiu z glukózy je glykolýza, ktorou sa štiepiu na dve molekuly kyseliny pyrohroznovej a ďalšia oxidácia organických látok v takzvanom Krebsovom cykle. Metabolické cykly sú, ako vidno, v živých organizmoch veľmi populárne (poznáme ich oveľa viac) a práca ich objaviteľov oceňovaná - aj profesor Hans Krebs je nositeľom Nobelovej ceny. V reťazci chemických reakcií v Krebsovom cykle sa oxidáciou získaná chemická energia ukladá do molekúl NADP a ATP, štandardných dodávateľov energie pre všetky možné biochemické pochody v organizme. Dôležitý je práve ten cyklický priebeh reakcií - tak v Krebsovom cykle je na začiatku kyselina pyrohroznová a acetylkoenzým A, na konci energia, kyslíčnik uhličité, voda a opäť acetylkoenzým A, ktorý vstupuje do nového cyklu. Keby sme glukózu v laboratóriu proste spálili, dostaneme energiu tepelnú, kyslíčnik uhličité a vodu. Ale po glykolýze a Krebsovom cykle dostaneme niečo oveľa fajnovejšie:

kyslíčnik uhličitý a voda tu síce bude tiež, ale uvoľná energia bude chemicky viazaná v ATP a využiteľná pre všetky biochemické reakcie, pri ktorých vznikajú látky, z ktorých je organizmus vybudovaný a ktoré potrebuje pre svoje fungovanie. ATP - adenosíntrifosfát - je tak univerzálny zásobník energie, že ju z nej čerpajú aj svalové vlákna a premieňajú ju na pohybovú energiu. Účinnosť tohto "spaľovania" síce nie je ani 50%, ostatok energie sa mení na teplo, no stále to funguje lepšie, ako človekom vytvorené tepelné stroje. Ďalej je dôležité, že organizmus dokáže vo veľkej miere podľa situácie usmerňovať hospodárenie so surovinami a energiou v prospech budovania tkanív, energeticky bohatých zásobných látok, ich odbúravania alebo vzájomnej premeny.

### **Človek a ostatné živočíchy**

Najväčšie živočíchy na Zemi patria do kmeňa strunovcov (chordata), ktorej kľúčovým znakom je nejaký druh pružnej pozdĺžnej výstuhy chrbta. Väčšinou z neho tvoria stavovce (vertebrata), ktorých telo je vystužené chrbticou, skladajúcou sa z viacerých pružne spojených kostí- stavcov. Táto ukrýva podstatnú časť nervovej sústavy- miechu. Stavovce sú najnápadnejšími suchozemskými živočíchmi a prevahu majú aj vo vode. Patria medzi ne ryby, plazy, vtáky aj ostatné zvieratá, cicavce, ktorých spoločným znakom je to, že rodia živé mláďatá, ktoré potom krmia materským mliekom. Čo do počtu druhov ich prekonáva iba kmeň článkonožcov (arthropoda), zvlášť trieda hmyzu, ktorý je však rozmermi tela podstatne menší - aj keď veľkosť najmenších stavovcov a najväčšieho hmyzu je porovnateľná. Rozmanitosť druhov živočíchov je obrovská, systém ich triedenia nie je definitívny a stále sa upravuje na základe nových poznatkov. Nie je možné púšťať sa do rozsiahleho porovnávania, no nedajú sa nespomenúť principiálne odlišnosti v stavbe a fungovaní tela aspoň tých najpočetnejších skupín.

Telo primitívnych červov (acoelomata) je vlastne len riedky obal tráviacej trubice s kožnosvalovou vrstvou na povrchu. Nemajú špeciálne dýchacie orgány - dýchajú celým povrchom tela, ich nervová sústava je primitívna, len s náznakom niečoho, ako mozog, čo je len väčšie nahromadenie nervových buniek na prednom konci tela (ktorý pri pohybe najviac naráža na prekážky), nemajú nijaké zmyslové orgány, len rozptýlené nervové zakončenia, ktorými zjavne cítia tlak alebo bolesť a reagujú na ňu zmenou správania. Nie sú schopné ani náznaku zložitejšieho chovania alebo vzájomnej komunikácie.

Článkonožce, medzi ktoré patrí aj zmienená veľmi početná trieda hmyzu

## Život

majú špecializovaný pohybový aparát- nohy, prípadne krídla. Ich pohyb môže byť aj veľmi rýchly a pre získanie potrebnej energie potrebujú aj dobrý rozvod vzduchu k tkanivám: je to systém drobných kanálikov, vzdušnic. Aj nervová sústava je dômyselnejšia, majú vyvinuté zmysly - pravidelne niečo, čo je obdobou nášho čuchu a chuti, zrak a hmat. Čuch majú spravidla vynikajúci, ale oči sú nedokonalé, zložené zo stoviek až tisícov jednotlivých elementov, takže možno vidia tak, ako my cez dierkovaný plech, alebo len veľmi rozmazane. V hlave nosia niečo, čo sa vzdialene podobá mozgu, takže ich správanie môže byť dosť zložité a cieľavedomé, ako to vidíme u spoločenského hmyzu - mravcov, včiel, termitov. Niektoré druhy si dokážu odovzdávať informácie o potrave alebo zapamätať vzhľad miesta, kde ukryli svoje potomstvo. Ich nervová sústava im umožňuje aj celkom zložité činnosti - zhromažďovať zásoby potravy alebo kŕmiť svoje potomstvo. Jednou z vrcholných ukážok zložitej komunikácie hmyzu je tanec včiel - komplikovaný pohyb v úli po dráhe v tvare osmičky, pri ktorom včelia robotníčka dokáže informovať ostatné včely o smere a vzdialenosti, v ktorej sa nachádza potrava. Chovanie článkonožcov, akokoľvek zložité, je však výlučne inštinktívne - nedokážu sa naučiť nič nového, čo im nebolo dané od vyliahnutia.

Stavovce, vzhľadom na rozmery tela, majú vyvinutý komplikovaný systém dýchania a rozvodu kyslíka (ktorý však nie je charakteristický len pre ne). Kyslík prechádza v špecializovaných orgánoch, ktorými sú žiabre rýb alebo pľúca ostatných stavovcov do krvi, vybavenej kyslík viažucim farbivom, hemoglobínom. Krv transportuje kyslík tkanivám do celého tela a odvádza kysličník uhličitý, ktorý vzniká pri látkovej premene. Pohybové orgány umožňujú aj veľmi rýchly pohyb- stavovce sú vo vode, na zemi aj vo vzduchu najrýchlejšie živočíchy. Tráviaca sústava sa skladá z mnohých oddielov, v ktorých sa potrava rozkladá - trávi pomocou kyseliny chlorovodíkovej a výlučkov ďalších žliaz. Je teda veľmi výkonná, aj keď neraz veľmi priberčivá: líši sa u mäsožravcov a bylinožravcov práve podľa zamerania na určitý typ potravy (a napríklad u austrálskeho medvedíka koala je špecializovaná výlučne na eukalyptové listy, takže toto roztomilé zvieratko nežerie nič iného a bez svojich eukalyptov zahynie). Regulácia zloženia telesných tekutín stavovcov je neuveriteľne precízna, napojená na vylučovacie orgány: pokožka a hlavne obličky z tela odstraňujú väčšinu rozpustných prebytočných látok. Cicavce a vtáky majú schopnosť udržiavať si stálu telesnú teplotu a teda aj pohyblivosť aj za nepriaznivých vonkajších podmienok - na rozdiel od iných živočíchov, ale aj rýb a plazov, ktoré sa v chladnom prostredí pohybujú pomalšie či vôbec nie. (Či túto schopnosť mali aj praveké veľjaštery, nie je isté, v každom prípade ju však mohla nahrádzať tepelná zotrvačnosť ich obrovských tiel, ktoré



nestihli vychladnúť prinajmenšom počas noci). Nervová sústava je vysoko rozvinutá, s dokonalými, aj keď väčšinou nerovnako dokonalými piatimi zmyslami - zrakom, sluchom, hmatom, chuťou a čuchom. Mozog je najviac rozvinutý u vtákov a cicavcov, ktoré na rozdiel od hmyzu, dokážu sa učiť a meniť svoje správanie na základe skúseností. Schopnosť vzájomného dorozumenia je pravidlom a u niektorých druhov cicavcov, ktoré žijú v spoločenstvách, veľmi dobrá.

Analýzou genómu sa zistilo, že stavovce a hlavne cicavce sú si veľmi blízke - odlišných býva len niekoľko percent genetickej informácie. Väčšina biochemických pochodov látkovej premeny je spoločná pre všetkých členov živočíšnej ríše od tých najmenších až po najväčších. Keď porovnáme organizmus človeka a ostatných cicavcov, zistíme, že aj všetky ich orgány fungujú na rovnakom princípe. Preto sa v ďalších kapitolách môžeme venovať popisu orgánových systémov človeka s tým, že základné princípy sú väčšinou rovnaké so všetkými suchozemskými stavovcami a morskými cicavcami (tulene, delfíny, veľryby...) Podstatnejšie rozdiely sú iba v porovnaní s rybami a spočívajú v princípoch dýchania a udržiavania stálosti vnútorného prostredia organizmu.

### **Krvný obeh a dýchanie**

V zložitých organizmoch vznikla potreba dopravovať medzi ich špecializovanými orgánmi živiny, kyslík, prípadne aj informácie a odstraňovať odpadové látky. Pôvodne mali všetky bunky malých a jednoduchých živočíchov potrebný prístup k vonkajšiemu prostrediu, z ktorého priamo získavali živiny a kyslík a do ktorého vylučovali nepotrebné látky. Ako sa stávali organizmy zložitejšie a väčšie, mnohé skupiny buniek- tkanivá sa vďaka svojej úlohe v organizme dostávali hlbšie do tela a musel sa nájsť spôsob, ako k nim všetko potrebné dopraviť a nepotrebné zas odvieť. Prvé riešenie nebolo veľmi zložitá - spočívalo v prirodzenom toku tekutiny, ktorá vyplňovala vnútro živočicha a omývala jeho tkanivá. Ale toto pomalé a viac-menej náhodné prúdenie nevyhovovalo potrebám pre telo väčších rozmerov a bolo ho treba usmerniť. Ďalším vynálezom matky prírody sa stali cievy. Toto potrubie u primitívnych organizmov smerovalo len do tkanív, odkiaľ sa tekutina vracala medzerami medzi bunkami. Až neskôr sa vyvinul kompletný, uzavretý systém ciev aj s aktívnym pohonom tekutiny, ktorá sa podľa triedy živočíchov nazýva hemolymfa alebo krv. Časť tohto cievneho systému sa rozšírila, vybavila ventilovým mechanizmom - blanitými chlopňami, zmohtnula jej svalová vrstva - vzniklo srdce, čerpadlo, ktoré

poháňa obiehajúcu krv.

Ľudia oddávna lovili zvieratá, pripravovali ich ako jedlo a teda ich telá dokonale poznali aj z vnútra. Zrejme vďaka utrpeným zraneniam (loveckým, vojnovým a možno aj vďaka kanibalizmu - kto vie?) si uvedomovali aj podobnosť ľudských a zvieracích orgánov. Napriek tomu sa veľmi dlho nedovtípili, ako fungujú niektoré orgány. Hoci prísť na to, ako pracuje krvný obeh z dnešného pohľadu nebolo veľmi ťažké, tento objav čakal až do 17. storočia. Múdry a zrejme aj šikovný anglický lekár Wiliam Harvey, dvorný lekár kráľov Jakuba I. a Karola I. približne od roku 1615 robil premyslené, hoci v podstate jednoduché pokusy, pomocou ktorých zisťoval smer prúdenia krvi v cievach, až sa v roku 1628 odhodlal zverejniť výsledky svojej práce, v ktorej ako prvý správne popísal krvný obeh u ľudí a zvierat. Iste to bolo aj jeho spoločenské postavenie (vďaka manželstvu s dcérou svojho predchodcu vo funkcii dvorného lekára), ktoré mu umožnilo úspešne napraviť vtedajšie chybné názory o činnosti srdca a ciev, ktoré pochádzali ešte od slávneho starogéckeho lekára Galéna... Napriek tomu, niet pochýb, že zverejnením vtedy neslýchaných vedeckých názorov do istej miery riskoval aj svoje významné postavenie.

Jednou z látok, ktorú treba krvným obehom dopravovať ku všetkým tkanivám, je kyslík. Pripomeňme, že vodné živočíchy ho získavajú z okolitej vody, v ktorej je rozpustený. Do krvi prestupuje v žiabroch, čo sú silne prekrvené, rozvetvenými cievami pretkané orgány. Najjednoduchšie z nich majú tvar kríkovitých výrastkov za hlavou a tenkú stenu, tvorenú jedinou vrstvou buniek steny krvných vlásočníc, endotelu, ktorá je v priamom dotyku s podobnou vrstvičkou, omývanou okolitou vodou. Väčšina živočíchov na vyššom stupni vývoja - napríklad rýb - má svoje zraniteľné žiabre skryté vnútri tela za hlavou. Čerstvú vodu naberajú ústami a použitú, z ktorej bol odobratý kyslík a obohatenú o vylúčený kysličník uhličitý vypúšťajú žiabrovými otvormi. Suchozemské živočíchy majú miesto žiabrov pľúca, čo je orgán, zariadený na získavanie kyslíka zo vzduchu. Aj ich "pracovná plocha" pozostáva z tenučkého rozhrania medzi vzduchom a krvou, ktoré je tvorené len dvoma vrstvičkami jemných, plochých buniek: zo steny krvnej vlásočnice a pokryvu pľúcnych mechúrikov - alveolov. Ale aby pľúca fungovali, v porovnaní so žiabrami sa museli vyriešiť dva problémy: vysychanie ich povrchu na vzduchu a povrchové napätie. Žiabre, ponorené do vody nemôžu vyschnúť ani náhodou. Dočasne fungujú aj na vzduchu, takže ryby ani na suchu nejakú dobu nezahynú a ak sa dostanú do vody, rýchle sa úplne zotavia. Ale výstelka pľúc na vzdušnej strane musí byť nejako zvlhčovaná, aby bunky nevyschli

a neodumreli. A tu vzniká problém - volá sa povrchové napätie kvapaliny. Je to práve tá sila, ktorá zodpovedá za tvar kvapky vody. Vzniká ako výslednica čiastkových príťažlivých síl, ktoré pôsobia medzi molekulami vody na rozhraní medzi povrchom vody a vzduchu. Nech kvapka padá ako dážď, vznáša sa v kabíne kozmickej lode, alebo rozlieva sa na nejakom povrchu, povrchové napätie je tá sila, ktorá ju núti, aby mala čo najmenšiu plochu povrchu. (Dará sa to dobre len kvapke v bezváhovom stave, napríklad v kozmickej lodi. Zaujíma guľovitý tvar - guľa je geometrický útvar, ktorý má najmenší možný povrch pri danom objeme.) Pľúcny mechúrik, povlečený vodou je vlastne "kvapka naruby" - a jej povrchové napätie ju núti, aby neostala roztečená po stene, ale aby sa stiahla do drobnej guľky. Tým ale mechúrik úplne uzatvorí a dýchanie nie je možné. Na rozťahnutie pľúc s miliónmi takýchto mechúrikov - drobných kvapôčiek už treba poriadnu silu na prekonanie povrchového napätia tekutiny. Problém sa vyriešil pomocou surfaktantu. Je to špeciálna látka, vytváraná v pľúcach, ktorá má malé povrchové napätie a teda umožňuje pohodlné rozvinutie mechúrikov pri nádychu a tým dýchanie bez vynakladania množstva energie. Nedostatok surfaktantu ohrozuje predčasne narodené deti. Za normálnych okolností pred pôrodom plávajú v plodovej vode a kyslík dostávajú v pupočníkovej krvi z tela matky. Ich pľúca sú ešte nezrelé, naplnené plodovou vodou, nie pripravené na dýchanie. Horšie je, ak takéto nezrelé pľúca musia zrazu pracovať ako normálne vyvinuté - to je situácia po predčasnom pôrode, ktorá nemusí dobre skončiť... Aj nešťastie utopencov spočíva okrem iného v tom, že vdýchnutá voda poruší vrstvu surfaktantu a aj po zachránení a odstránení vody z pľúc sa pľúcne mechúriky viac nerozvinú. Pritom ľudské pľúca sú v princípe schopné získavať kyslík aj z vody, pokiaľ by bol človek schopný vyvinúť silu, potrebnú na prekonanie povrchového napätia vody a nadýchnutie. (Snom výskumníkov je vyvinúť látku, ktorá by odstránila fyzikálne a fyziologické prekážky pre "dýchanie v tekutine" - ak by sa ňou naplnili pľúca, potápači by teoreticky mohli pracovať bez kyslíkových prístrojov, pravdepodobne aj v dnes nedostupných hĺbkach - ale to je, obávam sa, ešte vec veľmi vzdialenej budúcnosti.)

Jemné pľúcne vlásoknice neznesú príliš vysoký krvný tlak, aký je potrebný pre rozvádzanie krvi do tela väčších zvierat. Žirafa je extrémny prípad - na čerpanie krvi do výšky jej mozgu je potrebné nielen neobvykle výkonné srdce, ale aj neobyčajne odolné cievy. Preto sa u veľkých suchozemských zvierat krvný obeh rozdelil na dva, telový a pľúcny, ktoré sú úplne oddelené u cicavcov a vtákov. Tomu zodpovedá aj dvojité, štvordutinové srdce, aké je aj srdce človeka. Ľavá komora je mohutnejšia a čerpá krv do telového obehu, pravá je menej masívna,

pretože čerpá krv do pľúc, a tam stačí nižší tlak, ba príliš vysoký tlak by spôsobil, že voda z krvnej plazmy by presakovala z jemných pľúcnych vlásočníc do pľúcnych mechúrikov a zvierat by sa vlastne utopilo. Oba obehy sú pritom zapojené za sebou: krv priteká z tela do pravej predsieňe, odtiaľ do pravej komory, prechádza pod menším tlakom pľúcami, ďalej ľavou predsieňou do ľavej komory a odtiaľ zas ide do celého tela, už pod vyšším tlakom, ktorý umožňuje dobré prekrvenie aj najvzdialenejších orgánov.

Kyslík sa síce vo vode rozpúšťa, ale veľké zvieratá potrebujú výkonnejšie transportné médium. Stal sa ním hemoglobín - červené krvné farbivo. Obsahujú ho červené krvinky, drobné diskovité telieska, ktoré u ľudí zaberajú temer polovicu objemu krvi. Hemoglobín viaže kyslík chemicky. Sú ho rôzne typy, záleží na druhu zvierat'a a podmienkach, v ktorých žije. Dokonca aj ľudské telo pred narodením používa iný typ hemoglobínu, ako po narodení (a príliš náhly rozpad toho prvého, fetálneho hemoglobínu vyvoláva žltáčku novorodencov - väčšinou miernu a neškodnú, patriacu ku vstupu do samostatného života mimo tela matky). Toto zázračné farbivo dokáže viazať a uvoľňovať kyslík podľa chemického zloženia okolia: napríklad, naväzuje ho v chlade a v prostredí s nižšou koncentráciou kysličníka uhličitého - to je prostredie pľúc. Uvoľňuje ho v teplejšom prostredí a s vyšším obsahom kysličníka uhličitého - teda v tkanivách. Spomínané rôzne typy hemoglobínu sa líšia práve v jemnom vyladení týchto vlastností. To je dosiahnuté celkom malými odchýlkami v slede aminokyselín v reťazcoch jeho podstatnej zložky - vláknitej bielkoviny globínu. Zámena jedinej aminokyseliny znamená iný priestorový tvar jej poskrúcaného vlákna a tým aj iné fyzikálno-chemické vlastnosti celého molekulového komplexu hemoglobínu.

V momente, ako sa vyvinul uzatvorený krvný obeh, vznikol ešte jeden problém: ako donútiť tekutinu, ktorá ho v tkanivách opúšťa (prechodom cez stenu krvných vlásočníc), aby sa aj vrátila naspäť do ciev? Riešenie však nie je zložité, obstaráva to bežná fyzikálna, konkrétne osmotická sila. Čo to je a ako funguje? Nie je ťažké predstaviť si, že ak do vody vhodíme nejakú rozpustnú látku, napríklad soľ, jej molekuly sa snažia rozísť sa rovnomerne v celom objeme nádoby - teda koncentrácia soli bude nakoniec rovnomerná v celom objeme vody. Ak by sme soľ ponorili do vody v polopriepustnom, napríklad celofánovom vrecku, stane sa nasledujúce: keďže molekula soli, teda chloridu sodného je pomerne veľká, nedokáže sa pretlačiť cez mikroskopické medzery v štruktúre celofánovej fólie do vody. A tak molekuly vody, ktoré sú menšie a medzerami medzi vláknami celofánovej fólie preniknú, budú sa tlačiť do vrecka za soľou so snahou vyrovnáť

koncentráciu. Vo vrecku pritom vznikne aj nezanedbateľný tlak vody, ktorý sa nazýva osmotický. Osmotickú funkciu soli v krvných kapilárach plní bielkovina, ktorá sa volá albumín. Výmena vody prebieha takto: pri vyústení drobnej tepny do vlásočnice prevažuje tlak krvi, ktorý tekutinu vytláča z vlásočnic, nad osmotickým tlakom, ktorý má tendenciu nasávať vodu z okolia, a tak tekutina so živinami opúšťa kapiláru. Na opačnom, žilovom konci kapiláry je krvný tlak už nízky a tak preváži osmotický tlak, ktorý tekutinu zase nasáva naspäť. Medzitým si z nej bunky odoberú, čo potrebujú a odovzdajú do nej odpadové látky.

Uzatvorený krvný obeh nesmie byť poškodený, aby z neho krv nemohla unikať, a to tým skôr, ak v ňom tečie pod vyšším tlakom. Pri veľkom poškodení hrozí vykrvácanie a smrť tkanív z nedostatku kyslíka aj živín. Veľké tepny majú vrstvu svalstva, ktoré sa stiahne okolo poškodeného miesta a otvor väčšinou dostatočne uzatvorí. Potom začnú dorastať poškodené vrstvy steny tepny a poranenie sa definitívne zahojí. Čo však s drobnými cievami bez svalovej vrstvy? Riešením je provizórna hemostatická zátka. Táto je spočiatku tvorená krvnými doštičkami, ktoré ináč trvalo cirkulujú v krvi. Poranená cievna stena uvoľňuje látky, ktoré spôsobia, že doštičky priľnú na okraje rany, uzatvorí ju a vyvolajú tvorbu siete fibrínových vlákien, ktoré premostia poranení priestor. Ďalej sa rana vyplní väzivom a nakoniec zahojí. Proces, na ktorého konci je vytvorenie fibrínového uzáveru, je podmienený kaskádou chemických reakcií a tiež ho spúšťa kontakt špeciálnych látok, ktoré majú súhrnný názov koagulačné faktory, s poranenou cievnu stenou. Reťazec chemických reakcií, podielajúcich sa na zrážaní krvi je jemne vyvážený, aby krvné zrazeniny nevznikali na každom, aj nevýznamnom poškodení vnútornej výstelky ciev - endotelu, ale pritom aby zastavovanie krvácania bolo dostatočne pohotové a výkonné aj pri vážnom poranení.

Iným, priamočiarym spôsobom riešia dýchanie článkonožce - teda aj hmyz. Na rozvod kyslíka nepoužívajú krv, ale sieť jemných kanálikov - vzdušnic. Vzduch je v nich poháňaný vibráciami okolitého tkaniva. Je to veľmi výkonný systém - letiaca včela potrebuje vyprodukovať asi stokrát viac energie na jednotku hmotnosti, ako človek, čomu zodpovedá aj potreba prívodu kyslíka do tkanív. Ale zdá sa, že tento spôsob je vhodný len pre malé tvory.

Pre úplnosť treba dodať, že niektoré suchozemské živočíchy sa v ďalšom priebehu vekov vyvíjali akoby opačným smerom - znova sa prispôbili životu vo vode. Ale ich dýchací systém už neprekonal spätný vývoj - z pľúc už nevznikli

žiabre. Cicavce sa skrátka nestali znova rybami, aj keď by to slovenský názov veľrýb mohol napovedať. Aby sa nezadusili, niektoré druhy vodného hmyzu si prinášajú pri ponáraní z hladiny bublinku vzduchu, z ktorej dýchajú pod vodou. Vodné cicavce - delfíny, veľryby, tulene, vydry zas vydržia po nadýchnutí pod vodou aj desiatky minút (ale na rozdiel od rýb sa nakoniec môžu utopiť). Sú schopné lepšie hospodáriť so zásobou kyslíka v tkanivách, ako človek, ktorý ju síce má tiež, ale nedokáže ju tak dobre využívať a udusí sa oveľa skôr.

### Signálne látky

Krvný obeh má ešte ďalšie dôležité funkcie. Plní napríklad funkciu ústredného kúrenia - rozvádza teplo. Nenápadná, ale nemenej dôležitá je funkcia pošťara. Táto slúži jednému z riadiacich systémov organizmu živočícha - systému endokrinnému, teda systému žliaz s vnútorným vylučovaním. Ich výlučky, hormóny sú chemickými signálmi, ktoré riadia látkovú premenu a činnosť všetkých orgánov tela. Väčšina z nich ovláda niekoľko orgánov v tele, pričom každý z nich na základe spoločného signálu vykoná niečo iné, svoju čiastkovú úlohu v prospech celého organizmu. A doručovateľom hormónov k orgánom, ktorých činnosť ovládajú, je práve krvný obeh. Regulácia prostredníctvom endokrinných žliaz s hormónmi ako nositeľmi jednotlivých signálov nie je výsadou stavovcov, jej jednoduché formy sa našli aj u jednoduchých živočíchov, ako sú červy. Funkciu endokrinného systému dopĺňa nervový systém, ktorý však pracuje o niečo odlišne: na rozdiel od hormónov, ktoré sú vysielané do celého organizmu, nervový systém má možnosť svoje povely veľmi presne zacieliť.

Pripúšťajúc istú nepresnosť, možno povedať, že povely, ktoré sú vydávané vo forme chemických signálov, teda vylučovaním hormónov, sú plnené pomalšie, ako povely, prenášané vo forme nervových vzruchov. Ako nájdú svojho adresáta - cieľové tkanivo či orgán, to je určené chemickými vlastnosťami molekúl hormónov a väzobných miest v bunkovej membráne - receptorov. Slovo receptor sa dá voľnejšie preložiť ako prijímač. Je to štruktúra, ktorá zodpovedá molekule príslušného hormónu svojím tvarom a elektrickým nábojom podobne, ako zámka kľúču. Len kľúč vhodného prierezu sa dá vsunúť do zámky, to ale nestačí k tomu, aby sa zámka dala aj odomknúť. Musí mať aj zodpovedajúci tvar zubov. Iba vtedy sa dá v zámke otočiť. Endokrinné žľazy uvoľňujú do krvi signálne látky - hormóny, ktoré sú tokom krvi zanesené k temer všetkým bunkám v tele. Ale pôsobia len na tie, ktoré nesú na svojom povrchu príslušný receptor. Hormón sa naň chemicky

## Signálne látky

naviaže a tým aktivuje reťaz ďalších chemických signálov, ktoré vyvolajú reakciu príslušného typu buniek. Rovnaký hormón môže súčasne vyvolať množstvo akcií rôznych orgánov a tkanív, ktoré v rámci organizmu väčšinou slúžia spoločnému účelu. Podobným spôsobom funguje množstvo regulačných systémov v organizme a ich poznanie umožňuje vývoj liekov s dobre predvídateľnými účinkami, napríklad na liečbu vysokého tlaku. Je totiž možné skonštruovať takú molekulu, ktorá síce obsadí receptor, ale nevyvolá ďalšie reakcie. Funguje ako obdoba nepravého kľúča, ktorý síce vsuniete do zámky, ale neotočíte ním. Potom ale nemožno do zámky vsunúť ani správny kľúč. Hovorí sa, že liek receptor blokuje a je to výstižný výraz: skutočne totiž zabráni účinku prirodzeného prenášača informácie. Konkrétne napríklad veľa liekov na vysoký krvný tlak obsadením príslušných receptorov znemožní odovzanie povelu na zúženie tepien a tým na zvýšenie tlaku krvi, ktorá nimi preteká.

Všeobecne známy hormón je adrenalín. Jeho názov sa používa bežne, hoci málokto presne vie, ako a načo slúži. Je to látka, ktorú uvoľňuje dreň nadobličiek, ak sa organizmus nachádza v stresovej situácii. Tou môže byť ohrozenie alebo iný dôvod k zvýšenému telesnému výkonu. Nachádza svoje receptory vo viacerých orgánoch, vyvoláva v nich rôzne odozvy, ale všetky majú jediný cieľ: umožniť vysokú telesnú aktivitu. Vplyvom adrenalínu sa zrýchľuje tep srdca a rozširujú cievy, privádzajúce krv do svalov. Zrýchľuje sa dýchanie, takže sa zvyšuje prívod kyslíka. Zvyšuje sa množstvo glukózy v krvi - to je látka, ktorá je hlavným zdrojom energie pre svaly. Je utlmená činnosť tráviaceho systému, pretože vstrebávanie živín nie je pre rýchle zvládnutie nebezpečnej situácie potrebné a v danej chvíli zbytočne odčerpáva zdroje. Rozširujú sa zrenice, zvyšuje sa pozornosť. To všetko zariadi zlomok miligramu jedinej látky pomerne jednoduchej chemickej štruktúry.

Adrenalín účinkuje rýchle, ale iné hormóny pôsobia v priebehu minút až hodín. Napríklad inzulín riadi hladinu cukru - glukózy v krvi. Pri vysokej hladine zariadi jej zabudovanie do zásobných látok, glykogénu alebo tuku. Glukóza je hlavný a pohotový zdroj energie pre všetky orgány. Niektoré z nich síce dokážu využívať aj iné zdroje, ale napríklad mozog bez glukózy prestáva pracovať - človek upadne do bezvedomia. Na druhej strane, trvalo vysoká hladina glukózy v krvi je pre organizmus škodlivá. Toto je veľmi dobre dokázané: stámilióny ľudí na svete trpia na cukrovku - chorobu, spôsobenú nedostatkom inzulínu, pri ktorej je prebytok glukózy hlavnou príčinou ťažkostí, bez liečenia aj príčinou smrti. Vylučovanie inzulínu do krvi u zdravého človeka začína po jedle a trvá, kým sa

glukóza zo strávených živín nespotrebuje, čo zvykne trvať niekoľko hodín. Ak by to inzulín preháňal a hladina glukózy nebezpečne klesala - ale to sa môže stať aj pri veľkej telesnej námahe alebo pri hladovaní - je pripravený iný hormón, glukagón, ktorý má opačný účinok: zorganizuje dodávku glukózy do krvi zo zásob, konkrétne z glykogénu v pečeni. Inzulín patrí tiež k známejším hormónom a súčasne je aj hormónom, ktorý sa ako liek vyrába v ďaleko najväčšom množstve, lebo cukrovka je jednou z najrozšírenejších a súčasne najzákernejších chorôb v civilizovanom svete. A je aj prvým hormónom, ktorý sa začal používať ako liek. Za jeho zavedenie do liečby dostali Nobelovu cenu lekári Banting a Macleod, no celá história je trochu zložitejšia a ilustruje náročnosť nájdenia, izolácie a prípravy látok tak zložitej a jemnej chemickej štruktúry. Otcom myšlienky bol chirurg Banting, ktorý sa z práce predchodcov dozvedel, že zdrojom látky, ktorá zabraňuje vzniku cukrovky je zrejme slinivka brušná - pankreas. Ale pankreas obsahuje a vylučuje aj veľké množstvo tráviacich enzýmov, ktoré mnohonásobne prevyšuje obsah inzulínu (a dnes vieme, že aj mnohých ďalších hormónov, ktoré sa v pankrease tvoria). Banting sa chcel k látke, ktorú nazval inzulín, dopracovať tak, že spolu s Bestom pokusným psom operáciou uzatvoril vývod slinivky do dvanástorníka a privodil tak postupný zánik tvorby tráviacich štiav. Výsledky boli sľubné, ale extrakt zo slinivky brušnej aj tak obsahoval priveľa prímiesí, aby sa dal použiť liečebne a okrem toho výťažku zo psieho pankreasu bolo málo. Pomohlo manažérske rozhodnutie šéfa ústavu profesora Macleoda, ktorý sa síce k celému pokusu spočiatku staval skepticky, ale teraz poveril šikovného biochemika Collipa, aby obom chirurgom pomohol. Až Collip získal dostatočne čistý inzulín a to veľmi rýchlo, v priebehu niekoľkých mesiacov. Jeho metóda nakoniec umožňovala použiť pankreasy bez predchádzajúcej operácie a tiež veľké prasačie a hovädzie pankreasy, ktoré od roku 1922 poskytovali počas ďalších desaťročí dostatočne veľké množstvá inzulínu pre všetkých, ktorí liečbu potrebovali. O to, kto mal na objave väčší alebo menší podiel sa občas diskutuje dodnes. Banting sa o svoj diel z Nobelovej ceny podelil s Bestom a Macleod s Collipom, čo dobre ilustruje skutočnosť, že hoci v análoch nadácie Alfreda Nobela sú zapísaní Banting a Macleod, v lekárskej literatúre sa najviac uvádzajú Banting a Best, ale bez Collipa by sa zrejme na použiteľný inzulín nejakú dobu čakalo. Časy veľkých individuálnych objavov v medicíne a biológii končili, bez spolupráce a podpory mnohých spolupracovníkov ich už neskôr vzniklo len málo.

Regulácia vylučovania hormónov môže byť aj veľmi zložitá, so vzájomne previazanými regulačnými okruhmi. Napríklad spoločným podnetom pre vylučovanie adrenalínu aj glukagónu môže byť stres. Ich konečné účinky síce



zasahujú orgány, ktoré sú si vzdialené nielen umiestnením v tele, ale aj funkciou, ale ich činnosť slúži spoločnému cieľu: adrenalín zariadi prípravu organizmu na boj alebo útek, glukagón zariadi zvýšenú dodávku energie v podobe glukózy do tkanív. Čím ďalej pokračuje skúmanie endokrinného systému, tým viac nečakaných súvislostí sa objavuje. Tak napríklad tyroxín, ktorý reguluje celkovú rýchlosť látkovej premeny v tele, je uvoľňovaný zo štítnej žľazy pôsobením stimulačného hormónu z hypofýzy a ten zase uvoľňovacím hormónom z hypotalamu (thyreotropin releasing hormone, TRH). Tento regulačný systém reaguje nielen na regulovaný parameter - metabolizmus, ale aj vníma aj hladinu tyroxínu v krvi. Ak je hladina tyroxínu nízka, stimulačný hormón (TSH - thyroid stimulating hormone) je vylučovaný vo vyššom množstve. A keďže prirodzený regulačný mechanizmus je zjavne citlivejší, ako naše vyšetrovacie metódy, pri hodnotení funkcie štítnej žľazy sa veľmi vážne berú do úvahy nielen hladiny samotného tyroxínu, ale rovnako pozorne sa vyhodnocujú aj hladiny jeho regulačného hormónu TSH - zdá sa, že ten má o regulovanej funkcii tela, metabolizme, "lepší prehľad", ako lekárovi<sup>74</sup> poskytne púhe meranie hladiny tyroxínu... Meranie hladín oboch týchto hormónov má aj veľký praktický význam: podľa nich sa riadi liečenie chorobne zvýšenej alebo zníženej činnosti štítnej žľazy. Napríklad pri zníženej funkcii - hypothyreóze - sa pacientovi podáva syntetický tyroxín a jeho množstvo sa riadi hlavne podľa TSH: ak je hladina stimulujúceho hormónu normálna, znamená to, že organizmus je s liečbou "spokojný", ináč sa musí dávkovanie tyroxínu zvýšiť alebo znížiť.

Podobný regulačný okruh má aj vylučovanie kortizolu, hormónu, ktorý sa vylučuje pri zvýšenej záťaži organizmu. Na rozdiel od adrenalínu, vylučovaného pri náhlej situácii, ktorá ohrozuje celistvosť organizmu, uvoľňovanie kortizolu z kôry nadobličiek je spojené s dlhodobejšou záťažou, ktorou môže byť nielen námaha, ale aj choroba. Aj regulácia vylučovania kortizolu je viacstupňová: riadi ho hypofyzárny adrenokortikotropný hormón (skratka ACTH) a ten je zase ovládaný ďalším hypotalamickým faktorom (corticotropin releasing factor - CRF). Aj tu jestvuje regulačný okruh - vysoké hladiny kortizolu zastavujú tak vylučovanie CRF, ako aj ACTH.

Zložité? Isteže, v medicíne sa ochoreniam endokrinných žliaz (to sú žľazy, ktoré tvoria a vylučujú hormóny) a výskumu pôsobenia a vzťahov hormónov venuje celý rozsiahly odbor - endokrinológia. Jej možnosti boli donedávna obmedzované citlivosťou metód na stanovenie hladín hormónov v krvi. V posledných desaťročiach sa však diagnostické možnosti rozšírili. Nielen vo

výskume, ale aj pri pomerne bežných vyšetreniach je možné stanoviť koncentrácie ešte nižšie, než mikrogram - milióntina gramu na liter. Je iste zaujímavé, že takéto presné analýzy sa robia s využitím možností, ktoré poskytla sama príroda - pomocou protilátok, ktoré vyrábajú biele krvinky cicavcov ako obranný prostriedok organizmu proti neviditeľnému nepriateľovi, pôvodcom infekčných chorôb, baktériam a vírusom.

### **Obrana proti neviditeľnému nepriateľovi**

Zmienka o protilátkach nás uvádza do imunológie. Táto veda sa zaoberá skúmaním, ako sa vlastne živočíchy bránia proti mikroorganizmom - vírusom, parazitom a baktériam, ale aj iným cudzorodým látkam, ktoré prenikli do ich tela. Už bola zmienka o tom, že aj rastliny majú obranu proti poškodzovaniu - vytvárajú jedovaté látky, ktorými bojujú proti škodcom (raz úspešnejšie, inokedy menej úspešne). Živočíchy sa tiež dokážu brániť proti útočníkom - ale ako to robia v prípade tých najdrobnejších, vírusov, baktérií a iných, ktoré ani nevidno?

Túto prácu má na starosti imunitný systém. O tom, že človek môže získať imunitu- odolnosť voči infekcii, vedeli zrejme už v stredoveku v Číne a Indii. Vypozorovali, že človek, ktorý prekoná obávanú vírusovú chorobu- pravé kiahne - na ne už nikdy v živote neochorie. Vedeli vykonávať primitívne očkovanie - úmyselne nakazili zdravých ľudí obsahom pľúzciov od chorých s kiahňami. Hoci "očkovaciu látku" získavali od chorých s ľahkým priebehom choroby, na dnešné pomery to bola nesmierne nebezpečná metóda - nákazlivosť a množstvo naočkovaných vírusov kiahní sa nedalo celkom dobre odhadnúť. Ale vtedy na pravé kiahne zomieral priemerne každý tretí pacient, takže riziko sa javilo celkom prijateľné. Postupne sa táto metóda dostávala aj do Európy - vo Veľkej Británii ju propagovala manželka britského veľvyslanca v Turecku Mary Wortley Montagu, ktorá podstúpila úspešné očkovanie v Konstantinopole (Istambule). Po úspešnom pokusnom očkovaní šiestich väzňov sa údajne nechali očkovať aj dve z vnúchat kráľa Juraja I. Oveľa bezpečnejšiu metódu zaviedol lekár Edward Jenner v roku 1749 - všimol si, že odolnosť voči smrtiacim pravým kiahňam zanecháva aj prekonanie neškodných kravských kiahní, na ktoré často trpeli dojičky na miestnom statku. Táto sa rozšírila po celom svete. O ďalších sto rokov Louis Pasteur úspešne zaočkoval dieťa proti besnote a potom sa očkovanie stále rýchlejšie rozširovalo. Dnes s použitím moderných, pri zachovaní predpísaných postupov temer stopercentne bezpečných vakcín dokáže medicína predchádzať

desiatkam potenciálne smrteľných chorôb, nanešťastie však nie všetkým.

Imunitný systém majú takmer všetky viacbunkové živočíchy, počínajúc červami. Výkonnými orgánmi imunitného systému stavovcov a človeka sú bunky, rozmiestnené v celom tele. Sústredené sú v niektorých orgánoch, napríklad v slezine, lymfatických uzlinách. Aj v krvi kolujú ako rôzne druhy bielych krviniek. Tieto fungujú ako jednotka rýchleho nasadenia. Sú schopné zhromaždiť sa vo veľkom množstve práve tam, kadiaľ prenikajú mikróby - napríklad v infikovanej ranke. Ale ako zistia, kde je ich prítomnosť potrebná? Usmernenie bielych krviniek súvisí priamo s podstatou regulácie činnosti imunitného systému, ktorý, hoci sa v tejto súvislosti nezvykne uvádzať, je ďalším z úžasných informačných a regulačných systémov organizmov.

Už počas vývoja v maternici sa cicavcom a teda aj človeku v kostnej dreni vytvára množstvo lymfatických buniek - lymfocytov. Majú spoločného predka - kmeňové bunky kostnej drene, z ktorých sa vyvíjajú aj krvinky, medzi nimi aj rôzne typy bielych krviniek, ktoré sa podieľajú na obrane organizmu proti cudzím elementom. Sú to napríklad granulocyty, ktoré majú schopnosť pohlcovať baktérie, ktoré by sa vyskytli v krvi. Ale vráťme sa k lymfocytom. Tie sú nadané výnimočnou schopnosťou: prostredníctvom svojich receptorov sú schopné rozpoznať obrovské množstvo rôznych látok, s ktorými sa v organizme môžu stretnúť. V prvom rade sú to tie, ktoré predstavujú tkanivá vlastného tela. Počas vnútromaternicového vývoja sa naučia vnímať ich ako vlastné a neútočiť na ne. Tento jav sa nazýva imunotolerancia. Ináč je to s látkami, ktoré majú na povrchu svojho tela mikróby - vírusy, baktérie, parazity a aj "nepodarené" bunky vlastného tela - také, ktoré sa nesprávajú podľa inštrukcii, ktoré im dáva nepoškodený genetický kód a hrozia prerásť na nádorové tkanivo. Lymfocyty ich dokážu rozpoznať ako cudzie (antigény) a začnú vytvárať protilátky, ktoré sa na ne naviažu. Protilátky pôsobia ako lúč laserového navádzacieho zariadenia pre vojenské rakety: akonáhle je cieľ označený protilátkou, rozbehne sa proces jeho zneškodnenia - rozloženie alebo pohltenie ďalšími špecializovanými bunkami imunitného systému, napríklad spomenutými makrofágmi, ktoré sú navádzané práve naviazanými protilátkami..

Schopnosťou vytvárať špecifickú protilátku pre každý antigén je nadaná len malá časť - klon - zo všetkých lymfocytov, ktoré sa nachádzajú v tele. Prítomnosť antigénu vyvolá rýchle zvýšenie počtu príslušníkov tohto klonu, ale predsa trvá niekoľko dní, kým sa dostatočne rozmnožia. Táto doba predstavuje pre organizmus

zdržanie v boji s infekciou. Preto sa súčasne vyvíjajú aj pamäťové bunky, ktoré slúžia ako základ pre rýchle rozmnoženie v prípade opakovaného styku s infekciou. Okrem toho, protilátky ostávajú v krvnom obehu počas rôznej dlhej doby, ktorá je v prípade obvyklých infekčných chorôb dobre známa. Takto sa stáva organizmus na nejakú (podľa typu infekcie veľmi rôznu) dobu odolný- imúnny proti tejto infekcii. Na jednej strane protilátky proti väčšine typov vírusu nádchy sa stráti za pár týždňov, takže za sezónu môžeme prechladnúť niekoľkokrát (môžeme sa nakaziť síce zakaždým iným typom vírusu, ale aj znova tým istým). Na druhej strane, imunita po očkovaní proti vírusu pravých kiahní je celoživotná. A čo to vlastne očkovanie (čiže vakcinácia) je? Je to podanie neškodného druhu a množstva antigénu, napríklad usmrtených alebo oslabených baktérií, proti ktorým ale vznikne obvyklá imunitná reakcia. Týmto neškodným podaním donútime imunitný systém, aby vytvoril protilátky proti týmto mikroorganizmom. V prípade infekcie živými mikróbmi sú protilátky pripravené, boj s infekciou začína okamžite a je spravidla rýchly a úspešný. Inou, o niečo menej účinnou metódou je podanie hotových protilátok. To sa robí v prípadoch, keď hrozí tak rýchly priebeh ochorenia, že organizmus si protilátky nestihne vytvoriť. Extrémnym príkladom je sérum proti hadiemu jedu. Získava sa očkovaním hovädzieho dobytku alebo koní - opakovaným podávaním malých, neškodných množstiev jedu, ktoré ale vyvolajú tvorbu protilátok proti jedu. Krv sa im potom odoberá a získa sa z nej jej časť, obsahujúca protilátky- sérum. Nevýhodou je, že takéto sérum obsahuje aj množstvo zvieracích krvných bielkovín, ktoré niekedy u chorého vyvolajú alergickú reakciu.

O alergii už určite každý počul, no nie každý vie, ako a prečo taká alergická reakcia vzniká. Nuž, vlastne celkom jednoducho: imunitný systém rozozná nejakú, často ináč neškodnú látku ako cudziu. To by ešte bolo v poriadku, ibaže imunitná reakcia v prípade opätovného kontaktu s touto látkou, ktorá sa v tomto prípade nazýva alergén, býva neprimerane intenzívna. V krajnom prípade môže vzniknúť aj smrtiaci anafylaktický šok, našťastie väčšinou sa celá príhoda odobaví ako svrbivá vyrážka na koži v mieste kontaktu s alergénom. Menej často má celé ochorenie dlhodobejší priebeh. Prečo civilizovaní ľudia v poslednej dobe trpia alergiami, vysvetľuje sa tak, že prichádzajú do styku s mnohými cudzorodými, v prírode sa bežne nevyskytujúcimi látkami zo znečisteného životného prostredia. Množstvo cudzorodých látok napríklad obsahuje aj kravské mlieko, ktoré sa používa na výrobu umelej dojčenskej výživy - to je jeden z dôvodov, prečo sa po móde umelej detskej výživy z 50. rokov minulého storočia matkám opäť dôrazne odporúča deti koiť.

Rozprávanie o imunitnom systéme som uviedol zmienkou o metódach stanovovania nepatrných koncentrácií hormónov a iných látok v krvi. Ako to vlastne súvisí s protilátkami? Nuž, detekcia pomocou protilátky je jeden z najcitlivejších analytických postupov. Protilátka si totiž svoj antigén (ktorým môže byť hormón, ale aj každá trochu chemicky zložitá zlúčenina) nájde aj vo veľmi zriedenom roztoku. Diagnostická protilátka sa získava umelo, v princípe tak isto, ako očkovacia látka - napríklad imunizáciou zvierat'a. Ostávalo nájsť spôsob, ako vystopovať túto protilátku, a stanoviť jej množstvo, naviazané na antigén (ktorým je analyzovaná zlúčenina, napríklad liek, alebo aj hormón). Dá sa to niekoľkými spôsobmi označovania protilátky. Jeden z nich je taký, že na umelo pripravenú protilátku sa naviaže zlúčenina obsahujúca rádioaktívny atóm a stanovenie množstva antigénu sa robí prostredníctvom detekcie rádioaktivity. Inou, použíwanejšou možnosťou je označenie pomocou enzýmu. V tomto prípade sa množstvo hľadanej látky - napríklad hormónu (ale aj liečiva alebo iných látok) stanovuje podľa aktivity označujúceho enzýmu - katalyzátora, ktorý sprostredkúva premenu jednej chemickej látky na druhú (tá druhá, produkt katalyzovanej reakcie býva zvolená tak, aby sa jej množstvo dalo jednoducho zmerať, napríklad podľa zmeny farby roztoku). Rýchlosť tejto premeny, závislej od množstva enzýmu sa meria ako množstvo produktu, ktorý vznikne za určitý čas. Popisovaný spôsob analýzy sa stal rutinnou metódou a nezaobíde sa bez neho žiadne nemocničné biochemické laboratórium.

### **Informačná sieť organizmu**

Najrýchlejší a najpresnejší spôsob, akým sú ovládané jednotlivé orgány, je prostredníctvom nervového systému. Aj veľmi jednoduché živočíchy využívajú špecifické látky - hormóny, ktoré ovplyvňujú rast a aktivitu jednotlivých častí tela a orgánov. Okrem toho však obsahujú aj špecializované bunky a tkanivá, ktorými dokážu vnímať podráždenie z okolia, spracovať ho ako signál, preniesť tento do inej časti tela a aj reagovať naň. Tento nervový systém zvierat a človeka obsahuje až miliardy nervových buniek, ktoré majú podobnú funkciu, ako jednotlivé súčiastky v procesore počítača. V technických detailoch je táto podobnosť len veľmi vzdialená, ale spôsob činnosti má niekoľko spoločných črt. Nervové bunky sú navzájom spojené synapsami, a tieto spojenia majú premenlivú priepustnosť pre signály, podobne ako jednotlivé tranzistory v procesore. Rozdielny je však fyzikálny princíp, rýchlosť (v ktorej jednoznačne víťazí počítač) a spôsob kódovania prenášaných informácií. Nervové signály nemajú binárny charakter, teda

informácie nie sú v nich zakódované v podobe jednotiek a núl (už bolo spomenuté, že takýto, proti skresleniu informácie odolný spôsob kódovania živé organizmy používajú na uloženie genetickej informácie), ale podobajú sa pulznej modulácii, čo ešte ďalej vysvetlím. Ďalší podstatný rozdiel je v tom, že počítač nedokáže meniť vlastnosti svojich súčiastok, teda zasahovať do hardware. Naproti tomu je zrejmé, že v mozgu sa môžu vytvárať a rušiť spojenia, dokonca jednotlivé jeho časti dokážu prebrať funkcie iných, poškodených. Táto vlastnosť sa nazýva plasticita nervového systému. Ako je to možné, ako to funguje na úrovni buniek a ešte nižšej, chemickej, zatiaľ nie je jasné.

Fyzikálno-chemický princíp prenosu informácie, teda nervového impulzu, vzruchu či podráždenia je nasledovný. Každá bunka má v membráne reťazec katalyzátorov, ktoré čerpajú z bunky ióny sodíka - preto sa volá sodíková pumpa. Ióny sodíka sú atómy, ktoré vo vodnom roztoku stratili jediný elektrón, ktorý majú v poslednej vrstve svojho elektrónového obalu a tým získali kladný elektrický náboj. (O stratené elektróny sa postarajú atómy chlóru, ktoré majú v poslednej vrstve elektrónového obalu práve jedno voľné miesto pre takýto elektrón a radi ho prichýlia, takže získajú zase záporný náboj. Z každej lyžičky soli - chloridu sodného, zlúčeniny sodíka a chlóru - ktorú vhodíte do polievky, sa takto chová istá časť atómov. Mimo roztoku sa to nedá - sú pevne viazané v kryštálovej mriežke zrníčok soli.) Keď sodíková pumpa odčerpá z bunky kladné sodíkové ióny, jej vnútro sa stane elektricky záporné. Čiastočne sú nahradené iónmi draslíka, ktoré sú menšie a môžu preniknúť z okolia cez otvory v bunkovej membráne. Zvláštnosťou nervových buniek je schopnosť podráždenia. Vonkajší podnet (môže to byť mechanický tlak alebo chemická zmena v okolí) zmení elektrické napätie (potenciál) na jej membráne a ak táto zmena dosiahne určitú hodnotu, vyvolá takzvaný akčný potenciál. Otvoria sa kanály, ktoré umožnia náhle vniknutie sodíkových iónov späť do bunky. Tým vznikne krátky elektrický impulz, ktorý lavínovite aktivuje susediace okrsky membrány, kde prebehne rovnaký dej a tak beží po povrchu bunky a jej výbežkoch - nervových vláknach. Vzápätí, v tisícine sekundy sa kanály zatvoria a sodíková pumpa obnoví pôvodný elektrický potenciál medzi vnútrom a okolím bunky. Množstvo takýchto jednotlivých impulzov závisí od sily podráždenia, takže súčasne je daná aj informácia o intenzite podnetu vo forme takzvanej pulznej modulácie: čím vyššia hodnota podnetu, tým viac impulzov - od jedného až po tisíce za sekundu.

Tieto série impulzov - nervové vzruchy sú spracovávané na spojeniach medzi nervovými vláknami a susediacimi nervovými bunkami - synapsách. Nervová

bunka (neurón) môže dostávať signály z viacerých smerov a tieto sa chovajú dvoma spôsobmi: buď ju aktivujú, alebo tlmia. Napríklad, keď človek stojí, jeho svaly sú mierne napäté (ináč by spadol). Tomuto napätiu sa hovorí svalový tonus a zaisťuje ho stály mierny prísun vzruchov cez nervy, ktorými sú svaly ovládané. Vo svaloch sú receptory - skupiny buniek, vnímajúce svoje predĺženie. Pokiaľ sa rovnováha poruší a sval sa natiahne, vyšlú vzruchy do príslušnej skupiny nervových buniek v mieche, ktorá zvýši počet vzruchov, vysielaných do svalu, sval sa napne a skrúti. Táto automatická regulácia napätia svalov pôsobí aj počas vôľových pohybov a umožňuje, aby naše pohyby boli plynulé, rovnomerné. Porucha tohto regulačného mechanizmu sa prejavuje trasom, najviac práve počas pohybu, ktorý je potom trhaný a nepresný. Na podobnom princípe, spoluprácou veľkého počtu skupín nervových buniek fungujú procesy v centrálnej nervovej sústave- mieche a mozgu, kde sa rodí naše vedomie. Nech mi špecialisti neurofyziológovia odpustia nepresnú nasledujúcu vetu: podstatou zapamätania si je aktivácia určitej reťaze nervových spojení, ktorá sa upevňuje používaním - pripomínaním, ináč sa môže postupne zrušiť - to je zabudnutie. Celý tento dej je podstatne zložitejší a jeho objasňovanie zaberá celé knihy. Že sa do funkcie nervového systému dá zasiahnuť niektorými chemickými látkami -liekmi alebo drogami, za to môže spôsob prenosu vzruchov na spojeniach medzi nervovými bunkami a vláknami - synapsách. Na konci nervového vlákna, ktorým prichádza vzruch, do štrbiny synapsy (vieme už, že je to spojenie dvoch nervových buniek) vylúči sa maličké množstvo chemickej látky- transmitera, čiže prenášača. Na protiľahlej membráne ďalšej nervovej bunky sú pripravené receptory, aby po naviazaní transmitera poslali vzruch ďalej. Ako transmitery fungujú noradrenalín, acetylcholín, serotonín a ďalšie látky. Sú často spôsobom účinku a aj chemicky podobné hormónom. Iné, napríklad endorfíny, sú zas podobné v prírode sa vyskytujúcim alebo syntetickým látkam, morfinu alebo heroínu. Tak je možné, že mnohé lieky a drogy sú vlastne falošné transmitery, ktoré sa vkrádajú do synáps tak akosi z boku a menia ich chovanie. Samozrejme, že tento mechanizmus pozná a využíva aj príroda na zásahy do chovania zvierat i ľudí. Prírodné endorfíny, ktoré sa pôvodne izolovali z mozgu tiav, zvierat, žijúcich vo veľmi nevhodnom prostredí púšte, sú vyvolávatel'mi pocitu spokojnosti, pôsobia proti nepríjemným pocitom, ktoré sú spôsobené telesnou záťažou, bolesťou a iným strádaním. Aj u ľudí sa tvoria po telesnej námahe, preto športovanie (a u niektorých jedincov aj akýkoľvek stres, vyvolávajúci zvýšenie hladiny adrenalínu) vedie k pocitu uspokojenia. Nedostatok endorfínov vyvoláva nepríjemný pocit, kvantitatívne síce neporovnateľný, ale predsa obdobný abstinenčným príznakom narkomana, ktorý nedostal svoju obvyklú dávku drogy.

## **Pohyb: molekulárna mechanika svalov živočíchov**

Funkcia nervov je veľmi tesne spätá s pohybmi tela. Od r. 1931 je známe, že energia pre sťah (kontrakciu) svalu sa získava z univerzálneho zdroja energie živých organizmov - zmieneneho adenosíntrifosfátu (ATP) a konkrétne poznatky o štruktúre vlákna kostrového svalu a molekulovom mechanizme skrátenia svalového vlákna boli získané v 50. rokoch minulého storočia. Dodnes je v podstate platný Huxleyov a Simmonsov model svalovej kontrakcie, pochádzajúci z roku 1971, hoci detaily o biochémií (napr. o izoformách myozínu) a energetike tohto deja sa stále dopĺňujú.

Svalové bunky, ktoré tvoria svalové vlákna sú schopné podráždenia podobne, ako bunky nervové. Na ich nervovosvalové platničky sú pripojené výbežky pohybových- motorických nervov, ktoré činnosť kostrových svalov riadia. Výkonné jednotky, elementy, ktoré sa nachádzajú vnútri svalových buniek a vykonávajú vlastné skracovanie a predlžovanie svalov, sa skladajú z množstva vláknitých molekúl aktínu a myozínu. Ako skoro všetky špecializované štruktúry v organizme, sú to zas bielkoviny, ale s výnimočnou vláknitou štruktúrou. Ich vlákna sú v kostrovom svale vyrovnané v radoch vedľa seba, tieto rady sa javia v mikroskope ako svetlejšie a tmavšie pružky aktínu a myozínu a svaly sa podľa toho nazývajú priečne pruhované. (Svaly, ktoré tvoria stenu vnútorných orgánov, napríklad čreva alebo ciev, nie sú takto usporiadané a javia i nazývajú sa hladké). Aktínové a myozínové vlákna sú medzi sebou zasunuté podobne, ako keď do seba stlačíme dve kefký štetinami proti sebe. Keď je sval uvoľnený, štetiny sú vzájomne zasunuté len zľahka, keď sa sval napína, zasúvajú sa do hĺbky. Na rozdiel od štetín kefký, vlákna aktínu a myozínu nie sú rovnaké. Hrubšie vlákna, vlastne vláknité molekuly myozínu majú na bokoch množstvo výbežkov (bočných reťazcov veľkej vláknitej molekuly bielkoviny), ktoré fungujú ako nožičky stonožky. Myozín je práve tá zázračná chemická látka, ktorá pri chemickej reakcii mení svoj tvar: jej bočné reťazce - myozínové hlavice – ako nožičky zmenia svoju priestorovú štruktúru a ohnú sa zakaždým, keď sa stretnú s vyšším množstvom vápnika. S ich pomocou sa myozínové vlákno šplhá ako po povrazovom rebríku po molekule aktínu, ktorá zas obsahuje väzobné miesta, slúžiace ako priečky rebríka. Pri každom podráždení, ktoré privedie nervové vlákno na svalovú bunku, táto uvoľní zo zvláštnej štruktúry - sarkoplazmatického retikula ióny vápnika, ktoré donútia myozín "urobiť krok" po aktínovom rebríku. Vzápätí je vápnik opäť uschovaný v sarkoplazmatickom retikule. Čím je nervových vzruchov viac, tým sa sval viac



stiahne, a keď ustanú, myozínové nožičky povolia a myozínové vlákno sklzázne do pokojovej polohy. Pulzná modulácia nervových vzruchov sa takto jednoducho prevádza na intenzitu svalového sťahu. Teraz sa dá porozumieť, prečo pri zasiahnutí elektrickým prúdom zo siete nastane kŕčovitý sťah svalstva - je preto, lebo striedavý prúd napodobuje nepretržitú sériu nervových vzruchov. Ľudovo sa tomu hovorí "chytila ho elektrika" a postihnutý nedokáže pustiť z ruky elektrický drôt pod napätím, ktorý neopatrne chytil a podobne môže skončiť aj jeho horlivý, ale neopatrný záchranca. (Skúsení elektromontéri to robia ináč: vodiča, o ktorom si nie sú istí, či je pod napätím, sa dotknú najskôr chrbtom prstov - takto síce môžu dostať ranu, ale kŕčovitým zovrením dlane sa automaticky dostanú z dosahu prúdu. Upozornenie: toto doma radšej neskúšajte...)

Samozrejme, veľké živočíchy, hlavne suchozemské, potrebujú na udržanie tvaru tela a pohyb aj niečo iné, ako svaly a nervy. U drobných viacbunkových živočíchov stačí pre dostatočnú pevnosť tela tlak tekutiny, uzavretej v priestore buniek (mechanizmus nafukovacích hračiek), prípadne pokožka (kutikula) alebo pancier z chitínu spevneného obsahom vápenca (hlavne článkonožce). Zvláštnym prípadom sú vápencové schránky, ktoré poznáme u slimákov. Stavovce potrebujú špeciálne podporné tkanivá: väzivo, chrupavky a kosti. Zatiaľ čo väzivo a chrupavka sú pružné tkanivá, zložené vlákien, základnej hmoty a buniek, kosť je silne mineralizovaná hydroxyapatitom s veľkým obsahom vápnika a fosforu. Pri stavbe kosti je veľmi dôležitá čo najnižšia hmotnosť a čo najvyššia pevnosť, čo sa dosahuje špongiovitou a vláknitou štruktúrou s množstvom voľného priestoru medzi kostnými trámami. Ani hotová kosť nie je mŕtvou hmotou: počas života trvale prebieha jej rozpúšťanie a novotvorba, pričom sa neustále prebudúva podľa smeru a intenzity zaťaženia. V detstve pochopiteľne prevažuje budovanie kostí a nedostatočný príjem alebo vstrebávanie vápnika u podvyživených detí s nedostatkom vitamínu D spôsobovalo krivicu (rachitídu) následkom prehýbania sa nepevných kostí pod ťahom svalstva alebo váhou tela. V mladosti bývajú procesy v rovnováhe, ale s postupujúcim vekom prevláda odbúravanie kostí. O tom sa presvedčajú starí ľudia, ktorí následkom nedostatku pohybu v mladosti trpia na nadmerné rednutie kostnej hmoty- osteoporózu. Kostná hmota pribúda len asi do štvrtjej dekády života a kto ju v mladosti nezíska, vo vyššom veku to už nedohoní. Pohlavné hormóny spôsobujú vyšší výskyt osteoporózy u žien než u mužov. Ochorenia kostí a kĺbov sú teda ďalšou epidémiou, ktorá strpčuje život starým ľuďom v civilizovanej spoločnosti. Niežeby nimi netrpeli aj naši dávni predkovia, ale asi nemali nedostatok pohybu a tiež sa zriedka dožívali vysokého veku, v ktorom sa tieto choroby najviac prejavujú.

## Výživa a udržovanie stálosti vnútorného prostredia

O tom, ako prebieha príjem potravy a jej spracovanie, už bolo niečo povedané. Veľká väčšina živočíchov musí svoju potravu vyhľadať, prípadne uloviť, len niektoré, napríklad už spomenuté koraly sedia na mieste a čakajú, čo im prinesie voda. Tuhú potravu musia rozdrviť a rozomlieť na drobné čiastočky, ktoré sa v ďalších oddieloch tráviacej rúry - žalúdku a čreve spracovávajú chemicky - trávia. Na procese trávenia sa pravidelne podieľa aj množstvo črevných mikroorganizmov. Takto sa stráviteľný podiel potravy rozloží na jednoduché základné látky, ktoré sú potom vstrebané do telesných tekutín, konkrétne u človeka a stavovcov do krvi a ňou sú rozvedené do tela. Suchozemské živočíchy majú ešte jeden špecifický problém: vylúčiť nestráviteľné zvyšky potravy tak, aby zároveň neprišli o množstvo vody, ktorá je ich životnom prostredí viac alebo menej vzácna. Preto sa zvyšky v hrubom čreve zbavujú tekutiny a vylučujú vo viac alebo menej tuhej forme. Hnačka, ktorá je dôsledkom ochorenia čreva a aj spôsobom, ako sa organizmus dokáže zbaviť nevhodného obsahu čreva, môže viesť práve v dôsledku priveľkej straty tekutiny až k smrti (typická príčina úmrtí pri epidémii cholery). Toto sa stáva skôr u detí s malou rezervou telesných tekutín, než u dospelých a v rozvojových krajinách je smrtiaca strata tekutín pri hnačkovom ochorení jednou z vedúcich príčin detskej úmrtnosti. Počet úmrtí sa podarilo znížiť zavedením jednoduchej a dobre prístupnej liečby- podávaním ryžového odvaru s presným prídavkom kuchynskej soli - takým, aby jeho zloženie bolo podobné, ako má telesná tekutina.

Výrazným faktorom, ktorý prispieva k schopnosti stavovcov prežívať nepriaznivé obdobia, je schopnosť ukladať energeticky bohaté látky do zásoby v podobe tuku. Táto schopnosť však u civilizovaného človeka, ktorý si umelo vytvoril prostredie s dostatkom potravy, prináša ohrozenie v podobe chorôb z nadbytku tuku v organizme - cukrovky, aterosklerózy a naväzujúcich ochorení srdca a ciev. V divokej prírode bola určite schopnosť nadobudnúť tukové zásoby výhodná. Ale civilizácia zmenila túto výhodu na riziko, ktoré prevažuje všetky predchádzajúce výhody.

Jednou z dôležitých vlastností živých organizmov je stálosť zloženia telesných tekutín - krvi, tkanivového moku aj vnútorných tekutín v bunke. Chemické procesy v organizme sú citlivé nielen na optimálnu teplotu, ale aj na kyslosť prostredia (teda obsah vodíkových iónov) a množstvá rozpustených

minerálov. Podobne citlivé sú mechanizmy prenosu nervových vzruchov a svalového podráždenia. Napríklad odchýlka koncentrácie sodíka v telesných tekutinách o 20% od normy už vážne ohrozuje život. Odchýlky obsahu jednotlivých látok v potrave od stavu v živočíšnom organizme sú však oveľa väčšie a tak sú nevyhnutné dômyselné mechanizmy, ktoré reguláciou množstva vstrebávaných a vylučovaných látok a vody dokážu udržať stálosť vnútorného prostredia organizmu. Hoci prvá, čiastočná regulácia pôsobí už pri vstrebávaní z tráviaceho traktu, kľúčovú úlohu u človeka a všetkých zložitejších živočíchov majú obličky.

Po premene cukrov a tukov na energiu vznikne voda a kyslíčnik uhličitý, ktorý sa vydýcha pľúcami (alebo žiabrami). Konečným produktom metabolizmu bielkovín je tiež molekula toxického amoniaku, obsahujúca prebytočný dusík. Vodné živočichy sa ho môžu zbaviť priamo - zriedia ho vodou, ktorej majú v okolí dostatok a vylúčia z tela. Suchozemské túto možnosť nemajú, a tak ho musia najskôr premeniť na menej jedovatú látku. Vtáky a niektoré plazy vylučujú dusíkaté metabolity vo forme kyseliny močovej, ktorá charakteristicky sfarbuje ich výlučky na bielo. Človek a väčšina cicavcov vylučuje dusík vo forme nejedovatej močoviny, ktorá je rozpustená v moči. Oba tieto spôsoby potrebujú k odstráneniu amoniaku pomerne málo vody a tak sú vhodné pre suchozemské zvieratá.

Orgánom, ktorý dokáže vylučovať dusíkaté látky, prebytok vody aj minerálov a ešte aj udržiavať správnu kyslosť (pH) vnútorného prostredia organizmu sú obličky. Je to bohato prekrvený orgán, v ktorom sa krv rozvádza do státisícov až miliónov klobôčok vlásočníc, v ktorých sa z nej filtruje tekutina bez krviniek a len s nepatrným množstvom bielkovín. Tohto takzvaného primárneho moča sa napríklad u človeka vytvorí takmer 200 litrov denne, čo je strata vody, ktorú si suchozemský tvor nemôže dovoliť. Preto tento primárny moč prechádza z povrchovej - kôrovej vrstvy obličiek do centrálnej - dreňovej a naspäť zahnutým kanálikom (Henleho kľučkou), ktorého špecializovaná výstelka zaisťuje vstrebávanie väčšiny vody a minerálov do krvi a aj aktívne vylučovanie ďalších látok a minerálov z krvi. Množstvá vstrebanej vody a tiež spätne vstrebávaných a aktívne vylučovaných minerálov sú regulované tak, aby zloženie krvnej plazmy a tým aj tkanivového moku ostávalo nezmenené. Mechanizmus, ktorým prebiehajú uvedené procesy je fyzikálne jednoduchý, založený na presune vody na princípe osmózy, ale v skutočnosti príliš zložitý na púhy popis bez schematických zobrazení. Základným molekulárnym mechanizmom je opäť spomínaná sodíková pumpa, ktorá vytvára oblasť s vysokou koncentráciou minerálov v dreni obličky, do ktorej osmoticky

difunduje prebytočná voda. (Neschopnosť obličiek človeka vysoko koncentrovať moč a vylúčiť prebytok soli spôsobuje smrť stroskotancov po pití čistej morskej vody. Ale primiešanie istého množstva morskej vody do pitnej vody človek so zdravými obličkami znesie a tento poznatok už zachránil život mnohým stroskotancom.) Morské stavovce sa prebytku soli zbavujú buď obličkami, ktoré sú schopné tvoriť vysoko koncentrovaný moč, alebo aktívnym vylučovaním žiabrami, kožou či špeciálnymi soľnými žľazami. Veľmi výkonné obličky, ktoré dokážu spätne vstrebať z primárneho moča takmer všetku vodu majú aj púštne zvieratá (okrem toho dokážu pred vylúčením dokonale vysušiť aj črevný obsah, takže nazmar nevyjde ani kvapka vody).

### Zmyslové orgány

Základné rozdelenie zmyslových orgánov (receptorov) je podľa druhu energie, ktorú vnímajú: mechanoreceptory reagujú na mechanické podráždenie, chemoreceptory na chemické zmeny v prostredí a fotoreceptory vnímajú elektromagnetické žiarenie.

Prvými zmyslovými orgánmi, ktoré sa vyvinuli u najjednoduchších živočíchov, boli zrejme orgány citlivé na dotyk. Časť z nich býva napojená na chĺpky, čím sa zväčšuje ich dosah aj na niekoľko centimetrov - všeobecne známe sú fúzy mačky a iných malých dravcov, ktoré nimi zrejme dokážu určiť, či môžu preniknúť cez otvory v prekážkach. U dokonalejších zvierat pribudlo špecifické vnímanie tepla, chladu, bolesti.

Vodné živočíchy majú zvláštny zmyslový orgán, citlivý na tlak a prúdenie vody. U rýb je to postranná čiara, ktorá pozostáva zo sústavy kanálikov s otvormi v koži, ktorými preteká voda a dráždi zmyslové bunky. Podobnú funkciu majú Lorenziniho ampuly žralokov, obdobný význam má zrejme pedicelový orgán lietajúceho hmyzu, ktorý poskytuje informácie o prúdení vzduchu.

Len desiatky rokov sú staré podrobné znalosti o fungovaní sluchového a rovnovážneho ústroja, ktoré u ľudí tesne susedia a fungujú na rovnakom princípe - vnímaní pohybu tekutiny (endolymfy) drobnými vlásovitými výbežkami zmyslových buniek (stereocília). Zvukové vlny sú periodické zmeny tlaku vzduchu, pôsobiace v uchu cicavcov na blanu bubienka, čím ju rozochvievajú (podobne ako blanu bubna). Pohyby bubienka sa prenášajú pákovým mechanizmom troch

## Zmyslové orgány

kostičiek stredného ucha na tekutinu v špirálovitej dutine vnútorného ucha. Tento pákový mechanizmus je vynález stavovcov, nad ktorého dômyselnosťou možno len užasnúť: aby sa chvenie vzduchu bez straty energie premenilo na chvenie kvapaliny, ktorá mu kladie väčší mechanický odpor, musí sa zväčšiť sila, ktorá pôsobí na povrch kvapaliny aj za cenu, že sa zmenší výchylka vlnenia. Sluchové orgány majú aj niektoré druhy hmyzu (tie ktoré samé vydávajú zvuky - kobylky, svrčky, cikády...), ale ich sluchový orgán (tympanálny orgán) je oveľa jednoduchší. Tvorí ho len vzduchová dutinka s receptorickými bunkami. Špirálový tvar dutiny ľudského vnútorného ucha (podľa svojho tvaru ulity sa volá slimák) má tiež svoj účel: jeho šírka sa postupne znižuje podobne ako šírka ozvučnice klavíra, jednotlivé jeho časti rezonujú na rôznych frekvenciách a takto sú citlivé na rôzne vysoké tóny. Podľa toho, v ktorej časti slimáka sú dráždené zmyslové bunky, rozoznávame frekvencie obsiahnuté vo vnímanom zvuku a tým jeho zafarbenie. Jemný aparát zmyslových buniek vnútorného ucha môže príliš silný zvuk poškodiť, takže ucho má aj mechanizmus, ktorým sa prispôsobuje sile zvuku - drobné svaly, ovládajúce pákový mechanizmus stredného ucha v istom rozsahu dokážu tlmiť tlak, ktorým pôsobia sluchové kostičky na membránu vnútorného ucha. Pri dlhotrvajúcom hluku (aj silnej hudbe) však táto ochrana zlyháva - svaly sa unavia a ochabnú - a zmyslové bunky sa môžu nenávratne poškodiť a nastáva trvalé zhoršenie sluchu, známe u kotlárov, nitovačov, ale aj častých poslucháčov príliš hlasnej hudby.

Na podobnom princípe funguje aj vnímanie polohy a pohybu tela. Polohu tela všetky živočíchy vnímajú na podobnom princípe: pomocou jemných vlások zmyslových buniek vnímajú pohyb drobných zrníčok - statolitov v nádobkách, či skôr vakoch vnútorného ucha, ktoré majú tendenciu usádzať sa na najnižšom mieste "nádoby". (S nimi má pre ľudí nezvyčajné starosti riečny rak: jeho otvorené vďaka na tykadlách sa mu vysypú pri každom zvlíkaní kože a musí si do nich klepetami naukladať nové zrnka piesku... Toto sa dá zneužiť na zaujímavý pokus: ak pokusnému rakovi dáme do nádoby železnú pilinu ako náhradu piesku, môžeme ho pomocou magnetu dokonale zmiast'ovať: "dole" je preňho vždy smer, kde je magnet...) Ľudia, našťastie, majú statolity - mikroskopické kryštálky uhličitanu vápenatého pevne uzatvorené a nemusia sa o ne starať.) Pohyb tela, presnejšie zmeny jeho smeru a rýchlosti sú vnímané podľa pohybu tekutiny v troch na seba kolmých oblúkovitých kanálikoch vnútorného ucha: ak sa aj zmení poloha alebo rýchlosť pohybu hlavy, tekutina zotrvačnosťou zostáva v pokoji, takže sa mení poloha oproti pohybujúcemu sa kanáliku a vznikne vnem pohybu. Príliš zložitý? Asi áno, takže jednoduchšie: ide o podobný princíp, ako keď zistujeme, či je vajce

uvarené na tvrdo alebo surové: pokúsime sa ho na stole roztočiť. Ak sa nám to nedarí, je surové, lebo jeho tekutý obsah ostáva zotrvačnosťou v pokoji a roztáčame len škrupinku, ktorá má veľmi malú zotrvačnú hmotu. Keby malo vajce na vnútornej strane škrupiny zmyslové bunky, ktoré by vnímali pohyb bielka, zistilo by, že ním točíme.

Aj ďalšie zmyslové orgány sú technicky zaujímavé. Komorové oko stavovcov (aj osminohov) je podobné fotoaparátu alebo kamere len s tým rozdielom, že svetlocitlivú vrstvu - sietnicu tvoria zvláštne svetlocitlivé bunky, z ktorých niektoré sú určené na vnímanie farebných zložiek svetla a tak dokážu vytvoriť farebný obraz. V jeho prednej časti je pružná šošovka, ktorej optická mohutnosť sa mení jej splošťovaním pomocou jemných vnútroočných svalov. Toto nahrádza oveľa zložitejší zaoštrovací mechanizmus fotoaparátu. Clonu, regulujúcu množstvo svetla, prechádzajúce do oka predstavuje dúhovka. Optické médium vnútra oka, sklovec, má optické vlastnosti, ktoré sú technicky napodobiteľné len odnedávna: má totiž v rôznych vrstvách rôzny index lomu a tak priam geniálne koriguje farebnú chybu, ktorá je nepriateľom všetkých kvalitných viacvrstvových objektívov zo skla, vytvorených človekom. Citlivosť buniek sietnice oka je premenlivá a môže sa prispôbiť svetelným podmienkam zmenou obsahu špecifickej bielkoviny- rodopsínu, ktorá mení svetelnú energiu na elektrické nervové impulzy, vedené vláknami optického nervu do mozgu. Toto prispôbenie však nie je okamžité, trvá niekoľko minút, preto náhle prechody zo svetla do tmy nie sú príjemné a chvíľu trvá, než si oči "privyknu" na zmenené svetelné podmienky.

Práve zložitá stavba komorového oka (takého, ktorého dva exempláre vlastní každý z nás, na rozdiel od menej dokonalého zloženého oka článkonožcov), ktorá je veľmi podobná premyslene skonštruovanej televíznej kamere slúži ako skúšobný kameň evolučnej teórie. Jej odporcovia vyjadrovali veľké pochybnosti, ako by takýto zložitý technický prvok mohol vzniknúť sám od seba. Evolúcia oka je pritom celkom dobre vysvetliteľná - skupina svetlocitlivých buniek bez schopnosti vnímať smer prichádzajúceho svetla sa postupom vývoja ukladala do priehlbiny, čím sa dosiahla veľmi približná smerovosť vnímania. Nasledovalo vyplnenie priehlbiny priezračnou tekutinou s postupne vylepšujúcimi sa optickými vlastnosťami a rozlišovanie vnemov z jednotlivých svetlocitlivých buniek - teraz už sietnice. Nakoniec zrejme došlo k rozdeleniu jednotlivých optických médií- očných komôr, šošovky a sklovca. Naviac, ukázalo sa, že oko sa v histórii života zrejme

## Zmyslové orgány

vyvinulo niekoľkokrát - určite sa nezávisle vyvinulo u stavovcov a osminohov, ktorých vývojové vetvy sa oddelili už veľmi dávno. Napriek tomu je výsledok vývoja prakticky totožný.

Ako ľudia rozlišujeme čuch a chuť, sprostredkujú ich však veľmi príbuzné zmysly, ktorými živočích zisťuje prítomnosť nepatrného množstva látky v buď v tekutine alebo vo vzduchu. Príslušné chemoreceptory pracujú na podobnom princípe: sú zložené z rôznych typov buniek, ktoré reagujú špecifické chemikálie. Je dávno známe, že rozoznávame štyri základné chute - slanu, sladkú, kyslú a horkú. S vôňami to je oveľa zložitejšie - vedci veria, že tých základných sú dve- tri desiatky. Človek patrí medzi živočíchov so slabo vyvinutým čuchom (mikrosmatické), takže o pachoch toho vie oveľa menej ako makrosmatické zvieratá (napr. hlodavce, šelmy...). Ani tie však nedosahujú dokonalosti čuchu hmyzu: najväčší majstri, nočné motýle dokážu zistiť niekoľko molekúl špecifickej látky - feromónu - v litri vzduchu!

Živočíchov sú vybavené zmyslovými orgánmi podľa prostredia, v ktorom žijú a samozrejme podľa stupňa vývoja. Je celkom pochopiteľné, že napríklad krtko je prakticky slepý, že veľryby na rozdiel od suchozemských cicavcov nemajú čuch a suchozemské živočíchov nepotrebujú prúdový orgán ako ryby - ale výnimky existujú: zvláštny druh krtka, krt hviezdonosý, ktorý si hľadá potravu pod vodou, v rýchlom slede vypúšťa z nosa bublinky a opäť ich vdychuje spolu s pachom potravy, s ktorou prišli pod vodou do styku.

## Ľudské telo a civilizácia

Aj keď sa človek považuje za najdokonalejšieho tvora na zemi, nie všetky jeho orgány sú vrcholným dielom prírody. Určite nedokáže stráviť všetku možnú potravu (aj keď je v podstate všežravec), jeho pomerne dokonalý zrak nevidí až tak dobre v tme, určite nemá vrcholne dokonalý čuch či sluch, vrcholným výtvarom prírody nie sú ani jeho obličky alebo pohybové orgány. Mnohé životne dôležité látky musí prijímať v potrave, lebo jeho telo si ich nedokáže, na rozdiel od mnohých zvierat vytvoriť (napríklad vitamín C). Napriek tomu, jeho telo je celkom dobre prispôbené životu vo voľnej prírode za podmienky, že za pomoci svojich rozumových schopností dokáže sa chrániť pred jej nepriaznivými vplyvmi, alebo dokonca meniť ju podľa svojej potreby.

Chémia života, na základe ktorej fungujú živočíchy, je nepredstaviteľne zložitá. Jej popis zjavne zaberá väčšinu genetickej informácie, ktorá je zapísaná v DNA. Len menšia časť genetického kódu obsahuje popis stavby telesných schránok. Dôkazom, že napríklad metabolizmus celej triedy cicavcov je veľmi podobný je aj fakt, že vedci dokážu celkom jednoducho vyvolať ľudské civilizačné choroby, napríklad aterosklerózu alebo cukrovku, u mnohých pokusných zvierat, myšami a krysami počínajúc. Látková premena aj regulačné procesy v tele, ktoré sme ako ľudia zdedili od dávnych predkov, stále najviac vyhovujú divo žijúcim zvieratám a na to aj neraz doplácame. Pokiaľ sa nedokážeme riadiť poznatkami, ktoré sme získali a využiť pokrok v porozumení vlastnému telu, ale riadime sa len inštinkami, ktoré máme spoločné s našimi genetickými príbuznými v ríši zvierat, naše telesné schránky nemajú príliš dlhú trvácnosť. Zdá sa, že sú stavané na kratšiu dobu života - veď aj priemerný vek pravekých ľudí nebol ani polovičný oproti dnešku a ešte ani v stredoveku to nebolo oveľa lepšie, hoci sa už vyskytli jedinci, ktorí sa dožili dnes obvyklého veku okolo sedemdesiatky. To, že sa sa v súčasnosti ľudia bežne dožívajú dvojnásobného veku oproti svojim dávnyim predkom, nie je dané zmenami ich telesnej konštrukcie - aj dnes platí, že človek je na vrchole svojej telesnej výkonnosti niekedy medzi vekom 20 a 30 rokov. O jeho prežívaní však rozhodujú iné okolnosti, ako telesná výkonnosť. Spoločenstvo ľudí vytvára podmienky na prežívanie aj pre svojich starších, telesne menej výkonných členov, ktorí zas prispievajú svojimi vedomosťami a skúsenosťami. Okrem toho sa dnes dokážeme úspešne brániť pred svojimi bývalými najväčšími nepriateľmi, ktorými boli kedysi divoká zver, nepriazeň prírodných síl, chlad, neúroda a aj neviditeľní nepriatelia - mikroorganizmy, baktérie a vírusy, pôvodcovia infekčných chorôb.

Zmeneným životným podmienkam, v ktorých žijú civilizovaní ľudia niekoľko desaťročí (len niektoré, málo početné privilegované spoločenské vrstvy už storočia) sa nemali kedy prispôbiť fyziologické procesy organizmu. Tieto sa vyvíjali ešte u predkov človeka desiatky až stovky miliónov rokov ako odpovede na podnety z vonkajšieho prostredia, ktoré sa menili za celé toto obdobie len málo. Materiálny a duchovný svet ľudí sa zmenil v priebehu niekoľkých generácií. Vonkajšie podnety v podobe fyzického napadnutia zvierat'om alebo nepriateľ'om sa v živote vyskytujú stále zriedkavejšie. Oveľa častejšími sa stali záťažové reakcie, ktoré vyvoláva slovný podnet alebo okolnosti, ktoré v danom okamihu neohrozujú telesnú integritu človeka, no vyvolávajú takú istú reakciu jeho organizmu, ako pri fyzickom napadnutí alebo ohrození. Prirodzená živočíšna reakcia na stret s ohrozením je príprava k útoku alebo úteku - súhrn dejov, pre ktoré zaviedol v roku 1927 kanadský fyziológ Hans Selye pomenovanie všeobecný adaptačný syndróm



alebo kratšie stres. Vonkajší podnet, ktorý vyvoláva stres sa nazýva stresor a môže ním byť fyzikálny jav - chlad, teplo, vibrácie, bolesť, ale aj informácia. Na tento podnet sa v organizme spúšťa systém obranných reakcií, ktorý mu umožní prežiť záťažovú situáciu, vyvinúť vysoký fyzický, ale aj psychický výkon. V tele človeka, ale aj zvierat, menovite všetkých stavovcov prebehnú prípravy na vykonanie ťažkej svalovej práce pri behu alebo boji. Zvýši sa tlak krvi a rozšíria tepny, aby k svalom mohlo byť dopravené viac na energiu bohatých látok a kyslíka. Zrýchli sa činnosť srdca a dýchanie, látková premena sa nastaví na uvoľňovanie zásob energie. Odkrvia sa vnútorné orgány, spomalí až zastaví sa proces trávenia potravy a budovanie tukových zásob. Aktivujú sa mechanizmy na zastavenie prípadného krvácania. Zintenzívni sa činnosť mozgu a nervového systému. Pri aktivácii endokrinného a nervového systému sa vylučujú aj spomenuté hormóny zo skupiny endorfínov, ktoré znižujú vnímanie bolesti. U civilizovaného človeka však len zriedka dochádza aj k situácii, pri ktorej by sa zmobilizované zdroje skutočne použili. Uvoľnené zdroje energie - glukóza, tuky a mastné kyseliny nevyužitú cirkulujú v krvnom obehú a nakoniec sa môžu uložiť (zjednodušene povedané) v podobe cholesterolu do cievnej steny ako základ aterosklerotických mäs. V tomto procese hrajú významnú úlohu faktory, ktoré zvýšili zrážanlivosť krvi, napríklad vysoká hladina fibrinogénu. Cievny poškodzuje aj vysoká hladina glukózy. Opakované stresové situácie, pri ktorých sa nakoniec nevyužijú uvoľnené zdroje na fyzickú prácu, nakoniec prispievajú k vzniku aterosklerózy, procesu ukladania látok charakteru tukov do cievnej steny, k zužovaniu až uzatváraniu ciev. Tieto deje sú priamou príčinou najčastejších a najväznejších civilizačných chorôb: srdcového infarktu (ak sa upchá tepna, ktorá zásobuje živinami a kyslíkom časť srdcového svalu) a mozgovej porážky (ak sa upchá niektorá z tepien v mozgu). Spolupôsobí zvýšený krvný tlak - spočiatku sa len opakovane zvyšuje pri strese, nakoniec neraz ostáva zvýšený aj trvale a výdatne prispieva k preťaženiu srdca a poškodzovaniu cievnej steny tepien. K tomu, aby tieto nepriaznivé faktory poškodili srdcovocievny systém, prispieva aj všeobecná dostupnosť výdatnej potravy. Jedenie tiež vyvoláva príjemné pocity, a to nielen u ľudí, ale aj u zvierat. Tuční ľudia majú nakoniec hladinu tukov a s nimi súvisiaceho cholesterolu v krvi zvýšenú trvale, aj bez prítomnosti stresu. Jedna z najviac ohrozujúcich civilizačných chorôb je cukrovka. Pri nej je vyčerpaná schopnosť organizmu odstraňovať z krvi prebytočnú glukózu, ktorá pomaly, ale neodvratne, v priebehu rokov, poškodzuje cievny.

Civilizačné choroby sú následkom nepomeru medzi prostredím a vlastnosťami ľudského organizmu. (Nie je to jediný prípad v modernej dobe -

podobne neprirodzene sú napríklad chované ošípané alebo kurence, ďalšie diskusie, ktoré sa v tomto prípade ponúkajú, však radšej prenecháme spoločnostiam na ochranu zvierat). Ľudská civilizácia dokázala zmeniť prostredie, v ktorom žije, v tak krátkom čase a v tak veľkom rozsahu, že vlastnosti ľudského organizmu nemajú ani najmenšiu šancu prispôbiť sa takými mechanizmami ako doteraz - náhodnými, postupnými zmenami genetickej informácie. Vieme, že metódy génového inžinierstva už dnes dávajú tušiť, ako by sa to mohlo dať zariadiť po technickej stránke. Etické a spoločenské hľadiská sú však rovnako, ba možno ešte viac dôležité, ako technické. Hoci ľudské telo nie je dokonale adaptované na nástrahy života v civilizovanom prostredí, netreba zabudnúť, že aj tak z tejto situácie vychádza oveľa lepšie, ako pred pár storočiami a tisícročiami. Príliš unáhlené zásahy do dosiaľ celkom nepochopeného diela prírody, príliš zložitého na to, aby sa dali domyslieť ich dôsledky, môžu ľahko skončiť katastrofálne. Súvisiace otázky už nemajú charakter výlučne technický alebo prírodovedecký, skôr spoločenský a etický. Nedajú sa zúžiť len na problém, ako by fungoval organizmus, týkajú sa ľudského spoločenstva ako celku v iných súvislostiach, než riešia prírodné vedy.

# Civilizácia

## Spoločenstvá, komunikácia, učenie

Robinson Crusoe z rovnomenného románu Daniela Defoe prežil na opustenom ostrove roky. V skutočnom živote osamotení ľudia dlhodobo prežívali v divočine len výnimočne. Sú skrátka odkázaní jeden na druhého, k svojmu prežitiu potrebujú byť členom spolupracujúceho spoločenstva. Nie je to nič výnimočného. Spolupráca jedincov toho istého druhu je javom v prírode veľmi starým. Veľmi jasne to vidíme na príklade hmyzu - u druhov, ktoré predchádzajú vznik ľudského spoločenstva o miliardy rokov. Mravenisko alebo včelí úl - to je vlastne jeden fungujúci celok, ktorý sa stará o svoju potravu, obranu a reprodukciu. Nezlomí ho smrť väčšiny členov spoločenstva, dokáže pretvárať svoje okolie, brániť sa a dokonca šíriť na nové územia. Ale na rozdiel od ľudí, správanie jedincov je úplne jednotvárne - dané inštinkami, zapísanými až v hĺbke genetickej informácie. Jeho zmeny sú preto veľmi pomalé a vykúpené životmi nepredstaviteľného množstva príslušníkov druhu. Dost' podobným spôsobom sa správajú aj spoločenstvá oveľa dokonalejších živočíchov - cicavcov. Ale hoci ich chovanie je stále predovšetkým určené inštinkami, v niektorých prípadoch dokážu prispôbiť ho konkrétnej situácii a vstupuje doň aj veľmi dôležitý prvok: schopnosť mláďat učiť sa niektoré spôsoby správania sa od svojich rodičov. Takto už nie je nevyhnutné množstvo náhodných neúspešných pokusov, aby sa prispôbovanie novému prostrediu alebo okolnostiam zapísalo do génov a tak odovzdalo nasledujúcim generáciám. A ďalej - ak sa nejaký spôsob správania stane zbytočným, čoskoro upadne do zabudnutia.

Milovníci zvierat sú presvedčení, že ich miláčkovia uvažujú podobne, ako ľudia a sú schopní uviesť mnoho príkladov, ktoré ich názor potvrdzujú. Skutočne, množstvo príbehov im dáva za pravdu a nečudo, že správanie sa zvierat zaujalo vedcov už dost' dávno. V posledných desaťročiach prebehlo viacero výskumných projektov, ktoré mali za cieľ zistiť, nakoľko sú zvieratá schopné abstraktného myslenia. Táto schopnosť, tradične pripisovaná len ľuďom, je predpokladom na to, aby sa dokázali naučiť nové veci. Nezačínali od nuly, nejaké poznatky sú známe už aj z predchádzajúcich, viac-menej náhodných skúseností. Ornitológovia si už

dávnejšie všimli, že vtáci nevedia počítať. Zapamätajú si, že do úkrytu v ich blízkosti vošiel človek a všimnú si, kedy z neho odišiel - až dovtedy sú ostražité. Ale nechajú sa oklamať jednoduchým trikom: stačí, ak prídu dvaja ľudia a jeden z nich odíde. Zistiť, že jeden pozorovateľ ostal na mieste je už nad ich sily - nevedia napočítať ani do dvoch. Oproti tomu, ľudoopi sa dokážu naučiť rozpoznávať aj niekoľko číslíc a pomocou znakov vyjadriť jednoduché vety. Schopnosť opíc vzájomne dorozumieť sa a naučiť sa rôzne úkony od svojich druhov aj od ľudí je všeobecne známa. Pred nejakými dvadsiatimi rokmi sa stala vedeckou senzáciou šimpanzia samica Washoe, ktorá sa dokázala naučiť znaky posunkovej reči a potom ju naučila aj iné šimpanzy, včítane svojho adoptívneho mláďaťa (potvrdila tým zistenia etologičky Jane Goodallovej, že mláďatá primátov sa učia od svojich rodičov). Dokázala odlíšiť prítomnosť a minulosť, vlastné a všeobecné podstatné mená, vyjadriť svoje pocity a želania. Výskumníci, manželia Gardnerovci a Roger Fouts boli pritom dosť opatrní, aby jej schopnosti nezveličili a výsledky ich pozorovaní sú hodnoverné. Niektorých členov skúmanej skupiny neskôr čakal smutný osud pokusných zvierat v lekárskom výskume - ale keď jedného šimpanza profesor Fouts navštívil po rokoch, zistil, že si pamätá nielen jeho, ale aj posunkovú reč. Obmedzené výsledky s učením posunkovej reči sa dosiahli aj u iných ľudoopov a aj delfínov.

Predpokladá sa, že spoloční predkovia človeka a ľudoopov boli schopní naučiť sa v priebehu života mnoho vecí a vzájomne sa dorozumieť. Zrejme žili v tlupách v korunách stromov podobne, ako dnešné opice, obývajúce pralesy. Schopnosť dobre sa dorozumieť im umožňuje, aby sa tlupa neroztrácala, vzájomne sa upozorňovať na potravu a hroziace nebezpečenstvo. Predpokladá sa, že zmena prostredia - ústup tropických pralesov a vznik suchších stepí bez súvislého lesného porastu ich donútila k zmene spôsobu života. Museli "zliezť zo stromov" a vydať sa do priestoru bez možnosti záchranu v ich korunách. Predkovia človeka neboli ani zvlášť veľkí, ani zvlášť rýchli, ani zvlášť silní na to, aby sa ubránili pred dravcami a aby niečo individuálne ulovili. Mali však niečo, čo aj dnes vyhráva bitky medzi veľkými armádami: dobrú komunikáciu.

Schopnosť dorozumieť sa sama osebe nie je výsadou ľudí. Vzájomne sa dorozumieva aj hmyz - a to tiež nie hociako. Včely dokážu dať svojim družkám celkom jasné znamenie, ktorým smerom a ako ďaleko leží zdroj potravy. Robia to tak, že sa na letáči úľa pohybujú v tvare osmičky, ktorá je odchylená od Slnka o uhol, v ktorom sa potrava nachádza. Vnútri úľa, potme, je tento uhol daný odchyľkou od vertikály, pričom smer nahor zastupuje Slnko - tak je tento systém

dokonalý! Pohybmi tela súčasne dávajú informáciu o vzdialenosti. Predpokladá sa, že tento spôsob komunikácie sa vyvinul z toho, že ostatné včelie robotnice sledovali pohyby včely, ktorá mala na sebe stopy peľu, pri odlete za potravou, ktorej polohu si pamätala a chystala sa vzlietnuť celkom určitým smerom. Tieto pohyby sa vyvinuli v znamenia o smere a vzdialenosti potravy. A tu je podstatný rozdiel v spôsobe dorozumievania, ktorý umožňuje ľuďom odovzdať oveľa viac informácii: nepoužívajú jednotlivé znamenia, ale používajú jazyk.

Zhoda v názore, čo vlastne je jazyk, sa medzi vedcami rodila pomaly. Všeobecne sa uznáva, že musí zahrňovať symboly a syntax. To si žiada ešte ďalšie vysvetlenie. Symbol totiž nie je to isté, ako znak. Všetky deti na svete sa v mladosti samé naučia to isté: pozrieť sa smerom, ktorým niekto ukazuje rukou. Ale pohybom ruky, ktorou na niekoho mierime, môžeme naznačiť, aby k nám prišiel bližšie. To už je niečo iné, takýto posunok niečo vyjadruje. Je to symbol. Uvedený príklad súčasne upozorňuje na ďalšiu vec: jazyk nemusí znamenať len hovorenú reč. (Poznáme aj posunkovú reč hluchonemých, alebo programovacie jazyky, v ktorých prebieha komunikácia s počítačmi.) Ďalej, jazyk musí mať pravidlá používania symbolov - syntax. Či už myšlienky vyjadrujeme rečou, posunkami alebo písanými symbolmi, toto vyjadrenie musí obsahovať niečo ako podmet (kto alebo čo), prísudok (čo robí), prípadne doplnok. Porovnajme, ako ďaleko sa v tomto smere dostali najvyspelejšie zvieratá. Podľa väčšiny odborníkov ľudoopi zvládajú (po príslušnom výcviku, nevedno, nakoľko vo svojom prirodzenom prostredí) symboly. Ale len málo z týchto zvierat dokáže do istej miery pochopiť a použiť syntax - tú zložku jazyka, ktorá umožňuje vyjadriť zložité vzťahy, zvlášť tie, ktoré sa týkajú súvislostí, pohybu alebo času.

Hádam nie je zbytočné pozastaviť sa pri úvahe, prečo práve ľudoopi a nie iné druhy pomerne inteligentných a spoločenských zvierat sa stali predkami civilizovaných bytostí. Potrebnú mentálnu úroveň a schopnosť abstraktného myslenia majú a aj v minulosti mohli mať nielen ľudoopy, ale aj delfíny, vlci, možno dokonca aj prefíkané a spoločensky žijúce krkavce a ďalšie cicavce a vtáky. Dôvodom je asi zhoda okolností, ktorá vybavila práve ľudopy končatinami, ktoré sa dali použiť na zhotovovanie nástrojov, hoci pôvodne slúžili na pohyb v korunách stromov, vystavila ich podmienkam života v spolupracujúcich skupinách, v ktorých sa musela vyvinúť komunikácia medzi ich členmi a nakoniec ich vyhnala do holých stepí. Tu museli prežiť bez pôvodného bezpečia na stromoch, bez ostrých zubov a pazúrov, len vďaka dôvtipu, zručnosti a schopnosti komunikácie. V podmienkach, ktoré sa zjavne zmenili tak náhle, že na zmenu genetickej informácie a telesných

dispozícii neostal čas, mohla byť prostriedkom prežitia schopnosť oslobodiť sa od inštinktívneho chovania a konať rozumne. Jediným spôsobom, ako prežiť, bolo použiť svoje dary - ruky, rozum a schopnosť dorozumievania na zhotovenie nástrojov, vzájomnú spoluprácu pri obrane a získavaní potravy.

### **Od tlupy k civilizácii**

Vývoj dnešného človeka, homo sapiens, nebol priamočiary. Asi pred 1,5 miliónom rokov jeho predchodca, druh homo erectus obýval nielen Afriku, ale pravdepodobne aj Áziu a Európu. Od australopitekov, vyspelých ľudoopov, ktorí žili pred 2 - 3 miliónmi rokov a neskorších príslušníkov nastaršieho ľudského druhu homo habilis, odlišoval sa homo erectus svojím vzhľadom, ale hlavne spôsobom života. Je zrejmé, že dokázal zhotovovať aj dômyselnejšie nástroje, spolupracovať pri love veľkých zvierat a používať oheň. Zrejme priamym potomkom sme my, dnešný druh homo sapiens, teda človek rozumný. (O rozumnosti mnohých príslušníkov nášho druhu možno síce diskutovať, nechajme to však na iných). Vieme o dvoch typoch ľudí, ktorí obývali Starý svet počas posledného polmilióna rokov: Prvé pozostatky pravekého človeka náhodne objavili robotníci, ktorí vnikli do jaskyne v strmom úbočí Neanderského údolia (Neander Thal) v Nemecku. Bolo to v roku 1856, tri roky predtým, ako Darwin vydal svoje slávne dielo "O pôvode druhov". Vedecká komunita na čele so slávnym profesorom Virchowom vtedy nález označila za pozostatky telesne postihnutého človeka dnešného typu. Až po rokoch sa ustálil názor, že ide o pozostatky pravekého človeka, ktorý dostal meno človek neandertálsky. (Dodatočne sa ukázalo, že to nebol úplne prvý nález pozostatkov neandertálcov, r. 1936 boli dodatočne identifikované pozostatky dieťaťa, nález z roku 1829). Bol oproti dnešným ľuďom fyzicky podstatne robustnejší, ale vyhynul asi pred 30 000 rokmi pod tlakom osídlenia človeka kromaňonského, ktorého pozostatky našli po prvý raz v Cro-Magnon vo Francúzsku v roku 1868. Ten bol fyzicky veľmi podobný dnešným ľuďom. Aj jeho obydlia, nástroje a zvyky boli blízke niektorým dodnes prežívajúcim primitívnym kmeňom. O kultúre kromaňoncov vypovedajú nielen nálezy obydlí, hrobov a nástrojov, ale aj sošky a maľby v jaskyniach a na skalných stenách. Pozoruhodných malieb sa dodnes našli stovky. Poskytujú dosť podrobný obraz o spôsobe života, ale aj duchovnom svete týchto ľudí. Je zaujímavé, že na prvom významnom objave v roku 1879 v Altamirskej jaskyni v Španielsku mala zásluhu iba jedenásťročná Maria de Sautuola. Ale nové vedecké názory tohto druhu sa vtedy presadzovali ťažko. Jej otec Marcelino F. de Sautuola, ktorý objav

zverejnil, bol obviňovaný z podvodu a že ide o diela predhistorických ľudí, bolo uznané až po jeho smrti. Len oveľa neskôr boli objavené podobné maľby, napríklad veľmi známe diela v Lascaux a Chauvet vo Francúzsku. Aj takto pomaly a aj bolestne sa v priebehu 19. a 20. storočia spoznávali zárodoky ľudskej civilizácie.

Hľadanie pozostatkov najstarších civilizácii stále prináša nové poznatky. Ale kdekoľvek bude nakoniec lokalizovaná tá úplne najstaršia, sotva sa zmení názor na podmienky, za ktorých mohla vzniknúť: Muselo sa tak stať na mieste, ktoré poskytovalo zdroje pre prežitie oveľa väčšieho množstva ľudí v tesnej blízkosti, než je tlupa praľudí s počtom niekoľko desiatok, najviac stoviek členov. Takéto oblasti sú v Mexiku, Číne, Južnej Amerike aj na Blízkom východe. Mnohé nasvedčuje tomu, že kolískou prvej z týchto podobných a nezávisle vznikajúcich civilizácii bola oblasť Mezopotámie, kedysi nesmierne úrodnej oblasti medzi riekami Eufrat a Tigris na území dnešného Iraku. Uživila desaťtisíce, státisíce ľudí, ktorí prešli od lovu k výhodnejšiemu udomáčňovaniu zvierat, od náhodného zberu rastlín k ich cielenému pestovaniu, tak, aby zdroje potravy boli v prípade potreby vždy naporúdzi. Aké výhody to poskytuje oproti náhodným úlovkom, striedaným obdobiami núdze a hladu, je zrejmé. Sústredenie veľkého počtu ľudí bolo výhodné aj pre obranu. Ale bol tu problém, ktorý musel byť vyriešený, aby sme mohli hovoriť o civilizácii: pravidlá spolužitia toľkých ľudí. Skupiny praľudí, neandertálcov aj kromaňoncov, ktoré žili na území Európy pred desaťtisícami rokov sa vzájomne napádali pri súperení o zdroje obživy a boli riedko roztrúsené na rozsiahlom území. Prírodné zdroje neboli schopné užiť viac, než desiatky, najviac stovky ľudí, sústredených na malom priestore. Mezopotámia ich bola schopná užiť oveľa viac, ale museli sa vedieť dohodnúť a zorganizovať. Zjavne sa tak stalo.

Zrodili sa spoločenstvá, vlastne už národy, ktoré sa nemohli zaobísť bez spoločného jazyka. Každodenný styk a drobné nedorozumenia medzi susedmi si spoločnú reč nakoniec vynútili - dohodnúť sa bolo väčšinou výhodnejšie, ako bojovať. Je zrejmé, že k vzájomným bojom aj tak dochádzalo, ich cieľom však postupom času bolo skôr podriadiť si, ako vyvraždiť susedov. Aj vtedajší vodcovia zákonite prišli na to, že nie je možné priamo ovládať tisíce ľudí, ktorých nemajú každodenne na očiach tak, ako príslušníkov malej tlupy - vládnuť sa tiež nedalo bez komunikácie. Hoci sa v dejinách dávnych blízkovýchodných civilizácii vyskytujú vojny, spojené s masakrami, dokonca s genocídami (stačí si prečítať Bibliu), je dôvod predpokladať, že usmrcovanie protivníkov sa už vtedy nepovažovalo za výhodnejšie, ako ich podrobenie. S týmto cieľom boli ustanovovaní spol'ahliví

miestni náčelníci, časom aj hodnostári a úradníci na rôznych stupňoch hierarchie. Spoločnosť sa vrstvila na váženejších, bohatších a mocnejších a tých ostatných. Prejavy podriadenosti, aké dokážeme vypozerovať aj v spoločenstve zvierat, sa pretvárali a splývali s vedome vytváranými pravidlami správania sa voči vyššie postaveným a božstvám. Primitívne náboženské rituály sa zdokonaľovali, dostávali pevné pravidlá a takú formu, aby vyhovovali aj bohom, aj vládcom. Vládcovia asi rýchlo zistili, že jednoduchšie sa vládne v spolupráci a zhode s božstvami a ich úctyhodnými pozemskými služobníkmi, ktorí zas požívali výhody mocenskej podpory vládcov. Dejiny, napríklad egyptské, a najmä dobre dokumentované stredoveké ukazujú, že táto spolupráca bola neraz, či skôr vždy skrytým súbojom o vplyv, a tento súboj niekedy vyústil v zmenu panovníka alebo naopak vládcom uznávaného náboženstva.

Predpokladom pre ďalší rozvoj civilizovanej spoločnosti bolo získanie časového priestoru pre tvorivú činnosť ľudí, teda aby všetci členovia spoločenstva už neboli nútení všetok svoj čas a schopnosti venovať činnostiam, bezprostredne zabezpečujúcim každodenné prežívanie. Na tomto stupni vývoja nestačilo, že ľudský rod doplnil málo efektívne odovzdávanie informácii potomkom pomocou genetického kódu o pružnejší kultúrny prenos, čo znamená napodobňovanie správania, slovné odovzdávanie vedomostí a až nakoniec aj písomný či iný trvalý záznam poznatkov. Prípady napodobňovania sa našli aj u zvierat: opice v skupine vzájomne odpozorujú aj nedávno naučené úkony a pochopia ich význam. Reč má výhodu, že umožňuje popísať aj to, s čím sa niektorí členovia komunity vôbec nestretli. Ale aj vážne nedostatky: množstvo uchovávaných údajov je obmedzené kapacitou pamäti. Ani trvanlivosť informácii nie je nekonečná: poznatky upadnú do zabudnutia čoskoro potom, ako sa prestanú prakticky využívať. A tak starci bývali uctievaní, lebo zažili a pamätali si aj to, čo ostatní nepoznali a vedeli poradiť v neobvyklých situáciách - boli žijúcimi databázami poznatkov. Len po dlhom čase ľudia, žijúci vo vyspelejších spoločenstvách našli spôsob, ako aspoň niektoré informácie uchovať na veľmi dlhú dobu - a nezávisle od seba, na opačných koncoch Zeme, vynasli to isté: písmo. V každej civilizácii boli vedené aspoň dva druhy záznamov, na ktorých veľmi záležalo. Ten prvý, myslím, že jednoduchší, boli ekonomické informácie - primitívne účtovníctvo. Pôvodne zrejme vystačilo s obrázkami alebo inými symbolmi tovaru a množstva. Druhým boli záznamy, ktoré nakoniec tvorili základy vedy a predpoklad kultúrneho vývoja ľudstva - záznamy poznatkov, ktoré sa získavali počas tisícročí. Ich vedenie, to nebolo len kreslenie čiarok alebo obrázkov vriec s obilím. Samo písanie, čítanie, počítanie vyžadovalo vzdelanie. Už pisári boli vážení a oslobodení od starostí o každodenné živobytie.



Tým skôr tí, ktorí dokázali zhromažďovať, vykladať a prakticky aplikovať prvé vedecké poznatky.

Možno predpokladať, že prvé vedecké pozorovania robili práve kňazi. Už šamani primitívnych národov sú nositeľmi istého druhu vedeckých poznatkov - dá sa povedať - prírodovedeckých a medicínskych. Odovzdávali sa však ešte ústne, prípadne odpozorovaním. Základy astronómie, vedy, ktorá vznikla nezávisle tak u amerických Mayov ako na Blízkom východe, budovali kňazi. Táto veda, ktorá sa uplatňovala vo vtedajších spoločenstvách roľníkov, mala praktické uplatnenie: dávala predovšetkým informácie o termínoch poľnohospodárskych prác, najmä sejby. Prvé pozorovania sa týkali postavenia Slnka a hviezd na oblohe, podľa ktorých je možné určiť ročné obdobie presnejšie, ako púhym odhadom. A oneskorená či predčasná sejba mohla znamenať neúrodu, hlad, pre vládcu nepokoje podriadených. Pre kňazov, ktorí boli ako prostredníci bohov povolání určovať agrotechnické termíny, hrozila strata prestíže, postavenia, živobytia, ak nie ešte horšie dôsledky.

Lenže astronomické pozorovania sú dlhodobé a neostáva nič iné, ako javy dlhú dobu trpezlivo zaznamenávať a potom hľadať v ich výskyte nejaké zákonitosti. Takrečeno na prstoch sa dá spočítať akurát doba obehu Mesiaca (zdá sa, že to, čomu my hovoríme rok, v dávnej minulosti znamenalo lunárny mesiac, teda asi 28 dní a možno z tohoto nedorozumenia pramení aj neuveriteľný vek, ktorého sa údajne dožívali biblické postavy, napríklad Matuzalem). Poriadna astronómia bez matematiky kríva na obe nohy. Ale čo môže byť pre kňazov cennejšie, ako napríklad vedieť vypočítať termín zatmenia Slnka alebo Mesiaca, nápadných predvídateľných javov, o ktorých vedia len bohovia a ich služobníci? Záznamy, ktoré by mohli slúžiť ako vedecká dokumentácia, vyžadovali vytvorenie písma, ktorým sa dali zaznamenať abstraktné poznatky. Tu už nestačili obrázky alebo symboly, museli nastúpiť znaky s presným významom. Rôzne civilizácie to vyriešili po svojom, znaky zastupovali slová, slabiky, hlásky. Podobne to bolo s vyjadrením matematických symbolov - vyspelé staroveké národy Blízkeho i Ďalekého východu, ale aj Ameriky nezávisle od seba vynikali v astronómii aj matematike. Týmto spôsobom zároveň ľudia získali základný predpoklad pre rozvoj aj ostatných vedných odborov: pre všetky bola podmienkou možnosť uchovávanía a odovzdávania vedeckých poznatkov. Odvtedy nemusela každá generácia a každý národ začínať s poznávaním a bádáním od nuly - bola tu práca predchodcov, na ktorú sa dalo nadviazať. A že poznatky boli oddávna cenené, svedčí vznik takých inštitúcií, ako bola slávna staroveká knižnica v Alexandrii.

Akurát šírenie a prenos takto uložených informácii bol ešte dlhé storočia problematický. Učení muži museli putovať dlhé mesiace, aby mohli preštudovať knihy, napísané jedinom exemplári a uchovávané najviac ak v niekoľkých kópiach, uschovaných v knižniciach na opačných koncoch vtedy známeho sveta. Prelomy v uchovávaní a šírení informácii sa začali Guttenbergovým vynálezom kníhtlače, ale ešte malo uplynúť veľa času, kým sa aspoň písané slovo mohlo pravidelne odovzdávať na diaľku prostredníctvom pošty. A ak je dnešný vek nazývaný vekom informatickým, určite to vystihuje význam, aký majú pre ľudstvo dnešné možnosti odovzdávania a uchovávaní informácii všetkého druhu. Lavínovitý rozvoj poznania by nebol možný pri spôsobe odovzdávania informácii, aký bol vo vedeckom svete obvyklý ešte pred jednou - dvoma stovkami rokov: mnohé veci boli vlastne objavované viackrát, pretože objavitelia o prácach svojich predchodcov alebo aj súčasníkov proste nevedeli. Dodatočné spory o prvenstvo objavenia buniek, krvných skupín, rádiotelegrafie a množstva iných zásadných objavov dokazuje, aké nedostatočné boli informačné kanály vo vzťahu k pokroku vo vedeckom výskume.

Na písme sa stalo do veľkej miery závislé aj spolužitie. Vzťahy v spoločenstvách pôvodne určovalo niečo, čo sa do určitej miery rešpektuje dodnes: zvykové právo. Lenže zvyky, podobne ako prvky kultúry, líšia sa ešte dnes aj od dediny k dedine, nieto medzi susednými národmi. Nedorozumenia a spory aspoň čiastočne vyriešilo spísanie a vydanie zákonov. Múdri zákonodarcovia boli vždy požehnaním pre svoje národy a tak poznáme aj ich mená - za prvého sa považuje babylonský panovník Chamurabi, ktorý dal pred asi 3800 rokmi vytesať svoje zákony do kamenných dosiek, "aby mocní nemohli utlačovať slabých, aby sa dostalo spravodlivosti sirotám a vdovám..." (tak znie preambula tohto zákoníka). Zákony bývali aj súčasťou náboženstva - ešte dnes jestvujú štáty, kde je právny systém pod silným vplyvom náboženstva - zvlášť islamu, ale aj kresťanstva a iných. Prvé zákonníky bývali jednoduché. Dalo by sa povedať, že takých desať božích prikázaní vlastne stanovovalo všetky podstatné pravidlá spolunažívania - len keby sa vždy dodržiavali. Prikázaniam totiž ešte chýbali nejaké podstatné maličkosti - napríklad postih za priestupky ešte počas pozemského života. A tak sa pôvodné jednoduché zákony museli doplniť takpovediac pre potreby každodenného života, a ako sa tento život a spoločnosť stávali zložitejšími, zákony sa tiež rozširovali a neostalo nič iné, ako ich zapisovať. (Vo väčšine dnešných vyspelých demokratických štátov je dnes právny systém takmer nezávislý od náboženstva, čo má aj tú výhodu, že umožňuje pomerne bezproblémové spolunažívanie ľudí rôzneho pôvodu a vierovyznania. Hoci väčšina náboženských učení hlása znášateľnosť, prax bývala a aj býva iná...)

Od tlupy k civilizácii /Skúmanie ľudskej spoločnosti: porozumieme sami sebe?

Ďalej písmo umožnilo vznik trvalého kultúrneho dedičstva, ktorého vplyv na nasledujúce generácie pretrváva aj stáročia a tisícročia. Všetko toto je súčasťou informačného bohatstva ľudstva, poznatkov, ktoré vznikajú v priebehu jeho jestvovania úžasnou rýchlosťou v porovnaní so zmenami v genetickom kóde. Za to, že človek sa stal pánom tvorstva a pánom planéty, určite vďačí tomu, že sa ľudia naučili odovzdávať a uchovávať svoje poznatky takou obrovskou rýchlosťou a v takom množstve, ako to vidíme dnes. Vedomosti boli zbraňou aj bohatstvom v celej histórii človeka, ale len pre toho, kto ich vedel používať. Vzdelaní ľudia bývali v minulosti cenení a uctievaní tým viac, čím ich bolo menej, čím zložitejšie bolo vedomosti získať. Majitelia informácií (a neraz súčasne majitelia učencov) vlastnili nástroje na ovládanie ostatných ľudí. Pohľad na dnešný svet ukazuje, že čím viac je vzdelaných ľudí, tým ťažšie sa obhajuje výlučné vlastníctvo informácií, tým je spoločnosť nielen otvorenejšia, ale súčasne aj vedecky a technicky vyspelejšia. Že investície do vzdelania, vedy a výskumu, aj keď neprinášajú okamžite viditeľný a vyčísliteľný zisk, sú tými najlepšimi investíciami, spoznali už dávnejšie aj politici, nanešťastie len niektorí. O hodnote vzdelanosti vedeli mnohí osvietení a slávni vládcovia od staroveku. Ich životopisy sú však neraz históriou boja s hlúposťou na jednej strane a so snahou zachovať si monopol na poznanie na druhej strane, a neraz aj históriou so smutným koncom.

### **Skúmanie ľudskej spoločnosti: porozumieme sami sebe?**

Niet pochybností, že ľudská spoločnosť, vrátane najprimitívnejších národov, aké boli objavené v neprístupných kútoch Zeme, je organizovaná neporovnateľne dokonalejšie, ako spoločenstvá zvierat. Na akých princípoch funguje táto organizácia, čím je to, že prevažná väčšina ľudí rešpektuje aj nepísané pravidlá, pokúšali sa vysvetliť generácie vedcov. Donedávna bol tento výskum, hľadanie motivácie ľudského konania, doménou spoločenských vied. Vyše storočie sa však k tejto problematike vyjadrujú aj niektorí predstavitelia prírodovedných odborov. Na samom počiatku boli veľmi zjednodušené predstavy, vychádzajúce z primitívnej interpretácie darwinizmu, ktoré zavádzali prvky Darwinovej teórie prirodzeného výberu do teórie o ľudskej spoločnosti. Až v posledných desaťročiach sa objavili nové pohľady na podobnosť správania sa ľudí a spoločensky žijúcich druhov zvierat, ktoré boli založené na solidných vedeckých základoch. Hoci veľmi obozretne formulované, od počiatku boli pre svet humanitných vied ťažko stráviteľné a odmietané. Určite k tomu prispeli aj etické a politické dôvody: zneužitie myšlienok Darwinovej teórie rasistami a fašistami spôsobilo, že každý

pokus o aplikáciu zákonov evolučnej biológie na druh homo sapiens bol prijímaný s podozrením a nevôľou. Napätie medzi sociológmi a psychológmi na jednej strane a sociobiológmi na druhej strane trvá dodnes. Pritom chovatelia zvierat vedia už veľmi dávno, že medziľudské vzťahy sa v niečom podobajú vzťahom medzi zvieratami. Aj medzi spoločensky žijúcimi vtákmi a cicavcami existujú vzťahy nadradenosti a podriadenosti, spolupráca a hádam aj náklonnosť. Keď sa však tieto poznatky začali cielene zhromažďovať, analyzovať a publikovať, neraz vznikali rozhorčené diskusie.

Sociobiológia, veda, ktorá sa zaoberá skúmaním analógie prejavov sociálneho správania zvierat v ľudskej spoločnosti, je doteraz napádaná z vedeckých aj politických kruhov. Námietky by mohli byť oprávnené, keby sociobiológovia sami nevarovali pred nekritickou aplikáciou pravidiel správania sa zvierat na ľudskú spoločnosť. Pred takýmto postupom varoval už Edward O. Wilson, profesor Harvardskej univerzity, považovaný za zakladateľa sociobiológie. K tézam, ktoré vyslovil na konci svojej knihy "Sociobiológia: Nová syntéza", sa dopracoval ako entomológ, ktorého predmetom záujmu bol spoločensky žijúci druh hmyzu, mravce. Podstatný rozdiel spočíva v tom, že spoločenské chovanie mravcov je výlučne inštinktívne, dané geneticky ako výsledok prirodzeného biologického vývoja. Mravce nie sú schopné zmeniť ho na základe učenia a už vôbec nie na základe logickej úvahy. Je pevne zamerané na ochranu mraveniska a kráľovnej aj za cenu obetovania vlastného života. Vlastne nie je v súlade ani s klasickou Darwinovou teóriou - podľa nej by mali z populácie vymiznúť gény jedincov, ktorí sa nepresadili v boji o prežitie a splodenie vlastných potomkov. Pôvodne bol tento jav vysvetľovaný pomocou hmlistej teórie príbuzenského výberu, podľa ktorej predmetom selekcie nie je jedinec, ale druh. Ale lepšie a matematicky podložené vysvetlenie poskytol už pred Wilsonom britský biológ William Hamilton. Jeho prepočty nie sú principiálne zložité, ale dosť rozsiahle. Vychádza z nich, že všetci jedinci v mravenisku (alebo vo včelom úli, alebo v kolónii termitov) sú súrodenci, zdieľajúci od 25% do 75% spoločných génov (záleží od spôsobu rozmnožovania druhu) a teda prácou v prospech úľa (termitiska, mraveniska) vo veľkej miere pracujú v prospech odovzdania vlastných génov do ďalších generácií prostredníctvom svojich príbuzných. To zodpovedá aj neskoršej Dawkinsovej teórii, ktorá tvrdí, že predmetom prírodného výberu nie je jedinec, ale jeho gény, ktoré riadia chovanie svojho nositeľa tak, aby dosiahli svoje najväčšie možné rozšírenie (maximálnu reprodukciu). Sociobiológov zaujíma, ktoré prvky správania sú pod priamou alebo nepriamou kontrolou génov a ktoré kultúrne prejavy u ľudí nahrádzajú funkciu inštinktov - vrodeneho správania u zvierat.

Z pohľadu sociobiológie je veľmi logické a dobre vysvetliteľné konanie ľudí, žijúcich v malých spoločenstvách, v ktorých je základnou a veľmi súdržnou jednotkou rodina. Jej členovia sú sčasti nositeľmi spoločných génov a inštinktívne spolupracujú tak, aby, ak neprežijú sami, prežili ich pokrvní príbuzní - čím bližší, tým lepšie: ochrana vlastných detí je na prvom mieste. V modernej spoločnosti, kde žijú na malom priestore tisíce a milióny ľudí a hlavne, kde členovia rodiny už nie sú závislí na vzájomnej spolupráci, väzby medzi pokrvnými príbuznými sa uvoľnili. Ale snaha rodičov ochraňovať svoje potomstvo, aj keď ich vidia ako pubertálne, vzdorovité a protivné, prehnane samostatné decká, ostáva zjavnou aj v rámci takto zmenených vzťahov medzi príbuznými. Dobro známym javom je "rodinkárstvo", uprednostňovanie príbuzných pri získavaní výhodného zamestnania alebo spoločenského postavenia, zvyk uvádzať deti do príslušnej spoločenskej skupiny (ak to však hormóny a puberta nezariadia ináč...) - to všetko sa nakoniec dobre zhoduje s tým, čo vyplýva z prác Hamiltona, Wilsona či Dawkinsa.

Logickým medzistupňom medzi hmyzom, ktorý skúmal Wilson a ľuďmi sú spoločensky žijúce zvieratá. Na rozdiel od hmyzu, chovanie zvierat nie je výlučne inštinktívne, obsahuje aj naučené prvky. Väčšinou medzi nimi prebieha trvalý boj o postavenie v skupine. S ním súvisí prístup k potrave, bezpečnejšie miesto v krdli, stáde alebo tlupe, možnosť páriť sa (a teda odovzdať svoje gény potomkom...). A z pohľadu sociobiológa niečo podobné prebieha aj v ľudskej spoločnosti. V dávnej minulosti alebo aj v dnešných veľmi primitívnych komunitách je podobnosť nápadnejšia. Je to zrejme dané tým, že jednotlivec, vytrhnutý zo spoločenstva v divočine nemá nádej na prežitie, nieto ešte splodenie potomkov. V našej civilizovanej a pomerne bohatej spoločnosti boj o potravu alebo prístrešie ustupuje do úzadia: smrť hladom alebo následkom útoku nepriateľských ľudí či zvierat vážne nehrozí ani tým, ktorí sa dobrovoľne vyčlenia zo spoločnosti, neuznávajú jej pravidlá a žijú, či skôr priživujú sa na jej okraji. Zato súperenie o priazeň opačného pohlavia nadobúda na pestrosti: imponuje telesná krása, oblečenie, vystupovanie, majetok, postavenie... Súčasne možno povedať, že so vzrastajúcim blahobytom a klesajúcim ohrozením vlastného života, zdravia či majetku sa stáva súperenie o postavenie v spoločnosti akousi "nepovinnou disciplínou". Ľudia si môžu dovoliť aj prepych byť odlišný, menej intenzívne pociťovať a realizovať inštinktívnu potrebu niekam patriť. V modernom, demokratickom štáte nie je nevyhnutnosťou vyznávať náboženstvo, zachovávať striktné pravidlá odievania sa, zúčastňovať sa spoločenského života - pravda, ak niečo z toho nesúvisí s povolaním, ktoré si človek zvolil (sú povolania, ktoré nútia k určitému životnému štýlu a človeka do

značnej miery nútia správať sa určitým spôsobom, treba však podotknúť, že spoločnosť nikoho nenúti, aby sa stal politikom, filmovou hviezdou, vojakom alebo kňazom). Kto chce, môže sa oddeliť od väčšinovej spoločnosti, vychutnávať samotu v prírode, venovať sa osamelým meditáciám alebo nekonečné hodiny osamote skladať modely lodí alebo lietadiel. Súperenie o väčší majetok, atraktívnejšiu manželku/manžela, veľkosť konta v banke alebo poslanecké kreslo môže ponechať tým, ktorí v ňom vidia zmysel, bez toho, aby ohrozil svoju existenciu. Samotárov a individualistov je dodnes menšina: inštinkty sa nedajú úplne potlačiť a človek je tvor spoločenský. Ale vo vyspelých krajinách je jasne pozorovateľný trend odklonu mnohých nadaných a schopných ľudí od obvyklej predstavy úspešného človeka. Je čoraz viac mladých ľudí, ktorí odmietajú zúčastňovať sa celoživotného súperenia o najlepší prospech v škole, o najprestížnejšie postavenie v zamestnaní, o najvyšší príjem napriek tomu, že ich schopnosti im to umožňujú. Keďže na druhej strane práve súťaživosť je podstatným (aj keď nie jediným a možno nie ani hlavným) stimulom pokroku každej spoločnosti, bude zaujímavé sledovať, do akého postavenia v spoločnosti sa v budúcnosti dostanú títo schopní, talentovaní a aj dosť pracovití, no nie veľmi pribojní ľudia, od ktorých umu však aj v minulosti závisela podstatná časť vedeckého a technického pokroku.

Prvky spoločenskej súdržnosti sa teraz prejavujú aj u skupín ľudí, ktorí nie sú nijako geneticky spríbuznení. Príkladmi pre súdržne správanie sa na základe spoločných záujmov sú tajné spoločnosti (od vznešených rytierskych rádov až po pouličné gangy), profesné organizácie, chrániace spoločné záujmy (komory, remeselnícke cechy) alebo aj neformálne skupiny ľudí s rovnakými záujmami (záhradkári, modelári, športovci...). Pevnosť, forma a prejavy týchto väzieb sú rôzne - od prísnej disciplíny rytierskeho rádu až po solidárne zapožičanie náradia na opravu defektu od náhodného okoloidúceho rekreačného cyklistu. A v každej civilizácii sa vytvoril nejaký mechanizmus, ktorý podvedomú, inštinktívnu (nakoniec, tak či tak geneticky danú - veď sme potomkami praľudí, žijúcich milióny rokov v skupinách) potrebu človeka patriť do nejakého spoločenstva využíva alebo zneužíva na to, aby všetkých jeho členov skúšal zjednocovať v mene spoločného cieľa. Treba mať určitý nadhľad nad vecou, aby sme si pripustili, že tento cieľ v skutočnosti nebýva ani tak v záujme vyššej idey, ako v záujme tých, ktorí túto ideu (boha, národ, demokraciu, spravodlivosť...) obhajujú. Hoci dnešná civilizovaná (ak chcete, povedzme, že demokratická) spoločnosť prehlasuje, že jedincov s odlišnými názormi, životným štýlom, pôvodom atď. toleruje, v skutočnosti ich stále do istej miery utláča či opovrhuje nimi. Xenofóbia, strach,

obava či odpor voči cudziemu, to je tiež dedičstvo po našich prapraprapredkoch. Potešiteľné je, že čím viac sa vzdľaľujeme od vlastnej temnej minulosti, tým je menej životu nebezpečné odlišovať sa od väčšiny. Nepriateľské chovanie k tým, ktorí "nepatria do tlupy" v civilizovanom svete skutočne ustúpilo niečomu inému. (Po atentáte na Svetové obchodné centrum sa v USA len málo prejavila nevraživosť voči moslimom - porovnajme to s náboženskými vojnami v staroveku či len pár desaťročí dozadu, kedy púha príslušnosť k inému náboženstvu bola dôvodom na zabíjanie...). Inštinktívne chovanie zväčša nahradilo naučené, viac tolerantné, to, na ktoré nás nabáda ideológia spoločnosti, hoci vo vypätých situáciach, ako je panika v dave, neraz vychádzajú na povrch živočíšne pudy: hnať sa vpred s davom, ale hlavne bojovať za seba. Iste, existujú aj iné ideológie - učenia nenávisti a agresivity, ale každá slušnejšia ideológia rozoznieva našu strunu altruizmu, súdržnosti s inými ľuďmi, pocit, že slabšiemu príbuznému treba pomôcť a za poskytnutú pomoc podľa možnosti poskytnúť odplatu alebo aspoň priateľské správanie.

Evolúcia ľuďom zariadila mozog pre prostredie doby kamennej, teda pre prežitie v podmienkach lovcov a zberačov. Nestihla ho prispôbiť pre dnešnú dobu, ktorá je produktom veľmi rýchlych zmien za posledných 10 000 rokov, počas ktorých ľudia žijú vo veľkých spoločenstvách - to je doba príliš krátka na nejaké podstatné zmeny v genetickej výbave. Ale geneticky je podmienená schopnosť ľudskeho mozgu prijať spôsob chovania, daný kultúrou spoločenstva, v ktorom človek žije. Takže okrem javov, ktoré celkom dobre vysvetľuje sociobiológia a ktoré majú určitú analógiu v inštinktívnom chovaní zvierat, sú tu aj iné: naučené, prebraté od ostatných členov spoločenstva. Tieto vznikli v podmienkach nejakej kultúry. Sú predmetom skúmania sociálnej psychológie, vedy o správaní človeka v spoločnosti. Skúma, ako spoločnosť formuje človeka a ako sa tento v spoločnosti uplatňuje, prípadne ako si ju prispôbuje. Ako vedný odbor má svoju dlhú tradíciu, v jej histórii vznikli viaceré názorové smery, ktoré hľadali príčinu ľudskeho správania spoločnosti - behaviorizmus, kognitivismus a iné -izmy, ale napríklad aj psychoanalytické smery. Hoci sa zaoberá spoločnosťou na rôznych úrovniach, v dnešnom každodennom živote sa prakticky využívajú najmä jej poznatky o vzťahoch v sociálnej skupine. Stali sa aj súčasťou vzdelávania pracovníkov, pre ktorých je styk s ľuďmi, podriadenými, zákazníkmi či obchodnými partnermi každodennou prácou.

Aj sociálna psychológia sa snaží identifikovať hybnú silu - motiváciu ľudskeho konania. Podľa známeho rakúskeho psychiatra, zakladateľa

psychoanalýzy Sigmunda Freuda je ňou pohlavný pud, podľa iných, nie tak jednostranne orientovaných teórii aj túžba po bezpečí, uznaní, nových skúsenostiach, citovej odozve... Táto veda hľadá príčiny altruistického - prosociálneho chovania na jednej strane a agresívneho, asociálneho chovania na strane druhej, skúma príčiny, následky a zdroje rivality v skupine. Sú vlastne tie isté otázky, ktoré rieši svojím spôsobom aj sociobiológia, pričom odpovede sú niekedy veľmi podobné, hoci povedané iným odborným jazykom. Ale slovník psychológov a sociológov je prijateľnejší, povedzme, ľudskejší. Tieto vedy popisujú vzťahy medzi ľuďmi do jemnejších detailov a spôsobom, ktorý nevyvoláva u citlivejších pocit degradácie ľudskej bytosti na génový, prípadne mémový automat. To je určite len formálna stránka veci, ktorá sa ale podstatne podpísala na neraz negatívnom prijímaní sociobiológie a súvisiacich vedných odborov vedeckou aj laickou verejnosťou.

Aj keď je človek vybavený inštinktmí pre správanie sa v spoločnosti, postupom času si v procese, ktorý sa nazýva sociálnym učením, vytvára svoje vlastné postoje. To sú relatívne nezávislé a trvalé spôsoby hodnotenia, cítenia a sklon konať v obvyklých situáciách ustáleným spôsobom. Postoje závisia na individuálnej skúsenosti človeka, na vzoroch, s ktorými sa stretáva, utvárajú sa aj na základe citových vzťahov. To všetko prebieha v rámci sociálnych skupín, v rámci ktorých sa pohybuje, je jedno, či ho do nich privedie inštinktívna potreba "niekam patriť" alebo profesionálna orientácia. Sociálna skupina môže byť obyvateľstvo obce, kolektív pracovníkov, školská trieda, teda všetky skupiny ľudí, ktorí sú nejakým spôsobom zviazaní, nútení spolupracovať, dohovárať sa, rešpektovať nejaký spoločný poriadok, ktorý z veľkej časti nebýva formálny, daný písanými príkazmi. Napriek tomu, že sa zriedka, vlastne skoro nikdy nedohodnú, ľudia podvedome rešpektujú nepísané pravidlá. Z čoho vychádzajú, prečo sú vlastne rešpektované?

Každý človek ako člen sociálnej skupiny má v nej svoje postavenie a vzťah tak k ostatným príslušníkom skupiny, ako aj ku skupine ako celku. Môže byť uznaný ako jej vodca alebo má v hierarchii nižšie postavenie. Niektorí sa o čo najvyššie postavenie veľmi usilujú, inému na ňom nemusí príliš záležať. Tiež môže mať rôzne vzťahy - priateľské, nepriateľské, ľahostajné k ostatným členom skupiny. Svoje postoje dáva člen skupiny najavo nielen slovne - verbálnou komunikáciou, ale aj celkovým správaním - mimikou, gestami. Postavenie jednotlivca v skupine je vyznačené nielen jeho správaním (a správaním sa skupiny voči nemu), ale aj vonkajšími znakmi. Veľmi zjavným prejavom postavenia v



spoločnosti býval a ešte aj je odev. V minulosti bol veľmi dôležitým prejavom postavenia jednotlivca, dnes sú aj významné osobnosti, ktoré tento prejav viac alebo menej okázalo zanedbávajú - hľa, neverbálny prejav ľahostajného postoja k uznávaným hodnotám v spoločnosti... Komunikácia je pre skupinu nevyhnutná - slúži na vyjadrenie postojov, riešenie konfliktov, ujednotenie názorov. Presvedčovanie - persúázia, asertivita - schopnosť presadiť vlastné postoje, zvládanie konfliktov, to sú znalosti, ktoré sa síce vyučujú v kurzoch pre riadiacich pracovníkov, ale človek ich získava aj prirodzene v procese sociálneho učenia od detstva. Pozoruje správanie iných, skúša výsledky rôzneho chovania, svoju schopnosť presadiť sa v kolektíve vrstovníkov, a treba povedať, že tak, ako niektorí jednotlivci majú napríklad talent pre umenie, iní sú zas zruční v presadzovaní sa v sociálnej skupine. Na základe skúseností, podľa odpozorovaných vzorov a ich zhodnotenia sa formujú postoje - sústava hodnotenia a pociťovania okolia a sklon konať v daných situáciách nejakým ustáleným spôsobom. Na postoje má veľký vplyv sociálna skupina - človek ich získava odpozorovaním, ale často sú mu nejakým spôsobom vnucované. A prijíma ich nielen na základe triezvej úvahy, ale aj citov - napríklad podľa sympatii k ich predstaviteľom. Poznanie štruktúry sociálnych skupín a mechanizmov, ktoré ovplyvňujú konanie ľudí, má aj svoje praktické využitie - treba povedať, že pozitívne aj negatívne. Vzťahy a mechanizmy, ktoré sa veda snaží opísať, intuitívne dobre poznajú, využívajú a často zneužívajú nadaní jedinci, "veľkí komunikátori", od drobných podvodníkov až po veľkých politikov...

## **Prečo ľudia spolupracujú**

Spolužitie na základe nejakých pravidiel je jedinou šancou, aby ľudstvo prežilo, aby sa vzájomne nezničilo spolu so svojou planétou, ktorá je a asi ešte aj dosť dlho bude jediným pohodlným miestom pre náš život. Ako ľudia to vlastne máme spočítané celkom jednoducho: ak sa nedohodneme, máme dosť prostriedkov na vzájomné zničenie, a ak sa nezničíme na prvý pokus, pri neschopnosti dohody to nakoniec bude na druhý, tretí alebo desiaty. A to nie je jediný možný prostriedok, ako zahubiť túto civilizáciu. Pravdepodobne by stačilo, aby sa štáty nedokázali dohodnúť o využívaní zdrojov a ochrane životného prostredia a časom sa utopíme vo vlastnom odpade energie a materiálov. Pohľad do histórie nie je povzbudivý: k vojne bývalo pravidelne bližšie, ako k trvalej dohode. A aj dnes platné a po zdĺhavom jednaní uzatvorené dohody sa plnia len čiastočne, či sú to dohody o odzbrojení, alebo o ochrane životného prostredia. Na pohľad sú ľudia sebeckí,

hľadia každý len na vlastné záujmy a nezaujímajú ich potreby ostatných. Ale existuje dobrý, dá sa povedať, že vedeckými poznatkami podložený dôvod pre optimistický pohľad do budúcnosti. Zdá sa, že predsa len existuje nejaká univerzálna zákonitosť, ktorá núti ľudí, aby spolupracovali aspoň v tej najnutnejšej miere, potrebnej pre spoločné prežitie.

To, čo vidáme okolo seba nesvedčí, že by sebecké správanie bolo nejako regulovateľné. Keby sa napríklad účastníci hlučného spoločenského večierka dohodli, že budú hovoriť potichu, určite by to nevydržalo dlho. O chvíľu by niekto trochu zvýšil hlas, nasledovali by ďalší a ďalší, až to nakoniec skončí tak, ako to vždy vidíme: každý hovorí nahlas, ba až kričí, aby prehlušil hudbu a ostatných účastníkov. Situácia je podobná stromom v lese: každý rastie tak vysoko, ako len vládze, aby sa dostal k svetlu - zdroju energie. Všetko drevo, investované do vysokých kmeňov by sa ušetrilo, keby sa rastliny nejako "dohodli" - ale skutočnosť je opačná.

Generácie filozofov oddávna videli túto rivalitu, ktorá sa javí z hľadiska celého ľudského spoločenstva škodlivá, odčerpáva zdroje, neraz spôsobuje zbytočné utrpenie, dokonca ľudí pripravuje o život. Hľadali preto spôsob, ako zariadiť, aby sa ľudia k sebe správali priateľsky, vzájomne si pomáhali a nie bojovali, či navzájom si neškodili. Toto hľadanie bolo márne, nijaké nabádanie ani tresty nezabránili, aby ľudia, jedni občas, iní pravidelne nepáchali nedobré skutky voči blíznym. Ale na druhej strane sa aj za najhorších okolností vyskytovali jedinci, ktorí obetovali svoj prospech pre priateľa, ale aj úplne neznámeho človeka. (Dokonca sa zdá, že tým viac, čím je spoločenstvo ohrozenejšie. Dokumentujú to príbehy z vojen: vojaci na frontovej línii si vzájomne pomáhajú, zatiaľ čo "kancelárske krysy" v zázemí sa starajú o vlastné pohodlie aj na úkor vojakov, trpiacich v zákopoch.) Podľa klasickej evolučnej teórie by mali nositelia génov altruizmu - teda tí, ktorí dokážu priniesť obeť v prospech blíznym - čoskoro vyhynúť, ale skúsenosti sú iné. Evolučne stabilná stratégia - to je odborný názov pre správanie, ktoré zaistí trvalo najúspešnejšie prežívanie a rozmnožovanie - nie je za každých okolností a pri každom stretnutí s iným členom spoločenstva bojovať za vlastné záujmy. K tomuto záveru vedcov okrem pozorovaní doviedlo aj modelovanie s použitím teórie hier.

Táto teória sa nezaobera hrou v zmysle zábavy, ale skôr v zmysle hazardných hier, pri ktorých sa hráč rozhoduje pre nejaký krok, ktorým môže získať nejaký

prospech alebo naopak stratiť, pričom pozná štatistickú pravdepodobnosť oboch výsledkov pre každú z možností, ktoré môže zvoliť. Keby mal hráč schopnosť a možnosť presne vypočítať riziko a možný prínos každého svojho kroku v hre (alebo, prenesene, skutku v každodennom živote), malo by mu jeho správanie priniesť najväčší prospech. Autormi základného diela Teória hier a ekonomické správanie sú Oscar Morgenstern a John von Neumann (geniálny matematik, ktorý sa okrem iného podieľal na vývoji atómovej bomby a zostrojení prvých samočinných počítačov). Za ďalšiu významnú osobnosť je považovaný matematik John Nash, génius s pohnutým osudom, neskôr postihnutý schizofróniou a napriek tomu v roku 1994 ocenený Nobelovou cenou. Pri tejto príležitosti bolo konštatované, že teória hier sa zaradila medzi základné nástroje pre ekonomické analýzy. V bežnom živote ľudia (aj zvieratá) robia rozhodnutia, o ktorých sa domnievajú, že im prinesú najväčší úžitok - v tom je podobnosť s ekonomikou. Robia ich však na základe intuície a skúseností, nie na základe presných znalostí a výpočtov. Napriek tomu, väčšinou sú tieto rozhodnutia správne a v zhode s tými, ktoré sa osvedčujú pri modelovaní situácii podľa teórie hier.

Pojem evolučne stabilnej stratégie zaviedol John Maynard - Smith, inžinier zaujímajúci sa o genetiku. Údajne sa pôvodne pokúšal vysvetliť, prečo zvieratá jedného druhu pri svojich zápasoch o postavenie v stáde, teritórium alebo o zdroje potravy obyčajne nebojujú až do zabitia porazeného súpera. Je autorom modelovej hry Jastrab a holubica. Jedinec so stratégiou typu jastrab sa pri stretnutí s iným jedincom vždy púšťa do boja, pričom ľahko zvíťazí nad holubicou, ale môže utpieť zranenie, ak narazí na iného jastraba. Holubica sa protivníka snaží zastrašiť, a ak sa to nepodarí, volí útek. Pri stretnutí s jastrabom síce prehráva, ale s inou holubicou buď zvíťazí, alebo ostane nezranená. Keď sa v počítači simulujú opakované strety, ktoré prebiehajú v uzatvorenej populácii, nakoniec to vedie k prevahe jedincov typu holubica. Jednoducho povedané, vzájomné vybíjanie sa jastrabov nakoniec spôsobí ich pomerný úbytok oproti holubiciam. Maynardov model ponúka vysvetlenie, prečo v ľudskej spoločnosti neprevládajú agresívni jedinci, pripravení použiť násilie na riešenie každej spornej situácie, ale naopak, ľudia, ochotní dohodnúť sa aj za cenu väčších či menších ústupkov.

Ekonomovia, pracujúci s teóriou hier pôvodne celkom automaticky predpokladali, že každý človek pracuje len pre svoj vlastný prospech. Ale pri matematickom modelovaní ekonomického chovania v spoločnosti sa tiež ukazovala výhoda aspoň čiastočne ústretového správania. Ponímali to ako podivnosť, ktorú bolo treba objasniť (hoci slušnosť medzi etablovanými obchodníkmi je povestná,

napríklad platnosť daného slova alebo povestného podania ruky, ktoré sa v dobrej spoločnosti neporušuje). Až v roku 1979 vyhlásil mladý politológ Robert Axelrod súťaž. Vyzval matematikov, aby napísali počítačové programy - stratégie, ktoré potom vzájomne súperili. Ku všeobecnému údivu absolútnym víťazom sa stal program jednoduchej stratégie Tit for tat - pôžička za oplatenie Anatola Rapoportu. Stratégia je jednoduchá: pri prvom stretnutí s protihráčom sa pokúša o spoluprácu a v ďalších kolách sa zachová tak, ako sa k nemu naposledy zachoval protihráč: ak spoluprácu prijal, pokračuje v nej, ak bojoval, potom tiež bojuje. Najhoršie dopadali (pochopiteľne...) naivné, neobmedzene priateľské stratégie, ale pokus o spoluprácu bol pravidelne výhodnejší, ako agresia. Mimochodom, práve Axelroda napadlo, že tieto výsledky by mohli zaujímať biológov a oslovil kolegu z Michiganskej univerzity. Nebol ním nikto iný, ako už spomínaný William Hamilton...

Skutočné správanie ľudí je zložitejšie, ako spomínaných modelov. Ich "stratégia" sa mení v závislosti od okamžitej situácie aj na základe predchádzajúcich skúseností. Prvky priateľského, altruistického správania sa v nej vždy, viac alebo menej, vyskytujú. Vzájomná spolupráca, niekedy z jasnej vypočítavosti, inokedy na pohľad nezištná, teda nielenže existuje, ale aj sa ľudskému rodu určite vypláca. No matematické modely sú ešte na hony vzdialené od skutočnosti. Napríklad sa ľudia chovajú ináč (lepšie) k niekomu, o kom predpokladajú, že sa s ním budú ešte stretávať a ináč k tomu, koho (ako veria) už nikdy neuvidia (a kto im už prípadný podraz nemôže vrátiť - ale opäť je to zložitejšie, hľa, poznáme starobylé úctivé správanie sa aj k hosťom, ktorí možno už nikdy neprídu - žeby ako k vzácnemu zdroju informácii zo vzdialenejšieho sveta?). Treba tiež zdôrazniť, že výsledky, získané modelovaním podľa teórie hier sú štatistickej povahy a presne tak (nepredvídateľne) sa chovajú aj členovia skutočného ľudského spoločenstva. Hoci stratégia pôžička za oplatenie väčšinou prináša prospech, v niektorých prípadoch môže uspieť, a to aj dlhodobejšie, čisto agresívne chovanie. Podľa toho ľudstvo, ktoré zachováva určitú slušnosť a altruizmus vo vzájomných vzťahoch, mohlo by sa vyhnúť sebazničeniu napríklad v prípadnej tretej svetovej vojne, ak nevzniknú vinou príliš ambiciózných, agresívnych a bezohľadných jedincov za nepriaznivej zhody okolností také excesy, akým by bola napríklad nukleárna svetová vojna. (... mocní tohto sveta sú rôzni - taký Adolf Hitler by sa zrejme nezastavil pred ničím, ale dnes už poznáme postoje kľúčových vedúcich osobností oboch veľmocí, Johna Kennedyho aj Nikitu Chruščova počas karibskej krízy v roku 1961, ktorá hrozila skutočnou treťou svetovou vojnou. Síce hrali politický poker, ale nakoniec, vo vyostrenej situácii

obaja intenzívne hľadali a našli spôsob, ako sa vojne vyhnúť a súčasne "zachovať tvár" oboch veľmocí. V rozhodujúcich krajinách sveta dnes našťastie prevažuje taký spôsob myslenia ľudí, ktorý dosť obmedzuje možnosť presadenia sa autoritárskeho typu politika do postavenia diktátora).

### **Budúcnosť: má ľudstvo nádej prežiť?**

Veda o predvídaní budúcnosti, ktorá sa niekedy nazývala futuroológia, ukázala sa tak nepresnou, že pomenovanie futuroológ získalo až hanlivý nádych (a ľudia, ktorí sa zaoberajú predvídaním budúcnosti sa dnes radšej nazývajú prognostikmi a snažia sa vo svojich predpovediach, na rozdiel od iných, veštcov, predsa len odraziť od nejakých pevných poznatkov). Ťažkosť je v tom, že sa akosi vopred nedá zhodnotiť význam jednotlivých vedeckých a technických objavov ani v blízkej budúcnosti. Ešte pred 40 rokmi sme sa domnievali, že sa v roku 2000 bude bežne lietať na Mars (a dnes vieme, že to nebude ani o ďalších mnoho rokov), o počítačoch a robotoch vládli predstavy ľudom podobných plechových monštier, po predpokladanom ovládaní počasia dnes niet ani stopy a ak sa niečo splnilo, tak hádam iba vidina komunikačných prostriedkov, podobných dnešným mobilným telefónom. Problémy so znečisťovaním životného prostredia či globálnym otepľovaním planéty predpokladala len malá skupina excentrikov mimo hlavného prúdu všeobecne optimistických vízií, namiesto hrozieb teroristov boli predstaviteľmi tohto druhu zla šialení vedci, objavitelia strašnej ničivej sily (a na akú skazu postačí za hrst' plastickej trhaviny v dopravnom lietadle, ponajviac obyčajné dodávkové auto naplnené tou najobyčajnejšou výbušninou...). Zásoby fosílnych zdrojov energie - ropy, plynu, uhlia sa na rozdiel od chmúrnych predpovedí objavujú skoro tak rýchlo, ako ťažia a ľudstvu bezprostredne nehrozí energetická kríza. Čas na zvládnutie riadenej termojadrovej syntézy (podobný dej, ako pri výbuchu vodíkovej bomby, lenže regulovaný), perspektívneho nevyčerpatel'ného zdroja energie, vznikajúcej doslova z vody (presnejšie z vodíka) zostáva vedcom dlhší, ako sme si kedysi mysleli. Väčší problém, ako sa zdalo, je nezdevastovať a neprehriať planétu, na ktorej žijeme. Výnosy v poľnohospodárstve sú stále vyššie a perspektíva výroby geneticky modifikovaných potravín znamená možnosť užiť oveľa viac ľudí (argumenty proti nim sú skôr politické, ako vedecké, tu však niet dosť miesta na podrobný výklad). Ale kolonizácia vesmíru je v nedohľadne: zmeniť prostredie na jedinej perspektívne obývateľnej planéte, Marse by podľa dnešných poznatkov mohlo trvať najmenej desaťročia, skôr storočia a tisícročia. A pravdepodobnosť, že by sa niekto dal naverbovať na

celoživotné cestovanie kozmickou loďou do vzdialeného Vesmíru s neistým koncom je skutočne mizivá. Iba ak naši vzdialení potomkovia nájdu spôsob, ako pomaly premiestniť celú slnečnú sústavu, mohli by hádam kolonizovať iné kúty Vesmíru bez neúnosných stresov. I tak by to určite boli úlohy na tisíce rokov.

V tejto súvislosti sa dotknem aj možného stretnutia s mimozemskými civilizáciami, ktoré by veľmi ovplyvnilo ďalšiu budúcnosť ľudstva. Asi "tam niekde sú", ale pôvodné optimistické výpočty pravdepodobnosti stretnutia s mimozemskou civilizáciou sú dnes značne skorigované. Vznik života na Zemi je dielom zhody množstva okolností, ktorých počet s postupujúcim poznaním stále narastá. Nie je to len hviezda veľkosti Slnka s planetárnym systémom a úžasne vyvážená dráha Zeme s existenciou tekutej vody. Nevyhnutný bol aj presný zásah Pramesiaca, ktorý vytvoril Mesiac ako stabilizátor rotačnej osi Zeme a pravdepodobne vytvoril aj podmienky pre procesy vo vnútri Zeme, ktoré sa zaslúžili o magnetické pole - náš životodarný dáždňik pred slnečným vetrom a doskovú tektoniku, ktorá nám poskytuje síce otriasajúcu sa a soptiacu, no predsa len pevnú základňu pre náš vývoj. Nebudem sa podrobne vracáť k zázraku vzniku nukleových kyselín, ktorý dosiaľ nevieme celkom pochopiť, alebo k náhode, že pozemský život nevyhladili, ale k vývoju cicavcov a ľudí usmernili zrážky s malými kozmickými telesami, ktorých prebytok ďalšou pozoruhodnou zhodou okolností likviduje Jupiter a ostatné obrovské planéty ďaleko za obežnou dráhou Zeme vďaka svojej obrovskej gravitácii. Preto sa domnievam, že civilizácii vo Vesmíre je v skutočnosti veľmi málo a sú, možno riadením láskavého osudu vzdialené v priestore i čase existencie tak, že na seba (našťastie?) nedosiahnu. Povesti o mimozemšťanoch, ktorí sa osobne unúvajú na našu Zem, sú detinské: sotva existujú ľudom podobné bytosti, ktoré by boli ochotné osobne cestovať tisíce (či milióny?) rokov pustým Vesmírom - iné možnosti dnešná fyzika nepozná a sotva bude poznať aj tá o tisíce rokov. Einsteinova teória relativity sa nezdá vyvrátiteľná a z nej jasne vyplýva nereálnosť dlhších medzihviezdnych a akýchkoľvek medzegalaktických letov ľudom podobných bytostí - hádam s výnimkou prežívania v podchladení - hibernácii. Ale dnešné zmrazovanie ľudí v nádeji, že ich v budúcnosti bude niekto schopný oživiť sa dá porovnať s montážou hodín pomocou kamennej sekery: kryštalizácia v priebehu pomerne pomalého ochladzovania (pretože ľudské telo sa nedá schlaďiť tak okamžite, ako baktéria alebo spermia) zrejme nenávratne ničí jemné vnútrobunkové štruktúry. Možno to vyzerá paradoxne, ale skôr si viem predstaviť postupné odsťahovanie celej slnečnej sústavy, ako expedíciu hibernovaných astronautov. Ak sa časom nájde spôsob, ako

## Budúcnosť: má ľudstvo nádej prežiť?

(geneticky?) upraviť metabolizmus ľudského tela podobne, ako funguje metabolizmus zvierat - zimných spáčov, otázka zostane, kto a z akých pohnútok by s takýmto experimentom na sebe alebo svojich deťoch súhlasil. Nakoniec, dosť naivne pôsobia aj nedávne pokusy o aktívny kontakt s cudzími civilizáciami prostredníctvom rádiových signálov: ich intenzita je nepatrná a naopak, sama Zem dnes tak atypicky žiari v pásme rádiových vln, že si ju nevyhnutne bude musieť všimnúť každá vyspelá civilizácia dookola (samozrejme, až tam za stovky, tisíce či milióny rokov dnešné rozhlasové a televízne programy doletia). Pravdepodobnosť, že by naša civilizácia v dohľadnej dobe prišla do styku s nejakou cudzou sa mi teda vidí mizivá a pravdu povediac, skôr som s tým spokojný. Kde máme záruku, že nepôjde o nemilosrdný stret o životný priestor, možno o časti Vesmíru, kolonizovateľné vo výhľade desaťtisícov či státisícov rokov?

Technické problémy ľudstvo doteraz vždy nejako vyriešilo. Je pravdepodobné, že aj v budúcnosti nakoniec nájde zdroje energie, potravy aj spôsob, ako zachovať znesiteľné životné prostredie a hádam dokáže čeliť aj hrozbám, ktoré by prípadne mohli prichádzať aj z kozmického priestoru. Ale dokáže sa ubrániť pred sebou samým?

V roku 1911 Andrew Carnegie, jeden z prvých multimilionárov, ktorí sa vzdali podnikania a venovali takmer celý svoj obrovský majetok v prospech filantropie a vedy, založil v New Yorku Carnegie Corporation. Cieľom bolo podporovať šírenie vedy a porozumenia, pôvodne najmä v USA a anglicky hovoriacich krajinách. V 21. storočí si táto a podobné, stále ďalšie vznikajúce organizácie vytyčujú ako svoj cieľ hľadať možnosti rozvoja celosvetového spoločenstva (jedným z početných Carnegieho nasledovníkov sa stáva napríklad miliardár Bill Gates, otec preklínaného a predsa najviac používaného počítačového operačného systému -Windows). Takéto organizácie majú vlastné prostriedky na výskum, nie sú príliš viazané politickými ohľadmi a ich názory môžu byť objektívnejšie, ako inštitúcii s politickými a ideovými väzbami. Ich analýzy poukazujú na skutočnosť, že hoci sa ľuďom nepochybne žije lepšie, ako predtým, svet sa napriek optimistickým predpovediam nestal oveľa bezpečnejším miestom. Ukončenie studenej vojny, zánik bipolárneho rozdelenia sveta, kedy proti sebe stáli dve jadrové supermoci, pripravené rozpútať svetovú vojnu, vzbudilo nádeje, že hrozba vojen čoskoro pominie. Ale v rozpore s týmto optimistickým očakávaním, za nasledujúce desaťročie vo vojnách zahynuli ďalšie milióny ľudí. Hrozba celosvetovej vojnovéj katastrofy sa zmenšila, pribudli však nové. Svet sa mení, ale tieto zmeny nie sú vždy k lepšiemu. Podľa odhadov Organizácie spojených

národov (ktoré boli vždy nepresné, ale sú lepšie, ako nijaké) bude na Zemi okolo roku 2050 asi 8 miliárd obyvateľov. Tento rast však bude veľmi nerovnomerný, v bohatých krajinách bude žiť asi miliarda z nich a ostatní v chudobných. Hoci ekonomické zisky budú rýchle rásť, ostanú sústredené len v niekoľkých najbohatších krajinách sveta. A tie najchudobnejšie sa môžu stať rozbuškou nových konfliktov. Príčinou nebude hlad, produkcia potravín napriek všetkým ťažkostiam porastie a stá milióny ton ich budú, podobne ako dnes, exportované do rozvojových krajín. Ale už dnes cítiť napätie okolo zdrojov pitnej vody a toto ďalej porastie. Najhoršie dôsledky prinesie urbanizácia chudobných krajín: množstvo ľudí, prúdiacich z vidieka do miest za prácou. Infraštruktúra veľkomiest v chudobnejších krajinách už dnes tento prívál nezvláda, prisťahovalci často nenachádzajú ani prácu, ani prístrešie, narastá kriminalita, sociálne a zdravotné problémy, politická nestabilita hrozí vyústením do nastolenia diktatúry alebo občianskych vojen. Zbrane nie sú problémom, svetoznámy Kalašnikovov samopal AK 47 stojí na čiernom trhu okolo 50 dolárov a jeho výrobná cena je menej, ako 10 dolárov. Dá sa vyrobiť skoro všade. Aj nevyčvičený strelec s ním môže za niekoľko minút zabiť desiatky ľudí. Ani Organizácia spojených národov, ani iné politické organizácie nedokážu zabrániť etnickým konfliktom a vojnám, ktoré sužujú práve tie krajiny, kde síce niet na chlieb, ale peniaze na zbrane sa vždy nájdu. A samozrejme, aj dodávatelia: nie zriedka práve z tých krajín, ktoré sa najhlasnejšie dožadujú ukončenia ozbrojených zrážok a nastolenia mieru. Niektoré štáty, ktoré sú na tom ekonomicky aspoň trochu lepšie, predstavujú inú hrozbu: majú snahu dostať sa k zbraniam hromadného ničenia. Je nepochybné, že potrebné znalosti a technológie budú stále prístupnejšie, dokonca tak, že okrem vlád sa k nim budú môcť dostať aj veľké teroristické organizácie. Svetové mocnosti potom čaká doteraz nepoznaný problém: boj proti neviditeľnému nepriateľovi. Auto, naložené výbušnami nie je nijakým zázrakom techniky, dopravné lietadlo sa dá pri troche šťastia zničiť strelou, odpáľovanou jediným človekom zo zariadenia, ktoré je dnes také veľké a také rozšírené, ako v druhej svetovej vojne bazuka. Možno, že útok na Svetové obchodné centrum v New Yorku v roku 2001 bol začiatkom tejto éry - obdobia, kedy nikde na svete nebude úplne bezpečne.

Hádam nie jediný, ale určite najhumánnejší a najúčinnnejší prostriedok na riešenie týchto problémov by bolo pozdvihnutie hospodárskej a životnej úrovne najchudobnejších krajín. Je to vlastne jedna z foriem altruizmu, ktorá by sa však musela prejavovať na úrovni celých krajín. Za pomoc tým najchudobnejším by najmocnejšie štáty sveta mohli získať zmenšenie hrozby vojen, nepokojov, ilegálneho prisťahovalectva, teroristických útokov. Chudobné krajiny by nemali



## Budúcnosť: má ľudstvo nádej prežiť?

byť hospodársky vykorisťované, ich životné prostredie ničené nemiernou ťažbou surovín, znečisťovaním alebo globálnymi klimatickými zmenami, ktoré, ak nie sú súčasťou nejakého dosiaľ nepoznaného prirodzeného deja, sú spôsobené práve hospodárskou činnosťou najbohatších krajín. Nevyhnutné dohody sa však rodia veľmi pomaly a pravdepodobne sa ani celkom nedodržiavajú - sebecko zatiaľ jasne víťazí. Kam až bude musieť svet zájsť, aby sa spamätal, dnes ťažko odhadnúť. Vidina, že zmena nastane až vtedy, keď sami obyvatelia najbohatších krajín pocítia tlak nepriaznivého vývoja (v podobe živelných pohrôm, terorizmu, nezvládnuteľnej kriminality), nie je príliš radostná.

Niet pochyb, že svet sa už v najbližších desaťročiach zmení. Sú veci, ktorými si môžeme byť istí aj na storočia dopredu. Ľudia budú pravdepodobne vyššej postavy, snád' sa budú dožívať aj o nejaké desaťročia viac. Určite budú menej ohrození hladom, nepriazňou prostredia, hádam aj budú žiť pohodlnejšie. Prístup k informáciám a teda aj ku vzdelaniu sa určite zlepší na celom svete. Nedá sa predpokladať, že akýkoľvek blahobyť by spôsobil, že by sa k sebe správali úplne nezištne priateľsky. Dúfajme však, že medziľudské vzťahy, ak aj budú chladnejšie, nebudú vyslovene nepriateľské. O koľko menej bude starostí o jedlo, o to viac možno bude chýbať priestor, psychická pohoda, možnosť rozvíjať vlastnú osobnosť. Nakoľko technológie vykompenzujú tieto nedostatky, možno aj úplnú stratu kontaktu s prírodou, čo bude trápiť našich potomkov a ako sa oni budú pozeráť na náš dnešný svet, to sú všetko veci, ktoré sa naša generácia určite nedozvie. Na základe doterajších skúseností s predvídanám budúcnosti je isté, že akékoľvek by boli naše dnešné predstavy, boli by sme skutočnosťou tak či tak prekvapení. Rovnako isté je ešte jedno: máme čo robiť, aby nás za naše činy naši potomkovia v blízkej ani ďalekej budúcnosti nepreklínali. A aby nejaká budúcnosť bola aj pre nich...

# Doslov

## alebo Niekoľko viet o zákulisí vedy....

Týchto niekoľko odstavcov sa pôvodnej témy týka len čiastočne. Pridávam ich len kvôli ilustrácii, aký zložitý býva proces získavania nových vedeckých poznatkov. Viac alebo menej pravdivé legendy o tom, ako veľké objavy vznikali šťastnými náhodami alebo vnuknutiami (ako tá o padajúcom jablku, ktoré inšpirovalo Isaaca Newtona k objavu gravitácie, alebo o improvizovanej anténe z drôteného pletiva, určeného na plot, pomocou ktorej boli objavené pulzary), popisujú len výnimočné situácie. Nové objavy bývajú spravidla výsledkom dlhej namáhavej vedeckej práce a neraz prichádzajú až po mnohých predchádzajúcich pokusoch, vedúcich do slepej uličky.

Uchovať si prehľad o najnovších vedeckých poznatkoch nie je také jednoduché. Porozumenie jazyku vedeckých prác, často vrátane zložitého názvoslovia alebo matematického aparátu, nie je jediným problémom. Skutočná veda sa vyznačuje trvalým hľadaním, zmenami, neustálym postupom od pravdivého k ešte pravdivejšiemu. Už vôbec nie je rozprávkovým hľadaním pravdy v zaprášených knihách starých mudrcov. Dogmatický prístup, opierajúci sa o názory autorít, je dávno prekonaný. Za správny sa považuje postup v cykloch objav - jeho vysvetlenie teórie - dôkaz správnosti teórie. Ak sa objaví niečo, čo pôvodná teória nevie vysvetliť, otvára sa priestor pre nové teórie, ktoré treba dokázať a cyklus sa opakuje. Minulosť - ani nie tak dávna bola skoro idylická: ak vedcov niečo poháňalo, tak iba ich zvedavosť a pocit prestíže, snaha vyriešiť problémy skôr, ako kolegovia, čo väčšinou neprekážalo ich spolupráci. Dobrý vedec mal k dispozícii primerané prostriedky, ktoré mu dokázala zabezpečiť univerzita, bohatý mecenáš alebo štátny ústav. Prekážky, ktoré vede stavala do cesty ideológia a spoločnosť už dávno nie sú takého druhu, akým svojho času čelili Giodardo Bruno alebo Charles Darwin. Ale časom do vedeckého skúmania vstúpili aj faktory, pred nejakým storočím temer neznáme: konkurencia, tlak na rýchle výsledky, súperenie o prostriedky na vedeckú prácu. Tieto faktory síce poháňajú výskum vpred, no neraz nepriaznivo poznamenávajú jeho kvalitu.

Poplatnosť voči autoritám a dogmám bývala oddávna a stále ešte je dôvodom, prečo vedec váha zverejniť svoje pozorovanie, alebo svoje výsledky pozmeňuje: odporujú názoru autorít a mohol by nimi poškodiť svoju odbornú

povešť. Tým viac vyniká poctivosť tých, ktorí hľadajú celú a skutočnú pravdu aj za cenu, že môžu stratiť osobnú prestíž. Tak v päťdesiatych rokoch minulého storočia sa v odborných publikáciách uvádzalo že v jadre ľudských buniek je 48 chromozómov (vlákna DNA, nosiče genetickej informácie). Až J.H.Tjio a A.Levan, presvedčení o presnosti svojej práce, ktorou získali iné výsledky, vydali sa pátrať po pôvode tejto informácie. Našli ju v úctyhodnej a nikdy nespochybnenej publikácii vtedajšej autority. Pritom na zobrazených preparátoch našli naozaj len 46 chromozómov (ako ich sami správne napočítali), zmýlila sa autorita pri počítaní do 50... Ich predchodcovia si však po prvé, nedovolili tento údaj spochybniť, a po druhé, ešte horšie, ani sa nenamáhali zisťovať, ako sa mohlo stať, že ich pozorovania sa nezhodujú s ich predchodcami. Iná autorita, nositeľ Nobelovej ceny, zasa použil pri výpočte, ktorým stanovil elektrický náboj elektrónu, nesprávnu hodnotu pre viskozitu vzduchu, takže jeho závery neboli celkom správne. (Okrem iného sa tvrdí aj to, že "zabudol" v svojej správe uviesť meno spoluautora metódy merania.) Jeho merania sa však nikto neodhodlal spochybniť. Ale bolo zaujímavé sledovať výsledky jeho nasledovníkov: každý "nameral" trochu vyššiu hodnotu, až sa nakoniec výsledky ustálili na tej správnej. Experimentátori zjavne upravovali výsledky meraní tak, aby sa príliš neodchýlili od uznávaných. A stávajú sa aj iné veci, a tie už vede a vedcom naozaj nepristanú: tlak okolností či túžba po prestíži viedla až k tak neuveriteľným podvodom ako je prefarbovanie kože pokusných zvierat fixkou, dokonca publikovanie úplne vymyslených meraní. Bežnejšia je však nedbalá vedecká práca, prípadne s upravovaním výsledkov tak, aby zodpovedali predpokladaným (započítavanie povestnej "bulharskej konštanty", novšie definovanej vo vedeckej humoristickej slovesnosti ako číslo, ktorým musíme vynásobiť naše výsledky, aby zodpovedali očakávaným). A dlhú "tradíciu" má aj tvrdohlavé zotrúvanie na vlastnom vedeckom názore ako veci prestíže, ktoré niekedy prerastá až do osobnej nevraživosti. Takéto postoje autorít siahajú do dávnej minulosti a neraz mali za následok dlhodobé brzdenie vedeckého pokroku. O veľkosti jedného z najväčších fyzikov, Nielsa Bohra hovorí práve jeho tolerancia k cudzím názorom - len jeho priatelia vedeli, čo znamená posudok "veľmi, veľmi zaujímavé": takto reagoval na to, s čím vnútorne nesúhlasil... Komeracionalizácia vedy prináša aj vytrhávajúce čiastkové údaje zo súvislostí a ich zverejňovanie v rámci reklamy, propagandy alebo len v obyčajnej honbe za senzáciami. Vedecká komunita sa tomu zvykla brániť tak, že nové objavy sa "uvolňovali pre verejnosť" až po vnútornej oponentúre, až keď boli prediskutované v odborných kruhoch, a uznané za hodnoverné, no tento zvyk sa stále častejšie úmyselne či neúmyselne obchádza.

## Doslov

Napriek všetkým ťažkostiam vedecké poznanie postupuje stále rýchlejšie, hoci nie vždy najsprávnejším smerom. Práve preto vyznať sa v záplave nových informácií nie je ľahké. Aj uznávaní vedci, aj novátori s nádhernými teóriami sa môžu myliť. Najlepší vedci nemusia byť zároveň nadšenými popularizátormi vedy, nadšení popularizátori – majstri komunikácie - môžu záľudne presadzovať svoje nie celkom správne názory. Overovať si všetky údaje z nezávislých prameňov sa dá len ťažko. Aj tak, dnes je dostupných mnoho zdrojov informácií, ktoré obsahujú veľa zaujímavého aj pravdivého. Pokusom o ich zhrnutie, usporiadanie a vyrozprávanie bola aj táto kniha. Snáď sa vydarila...