

Nick Lane

KYSLÍK

Molekula, která stvořila svět



argo / dokořán

Nick Lane

KYSLÍK

Molekula, která stvořila svět

DOKOŘÁN

Nick Lane

KYSLÍK

Molekula, která stvořila svět

Oxygen was originally published in English in 2002. This translation of revised edition printed in 2016 is published by arrangement with Oxford University Press. Dokoran 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.

Kyslík poprvé vyšel anglicky v roce 2002. Tento překlad revidovaného vydání z roku 2016 vychází po dohodě s nakladatelstvím Oxford University Press. Za překlad z původního vydání je odpovědné výhradně nakladatelství Dokořán a Oxford University Press nenese odpovědnost za žádné chyby, vynechávky, nepřesnosti ani nejednoznačnosti v překladu ani za žádné škody způsobené spoléháním na něj.

© Nick Lane 2002, 2016

Translation © Pavel Pecháček, 2020

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 *Oxygen. The Molecule that Made the World*

přeložil Pavel Pecháček.

Odpovědný redaktor Zdeněk Kárník.

Redakce Marie Černá.

Obálka a sazba Michal Puhač podle návrhu Pavla Růta.

Vydalo v roce 2020 nakladatelství Dokořán, s. r. o., Holečkova 9, Praha 5,

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

jako svou 1085. publikaci (346. elektronická).

ISBN 978-80-7363-166-6

Pro Anu

OBSAH

KAPITOLA 1.	Úvod	9
KAPITOLA 2.	Na počátku	23
KAPITOLA 3.	Mlčení věků	35
KAPITOLA 4.	Zápalná šňůra kambrické exploze	57
KAPITOLA 5.	Bolsoverská vážka	77
KAPITOLA 6.	Zrada ve vzduchu	103
KAPITOLA 7.	Zelená planeta	125
KAPITOLA 8.	Hledá se LUCA	139
KAPITOLA 9.	Portrét paradoxu	161
KAPITOLA 10.	Antioxidační stroj	183
KAPITOLA 11.	Sex a umění tělesné údržby	199
KAPITOLA 12.	Jez! Nebo budeš žít navždy	219
KAPITOLA 13.	Odchylování pohlavních rolí	233
KAPITOLA 14.	Za hranicí genů a osudu	261
KAPITOLA 15.	Život, smrt a kyslík	289

Poděkování 315

Doporučená literatura 317

Slovníček 335

Rejstřík 347

ÚVOD

ELIXÍR ŽIVOTA – A SMRTI

Kyslík se nedá snadno zařadit. Už od jeho objevu v 70. letech 18. století byly jeho vlastnosti a chemická povaha mezi učenci a šarlatány předmětem hádek a polemiky neutichající ani v současnosti. Kyslík se oslavuje jako elixír života – zázračné tonikum, lék proti stárnutí, zkrášlovací kúra či účinná léčebná terapie. Vedle toho se pojí s rizikem požáru a považuje se za nebezpečný jed, který časem může člověka dokonce zabít. Články o zdraví určené široké veřejnosti podávají protichůdné informace. Na jednu stranu se říká, že vdechování čistého kyslíku v celosvětově rozšířených „kyslíkových barech“ a zdravotnických zařízeních působí přímo zázračně, na druhou stranu se tvrdí, že opačný přístup, tedy hypoxická terapie – simulace pobytu ve vysokohorském prostředí, což vyžaduje eliminaci nadbytečného kyslíku – přináší zdravotní výhody spjaté se střídmostí. Terapie, jež pracují s takzvaným „aktivním“ kyslíkem – ozonem a peroxidem vodíku – se nabízejí jako zázračné metly na bakteriální infekce nebo jako lék proti rakovině. Zároveň jsme však poučováni, že tajemstvím dlouhého života je konzumace velkého množství antioxidantů, které nás před týmiž „aktivními“ formami kyslíku ochrání. Zdá se, že kyslík přitahuje nesmysly a dezinformace jako magnet.

Jakkoli jsou tyto informace zmatečné, shodují se v jednom: kyslík je důležitý. Koneckonců když přestaneme dýchat, během pár minut zemřeme. Naše tělo je obdivuhodně vybavené na to, aby kyslík dodávalo do každé z více než 30 bilionů našich buněk. Veškerá symbolika rudé krve ve výsledku spočívá v jednoduché chemické vazbě mezi kyslíkem a hemoglobinem v červených krvinkách. K nejhorším obavám člověka patří dušení a topení, tedy fyzický nedostatek kyslíku. Když uvažujeme o planetě bez kyslíku, vytane nám na mysli krajina bez života posetá krátery, místo jako Měsíc nebo Mars. Přítomnost kyslíku v atmosféře planety patří k rozhodujícím důkazům života: voda signalizuje možnost existence života, ale kyslík znamená, že se ta možnost naplnila – pouze život totiž dokáže zajistit uvolňování kyslíku do vzduchu v dostatečně velkém množství. Pokud se po nás žádá, abychom uvedli rozumný důvod, proč nekácet deštné pralesy a neznečišťovat oceány, můžeme prohlásit, že tyto ohromné zdroje jsou „plícemi“

světa, jež Zemi zásobují životodárným kyslíkem. Jak uvidíme, není to pravda, ale dokládá to úctu, v níž kyslík chováme. Patrně není zas tak překvapivé, že od tohoto plynu bez barvy a zápachu očekáváme mystické či léčebné vlastnosti.

Tato kniha je o životě, smrti a kyslíku. Pojednává o tom, jak a proč život kyslík vytvářel a adaptoval se na něj. O evoluční minulosti a budoucnosti pozemského života. O energii a zdraví, o nemoci a smrti, o pohlavním rozmnožování a regeneraci. A o nás samotných. Význam kyslíku spočívá ve věcech, jež si většina z nás dokáže jen těžko představit a které zdaleka překonávají halasná tvrzení o jeho vlivu na zdraví. Než se však na tu cestu vypravíme, musíme si vymezit oblast, jež nás zajímá. Je kyslík elixírem, jedem, nebo obojím? Jak poznat, kde je rozdíl? Nejsnazším způsobem, jak to zjistit, je vrátit se zpět časem, k počátkům našich znalostí.

Už samotný objev kyslíku byl kontroverzní. Zásluhy za tento počín se obvykle dělí mezi anglického duchovního a chemika Josepha Priestleyho, švédského lékárníka Carla Scheeleho a francouzského výběřčího daní a otce moderní chemie Antoina Lavoisiera. Scheele byl z těch tří prvních, nicméně se příliš spoléhal na nejisté vody aristokratické záštity a výsledky zveřejnil teprve po šesti letech. Priestley žádný podobný problém neměl. V roce 1774 vyrobil kyslík tak, že nechal dopadat sluneční světlo na oxid ruťnatý, a zanedlouho na toto téma sepsal tři svazky. Scheele a Priestley by získali veškeré uznání, nebýt toho, že ani jeden plně nepochopil význam nového plynu. Oba si uvědomovali, že čistý kyslík podporuje hoření - Scheele jej dokonce nazýval „ohnivým vzduchem“ - jenže oba o spalování uvažovali z hlediska chybné teorie, konkrétně názoru, že během hoření se do vzduchu uvolňuje neviditelná substance zvaná flogiston (nikoli že se kyslík spotřebovává). Domnívali se, že kyslík je čistý „deflogistonovaný“ vzduch, z něžž byl veškerý znečišťující flogiston odstraněn.

Lavoisier, politický konzervativce, který udělal zásadní převrat v chemii, tuto překroucenou teorii nedlouho před Velkou francouzskou revolucí zavrhl. Byl to on, kdo nám zanechal název kyslík a kdo nakonec dokázal, že kyslík je reaktivní složkou vzduchu.* Lavoisier tvrdil, že hoření je reakcí kyslíku s uhlíkem či jinou chemickou látkou. V rámci slavného pokusu ukázal, že diamanty císaře svatého říše římské (složené z uhlíku) se při zahřívání za přítomnosti kyslíku vy-

* Název kyslík, respektive jeho francouzská podoba oxygène (anglicky oxygen a latinsky oxygenium) je odvozena z řečtiny a znamená „kyselinu tvořící“, a to kvůli mylnému přesvědčení, že kyslík je nezbytný pro vznik veškerých kyselin. V některých případech, například u kyseliny sírové či dusičné, tomu tak skutečně je, leč u jiných, třeba kyseliny chlorovodíkové, nikoli.

paří (vzniká oxid uhličitý), ale že když se kyslíku v přístupu zabrání, zůstanou vcelku. Diamanty jsou věčně pouze za nepřítomnosti kyslíku. Lavoisier šel ještě dál. Zachytáváním plynů a přesným měřením pomocí ultracitlivých vah ukázal, že hoření a dýchání jsou ve své podstatě stejným procesem – při obou se za vzniku oxidu uhličitého a vody spotřebovává kyslík a látky obsahující uhlík a vodík.

Lavoisier se stále zabýval vážením plynů vypouštěných při dýchání a pocení, když jej vyrušili vojáci revolučního tribunálu doprovázení vášnivým davem. Nádělal si několik mocných nepřátel, mezi nimiž byla i vůdčí osobnost revoluce Jean Paul Marat. Lavoisier byl usvědčen ze směšného zločinu ředění tabáku určeného pro vojáky a přivlastnění si daňových výnosů, které náležely státu, a v květnu 1794 byl sťat. Jak řekl matematik Lagrange: „Setnout tuto hlavu trvalo jen chvilku, avšak zrod další takové bude trvat možná i sto let.“

Jenže tento slavný příběh objevu kyslíku je pravděpodobně chybný. Nejenže kyslík jako první připravili alchymisté, ale také velmi dobře pochopili jeho význam. V roce 1604, tedy 170 let před Scheelem, Priestleyem a Lavoisierem, polský alchymista Michal Sendivoj ze Skorska napsal, že „člověk byl stvořen ze Země a žije ze vzduchu; jelikož ve vzduchu se nachází tajná strava života... jeho neviditelný vykrystalizovaný duch je lepší než celý svět.“ Sendivoj postuloval, že tato „vzdušná potrava života“ obíhá mezi vzduchem a zemí jako jedna nepříliš obvyklá sůl – dusičnan draselný neboli salnytr.* Když se dusičnan draselný zahřeje na více než 336 °C, rozkládá se a uvolní se kyslík, jež alchymisté znali jako *vzdušný ledek*. Sendivoj zjevně věřil, že objevil elixír života, „bez kterého by žádný smrtelník nepřežil a bez nějž na světě nic neroste ani nevzniká“. Jeho myšlenky nezůstaly jen v rovině teorie. Je takřka jisté, že Sendivoj vyrobil kyslík zahříváním dusičnanu draselného, a své metody možná vyložil i nizozemskému vynálezci, alchymistovi Corneliu Drebbelovi, zapomenutému hrdinovi renesanční vědy.

Drebbel přišel v roce 1621 s krásnou ukázkou praktické využitelnosti kyslíku. Po zhotovení věčně pohyblivého stroje (zdánlivého perpetua mobile) poháněného sluneční energií a různých chladicích zařízení či automatů pro Jakuba I. Stuarta postavil Drebbel první ponorku na světě. Jakub I. Stuart stál na břehu Temže a v doprovodu tisíců poddaných sledoval její první šestnáctikilometrovou plavbu z Westminsteru do Greenwiche. Dřevěná ponorka s dvanáctičlennou

* Dusičnan draselný (KNO₃, dříve také ledek draselný) se projevuje jako ze vzduchu vysrážený bílý povlak na řádně pohnojených půdách (obsahují dusík). Má několik pozoruhodných vlastností. Kromě toho, že se jedná o výborné hnojivo, používal se i ke konzervaci masa a jako lidový léčivý prostředek. Pokud se ledek přidal do nápoje, zchladil jej stejně dobře jako led, ale požil-li se jako lék, měl silný oteplovací účinek. Lučavka královská (směs kyseliny dusičné a kyseliny chlorovodíkové, známá též jako aqua regia neboli „ohnivá voda“) dokáže rozpustit zlato, kterážto schopnost byla mezi alchymisty žádaná. Dusičnan draselný je mimoto hlavní složkou střelného prachu, který v 9. století vyvinuli čínští alchymisté.

posádkou pod vodou podle všeho zůstala tři hodiny. Většina zájmu se soustředila na to, jak Drebbel během této doby zajistil, aby se veslařům obnovoval vzduch. Dle výpovědí očitých svědků, jež o několik let později (v roce 1660) rozebíral významný chemik Robert Boyle, použil Drebbel k obnově „životně důležitých“ složek vzduchu láhev s „tekutinou“ (jiní mluvili o plynu):

Drebbel věřil, že to, co činí vzduch vhodným k dýchání, co se spotřebovává, není celá vzdušná substance, nýbrž její konkrétní podstata či oživující součást. Zbývající, větší díl substance, respektive zdechlina (mohu-li to tak nazvat) vzduchu, nedokáže uchovat plamen života, jenž v srdci sídlí... Z toho důvodu, když si [Drebbel] čas od času všiml, že se kvalitní a čistší část vzduchu spotřebovala ... do špatného vzduchu, aniž by plavidlo plné této kapaliny zastavil, rychle vypustil tolik životodárné složky, že vzduch opět na hodnou chvíli učinil příhodným k dýchání.

Drebbelovi se pravděpodobně podařilo na základě pokynů od svého učitele Sendivoje naplnit láhve plynným kyslíkem, který vyrobil zahříváním dusičnanu draselného. Sendivoj, Drebbel a Boyle zjevně o vzduchu uvažovali jako o směsi plynů, z nichž jedním je kyslík, plyn nepostradatelný pro život. Pochopili, že dýcháním či hořením se kyslík v uzavřených prostorách ze vzduchu vyčerpává. Boyle na dýchání a spalování pohlížel nepochybně podobně – životní oheň přebývající v srdci – i když si neuvědomoval, jak moc jsou si obě reakce ve skutečnosti podobné. Boyleův současník a člen Královské společnosti, John Mayow, šel ještě dál: ukázal, že vzdušný ledek (kyslík) vdechovaný do plic dává tepenné krvi její rudou barvu. Tvrdil, že vzdušný ledek tvoří běžnou součást vzduchu, který jej „dodává ohni jako potravu a ze vzduchu se dýcháním dostává i do krve živočichů... Onou vzdušnou potravou ohně podle všeho není vzduch sám, nýbrž jeho aktivnější a nepatrnější část.“ Jinak řečeno, oprostíme-li se od Mayowova archaického slovníku, měl o kyslíku již v roce 1674 překvapivě moderní představu.

Za těchto okolností působí Priestleyho náklonnost k flogistonové teorii (myšlenka, že hoření uvolňuje neviditelnou substanci) o sto let později skoro komicky, třebaže rozhodně nebyl sám. Zkoumání vzduchu vedené klamným flogistonem tápalo po většinu století v mlze. Na základě výsledků pokusů se flogistonu v závislosti na požadavcích připisovala kladná, nulová i záporná hmotnost. I ti, kteří Priestleymu přiznávají zásluhy za objev kyslíku, uznávají, že lpění na této teorii mu nedovolilo spatřit skutečný význam svého objevu.* Z jiného úhlu pohledu byl však Priestley podivuhodně prozíravý. Nepředvídal pouze léčebné uplatnění

* Abychom k Priestleymu byli spravedliví, dodejme, že si byl problémů flogistonové teorie dokonale vědom. Flogiston srovnával se světlem a teplem, jež se také nedají zvážít (tehdy ani dnes).

kyslíku (jemuž nadále říkal deflogistonovaný vzduch), ale i potenciální rizika s ním spojená. V knize *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (Experimenty a poznatky o různých druzích vzduchu) publikované v roce 1775 přemítal o vlastních zkušenostech s vdechováním čistého kyslíku:

Pocit, který to vyvolalo v plicích, se prakticky nelišil od dýchání obyčejného vzduchu; měl jsem však dojem, že po nějakou chvíli zůstala má hrud zvláště lehká a uvolněná. Lze jen dodat, že z čistého vzduchu se časem možná stane módní luxusní položka... Vzhledem k tomu, jak silně a energicky se v tomto čistém vzduchu rozhoří plamen svíčky, se lze domnívat, že v některých patologických případech, kdy běžný vzduch nepostačuje k dostatečně rychlému odstranění hnilobných výparů, bude plicím nadmíru užitečný. Avšak z těchto experimentů lze též vyvodit, že ačkoli čistý deflogistonovaný vzduch [kyslík] může být velmi užitečný coby lék, nemuselo by být jeho užívání vhodné v případě, kdy je tělo zdravé. Jelikož podobně jako svíčka, která v deflogistonovaném vzduchu hoří rychleji než v tom běžném, bychom mohli, dá-li se to tak říct, **žít příliš rychle** [Priestleyho zdůraznění] a živočišné síly by se v takovém čistém typu vzduchu vyčerpaly příliš rychle. Moralista by snad prohlásil, že vzduch, jímž nás obdařila příroda, je tak dobrý, jak si zasluhujeme.

Každý, kdo dnes v „kyslíkovém baru“ inhaluje čistý kyslík, se nad Priestleyho svéráznou analogií a mravními názory jistě pousměje, ale s podstatou těchto poznámek by nesouhlasilo jen málo badatelů. Za pozornost stojí, že Priestley jako první vyslovil domněnku (pokud je mi známo), že kyslík může urychlovat stárnutí. Toto varování zůstalo jeho současníky, kteří ještě před koncem století začali věřit v léčebný potenciál kyslíku, nevyslyšeno. Navzdory podezřením se jeho toxicitu nepodařilo doložit ještě několik set let.

Prvním člověkem, který kyslík využil k terapeutickým účelům, přinejmenším ve velkém měřítku, byl Thomas Beddoes. Beddoes založil roku 1798 v Bristolu Pneumatický ústav pro inhalační plynovou terapii, kde zaměstnal vynikajícího mladého chemika Humphryho Davyho. Ti dva se pokoušeli léčit choroby do té doby pokládané za neléčitelné. Naneštěstí byli při výběru pacientů přespříliš ambiciózní a jejich léčba měla jen malý klinický přínos. Horší bylo, že nečistoty v plynu pacientům často přivodily zápal plic. (Je možné, že zápal plic paradoxně nezpůsobovaly jen nečistoty: zapříčiní jej i čistý kyslík.) Kvůli těmto potížím i nejistým dodávkám kyslíku byl ústav v roce 1802 uzavřen. Davy svou zdejší činnost později popsal jako „sny špatně využitého génia, kterého světlo experimentu a pozorování nikdy nepřivedlo k pravdě“.

Podobné střídání nadějí a neúspěchů se opakovalo většinu 19. století. Problémy s nečistotami a různorodost metod, jak plyn pacientům podávat, způsobily,

že nikdy nevznikl klinický konsenzus. Někdy se kyslík inhaloval přímo z masky či vaku. Jindy se nechával probublávat přes kbelík s vodou umístěný poblíž postele, zatímco se směrem k pacientovi naháněl vzduch z místnosti. Neúspěch zaručen. S tak nesourodými postupy a takřka nulovým systematickým srovnáváním nijak nepřekvapí, že výsledky byly rozporuplné. Zastánci kyslíkové terapie slibovali zázračnou léčbu (v souvislosti s takovým zánětem plic možná oprávněně), ale hlasy z hlavního medicínského proudu zůstávaly většinou nevzrušené a tvrdily, že přínos je pouze dočasný, popřípadě že kúra má zklidňující, nebo dokonce jen domnělý účinek. Rozkol ještě umocnili obyčejní mastičkáři a šarlatáni, kteří naivním lidem podstrkovali tajný přípravek známý jako „složený kyslík“. Některá tvrzení z 80. let 19. století se pozoruhodně podobají těm, jež dnes zaznívají od zastánců terapie „aktivním kyslíkem“. Etičtí provozovatelé kyslíkových terapií tato tvrzení odmítali a dodnes odmítají.

Medicínský zájem o kyslíkové terapie vzrostl poté, co se vynořilo velké množství nepodložených zpráv, z nichž vyplývalo, že vysoký parciální tlak kyslíku skutečně ovlivňuje zdravotní stav. Například se zjistilo, že pacienti trpící zápallem plic, kteří žijí v místech s vysokou nadmořskou výškou a nízkým tlakem kyslíku – třeba v hlavním městě Mexika – mají vyšší šanci na uzdravení, když se přesunou do níže položených plání, kde je tlak kyslíku vyšší. Podobně se pacientům s kardiovaskulárními chorobami obecně lépe daří na úrovni hladiny moře než ve vysoké nadmořské výšce. Americký lékař Orval Cunningham, jehož tyto zprávy zaujaly, dospěl k názoru, že vyšší barometrický tlak by účinek mohl ještě zesílit. Po řadě zjevných úspěchů pomohl jeden vděčný klient financovat stavbu vůbec největší hyperbarické (přetlakové) komory. Vznikla roku 1928 v Clevelandu ve státě Ohio a jednalo se o dutou ocelovou kouli o průměru 20 metrů s pěti poschodími, která vyvíjela tlak o zhruba dvojnásobku atmosférického tlaku na úrovni hladiny moře. Stála milion dolarů.

Cunningham svou obrovskou ocelovou kouli zařídil jako hotel, v němž nechyběl kuřácký salonek, restaurace, drahé koberce a soukromé pokoje. Naneštěstí použil stlačený vzduch, nikoli kyslík, takže celkový tlak kyslíku nebyl vyšší než ten, kterého lze za zlomek ceny dosáhnout s použitím masky. A co hůř, spíš než aby léčil pacienty trpící například zápallem plic či kardiovaskulárními chorobami, jimž by procedura prospěla, poskytoval terapii nemocným cukrovkou, zhoubnou chudokrevností a rakovinou, a to na základě mylného předpokladu, že všechny tyto potíže zapříčiňují anaerobní (kyslík nesnášející) bakterie. Ani jeho záměry, ani jeho výsledky neudělaly dojem na Americkou lékařskou asociaci, která projekt označila za „daleko podbarvenější ekonomickými zájmy než vědecky podloženou medicínou“. Ocelová koule přežila jen pár let, než byla v roce 1942 rozebrána a prodána do starého železa, čímž se podpořilo americké válečné úsilí.

Cunningham si měl počínat lépe. Navzdory nejednoznačné historii kyslíkové terapie obor na vědecký základ nakonec počátkem 20. století postavil význačný skotský fyziolog John Scott Haldane (otec biologa J. B. S. Haldanea). Haldane byl odborník na hyperbarickou medicínu a během první světové války využíval kyslík k léčbě zranění způsobených plynným chlorem. Své zkušenosti shrnul v průlomové knize *Respiration* (Dýchání), která vyšla v roce 1922 a v níž zastával názor, že některé pacienty s dýchacími, oběhovými a infekčními obtížemi lze léčit soustavnou inhalací kyslíku. Tvrdil, že důsledná kyslíková terapie nemá jen zmírňující účinky, nýbrž i zastavuje ničemný degenerativní cyklus, neboť dává tělu příležitost znovunastolit zdravou rovnováhu.

Haldaneovy principy jsou základem moderní kyslíkové terapie, nicméně ani dnes přesně nechápeme, nakolik je tato terapie přínosná. Rozsáhlý klinický pokus, shrnutý v květnu 2000 na stránkách časopisu *New England Journal of Medicine*, ukázal, že inhalace osmdesátiprocentního kyslíku po dobu dvou hodin snižuje ve srovnání s běžnou procedurou (třicetiprocentní kyslík během dvou hodin) riziko infekce rány po kolorektálním zákroku na polovinu. Zjištění, že něco takto prostého má za následek tak velký rozdíl, je povzbudivé. Potěší ale i fakt, že léčba, která je v takřka totožné podobě dostupná přes dvě stě let, se na počátku 21. století stále dostává na titulní stránky lékařských časopisů. Kdyby nic jiného, dokládá to, do jaké míry může vědeckému pokroku bránit bezmyšlenkovitá profesní reakce na nafouknutá tvrzení mastičkářů a šarlatánů.

Haldane počátkem 20. století naznačoval, že k obezřetnosti je další důvod – možná toxicita kyslíku. Sám k tomu napsal:

Musíme mít na paměti i pravděpodobné riziko spojené s dlouhodobým podáváním čistého kyslíku, a bude-li třeba, porovnávat jej s rizikem, které představuje trvajících nedostatek kyslíku. Nelze stanovit žádné pevné pravidlo. Vhodný způsob další léčby musí po pečlivém pozorování určit na základě svých zkušeností a znalostí lékař.

Je pochopitelné, že lékaři upřednostňovali minimalizaci rizika. Ale jaká zde vlastně panují nebezpečí? Haldaneova opatrná formulace způsobila, že rizika vyznívala spíše teoreticky, nicméně kyslík umí, zejména pod vysokým tlakem, vyvolat děsivé fyzické reakce, což Haldane díky svému výzkumu na poli hyperbarické medicíny dobře věděl.

Toxicita kyslíku se za normálních okolností projevuje pozvolna, respektive na první pohled není patrná. Kyslíkovou terapii podstupuje v nemocnici mnoho lidí, tráví dny a někdy i týdny v kyslíkových stanech nebo kyslík vdechují v barech, aniž by to mělo škodlivé následky. Kosmonauti často celé týdny bez přestávky

dýchají čistý kyslík, byť se tlak ve vesmírných modulech udržuje na třetině hodnoty tlaku atmosférického, což odpovídá vdechování třiáctiprocentního kyslíku. Rozdíl, jaký tlak způsobuje v koncentraci kyslíku v atmosféře vesmírného plavidla, vysvětluje, proč v roce 1967, poté co Apollo 1 zachvátil požár, zemřeli při provádění pozemských testů tři kosmonauti. Ve vesmíru je uvnitř modulu udržován vždy vyšší tlak, než jaký vyvíjí okolní vakuum, což znamená, že vesmírná loď je postavená tak, aby vydržela větší tlak zevnitř než zvenku. Aby se tento rozdíl dodržel i v případě Apolla 1, byl tlak v lodi vyšší než atmosférický, ačkoli se test odehrával na Zemi. Loď byla naneštěstí i přesto plněna čistým kyslíkem. To znamená, že místo atmosféry, jež odpovídá 33 procentům kyslíku, kosmonauti ve skutečnosti vdechovali vzduch odpovídající 130 procentům kyslíku. V této atmosféře bohaté na kyslík způsobila jiskra z elektrických obvodů nekontrolovatelný požár, který během minut dosáhl teploty 2 500 °C.

Kyslík s sebou ovšem nepřináší jen hrozbu požáru: zhoubné účinky má i jeho dýchání. Toxicita závisí na koncentraci a na tom, jak dlouho je v dané koncentraci vdechován. Většina lidí může čistý kyslík dýchat den či dva, nicméně delší doba už představuje riziko. Pokud koncentrace kyslíku v důsledku stlačení plynu ještě vzroste, začnou být toxické účinky dramatické.

Pochopení, že je kyslík jedovatý, má kořeny ve zkušenostech prvních potápěčů koncem 19. století. Potápěči byli zranitelní, poněvadž s sebou nosili dýchací přístroje a obvykle dýchali čistý kyslík. Tlak vody kyslík v přístroji stlačoval. Dýchání čistého kyslíku v hloubce větší než asi 8 metrů způsobuje záchvaty podobné velkému epileptickému záchvatu (grand mal) - pokud potápěč pod vodou ztratí vědomí, následky mohou být katastrofické.

Kyslíkové křeče poprvé systematicky popsal francouzský fyziolog Paul Bert, profesor fyziologie na pařížské Sorbonně. Ve slavné monografii o barometrickém tlaku z roku 1878 rozebíral vliv kyslíku na zvířata vystavená různým tlakům v hyperbarické komoře. Velmi vysoká koncentrace způsobila křeče a v řádu minut smrt. O dvě desetiletí později, v roce 1899, skotský patolog James Lorrain Smith ukázal, že stejně smrtelný účinek, byť po delší době, může mít i nižší hladina kyslíku. U zvířat vystavených vzduchu se 75 či více procenty kyslíku (za normálního tlaku) se po několika dnech objevil tak silný zápal plic, že uhynula. Z toho důvodu se dávkování kyslíku v nemocnicích vždycky přísně kontroluje. Mezi potápěči se však obavy z křečí a poškození plic staly něčím zcela běžným. Potápěčská terminologie si dodnes připomíná jména Paul Bert i James Lorrain Smith. Naneštěstí pro Smithe se vzhledem k jeho neobvyklému jménu a zvyku říkat si J. Lorrain Smith projev úcty změnil v Lorrainův-Smithův efekt.

Zatímco mnoho potápěčů si dávalo pozor, aby se při vdechování čistého kyslíku neponořili příliš hluboko, námořnictvo si podobnou opatrnost vždy

dovolit nemohlo. V příručce Britského královského námořnictva z roku 1942, která specifikuje, jak uniknout z ponorky, byli námořníci instruováni, aby si dávali pozor na příznaky otravy kyslíkem: „Brnění prstů, šhubání svalů (zejména kolem úst). Pokud není zjednána náprava, nastoupí křeče následované bezvědomím a smrtí.“ Námořní potápěči si za války vymysleli mytické monstrum, Kyslíkového Petea, který na dně moře číhal na neopatrné potápěče, aby je zneužil. Otrava kyslíkem se v této době popisovala jako „dostat Petea“.

Rozhodně bylo potřeba získat o jedovatosti kyslíku, výdrži člověka a plyných směsích důkladnější znalosti. Královské námořnictvo pověřilo J. B. S. Haldanea, aby šel ve stopách svého otce. Haldane, který odjakživa zastával myšlenku, že člověk má být svým vlastním pokusným králíkem, vystavil sebe i své spolupracovníky kyslíku v různých koncentracích a za rozdílných tlaků, načež zaznamenával, jak dlouho trvalo, než se dostavily křeče.* Dýchání čistého kyslíku při tlaku sedmi atmosfér vedlo ke křečím během pěti minut. Později napsal:

Křeče jsou velmi silné a v mém případě poškození způsobilo, že i po roce mě stále bolí záda. Trvaly asi dvě minuty a následovala po nich slabost. Probudil jsem se ve stavu krajního zděšení, během nějž jsem se marně pokoušel uniknout z ocelové komory.

Jeho snahy byly každopádně úspěšné. Královské námořnictvo tajně vyvinulo rozličné směsi dusíku s kyslíkem (nitrox), jež snižovaly riziko otravy kyslíkem i dusíkové narkózy (popřípadě kesonové nemoci). Směsi používaly britské jednotky Commandos při obraně Gibraltaru během druhé světové války a byly drženy v takové tajnosti, že na ně námořnictvo Spojených států amerických přišlo až v 50. letech. Díky používání směsí kyslíku s dusíkem mohli britští potápěči operovat ve větších hloubkách. Hlavním prvkem britské taktiky bylo lákat nepřátele do hlubokých vod, dokud je nechromily křeče. Útok kyslíkem: Albion je vskutku proradný!

Dýchání kyslíku ve vysoké koncentraci je zjevně toxické. Při tlaku vyšším než zhruba dvě atmosféry způsobuje kyslík křeče a někdy i smrt. Kyslík je zodpovědný

* Ve slavném eseji o autoexperimentech „On being one's own rabbit“ (Být svým vlastním pokusným králíkem), který vyšel v roce 1928, Haldane napsal, že „dělat psovi totéž, co se dělá průměrnému studentovi medicíny, vyžaduje povolení podepsané ve třech kopiích dvěma arcibiskupy“. Rovněž pokládal za zvláštní, jak málo chemiků přemýšlí o tom, jaké ve skutečnosti je stávat se kyselejším, zásaditějším či ředěnějším.

za asi pětinu atmosférického tlaku, což znamená, že pokud je člověk obklopen čistým kyslíkem o dvou atmosférách, je vystaven desetinásobku běžné hladiny. Při nižší koncentraci není pravděpodobné, že by kyslík vyvolal křeče, nicméně život ohrožující poškození plic může způsobit i několikadenní vdechování čistého kyslíku při normálním atmosférickém tlaku (pětinásobek běžného stavu). Výsledný zápal plic brání člověku správně dýchat. Paradoxní je, že kyslík se potom nedostává z plic do krevního řečiště, takže vlastně umíráte na nedostatek kyslíku v těle. Při nižší hladině (40 či 50 procent, respektive dvojnásobek oproti běžné situaci) se plíce obvykle nepoškozuji a nadále fungují, ačkoli nakonec k poškození dojít může. Za těchto okolností se zbytek těla situaci přizpůsobí zpomalením srdečního tepu a produkcí menšího množství červených krvinek. Takové přizpůsobování vede k opačným změnám, než jsou ty, jež nastanou při kyslíkové deprivaci ve vysokých nadmořských výškách. V obou případech dostává tkáň ve výsledku stejné množství kyslíku jako dřív, ani víc, ani míň. Podobné adaptace dokládají, jak je neměnná hladina kyslíku v těle důležitá. Zároveň to znamená, že z vysoké ani nízké hladiny kyslíku nemůžeme mít dlouhodobý užitek, vyjma situací, kdy jsme nemocní a trpíme patologickým nedostatkem kyslíku.*

Domnívám se, že většina lidí nemá problém s myšlenkou, že příliš mnoho kyslíku není nic dobrého - všeho moc zkrátka škodí. Stejně tak není nic kontroverzního na myšlence, že na mírné výkyvy reagujeme znovuzavedením fyziologického *statu quo*. Něco docela jiného je prohlásit, že 21procentní obsah kyslíku je toxický a časem nás zahubí. To je jako říct, že navzdory milionům let evoluce se stále nedokážeme adaptovat na koncentraci kyslíku, kterou nás příroda obklopila. Takové tvrzení je mírně řečeno v rozporu s intuicí, přesto je základem takzvané „volnoradikálové“ teorie stárnutí. Ta v podstatě říká, že stárnutí, a tedy i smrt, je způsobeno celoživotním dýcháním kyslíku. Kyslík je tudíž nejen nezbytný pro život, ale zároveň představuje primární příčinu stárnutí a smrti.

O volných radikálech už asi slyšelo hodně lidí, byť často mají jen matnou představu, oč se vlastně jedná. Většina biologicky důležitých volných radikálů jsou jednoduché reaktivní formy molekulárního kyslíku, jež poškozují biomolekuly (podrobně tyto formy probereme v šesté kapitole). Bez ohledu na to, jestli způsobují křeče a náhlou smrt, pomalé poškozování plic nebo ultrapomalé stárnutí, vždycky působí stejně: za všemi podobami jedovatosti kyslíku stojí vznik volných radikálů z kyslíku. Jak řekl významný alchymista z 16. století Paracelsus: zda bude látka působit jako jed, závisí na dávce. Křeče jsou způsobeny

* Stačí, aby sportovci, kteří trénují ve vysoké nadmořské výšce, několik dní nebo týdnů závodili na úrovni mořské hladiny, a o veškeré výhody přijdou. Když trénujeme ve vysoké nadmořské výšce, tvoří se nám více červených krvinek, abychom ze vzduchu vstřebali více kyslíku. Jakmile se vrátíme na úroveň mořské hladiny, produkci menšího množství červených krvinek se znovu přizpůsobíme vysoké úrovni kyslíku. Výhody nikdy nepřechájejí adaptaci.

ohromným přebytkem volných radikálů činných v mozku, poškození plic zase menším přebytkem působícím v plicích. Volné radikály ale nejsou výlučně toxické. Oheň by bez volných radikálů nemohl existovat. Podobně i fotosyntéza či dýchání. Když s pomocí kyslíku získáváme energii z potravy, musíme vytvářet volné radikály coby meziprodukty. Tajemstvím veškerých chemických pochodů spojených s kyslíkem, ať už je považujeme za „dobré“ či „špatné“, je tvorba volných radikálů.

Představa, že dýchání kyslíku způsobuje stárnutí, je ve své obvyklé formulaci elegantně jednoduchá. Při buněčném dýchání neustále v každé buňce našeho těla vznikají volné radikály. Většinu z nich zlikviduje antioxidační obrana, která jejich účinek neutralizuje. Problém je, že tato obrana není dokonalá. Určitá část volných radikálů sítí proklouzne a může poškodit životně důležité součásti buněk či tkání, jako jsou DNA a bílkoviny (proteiny). V průběhu života se tato poškození postupně hromadí, dokud nakonec nezničí schopnost těla zachovat vlastní celistvost. Tento pozvolný úpadek známe jako stárnutí.

Podle tohoto obvyklého, leč zjednodušeného vysvětlení platí, že čím víc antioxidantů sníme, tím víc se před poškozením volnými radikály ochráníme. Z toho důvodu jsou pro nás dobré ovoce a zelenina: obsahují mnoho antioxidantů. Dnes svou stravu mnoho lidí doplňuje silnými antioxidanty v přesvědčení, že jim potrava tyto látky neposkytuje v dostatečném množství. Logický závěr zní, že pokud konzumujeme dostatek správných antioxidantů, odsouváme stárnutí a nemoci stárí na neurčito. To nám bývá vnucováno jako „antioxidační zázrak“.

Pravda je poněkud komplikovanější, ale daleko zajímavější. Lze říct, že kyslíkové volné radikály stárnutí sice způsobují, avšak důsledky jsou téměř přesně opačné, než bychom očekávali. I kdybychom se ládovali těmi nejsilnějšími antioxidačními doplňky, svůj život bychom nijak výrazně, řekněme na 150 či 200 let, neprodloužili. Ve skutečnosti mohou antioxidační doplňky naopak vést ke zvýšené náchylnosti k některým chorobám. Antioxidanty jsou jen vedlejšími aktéry v rozsáhlém souboru adaptací, jež si život kvůli přítomnosti kyslíku ve vzduchu vytvořil. Jejich roli porozumíme, pouze pokud o nich budeme uvažovat v kontextu všech dějů. Život na rizika a možnosti kyslíku reaguje adaptacemi, což má zásadní důsledky.

Podívejme se na několik příkladů. Třeba taková fotosyntéza - tvorba organických sloučenin rostlinami, řasami a některými bakteriemi s využitím sluneční energie - dnes představuje základ téměř veškerého života na Zemi. Je pravděpodobné, že fotosyntéza (při níž jako odpadní produkt vzniká kyslík) se vyvinula pouze díky tomu, že život byl již vybaven na ochranu před volnými radikály, které do prostředí uvolňovalo ultrafialové záření. To možná vysvětluje, proč se na Zemi život uchytil, kdežto na Marsu ne. Vezměte si obrovské množství velkých zvířat a rostlin, které je pro naši planetu příznačné. První

mnohobuněčný organismus se pravděpodobně vyvinul ze shluků buněk, jež se spojily, aby se společně vypořádaly se vzrůstajícím množstvím atmosférického kyslíku produkovaného fotosyntézou. Nebýt nebezpečí v podobě jedovatosti kyslíku, život by nikdy nepřekročil fázi zeleného slizu. S kyslíkem souvisí i gigantismus (v evolučním, nikoli zdravotním smyslu). Ohromné rozměry umožňují vyhnout se rizikům spojeným s kyslíkem, neboť velká zvířata mají pomalejší metabolismus. S tím souvisí i evoluční vznik monstrózních vážek s rozpětím křídel jako racek a patrně i vzestup a pád dinosaurů. A co pohlaví? Proč by měla existovat jen dvě? Proč není jedno, tři nebo víc? Evoluce dvou pohlaví možná byla reakcí na kyslík. Uvidíme, že děti se mohou rodit mladé, pouze když existují dvě pohlaví. V opačném případě kyslík vede k degenerovanému potomstvu odsouzenému k předčasnému stárnutí. Možná to vysvětluje, proč klonovaná zvířata často umírají mladá. Například ovce Dolly měla již v pěti letech artritidu, což naznačovalo, že její „skutečný“ věk je jedenáct let. Nakonec považme takový aktivní let. Ptáci a netopýři žijí v poměru ke své velikosti neobyčejně dlouho. Proč? Let vyžaduje metabolické adaptace související s kyslíkem, které zároveň prodlužují délku dožití. Pakliže si chceme prodloužit život, musíme se obrátit k ptákům.

Všechno jsou to velkolepá tvrzení, jejichž vysvětlení a obhajobě se budeme věnovat v dalších částech knihy. A všechna jsou součástí cesty, během níž budeme pátrat po tom, jak kyslík ovlivňuje náš život i smrt.

V ruce držíte knihu o vědě. Není přehledem suchých faktů o fungování světa. Spíše je – stejně jako věda sama – plná výstředností, experimentů, podivností, spekulací, hypotéz a předpovědí. Věda se často, zejména ve zkratkovitých titulcích, prezentuje jako soubor „faktů“. Vědecká metoda se zase popisuje jako metodické rozplétání „pravdy“, což by, kdyby to tak bylo, většinu lidí, včetně vědců, unudilo k smrti. Dojem, že věda zprostředkovává přístup k objektivní realitě (jež je protikladem subjektivního světa morálky), ji staví do opozice k náboženství jakožto souboru mravních zásad a vědcům propůjčuje kazatelskou auru. Věda skutečně poskytuje pronikavý vhled do fungování přírody, ale objektivní reality nedosahuje. Příliš často se ukazuje, že vědecká „fakta“ jsou chybná či zavádějící – slyšíme, že neexistuje „žádné riziko“ pohromy frankensteinovského typu, ale jen dokud se nám nezhmotní před očima. Jindy se vědci hašteří o významu všelijakých těžko pochopitelných závěrů a své kolegy zpochybňují na veřejnosti. Není nikterak překvapivé, že veřejnost na vědu a vědce pohlíží se stále větší nedůvěrou. Kromě nešťastného rozkolu ve společnosti to znamená, že o vědecké kariéře sní čím dál méně mladých lidí. To je tragédie.

Lámu si hlavu nad tím, jestli by se jí dalo do jisté míry zabránit, kdyby měli lidé lepší představu o fungování vědy, kdyby pochopili, že v ní jde o zábavu, kreativitu a dobrodružství.

Skutečný zájem vědy spočívá v neznámu, ve vzrušení z prozkoumávání nového terénu. Prohrabování se neznámým jen zřídka přinese dokonalou představu o světě – spíše vytváříme jakousi středověkou mapu, zkreslený, avšak rozpoznatelný obraz reality. Vědci se snaží načrtnout obrysy příběhu pomocí experimentů, jež tu a tam doplňuje nějaký ten detail. Většina zábavy spjaté s vědou spočívá ve vymýšlení a interpretaci pokusů, které tuto hypotetickou krajinu prozkoumávají. Dal jsem si proto záležet na tom, abych experimenty a pozorování, o něž se příběh této knihy opírá, vysvětloval. Snažil jsem se ukázat, jak je možné, že lze vědu interpretovat různě, a důkazy předkládám společně s jejich nedostatky, aby každý sám za sebe posoudil, zda je moje interpretace přesvědčivá. Doufám, že díky tomuto přístupu se mnou budete sdílet dobrodružství na cestě, která se vine hranicí známého a neznámého.

Na základě konkrétních, ale co do rozsahu omezených důkazů – ostrovů vědění v moři nevědomosti – věda následně tvoří hypotézy. Jednotlivé výsledky dávají velmi často smysl pouze tehdy, jsou-li nahlíženy v kontextu většího obrazu. Všechny vědecké články obsahují část zvanou „diskuse“, jejímž účelem je uvést nové výsledky do souvislostí. Věda je však dnes vysoce specializovaná. Jen výjimečně se stává, aby badatel na poli medicíny zmiňoval v diskusi studie geologů či paleontologů, nebo aby se chemik příliš staral o evoluční teorii. Většinou na tom záleží pramálo, jenomže v případě kyslíku se příliš omezeným pohledem zahlazují souvislosti. V tomto případě toho mají geologie a chemie hodně co říct k evoluční teorii a paleontologie s etologií přispívají k lékařským vědám. Všechny tyto obory nám pomáhají porozumět vlastnímu životu i smrti.

Pakliže musíme zaujímat multidisciplinární přístup, abychom pochopili roli kyslíku v životě a smrti, nabízí se zároveň nový pohled na každou z daných oblastí. Nahlížení na evoluci a zdraví prizmatem kyslíku řeší některé odvěké problémy. Jeden příklad už jsem zmínil: evoluce dvou pohlaví. Pokud začneme u samotného dilematu, tedy proč se vyvinula dvě pohlaví, je těžké rozlišit mezi jednou či druhou hypotézou. Nemůžeme ani vyloučit možnost, že věci se tak „prostě odehrály“. Může se zdát, že uvažování o úloze kyslíku při procesu stárnutí s problémem dvou pohlaví nesouvisí, ale ve skutečnosti nás nutí, abychom usoudili, že pokud druh produkuje pohyblivé pohlavní buňky, které musí hledat partnera, jsou dvě pohlaví pro rozmnožování nezbytná. Z toho nakonec plyne mnoho předpovědí. Když o životě přemýšlíme takto, dobereme se vysvětlení, proč si nemůžeme prodloužit život pouze konzumací antioxidantních doplňků, a posune nás to k realističtějším metodám, jak oddálit stárnutí a neduhy s ním související. Kyslík tudíž funguje jako lupa, která nám dovoluje prozkoumat život

z několika nezvyklých úhlů. To znamená, že tato kniha není jen o kyslíku. Je o životě, smrti a kyslíku.

Snažil jsem se knihu psát pro širokou vrstvu čtenářů, kteří nemají žádné hluboké vědecké znalosti, a doufám, že bude přístupná každému, kdo je připraven vynaložit aspoň trochu úsilí. Diskuse se vine celým textem a je třeba přečíst ho až do konce, abyste věděli, o co jde! Nicméně každá kapitola stojí sama o sobě a nevyžaduje znalost kapitol předchozích. Uvidíme, že život se kyslíku začal přizpůsobovat už před téměř 4 miliardami let a proběhnuvší adaptace jsou stále patrné v naší nejniternější stavbě. Ukážeme si, že kyslík souvisí s nemocí z ozáření, jadernými reaktory, potopou světa, fotosyntézou, Zemí zmrzlou do podoby sněhové koule, obrovským hmyzem, dravými monstry, jídlem, sexem, stresem a infekčními chorobami. Přesvědčíme se, že kyslíkocentrický pohled nám umožňuje proniknout do podstaty stárnutí, nemoci a smrti. Uvidíme, že kyslík, obyčejný plyn bez barvy a zápachu, vybudoval svět, v němž žijeme, a že nás provází na naší cestě životem. Toho všeho budeme svědky, až budeme uvažovat o tom, jak a proč kyslík ovlivňoval evoluci života od jeho úplného počátku.

NA POČÁTKU

PŮVOD A VÝZNAM KYSLÍKU

Zpočátku na Zemi žádný kyslík nebyl. Před čtyřmi miliardami let jej vzduch pravděpodobně obsahoval asi desetitisícinu procenta. V dnešní atmosféře to je lehce pod 21 procent. Ať už k této změně došlo jakkoli, jedná se o znečištění, které v dějinách pozemského života nemá obdoby. Jako o nečistotě o kyslíku neuvažujeme, protože je pro nás životodárným plynem, bez něhož se neobejdeme. Avšak pro drobné jednobuněčné mikroorganismy, jež na mladé Zemi žily, kyslík rozhodně životodárný nebyl. Byl to jed schopný zabít, a to i ve stopovém množství. I dnes existuje mnoho organismů, které kyslík nesnášejí. Žijí v nehybných močálech, pod mořským dnem, a dokonce i v našich vnitřnostech. Mnohým z nich stačí, aby přišly do kontaktu s kyslíkem v množství přesahujícím desítinu procenta jeho současné atmosférické úrovně, a uhynou. Pro jejich předky, kteří kdysi vládli světu, mělo znečištění vzduchu kyslíkem bezpochyby katastrofální následky. Z vládců světa se smrskli na samotářské tvory žijící v ústraní.

Organismům nesnášejícím kyslík se říká *anaerobní* - nedokážou využívat kyslík a v mnoha případech mohou žít pouze v jeho nepřítomnosti. Problém spočívá v tom, že nemají nic, co by je ochránilo před otravou kyslíkem: disponují jen málem antioxidantů nebo vůbec žádnými. Naproti tomu většina dnešních organismů dokáže vysoké množství kyslíku snášet díky tomu, že jsou antioxidanty doslova napěchované. Zde se ukrývá jeden paradox: jak se u moderních organismů vyvinula antioxidační ochrana? Dle klasického učebnicového názoru se antioxidanty nemohly vyskytovat v prvních buňkách, jež začaly kyslík vypouštět jako toxický odpadní produkt: jak by se asi adaptovaly na plyn, který dosud neexistoval? Nicméně i kdyby byl tento předpoklad správný - tedy, že se antioxidanty vyvinuly až po vzrůstu hladiny atmosférického kyslíku - musel by ohromný vzestup této hladiny představovat pro raný život hodně těžkou výzvu. Pokud měl kyslík na první anaerobní buňky takový účinek jako na jejich dnešní potomky, muselo zřejmě nastat hromadné vymírání anaerobních organismů, jež překonalo i pád dinosaurů.

Proč by nás to mělo zajímat? Podle volnoradikálové teorie stárnutí, kterou jsme vyložili v první kapitole, vymezuje toxicita kyslíku možnosti našeho života. Je-li to pravda, měly by nám způsoby, jak se život v průběhu evolučního času

adaptoval na kyslík, odhalit nová fakta. Skutečně vedlo zvýšení koncentrace atmosférického kyslíku k hromadnému vymírání? Jak se tomu život přizpůsobil? Jestliže jsou stárnutí a smrt zapříčiněny konečným selháním adaptace, můžeme si odnést něco z toho, jak se s touto předpokládanou katastrofou vyrovnali přeživší? Můžeme „udělat něco víc“, ať už dotyční udělali cokoli? V následujících kapitolách se některé z těchto otázek pokusíme zodpovědět zmapováním otázky, jak organismy na měnící se hladinu kyslíku reagovaly v průběhu věků.

Počátky a dějiny raného života přitáhly v posledních několika desetiletích novou vlnu zájmu badatelů. Některé z našich nejzákladnějších představ o vzniku života se úplně převrátily, nicméně staré názory jsou natolik přesvědčivé a hluboce zakořeněné, že se jejich hlavních principů drží i současné učebnice. Zdá se, že mnoho vědců, kteří pracují v jiných oborech, si vůbec neuvědomuje, že dochází k přepisování jejich doktrín. Bude dobré si tu ten starý příběh připomenout, jelikož role připisovaná kyslíku zdůrazňuje jeho toxicitu.

Ve 20. letech minulého století začali J. B. S. Haldane v Anglii a Alexander Oparin v Rusku nezávisle na sobě uvažovat o možném složení prapůvodní zemské atmosféry. Brali při tom v potaz plyny, o nichž se díky analýze barevného spektra vědělo, že se vyskytují v atmosféře planety Jupiter. Haldane a Oparin tvrdili, že pokud Země společně s Jupiterem a ostatními planetami zkondenzovala z oblaku prachu a plynu, měla by její prvotní atmosféra obsahovat podobně jedovatou směs vodíku, metanu a amoniaku. Jejich názory ve zkoušce časem obstály a staly se základem slavné řady experimentů, které v 50. letech ve Spojených státech provedli Stanley Miller a Harold Urey. Miller a Urey nechali plynou atmosférou sestávající ze tří „jupiterských“ plynů procházet elektrické jiskry (simulující blesky) a zachytili výsledné produkty. Objevíli komplexní směs organických sloučenin, včetně značného procenta aminokyselin (z nichž všechny živé organismy vyrábějí bílkoviny, základní stavební kameny života). Prohlásili, že těmito reakcemi se rané oceány mohly změnit v řídkou organickou polévku obsahující všechny chemické sloučeniny předznamenávající život. Jedinými dalšími přísadami nutnými pro to, aby z této polévky vykrytalizoval život, byly náhoda a čas, přičemž se zdálo, že množství obojího je prakticky neomezené: planeta je stará 4,5 miliardy let a první fosilie velkých živočichů pocházejí z éry před půlmiliardou let. Čtyři miliardy let byly dostatečně dlouhá doba.

Výběr plynů, s nimiž se pracovalo, dával smysl z praktického i teoretického hlediska. Vodík, metan a amoniak nemají za přítomnosti kyslíku a světla dlouhou životnost. Směs začne oxidovat, a jakmile se to stane, vznikne řada organických sloučenin. Z chemického hlediska představuje proces zvaný *oxidace*

odjímání elektronů z atomu či molekuly. Opačný děj, obnášející přidávání elektronů, se nazývá *redukce*.

Oxidace (okysličování) byla pojmenována podle kyslíku (oxygenium), který vyniká v odebrání elektronů molekulám. Pro lepší zapamatování o něm uvažujte jako o čemsi leptavém či ničivém, jako je třeba přípravek na odstraňování barvy. Při oxidaci dochází k odebrání elektronového nátěru, kdežto redukce působí jako nanášení čerstvé barvy. Podstatné je, že kyslík dokáže molekulám odebrat elektrony a že molekuly, jež své elektrony nabízejí jako obětinu, se během tohoto procesu často rozpadnou. Dnes buňky čelí tomuto typu poškození pomocí antioxidantů, avšak na začátku žádné antioxidanty k dispozici nebyly. V takové situaci by volný kyslík představoval nepřekonatelný problém, jelikož veškeré organické molekuly či rodící se formy života by se v přítomnosti kyslíku rozpadly. Fakt, že vznikl život, může znamenat jediné, a sice že tu žádný kyslík nebyl.

První buňky se tedy pravděpodobně vyvinuly v bezkyslíkaté atmosféře a energii musely vyrábět bez přispění kyslíku. To se vzhledem k faktu, že Louis Pasteur na konci 19. století popsal fermentaci (kvašení) jako „život bez kyslíku“, a následný výzkum mu dal za pravdu, jevílo jako rozumný předpoklad. Jelikož jsou kvasinky a mnohé jiné jednobuněčné organismy na fermentaci energeticky závislé a mají jednoduchou stavbu, dospěli vědci k předpokladu, že jde o pozůstatky starobylého života. Dle této teorie si jednobuněčný život musel energii zajišťovat fermentací organických sloučenin rozpuštěných v oceánech, dokud nebyl evolučně nahrazen prvními fotosyntetizujícími bakteriemi, které uvolňovaly kyslík - sinicemi (kdysi nesprávně nazývanými sinné [= modré] řasy).

Sinice se naučily využívat sluneční energii. Byť jsou jejich rozměry mikroskopické, nepředstavitelně obrovské množství sinic (do kapky vody se jich vejde několik miliard) v průběhu věků nenápadně znečišťovalo prostředí jedovatým kyslíkovým odpadem. Zpočátku kyslík reagoval s minerály, jež byly rozpuštěné v oceánech nebo se erozí uvolnily z hornin, způsoboval jejich oxidaci a zůstával vázaný v minerálních sloučeninách. Tyto obrovské přírodní zdroje fungovaly stovky milionů let jako štít před volným kyslíkem. Nakonec však tento štít zcela zoxidoval. Poněvadž už nezbylo nic, co by pomohlo, začal přebytek kyslíku znenadání (z hlediska geologického času) zamořovat atmosféru i oceány. Cena byla strašlivá - kyslíkový holokaust (též kyslíková krize či kyslíková revoluce). Jak v roce 1986 napsala význačná profesorka biologie z Massachusettské univerzity Lynn Margulisová:

Byla to největší krize, jakou kdy planeta přestála. Mnoho druhů mikrobů okamžitě zaniklo. Mikrobiální život neměl proti tomuto kataklyzmatu žádnou jinou obranu než klasickou cestu v podobě replikace a duplikace DNA, genového přenosu

či mutací. Z rozsáhlého vymírání bakterií a zdokonalení bakteriální sexuality [nejde o pohlavní rozmnožování, byť dochází k přenosu genetické informace], která se typicky vyskytuje u bakterií vystavených jedovatým látkám, vyplynula reorganizace superorganismu, jež nazýváme mikrokosmem. Nové odolné bakterie se množily a na zemském povrchu rychle nahradily ty citlivé na kyslík. Pod nimi, v anaerobních vrstvách bahna a půdy, však některé bakterie přežily. Z holokaustu, který konkuruje tomu jadernému, jehož se obáváme dnes, vzešla jedna z nejpůsobivějších a nejdůležitějších revolucí v dějinách života.

Podle tohoto pohledu nevyšel úspěch nového světového řádu toliko ze schopnosti mikroorganismů snášet jedovatost kyslíku, ale z fantastického evolučního mistrovského kousku, během nějž se buňky staly závislými na smrtícím jedu. Obyvatelům nového lepšího světa dodával energii kyslík.

Stará teorie pokračuje následovně: naše závislost na kyslíku zamlžuje fakt, že se jedná o toxický plyn, úzce spjatý se stárnutím a smrtí, nemluvě o nebezpečí požáru. V průběhu evoluce ovlivňovala reaktivita kyslíku jeho hromadění v atmosféře. Říká se, že od rozpuku mnohobuněčného života někdy před 550 miliony let se hladina atmosférického kyslíku ustálila na asi 21 procentech, kterážto hodnota je výsledkem udržitelné přírodní rovnováhy. Pokud se koncentrace kyslíku zvýší příliš, potlačí jeho toxicita růst rostlin. V důsledku jeho množství produkované fotosyntézou klesne, což hladinu atmosférického kyslíku zase sníží. Tvrdí se, že v atmosféře obsahující přes 25 procent kyslíku by i ve vlhkých deštných pralesích vypukly rozsáhlé požáry. Kdyby jeho hladina naopak klesla pod 15 procent, zvířata by se dusila a zapálit by se nedaly ani suché větve. Souvislý, 350 milionů let dlouhý záznam fosilního dřevěného uhlí (fusinitu) v usazených horninách naznačuje, že Země neustále zachvacovaly požáry. Pokud je to pravda, hladina kyslíku nikdy neklesla pod 15 procent. Biosféra tedy množství atmosférického kyslíku po celý moderní věk rostlin a živočichů udržovala na úrovni, která byla pro ni samotnou příjemná.

Tak zní příběh, na kterém jsem vyrostl. Z větší části je dodnes přijímaný, nebo se přinejmenším nezpochybňuje. Většina tvrzení, třebaže založených na poněkud skromných důkazech, zní z biologického hlediska věrohodně. Abychom to shrnuli: život se chemickou evolucí vyvinul v prebiotické polévce, která vznikala z planetární atmosféry obsahující metan, amoniak a vodík. První buňky tuto polévku fermentovaly, dokud je nenahradily sinice, jež využívaly sluneční energii k pohonu fotosyntézy a uvolňovaly kyslík jako odpadní produkt. Tento jedovatý plyn oxidoval horniny a oceány, a nakonec se začal hromadit v atmosféře. V důsledku toho se stal příčinou apokalyptického vymírání, kyslíkového holokaustu. Z popela povstal nový světový řád, který byl závislý na stejném plynu,

jenž vyhladil jeho předchůdce. Energii dodával novému řádu kyslík. Přesto toxicita a reaktivita kyslíku biosféru přinutila, aby jeho obsah v atmosféře držela na 21 procentech.

Tenhle příběh byl v mé hlavě ukotvený tak pevně, že mě až rozhořčilo, když jsem v televizi zaslechl prohlášení, že hladina kyslíku kdysi dosahovala 35 procent – konkrétně v období karbonu před asi 300 miliony let. Nesmysl, pomyslel jsem si! Všechno by shořelo! Rostliny by přestaly růst! Nebyl jsem jediný. Třebaže tuto myšlenku podporovali geochemici světového významu, širší geologická i biologická komunita se jí zpočátku vysmívala. Až když jsem se tématem začal zabývat, dospěl jsem k přesvědčení, že revizionisti měli pravdu. Mnohé z těch myšlenek zůstávají sporné a většina jednotlivých důkazů vykazuje určité nedostatky, nicméně jedna světlá stránka tu je: v posledních dvou desetiletích jsme se posunuli z oblasti „geopoezie“ do nové éry molekulárních důkazů, jež podporují nové modely globální změny. Celkově vzato jsem dospěl k názoru, že důkazy jsou přesvědčivé, i když nový příběh naprosto odporuje myšlence jedovatosti kyslíku, a někdy vlastně i zdravému rozumu.

Než se podíváme na důkazy a položíme si otázku, jak ovlivňují náš současný život, měli bychom se znovu zorientovat ve vznikajícím obrazu. Téměř každý krok mého předchozího shrnutí se obrátil naruby. Podle nového příběhu se život nemusel zrodit z prebiotické polévky, ale daleko odsud, v horkých sirných průduších uprostřed hlubokomořských příkopů, v takzvaných černých kuřácích. Předpokládá se, že poslední společný předek všeho živého, láskyplně označovaný jako LUCA (podle *Last Universal Common Ancestor* – poslední univerzální společný předek), využíval k dýchání stopová množství kyslíku, a to ještě předtím, než se jeho potomci naučili fotosyntézu (nebo přinejmenším produkovat kyslík). Má se za to, že místo aby se první buňky protloukaly životem pomocí fermentace, získávaly energii z řady anorganických prvků a sloučenin, například dusičnanů, dusitanů, síranů a siřičitanů – a kyslíku. Pokud tomu tak bylo, znamená to, že LUCA byla vůči kyslíku odolná dřív, než se ve vzduchu jakýkoli volný kyslík objevil. Její potomci, třeba sinice, měli podle všeho podobnou ochranu proti svému odpadnímu produktu, takže nepodlehli kyslíkovému holokaustu.

Ve skutečnosti nemáme žádný spolehlivý důkaz, že kyslík hromadně vymírání kdy zapříčinil. Zdá se, že místo aby hladina kyslíku rychle stoupla na rovnovážnou úroveň řízenou biosférou, probíhalo okysličování Země v sérii prudkých skoků či pulzů, přičemž každý z nich byl vyvolán nebiologickými činiteli, například deskovou tektonikou a zaledňováním. Každý nárůst množství atmosférického kyslíku provázela bohatá biologická „radiace“, během níž se život rozšířil a zaplnil volné ekologické niky – stejně jako když prázdné prerie podněcovaly osidlování amerického Západu. Nárůst množství kyslíku ve vzduchu bezprostředně předcházela rozmachu jednobuněčných *eukaryot* – buněk obsahujících

jádro - které jsou buněčnými předky všech mnohobuněčných organismů, včetně nás. Podobné zvýšení hladiny kyslíku předznamenalo prudký vzestup mnohobuněčných rostlin a živočichů na počátku kambria (období, jež začalo před 543 miliony let) a evoluci gigantického hmyzu a rostlin v karbonu a raném (spodním) permu (před 320-270 miliony let). A možná dokonce předznamenalo i nástup dinosaurů. Několik hromadných vymírání se naproti tomu pojí s obdobími poklesu hladiny kyslíku, včetně „matky všech vymírání“ na konci permu (před asi 250 miliony let). Neodvratný závěr, totiž že kyslík je dobrá věc, možná několika lidem přivodil bezesnou noc, každopádně nám pomůže udržet na uzdě představy o jedovatosti kyslíku a její souvislosti se stárnutím či chorobami.

První posvátnou krávou, která byla obětována, byla podobnost ve složení prvotní zemské atmosféry s atmosférou Jupiteru. Ve skutečnosti se život musel vyvinout v atmosféře, která obsahovala velmi málo metanu, vodíku a amoniaku. Přímé důkazy, které tento fakt dokládají, pramení z geologie.

Země a Měsíc se zformovaly před 4,5 miliardami let. Stáří měsíčních kráterů, stanovené na základě vzorků přivezených z misí Apollo, naznačuje, že naši planetární soustavu přinejmenším 500 milionů let bombardovaly meteority. Bombardování skončilo někdy před 3,8 až 4 miliardami let. Nejstarší sedimentární horniny na Zemi, jež se usazovaly v oblasti, která dnes tvoří západní pobřeží Grónska, dle spolehlivé analýzy pocházejí z doby před 3,85 miliardami let - vznikaly tedy pouze 700 milionů let po zformování Země a bezpochyby nijak dlouho po konci bombardování.

Navzdory své starobylosti tyto dávné horniny naznačují, že tehdejší atmosféra a koloběh vody se překvapivě podobaly současnosti. Fakt, že tyto horniny byly kdysi usazeninami, napovídá, že se ukládaly pod rozsáhlou vodní plochou. Jejich erozi podle všeho způsobila dešťová voda z pevniny. To redukuje potenciální teploty do rozmezí slučitelného s vypařováním, tvorbou mraků a srážkami. Minerální složení horniny nám umožňuje informovaně odhadnout skladbu tehdejšího vzduchu. Máme tu uhličitany, které pravděpodobně vznikly reakcí oxidu uhličitého s křemičitany, jak se to děje i dnes: můžeme proto předpokládat, že vzduch obsahoval oxid uhličitý. V horninách se rovněž nacházejí různé oxidy železa, které se z chemického hlediska nemohly utvářet za podmínek podobných těm na Jupiteru, ale stejně tak by neexistovaly, kdyby se tu vyskytovalo vyšší než stopové množství kyslíku. Můžeme z toho vyvodit, že kyslík nebyl v té době více než stopovým plynem. Konečně musíme také předpokládat, že hlavní složkou vzduchu byl tehdy, podobně jako dnes, dusík, jelikož tento prvek je v plynné formě téměř netečný (inertní) a živí tvorové jej nedokážou produkovat

ve velkém množství. Atmosféru takto bohatou na dusík nemůže vytvořit žádný chemický ani biologický proces, takže musela existovat celou dobu. Z toho plyne, že atmosféra Země před téměř 4 miliardami let sestávala tak jako dnes převážně z dusíku, doplněného trochou oxidu uhličitého, vodní páry a stopovým množstvím dalších plynů, například kyslíku. Nebyl zde v podstatě žádný metan, amoniak ani vodík.

Tyto predikce, založené na nejstarších horninách, mají oporu i v druhé linii důkazů, která napovídá něco o původu rané atmosféry. Na mysli máme vzácnost inertních nereaktivních plynů - zejména neonu - v dnešní atmosféře Země. Neon je sedmým nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru. Hojně se vyskytoval i v prachoplynovém mračnu, z něž zkondenzovala Země a ostatní planety Sluneční soustavy. Coby netečný plyn je neon ještě méně reaktivní než dusík. Pokud bombardování meteority nějaká část původní atmosféry Země přečkala, měla by obsahovat zhruba stejné množství neonu a dusíku. Ve skutečnosti je poměr neonu vůči dusíku 1 ku 60 000. Jestliže na Zemi někdy byla atmosféra podobná té na Jupiteru, musela zmizet během prvního divokého období meteorického bombardování.

Odkud tedy pochází naše dnešní atmosféra? Zdá se, že odpovědi jsou sopky. Kromě toho, že vypouštějí sirné výpary (jež by se vysrážely v dešti), obsahují jejich plyny také dusík a oxid uhličitý (ve zhruba správném poměru), malé množství neonu a téměř žádný metan, amoniak či kyslík.

Odkud se tedy kyslík vzal? Existují pouze dva možné zdroje atmosférického kyslíku. Zdaleka nejdůležitějším je *fotosyntéza*, děj, při němž rostliny, řasy a sinice využívají energii slunečního záření zachycovanou zeleným pigmentem chlorofylem k rozštěpení vody. Štěpení vody uvolňuje kyslík, který je vypouštěn do atmosféry jako odpadní produkt, zatímco energeticky bohaté sloučeniny získané štěpením (díky absorpci světelné energie) se využijí k navázání vzdušného oxidu uhličitého a jeho zabalení do sacharidů, tuků, bílkovin a nukleových kyselin, z nichž sestává organická hmota. Fotosyntéza tedy využívá sluneční světlo, vodu a oxid uhličitý k tvorbě organické hmoty. A jako odpadní produkt uvolňuje kyslík.

Pokud by byla fotosyntéza jediným životním dějem na planetě, kyslíku by ve vzduchu přibývalo, dokud by rostliny nespotřebovaly veškerý dostupný oxid uhličitý. Potom by se všechno zaseklo. To se očividně nestalo. Ve skutečnosti existuje mnoho procesů, které mohou kyslík spotřebovat, včetně jeho reakcí s minerály obsaženými v horninách či oceánech a se sopečnými plyny. Dnes se však téměř veškerý kyslík vyprodukovaný rostlinami spotřebuje při *dýchání* (*respiraci*) živočichů, hub a bakterií, jež kyslík používají při „spalování“, respektive

oxidaci organických materiálů, které přijímají v potravě – získávají tak energii pro potřeby organismu a zpátky do vzduchu uvolňují oxid uhličitý.* [Když mluvíme o dýchání/respiraci, obvykle máme na mysli buněčné dýchání, tedy biochemický proces probíhající u eukaryot v mitochondriích, nikoli ventilaci, tedy výměnu plynů mezi organismem a okolím.] Jelikož živočichové, bakterie i houby konzumují organickou hmotu pocházející z jiných organismů, mluvíme o nich společně jako o *konzumentech*. Podle definice získávají konzumenti energii respirací (řízeným spalováním) sacharidů, tuků a bílkovin vytvořených primárními fotosyntetizujícími *producenty*. Celkově je dýchání jako reakce, při níž se spotřebovávají sacharidy a kyslík a jako odpadní produkty vznikají oxid uhličitý a voda, téměř přesným opakem fotosyntézy a spotřebovává v podstatě stejné množství kyslíku, jaké vzniká fotosyntézou. Spalováním potravy, kterou zkonzumujeme, se nejenže spotřebovává kyslík, ale zároveň obnovuje oxid uhličitý nezbytný k pokračování fotosyntézy. Jakkoli se můžeme cítit jako paraziti, rostliny nás potřebují stejně jako my je.

Pokud by konzumenti pořádali veškerou organickou hmotu vytvořenou primárními producenty, veškerý kyslík uvolněný do vzduchu dýcháním by se spotřeboval. To má kupodivu velmi blízko realitě. Kyslík uvolněný fotosyntézou je téměř beze zbytku (99,99 procent) využíván živočichy, houbami a bakteriemi, jež se živí pozůstatky producentů nebo sebou navzájem. Avšak zdánlivě nepodstatná odchylka o velikosti 0,01 procenta je ve skutečnosti zodpovědná za veškerý život, jak jej známe. Tato odchylka reprezentuje organickou hmotu, která se nespálí, ale naopak zůstane pohřbená v usazeninách. Za miliardy let to dává dohromady ohromné množství pohřbené organické hmoty.

Pakliže jsou organické zbytky místo zkonzumování pohřbeny, zabraňuje se tím úplnému znovupohlcení kyslíku konzumenty** a zbylý kyslík se hromadí v atmosféře. Téměř všechen drahocenný kyslík pochází z 3 miliardy let trvajícího nesouladu mezi množstvím kyslíku vytvořeného primárními producenty a množstvím spotřebovaného konzumenty. Obrovský objem odumřelé organické hmoty pohřbené v horninách převyšuje úhrnný obsah uhlíku v celém živém světě. Robert Berner, geochemik z Yaleovy univerzity, odhaduje, že v zemské kůře je pohřbeno 26 000krát víc uhlíku, než kolik ho je v živé biosféře. Jinak řečeno to znamená, že veškerá živá hmota obsahuje pouze 0,004 procenta organického uhlíku, který se dnes na Zemi nachází. Kdyby pohřbená organická

* I rostliny, řasy a sinice dýchají a část kyslíku uvolněného během fotosyntézy spotřebovávají ke spalování sacharidů, jež vyprodukovaly fotosyntézou, a k získání energie, která je v nich uložena.

** Pro čtenáře holdující chemii dodejme, že souhrnnou rovnicí fotosyntézy lze zapsat jako $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{O}$ (organický uhlík ve formě sacharidu) + O_2 . Dýchání lze zapsat jako reakci v opačném směru. To znamená, že na každou molekulu CH_2O (nebo její ekvivalent v jiné organické hmotě), která je pohřbena, nikoli spálena dýcháním, zůstane ve vzduchu jedna molekula O_2 .

hmota reagovala s kyslíkem, žádný by už nezbyl. Pokud by s atmosférickým kyslíkem reagovala pouhá 0,004 procenta veškerého organického uhlíku – jinými slovy celá současná biosféra – zbylo by ho 99,996 procent. Takže i nejzbrklejší ničení světových lesů by jen stěží ohrozilo naše zásoby kyslíku. Dodejme ale, že takové krátkozraké a mimořádně hloupé chování by bylo nepopsatelnou tragédií z jiných důvodů.

Pohřbená organická hmota na sebe bere podobu uhlí, ropy či zemního plynu, a také méně zjevných pozůstatků promíchaných se sedimenty a minerály, jako je třeba pyrit neboli kočičí zlato. Obyčejné pískovcové skály, které vůbec nevyjadávají, že by zadržovaly nějaký uhlík, obvykle obsahují několik procent organického uhlíku. Jelikož jsou tyto horniny velmi běžné, zodpovídají za většinu organického uhlíku pohřbeného v zemské kůře. Ve formě fosilních paliv je dostupná pouze malá část pohřbené hmoty. To znamená, že i kdyby se nám podařilo spálit veškeré uhlí, ropu a zemní plyn uvězněné v zemské kůře, stejně bychom spotřebovali jen několik procent atmosférického kyslíku.

Původním zdrojem kyslíku v atmosféře ovšem nebyla biologická fotosyntéza, nýbrž její chemický protějšek. Jen málo procesů tak nezastřeně ukazuje, jaký význam má *rychlost* reakce a jak zásadní dopad může mít na tuto rychlost život. Sluneční energie, zejména ultrafialové záření, může štěpit vodu a vytvářet vodík a kyslík, aniž by byl potřebný biologický katalyzátor. Plyný vodík je dostatečně lehký, aby unikl gravitaci Země. Kyslík, což je mnohem těžší plyn, gravitace zadrží, takže zůstane v atmosféře. Většina kyslíku, jenž tímto způsobem vznikl na rané Zemi, reagovala se železem v horninách a oceánech a zůstala navždy uvězněná v kůře. Výsledkem byla ztráta vody, poněvadž po tom, co se rozštěpila, unikl vodík do vesmíru a kyslík byl pohlcen zemskou kůrou, místo aby se hromadil ve vzduchu.

Předpokládá se, že ztráta vody v důsledku činnosti ultrafialového záření může být důvodem, proč nejsou na Marsu a Venuši oceány.* Dnes jsou obě planety suché a sterilní, jejich kůra zoxidovala a jejich atmosféry jsou plné oxidu uhličitého. Obě planety oxidovaly pomalu a nikdy v atmosféře neshromáždily víc než stopové množství kyslíku. Proč se to stalo na Marsu a Venuši, ale na Zemi ne? Klíčovým rozdílem může být rychlost tvorby kyslíku. Pokud kyslík vzniká pomalu, pomaleji, než je rychlost, jakou zvětrávání a vulkanická činnost obnažují nové horniny či minerály a uvolňují nové plyny, pak všechn kyslík, místo

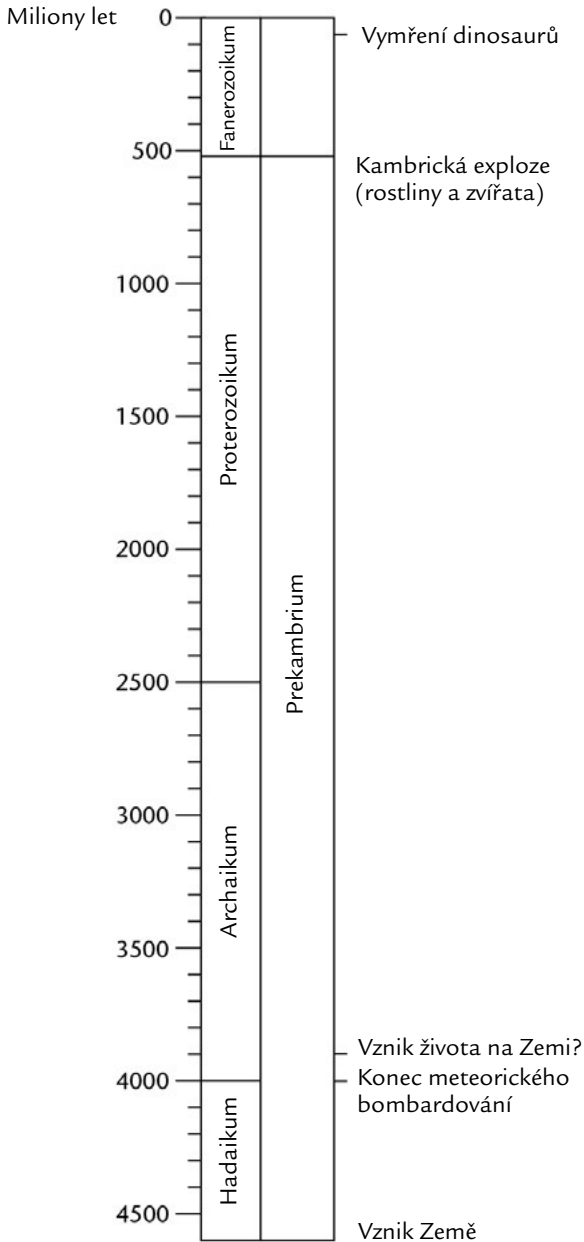
* Sonda Mars Global Surveyor, která od dubna 1999 kroužila kolem rudé planety, poslala na Zemi detailní snímky sedimentárních hornin, o nichž vědci z NASA prohlásili, že se pravděpodobně utvořily v jezerech a mělkých mořích. Už dávno byly popsány erozní kanály ukazující, že na Marsu se někdy v minulosti vyskytovala tekoucí voda, avšak nové snímky poskytly první spolehlivý důkaz, že tam kdysi existovaly oceány. Jestli potom odtekl pod povrch planety, nebo se vypařily do vesmíru, popřípadě obojí, zatím nevíme.

aby se hromadil ve vzduchu, pohltí kůra. Kůra bude pozvolna oxidovat, ale kyslík se ve vzduchu nikdy nenahromadí. Ve vzduchu se může začít shromažďovat pouze v případě, že se tvoří rychleji, než se odhalují nové horniny a minerály.

Zemi před sterilním osudem Marsu a Venuše uchránil sám život. Kyslík z fotosyntézy zaplavil dostupné odhalené reaktanty v zemské kůře a oceánech a umožnil, aby se plyn hromadil v atmosféře. Jakmile tu byl volný kyslík, zamezil ztrátám vody. To proto, že reagoval s většinou vodíku, jenž se vyštěpil z vody, a vodu tak obnovoval, čímž na Zemi zachoval oceány. Otec hypotézy Gaia a výjimečný vědec James Lovelock odhadl, že dnes, kdy je ve vzduchu kyslík, uniká do vesmíru asi 300 000 tun vodíku ročně. To se rovná roční ztrátě téměř 3 milionů tun vody. Ačkoli to může znít znepokojivě, Lovelock spočítal, že při této rychlosti by ztráta jednoho jediného procenta oceánů trvala 4,5 miliardy let. Za tuto ochranu můžeme poděkovat fotosyntéze. Jestli někdy existoval život na Marsu či Venuši, můžeme si být jistí, že se nikdy nenaučil divy fotosyntézy. V pravém slova smyslu lze naši současnou existenci přičíst ranému vzniku fotosyntézy na Zemi a rychlému přísunu kyslíku do atmosféry v důsledku činnosti biologického katalyzátoru.

Počátek života na Zemi přesahuje záběr této knihy. Čtenáře, jež tohle téma zajímá, odkazují na dílo Paula Daviese, Grahama Cairnse-Smithe a Freemana Dysona, uvedené v doporučené literatuře. Předpokládejme, že život se vyvinul v oceánu planety obklopené atmosférou složenou z dusíku a oxidu uhličitého, ale jen se stopovým množstvím kyslíku. Brzy pravděpodobně začala probíhat fotosyntéza. K otázce, jak a proč se tak stalo, se vrátíme v sedmé kapitole. Zatím zmapujeme, jak život reagoval na výzvu v podobě rostoucí hladiny kyslíku, když fotosyntéza tento plyn napumpovala do vzduchu a oceánů. Zavinilo kyslíkové znečištění apokalyptické vymírání, jak postulovala Lynn Margulisová a jiní, nebo podnítilo vznikání evolučních novinek? Zbyl tak dlouho po oné události nějaký důkaz, který by kterékoli z obou vysvětlení podpořil?

Již v 60. letech minulého století hodil rukavici Preston Cloud, jeden z průkopníků geochemie. I po ohromném technologickém pokroku, jež obor od té doby prodělal, jsou Cloudovy práce i názory dodnes vlivné. Tvrdil, že hlavní události raných fází evoluce byly spřažené se změnami obsahu kyslíku ve vzduchu. Kdykoli hladina kyslíku vzrostla, zareagoval život rozkvětem. Sám Cloud navrhl tři kritéria pro ověření této hypotézy: musíme přesně vědět, jak a kdy se úroveň kyslíku měnila; musíme ukázat, že k adaptacím živého došlo právě v této době; a musíme mít dobrý, biologicky podložený důvod k propojení změny hladiny kyslíku a evoluční adaptace. Nakolik je ve světle nových důkazů Cloudova



Obrázek 1: Geologická časová osa od zformování Země před 4,6 miliardami let po současnost. Všimněte si nesmírné délky prekambria. První rostliny a živočichové se objevili přibližně v době kambrické exploze před 541 miliony let. Dinosauři vymřeli asi před 66 miliony let.

hypotéza pravdivá, bude námětem následujících tří kapitol.

Aby pro nás byl vytyčený úkol zvládnutelnější, rozdělíme si historii Země do tří nestejných částí (obrázek 1). Nejprve přichází prekambrium, dlouhé a tiché období, kdy se v horninách ještě neobjevují žádné viditelné fosilie, vyjma váhavého experimentování s mnohobuněčným životem v samém závěru této éry. Potom přichází takzvaná kambrická exploze, kdy se mnohobuněčný život, plně zformovaný a obrněný (v tomto případě šlo o schránky), ve fosilním záznamu objevil náhle, jako když Diovi vyskočila z hlavy Athéna. Nakonec tu máme fanerozoikum, „současné“ období suchozemských rostlin, živočichů a hub, kdy se na Zemi postupně objevili trilobiti, amoniti, dinosauři a savci. Podmínky, jež tuto explozi mnohobuněčného života umožnily, nastaly už v prekambriu. Proto se touto periodou budeme zabývat ve třetí kapitole a kambrickou explozí i fanerozoikem v kapitolách 4 a 5.

MLČENÍ VĚKŮ

TŘI MILIARDY LET MIKROBIÁLNÍ EVOLUCE

Vzhledem k našemu vnímání historie, vyladěnému na desetiletí či staletí, je pro nás téměř nemožné si vůbec představit nesmírný časový úsek, po němž se prekambričké období táhlo. Máme co do činění s érou, která trvala 4 miliardy let – devět desetin celkové existence Země. Představte si, že se rychlostí tisíce let za sekundu ženete zpátky časem. Za dvě vteřiny jste v době Ježíše Krista, za deset sekund u zrodu zemědělství. Po půl minutě uvidíte tvůrce jeskynních maleb a za méně než dvě minuty letmo zahlédnete své opičí předky, jak se šourají africkou savanou. Katastrofa, která vyhladila dinosaury, se při tomhle kvapném návratu do minulosti odehraje teprve za 18 hodin. A po čtyři a půl dnech se přímo před vašimi očima bude odvíjet drama mnohobuněčného života během kambričké exploze. Dál už bude cesta pokračovat potichu. Za 44 dní se vrátíte k prvním záhadným náznakům života a po 53 dnech zkondenzuje z prachoplynového mračna Země.

Měřeno naší komprimovanou časovou škálou, čtyřicet dní a čtyřicet nocí obývaly Zemi pouze mikroskopické jednobuněčné bakterie a jednoduché řasy. Není překvapivé, že bez jakéhokoli skutečného fosilního záznamu, jenž by přitáhl uzdu naší představivosti, byla většina pionýrských pokusů porozumět historii raného života do značné míry spekulativní. Jak bychom dnes mohli mít jakoukoli ucelenou představu o biochemických změnách, jež se odehrávaly v mikrobech a po nichž v horninách nezůstalo mnoho stop, nebo o koncentraci kyslíku v pomíjivé atmosféře, která už je dávno pryč? Odpověď je zapsána v horninách, někdy v podobě mikrofosilií, jindy jako molekulární stíny dávných geochemických cyklů. O evolučních kořenech moderních organismů mimoto svědčí také jejich atavistické geny. Scénář zapsaný v genech je tajemný, ačkoli zjevně smysluplný. Naším jediným vodítkem, molekulární Rosettskou deskou, je způsob, jakým se dnes využívají proteiny zakódované v genech. Pokud je dnes protein, jako je třeba hemoglobin (červený pigment červených krvinek), speciálně uzpůsobený k vázání kyslíku, a pokud z genetických sekvencí víme, že některé bakterie nesou gen pro podobný protein, existuje docela vysoká pravděpodobnost, že tento gen měl i náš společný předek. Je-li tomu tak, můžeme z toho vyvodit, že hemoglobin k vázání kyslíku používali i tito předci. Pakliže

jej místo toho využívali k něčemu jinému, klíč k tomu, co to bylo, se i přesto možná skrývá ve struktuře dané molekuly.

Abychom pochopili vliv kyslíku na evoluci, musíme věnovat pozornost dvěma příběhům, které se v horninách a genech skrývají: vedle evoluce samotných mikrobů se musíme zaměřit i na to, kdy a v jakém množství kyslík ve vzduchu přibýval. Nicméně než začneme, musíme se zbavit jedné mimořádně podvrtné dvouhlavé saně. Mám na mysli rozšířenou mylnou představu, že evoluce nutně směřuje k vyšší komplexitě a že mikrobi, jelikož jsou mikroskopičtí a nemají mozek, představují samotné evoluční dno. S laickým pohledem na evoluci jako na směřování k vyšším sférám bojuje – a zcela bezvýsledně – tolik biologů, že si člověk až začíná říkat, jestli neexistuje nějaké celosvětové spiknutí za účelem maření jejich snah. Dva varovné příběhy by o prekambričké evoluci měly poskytnout jasnější představu. První zpochybňuje předpoklad, že evoluce míří k vyšší komplexitě, druhý potom dokládá, že mikrobi mají k jednoduchosti opravdu daleko.

V roce 1967 informoval Sol Spiegelman, molekulární biolog z Illinoiské univerzity, o sérii pokusů navržených tak, aby určily, jaké nejmenší jednotky se dokážou vyvíjet přírodním výběrem. Vzal jednoduchý virus, který se replikoval s využitím pouze několika málo genů, jež sestávaly z řetězce či „sekvence“ 4 500 „písmen“. Bílkovinné produkty těchto genů donutí molekulární mechanismy infikovaných buněk, aby vytvářely nové virové částice. Spiegelman chtěl vidět, jak jednoduchým se životní cyklus viru může stát, když se mu veškeré suroviny poskytnou ve zkumavce, nikoli v hostitelské buňce s jejím komplikovaným molekulárním soustrojím. Svému viru Spiegelman poskytl hlavní enzym nezbytný pro dokončení životního cyklu a libovolné množství veškerých základních stavebních prvků nutných pro to, aby zkopíroval své geny. Výsledky byly pozoruhodné. Chvilí se vir replikoval přesně a zachovával svou původní genetickou sekvenci. Avšak po nějaké době mutace zavinila, že se část jednoho genu ztratila. Jelikož byl tento gen potřebný pouze k tomu, aby vir dokončil normální životní cyklus v napadené buňce, tedy jej nebylo třeba ve zkumavce, dokázal bez něj mutantní vir docela spokojeně přežít. Vlastně víc než spokojeně: nová sekvence genu byla kratší než ta stará, takže se mutovaný virus dokázal replikovat rychleji než nemutované viry. Vyšší tempo replikace mutantům umožňovalo vítězit nad konkurenty, dokud sami nebyli nahrazeni novým mutantem, ještě hubenějším virem schopným ještě rychlejší replikace. Nakonec Spiegelman vytvořil degenerovanou populaci drobných genových fragmentů, jež vešly ve známost jako „Spiegelmanova monstra“. Každé malé monstrum mělo na délku jen 220 písmen a ve zkumavce se dokázalo replikovat šílenou rychlostí, ovšem na přežití ve vnějším světě naději nemělo.

Z tohoto příběhu plyne jednoduché ponaučení. Evoluce vybírá adaptace přínosné v určitém prostředí a spíše se prosadí nejjednodušší, nejrychlejší či