

edice **aliter**

Daniel M.  
**Davis**

**TAJEMSTVÍ  
TĚLA**

**Kam směřuje  
moderní medicína**

Argo a Dokořán 2023

Z anglického originálu *The Secret Body: How the New Science of the Human Body Is Changing the Way We Live* přeložil Pavel Pecháček.

Pro Katie

First published as *The Secret Body* in 2021 by Bodley Head an imprint of Vintage. Vintage is part of the Penguin Random House group of companies.

Copyright © Daniel M. Davis, 2021  
Translation © Pavel Pecháček, 2023

**ISBN 978-80-7675-059-3** (Dokořán)  
**ISBN 978-80-257-XXXX-X** (Argo)

## **OBSAH**

Poznámka pro profesionální vědce	9
Úvod	11
1 Superrozlišené buňky	27
2 Náš počátek	53
3 Hojivá síla	85
4 Vícebarevný mozek	117
5 Ti v nás	145
6 Jednotící kódy	173
7 Co to všechno znamená	199
PODĚKOVÁNÍ	203
POZNÁMKY	205
REJSTŘÍK	252

Vydej se se mnou  
na cestu pod kůži,  
společně budeme tam  
pátrat, kde bývá Pan.

THE WATERBOYS

Biologie člověka představuje rozsáhlou vědeckou oblast. Nic v ní, ať už vývoj, poznatky nebo jejich důsledky, není jednoduché. Všem, jejichž práci jsem sem nezahrnul nebo ji zmínil až příliš stručně, se mohu pouze omluvit. Za každým objevem stojí mnoho studentů, postdoktorandů, kolegů a spolupracovníků a každý vědecký úspěch je do určité míry společným vlastnictvím. Zejména se omlouvám všem, kdo se podíleli na výzkumech, o nichž zde mluvím, ale jež jsem nezmínil jménem. Jak bylo jednotlivých pokroků dosaženo, jsem se snažil vylíčit prostřednictvím rozhovorů s mnoha vědci a informací, které jsem sám načerpal z původních vědeckých prací, ale každá kniha vypráví pouze část příběhu. I za to se v předstihu omlouvám. Nakonec bych rád dodal, že jsem v příbězích o medicíně změnil určité detaily, abych skryl identitu některých lidí, ale v ostatních ohledech jsou tyto příběhy přesné a pravdivé.

Představte si, že jste mimozemšťan vybavený mimořádně výkonným teleskopem a snažíte se zjistit, co se na Zemi odehrává. Všimnete si, že se dole hraje fotbalový zápas, ale váš teleskop není dostatečně silný na to, abyste spatřili míč. Dokážete rozeznat hřiště s brankami na obou koncích a hráče, kteří se na něm podle všeho organizovaně pohybují, ale dělá vám problémy pochopit, co přesně se děje. Zprávu o pozorování zveřejníte v *Mimozemském žurnálu pro vědu o Zemi*. Pár dalších mimozemšťanů vám e-mailem pográtuluje, ale opravdu jen pár.

Časem se mimozemské dalekohledy zdokonalí a vy uvidíte, že jeden z hráčů před jednou z branek tu a tam padá. Někdy po tom následuje mávání a davy shromážděné okolo hřiště slaví. Pořád to nedává moc smysl, ale při posezení během Mimozemského kongresu pro vědu o Zemi to rozproudí diskusi a vašemu výzkumu se přiklepe financování. Později, když už jste mnohem starší, si jedna vaše mladší mimozemská spolupracovnice povšimne něčeho obzvlášť fascinujícího. Jestli dav po hráčově pádu před brankou slaví, závisí patrně na jedné věci: zda se o chvíli dříve za ním vyboulila síť. To vaši mladší kolegyni přivede na úchvatnou myšlenku.

Zatímco jiní by tento postřeh pustili z hlavy, aniž by se nad ním hlouběji zamysleli, ona uvažovala, jestli zde

náhodou neexistuje nějaký důvod, proč se síť vybojila, a pro další úvahy mu dala pracovní název „míč“. Ten je ovšem stále příliš malý, než aby byl vidět. Zpočátku jí nevěříte, jenže postupně se vám ta myšlenka zalíbí. S míčem začne všechno ostatní dávat smysl: pohyby hráčů, síť, povzbuzování, zkrátka celá hra, a časem začnou i ostatní mimozemšťané souhlasit, že míč prostě musí existovat. Přestože ho nikdo na vlastní oči neviděl, všichni se shodnou, že existuje, protože pokud existuje, objasní se tím ohromné množství věcí. Vy, vaše kolegyně a mimozemšťané, kteří supervýkonný teleskop vynalezli, posbíráte řadu ocenění a každý se s vámi chce přátelit.

Mimozemský teleskop se může opět zdokonalit, a to natolik, že míč nakonec bude vidět. Stejně tak je ale možné, že se to nestane. Řada okolností naznačuje, že míč existuje, avšak žádný přímý důkaz k dispozici být nemusí. Na určité úrovni jistoty je totiž diskutabilní, zda vůbec lze někdy něco absolutně dokázat – například neumíme doložit, že zítra zase vyjde slunce, ačkoli velké množství důkazů říká, že ano.

Tento příběh o mimozemšťanech a sportu ukazuje, jak bylo dosaženo mnoha objevů. Vezměme si například objev planety Neptun, poprvé zpozorované v roce 1846. Badatelé pečlivě sledovali pohyb jiné planety, Uranu, a matematické výpočty vyjevily, že se kolem Slunce pohybuje po trochu jiné dráze, než by měla. Vysvětlit se to dalo tím, že dráhu Uranu vychyluje nějaká zatím neznámá planeta. Dva astronomové, Brit a Francouz, spočítali, kde by se taková planeta mohla nacházet, pokud by byla za odchylku v pohybu Uranu zodpovědná. Když potom jiný astronom namířil teleskop přesně na předpovězené místo, opravdu spatřil neznámou planetu – Neptun. Dnes předpokládáme existenci dvou substancí, konkrétně temné hmoty a síly zvané temná energie,

abychom vysvětlili pohyb hvězd a galaxií. Ani jedno zatím nebylo pozorováno.

Největší zázraky lidského těla zůstávaly téměř po celou historii oku člověka utajeny a jen stěží jsme si je byli schopni představit. Některé části naší vnitřní anatomie, jako kosti, svaly a několik hlavních orgánů, jsme odjakživa mohli dopodrobna zkoumat (ačkoli jsme se museli zavrtat kousek pod kůži), ale naprostá většina tajemství našeho těla zůstávala až poměrně donedávna předmětem hypotéz a spekulací. Dnešní chápání biologie člověka předznamenal objev buněk, umožněný vynálezem mikroskopu koncem 17. století. Objev struktury DNA v polovině 20. století znamenal další obrovský skok vpřed, jelikož objasnil, jak se genetická informace ukládá a kopíruje.

Avšak v mnohem nedávnější době se odehrála celá řada vědeckých a technologických revolucí, jež vnitřní krajiny lidského těla ozřejmují jako nikdy dřív. Některé hypotézy se potvrzují, jiné oslabují, a především se otevírá zcela nová sféra teoretických a praktických možností.

Dozvídáme se, že lidské tělo je světem obsahujícím mnoho jiných světů. Každý orgán je zvěřincem buněk a každá buňka disponuje vlastní městskou krajinou složenou z lešení, kabin a jednokolejných visutých drah, a to všechno je vytvořené z úchvatného souboru biologických stavebních materiálů: bílkovin, sacharidů, tuků a jiných chemických látek. Základní použité suroviny nejsou nijak neobvyklé (kyslík, uhlík, vodík a špetka dalších prvků), ale pokud se nevšedně pospojují, dají vzniknout tělu, které si uvědomuje samo sebe, umí se hojit a psát poezii. Ve vesmíru neznáme nic, co by se nám podobalo. A třeba ani nic takového neexistuje. Bezpochyby není nic hlubšího a poučnějšího než pochopit, jak fungujeme. A nové nástroje

a metody, od mikroskopů po komplexní datové analýzy, nám toto pochopení umožňují a jednotlivé vrstvy objasňují jako nikdy dřív.

Rostoucí vliv na naše životy má samozřejmě veškeré vědecké poznání, ale nic nás neovlivňuje tak hluboce a tak přímočaře jako nové objevy týkající se lidského těla. Příkladem je nespočet: díky analýze genů lépe rozumíme vlastní individualitu, činnost mozkových buněk napovídá, jak se ukládají vzpomínky, neznámé struktury nalezené v buňkách přinesly nové podněty v medicíně a molekuly objevené v krvi mění náš pohled na duševní zdraví.

Tato kniha zkoumá nové průlomové objevy v biologii člověka, které jsou nejspíše pro naši budoucnost stěžejní. Za důležitou lze pokládat v podstatě jakoukoli hranici vědeckého poznání, avšak zde budeme uvažovat o šesti frontách, jež jsou nesporně vzrušující a obzvláště zásadní: jsou to buňka, embryo, orgány a tělní soustavy, mozek, mikrobiom a genom. S některými z těchto témat jste se mohli setkat už dříve, ale i tak snad v této knize najdete nové detaily, které v nedávné době vyšly najevo a které radikálně mění naše znalosti a schopnosti. O jiných tématech jste možná ani neslyšeli, ale i ona jsou stejně zásadní a převratná jako ta, která figurují na titulních stránkách médií. Na každé hranici si povíme, jak by nové objevy mohly změnit (nebo už změnily) náš každodenní život, o schopnostech a aspiracích lidstva nemluvě. Shromážděním těchto témat na jednom místě chceme předvést, že se nacházíme na počátku ohromných, dalekosáhlých změn životního stylu. V dohledné budoucnosti na nás nebudou mít největší dopad samořiditelné vozy ani roboti, nýbrž nové poznatky o biologii člověka.

Současný výzkum lidské biologie připomíná revoluci, která proběhla ve fyzice na konci 19. století. V roce 1887

přišel německý vědec Heinrich Hertz na způsob, jak vytvořit „záhadné elektromagnetické vlny, jež nelze vidět prostým okem“. V souladu s teorií, kterou dříve rozvinul James Clark Maxwell, Hertz ukázal, že světlo je pouze jedním typem elektromagnetické vlny a že existují další, které nevidíme. Dnes víme, že k nim patří rentgenové paprsky a rádiové vlny. Tehdy nebylo ani zdaleka jasné, jaké praktické důsledky by to mohlo mít, budou-li vůbec nějaké. Hertz zemřel v roce 1894 v šestatřiceti letech. Nemohl předvídat, že jeho výzkum nakonec povede ke vzniku rádia, televize a internetu. Stejně tak nás, naše děti a naše vnoučata dnes začínají ovlivňovat objevy učiněné při zkoumání lidského těla, a to ve více ohledech, než jsme si kdy uměli představit.

Tato kniha je také o tom, jakým způsobem věda odhaluje tajemství těla, o příbězích lidí i o technologiích, které to vše v zákulisí pohánějí. Na příkladu mimozemšťanů jsme viděli, že při objevování fotbalového míče bylo klíčové zdokonalení teleskopu. Stejně tak nové technologie často nabourávají obecně přijímané znalosti o lidském těle a zasluhují se o následný pokrok. Nové vědecké nástroje a metody naše životy sice ovlivňují méně nápadně, přesto v podobně zásadní míře jako mobilní telefony a sociální média.

S použitím jednoduchého mikroskopu spatřil Robert Hooke v roce 1665 uvnitř kousků korku nepatrné komůrky, které nazval buňky. Pomocí dnešních mikroskopů můžeme pozorovat, jak z buňky vystřelují výběžky, sítě a balíčky molekul, jak se buňky pomalu pohybují v našich tkáních a orgánech. Můžeme být svědky činnosti enzymů a genů, když se v buňkách zapínají a vypínají. Dnešní mikroskopy jsou de facto nanoskopy, neboť dokážou lidské tělo zobrazit v rozlišení několika miliardtin metru.



Vedle získávání nových úžasných informací o fungování buněk tyto objevy také radikálně přetvářejí naši schopnost manipulovat s tělem. V mé laboratoři jsme novými typy mikroskopů pozorovali schopnost imunitních buněk detekovat rakovinné buňky a zabít je. Sledování těchto procesů na molekulární úrovni nám pomáhá pochopit, jak imunitní buňky rozpoznávají buňky rakovinné, a naopak jak se rakovinné buňky snaží vyhnout polapení, což inspirovalo nové možnosti využití v medicíně. V současnosti probíhá přes 3 000 klinických pokusů, v nichž se testují nové léky proti rakovině, které fungují na bázi zapínání nebo zesilování odezvy imunitních buněk vlastních tělu. Na týchž nástrojích a technikách stojí i naše chápání, jak různé imunitní buňky reagují na covid-19 a jak se tyto reakce u jednotlivých lidí liší. Pokud se s příchodem covidu-19 posunula nějaká oblast vědy do centra dění, byla to biologie člověka. Vše, o čem se v této knize budeme bavit, od chápání imunitního systému po lidskou mysl, se týká také nezbytných znalostí o tomto viru i o tom, který přijde po něm.

Přestože nové mikroskopy odhalují nejrůznější detaily a přinášejí rozmanité příležitosti, mají společný problém. Jeden druh mikroskopu sice umí detaily zachytit nejlépe, ale trvá dlouho, než se tak přesný obraz přenese, takže k pozorování pohybu molekul je vhodnější jiný typ mikroskopu, byť méně přesný. Třetí typ zase obětuje přesnost i pohyb, aby poskytl širší obraz: když se například potřebujeme podívat spíše na řez orgánem než na miniaturní oblast uvnitř jedné buňky. Naprosto odlišný pohled na tělo oproti tomu poskytují matematické analýzy a počítačové simulace, a stejně tak analýzy genové aktivity nebo hladiny bílkovin v konkrétní buňce a podobně. Pokoušet se takto porozumět lidskému tělu připomíná snahu docenit *Monu Lisu* pečlivým zkoumáním

detailu hnědé duhovky jejího levého oka. Přestože je to úžasně, celá *Mona Lisa* to není. Dokonce ani celá *Mona Lisa* není celou *Monou Lisou*: význam obrazu se změní, když se seznámíte s jeho peněžní hodnotou, s životem Leonarda da Vinciho nebo s tím, jak se obraz odlišuje od jiných portrétů vytvořených v 16. století. Existuje nesčetně způsobů, jak *Moně Lise* porozumět, a existuje nesčetně způsobů, jak porozumět sami sobě.

Složitost lidského těla znamená, že jej lze odhalovat pouze kousek po kousku, nástroj po nástroji. Stejně jako odborník na víno hodně získá, když bude znát chemické procesy podmiňující různé kvality nápoje, může i každý úhel pohledu na tělo obohatit ty ostatní. Nicméně každý vědecký nástroj, od mikroskopu po matematiku, a každý aspekt těla, od mozku po mikrobiom, vyžaduje natolik hluboké odborné znalosti, že se to většinou neděje: máme sklon lidské tělo studovat v samostatných jednotkách, přičemž každá komunita je od těch ostatních odloučená specializovaným slovníkem symbolů a zkratek nezbytných ke sdělování jemných rozdílů. Badatelské komunity se soustředí na jeden druh vědeckého nástroje nebo jednu specifickou část těla, například konkrétní typ buňky. Tématem pro dalšího odborníka se pak stává, jak spolu odlišné druhy buněk komunikují. I jednoduché formy pozemského života, například jednotlivá bakterie, se dnes vzácně zkoumají jako celek, a lidské tělo je samozřejmě nesrovnatelně složitější. Deník *The Times* už v roce 1890 napsal, že aktuální vědomosti „jsou příliš rozsáhlé, než aby byly zvladatelné“. Odborníkem na celek dnes není nikdo, ať jde o cokoli.

Tomu či onomu specializovanému tématu týkajícímu se lidského těla se věnuje mnoho knih. Záměrem té naší je propojit šest klíčových oblastí současného biologického

výzkumu, jimiž se vědci obvykle zabývají odděleně, udělat si obrázek o celém těle a nevnímat jen to, co nám prozrazují nové vědecké poznatky, ale i jejich celkový význam.

To je ale těžké. Poněvadž se objem znalostí tak nesmírně rozrostl, museli jsme se smířit s tím, že o svém vlastním těle budeme uvažovat specifickým způsobem, stejně jako se fyzici musí smířit s tím, že se světlo popisuje jako vlnění, částice nebo jen matematickými symboly. Jelikož je lidské tělo složitější, než jde zachytit slovy nebo diagramy, je téměř všechno, co najdete v učebnici, jen přibližným vyjádřením či fragmentem celku. Čím podrobněji kupříkladu zkoumáme lidské buňky, tím obtížnější je stanovit, co to buňka doopravdy je. Buňky si mohou například vyměňovat genetický materiál nebo přímo sdílet své vnitřní části a některé se spojují do superbuněk. Určit, kde jedna buňka končí a jiná začíná, je stále obtížnější. A jelikož je nesnadné definovat buňky, přestává být jasné i zdánlivě jednoduché pravidlo, že se veškerý život skládá z buněk. Detailnější znalosti jedné části občas vedou k horšímu porozumění celku.

Když se mimozemšťané v našem příkladu snažili pochopit kopanou, byl pro ně objev míče pouze začátkem. S hrou toho ale souvisí mnohem víc: odlišné schopnosti hráčů, použitá taktika, ofsajdová pravidla, ofsajdová past, penaltový rozstřel, ligová tabulka, vyřazovací zápasy, přestupový trh s hráči, prodej televizních práv, vliv sportovních hrdinů na to, jak si děti hrají na školním hřišti, dopravní zácpy po důležitém ligovém utkání... Všechno je nesmírně komplexní – fotbal, *Mona Lisa*, a zejména člověk.

Musíme se to však snažit všechno obsáhnout. Výsledkem výzkumu totiž není pouze čím dál detailnější povědomí o fungování těla, jaké by se dalo zachytit na stále komplikovanějších učebnicových diagramech. Nové znalosti mají

také obrovský vliv na to, jak o sobě přemýšlíme a jaký narativ našim životům propůjčujeme. Kdysi se například věřilo, že je tělo ovládáno čtyřmi tělesnými šťávami (krví, žlutou žlučí, černou žlučí a hlenem) a že nemoc je důsledkem jejich nerovnováhy. Skutečná příčina chorob je samozřejmě mnohem složitější než nerovnováha šťáv, avšak cestu k jejímu dnešnímu chápání otevřel teprve v 60. letech 19. století jeden z největších objevů lidstva – existence choroboplodných zárodků. Pro dnešního člověka je velmi těžké představit si, jaký to byl pocit trpět nerovnováhou šťáv, ale můžeme si být jistí, že dřív to lidé věděli. Když kdysi někdo slyšel hlasy, vykládali jsme si to jako důležitý vzkaz od nadpřirozených bytostí nebo jako vliv magie. Dnes vyprávíme odlišný příběh, v němž figuruje lidský mozek a psychóza.

V nedávné době jsme zjistili, že za všechny nemoci nejsou zodpovědné mikroorganismy. Rakovina se rozvine, když tělesné buňky ztratí schopnost regulace a začnou se nadměrně dělit. Proto si dáváme pozor na všechny faktory, o nichž víme, že přispívají ke zhoršení zdraví: přílišný pobyt na slunečním světle, radioaktivitu, chemické karcinogeny a další věci, které mohou buňky popostrčit směrem k rakovině. S mikroby toho nemají mnoho společného ani alergie. Přemýšlení o alergiích nás přivedlo k dalším úvahám o zdraví a nemocích, například k představě, že určitá míra kontaktu s mikroby v dětství může mít důležitý podíl na trénování našeho imunitního systému: říká se tomu hygienická hypotéza. Pochopení příčin různých druhů nemocí nepochybně vneslo do medicíny nové podněty, ale také změnilo naše uvažování o těle a prostředí. To, jak vnímáme vystavení pokožky slunečním paprskům nebo vyrůstání na farmě, se změnilo s relativně nedávným objevem, že jedno může být škodlivé, kdežto druhé prospěšné.

Vliv vědy na naše životy je dalekosáhlý a přesahuje otázky nemoci a medicíny. Nástup evoluční teorie kupříkladu změnil to, jak vnímáme vlastní původ. Skutečnost, že ohromnou část DNA sdílíme se šimpanzi, a dokonce i s octomilkou, nás hluboce spojuje s veškerým životem na Zemi. Jsou i praktičtější příklady. Porozumění hormonům mění náš přístup k teenagerům a znalosti následků traumatu a deprivace ovlivňují, jak bojujeme se zločinem. Neexistuje takřka žádná stránka života, kterou by nerámovalo vědecké poznání toho, co se odehrává na hlubší úrovni.

Alice (není to její skutečné jméno) přišla v pěti letech o matku, která náhle zemřela na srdeční příhodu. Alice vyrůstala v 80. a 90. letech a bombardovaly ji reklamy na nejrůznější produkty, jež údajně pomáhají udržovat nízkou hladinu cholesterolu a předcházet infarktu. Alice byla i bez toho plná obav, že zemře mladá, a reklamy k tomu jenom přispěly.

Jednoho dne jí přišel dopis z nemocnice, kde nikdy nebyla. V dopise se psalo o zdravotním stavu jiného jejího příbuzného, který nedávno přežil srdeční příhodu. Dva infarkty u mladých lidí z téže rodiny jsou velkou vzácností, a tak se lékaři zaměřili na možné příčiny. Vyšlo najevo, že oba infarkty i jiné zdravotní potíže v rodině téměř jistě souvisejí s genetickou odchylkou. Analýza krve Aliciných příbuzných odhalila specifickou mutaci. V dopisu se lékaři Alice ptali, jestli by nechtěla zjistit, zda tento problém zdědila i ona.

Rozhodnutí bylo pro Alici obzvláště těžké, poněvadž vědecké detaily byly (a stále jsou) vágní. Nebylo přesně jasné, jak vysoká je míra rizika zapříčiněná genetickou mutací, která se v její rodině vyskytovala. Problémy se srdcem se objevily u lidí s několika odlišnými mutacemi v dotyčném genu, ale relativní riziko každé z nich, tedy jestli se s některými

z nich pojí vyšší nebezpečí než s jinými, nebylo známo. Navzdory vši té nejistotě se Alice na genetický test dostavila. Několik dní poté, co jí v místní ordinaci odebrali krev, si zavolala pro výsledky. Rázem z jejího života zmizela jedna obrovská překážka. Byla v pořádku a pravděpodobnost, že by ji postihl stejný osud jako matku, byla velmi malá. Od toho okamžiku se Alicin život změnil. Den ode dne se stále méně strachovala, co by měla nebo neměla jíst. Ještě důležitější bylo, že se výrazně změnil její vztah k rodičům a zbytku rodiny i její názor na to, jestli by měla mít děti. Dnes je ve středním věku. Kdo ví, jaká životní rozhodnutí by udělala jinak, kdyby pravdu znala dříve?

K podobným situacím, kdy věda mění náš pohled na vlastní život, bude nevyhnutelně docházet stále častěji. V tomto okamžiku to však ještě není natolik zjevné a detailně se o tom hovoří jen ve výzkumných laboratořích nebo v hotelových barech při vědeckých konferencích. Ambicí této knihy je představit nejvýznamnější z těchto vědeckých poznatků veřejnosti.

Uvedme si příklad, o němž se budeme podrobně bavit ve třetí kapitole, a znovu uvažme jeden z nových objevů o buňkách. Na první pohled se může zdát, že základní výzkum zaměřený na fundamentální povahu buněk patrně do našich životů nebo společnosti žádná obtížná dilemata nevnese, já si však myslím, že ano.

Nervová buňka se zjevně liší od buňky imunitní a obě se odlišují od ledvinové či srdeční buňky. Avšak popis rozdílů mezi všemi uvedenými typy buněk – nervovými, imunitními, srdečními a ledvinovými – vystihuje skutečnost jen ve velmi hrubých obrysech. Fascinující nová oblast buněčné biologie staví na představě, že na určité, sotva patrné úrovni je každá jednotlivá buňka jedinečná, neboť je ovlivňována

svým umístěním, stářím, statusem aktivace, historií v těle a tím, jak s ní interagují ostatní buňky. V současnosti probíhá rozsáhlý celosvětový projekt, který je stejně ambiciózní jako Projekt lidského genomu: při práci na Atlasu lidských buněk (Human Cell Atlas) spojilo síly více než 10 000 vědců, aby identifikovali a rozřídili všech 37 bilionů buněk lidského těla. Podrobným porovnáním jednotlivých buněk – analýzou, jak jsou v nich aktivovány geny, kolik kopií bílkovin je v každé z nich a tak dále – můžeme nebývale detailně klasifikovat každou buňku. Někteří badatelé odpovědní za projekt doufají, že pečlivým prozkoumáním tělních buněk na takovéto úrovni bychom mohli dospět k periodické tabulce lidských buněk – uspořádat odlišné vlastnosti buněk do tabulky tak, aby vysvětlovala jejich rozmanitost. Ať už se tohoto konkrétního cíle podaří dosáhnout, či nikoli, všichni se shodují, že díky projektu lépe pochopíme, jak se tvoří tkáně a orgány, jakého původu různé buňky v těle jsou a co se při rozvinutí nemoci pokazilo. Fascinující je, že se v rámci projektu už nyní podařilo objevit dříve neznámé buňky lidského těla – nový typ imunitní buňky a novou buňku v plicní výstelce.

V současnosti se zdravotní stav jedince často zjišťuje z krevního obrazu, prostě spočítáním, kolik je v krvi krevních destiček a červených či bílých krvinek. Díky Atlasu lidských buněk a souvisejícímu výzkumu však brzy budeme schopni velice detailně vyhodnotit u testované osoby typ, stav a historii různých krvinek. Obzvláště důležité je to u bílých krvinek, což je obecné označení pro bezpočet druhů imunitních buněk, o jejichž vlastnostech už nyní víme, že se mohou u jednotlivých lidí nesmírně lišit. Stejně tak bude nejspíš zrušena i 150 let stará metoda barvení tkáňových biopsií za účelem klasifikace choroby, což v nemocnici

rutinně provádí histopatologická laboratoř, a nahradí ji daleko podrobnější profilování na molekulární úrovni. Společně nám tyto analýzy umožní diagnostikovat chorobné stavy do takové míry, že půjde snadno předpovědět, zda bude určitý lék pravděpodobně fungovat, či nikoli, nebo jestli bude mít toxické vedlejší účinky.

Na první pohled to jsou samé dobré zprávy, ale důsledky pečlivého zkoumání obrovské rozmanitosti tělních buněk daleko přesahují medicínu. Jakmile zjistíme složení a stav tělních buněk u velkého množství lidí, nevyhnutelně se objeví záplava nových měřítek pro vyhodnocování zdravotního stavu. A zde začíná být situace znepokojivá. Po zdravotnických pracovnících se bude nutně vyžadovat, aby definovali, jaké je „normální“ rozpětí výskytu a vlastností těchto buněk, což následně musí skončit tím, že ti z nás, jejichž buňky spadnou mimo dané rozpětí, budou klasifikováni jako „abnormální“. Dobře znám je nám index tělesné hmotnosti, který se odvozuje od výšky těla a hmotnosti a používá se k vyhodnocení, zda má člověk podváhu, normální hmotnost či nadváhu. S příchodem nových měřítek, jimiž budeme definovat zdravotní stav člověka, se vyrobí velké množství nových metod, jak nás kategorizovat jako normální či abnormální. Pokud se bude měřit dostatečný počet parametrů, v nějakém ohledu nakonec selžeme všichni. Z toho plynou jasné důsledky pro zdravotní pojištění a související přírážky a také pro naši psychiku, což je ještě důležitější. Kategorizace totiž může být hluboce znepokojivá, pokud jde o to, jak člověk vnímá sám sebe nebo jak společnost nazírá na lidskou rozmanitost.

Může se stát, že se zdravotních měřítek přesyťme, ale zatím nepozorujeme žádné známky, že by se tak dělo. Mnoho lidí například trápí zátěž spojená s tím, že byli označeni za obézní. Nějak se přihodilo, že být štíhlý implikuje

atraktivnost, sebekontrolu, a dokonce i jistý druh nadřazenosti. Jak se dozvídáme čím dál víc o tom, co každého z nás odlišuje, je stále obtížnější rozhodnout, co je při hodnocení zdravotního stavu vhodné klasifikovat a co už nikoli, případně co si žádá lékařský zásah a co ještě ne. Řadu nemocí je už nyní obtížné definovat. Pokud člověk vykazuje konkrétní soubor behaviorálních znaků, může to vést například k diagnóze schizofrenie nebo autismu, ale neexistuje žádné přesně dané vymezení, které by nám dovolilo vyhodnotit chování a kategoricky stanovit, že pod danou hranici je ještě normální, ale za ní už abnormální.

Stejně jako když fyzici, kteří se rozhodli studovat povahu atomu, bezděčně změnili vlastnosti bomb, tak i každý, kdo pracuje na základních vědeckých projektech zaměřených na lidské tělo, pravděpodobně změní společnost, ať už záměrně, či nikoli. Což neznamená, že by se měl výzkum zastavit nebo že se vědci zapojení do těchto projektů přímo podílejí na něčem destruktivním. Spíše z toho plyne, že nové koncepty fungování lidského těla mají ohromné a potenciálně výbušné důsledky a ještě nějakou dobu je mít budou.

V této knize budeme bilancovat, kde se nyní nacházíme: ponoříme se do vší té nádhery a pokusíme se pochopit, jak jsme ke svým vědomostem dospěli. Hluboce se však zamyslíme také nad tím, co všechno z těchto nových objevů plyne pro naše životy. Nebudeme se bát spekulovat, k čemu by mohly vést, a v případě nutnosti zpochybnit jejich směřování.

V jiných oblastech vědeckého snažení pořizujeme úchvatné snímky vesmíru, posíláme sondy do hlubin oceánů, noříme se do historie a prehistorie naší planety a zkoušíme přijít na kloub vnitřnímu fungování lidských výtvorů, jako jsou finanční, sociální a politické systémy, ale já osobně si myslím, že na nejrychlejší pokrok a objevy, jež budou mít

s největší pravděpodobností dalekosáhlý a hluboký dopad na naše životy, narazíme právě zde, ve sféře nových vědeckých poznatků o lidském těle. Již nyní se můžeme pochopit a manipulovat sami se sebou tak, jak se o tom ještě před pár desítkami let nikomu ani nesnilo. S tolika novými objevy na obzoru se dnešní vědecko-fantastická tvorba může jednoho dne zdát naivní a zjednodušující ve srovnání s tím, co přinese realita.

slovo pro doplňky stravy se živými bakteriemi, jež údajně prospívají duševnímu zdraví – psychobiotika.<sup>82</sup>

Vlastním mikrobiomem disponuje i kůže, plíce nebo ústa, ale o nich toho víme ještě mnohem méně než o mikrobiomu střevním. Každý také obsahuje zcela odlišný soubor mikro-bů. V této kapitole jsme navíc uvažovali pouze o bakteriích a opominuli ostatní mikroorganismy jako houby a viry, o nichž toho opět víme velmi málo (nemluvě o virech předzdivaných fagy, jež infikují bakterie, které v nás žijí). Možná existuje život na jiných planetách, s jistotou však víme, že neznámí tvorové žijí i uvnitř našich těl. A zřejmě jsou pro nás také podstatně důležitější. Znalosti, které o nich získáváme, budou mít obrovský dopad na naše životy, ne zítra a asi ani pozítří, ale ve dvaadvacátém století určitě.

## Jednotící kódy

---

Nové směry ve vědě bývají mnohem častěji spouštěny novými nástroji než novými koncepty. Důsledkem revoluce poháněné konceptem je vysvětlování starých věcí novými způsoby. Důsledkem revoluce poháněné nástrojem je objev nových věcí, jež je potřeba vysvětlit.

FREEMAN J. DYSON, *Imagined Worlds* (MYŠLENÉ SVĚTY)

V polovině 60. letech minulého století dal mladý profesor z Caltechu William Dreyer svému prvnímu postgraduálnímu studentovi dvě rady. Zaprvé ať se vždy zabývá nejprůkopničtějšími oblastmi biologie. A zadruhé, že chce-li doopravdy proměnit nějakou vědeckou oblast, ať vynalezne novou technologii.<sup>1</sup>

Student jménem Leroy „Lee“ Hood si tyto rady vzal k srdci. Věnovat se novým myšlenkám ho velmi uspokojovalo a jeho ambice rostly.<sup>2</sup> Dreyer měl zpočátku pocit, že jeho student je „tak trochu hňup [...] a velice soutěživý typ“.<sup>3</sup> Hood ovšem nakonec – tak jako všichni studenti – vyspěl a jeho výzkum získal větší věhlas než výzkum jeho školitele. V Hoodově dlouhé kariéře se vlastně odráží hodně z toho, co se na poli biologie člověka odehrálo za posledních padesát let. O chvíli dřív než ostatní uměl odhadnout, kudy se bude vývoj ubírat. Věk a zkušenosti občas člověku seberou mladistvý zápal, Hoodovi se to však pravděpodobně nikdy nestalo.

V roce 1970 vstoupil Hood na Caltech poté, co strávil tři roky v Národních ústavech zdraví (NIH), jak to vyžadovaly zákony přijaté během války ve Vietnamu. Uvažoval o nástupu na Harvard nebo Stanford, ale došel k přesvědčení, že nejlépe se mu v souladu s Dreyerovými radami bude žít na Caltechu.<sup>4</sup> Chtěl posouvat hranice biologie. Přemýšlel, jaké nástroje by zde mohly mít největší dopad, a poté se pustil do jejich tvorby. Uvědomil si, že chemická analýza molekul, jež tvoří živé bytosti, zejména bílkovin a genů, je velmi pomalá a obvykle se dělá ručně. Usoudil, že přelomová by mohla být automatizace těchto procesů.

Začal s bílkovinami, protože už toho o nich hodně věděl. Každý typ bílkoviny se skládá z unikátní sekvence stavebních jednotek zvaných aminokyseliny, které jsou pospojovány do řetězce. Bílkovinatvorných aminokyselin je v zásadě pouze dvacet, leč dosud nevíme, kolik z nich složených bílkovin v těle existuje. Nepochybně jich bude víc než 20 000, avšak započítáme-li i lehce odlišné varianty, mohou jich být miliardy.<sup>5</sup> Poznávání jakékoli bílkoviny často začíná stanovením sekvence stavebních jednotek, která napoví, jakou funkci v těle plní, zejména podobá-li se jiné bílkovině s již známou funkcí. Klíčovým krokem k izolaci genu, který je zodpovědný za tvorbu bílkoviny, je rovněž určit pořadí jejích aminokyselin.

V roce 1981 Hood a jeho kolegové (především technický pracovník Mike Hunkapiller) oznámili, že sestrojili přístroj pro sekvenování bílkovin čili proteinů.<sup>6</sup> V reakční komoře se z proteinu postupně odsekávají jednotlivé stavební jednotky (tedy aminokyseliny), což umožňuje jejich chemickou klasifikaci. Ukázalo se, že přístroj je daleko spolehlivější než existující metody, a Hoodova laboratoř záhy obdržela k analýze nespočet důležitých vzorků – hormony, receptory

nervové soustavy, krevní faktory, výměšky imunitních buněk a leccos dalšího.<sup>7</sup> Mezi nimi Hoodova laboratoř v roce 1983 analyzovala i specifický druh proteinu, jemuž se říká prionová bílkovina.<sup>8</sup> Dnes víme, že deformovaná prionová bílkovina může u lidí vyvolávat několik neurodegenerativních onemocnění, včetně toho, jež vešlo ve známost jako „nemoc šílených krav“. Tehdy se však jednalo o radikální a zcela neprokázaný názor – panovalo přesvědčení, že bílkoviny nedokážou vyvolat nemoc samy o sobě, ale pouze jako součást něčeho, co obsahuje genetickou informaci, například viru.<sup>9</sup> Důležitým krokem kupředu na cestě k těmto novým zjištěním bylo určení sekvence prionové bílkoviny. O to se zasloužil spolupracovník týmu Stanley Prusiner, což mu nakonec v roce 1997 vyneslo Nobelovu cenu.<sup>10</sup> Díky jejich práci dnes víme, že prionové bílkoviny jsou v těle hojně rozšířené, a že jsou-li nesprávně tvarované, způsobují problémy, protože se shlukují v mozku. To může být nakažlivé, neboť deformované prionové bílkoviny zapříčiňují deformování normálních prionových bílkovin, čímž vznikají nové infekční částice a nemoc se řetězově šíří.<sup>11</sup>

Když ovšem Hood analyzátor proteinů i vizi dalších nástrojů nabídl devatenácti společností, žádná z nich o ně navzdory jejich zjevnému vědeckému významu neprojevila zájem. Asi by nás to nemělo tolik překvapovat. Mnozí vědci, kteří razí cestu novými technologiím nebo lékům, vyprávějí, jak se ve snaze získat jim pozornost nejprve potýkali s potížemi. (Typickým příkladem tohoto problému je zkušenost Stevena Sassona, s nímž se Prusiner setkal, když oba v roce 2009 dostali od prezidenta Baracka Obamy národní medaili. V roce 1975 Sasson sestavil první autonomní přenosný digitální fotoaparát a vymyslel, jak snímky promítat na televizní obrazovku. Když ovšem přístroj představil svým

nadřazeným z Kodaku, vynález odmítli, poněvadž nechápali, proč by si někdo chtěl prohlížet fotografie na televizní obrazovce.<sup>12</sup> Prusiner a Sasson si museli padnout do oka, protože Prusiner svou autobiografii začal vyprávěním o tom, co se přihodilo Sassonovi.)<sup>13</sup> Hood se domnívá, že firmy se mu tehdy nepodařilo zaujmout mimo jiné proto, že nápad předložil nesprávným lidem ze středního managementu, nikoli výkonným ředitelům či zakladatelům společnosti.<sup>14</sup> Nakonec však jeden investor se sídlem v San Francisku, který se nebál rizika, poskytl Caltechu kapitál na založení společnosti Applied Biosystems,<sup>15</sup> jež začala prodávat analyzátor proteinů v roce 1982 a brzy se stala jednou z předních světových firem v oblasti biotechnologických nástrojů.<sup>16</sup>

Hoodova laboratoř neusnula na vavřínech a zanedlouho sestavili další přístroj: syntetizátor proteinů. Ten místo odsekávání aminokyseliny chemicky spojoval a cíleně vyráběl určité molekuly bílkovin. Jednou z prvních věcí, k nimž Hoodova laboratoř syntetizátor použila, bylo vytvoření vzorku bílkoviny běžně produkované virem HIV. Čistý vzorek této bílkoviny vědcům umožnil odhalit její molekulární strukturu, což pomohlo farmaceutické společnosti Merck vyrobit inhibitor proteázy, který viru zabránil fungovat,<sup>17</sup> a ukázalo se, že je vhodný k léčbě HIV. Použití inhibitorů proteázy v roce 1996 coby léků (jak přípravků od společnosti Merck, tak i jednoho od firmy Abbott) de facto vymezuje okamžik, od něhož se AIDS začal považovat spíše za zvladatelnou nemoc než za nevyhnutelně smrtelnou chorobu.<sup>18</sup>

Hood každopádně udělal dobře, že se řídil Dreyerovou radou. Konečný dopad nových technologií může být mnohem větší, než se předpokládalo při jejich zrodu. Co jsme si tu ale popsali, naprosto bledne ve srovnání s tím, co z Hoodovy laboratoře vzešlo později.

Když bylo Hoodovi jednačtyřicet, stal se vedoucím biologického výzkumu na Caltechu, nicméně až když mu slíbili, že se nebude muset účastnit pravidelných fakultních schůzí, jež považoval za ztrátu času.<sup>19</sup> Chtěl se dál soustředit na svou laboratoř, která se rozrostla na více než pětadesát lidí, což je asi pětkrát víc než většina vědeckých týmů. Jak řekl jeden z pracovníků laboratoře: „Lidé zvenčí nás vnímají jako velkou armádu, organizovanou v zájmu taktiky spálené země. Ve skutečnosti se podobáme spíše neorganizované amébě, která se pohybuje mnoha různými směry.“<sup>20</sup> V roce 1982 dal Hood dohromady malý tým složený z odborníků na různé oblasti a dal mu úkol: sestrojít přístroj pro sekvenování genů. Mike Hunkapiller, jenž v Hoodově laboratoři působil už řadu let, byl inženýr a jeho bratr Tim byl tehdy v Hoodově laboratoři jako postgraduální student a specializoval se na výpočetní technologie. Výhradně pro tuto misi najali chemika Lloyda Smithe, který se vyznal v laserech. A nakonec tu byl sám Hood vybavený příslušnými biologickými znalostmi.<sup>21</sup>

Geny jsou tvořené DNA, což je makromolekula, která má podobu řetězce složeného ze čtyř základních stavebních kamenů (nukleových bází): adeninu, thyminu, guaninu a cytosinu. Obecně jsou známé pod svými počátečními písmeny: A, T, G, C. Gen je v podstatě vlákno DNA s určitým pořadím A, T, G a C, které nese nějakou biologickou instrukci, například že buňce říká, aby produkovala určitou bílkovinu. Sekvenování genu je pak proces, jímž určujeme pořadí bází v DNA. To je naprosto klíčové, chceme-li zjistit, co určitý gen dělá či jak se geny liší mezi různými jedinci, tedy chceme-li porozumět genetice jako takové.

Britský biochemik Frederick Sanger vyvinul o několik let dříve manuální proces pro sekvenování genů.<sup>22</sup> V rámci jeho metody se cílový gen mnohokrát zkopíroval, avšak ne



v celém rozsahu, nýbrž v podobě fragmentů s různou a náhodně generovanou délkou. K přidání stavebních kamenů ve správné sekvenci pro každý fragment DNA se uplatnil chemický proces známý jako polymerázová řetězová reakce neboli PCR. Při reakcích ve zkumavkách Sanger používal malé množství alternativních verzí těchto čtyř bází (A, T, G a C), jež byly radioaktivní a měly trochu pozměněnou chemickou strukturu, aby po jejich zařazení do řetězce došlo k zastavení chemického procesu a zamezilo se přidávání dalších bází. Když se tedy náhodou začlenila do sekvence místo svého normálního protějšku radioaktivní varianta A, T, G nebo C, daný fragment DNA měl ve výsledku na konci jednu radioaktivní nukleovou bázi. Spočítáním stavebních kamenů předcházejících radioaktivní značce se dalo určit, kde v cílovém genu se tento poslední stavební kámen nachází. Fragment DNA s délkou například deset bází a končící radioaktivním A tedy prozrazoval, že A je desátým písmenem celé sekvence. Další fragment mohl odhalit, že jedenáctým stavebním kamenem je T, a tak dále. Při dostatečném množství fragmentů se nakonec dala rozluštit celá sekvence. V praxi proces využíval velké desky akrylamidového gelu, které na plastových fóliích vytvářely řady černých skvrn znázorňujících polohu každého stavebního kamene v sekvenci. Jednalo se o důmyslnou metodu a Sanger za ni dostal Nobelovu cenu.<sup>23</sup> Byla ale pomalá, únavná a ne vždy spolehlivá. Hood věděl, že přístroj, který by proces zautomatizoval, by představoval revoluční změnu.

Hoodův tým se scházel asi tři týdny a pak usoudil, že k označování nukleových bází budou místo radioaktivních molekul vhodnější fluorescenční barviva a k jejich rozzáření by se hodil laserový paprsek.<sup>24</sup> Těžko přesně určit, kdo tento důležitý nápad dostal, jelikož vyplynul z konverzace, stejně jako mnoho jiných skvělých myšlenek. „Nevím přesně jak,“

vzpomínal později Smith, chemik skupiny, „ale tak či onak jsme se dostali k části se čtyřmi barvivy.“<sup>25</sup> Mít nápad je ovšem jednoduché a jeho zrození zabere chvilku, ale jeho uvedení do praxe trvalo tři roky. Tým musel přijít na správné chemické složení, aby barviva přenesl na DNA, otestovat, jaké druhy barviv fungují nejlépe, zkonstruovat zařízení, jež by barvy přečetlo, vyvinout algoritmus pro přetváření surových dat do genových sekvencí a mnoho dalšího. V roce 1986 skupina konečně oznámila sestavení prvního automatizovaného genového sekvenátoru na světě.<sup>26</sup> Na tiskové konferenci Hood řekl, že přístroj bude mít ohromný dopad na naše znalosti o řadě chorob, od rakoviny po cystickou fibrózu.<sup>27</sup> Možná to znělo jako přehánění, ale nakonec se nemýlil.

Po tiskové konferenci byli někteří členové týmu popuzení, protože Hood ani jednoho z nich nezmínil jménem, což v nich budilo dojem, jako by veškeré zásluhy připisoval sobě.<sup>28</sup> Další potíž spočívala v tom, že přístroj v Hoodově laboratoři byl vlastně jen prototyp. Aby společnost Applied Biosystems mohla vyrobit spolehlivou verzi, musela odstranit nejrůznější technické problémy, zlepšit chemické vlastnosti procesu i hardware. Sám Hood o svém laboratorním sekvenátoru řekl, že je to spíše Ford Model A než Ferrari, které chtěl původně postavit.<sup>29</sup> Celkově vzato se na vzniku přístroje pro sekvenování DNA podílelo mnoho lidí s nejrůznějšími odbornými znalostmi a jeho vývoj pokračoval několik dalších desetiletí.

Krátce před Hoodovou tiskovou konferencí se 24. května 1985 sešlo v Santa Cruz v Kalifornii přes deset vědců, aby diskutovali o možnosti osekvenovat všechny tři miliardy bází DNA, z nichž se skládá genom člověka.<sup>30</sup> Hood se setkání zúčastnil a spolu s ním i nositel Nobelovy ceny Walter Gilbert a její budoucí laureát John Sulston.<sup>31</sup> Když se od

Hooda dozvěděli o přístroji na sekvenování DNA, nálada se od skepse přehoupla k přesvědčení, že je projekt realizovatelný.<sup>32</sup> Novou otázkou se proto stalo, zda má projekt smysl. Hood na diskusi vzpomíná jako na „opravdu vášnivou“.<sup>33</sup> On sám byl neústupně přesvědčený, že by se do projektu měli pustit už jen proto, že je to „kód veškeré lidské fyziologie a vývoje“.<sup>34</sup> Všichni nicméně uznali, jak je obtížné vysvětlit rozdíly v genomu mezi jednotlivci. Ale abychom vůbec věděli, jak moc je lidský genom proměnlivý, byla nejprve nezbytná referenční sekvence. (Referenční lidský genom nakonec pocházel od několika dobrovolníků a dnes víme, že jedinci se od něj obvykle odchyľují v asi čtyřech až pěti milionech z celkových tří miliard písmen.)<sup>35</sup> Převažoval také pocit, že by se lidský genom jednoho dne určitě osekvenovat měl, jednou provždy, tak proč ne teď?<sup>36</sup>

Později téhož roku Gilbert myšlenku prosazoval na formálnějším vědeckém sympoziu. Reakcí bylo pobouření nad odhadnutými náklady: tři miliardy dolarů. Posluchači se obávali, že by se do tohoto jediného podniku mohl odklonit celý americký rozpočet na biologický výzkum. Zatímco jiné vědecké oblasti byly na velké projekty zvyklé (viz třeba Hubbleův vesmírný dalekohled v astronomii či částicové urychlovače ve fyzice), biologie byla stále vědou malých týmů.

Mnoho vědců také tvrdilo, že většina lidského genomu vypadá jako takzvaná „odpadní DNA“, která podle všeho neobsahuje instrukce pro výrobu bílkovin. Zpochybňovali tedy cíl sekvenovat všechnu DNA. Ostatní byli naštěstí prozíraví a uvědomili si, že záhadnost některých částí lidského genomu ještě nutně neznamená, že jsou k ničemu. Dnes dokonce víme, že 98 procent lidského genomu nekóduje bílkoviny obvyklým způsobem, ale skrývá mnoho jiných

pokladů, například spínače, jež vypínají a zapínají jiné části genomu podle toho, jak to různé buňky a tkáně těla vyžadují. V roce 2020 vyšlo najevo, že oblasti této odpadní DNA či „temné hmoty“ genomu kódují stovky malých bílkovin, o nichž nevíme takřka nic, ale které skoro jistě hrají životně důležitou úlohu v lidském zdraví.<sup>37</sup>

Hood odhadl, že zpočátku se proti sekvenování lidského genomu stavělo kolem 80 procent biologů.<sup>38</sup> Říká, že původně byly proti projektu i Národní ústavy zdraví,<sup>39</sup> ale Kongres přesto projevil zájem. Na podporu plánu, než byl v říjnu 1990 oficiálně spuštěn jako Projekt lidského genomu, vystupovala i skupina odborníků včetně Jamese Watsona. Ne každý biolog ovšem skákal radostí. Deník *New York Times* napsal o jednom mladém vědci, který řekl: „Velká zvířata dostávají smetanu, zatímco já tu sedím a hladovím.“<sup>40</sup>

Hood se mezitím dostal do potíží. Někomu z fakulty na Caltechu se jednoduše nezamlouvalo, jak vede svou neobvykle velkou laboratoř a jak si luxusně cestuje po světě, aby sehnal finanční prostředky a propagoval výzkum. „Nesnášeli mou velkou laboratoř,“ vzpomíná Hood, „ale ona velká být musela, kvůli všem těm věcem, jež byly potřeba.“<sup>41</sup> Příliš nepomohlo, když se v roce 1990 provalilo, že si jeden z členů týmu některé publikované výsledky vymyslel. Hoodova laboratoř v průběhu vyšetřování s výzkumem málem skončila, samotného Hooda však nakonec shledali nevinným a na jeho podporu (zejména proto, že jednal rychle, aby pomohl problém vyřešit) vystoupilo několik vědců včetně budoucího laureáta Nobelovy ceny Jamese Allisona.<sup>42</sup> Nicméně Hooda pozdvižení zasáhlo, a jiné instituce proto došly k závěru, že by mohl být svolný k přesunu.

Vedoucí katedry z Washingtonské univerzity v Seattlu pověděl o Hoodovi zakladateli Microsoftu Billu Gatesovi

během fotbalového zápasu<sup>43</sup> a posléze Hooda požádal, aby v Seattlu prezentoval cyklus tří přednášek, na který pozval i Gatese. Plán fungoval, Hood a Gates během tříhodinové večere hojně mluvili o vědě a brzy nato Gates zafinancoval Hoodův profesorský post na Washingtonské univerzitě.<sup>44</sup> Hood se přestěhoval v roce 1992 a po přesunu se mu opět podařilo držet prst na tepu doby.

Stejně jako ostatní si uvědomil, že v biologii se schyluje k zásadní změně. Součásti živých tvorů (geny, bílkoviny a tak dále) jsou nebo již byly úspěšně rozpoznány a formovala se nová výzva: odhalit, jak se všechny ty rozmanité části propojují, aby vytvořily celek a staly se buňkou, orgánem, nebo dokonce jedincem. To se může jevit celkem přímočaře, ale podle Hoodova názoru by to vyžadovalo radikální změnu způsobu, jakým se biologický výzkum provádí. Rozebírání živých tvorů, abychom viděli, co je tvoří, mohou dělat jednotlivci či malé týmy. Hood však tvrdil, že k pochopení, jak spolu různé části interagují – dynamika, sítě, zpětnovazebné smyčky – bude potřeba mezioborová spolupráce na nové úrovni – spojení biologů, informatiků a matematiků.

Při vysvětlování svých názorů Hood často citoval indic-kou bajku, v níž šest slepců narazí na slona. První slepec natáhne ruku a dotkne se slonova boku. Aha, řekne, narazili jsme na zeď. Druhý nahmatá slonův kel a řekne, že ne, je to jinak, bezpochyby jde o kopí. Třetí se dotkne chobotu a tvrdí, že se setkali s hadem. Čtvrtý narazí na nohu a usoudí, že jde o strom. Pátý se dotkne ucha a řekne, že to je vějíř. Konečně poslední uchopí slonův ocas a je si jistý, že drží provaz. Šest slepých mužů se pře a v některých verzích se začnou prát.

Hoodovu holistickému přístupu ke zkoumání, co je buňka nebo co je nemoc (zaměřenému na celý systém, nikoli

na jednotlivé části), se začalo přezdívat systémová biologie. Myšlenka to byla a stále je poněkud nejasná a pravděpodobně ani tehdy nebyla zcela nová – jak sám Hood ihned připustil, idea studovat biologické procesy na počítači je přibližně stejně stará jako sám počítač.<sup>45</sup> Hood se o ni však zasazoval, dotlačil ji na vrchol programu biologické komunity a dostal do popředí pozornosti. V roce 2000 spoluzaložil v Seattlu Institut systémové biologie. Zorganizovat něco takového samozřejmě vyžadovalo hodně politické angažovanosti a mediální podpory. Hood do počínu vložil miliony dolarů z vlastních peněz, které získal ze společností, jež spoluzakládal, z cen a patentů.<sup>46</sup> Zanedlouho byla systémová biologie módní všude. Například zpráva britských akademických orgánů z roku 2007 do ní doporučila investovat 325 milionů liber.<sup>47</sup>

Pro Hooda to všechno, od vývoje přístrojů na sekvenování DNA po Projekt lidského genomu a vzestup systémové biologie, vyvrcholilo novým způsobem boje s nemocemi. Nazývá ho medicínou čtyř P: prediktivní, preventivní, personalizovaná a participační. „Budoucnost medicíny se bude značně lišit od toho, co známe z minulosti,“ prohlásil Hood na vědecké konferenci v září 2018.<sup>48</sup> Tvrdil, že dramatický nárůst testovací a výpočetní kapacity nám všem zpřístupní rozsáhlý datový soubor personalizovaných biologických a lékařských dat, jež bude odkudkoli dostupný online, přičemž ho půjde zkoumat a zjišťovat, jaký je náš zdravotní stav.

Finance pro pilotní studii od NIH se Hoodovi získat nepodařilo, ale jako obvykle sehnal dost peněz prostřednictvím filantropických darů, takže se do plánu mohl pustit. Nejprve osekvenovali celý genom sto osmi lidí a poté jim každé tři měsíce analyzovali vzorky krve, slin, moči a stolice. (Projekt trochu připomínal ten Elinavův a Segalův, o němž jsme mluvili v předešlé kapitole, ale Hoodův tým zkoumal širší

soubor zdravotních údajů.) Soubor dat, který pro každého jednotlivce vytvořili, Hood přirovnal k bezprecedentně hlubokému ponoru do zdraví, který toho o lidském těle prozradí tolik, kolik Hubbleův dalekohled o vesmíru.<sup>49</sup> Na základě těchto údajů si každý účastník studie vyslechl doporučení, jak zlepšit své zdraví. Zapojil se i sám Hood a zjistil, že by měl zvýšit příjem vitamínu D, protože ho jeho tělo špatně vstřebává. Myslí si, že bez tohoto opatření by pravděpodobně dostal osteoporózu nebo Alzheimeru.<sup>50</sup>

Někteří kritici tvrdili, že většinu problémů rozpoznaných v rámci nákladné pilotní studie by odhalily i standardní lékařské kontroly, Hood se bránil protiargumentem, že díky začleňování dalších a dalších dat bude přibývat sofistikovanějších výsledků využitelných v praxi. Tvrdí, že s tím jak se budeme učit lépe číst soubor údajů o jedinci, prozradí nám netušené informace o tom, co by měl člověk dělat, aby zůstal zdravý. Říká, že zatímco medicína 20. století se s nemocemi snažila bojovat, až když propukly, medicína 21. století se soustředí na zachycení nemoci ještě předtím, než vůbec vznikne.<sup>51</sup> Měl pravdu přinejmenším v jednom ohledu – získávání dat bude stále snadnější. Osekvenovat lidský genom kdysi trvalo léta a stálo miliony dolarů, dnes to vyjde na pár set dolarů nebo ještě méně a hotové to může být za den.

V roce 2015 Hood spoluzaložil společnost Arivale, která měla analyzovat geny, stolici, krev a sliny člověka a podat mu zprávu o jeho zdravotním stavu. Náklady na provedení tolika testů (několik tisíc dolarů) byly ale vyšší, než kolik byli zájemci ochotni platit, a společnost o čtyři roky později skončila.<sup>52</sup> Hlavní myšlenka se však zhmotňuje jinde. Craig Venter, další průkopník na poli genomu, spoluzaložil firmu Longevity Inc. Také ona se zaměřila na sekvenování DNA a soubor dalších testů s cílem zavčas odhalit zdravotní

problémy.<sup>53</sup> Společnosti zabývající se genetickým testováním jako 23andMe přilákaly miliony lidí, kteří se chtějí dozvědět něco o svém zdraví či původu.

Podobné nápady jako Hood měli samozřejmě i jiní, avšak mezi tisíci vědců sehrál Hood jednu z hlavních rolí. Z velké části díky němu jsme dospěli do bodu, kdy máme v ruce genetický kód lidského těla a nesčetné společnosti pátrají po možnostech, jak ho využít. Životní příběh každého člověka nabere svižné tempo, zhustí-li se na několik stránek, ale v Hoodově případě se věci hýbaly opravdu rychle. Výsledkem byl soubor obrovského množství informací o biologických procesech probíhajících v lidském těle a obzvláště o našich genech. A další údaje jsou na cestě. Nyní je potřeba pochopit, co vypovídají o tom, kdo jsme a jak budeme žít.

Dva lidé s totožnými geny, jednovaječná dvojčata, nejsou stejným člověkem. Každý jsme víc než jen souborem svých genů. Přesto *něco* z nás z našeho genetického dědictví pochází. Na určité úrovni existuje cosi jako vrozený charakter, i když nám dělá potíže definovat, co to vlastně je. Proto byla genetika dlouho vnímána jako brána k vyřešení jedné z nejstarších polemik lidstva, tedy otřepané diskuse dědičnost versus výchova (či prostředí), která je ústřední pro pochopení naší individuality a naší identity; přinejmenším odhalí, co je genetického původu a co nikoli. Avšak skutečnost, kterou práce Hooda a mnoha jiných obnažila, je poněkud odlišná – čím hlouběji se do našeho genetického dědictví noříme, tím komplikovanější se všechno zdá.

Obzvláště těžké je najít v genetickém kódu naše osobní povahové rysy. Vezměme si například inteligenci. Jak jsme zmínili ve čtvrté kapitole, je nesmírně obtížné určit, co inteligence vůbec je a jak ji měřit. I když ji definujeme exaktně,

třeba jako skóre IQ nebo míru studijního úspěchu, museli bychom ještě objevit genetické variace, které mají na tato měřítka velký vliv. Spíše se zdá, že existují stovky genových variací s malým efektem.<sup>54</sup> To znamená, že rysy jako „intelligence“ nejsou nijak jednoduše kódovány. Nevyhnutelným výsledkem kódovacího systému se stovkami proměnných je ohromná rozmanitost a nuancovanost.

To značně komplikuje veškeré pokusy o genetické zásahy u lidí. Ve druhé kapitole jsme viděli, že zajistit, aby se břímě genu způsobujícího nemoc nepřeneslo na děti, nám už dnes umožňuje IVF, genetický screening embryí a nástroje pro editaci genů včetně CRISPRu. Jak prohlásila průkopnice CRISPRu Jennifer Doudnová: „Možná stojíme na začátku konce genetických onemocnění.“<sup>55</sup> Složitost genetiky ale znamená, že i když pomineme technické problémy a předpokládáme možnost selektovat soubor několika genetických variací v jediném embryu, jakýkoli zásah by téměř jistě bez úmyslu ovlivnil i další vlastnosti, což by mělo za následek nesmírně dalekosáhlé a záhadné dominové efekty. Proto pravděpodobně nelze selektovat nebo měnit embryo tak, abychom dostali určité povahové rysy jako „inteligenci,“ protože navzdory existující definici jsou podobné věci v genech zapsány velmi komplikovaně.

Dopad genetiky (v kombinaci s analýzou velkých dat typu, kterému pomáhal razit cestu Hood) je patrně nejvíce pocíťován na léčbě rakoviny. V roce 2013 napsala hvězdná filmová herečka Angelina Jolie pro deník *New York Times* článek o tom, jak a proč si nechala odstranit oba prsy. Jolieová matka, babička a teta zemřely na rakovinu. Když Angelina díky genetickému testu zjistila, že je nositelkou mutace v genu známém jako *BRCA1*, pochopila, že s 87procentní pravděpodobností může onemocnět rakovinou prsu.

„Mohu svým dětem říct, že se nemusí bát a já na rakovinu prsu nezemřu,“ napsala. „Učinila jsem radikální volbu, která nijak nesnižuje mé ženství, a naopak mě posílila.“<sup>56</sup> Článek vyvolal mediální šílenství a stal se klíčovým momentem, který miliony lidí přiměl vzít na vědomí genetické testování a jeho důsledky. Později v roce 2015 podstoupila Jolie další operaci, při níž jí byly odebrány vaječníky a vejcovody, aby se snížilo riziko, že ji postihne rakovina vaječníků. Krátce před zákrokem krevní test odhalil některé zánětlivé markery, které by prý mohly představovat ranou známku rakoviny. I tentokrát svou zkušenost popsala pro *New York Times*: „Udělat tato rozhodnutí není snadné. Je však možné ujmout se kontroly nad svým životem a postavit se jakémukoli zdravotnímu problému.“<sup>57</sup>

U rakoviny se jen výjimečně stává, že dojde k jedné konkrétní nebo nenadálé události, která nemoc vyvolá, jako tomu je, když do těla pronikne vir či bakterie a způsobí infekční onemocnění. Spíše je to tak, že vlivem složité směsice dědičnosti a prostředí nějakou dobu vzniká skupina nekontrolovaně se množících buněk, což je charakteristický rys této nemoci. Všichni si například uvědomujeme, že kouření způsobuje rakovinu plic.<sup>58</sup> Najdeme však také mnoho lidí, kteří kouřili celý život a rakovinu plic nedostali, což vypovídá o existenci dalších faktorů. Podobně jsou s rakovinou spojovány nejrůznější potraviny (čehož si užívají nesčetné novinové titulky), ale většinu studií je nadále obtížné interpretovat a nemohou vést k tomu, aby vlády nebo zdravotnické organizace poskytovaly jasné a relevantní rady. Principy jsou důležité (a nekouřit je nepochybně dobrá rada), jenže jak uvidíme, z nedávných výzkumů rakoviny nevyplývá jednoduchý seznam, co dělat a co ne.