

John Archibald

**1 + 1 = 1**

Rovnice života  
a symbiotická <sup>®</sup>evoluce

VYŠEHRAD

*Shauně, Cameronovi a Milesovi*

One Plus One Equals One. Symbiosis and the Evolution of Complex Life was originally published in English in 2014. This translation is published by arrangement with Oxford University Press. Vyšehrad is solely responsible for this translation from the original work and Oxford University Press shall have no liability for any errors, omissions or inaccuracies or ambiguities in such translation or for any losses caused by reliance thereon.

Kniha  $1 + 1 = 1$  vyšla původně anglicky roku 2014. Tento překlad vychází v dohodě s nakladatelstvím Oxford University Press. Pouze nakladatelství Vyšehrad zodpovídá za překlad originálního díla, Oxford University Press nenese zodpovědnost za jakékoli chyby, opomenutí či nepřesnosti a nejasnosti v překladu, ani za případné škody z toho vyplývající.

Copyright © John Archibald 2014  
Translation & commentary © Josef Lhotský 2017

ISBN 978-80-7429-817-2

Colin Turnbull (1961) vzal svého pygmejského přítele jménem Kenge a poprvé v jeho životě jej vyvedl z lesa. Vylezli spolu na horu a shlíželi na pláň dole pod sebou. V dálce, hluboko pod nimi, spatřil Kenge ve vzdálenosti několika mil líně se pasoucí buvoly. Obrátil se ke mně a řekl: „Co je to za hmyz?“ Nejprve jsem mu nerozuměl, až pak jsem si uvědomil, že v lesním porostu je viditelnost tak omezená, že zde neexistuje žádná potřeba pro automatickou korekci velikosti viděného podle toho, jak je to od nás daleko. Tady, venku na pláních, Kenge poprvé hleděl přes zdánlivě nekonečné míle neznámé savany. V dohledu nestál ani žádný strom, který by mu mohl poskytnout měřítko... Když jsem Kengovi prozradil, že tím hmyzem jsou buvoly, zařval smíchy a řekl, abych mu nevyprávěl takové pitomé lži.

Richard Dawkins, *The Extended Phenotype*, 1982, str. 7

## Obsah

Poděkování a poznámka 11

Autorova poznámka k českému překladu 15

Úvod 17

1. Život, jak ho neznáme 19

2. Biologická revoluce 30

3. Šípková Růženka jménem symbióza 50

4. Molekulární královna všech říší života 71

5. Z bakterií organelami 84

6. Eukaryotická buňka – kdy, kdo, kde a jak? 106

7. Zelená evoluce, zelená revoluce 139

8. Návrat do budoucnosti 177

Epilog 193

Na závěr 198

John Archibald: O buňkách a lidech... (*Josef Lhotský*) 201

Slovníček 209

Poznámky 211

Rejstřík 236

## Poděkování a poznámka

Nápad sepsat tuto knihu ve mně uzrál večer 4. července roku 2008. Seděl jsem tenkrát ve společnosti dalších asi čtyřiceti lidí (kolegů a kolegyně a jejich manželek a manželů, studentů a známých) v útulné jídelně na vrcholu Citadel Hill, překrásného národního památníku v samém srdci Halifaxu v Novém Skotsku. Šlo o závěrečnou večeři zakončující setkání s názvem *Mitochondrie, ribozomy a buňky: symposium na počest Mika Graye*. Emeritní profesor Michael Gray se chystal do penze. Předcházející dva dny byly vyplněny hovory prakticky o všem, čemu se on i jeho laboratoř věnovali už od roku 1971. Jak jsem tak seděl a poslouchal projevy jeho dávných i současných spolupracovníků, uvědomil jsem si, jak málo toho vím o historii vlastního oboru. Rozhodl jsem se s tím něco udělat. Výsledkem je tato kniha a to, že si ještě více než dřív vážím vědy jakožto procesu poznávání. Rád bych zde ze srdce poděkoval jak Michaelovi, tak svému učiteli a později i příteli Fordu Doolittlovi za patnáct let naplněných inspirací a podporou. A také za to, že mi ukázali, že minulost je pro naše poznání stejně důležitá jako budoucnost.

Před začátkem i v průběhu psaní jsem byl nejednou varován, jak nebezpečné je vyprávět příběhy o vědcích a vědě, kterou dělají. Jako u kteréhokoli textu týkajícího se historických aspektů výzkumu tu hrozí riziko, že ne všichni budou souhlasit s tím, co jsem napsal. Netřeba zmiňovat, že jakékoli faktografické nebo interpretační omyly, najdou-li se takové, padají pouze a jedině

na mou hlavu. Musím též zdůraznit fakt, že v období, kterému se ve své knize věnuji, došlo k celé řadě významných objevů a událostí, které jsem buď pouze nastínil, anebo zcela opominul. Jan Sapp, profesor dějin biologie na kanadské York University, napsal o mnoha tématech, která zde probírám, daleko podrobnější a rozsáhlejší práce – tímto vybízím všechny s hlubším zájmem o vzhled do endosymbiotické teorie, aby se podívali na jeho mnohé články a knihy.\* Janova práce mě hodně naučila a dlužím mu mnohé díky.

V průběhu posledních dvou let jsem nashromáždil řadu dalších dluhů. Rád bych poděkoval profesoru Christopheru Howeovi a Adrianu Barbrookovi za to, jak vlídnými hostiteli byli během mého sabatiku,\*\* který jsem strávil jako hostující pracovník na univerzitě v Cambridgi. Chrisovi, Adrianovi i všem členům Howeovy laboratoře z katedry biochemie vděčím za jejich milou společnost i za všechny společné diskuse. Churchill College sloužila jako domovská základna mnoha slavným vědcům, o nichž tu píšu. I mě má zkušenost z Cambridge obohatila nečekaně inspirativním způsobem.

Hluboce zavázán jsem i nakladatelství Oxford University Press a různým členům týmu za jejich podporu, radu i povzbuzení. Mé největší díky si zaslouží redaktorka Latha Menonová, která k celému projektu svolila. Její rozsáhlá vědecká erudice spolu s profesionálními radami ohledně úprav textu napomohly tomu, že kniha je pro čtenáře daleko stravitelnější. Nikoli menšími díky jsem zavázán i Emmě Maové, která textu pomohla při jeho přechodu z rukopisu do sazby. V neposlední řadě pak děkuji Cathy Kennedyové ze stejného nakladatelství. Úplně na začátku, když jsem začínal psát, mi Cathy moudře poradila, jaké jsou hranice populárně naučné literatury a nač si dát při jejím psaní pozor. Zároveň mi poskytla cenné připomínky k prvním kapitolám.

Část nebo celý rukopis četla (v některých případech i vícekrát) další řada lidí, vědců i nevědců, jimž jsem nesmírně vděčný za je-

\* V češtině vyšla jeho kniha *Genesis: Velký příběh biologie* (Praha, 2015). Pozn. překl.

\*\* Tvůrčí volno vysokoškolských pracovníků. Pozn. překl.

jich povzbuzení i kritické připomínky. V abecedním pořadí jsou to: Martha Archibaldová, Shauna Archibaldová, Andrzej Bodył, Bruce Curtis, Ford Doolittle, Mark Farmer, Martin Embley, Laura Emeová, Victor Fet, Gillian Gileová, Michael Gray, Michelle Legerová, William Martin, John McCutcheon, Michael Melkonian, Nancy Moranová, Thomas Richard, Courtney Stairsová a Max Taylor. Mé díky patří i Lee Wilcoxovi za pomoc s ilustracemi a Eunsoo Kimovi, Evě Nowackové a Takuro Nakayamovi za to, že jsem mohl využít jejich mikrofotografie.

Během svého výzkumu a psaní této knihy jsem mluvil s mnoha akademiky. V některých případech šlo o jediný email, v jiných o dlouhé osobní rozhovory. Několik z nich si zaslouží speciální zmínku. Profesor William Martin z Katedry botaniky na düsseldorfské Univerzitě Heinricha Heineho mi věnoval mnoho svého drahocenného času. Uvedl mě do detailního obrazu endosymbiotického výzkumu a pomohl mi s překlady z němčiny. Velký význam pro mě měly i naše diskuse o výzkumu organel v éře před vznikem molekulární biologie a po něm, jichž se účastnil i profesor Klaus Kowallik. Oba pánové mi laskavě dali k dispozici své archivy, což mi ušetřilo nemálo času a energie. Nick Lane, dlouholetý přednášející na londýnské University College, mi byl stálým zdrojem inspirace a v počátcích mě vybavil rozumnými radami ohledně toho, jak knihu strukturovat. Profesor Tom Cavalier-Smith a emeritní profesor Phillip John mě během mé návštěvy Oxfordu v prosinci 2012 neváhali přijmout u sebe doma. Emeritní profesor Max Taylor mě poctil stejným způsobem během mé návštěvy Britské Kolumbie. Max se se mnou též laskavě podělil o mnohé ze svých vzpomínek. V Portugalsku jsem takto využil pohostinnosti Franciska Carrapika a Ricarda Antose. Oba mi poskytli zajímavé náhledy na povahu vědy a kariéru mnoha vědců, zvláště Konstantina Merežkovského a Lynn Margulisové.

Za inspiraci, buď osobní, nebo zprostředkovanou jejich pracemi, děkuji následujícím lidem: Johnu Allenovi, Stevenu Ballovi, Dabashishi Bhattacharyovi, Nealu Blackstoneovi, Andrzejovi Bodyłovi, Lindě Bonenové, Samu Browserovi, Donaldu Bryantovi,

Martinu Embleyovi, Paulu Falkowskému, Marku Farmerovi, Victoru Fetovi, Arthuru Grossmanovi, Kwang Jeonovi, Andrew Knollovi, Jamesi Lakeovi, Antoniu Lazcanovi, Brianu Leanderovi, Uwe Maierovi, Johnu McCutcheonovi, Geoffu McFaddenovi, Michaelu Melkonianovi, Maureen O'Maleyové, Ewě Nowackové, Thomasi Richardsovi, Andrew Rogerovi, Mary Beth Saffové, Janu Sappovi, Josephu Seckbachovi, Alastairu Simpsonovi a Mitchellu Soginovi.

Z celého srdce děkuji i své rodině za její neochvějnou podporu a povzbuzení během mého tvůrčího volna. Najít si čas na přemýšlení a psaní se často ukázalo překvapivě těžkým úkolem. Když jsem ale večer Cameronovi a Milesovi předčítal Harryho Pottera, celý svět byl v nejlepší pořádku. Moje žena Shauna, mí rodiče i mí sourozenci byli vždy nadšení z toho, kde jsem a co tam dělám. A to dokonce i ve chvílích, kdy já ne. Členům své laboratoře na Dalhousieově univerzitě jsem vděčný za jejich nezávislost a tvrdou práci v době mé nepřítomnosti. Manažerka laboratoře, Marlena Dluteková, si zaslouží mé díky za nekonečné literární rešerše, kterými jsem ji úkoloval, stejně jako za to, jak vše řídila v době, kdy jsem nebyl poblíž, anebo jsem byl duchem nepřítomen. Za finanční podporu svého studijního volna v cizině chci poděkovat Kanadskému institutu pro pokročilý výzkum, konkrétně programu Integrovaná mikrobiální diverzita, a samozřejmě Dalhousieově univerzitě.

John Archibald, listopad 2013



## Autorova poznámka k českému překladu

Je pro mě velkým potěšením, že tato kniha vychází v češtině. Semínka symbiotického myšlení byla v Evropě zasetá dávno předtím, než kdo kdy slyšel o sekvenování DNA či zázracích dnešní mikroskopie. Těchto pár vět bych rád věnoval památce evropských průkopníků symbiózy, žijících v devatenáctém a na počátku dvacátého století. Zvláštní díky bych ale chtěl vyjádřit také svým českým kolegům, s nimiž mě v uplynulých letech spojila práce i přátelství. S radostí musím vyzdvihnout sílu nastupující generace českých vědců pracujících v našem oboru – vždyť i v této knize zdůrazňuji nové, vzrušující objevy biologů z Karlovy univerzity v Praze!

Velmi bych si přál, aby si překlad této knihy našel svou cestu k srdcím českých čtenářů, těch starších stejně jako těch mladých. Tímto též děkuji Josefu Lhotskému za to, že knihu přeložil.

John Archibald, březen 2017

# Úvod

Nacházíme se uprostřed revoluce. Je to revoluce vědecká, postavená na našem porozumění DNA, dědičnému základu života. S využitím nástrojů molekulární biologie prozkoumáváme svět kolem nás způsoby, jaké byly ještě před pár desítkami let zcela nepředstavitelné. Velký nebo malý, vyhynulý nebo stále existující – žádný organismus už před námi neschová svá tajemství. Potřebujete určit a nalézt bakterii, která způsobila epidemii? Žádný problém. Kompletní genetický profil drzého mikroba můžete mít do čtyřiařtyřiceti hodin. Zajímá vás, jak se my lidé lišíme od svých nejbližších příbuzných, dnes vyhynulých neandrtálců? Antropologové vám to povědí, stačilo jim analyzovat DNA extrahovanou z fosilních kostí. S trochou vlastních slin a stovkou dolarů se můžete prohrabovat historií vlastní rodiny způsobem, jaký vám tradiční genealogie nikdy nemůže umožnit. Tatáž technologie vás může upozornit na nebezpečí Alzheimerovy choroby či některých typů rakoviny. Můžete s její pomocí vyřešit zločin. Dokážeme vložit lidskou DNA do bakterií *E. coli*, a ty pak vyrábějí *naš* inzulin. Z mléka transgenních koz louhujeme hedvábné pavoučí proteiny. Sním o řešení energetické krize s pomocí uměle připravených mikroorganismů, které budou produkovat alternativní biopaliva. Dokážeme klonovat své domácí mazlíčky.

Kdy přesně tato revoluce začala a jak, je diskutabilní. Dá se ale říct, že by k ní nikdy nedošlo bez pokroku v oblasti sekvenování DNA. Ikonická dvoušroubovice DNA je žebříku podobná molekula, jejíž příčky tvoří čtyři chemické báze. V sedmdesátých letech se vědcům podařila pozoruhodná věc: zjistili, jak vzít kousek DNA a určit přesné pořadí těchto bází od jednoho konce

molekuly k druhému. Mikrobiolog Carl Woese se o tom vyjádřil jako o vrcholné technologii pro biologický výzkum. Měl k tomu dobré důvody. Sekvence DNA, tvořená čtyřpísmenným textem, v sobě ukrývá geny – souhrnné instrukce k tomu, jak vyrábět proteiny, bez nichž život na buněčné úrovni není možný. Genetická abeceda sama o sobě je jednoduchá, ale informace, kterou uchovává, je komplexní a velmi mocná. S tím, jak jsme se učili tomuto „jazyku života“, učili jsme se zároveň i s životem manipulovat, a to s čím dál větší lehkostí. To vše zcela proměnilo nespočetné oblasti jak základního, tak aplikovaného výzkumu. Věda už nikdy nebude jako dřív.

Je přirozené hledět na biotechnologie jednadvacátého století se směsicí údivu a strachu. Biotechnologie nicméně nejsou až tak nepřirozené, jak bychom si mohli myslet. Ve skutečnosti by žádná biotechnologie neexistovala, nebýt následujících podmínek: Veškerý život na planetě si je navzájem příbuzný. Všechny živé bytosti využívají k udržení a replikaci svého genetického materiálu tytéž základní molekulární procesy. Svě geny čtou pomocí téhož univerzálního genetického kódu, od vombatů po plejtváky, od jaků po kvasinky, od vilejšů po bakterie. Vše živé si je na úrovni DNA podobné. A právě v tom je úžasné kouzlo: evoluce si s molekulárními kostičkami života hrála jako nezbedný stavitel už od samého počátku, tvoříc stále nové a nové organismy s novými biochemickými vlastnostmi. Hrála – a hraje si dosud. Důkazy jsou všude kolem nás. Ve skutečnosti jsme *my* sami takovým důkazem. Stačí se podívat na fungování našich vlastních buněk.

Molekulární biologie nám dovolila ohlédnout se zpět, do více než tři miliardy let vzdálených počátků buněčného života. S její pomocí jsme odhalili, jak z jednoduchých předchůdců dokázaly vzniknout komplexní formy života. Tato kniha vypráví příběh o tom, jak jsme si začali uvědomovat, že naše buňky jsou přirozenými chimérami; stejně jako o tom, jaký význam to pro nás mělo jako pro živé bytosti. Jde o jeden z nejvíc vzrušujících a nejdůležitějších detektivních příběhů vědy. A přesto o něm naprostá většina lidí nikdy nic neslyšela.

## Kapitola 1

# Život, jak ho neznáme

### Jin a jang života

Jaro, léto, podzim a zima – nám obyvatelům mírného pásu dobře známá roční období. Čím dále jdeme od rovníku, tím jsou výraznější a tím více ovlivňují naše životy. Zelenomodrý drahokam jménem Země obíhá Slunce dechberoucí rychlostí třiceti kilometrů za sekundu. Tato cesta trvá naší planetě 365 a jednu čtvrtinu dne a po celou tu dobu se Země točí kolem své osy jako nějaká obrovská dětská káča. Osa rotace je však vůči rovině oběžné dráhy planety skloněna o 23,5 stupně. To se na první pohled možná nezdá jako kdovíjaký úhel, ale roční období se na severní a jižní polokouli střídají právě díky tomuto sklonu. Proto máme v létě delší dny a je tepleji, neboť sluneční paprsky dopadají na povrch pod menším úhlem a po delší dobu. Z pohledu fyziky se jedná o triviální věc. Z pohledu biologie je to naopak jev, který předurčuje podobu celé biosféry.

K úvahám o nádheře živé přírody nic neposlouží tak dobře jako obyčejná procházka. Vyrazit na ni můžete kdykoli, nejkrásnější je to ale ve sluncem prozářených dnech pozdního jara či brzkého léta. Jste-li trochu hraví, sedněte si pod strom a předstírejte, že jste Isaac Newton. Nezáleží přitom, zda si vyberete drobnou jablono, nebo majestátní dub. Relaxujte. Opřete se zády o kmen, podívejte se vzhůru a přemýšlejte o tom, co vidíte. Pokud jste si vybrali opadavý listnáč, na pozadí azurově modré oblohy vám nyní šumí nad hlavou oceán zelených listů, lístků a lístečků. Uvnitř nich dochází k jednom z nejdůležitějších biochemických reakcí na světě.

Za pomoci oxidu uhličitého, vody a trochy živin, které svými kořeny vytáhne z půdy, dokáže strom spoutat energii světla. Toho světla, které k nám ze Slunce putovalo dlouhých sto padesát milionů kilometrů. Jednotlivé fotony projdou skrz vnější krycí pletivo listu do vrstvy palisádových buněk těsně pod povrchem a skončí ve specializovaných buněčných organelách, zvaných chloroplasty. V těchto buněčných „továrnách“ je zachytí chlorofyl, pigment, který rostlinám dává jejich zelenou barvu. To spustí sérii reakcí, na jejímž konci jsou organické látky a coby vedlejší produkt také kyslík. Tomuto procesu říkáme fotosyntéza. S malými obměnami ji můžeme najít prakticky všude: fotosyntézu využívají mečíky na vaší zahrádce, obří sekvoje, sliznaté chuchvalce příbřežních chaluh i pouštní kaktusy. Fotosyntéza probíhá dokonce i v jednobuněčných řasách, které se v podobě planktonu bezcílně potulují oceány. Fotosyntéza je totiž alfou a omegou živého světa.

Společným úsilím všech fotosyntetických organismů, které žily v průběhu uplynulých stovek milionů let, se utvořilo chemické složení zemské atmosféry. Jejich vliv je přitom stále patrný. Během dne a noci se například mění koncentrace oxidu uhličitého. Jak její jméno naznačuje, fotosyntéza neprobíhá bez přítomnosti světla. Na jaře a v létě, kdy jsou stromy obsypány listy a fotosyntetická aktivita jede na plné obrátky, průměrná koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře postupně klesá. Naopak s příchodem podzimu, když listy zežloutnou a zčervenají, rychlost fotosyntézy zpomaluje a oxid uhličitý se v atmosféře opět hromadí. Člověk by si mýsl, že severní a jižní polokoule se při střídání zimy a léta v tomto ohledu navzájem vyruší. Tak tomu ale není. Na té severní je totiž mnohem více pevniny a tím i vegetace, takže spotřeba oxidu uhličitého je zde výrazně vyšší. Následkem toho globální koncentrace oxidu uhličitého kolísá s roční periodicitou – stoupá, když je severní pól nakloněn ke Slunci, a klesá, když je od Slunce odvrácen. Podobně jako my, i naše planeta dýchá.

Na rozdíl od makroskopických struktur, jakými jsou celá rostlinná těla (třeba jablň, borovice nebo chaluha) a na které si můžeme ukázat nebo se jich dotknout, mikroskopické chlo-

roplasty jsou pro naši představivost větším oříškem. Aby ne. Na špičku špendlíku se jich vejde víc než tisíc. Čím přesně jsou tyto maličké továrny na zpracování sluneční energie a odkud se vzaly? Navzdory tomu, že dnes jde o neoddelitelné součásti buněk rostlin a řas, kdysi dávno byly chloroplasty svými vlastními pány a žily samostatným životem. Víme to, protože jejich volně žijící předci jsou stále mezi námi. Tedy... skoro. Existuje totiž významná skupina bakterií, nazývaných sinice, které také provádějí fotosyntézu a jsou v ní velmi dobré. Ve skutečnosti to byly právě sinice, které před dvěma až třemi miliardami let fotosyntézu „vynalezly“. A jakmile přišly na to, že k obživě stačí trocha anorganických látek a slunečního svitu, odhodlaly se k dalšímu kroku. Byl to krok neuvěřitelně významný a jeho důsledkem nebylo nic menšího než to, že se naše planeta zazelenala. Před více než miliardou let se příbuzní dnešních volně žijících jednobuněčných sinic zabydleli uvnitř daleko větší a složitější buňky eukaryotické, která se jim od té doby stala domovem. Chloroplasty rostlin a řas se z těchto sinic vyvinuly procesem, který nazýváme endosymbióza a který označuje těsné spojení dvou původně odlišných forem života, jež splynou do jediné.

Energie, kterou vydáváte na čtení této knihy, pochází taky ze Slunce. Samozřejmě ne přímo, nýbrž jako důsledek procesu zvaného buněčná respirace (a který je vlastně opakem fotosyntézy). Podstatou tohoto děje je spalování organických látek získaných z potravy a ukládání získané energie do sloučeniny zvané adenosintrifosfát (zkráceně ATP), který v buňkách slouží jako univerzální energetické platidlo. Dochází k tomu v dalším druhu jakýchsi malých buněčných továren – v organelách zvaných mitochondrie a spotřebovává se přitom spousta kyslíku. Toho kyslíku, který vyrábějí fotosyntézou rostliny, řasy a sinice a který dýcháme. Každý ví, že kyslík je pro nás nepostradatelný. Stejně významná, ale méně známá je skutečnost, že i mitochondrie jsou vlastně zdomácnělé bakterie, které se do dnešní podoby tak jako chloroplasty vyvinuly endosymbiózou. První náznaky o významu tohoto procesu se poprvé objevily už v polovině devatenáctého

století. Trvalo ale dalších sto let, než se dokázalo, že k endosymbióze v evoluci skutečně došlo a že jde o faktor, který je v evoluci života nutné brát vážně.

Fotosyntéza, při níž organické látky vznikají, a buněčná respirace, při níž se spalují za vzniku buňkou využitelné energie, jsou úzce provázané procesy. Je to takový biochemický jin a jang života. Jakkoli obrovské jsou rozdíly mezi autotrofními a heterotrofními organismy, průtok energie skrze jejich chloroplasty a mitochondrie propojuje život i v těch nejzapadlejších koutech biosféry. Abychom plně porozuměli tomu, jak významnou roli chloroplasty a mitochondrie sehrály v evoluci komplexního buněčného života, musíme se nejprve zamyslet nad rozmanitostí buněk v celé jejich drobné nádheře. A kde jinde začít, než s chodícím a mluvícím inkubátorem pro mikroby, jakým je sám *Homo sapiens*. Podívejme se tedy dovnitř.

## Buněčná džungle

Představte si, jaké by to bylo, kdyby všechno, co jste „vy“, zmizelo. Kdyby se všechny buňky vašeho těla najednou ztratily, co by zůstalo? S tímhle fascinujícím myšlenkovým experimentem přišel v roce 1985 jeden z prvních průkopníků ekosystémové biologie, Clair Folsome. Jeho odpověď byla následující:

To, co by v takovém případě zůstalo, by byl fantomový obraz. Bakterie, houby, hlístice, roupy a všemožní další mikrobiální obyvatelé našich těl by zrcadlili kontury vnějších obrysů těla. Střeva by vypadala jako trubice přečpané anaerobními i aerobními bakteriemi, kvasinkami a dalšími mikroby. Kdybychom se mohli podívat v ještě větším detailu, na místě původních tkání bychom spatřili stovky druhů virů. My lidé opravdu nejsme nijak jedineční, a podobně i každý jiný tvor a rostlina by se pod takovým drobnohledem ukázali být učiněnou zoo nejrůznějších mikroorganismů.\*

\* Viry a bakterie fajn, ale roupy a houby? Poprvé jsem o Folsomově experimentu slyšel na obecném kurzu mikrobiální diverzity a jasně si pamatuji, jak mě to vzalo. Přiznávám, že mi to přijde neuvěřitelné dodneška.

Ačkoliv je nemožné určit to přesně, hrubé odhady nejmenšího počtu buněk, z nichž sestává lidské tělo, hovoří o deseti trilionech. To je číslo se třinácti nulami. Člověk si ho jen stěží představí. Na povrchu a uvnitř lidského těla údajně žije sto trilionů buněk bakteriálních. Samy bakterie tedy převyšují naše buňky v poměru asi deset ku jedné.\* Na střevního komezála *E. coli* si vzpomene každý, spolu s ním ale v našem trávicím traktu žije dalších asi pět set druhů a zhruba stejně tolik obývá i ústní dutinu. Nevláčíme s sebou ale jen bakterie. Ve folikulech našich řas, žvýkajíc naši mrtvou pokožku, dřepí osminozí roztoči. Lidské tělo je ekosystémem, v němž je každý kout a každá skulinka obydlena něčím jiným než „námi“. V tomto smyslu jsme mikrokosmem světa, který obýváme a v němž žádná nika není ani dost malá, ani dost extrémní, aby ji nějaký organismus nevyužil. Světa, v němž živí tvorové snadno navazují intimní vzájemné vztahy kdykoli a kdekoli se k tomu naskytne příležitost. Nejspíš bychom dokázali existovat i bez roztočů, ale na našich bakteriálních souputnících jsme závislí docela – a oni zase na nás.\*\*

Je v lidské povaze zkoumat, třídit a popisovat, a pro tuto naši posedlost udělal v biologii mikroskop totéž co teleskop v astrofyzice: odkryl svět, který byl do té doby v plném slova smyslu neviditelný a vlastně neexistoval. Pro první průkopníky mikroskopie, většinou z řad lékařů snažících se odhalit povahu řádného fungování organismu, byl mikrokosmos na podložním sklíčku stejně obrovský a tajemný jako vesmír pro astronomy. A přece prvotní náhled do světa mikroorganismů nebyl veden motivací pragmatickou, nýbrž čistou snahou o poznání. „Otec mikrobiologie“ dokonce nebyl ani vědcem: Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) byl holandský obchodník s plátny, jehož velkou

---

\* Říká se to, ale není to tak docela jednoduché, viz krásný článek prof. J. Petra, *Vesmír* 95, 266, 2016/5. Pozn. překl.

\*\* Abychom se nenechali příliš unést: je důležité si uvědomit, že ačkoli naše buňky jsou početně ve výrazné menšině, jsou mnohem větší a těžší než buňky bakterií. Ty proto ve výsledku tvoří nanejvýš pár procent naší celkové tělesné hmotnosti a pokud bychom to brali na váhu, jsme definitivně celými lidmi.



vášni byly čočky a optika. Leeuwenhoek nebyl žádná fajnovka. Ve svém volném čase sestavil nejvýkonnější mikroskop své doby a s jeho pomocí zkoumal všechny myslitelné tělní tekutiny. Má se za to, že jako první pozoroval celou řadu buněčných typů, mezi jinými zvláště červené krvinky a spermie, a také pestrou paletu mikroorganismů, o nichž se vyjadřoval jako o „zvířátkách“ (*animacules*). Leeuwenhoek tvrdil, že „v zubním plaku ústní dutiny žije více takových zvířátek, než kolik je lidí v celém království“.<sup>1</sup> Společně s Angličanem Robertem Hookem (1635–1703), tvůrcem termínu „buňka“ a autorem v té době velmi slavného spisu s názvem *Mikrografie*, položili pevné základy pro pozdější vývoj buněčné teorie. Ta říká, že buňka je základní jednotkou organismu a všechny buňky pocházejí z jiných buněk.\*

Po třech stech letech praxe se moderní mikroskopie stala skutečně královskou disciplínou. I v obyčejných světelných mikroskopech můžeme s výjimkou těch nejmenších buněk vidět prakticky vše, a elektronové mikroskopy dokázaly dokonce překonat hlavní limitaci těch světelných: lze s nimi pozorovat objekty menší než vlnová délka viditelného světla (0,5 mikrometru, tj. půl miliontiny metru). Dnes tak můžeme pozorovat i objekt o velikosti nanometrů, a dokonce pikometrů. Mikroskopici studují strukturu buněk podobným způsobem, jakým anatomové studují tkáň a orgány živočichů. Ptají se přitom na tytéž základní otázky. Co jsou základní stavební kameny buněk a jaké jsou jejich funkce? Liší se v tom různé druhy? A jakým způsobem dokáží jednotlivé části spolupracovat tak, aby vytvořily organismus schopný růst a rozmnožovat se?

---

\* Tvrdí se, že Leeuwenhoek vlastnil kopii Hookovy slavné knihy, která jej prý inspirovala. Její celý název zněl *Mikrografie aneb fyziologické črty tělísek nejmenších, pořízené skrze zvětšující skla*. Na rozdíl od Hooka, jenž byl váženým členem Londýnské královské společnosti, Leeuwenhoekovi „skuteční“ vědci nejprve odmítli, neboť jej považovali za bláznivého amatéra. Leeuwenhoekovi moc nepomohla ani skutečnost, že mluvil pouze holandsky a tvrdošijně odmítal prozradit, jak si své čočky vyrábí. Jeho objevy se nicméně ukázaly jako příliš významné na to, aby je věda mohla ignorovat. V roce 1860 tak byl jmenován členem Londýnské královské společnosti.

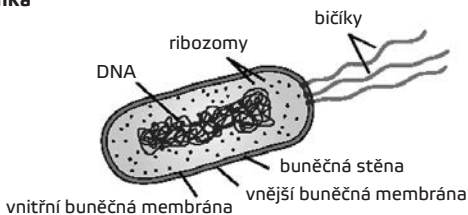
Odpovědi nejenže vypovídají o společném původu všech buněk, ale odhalují nejhlubší, nejzákladnější dělení života. Máločím jsme si v biologii tak jisti jako tím, že na Zemi existují dva a právě jen dva typy buněk: buňky prokaryotní (nebo též prokaryotické) a buňky eukaryotní (nebo též eukaryotické). Možná vám to zní příliš odborně, ale nebojte, není to žádná věda. Stačí se podívat na etymologický původ těchto slov. V řečtině „karyon“ znamená jádro – adjektivum prokaryotní lze tedy přeložit jako „prvojaderní“ nebo „předjaderní“, zatímco přídavné jméno eukaryotní označuje „pravojaderné“, tedy buňky, které mají pravé čili „skutečné“ jádro. Jádro eukaryotických buněk je membránou ohraničený sférický prostor, v němž je v podobě chromozomů uložena většina (ale ne všechna) DNA coby dědičný materiál. Proto se o jádru někdy mluví jako o řídicím centru buňky. I prokaryota mají DNA, ale nemají chromozomy v eukaryotickém slova smyslu a jejich DNA není fyzicky oddělena od cytoplazmy (viz obr. 1).

My lidé jsme eukaryotní organismy, protože jsme vystaveni z eukaryotického typu buňky, stejně jako prakticky každý živý organismus viditelný pouhým okem. Vlastně cokoli živého, nač pomyslíte – jakákoli rostlina, řasa, živočich nebo houba od pekařské kvasinky přes plísně až po hříby – jsou eukaryota. Prokaryota jsou potom to všechno ostatní: jednak „typické“ bakterie, jako jsou například *E. coli* nebo *Salmonella*, a jednak méně známá, ale neméně významná skupina zvaná Archebakterie nebo též Archea.\* Přemýšlení v kategoriích „velký“ a „malý“ nám v rozhodování o tom, zda organismus patří mezi prokaryota, nebo eukaryota, může být nápomocno, ale neplatí beze zbytku. Složitě mnohobuněčné organismy s rozlišenými tkáněmi jsou vždycky eukaryota a obecně též platí, že jednotlivé eukaryotní buňky jsou

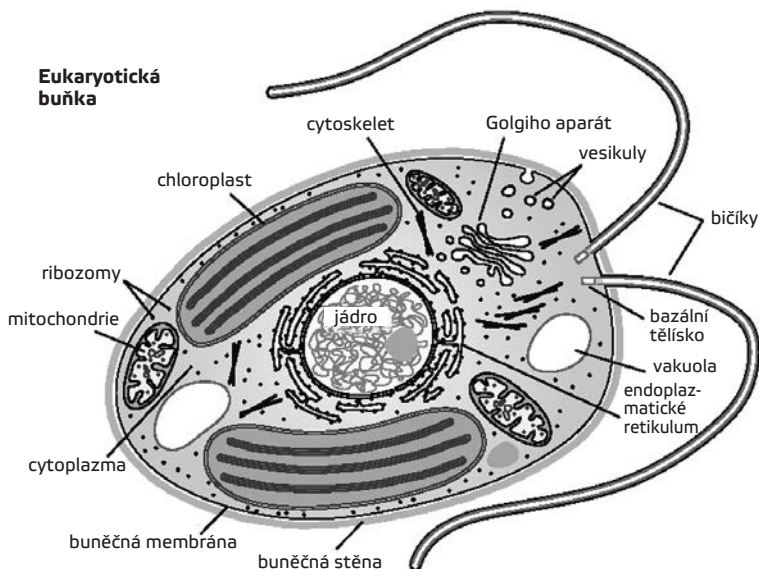
---

\* Prokaryota tu trochu odbudeme, což si určitě nezaslouží. Carl Woese (1928–2012), který v sedmdesátých letech dvacátého století Archea objevil, se o nich vyjádřil jako o třetí doméně života. Měl za to, že Archea se od bakterií liší stejně, jako se bakterie liší od eukaryot. S tím ne každý souhlasil. Těto pozoruhodné skupině prokaryot věnujeme patřičnou pozornost ve čtvrté kapitole.

### Prokaryotická buňka



### Eukaryotická buňka



**Obrázek 1** Schematický průřez prokaryotickou (nahore) a eukaryotickou buňkou. Vnitřní struktury jsou popsány přímo v obrázku. Eukaryotická buňka zde znázorněná představuje buňku fotosyntetizujícího eukaryota. Vidíme v ní jak mitochondrie, tak chloroplasty – světlosběrné orgány rostlin a řas. Prokaryotické buňky jsou typicky mnohem menší než buňky eukaryotické (měřítko na obrázku ale neodpovídá) a z hlediska vnitřní struktury jsou velmi jednoduché. Charakteristickými znaky eukaryotických buněk je přítomnost jádra, mitochondrií, cytoskeletu a endomembránového systému (Golgiho aparátu a endoplazmatického retikula).

mnohem větší než buňky prokaryotní. Například kožní buňka člověka měří něco kolem třiceti mikrometrů, zatímco buňka *E. coli* je dlouhá pouhé dva mikrometry. Existují nicméně i prokaryotičtí „obři“, prokaryotní buňky tak velké, že je lze pozorovat pouhým okem. Stejně tak ale najdeme velké množství jednobuněčných, mikroskopických eukaryot. Mnohem lepším kritériem pro rozhodnutí, kam vlastně buňka patří, je její vnitřní uspořádání. I primitivní jednobuněčná eukaryota, jako třeba kvasinky nebo améby, se svou vnitřní strukturou podobají více buňkám dubu nebo slona než buňkám bakterií a archeí. Vnější vzhled sám o sobě může klamat.

Průkopníci mikroskopie samozřejmě o žádném takovém dělení buněk ještě nic netušili. Zprvu totiž nic netušili ani o existenci buněk jako takových. Termín buňka pochází od Angličana Roberta Hooka, jenž svým mikroskopem v polovině sedmnáctého století při pozorování tenkých řezů korku spatřil a popsal mikroskopické komůrky, vymezené nepravidelnou sítí stěn. Tyto dutinky mu připomínaly klášterní jizby (lat. *cella*, od toho buňka – *cellula*). Stěny, které je oddělovaly, byly ve skutečnosti buněčné stěny, nedělitelná součást rostlinných buněk. Každá buňka je obalena plazmatickou membránou, což je tenký a flexibilní obal bohatý na tuky a proteiny, který si můžeme představit třeba jako stanové plátno. Buňky rostlin mají kolem plazmatické membrány ještě buněčnou stěnu, mnohem pevnější obal z celulózy a jí podobných látek. Ta buňkám umožňuje držet tvar a chrání je proti vysychání a při změnách osmotického tlaku. Buněčné membrány jsou velmi důležité, a zdaleka ne jen proto, že tvoří vnější hranici buňky a jejího okolí. Jsou tváří, kterou buňka nastavuje světu. Povrchem, skrze nějž interaguje s prostředím. A pro mnohobuněčné organismy jsou navíc oním lepidlem, které je drží pohromadě a umožňuje jim tak vytvářet tkáň, jež zase tvoří orgány a orgánové soustavy, z nichž je složen jedinec.

Pokud jde o vnější vzhled, prokaryota se nemají moc čím chlubit. Jejich membrány a buněčné stěny (pokud je mají) jsou

podobné těm eukaryotním. A mimo to tu prakticky není co srovnávat. Prokaryotické buňky jsou typicky oválné nebo tyčinkové, a to jednoduše proto, že postrádají infrastrukturu, která by jim dovoľovala udržet si jakýkoli složitější tvar. Eukaryotické buňky jsou v porovnání s prokaryotickými úplná džungle (viz obr. 1). Jednak obsahují jádro, a jejich cytoplazma kromě toho obsahuje hustou síť zvláštních proteinových vláken a tubulů, tzv. cytoskelet, který buňce udílí mechanickou pevnost a odolnost. Je to takové vnitřní lešení, jež eukaryotickým buňkám umožňuje dosahovat řádově větší velikosti a téměř nekonečné pestrosti tvarů oproti buňkám prokaryotickým. Dobrým příkladem tvarové rozmanitosti eukaryotické buňky může být srovnání konkávních červených krvinek, dlaždicovitých kožních buněk a vláknitých neuronů. Ve všech případech jde o eukaryotickou buňku, kterou můžeme najít v jednom a tom samém organismu. Eukaryotické buňky mají též sofistikovaný systém vnitřních membrán, sloužící k vnitrobuněčnému transportu živin i stavebních látek. Buňky je využívají k vylučování odpadních látek, trávení potravy nebo obecně k přesunu proteinů a dalších makromolekul z bodu A do bodu B. Funguje to podobně jako metro ve velkoměstě: čím větší buňka je, tím důležitější se pro ni tento endomembránový systém stává. Prokaryota nic takového nemají. V cytoplazmě eukaryotických buněk kromě toho najdeme i další organely (jak tomu buněční biologové říkají). Mezi ty nejvýznamnější patří membránou obalené mitochondrie, o nichž si již brzy řekneme víc, a chloroplasty. Mitochondrie buňkám slouží jako jakési malé elektrárny, v nichž se získává využitelná chemická energie, zatímco chloroplasty zachytávají a přeměňují energii světelnou.

Prokaryotní a eukaryotní buňky se od sebe tedy liší přítomností či nepřítomností jádra, cytoskeletu a organel. Ale nejen to. Eukaryotické buňky dokáží nabývat plejády nejrůznějších tvarů a mají vysoce strukturovaný vnitřní prostor. Jednoduše řečeno, jsou mnohem složitější. Mluvím-li v této knize o komplexním životě, mám tím na mysli právě eukaryota. Vedle samotného

vzniku buňky jako takové byla evoluce jejího eukaryotního typu z jednodušší buňky prokaryotní pravděpodobně tou nejdůležitější událostí v historii života. Je to zároveň jedna z největších záhad biologie, už kvůli strašlivé propasti času, která nás od této události dělí. Vědci vůbec netuší, co se dělo mezi tím. Někteří se domnívají, že vznik eukaryotické buňky šel ruku v ruce se vznikem mitochondrií a jejich unikátního způsobu přeměny energie. Jiní na místo mitochondrií dosazují jádro, cytoskelet či další komplexní charakteristiky eukaryotické buňky, které v evoluci mitochondrie předcházely. Díky pokrokům ve výzkumu založeném na analýze DNA je jistá minimálně jedna věc: hlavní roli v evoluci buněčné komplexity hrála endosymbióza, nejprve v případě eukaryot a později ještě při vzniku rostlin a řas. Bez eukaryot by na Zemi neexistovalo nic složitějšího než bakterie. Nebyly by žádné rostliny ani živočichové. A nebyli bychom tu ani my, abychom se zamýšleli nad svou existencí.

## Rejstřík

- Allen, John 13, 159  
Allsopp, Allan 90  
Andersson, Siv 129  
Avery, Oswald 34
- Barbrook, Adrian 12  
Barnett, Edgar 88  
de Bary, Anton 53, 55, 57  
Bennett, Gordon 188  
Berg, Paul 193–195  
Bergey, David Hendricks 76  
Bhattacharia, Debashish 14, 170  
Bock, Ralph 153  
Bodył, Andrzej 13n, 182n  
Bogorad, Lawrence 103  
Bonenová, Linda 14, 85–88, 95n,  
99n  
Bovee, Eugene 122  
Boyer, Herbert 194n  
Brasier, Martin 116  
Brenner, Sydney 39  
Brown, David 88  
Buchner, Paul 187  
Butterfield, Nick 163  
Bybeeová, Joanna 69
- Carrapiço, Francisco 13
- Cavalier-Smith, Tom 13, 119–124,  
131, 133, 174, 180  
Cerff, Rüdiger 152  
Clarck, Andrew 123  
Clarck, Graham 123  
Cohen, Stanley 194n  
Crick, Francis 30, 37–40, 42,  
74–76, 78  
Cronquist, Arthur 93, 96, 101n,  
165  
Cunningham, Scott 88, 98n
- Darwin, Charles 46–49, 73, 76,  
205, 207  
Dayhoffová, Margareta 43n, 104,  
168  
Delbrück, Max 31, 33n, 106  
von Dohlen, Carol 189  
Doolittle, Ford 11, 13, 86–89, 95n,  
99n, 102n  
Doolittle, Russell 117  
Douglasová, Susan 173n  
de Duve, Christian 32, 121, 133
- Ebel, Jean-Pierre 94n  
Eldridge, Niles 63  
Ellis, John 150

- Embley, Martin 13n, 123
- Famincyn, Andrej 58n
- Fet, Victor 13n
- Fitch, Walter 43, 83
- Folsome, Clair 22
- Fox, George 81
- Frank, Albert 53, 55
- Franklinová, Rosalind 37
- Frederick, Jerome 100
- Fukatsu, Takema 189
- Gibbsová, Sarah (Sally) 172n
- Gilson, Paul 174
- Glöckner, Gernot 181
- Gøksøyr, Jostein 90
- Gould, Stephen 62–64, 177, 190n
- Gouldová, Lillian 97, 122
- Gray, Michael 11, 13, 87–89, 98n, 102n, 174
- Greenwood, Dennis 173
- Grey, John 103
- Grossman, Arthur 14, 181–183
- Haeckel, Ernst 42
- Haldane, J. B. S. 50
- d'Herelle, Félix 33
- Herrmann, Reinhold 103
- Hershey, Alfred Day 33n
- Hibberd, David 174
- Hooke, Robert 24, 27, 204
- Howe, Christopher 12, 154, 187
- Huxley, Thomas 46
- Chargaff, Erwin 37
- Chaseová, Martha 33n
- Ishida, Ken-ichiro 181
- Jacob, François 39
- Jahn, Theodore 122
- Jeon, Kwang 14, 106n
- John, Philip 13, 97n
- Klein, Richard 93, 96, 102, 165
- Knoll, Andrew 14, 141, 143
- Kössel, Hans 103
- Kowallik, Klaus 13
- Krebs, Hans 50
- Kurland, Charles 129
- Lane, Nick 13, 59, 110, 137
- Larkum, Anthony 187
- Lauterborn, Robert 178n
- Lee, John 180
- Lockhart, Peter 187
- Lovelock, James 65
- Ludwigová, Martha 173
- Lumière, Auguste 60
- Luria, Salvador 37
- MacLeod, Colin 34
- Mahler, Henry 90
- Maier, Uwe 14, 174, 184
- Maiorana, Virginia 168
- Malthus, Thomas R. 46
- Margoliash, Emmanuel 44
- Margulisová, Lynn 13, 64–69, 86n, 89–93, 98, 100n, 110, 119, 121
- Martin, William 13, 117, 133–135, 137, 151n, 180
- Matthaei, Heinrich 39
- Maynard Smith, John 65
- Mayr, Ernst 69, 83
- McCarty, Maclyn 34
- McCutcheon, John 13n
- McFadden, Geoff 14, 174
- Mehosová, Donna 62
- Melkonian, Michael 13n, 180n



- Merežkovskij, Konstantin 13,  
56–59, 64, 179
- Mertzová, Janet 193–195
- Meselson, Matthew 38
- Mitchell, Peter 112, 114
- Monod, Jacques 40
- Moranová, Nancy 13, 188
- Morgan, Thomas, Hunt 64, 67
- Muller, Hermann 63
- Müller, Miklós 133
- von Nägeli, Carl Wilhelm 57
- Nass, Sylvan a Margita 68
- Nirenberg, Marshall 39
- Norris, Richard 174
- Nowacková, Ewa 13n, 179, 181,  
183
- O'Malleyová, Maureen 133
- Pace, Norman 84, 87
- Palmer, Jeffrey 158
- Pauling, Linus 43n, 78, 84
- Plaut, Walter 66–68, 95
- Portier, Paul 59–62, 64
- Purton, Saul 154
- Raff, Rudolph 90
- Raven, Peter 90, 165
- Reze, Ingo 180
- Richet, Charles 60
- Ris, Hans 66n, 95
- Roger, Andrew 14
- Sagan, Carl 65, 110, 132
- Sagan, Dorion 69
- Sanger, Frederick 43, 78n, 104,  
148, 195
- Sapp, Jan 12, 14, 54, 60
- Schimper, Andreas 57
- Schrödinger, Erwin 30–32
- Schwartz, Robert 104, 168
- Schwarz-Sommerová, Zsuzsanna  
103
- Schwendener, Simon 53–55
- Sogin, Mitchell 14
- Spiegelman, Sol 86n
- Spolsky, Christina 101
- Stahl, Frank 38
- Stanier, Roger 92, 100, 121
- Stent, Günther 31
- Suttle, Curtis 32
- Symonds, Neville 32
- Tachezy, Jan 123
- Taylor, F. J. R. (Max) 13, 89–92,  
101, 104, 173
- Theissenová, Ursula 180
- Timmis, Jeremy 153n
- Twort, Frederick 33
- Uzzell, Thomas 101
- Van Leeuwenhoek, Antoni 23n, 78,  
172
- Van Valen, Leigh 168
- Wallin, Ivan 61–64
- Watson, James 30, 37n, 86
- Weber, Andreas 170
- Weeden, Norman 150n, 170
- Wilson, Edmund Beecher 64, 66
- Woese, Carl 18, 25, 74–76, 78–87,  
95n, 103, 121, 123, 129, 206
- Wolfe, Ralph 80n
- Zuckerkindl, Émile 43n, 78, 84

Edice Spektrum, svazek 3.

John Archibald

**1 + 1 = 1**

Rovnice života  
a symbiotická <sup>®</sup>evoluce

Z anglického originálu One Plus One Equals One.  
Symbiosis and the evolution of complex life, vydaného  
nakladatelstvím Oxford University Press  
roku 2016, přeložil a komentář napsal Josef Lhotský  
Rejstřík připravil Dan Török  
Obálku a grafickou úpravu navrhl Vladimír Verner  
Vydalo nakladatelství Vyšehrad, spol. s r. o.,  
roku 2017 jako svou 1633 publikaci  
Odpovědný redaktor Martin Žemla  
Vydání první. AA 11,86. Stran 240  
Vytiskla Těšínská tiskárna, a. s.  
Doporučená cena 318 Kč

Nakladatelství Vyšehrad, spol. s r. o.,  
Praha 3, Víta Nejedlého 15  
e-mail: [info@ivysehrad.cz](mailto:info@ivysehrad.cz)  
[www.ivysehrad.cz](http://www.ivysehrad.cz)

ISBN 978-80-7429-817-2