

„Neskutočne fascinujúce.“ BILL BRYSON

NOVÉ POZNATKY
O STARNUTÍ A CESTA
ZA NESMRTEĽNOSŤOU

PREČO UMIE RAME



Venki Ramakrishnan

Laureát Nobelovej ceny za chémiu

TATRAN

PREČO
UMIERAME

PREČO UMIERAME

NOVÉ POZNATKY
O STARNUTÍ A CESTA
ZA NESMRTEĽNOSŤOU

Venki Ramakrishnan

TATRAN

Z anglického originálu Venki Ramakrishnan:
Why We Die: The New Science of Aging and The Quest For Immortality,
ktorý vyšiel vo vydavateľstve William Morrow,
An Imprint of HarperCollinsPublishers,
New York 2024,
preložil Martin Kolenič.
Vydalo Vydavateľstvo TATRAN, s. r. o., v roku 2025,
so sídlom Klariská 16, 815 82 Bratislava, Slovenská republika.
Vyšlo ako 5546. publikácia.
Vydanie I.

Knižnú väzbu podľa pôvodného návrhu spracoval Peter Zentko.
Zodpovedná redaktorka Zuzana Šulajová
Jazykové redaktorky Beáta Beláková, Ivana Fábryová
Technický redaktor Peter Zentko
Sadzba AldoDesign, Bratislava
Vytlačil FINIDR, s.r.o., Český Těšín.

www.slovtatran.sk

:: knihy pre **hodnotnejší** život

info@slovtatran.sk

All rights reserved.

Copyright © 2024 by Venki Ramakrishnan
Translation © Martin Kolenič 2025
Slovak edition © Vydavateľstvo TATRAN 2025

ISBN 978-80-222-1727-9



Pre Veru,
moju súputníčku na ceste starnutím

OBSAH

<i>Úvod</i>	11
1. Nesmrteľný gén a jednorazové telo	21
2. Žiť rýchlo, umrieť skoro	36
3. Ničenie riadiacej centrály	56
4. Čo si počítať s koncami?	76
5. Vynulovanie biologických hodín	86
6. Recyklácia odpadu	109
7. Menej je viac	128
8. Čo nás vie naučiť obyčajný červík	146
9. Náš čierny pasažier	167
10. Bôle, boľiestky a krv upírov	182
11. Rojkovia alebo proroci?	195
12. Mali by sme vôbec žiť večne?	218
<i>PodĎakovanie</i>	237
<i>Poznámky</i>	239

Ú V O D

Takmer presne pred sto rokmi v egyptskom Údolí kráľov vykopali archeológovia pod vedením Angličana Howarda Cartera pradávkne schody do vstupnej chodby zapečatenej kráľovskými pečaťami. Pečate, ktoré označovali hrobku faraóna, boli nedotknuté, čo znamenalo, že do miestnosti nikto nevstúpil už vyše tritisíc rokov. Dokonca aj skúseného egyptológa ako Cartera ohromilo to, čo ho vnútri čakalo – múmia mladého faraóna Tutanchamóna vo veľkolepej pohrebnej maske celej zo zlata, po tisícročia obklopená záľahou krásnych a bohato zdobených artefaktov. Egypťania zabezpečovali hrobky pečaťami preto, aby do nich nevstupovali bežní smrteľníci – dávali si mimoriadne záležať na výrobe predmetov, ktoré však nikto nikdy nemal vidieť.

Nádherná výzdoba a zariadenie hrobky boli neoddeliteľnou súčasťou zložitého rituálu, ktorého cieľom bolo prekonať smrť. Vstup do hrobky strážila čierno-zlatá socha šakalieho boha Anubisa, ktorý vládol podsvetiu. Jeho úlohu podrobne opisuje egyptská *Kniha mŕtvych*. Zvitok s jej prepisom často nechávali priamo v sarkofágoch faraónov, čo nás môže zvädzať k myšlienke, že šlo o náboženskú knihu, ale charakterom pripomínala skôr sprievodcu podsvetím s pokynmi, ako sa vyhnúť tamojším nástrahám a ako sa prepracovať k blaženému posmrtnému životu. V jednej z posledných skúšok, ktoré čakali zosnulého, mal Anubis položiť na misky váh jeho srdce a pierko vtáka. Ak je srdce ťažšie ako pierko, je nečisté a zosnulého stihne príšerný osud. Ak sa však srdce ukáže ako čisté, zosnulý vstúpi do krásnej krajiny, kde sa môže oddávať jedeniu, pitiu, sexu a mnohým iným ľudským potešeniam.

Egyptania neboli jediní, kto veril vo večný posmrtný život. Aj keď ostatné kultúry nezašli pri stavbe pomníkov pre svoju šľachtu až tak ďaleko, viera a rituály každej z nich nejakým spôsobom reflektovali otázku smrti.

Predstava, ako si ľudia prvýkrát uvedomili vlastnú smrteľnosť, je fascinujúca. K tomu poznatku sme dospeli v podstate zhodou okolností, keďže na to, aby sme si to vôbec uvedomovali, potrebujeme mať mozog schopný sebauvedomenia. Na to, aby sme si túto predstavu a vedomie vedeli odovzdávať z generácie na generáciu, bolo zrejme tiež potrebné prepracovať sa na istú kognitívnu úroveň a naučiť sa dorozumievať pomocou jazyka. Nižšie formy života – dokonca aj tie zložitejšie, ako napríklad rastliny – nevnímajú smrť. Skrátka sa im prihodí. Zvieratá a iné bytosti, ktoré sú schopné vnímať, môžu mať inštinktívny strach z nebezpečenstva a zo smrti, uvedomujú si, keď ich druh zomrie, a o niektorých je známe, že svojich zomrelých druhov oplakávajú. Nemáme však žiadne dôkazy o tom, že zvieratá sú si vedomé vlastnej smrteľnosti. Nemyslím tým situáciu, keď sú usmrtené násilne, prípadne prídu o život pri nehode alebo v dôsledku choroby, ktorej by bolo možné predísť, to nie. Mám na mysli *nevyhnutnosť* smrti ako takej.

V istom momente sme si my ľudia uvedomili, že život je ako konečná oslava, na ktorú prichádzame vo chvíli narodenia. A vedomie smrti je také hrozivé, že sa ho väčšinu života snažíme potláčať a popierať. Keď napokon niekto v našom okolí zomrie, len s ťažkosťami túto skutočnosť reflektujeme priamo a namiesto toho používame eufemizmy ako „opustil nás“ alebo „odišla“, ktoré v sebe nesú náznak predstavy, že smrť nie je definitívna a v podstate ide len o prechod na iné miesto alebo do akéhosi iného stavu.

Aby sa ľudia dokázali s vedomím smrti vyrovnáť, vo všetkých kultúrach sa rozvinula kombinácia presvedčení a stratégií, ktoré stoja na odmietnutí faktu, že smrť je konečná a nezvratná. Filozof Stephen Cave vyslovil názor, že ľudskú civilizáciu už stáročia ženie vpred honba za nesmrteľnosťou. Spôsoby, akými sa ľudia so smrťou vyrovnávajú, označil ako plány a rozdelil ich do štyroch skupín. Prvý, teda plán A, spočíva v prostej snahe žiť večne, prípadne aspoň tak dlho, ako je to len možné. Ak tento plán zlyhá, nastupuje plán B, teda fyzické znovuzrodenie po smrti. Plán C zasa pracuje s predstavou, že ak aj naše telo

podľahne skaze a nemožno ho opätovne oživiť, súčasťou našej ľudskej podstaty je nesmrteľná duša. Posledný plán D hovorí, že žiť môžeme prostredníctvom toho, čo po sebe zanecháme, či už ide o výsledky našej práce, o pomníky alebo o biologických potomkov.

Celé ľudstvo sa počas života snaží držať plánu A, no medzi jednotlivými kultúrami panujú rozdiely v tom, po akých náhradných plánoch siahajú pre prípad, že by plán A zlyhal. V Indii, kde som vyrastal, sa hinduisti a budhisti s radosťou utiekajú k plánu C a k myšlienke, že každý človek má nesmrteľnú dušu, ktorá sa po smrti reinkarnuje do nového tela, dokonca aj do tela celkom odlišného živočíšneho druhu. Abrahámovské náboženstvá, kam patria judaizmus, kresťanstvo a islam, sa hlásia k plánom B i C. Veria v nesmrteľnosť duše, ale takisto aj v myšlienku, že jedného dňa *fyzicky* vstaneme z mŕtvych a zúčastníme sa na poslednom súde. Zrejme preto tieto náboženstvá tradične trvali na pochovávaní nedotknutých tiel a zakazovali žiarové pochovávanie.

Iné kultúry – medzi iným aj tá staroegyptská – sa zasa snažili rozložiť riziko stávky tým, že do svojho náboženského systému zapracovali všetky štyri plány. Mumifikovali telá faraónov a ukladali ich do grandióznych hrobiek, aby mohli opäť povstať k životu vo vlastnom tele. Verili však aj v dušu, ktorú označovali *ba*. Nezanikala smrťou a podľa nich v sebe niesla podstatu danej osoby. Prvý cisár zjednotenej Číny Čchin-Š'-Chuang pristupoval k otázke nesmrteľnosti podobným systémom „viacnásobných poistiek“. Sám unikol viacerým pokusom o atentát, podrobil mnohé štáty vojnami a zhromažďoval moc. Napokon obrátil pozornosť na elixír života. Vysielal poslov, aby zachytávali všetky informácie, hoci aj náznaky, o jeho prípadnej existencii. V prípade, že sa im ju nepodarilo potvrdiť a elixír nenašli, čakala ich istá smrť. Mnohí z nich sa preto nakoniec celkom logicky rozhodli utiecť a nezostala po nich ani stopa. Čchin sa okrem toho rozhodol aj pre extrémnu kombináciu plánov B a D a prikázal, aby mu v Sia-ne vybudovali mauzóleum veľké ako celé mesto. Na stavbe pracovalo 700 000 mužov. Súčasťou hrobky bola aj terakotová armáda pozostávajúca zo 7 000 bojovníkov a koní, ktorí mali chrániť zosnulého cisára až do momentu jeho znovuzrodenia. Čchin zomrel ako štyridsaťdeväťročný v roku 210 p. n. l. Je len ironické, že mu život skrátili toxické odvary a elixíry, ktorými si ho chcel, naopak, predĺžiť.

Spôsob, akým sa vyrovnávame so smrťou, sa začal meniť v osemnástom storočí s príchodom obdobia osvietenstva a modernej vedy. Rastúci význam racionality a skepticizmu nás priviedol do bodu, v ktorom sa síce mnohí stále držíme niektorej z obdôb plánov B a C, hlboko vnútri už však necítíme istotu, že tieto alternatívy sú reálne. Pozornosť sme teda zamerali na hľadanie spôsobu, ako sa udržať pri živote čo najdlhšie a ako zaistiť, že náš odkaz pretrvá aj po smrti.

Kuriozitou ľudskej psyché je, že ak aj akceptujeme skutočnosť, že nás samotných čaká koniec, cítime silnú potrebu zanechať po sebe pamäťovú stopu. Namiesto stavania hrobiek a pomníkov sa však dnes tí najbohatší vyberajú cestou filantropie a financujú stavby a nadácie, ktoré ich prežijú. V priebehu dejín sa o zvečnenie prostredníctvom umeleckých diel snažilo aj množstvo spisovateľov, umelcov, hudobníkov a vedeckých osobností. V konečnom dôsledku je však perspektíva, že budeme žiť ďalej len prostredníctvom akéhosi odkazu, nevelmi uspokojivá.

Ak nemáte to šťastie a nie ste ani mocná vládkyňa, ani miliardár, ani druhý Einstein, nemusíte zúfať. Ďalším zo spôsobov, ako zanechať po sebe nejaký odkaz a zapísať sa do pamäti druhých, je totiž prístupný prakticky všetkým živým bytostiam – potomkovia, v ktorých bude náš život pokračovať ďalej. Túžba splodiť potomka, v ktorom prežije niečo z nás, je jedným z najsilnejších biologických inštinktov, aké sa u nás vyvinuli, a je takou významnou súčasťou života, že sa k nej neskôr ešte vrátíme a povieme si o nej oveľa viac. Ale hoci milujeme svoje deti a vnúčatá a želáme si, aby ich život trval ešte dávno po tom, čo sa my pominieme, vieme, že sú samostatnými bytosťami s vlastným vedomím. Inými slovami, oni nie sú my.

Väčšinu z nás však nesužuje neprestajná existenčná úzkosť z vedomia vlastnej pomínutelnosti. V našom mozgu sa totiž podľa všetkého vyvinul istý obranný mechanizmus, vďaka ktorému na smrť nazeráme skôr ako na niečo, čo sa deje iným ľuďom, nie nám samotným. K tejto mylnej predstave prispieva aj skutočnosť, že zomierajúci sú oddelení od zvyšku spoločnosti. Na rozdiel od minulosti, kde nás s realitou smrti konfrontovalo množstvo zomierajúcich navôkol, dnešní ľudia často zomierajú v hospicoch a nemocniciach, mimo zvyšku populácie. V dôsledku toho väčšina z nás, osobitne mladší ľudia, v každodennom živote funguje, ako keby sme boli nesmrteľní. Usilovne

pracujeme, venujeme sa koníčkom, snažíme sa naplňať dlhodobé ciele – všetky tieto veci príhodne smerujú našu pozornosť niekam inam než na obavu zo smrti. Nech však využívame hocakú taktiku, vedomiu vlastnej smrteľnosti nakoniec nikdy úplne neunikneme.

A tak sa vraciame k plánu A. Bytosti s vedomím majú už milióny rokov spoločnú stratégiu prežitia: snažiť sa žiť tak dlho, ako je to len možné. Od malého malička sa inštinktívne vyhýbame nehodám, predátorom, nepriateľom a chorobám. Táto univerzálna túžba nás už celé tisícročia vedie k tomu, aby sme sa chránili pred útokmi združovaním do spoločenstiev, budovaním obranných stavieb, vývojom zbraní a zakladaním armád; takisto však viedla k snahe nájsť nejaký elixír alebo liek, vďaka čomu napokon vznikla moderná medicína a chirurgia.

Priemerný vek dožitia sa celé stáročia prakticky nemenil. Za ostatných 150 rokov sa nám ho však podarilo zdvojnásobiť, v prvom rade najmä preto, že lepšie chápeme to, ako človek ochorie, ako sa choroby šíria, a takisto vďaka lepšiemu verejnému zdravotníctvu. Vďaka týmto pokrokom došlo k obrovskému skoku vpred v posune priemernej dĺžky života, do veľkej miery pomohlo aj výrazné zníženie miery úmrtnosti novorodencov. Oveľa tvrdším orieškom je však snaha predĺžiť maximálnu dĺžku života – teda vek, ktorého sa môžeme dožiť v tých najlepších možných podmienkach. Existuje azda nejaká pevne daná hranica alebo sa nám s rastúcim množstvom poznatkov o nás samotných a našej biológii podarí starnutie spomaliť či dokonca zvrátiť?

Revolúcia v biológii, ku ktorej došlo pred vyše sto rokmi pri objave génov, nás dnes priviedla na rázcestie. Po prvý raz nám aktuálny výskum podstaty starnutia prináša perspektívu, keď sa nielenže dožívame v lepšom zdraví vyššieho veku, ale je dokonca možné predĺžiť si život.

Identifikovať príčiny starnutia je akútne dôležité aj pre aktuálnu demografickú situáciu sveta. Takmer všade rastie podiel staršieho obyvateľstva v pomere k celkovej populácii, preto je snaha udržať týchto obyvateľov v dobrom zdraví čo najdlhšie prirodzene naliehavou prioritou pre celú ľudskú spoločnosť. Výskum starnutia – známy aj ako gerontológia – sa v súčasnosti z okraja výskumného záujmu dostal do fázy prudkého rozvoja.

Len za posledných desať rokov vyšlo v odbornej tlači vyše 300 000 vedeckých článkov. Vyše 700 startupových firiem investovalo spolu

desiatky miliárd dolárov v snahe popasovať sa s otázkou starnutia – a to nepočítame veľké a etablované farmaceutické giganty, ktoré majú vlastné výskumné a vývojové programy.

Pri takej enormnej snahe sa však natíska viacero otázok. Podarí sa nám napokon obohrať choroby a smrť a budeme žiť oveľa dlhšie, možno až násobky aktuálnej dĺžky života? Prirodzene, niektorí vedci už s takýmito vyhláseniami prišli. A kalifornskí miliardári, ktorých život, aký vedú, nesmierne baví, si skrátka nevedia predstaviť, že by sa mali porúčať z večierka, a tak mimoriadne ochotne financujú všetok výskum.

Dnešní obchodníci s večnosťou – výskumníci, ktorí tvrdia, že by sme sa mali pokúsiť predlžovať život donekonečna, v tandeme s miliardármi, ktorí ich financujú – sú v podstate len modernou obdobou dávnych prorokov, ktorí sľubovali ľuďom dlhý život bez väčších obáv z prichádzajúcej staroby a smrti. Kto by takýto život chcel? Maličkého percento populácie, ktoré si to bude môcť dovoliť? Aké by boli etické aspekty liečenia alebo úprav ľudí s cieľom dosiahnuť takúto metú? A ak budú tieto metódy prístupné širokým vrstvám spoločnosti, ako sa svet zmení? Dopracujeme sa námesačným krokom do budúcnosti bez toho, aby sme zvážili možné spoločenské, hospodárske a politické dôsledky toho, že ľudia zrazu budú žiť niekoľkonásobne dlhšie? Vzhľadom na nedávne posuny vo výskume a na obrovské množstvo peňazí, ktoré sa doň lejú, si musíme položiť otázku, kam nás vlastne tento výskum vedie a čo hovorí o limitoch, ktoré ako ľudské bytosti máme.

Pandémia koronavírusu, ktorá koncom roku 2019 zasiahla svet, je bolestivou pripomienkou, že prírodu naše plány nezaujímajú. Život na zemi sa riadi pravidlami evolúcie a my si zas a znova pripomínáme, že vírusy tu boli už dávno pred ľudstvom, majú vysokú schopnosť adaptácie a budú tu ešte dávno po tom, čo ako druh zmizneme z povrchu zemskeho. Nie je teda arogantné myslieť si, že s pomocou vedy a techniky dokážeme prekabátiť smrť? Ak áno, na aké ciele by sme sa mali sústrediť namiesto toho?

Väčšinu svojej dlhej kariéry som strávil skúmaním, ako sa v našich bunkách tvoria bielkoviny – stavebné kamene nášho organizmu. Táto otázka je taká významná, že sa dotýka prakticky každého aspektu biológie. Za posledných pár desaťročí sme navyše zistili, že starnutie

do veľkej miery súvisí s tým, ako naše telo reguluje tvorbu a rozklad bielkovín. Keď som sa však na túto kariérnu dráhu vydával, ani na um by mi nezišlo, že moja práca bude napokon úzko súvisieť s otázkou, prečo vlastne starneme a zomierame.

Prirodzený strach, ktorý v sebe máme, je takisto dôvodom, pre ktorý sa o starnutí a prístupe k smrti popísalo nespočetné množstvo kníh. Tie spadajú do niekoľkých kategórií. Máme knihy s praktickými radami o tom, ako starnúť zdravo – niektoré sú rozumné, iné zasa hraničia so šarlatánstvom. Ďalšie knihy majú morálny a filozofický význam, zaoberajú sa problematikou, ako čeliť otázke vlastnej smrteľnosti a ako sa dôstojne vyrovnáť s konečnosťou bytia. A na záver tu sú knihy, ktoré do hĺbky skúmajú biologickú stránku starnutia. Aj tie možno rozdeliť do niekoľkých kategórií. Píšu ich novinári alebo vedci, ktorí sa téme venujú, a to buď tak, že majú vlastný startup, alebo vedú firmu, ktorá sa venuje boju so starnutím. Kniha, ktorú držíte, však nepatrí do žiadnej z uvedených skupín.

Vzhľadom na rýchlosť, s akou sa táto oblasť výskumu rozvíja, a vzhľadom na obrovské množstvo verejných aj súkromných zdrojov, ktoré sa do problematiky investovali, a obrovské nadšenie, ktoré z toho vzišlo, som usúdil, že nastala vhodná chvíľa, aby sa človek ako ja – molekulárny biológ, ktorý na vec nič nestavil – kriticky a objektívne pozrel na aktuálne vnímanie a chápanie otázky starnutia a smrti. Keďže osobne poznám viaceré z významných osobností z problematiky, mal som možnosť otvorene a úprimne sa s nimi porozprávať a získať autentický a podrobný prehľad o ich postoji k výskumu starnutia a jeho rôznorodým aspektom. Zámerne som sa vyhýbal diskusiám s vedcami, ktorí svoje stanoviská jasne formulovali vo vlastných knihách, osobitne v prípadoch, keď sú úzko prepojení s komerčnými aktivitami v oblasti starnutia, rozoberám však tie ich stanoviská, ktorým sa vo verejnej sfére dostala najväčšia pozornosť.

Pri tom, ako rýchlo sa na verejnosť dostávajú nové odhalenia, je prirodzené, že prakticky každá kniha, ktorá rozoberá len tie najnovšie objavy v oblasti starnutia, je zastaranou ešte predtým, ako sa dostane do kníhkupectiev. Najnovšie vedecké poznatky v akejkoľvek oblasti často neobstoja v podrobnejšej analýze a súvisiaci výskum je potom nutné prepracovávať alebo celkom opustiť. Prihliadajúc na to, snažil som sa teda zamerať na základné princípy, ktoré stoja za najslubnej-

šie vyzerajúcimi vedeckými prístupmi v rámci starnutia a boja s ním. Tieto princípy by mali obstáť aj v skúške času a mali by pomôcť čitateľkám a čitateľom lepšie pochopiť, ako sme sa dopracovali k aktuálnemu stavu poznania. Takisto prinášam dôležitý historický kontext výskumu, ktorý nás nasmeroval tam, kde sme. Je naozaj fascinujúce a dôležité uvedomiť si, koľko z toho, čo vieme, má pôvod v práci vedcov, ktorí sa v rámci svojho biologického výskumu venovali úplne iným základným otázkam.

Vravel som, že som na otázku starnutia nestavil nič, ale v skutočnosti to nemôže tvrdiť nikto z nás. Každý z nás sa zamýšľa, ako čeliť tomu, že život sa raz skončí – menej často vtedy, keď sme ešte mladí a cítime sa nesmrteľní, ale výrazne viac, keď máte sedemdesiatjeden rokov ako ja a uvedomujete si, že to, čo ste ešte desať-dvadsať rokov dozadu zvládali hravo, už dokážete len s ťažkosťami, ak vôbec. Niekedy sa človeku zdá, že v živote je to ako v dome, ktorý sa postupom času stáva čoraz menej prístupný a so zvyšujúcim sa vekom je v ňom čoraz viac zapečatených miestností, do ktorých by ste boli inak radi vstúpili. Je teda prirodzené klásť si otázku, či napokon veda nenájde spôsob, ako tieto dvere opäť odpečatiť a otvoriť.

Keďže je starnutie tak úzko späté s množstvom biologických procesov, v tejto knihe sa z rýchlika pozrieme aj na veľa aspektov molekulárnej biológie. Pri našom putovaní minieme významné body, ktoré nás priviedli k aktuálnemu porozumeniu v súvislosti s otázkou, prečo starneme a umierame. Popritom sa bližšie prizrieme programu života, ktorý pre nás zostavili naše gény, a tomu, prečo napokon s vekom dochádza k jeho čoraz častejším narušeniam. Pozrieme sa aj na dôsledky, ktoré tieto narušenia majú na bunky a tkanivá nášho organizmu a v konečnom dôsledku aj na nás ako jednotlivcov. Povenujeme sa tiež fascinujúcej otázke, prečo – napriek tomu, že všetky živé bytosti podliehajú rovnakým zákonom biológie – niektoré živočíšne druhy žijú oveľa dlhšie než iné, hoci sú si relatívne blízke, a čo to znamená pre nás ľudí. Triezvym pohľadom nazrieme aj na najnovšie snaženie v oblasti predlžovania života a zhodnotíme, či je nadšenie v súvislosti s ním naozaj oprávnené. Kriticky rozoberiem aj názory, ktoré sú dnes v móde, vrátane domnienky, že najväčšie úspechy v oblasti práce môžeme zozbrať práve v starobe. Dúfam tiež, že sa mi podarí vhodne uchopiť aj kľúčovú etickú otázku, ktorá sa ťahá naprieč všetkými výskumnými

prácami venovanými boju so starnutím: aj keď by sme to napokon dokázali, *mali by sme* to vôbec robiť?

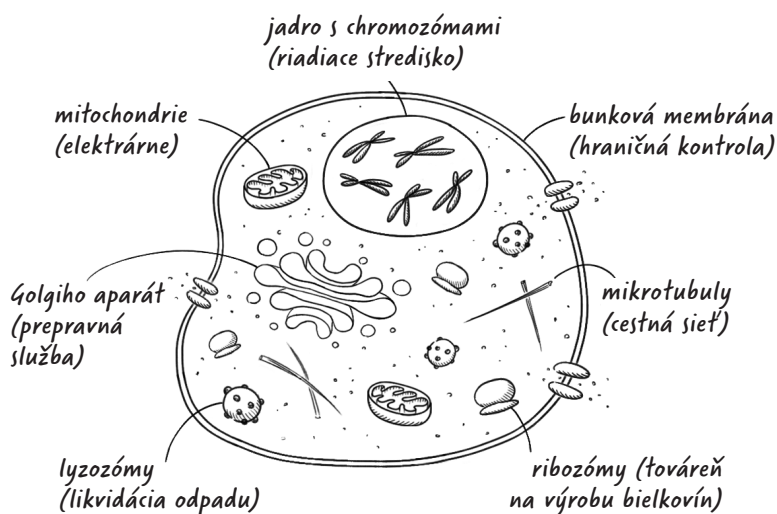
Prvým krokom na našej ceste bude zamyslenie sa, čo presne smrť je, nad množstvom spôsobov, akými sa prejavuje, a napokon spolu preskúmame tú najpodstatnejšiu otázku – prečo umierame.

1.

NESMRTEĽNÝ GÉN A JEDNORAZOVÉ TELO

Na prechádzke ulicami Londýna ma vždy fascinuje, ako v jednom meste dokážu bez problémov pracovať, presúvať sa a spoločensky žiť milióny ľudí. Jeho infraštruktúra je zložitá a bezproblémové fungovanie mu zaisťuje súhra státisícov ľudí: londýnske metro a autobusy nás vozia po meste, pošta a kuriérske služby nám nosia listy a balíky, supermarkety nám dodávajú jedlo, energetické podniky pre nás vyrábajú a distribuujú elektrinu a spracovatelia odpadu nám mesto čistia a zbavujú ho obrovského množstva odpadkov, ktoré tvoríme. V bežnom živote je celkom jednoduché sklízať k tomu, že tento neuveriteľný koordinačný počin, zvaný aj civilizácia, budeme vnímať ako niečo samozrejmé.

Podobne zložitá choreografia sa dá pozorovať aj v tej najjednoduchšej forme života: v bunke. Ako sa tvorí, postupne sa v jej vnútri skladajú komplikované štruktúry pripomínajúce časti našich miest. Na to, aby sa udržala v chode, v nej musia prebiehať tisíce synchronizovaných procesov. Prijíma živiny a vylučuje odpad. Transportné molekuly prenášajú náklad z miesta výroby do vzdialených kútov bunky, kde je práve potrebný. A tak, ako ani mestá nedokážu existovať v izolácii a musia si vymieňať tovar, služby a ľudí s okolitými obcami a regiónmi, aj bunky v tkanivách musia spolupracovať a komunikovať so svojimi susedmi. Na rozdiel od miest, ktorých rast za bežných okolností



Zložitá štruktúra bunky sa v mnohom podobá mestu. Znázornené sú len jej hlavné súčasti, a aby boli lepšie viditeľné, nie sú všetky zakreslené v rovnakej mierke.

nie je obmedzený, bunka musí presne vedieť, kedy rásť a deliť sa, ale aj to, kedy s tým prestať.

Naprieč dejinami vidíme, že obyvatelia svoje mestá považovali za večné. Nežijeme v ňom s predstavou, že jedného dňa zrazu prestane jestvovať. Mestá a dokonca aj celé spoločnosti, impériá a civilizácie však rastú a umierajú presne ako bunky. Keď sa rozprávame o smrti, tento typ smrti zväčša nemáme na mysli – skôr sa zameriavame na smrť ako udalosť, ktorá postihuje nás ako jednotlivcov. Ale ukazuje sa, že nie je vôbec jednoduché definovať jednotlivca, tobôž nie jeho narodenie alebo smrť.

Čo presne umiera v momente našej smrti? V tomto bode je totiž väčšina buniek nášho tela ešte stále nažive. Mohli by sme darovať celé orgány, a ak dôjde k ich rýchlej transplantácii, môžu bez problémov pracovať ďalej. Bilióny baktérií, ktoré majú vlastne početnú prevahu nad bunkami ľudského tela, aj naďalej prosperujú. Občas to však platí aj presne naopak: predstavme si, že by sme pri nehode stratili niektorú z končatín. Je jasné, že daná končatina celkom určite odumrie, ale preto si hneď nemyslíme, že v dôsledku toho umierame my sami.

Keď teda hovoríme o tom, že umierame, máme na mysli stav, v ktorom prestávame fungovať ako jeden súdržný celok. Súbor buniek, ktoré tvoria naše tkanivá a orgány, medzi sebou komunikujú a práve vďaka nim sme tým, kým sme – teda jednotlivcami s vedomím. Keď však prestanú pracovať ako jeden celok, umierame.

Smrť v neodvratnom zmysle, ktorým sa zaoberáme v tejto knihe, je dôsledkom starnutia. Najjednoduchšie si ho môžeme predstaviť ako chemické poškodenia našich molekúl a buniek, ktoré sa časom nahromadili. Tieto poškodenia majú za následok postupný úbytok fyzických a psychických, respektíve mentálnych schopností až do bodu, v ktorom ďalej nie sme schopní fungovať ako jeden súdržný celok, čiže jednotlivec, a umierame. Pripomína mi to citát z Hemingwayovho diela *Slnko aj vychádza*, kde jedna z postáv dostáva otázku, ako sa dopracovala k bankrotu, na čo odpovedá takto: „Dvojako,“ povedal Mike. „Postupne a potom naraz.“⁴ So starnutím postupne prichádza úpadok, po ktorom náhle príde smrť. Proces starnutia môžeme vnímať ako postupný rozvoj drobných porúch v zložitom systéme nášho tela; tie potom rastú do strednej veľkosti a prejavujú sa ako choroby a ťažkosti typické pre starobu. Ich postupné zhoršovanie napokon vedie k zlyhaniu celého systému, ktorým je smrť.

Aj v tomto prípade ťažko s presnosťou označiť *moment*, v ktorom smrť nastáva. Smrťou sme kedysi označovali okamih, v ktorom prestáva biť srdce, ale dnes je často možné zástavu srdca zvrátiť pomocou kardiopulmonálnej resuscitácie (ľudovo „oživovanie“). Dnes sa za priamy prejav smrti skôr považuje zlyhanie funkcií mozgu, ale zdá sa, že aj to je možné niekedy zvrátiť. Rozdiely v presnej právnej definícii smrti môžu mať doslova hmatateľné dôsledky. V hypotetickej situácii, kde dôjde k odberu orgánov dvoch osôb vo dvoch rôznych amerických štátoch, môže byť jeden takýto odber zo zákonného hľadiska bezproblémový, zatiaľ čo druhý sa bude považovať za vraždu, hoci by sme oboch darcov považovali za mŕtvych na základe totožných kritérií. Dievča, u ktorého v kalifornskom Oaklande konštatovali mozgovú smrť, mohlo byť ďalej považované za živé v štáte New Jersey, kde žili jej príbuzní. Jej rodina sa obrátila na súd a napokon

⁴Hemingway, Ernest. *Slnko aj vychádza* [e-kniha]. Bratislava, 2015: Ikar. s. 180. ISBN 978-80-551-4499-3

docielila, že ju napojenú na prístroje previezli do New Jersey, kde zomrela o niekoľko rokov neskôr.

Ak je teda nevhodne definovaný presný moment našej smrti, platí to aj o momente, v ktorom sa rodíme. Existujeme už predtým, ako vyjdeme z maternice a po prvý raz sa nadýchneme. Mnohé náboženstvá za začiatok života považujú počatie, ale aj počatie samotné je pojem s nejasnými kontúrami. Existuje totiž isté časové okno od chvíle, keď spermia príde do kontaktu s povrchom oocyту, do chvíle, keď sa rozbehne genetický program oplodneného vajíčka. V priebehu niekoľkých dní dochádza k opakovanému deleniu oplodneného vajíčka a nejaký čas trvá, kým embryo – v tej chvíli označované ako blastocysta – vyrastie do výstelky maternice. Ešte neskôr sa vytvára zárodok srdca a až dlho potom, keď sa začne vyvíjať nervová sústava a mozog, môže plod cítiť bolesť.

Otázka, kedy sa začína život, je rovnako sociokultúrna ako vedecká, čo napokon vidíme aj na sústavne prebiehajúcej diskusii o potratoch. Aj v mnohých krajinách, kde je inak umelé prerušenie tehotenstva legálne (vrátane Spojených štátov a Spojeného kráľovstva), je nezákonné umožniť rast embryí na výskumné účely v období dlhšom ako štrnásť dní, čo zhruba zodpovedá fáze, v ktorej sa v embryu objavuje ryha zvaná primitívny prúžok. Po nej sa už embryo nemôže rozdeliť na dve časti, z ktorých by vznikli identické dvojčatá. Aj keď teda považujeme narodenie a smrť za nárazové a okamžité udalosti – v jednej chvíli začneme existovať, v druhej existovať prestaneme –, v skutočnosti sú hranice života nejasné. To isté platí o väčších organizačných jednotkách. Je ťažké presne určiť čas, v ktorom začína existovať mesto, ako aj moment, v ktorom sa rozpadá.

Smrť nemá obmedzenú mierku a môže postihnúť molekuly, ale aj národy. Tieto inak rôznorodé štruktúry a systémy však majú spoločné črty: rast, starnutie a úpadok. V každom prípade môžeme pozorovať kritický moment, v ktorom jednotlivé súčasti organického celku viac nedokážu zaistiť jeho ďalšie fungovanie. Molekuly v našich bunkách pracujú koordinovaným spôsobom, čím bunke umožňujú realizáciu životných funkcií, ale ako také môžu utrpieť chemické poškodenie, ktoré môže viesť až k ich rozpadu. Ak sú tieto molekuly zodpovedné za životne dôležité procesy, bunky, ktorým patria, napokon starnú a umierajú. Keď sa na vec pozrieme vo väčšom meradle, miliardy

buniek v človeku komunikujú a vykonávajú špecializované úlohy tak, aby bol jednotlivec, ktorý z nich pozostáva, funkčný. Bunky v našom tele zomierajú prakticky neustále a ich smrť nemá žiaden negatívny vplyv na človeka ako celok. Už vo fáze rastu embrya sú totiž mnohé z nich naprogramované na smrť v presnom momente vývinu človeka – tento jav sa nazýva apoptóza (hovorovo aj „bunková samovražda“, pozn. prekl.). Keď však umrie dostatok *podstatných* buniek, či už v srdci, v mozgu alebo podobne kritickom orgáne, jednotlivec ako celok už viac nedokáže ďalej fungovať a zomiera.

My ľudia sa od vlastných buniek veľmi nelíšime. Aj my vykonávame svoje úlohy v rôznych skupinách – vo firmách, mestách aj spoločnosti. Odchod jedného zamestnanca za bežných okolností nemá vplyv na fungovanie spoločnosti a má ešte menší vplyv na fungovanie mesta či krajiny, presne tak, ako smrť jedného stromu nevypovedá nič o životaschopnosti celého lesa. Ak však náhle odídu kľúčoví zamestnanci, napríklad celý vyšší manažment, zdravie a budúcnosť takejto firmy by už boli otázne.

Je tiež zaujímavé pozorovať, že dĺžka života rastie s veľkosťou tej-ktorej entity. Väčšina buniek nášho tela v priebehu života odumrie, aby ich nahradili nové, a tento proces sa do našej smrti zopakuje ešte mnohokrát; firmy zasa často prežívajú oveľa kratšie než mestá, v ktorých pôsobia. Princíp bezpečnosti vychádzajúcej z číreho množstva jednotlivcov je hybnou silou vývinu života i spoločností. Prvotnou formou života boli zrejme molekuly, ktoré sa dokázali replikovať samy a neskôr sa usporiadali v rámci uzavretých štruktúr, dnes známych ako bunky. Niektoré z týchto buniek sa zoskupili a vytvorili jednotlivé živočíchy. Tie sa následne združili do stád – v našom prípade do spoločentiev, miest a národov. Každá úroveň organizácie priniesla jednotlivcom väčšiu bezpečnosť a previazanejší svet, v ktorom existujú. Dnes by už iba sotvakto dokázal prežiť ponechaný sám na seba.

AK SA VŠAK ZAMYSLÍME NAD SMRŤOU, vo všeobecnosti sa zamýšľame hlavne nad tou svojou – nad koncom vedomej existencie nás ako konkrétneho jedinca. Tento druh smrti v sebe nesie výrazný paradox: aj keď jednotlivci zomierajú, život ako taký pretrváva. Tým nemám na mysli iba fakt, že naša rodina, komunita a spoločnosť pretrvávajú

a budú ďalej žiť aj bez nás. Skôr považujem za pozoruhodné, že každá bytosť, ktorá je dnes nažive, je priamym potomkom prapôvodnej bunky, ktorá existovala pred miliardami rokov. Aj keď sa teda život v čase mení a vyvíja, každý z nás v sebe nesie určitú podstatu, ktorá žije nepretržite už miliardy rokov. Toto tvrdenie bude platiť pre každú živú bytosť, kým bude jestvovať život na planéte Zem, ak teda jedného dňa nevytvoríme celkom novú a umelú formu života.

Ak medzi nami a našimi pradávnyimi predkami existuje priama generačná postupnosť, musí teda v každom z nás existovať niečo, čo napokon *nezomrie*. Konkrétne ide o informáciu, ako vytvoriť inú bunku alebo celkom nový organizmus, hoci pôvodný nositeľ tejto informácie už zomrel – je to presne tak, ako v prípade informácií a myšlienok z tejto knihy, ktoré sa v nejakej podobe zachovávajú ešte dávno po tom, čo sa jej fyzický výtlačok rozpadne.

Informácie, ktoré zaistujú pokračovanie života, sú, prirodzene, zapísané v našich génoch. Každý gén je časťou našej DNA, ktorá tvorí chromozómy uložené v jadre bunky – špecializovanom oddelení na uchovávanie genetického materiálu. Väčšina z našich buniek obsahuje rovnaký kompletný súbor génov, kolektívne označovaný ako genóm. Zakaždým, keď sa naše bunky delia, odovzdávajú celý genóm každej zo svojich dcérskych buniek. Drvivá väčšina týchto buniek je prosto súčasťou tela a zomrie spolu s ním. Niektoré bunky však budú žiť ďalej, pretože sa vyvinú do podoby našich detí – nových jednotlivcov, ktorí budú súčasťou nasledujúcej generácie. Čo je teda na týchto bunkách výnimočné a umožňuje im to pretrvať?

Odpoveď na túto otázku uzavrela obrovskú kontroverziu, ktorá sa objavila ešte dávno predtým, než sme vôbec vedeli o génoch alebo o DNA. Keď ľudia po prvýkrát prijali myšlienku, že by sa náš druh mohol vyvíjať, objavili sa dva protichodné názory. Prvý z nich začiatkom devätnásteho storočia presadzoval Francúz Jean-Baptiste Lamarck a išlo o tvrdenie, že zdediť možno aj vlastnosti a charakteristiky, ktoré sme si v živote osvojili. Ak by sa napríklad žirafe podarilo natiahnuť si krk tak, aby dokázala obhrýzať aj lístie na vyššie položených vetvách stromov, jej potomstvo by po nej mohlo zdediť dlhší krk. Druhou teóriou bol prirodzený výber a presadzovala ho dvojica britských biológov Charles Darwin a Alfred Wallace. Podľa nej boli žirafy rôznorodé, niektoré mali krk dlhší a iné zasa kratší. Žirafy s dlhším krkom

však mali väčšiu šancu získať dostatok potravy, vďaka čomu prežili a mohli splodiť potomstvo. S každou ďalšou generáciou dochádzalo k opakovanému výberu variantov s dlhším krkom.

Tridsaťpäťročný Alfred Wallace, ktorý bol v tom čase relatívne neznámy, napísal v roku 1858 Darwinovi zo svojho pôsobiska, vtedy zvaného Malajské súostrovie, a predstavil mu svoje myšlienky, nevediac, že aj jeho starší kolega sám dospel k rovnakému záveru ešte mnoho rokov pred ním. Keďže tieto myšlienky boli naozaj revolučné a týkali sa aj spoločenskej a náboženskej sféry, Darwin dovedy nemal dosť odvahy publikovať ich, komunikácia s Wallaceom ho však popchla k činom. Darwin bol jedným z vážených členov britskej vedeckej obce, a ak by bol o čosi menej škrupulózny, pravdepodobne by Wallaceov list ignoroval a narýchlo vydal svoj rukopis. Darwin sa však rozhodol, že 1. júla 1858 spolu s Wallaceom odprezentujú zistenia na stretnutí Londýnskej Linnéovskej spoločnosti. Reakcie na samotnú prednášku neboli ktovieako silné a jej bezprostredný účinok bol len malý. V azda najhoršom vyhlásení v dejinách vedy predsedu spoločnosti uviedol v každoročnom príhovore toto: „Tento rok, pravda, nepriniesol žiadne zásadné odhalenia, ktoré by okamžite prevrátili naruby vedeckú disciplínu, v ktorej k nim došlo.“ Prednáška však vydláždila cestu k tomu, aby v nasledujúcom roku mohla vyjsť Darwinova práca *O pôvode druhov*, ktorá naveky zmenila naše chápanie biológie.

V roku 1892, tridsaťtri rokov potom, čo vyšlo Darwinovo monumentálne dielo, sa nemeckému biológovi Augustovi Weismannovi podarilo elegantne vyvrátiť Lamarckovu predstavu. Aj keď ľudia už dlhý čas vedeli o súvislosti pohlavného styku s plodením potomstva, len v posledných troch storočiach sme dospeli k poznaniu, že kľúčovou udalosťou v celej veci je spojenie spermie a vajíčka, ktoré celý vývin naštartuje. Oplodnenie vajíčka prostredníctvom spermie vedie k napohľad zázračnému vzniku celkom nového jedinca. Tento jedinec pozostáva z miliónov buniek, ktoré vykonávajú takmer všetky telesné funkcie a zomierajú spolu s ním. Súhrnne ich označujeme ako somatické bunky, výraz pochádza z grécko-latinského slova *soma* a znamená „telo“. Spermia a vajíčko sú však bunky zárodočnej línie. Uložené sú v našich gonádach, teda v semenníkoch u mužov a vo vaječníkoch u žien, a práve ony sú jedinými prenášačkami dedičnej informácie:

génov. Weismann vyslovil predpoklad, že bunky zárodočnej línie môžu vytvoriť somatické bunky nasledujúcej generácie, no opačným smerom to fungovať nemôže. Bunky zárodočnej línie, chránené v gonádach, zostávajú nezmenené a nijako ich neovplyvňuje správanie žirafy ani žiadne zmeny, ktorými by prešiel jej krk.

Bunky zárodočnej línie, ktorými sa šíria naše gény, sú nesmrteľné v tom zmysle, že stačí iba malá časť z nich na to, aby pri pohlavnom rozmnožovaní vytvorili nasledujúcu generáciu somatických buniek, ako aj buniek zárodočnej línie, čím sa prakticky vynuluje časomiera starnutia. V každej generácii sú naše telá, naša soma, iba nádobami, ktoré umožňujú šírenie génov. Telo v podstate stráca opodstatnenie po naplnení svojho účelu. Smrť zvierata alebo človeka je teda v skutočnosti len smrťou nádoby na jedno použitie.

PREČO TEDA SMRŤ VÔBEC EXISTUJE? Prečo skrátka nežijeme večne? Ruský genetik 20. storočia Feodosius Dobžanskij raz napísal: „Nič v biológii nemá zmysel, iba ak vo svetle evolúcie.“ Konečnou odpoveďou na otázku, *prečo* v rámci biológie k niečomu dochádza, je, že sa to takto vyvinulo. Keď som začal uvažovať nad tým, prečo zomierame, naivne som sa nazdával, že zrejme ide o spôsob, akým príroda umožňuje novej generácii prekvitať a množiť sa bez toho, aby musela bojovať s naďalej prítomnou staršou generáciou o zdroje potravy, vďaka čomu sú šance na prežitie génov v konečnom dôsledku vyššie. Každý jedinec novej generácie okrem toho nesie inú kombináciu génov než jeho rodičia a takéto neustále premiešavanie kariet života tak umožňuje nášmu druhu ako celku prežiť.

Táto myšlienka tu bola prítomná minimálne od čias rímskeho básnika Lukrécia, ktorý žil v 1. storočí p. n. l. Je naozaj priťažlivá – je však aj nesprávna. Problém spočíva v tom, že žiadne gény, ktoré sú na ošoh skupine, no zároveň jestvujú na úkor jednotlivca, sa v rámci populácie nemôžu udržať. Dôvodom je „podvádzanie“. Z evolučného hľadiska je „podvodníkom“ každá mutácia v prospech jednotlivca a na úkor skupiny. Môžeme napríklad predpokladať, že existujú gény podporujúce starnutie, vďaka čomu ľudia umierajú relatívne včas, z čoho má prospech širšia skupina. Ak by sa u niektorého jednotlivca vyvinula mutácia, ktorá tieto gény deaktivuje a umožní mu dlhší život, získa viac

príležitostí splodiť potomstvo, aj keď to skupine ako celku nepomôže. A takáto mutácia napokon vyhrá.

Na rozdiel od ľudí sa mnoho druhov hmyzu a obilnín rozmnožuje iba raz. Druhy ako háďatko (*Caenorhabditis elegans*) alebo lososy pri jedinom veľkom rozmnožovaní dajú vzniknúť množstvu nových jedincov a v tomto procese aj hynú. Ich telá sa pritom často samy rozkladajú v istej forme samovraždy. Toto reprodukčné správanie je v prípade červov pochopiteľné, keďže sa obvyčajne pária medzi sebou ako viacnásobné kópie a ich genóm je totožný s genómom ich potomkov. Reprodukčné správanie lososa je však výsledkom ich životného cyklu: predtým, než sa vrátia do neresiska, musia preplávať tisíce kilometrov v oceáne. Keďže je len málo pravdepodobné, že by takúto cestu dokázali úspešne absolvovať viac než raz, je pre nich užitočnejšie, ak všetku energiu vložia do jediného rozmnožovania, ktoré ich absolútne vyčerpá aj zabije, aby tak vytvorili dostatočné množstvo potomkov a maximalizovali ich šance na prežitie. V prípade druhov, ktoré sa môžu rozmnožovať opakovane, kam patria ľudia, muchy alebo myši, nemá z genetického hľadiska zmysel, aby pri tvorbe potomstva umierali, keď sú s ním napokon geneticky príbuzné iba spolovice. Vo všeobecnosti sa stáva len zriedka, že prirodzený výber prebieha v prospech druhu alebo dokonca skupiny. Príroda skôr vyberá to, čo evoluční biológovia označujú ako životaschopné, teda jednotlivcov, ktorí majú schopnosť šíriť svoje gény.

Ak je teda cieľom zaistiť, aby sa naše gény odovzdávali z generácie na generáciu, prečo potom evolúcia v prvom rade nezabránila starnutiu? Je predsa jasné, že čím dlhšie by ľudia žili, tým väčšia by bola aj pravdepodobnosť, že splodia potomstvo. Stručná odpoveď je, že v priebehu dejín nášho druhu sme sa nedoživali vysokého veku. Vo všeobecnosti sme umierali ešte pred tridsiatkou, a to pri nehodách, pre choroby, v dôsledku útokov predátorov alebo našich súkmeňovcov. Nebol dôvod, aby u nás evolúcia vyberala dlhovekosť. Ale čo teraz, keď sme svet zmenili na bezpečnejšie a zdravšie miesto? Prečo skrátka nežijeme ďalej?

Riešením tohto rébusu sa začali v tridsiatych rokoch 20. storočia zaoberať dvaja elitní britskí vedci J. B. S. Haldane a Ronald Fisher. Haldane bol človek mnohých zručností a pracoval na všetkom od mechanizmu práce enzýmov až po pôvod života. Bol tiež socialisticky

založený a na sklonku života ho rodná Británia tak obrovsky sklama-
la, až napokon emigroval do Indie, kde žil až do smrti. Fisherov zásad-
ný prínos vo svete štatistiky zasa posunul vpred naše chápanie evolú-
cie a vytvoril základ pre randomizované (znáhodnené, pozn. prekl.)
klinické skúšanie, ktorým sa overuje účinnosť nových liekov a lekár-
skych postupov, čo v konečnom dôsledku zachránilo milióny životov.
Viac ako polstoročie po smrti (zomrel v roku 1962) však vzbudili kon-
troverzné reakcie jeho názory na rasové otázky a eugeniku. Kolégium
Gonvilla a Caiusa Cambridgeskej univerzity, kam patrila aj Fisher, pred
časom dalo z jednej zo svojich budov odstrániť okennú vitráž so zná-
zornením kľúčovej Fisherovej myšlienky súvisiacej s návrhom vedec-
kých experimentov a zostáva nejasné, ako s ňou naložia ďalej.

Zhruba v tom istom čase prišli Fisher a Haldane nezávisle od seba
s revolučnou myšlienkou. Ak by existovala mutácia, ktorá škodí v ra-
ných fázach života, a vždy by došlo k jej realizácii, výber by sa vý-
razne nakláňal v jej neprospech, pretože jej nositelia by sa nedožili
možnosti rozmnožovania. To isté však nemožno vyhlásiť o génoch,
ktoré nám škodia v neskorších fázach života, pretože v čase, keď sa
ich nepriaznivé pôsobenie začne prejavovať, je už neskoro a my sme
ich medzičasom odovzdali ďalším generáciám. V minulosti sme ich
negatívny vplyv ani nepozorovali, pretože sme zvyčajne zomierali
skôr, než sa vôbec stačil prejaviť. Dôsledky mutácií s oneskoreným
negatívnym pôsobením sme spozorovali až pomerne nedávno. Ta-
kýmto príkladom je aj Huntingtonova choroba. U ľudí sa prejavuje
v prevažnej miere až po tridsiatke, väčšina nositeľov jej genetického
kódu však v minulosti do jej nástupu stihla splodiť potomstvo a po-
tom zomrieť.

Fisher a Haldane vo svojich hypotézach vysvetľujú, ako je možné,
že niektoré škodlivé gény sa dokážu v ľudskej populácii udržať, no ich
súvislosť so starnutím nebola celkom zjavná. To sme pochopili, až keď
britský biológ Peter Medawar, ďalší brilantný vedec a človek mno-
hých špecifík, preskúmal tento problém hlbšie. Medawar, pôvodom
z Brazílie, sa preslávil vďaka tomu, že prišiel s vysvetlením dôvodov,
pre ktoré imunitný systém odmieta transplantované orgány a prečo
si voči nim buduje toleranciu. Na rozdiel od množstva vedcov, kto-
rý sa úzko špecializujú na jednu konkrétnu oblasť, mal Medawar (po-
dobne ako Haldane) široký záber a napísal množstvo erudovaných