

edice **aliter**

Paul
Nurse

Nositel Nobelovy ceny



**BIOLOGIE
V PĚTI LEKCÍCH**
Co je život?

edice **aliter** — svazek **76**

Paul
Nurse

Nositel Nobelovy ceny

Editor Ben Martynoga

BIOLOGIE
V PĚTI LEKCÍCH
Co je život?

Argo a Dokořán 2021

Paul Nurse
BIOLOGIE V PĚTI LEKČÍCH
CO JE ŽIVOT?

Text © Paul Nurse, 2020
Edited by Ben Martinoga
Obálka podle návrhu Paula Duffielda
Translation © Pavel Pecháček, 2021

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována a rozšiřována jakýmkoli způsobem bez předchozího písemného svolení nakladatele.

Druhé vydání v českém jazyce (první elektronické).

Z anglického originálu *What is Life?*

Understand Biology in Five Steps vydaného v roce 2020
nakladatelstvím David Fickling Books přeložil Pavel Pecháček.

Odpovědný redaktor Zdeněk Kárník.

Redakce Marie Černá.

Sazba, obálka a konverze do
elektronické podoby Michal Puhač.

Vydalo v roce 2021 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,

Holečkova 9, Praha 5,

dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,

jako svou 1119. publikaci (362. elektronická).

ISBN 978-80-7675-035-7

Andymu Martynogovi (Yogovi), příteli a otci,
a mým vnoučatům Zoe, Josephovi, Owenovi
a Joshuovi a jejich generaci, která bude muset pečovat
o život na naší planetě

OBSAH

Úvod	9
1 Buňka. Atomy biologie	13
2 Gen. Zkouška časem	23
3 Evoluce přírodním výběrem. Náhoda a nutnost	47
4 Život jako chemický děj. Řád z chaosu	63
5 Život jako informace. Fungovat jako celek	89
Změna světa	117
Co je to život?	136
 PODĚKOVÁNÍ	 157

Úvod

Možná to byl motýl, co mě poprvé přimělo vážně uvažovat o biologii. Jednou časně zjara, když mi bylo asi dvanáct nebo třináct let, jsem seděl na zahradě a přes plot přeletěl žlutý motýl. Otočil se, vzněsl se a na okamžik usedl – dost dlouho na to, abych si všiml složitých žilek a skvrn na jeho křídlech. Poté jej vyrušil stín a on zase odletěl, načež zmizel za druhým plotem. Ten složitý, dokonale zformovaný motýl mě donutil k zamyšlení. Naprosto se ode mě lišil, přesto na něm bylo i něco povědomého. Stejně jako já byl zjevně živý: mohl se hýbat, vnímat, reagovat, působil velice *účelně*. Přistihl jsem se, jak uvažuji: co to doopravdy znamená, být naživu. Zkrátka, co je to život?

O této otázce přemýšlím většinu života, ale najít uspokojivou odpověď není snadné. Možná vás překvapí, že být se vědci s tímto problémem potýkají celou věčnost, zavedená definice života neexistuje. Dokonce i podtitul této knihy, „Co je život?“, jsem si nestydatě vypůjčil od fyzika Erwina Schrödingera, jenž vydal vlivnou knihu se

stejným názvem v roce 1944. Soustředil se především na jeden důležitý aspekt života: jak si živé bytosti dokážou generaci za generací zachovávat tak působivý řád a uniformitu, přestože se nacházejí ve vesmíru, který se podle druhého termodynamického zákona neustále posouvá k neuspořádanosti a chaosu. Tuto otázku Schrödinger vcelku správně pokládal za zásadní a věřil, že rozhodující je porozumět dědičnosti, tedy tomu, co jsou to geny a jak se spolehlivě předávají mezi generacemi.

V naší knize si klademe stejnou otázku – Co je život? – ale vyčerpávající odpověď nám asi neposkytne *pouze* rozluštění dědičnosti. Místo toho se budeme věnovat pěti velkým biologickým myšlenkám, které použijeme jako schody, po nichž postupně vystoupáme výš a výš, abychom získali jasnější představu o tom, jak život funguje. Tyto myšlenky už jsou většinou nějakou dobu známe a jsou všeobecně přijímány jako vysvětlení fungování živých organismů. My ale tyto různorodé ideje nově spojíme dohromady a rozvineme jimi soubor sjednocujících principů definujících život. Doufám, že nám pomohou uzříť živý svět novými očima.

Hned na začátku bych měl přiznat, že my biologové se rozhovorům o velkých myšlenkách a vlivných teoriích často vyhýbáme. V tomto ohledu se docela lišíme od fyziků. Někdy můžeme působit dojmem, že je nám příjemnější pohroužit se do detailů, katalogů a popisů, ať už jde o výčet všech druhů v konkrétním biotopu, počítání chloupků na končetině nějakého brouka nebo sekvenování tisíců genů. Patrně kvůli ohromující, ba až uchvacující rozmanitosti přírody vzniká dojem, že je tak

těžké najít v ní jednoduché teorie a jednotící myšlenky. Zásadní myšlenky podobného typu ale v biologii *existují* a pomáhají nám porozumět životu ve vší jeho spletitosti.

Těmi pěti idejemi, jež si zde objasníme, jsou: „Buňka“, „Gen“, „Evoluce přírodním výběrem“, „Život jako chemický děj“ a „Život jako informace“. Kromě toho, že si vysvětlíme, odkud se vzaly, proč jsou důležité a jak spolu souvisejí, si také ukážeme, že s novými objevy, jež činí vědci po celém světě, se dnes stále mění a dál vyvíjejí. Rovněž okusíme, jaké to je podílet se na vědeckém objevu. Proto vás seznámím s vědci, kteří se o dané pokroky zasloužili, přičemž s některými z nich se znám osobně. Budu vám také vyprávět historiky o svých vlastních zkušenostech s výzkumem v mé laboratoři, včetně tušení, frustrací, šťastných náhod a vzácných, leč nádherných okamžiků, kdy člověk zcela novým způsobem pronikne k podstatě určitého jevu. Mým cílem je podělit se s vámi o rozechvění z vědeckého objevu a o prožitek uspokojení, jež přichází s rostoucím porozuměním přírodě.

Lidská činnost nejspíše tlačí klima a mnoho na něm závisajících ekosystémů na hranici – nebo dokonce za ni – toho, co dokážou snést. Abychom zachovali život takový, jak jej známe, budeme potřebovat veškeré znalosti, které můžeme studiem živé přírody získat. Z toho důvodu bude biologie v následujících letech a desetiletích stále větší měrou usměrňovat naše rozhodnutí ohledně toho, jak budeme žít, rodit se, stravovat, oblékat a léčit. Podíváme se na některé aplikace biologického poznání a obtížné kompromisy, etické nejistoty a nezamýšlené důsledky, jež z toho mohou plynout. Než se ovšem

budeme moct zapojit do rozvíjející se diskuse, která se kolem těchto témat točí, musíme si nejprve položit otázku, co je to život a jak funguje.

Žijeme v obrovském a úžasném vesmíru, avšak život, který prosperuje právě zde, v malém koutě mnohem většího celku, je jednou z jeho nejzáhadnějších a nejvíce fascinujících částí. Pět myšlenek představených v této knize symbolizuje schody, po nichž vystoupáme výš a díky kterým budeme postupně odhalovat principy definující pozemský život. Pomohou nám také zamyslet se nad možnou podobou počátku života na Zemi i nad tím, jak by život vypadal, kdybychom se s ním setkali někde ve vesmíru. Ať už je váš výchozí bod jakýkoli – dokonce i když máte o vědě jen malé nebo vůbec žádné povědomí – chci, abyste v okamžiku, kdy tuto knihu dočtete, lépe chápali, co vás, mě, toho drobného žlutého motýla a všechny živé bytosti na naší planetě spojuje.

Doufám, že se společně přiblížíme poznání, co je to život.

Buňka

Atomy biologie

Buňku jsem poprvé viděl ve škole, nedlouho po svém setkání s tím žlutým motýlem. Ve třídě jsme nechali vyklíčit sazeničky cibule, rozmačkali kořínky mezi sklíčky a vložili je pod mikroskop, abychom se podívali, z čeho se skládají. Můj inspirativní učitel biologie Keith Neal nám vysvětlil, že si prohlížíme buňky, základní jednotky života: pravidelné řady krabicovitých buněk, všechny poskládané do úhledných sloupečků. Bylo nesmírně působivé, že růst a dělení těchto drobných buněk stačí na to, aby se kořeny cibule vtačily do půdy a vyvíjející se rostlina měla dostatek vody, živin a opory.

S tím, jak jsem se o buňkách dozvídal stále víc, pocit úžasu dál rostl. Buňky nabývají neuvěřitelného množství tvarů a velikostí. Většina je příliš malá, než abychom je mohli spatřit pouhým okem – jsou opravdu miniaturní. Kdybychom vzali buňky jisté parazitické bakterie, která napadá močový měchýř, naskládaly by se jich vedle sebe do 1 milimetru celé 3 000. Jiné buňky jsou obrovské. Pokud rádi snídáte vajíčka, uvědomte si, že celý žloutek je jedna jediná buňka. Ohromné buňky se vyskytují i v našem těle. Nalezneme v něm kupříkladu nervové buňky, které sahají od spodní části páteře až ke

konci palce u nohy. Z toho plyne, že každá z nich bývá asi metr dlouhá!

Ačkoli je tato pestrost zarážející, nejzajímavější je, co mají všechny ty buňky společného. Vědci chtěli odjakživa znát totožnost základních jednotek toho, co zkoumají, čehož je nejlepším příkladem atom coby základní stavební jednotka hmoty. Atomem biologie je buňka. Buňky nejsou jen základní stavební jednotky všech organismů, ale jsou též základními funkčními jednotkami života. Tím se myslí, že buňky jsou nejmenšími entitami, jež projevují základní charakteristiky života. Na této skutečnosti stojí myšlenka, které biologové říkají *buněčná teorie*: pokud je nám známo, platí, že vše živé na této planetě je buď buňkou, nebo se ze souboru buněk skládá. Buňka je tou nejjednodušší věcí, o níž lze s konečnou platností říct, že je živá.

Buněčná teorie je stará asi půldruhého století a stala se jedním ze základních pilířů biologie. Vzhledem k významu této myšlenky pro porozumění biologii je překvapující, že jí veřejnost není fascinována ani zdaleka tolik, jak si zaslouží. Snad je to proto, že se většina lidí na hodinách biologie učí přemýšlet o buňkách jako o pouhých základních stavebních kamenech komplexních bytostí. Skutečnost je však mnohem pozoruhodnější.

Příběh buňky se začal psát v roce 1665 zásluhou Roberta Hooka, člena tehdy nedávno vytvořené londýnské Královské společnosti, jedné z prvních vědeckých akademií na světě. Jak už to tak ve vědě často bývá, impulzem jeho objevu byla nová technologie. Jelikož je většina buněk příliš malá, než aby je bylo možné

pozorovat pouhým okem, musel jejich objev počkat na vynález mikroskopu začátkem 17. století. Vědci v sobě leckdy spojují teoretika a zkušeného řemeslníka, a to nepochybně platilo i o Hookovi, jemuž nedělalo potíže prozkoumávat hranice fyziky, stavitelství nebo biologie, a zároveň vynalézat vědecké přístroje. Sestrojil si vlastní mikroskopy, s jejichž pomocí následně prozkoumal neznámé světy skryté mimo dosah prostého oka.

Jednou z věcí, již Hooke pozoroval, byl tenký řez korkem. Všiml si, že korek je tvořen vrstvami uzavřených dutin, které se velmi podobají buňkám ve špičce kořene cibule, jež jsem viděl o 300 let později. Hooke tyto dutinky pojmenoval buňky (*cells*) podle latinského *cella*, což znamená malý pokoj či kóje. Tehdy Hooke nevěděl, že buňky, které nakreslil, nejsou pouze základní složkou všech rostlin, nýbrž života vůbec.

O další zásadní objev se nedlouho po Hookovi postaral nizozemský badatel Antoni van Leeuwenhoek, když objevil jednobuněčný život. Všiml si mikroskopických organismů plovoucích v rybníční vodě a rostoucích v plaku, který si seškrábl ze zubů, což pro něj bylo znepokojivě zjištění, neboť si na své ústní hygieně velmi zakládal. Těmto nepatrným tvorům dal roztomilé, dnes však již nepoužívané jméno „animalcula“ neboli „zvířátka“. Organismy, které prosperovaly na jeho zubech, byly ve skutečnosti vůbec první popsané bakterie. Leeuwenhoek narazil na zcela novou doménu drobných jednobuněčných živých forem.

Dnes víme, že bakterie a další mikrobiální buňky (mikroskopický organismus schopný žít v podobě jediné

buňky se obvykle označuje jako mikrob) jsou zdaleka nejběžnější a nejrozmanitější pozemskou formou života. Obývají všechna prostředí od nejvyšších vrstev atmosféry po hlubiny zemské kůry. Bez nich by se život zastavil. Rozkládají odpad, vytvářejí půdu, recyklují živiny a vychytávají ze vzduchu dusík, který živočichové a rostliny potřebují k růstu. A pokud jde o naše vlastní tělo, zjistili vědci, že na každou z jeho 30 či více bilionů buněk připadá minimálně jedna buňka mikrobiální. Vy a ani žádná jiná lidská bytost nejste izolovanou, samostatnou entitou, nýbrž obrovskou a neustále se měnící kolonií složenou z lidských a mimolidských buněk. Těmito buňkami jsou mikroskopické bakterie a houby, které žijí *na* nás i *uvnitř* nás a ovlivňují to, jak trávíme potravu a čelíme nemocem.

Před 17. stoletím ale o existenci těchto neviditelných buněk neměl nikdo ani potuchy, natožpak o tom, že fungují na stejných základních principech jako všechny ostatní, viditelnější formy života.

V průběhu 18. a počátkem 19. století se mikroskopy i mikroskopické techniky zdokonalily a vědci brzy buňky nacházeli v nejrozmanitějších organismech. Někteří začali spekulovat, že se ze shluků těchto „animalkulí“, které Leeuwenhoek rozpoznal o několik generací dříve, skládají všechny rostliny i živočichové, a po dlouhém zrání se nakonec zrodila plnohodnotná buněčná teorie. V roce 1839 shrnuli botanik Matthias Schleiden a zoolog Theodore Schwann vlastní výzkumy i práce mnoha jiných badatelů a napsali: „Zjistili jsme, že všechny organismy se skládají z v podstatě podobných částí, totiž buněk.“

Věda dospěla k zásadnímu závěru, že buňka je základní stavební jednotkou života.

Důsledky tohoto zjištění se ještě prohloubily, když si biologové uvědomili, že každá buňka je sama o sobě živá. Tuto představu vystihl průkopnický patolog Rudolf Virchow, který v roce 1858 napsal, že „každý živočich je podle všeho sumou živých jednotek, přičemž každá z nich disponuje všemi charakteristikami života“.

To znamená, že všechny buňky jsou samy o sobě živé. Tento fakt biologové nejjasněji dokazují, když odebírají buňky z mnohobuněčného těla živočicha nebo rostliny a nechávají je žít ve skleněných nebo umělohmotných nádobách, často v takzvaných Petriho miskách s plochým dnem. Některé takto získané buněčné linie rostou v laboratořích po celém světě už desítky let. Vědcům umožňují studovat biologické procesy bez nutnosti potýkat se s komplexitou celého organismu. Buňky jsou aktivní, pohybují se, reagují na okolí a jejich obsah je neustále v pohybu. V porovnání s celým organismem, jako je zvíře či rostlina, může buňka vypadat jednoduše, ale je nepochybně živá.

V buněčné teorii, tak jak ji formulovali Schleiden a Schwann, zůstala ale jedna důležitá mezera. Nepopisovala, jak vznikají nové buňky. Tato mezera se zacelila, když biologové zjistili, že buňky se množí dělením, a usoudili, že vznikají vždy rozdělením již existující buňky na dvě dceřiné. Virchow tuto myšlenku zpopularizoval latinským rčením „*omnis cellula e cellula*“, tedy že každá buňka vzniká z buňky. Toto úsloví pomohlo čelit tehdy stále oblíbené, leč mylné představě, že život vzniká

nepřetržitě a samovolně z neživé hmoty. To opravdu nevzniká.

Buněčné dělení je základem růstu a vývinu všech organismů. Je to první zásadní krok na cestě od uniformního oplozeného vajíčka živočicha v hroudu buněk, které se díky tomuto procesu posléze přemění ve vysoce komplexní a organizovanou živou entitu – embryo. Všechno to začíná u buňky, která se rozdělí a dá vzniknout dvěma buňkám, jež si mohou osvojit odlišnou identitu. Na stejném procesu stojí celý následný embryonální vývin – opakující se buněčná dělení, po nichž dozráváním buněk do podoby stále specializovanějších tkání a orgánů vzniká čím dál propracovanější zárodek. Z toho plyne, že všechny živé bytosti, bez ohledu na velikost nebo složitost, povstávají z jediné buňky. Asi bychom si buněk vážili trochu víc, kdybychom si připomínali, že každý z nás býval kdysi jedinou buňkou. Opakovaný růst a dělení buněk je základem toho, jak život ve vší své bohatosti a rozmanitosti roste a vyvíjí se.

Buněčné dělení vysvětluje také zdánlivě zázračný způsob, jímž se tělo samo uzdravuje. Kdybyste se řízli o hranu této stránky, ránu by vám pomohlo zacelit – a zachovat tak tělesné zdraví – lokalizované buněčné dělení okolo řezu. Schopnost těla podnítit opakované buněčné dělení má ovšem i stinnou stránku: rakovinu. Rakovina je zapříčiněna nekontrolovaným růstem a dělením buněk, jejichž zhoubnost se může šířit a poškozovat celé tělo, nebo je i zahubit.

Růst, oprava, degenerace i zhoubnost souvisejí se změnami vlastností našich buněk, v nemoci i ve zdraví,

v mládí i ve stáří. Ve skutečnosti lze většinu nemocí vysledovat až na úroveň špatného fungování buněk. Pochopení, co se v nich pokazilo, je základem vývoje nových léčebných metod.

Buněčná teorie nepřestává mít dopad na směřování biologického i lékařského výzkumu a zásadně ovlivnila i trajektorii mého vlastního života. Když se mé třináctileté já zadívalo do mikroskopu a spatřilo buňky ve špičce kořenu cibule, zmocnil se mě zájem o buňky a jejich fungování. Když jsem začínal jako biologický výzkumník, rozhodl jsem se studovat buňky, zejména pak to, jak se množí a regulují své dělení.

Buňky, s nimiž jsem v 70. letech začal pracovat, byly kvasinky, o nichž si většina lidí myslí, že jsou dobré leda tak pro výrobu piva, vína nebo chleba, nikoli k řešení základních biologických problémů. Ve skutečnosti jsou však vynikajícími modelovými organismy pro pochopení, jak fungují buňky složitějších organismů. Buňky kvasinek se pozoruhodně podobají rostlinným a živočišným buňkám. Jsou také malé, poměrně jednoduché, rychle rostou a jsou poměrně nenákladné, krmí-li se obyčejnými živinami. V laboratoři jsme je pěstovali buď volně plovoucí v tekutém živném médiu, nebo na povrchu agaru v plastové Petriho misce, kde vytvářejí krémově zbarvené kolonie o šířce pár milimetrů, přičemž každá kolonie obsahuje miliony buněk. Navzdory, nebo lépe řečeno díky své jednoduchosti nám kvasinky pomohly porozumět, jak se dělí buňky většiny organismů, včetně těch lidských. Poměrně hodně z toho, co víme o nekontrolovaném buněčném

dělení rakovinných buněk, se nejprve zkoumalo na obyčejných kvasinkách.

Buňky představují základní jednotky života. Jsou to individuální živé entity obklopené membránami, které jsou tvořeny lipidy. Nicméně tak jako najdeme v atomech elektrony a protony, obsahují i buňky mnoho menších součástí. Dnešní mikroskopy jsou velmi výkonné a biologové s jejich pomocí uvnitř buněk odhalují komplikované a často velice krásné struktury. Těm největším, které jsou obalené svou vlastní membránou, se říká *organely*. Řídicím centrem buňky je *jádro* (nucleus), které obsahuje genetické pokyny zapsané na chromozomech. Dále zde najdeme *mitochondrie*, kterých mohou být v jediné buňce i stovky. Ty fungují jako miniaturní elektrárny, jež buňky zásobují energií potřebnou k růstu a přežití. Buňky obsahují ještě celou řadu schránek či přihrádek, jež plní sofistikované logistické funkce, budují, odbourávají nebo recyklují buněčné části, přepravují materiál do buňky i z ní a transportují jej na různá místa uvnitř ní.

Všechny organismy ale nejsou založené na buňkách, které obsahují organely obalené membránou a složité vnitřní struktury. Podle přítomnosti či nepřítomnosti jádra obklopeného membránou se život dělí do dvou hlavních větví. Organismy, jejichž buňky obsahují jádro, například živočichové, rostliny a houby, označujeme jako *eukaryota*. Těm bez jádra říkáme *prokaryota* a dělí se na bakterie a archea. Archea se co do velikosti a stavby podobají bakteriím, ale ve skutečnosti jsou si obě skupiny jen vzdáleně příbuzné. Z hlediska molekulárních

pochodů se archea v některých ohledech podobají více eukaryotům, jako jsme my, než bakteriím.

Kriticky důležitou součástí buňky, prokaryotické i eukaryotické, je její vnější membrána. Ačkoli má tloušťku pouze dvou molekul, představuje pružnou „hradbu“ či bariéru, která každou buňku odděluje od jejího okolí, čímž určuje, co se nachází „uvnitř“ a co „vně“. Tato bariéra je klíčová z filozofického i praktického hlediska. Koneckonců vysvětluje, jak živý svět úspěšně odolává všeobecnému tíhnutí vesmíru k neuspořádanosti a chaosu. Uvnitř izolujících membrán mohou buňky nastolit a rozvíjet řád, který potřebují, aby mohly fungovat. Současně vytvářejí ne-řád ve svém vnějším okolí. Takto se život vyhýbá porušování druhého termodynamického zákona.

Všechny buňky detekují změny svého vnitřního stavu i stavu okolního světa a reagují na ně. Takže i když jsou oddělené od prostředí, v němž žijí, jsou se svým okolím v těsném kontaktu. Jsou také neustále aktivní a snaží se zachovávat stav svého vnitřního prostředí, které jim umožňuje přežít a prosperovat. To mají společné s lépe pozorovatelnějšími tvory, například motýlem, kterého jsem sledoval jako dítě, a ostatně i s námi.

Buňky ve skutečnosti sdílejí mnoho základních rysů s nejrůznějšími živočichy, rostlinami a houbami. Rostou, množí se, zachovávají samy sebe a při vykonávání všech těchto činností působí, že jednájí účelně: usilují o to vytrvat, zůstat naživu a rozmnožit se, ať se děje cokoli. Všechny buňky, od bakterií, jež Leeuwenhoek našel na svých zubech, až po neurony, které vám umožňují číst

tato slova, sdílejí uvedené vlastnosti se všemi živými bytostmi. Porozumění funkci buněk nás přivádí blíže pochopení, jak funguje život.

Základem existence buňky jsou geny, k nimž se dostaneme v následující části. Geny kódují instrukce, které každá buňka používá k vybudování a uspořádání sebe sama. Při reprodukci buněk i organismů se tyto geny musejí předávat každé nové generaci.