

Nick Lane

# GYVYBĖS TRIUMFAS

DEŠIMT DIDŽIŲ EVOLIUCIJOS IŠRADIMŲ

*Vertė Kristina Petrutytė*

 eugrimas.lt | TOBULĖJIMUI  
Vilnius

UDK 575

La245

TEISĖS GINAMOS.

Šį leidinį draudžiama atkurti bet kokia forma ar būdu, viešai skelbti, įskaitant padarymą viešai prieinamą kompiuterių tinklais (internete), išleisti ir versti, platinėti jo originalą ar kopijas parduodant, nuomojant, teikiant panaudai ar kitaip perduodant nuosavybėn.

Draudžiama ši kūrinį, esantį bibliotekose, mokymo įstaigose, muziejuose arba archyvuose, mokslinių tyrimų ar asmeninių studijų tikslais atkurti, viešai skelbti ar padaryti viešai prieinamą kompiuterių tinklais tam skirtuose terminaluose tu įstaigų patalpose.

Versta iš knygos:

Life Ascending: The Ten Great Inventions of Evolution by Nick Lane

Iš anglų kalbos vertė

*Kristina Petrutytė (UAB Hesi Group)*

Redagavo

*Ona Balkevičienė*

Mokslinį redagavimą atliko

*Danutė Rimšienė*

Maketą kūrė

*Jurgita Petrulytė ir Dovilė Kuliešienė*

Viršelį kūrė

*Jurgita Petrulytė ir Artūras Babušis*

Knygų serija „MOKSLAS VISIEMS“ yra leidžiama įgyvendinant Lietuvos mokslų akademijos kartu su partneriais vykdomą projektą „Nacionalinės mokslo populiarinimo priemonių sistemos sukūrimas ir įgyvendinimas“, kuris yra finansuojamas Europos socialinio fondo lėšomis.

ISBN 978-609-437-176-9

Copyright © Nick Lane, 2009, 2010

Vertimas į lietuvių kalbą © Kristina Petrutytė, 2013

© Leidykla „Eugrimas“, 2013

*Skiriu motinai ir tėvui.  
Dabar, kai pats esu tėvas,  
labiau nei bet kada anksčiau vertinu tai,  
ką dėl manęs padarėte.*



# TURINYS

|                    |                             |     |
|--------------------|-----------------------------|-----|
|                    | <i>Ivadas</i>               | 5   |
| Pirmas skyrius:    | Gyvybės kilmė               | 13  |
| Antras skyrius:    | DNR                         | 39  |
| Trečias skyrius:   | Fotosintezė                 | 65  |
| Ketvirtas skyrius: | Sudėtinga ląstelė           | 93  |
| Penktas skyrius:   | Lytiniai santykiai          | 121 |
| Šeštas skyrius:    | Judėjimas                   | 147 |
| Septintas skyrius: | Rega                        | 175 |
| Aštuntas skyrius:  | Šiltas kraujas              | 209 |
| Devintas skyrius:  | Sąmonė                      | 235 |
| Dešimtas skyrius:  | Mirtis                      | 262 |
|                    | <i>Epilogas</i>             | 288 |
|                    | <i>Padėka</i>               | 290 |
|                    | <i>Pastabos</i>             | 293 |
|                    | <i>Iliustracijų sąrašas</i> | 303 |
|                    | <i>Bibliografija</i>        | 305 |
|                    | <i>Rodyklė</i>              | 314 |

# ĮVADAS

## DEŠIMT DIDŽIŲ EVOLIUCIJOS IŠRADIMŲ

**V**isa apimančios kosmoso juodumos fone Žemė atrodo kaip žavus žaliai mėlynas rutuliukas. Vos pora dešimčių žmonių yra matę mūsų planetą iš Mėnulio ir iš toliau, tačiau trapus jų atsiųstų nuotraukų grožis iš tos kartos atminties neišdyla. Tai su niekuo nepalyginama. Nereikšmingi žmonių kivirčiai dėl valstybių sienų, naftos ir tikėjimo išnyksta žinant, kad šis gyvas marmuro rutuliukas, apsuptas begalinės tuštumos, yra bendri mūsų namai ir nuostabiausių gyvybės išradimų namai, kuriuose gyvename ir dėl kurių atsiradome jame.

Gyvybė pati savaime pakeitė mūsų planetą iš apdaužyto ir degančio akmens luito, kuris kažkada sukosi jaunos žvaigždės orbitoje, į gyvą švyturį – mūsų pasaulį, matomą iš kosmoso. Gyvybė suteikė mūsų planetai žalią ir mėlyną spalvas, kai fotosintetinančios bakterijos išvalė vandenynus, orą bei jūras ir juos pripildė deguonies. Varoma šio naujo ir galingo energijos šaltinio, atsirado gyvybė. Žydi ir vilioja gėlės, įmantrūs koralai slepia nardančias aukšines žuvels, juodoje tamsoje tyko didžiulės pabaisos, medžiai stiebiasi į dangų, gyvūnai dūzgia, rioglina ir mato. Viso to sukuryje žavi neatskleistos šios kūrinijos paslaptys. Esame kosminių molekulių deriniai, kurie jaučia, mąsto, stebisi ir domisi, kaip mes čia atsidūrėme.

Pirmą kartą planetos istorijoje mes žinome. Tai nėra tikslios žinios ar akmenyje iškalta tiesa, o nokstantys didžiausio žmonijos siekio pažinti ir suprasti mus supantį ir mumyse esantį gyvąjį pasaulį vaisiai. Bendrą supratimą įgijome jau Čarlzo Darvino (*Charles Darwin*) laikais, kai jo veikalas „Rūšių

kilmė“ (*The Origin of Species*) buvo išleistas prieš 150 m. Nuo to laiko mūsų žinias apie praeitį papildė ir spragas užpildė ne tik fosilijos, bet ir geno vidinės sandaros supratimas, kuriuo dabar paremtas kiekvienas dygsnis margame gyvenimo audinyje. Vis dėlto tik pastaraisiais dešimtmečiais nuo teorijos ir abstrakčių žinių perėjome prie ryškaus ir smulkaus gyvybės paveikslo, užrašyto kalbomis, kurias tik neseniai pradėjome versti, ir kurios yra raktas ne tik į mus supantį gyvąjį pasaulį, bet ir į tolimiausią praeitį.

Atsiskleidžianti istorija labiau sukrečia, yra įtikinamesnė ir painesnė, nei sukurtas mitas. Tačiau kaip ir bet koks mitas, tai yra pasakojimas apie virsmą, staigius ir nuostabius pokyčius ir naujoves, pakeitusias mūsų planetą, kitaip vertinančias ankstesnes revoliucijas, pridėdant naujų sluoksnių. Ramus mūsų planetos, matomos iš kosmoso, grožis slepia tikrąją jos istoriją, kupiną kovos, išradingumo ir kaitos. Beje, smulkūs mūsų vaidai tarsi atspindi audringą mūsų planetos praeitį, ir tik mes, Žemės grobstytojai, galime pakilti virš jos ir pamatyti nuostabią visumą.

Didelę šių planetos neramumų dalį sukėlė kelios evoliucijos naujovės – išradimai, pakeitę pasaulį ir galiausiai suteikę galimybę atsirasti mums. Turiu paaiškinti, ką turiu omenyje, sakydamas išradimas, nes kalbu ne apie sąmoningą išradimą. Oksfordo anglų kalbos žodynas išradimą apibrėžia taip: „Originalus sumanymas ar naujo, iki tol nežinomo būdo ar priemonės ką nors atlikti sukūrimas; genezė, įvedimas.“

Evoliucija nenumato ir neplanuoja ateities. Nėra jokio išradėjo, jokio išmanaus projekto. Tačiau natūralioji atranka visas savybes patikrina griežčiausiais bandymais, ir laimi geriausi kūriniai. Tai – gamtos laboratorija, prieš kurią nublanksta žmonių teatras, ir kurioje karta po kartos vienu metu atidžiai tiriami trilijonai smulkiausių skirtumų.

Gamtos projektas, aklų, bet išmoningų procesų rezultatas, mus supa iš visų pusių. Evoliucionistai neoficialiai dažnai tai vadina išradimais, nes nėra tinkamesnio žodžio perteikti stulbinamą gamtos kūrybingumą. Įgyti nuodugnesnių žinių, kaip viskas įvyko, yra bendras mokslininkų tikslas, nepriklausomas nuo religinių jų pažiūrų, taip pat visų žmonių, kuriems rūpi, kaip mes čia atsidūrėme.

Ši knyga pasakoja apie didžiausius evoliucijos išradimus, kaip kiekvienas jų pakeitė gyvąjį pasaulį, ir kaip mes, žmonės, išmokome suprasti šią praeitį

savo sumanumu, besivaržančiu su pačia gamta. Tai nuostabus gyvybės ir mūsų išsiringumo triumfas. Pasakojama kelionės iki dabarties istorija ištis labai ilga – tai didingos kelionės žingsniai nuo gyvybės atsiradimo iki mūsų gyvenimo ir mirties.

Knyga labai plati – apima visą istoriją nuo gyvybės atsiradimo vandens gelmėse iki žmogaus sąmonės, nuo smulkiausių bakterijų iki milžiniškų dinosauro. Joje kalbama apie mokslų sritis nuo geologijos ir chemijos iki neurovizualinių tyrimų, nuo kvantinės fizikos iki planetologijos. Taip pat kalbama apie žmonijos pasiekimus; apie žymiausius mokslininkus ir mažai žinomus tyrėjus, kuriems galbūt lemta vieną dieną tapti žymiais.

Žinoma, mano sudarytas išradimų sąrašas yra subjektyvus ir galėtų būti visiškai kitoks, tačiau taikiau keturis kriterijus, kurie, mano nuomone, gerokai apribojo pasirinkimą, tad gyvybės istorijoje palikau keletą esminių įvykių.

Pirmas kriterijus – išradimas turi iš pagrindų pakeisti gyvąjį pasaulį ir planetą kaip visumą. Jau minėjau fotosintezę, Žemę pavertusią į mums pažįstamą deguonies kupiną (be jo nebūtų gyvūnų) planetą. Kiti pokyčiai nėra tokie akivaizdūs, bet reikšmingi beveik tiek pat. Du didžiausias pasekmes turėję išradimai yra judėjimas, leidęs gyvūnams ieškoti maisto didesniuose plotuose, ir rega, pakeitę visų gyvų organizmų savybes ir elgesį. Gali būti, kad spartus akių išsivystymas maždaug prieš 540 mln. m. itin prisidėjo prie staigaus didelio tikrųjų gyvūnų fosilijų kiekio atsiradimo, vadinamo Kambro sprogitu. Išradimo įtaką Žemei aptariu kiekvieno skyriaus įžangoje.

Antras kriterijus – išradimas turi turėti itin didelę svarbą ir šiais laikais. Geriausi pavyzdžiai – lytiniai santykiai ir mirtis. Pirmieji apibūdinami kaip didžiausias egzistencinis absurdas, vedantis nuo troškimo iki ekstazės, net nekalbant apie painias „Kamasutros“ pozas, o sutelkiant dėmesį tik į keistą ląstelių santykių mechaniką. Klausimas, kodėl tiek daug gyvūnų ir net augalų mėgaujasi lytiniais santykiais užuot klonavęsi, yra mįslė, kurią netrukus turėtume įminti.

Jei lytiniai santykiai yra didžiausias egzistencinis absurdas, tai mirtis turėtų būti didžiausias neegzistencinis absurdas. Kodėl pasenstame ir mirštame, o iki tol dar sergame baisiausiomis ligomis? Šiam aktualiam klausimui neturi įtakos termodinamika ar didėjančios sumaišties ir nukrypimų dėsniai, nes ne visi gyvi organizmai sensta, ir netgi tie, kurie sensta, gali staiga sustoti. Pama-

tysime, kad evoliucija ne kartą ilgino gyvūnų gyvenimo trukmę pagal jų dydį. Jaunystės piliulė neturėtų būti mitas.

Trečias kriterijus – kiekvienas išradimas turi būti tiesioginė evoliucijos per natūraliąją atranką pasekmė, o ne, pavyzdžiui, kultūrinės evoliucijos rezultatas. Aš esu biochemikas ir negaliu pasakyti nieko naujo apie kalbą ar visuomenę. Tačiau visko, ką esame pasiekę, visko, kas žmogiška, pagrindas yra sąmonė. Sunku įsivaizduoti bet kokią bendros kalbos ar visuomenės formą, kuri nebūtų paremta bendromis vertybėmis, suvokimu ir jausmais, kurie neapibūdinami žodžiais meilė, laimė, liūdesys, baimė, ilgesys, viltis, tikėjimas.

Jei žmogaus protas evoliucionavo, turime paaiškinti, kaip smegenyse elektrinius impulsus siunčiantys nervai gali sukelti nematerialios sielos pojūtį ir subjektyvų jausmų intensyvumą. Man tai yra biologijos klausimas, nors ir diskutuotinas, kurį bandau pagrįsti 9 skyriuje. Todėl sąmonę laikau vienu didžiųjų išradimų, o kalbos ir visuomenės – ne, nes tai labiau kultūrinės evoliucijos pasekmės.

Paskutinis kriterijus – kokiu nors būdu išradimas turi būti įspūdingas. Akies tobulumas, ko gero, yra archetipinis iššūkis, datuojamas nuo Č. Darvino ir dar ankstesnių laikų. Nuo tol akis buvo nagrinėjama daugybę kartų ir įvairiais būdais, tačiau pastarojo dešimtmečio genetikos žinių sprogimas pateikė naują sprendimą ir netikėtą kilmę. Dviguba DNR spiralė yra įspūdingiausias mūsų informacijos amžiaus simbolis.

Kompleksinių ląstelių („eukariotinė“ ląstelė) kilmė yra dar viena įspūdinga tema, nors ji geriau žinoma mokslininkams nei visuomenei. Ši tema buvo viena karščiausiai diskutuojamų evoliucionistų pastaruosius 4 dešimtmečius ir yra itin svarbi, siekiant atsakyti į klausimą, kaip plačiai Visatoje gali būti paplitusi sudėtinga gyvybė. Kiekviename skyriuje kalbama apie tokius įspūdingus dalykus.

Prieš pradėdamas rašyti knygą, sąrašą aptariau su draugu; vietoj judėjimo jis siūlė virškinimo sistemos temą, kuri atstovautų gyvūnams. Tačiau ši idėja neatitinka įspūdingumo kriterijaus: mano manymu, raumenų jėga pati savaime yra įspūdinga – tik pagalvokite apie skrydžio grožį. O virškinimo sistema be judėjimo tėra ascidija – siūbuojantis žarnų maišelis, pritvirtintas prie uolos. Neįspūdinga.

Be šių formalesnių kriterijų, išradimas turėjo žadinti mano vaizduotę. Tai yra išradimai, kuriuos aš pats, itin smalsus žmogus, labiausiai norėjau suprasti.



Apie kai kuriuos esu rašęs anksčiau, o dabar vėl norėjau panagrinėti platesniame kontekste; kiti klausimai, sakykime, DNR, neišvengiamai traukia visus smalsius protus. Giliai DNR sandaroje slypinčių mįslių atskleidimas yra viena nuostabiausių pastarosios šimtmečio pusės metų detektyvinių istorijų, tačiau net ir mokslininkai vis dar žino labai nedaug. Tikiuosi, man pavyko perteikti bent dalį savo ieškojimų jaudulio.

Dar vienas pavyzdys ir aršių ginčų objektas – šiltas kraujas, nes kol kas nesutariama, ar dinozaurai buvo aktyvūs šiltakraujai žudikai, ar tingūs didžiuliai driežai; ar šiltakraujai paukščiai kilo tiesiogiai iš artimų *T. rex* pusbrolių, ar su dinozaurais yra visiškai nesusiję. Puiki galimybė pačiam peržiūrėti įrodymus!

Taigi, sąrašą turime. Pradėsime nuo gyvybės atsiradimo ir baigsime mūsų mirtimi bei nemirtingumo perspektyvomis, pakeliui aptardami DNR, fotosintezę, sudėtingas ląsteles, lytinius santykius, judėjimą, regą, šiltą kraują ir sąmonę.

Bet prieš pradėdamas noriu tarti keletą žodžių apie šios įžangos leitmotyvą – naujas „kalbas“, leidžiančias suprasti evoliucijos istorijos gelmes. Dar visai neseniai į praeitį vedė du platūs keliai – fosilijos ir genai. Jie abu turi didelę galią įpūsti gyvybės į praeitį, bet abu turi ir trūkumų. Spėjamos fosilijų duomenų spragos yra perdėtos, ir daugelis jų buvo kruopščiai užpildytos per 150 m. nuo Č. Darvino laikų. Svarbiausia – fosilijos negali tiksliai atskleisti ir neatskleidžia praeities dėl tų pačių sąlygų, kurios užtikrina jų išsilaikymą. Neįtikėtina, kad pavyksta iš jų surankioti tiek daug informacijos.

Lyginant genų sekas, sudaromi genealoginiai medžiai, tiksliai parodantys, kaip esame susiję su kitais organizmais. Deja, ilgainiui genai pakinta tiek, kad nebeturi nieko bendro – nuo tam tikro taško per genetiką atkuriamą praeitis iškraipoma. Tačiau yra veiksmingų metodų, lenkiančių genus bei fosilijas ir leidžiančių pažvelgti giliai į tolimiausią praeitį, ir ši knyga iš dalies skirta pagerbti jų galimybes.

Noriu pateikti vieną mėgstamiausių pavyzdžių, kurio neturėjau progos kitaip paminėti knygoje. Jis susijęs su fermentu (baltymu, katalizuojančiu cheminę reakciją), kuris yra toks svarbus gyvybei, kad yra visuose gyvuose organizmuose nuo bakterijos iki žmogaus. Tarpusavyje buvo palygintas šis dviejų skirtingų rūšių bakterijų fermentas. Vienos rūšies bakterijos gyvena itin karštos hidroterminės versmės, o kitos – užšalusioje Antarktidoje.

Šiuos fermentus koduojančios genų sekos skirtingos – jos pakito tiek, kad dabar labai skiriasi. Žinome, kad jos *kilo* iš bendro prototipo, nes palankesnėmis sąlygomis gyvenančiose bakterijose yra visa gama tarpinių variantų. Tačiau, vien pažvelgę į genų seką, tik tiek ir galime pasakyti. Žinoma, jos pakito dėl skirtingų gyvenimo sąlygų, tačiau tai abstrakčios, sausos ir dvi-matės teorinės žinios.

Bet pažvelkime į molekulinę šių fermentų sandarą, veikiamą intensyvių rentgeno spindulių pluoštu ir iššifruotą, taikant pažangius kristalografinius metodus. Šios dvi sandaros beveik sutampa. Jos tokios panašios viena į kitą, kad kiekviena klostė ir plyšys, kiekvienas įdubimas ir iškilimas tiksliai kartojamas visuose trijuose matmenyse. Nepatyrusi akis jų neatskirtų. Kitaip tariant, nors tolydžio didelė statybinės medžiagos dalis buvo pakeista, bendra molekulės forma ir sandara, vadinasi, ir jos funkcija, evoliucionuodama išliko, lyg akmeninė katedra būtų perstatyta, išlaikant didingą architektūrą.

Tada įvyko dar vienas atradimas. Kurios statybinės medžiagos buvo pakeistos ir kodėl? Šis karštųjų versmių bakterijų fermentas yra itin tvirtas. Medžiagos stipriai lyg cementu tarpusavyje sujungtos ryšiais, palaikančiais sandarą, atlaikančią verdančių versmių energijos smūgius. Tai katedra, pastatyta taip, kad atlaikytų nuolatinius žemės drebėjimus.

Lede vaizdas priešingas – statybinės medžiagos lanksčios, galinčios judėti. Lyg katedra būtų pastatyta ne iš plytų, o iš rutulinių guolių. Prie šaltčio prisitaikęs fermentas 6 °C temperatūroje yra 29 kartus greitesnis, bet, esant 100 °C, jis suyra.

Susidaro spalvingas trimatis vaizdas. Genų sekos pakitimai įgyja prasmę – jie išsaugo fermento sandarą ir funkciją, nors turi veikti visiškai skirtingomis sąlygomis. Dabar matome, kas ir kodėl įvyko per evoliuciją. Tai nebe užuominos, o tikras supratimas.

Panašų aiškų supratimą, kas iš tiesų įvyko, galima įgyti ir remiantis kitomis šiuo metu turimomis priemonėmis. Pavyzdžiui, lyginamoji genomika leidžia lyginti ne tik genus, bet ir visus genomus, tūkstančius šimtų skirtingų rūšių genų vienu metu. Tai tapo įmanoma tik pastaraisiais metais, įvykus viso genomo sekų pasidauginimui. Proteomika leidžia pamatyti baltymų, bet kuriuo metu veikiančių ląstelėje, spektrą, ir suvokti, kaip jį valdo reguliuojantieji genai, išlikę per evoliucijos amžius.

## IVADAS

Skaičiuojamoji (kompiuterinė) biologija leidžia nustatyti ypatingas formas, sandaras ir motyvus, išliekančius baltymuose, nepaisant genų pokyčių. Uolienų ir fosilijų izotopų analizė padeda atkurti atmosferos ir klimato pokyčius. Vizualizavimo technologijos įgalina parodyti smegenų neuronų funkcijas mums mąstant arba atkurti trimatį uolienose esančių mikroskopinių fosilijų vaizdą, jų nepažeidžiant, ir taip toliau.

Šios technologijos nėra naujos, tačiau jų sudėtingumas, greitis ir prieinamumas *yra* naujovė. Kaip ir „Žmogaus genomo projektas“, kulminaciją pasiekęs gerokai anksčiau, nei buvo numatyta, duomenų kaupimo sparta svaigina. Didelė šios informacijos dalis užrašyta ne klasikinėmis populiacijų genetikos ir paleontologijos kalbomis, bet molekulių kalba, tuo lygmeniu, kuriame gamtoje įvyksta pokyčių.

Atsiradus naujoms technologijoms, randasi ir naujų evoliucionistų, gebančių užfiksuoti evoliucijos veikimą realiu laiku. Šitaip paveikslas atima žadą savo detalių gausa ir apimtimi, siekiančia nuo subatominių dalelių iki planetų. Todėl ir sakau, kad pirmą kartą istorijoje mes žinome. Žinoma, didelė augančių žinių dalis yra negalutinė, bet ji aiški ir prasminga. Džiugu gyventi metu, kai žinome tiek daug, bet vis dar galime tikėtis sužinoti dar daugiau.



PIRMAS SKYRIUS

# GYVYBĖS KILMĖ

IŠ BESISUKANČIO ŽEMĖS RUTULIO

Naktis greitai vijo dieną. Tuo metu Žemės para truko vos 5–6 valandas. Planeta pašėlusiai sukosi apie savo ašį. Sunkus ir grėsmingas Mėnulis kabojo danguje – daug arčiau ir, atrodo, daug didesnis nei šiandien. Retai kada spindėjo žvaigždės, nes atmosfera buvo pilna smogo ir dulkių, bet nakties dangų nuolat perskrozdavo krintančios žvaigždės. Saulė, kai buvo įmanoma įžiūrėti pro raudoną smogą, atrodė blanki ir silpna, netekusi pirminės energijos. Žmonės čia nebūtų išgyvenę. Mūsų akys nebūtų išsipūtusios ir sprogusios kaip Marse, bet plaučiai nebūtų gavę deguonies. Minutę beviltiškai pakovoję, būtume uždusę.

Žemės pavadinimas parinktas nevykusiai. Jūra būtų tikęs labiau. Netgi dabar vandenynai sudaro  $\frac{2}{3}$  mūsų planetos ir vyrauja iš kosmoso matomame vaizde. O tuo metu beveik visą Žemę sudarė vanduo ir kelios vulkaninės salos, kyšančios tarp siautėjančių bangų.

Paklusdami didžiuliam Mėnuliui, potvyniai buvo milžiniški, pakylantys ir atslūgstantys, matyt, šimtus pėdų. Asteroidų ir kometų smūgiai nebebuvo tokie dažni kaip tada, kai didžiausios jų nutrenkė Mėnulį šalin, bet net ir šios sąlygiškos ramybės laikotarpiu vandenynai virė ir maišėsi. Jie kunkuliavo ir dugne. Žemės pluta buvo suskilinėjusi, plyšiuose kaupėsi ir tekėjo magma, o vulkanai po vandeniu nuolat išsiverždavo. Tai buvo pasaulis be pusiausvyros, neramus ir aktyvus pasaulis, karščiuojantis planetos kūdikis.

Tai buvo pasaulis, kuriame prieš 3800 mln. m. atsirado gyvybė, galbūt įkvėpta pačios planetos nerimastingumo. Mes tai žinome, nes kelios uolienos kruopelės iš to praėjusio amžiaus išliko per neramius milijonus metų iki šių dienų. Jose yra įstrigusios mažytės anglies dalelės, kurių atomų sudėtyje matyti beveik neabejotinas gyvybės pėdsakas.

Jei tai neatrodo pakankamas pagrindas tokiam reikšmingam teiginiui, galbūt taip ir yra – ekspertai dėl to nesutaria. Tačiau, nulupus kelis laiko svogūno sluoksnius, gyvybės požymiai prieš 3400 mln. m. tampa visiškai aiškūs. Tuo metu pasaulyje atsirado bakterijų, palikusių pėdsaką ne tik anglies izotopų atspaudu, bet ir įvairiausių formų mikrofosilijomis bei kupolo formos bakterijų katedromis – metro aukščio stromatolitais. Mūsų planetoje bakterijos vyravo dar 2500 mln. m., kai tarp fosilijų pasirodė pirmieji išties sudėtingi organizmai. Kai kurie mokslininkai sako, kad jų vis dar randama, nes bendros augalų ir gyvūnų biomasės duomenys neprilygsta bakterijų biomasei.

Kas pirmąkart Žemėje pirmą kartą įkvėpė gyvybės neorganiniams elementams? Ar mes esame unikalūs, ar ypač reti? O gal mūsų planeta buvo vienas iš milijonų milijardų inkubatorių, išsibarsčiusių Visatoje? Remiantis antropiniu principu, tai nesvarbu. Jei Visatos gyvybės tikimybė yra vienas atvejis iš milijonų milijardų, tai tikėtina, kad iš milijonų milijardų planetų vienoje atsiras gyvybė. Ir jei jau atsidūrėme gyvoje planetoje, akivaizdu – joje ir turėtume gyventi. Kad ir kokia reta būtų gyvybė, begalinėje Visatoje visada yra tikimybė, kad vienoje planetoje ji atsiras, ir toje planetoje turime gyventi.

Jei jūsų, kaip ir manęs, netenkina pernelyg gudri statistika, štai dar vienas netenkinantis atsakymas, pateiktas didžiųjų mokslo veikėjų Fredo Hoilio (*Fred Hoyle*) ir Frensio Kriko (*Francis Crick*). Gyvybė atsirado kažkur kitur ir atsitiktinai arba per kokio nors dieviško, nežemiško proto machinacijas „užkrėtė“ mūsų planetą.

Galbūt taip ir buvo – kas duotų galvą nukirsti, kad taip nebuvo? – tačiau dauguma mokslininkų ne be priežasties vengia tokio argumentavimo. Tai tolygu tvirtinimui, kad mokslas negali atsakyti į klausimą, net nepasigilinus, ar mokslas iš tiesų gali į jį atsakyti. Dažniausias argumentas, kodėl paaikškinimo ieškoma kitur Visatoje, yra laikas: Žemėje nepraėjo pakankamai laiko, kad galėtų evoliucionuoti tokia pribloškiamai sudėtinga gyvybė.

Bet kas taip sako? Lygiai toks pat žymus Nobelio premijos laureatas Kristianas de Diuvas (*Christian de Duve*) kur kas įdomiau argumentuoja: chemijos determinizmas reiškia, kad gyvybė turėjo atsirasti greitai. Iš esmės jis sako – cheminės reakcijos įvyksta greitai arba visai neįvyksta. Jei kažkokiai reakcijai įvykti reikia tūkstančio metų, tikėtina, kad visos reaguojančios medžiagos išsisklaidys arba suirs, nebent jas nuolat papildytų kitos greitesnės reakcijos.

Gyvybės atsiradimas, be abejonės, buvo cheminis reiškinys, taigi galioja ta pati logika – pagrindinės gyvybės reakcijos turėjo įvykti spontaniškai ir greitai. Taigi, K. Diuvo nuomone, labiau tikėtina, kad gyvybė evoliucionavo per 10 000, o ne per 10 mlrd. m.

Niekada nesužinosime, kaip iš tikrųjų Žemėje atsirado gyvybė. Net jei pasisektų sukurti bakterijų ar vabzdžių, atsirandančių iš mėgintuvėlyje besimaišančių chemikalų, niekados nesužinosime, ar gyvybė mūsų planetoje atsirado būtent taip, vien dėl to, kad tai yra įmanoma ir galbūt labiau tikėtina, nei manėme anksčiau. Tačiau mokslui svarbu ne išimtys, o taisyklės, ir gyvybės atsiradimo mūsų planetoje taisyklės turėtų galioti visoje Visatoje.

Gyvybės kilmės ieškojimų tikslas yra ne atkurti, kas įvyko 3851 mln. m. pr. Kr. ketvirtadienį 6.30 ryte, o nustatyti bendrąsias taisykles, galiojančias bet kokios gyvybės atsiradimui bet kur Visatoje, ypač mūsų planetoje – vieninteliame mums žinomame pavyzdyje. Nors istorijos, kurią netrukus nagrinėsime, detalės beveik neabejotinai nėra tikslios, manau, istorija iš esmės tikėtina. Noriu parodyti, kad gyvybės atsiradimas nėra didžiulė paslaptis, kaip kartais parodoma: gyvybė turbūt neišvengiamai atsiranda sukančis Žemės rutuliui.



Žinoma, mokslui svarbu ne tik taisyklės, bet ir eksperimentai, paaiškinantys taisykles. Mūsų istorija prasideda 1953 m. Tuos *annus mirabilis*\* paženkline karalienės Elžbietos II karūnavimas, pirmasis įkopimas į Everestą, Josifo Stalino (*Иосиф Сталин*) mirtis, DNR išaiškinimas ir Milerio–Urėjaus (*Miller–Urey*) eksperimentas – simbolinė gyvybės pradžios tyrinėjimo pradžia.

Stenlis Mileris (*Stanley Miller*) tuo metu buvo užsispyręs Nobelio premijos laureato Haroldo Urėjaus (*Harold Urey*) laboratorijos doktorantas. Jis

\* Lot. stebuklų metai.

mirė 2007 m., galbūt kiek susierzinęs, bet tebekovojantis už pažiūras, kurių narsiai laikėsi pusę šimtmečio. Bet, neatsižvelgiant į jo idėjų likimą, tikrasis S. Milerio palikimas yra jo nepaprasti eksperimentai, kurių rezultatai stebina ir šiandien.

S. Mileris pripildė didelę kolbą vandens ir dujų mišinio, bandydamas su-modeliuoti pirmąją, jo supratimu, Žemės atmosferos sudėtį. Buvo manoma (remiantis spektroskopija), kad jo pasirinktos dujos sudaro Jupiterio atmosferą, ir pagrįstai laikoma, kad jų – amoniako, metano ir vandenilio – buvo gausu jaunos Žemės atmosferoje. Mokslininkas per šį mišinį paleido žaibo pobūdžio elektros išlydį ir laukė. Po kelių dienų, savaitių, mėnesių jis ėmė bandinius ir ištyrė, siekdamas nustatyti, ką pavyko išvirti. Gauti duomenys viršijo net drąsiausius jo paties lūkesčius.

Jis virė pirmąją sriubą, fantastišką organinių molekulių mišinį su keliomis aminorūgštimis, statybine baltymų medžiaga ir tikriausiai didžiausią įspūdį darančiomis gyvybės molekulėmis bent tuo metu, kol DNR nebuvo plačiai pagarsėjusi. Dar nuostabiau, kad aminorūgštys, susidariusios S. Milerio sriuboje, daugiausia buvo tos, kurias naudoja gyvybė, o ne bet kokios atsitiktinės struktūros iš plataus galimų molekulių struktūrų rezervuaro.

Kitaip tariant, tyrėjas įelektrino paprastą dujų mišinį, ir iš jo susidarė pagrindinės gyvybės statybinės medžiagos. Atrodo, jos laukte laukė, kol bus leista atsirasti. Staiga pasirodė esą lengva atsirasti gyvybei. Matyt, ši idėja palietė kažką svarbaus amžiaus dvasioje, nes ji tapo *Times* žurnalo viršelio istorija – tai buvo iki tol neregėtas mokslinio eksperimento viešumas.

Tačiau, bėgant laikui, pirmąsios sriubos idėja neteko palaikymo. Jos šansai nukrito iki žemiausio lygio, kai senų uolienų tyrimai aiškiai parodė, kad Žemėje niekada nebuvo gausu metano, amoniako ir vandenilio, bent ne po didžiojo asteroidų bombardavimo, kuris išmušė Mėnulį iš orbitos. Didžiulis bombardavimas sudraskė pirmąją mūsų planetos atmosferą ir nušlavė į kosmosą. Realistiškesnis pirmąsios atmosferos modeliavimas nuvylė.

Pamėginus leisti elektros išlydį per anglies dioksido ir azoto mišinį su metano ir kitų dujų pėdsakais, organinių molekulių kiekis smarkiai sumažėjo. Aminorūgščių rasta tik pėdsakų. Pirmąsios sriuba tapo tiesiog įdomybe, nors ji išliko kaip puikus įrodymas, kad organinės molekulės *galima* sukurti laboratorijoje iš paprastų medžiagų.



Sriuba buvo išgelbėta, kai kosmose, ypač kometose ir meteorituose\*, buvo aptikta daug organinių molekulių. Nepaisant džiuginančio fakto, kad jos egzistuoja, pradėjo atrodyti: gyvybės molekulės, mažas didžiulės galimų organinių molekulių bibliotekos pogrupis, yra kažkuo ypatingos.

Didįjį asteroidų bombardavimą imta vertinti kitaip – dabar jis buvo ne destruktivus, o gyvybei reikalingo vandens ir organinių molekulių šaltinis. Sriuba susidarė ne Žemėje, bet buvo atnešta iš kosmoso. Ir nors dauguma organinių molekulių nuo smūgio būtų suirusios, apskaičiavimai rodė, kad jų galėjo išlikti pakankamai, kad susidarytų sriuba.

Nors ši idėja ir ne visai atitinka kosmologo F. Hoilio ginamą teoriją apie gyvybės atėjimą iš kosmoso, ji susieja gyvybės – ar bent pirmąsias sriubos – atsiradimą su Visatos medžiaga. Gyvybė tapo nebe vieniša išimtimi, o autoritetinga kosmologijos konstanta, tokia pat neišvengiama kaip ir gravitacija. Nereikia nė sakyti, kad idėja labai patiko astrobiologams. Daugeliui ji patinka iki šiol. Be to, idėja maloni – jiems užtikrina darbo vietas.

Sriuba – ypač idėja, kad gyvybei esminę svarbą turi replikatoriai, būtent genai, susidedantys iš DNR ar RNR, galintys sukurti tiksliai savo kopijas ir perduoti kitai kartai (daugiau informacijos apie tai rasite kitame skyriuje) – taip pat pasirodė naudinga molekulinei genetikai.

Iš tikrųjų, natūralioji atranka negali veikti be kokio nors replikatoriaus, taip pat gyvybė gali evoliucionuoti *tik* per natūraliąją atranką. Dėl to daugeliui molekulinės biologijos specialistų replikacijos atsiradimas *reikia* gyvybės atsiradimą. O sriuba puikiai tinka šiai idėjai, nes atrodo, kad pateikia visas sudedamąsias dalis, reikalingas augti ir evoliucionuoti konkuruojantiems replikatoriams. Iš tirštos sriubos replikatoriai pasiima, ko reikia, sudaro ilgesnius, sudėtingesnius polimerus ir kitas molekules galiausiai paverčia sudėtingesnėmis struktūromis, pavyzdžiui, baltymais ir ląstelėmis. Šiuo požiūriu sriuba yra tarsi jūra, pilna rai-džių, laukiančių, kol natūralioji atranka jas sužvejos ir pavers proza.

Dėl to sriubos idėja yra pragištinga. Ne dėl to, kad neteisinga – gali būti, kažkada iš tiesų egzistavo pirmąsios sriuba, net jei ir daug labiau praskiesta, nei buvo tvirtinama iš pradžių. Ji pragištinga todėl, kad sriubos idėja dešim-tmečiams nukreipė dėmesį nuo tikrosios gyvybės pradžios.

\* Kai kuriuos sudarė beveik vien tik nešvarus ledas ir organinės molekulės, tarp jų ir aminorūgščių rinkinys, nepaprastai panašus į gautą įelektrinant dujas.

Paimkite didelę sterilizuotą sriubos (ar žemės riešutų sviesto) skardinę ir palikite keliems milijonams metų. Ar atsiras gyvybė? Ne. Kodėl? Todėl, kad paliktas turinys tik suirs. Jei vis trinktelėsite skardinę elektra, rezultatas nebus geresnis, nes sriuba tik dar greičiau susiskaidys. Atsitiktinis didelis išlydis, sakykime, žaibas, gali priversti susijungti keletą kibių molekulių, tačiau kur kas labiau tikėtina, kad išlydis jas suardys.

Ar išlydis galėtų sukurti sudėtingų replikatorių populiaciją sriuboje? Abejoju. Kaip sakoma dainoje *Arcansas traveller*\*: „iš čia nepateksi ten“. Tai tiesiog termodinamiškai nepagrįsta dėl tų pačių priežasčių, kodėl neįmanoma atgaivinti lavono, per jį leidžiant elektrą.

Termodinamika yra toks žodis, kurio geriau vengti knygoje, bent kiek siekiančiai populiarumo. Tačiau ji bus daug įdomesnė, jei manysime, kad ji yra apie „aistrų“ mokslą. Atomų ir molekulių egzistavimą taip stipriai valdo „potraukiai“, „atstūmimai“, „norai“ ir „iškrovos“, kad galiausiai tampa neįmanoma rašyti apie chemiją, jai nesuteikiant seksualinio antropomorfizmo.

Molekulės „nori“ gauti ar netekti elektronų, pritraukti priešingą krūvį, atstumti panašų krūvį ir gyventi kartu su panašaus pobūdžio molekulėmis. Cheminė reakcija įvyksta savaime, jei visi molekuliniai partneriai nori dalyvauti, arba jie gali būti stipresnės jėgos priversti reaguoti prieš savo valią. Ir, žinoma, kai kurios molekulės labai nori reaguoti, bet joms sunku įveikti įgimtą kuklumą. Šioks toks flirtas gali išlaisvinti didžiulį geismą, grynios energijos iškrovą. Bet turbūt turėčiau čia sustoti.

Noriu pasakyti, kad termodinamika verčia pasaulį suktis. Jei dvi molekulės nenori reaguoti tarpusavyje, jų lengvai neįtikinsi, o jei nori, ir sureaguos, net jei prireiks šiek tiek laiko įveikti drovumą. Tokie norai yra varomoji mūsų gyvenimo jėga. Maisto molekulės labai nori reaguoti su deguonimi, bet, laimei, nesureaguoja savaime (jos truputėlį drovios), nes kitaip visi užsiliepsnotume. Bet gyvybės liepsna, visus mus palaikantis lėtas degimas, yra būtent tokio pobūdžio reakcija: nuo maisto atsiskyręs vandenilis reaguoja su deguonimi, išskirdamas energiją, reikalingą mūsų gyvybei.<sup>1</sup>

Iš esmės *visą* gyvybę palaiko panaši „pagrindinė reakcija“: cheminė reakcija, kuri nori įvykti, ir kuri išskiria energiją, reikalingą paskatinti visas šalutines

\* *Angl. Arkanzaso keliautojas.*

reakcijas, sudarančias medžiagų apykaitą. Visą šią energiją, visų mūsų gyvybę apibendrina priešprieša dviejų molekulių, tarp kurių nėra pusiausvyros – vandenilio ir deguonies – dviejų priešingų kūnų, susijungiančių palaimingoje molekulinėje sąjungoje, kai išskiriama didžiulė energija, o po jos telieka maža karšto vandens balutė.

Tai ir yra pirmąsios sriubos problema – ji termodinamiškai beskonė. Niekas sriuboje per daug nenori reaguoti, bent ne taip, kaip nori vandenilis ir deguonis. Joje nėra pusiausvyros trūkumo, varomosios jėgos, kuri stumtų gyvybę į labai stačią energijos įkalnę, kad susidarytų sudėtingi polimerai – baltymai, lipidai, polisacharidai, o svarbiausia – RNR ir DNR. Idėja, kad tokie replikatoriai, kaip RNR, buvo pirmosios gyvybės užuomazgos, atsiradusios anksčiau nei bet kokia termodinaminė varomoji jėga, tai tas pat, kas, Maiko Raselo (*Mike Russell*) žodžiais tariant, „išimti variklį iš automobilio ir tikėtis, kad jį varys valdymo kompiuteris“. Bet iš kur atsirado tas variklis, jei ne iš sriubos?

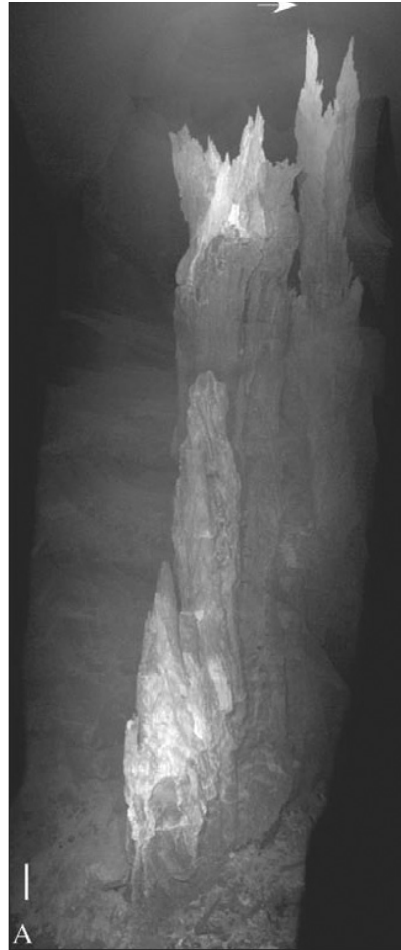
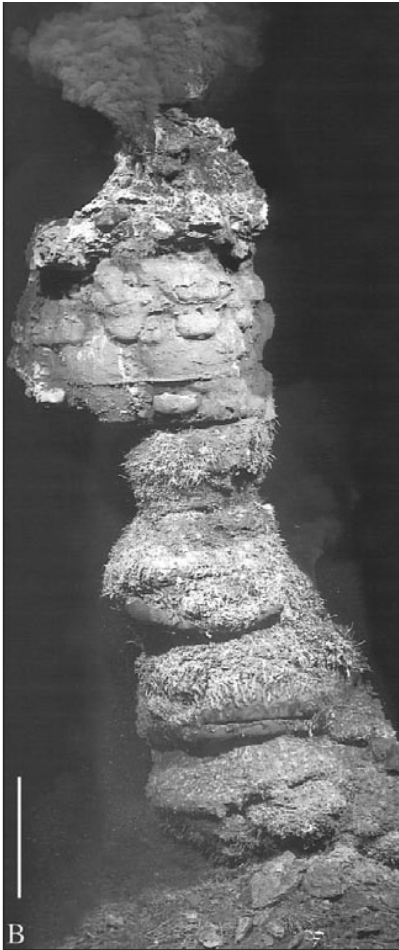


Pirmoji atsakymo užuomina atsirado aštuntojo dešimtmečio pradžioje, kai palei Galapagų riftą netoli Galapagų salų buvo pastebėti kylantys šilto vandens srautai. Salos, kurių turtingumas kažkada pasėjo rūšių kilmės sėklą Č. Darvino mintyse, visiškai pagrįstai dabar iškėlė pačios gyvybės kilmės užuominą.

Keletą metų nevyko beveik nieko. Tada 1977 m., praėjus 8 m. nuo Nilo Armstrongo (*Neil Armstrong*) nusileidimo Mėnulyje, povandeninis JAV karinio jūrų laivyno laivas *Alvin* nusileido į riftą ieškoti okeaninių hidroterminių versmių, iš kurių, kaip buvo manoma, kilo šilto vandens srautai. Ir jų rado.

Nors jų egzistavimas nebuvo netikėtas, tačiau giliausioje rifto juodumoje vešinti gyvybė atrodė neįtikėtina. Čia gyveno milžiniškos vamzdelinės kirmėlės *Riftia pachyptila*, kai kurios jų – 8 pėdų [apie 2,4 m] ilgio, ir lėkštės dydžio moliuskai. Nors vandenynų gelmėse milžiniški organizmai nėra naujiena – prisiminkite gigantiškuosius kalmarus – jų gausa stulbino. Giluminių versmių populiacijos tankumas galėjo varžytis su atogrąžų miško ar koralų rifo tankumu, nors šiai populiacijai energijos teikė ne saulė, o versmės.

## GYVYBĖS TRIUMFAS



1.1 PAV. VULKANINIS JUODASIS RŪKALIUS, LEIDŽIANTIS 350 °C TEMPERATŪROS VANDENĮ TIES CHUAN DE FUKOS TEKTONINĖS PLOKŠTĖS KRAŠTU RAMIOJO VANDENYNŲ ŠIAURĖS RYTUOSE. ŽYMEKLIS YRA 1 M AUKŠČIO.

1.2 PAV. GAMTOS BOKŠTAS, AKTYVI ŠARMINĖ 30 M AUKŠČIO VERSMĖ PRARASTOJO MIESTO VIETOVĖJE, KYLANTI IŠ SERPENTINO UOLIENOS. AKTYVIOS ZONOS ŠVIESESNĖS. ŽYMEKLIS YRA 1 M AUKŠČIO.

Tikriausiai įspūdingiausiai atrodė pačios versmės, netrukus pradėtos vadinti juodaisiais rūkaliais (žr. 1.1 pav.). Vėliau paaiškėjo, kad Galapagų rifo versmės buvo ne tokios įdomios, palyginus su kai kuriais iš 200 nuo tol aptiktų versmių laukais, išsibarsčiusiais prie Ramiojo, Atlanto ir Indijos vandenyno

plokščių tektoninių briaunų. Svyruojantys juodi kaminai, kai kurie siekiantys dangoraižių aukštį, į vandenynus pumpuoja kunkuliuojančius juodus dūmus. Jie nėra tikri: dega metalų sulfidai, kylantys iš kaitrių magmos šulinių, rūgštūs lyg actas, siekiantys 400 °C didžiuliame vandenyno gelmių slėgyje, ir išsisklaido šaltame vandenyje.

Kaminus sudaro sieros mineralai, pavyzdžiui, geležies piritas (dar vadinamas „kvailių auksu“), kurie nusėda iš juodų dūmų ir storai padengia didelius plotus. Kai kurie kaminai didėja nepaprastu greičiu, net iki 30 cm per dieną, ir prieš sugriūdami gali pasiekti 60 m aukštį.

Šis keistas vienišas pasaulis priminė pragaro viziją, kurią išbaigė siera ir bjauri iš rūkalių sklindančių sulfido dujų smarvė. Be abejo, tik nerimastingas Jeronimo Boscho (*Hieronymus Bosch*) protas galėjo įsivaizduoti milžiniškas vamzdelines kirmėles be burnos ar išangės ir beakes krevetes, groteskiškas lyg skėrių spiečius knibždėte knibždančias ant iškyšų po kaminais. Gyvybė rūkaliuose ne tik iškenčia tokias pragariškas sąlygas, bet ir negali be jų gyventi, jose klesti. Bet kaip?

Atsakymas: nėra pusiausvyros. Jūros vanduo prasisunkia į magmą po juodaisiais rūkaliais, įkaista ir prisisotina mineralų ir dujų, ypač vandenilio sulfido. Sieros bakterijos vandenilį iš šio mišinio gali ištraukti, prijungti prie anglies dioksido ir sudaryti organines medžiagas. Ši reakcija yra versmių gyvybės pagrindas – bakterijos gali klestėti be tiesioginės saulės šviesos.

Tačiau anglies dioksidą paversti organine medžiaga reikia energijos, o kad galėtų jos suteikti, sieros bakterijoms reikia deguonies. Vandenilio sulfido reakcija su deguonimi išskiria energiją, varančią versmių pasaulį, ir atitinka vandenilio ir deguonies reakciją, kuri yra mūsų gyvybės varomoji jėga. Reakcijos produktai yra vanduo, kaip ir anksčiau, ir elementinė siera – biblinė siera, sieros bakterijoms suteikusi pavadinimą.

Pažymėtina, kad iš versmių karščio ar kitų savybių bakterijos neturi jokios tiesioginės naudos, išskyrus vandenilio sulfidą.<sup>2</sup> Šios dujos savaime daug energijos neturi: jos gauna, vykstant reakcijai su deguonimi, o tai priklauso nuo versmių ir vandenyno sąsajos, dviejų pasaulių, tarp kurių nėra pusiausvyros, priešpriešos. Tik šalia versmių gyvenančios bakterijos, naudodamosi abiem pasauliais vienu metu, gali sukelti tokias reakcijas.

Versmių gyvūnija, sakykime, krevetės, minta bakterijų paklote arba savyje augina bakterijas lyg vidines fermas, todėl didžiulėms vamzdelinėms kirmėlėms

virškinimo sistema nereikalinga – jas iš vidaus maitina bakterijų kaimenės. Tačiau griežtas reikalavimas užtikrinti ir vandenilio sulfido, ir deguonies išteklius šeiminingams kelia įdomių dilemų, nes savo viduje jie turi suderinti abu pasaulius. Ši būtinybė yra keistos vamzdelinių kirmėlių anatomijos priežastis.

Ilgai netruko gyvybės atsiradimą tyrinėjantiems mokslininkams, pirmiausia – Džonui Barosui (*John Baross*) iš Vašingtono universiteto Sietle – susidomėti versmių pasaulio sąlygomis. Versmės iškart išsprendė daug pirmykštės sriubos problemų, ypač termodinamikos – tuose juoduose kunkuliuojančiuose dūmuose nebuvo jokios pusiausvyros.

Vis dėlto versmių ir vandenynų sąsaja pirmykštėje Žemėje buvo kito-  
kia, nes tuo metu buvo labai mažai ar visai nebuvo deguonies. Varomoji jėga negalėjo būti vandenilio sulfido ir deguonies reakcija kaip dabar. Bet kuriuo atveju ląstelinis kvėpavimas yra sudėtingas procesas, kuris laikui bėgant evo-  
liucionavo. Jis negalėjo būtų pirmykštis energijos šaltinis. Anot ikonoklastinio vokiečių chemiko ir patentinio patikėtinio Giunterio Vėchtershoizerio (*Gün-  
ter Wächtershäuser*), anksčiausias gyvybės variklis buvo vandenilio sulfito ir geležies reakcija, sudaranti mineralinį geležies piritą, vykstanti spontaniškai ir išskirianti šiek tiek energijos, bent tiek, kad būtų galima ją nustatyti.

G. Vėchtershoizeris sudarė gyvybės atsiradimo cheminę schemą, kuri ne-  
buvo panaši į jokią kitą. Piritui susidarant išskirtos energijos nepakanka an-  
glies dioksidą paversti organine medžiaga, taigi anglies monoksidą chemikas  
panaudojo kaip labiau reaguojančią medžiagą.

Iš tiesų šių dujų randama rūgštinėse versmėse. Mokslininkas panaudojo  
kitas lėtas organines reakcijas su įvairiais geležies ir sieros mineralais, ir jos  
pasirodė esančios puikūs katalizatoriai. G. Vėchtershoizeriui ir jo kolegoms  
galiausiai pavyko įvykdyti šias teorines reakcijas laboratorijoje ir įrodyti jų ti-  
kėtumą. Tai buvo didžiulis pasiekimas, apvertęs kelių dešimtmečių gyvybės  
atsiradimo teorijas, teigiant, kad ji atsirado pragariškoje aplinkoje iš mažiau-  
siai tikėtinų sudedamųjų dalių: vandenilio sulfido, anglies monoksido ir ge-  
ležies piritu – dviejų nuodingų dujų ir kvailių aukso. Vienas mokslininkas,  
perskaitęs G. Vėchtershoizerio darbą, palygino jį su moksliniu darbu, per laiko  
transformaciją atkeliausiu iš XXI a. pabaigos.

Bet ar jis teisus? G. Vėchtershoizeris taip pat susilaukė aštrios kritikos iš  
dalies dėl to, kad jis – tikras revoliucionierius, paneigęs ilgai puoselėtas idėjas,

iš dalies dėl to, kad arogantiškas jo elgesys erzina kolegas mokslininkus, ir iš dalies dėl to, kad jo piešiamas paveikslas kelia pagrįstų abejonių. Turbūt didžiausias trūkumas yra „koncentracijos problema“, būdinga ir pirmą kartą sriubos idėjai.

Bet kokios organinės molekulės išsisklaido vandenyne, ir todėl mažai tikėtina, kad jos susidurs, sureaguos ir sudarys polimerus – RNR ir DNR. Jų niekas nesulaiko vienoje vietoje. G. Vėchtershoizeris atremia: visos reakcijos gali įvykti mineralų, tarkime, geležies piritu, paviršiuje. Bet čia taip pat kyla problema, nes reakcijos negali įvykti iki galo, jei galutiniai produktai neatsiskiria nuo katalizatoriaus paviršiaus. Arba reakcija užstringa, arba viskas išsisklaido.<sup>3</sup>

M. Raselas, šiuo metu dirbantis Reaktyvinių variklių laboratorijoje Pasadenoje, devintojo dešimtmečio viduryje pasiūlė visų šių problemų sprendimą. Mokslininkas yra tarsi mokslo pranašysčių dainius, linkęs į „geopoeziją“ ir turintis termodinamiką ir geochemiją pagrįstą požiūrį į gyvybę, kuris daugeliui biochemikų atrodo miglotas. Tačiau, bėgant dešimtmečiams, M. Raselo idėjos pritraukė daug šalininkų, kurie jo vizijoje mato unikaliai tinkamą gyvybės atsiradimo sprendimą.

Tiek G. Vėchtershoizeris, tiek M. Raselas sutinka, kad hidroterminės versmės yra gyvybės atsiradimo pagrindas, tačiau kitais aspektais vienas mato juoda, o kitas – balta. Vienas postuluoja vulkaninę kilmę, kitas – priešingai, vienas pirmenybę teikia rūgštims, kitas – šarmams. Nors šios dvi idėjos dažnai painiojamos, jos turi labai mažai bendro. Leiskite paaiškinti.



Vandenyno tektoninių plokščių briaunos, kuriose yra juodieji rūkaliai, yra jūros dugno plėtimosi ištekliai. Iš šių vulkaninės veiklos centrų kylanti magma milimetras po milimetro stumia gretimas tektonines plokštes vieną nuo kitos. Kai kitame krašte plokštės susiduria, viena palenda po kita, o trečia išstumiamą. Himalajai, Andai, Alpės iškilo, taip susidūrus tektoninėms plokštėms. Tačiau, Žemės plutai lėtai slenkant jūros dugnu, atsiveria naujos uolienos, susidariusios iš po pluta esančios mantijos. Iš tokių uolienų atsiranda kitokio pobūdžio hidroterminių versmių – jos labai skiriasi nuo juodųjų rūkalių; M. Raselas remiasi jomis.

Šios versmės nėra vulkaninės, ir, joms susidarant, magma nedalyvauja. Jos susidaro naujoms uolienoms reaguojant su jūros vandeniu. Vanduo ne tik įsismelkia į tokias uolienas, bet ir su jomis fiziškai reaguoja. Vanduo susijungia su uolienomis ir pakeičia jų sandarą – sudaro hidroksidinius mineralus, tarkime, serpentiną (taip pavadintą dėl panašumo į žalius – margus – gyvatės žvynus). Reaguodamos su jūros vandeniu, uolienos plečiasi ir įtrūksta, o tai savo ruožtu leidžia jūros vandeniui įsiskverbti dar giliau, ir procesas tampa nenutrūkstamas.

Šių reakcijų mastas stebina. Manoma, kad vandens kiekis, dalyvaujantis reakcijose su uolienomis, lygus pačių vandenynų tūriui. Plečiantis vandenyno dugnui, hidratuotos uolienos palenda po susiduriančia plokšte, kur mantija jas vėl įkaitina. Tada vanduo atsiskiria ir patenka į Žemės gelmes. Dėl „užteršimo“ jūros vandeniui konvekcinei cirkuliacijai vyksta giliai mantijoje ir išstumia magmą į paviršių per vandenyno vidurio kalnagūbrius ir vulkanus. Taigi audringą mūsų planetos vulkanizmą daugiausia sukelia nuolatinė jūros vandens tėkmė mantijoje. Dėl to mūsų pasaulyje nėra pusiausvyros. Dėl to sukasi mūsų planeta.<sup>4</sup>

Tačiau jūros vandens ir iš mantijos kilusių uolienų reakcija yra ne tik varomoji mūsų planetos nuolatinio vulkanizmo jėga. Ji taip pat išskiria šilumos energiją ir didelius kiekius dujų, sakykime, vandenilio. Iš tiesų, reakcija pakeičia visa, kas yra ištirpę jūros vandenyje, lyg stebuklingame veidrodyje atspindėdama groteskiškai pakitusius vaizdus, kuriuose visos reaguojančios medžiagos pakrautos elektronais (techniškai kalbant, jos redukuojamos).

Pagrindinės išskiriamos dujos yra vandenilis vien dėl to, kad jūros vandenį daugiausia sudaro vanduo. Tačiau išskiriami nedideli kiekiai kitų dujų, kurios primena S. Milerio mišinį ir yra ypač naudingos susidarant sudedamųjų molekulių – baltymų ir DNR – prekursoriams (pirmtakams). Taigi, anglies dioksidas paverčiamas metanu, azotas grįžta amoniako pavidalu, o sulfatai išspjaunami kaip vandenilio sulfidas.

Šiluma ir dujos grįžta į paviršių ir išsiveržia kaip hidroterminė antrojo tipo versmė. Šios versmės nuo juodųjų rūkalių iš esmės skiriasi viskuo. Jos nėra iš tolo nėra rūgštinės, dažniau stipriai šarminės. Jos būna šiltos arba karštos, bet temperatūra daug žemesnė nei pragariškos juodųjų rūkalių kaitros. Paprastai jų randama toliau nuo vandenyno vidurio kalnagūbrių, iš kurių plečiasi jūros dugnas. Ir, užuot sudariusios vertikalų juodą kamina, kylantį iš



vienos angos, jos suformuoja sudėtingas struktūras, pilnas smulkių burbuliukų ir atskirų dalių, atsirandančių šiltam hidroterminiam skysčiui smelkiantis viršun į šaltą vandenyną.

Manau, apie tokias versmes tik nedaugelis yra girdėję dėl to, jog buvo atmetas terminas serpentinizacija (pavadinimas irgi kilęs nuo mineralo serpentino). Savo tikslais jas vadinsime šarminėmis versmėmis, nors toks terminas ir neįspūdingas, palyginti su brandžiu juodųjų rūkalių pavadinimu. Visą žodžio šarminis svarbą pamatysime vėliau.

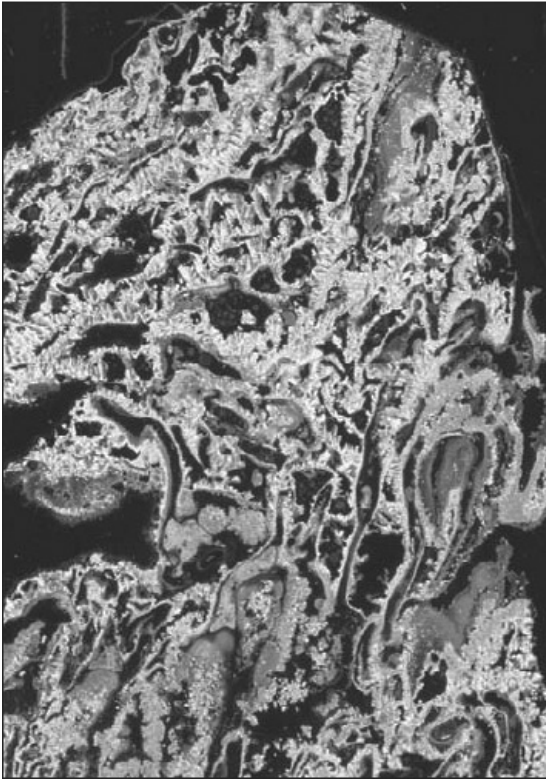
Įdomu, kad iki šiol šarminių versmių egzistavimas iš esmės buvo numanomas, tačiau žinomas tik iš keleto fosilijų klodų. Žymiausias jų – Tinos (*Tynagh*) miestelyje Airijoje – yra maždaug 350 m., ir devintajame dešimtmetyje jis sukėlė minčių M. Raselui.

Ištyręs plonus korytos uolienos, paimtos iš suakmenėjusios versmės, sluoksnius elektroniniu mikroskopu, jis aptiko mažyčius skyrelius, panašaus dydžio kaip organinės ląstelės – 0,1 mm ar dar mažesnio skersmens, o juos tarpusavyje jungė labirintą primenantis tinklas. M. Raselas padarė prielaidą, kad panašios mineralinės ląstelės galėjo susidaryti, šarminių srovių vandeniui maišantis su rūgštiniu vandenynų vandeniui, ir netrukus laboratorijoje, sumaišęs šarmus su rūgštimis, išgavo korytas uolienas.

1988 m. *Nature* žurnalo straipsnyje M. Raselas nurodė, kad šarminių versmių sąlygos turėjo būti idealus gyvybės inkubatorius. Skyreliai leido organinėms molekulėms natūraliai susitelkti vienoje vietoje, o jų sienelės, sudarytos iš geležies ir sieros mineralų, tarkime, makinavito, šioms mineralų ląstelėms teikė kataliojimosi savybių, kurias numatė G. Vėchtershoizeris.

1994 m. straipsnyje M. Raselas ir jo kolegos teigia: „Gyvybė atsirado iš didėjančių geležies sulfido burbuliukų sancaupų, pripildytų šarminio ir itin redukuoto hidroterminio tirpalo. Šie burbuliukai prieš 4 mlrd. m. susidarė hidrostatškai povandeninėse sulfidinėse karštosiose versmėse, išsidėsčiusios atokiau nuo vandenynų plėtimosi centrų.“

Šie žodžiai atrodo neįsivaizduojamas dalykas, nes tuo metu dar nebuvo atrastos veikiančios povandeninės šarminių versmių sistemos. Tada, tūkstantmečių sandūroje, mokslininkai, plaukiantys povandeniniu laivu *Atlantis* aptiko būtent tokios rūšies versmių maždaug už 15 km nuo Vidurio Atlanto kal-



1.3 PAV. ŠARMINĖS VERSMĖS MIKROSKOPINĖ SANDARA, KURIOJE MATYTI TARPUSAVYJE SUJUNGTI SKYRELIAI – LABAI TINKAMAS INKUBATORIUS ATSIIRASTI GYVYBEI. ŠI DALIS YRA MAŽDAUG 1 CM PLOČIO IR 30 MM STORIO.

nagūbrio povandeniniame kalne, kurio pavadinimas taip pat apėmė Atlanto\* masyvą. Vietovė buvo pavadinta Prarastuoju Miestu pagal mitinį metropolį.

Traapiams baltiems bokštams ir karbonato pirštams, siekiantiems akliną juodumą, šis pavadinimas bauginamai tiko. Versmių laukas nepriminė jokio kito iki tol atrasto lauko. Kai kurie kaminai buvo tokio pat aukščio, kaip juodieji rūkaliai, didžiausias jų, vadinamas Poseidonu, 60 m aukščio. Tačiau tai buvo ne sunkios ir tvirtos konstrukcijos, o grakštūs bokštai, įmantrūs lyg gotikinė architektūra, ir, Džono Džulijaus Norvičo (*John Julius Norwich*) žodžiais tariant, sudaryti iš „nesuprantamų raizginių“. Čia hidroterminių versmių išleidžiamas vanduo buvo bespalvis, sudarantis netikėtai apleisto miesto, kuriame išsaugotos visos įmantrios gotiškos grožybės, įspūdį. Tai buvo ne juo-

\* Angl. *Atlantis*.

dujų rūkalių pragaras, o subtilūs balti „nerūkantieji“, kurių suakmenėję pirštai tiesėsi į dangų (žr. 1.2 pav.).

Nors ir nematomos, išleidžiamos versmės yra tikros, ir jų pakanka miestą išlaikyti gyvą. Kaminus sudaro ne geležies ir sieros mineralai (geležis beveik netirpsta deguonies prisotintuose vandenynuose; M. Raselo prognozės taikomos daug ankstesniems laikams), tačiau jų sandara yra koryta – mikroskopiinių skyrelių labirintas su plunksninėmis aragonito sienelėmis (žr. 1.3 pav.).

Įdomu, kad senosios struktūros, nurimusios ir nebekunkuliuojančios hidroterminiais skysčiais, yra daug vientisesnės – jų poros užsipildžiusios kalcitu. Veikiančios versmės priešingai – labai gyvybingos, porose vyksta aktyvi bakterijų veikla, ir cheminės pusiausvyros nebuvimas kuo geriausiai išnaudojamas. Ten yra ir gyvūnų, kurių įvairovė nenusileidžia juodųjų rūkalių, bet jie daug mažesnio dydžio.

Panašu, kad to priežastis yra ekologija. Sieros bakterijos, klestinčios juoduosiuose rūkaliuose, prisitaiko gyventi gyvūnuose šeiminkuose, o Prarastajame Mieste aptinkamos bakterijos (ar, tiksliau, archėjos) tokių partnerysčių nesudaro.<sup>5</sup> Neturėdama vidinių „fermų“, versmių gyvūnija auga ne taip sparčiai.

Prarastojo Miesto gyvybė remiasi vandenilio ir anglies dioksido reakcija, kuri yra visos mūsų planetos gyvybės pagrindas. Tačiau Prarastajame Mieste reakcija yra tiesioginė, o visur kitur – netiesioginė.

Iš žemės besiveržiančios gryno vandenilio dujos yra reta dovana mūsų planetoje, ir gyvybė paprastai yra priversta ieškoti užslėptų išteklių, kur vandenilis tvirtai prisijungęs prie kitų atomų, pavyzdžiui, vandenyje ir vandenilio sulfide. Norint atplėšti vandenilį nuo tokių molekulių ir prijungti prie anglies dioksido, reikia energijos, kuri gaunama iš saulės per fotosintezę arba naudojantis cheminės pusiausvyros nebuvimu versmėse.

Tik su vandenilio dujomis reakcija įvyksta spontaniškai, nors ir labai lėtai. Tačiau termodinaminiu požiūriu reakcija yra nemokami pietūs, už kuriuos sumokama, kad pavalgytumėte (įsimintina Evereto Šoko (*Everett Shock*) frazė). Kitaip tariant, reakcija tiesiogiai sukuria organines molekules, ir tuo pat metu išskiria daug energijos, kurią iš principo galima panaudoti kitoms organinėms reakcijoms.

Taigi M. Raselo šarminės versmės tinkamos būti gyvybės inkubatoriumi. Jos sudaro dalį sistemos, kuri apverčia Žemės paviršių ir sukelia nuolatinį

mūsų planetos vulkanizmą. Šarminės versmės niekada nėra pusiausvyroje su vandenynu ir nuolat išskiria vandenilį, reaguojantį su anglies dioksidu ir sudarantį organines molekules.

Versmės sukuria korytus labirintus, kuriuose išsilaiko ir kaupiasi organinės molekulės, todėl polimerų, sakykime, RNR, susidarymas tampa daug labiau tikėtinas (kaip pamatysime kitame skyriuje). Jos yra ilgaamžės – Prarastojo Miesto kaminai veikia jau 40 000 m., 100 kartų ilgiau nei dauguma juodųjų rūkalių.

Pirmykštėje Žemėje jų buvo daugiau, kai vėstanti mantija labiau veikė vandenynus. Be to, tais laikais vandenynuose buvo daug ištirpusios geležies, ir mažieji skyreliai turėjo katalizuojančias sienes, sudarytas iš geležies ir sieros mineralų, panašiai kaip suakmenėjusios versmės Tinos miestelyje Airijoje. Jos turėjo veikti kaip natūralaus srauto reaktoriai, kuriuose terminiai ir elektrocheminiai gradientai reaguojančius skysčius varinėja po katalizuojančius skyrelius.

Visa tai labai gerai, tačiau, net ir būdamas labai vertingas, vienas reaktorius vargu ar sukurtų gyvybę. Kaip iš tokių natūralių reaktorių gyvybė išsivystė į sudėtingą, nuostabų, išradinę ir išmoningą pasaulį, kokį matome aplink? Atsakymo nežinome, tačiau yra užuominų, kurias suteikia pačios gyvybės savybės, ypač išlikusių reakcijų, būdingų beveik visai šių laikų gyvybei, esmė. Ši medžiagų apykaitos esmė, gyva vidinė fosilija, išsaugojo tolimiausios praeities aidus, kurie dera su pirmapradės kilmės iš šarminių hidroterminių versmių teorija.



Gyvybės atsiradimą galima aiškinti dviem būdais: iš apačios į viršų ir iš viršaus į apačią. Iki šiol šiame skyriuje naudojome „iš apačios į viršų“ būdą ir aptarėme geochemines sąlygas ir termodinaminius gradientus, kurie greičiausiai buvo būdingi pirmykštei Žemei. Kalbėjome, kad šiltosios povandeninės hidroterminės versmės, išskiriančios vandenilio dujas į anglies dvideginio prisotintą vandenyną, yra labiausiai tikėtina gyvybės atsiradimo aplinka. Natūralūs elektrocheminiai reaktoriai būtų galėję ir sudaryti organines molekules, ir išskirti energiją. Tačiau nesvarstėme, kokios tiksliai reakcijos galėjo vykti, ar kaip jos sukūrė mums žinomą gyvybę.

Vienintelis tikras rodiklis, leidžiantis sužinoti, kaip atsirado gyvybė, yra šių laikų gyvybė, kitaip sakant, būdas „iš viršaus į apačią“. Galime kataloguoti visoms gyvoms būtybėms būdingas savybes, atkurti hipotetines paskutinio bendrojo protėvio, meiliai vadinamo LUCA\*, savybes. Kadangi tik nedidelis bakterijų pogrupis geba fotosintetinti, mažai tikėtina, kad pats LUCA buvo fotosintetinis. Jei jis toks buvo, dauguma jo palikuonių neteko labai naudingos savybės, o tai atrodo neįtikima, nors ir negalima to užtikrintai atmesti.

Visai Žemės gyvybei būdingos bendros savybės: visos gyvos būtybės sudarytos iš ląstelių (išskyrus virusus, kurie gali veikti tik ląstelėse), visos turi genus, susidedančius iš DNR, visos koduoja baltymus universaliu kodu, būdingu konkrečioms aminorūgštims. Ir visos gyvos būtybės turi bendrą valiutą, vadinamą ATP (adenozino-5'-trifosfatas), kuri veikia panašiai kaip 10 svarų banknotas, „apmokantis“ įvairų darbą su ląstele (daugiau apie tai šiek tiek vėliau). Galime daryti pagrįstą išvadą, kad visi gyvi organizmai paveldėjo bendras savybes iš tolimo bendrojo protėvio LUCA.

Visa šiandien egzistuojanti gyvybė taip pat turi bendrą medžiagų apykaitos reakcijų pagrindą, kuriame svarbiausias nedidelis reakcijų ciklas, vadinamas Krebso. Ciklas pavadintas sero Hanso Krebso (*Sir Hans Krebs*) – vokiečių Nobelio premijos laureato, kuris, pabėgęs nuo nacių, ketvirtajame dešimtmetyje Šefylde pirmą kartą išaiškino šį ciklą – vardu. Krebso ciklas užima labai garbingą vietą biochemijoje, tačiau ištisoms studentų kartoms tai atrodė apdulkėjusi seniena, atmintinai iškalama egzaminams, o po to užmirštama.

Tačiau Krebso ciklas kažkuo ypatingas. Užgriozdintuose biochemijos katedrų kabinetuose, kur ant stalų ir grindų pūpso krūvos knygų ir popierių, o šiukšliadėžė nebuvo ištuštinta 10 m., neretai pamatysite ant sienos pakabintą išblukusią, susiraukšlėjusią, atspurusiais kraštais medžiagų apykaitos schemą. Laukdamas ateinant profesoriaus, žvelgiate į ją susidomėjęs ir su siaubu.

Jos labai sudėtingos, lyg pamišėlio sukurta metro schema. Strėlytės rodo visomis kryptimis ir sukasi ratais, rodydamos atgal viena į kitą. Nors paveikslas išblukęs, galima įžiūrėti, kad tos strėlytės yra skirtingų spalvų, žyminčių skirtingas sekas; baltymai žymimi raudonai, lipidai – žaliai ir t. t. Kiek žemiau yra uždaras ratas, atrodantis lyg būtų pačiame rodyklių maišalynės vidury-

\* Angl. *Last Universal Common Ancestor*.

je – galbūt vienintelis ratas, vienintelė tvarkinga visos schemos dalis. Taip, tai Krebso ciklas. Žvelgdamas į jį, imi suprasti, kad beveik visos kitos strėlytės atsisakoja nuo Krebso ciklo lyg sulankstyto rato stipinai. Tai – visa ko centras, ląstelės medžiagų apykaitos centras.

Krebso ciklas nebeatrodo tokia seniena. Nauji medicininiai tyrimai parodė, kad jis yra tiek ląstelės fiziologijos, tiek biochemijos pagrindas. Ciklo sukimosi greičio pokyčiai paveikia viską – nuo senėjimo iki vėžio ir energetinės būklės. Tačiau dar įdomiau tai, jog Krebso ciklas gali sukurti atgal.

Paprastai ciklas naudoja organines molekules (iš maisto) ir išskiria vandenilį (skirtą sudeginti kvėpuojant deguonimi) ir anglies dioksidą. Taigi ciklas ne tik sukuria prekursorius medžiagų apykaitos reakcijų sekoms, bet ir pateikia nedidelį kiekį vandenilio, reikalingo generuoti energiją, naudojamą kaip ATP.

Sukdamasis atgal, Krebso ciklas veikia priešingai: išsiurbia anglies dioksidą ir vandenilį, ir sudaro naujas organines molekules – pagrindinę statybinę gyvybės medžiagą. Užuoat išskirdamas energiją, atgal besisukdamas ciklas vartoja ATP. Duokite ATP, anglies dioksido ir vandenilio, ir ciklas išskirs pagrindines statybines gyvybės medžiagas – lyg būtų įvykęs stebuklas.

Šis atbulinis Krebso ciklo sukimasis nėra plačiai paplitęs net bakterijose, tačiau palyginti dažnas tose bakterijose, kurios gyvena hidroterminėse versmėse. Nors ir primityvus, tai tiesiog svarbus būdas anglies dioksidą paversti į statybines gyvybės medžiagas. Jeilio biochemikas novatorius Haroldas Morovitzas (*Harold Morowitz*), šiuo metu dirbantis Krasnovo perspektyvių tyrimų institute, Ferfakse Virdžinijoje, keletą metų narpliojo atbulinio Krebso ciklo savybes. Trumpai tariant, jis padarė išvadą, kad, esant pakankamai visų sudedamųjų dalių koncentracijai, ciklas sukasi pats savaime. Jei vieno tarpinio junginio koncentracija padidėja, jis virsta kitu tarpiniu junginiu.

Iš visų galimų organinių molekulių Krebso cikle dalyvaujančios molekulės yra stabiliausios, todėl labiausiai tikėtinas būtent jų susidarymas. Kitaip tariant, Krebso ciklo „nesukūrė“ genai; tai – tikimybių chemijos ir termodinamikos rezultatas. Vėliau evoliucionavę genai ėmė diriguoti pagal jau esamas natas, panašiai kaip orkestro dirigentas atsako už interpretavimą – tempą ir subtilybes – bet ne už pačią muziką. Sferų muzika egzistavo visuomet. Sukantis Krebso ciklui ir esant energijos šaltiniui, neišvengiamai ėmė vykti šalutinės reakcijos, ir atsirado sudėtingesni prekursoriai aminorūgštys ir nukleotidai. Kyla įdomus klausimas,

kiek pagrindinės gyvybės medžiagų apykaita Žemėje yra spontaniška, ir kiek ji yra vėlesnis genų ir baltymų produktas. Atsakymas į šį klausimą viršija šios knygos užmojį, tačiau norėčiau pasakyti vieną svarbų dalyką.

Dauguma bandymų susintetinti statybines gyvybės medžiagas buvo per daug „puristiniai“. Pradedama nuo paprastų molekulių, tarkime, cianido, kurios neturi nieko bendra su mums žinomos gyvybės chemija (tiesą sakant, jos yra gyvybės praeikimas), ir statybines gyvybės medžiagas bandoma susintetinti, žaidžiant su slėgiu, temperatūra ar elektros išlydžiu – visiškai nebiologiniais parametrais.

Tačiau kas nutinka, jei pradodate nuo Krebso ciklo molekulių ir šiek tiek ATP, idealiu atveju esančių elektrocheminiame reaktoriuje, kokį siūlo M. Raselas? Kokia aptriušusios medžiagų apykaitos schemos dalis pasirodo spontaniškai iš šių sudedamųjų dalių, atsiradusių tarsi nežemiškoje liejimo formoje, kurią laipsniškai užpildo termodinamiškai tikėtinausios molekulės? Aš ne vieningai manau, kad ta dalis nemaža, galbūt net iki smulkiųjų baltymų (tiksliau, polipeptidų) ir RNR, o tada viršų ima natūralioji atranka.

Visa tai – eksperimentų klausimas, o daugelį tų eksperimentų dar reikia atlikti. Kad jie būtų tikri, reikia, jog nuolat būtų gaminama stebuklinga sudedamoji dalis – ATP. Šiuo atžvilgiu jums greičiausiai atrodo, kad užbėgame už akių ir bandomė išmukti bėgti, prieš išmokdami vaikščioti.

Kaip sukuriamas ATP? Įtikimiausią atsakymą pateikė talentingas ir tiesmukas amerikiečių biochemikas Bilas Martinas (*Bill Martin*), palikęs JAV ir įsidarbinęs Diuseldorfo universiteto botanikos profesoriumi. Iš ten jis nuolat skleidžia ikonoklastines idėjas apie beveik visko, kas svarbu biologijai, kilmę. Galbūt ne viskas teisinga, bet jo idėjos visuomet įdomios ir beveik visada į biologiją priverčia pažvelgti kitaip. Prieš keletą metų B. Martinas susėdo su M. Raselu, ir abu ėmėsi perėjimo nuo geochemijos prie biochemijos. Nuo tada įžvalgos ėmė lieti lietis. Pasižvalgykime.

Jie abu grįžo prie pagrindų – anglies patekimo į organinį pasaulį. Mokslininkai teigia: šiandien yra tik penkios medžiagų apykaitos sekos, kuriomis augalai ir bakterijos įveda vandenilį ir anglies dioksidą į gyvąjį pasaulį, kad susidarytų organinė medžiaga. Kaip matėme, viena iš tų sekų yra atbulinis Krebso ciklas.

Keturios iš penkių sekų vartoja ATP (taip pat Krebso ciklas), todėl gali vykti tik esant energijos šaltiniui. Tačiau 5-a seka – tiesioginė vandenilio ir

anglies dioksido reakcija – ne tik sudaro organines molekules, bet ir išskiria energiją. Būtent tai labai panašiais etapais daro dvi senųjų organizmų grupės. Su viena šių grupių jau susipažinome – tai archėjos, gyvenančios Prarastojo Miesto versmėse.

Jei B. Martinas ir M. Raselas teisūs, tolimi archėjų protėviai prieš 4 000 mln. m. gyvybės aušroje vykdė tokias pat reakcijas beveik tokioje pačioje aplinkoje. Tačiau vandenilio ir anglies dioksido reakcija nėra tokia paprasta, kaip atrodo – šios 2 molekulės nereaguoja spontaniškai. Jos gana „drovios“, ir, norint įtikinti jas pašokti, reikalingas katalizatorius. Joms taip pat reikia šiek tiek energijos, kad pradėtų vykti veiksmas. Tik tada jos susijungia ir išskiria kur kas daugiau energijos.

Katalizatorius yra gana paprastas. Šiais laikais reakciją katalizuojančių fermentų centre yra geležies, nikelio ir sieros, kurių sandara labai panaši į versmėse randamo mineralo. Vadinas, kad pirmąsias ląstelės prisijungė gatavą katalizatorių, ši seka yra itin sena, nes joje nedalyvauja sudėtingi baltymai. Kaip teigia B. Martinas ir M. Raselas, šios sekos šaknys – uolose.

Bent jau versmėse, reakcijai prasidėti reikalingos energijos šaltinis yra pačios versmės. Jas išduoda netikėtas reakcijos produktas – reaktyvi acto forma, vadinama *acetilo sulfidais*.<sup>6</sup> Jie susiformuoja dėl to, kad anglies dioksidas yra gana stabilus ir atlaiko vandenilio ataką, tačiau jis jautrus reaktyvesniems anglies ir sieros „laisvųjų radikalų“ fragmentams, esantiems versmėse. Taigi, energija, reikalinga priversti anglies dioksidą reaguoti su vandeniliu, atsiranda iš pačių versmių reaktyvių laisvųjų radikalų pavidalu, iš kurių susidaro acetilo sulfidai.

Acetilo sulfidai yra reikšmingi, nes užima svarbią vietą medžiagų apykaitos išsiskyrimo taške, kuris vis dar būdingas šiandienos organizmams. Anglies dioksidui reaguojant su acetilo sulfidais, susidaro atšaka, lemianti sudėtingesnių organinių molekulių susidarymą. Reakcija įvyksta spontaniškai ir išskiria energiją, kuriai veikiant, susiformuoja trijų anglies atomų molekulė, vadinama piruvatu.

Šis pavadinimas biochemikus priverčia prisėsti iš nuostabos, nes tai yra įėjimas į Krebso ciklą. Kitaip tariant, įvykus kelioms paprastoms reakcijoms, kurių visos termodinamiškai tikėtinos, kai kurias jų katalizuojant fermentais su mineraliniais telkiniais centruose, suteikiant joms „šaknis uolienose“, staiga



pasiekiame gyvybės medžiagų apykaitos centrą – Krebso ciklą. O patekus į jį, tereikia pastovaus ATP šaltinio, kad jis imtų sukintis ir kurti statybines gyvybės medžiagas.

Energiją generuoja kita atsišakojanti seka, kur fosfatai reaguoja su kitais acetilo sulfidais. Tiesa, reakcija sukuria ne ATP, bet paprastesnį junginį – acetilo fosfatą. Tačiau jis tarnauja tam pačiam tikslui, o kai kurios bakterijos iki šiol jį vartoja kartu su ATP. Jis veikia lygiai taip pat, kaip ir ATP – reaktyvaus fosfato grupę perduoda kitoms molekulėms ir joms suteikia energijos priedėlį, kuris jas aktyvuoja.

Procesas šiek tiek primena vaikų gaudynes, kur vienas vaikas yra gaudytojas ir turi paliesti kitą, tada šis tampa gaudytoju. Gaudytojas įgyja „reaktyvumą“, kurį turi perduoti kitam. Fosfato perdavimas iš vienos molekulės į kitą veikia panašiai: reaktyvus priedėlis molekulę aktyvuoja – kitaip jos nereaguotų. Tokiu būdu ATP Krebso ciklą varo atbulai, o acetilo fosfatas daro lygiai tą patį. Perdavus reaktyvaus fosfato priedėlį, lieka paprasčiausias actas – įprastas šiandieninių bakterijų veiklos rezultatas.

Kai kitą kartą atsidarysite prarūgusio (actu virtusio) vyno butelį, pagalvokite, kokios bakterijos veikia butelyje ir sukuria šalutinį produktą, kuris yra toks pat senas, kaip ir gyvybė ir labiau nusipelnęs pagarbos, nei puikiausias vynas.

Visa tai apima šarminės versmės, nuolat darančios acetilo sulfidus: jos kuria pagrindą susidaryti sudėtingesnėms organinėms molekulėms ir išskiria joms susidaryti reikalingą energiją iš esmės tokia pat forma, kokią šiais laikais naudoja ląstelės. Kaminiuose esančios mineralų ląstelės suteikia galimybę sukaupti reakcijoms reikalingų produktų ir katalizatorių paspartinti procesą be jokių sudedamųjų baltymų. Galiausiai, į mineralinių ląstelių labirintą besiskverbiantis vandenilis ir kitos dujos užtikrina, kad visos žaliavos būtų nuolat papildomos ir gerai susimaišytų. Tai iš tiesų yra gyvybės versmė, išskyrus vieną smulkia detalę, sukeliančią didžiules pasekmes.

Problema susijusi su nestipriu energijos postūmiu, reikalingu užmegzti artimus vandenilio ir anglies dioksido ryšius. Minėjau, kad tai paprasta pačioje versmėje, nes hidroterminės sąlygos sukuria reaktyvius laisvuosius radikalus, kurie paskatina reakciją. Tačiau tai *sukelia* problemų ląstelėms, negyvenančioms versmėje. Kad vyktų reakcija, jos turi naudoti ATP, panašiai kaip perkamas gėrimas, norint pralaužti ledus per pirmą pasimatymą.

Kas trukdo? Tai apskaitos klausimas. Vandens ir anglies dioksido reakcija išskiria pakankamai energijos susidaryti vienai ATP molekulei. Tačiau jei vienai ATP molekulei sukurti panaudojama viena ATP molekulė, nėra grynojo pelno. O jei jo nėra, negali suktis Krebso ciklas, ir gamintis sudedamosios organinės molekulės. Gyvybė versmėse galėtų neišnykti, tačiau visiems laikams turėtų likti susieta su versmėmis termodinamine virkšte, ir jos nebūtų galima nukirpti.

Akivaizdu – gyvybė nėra susieta su versmėmis. Jei ši istorija nėra paprasčiausias išsigalvojimas, tai kaip iš versmių ištrūkome? B. Martinas ir M. Raselas pateikė įtikinamą atsakymą, kodėl beveik visa gyvybė šiais laikais kvėpavimą naudoja kaip keistą būdą kurti energiją – tai turbūt labiausiai nuojautai prieštaraujantis mechanizmas visoje biologijoje.



Knygoje „Kelautojo kosmostopu vadovas po galaktiką“ (*The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*) beviltiškų nemokšų šiuolaikinių žmonių protėvių laivas sudūžta Žemėje, ir jie išstumia vietines žmogbeždžiones. Sudaro pakomitetį, iš naujo išradinėja ratą ir nustato, kad lapai yra atsiskaitymo priemonė, dėl to visi tampa labai turtingi. Tačiau jie susiduria su infliacija, kai vienas riešutas iš laivo kainuoja apie tris lapuočių miškus. Todėl mūsų protėviai pradeda didžiulę defliacijos programą ir visus miškus sudegina. Tai atrodo siaubingai tikėtina.

Nekreipiant dėmesio į lengvabūdiškumą, manau, išreiškiama svarbi mintis apie valiutą – nėra nieko, kas tiksliai apibrėžtų vertę. Riešutas gali būti vertas aukso luito, vieno penso ar trijų lapuočių miškų – tai priklauso nuo santykinio įvertinimo, retumo ir t. t. 10 svarų banknotas gali būti vertas bet ko.

Tačiau chemijoje yra kitaip. Šiek tiek anksčiau ATP palyginau su 10 svarų banknotu ir šią vertę pasirinkau labai apdairiai. ATP turi tiek energijos, kad reikia išleisti 10 svarų sukurti vieną ATP, ir juos išleidę, gaunate lygiai 10 svarų. Tai nėra sąlygiškas reiškinys kaip žmonių valiuta. Tai pasakytina apie bet kokias bakterijas, norinčias palikti versmes. ATP nėra tokia universali valiuta, kaip 10 svarų banknotas – jos vertė nekinta, ir smulkesnės grąžos nėra.

Jei norite nupirkti nebrangų gėrimą, kad pralaužtumėte ledus per pirmąjį pasimatymą, turite paduoti 10 svarų banknotą, ir nors gėrimas tekainuoja 2

svarus, negaunate jokios grąžos – nėra tokio dalyko, kaip  $\frac{1}{2}$  ATP molekulės. Vandenilio ir anglies dioksido reakcijos metu išsiskyrusią energiją išsaugoti galite tik 10 svarų banknotais. Tarkime, iš reakcijos galite gauti 18 svarų. To nepakanka sudaryti dvi ATP, todėl susidaro tik viena. Kadangi nėra smulkios grąžos, prarandate 8 svarus. Dauguma mūsų susiduria su ta pačia erzinančia problema valiutos keityklose, kurios prekiauja tik didesnio nominalo valiuta.

Taigi, net jei veiksmui išjudinti pakanka išleisti 2 svarus, o atgaunate 18 svarų, naudodami universalų 10 svarų banknotą, turime išleisti 10 svarų, kad gautumėme 10 svarų. Šios lygties bakterijos išvengti negali – jos negali augti iš paprastos vandenilio ir anglies dioksido reakcijos, naudodamos vien tik ATP. Tačiau jos auga, išmoningu būdu skaidydamos 10 svarų banknotą į smulkesnes monetas. Šis būdas vadinamas *chemoosmoze*, kuri savo atradėjui ekscentriškam britų biochemikui Piteriui Mičeliui (*Peter Mitchell*) 1978 m. atnešė Nobelio premiją.

Šis apdovanojimas galiausiai padėjo tašką dešimtmečius trukusioms diskusijoms. Šiandien, žvelgdami iš kito tūkstantmečio perspektyvos, matome, kad P. Mičelo atradimas yra vienas reikšmingiausių XX a.<sup>7</sup> Bet net ir tie keli mokslininkai, ilgai palaikę chemoosmozės svarbą, nelabai gali paaiškinti, kodėl toks keistas mechanizmas būdingas daugeliui gyvų organizmų. Kaip ir bendras genetinis kodas, Krebso ciklas ir ATP, chemoosmozė būdinga visai gyvybei, įskaitant ir paskutinį bendrąjį protėvį LUCA. B. Martinas ir M. Raselas paaiškino, kodėl.

Apskritai, chemoosmozė yra protonų judėjimas per membraną (iš čia kilo pavadinimo panašumas į osmozės – vandens judėjimą per membraną). Kvėpuojant vyksta štai kas: elektronai atskiriami nuo maisto ir per nešėjų grandinę nunešami prie deguonies. Išskiriama energija naudojama prastumti protonus pro membraną. Rezultatas – protonų gradientas už membranos.

Membrana veikia kaip hidroelektrinės užtvanka. Kaip iš aukščiau esančio rezervuaro tekantis vanduo suka turbiną ir gamina elektros energiją, taip ir ląstelėse protonų srautas, einantis per baltymų turbinas, skatina ATP sintezę. Šis mechanizmas yra visiškai netikėtas: užuot įvykus tiesioginei dviejų molekulių reakcijai, įterpiamas keistas protonų gradientas.

Chemikai yra įpratę dirbti su sveikaisiais skaičiais; viena molekulė negali sureaguoti su puse kitos molekulės. Chemoosmozė turbūt labiausiai glumina

tuo, kad joje gausu sveikųjų skaičių trupmenų. Kiek elektronų reikia perkelti, kad susidarytų viena ATP? 8–9. Kiek reikia protonų? Kol kas tiksliausias įvertinimas yra 4,33.

Tokie skaičiai neturėjo jokios prasmės, kol nebuvo įvertintas tarpinis gradientas. Jį sudaro 1 000 000 laipsnių – į sveikuosius skaičius neskaidomas. Didžiausias gradiento privalumas – kad reakcija gali būti kartojama, kol susidarys viena ATP molekulė. Jei reakcijos metu išskiriama 1/100 energijos, reikalingos susidaryti vienai ATP, reakcija kartojama 100 kartų, pamažu sukuriant gradientą, kai susikaupia pakankamai protonų sukurti vieną ATP molekulę. Staiga ląstelė gali taupyti; ji turi kišenę, pilną smulkių pinigų.

Ką visa tai reiškia? Grįžkime prie vandenilio ir anglies dioksido reakcijos. Bakterijai vis dar reikia vienos ATP molekulės pradėti veiksmą, bet dabar jos gali sudaryti daugiau nei vieną ATP, nes gali taupyti iki kitos ATP susidarymo. Galbūt ne pats geriausias gyvenimas, bet sąžiningas. Be to, nuo šito priklauso galimybė augti.

Jei B. Martinas ir M. Raselas yra teisūs, ir pirmosios gyvybės formos atsirado iš šios reakcijos, vienintelis būdas gyvybei palikti povandenines versmes buvo chemoosmozė. Iš tiesų, vienintelės gyvybės formos, šiandien gyvenančios iš šios reakcijos, yra priklausomos nuo chemoosmozės ir be jos augti negali. Taip pat tiesa, kad beveik visai Žemės gyvybei būdingas šis keistas mechanizmas, nors jis ir nėra visada reikalingas. Kodėl? Manau, todėl, kad jis paveldėtas iš bendrojo protėvio, kuris negalėjo be jo gyventi.

Tačiau pagrindinė priežastis, leidžianti manyti, kad B. Martinas ir M. Raselas teisūs, yra protonų naudojimas. Kodėl ne, sakykime, įkrauti natrio, kalio ar kalcio atomai, kuriuos naudoja mūsų nervų sistema? Nėra akivaizdžios priežasties, kodėl gradientė būtų teikiama pirmenybė protonams, o ne kokioms nors kitoms įelektrintoms dalelėms. Taip pat yra bakterijų, kurios sudaro natrio, o ne protonų gradientą, nors tai pasitaiko retai. Manau, pagrindinė priežastis – M. Raselo versmių savybės.

Prisiminkime, kad versmės išskiria šarminį skystį į vandenyną, kuris yra rūgštinis dėl ištirpusio anglies dioksido. Rūgštys apibrėžiamos per protonus: rūgštis turi daug protonų, šarmas – mažai. Taigi burbuliuojančios šarminės versmės rūgštiniame vandenynė sukuria natūralų protonų gradientą. Kitaip sakant, mineralų ląstelės šarminėse M. Raselo versmėse yra natūraliai chemoosmozinės.

Pats M. Raselas tai nurodė prieš daugelį metų, tačiau suvokimas, kad bakterijos negalėjo palikti versmių be chemoosmozės, buvo bendradarbiavimo su B. Martinu, kuris domėjosi mikrobu energetika, vaisius. Taigi, šie elektrocheminiai reaktoriai ne tik kuria organines molekules ir ATP, bet ir pateikė pabėgimo planą – būdą išvengti universalaus 10 svarų banknoto problemos.

Žinoma, natūralus protonų gradientas naudingas tik tada, kai gyvybė geba valdyti gradientą ir vėliau sukurti savo gradientą. Nors lengviau panaudoti esamą, nei sukurti ką nors nuo nulio, nė vienas kelias nėra paprastas. Be abejonės, šie mechanizmai evoliucionavo dėl natūraliosios atrankos. Šiandien reakcijai reikia daugybės genų nustatomų baltymų, ir nėra pagrindo manyti, kad tokia sudėtinga sistema galėjo evoliucionuoti be baltymų ir genų – iš DNR sudarytų genų.

Taigi, įdomi kilpa. Gyvybė negalėjo palikti versmių, kol neišvaldė savo chemoosmozės gradiento, tačiau savo gradientą ji galėjo valdyti, tik naudodama genus ir DNR. Atrodo, gyvybė savo uolėtame inkubatoriuje neišvengiamai turėjo evoliucionuoti iki aukšto sudėtingumo laipsnio.

Tai nupiešia nepaprastą paskutinio visos Žemės gyvybės bendrojo protėvio paveikslą. Jei B. Martinas ir M. Raselas yra teisūs, o aš manau, kad teisūs, protėvis buvo ne laisva ląstelė, o uolėtas mineralinių ląstelių labirintas, išklotas katalizuojančiomis sienelėmis, susidedančiomis iš geležies, sieros ir nikelio, ir pakrautas energija dėl natūralaus protonų gradiento. Pirmoji gyvybės forma buvo koryta uoliena, iš kurios susidarė sudedamosios molekulės ir energija, o galiausiai – baltymai ir pati DNR. Taigi, šiame skyriuje aptarėme tik pusę istorijos. Kitame skyriuje kalbėsime apie antrą pusę – įstabiausios iš visų molekulių, genų medžiagos DNR išradimą.



## ANTRAS SKYRIUS

# DNR

## GYVYBĖS KODAS

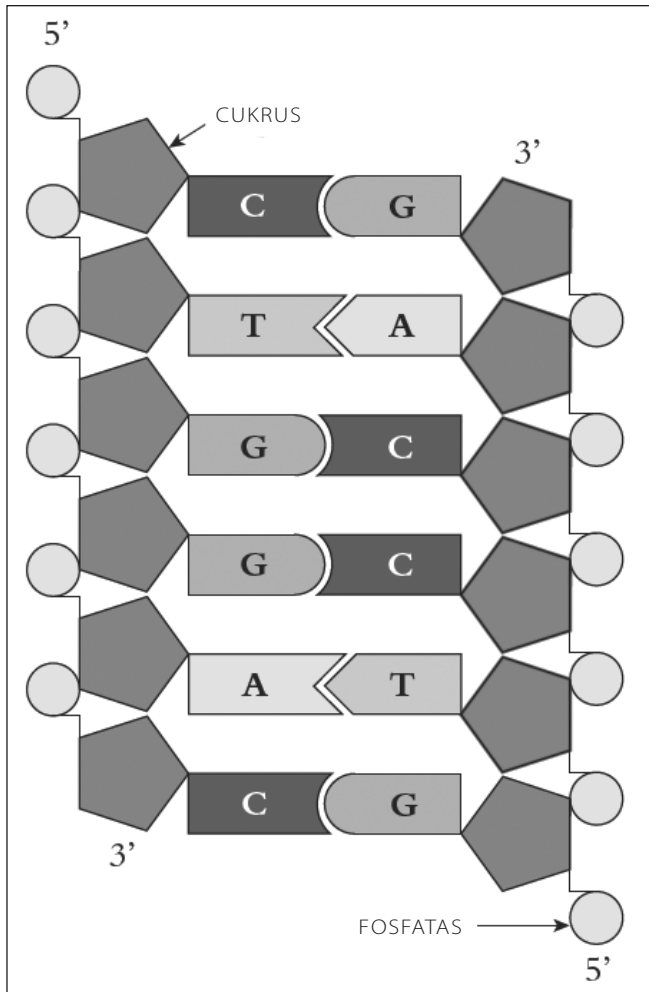
**K**embridžo *Eagle* aludės sienoje 2003 m. įtaisyta mėlyna lentelė, skirta paminėti 50-ąją netikėto aludės pokalbio posūkio sukaktį. 1953 m. vasario 28 d. per pietus į aludę įsiveržė du nuolatiniai jos lankytojai – Džeimsas Vatsonas (*James Watson*) ir Frensis Krikas (*Francis Crick*) – ir paskelbė, kad įminė gyvybės paslaptį. Nors smarkus amerikietis ir šnekus, erzinausiai besijuokiantis britas neretai priminė komišką duetą, šį kartą jie kalbėjo visiškai rimtai ir buvo pusiau teisūs.

Jei galima sakyti, kad gyvybė turi paslaptį, tai išties DNR. Tačiau F. Krikas ir Dž. Vatsonas, nors ir labai protingi, tuo metu žinojo tik pusę paslapties.

Tą rytą jie nustatė, kad DNR sudaro dviguba spiralė. Įkvėpta proto šuolio, paremto genialumu, modeliavimu, cheminiu pagrindu ir keliomis pagautomis rentgeno spindulių difrakcijos nuotraukomis, jų koncepcija, anot Dž. Vatsono, „buvo tokia graži, kad turėjo būti teisinga“. Ir kuo toliau jie kalbėjosi per tuos pietus, tuo buvo tikresni.

Balandžio 25 d. *Nature* žurnale jų sprendimas buvo išspausdintas kaip vieno puslapio pranešimas, lyg pranešimai apie gimimus vietiniame laikraštyje. Kuklaus tono pranešimas (Dž. Vatsonas rašė, kad niekuomet nematė F. Kriko kukliai nusiteikusio, o ir pats buvo ne ką geresnis) baigėsi santūriai sakiniu: „Pastebėjome, kad mūsų postuluojuamos specifinės poros reiškia galimą genetinės medžiagos kopijavimo mechanizmą.“

## GYVYBĖS TRIUMFAS



2.1 PAV. PAGRINDINĖS DNR POROS. RAIDŽIŲ GEOMETRIJA REIŠKIA, KAD G JUNGIASI TIK SU C, O A – TIK SU T.

Žinoma, DNR yra paveldima genų medžiaga. Ji koduoja žmogų ir amebą, grybą ir bakteriją – viską šioje Žemėje, išskyrus keletą virusų. Dviguba jos spiralė yra mokslinis simbolis, kur viena spiralė be galo veja kitą. F. Krikas ir Dž. Vatsonas parodė, kaip viena vija papildo kitą molekulėmis. Atplėškite vijas vieną nuo kitos, ir kiekviena jų taps šablonu atkurti antrąją, sudarant dvi



tapačias dvigubas spirales, kur anksčiau buvo viena. Kiekvieną kartą pasidau-gindamas, savo DNR kopiją organizmas perduoda palikuonims. Viskas, ko reikia – tai atskirti 2 vijas ir sukurti 2 vienodas originalo kopijas.

Nors išsami molekulių mechanika bet kam gali sukelti galvos skausmą, pats principas yra itin paprastas. Genetinis kodas yra raidžių (techniškai kalbant – bazių) seka. DNR abėcėlėje yra tik 4 raidės – A, T, G ir C. Jos reiškia adeniną, timiną, guaniną ir citoziną, tačiau mums nebūtina rūpintis chemi-niais pavadinimais. Svarbiausia, kad dėl tam tikros formos ir jungčių sandaros A gali jungtis tik su T, o C su G (žr. 2.1 pav.).

Perskyrus dvigubą spiralę, kiekvienoje vijoje atsiranda raidžių be poros. Prie laisvos A gali prisijungti tik T, prie C – tik G, ir t. t. Šios bazinės poros ne tik papildo viena kitą, bet ir iš tiesų *nori* susijungti. Nuobodų cheminį T gyvenimą praskaidrina tik A artumas. Kai atsiduria šalia, jie darniai susijungia. Tai tikra chemija – autentiška „bazinė trauka“. Taigi DNR nėra tik pasyvus šablonas; kiekviena gija lyg magnetas traukia savo *alter ego*\*. Atskirkite vijas, ir jos spontaniškai susijungs vėl. O jei laikysite atskirtas, kiekviena vija taps šablonu, traukiančiu tinkamą partnerį.

DNR raidžių seka atrodo be galo ilga. Žmogaus genome yra beveik 3 mlrd. raidžių (bazinių porų), kalbant profesine leksika – 3 gigabazės. Vadinas, ląstelės branduolyje esančiame viename chromosomų derinyje yra 3 000 000 000 rai-džių. Jei išspausdintume žmogaus genomo raides, jos užpildytų apie 200 tomų, kurių kiekvienas būtų telefonų knygos dydžio. O žmogaus genomas nėra di-džiausias. Įdomu, kad rekordas atitenka menkai amebai – *Amoeba dubia* – tu-rinčiai milžinišką 670 gigabazių genomą, kuris yra maždaug 220 kartų didesnis nei mūsų. Panašu, kad didžioji jo dalis yra „šlamštas“, kuris nieko nekoduoja.

Kiekvieną kartą pasidalijusi, ląstelė atkuria visą savo DNR, o tai užtrun-ka keletą valandų. Žmogaus kūną sudaro 15 milijonų milijonų ląstelių, kurių kiekviena saugo tos pačios DNR kopiją (tiksliau, 2 kopijas). Kad iš vienos kiaušinėlio ląstelės susidarytų organizmas, jūsų DNR spiralės buvo atskirtos 15 milijonų milijonų kartų (o iš tiesų daug daugiau kartų, nes ląstelės nuolat miršta ir yra pakeičiamos naujomis).

Kiekviena raidė nukopijuojama vos ne stebuklingu tikslumu, ir originalas atkuriamas, padarant maždaug vienos raidės iš 1000 milijonų paklaidą. Jei

---

\* Lot. antrasis aš.

raštininkas dirbtų tokiu tikslumu, jis turėtų 280 kartų perrašyti visą Bibliją, kol padarytų nors vieną klaidą. Tiesą sakant, raštininkų tikslumas buvo kur kas prastesnis. Sakoma, kad yra išlikę 24 000 Naujojo Testamento rankraščių, bet nėra dviejų vienodų kopijų.

Tačiau net ir DNR pasitaiko klaidų vien dėl to, kad genomai toks didelis. Klaidos vadinamos mutacijomis, kur atsitiktinai viena raidė pakeičiama kita. Dalijantis žmogaus ląstelei, galima tikėtis maždaug 3 mutacijų chromosomų derinyje. Ir kuo daugiau kartų ta ląstelė dalijasi, tuo daugiau mutacijų, kurios galiausiai sukelia, sakykime, vėžį. Mutacijos taip pat perduodamos iš kartos į kartą.

Jei apvaisintas kiaušinėlis vystosi kaip moteriškosios lyties embrionas, ląstelės turi pasidalyti maždaug 30 kartų, kad susidarytų nauja kiaušinėlio ląstelė, o kiekvieno pasidalijimo metu prisideda dar kelios mutacijos.

Vyrų atveju dar prasčiau – spermai pasigaminti reikia 100 ląstelių pasidalijimų, o kiekvienas pasidalijimas neišvengiamai susijęs su daugiau mutacijų. Kadangi sperma gaminasi visą gyvenimą, kuo senesnis vyras, tuo prastesnė padėtis. Kaip teigia genetikas Džeimsas Krou (*James Crow*), didžiausias mutacijos keliamas pavojus žmonijos sveikatai yra vaisingi seni vyrai. Bet net ir vidutinis jaunų tėvų vaikas turi 200 naujų mutacijų, palyginti su tėvais (nors tik kelios jų gali būti tiesiogiai žalingos).<sup>1</sup>

Taigi, nors DNR kopijuojama itin tiksliai, pokyčių vis tiek atsiranda. Kiekviena karta skiriasi nuo ankstesnės ne tik dėl to, kad mūsų genus sumaišo lytiniai santykiai, bet ir dėl to, kad kiekvienas įgyjame naujų mutacijų. Daugelis šių mutacijų yra taškinės, apie kurias kalbėjome – vienos DNR raidės pasikeitimas, tačiau kai kurios yra daug blogesnės.

Replikuojamos visos chromosomos arba jos neatsiskiria, dingsta didelės DNR atkarpos, virusai įveda naujų detalių, chromosomų dalys pasiverčia ir pakeičia raidžių seką. Galimybių yra be galo daug, tačiau didžiausi pakitimai dažniausiai nesuderinami su išlikimu. Šiuo atžvilgiu genomai knibžda lyg gyvačių lizdas, kur nenurimstamai besirangančios chromosomos susijungia ir atsiskiria.

Natūralioji atranka, atmesdama šias pabaisas ir palikdama tik mažiausiai grėsmingas, palaiko stabilumą. DNR keičia pavidalą ir susuka, o natūralioji atranka ištiesina. Teigiami pokyčiai išsaugomi, o rimtesnės klaidos ar pakiti-

mai tiesiogine prasme neišnešiojami. Kitos, ne tokios rimtos mutacijos, gali vėliau gyvenime pasireikšti ligomis.

DNR raidžių sekos pokyčiai apima beveik viską, apie ką skaitome straipsniuose apie mūsų genus. Tarkime, DNR „atspaudo“ tikrinimas, naudojamas nustatyti tėvystę, apkaltinti prezidentus ar inkriminuoti nusikaltėlius, yra paremtas skirtingų asmenų raidžių sekos skirtumais. Kadangi DNR yra daugybė skirtumų, kiekvienas turime išskirtinį DNR „pirštų atspaudą“. Panašiai ir polinkis į ligas priklauso nuo smulkių DNR sekos skirtumų.

Žmonės vidutiniškai skiriasi viena raide iš tūkstančio, taigi iš viso žmogaus genome susidaro 6–10 mln. skirtumų, vadinamų VNP (vieno nukleotido polimorfizmas). Jų buvimas reiškia, kad visi turime šiek tiek skirtingus daugumos genų variantus. Nors dauguma VNP beveik neabejotinai jokių pasekmių neturi, kai kurie jų yra statistiškai susiję su įvairiomis ligomis – cukriniu diabetu, Alzheimerio liga, nors dažniausiai lieka neaišku, kaip tokį poveikį sukelia.

Nepaisant šių skirtumų, vis tiek galima kalbėti apie „žmogaus genomą“. Net esant VNP, kiekviename mūsų 999 raidės iš 1000 tebėra tapačios. Taip yra dėl dviejų priežasčių: laiko ir atrankos. Evoliucijos požiūriu, praėjo dar ne daug laiko nuo tada, kai buvome beždžionės. Tiesą sakant, zoologas patikintų, kad tokie ir tebesame. Jei laikysime, kad nuo mūsų bendrojo protėvio su šimpanzėmis žmonės atsiskyrė prieš 6 mln. m., ir nuo tol kiekvienoje kartoje atsirado apie 200 mutacijų, per tą laiką mūsų genomas pakito vos 1 %.

Kadangi šimpanzės vystėsi panašiu tempu, teoriškai galime tikėtis 2 % skirtumo.

Iš tikrųjų skirtumas yra šiek tiek mažesnis. Pagal DNR sekas, šimpanzė ir žmogus yra tapatūs maždaug 98,6 %.<sup>2</sup> Taip yra todėl, kad natūralioji atranka procesą pristabdo, pašalindama didžiausią žalą darančius pokyčius. Kadangi atranka pašalina pokyčius, išlikusios sekos viena į kitą yra panašesnės, nei kad būtų pokyčių neribojant. Bet atranka palaiko tvarką.

Keliaujant dar toliau į praeitį, šios dvi savybės – laikas ir atranka – kartu sukuria nuostabiausius ir įmantriausius paveikslus. Visa mūsų planetos gyvybė yra susijusi, o DNR raidės parodo kaip. Lygindami DNR sekas, galime statistiškai apskaičiuoti, kiek artimai esame susiję su bet kuriuo kitu organizmu – nuo beždžionių iki sterblių gyvūnų, roplių, varliagyvių, žuvų, vabzdžių, vėžiagyvių, kirmėlių, augalų, pirmuonių, bakterijų.

Kiekvieną mūsų apibrėžia raidžių sekos, kurias galima tiksliai palyginti. Mes turime netgi vienodų DNR sekos atkarpų, kurias išsaugojo bendroji natūralioji atranka, o kai kurios kitos sekos dalys yra neatpažįstamai pakitusios. Perskaitykite triušio DNR seką ir pamatysite tą pačią begalinę bazių seką, kurioje su mūsų šėnėmis sutampančios ir nesutampančios atkarpos mainosi lyg kaleidoskopas.

Tą patį galima pasakyti ir apie dagį: dalis sekos yra tapati arba panaši, tačiau šį kartą didesnės atkarpos skiriasi, primindamos apie ilgą laiko tarpą nuo tada, kai turėjome bendrąją protėvį, ir mūsų gyvenimai buvo visiškai skirtingi. Tačiau pagrindinė biochemija yra tokia pat. Mes visi sudaryti iš ląstelių, kurios veikia panašiai, o jas apibrėžia panašios DNR sekos.

Esant tokiems esminiams biocheminiams panašumams, galime tikėtis rasti ir randame panašių sekų netgi tolimiausiose gyvybės formose, pavyzdžiui, bakterijose. Tačiau čia yra ir painiavos, nes sekų panašumas nėra išdėstytas skalėje nuo 0 iki 100 %, kaip būtų galima tikėtis, bet nuo 25 iki 100 %.

Tai atspindi keturias DNR raides. Jei atsitiktine tvarka viena raidė pakeičiama kita, yra 25 % tikimybė, kad bus pakeista ta pati raidė. Taip pat jei laboratorijoje būtų susintetinta atsitiktinė DNR atkarpa, ji būtinai bus 25 % panaši į bet kokią atsitiktinai parinktą mūsų geną. Tikimybė, kad kiekviena raidė atitiks žmogaus DNR raidę, yra ¼. Taigi mintis, kad visi esame pusiau bananai, nes 50 % mūsų genomo sekos sutampa su banano, yra, švelniai tariant, klaidinga. Vadovaujantis tokia logika, bet kokia atsitiktinai sukurta DNR atkarpa būtų ¼ žmogus. Jei nežinome, ką iš tiesų reiškia raidės, nežinome nieko.

Būtent todėl F. Krikas ir Dž. Vatsonas tą 1953 m. rytą perprato tik pusę gyvybės paslapties. Jie žinojo, kokia yra DNR sandara ir suprato, kad kiekviena dvigubos spiralės vija gali tapti kitos vijos šablonu – t. y. sukurti paveldimą kiekvieno organizmo kodą. Ko jie nepaminėjo savo žymiajame straipsnyje, yra tai, ką iš tiesų koduoja raidžių sekos, nes tam išsiaiškinti prireikė dar 10 nuodugnių tyrimų.

Nors ir ne toks simbolinis kaip dviguba spiralė, visiškai nepaisant joje esančių raidžių, gyvybės kodo iššifravimas greičiausiai buvo didesnis pasiekimas, kuriame itin pasireiškė F. Krikas. Svarbiausia, kad iššifruotas kodas, iš pradžių kėlęs daugiausia nusivylimo šiuolaikinėje biologijoje, teikia įdomių įžvalgų, kaip evoliucionavo DNR prieš beveik 4 mlrd. m.



2.2 PAV. DVGUBA DNR SPIRALĖ, PARODANTI,  
KAIP SPIRALĖS SUKASI VIENA APIE  
KITĄ. ATSKIRTOS VIJOS TAMPA NAUJOS  
PAPILDOMOS VIJOS ŠABLONU.

DNR yra toks naujas atradimas, kad sunku suvokti, kaip mažai 1953 m. buvo žinoma apie molekulinės biologijos pagrindus. DNR iškilo pirmajame Dž. Vatsono ir F. Kriko straipsnyje. Pastarojo menininkės žmonos Odilės (*Odile*) schemiškai perteikta DNR struktūra kaip besisukančios kopėčios buvo kopijuojama beveik be pakeitimų pusšimtį metų (žr. 2.2 pav.). O garsioji Dž. Vatsono knyga „Dviguba spiralė“ (*Double Helix*), parašyta septintajame dešimtmetyje, nupiešė šiuolaikinio mokslo vaizdą. Tokia įtakinga ji buvo, matyt, dėl to, kad mokslas ėmė priminti meną.

Sakykime, šią knygą skaičiau mokykloje ir svajojau apie Nobelio premijas ir vaisingus atradimus. Mano nuomonė apie mokslą buvo pagrįsta beveik vien

tik Dž. Vatsono knyga, o neišvengiamas nusivylimas universitete atsirado greičiausiai dėl to, kad tikrovė nebuvo tokia jaudinanti, kaip tikėjau. Ieškodamas jaudulio, ėmiausi alpinizmo. Praėjo keleri metai, kol palengva grįžo mokslo keliamas intelektualinis jaudulys.

Bet beveik viskas, ko išmokau universitete, nebuvo žinoma Dž. Vatsonui ir F. Krikui 1953 m. Šiandien visiems žinoma, kad „genai koduoja baltymus“, bet šeštojo dešimtmečio pradžioje netgi dėl to nebuvo sutariama. Pirmą kartą atvykus į Kembridžą 1951 m., Dž. Vatsoną greitai ėmė erzinti plataus akiračio Makso Peruco (*Max Perutz*) ir Džono Kendriu (*John Kendrew*) skeptiškumas. Jiems dar nebuvo neabejotinai įrodyta, kad genai susideda iš DNR, o ne iš baltymų. Nors molekulinė DNR sandara buvo nežinoma, cheminė sudėtis buvo gana paprasta ir tarp rūšių mažai tesiskyrė. Jei genai yra paveldėjimo pagrindas ir koduoja nesuskaitomą daugybę individų ir rūšių skirtumų, kaip toks vienas junginys, kurio sudėtis gyvūnuose, augaluose ir bakterijose vargiai skiriasi, gali paaiškinti gyvybės turtingumą ir įvairovę? Baltymai, pasižymintys didžiule įvairove, atrodo daug tinkamesni tokiai didžiai užduočiai.

Dž. Vatsonas buvo vienas iš nedaugelio biologų, kuriuos įtikino kruopštūs amerikiečių biochemiko Osvaldo Everėjaus (*Oswald Avery*) bandymai, paskelbti 1944 m. ir rodantys, kad genus sudaro DNR. Tik Dž. Vatsono uolumas ir įsitikinimas paskatino F. Kriką išaiškinti DNR sandarą. Ją išaiškinus, kodo klausimas tapo itin svarbus.

Šiandieninę kartą stebina tuometinis nežinojimas. DNR yra begalinė seka, sudaryta iš vos 4 raidžių, išsidėsčiusių iš pažiūros atsitiktine tvarka. Iš principo nebuvo sunku pastebėti, kad jų seka koku nors būdu baltymus gali koduoti. Baltymus taip pat sudaro statybinių medžiagų, vadinamų aminorūgštimis, seka.

Galimas daiktas, DNR raidžių seka koduoja aminorūgščių seką baltymuose. Tačiau jei kodas būtų bendras, koks ir atrodė, aminorūgščių sąrašas taip pat turėtų būti bendras. O tai nebuvo nustatyta. Apie tai net nebuvo svarstoma, kol Dž. Vatsonas ir F. Krikas nesusėdo per pietus *Eagle* aludėje surašyti kanoniško 20-ies aminorūgščių sąrašo, kurį iki šiol randame kiekviename vadovėlyje. Nuostabu, kad jie pataikė iš pirmo bandymo, nors nė vienas jų nebuvo biochemikas.

Dabar atsirado iššūkis, kuris greit pavirto matematiniu žaidimu – jo neribojo vėlesnių kartų mintinai išmokta molekulinė informacija. 4 skirtingos

DNR raidės koduoja 20 aminorūgščių. Dėl to tiesioginė transliteracija buvo atmesta; akivaizdu, kad pirma DNR raidė negali reikšti vienos aminorūgšties. Porų kodas taip pat netiko, nes jis galėjo apibrėžti tik 16 aminorūgščių ( $4 \times 4$ ). Reikėjo mažiausiai 3 raidžių – trejetų kodo (jį vėliau įrodė F. Krikas ir Sidnis Brenneris (*Sydney Brenner*)), kur trijų DNR raidžių grupės kodavo vieną aminorūgštį.

Tačiau tai atrodė labai neekonomiška. 4 raidės gali sudaryti 64 trejetų derinius ( $4 \times 4 \times 4$ ), taigi galėtų koduoti 64 skirtingas aminorūgšties. Tai kodėl jų tik 20? Atsakymas turėjo pagrįsti, kodėl 4 raidžių abėcėlė, sudaranti 64 žodžius po 3 raides, koduoja 20 aminorūgščių?

Atrodo suprantama, kad pirmasis atsakymą pasiūlė ne biologas, bet karštakraujis rusų kilmės amerikiečių fizikas Džordžas Gamovas (*George Gamow*), geriau žinomas savo Didžiojo sprogo teorijomis. DNR jis laikė šablonu baltymams tiesiogine to žodžio prasme – aminorūgštys išsidėsto rombo formos grioveliuose tarp spiralės sūkių. Tačiau Dž. Gamovo teorija iš esmės buvo numerologinė, ir jis nepasidomėjo, kad baltymų branduolyje nėra, ir jie niekuomet neturi tiesioginio ryšio su DNR. Jo idėja abstraktesnė. Iš esmės jis pasiūlė persidengiantį kodą, kurio didelis privalumas, ypač mėgstamas kriptografų, buvo informacijos tankio padidinimas.

Įsivaizduokite seką ATCGTC. Pirmas „žodis“, ar moksliskiau, „kodonas“, ATC, antrasis – TCG, trečiasis – CGT ir t. t. Deja, persidengiantis kodas apriboja leidžiamų aminorūgščių seką. Jei ATC koduoja konkrečią aminorūgštį, po jos turi eiti aminorūgštis, kurios kodonas prasideda raidėmis TC, o dar kitos rūgšties jis turi prasidėti raide C.

Kruopščiai nustačius visas galimas kombinacijas, nemažai raidžių trejetų pasirodo esantys netinkami – jų negali būti persidengiančiame kode, nes A visuomet turi būti šalia T, T – šalia C ir t. t. Kiek 3 raidžių kombinacijų lieka koduoti aminorūgštis? „Lygiai dvidešimt!“ – taria Dž. Gamovas lyg burtininkas, traukiantis triušį iš skrybėlės.

Tai buvo pirmoji iš daugelio protingų idėjų, kurias nugincijo negailestingi duomenys. Persidengiantiems kodams sutrukdė jų pačių apribojimai. Pirmia, tokie kodai nustato, kad tam tikros aminorūgštys baltymuose visuomet turi būti viena šalia kitos, tačiau Fredas Sangeris (*Fred Sanger*), tylusis genijus, laimėjęs dvi Nobelio premijas – vieną už baltymų sekos nustatymą, o kitą už

DNR sekos nustatymą – tuo metu bandė nustatyti insulino seką. Netrukus paaiškėjo, kad bet kuri aminorūgštis gali atsidurti šalia bet kurios kitos – baltymo seka nėra suvaržyta.

Antroji didelė problema buvo ta, kad bet kuri taškinė mutacija (kai viena raidė pakeičiama kita) persidengiančiame kode turėtų paveikti daugiau nei vieną aminorūgštį, tačiau bandymų duomenys parodė, kad dažniausiai pakinta tik viena aminorūgštis. Akivaizdu – tikrasis kodas nepersidengia. Persidengiantis Dž. Gamovo kodas buvo paneigtas dar gerokai iki tikrojo kodo išaiškinimo. Kriptografai jau buvo pradėję įtarinėti, kad Motina Gamta nesugebėjo pasinaudoti viena kita gudrybe.

Toliau ėjo pats F. Krikas, pasiūlęs tokią nepaprastą idėją, kad visi ją iš karto priėmė, nors jis pats nerimavo dėl patvirtinančių duomenų stygiaus. Mokslininkas pasinaudojo naujomis keleto molekulinės biologijos laboratorijų, tarp jų ir naujos nuosavos Dž. Vatsono laboratorijos Harvarde, įžvalgomis.

Dž. Vatsoną apsėdo RNR – trumpesnės, vienos vijos DNR versijos, randamos citoplazmoje ir branduolyje – tyrimai. Dar geriau, RNR buvo randama mažyčiuose mechanizmuose (dabar vadinamuose ribosomomis), kuriuose, atrodo, vyko baltymų sintezė. Taigi, DNR, inertiška ir nejudanti, glūdi branduolyje. Kai prisireikia baltymo, DNR dalis panaudojama kaip šablonas sukurti RNR kopiją, kuri pasišalina iš branduolio ir patenka į išorėje esančias ribosomas. Šis sparnuotas pasiuntinys netrukus buvo pavadintas informacine RNR, arba iRNR. Taigi, kaip 1952 m. pradžioje Dž. Vatsonas laiške F. Krikui išdėstė, kad „DNR sukuria RNR sukuria baltymą“. Pastarąjį domino klausimas, kaip tiksliai informacinės RNR raidžių seka išreiškiama aminorūgščių seka baltyme?

F. Krikas pagalvojo ir pasiūlė mintį, kad RNR informacija gali būti perteikiama pasitelkiant „adaptacines“ molekules – po vieną kiekvienai aminorūgščiai. Jos taip pat turėtų būti sudarytos iš RNR, ir kiekviena turėtų „antikodoną“, kuris atpažintų ir prisijungtų prie informacinės RNR kodono. Anot mokslininko, principas lygiai toks pat kaip ir DNR – C jungiasi su G, A su T, ir t. t.<sup>3</sup>

Tuo metu tokių adaptacinių molekulių egzistavimas buvo visiškai hipotetinis, tačiau po kelerių metų jos buvo atrastos ir sudarytos iš RNR, kaip ir numatė F. Krikas. Dabar jos vadinamos transportine RNR, arba tRNR. Visa sistema pradėjo panašėti į *Lego* konstruktorių, kur detalės jungiasi ir atsiskiria, sudarydamos nors ir trumpalaikes, bet nuostabias struktūras.



Čia F. Krikas suklydo. Tai aprašysiu smulkiau: nors tikrovė daug keistesnė, nei tikėjosi F. Krikas, jo idėjos vis dar atskleidžia, kaip viskas prasidėjo. Tyrėjas įsivaizdavo, kad informacinė RNR tiesiog glūdi citoplazmoje, o jos kodonai styro lyg paršavedės speniai, kiekvienas pasirengęs prisijungti transportinę RNR lyg žindantį paršelį. Galiausiai palei visą informacinės RNR ilgį viena šalia kitos išsidėsto transportinės RNR, kurių aminorūgštys, pasirengusios susijungti baltyme, kyšo lyg paršelių uodegos.

F. Krikui buvo sunku suprasti, kad tRNR atkeliauja atsitiktine tvarka ir prisijungia prie artimiausio laisvo kodono. Bet jei jos prasideda ne nuo pradžios ir nesibaigia ties pabaiga, kaip jos randa tinkamą sekos dalį? Jei seka yra ATCGTC, kaip ir anksčiau, viena tRNR galėtų prisijungti prie ATC, o kita prie GTC. Bet kas trukdo tRNR atpažinti CGT darinį sekos viduryje, prisijungti prie jo ir taip viską supainioti?

Mokslininkas autoritariškai atsakė, kad tai neleidžiama. Jei pranešimas skaitomas kaip visuma, ne visi kodonai atrodytų prasmingi. Kurie jų turėtų būti neleistini? Sekos, susidedančios tik iš A, C, U ar G, buvo atmetos. Sekoje AAAAAA nebūtų įmanoma rasti tinkamos sekos dalies.

F. Krikas apžvelgė visas galimas raidžių kombinacijas. Trumpai tariant, jei ATC atrodo prasminga, tada visos ciklinės šių raidžių kombinacijos turi būti neleidžiamos (taigi, jei ATC leidžiama, TCA ir CAT – draudžiamos). Kiek lieka galimybių? Lygiai 20! (Iš 64 galimų kodonų atmetus AAA, UUU, CCC ir GGG, lieka 60. Jei leidžiama viena ciklinė kombinacija iš trijų, 60 padalijus iš 3-ų, lieka 20.)

Skirtingai nuo persidengiančių kodų, F. Kriko kodas neriboja aminorūgščių eilės tvarkos baltyme, o taškinė mutacija nebūtinai pakeičia 2 ar 3 aminorūgštis. Tuo metu, kai buvo pasiūlyta, ši teorija puikiai išsprendė sistemos skaitymo problemą, numerologiškai patogiai 64 kodonus priskirdama 20-iai aminorūgščių, ir visiškai atitiko tuo metu turimą informaciją. Tačiau ji vis dar buvo neteisinga. Po kelerių metų paaiškėjo, kad sintetinė RNR, sudaryta vien iš AAA (F. Krikas tai atmetė), vis dėl to koduoja aminorūgštį liziną ir gali būti paversta baltymo polimeru, susidedančiu vien iš lizino.

Tobulėjant eksperimentų prietaisams, septintojo dešimtmečio viduryje kelios tyrimų grupės pamažu sudėliojo tikrąjį kodą – iš pažiūros atsitiktinė tikrovė tapo stulbinančia atomazga. Kodas pasirodė esąs ne elegantiškai numerologinis,

o tik išsigimęs (kitai sakant, kupinas nereikalingo pertekliaus). 3 aminorūgštis koduoja 6 skirtingi kodonai, kitas – vos 1 ar 2 kodonai. Visi kodonai turi paskirtį. 3 iš jų rodo kodo pabaigą, o visi kiti koduoja aminorūgštis.

Atrodė, nėra tvarkos, nėra grožio. Iš tiesų, tai puikus priešnuodis idėjai, kad grožis moksle yra tiesos požymis.<sup>4</sup> Rodės, net nėra jokio konkretaus struktūros pagrindo, paaiškinančio kodą – nėra jokios stiprios cheminės ar fizinės aminorūgščių ir konkrečių kodonų tarpusavio priklausomybės.

Nuvylusį kodą F. Krikas pavadino „išaldytu atsitiktinumu“, o kitiems teliko linkčioti ir pritarti. Jis aiškino, kad kodas yra išaldytas, nes jo pažeidimas turėtų rimtų pasekmių. Viena taškinė mutacija tai šen, tai ten pakeičia aminorūgštį, o bet koks paties kodo pakitimas katastrofiškai pakeistų absoliučiai viską.

Skirtumą galima palyginti su atsitiktine spausdinimo klaida knygoje, kuri beveik nekeičia prasmės, ir visos abėcėlės perrašymą nesuprantamais hieroglifais. Po to, kai kodas iškalamas akmenyje, aiškino F. Krikas, paskesnis jo keitimas lemtų mirtį – šio požiūrio iki šiol laikosi daugelis biologų.

Tačiau tai, kad kodas buvo „atsitiktinis“, F. Krikui kėlė klausimų. Kodėl tik vienas atsitiktinumas, o ne keli? Jei kodas susidaro savaime, joks kodas neturėtų aiškaus pranašumo prieš bet kurią kitą kodą. Nebūtų pagrindo susidaryti selektyviam „butelio kakliukui“, kuriame vienas kodo variantas, anot F. Kriko, „turėtų tokį selektyvų pranašumą prieš visus kitus konkurentus, kad išliktų tik jis vienas“. Tačiau tyrėjas stebėjosi: jei nėra butelio kakliuko, kodėl skirtinguose organizmuose nėra keleto skirtingų kodų?

Akivaizdus atsakymas: visi Žemės organizmai yra kilę iš bendrojo protėvio, kuriame kodas buvo jau užsifiksavęs. Kalbant filosofškai, Žemės gyvybė atsirado tik kartą, ir tai yra unikalų, neįtikėtina ir galbūt net nenormalu. F. Krikui tai reikė infekciją – vienkartinį įskiepijimą. Jis spėjo, kad Žemės gyvybė buvo „pasėta“ kaip bakterijų klonas, kilęs iš nežemiško organizmo. Jis taip pat teigė, kad bakterijas sąmoningai paskleidė nežemiškos protingos būtybės, į Žemę atskridusios erdvėlaiviu.

Šią idėją jis vadino „kryptinga panspermija“. Šią temą išplėtojo knygoje „Pati gyvybė“ (*Life Itself*), išleistoje 1981 m. Kaip teigia Metas Ridlis (*Matt Ridley*) savo puikioje F. Kriko biografijoje, „Tema nustebino daugelį. Iškilusis Krikas rašo apie ateivius, apsėklusius Visatą iš erdvėlaivio. Gal jam nuo sėkmės galva susisuko?“

Ar atsitiktinio kodo sąvoka tokią svarią filosofiją pateisina – nuomonės reikalas. Pačiam kodui nereikėjo turėti jokių ypatingų privalumų ar trūkumų, kad pereitų pro butelio kakliuką – stipri atranka, net ir neįprastas įvykis, tarkime, asteroido smūgis, galėjo sunaikinti visus klonus, išskyrus vieną vienintelį, kuris būtų turėjęs tik vieną kodą. Kad ir kaip būtų, F. Krikas pasirinko netinkamą laiką.

Nuo devintojo dešimtmečio pradžios, kai jis rašė, išsiaiškinome, kad gyvybės kodas nėra nei išaldytas, nei atsitiktinis. Kodas turi užslėptą dėsningumą, tarsi „kodono kodą“, bylojantį apie jo atsiradimą beveik prieš 4 mlrd. m. Dabar žinome, kad kodas yra toli gražu ne kriptografų pasmerktas niekingas šifras, o vienas kodas iš milijono, galintis tuo pat metu atsispirti pokyčiams ir paspartinti evoliuciją.



Kodono kodas! Nuo septintojo dešimtmečio kode įžvelgta daug įvairių dėsningumų, bet daugelis jų buvo lengvai atmesti kaip paprasčiausias statistinis triukšmas – taip pasielgė ir F. Krikas. Net kartu paėmus, bendra struktūra neatrodė prasminga. Kodėl ji neatrodė prasminga – labai geras klausimas, į kurį bandė atsakyti Kalifornijos biochemikas Brajanas K. Deivisas (*Brian K. Davis*), seniai besidomintis genetinio kodo ištakomis.

B. K. Deivisas teigia: pati „išaldyto atsitiktinumo“ idėja išsklaidė susidomėjimą kodo kilme – kam tyrinėti atsitiktinumą? Atsitiktinumų tiesiog įvyksta. Be to, jis mano, kad keli susidomėjimą išlaikę mokslininkai buvo suklaidinti paplitusios pirmąsios sriubos idėjos. Jei kodas atsirado sriuboje, pati jo pradžia turėtų būti molekulėse, kurių atsiranda dėl pirmąsios sriubos vyksančių fizinių ir cheminių procesų. Ir tai nustato kodo pagrindą sudarančias aminorūgštis, o kitos pridedamos vėliau.

Šioje idėjoje buvo pakankamai tiesos, kad įrodymai atrodytų painūs ir trikdantys. Dėsningumai įgyja prasmę tik tada, kai kodą matome kaip *biosintezės* produktą – ląstelių, gebančių susikurti statybines medžiagas iš vandenilio ir anglies dioksido, veiklos produktą.

Kokie yra šie sunkiai pastebimi dėsningumai? Su kiekviena trijų raidžių kodo raide yra susijęs skirtingas dėsningumas. Pirmoji raidė yra svarbiausia, nes siejama su žingsniais, paprastą prekursorių paverčiančiais aminorūgštimi. Šis principas toks stulbinantis, kad verta trumpai paaiškinti.

Dabartinėse ląstelėse aminorūgštys susidaro biocheminių žingsnių sekos metu, pradedant nuo keleto paprastų prekursorių. Įdomu, kad tarp pirmojo trijų raidžių kodono ir šių paprastų prekursorių egzistuoja ryšys. Todėl visos aminorūgštys, susidariusios iš prekursoriaus *piruvato*, turi tą pačią pirmąją kodono raidę – šiuo atveju T.<sup>5</sup>

Piruvato pavyzdį naudoju todėl, kad tai yra molekulė, su kuria jau susidūrėme 1 skyriuje. Ji gali susidaryti hidroterminėse versmėse iš anglies dioksido ir vandenilio, versmėse randamiems mineralams veikiant kaip katalizatoriui. Bet piruvatas toks yra ne vienas. Visų aminorūgščių prekursoriai sudaro visų ląstelių biochemijos pagrindą, dalyvauja Krebso cikle ir turėtų susidaryti 1 skyriuje aptartose hidroterminėse versmėse. Nors šiuo metu dar sunku daryti išvadą, kad yra hidroterminių versmių ir pirmosios 3-ų raidžių kodo raidės ryšys, ji pamažu įgyja vis daugiau pagrindo.

O kaip antroji raidė? Ji siejasi su aminorūgšties tirpumu ar netirpumu vandenyje, kitaip sakant, hidrofobiškumu. Hidrofilinės aminorūgštys tirpsta vandenyje, o hidrofobinės jame netirpsta, bet tirpsta riebaluose ar aliejuose, sakykime, lipidinėse ląstelių membranose.

Aminorūgštis galima išdėstyti skalėje nuo itin hidrofobinių iki itin hidrofilinių, ir ši skalė susijusi su antrąja trijų raidžių kodo raidė. Penkių aminorūgščių iš šešių hidrofobiškiausių rūgščių vidurinė raidė yra T, o daugumos hidrofiliausių rūgščių – A. Vidurinė tarpinių rūgščių raidė yra G arba C. Apskritai, dėl kažkokios priežasties yra stiprus deterministinis kiekvieno kodono pirmųjų dviejų raidžių ir koduojamos aminorūgšties ryšys.

Paskutinė raidė susijusi su degeneracija. 8 aminorūgštys turi vadinamąją *keturgubą degeneraciją* (žavus techninis terminas). Nors dauguma žmonių keturgubą degeneratą įsivaizduotų kaip svirduliuojantį girtuoklį, kuris sugeba įvirsti į keturis griovius, biochemikams tai reiškia, kad trečia kodono raidė neteikia informacijos – nepriklausomai nuo bazės, visos 4 galimos raidės koduoja tą pačią aminorūgštį. Tarkime, jei glicinas koduojamas tripletu GGG, paskutinė G raidė gali būti pakeista į T, A arba C – kiekvienas tripletas vis tiek koduoja gliciną.

Kodono trečios raidės degeneracija turi keletą įdomių pasekmių. Jau minėjome, kad dviejų raidžių kodas gali koduoti iki 16 aminorūgščių iš 20. Jei atmetame 5 sudėtingiausias aminorūgštis (ir paliekame 15, taip pat sulaikymo [stop] kodoną), pirmųjų dviejų kodo raidžių dėsningumai tampa dar stipres-

ni. Taigi, gali būti, kad pirmą kartą kodą sudarė 2 raidės, ir jis vėliau išsiplėtė iki 3 raidžių kodo, „užgrobdamas kodoną“ – aminorūgštys kovojo tarpusavyje dėl trečios raidės pozicijos.

Tokiu atveju pirmosios aminorūgštys turėjo „nesąžiningą“ pranašumą „užgrobti“ trijų raidžių kodonus, ir panašu, kad tai tiesa. Tarkime, tikėtina, kad 15 aminorūgščių buvo koduojamos dviejų raidžių kodu, kurį sudarė 53 iš 64 galimų tripletų, t. y. vidutiniškai 3,5 kodono aminorūgščiai. Penkios vėliau pridėtos rūgštys mainosi tik aštuoniais kodonais, t. y. vidutiniškai 1,6 kodono. Tikrai panašu, kad anksti kėlęs nesigailėsi.

Taigi, darykime prielaidą, kad kodą iš pradžių sudarė 2, o ne 3 raidės, ir apskritai jis kodavo 15 aminorūgščių (ir sulaikymo kodoną). Galimas daiktas, šis pirminis kodas buvo beveik visiškai deterministinis, kitaip sakant, jį nulėmė fiziniai ir cheminiai veiksniai. Taisyklė, kad pirmoji raidė susijusi su prekursoriumi, o antroji – su aminorūgšties hidrofobiškumu, beveik neturi išimčių. Čia mažai erdvės atsitiktinumams, ir laikomasi fizinių taisyklių.

Tačiau trečioji raidė – visai kitas reikalas. Kadangi čia yra daug lankstumo, atsirado erdvės atsitiktinumui ir galimybių natūraliajai atrankai „optimizuoti“ kodą. Šiaip ar taip, šią radikalią idėją paskutiniojo dešimtmečio pabaigoje pasiūlė du anglų molekulinės biologijos specialistai Lorencas Herstas (*Lawrence Hurst*) ir Stivenas Frilendas (*Stephen Freeland*). Kai jie palygino genetinį kodą su milijonais atsitiktinių kompiuterio sukurtų kodų, šių mokslininkų atliktas darbas pateko tarp svarbiausių mokslinių naujienų pranešimų.

Mokslininkai nagrinėjo taškinių mutacijų sukeliama žala, kai viena kodono raidė pakeičiama kita. Svarstė, koks kodas geriausiai atsispiria tokioms mutacijoms, išlaikydamas tiksliai tokią pat aminorūgštį arba pakeisdamas ją panašia. Nustatė, kad tikrasis genetinis kodas yra nepaprastai atsparus pokyčiams: taškinių mutacijų metu aminorūgščių seka dažnai išlieka nepakitusi, o jei pakinta, rūgštis dažniausiai pakeičiama fiziškai susijusia rūgštimi.

Iš tiesų L. Herstas ir S. Frilendas teigė, kad genetinis kodas yra geresnis nei milijonas atsitiktinai sudarytų kodų. Šis kodas yra 1 iš 1 000 000 ir toli gražu ne aklo gamtos kriptografo pakvailiojimas. Mokslininkai įrodinėjo: kodas ne tik atsparus pokyčiams, bet ir, apribodamas kraštutines pokyčių pasekmes, paspartina evoliuciją: akivaizdu – jei mutacijos grėsmės nekelia, tikėtina, jos bus naudingos.

Jei to nelaikysime dangaus veikimu, vienintelis būdas paaiškinti optimizavimą yra natūralioji atranka. Jei tai tiesa, gyvybės kodas turėjo evoliucionuoti. Žinoma, daugelis smulkių „bendrojo“ kodo variantų bakterijų ir mitochondrijų pasaulyje rodo, kad kodas gali evoliucionuoti bent išimtinėmis sąlygomis.

Bet drauge su F. Kriku galite paklausti: kaip jis keičiasi, nesukeldamas visiško sąmyšio? Atsakymas – atskiromis dalimis. Jei aminorūgštis koduojama 4 ar net 6 skirtingais kodonais, kai kurie jų naudojami dažniau nei kiti. Retai naudojami kodonai gali būti perdaryti į kitą (bet greičiausiai susijusią) aminorūgštį, nesukeliant kraštutinių pasekmių. Taip kodas evoliucionuoja.



Apskritai „kodono kodas“ rodo fizinį procesą, kuris iš pradžių buvo susijęs su aminorūgščių biosinteze ir tirpumu, o vėliau išplėstas ir optimizuotas. Kyla klausimas, nuo kokio fizinio proceso pradėjo veikti natūralioji atranka?

Tikslaus atsakymo nežinoma, nes susiduriama su keletu kliuvinių. Vienas jų – ką sakyti apie DNR ir baltymus, nagrinėjant vištos ir kiaušinio atsiradimo klausimą. Mat DNR yra daugiau ar mažiau inertiška, ir kad ji replikuotųsi, reikalingi tam tikri baltymai. Kita vertus, saviti baltymai tokie yra neatsitiktiniai. Jie evoliucionuoja natūraliosios atrankos būdu, o kad tai vyktų, jų sandara turi būti ir paveldima, ir kintanti. Baltymai negali patys sau būti paveldimas šablonas – juos koduoja DNR. Taigi, baltymai negali evoliucionuoti be DNR, o DNR negali evoliucionuoti be baltymų. Jei nė vienas negali evoliucionuoti be kito, negali prasidėti natūralioji atranka.

Tada devintojo dešimtmečio viduryje buvo padarytas išpūdingas atradimas, kad RNR veikia kaip katalizatorius. RNR retai kada suformuoja dvigubą spiralę, o dažniau sudaro mažesnes sudėtingų formų molekules, kurios panaudojamos katalizei. Taigi, RNR nutraukia uždarą ratą. Hipotetiniame „RNR pasaulyje“ ji prisiima tiek baltymų, tiek DNR vaidmenį ir katalizuoja savo sintezę ir daugelį kitų reakcijų. Staiga paaiškėjo, kad kodas nebūtinai turi būti paremtas vien tik DNR – jis galėjo atsirasti iš tiesioginės RNR ir baltymų reakcijos.

Atsižvelgiant į tai, kaip veikia dabartinės ląstelės, ši teorija atrodo prasminga. Šiandieninėse ląstelėse nėra tiesioginės DNR ir aminorūgščių sąveikos, bet baltymų sintezės metu daugelis esminių reakcijų yra katalizuojamos RNR fermentų, vadinamų ribozimais.

Terminą „RNR pasaulis“ įtvirtino Dž. Vatsono kolega iš Harvardo Valteris Gilbertas (*Walter Gilbert*) viename skaitomiausių visų laikų straipsnių *Nature* žurnale. Idėja tarsi užhipnotizavo šios srities mokslininkus, o gyvybės kodo tyrimai rėmėsi nebe klausimu „Kaip DNR koduoja baltymus?“, bet „Kokia RNR ir aminorūgščių sąveika turėjo vykti?“ Tačiau atsakymas toli gražu nebuvo akivaizdus.

Turint omenyje didelį susidomėjimą RNR, šiek tiek stebina, kad katalizinės mažesnių RNR fragmentų savybių iš esmės nebuvo paisoma. Jei didesnės RNR molekulės gali katalizuoti reakcijas, tikėtina, kad mažesni fragmentai – atskiros raidės ar jų poros – taip pat gali katalizuoti reakcijas, tik galbūt ne taip stipriai.

Gerbiamo amerikiečių biochemiko H. Morovitzo, dirbančio drauge su molekulinės biologijos mokslininke Šele Kopli (*Shelley Copley*) ir fiziku Eriku Smitu (*Eric Smith*), naujausi tyrimai rodo kaip tik tokią galimybę. Galbūt jų idėjos ir nėra teisingos, tačiau manau, kad, norėdami paaiškinti gyvybės kodo kilmę, turime ieškoti būtent tokios teorijos.

H. Morovitzas ir kolegos teigia, kad raidžių poros (techniškai kalbant – dinukleotidai) veikė kaip katalizatoriai. Jie įsivaizduoja, kad dinukleotidas prisijungia prie aminorūgšties prekursoriaus, pavyzdžiui, piruvato, ir katalizuoja jo virsmą į aminorūgštį. Kokia aminorūgštis susidaro, priklauso nuo dinukleotido raidžių poros (pagal anksčiau aptartą kodono kodą). Iš esmės pirmoji raidė nurodo aminorūgšties prekursorių, antroji – transformacijos tipą. Jei, sakykime, raidės yra UU, piruvatas prisijungia ir yra paverčiamas į gana hidrofobinę aminorūgštį leuciną.

Šią patraukliai paprastą idėją H. Morovitzas parėmė protingais reakcijos mechanizmais, todėl ji atrodo mažų mažiausiai įtikima, nors aš norėčiau pamatyti įrodymų mėgintuvėlyje, kad šios reakcijos iš tiesų vyksta.

Nuo čia iki trijų raidžių kodo iš principo lieka vos pora žingsnių, ir jie abu yra ne kas kita, kaip normalus raidžių porų susidarymas. Pirmame žingsnyje RNR molekulė prisijungia prie dviejų raidžių dinukleotido ir sudaro įprastas bazių poras: G su C, A su U, ir t. t. Aminorūgštis persikelia prie didesnės RNR, kuri, būdama didesnė, turi stipresnę trauką.<sup>6</sup> To rezultatas – RNR prisijungusi prie aminorūgšties, kurios tapatybė priklauso nuo dinukleotidą sudarančių raidžių. Iš esmės tai F. Kriko adaptacinių molekulių prototipas – RNR įkrauta „tinkama“ aminorūgštimi.

Antrame žingsnyje dviejų raidžių kodas virsta trijų raidžių kodu ir taip pat remiasi tik įprastu RNR bazinių porų susidarymu. Jei tokia sąveika geriau funkcionuoja esant ne 2, o 3 raidėms (galbūt dėl geresnių intervalų ar prisijungimo stiprumo), lengvai galima sudaryti trijų raidžių kodą, kurio pirmas raidės riboja sintezę, o trečia raidė gali kisti tam tikrose ribose ir vėlesniuose etapuose sudaryti galimybę kodą optimizuoti.

Manau, čia pirminis F. Kriko įsivaizdavimas, kad RNR susiburia kaip paršeliai prie paršavedės spenių, gali būti teisingas: erdviniai apribojimai nustumia gretimą RNR vidutiniškai 3 raidžių atstumu vieną nuo kitos. Tai pastebima, nors dar nėra skaitymo rėmelio, baltymų, tik aminorūgštys, sąveikaujančios su RNR. Tačiau kodo pagrindas jau egzistuoja, ir vėliau galima pridėti papildomas aminorūgštis, „užgrobiant“ laisvus 3 raidžių kodonus.

Žinoma, šis scenarijus yra spekuliatyvus, ir kol kas nėra daug jį paremiančių įrodymų. Jis vertingas tuo, kad atskleidžia kodo kilmę, įtikinamu ir patikrinamu būdu vesdamas nuo paprastų cheminių prisijungimų prie triplečių kodonų. Nors tai gali atrodyti teisinga, susidaro įspūdis, kad aš švaistau si RNR, lyg ji augtų ant medžių.

Kaip pereinama nuo paprastų cheminių prisijungimų prie baltymų atrankos? Ir kaip nuo RNR pereinama prie DNR? Yra keli nelaukti atsakymai, paremti nelauktais naujausių tyrimų duomenimis. Džiugu, kad nauji duomenys puikiai atitinka idėją, esą gyvybė atsirado hidroterminėse versmėse, apie kurias kalbėjome 1 skyriuje.



Pirmas klausimas – iš kur atsiranda RNR? Nepaisant 2 dešimtmečių intensyvių RNR pasaulio tyrimų, šis klausimas retai kada buvo užduodamas rimtai. Neišsakyta ir, atvirai kalbant, absurdiška prielaida buvo ta, kad RNR tiesiog egzistavo pirmą kartą sriuboje.

Nesiekiu nieko sumenkinti. Moksle yra daug specifinių klausimų, ir neįmanoma atsakyti į juos visus vienu metu. Nuostabi RNR pasaulio galia remiasi prielaida, kad RNR jau egzistavo. RNR pasaulio tyrimų pradininkams buvo nesvarbu, iš kur ji atsirado, tyrėjus labiausiai domino, „ką ji gali daryti?“ Žinoma, kiti mokslininkai domėjosi RNR sinteze, tačiau jie buvo suskilę į amžinai besiginčijančias frakcijas, kurios riejosi tarpusavyje dėl savo pamėgtų hipotezių.



Galbūt RNR buvo susintetinta kosmose iš cianido, galbūt susidarė čia, Žemėje, trenkus žaibui į amoniako ir metano mišinį, galbūt ji susiformavo ugnikalnyje ant „kvailių aukso“. Visi scenarijai turėjo privalumų, bet visiems stigo vieno esminio dalyko – koncentracijos.

Jau gana sunku sudaryti atskiras RNR raides (nukleotidus), tačiau į polimerą (tikrą RNR molekulę) jos susijungia tik esant didelei nukleotidų koncentracijai. Jei jų daug, nukleotidai spontaniškai jungiasi į ilgas grandines. Tačiau jei mažai, vyksta priešingas dalykas – RNR skyla į ją sudarančius nukleotidus. Tad, kiekvieną kartą replikuodamasi, RNR vartoja nukleotidus ir mažina jų sankaupą. Jei nukleotidai nėra papildomi nuolat ir greičiau nei suvartojami, RNR veikti negali. Vadinasi, norint pastūmėti produktyvius mokslinius tyrimus pirmyn, geriausia buvo RNR priimti kaip savaime suprantamą dalyką.

Taip elgdamiesi jie buvo teisūs, nes atsakymas atėjo dar negreit, nors galiausiai pasirodė labai neįtikėtina. Tiesa, RNR neauga ant medžių, bet ji auga versmėse ar bent sumodeliuotose versmėse. Nenuilstantis geochemikas M. Raselas, su kuriuo susipažinome 1 skyriuje, bendradarbiaudamas su Diteriu Braunu (*Dieter Braun*) ir jo kolegomis Vokietijoje, 2007 m. svarbiame teoriniame darbe rašė, kad versmėse turėtų kauptis didžiuliai nukleotidų kiekiai. To priežastis – versmėse susidarantis stiprus terminis gradientas.

1 skyriuje kalbėjome, kad šarminėse hidroterminėse versmėse yra daug tarpusavyje sujungtų ertmių. Terminiai gradientai sukuria 2 rūšių sroves, kurios cirkuliuoja po šias ertmes: konvekcines sroves (kaip verdančiame virdulyje) ir terminę difuziją (šilumos sklaidimą į vėsesnį vandenį). Tarp jų šios dvi terminės srovės pamažu užpildo apatines ertmes daugybe mažų molekulių, taip pat nukleotidais.

Sumodeliuotoje hidroterminėje sistemoje nukleotidų sankaupa padidėjo tūkstančius ir net milijonus kartų nuo pradinio lygmens. Esant tokiai sankaupai, nukleotidai turėtų patogiai jungtis į RNR ar DNR grandines. Autoriai padarė išvadą: šios sąlygos sudaro „įtikinamą didelės sankaupos atspirties tašką molekulinei gyvybės evoliucijai“.

Tačiau versmės daro ne tik tai. Ilgesnių RNR ir DNR molekulių sankaupa teoriškai padidėja dar daugiau nei pavienių nukleotidų – dėl jų dydžio padidėja tikimybė, kad jos susikaups ertmėse. DNR molekulės, sudarytos iš 100 bazinių porų, susikaupia fantastiškais kiekiais – iki milijono milijardų kartų daugiau nei pradinė sankaupa.

Esant tokiai didelei sankauptai, iš principo susidaro sąlygos visoms reakcijoms, apie kurias kalbėjome – RNR molekulių tarpusavio susijungimui ir pan. Dar daugiau, temperatūros svyravimas (terminiai ciklai) skatina RNR replikaciją taip pat, kaip plačiai taikomas laboratorinis metodas PGR (polimerazinė grandininė reakcija). PGR metu aukšta temperatūra atskiria DNR grandines, kad DNR galėtų veikti kaip šablonas, o kondensavimas žemesnėje temperatūroje papildančiai grandinei leidžia polimerizuotis. To rezultatas – proporcingai didėjanti replikacija.<sup>7</sup>

Apskritai, terminiai gradientai turėtų sukurti milžinišką pavienių nukleotidų sankauptą versmėse, o tai skatintų susidaryti RNR. Tie patys gradientai turėtų padidinti RNR sankauptą ir skatinti fizinę molekulių sąveiką. Galiausiai temperatūros svyravimas turėtų skatinti RNR replikaciją. Sunku įsivaizduoti geresnę aplinką pirmykščiam RNR pasauliui.

Taigi, antras klausimas: kaip pereinama nuo tarpusavyje konkuruojančių RNR replikacijos prie sudėtingesnės sistemos, kur RNR pradeda koduoti baltymus? Atsakymą vėl gali duoti versmės.

Įdėkite RNR į mėgintuvėlį drauge su reikiamomis medžiagomis ir energija (kaip ATP), ir ji replikuosis. Iš tiesų ne tik replikuosis, bet ir *evoliucionuos*, kaip septintajame dešimtmetyje nustatė molekulinės biologijos mokslininkas Solis Špygelmanas (*Sol Spiegelman*) ir kiti. Replikacija po replikacijos mėgintuvėlyje, RNR replikuoja vis greičiau ir galiausiai tampa itin efektyvi. Ji tampa S. Špygelmano „pabaisa“ – produktyviai besireplikuojančia RNR grandine, galinčia gyvuoti tik dirbtinėmis ir pačiomis pasiūčiausiomis sąlygomis.

Idomu tai, jog nesvarbu, kur yra pradinis taškas: galima pradėti turint visą virusą ar dirbtinio ilgio RNR. Galite pradėti net nuo nukleotidų mišinio ir polimerazės, kad jie susijungtų. Kad ir kur pradėtumėte, visuomet yra tendencija, kad gausite tą pačią „pabaisą“ – vos 50 raidžių ilgio pašėlusiai besireplikuojančią RNR grandinę – S. Špygelmano „pabaisą“. Tai tarsi molekulinė „Švilpiko diena“.

Reikalas tas, kad S. Špygelmano „pabaisa“ netampa sudėtingesnė. 50 raidžių ilgį ji pasiekia dėl to, kad tai yra fermento replikazės jungimosi seka, be kurio grandinė apskritai negalėtų replikuotis. Iš esmės RNR nemato toliau savo nosies ir niekuomet nesusikurs sudėtingų darinių tirpale.

Tai kaip ir kodėl RNR pradėjo koduoti baltymus, užuot didinusi savo replikavimosi tempą? Vienintelis kelias iš šio uždaro rato – kad atranka įvyksta

„aukštesniame lygmenyje“, kur RNR tampa didesnio darinio dalimi; pastarasis tampa natūraliosios atrankos objektu, tarkime, ląstelės. Bet visos organinės ląstelės yra per sudėtingos, kad tiesiog atsirastų be evoliucijos. Vadinasi, turi vykti ląstelės savybių atranka, o ne RNR replikacijos greičio atranka. Ši aplinkybė primena vištos ir kiaušinio atsiradimo klausimą, kuris toks pat neišvenigiamas, kaip ir DNR bei baltymų ratas, nors ir ne taip plačiai žinomas.

Matėme, kaip gražiai RNR nutraukia uždarą DNR ir baltymų ratą, bet kas nutraukia atrankos ratą? Atsakymas tiesiai prieš akis – neorganinės hidroterminių versmių ląstelės. Jos yra maždaug tokio pat dydžio, kaip organinės ląstelės, ir nuolat susidaro aktyviose versmėse. Taigi, jei ląstelės turinys itin gerai regeneruoja medžiagas, reikalingas jo replikacijai, ląstelė ima daugintis ir sudaro naujas neorganines ląsteles. „Savanaudė“ RNR, kuri replikuojasi kaip galima greičiau, ima pralaimėti, nes nesugeba regeneruoti medžiagų, reikalingų palaikyti jos pačios replikaciją.

Kitaip sakant, versmių aplinkoje atranka tolydžio pereina nuo atskirų RNR molekulių replikacijos greičio prie bendro ląstelių, veikiančių kaip atskiri vienetai, metabolizmo. O baltymai yra tikri metabolizmo meistrai. Jie neišvengiamai turėjo išstumti RNR. Žinoma, baltymai neatsirado iškart. Tikėtina, kad mineralai, nukleotidai, RNR, aminorūgštys ir molekulių kompleksai (pavyzdžiui, aminorūgštys, prisijungusios prie RNR) prisidėjo prie prototipinio metabolizmo.

Tai, kas prasidėjo kaip paprastas molekulių susijungimas, šiame natūraliai besidauginančių ląstelių pasaulyje tapo gebėjimų reprodukuoti visos ląstelės turinį atranka. Tai virto savarankiško apsirūpinimo ir galiausiai nepriklausomo egzistavimo atranka. Ironiška, kad nepriklausoma ląstelių egzistencija teikia paskutinę užuominą apie pačios DNR kilmę.



Bakterijos labai skiriasi. Didžiulę skirtingumo reikšmę mūsų pačių evoliucijai išsiaiškinsime 4 skyriuje. Kol kas tik aptarsime skirtumo įtaką, kuri taip pat yra labai didelė DNR kilmei. Tai skirtumas tarp eubakterijų (iš graikų k.; tikrosios bakterijos) ir kitos grupės, kurios paskirtis atrodo lygiai tokia pati. Antroji grupė vadinama archebakterijomis, ar archėjomis. Jų pavadinimas kildinamas iš idėjos, kad jos yra itin archajiškos, kitaip tariant, labai senos, nors šiais laikais mažai kas mano, kad jos yra senesnės nei tikrosios bakterijos.

Iš tiesų, gali būti, kad, tik įvykus laimingam ir sunkiai įtikimam atsitikimui, tiek bakterijos, tiek archėjos kilo iš to paties hidroterminio kalnagūbrio. Vargu ar kas kita galėtų paaiškinti, kodėl jos turi tokį pat genetinį kodą ir daug baltymų sintezės panašumų, nors atrodo, kad DNR išmoko replikuoti vėliau ir nepriklausomai vienos nuo kitų. Nors DNR ir genetinis kodas išsivystė tik vieną kartą, panašu, kad DNR replikacija – fizinis visų gyvųjų ląstelių paveldėjimo mechanizmas – evoliucionavo dukart.

Jei tokį teiginį paskelbtų menkesnis mokslininkas nei Judžinas Kuninas (*Eugene Koonin*), skrupulingas ir intelektualus rusų kilmės Amerikos kompiuterinės genetikos mokslininkas, dirbantis JAV Nacionaliniame sveikatos institute, suabejočiau. Tačiau jis ir jo kolegos nesiekė įrodyti radikalią koncepciją. Ją atrado, vykdydami sisteminę bakterijų ir archėjų DNR replikacijos tyrimą.

Detaliai palyginę genų sekas, J. Kuninas ir jo kolegos nustatė, kad bakterijos ir archėjos iš esmės turi tokius pat baltymų sintezės mechanizmus. Sakykime, DNR pavertimo RNR ir RNR pavertimo baltymais būdas yra labai panašus, ir tiek bakterijos, tiek archėjos naudoja fermentus, kurie, sprendžiant iš jų genų sekų, yra akivaizdžiai paveldėti iš bendrojo protėvio.

Tačiau to nepasakysi apie fermentus, reikalingus DNR replikacijai. Dauguma jų neturi nieko bendra. Ši įdomų faktą galima paaiškinti tik didelių bakterijų skirtumu, tačiau tada kyla klausimas, kodėl DNR transkripcija ir pavertimas *nelėmė* visiško nepanašumo? Paprasčiausias paaiškinimas – radikali J. Kunino prielaida: DNR replikacija evoliucionavo 2 kartus – 1 kartą archėjose ir 1 kartą bakterijose.<sup>8</sup>

Toks teiginys daugelį tikriausiai piktino, tačiau talentingam ir maloniai „tingiam“ Teksaso mokslininkui, dirbančiam Vokietijoje, ši idėja buvo būtent tai, ko reikėjo. Biochemikas B. Martinas, su kuriuo susipažinome 1 skyriuje, jau bendradarbiavo su M. Raselu ir tyrinėjo biocheminius procesus hidroterminėse versmėse.

Nepakludami tradicinei išminčiai, 2003 m. jie išdėstė savo siūlymą: bendrasis bakterijų ir archėjų protėvis buvo ne laisvai gyvenantis organizmas, bet tam tikras replikatorius, įkalintas korytoje uolienoje. Jis nebuvo atsiskyręs nuo mineralinių ląstelių, kurių pilni hidroterminiai kalnagūbriai.

Siekdami paremti savo idėją, B. Martinas ir M. Raselas pateikė kitų didžiulių bakterijų ir archėjų skirtumų sąrašą. Ypač skiriasi jų ląstelių membranos ir

sienelės, vadinasi, šios 2 grupės kilo iš tų pačių uolienu atskirai viena nuo kitos. Šis mintis daugeliui atrodė per daug radikali, tačiau J. Kuninui ji puikiai tiko.

Ilgai netruko B. Martinui ir J. Kuninui pradėti bendradarbiauti tyrinėjant genų ir genomų kilmę hidroterminėse versmėse, o jų mintys šia tema buvo paskelbtos 2005 m. Jie teigė: mineralinių ląstelių „gyvenimo ciklas“ galėjo būti panašus į dabartinių retrovirusų, pavyzdžiui, ŽIV. Retrovirusai turi mažyti genomą, koduojamą RNR, o ne DNR. Įsiskverbę į ląstelę, retrovirusai savo RNR nukopijuoja į DNR, naudodami fermentą, vadinamą atvirkštine transkriptaze.

Naujoji DNR pirmiausia įvedama į šeimininko genomą, tada perkeliama su šeimininko ląstelės genais. Taigi, kurdamas savo kopijas, virusas veikia per DNR, tačiau, norėdamas būti perduotas kitai kartai, RNR jis naudoja perduoti paveldimą informaciją. Ko jam trūksta, tai gebėjimo replikuoti DNR, nes tai yra gana sunki ir nepatogi procedūra, reikalaujanti daug fermentų.

Toks gyvenimo ciklas turi ir privalumų, ir trūkumų. Didelis privalumas yra greitis. Užgrobiami ląstelės šeimininkės DNR transkripcijos į RNR ir RNR pavertimo baltymais mechanizmą, retrovirusai atsikrato poreikio turėti daug genų ir taip išvengia nemažai laiko sąnaudų ir vargo.

Didžiausias trūkumas tas, kad jų egzistencija visiškai priklauso nuo tikrųjų ląstelių. Antras, mažiau akivaizdus trūkumas – RNR, palyginti su DNR, prasčiau išsaugo informaciją. Ji mažiau stabili chemiškai, t. y. reaktyvesnė nei DNR. Galų gale juk taip RNR katalizuoja biochemines reakcijas. Tačiau šis reaktyvumas reiškia, kad dideli RNR genomai yra nestabilūs ir skyla, todėl didžiausias jų dydis yra gerokai mažesnis, nei reikia savarankiškai egzistuoti. Iš tiesų retrovirusas yra beveik pats sudėtingiausias organizmas, koks gali būti koduojamas RNR.

Tačiau mineralinėse ląstelėse yra kitaip. Jos turi du privalumus, kurie leidžia išsivystyti sudėtingesnėms RNR gyvybės formoms. Pirma, versmės turi daug savybių, reikalingų nepriklausomai egzistencijai, o tai ląstelėms teikia pirminį pranašumą: besidauginančios mineralinės ląstelės duoda supančią membraną, energijos ir t. t. Tam tikru požiūriu versmėse gyvenančios besireplikuojančios RNR yra „virusinės“. Antras privalumas – RNR „spiečiai“ nuolat maišosi ir jungiasi per tarpusavyje susijungusias ląsteles, o „bendradarbiaujančios“ grupės gali būti vienas natūraliosios atrankos objektas, jei jos kartu pasklinda į besiformuojančias ląsteles.

Taigi, B. Martinas ir J. Kuninas įsivaizdavo bendradarbiaujančias RNR populiacijas, atsirandančias mineralinėse ląstelėse, kurių kiekviena RNR kodavo keletą susijusių genų. Žinoma, šios tvarkos trūkumas tas, kad RNR populiacijos galėtų susimaišyti į skirtingas, galbūt netinkamas kombinacijas. Ląstelė, sugebėjusi išlaikyti savo „genomą“ vienoje vietoje, bendradarbiaujančių RNR grupę paversdama į vieną DNR molekulę, išsaugotų visus privalumus. Tada jos replikacija būtų panaši į retroviruso – jos DNR būtų transkribuojama į spiečių RNR, kurios įsiskverbtų į gretimas ląsteles ir joms duotų tą pačią galimybę vėl išsaugoti informaciją DNR banke. Kiekvienas RNR veiksmas būtų gautas tiesiai iš banko, todėl mažiau tikėtina, kad būtų klaidingas.

Ar buvo sunku mineralinėms ląstelėms „išrasti“ DNR tokiomis aplinkybėmis? Greičiausiai ne itin; iš tiesų, daug lengviau, nei išrasti visą DNR (o ne RNR) replikavimo sistemą. Tarp RNR ir DNR tėra du mažyčiai cheminiai skirtumai, bet kartu jie turi įtakos didžiuliam susisukusių katalizinių RNR molekulių ir įspūdingos dvigubos DNR spiralės struktūros skirtumui (kaip, tarp kitko, nuspėjo F. Krikas ir Dž. Vatsonas savo 1953 m. straipsnyje *Nature* žurnale).<sup>9</sup>

Būtų labai sunku užkirsti kelią šiems dviem mažyčiams pokyčiams, įvykstantiems vermsėse, galima sakyti, spontaniškai. Pirmas – vieno deguonies atomo pašalinimas iš RNR (ribonukleorūgšties), kad susidarytų deoksiribonukleorūgštis – DNR. Šiandien mechanizme vis dar dalyvauja reaktyvūs (techniniais terminais – laisvųjų radikalų) tarpininkai, randami vermsėse. Antras skirtumas – „metilo“ (CH<sub>3</sub>) grupės pridėjimas prie uracilo raidės, kad susidarytų timinas. Metilo grupės yra reaktyvios laisvųjų radikalų atplaišos nuo metano dujų, kurių gausu šarminėse vermsėse.

Taigi DNR sudarymas būtų buvęs sąlygiškai lengvas: ji būtų spontaniškai susiformavusi vermsėse kaip ir RNR (jos susidarymą iš paprastų prekursorių būtų katalizavę mineralai, nukleotidai, aminorūgštys ir t. t.). Šiek tiek sunkiau būtų buvę išlaikyti užkoduotą pranešimą, kitaip tariant, atkurti tikslią RNR raidžių seką kopiją DNR forma.

Tačiau ši užduotis irgi yra įveikiama. RNR paversti DNR tereikia vieno fermento – atvirkštinės transkriptazės, kurią vis dar yra išsaugoję šiuolaikiniai retrovirusai, tarkime, ŽIV. Ironiška, kad fermentas, pažeidžiantis pagrindinę molekulinės biologijos dogmą – DNR kuria RNR kuria baltymus – buvo

tas fermentas, kuris pavertė korytą uolieną, pripildytą RNR, gyvybe, kurią žinome šiandien. Gali būti, kad už ląstelių atsiradimą esame skolingi kukliam retrovirusui.

Šioje istorijoje daug kas lieka nepasakyta, daug mįslių praleidžiama, siekiant sukurti pasakojimą, turintį prasmę – bent man. Neapsimesiu, kad visi įrodymai, kuriuos čia aptarėme, yra galutiniai ar svaresni nei paprasčiausios užuominos į tolimiausią praeitį. Tačiau tai yra tikros užuominos, kurias turės paaiškinti ta teorija, kuri pasirodys esanti teisinga.

Gyvybės kode iš tiesų yra dėsningumų, bylojančių apie cheminių reakcijų ir natūraliosios atrankos veikimą. Terminės vandenyno gelmių versmių srovės iš tiesų kaupia nukleotidus, RNR bei DNR ir mineralines ląsteles paverčia idealiu RNR pasauliu. Archėjos ir bakterijos tikrai labai skiriasi, ir to negalima paaiškinti kokiais nors gamtos triukais – vadinasi, gyvybė prasidėjo nuo retroviruso gyvenimo ciklo.

Mane nuoširdžiai džiugina mintis, kad mūsų čia išnarpliota istorija gali būti teisinga, tačiau giliai mintyse glūdi viena abejonė: idėja, kad ląstelių gyvybė iš giluminių versmių vandenyno radosi 2 kartus. Ar RNR spiečiai užėmė gretimas versmes ir galiausiai užgrobė vandenyno platybes, suteikdami galimybę natūraliajai atrankai vykti globaliai? Ar viena konkreti versmių sistema buvo kuo nors ypač palanki, ir netipinės jos sąlygos paskatino atsirasti ir archėjų, ir bakterijų? Galbūt niekada to nesužinosime, tačiau atsitiktinumo ir būtinybės žaismas visus turėtų skatinti apie tai pamąstyti.





## TREČIAS SKYRIUS

# FOTOSINTEZĖ

### SAULĖS PAŠAUKTI

Išsivaizduokite pasaulį be fotosintezės. Pirmiausia jis nebūtų žalias. Smaragdinė mūsų planeta atspindi augalų, dumblių ir žaliųjų jų pigmentų, sugeriančių šviesą fotosintezėi, šlovę. Tarp pigmentų pirmauja nuostabūs keitiklis chlorofilas, šviesos spindulį sugaunantis ir paverčiantis cheminės energijos, palaikančios augalų ir gyvūnų gyvybę, kvantu.

Pasaulis turbūt nebūtų nei mėlynas, nes dangaus ir vandenynų žydrynė priklauso nuo dangaus ir vandens švaros, o jų miglą ir dulkes išvalo deguonis. Be fotosintezės nebūtų laisvojo deguonies.

Iš tiesų, gali būti, kad nebūtų ir vandenynų. Be deguonies nėra ozono, o be ozono nėra kam prislopinti deginančių ultravioletinės spinduliuotės intensyvumą. Šie spinduliai vandenį skaido į deguonį ir vandenilį. Deguonis susidaro lėtai ir nesikaupia ore, o reaguoja su uolienų geležimi ir jas nuspalvina raudona rūdžių spalva. O vandenilis – lengviausias iš dujų – atsispiria gravitacijos traukai ir išlekia į kosmosą. Šis procesas lėtas, bet neišvengiamas – vandenynai išgaruoja į kosminę erdvę. Ultravioletinė spinduliuotė atėmė vandenynus iš Veneros, galbūt ir iš Marso.

Taigi, nereikia itin lakios vaizduotės, kad įsivaizduotume pasaulį be fotosintezės. Jis būtų labai panašus į Marsą – raudona, dulkėta planeta be vandenynų ir be aiškių gyvybės požymių. Žinoma, egzistuoja gyvybė be fotosintezės, ir daugelis astrobiologų jos ieško Marse. Bet net jei ir būtų rastos kelios bakterijos po

paviršiumi ar išalusios ledyne, pati planeta yra mirusi. Ji pasiekusi beveik tobulą pusiausvyrą – užtikrintą inercijos požymį. Jos niekaip nesupainiosi su Gaja.

Degūnis yra planetos gyvybės pagrindas. Būdamas šalutinis fotosintezės produktas, degūnis iš tiesų yra molekulė, kurianti pasaulį. Fotosintezė jį išskiria taip greitai, kad galiausiai jis viršija planetos galimybes jį suvartoti. Galiausiai visos dulkės, geležis uolienose, siera jūroje ir metanas ore – viskas, kas gali būti oksiduota – oksiduojama, o laisvasis degūnis liejasi į orą ir vandenynus. Ten patekęs, sustabdo planetos vandens netekimą. Vandenilis, išsiskyręs iš vandens ir nespėjęs išlėkti į erdvę, neišvengiamai susiduria su degūnėmis. Jis greitai sureaguoja ir vėl sudaro vandenį, kuris išlyja iš debesų ir stabdo vandenynų nykimą. Orui prisisotinus degūnėmis, susidaro ozono sluoksnis, silpninantis ultravioletinės spinduliuotės intensyvumą ir paverčiantis pasaulį gyventi tinkamesne vieta.

Degūnis ne tik gelbsti planetos gyvybę – visai gyvybei teikia energijos ir ją augina. Bakterijos be degūnėmis gali puikiai išsiversti – jos turi nepriylgstamų elektrocheminių gebėjimų ir gali priversti reaguoti iš principo visas molekules, kad išgautų šiek tiek energijos. Tačiau energijos kiekis, kurį galima išgauti iš fermentacijos ar 2 molekulių, sakykime, metano ir sulfato, reakcijos, yra visiškai nereikšmingas, palyginti su kvėpavimo degūnėmis galia, kai tiesiogine prasme degūnėmis deginamas maistas, kuris visiškai oksiduojamas iki anglies dioksido ir vandens garų. Niekas kitas negali suteikti pakankamai energijos daugialąstei gyvybei.

Visi gyvūnai, augalai bent dalį savo gyvenimo ciklo yra priklausomi nuo degūnėmis. Vienintelė man žinoma išimtis – mikroskopinis (bet daugialąstis) nematodas (kirmėlė), kuris kažkaip išgyvena nejudančiose Juodosios jūros gelmėse be degūnėmis. Taigi pasaulis be laisvojo degūnėmis yra mikroskopinis bent savarankiškų organizmų atžvilgiu.

Prie dydžio degūnis prisideda ir kitais būdais. Pagalvokite apie mitybos grandinę. Viršuje esantys plėšrūnai ėda mažesnius gyvūnus, kurie savo ruožtu ėda vabzdžius, šie ėda mažesnius vabzdžius, mintančius grybais ar lapais. 5 ar 6 mitybos grandinės lygmenys yra įprastas dalykas.

Kiekvienoje pakopoje švaistoma energija, kadangi jokia kvėpavimo forma nėra veiksminga 100 %. Iš tikrųjų, kvėpavimo degūnėmis efektyvumas yra apie 40 %, o kitų kvėpavimo formų (pavyzdžiui, geležies ar sieros naudojimas vietoj degūnėmis) veiksmingumas yra mažesnis nei 10 %. Taigi, nesant deguo-

nies, gaunama energija nukrinta iki 1 % pradinių sąnaudų vos per 2 grandinės lygmenis, o deguonies – per 6 grandinės lygmenis.

Savo ruožtu tai reiškia, kad ilgos mitybos grandinės galimos tik kvėpuojant deguonimi. Mitybos grandinės ekonomija reiškia, kad plėšrūnai gali veikti deguonies prisotintame pasaulyje, bet plėšrumas kaip gyvenimo būdas be deguonies neapsimoka.

Plėšrumas eskaluoja dydį, skatindamas plėšrūno ir grobio „ginklavimosi“ lenktynes. Kiautas saugo nuo dantų, maskuotė apgauna akis, o dydis gąsdina ir medžiotąją, ir medžiojamąją. Kai yra deguonies, plėšrumas apsimoka, o kai yra plėšrūnų, apsimoka būti dideliu. Taigi dėl deguonies dideli organizmai yra ne tik galimi, bet ir tikėtini.

Deguonis taip pat padeda „statyti“ organizmus. Baltymas, suteikiantis gyvūnams tamprią jėgą, yra kolagenas. Tai – pagrindinis visų jungiamųjų audinių baltymas – tiek sukietėjęs kauluose, dantyse ir kiautuose, tiek „gryno“ pavidalo raiščiuose, raumenyse, kremzlėse ir odoje. Kolagenas yra labiausiai paplitęs baltymas žinduolių organizmuose, sudarantis net 25 % visų kūno baltymų. Be stuburinių gyvūnų, kolagenas taip pat yra pagrindinė sudedamoji visų rūšių kriauklių, kutikulių, šarvų ir skaidulinių jungiamųjų audinių dalis – viso gyvūnų pasaulio „klėjai“.

Kolageną sudaro neįprasti „statybiniai blokai“, kuriems reikalingas laisvasis deguonis, kad susidarytų kovalentinis gretimų baltymų skaidulų ryšys, teikiantis visai sandarai didelį tempiamąjį stiprį. Laisvojo deguonies poreikis reiškia, kad dideli gyvūnai, apsaugoti kiauto ar stiprių griaučių, gali evoliucionuoti tik tada, kai deguonies lygis atmosferoje yra pakankamas gaminti kolageną – tai veiksnys, galėjęs prisidėti prie staigaus didelių gyvūnų atsiradimo fosiliniuose įrašuose kambro periodo pradžioje maždaug prieš 550 mln. m., netrukus po smarkaus atmosferinio deguonies kiekio padidėjimo.

Deguonies poreikis kolageno gamybai gali atrodyti šiek tiek daugiau nei sutapimas. Jei nebūtų kolageno, ar nebūtų atsiradę kas nors kita, kas nereikalauja laisvojo deguonies? Ar deguonis būtinas suteikti stiprumą, ar tai tiesiog atsitiktinė sudedamoji dalis, kuri pateko į „receptą“ ir amžinai jame išliko? To tiksliai nežinome, tačiau aukštesniesiems augalams taip pat reikia laisvojo deguonies suformuoti atraminę struktūrą iš itin stipraus polimerinio lignino, kuris suteikia medžiui lankstaus tvirtumo.

Ligninas susidaro chemiškai atsitiktiniu būdu, naudodamas laisvąjį deguonį suformuoti stiprius kovalentinius grandinių ryšius. Juos itin sunku atskirti, todėl mediena yra tokia stipri ir taip ilgai nesupūva. Pašalinkite iš medžių ligniną (tai daro popieriaus gamintojai: sunkiai jį šalina iš medienos plaušų), ir jie nuo menkiausio vėjelio susmuks ant žemės, nepajėgdami išlaikyti savo svorio.

Taigi, be deguonies nebūtų didelių gyvūnų ar augalų, plėšrūnų, mėlyno dangaus, greičiausiai ir vandenynų – ko gero, vien tik dulkės ir bakterijos. Be abejo, deguonis yra pats vertingiausias šalutinis produktas, kokį tik galima įsivaizduoti. Tačiau jis ne tik yra šalutinis, bet ir mažai tikėtinas produktas. Visai įmanoma, kad fotosintezė galėjo atsirasti Žemėje, Marse ar bet kur kitur Visatoje, visiškai negamindama laisvojo deguonies. Tokiu atveju bet kokia gyvybė beveik neabejotinai apsiribotų bakterijų lygio sudėtingumu, ir liktume vienintelės sąmoningos būtybės bakterijų visatoje.



Viena priežastis, kodėl deguonis galėjo niekuomet nesusikaupiti ore, yra kvėpavimas. Fotosintezė ir kvėpavimas yra lygūs ir priešingi procesai. Trumpai tariant, fotosintezė gamina organines molekules iš 2 paprastų molekulių – anglies dioksido ir vandens, naudodama saulės šviesą kaip energijos šaltinį. Kvėpavimas yra atvirkštinis procesas. Degindami organines molekules (maistą), išskiriame anglies dioksidą ir vandenį atgal į orą, o išskirta energija palaiko mūsų gyvybę. Visa mūsų energija – tai saulės šviesos spindulys, įkalintas maiste ir iš jo išlaisvintas.

Fotosintezė ir kvėpavimas yra priešingi vienas kitam ne tik cheminiu, bet ir globaliniu požiūriu. Jei nebūtų kvėpavimo, t. y. gyvūnai, grybai ir bakterijos nedegintų augalinio maisto, visas anglies dioksidas jau seniai būtų buvęs išsiurbtas iš atmosferos ir virtęs biomase. Viskas daugiau ar mažiau sustotų, išskyrus mažą anglies dioksido srovelę, skleidžiamą lėto puvimo ar ugnikalnių.

Tačiau tikrovėje viskas kitaip: kvėpavimas sudegina visas augalų išskirtas organines molekules – geologinėje laiko skalėje augalai išsisklaido kaip dūmas. Tai turi vieną rimtą pasekmę. Visas deguonis, fotosintezės išskirtas į orą, iš jo įsisavinamas kvėpuojant. Tai ilgalaikė, nekintanti, nesibaigianti pusiausvyra – mirties bučinyss bet kuriai planetai.

Vienintelis būdas planetai susikurti deguonies prisotintą atmosferą, išvengti dulkėtos, raudonos Marso lemties – išsaugoti šiek tiek augalinės materijos, kuri būtų atspari stichijoms ir gyvybės išradingumui ieškant būdų ją panaudoti energijai. Ji turi būti palaidota.

Taip ir yra. Išsaugota augalinė materija palaidota kaip anglis, nafta, gamtinės dujos, suodžiai, medžio anglis ar dulkės uolienose Žemės gelmėse. Pasak novatoriaus geochemiko Roberto Bernerio (*Robert Berner*), neseniai palikusio Jėilio universitetą ir išėjusio į pensiją, Žemės plutoje slypi maždaug 26 000 kartų daugiau „negyvos“ organinės anglies nei visoje gyvoje biosferoje.

Kiekvienas anglies atomas yra deguonies molekulės ore priešybė. Su kiekvienu anglies atomu, kurį iškasame ir sudeginame kaip iškastinį kurą, iš oro paimama deguonies molekulė ir paverčiama anglies dioksidu, o tai turi nenuspėjamas, bet rimtas pasekmes klimatui. Laimei, niekuomet neišsėmsime pasaulio deguonies atsargų, net jei ir labai pakenksime klimatui – didžioji dauguma organinės anglies smulkios skaldelės forma slypi skalūnų ir panašiose uolienose, nepasiekiamose pramonei arba ekonomiškai nenaudingose. Nepaisant mūsų tuščiagarbiškų pastangų sudeginti visus žinomus iškastinio kuro išteklius, iki šiol sumažiname deguonies kiekį vos 2 ar 3 milijono dalimis, t. y. apie 0,001 %.<sup>2</sup>

Tačiau šie didžiuliai požeminiai organinės anglies ištekliai nesiformavo nuolat – jie susidarė protrūkiais per ištisas geologines eras. Norma yra labai arti idealios pusiausvyros, kur kvėpavimas atsveria fotosintezę (o erozija atsveria bet kokį anglies palaidojimą), taigi grynojo palaidotos anglies kiekio beveik nėra. Būtent todėl deguonies lygis dešimtis milijonų metų išliko apie 21 %.

Tačiau ankstesniais laikais retais atvejais padėtis buvo visiškai kitokia. Matyt, įspūdingiausias pavyzdys yra karbono periodas prieš 300 mln. m., kai ore plasnojo žuvėdros dydžio laumžirgiai, o brūzgynuose šmirinėjo metro ilgio šimtakojai. Šių milžinų būtis priklausė nuo itin greito anglies kaupimosi karbone, kurio pavadinimas kyla iš didžiulių tuo metu susikaupusių akmens anglių išteklių.

Kadangi anglis telkėsi po akmens anglių pelkėmis, deguonies sankaupa buvo daugiau kaip 30 %, todėl kai kurie gyvūnai galėjo užaugti daug didesni nei įprastai, ypač tie, kuriems būdinga pasyvi dujų difuzija odoje esančiuose vamzdeliuose, o ne aktyvi plaučių ventiliacija, tarkime, laumžirgiai.<sup>2</sup>

Kokia buvo neregėto anglies kaupimo tempo karbone priežastis? Beveik neabejotinai – įvairūs atsitiktiniai veiksniai. Žemynų išsidėstymas, drėgnas klimatas, plačios užliejamos lygumos ir, turbūt svarbiausia, lignino evoliucija, dėl kurios atsirado dideli medžiai ir tvirti augalai, galintys užimti didelius žemės plotus. Panašu, kad ką tik evoliucionavęs ligninas, šiandien sunkiai skaidomas net grybų ir bakterijų, buvo neįveikiamas iššūkis. Užuoat gaminus suskaidytą energiją, didžiuliai lignino kiekiai buvo palaidoti visiškai nepažeisti, o jo priešybė – deguonis – pripildė orą.

Geologiniai atsitiktinumai, padidinę deguonies kiekį, įvyko dar 2 kartus, ir greičiausiai buvo pasaulinių apledėjimų, vadinamų sniego gniūžtės periodu, pasekmė. Pirmą kartą deguonies sanakaupa labai padidėjo maždaug prieš 2200 mln. m., iškart po tuo metu vykusių geologinių poslinkių ir pasaulinio apledėjimo.

Antras pasaulinio apledėjimo laikotarpis maždaug prieš 800–600 mln. m. taip pat padidino deguonies sanakaupą. Tokie katastrofiški globaliniai įvykiai greičiausiai pakeitė pusiausvyrą iš fotosintezės į kvėpavimo ir iš kaupimo į erozijos pusę.

Tirpstant didžiuliams ledynams ir lyjant, mineralai ir maistinės medžiagos (geležis, nitratai ir fosfatai), iš uolienu išplauti ledo tirpsmo vandens, nutekėjo į vandenynus ir paskatino fotosintetinančių dumblių ir bakterijų klestėjimą, panašiai kaip dabar veikia trąšos, tik daug didesniu mastu. Toks perteklius ne tik sukelia sužydėjimą, bet jį ir „palaidoja“ – dulkės, nešvarus ledas ir smėlis buvo nuplauti į vandenyną, susimaišę su klestinčiomis bakterijomis ir nusėdo, sudarydami neregėto dydžio anglies sanakaupas. O tai ilgam padidino deguonies sanakaupą visame pasaulyje.

Taigi mūsų planetos prisotinimas deguonimi atrodo atsitiktinis. Tokią nuomonę patvirtina pokyčių nebuvimas ilgais periodais. Atrodo, prieš 2000 mln. iki 1000 mln. m. nenutiko nieko ypatinga – šį laikotarpį geologai vadina nuobodžiuoju milijardu. Tuo metu deguonies sanakaupa išliko stabili ir gana žema, kaip ir kitais kartais ištisus šimtus milijonų metų.

Sąstingis yra įprasta būsena, o geologinių neramumų epizodai sukelia ilgalaikius pokyčius. Tokie geologiniai veiksniai gali veikti ir kitose planetose, tačiau panašu, kad tektoniniai poslinkiai ir aktyvus vulkanizmas yra būtini, kad susidarytų atsitiktinės sąlygos, reikalingos kauptis deguoniui. Tikėtina,

## FOTOSINTEZĖ

kad labai seniai Marse atsirado fotosintezė, tačiau ši nedidelė planeta su besitraukiančiu vulkaniniu branduoliu negalėjo palaikyti geologinės kaitos, reikalingos kauptis deguoniui, ir galiausiai fotosintezė išnyko visoje planetoje.



Tačiau yra ir kita, dar svarbesnė, priežastis, dėl ko fotosintezė nesukuria deguonimi prisotintos planetos atmosferos. Fotosintezė pati negali naudoti vandens kaip žaliavos. Visi esame susipažinę su aplink matoma fotosintezės forma. Žolė, medžiai, jūržolės – visi veikia iš esmės tuo pačiu būdu, išskirdami deguonį. Šis procesas vadinamas oksigenine fotosinteze.

Tačiau jei žengtume keletą žingsnių atgal ir pagalvotume apie bakterijas, yra daug kitų galimybių. Kai kurios sąlygiškai primitivios bakterijos vietoj vandens naudoja ištirpusią geležį ar vandenilį. Jei mums tai atrodo neįtikėtina žaliava, tai tik todėl, kad esame taip pripratę prie savo deguonies prisotinto pasaulio – oksigeninės fotosintezės rezultato – kad sunkiai įsivaizduojame sąlygas pirmąkart Žemėje, kai atsirado fotosintezė.

Mums taip pat sunku suvokti nuojautai prieštaraujantį, bet iš tiesų paprastą fotosintezės mechanizmą. Leiskite pateikti pavyzdį, kuris galbūt ir neteisingai, bet rodo bendrą supratimą apie fotosintezę. Tai Primo Levio (*Primo Levi*) citata iš nuostabios jo knygos „Periodinė elementų lentelė“ (*The Periodic Table*), išleistos 1975 m. ir Londono Karališkajame institute 2006 m. publikos (įskaitant mane) pripažintos „geriausia visų laikų mokslo knyga“:

„Anglies atomas įsiskverbia į lapą ir susiduria su nesuskaičiuojama daugybe azoto ir deguonies molekulių (tačiau jos čia neturi reikšmės). Jis prisijungia prie didelės ir sudėtingos molekulės, kuri jį aktyvuoja, ir tuo pat metu gauna lemiamą žinią iš dangaus kaip saulės šviesos paketą. Akimirksniu, lyg voro pagautas vabzdys, jis atsiskiria nuo deguonies, susijungia su vandeniliu ir (kaip kai kurie mano) fosforu ir tampa grandinės dalimi – nesvarbu, ilgos ar trumpos, bet gyvybės grandinės dalimi.“

Pastebėjote klaidą? Iš tiesų yra dvi klaidos, ir P. Levis turėjo tai žinoti, kadangi tikrasis cheminis fotosintezės procesas buvo išaiškintas 40 m. anksčiau. Švytintis saulės šviesos paketas anglies dioksido neaktyvuoja – jis gali būti lygiai taip pat aktyvuotas vidury nakties. Iš tiesų šviesa ir net ryškiausia saulė-

kaita jo neaktyvuoja. Anglis taip pat akimirksniu neatsiskiria nuo deguonies. Deguonis laikosi tvirtai įsikibęs savo anglies.

P. Levio aprašymas yra įprasta, bet neteisinga prielaida, kad fotosintezės išlaisvintas deguonis atsiranda iš anglies dioksido. Taip nėra. Jis atsiranda iš vandens, o tai didžiulis skirtumas. Tai – pirmas žingsnis į supratimą, kaip evoliucionavo fotosintezė. Taip pat pirmas žingsnis sprendžiant mūsų planetos energijos ir klimato krizes.

Fotosintezės naudojami saulės energijos paketai vandenį suskaido į vandenilį ir deguonį. Ta pati reakcija vyksta visoje planetoje, vandenynams, veikiamiems ultravioletinės spinduliuotės, išgaruojant į kosmosą. Ką pasiekė fotosintezė (ir ko mums vis dar nepavyksta pasiekti), tai atrado katalizatorių, išplėšiantį vandenilį iš vandens, suvartojant labai mažai energijos – naudojant visą saulės šviesą, o ne sivilinančius ultravioletinius ar kosminius spindulius.

Iki šiol visas žmonių išradimus suvartoja daugiau energijos skaidydamos vandenį, nei jos išgaunama jį suskaidžius. Kai pavyks imituoti fotosintezę, naudojant paprastą katalizatorių, kuris švelniai atskiria vandenilio atomus nuo vandens, būsimė išsprendė pasaulio energijos krizę. Deginant tą vandenilį būtų patogiai patenkinti viso pasaulio energijos poreikiai ir kaip atliekos susidarytų tik vanduo: jokios taršos, jokio anglies pėdsako, jokio globalinio atšilimo. Tačiau tai nelengva užduotis, nes vanduo yra itin stabilus atomų derinys.

Tai patvirtina vandenynai – net smarkiausios audros ir bangų mūša į uolas vandens nesuskaido į sudedamuosius atomus. Vanduo yra ir labiausiai paplitusi, ir sunkiausiai pasiekiamą žaliavą mūsų planetoje. Šiuolaikinis jūreivis gali sukti galvą, kaip būtų galima varyti laivą vandeniu ir trupučiu saulės šviesos. Jis turėtų to pasiklausti žalių maurų, plūduriuojančių ant bangų.

Žinoma, su ta pačia problema susidūrė ir tolimi tų maurų protėviai – dabartinių melsvabakterių protėviai, vienintelė mūsų planetos gyvybės forma, kuriai pasitaikė laimė atrasti gudrybę, kaip suskaidyti vandenį. Įdomu, kad melsvabakterės vandenį skaido dėl tos pačios priežasties, dėl ko giminingos bakterijos skaido vandenilio sulfidą ar oksiduoja geležį – jos nori elektronų. Ir iš pažiūros atrodo, kad vanduo yra paskutinė vieta, kur jų ieškoti.

Konceptualiai fotosintezė yra paprasta – viskas dėl elektronų. Pridėkite kelis elektronus prie anglies dioksido kartu su keliais protonais, kad išsilygin-



## FOTOSINTEZĖ

tų krūvis, ir štai – cukrus. Cukrūs yra organinės molekulės – jie yra P. Levio gyvybės grandinė ir pagrindinis viso maisto šaltinis. Tačiau iš kur atsiranda elektronai?

Gaunant šiek tiek energijos iš saulės, jų galima gauti daugiau ar mažiau iš bet kur. Mums pažįstama oksigeninė fotosintezė elektronų gauna iš vandens, nors juos daug lengviau atplėšti nuo kitų junginių, ne tokių stabilių, kaip vanduo. Paimkite elektronus iš vandenilio sulfido ir, užuot išskyrę vandenį, į orą išskirsite elementinę sierą – biblinę sierą. Paimkite elektronus iš vandenynuose ištirpusios geležies (divalentės geležies) ir gausite rūdžių raudonumo trivalentę geležį, kuri nusėda kaip naujos uolienos. Šis procesas galėjo būti juostinės geležies rūdos susidarymo priežastis – jos randama visame pasaulyje, ir šiuo metu yra didžiausi nedidelės koncentracijos geležies rūdos ištekliai.

Šios fotosintezės formos šiandieniniame deguonies prisotintame pasaulyje sudaro labai nedidelę dalį, nes žaliavos – vandenilio sulfido ar ištirpusios geležies – vargiai randama saulėtuose, aeruotuose vandenyse. Tačiau kai Žemė buvo jauna, prieš atsirandant laisvajam deguoniui, šios medžiagos būtų buvusios lengviausiai prieinamas elektronų šaltinis, nes jų buvo gausu vandenynuose.

Čia atsiranda paradoksas, kurį būtina išspręsti, norint suprasti, kaip pirmiausia atsirado fotosintezė. Kodėl, užuot rinkusis gausius ir patogius elektronų šteklius, buvo pasirinktas daug nepatikimesnis šaltinis – vanduo, kurio šalutinis produktas – deguonis – buvo nuodingos dujos, galinčios gerokai paakenkti jį gaminančių bakterijų sveikatai? Tai, kad su saulės galia ir tinkamu katalizatoriumi vanduo yra daug gausesnis išteklis nei bet kas kita, nėra esminė priežastis, nes evoliucija nenumato ateities. Lygiai taip pat nenumato ir to, kad oksigeninė fotosintezė pakeitė pasaulį, kuriam tai nei trupučio nerūpi. Tad koks aplinkos spaudimas ar mutacijos lėmė tokį pasirinkimą?

Paprasčiausias atsakymas, kurį rasite daugelyje vadovėlių – pasibaigė žaliavos: gyvybė ėmė naudoti vandenį, nes neliko patogių alternatyvių šaltinių. Lygiai taip pat, pasibaigus iškastiniam kurui, mums gali tekti naudoti vandenį. Tačiau šis atsakymas nėra teisingas: geologiniai duomenys aiškiai rodo, kad oksigeninė fotosintezė atsirado daug anksčiau (daugiau nei 1 mlrd. m. anksčiau), nei baigėsi visos tos žaliavos. Gyvybė nebuvo įsprausta į kampą.

Kitas šiuo metu nagrinėjamas atsakymas slypi pačios fotosintezės mechanikoje ir apskritai yra daug gražesnis. Šiame atsakyme dera atsitiktinumas ir

būtinybė. Šis atsakymas vieną painiausių ir sudėtingiausių elektronų gavimo būdų pasaulyje nušviečia paprastumo šviesa.



Augaluose elektronų išgavimas vyksta chloroplastuose. Tai mažytės žalios struktūros, randamos visų lapų ir žolės stiebelių ląstelėse ir suteikiančios lapams žalią spalvą. Chloroplastai pavadinti pagal pigmentą, suteikiantį jiems spalvą. Tai – chlorofilas, kuris atsako už saulės energijos absorbavimą fotosintezės metu.

Chlorofilas yra įsiterpęs į ypatingą membranų sistemą, sudarančią chloroplastų vidų. Paplokščių diskų bokštai, primenantys ateivių jėgainę iš mokslinės fantastikos filmo, tarpusavyje jungiasi vamzdeliais, kurie įvairiais kampais ir įvairiame aukštyje kryžiuojasi sistemos erdvėje. Pačiuose diskuose vyksta fotosintezė: elektronų išgavimas iš vandens.

Nors gauti elektronų iš vandens sunku, augalai iš jų sukuria puikius „patiekalus“. Baltymų ir pigmentų kompleksai yra tokie įvairūs molekulinio požiūriu, kad jų visuma prilygsta nedideliui miestui. Jie grupuojami į du pagrindinius kompleksus, vadinamus I ir II fotosistemomis, o kiekvienas chloroplastas jų turi tūkstančius. Jų darbas – sugauti šviesos spindulį ir paversti gyva materija. Aiškinimasis, kaip jie tai padaro, užtruko beveik šimtmetį, ir tam buvo atlikti vieni elegantiškiausių ir išmoningiausių eksperimentų. Deja, čia ne vieta juos aptarinėti.<sup>3</sup> Čia mums rūpi tik tai, ką sužinojome, ir ką tai sako apie fotosintezės išradimą.

Konceptuali fotosintezės esmė, žemėlapis, suteikiantis jai prasmę, vadinama Z schema – formuluoatė, kuri tuo pat metu žavi ir gąsdina biochemijos studentus. Pirmą kartą 1960 m. išdėstyta genialaus, bet savimi nepasitikinčio anglo Robino Hilo (*Robin Hill*), Z schema apibūdina fotosintezės „energijos profilį“. Mokslininkas pagarsėjo kaip kalbantis aforizmais. Netgi jo laboratorijos darbuotojai buvo nustebę, kai jo hipotezė 1960 m. pasirodė *Nature* žurnale – jie net nenutuokė, ką jis dirba.

Iš tiesų Z schema nebuvo paremta paties R. Hilo darbu, bet išgryninta iš daugybės painių eksperimentų stebėjimo. Svarbiausias jų buvo įdomus termodinamikos klausimas. Nustatyta, kad fotosintezė gamina ne tik naują organinę medžiagą, bet ir ATP – gyvybės „energijos valiutą“. Netikėtai paaiškėjo,

## FOTOSINTEZĖ

kad jos visuomet eina drauge – kuo daugiau organinės medžiagos pagamina fotosintezė, tuo daugiau ATP, ir atvirkščiai (jei organinės medžiagos kiekis mažėja, mažėja ir ATP gamyba).

Panašu, kad saulė vienu metu pateikia dvejus nemokamus pietus. R. Hilas buvo pakankamai įžvalgus suvokti visą fotosintezės mechanizmą, remdamasis vien šiuo faktu. Sakoma, kad genialumas – gebėjimas pastebėti akivaizdžius dalykus anksčiau nei kiti.<sup>4</sup>

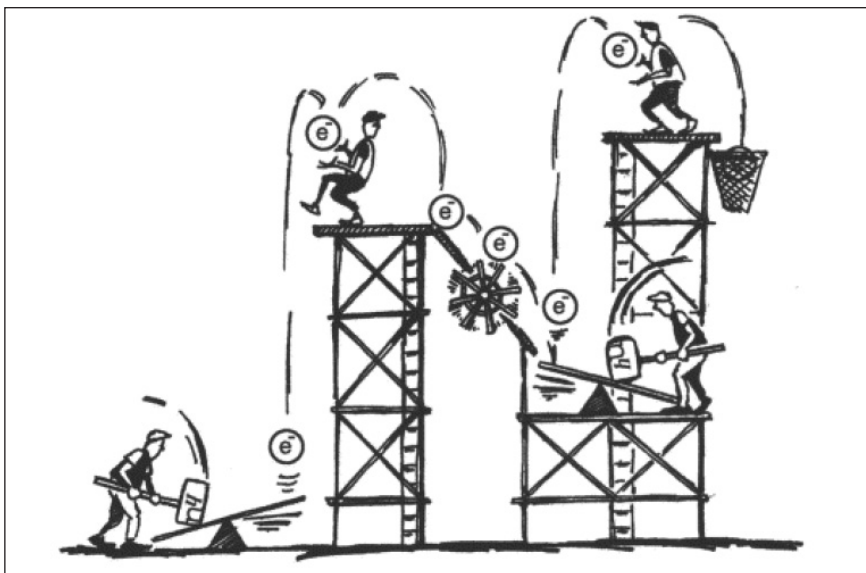
Tačiau netgi terminas Z schema yra klaidinantis, kaip ir visa kita, kas susiję su R. Hilu. Z raidę reikėtų pasukti 90 laipsnių kampu, kad ji taptų N – tada tiksliau atspindėtų fotosintezės energijos profilį. Įsivaizduokite pirmą N brūkšnį kaip vertikalią reakciją aukštyn – kad ji vyktų, reikalinga energija. Įstrižas brūkšnis žemyn yra žemyn nukreipta reakcija – ji išskiria energiją, kuri gali būti saugoma ATP forma. Trečias brūkšnis yra kita aukštyn nukreipta reakcija, kuriai reikalinga energija.

Fotosintezėje 2 fotosistemos (I ir II) yra dviejuose apatiniuose N raidės taškuose. Šviesos spindulys pasiekia I fotosistemą ir elektroną pakelia į aukštesnį energijos lygį. Tada šio elektrono energija leidžiasi žemyn nedideliais molekuliniais laipteliais, o tai sukuria energiją, reikalingą susidaryti ATP. Nusileidęs atgal į žemos energijos lygį, elektronas pasiekia II fotosistemą, kur kitas fotonas jį vėl pakelia į aukštesnį energijos lygį. Iš šio taško pirmame cukraus gamybos cikle elektronas paverčiamas anglies dioksidu.

Ričardo Valkerio (*Richard Walker*) paveikslėlis (žr. 3.1 pav.) šį procesą vaizduoja kaip jėgos išbandymo atrakcioną, kur žaidėjas trenkia į plokštę kūju, metalinis ritulys užkyla stulpu ir suskambina varpeliu. Šiuo atveju smūgis kūju suteikia energijos, reikalingos užvaryti ritulį stulpu. Fotosintezėje šį darbą atlieka saulės fotono energija.

Z schema (ar N schema, jei jums taip labiau patinka) yra labai įmantrus būdas, tačiau tam yra gerų techninių priežasčių. Kitu būdu suderinti elektronų išplėšimą iš vandens, jų pavertimą anglies dioksidu ir galiausiai cukrumi chemiškai yra beveik neįmanoma. Ši priežastis susijusi su elektronų perdavimo pobūdžiu, konkrečiau – su cheminiu elektronų prisirišimu prie tam tikrų junginių.

Kaip matėme, vanduo yra labai stabilus – jis itin prisirišęs prie savo elektronų. Norint pavogti elektroną iš vandens, reikia didžiulės traukos jėgos,



3.1 PAV. R. VALKERIO PAVEIKSLĖLIS, VAIZDUOJANTIS Z SCHEMĄ. FOTONO ENERGIJA, VAIZDUOJAMA KAIP KŪJO SMŪGIS, IŠKELIA ELEKTRONĄ Į AUKŠTOS ENERGIJOS LYGĮ. LEISDAMASIS Į ŽEMESNĮ ENERGIJOS LYGĮ, ELEKTRONAS IŠSKIRIA ENERGIJĄ, KURIOS DALĮ PANAUDOJA LĄSTELĖ. ANTRASIS FOTONAS ELEKTRONĄ IŠKELIA Į DAR AUKŠTESNĮ ENERGIJOS LYGĮ, KUR JIS TAMPA DIDELĖS ENERGIJOS MOLEKULĖ (NADPH), IR JI VĖLIAU REAGUOJA SU ANGLIES DIOKSIDU IR SUDARO ORGANINĘ MOLEKULĘ.

kitaip sakant, labai galingo oksidanto. Tas oksidantas yra godusis chlorofilas – sugėręs didelės energijos fotonus ir iš romaus daktaro Džekilo virtęs molekulinis ponas Haidas.<sup>5</sup>

Tačiau tai, kas gerai traukia, dažniausiai prastai stumia. Molekulė, tvirtai pagavusi elektronus, nėra linkusi chemiškai juos atstumti, kaip ir mizantropiškas ponas Haidas ar bet kuris šykštuolis nėra linkęs atiduoti savo turtų spontaniško dosnumo momentu. Tai būdinga ir šiai chlorofilo formai. Aktyvuotas šviesos, jis turi didžiulę galią atplėšti elektronus nuo vandens, tačiau negali jų nustumti kur nors kitur. Kalbant chemikų žargonu, jis yra stiprus oksidantas, bet silpnas reduktorius.

Anglies dioksidas sukelia priešingą problemą. Jis taip pat yra labai stabilus ir chemiškai nenori prisikimšti daugiau elektronų. Jis labai nenoriai priima elektronus iš to, kas stipriai juos stumia – stipraus reduktoriaus. Tam reikia kitokios chlorofilo formos, kuri stipriai stumtų ir nestipriai trauktų. Tai ne go-

## FOTOSINTEZĖ

dus šykštuolis, o greičiau gatvės prekeivis, siekiantis įbrukti abejotinas prekes pažeidžiamies praeviams. Aktyvuota šviesos, ši chlorofilo forma geba priimti savo elektronus kitai molekulei, kuri lygiai taip pat nori jų nusikratyti, atiduodama juos prekeivio bendrui NADPH ir galiausiai – anglies dioksidui.<sup>6</sup>

Taigi fotosintezė turi 2 fotosistemas dėl tam tikros priežasties. Nieko nepaprasto. Tačiau svarbesnis klausimas – kaip evoliucionavo tokia sudėtinga sistema? Šią seką sudaro 5 dalys. Pirmiausia yra „vandens skaidymo kompleksas“, tarsi molekulinė riešutų gliaudyklė, kuri vandens molekulės išdėsto taip, kad jų elektronai būtų vienas po kito išgliaudyti, o deguonis išsiskirtų kaip šalutinė medžiaga.

Tada pradeda veikti II fotosistema (fotosistemos dėl istorinių priežasčių pavadintos atvirkštine tvarka). Aktyvuota saulės, ji tampa molekuliniu ponu Haidu ir išplėšia elektronus iš vandens skaidymo komplekso. Po to seka elektronų perdavimo grandis, kur elektronai perduodami kaip regbio žaidėjų per aikštelę perdavinėjamas kamuolys.

Elektronų transporto grandinė naudoja žemėjantį energijos gradientą sukurti šiek tiek ATP, prieš perduodant tuos pačius elektronus I fotosistemai. Čia kitas fotonas juos vėl iškelia į didelės energijos lygį, kur juos išsaugo molekulinis „gatvės prekeivis“ NADPH, stipriai stumiantis elektronus ir tenorintis jų atsikratyti.

Galiausiai įsijungia molekulinis mechanizmas, aktyvuojantis anglies dioksidą ir paverčiantis jį cukrumi. Naudojant I fotosistemos sukurtą molekulinį prekeivį, anglies dioksido vartimą cukrumi skatina ne šviesa, o cheminė reakcija, todėl ji vadinama tamsiąja – P. Levis šito neįvertino.

Šios 5 sistemos paeiliui atplėšia elektronus iš vandens ir perduoda anglies dioksidui. Tai nepaprastai sudėtingas būdas gliaudyti riešutus, bet panašu, kad tai vienintelis būdas išgliaudyti šį konkretų riešutą. Didysis evoliucijos klausimas – kaip atsirado šios sudėtingos ir tarpusavyje susijusios sistemos ir kaip jos išsidėstė tokiu tinkamu būdu, kuris, galimas daiktas, yra vienintelis oksigeninės fotosintezės veikimo būdas?



Žodis faktas beveik visada priverčia biologus drebėti, nes kiekviena taisyklė turi daugybę išimčių. Tačiau vienas toks oksigeninės fotosintezės „faktas“ yra

## GYVYBĖS TRIUMFAS

beveik užtikrintas – ji evoliucionavo tik vieną kartą. Fotosintezės vyksmo vieta – chloroplastas – randama visų augalų ir dumblių visose fotosintetinančiose ląstelėse. Chloroplastų yra visur, ir akivaizdu, kad jie tarpusavyje susiję. Jie turi bendrą slaptą istoriją.

Užuominą apie jų praeitį teikia dydis ir forma – jie atrodo kaip nedidelės bakterijos, gyvenančios didesnėje ląstelėje šeimininkėje (žr. 3.2 pav.). Šią užuominą apie bakterinę praeitį patvirtina nepriklausomi DNR žiedai, esantys visuose chloroplastuose. Chloroplastui dalijantis, šie DNR žiedai nukopijuojami ir perduodami antrinėms plastidėms tokiu pat būdu, kaip ir bakterijų. Chloroplasto DNR raidžių seka ne tik patvirtina ryšį su bakterijomis, bet ir rodo pirštą į artimiausią giminaitį: melsvabakteres. Be to, augalų fotosintezės Z schema ir 5 sudedamosios jos dalys tiksliai atspindi (su paprastesniu mechanizmu) melsvabakterėse. Trumpai tariant, nėra abejonių, kad chloroplastai kažkada buvo laisvai gyvenančios melsvabakterės.



3.2 PAV. PAPRASTOJO RUNKELIO (*BETA VULGARIS*) KLASIKINIS CHLOROPLASTO VAIZDAS, KURIAME MATYTI MEMBRANŲ (TILAKOIDŲ) KRŪVELĖS, KURIOSE FOTOSINTEZĖS METU SUSKAIDOMAS VANDUO IR IŠSKIRIAMAS DEGUONIS. PANAŠUMAS Į BAKTERIJĄ NE ATSIPTIKINIS – CHLOROPLASTAI KĄKADA BUVO LAISVAI GYVENANČIOS MELSVABAKTERĖS.

Kartą neteisingai pavadintos (poetiškai – mėlynais arba žaliais dumbliais), melsvabakterės yra vienintelė žinoma bakterijų grupė, vandenį galinti skaidyti oksigeninės fotosintezės būdu. Kaip ji apsigyveno didesnėse ląstelėse šeiminkėse, išlieka paslaptis, dengiama tolimos geologinės praeities šydo. Tai įvyko neabejotinai daugiau nei prieš 1000 mln. m. Gali būti, kad šios bakterijos vieną dieną buvo prarytos, išgyveno virškinimą (tai nėra neįprasta) ir galiausiai pasirodė esančios naudingos ląstelei šeiminkėi. Ląstelė šeiminkė, prisipildžiusi melsvabakterių, atrado dvi didžiules karalystes – dumblių ir augalų, – nes jie visi sugeba išgyventi iš saulės ir vandens, naudodami fotosintezės aparatą, paveldėtą iš bakterinių svečių.

Taigi, ieškant fotosintezės kilmės, reikia ieškoti melsvabakterių – vienintelių bakterijų, kurios įminė vandens suskaidymo galvosūkį – kilmės. Tai vienas prieštaringiausių šiuolaikinės biologijos klausimų, kuris, iš tiesų, vis dar neišspręstas.

Iki praeito tūkstantmečio pabaigos daugumą mokslininkų šiek tiek erzino, bet ir įtikino nuostabūs Bilo Šopfo (*Bill Schopf*), energingo ir karingo paleobiologijos profesoriaus, dirbančio Kalifornijos universitete Los Andže, gauti duomenys. Devintojo dešimtmečio pradžioje jis aptiko ir išnagrinėjo daug seniausių Žemės gyvybės fosilijų – kai kurios jų buvo 3500 mln. m.

Čia reikėtų šiek tiek paaiškinti žodį fosilija. B. Šopfas rado mikroskopinių uolienu kapsulių virtines, kurios labai priminė bakterijas ir buvo maždaug atitinkamo dydžio. Spręsdamas iš sandaros, mokslininkas iš pradžių paskelbė, kad fosilijos yra melsvabakterės. Šios mažytės fosilijos dažnai buvo siejamos su tuo, kas panėšėjo į fosilijų stromatolitus.

Gyvi stromatolitai yra mineraliniai statiniai, sluoksnis po sluoksnio užaugantys iki 1 m aukščio. Juos formuoja klestinčios bakterijų bendruomenės, kurios išlieka žemesniuose mineralų sluoksniuose. Galiausiai visa struktūra virsta vientisa uola, dažniausiai turinčia nepaprastai gražų pjūvį (žr. 3.3 pav.).

Išoriniai gyvi šiuolaikinių stromatolitų sluoksniai dažniausiai knibžda melsvabakterių, todėl B. Šopfas galėjo remtis šiais senais dariniais kaip ankstyvo jų atsiradimo įrodymu. Kad neliktų abejonių, jis parodė, kad šiose fosilijose buvo organinės anglies likučių, o tai reikštų gyvybę, ir ne šiaip bet kokią seną gyvybę, o fotosintetinančią. Pasak mokslininko, apskritai melsvabakterės ar į jas labai panašūs organizmai Žemėje atsirado prieš 3500 mln. m. – praėjus





3.3 PAV. GYVI STROMATOLITAI HAMELINO BASEINE NETOLI RYKLIŲ ĮLANKOS VAKARŲ AUSTRALIJOJE. BASEINO DRUSKINGUMAS MAŽDAUG DVIGUBAI VIRŠIJA ATVIRO VANDENYNO DRUSKINGUMĄ. TAI UŽDUSINA KAI KURIUOS GYVŪNUS, PAVYZDŽIUI, MOLIUSKUS, IR LEIDŽIA KLESTĖTI MELSVABAKTERIŲ KOLONIJOMS.

vos keliems šimtams milijonų metų po didžiojo asteroidų bombardavimo, kuris reiškė mūsų planetos gyvavimo pradžią visai netrukus po to, kai susiformavo Saulės sistema.

Mažai kas buvo pasirengęs mesti iššūkį B. Šopfo aiškinimui, o tie, kurie galėjo tai padaryti, taip pat buvo jo įtikinti. Tačiau kiti mokslininkai, nors ir mažiau nusimanantys, žiūrėjo skeptiškai. Nelengva suderinti ankstyvą melsvabakterių (kurie greičiausiai išskyrė deguonį kaip šalutinį produktą taip pat, kaip šiandien) evoliuciją ir pirmuosius geologinius požymius, kad atmosferoje atsirado deguonies – gerokai vėliau nei po 1 mlrd. m.

Be to, dėl Z schemos sudėtingumo biologams buvo sunku patikėti, kad oksigeninė fotosintezė galėjo taip greit evoliucionuoti. Kitos, paprastesnės fotosintezės formos atrodė labiau tinkamos giliai senovei. Apskritai, dauguma žmonių pritarė, kad tai buvo bakterijos, galbūt fotosintetinančios, tačiau abejojo, ar tai tikrai melsvabakterės – fotosintezės meno viršūnė.



Tada į ringą įžengė Oksfordo paleobiologijos profesorius Martinas Breizeris (*Martin Brasier*), ir prasidėjo viena didžiausių kovų moderniojoje paleontologijoje – šiam mokslui būdinga jo šalininkų aistra ir daugumos įrodymų lankstumas. Daugelis mokslininkų, kurie domėjosi ankstyvosiomis fosilijomis, rėmėsi Londono Gamtos istorijos muziejuje saugomais pavyzdžiais, tačiau M. Breizeris nuvyko į geologinę vietovę, kurioje B. Šopfas iškasė fosilijas, ir buvo priblokštas. Užuoat buvęs negilus, ramus jūros dugnas, kaip teigė B. Šopfas, visas regionas buvo išvarpytas geoterminių gyslų, kurios rodė audringą geologinę praeitį.

Pasak M. Breizerio, B. Šopfas atrinko pavyzdžius, kad paremtų savo teiginius, ir nuslėpė kitus pavyzdžius, iš pažiūros panašius, bet akivaizdžiai ne biologinius. Tikėtina, jie visi susiformavo vandeniui graužiant mineralines nuosėdas. Jis taip pat teigė, kad stromatolitus suformavo geologiniai procesai, o ne bakterijos, ir jie nė kiek ne paslaptingesni nei bangelės smėlyje.

Organinė anglis visiškai neturi mikroskopinės struktūros, todėl jos beveik neįmanoma atskirti nuo neorganinio grafito, randamo daugelyje geoterminių vietovių. Galiausiai, lyg persmeigdamas kažkada didžio mokslininko kūną basliu, vienas buvęs studentas prisiminė, kad buvo verčiamas priimti abejotinus aiškinimus. Atrodė, B. Šopfas buvo sužlugdytas.

Tačiau niekada lengvai nepasiduodantis B. Šopfas pakilo į kovą. Surinkęs daugiau duomenų, patvirtinančių jo idėją, susitiko su M. Breizeriu akis į akį ugningame NASA susirinkime 2002 m. balandį, ir kiekvienas bandė apginti savo ringo kampą.

M. Breizeris, arogantiškas Oksfordo dėstytojas, pasmerkė B. Šopfo argumentus kaip visiškai hidroterminį elgesį – „daug karščio ir mažai šviesos“. Tačiau stebėtojų neįtikino nė viena pusė. Nors kyla abejonių dėl ankstyviausių mikrofosilijų biologinės kilmės, dėl kitų, datuojamų vos 100 mln. m. vėliau, ginčijamasi mažiau. M. Breizeris pats pateikė tokių vėlesnio laikotarpio fosilijų.

Dauguma mokslininkų, taip pat B. Šopfas, dabar taiko griežtesnius kriterijus patvirtinti biologinę kilmę. Iki šiol vienintelė auka – melsvabakterės, kažkada buvusios B. Šopfo šlovės šerdis. Netgi jis pripažįsta, kad mikrofosilijos greičiausiai nėra melsvabakterės ar bent nelabai tikėtina, kad tai melsvabakterės, o ne bet kokia kita siūlinių bakterijų rūšis. Taigi pasitaisę vėl grįžtame į pradžią ir apie melsvabakterių evoliuciją nežinome nieko daugiau nei iš pat pradžių.



Šiuo pasakojimu noriu parodyti, kaip sunku suprasti geologinio laiko gelmes, naudojant vien tik fosilijų duomenis. Net įrodžius melsvabakterių ar bent jau jų protėvių egzistavimą, nereikštų, kad jos jau gebėjo skaidyti vandenį. Galbūt jų protėviai naudojo primityvesnę fotosintezės formą. Tačiau yra kitų ir galbūt informatyvesnių būdų išgauti informacijos apie seniausius laikus. Tai paslaptys, slypinčios pačiose gyvose esybėse – jų genuose, fizinėje sandaroje, ypač baltymų.

Pastaruosius 2 ar 3 dešimtmečius molekulinė tiek augalų, tiek bakterijų fotosistemų sandara buvo uoliai nagrinėjama. Mokslininkai taikė įvairiausias technikas, turinčias sudėtingiausių pavadinimus, atitinkančias ne mažiau sudėtingas metodikas nuo rentgeno kristalografijos iki elektronų paramagnetinio rezonanso spektroskopijos. Dabar mums nesvarbu, kaip veikia šie metodai. Pakanka žinoti, kad jie buvo naudojami pavaizduoti fotosintetinių kompleksų formas ir sandaras beveik (deja, nevisiškai) atominiu tikslumu.

Netgi dabar susitikimuose užverda ginčai, tik ginčijamasi dėl detalių. Dabar, kai rašau, esu neseniai grįžęs iš diskusijos Londono Karališkojoje draugijoje, kur buvo daug diskutuojama dėl penkių pagrindinių atomų tikslios vietos vandens skaidymo komplekse. Argumentai buvo tuo pat metu ir nereikšmingi, ir svarūs.

Svarūs dėl to, kad tiksli atomų vieta apibrėžia griežtą cheminį vandens skaidymo mechanizmą. Šios žinios yra pagrindas sprendžiant pasaulinę energijos krizę. Nereikšmingi dėl to, kad kivirčijamasi dėl šių 5 atomų išdėstymo keleto atomų skersmens plote, t. y. keliuose angstreemuose (mažiau nei milijonoji milimetro dalis). Senesnės mokslininkų kartos nuostabai, beveik nėra nesutarimų, kuriuos 2004 m. išdėstė Džimo Barberio (*Jim Barber*) komanda Imperatoriškajame koledže, o neseniai dar patikslino dėl visų kitų 46 630 atomų vietos II fotosistemoje.

Nors šiems keliems atomams dar nepriskirta galutinė vieta, didesnė fotosistemų architektūra, kuri buvo numanoma jau daugiau nei dešimtmetį, dabar aiškiai išdėstyta ir labai daug byloja apie savo evoliucijos istoriją. 2006 m. nedidelė mokslininkų grupė, vadovaujama Bobo Blankenšipo (*Bob Blankenship*), kuris dabar yra žymus Vašingtono universiteto Sent Luise profesorius, įrodė, kad abi fotosistemos yra itin gerai išsilaikiusios bakterijose.<sup>7</sup>

Nepaisant milžiniško evoliucinio įvairių bakterijų grupių skirtumo, pagrindinės fotosistemų struktūros yra beveik tapačios – kompiuteriu jas galima uždėti vieną ant kitos erdvėje. Be to, B. Blankenšipas patvirtino kitą mokslininkų seniai įtartą sąsają – abi fotosistemos (I ir II) taip pat turi vienodą pagrindinę sandarą ir beveik neabejotinai prieš daugybę metų kilo iš bendrojo protėvio.

Kitaip tariant, kažkada buvo viena fotosistema. Kažkuriuo metu genas pasidvigubino, ir atsirado dvi tapačios fotosistemos. Veikiamos natūralios atrankos, jos ėmė po truputį skirtis viena nuo kitos, tačiau išlaikė didelį sandaros panašumą. Galiausiai 2 fotosistemos susijungė į melsvabakterių Z schemą, o ji vėliau persidavė augalų ir dumblių chloroplastams.

Tačiau šis paprastas aiškinimas slepia įdomią dilemą. Primityvios fotosistemos padvigubinimas niekaip neišspręstų oksigeninės fotosintezės problemos – jis niekaip nesuderintų stiprių elektronų traukiančių ir stumiančių elementų. Prieš pradėdant veikti fotosintezei, turėjo įvykti šių fotosistemų divergencija priešingomis kryptimis, ir tik tada jas būtų buvę galima naudingai sujungti. Taigi kyla klausimas, kokia įvykių seka galėjo sukelti divergenciją, o tada sujungti kaip artimus, bet vienas kitam priešingus partnerius, lyg vyrą ir moterį, vėl susijungiančius po divergencijos nuo kiaušialąstės?

Geriausias būdas rasti atsakymą – pažvelgti į pačias fotosistemas. Jos susivienijo melsvabakterių Z schemeje, bet apskritai turi įdomiai nukrypstančią evoliucinę praeitį. Minutėlę pamirškime, iš kur atsirado fotosistemos, ir žvilgtelėkime į dabartinį jų pasiskirstymą bakterijų pasaulyje. Be melsvabakterių, toje pačioje bakterijoje abiejų fotosistemų nerandama. Kai kurios bakterijų grupės turi tik I fotosistemą, kitos – tik II. Kiekviena fotosistema veikia atskirai, siekdama skirtingų tikslų, o tikslai jų paskirtis leidžia pažvelgti į tai, kaip pirmiausia atsirado oksigeninė fotosintezė.

Bakterijose I fotosistema veikia lygiai taip pat kaip ir augaluose. Ji paima elektronus iš neorganinių šaltinių ir sukuria molekulinį „gatvės prekeivį“, kuris įbruka elektronus anglies dioksidui, kad susidarytų cukrus. Vienintelis skirtumas – neorganinis elektronų šaltinis.

Užuot ėmusi elektronus iš vandens, su kuriuo ji apskritai negali susidroti, I fotosistema juos ima iš vandenilio sulfido ar geležies, kurie yra daug lengvesnis grobis nei vanduo. Beje, molekulinį „prekeivį“, kurį sudaro I

fotosistema – NADPH – taip pat galima sudaryti cheminiu būdu, pavyzdžiui, hidroterminėse versmėse, apie kurias kalbėjome 1 skyriuje. Čia taip pat NADPH naudojamas paversti anglies dioksidą cukrumi, vykstant panašioms reakcijoms. Taigi vienintelė I fotosistemos naujovė – suvaldyta šviesa, atliekanti chemijos vykdytą darbą.

Taip pat verta pažymėti, kad gebėjimas paversti šviesą chemija nėra niekuo ypatingas – tą gali daryti beveik visi pigmentai. Cheminiai pigmentų ryšiai gerai sugeria šviesos fotonus. Kai taip atsitinka, elektronas pakeliamas į aukštesnį energijos lygį, ir greta esančios molekulės gali jį „pagauti“. Taip pigmentas tampa fotooksiduotas – jam reikia elektrono, kad išlaikytų pusiausvyrą, todėl jį pasiima iš geležies ar vandenilio sulfido. Tai viskas, ką daro chlorofilas.

Chlorofilas yra porfirinas, savo sandara panašus į hemą – pigmentą, nešantį deguonį mūsų kraujyje. Daugelis kitų porfirinų gali atlikti panašius triukus su šviesa. Kartais to pasekmės yra nepageidaujamos, pavyzdžiui, liga porfirija.<sup>8</sup> Ir svarbiausia – porfirinai yra vienos sudėtingiausių molekulių, izoliuotų iš asteroidų ir susintetintų laboratorijoje tikėtinais prebiotinėmis sąlygomis. Kitaip sakant, labai tikėtina, kad porfirinai galėjo spontaniškai susiformuoti pirmą kartą Žemėje.

Trumpai tariant, I fotosistema paėmė gana paprastą pigmentą porfiriną ir jos spontanišką šviesa aktyvuojamą chemiją suderino su bakterijų ląstelėse vykstančiomis reakcijomis. Rezultatas – paprasta fotosintezės forma, galinti pasiimti elektronus iš „lengvų“ šaltinių, tarkime, geležies ir vandenilio sulfido, ir perduoti juos anglies dioksidui, kad susidarytų cukrus. Taip bakterijos naudoja šviesą pasigaminti maisto.

O kaip II fotosistema? Ją naudojančios bakterijos su šviesa atlieka kitą triuką. Ši fotosintezės forma negamina organinės medžiagos, o šviesos energiją paverčia chemine energija, t. y. elektra, kurią gali vartoti ląstelė. Mechanizmas labai paprastas. Kai fotonas atsitrenkia į chlorofilo molekulę, vienas elektronas pakeliamas į aukštesnį energijos lygį, kur jį, kaip ir anksčiau, „pagauna“ gretima molekulė. Tada šis elektronas skubiai perduodamas vieno nešėjo kitam elektronų perdavimo grandine, kiekvieną kartą išskirdamas šiek tiek energijos, kol grįžta į žemos energijos lygį.

Dalis šio proceso metu išsiskyrusios energijos panaudojama gaminti ATP. Galiausiai išsekęs elektronas grįžta į tą patį chlorofilą, iš kurio išėjo, ir gran-

## FOTOSINTEZĖ

dinę baigia. Trumpai tariant, šviesa iškelia elektroną į didelės energijos lygį, ir, jam pakopomis leidžiantis atgal į „poilsio“ lygį, išskirta energija išsaugoma kaip ATP – energijos forma, kurią gali vartoti ląstelė. Tai šviesa varoma elektros grandinė.

Kaip ši grandinė atsirado? Atsakymas – maišant ir derinant. Elektronų perdavimo grandinė yra daugmaž tokia pat, kokia naudojama kvėpavimui, kuris evoliucionavo versmėse, kaip matėme 1 skyriuje. Ji buvo pasiskolinta kiek kitokiam tikslui. Kaip kalbėjome, kvėpuojant elektronai išplėšiami iš maisto ir galiausiai perduodami deguoniui, kad susidarytų vanduo. Išskirta energija naudojama sudaryti ATP.

Šioje fotosintezės formoje vyksta lygiai tas pat: didelės energijos elektronai per grandinę perduodami ne deguoniui, o prisijungiančiai (oksiduojančiai) chlorofilo formai. Kuo labiau chlorofilas gali pritraukti elektronus (t. y. kuo jis chemiškai artimesnis deguoniui), tuo veiksmingesnė grandinė, pakeliui išsiurbianti energiją iš elektronų. Didelis privalumas tas, kad nereikia nei kuro, nei maisto teikti energiją (jo reikia sintetinti naujas organines molekules).

Galima daryti bendrą išvadą, kad paprastesnės fotosintezės formos priima mozaiką. Abi formos į esamą molekulės mechanizmą įjungė naują energijos keitiklį – chlorofilą. Vienu atveju šis mechanizmas anglies dioksidą verčia cukrumi, o kitu gamina ATP. Kalbant apie chlorofilą, panašūs porfirino pigmentai greičiausiai spontaniškai susiformavo pirmą kartą Žemėje, o natūralioji atranka padarė visa kita. Kiekvienu atveju nedideli chlorofilo sandaros skirtumai keičia sugeriamos šviesos bangų ilgį ir kartu chemines savybes.

Visi šie pokyčiai turi įtakos spontaniškai vykstančių procesų veiksmingumui, nors iš pradžių jie daugiau iššvaisto, nei duoda naudos. Natūralus rezultatas – sukurti „gobšaus šykštuolio“ chlorofilo formą sintetinti ATP kai kuriose laisvose bakterijose ir „gatvės prekeivio“ chlorofilo tipą gaminti cukrų bakterijose, gyvenančiose netoli vandenilio sulfido ar geležies išteklių. Tačiau išlieka vienas svarbus klausimas: kaip visa tai susijungė melsvabakterių Z scheme ir ėmė skaidyti galutinį kurą – vandenį?



Atsakymas trumpas – tiksliai nežinoma. Yra būdų rasti neabejotiną atsakymą, bet, deja, jie nesuveikė. Pavyzdžiui, galima sistemiškai palyginti genų fotosistemas bakterijose ir sudaryti genų medį, kuris parodytų fotosistemų protėvius. Tačiau tokį medį pakerta bakterijų gyvenimo realija – lytiniai santykiai. Bakterijų santykiai skiriasi nuo mūsų lytinių santykių, kurių metu iš kartos į kartą paveldimi genai ir išauga tvarkingas šeimos medis.

Bakterijos svaido genus į šalis be jokios pagarbos genetikų darbui. Rezultatas panašesnis į genų voratinklį, o ne į medį, kuriame vienu bakterijų genai atsiduria kitose, visiškai nesusijusiose bakterijose. Vadinasi, neturime genetinių įrodymų, kaip fotosistemos susijungė Z schemeje.

Tačiau tai nereiškia, kad atsakymo negalime rasti. Didžiausia mokslinių hipotezių vertė ta, kad, žengdamos vaizduotės žingsnį į nežinomybę, jos siūlo naują požiūrį ir eksperimentus, postulatus galinčius patvirtinti ar paneigti. Štai viena geriausių: Karalienės Marijos Londono universiteto profesoriaus Džono Aleno (*John Allen*) išradingo proto idėja.

Dž. Alenas yra keistai išskirtinis, nes apie jį rašiau trijose knygose iš eilės, ir kiekvieną kartą vis apie kitą naujovišką jo idėją. Kaip ir geriausios mokslo idėjos, ši hipotezė yra tokia paprasta, kad lengvai prasiskverbia pro visus sudėtingumo sluoksnius iki esmės. Galbūt ji nėra teisinga, nes ne visos didžios mokslo idėjos teisingos. Tačiau net jei ir neteisinga, parodo, kaip viskas *galėjo* susidėstyti taip, kaip yra, ir, siūlydama eksperimentus tai patikrinti, nukreipia mokslininkus teisinga kryptimi. Idėja ir įžvalgi, ir įkvepianti.

Dž. Alenas teigia, kad daugelis bakterijų, reaguodamos į aplinkos pokyčius, kartas nuo karto keičiasi genais, – tai visuotinai žinoma. Vienas svarbiausių aplinkos veiksnių – žaliavos buvimas arba nebuvimas. Apskritai, bakterijos nešvaisto energijos naujų baltymų statymui, kad galėtų apdoroti žaliavas, jei jų nėra aplinkoje. Jos tiesiog nutraukia veiklą iki tolesnių pasikeitimų.

Taigi profesorius įsivaizduoja kintančią aplinką – galbūt stromatolitą jūros seklumoje netoli hidroterminės versmės, skleidžiančios vandenilio sulfidą. Sąlygos kistų priklausomai nuo potvynių, srovių, metų laiko, hidroterminio aktyvumo ir t. t. Svarbiausias veiksnys – hipotetinės Dž. Aleno bakterijos turėtų turėti abi fotosistemas, kaip ir dabartinės melsvabakterės, bet, skirtingai

## FOTOSINTEZĖ

nei jie, vienu metu turėtų naudoti tik vieną fotosistemą. Aplinkoje esant vandenilio sulfido, bakterijos „ijungtu“ II fotosistemą ir ją naudotų organinių medžiagų iš anglies dioksido gaminimui.

Šias naujas medžiagas jos galėtų panaudoti augimui, reprodukcijai ir pan. Tačiau, pasikeitus sąlygoms, ir stromatolitams likus be žaliavų, šios bakterijos pereitų prie II fotosistemos. Jos nustotų gaminti naujas organines medžiagas (nebeaugtų ir nebesidaugintų), bet galėtų išlikti, naudodamos saulės šviesą tiesiogiai gaminti ATP, ir sulaukti geresnių laikų. Kiekviena fotosistema yra savaip naudinga, ir, kaip matėme, kiekviena jų evoliucionavo per keletą paprastų etapų.

Bet kas atsitiktų, jei hidroterminė versmė nunyktų, ar dėl srovių kaitos aplinkos pokyčiai užsitęstų ilgam? Bakterijos daugiausia turėtų naudotis II fotosistemos elektronų grandine. Bet čia kyla galima grėsmė: grandinė gali persipildyti elektronų iš aplinkos, net jei aplinkoje, kur jų nedaug, tai įvyksta negreitai.

Elektronų grandinė šiek tiek primena žaidimą „Perduok kitam“. Elektrono nešėjas arba turi elektroną, arba ne, kaip ir vaikas, sustojus muzikai, turi paketą arba ne. Bet įsivaizduokite išdykusį prižiūrėtoją su krūva paketų, kuriuos vieną po kito paleidžia į vaikų ratą. Galiausiai kiekvienas vaikas turės po paketą. Niekas nebegali perduoti paketo, ir žaidimas nutrūksta.

Panašiai galima pasakyti apie II fotosistemą. Problema neatsiejama nuo saulės šviesos, ypač kol nebuvo ozono sluoksnio, ir daugiau ultravioletinės spinduliuotės pasiekdavo jūros paviršių. Ultravioletinė spinduliuotė ne tik skaido vandenį, bet ir gali išplėšti elektronus iš vandenyne ištirpusių metalų ir mineralų, pirmiausia – iš mangano ir geležies. Tai sukeltų lygiai tokią pat problemą, kokia sugadino „Perduok kitam“ žaidimą. Į grandinę patektų elektronų srovė.

Šiandien jūros vandenyje nei geležies, nei mangano sanakaupa nėra didelė, nes vandenynai yra prisotinti deguonies, bet senais laikais netrūko nei vieno, nei kito. Sakykime, didžiuliai mangano kiekiai randami jūros dugne, susiformavę įdomiais kūginiais mazgeliais, kurie per milijonus metų apaugo įvairius daiktus, pavyzdžiui, ryklių dantis. Tai viena nedaugelio gyvų esybių, galinčių atlaikyti didžiulį slėgį vandenyno dugne. Manoma, kad jūros dugne yra išsibarstę trilijonas tonų mangano mazgelių – milžiniški, bet neekonomiški ištekliai. Netgi ekonomiškesni ištekliai, kaip Kalahario mangano laukai Pietų

Afrikoje (dar 13,5 mlrd. t rūdos) iš vandenynų nusėdo prieš 2400 mln. m. Trumpai tariant, vandenynai kitados buvo pilni mangano.

Bakterijoms manganas yra vertingas produktas: jis veikia kaip antioksidantas, saugantis ląsteles nuo pragaištingos ultravioletinės spinduliuotės. Manganas išplėšia elektroną, tampa fotooksiduotas ir spindulį „neutralizuoja“ atomui sugėrus ultravioletinės spinduliuotės fotoną. Manganas „paaukojamas“ vietoj svarbesnių ląstelės dalių – baltymų ir DNR, kuriuos priešingu atveju suardytų spinduliai. Todėl bakterijos manganą priima išskėstomis rankomis.

Problema ta, kad mangano atomo išplėštą elektroną, labai tikėtina, suris „godus šykštuolis“ – II fotosistemos chlorofilo forma. Taip grandinė laipsniškai persipildo elektronų, kaip ir žaidžiančių vaikų ratelis užverčiamas paketais. Jei nėra būdo išleisti elektronų perteklių iš grandinės, II fotosistema tolydžio darosi vis silpnesnė.

Kaip iš II fotosistemos bakterijos elektronus galėtų išleisti? Čia pasireiškia visas Dž. Aleno hipotezės genialumas. II fotosistema perpildyta elektronų, o I fotosistema stovi be darbo dėl elektronų trūkumo. Bakterijai tereikia atjungti jungiklį, kuris neleidžia abiem fotosistemoms veikti vienu metu – fiziologiškai ar per taškinę mutaciją. Kas nutinka tada?

I II fotosistemą elektronai patenka iš oksiduotų mangano atomų. „Godžiam šykštuoliui“ chlorofilui sugėrus šviesos spindulį, jie pakeliami į aukštą energijos lygį. Iš čia perduodami elektronų perdavimo grandine, o išsiskyrusi energija panaudojama sudaryti šiek tiek ATP.

O tada – diversija. Užuoat grįžę į perpildytą II fotosistemą, jie surenkami aktyvios I fotosistemos, ištroškusios naujų elektronų. Dabar „gatvės prekeivis“ chlorofilas sugeria saulės spindulį, ir elektronai vėl išmetami į aukštą energijos lygį. Ir, žinoma, iš čia elektronai galiausiai perduodami anglies dioksidui, ir gaminama nauja organinė medžiaga.

Kažkur girdėta? Ką tik vėl aprašiau Z schemą. Vos viena taškinė mutacija abi fotosistemas sujungia į veiksmų seką, kur elektronai iš mangano atomų pereina visą Z schemą iki anglies dioksido ir cukraus. Kas atrodė kaip itin įmantrus ir sudėtingas procesas, staiga pasirodo esąs, galima sakyti, neišvenigiamas dėl taškinės mutacijos.

Ši logika nepriekaištinga, visos molekulės dalys yra savo vietose ir tar nauja tam tikram tikslui kaip atskiri vienetai. Aplinkos įtaka yra pagrįsta



## FOTOSINTEZĖ

ir numatoma. Jokia kita taškinė mutacija neturėjo didesnės reikšmės pasaui!

Vertėtų prisiminti skyriaus medžiagą, kad galėtume pasigėrėti visu pavelslu. Iš pradžių buvo viena fotosistema, kuri greičiausiai naudojo saulės šviesą išplėsti elektronus iš vandenilio sulfido ir perduoti juos anglies dioksidiui, kad būtų galima gaminti cukrų. Kažkuriuo metu – galbūt melsvabakterių protėvyje – genas pasidvigubino. Skirtingai naudojamos, dvi fotosistemos išsiskyrė.<sup>9</sup>

I fotosistema ir toliau darė tą patį kaip ir anksčiau, o II fotosistema, naudodama elektronų grandinę, specializavo gaminti ATP iš saulės šviesos. Fotosistemos tai įsijungdavo, tai išsijungdavo, priklausomai nuo aplinkos sąlygų, bet niekuomet neveikė abi kartu. Tačiau laikui bėgant II fotosistemoje ėmė kilti problemų dėl elektronų grandinės – bet kokie papildomi elektronai iš aplinkos ją užkemsą.

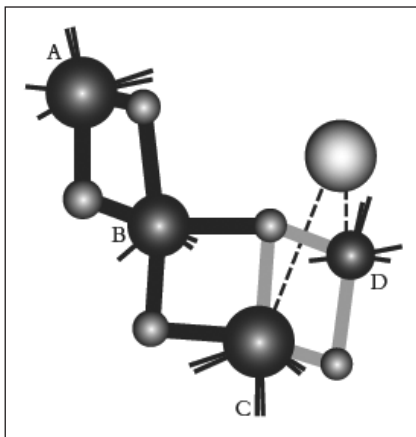
Tikėtina, kad, saugodamosi ultravioletinės spinduliuotės, bakterijos nuolat po truputį kaupė elektronus iš mangano atomų. Vienas galimų sprendimų – išjungti jungiklį ir suaktyvinti abi fotosistemas iš karto. Elektronai tekėtų iš mangano per abi fotosistemas iki anglies dioksido sudėtingu keliu, iki smulkmenų primenančių painią Z schemą.

Liko tik vienas žingsnis iki galutinės oksigeninės fotosintezės. Elektronus gauname ne iš vandens, o iš mangano. Tad kaip įvyko šis paskutinis pasikeitimas? Nuostabiausia, kad beveik niekas nepasikeitė.



Vandens skaidymo kompleksas yra tarsi riešutų gliaudyklė, vandenį išdėstanti taip, kad jo elektronai galėtų būti vienas po kito „išgliaudyti“. Atėmus visus elektronus, į pasaulį išsiskiria neįkainojamas šalutinis produktas – deguonis. Vandens skaidymo kompleksas iš tiesų yra II fotosistemos dalis, tačiau glūdi pačiame jos pakraštyje, atsigręžęs į išorinį pasaulį ir atrodo, lyg būtų ten prilipdytas. Jis neįtikėtinai mažas. Kompleksą sudaro 4 mangano atomai ir vienas kalcio atomas, tarpusavyje surišti deguonies atomų. Ir viskas.

Keletą metų nenuorama M. Raselas, su kuriuo jau susipažino 1 ir 2 skyriuose, teigė, kad šio komplekso sandara nuostabiai panaši į kai kurių mineralų, susidariusių hidroterminėse versmėse, pavyzdžiui, holandito ar



3.4 PAV. SENA VANDENS SKAIDYMO KOMPLEKSO MINERALŲ SANDARA – 4 MANGANO ATOMAI (PAŽYMĖTI A–D), SUJUNGTI DEGUONIES TINKLELIU. ŠALIA – KALCIO ATOMAS. VAIZDAS GAUTAS RENTGENO KRISTALOGRAFU.

tunelinio kalcio manganito. Tačiau iki 2006 m. nežinojome mangano telkinio sandaros atomų tikslumu, ir M. Raselo nuomonė buvo lyg šauksmas tyruose.

Bet dabar ją žinome. Ir nors M. Raselas nebuvo visiškai teisingas, jo koncepcija visiškai teisinga. Sandara, atskleista Berklio universiteto mokslininkų grupės, vadovaujamos Vitalio Jačandros (*Vittal Yachandra*), itin panaši į M. Raselo siūlytas mineralų formas (žr. 3.4 pav.).

Nežinia, ar pirminis vandens skaidymo kompleksas buvo paprasčiausias mineralo gabalėlis, įsiterpęs į II fotosistemą. Galbūt mangano atomai, oksiduoti ultravioletinės spinduliuotės, prisirišo prie deguonies tinklelio ir vietoje išaugo į mažytį kristalą.<sup>10</sup> Galbūt chlorofilo ar baltymų dalelių artumas šį telkinį šiek tiek iškreipė – jo funkciją optimizavo.

Nepaisant telkinio kilmės, jis atrodo labai atsitiktinis. Jis per daug artimas mineralinei sandarai, kad būtų biologinis produktas. Kaip ir kai kurie kiti metalų telkiniai, randami fermentuose, jis beveik neabejotinai atsirado sąlygomis, egzistavusiomis prieš milijardus metų hidroterminėse versmėse. Brangiausią iš visų brangakmenių – šį metalo telkinį – apsupo baltymai ir amžinai išsaugojo melsvabakteres.

Nesvarbu, kaip jis susiformavo, tačiau šis mažas mangano atomų telkinys atvėrė naują pasaulį ne tik jį pirmą kartą pasičiupusioms bakterijoms, bet ir visai mūsų planetos gyvybei. Šis atomų telkinys ėmė skaidyti vandenį – 4 ok-

## FOTOSINTEZĖ

siduoti mangano atomai suvienijo savo natūralų godumą išplėsti elektronus iš vandens ir išskirti deguonį kaip šalutinę medžiagą.

Skatinamas nuolatinės mangano oksidacijos ultravioletinės spinduliuotės, vandens skaidymas iš pradžių buvo lėtas. Tačiau, telkiniui prisijungus prie chlorofilo, elektronai turėjo plūste plūsti. Chlorofilui prisitaikius prie savo paskirties, procesas pagreitėjo – įsiurbiamas vanduo, išskaidomas, elektronai išplėšiami, deguonis išmetamas. Silpna srovėlė virto potvyniu. Gyvybę nešantis elektronų, gautų iš vandens, srautas yra visos Žemės gyvybės energijos pagrindas. Jam turime dėkoti dukart – už tai, kad yra pirminis viso mūsų maisto šaltinis, ir už deguonį, kurio mums reikia deginti maistą, kad išliktume gyvi.

Tai taip pat yra raktas į pasaulio energijos krizę. Mums nereikia dviejų fotosistemų, organinių medžiagų gamyba mūsų nedomina. Mums tereikia dviejų iš vandens išskiriamų produktų – deguonies ir vandenilio. Jų tarpusavio reakcija sukuria visą energiją, kurios mums reikia, o vienintelis šalutinis produktas – vanduo. Kitaip tariant, su šiuo mažyčiu mangano telkiniu galime naudoti saulės energiją vandens skaidymui, vėl sukelti jo molekulių reakciją ir pagaminti vandenį – vandenilio ekonomija. Daugiau jokios taršos, jokio iškastinio kuro, jokio anglies dioksido pėdsako, jokio antropogeninio globalinio atšilimo, nors yra šioks toks sproginų pavojus.

Jei šis mažas atomų telkinys prieš daugybę metų pakeitė pasaulio sandarą, žinios apie jo sandarą turėtų būti pirmas žingsnis keičiant pasaulį šiandien. Man rašant, chemikai visame pasaulyje lenktyniauja, kas susintetins šį mažytį mangano telkinį laboratorijoje – ar ką nors panašaus, kas veiktų. Neabejotinai jiems greitai tai pavyks. O tada ilgai netruks, kol išmoksime gyventi, naudodami vandenį ir saulės spindulius.



## KETVIRTAS SKYRIUS

# SUDĖTINGA LAŠTELĖ

## LEMTINGAS SUSIDŪRIMAS

„**B**otanikas yra žmogus, galintis priskirti panašius pavadinimus panašioms augalams ir skirtingus pavadinimus – skirtingiems, kad juos visi galėtų suprasti,“ – teigė didis švedų mokslinės sistematikos kūrėjas Karlas Linėjus (*Carolus Linnaeus*), kuris ir pats buvo botanikas. Šiandien tai gali pasirodyti ne itin įspūdinga, tačiau, gyvąjį pasaulį suklasifikavęs pagal rūšių savybes, K. Linėjus padėjo šiuolaikinės biologijos pagrindus. Jis išties didžiavosi savo pasiekimais. „Dievas kuria, Linėjus rūšiuoja,“ – mėgdavo sakyti. Be abejonės, jis didžiuotųsi, kad mokslininkai iki šiol taiko jo sistemą, visą gyvybę dalijančią į karalystes, tipus, klases, gentis ir rūšis.

Šis noras skirstyti į kategorijas, padaryti tvarką netvarkoje leidžia suprasti mus supantį pasaulį ir lėmė daugelio mokslų ištakas. Kur būtų chemija be savo periodinės elementų lentelės? Arba geologija be erų ir epochų? Tačiau biologija turi vieną didelį skirtumą. Tik biologijoje tokia klasifikacija tebėra aktyvi pagrindinių tyrinėjimų dalis.

„Gyvybės medžio“, didžiulės diagramos, rodančios mūsų ryšius su visais gyvais organizmais, sandara mokslininkams tebėra pykčio ir net įsiūčio priežastis, nors šiaip jie švelnaus būdo. Vienas Fordo Dulitlio (*Ford Doolittle*), mandagiausio iš mokslininkų, straipsnis perteikia nuotaiką pavadinimu: „Su kirviu prie gyvybės medžio“ (*Taking an axe to the tree of life*).

Problema – ne paslaptingos subtilybės, o svarbiausi skirtumai. Kaip ir K. Linėjus, dauguma mūsų vis dar instinktyviai pasaulį skirstome į augalus, gyvūnus ir mineralus. Pagaliau, juk tai dalykai, kuriuos matome. Ir kas galėtų būti skirtingesnio? Gyvūnai laksto, valdomi sudėtingos nervų sistemos, ėda augalus ir kitus gyvūnus. Augalai patys sau gaminasi medžiagas iš anglies dioksido ir vandens, naudodami saulės šviesos energiją. Jie iššakniję vienoje vietoje, smegenų jiems nereikia. O mineralai yra negyvi, nors kristalų augimas įtikino K. Linėjų juos taip pat suskirstyti į kategorijas (dėl to turėtų būti truputį gėda).

Biologija kaip dalykas skirstoma į zoologiją ir botaniką, ir ištisas kartas jos nesusidūrė. Netgi mikroskopinių gyvybės formų atradimas ne itin paveikė senąją skirstymą. Mikroorganizmai, kurie gali judėti, pavyzdžiui, amebos, buvo priskirti gyvūnų karalystei, o vėliau gavo *pirmuonių* (pirmųjų gyvūnų) pavadinimą; spalvingi dumbliai ir bakterijos buvo priskirti augalams. Nors K. Linėjus būtų pamalonintas, kad jo sistema tebenaudojama, jį priblokštų, kaip buvo apgautas išvaizdos.

Šiandien skirtumas tarp augalų ir gyvūnų yra gana nedidelis, o tarp bakterijų ir kitų sudėtingesnių gyvybės formų atsivėrė baisi praraja. Šios prarajos peržengimas ir kelia mokslininkų nesutarimus: kaip gyvybė nuo paprastų bakterijų perėjo iki sudėtingų augalų ir gyvūnų? Ar buvo tikėtina, kad taip nutiks, ar visiškai neįtikėtina? Ar tai gali nutikti kitur Visatoje, ar esame daugmaž vieni?

Jei neatiduosime klausimo tiems, kurie norėtų pridėti „šiek tiek Dievo įtakos“, tikėtinų idėjų netrūksta. Problema kyla dėl įrodymų, ypač dėl atėjusių iš senų laikų (turbūt prieš 2000 mln. m., kai, kaip manoma, atsirado pirmosios sudėtingos ląstelės), aiškinimo. O pagrindinis klausimas – kodėl per visą mūsų planetos gyvybės istoriją sudėtinga gyvybė atsirado tik kartą?

Visi augalai ir gyvūnai yra neabejotinai susiję, vadinasi, visi turime bendrąjį protėvį. Sudėtinga gyvybė iš bakterijų neatsirado skirtingu metu – vieni augalai iš vienos bakterijų rūšies, kiti augalai – iš kitos, grybai ar dumbliai – iš trečios. Priešingai, sudėtinga ląstelė iš bakterijų kilo tik vieną kartą, o šios ląstelės palikuonys sukūrė visas didžiąsias sudėtingos gyvybės karalystes: augalus, gyvūnus, grybus ir dumblius. Ta pagrindinė ląstelė, visos sudėtingos gyvybės protėvis, labai skiriasi nuo bakterijos.

Jei įsivaizduotume gyvybės medį, tai bakterijos sudarytų šaknis, o mums žinomi sudėtingi organizmai – šakas. Bet kas nutiko kamienui? Nors viena-

## SUDĖTINGA LĄSTELĖ

ląščius pirmuonis, tarkime, amebas, galime laikyti tarpinėmis formomis, daugeliu atžvilgių jie beveik tokie pat sudėtingi kaip augalai ir gyvūnai. Žinoma, jiems tenka žemesnė šaka, bet vis tik jie yra gerokai aukščiau kamieno.

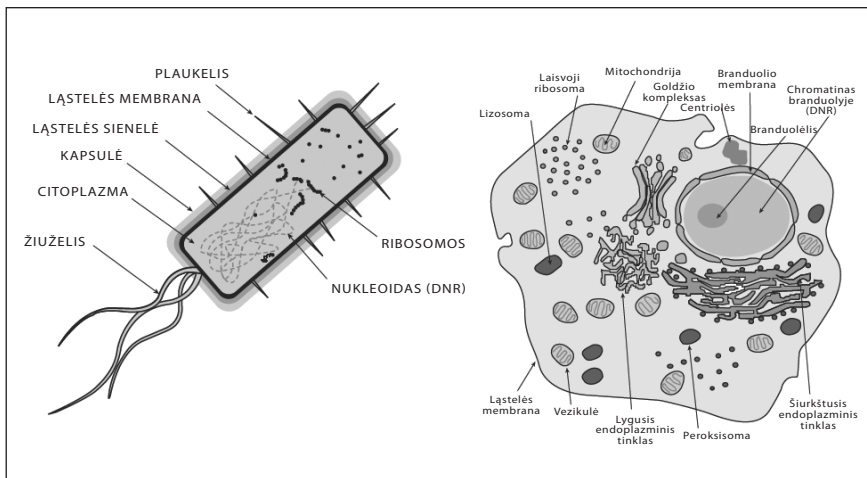
Praraja tarp bakterijų ir viso kito yra ląstelių struktūrizavimo klausimas. Bent morfologiniu požiūriu – savo forma, dydžiu ir turiniu – bakterijos yra paprastos. Jų forma paprasta – dažniausiai rutulys ar lazdelė. Formą palaiko standi ląstelės sienelė, gaubianti jos išorę. Viduje irgi nedaug pamatysime net ir pro elektroninį mikroskopą.

Bakterijos turi tik mažumą to, ko reikia gyventi laisvėje. Jos yra negailestingai racionalizuotos, ir viskas pritaikyta greitai replikacijai. Dauguma turi tik tiek genų, su kiek įmanoma išsiversti. Jei patiria sunkumų, jos linkusios pasiimti papildomų genų iš kitų bakterijų, sustiprinti savo genų išteklius ir, pasitaikius pirmai progai, vėl jų atsikratyti. Maži genomai greitai nukopijuojami. Kai kurios bakterijos gali daugintis kas 20 minučių ir didžiuliu tempu augti tol, kol užtenka žaliavų. Jei turėtų pakankamai išteklių (akivaizdžiai neįmanomas dalykas), viena bakterija, sverianti vieną milijardą gramų dalį, mažiau nei per 2 dienas galėtų išaugti į populiaciją, kurios svoris prilygtų Žemės svoriui.

Dabar pakalbėkime apie sudėtingas ląsteles, turinčias pagarbią baimę keliantį pavadinimą – *eukariotai*. Norėčiau, kad jos vadintųsi maloniau, nes jų svarba milžiniška. Visos šios Žemės esybės – visos sudėtingos gyvybės formos, apie kurias kalbėjome – yra eukariotinės. Pavadinimas kilęs iš graikų kalbos: *eu* – tikras, + *karyon* – (riešuto) branduolys. Taigi, eukariotinės ląstelės turi tikrą branduolį, kuris jas skiria nuo bakterijų.

Pastarosios vadinamos *prokariotais*, nes branduolio neturi. Tam tikru požiūriu priešdėlis *pro-* rodo vertę, nes jis reiškia, kad prokariotai atsirado anksčiau nei eukariotai. Manau, tai beveik neabejotinai tiesa, tačiau kai kurie mokslininkai nesutiktų. Nesvarbu, kada jos atsirado tiksliai, branduolys yra pagrindinė visų eukariotinių ląstelių savybė. Negalime paaiškinti evoliucijos, kol nesuprantame, kaip ir kodėl atsirado branduolys, ir atvirkščiai – kodėl bakterijose neišsivystė tikras branduolys?

Branduolys yra ląstelės „valdymo centras“. Jame glūdi DNR, t. y. genai. Neskaitant paties jo egzistavimo, bakterijoms nebūdingos ir kitos kelios eukariotinio branduolio savybės. Eukariotai neturi vienos žiedinės chromosomos



4.1 PAV. PROKARIOTINIŲ LĄSTELIŲ, PVZ., BAKTERIJŲ, IR SUDĖTINGŲ LĄSTELIŲ, VIDUJE TURINČIŲ ĮVARIŲ DALYKŲ – BRANDUOLĮ, ORGANELES IR VIDINIŲ MEMBRANŲ SISTEMAS – SKIRTUMAI. PIEŠINYS NEATITINKA MASTELIO – EUKARIOTAI UŽ BAKTERIJAS YRA VIDUTINIŠKAI 10 000 – 100 000 KARTŲ DIDESNI.

kaip bakterijos, bet turi daug tiesių, dažnai susijungusių į poras. Genai nėra kaip karoliukai suverti palei chromosomą kaip bakterijų, bet išdalyti didelėmis nekoduojančios DNR atkarpomis tarp jų – mūsų, eukariotų, genai kažkodėl išsidėstę gabalėliais. Galiausiai mūsų genai nėra „nuogi“ kaip bakterijų, bet apsupti baltymų – jie patikimai saugomi nuo pažeidimo – tarsi įvynioti į šiuolaikinį dovanų pakavimo plastiką.

Neskaitant branduolio, eukariotinės ląstelės taip pat labai skiriasi (žr. 4.1 pav.). Jos paprastai daug didesnės nei bakterijos – vidutiniškai 10 000 – 100 000 kartų. Jose yra daug įvairių dalykų: membranų sluoksniai, daug uždarytų vezikulių ir dinamiškas vidinis ląstelės skeletas, teikiantis struktūrinę atramą ir tuo pat metu ląstelėje galintis persiformuoti – tai leidžia keisti formą ir judėti.

Turbūt svarbiausios yra organelės. Šie mikroskopiniai organai skirti tam tikriems tikslams, kaip ir inkstai ar kepenys atlieka specialias funkcijas žmogaus kūne. Būtiniausios – mitochondrijos, dar vadinamos ląstelės jėgainėmis, nes generuoja energiją ATP forma. Vidutinė eukariotinė ląstelė turi kelis šimtus mitochondrijų, bet kai kurios turi net iki 100 000. Kažkada mitochondrijos buvo laisvai gyvenančios bakterijos, ir jų įkalinimo ląstelėse pasekmės bus plačiai aptariamos šiame skyriuje.



## SUDĖTINGA LĄSTELĖ

Tai tik išvaizdos skirtumai. Savo elgesiu eukariotinės ląstelės taip pat stulbina, ir jos visiškai skiriasi nuo bakterijų. Nepaisant kelių nereikšmingų išimčių, beveik visi eukariotai užsiima lytiniais santykiais – jie sukuria ląsteles, panašias į spermą ir kiaušialąstę, kurie susijungia ir sudaro hibridinę ląstelę, turinčią pusę tėvo ir pusę motinos genų (plačiau apie tai kitame skyriuje).

Visos eukariotinės ląstelės dalijasi lyg šokdamos kerintį chromosomų šokį: pastarosios pasidvigubina ir susilygiuoja ant mikrovamzdelio ašies, tada nukeliauja į priešingas ląstelės puses, lyg nusilenkdamos ir darydamos reveransą. Ekscentriškų eukariotinių ląstelių savybių sąrašą galima tęsti, bet norėčiau tik paminėti dar vieną dalyką – fagocitozę, arba gebėjimą praryti visas ląsteles ir suvirškinti.

Panašu, kad ši savybė labai sena, nors kai kurios grupės – grybai ir augalai – ją prarado. Taigi nors dauguma gyvūnų ir augalų ląstelių nemedžioja ir neryja, imuninės ląstelės, naikindamos bakterijas, būtent tai ir daro, naudojamos tokį pat mechanizmą kaip ir amebos.

Visa tai galioja visoms eukariotinėms ląstelėms – ir augalų, ir gyvūnų, ir amebų. Žinoma, jos daug kuo ir skiriasi, bet, palyginus panašumus, skirtumai atrodo visiškai nereikšmingi. Pavyzdžiui, daugelis augalų ląstelių turi chloroplastus – organeles, atsakingas už fotosintezę. Kaip ir mitochondrijos, chloroplastai kažkada buvo laisvai gyvenančios bakterijos (šiuo atveju melsva-bakterės), kurias prarijo bendrasis visų augalų ir dumblių protėvis. Dėl kažkokios priežasties ši ląstelė nesuvirškino savo pietų ir dėl nevirškinimo ėgijo viską, ko reikia savarankiškai gyventi, naudojant tik saulės šviesą, vandenį ir anglies dioksidą.

Vienas gurkšnis išjudino visą aplinkybių traukinį, kurios galiausiai atskyrė stacionarų augalų pasaulį nuo gyvūnų dinamiškumo. Tačiau, vertinant augalo ląstelę, tai yra vienintelis skirtumas, palyginti su tūkstančiu bendrų savybių. Galėtume tęsti. Augalai ir grybai atkuria išorines ląstelių sienes, kad sustiprintų struktūrą, turi vakuolių ir pan. Tačiau tai yra tik smulkūs skirtumai, palyginti su žiojinčia praraja, skiriančia eukariotines ląsteles nuo bakterijų.

Tai smalsumą žadinanti praraja, tuo pat metu ir tikra, ir įsivaizduojama. Visos aptartos bakterijų ir eukariotinių ląstelių savybės iš dalies sutampa. Yra keletas didelių bakterijų ir daug mažyčių eukariotų – jų dydžio skalė iš dalies sutampa. Bakterijos turi vidinį ląstelės skeletą palei ląstelės sienelę, sudarytą iš

skaidulų, kurios labai panašios į eukariotinės ląstelės skeleto skaidulas. Jis iki tam tikro laipsnio yra dinamiškas. Yra bakterijų su tiesiomis (ne žiedinėmis) chromosomomis, su branduolį primenančiomis sandaromis, su vidinėmis membranomis.

Kai kurios ląstelės bent jau dalį savo gyvenimo ciklo neturi sienelės. Kai kurios gyvena sudėtingose kolonijose, kurios gali būti palaikytos daugialąsčiais organizmais – ypač bakterijų apologetų. Yra net vienas kitas atvejis, kai bakterijos savo viduje laiko kitą, mažesnę bakteriją – mįslingas atradimas, nes nėra žinoma bakterijų, kurios galėtų praryti ląsteles fagocitozės būdu. Manau, bakterijos pradėjo eiti keliu beveik visų eukariotinių savybių link, bet tada sustojo ir dėl kažkokios priežasties bandymo tęsti nebegalėjo.

Ne be priežasties galite manyti, kad dalinis sutapimas yra tas pat, kas tęstinumas, todėl nereikia nieko aiškinti. Jei nuo vieno spektro krašto, kur yra paprastos bakterijos, iki kito, kur yra sudėtingi eukariotai, egzistuoja tęstinumas, tarp bakterijų ir eukariotų negali būti spragos. Tam tikru atžvilgiu tai tiesa, bet manau, tai ir klaidina. Nors išties iš dalies sutampa, tai yra sutampa du skirtingi spektrai – trumpas bakterijų spektras nuo „visiško paprastumo“ iki „riboto sudėtingumo“ ir daug ilgesnis eukariotų spektras nuo „riboto sudėtingumo“ iki „neįtikėtino sudėtingumo“. Taip, sutampa, bet bakterijos tęstinume toli nenuėjo, nuėjo tik eukariotai.

Skirtumą įtaigiai pagrindžia istorija. Pirmuosius 3000 mln. ar panašiai metų prieš 4000–1000 mln. m. Žemėje vyravo bakterijos. Jos visiškai pakeitė savo pasaulį, bet pačios beveik nepasikeitė. Bakterijų sukelti aplinkos pokyčiai buvo tokie, kad žmonėms sunku net įsivaizduoti.

Pavyzdžiui, visas deguonis ore atsirado iš fotosintezės, pirmiausia – vien iš melsvabakterių. „Didysis oksidavimas“, kai oras ir saulės nušviesti vandenynai prisipildė deguonies maždaug prieš 2200 mln. m., amžiams pakeitė mūsų planetą, tačiau bakterijoms pasikeitimas didelio įspūdžio nepadarė. Tai buvo paprasčiausias ekologinis pasikeitimas į bakterijas, mėgstančias deguonį.

Vienoms bakterijoms aplinka buvo palankesnė nei kitoms, bet jos visos užsispyrusios išliko bakterijomis. Jos oksidavo metaną atmosferoje, sukėlė globalinį užšalimą ir pirmąjį „sniego gniūžtės“ Žemės laikotarpį, bet visuomet išliko bakterijomis.

Matyt, reikšmingiausią pokytį sukėlė sudėtingų daugialąsčių eukariotų atsiradimas per pastaruosius 600 mln. m. Eukariotai bakterijoms siūlė naujų išgyvenimo būdų, tarkime, sukelti užkrečiamąsias ligas, tačiau bakterijos tebėra bakterijos. Nėra nieko konservatyvesnio nei bakterija.

Taigi prasidėjo eukariotų istorija. Pirmą kartą tapo įmanoma iškęsti vieną dalyką po kito, užuot gyvenus nesibaigiančioje vienodybėje. O keletą kartų viskas vyko itin greitai. Pavyzdžiui, Kambro sprogymas yra geras eukariotų veiklos pavyzdys. Tai buvo geologinis laikotarpis, trukęs apie 2 mln. m., kai pirmą kartą fosilijose aptikta didelių gyvūnų požymių.

Tai nebuvo morfologiškai nedrąsios formos – ne kirmėlių paradas, o nuostabus keistų kūnų podiumas, kurių dalis išnyko taip pat greitai, kaip ir atsirado. Atrodė, lyg staiga būtų atsibudęs pamišęs kūrėjas ir iškart ėmėsis atsigriebti už prarasto laiko eras.

Techninis tokio sprogyimo terminas – radiacija, kai staiga atsiranda konkreti forma ir išgyvena trumpą nevaldomos evoliucijos tarpsnį. Iš protėvio formos spinduliuoja naujos išradingos formos, kaip rato stipinai. Nors Kambro sprogymas žinomiausias, yra daug kitų pavyzdžių: žemės kolonizavimas, žydinčių augalų atsiradimas, žolių paplitimas, žinduolių diversifikacija.

Tokie reiškiniai įvyksta, kai genetinė perspektyva susiduria su aplinkos galimybėmis lyg po masinio išnykimo. Nepaisant jų priežasties, tokia nuostabi radiacija yra tik eukariotinė. Kiekvieną kartą suklestėdavo tik eukariotiniai organizmai; bakterijos, kaip visada, liko bakterijomis. Galima daryti išvadą, kad žmogaus protas, sąmonė ir visos savybės, kurias branginame ir kurių ieškome kitur Visatoje, negalėjo atsirasti iš bakterijų – bent Žemėje, tai tik eukariotų savybės.

Šis skirtumas verčia surimtėti. Nors bakterijos mus, eukariotus, lenkia savo sumania biochemija, morfologinis jų potencialas labai mažas. Jos nesugeba sukurti stebuklų, kuriuos matome aplink – kinrožės ar kolibras. Dėl to perėjimas nuo paprastų bakterijų prie sudėtingų eukariotų tikriausiai yra svarbiausias perėjimas mūsų planetos istorijoje.



Darvinistams ne itin patinka spragos. Natūraliosios atrankos koncepcija yra laipsniška mažų pakopų eilė, kur kiekviena tobulesnė už ankstesnę. Vadinasi,

turėtume matyti daug daugiau tarpinių variantų. Pats Č. Darvinas šią problemą sprendė savo knygoje „Rūšių kilmė“: jis teigė, kad visos tarpinės pakopos yra mažiau prisitaikiusios nei „galutinis rezultatas“, kurį matome šiandien. Dėl pačios atrankos pobūdžio prastesnės formos pralaimi geresniems varžovams.

Akivaizdu – puikiai skristi sugebančiam paukščiui pasiseks labiau nei giminaičiams, gavusiems strampgalius vietoj sparnų. Taip pat nauja programinė kompiuterių įranga pakeičia pasenusias versijas; kada paskutinį kartą matėte operacinę *Windows 286* ar *386* sistemą? Kažkada jos buvo naujovė, kaip ir savo kontekste sparnų prototipai (tiesą sakant, juos ir šiandien turi voverės skraiduolės ar puošniosios medžių gyvatės).

Tačiau, bėgant laikui, senosios operacinės sistemos dingio be pėdsako, palikdamos „tuštumą“ iki, pavyzdžiui, *Windows XP*.<sup>1</sup> Suprantame, operacinės *Windows* sistemos vis tobulėjo, bet jei ieškosime evoliucijos įrodymų, paprasčiausiai lygindami su šiandieniniais kompiuteriais, vargu ar jų rasime, išskyrus kelias apdulkėjusias fosilijas palėpėje. Panašiai ir gyvybės atveju – jei norime rasti tęstinumo įrodymų, turime žiūrėti į fosilijas ir į laikotarpį, kai vyko pokyčiai.

Žinoma, fosilijų informacija yra fragmentiška, bet yra daug daugiau tarpinių formų, nei nori pripažinti rėksminga fanatikų mažuma. Kai Č. Darvinas rašė savo darbus, tarp žmogbeždžionių ir žmonių buvo „trūkstama grandis“ – nebuvo hominidų, turinčių tarpines savybes, fosilijų.

Tačiau per pastarąjį pusimtį metų paleontologai jų rado dešimtis. Apskritai, jie visi atitinka savybes, kurių buvo tikimasi, pavyzdžiui, smegenų dydžio ar eisenos. Dabar, kai tarpinių formų nebetrūksta, skundžiamasi dėl per-tekliaus. Sunku nustatyti, kurie hominidai yra šiuolaikinių žmonių protėviai, o kurie išnyko. Kadangi (kol kas dar) nežinome visų atsakymų, vis girdėti pareiškimų, kad trūkstamos grandies taip ir *nebuvo rasta* – tai neatitinka sąžiningumo ir tiesos.

Mano, kaip biochemiko, požiūriu, fosilijos yra tik įdomi pramoga. Atsižvelgiant į fosilizacijos neįtikimumą, nenusipėjamumą ir sisteminį nepalan- kumą minkštakūniams gyvūnams, tarkime, medūzoms, taip pat augalams ir gyvūnams, gyvenantiems ant sausos žemės, fosilijos *negali* išsaugoti tikslios praeities informacijos.

Jei taip būtų, įtartume apgaule. Kai joms kartais pavyksta tai išsaugoti, turėtume tuo džiaugtis kaip laimingu atsitiktinumu, retu aplinkybių susi-

klostymu ar net stebuklu, tačiau jos neturi reikšti daugiau, nei malonus tikrų natūraliosios atrankos įrodymų patvirtinimas. Genomikos amžiuje tie tikri įrodymai supa mus iš visų pusių – genų sekose.

Genų sekos išsaugo kai ką daug artimesnio evoliucijos sandarai nei fosilijos. Paimkite bet kurį geną. Jo seka yra ilga virtinė raidžių, kurių tvarka koduoja aminorūgščių eilę baltyme. Paprastai baltyme yra pora šimtų aminorūgščių, kurių kiekvieną koduoja DNR raidžių tripletas (žr. 2 skyrių).

Kaip minėjau, eukariotų genuose dažnai būna ilgų nekoduojančių DNR atkarpų, įsiterpusių tarp trumpesnių koduojančių atkarpų. Viską sudėjus, geno seką paprastai sudaro tūkstančiai raidžių. O panašiai sudarytų genų yra dešimtys tūkstančių. Apskritai genomai yra juosta su milijonais ar milijardais raidžių, kurių tvarka daug sako apie evoliucinį jo savininko paveldą.

Tų pačių genų, koduojančių baltymus, atsakingus už tas pačias funkcijas, randama įvairiose rūšyse – nuo bakterijų iki žmonių. Evoliucijos laikotarpiu kenksmingas genų sekos mutacijas išrankioja natūralioji atranka. Taip išlaikomos tos pačios raidės tose pačiose genų sekos vietose. Visiškai praktiniu požiūriu, tai savo ruožtu reiškia, kad galime atpažinti susijusius genus skirtingose rūšyse net praėjus begalinėms eroms.

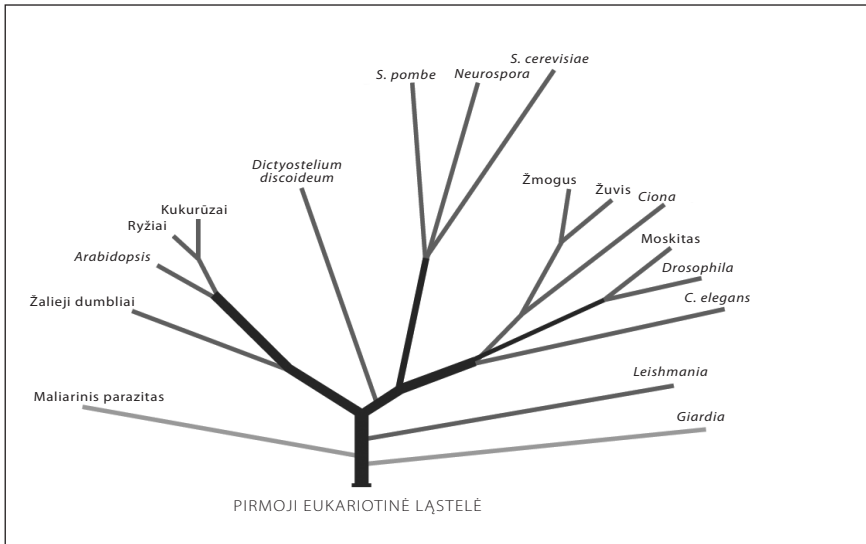
Dažniausiai tik nedidelė dalis iš tūkstančių geno raidžių yra itin svarbios – kitos gali daugiau mažiau laisvai kisti, kaupiantis mutacijoms, nes pokyčiai nėra svarbūs, ir natūralioji atranka jų nepašalina. Kuo daugiau laiko praeina, tuo daugiau susikaupia mutacijų, tuo labiau ima skirtis genų mutacijos.

Rūšys, sąlygiškai neseniai turėjusios bendrąją protėvį, pavyzdžiui, žmonės ir šimpanzės, turi daug bendrų genų sekų, o turinčios tolimą bendrąją protėvį, sakykime, narcizai ir žmonės, jų turi mažiau. Principas panašus į kalbas, kurios, laikui bėgant, atitolsta viena nuo kitos ir pamažu praranda bendrumą, bet per kelis užslėptus panašumus jas vis dar galima susieti.

Genų medžiai paremti rūšių genų sekų skirtumais. Nors mutacijų kaupimas yra iš dalies atsitiktinis, jos atsveriamos, lyginant su tūkstančių raidžių vidurkiu, rodančiu statistinę sąryšio tikimybę. Remdamiesi vienu genu, galime atkurti visų eukariotinių organizmų šeimos medį tokiu tikslumu, apie kurį fosilijų medžiotojai nė nesvajoja.

Jei abejojate, atlikite bandymą su kitoku genu ir pamatysite, ar gausite tą patį dėsningumą. Kadangi eukariotiniai organizmai turi šimtus ar net tūks-

## GYVYBĖS TRIUMFAS



4.2 PAV. ĮPRASTAS GYVYBĖS MEDIS, RODANTIS EUKARIOTINIŲ ORGANIZMŲ DIVERGENCIJĄ NUO BENDROJO PROTĖVIO – VIENALĄSČIO ORGANIZMO, GYVENUSIO MAŽDAUG PRIEŠ 2 MLRD. M. KUO ILGESNĖ ŠAKA, TUO DIDESNIS EVOLIUCINIS ATSTUMAS, T. Y. TUO SKIRTINGESNI GENAI.

tančius bendrų genų, šį metodą galima taikyti daug kartų, o gautus medžius sudėti vieną ant kito. Kompiuteriu galima sukurti bendrą medį, rodantį labiausiai tikėtiną visų eukariotinių organizmų ryšį.

Toks metodas visiškai kitoks, nei metodai, paliekantys spragų fosilijų informacijoje – galime tiksliai matyti mūsų ir augalų, grybų, dumblių ir t. t. sąsajas (žr. 4.2 pav.). Č. Darvinas nieko nežinojo apie genus, tačiau būtent smulki genų sandara pašalino visas nemalonus spragas darvininiame požiūryje į pasaulį.

Kol kas viskas gerai, bet ir čia yra šiokių tokių problemų. Jas daugiausia sukelia statistinės per ilgą laikotarpį įvykusių pokyčių matavimo paklaidos. Pagrindinė problema ta, kad yra tik 4 skirtingos DNR raidės, ir mutacijos (bent jau tokios, kurios mums šiuo atveju įdomios) vieną raidę paprastai pakeičia kita. Jei visos raidės pakeistos tik kartą – viskas puiku, tačiau per ilgą evoliucinio laikotarpio atkarpas daugelis jų pakeičiamos daugiau nei vieną kartą.

Kadangi kiekvienas pokytis lyg loterija, negali žinoti, ar kiekviena raidė buvo pakeista kartą, 5 ar 10 kartų. O jei raidė nepasikeitusi, gali būti, kad ji

visai nebuvo pakeista arba pakeista kelis kartus, kiekvieną kartą su 25 % tikimybe gražinti pirmąją raidę.

Kadangi tokia analizė paremta statistine tikimybe, ateina momentas, kai alternatyvių galimybių nebeįmanoma atskirti. Deja, taškas, kuriame imame plaukioti statistinių abejonių jūroje, maždaug sutampa su pirmosios eukariotinės ląstelės atsiradimu. Svarbus perėjimas nuo bakterijų prie eukariotų skendi genetinio netikrumo tvane. Vienintelis būdas išspręsti problemą – naudoti smulkesnį statistinį sieta, t. y. kruopščiau atrinkti genus.

Eukariotinės ląstelės turi 2 dideles genų klases: viena jungia tuos genus, kurie turi ekvivalentus bakterijose, kita – tuos, kurie būdingi tik eukariotams. Bakterijų pasaulyje nieko panašaus į juos iki šiol neaptikta.<sup>2</sup> Šie unikalūs genai vadinami genetiniu eukariotų parašu, o dėl jų paveldėjimo įnirtingai ginčijamasi.

Vieni sako, kad jie įrodo, jog eukariotų domeną yra toks pat vertas pagarbos, kaip ir bakterijos. Jie teigia: tai, jog tiek daug eukariotų genų yra skirtingi, reiškia, kad eukariotai nuo bakterijų atsiskyrė seniausiais laikais. Jei laikysime, kad jų divergencijos tempas yra pastovus (lėtas mutacijos dažnio lyg molekulinio laikrodžio tikslėjimas), skirtumų mastas leistų manyti, kad eukariotai išsivystė daugiau nei prieš 5 mlrd. m., t. y. mažiau nei 0,5 mlrd. m. anksčiau, nei susiformavo Žemė. „Tikriausiai klaida,“\* – kaip pasakytų satyrinis *Private Eye* žurnalas.

Kiti teigia, kad genetinis eukariotų parašas nieko nesako apie evoliucinį eukariotų paveldėjimą, nes negalime sužinoti, kaip greitai evoliucionavo genai tolimoje praeityje, ir nėra jokios priežasties manyti, kad divergencija veikė kaip laikrodis. Be abejo, žinome: šiandien kai kurie genai evoliucionuoja greičiau nei kiti. Ir tai, kad molekulinis laikrodis rodo tokius abejotinai senus laikus, leidžia manyti – arba gyvybė buvo atnešta iš kosmoso (mano nuomone, tai atsakomybės vengimas), arba laikrodis rodo netiksliai.

Dėl ko jis gali rodyti netiksliai? Dėl to, kad genų evoliucijos tempas priklauso nuo daugybės aplinkybių, ypač nuo paties organizmo. Kaip matėme, bakterijos yra tikros konservatorės, amžinai išliekančios bakterijomis, o eukariotai linkę į visokių pokyčių epizodus, kaip per Kambro sprogimą.

Genetiniu požiūriu tikriausiai nebuvo sukrečiamesnio meto nei pačios eukariotinės ląstelės susiformavimas, ir tokiu atveju reikia tikėtis pašėlusio po-

\* Angl. *Shurely shome mishtake*.

kyčių tempo tuo pradiniu laikotarpiu. Jei eukariotai išsivystė vėliau nei bakterijos, kaip mano dauguma mokslininkų, tada jų genai labai skiriasi dėl to, kad kurį laiką jie itin greitai evoliucionavo mutuodami, rekombinuodamiesi, pasidalydami ir vėl mutuodami.

Tokiu atveju eukariotinis genų parašas negali daug papasakoti apie eukariotų evoliuciją. Jie evoliucionavo taip greitai ir taip toli, kad jų kilmę paslėpė laiko migla. Kokia yra antroji grupė genų – tų, kurie turi žinomus ekvivalentus bakterijose? Jie daug informatyvesni, nes juos galime lyginti vienus su kitais.

Genai, esantys ir bakterijose, ir eukariotuose, dažniausiai koduoja pagrindinius ląstelės procesus – pagrindinius metabolizmą (kaip generuojama energija ir naudojama kurti pagrindinius gyvybės „statybinius blokus“ – aminorūgštis ir lipidus) ar pagrindinius informacinius procesus (kaip nuskaitoma DNR ir paverčiama aktyvia baltymų „valiuta“).

Tokie pagrindiniai procesai paprastai evoliucionuoja lėtai, nes nuo jų daug kas priklauso. Pakeitus vieną baltymų sintezės aspektą, pasikeičia ne tik vieno, bet ir visų baltymų gamyba. Panašiai ir šiek tiek pakeitus energijos generavimą, gali kilti grėsmė visam ląstelės veikimui.

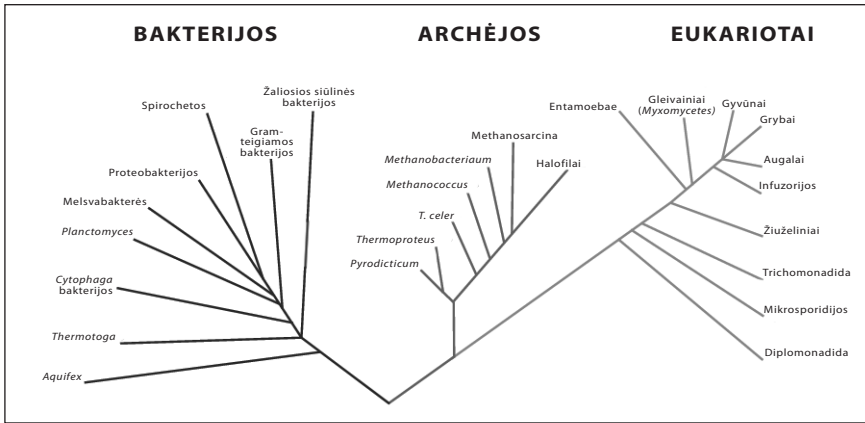
Kadangi labiau tikėtina, jog pagrindinių genų pokyčius labiau veiks natūralioji atranka, šie genai evoliucionuoja lėtai, todėl iš jų galėtume gauti smulkesnę evoliucijos analizę. Iš tokių genų sudarytas medis galėtų iš esmės parodyti, kaip eukariotai susiję su bakterijomis. Jis galėtų nurodyti, iš kurių grupių jie kilo, ir galbūt net duoti užuominų kodėl.

Amerikiečių mikrobiologas Karlas Vuzas (*Carl Woese*) tokį medį pirmą kartą sudarė aštuntojo dešimtmečio pabaigoje. Jis pasirinko geną, koduojantį pagrindinį informacinį ląstelės procesą – dalį mažųjų molekulinį mechanizmų, atliekančių baltymų sintezę ir vadinamų ribosomomis. Dėl techninių priežasčių K. Vuzas nenaudojo paties geno, bet jo RNR kopiją, kuri nuskaitoma nuo geno ir įvedama tiesiai į ribosomą. Jis atskyrė šią ribosomos RNR įvairiose bakterijose ir eukariotuose, sudarė seką ir, jas lygindamas, nubraižė medį. Rezultatai pribloškė – jie prieštaravo ilgalaikėms idėjoms apie gyvojo pasaulio sandarą.

K. Vuzas nustatė, kad visa mūsų planetos gyvybė skirstoma į 3 dideles grupes – domenų (žr. 4.3 pav.). Pirmoji grupė yra bakterijos, kaip ir galima numanyti, antroji – eukariotai. Tačiau trečioji grupė, dabar vadinama archėjomis, atsirado iš niekur ir prisiėmė svarbų vaidmenį pasaulio scenoje.



## SUDĖTINGA LĄSTELĖ



4.3 PAV. GYVYBĖS MEDIS, PAREMTAS RIBOSOMŲ RNR, IR VAIZDUOJANTIS K. VUZO SKIRSTYMĄ Į TRIS GYVYBĖS DOMENUS: BAKTERIJAS, ARCHĖJAS IR EUKARIOTUS.

Nors jau šimtmetį buvo žinoma apie keletą archėjų rūšių, iki naujojo K. Vuzo medžio jos buvo laikomos tiesiog maža atskilusia bakterijų grupele. K. Vuzui sudarius medį, jos tapo tokios pat svarbios, kaip ir eukariotai, nors *atrodo* visiškai kaip bakterijos: mažytės, dažniausiai turi išorinę ląstelės sienelę, neturi nei branduolio, nei nieko ypatingo viduje, nesudaro kolonijų, kurios galėtų būti palaikytos daugialąsčiais organizmais.

Jų svarbos iškėlimas daugeliui pasirodė kaip įžūlus pasaulio pertvarkymas, į žemesnę padėtį perkeliant nuostabią augalų, gyvūnų, grybų, dumblių ir pirmuonių įvairovę ir juos nukišant į nereikšmingą medžio, kuriame vyrauja prokariotinės ląstelės, kamputį. K. Vuzas skatino patikėti, kad įvairiausi augalų ir gyvūnų skirtumai yra niekis, palyginti su nematoma bedugne tarp bakterijų ir archėjų.

Žymūs mokslininkai Ernstas Mairas (*Ernst Mayr*) ir Lina Margulis (*Lynn Margulis*) pasipiktino. Po kelerių metų, prisimindamas aštrias pastabas, *Science* žurnalas pasveikino K. Vuzą kaip „randuotą mikrobiologijos revoliucionierių“.

Tačiau dauguma mokslininkų dabar pripažįsta K. Vuzo medį ar bent archėjų svarbą. Biocheminiu lygmeniu jos tikrai skiriasi nuo bakterijų beveik visais atžvilgiais. Ląstelės membraną sudaro kitokie lipidai, sintetinami skirtingų fermentų. Jų ląstelės sienelė neturi nieko bendra su bakterijos ląstelės sienele. Jų metabolizmo būdai tik šiek tiek panašūs į bakterijų.

Kaip matėme 2 skyriuje, genai, kontroliuojantys DNR replikaciją, beveik nesusiję. O dabar, kai viso genomo analizė tapo įprastu dalyku, žinome, kad archėjos ir bakterijos turi mažiau nei  $\frac{1}{3}$  bendrų genų; kiti jų genai unikalūs. Apskritai netikėtas K. Vuzo RNR medis atskleidė daug esminių įprastai nepastebimų bakterijų ir archėjų biocheminių skirtumų, o tai patvirtino jo drąsų gyvybės pergrupavimą.

Kitas netikėtas K. Vuzo medžio aspektas – nepaprastai artimas archėjų ir eukariotų ryšys: jie turi bendrąjį protėvį, kuris tik tolimai susijęs su bakterijomis (žr. 4.3 pav.). Kitaip tariant, bendrasis archėjų ir eukariotų protėvis evoliucionuodamas labai anksti atsiskyrė nuo bakterijų, o vėliau pasidalijo ir davė pradžią dabartinėms archėjoms ir eukariotams.

Biochemija bent keliais svarbiais aspektais irgi patvirtina K. Vuzo medį. Archėjos ir eukariotai turi daug bendra, ypač pagrindiniuose informaciniuose procesuose. Ir vieni, ir kiti savo DNR įvynioja į labai panašius baltymus (histoną), panašiai replikuojasi ir nuskaito savo genus, ir vieni, ir kiti baltymus gamina tokiu pat mechanizmu, o bakterijos visa tai daro labai skirtingai. Šiais atžvilgiais archėjos yra trūkstama grandis tarp bakterijų ir eukariotų. Iš esmės archėjos yra giminingos bakterijoms savo išvaizda ir elgesiu, bet turi keletą labai eukariotiškų savybių, t. y. kaip jos elgiasi su DNR ir baltymais.

Deja, K. Vuzo medis sudarytas pagal vieną geną, todėl netenka statistinės galios, genų medžius sudedant vieną ant kito. Vieno geno medžiu galime remtis tik tada, kai galime būti tikri, kad pasirinktas genas atskleidžia tikrą eukariotinių ląstelių paveldą.

Geriausias būdas tai patikrinti – sukloti vieną ant kito lėtai evoliucionuojančius kitus genus ir pažiūrėti, ar jie replikuojasi irgi tokiu pat šakojimosi būdu. Rezultatai glumina. Jei pasirenkame tik tuos genus, kuriuos turi visi gyvybės domenai (bakterijos, archėjos ir eukariotai), galime atkurti stiprius bakterijų ir archėjų medžius, bet ne eukariotų.

Eukariotai yra painus mišinys. Panašu, kad vieni mūsų genai kilę iš archėjų, kiti – iš bakterijų. Kuo daugiau genų tyrinėjame (vienai naujai analizei buvo panaudota 5700 genų iš 165 rūšių sudaryti „supermedį“), tuo aiškiau, kad eukariotinė ląstelė neevoliucionavo įprastu darvininiu būdu, bet greičiau kažkaip susiliejus milžiniškam kiekiui genų. Genetiniu požiūriu pirmasis eukariotas buvo chimera – pusiau archėja, pusiau bakterija.

Anot Č. Darvino, gyvybė evoliucionuoja, laikui bėgant lėtai kaupdama skirtumus ir kaip atskira rūšis atsiskirdama nuo bendrojo protėvio. To rezultatas – šakotas medis, ir tokie medžiai neabejotinai yra geriausias būdas pavaizduoti daugumos mūsų, kitaip sakant – daugumos didelių eukariotų – matoimų organizmų evoliuciją. Tačiau taip pat aišku, kad medis nėra tinkamiausia priemonė pavaizduoti mikrobo evoliuciją, nesvarbu, ar tai būtų bakterijos, archėjos, ar eukariotai.

Darvininius genų medžius supainioja du procesai: horizontalus genų perdavimas ir viso genomo susiliejimas. Mikrobo filogenijos specialistams, bandantiems suprasti bakterijų ir archėjų ryšius, horizontalus genų perdavimas yra įprastas. Šis gana gremėzdiškas terminas reiškia, kad genai vieno organizmo kitam perduodami lyg pinigai. To rezultatas – bakterijos antrinei bakterijai perduotas genomas gali būti arba gali nebūti panašus į iš pagrindinės bakterijos paveldėtą genomą.

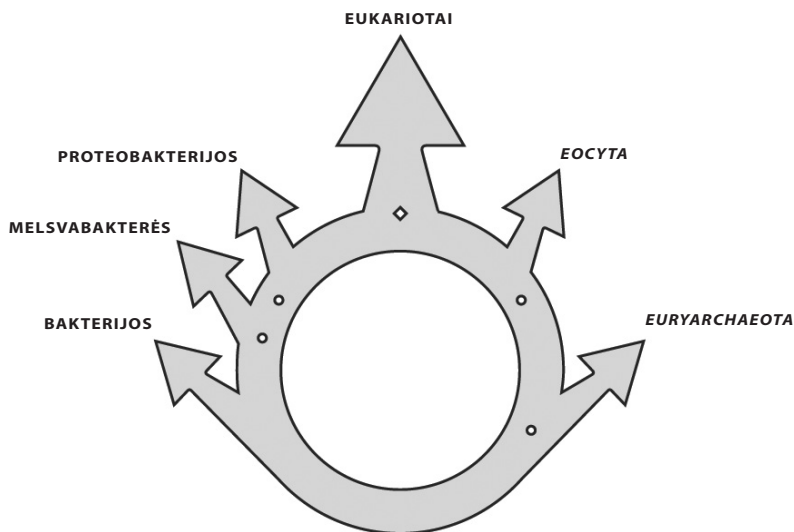
Kai kurie genai, pavyzdžiui, K. Vuzo ribosomų RNR, dažnai perduodami „vertikaliai“ iš kartos į kartą, o kitais genais keičiamasi su dažniausiai nesusijusiais mikrobais.<sup>3</sup> Bendras vaizdas – medžio ir tinklo hibridas, kur pagrindiniai genai (ribosomų RNR) sudaro medį, o kiti – tinklą.

Klausimas, ar yra pagrindinė genų grupė, *niekada* neperduodama horizontaliu būdu – ginčų objektas. Jei taip nėra, pati eukariotų evoliucijos atsekimo iki tam tikrų prokariotų grupių idėja virsta nesąmone. Istorinę tapatybę tokios grupės turi tik tuo atveju, jei jos paveldi savybes daugiausia iš savo protėvių, o ne iš kitų atsitiktinių grupių. Ir atvirkščiai, jei maža grupė pagrindinių genų *niekada* neperduodama horizontaliai, bet visi kiti genai *perduodami*, ką tai sako apie tapatybę? Ar *E. coli* tebėra *E. coli*, jei 99 % jos genų pakeičiami atsitiktine tvarka?<sup>4</sup>

Genomo susiliejimas kelia panašių sunkumų: darvininis medis apverčiamas aukštyrų kojomis – vietoj divergencijos atsiranda konvergencija. Kyla klausimas, kuris iš dviejų (ar daugiau) partnerių rodo tikrąją evoliucijos eigą? Jei atseksime tik ribosomos RNR geną, atkursime įprastai išsišakojusį darvininį medį, bet jei paimsime daug genų ar iš visus genomus, gausime žiedą, kuriame šakos iš pradžių atsiskiria, paskui vėl susijungia (žr. 4.4 pav.).

Neabejotinai eukariotinė ląstelė yra genetinė chimera – įrodymais niekas neabejoja. Dabar priešingas stovyklas skiriantis klausimas – kiek reikia

## GYVYBĖS TRIUMFAS



4.4 PAV. „GYVYBĖS ŽIEDAS“. PASKUTINIS BENDRASIS VISOS GYVYBĖS PROTĖVIS YRA APAČIOJE IR IŠSI-SKAIDO Į BAKTERIJAS (KAIRĖJE) IR ARCHĖJAS (DEŠINĖJE), KURIŲ ATSTOVAI VĖL SUSIJUNGIA IR SUKU-RIA CHIMERINIUS EUKARIOTUS (VIRŠUJE).

atsižvelgti į darvininę evoliuciją ir kiek – į radikalų genų susiliejimą? Kitaip tariant, kiek eukariotinės ląstelės savybių išsivystė per laipsnišką ląstelės šeiminkės evoliuciją, ir kiek jų galėjo vystytis genams *susiliejus*?

Per daugelį dešimtmečių pasiūlytos dešimtys eukariotinės ląstelės kilmės teorijų nuo visiškų vaizduotės vaisių ar net suklustotų duomenų iki kruopščiai atkurtos biochemijos. Nė viena jų nebuvo įrodyta. Visas teorijas galima suskirstyti į 2 grupes: vienos pabrėžia lėtą darvininę divergenciją, kitos – radikalų genų susiliejimą.

Šios grupės atitinka 2 senesnės kovos biologijoje teorijas – pirmą, teigiančią, kad evoliucija vyksta per laipsnišką nuolatinį kitimą, antrą, kad ilgi sąstingio, ar pusiausvyros, periodai kartais sudrumsčiami radikalų pokyčių. Kaip sakoma, lėtapėdžių evoliucija ir šuolininkų evoliucija.<sup>5</sup>

Kalbant apie eukariotinę ląstelę, K. Diuvas šias 2 grupes vadina primityviųjų fagocitų ir lemtingo susidūrimo hipotezėmis. Primityviųjų fagocitų idėja konceptualiai yra darvininė, ir ją labai įtakingamai gina Oksfordo evolucionistas Tomas Kavaljė-Smitas (*Tom Cavalier-Smith*) ir pats K. Diuvas.

Pagrindinė mintis ta, kad eukariotinės ląstelės protėvis pamažu sukau-pė visas šiuolaikinės eukariotinės ląstelės savybes, įskaitant branduolį, lytinius santykius, ląstelės skeletą ir, svarbiausia, fagocitozę, t. y. gebėjimą praryti kitas ląsteles, keičiant formą, jas apsupant ir suvirškinant. Vienintelė savybė, būdin-ga šiuolaikiniams eukariotams, bet šis primityvusis fagocitas jos neturi – tai mitochondrija, kuri gamina energiją, naudodama deguonį. Gali būti, ener-gijai gaminti jis naudojo fermentaciją – kur kas mažiau veiksmingą procesą.

Tačiau fagocitui ryti mitochondrijų protėvius – įprastas dalykas. Kas galėtų būti lengviau? Iš tiesų, kaip kitaip įvesti vieną ląstelę į kitą. Žinoma, mitochondrijų turėjimas primityviajam fagocitui suteikė svarbų privalumą – jos revoliuciškai pa-keitė energijos gamybą, bet iš esmės nepakeitė sandaros. Koks fagocitas buvo prieš prarydamas mitochondriją, toks ir liko, nors ir įgijo daugiau energijos.

Tačiau daugelis pavergtų mitochondrijų genų būtų perkelti į branduolį ir įterpti į ląstelės šeiminingą genomą. Šis perdavimas ir yra šiuolaikinės chi-meriškos eukariotinės ląstelės kilmės priežastis. Genai, gauti iš mitochondrijų, pagal paveldėjimą yra bakteriniai. Taigi primityviojo fagocito šalininkai ne-ginčia chimeriškos šiuolaikinių eukariotų kilmės, bet teigia, kad ląstelė šeimi-ninkė yra ne chimerinis fagocitas, o geriausiu atveju – primityvusis eukariotas.

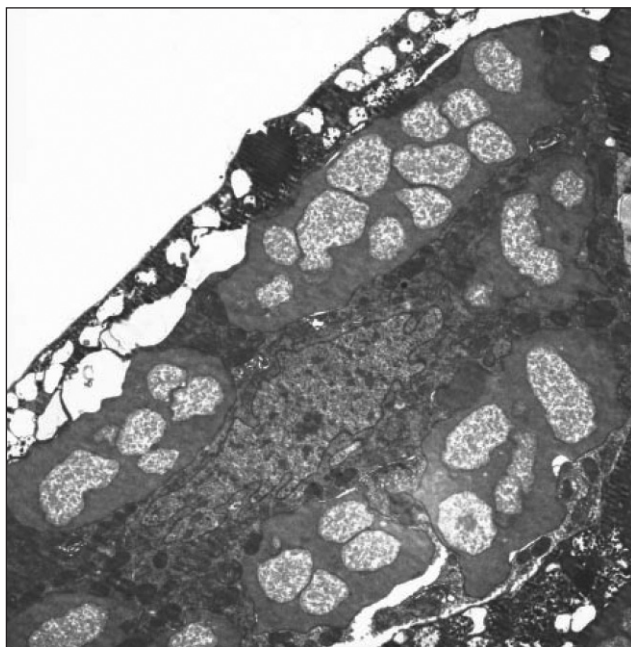
Devintojo dešimtmečio pradžioje T. Kavaljė-Smitas nurodė tūkstantį ar daugiau primityviai atrodančių vienaląsčių eukariotų rūšių, kurios neturi mi-tochondrijų. Jis samprotavo: galbūt dalis jų išliko nuo seniausių eukariotinės ląstelės laikų ir yra tiesioginiai primityviojo fagocito palikuonys, niekuomet neturėję mitochondrijų. Jei taip, neturėtų turėti genetinio chimeriškumo po-žymių, nes būtų evoliucionavę tik per darvininius procesus.

Tačiau per vėlesnius 2 dešimtmečius paaiškėjo, kad jie visi chimeros: kaž-kada turėjo mitochondrijas, tik vėliau jų neteko ar pakeitė į ką nors kita. Šian-dien *visos* žinomos eukariotinės ląstelės turi arba turėjo mitochondrijas. Jei kada gyvavo primityvusis fagocitas be mitochondrijų, jokių palikuonių nepa-liko. Vadinas, tokio fagocito niekada nebuvo, jo egzistavimas yra hipotetinis.

Antroji teorijų grupė neša „lemtingo susidūrimo“ vėliavą. Šios teorijos daro prielaidą, kad dvi ar daugiau prokariotinių ląstelių turėjo kažkokį ryšį, dėl kurio susidarė glaudi ląstelių bendruomenė – chimera. Jei ląstelė šeiminin-kė buvo ne fagocitas, o archėja su ląstelės sienele, kyla svarbiausias klausimas – kaip kitos ląstelės pateko vidun?

Pagrindiniai šios idėjos šalininkai – L. Margulis ir B. Martinas, su kuriais jau susipažinome 1 skyriuje, nurodo įvairias galimybes. Pavyzdžiui, pirmoji mano, kad plėšri bakterija galėjo išsiskverbti į kitą bakteriją (tokių pavyzdžių yra). Antrasis, priešingai, nuodugniai tyrinėja abipusius metabolinius ląstelių ryšius, kai partneriai tarpusavyje keičiasi žaliavomis.<sup>6</sup> Šiuo atveju sunku suprasti, kaip vienas prokariotas fiziškai patenka į kitą be fagocitozės, tačiau B. Martinas pateikia 2 pavyzdžius, kai bakterijoms nutiko būtent tai (žr. 4.5 pav.).

Lemtingo susidūrimo teorijos yra iš esmės nedarvininės, todėl evoliucija jos laiko ne mažus pokyčius, o sąlygiškai kraštutinius įvykius, kai sukuriamą visiškai nauja esybė. Labai svarbi prielaida, kad visos eukariotinės savybės atsirado tik lemtingai *susijungus*. Pačios bendradarbiaujančios ląstelės buvo tikri prokariotai, neturintys fagocitozės, lytinių santykių, dinaminio citoskeleto, branduolio ir t. t. Šios savybės išsivystė tik joms susijungus. Taigi, pati sąjunga



4.5 PAV. BAKTERIJŲ LĄSTELĖS, GYVENANČIOS KITOSE BAKTERIJŲ LĄSTELĖSE. DAUG GAMA PROTEOBAKTERIJŲ (BLYŠKI, MARGA, PILKA SPALVA), GYVENANČIŲ BETA PROTEOBAKTERIJOJE (TAMSESNĖ PILKA). VISOS JOS – EUKARIOTINĖS LĄSTELĖS VIDUJE, KURIOS DĖMĖTAS BRANDUOLYS MATYTI ILIUSTRACIJOS APATINĖS DALIES VIDURYJE.

buvo kažkuo ypatinga, kad itin konservatyvius ir niekad nekintančius prokariotus pavertė jų priešingybe – greičio fanatiku, nuolat kintančiu eukariotu.

Kaip atskirti, kuri galimybė buvo labiau tikėtina? Jau matėme, kad, naudodami genetinių eukariotų parašą, to padaryti negalime. Neturime galimybių sužinoti, ar jie atsirado prieš 4, ar prieš 2 mlrd. m., ar evoliucionavo prieš susijungdami su mitochondrijomis, ar po to? Netgi lėtai evoliucionuojantys prokariotų genai nėra patikimi – viskas priklauso nuo to, kuriuos pasirinkime.

Pavyzdžiui, prisiminkime, kad K. Vuzo ribosomų RNR medžio duomenys su primityviojo fagocito modeliu dera. Taip yra dėl to, kad tame medyje eukariotai ir archėjos yra „seserinės“ grupės, turinčios bendrąją protėvį – jos turi tą pačią „motiną“. Vadinasi, eukariotai neišsivystė iš archėjų, taip pat viena sesuo neatsirado iš kitos. Šiuo atveju bendrasis protėvis beveik neabejotinai buvo prokariotas (kitais visos archėjos būtų netekusios branduolių), tačiau daugiau nieko tikro pasakyti negalime. Gali būti, kad eukariotinė linija evoliucionavo į primityvųjį fagocitą, prieš prarydama mitochondrijas, tačiau nėra jokių genetinių įrodymų, paremiančių šią hipotezę.

Atvirkščiai, jei sudarinėsime sudėtingesnius genų medžius, naudodami didesnę genų skaičių, seserinis eukariotų ir archėjų ryšys ims nykti, ir atrodys, kad eukariotai atsirado iš archėjų. Iš kurios archėjos konkrečiai – neaišku, tačiau didžiausias iki šiol atliktas tyrimas (kurį jau minėjau – supermedis iš 5700 genų) rodo, kad ląstelė šeimininkė buvo tikra archėja, galbūt artimiausia dabartinėms *Thermoplasma*.

Šis skirtumas itin svarbus. Jei ląstelė šeimininkė buvo tikra archėja (pagal apibrėžimą – prokariotas, neturintis branduolio, lyties, dinamiško ląstelės skeleto, fagocitozės ir t. t.), akivaizdu, kad ji nebuvo primityvusis fagocitas. Jei tai tiesa, „lemtingo susidūrimo“ hipotezė turi būti teisinga: eukariotinės ląstelės atsirado iš prokariotinių ląstelių sąjungos. Niekada nebuvo jokio primityviojo fagocito, ir įrodymų apie jo egzistavimą nebuvimas virsta jo nebuvimo įrodymu.

Tačiau mažai tikėtina, kad tai – galutinis atsakymas. Labai daug priklauso nuo to, kokie genai ar rūšys pasirenkami, taip pat atrankos kriterijai. Kiekvieną kartą jie vis kitokie, ir medis išsišakoja vis kitaip, supainiotas statistinių prielaidų, horizontalaus genų perdavimo prokariotams ir kitiems nežinomiems kintamiesiems. Galima tik spėlioti, ar, turint daugiau duomenų, galima išspręsti šį klausimą, ar genetika tiesiog negali į jį atsakyti – neaiškumo

principo (kuo arčiau prieiname, tuo neaiškiau viskas atrodo) ekvivalentas biologijoje. Tačiau jei klausimo neįmanoma išspręsti turint genetinius duomenis, ar konkuruojančios įnirtingai besiginčijančių mokslininkų grupės pasmerktos amžinai drabstyti purvais? Galbūt yra kitas būdas.



Visos žinomos eukariotinės ląstelės turi mitochondrijas arba turėjo. Įdomu, kad visos jos, funkcionuojančios kaip mitochondrijos, t. y. gaminančios energiją iš deguonies, tebeturi šiek tiek genų iš ankstesnio savo kaip laisvų bakterijų gyvenimo. Manau, šis mažytis mitochondrijų genomas slepia didelę eukariotinės ląstelės paslaptį.

Eukariotų divergencija vyksta jau maždaug 2 mlrd. m., ir per tą laiką kiekvienas jų netekdavo mitochondrijų genų. Visi eukariotai yra netekę 96–99,9 % savo mitochondrijų genų, galbūt perkeldami didžiąją jų dalį į ląstelės branduolį, tačiau nė vienas eukariotas nėra praradęs visų genų tuo pat metu, neprarasdamas galimybės naudoti deguonį.

Tai neatrodo kaip atsitiktinumas. Visų mitochondrijų genų perkėlimas į branduolį yra racionalus ir tvarkingas sprendimas. Kam palikti genų grupes kiekvienoje ląstelėje, jei 99,9 % genų išsaugoti vienoje vietoje – branduolyje – drauge su atsargine kopija? O palikus genus mitochondrijose, kiekvienoje jų taip pat turi būti ir visas jų perskaitymo ir pavertimo aktyviais baltymais mechanizmas. Toks švaistymas erzintų buhalterius, o natūralioji atranka, manykime, yra šventasis buhalterių globėjas.

Darosi įdomu. Mitochondrijos, atrodo, kvaila vieta laikyti genus. Jos dažnai vadinamos ląstelių jėgainėmis, ir ši paralelė gana tiksli. Mitochondrijų membranos keliose milijonosiose milimetro dalyse sukuria elektros krūvį, kurio įtampa prilygsta žaibui ir 1000 kartų viršija buitinę įtampą. Čia laikyti genus – tai tas pat, kas saugoti brangiausias Britanijos bibliotekos knygas rizingoje atominėje elektrinėje.

Ši grėsmė nėra tik teorinė. Mitochondrijų genai mutuoja daug greičiau nei genai branduolyje. Pavyzdžiui, mielėse – patogiame bandymų modelyje – jie mutuoja maždaug 10 000 kartų greičiau. Nepaisant to, labai svarbu, kad abu genomai (branduolio ir mitochondrijų) tinkamai funkcionuotų drauge. Aukštos įtampos energiją, varančią eukariotines ląsteles, generuoja abiejų ge-



## SUDĖTINGA LĄSTELĖ

nomų koduojami baltymai. Jei jie nefunkcionuoja drauge, bausmė – mirtis (ląstelės ir organizmo). Taigi abu genomai turi veikti kartu ir gaminti energiją.

Nepavykęs bendradarbiavimas baigiasi mirtimi, tačiau mitochondrijos genai mutuoja 10 000 kartų greičiau nei branduolio genai, todėl toks glaudus bendradarbiavimas beveik neįmanomas. Tai, be abejonės, ypatingiausia eukariotinių ląstelių savybė. Atmesti ją kaip paprasčiausią keistenybę, kaip dažnai daroma vadovėliuose, tai atmesti visą užuominų Everestą. Jei būtų naudinga atsikratyti visų mitochondrijų genų, galime būti tikri, kad natūralioji atranka iki šiol jau būtų tai atlikusi bent vienoje rūšyje. Vadinas, yra priežastis juos ten palikti.

Tai kam reikia išlaikyti mitochondrijų genomą? Anot laisvamano Dž. Aleno, kurio mintis apie fotosintezę aptarėme 3 skyriuje, jį išlaikyti reikia tam, kad būtų galima valdyti kvėpavimą. Jokia kita priežastis nėra pakankamai svarbi. Skirtingiems žmonėms kvėpavimas reiškia skirtingus dalykus. Daugumai žmonių tai reiškia vien kvėpavimą oru. Tačiau biochemikams kvėpavimas reiškia kvėpavimą ląstelių lygmeniu. Tai mažų žingsnelių seka, kai maistas reaguoja su deguonimi ir sukuria vidinę įtampą, turinčią žaibo galią.

Negaliu sugalvoti didesnio atrankos spaudimo, nei poreikis kvėpuoti – tas pat vyksta ir ląstelių viduje molekulinio lygmeniu. Pavyzdžiui, cianidas blokuoja ląstelių kvėpavimą ir sustabdo ląstelės veikimą greičiau nei plastikinis maišelis, užmautas ant galvos. Net kai funkcionuoja normaliai, kvėpavimas turi būti nuolat reguliuojamas, „pasukiojant rankenėles“, galią pritaikant pagal poreikį.

Svarbiausia Dž. Aleno mintis ta, kad galios pritaikymas pagal poreikį reikalauja nuolatinio grįžtamojo ryšio, kurį įmanoma pasiekti tik *vietoje* valdant genų veiklą. Lygiai taip, kaip taktinis kariuomenės išdėstymas neturėtų būti valdomas tolimos centrinės valdžios, branduolys nėra patogioje vietoje, kad galėtų reguliuoti kelis šimtus atskirų mitochondrijų ląstelėje. Todėl mitochondrijos tebeturi nedidelį genomą, reguliuojantį kvėpavimą ir galią pritaikantį prie poreikio.

Dž. Aleno idėjos nebuvo įrodytos, bet gaunama vis daugiau jas patvirtinančių įrodymų. Jei jis teisus, konotacija padeda paaiškinti eukariotinės ląstelės evoliuciją. Jei eukariotinių ląstelių kvėpavimui valdyti *reikia* genų, esančių ne branduolyje, atrodo logiška, kad didelė sudėtinga ląstelė be jų negalėtų valdyti kvėpavimo.

Dabar pagalvokite, su koku natūraliosios atrankos spaudimu susiduria bakterijos ir archėjos. Ir vienos, ir kitos ATP gamina tokiu pat būdu kaip mitochondrijos, t. y. sukurdamos elektros krūvį membranoje. Tačiau prokariotai naudoja išorinę ląstelės sienelę, dėl to jiems kyla problemų dėl dydžio. Iš esmės jie kvėpuoja pro odą.

Kad suprastumėte, kodėl tai kelia problemų, pagalvokite apie bulvių skutimą. Jei reikia nuskusti toną bulvių, geriausia rinktis didžiausias – nuskusite daug daugiau bulvių, palyginti su lupenų kiekiu. Ir atvirkščiai – skutant mažas bulves, lupenų daugiau. Bakterijos yra lyg bulvės, kvėpuojančios pro odą – kuo jos didesnės, tuo mažiau gali kvėpuoti.<sup>7</sup>

Iš esmės bakterijos galėtų išspręsti kvėpavimo sunkumus, savo energiją gaminančias membranas perkeldamos į vidų, ir tikrovėje tam tikru laipsniu tai vyksta. Kaip kalbėjome anksčiau – kai kurios bakterijos turi vidines membranas ir dėl to yra panašios į eukariotus. Tačiau bakterijos nenuėjo toli – vidutinė eukariotinė ląstelė turi šimtus kartų daugiau vidinių membranų, skirtų gaminti energiją, nei daugiausia energijos gaminanti bakterija.

Bakterijos žengė žingsnį eukariotų spektro link (tai pasakytina apie daugelį kitų savybių), o tada sustojo. Kodėl? Manau, todėl, kad jos negali valdyti didesnio ploto vidinių membranų kvėpavimo. Kad galėtų tai daryti, joms reikėtų perkelti daug genų grupių kaip kad į mitochondrijas, o tai padaryti nelengva. Visas natūraliosios atrankos spaudimas bakterijoms – greitai replikuotis, atmesti visus genus, išskyrus mažiausią genomą – trukdo tapti didelėmis, sudėtingomis bakterijomis.

Tačiau būtent to reikia fagocitozei. Fagocitai turi būti pakankamai dideli, kad galėtų praryti dideles ląsteles, ir jiems reikia daug energijos, kad galėtų judėti, fiziškai keisti formą ir praryti grobį. Deja, didėdamos bakterijos tampa mažiau energingos ir negali skirti daug energijos judėti ir keisti formą. Atrodo, mažytė bakterija, gebanti greitai replikuotis, išstumtų mažai energingas dideles ląsteles, šioms dar nespėjus įgyti įvairiapusių fagocitų savybių.

Tačiau „lemtingo susidūrimo“ hipotezė – kitas reikalas. Čia du prokariotai gyvena vienas greta kito, metaboliškai sutardami, kur kiekvienas kitam teikia kokią nors paslaugą. Tokie simbioziniai prokariotų ryšiai yra tokie įprasti, kad tai greičiau taisyklė nei išimtis. Atvejai, kai vienas partneris fiziškai praryja kitą, labai reti, bet prokariotams kartais tai būdinga.

## SUDĖTINGA LĄSTELĖ

Vienam patekus į kitą, visa ląstelė, taip pat viduje esančios bakterijos, evoliucionuoja kaip viena esybė. Kadangi jos vis dar teikia naudos viena kitai, nereikalingos savybės laipsniškai išnyksta, kol galiausiai vidinė bakterija ima atlikti tik kelias funkcijas, reikalingas ląstelei šeimininkei; mitochondrijomis tapusių bakterijų atveju – gaminti energiją.

Didžiulis mitochondrijų teikiamas privalumas ir priežastis, dėl ko mitochondrijos davė galimybę evoliucionuoti eukariotinei ląstelei, tai, kad jos teikė paruoštą energiją gaminančių vidinių membranų sistemą ir genų grupę, reikalingą valdyti kvėpavimą vietoje. Tik turėdama mitochondrijų ląstelė šeimininke galėjo išsivystyti į didelį, aktyvų fagocitą, neaukodama energijos.

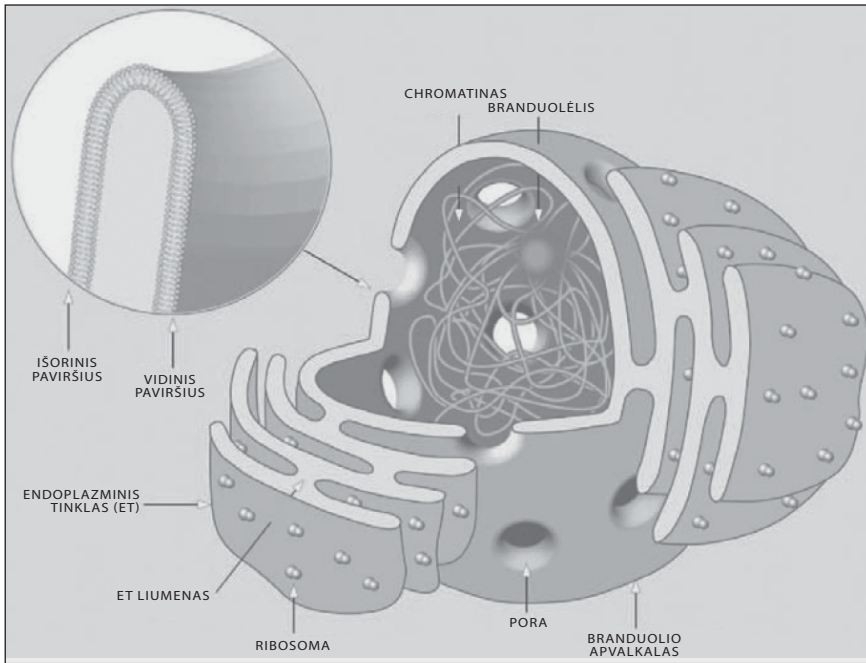
Jei tai tiesa, primityviojo fagocito be mitochondrijų niekada nebuvo, nes fagocitozė be mitochondrijų neįmanoma.<sup>8</sup> Eukariotinė ląstelė atsirado iš 2 prokariotinių ląstelių sąjungos. Ši sąjunga palengvino energijos apribojimus, dėl kurių bakterijos visuomet išliko bakterijomis. Sumažėjus apribojimui, pirmą kartą tapo įmanomas naujas gyvenimo būdas – fagocitozė. Eukariotinė ląstelė evoliucionavo dėl to, kad 2 prokariotų sąjunga, kur vienas patenka į kito vidų, yra retas reiškinys – ištis lemtingas susidūrimas. Viskas, ką brangiame šiame gyvenime, visi mūsų pasaulio stebuklai atsirado dėl vieno įvykio, paskatinto būtinybės ir atsiktiktinumo.



Anksčiau šiame skyriuje minėjau, kad suprasti ir paaiškinti eukariotinės ląstelės kilmę galime tik tada, kai suprantame jos pagrindinės savybės – branduolio – svarbą. Todėl šio skyriaus pabaigoje kalbėsime apie branduolį.

Kaip ir apie pačią eukariotinę ląstelę, ir apie branduolio kilmę iškelta daugybė idėjų ir sukurta teorijų – nuo paprasčiausių burbuliukų ląstelės membranoje iki prarytų kitų ląstelių. Dauguma šių idėjų subliūksta jau nuo pirmų kliūčių. Sakykime, daugelis jų nepaaiškina branduolio membranos sandaros, kuri nėra ištisinė, kaip išorinė bet kokios ląstelės membrana, o sudaryta iš suplotų vezikulių su didelėmis poromis, susijungusių su kitomis vidinėmis membranomis ląstelės viduje (žr. 4.6 pav.).

Kitos siūlomos idėjos nepaaiškina, kodėl branduolį ląstelei geriau turėti, nei neturėti. Įprastas atsakymas, kad branduolio membrana saugo genus, kelia klausimą – nuo ko? Nuo vagystės? Nuo vandalizmo? Bet jei yra kokių nors



**4.6 PAV. BRANDUOLIO MEMBRANA, SUSIJUNGIANTI SU KITOMIS LĄSTELĖS MEMBRANOMIS (KONKREČIAI – SU ENDOPLAZMINIU TINKLU). BRANDUOLIO MEMBRANA SUSIDARO JUNGIANČIJS VEZIKULĖMS. MEMBRANA VISIŠKAI NEPANAŠI Į IŠORINĘ JOKIOS KITOS LĄSTELĖS MEMBRANĄ, TAIGI, BRANDUOLYS NEIŠSIVYSTĖ IŠ LĄSTELĖS, GYVENANČIOS KITOJE LĄSTELĖJE.**

visuotinių selektyvių privalumų turėti branduolį, pavyzdžiui, apsisaugoti nuo pakenkimo molekulei, kodėl branduolys neišsivystė jokiose bakterijose? Kaip matėme, kai kurios bakterijos turi vidines membranas, kurios būtų tarnavusios šiam tikslui.

Nesant patikimų įrodymų, norėčiau pateikti dar vieną nepaprastai kūrybingą hipotezę, iškeltą genialiojo dvejetainio, su kuriais susipažinome 2 skyriuje – B. Martino ir J. Kunino. Jų idėja turi du didelius privalumus. Ji paaiškina, kodėl branduolys turi išsivystyti būtent chimerinėje ląstelėje, ypač sudarytoje iš archėjos ir bakterijos (kaip matėme, tai įtikimiausia eukariotinės ląstelės atsiradimo versija), ir kodėl – kitaip nei bakterijų – beveik visų eukariotinių ląstelių branduoliai turi būti prikimšti nieko nekoduojančios DNR.

Net jei ši idėja neteisinga, manau, turime ieškoti ko nors *panašaus*. Be to, ji iškelia tikrą problemą, susijusią su pirmaisiais eukariotais, kurią reikia kaip nors išspręsti. Tai idėja, mokslui teikianti magijos, ir, tikiuosi, ji teisinga.

B. Martinas ir J. Kuninas nagrinėjo įdomią eukariotinių genų, sudarytų iš gabalėlių, sandarą, kurios atradimas tapo vienu didžiausių netikėtumų XX a. biologijoje. Užuoat tvarkingai išsirikiavę kaip bakterijų genai, eukariotų genai yra suskaidyti į gabalėlius, kuriuos skiria ilgos nekoduojančios sekos. Pastarosios vadinamos *intronais* (*intragenic regions*\* sutrumpinimas), o jų evoliucijos istorija, ilgai visus gluminusi, visai neseniai buvo ištraukta į dienos šviesą.

Nors intronai tarpusavyje labai skiriasi, dabar pastebime bendrų elementų, išduodančių bendrąjį jų protėvį – *šokinėjantį geną*. Replikuodamiesi kaip pašėlę, šie genai užkrečia genomą, todėl jie vadinami savanaudžiais genais, gyvenančiais dėl savęs.

Jų triukas labai paprastas. Šokinėjantysis genas, nuskaitytas į RNR dažniausiai kaip ilgesnės sekos dalis, spontaniškai susilanksto į formą, primenančią RNR „žirkles“, ir iš ilgesnės sekos „išsikerpa“. Tada, save naudodamas kaip šabloną, daug kartų regeneruojasi DNR. Nauja DNR įvedama atgal į genomą daugiau ar mažiau atsitiktine tvarka kaip savanaudžio originalaus geno kopijos.

Yra daug šokinėjančiojo geno tipų ir išradingų variacijų. Jų ypatingą evoliucinę sėkmę patvirtino „Žmogaus genomo projektas“ ir kiti dideli genomo sekos nustatymo projektai. Beveik pusę žmogaus genomo sudaro šokinėjantieji genai ar jų sugadintos (mutavusios) liekanos. Vidutiniškai visi žmogaus genai turi po 3 gyvus ar mirusius šokinėjančiuosius genus.

Tam tikru požiūriu „miręs“ šokinėjantysis genas (pakitęs tiek, kad negali šokinėti) yra blogiau už „gyvą“. Gyvas šokinėjantysis genas bent jau „išsikerpa“ iš RNR, nepadarydamas jokios žalos, o miręs genas tiesiog tūno ir trukdo.

Kadangi „išsikirpti“ jis negali, ląstelė šeiminingai turi kaip nors su juo susitvarkyti, nes kitaip jis pateks į baltymą ir padarys netvarką. Eukariotinės ląstelės savo evoliucijoje anksti išrado būdą „iškirpti“ bet kokią nepageidau-

\* *Angl.* nekoduojančioji dalis.

jamą RNR. Įdomu, kad iš šokinėjančiojo geno jos pasiskolino RNR „žirkles“ ir jas prikimšo baltymų. Visi gyvi eukariotai nuo augalų ir grybų iki gyvūnų naudoja šias senovines „žirkles“ iškirpti nekoduojančią RNR.

Taigi susiduriame su keista padėtimi, kai eukariotų genomai papuošti intronų, kilusių iš savanaudžių šokinėjančiųjų genų, girliandomis. Kiekvieną kartą nuskaitant geną, jos iškerpamos RNR „žirklėmis“, pavogtomis iš tų pačių šokinėjančiųjų genų. Tik šios senovinės „žirklės“ karmo lėtai – tai ir susiję su branduolio atsiradimu.

Apskritai prokariotai netoleruoja nei šokinėjančiųjų genų, nei intronų. Prokariotinėse ląstelėse genai ir naujų baltymų gamybos mechanizmas nesisiria. Kai nėra branduolio, baltymų gamybos mechanizmai – ribosomos – susimaišo su DNR. Genai nuskaitomi į RNR šabloną, kuris iškart verčiamas į baltymą. Tačiau ribosomos baltymus gamina itin greitai, o intronus iškerpančios RNR „žirklės“ yra lėtos. Kol „žirklės“ iškerpa introną, bakterija jau būtų pagaminusi keletą nefunkcionalių baltymų kopijų su intronu.

Kaip bakterijos atsikratė šokinėjančiųjų genų ir intronų, nežinoma (didelėje populiacijoje tai galėjo padaryti gryninanti atranka), bet žinoma, kad jos tai padarė. Dauguma bakterijų pašalino beveik visus šokinėjančiuosius genus ir intronus, nors kai kuriose bakterijose, taip pat mitochondrijų protėviuose keli liko. Tokios bakterijos turi apie 30 kopijų genome, o eukariotų genome intronų kopijų yra tūkstančiai ar net milijonai.

Chimerinis eukariotų protėvis greičiausiai tapo savo mitochondrijų šokinėjančiųjų genų auka. Tai žinome dėl to, kad jie panašiai atrodo – eukariotų šokinėjančiųjų genų sandara panaši į bakterijose rastų genų sandarą. Be to, daugumos gyvų eukariotų – nuo amebų iki dagių, nuo musių iki grybų ir žmonių – intronų randama tiksliai toje pačioje geno vietoje. Gali būti, kad ankstyvas šokinėjančiųjų genų, kurie dauginosi visame genome, užkratas galiausiai „mirė“ ir nunyko iki pastovių intronų bendrame visų eukariotų protėvyje.

Bet kodėl šokinėjantieji genai siautėjo pirmosiose eukariotinėse ląstelėse? Viena priežasčių yra ta, kad šokinėjančiųjų bakterijų genai šokinėjo ląstelės šeimininkės – archėjos – chromosomose, kuri nežinojo, kaip su jais tvarkytis. Kita priežastis – pradinė chimerinių ląstelių populiacija buvo nedidelė, todėl gryninimo atranka, kuri pašalina didelių bakterijų populiacijų trūkumus, neveikė.

Nepriklausomai nuo priežasties, pirmieji eukariotai susidūrė su keista problema. Jie buvo užkrėsti intronais, kurių dauguma būtų buvę įvesti į baltymus, nes RNR „žirkklės“ negalėjo jų pakankamai greitai iškirpti. Nors tai nebūtinai ląstelės būtų pražudę – nefunkcionuojantys baltymai išskaidomi, o lėtos „žirkklės“ pagaliau baigia darbą, ir pradėdami gaminti funkcionuojantys baltymai, – bet būtų kėlę didelę netvarką.

Sprendimas buvo tiesiai toms suglumusioms ląstelėms prieš nosį. Pasak B. Martino ir J. Kunino, paprastas būdas atkurti tvarką ir nuolat gaminti tinkamai funkcionuojančius baltymus – užtikrinti, kad „žirkklės“ pakaktų laiko iškirpti introną, kol ribosomos nepradėjo gaminti baltymo. Kitaip sakant, pasirūpinti, kad RNR su savo intronais pirmiausia nukeliautų prie „žirklių“ ir tik po to būtų perduota ribosomoms.

Tokį skirstymą laike lengva pasiekti atskyrimu erdvėje, pašalinus ribosomas iš DNR kaimynystės. Kuo? Membrana, kuri turi dideles skylės! Panaudok esamą membraną, uždaryk savo genus jos viduje, įsitikink, kad pakanka porų perduoti RNR ribosomoms, ir viskas tvarkoje. Taigi, pasak B. Martino ir J. Kunino, išsivystęs pagrindinis visų eukariotų bruožas – branduolys – yra ne saugoti genus, o atskirti juos nuo baltymų gamybos citoplazmoje.

Šis sprendimas atrodo kiek šiurkštus ir parankus (nors, atsižvelgiant į evoliucijos principą, tai yra privalumas), bet iškart davė kelis privalumus. Kadangi šokinėjantieji genai grėsmės nebekėlė, intronai pasirodė esą visai parankūs. Pirma, jie leido sudėstyti genus skirtingais ir naujais būdais, sudarant galimų baltymų „mozaiką“ – šiandien tai yra vienas pagrindinių eukariotų požymių.

Jei vienas genas sudarytas iš 5 skirtingų koduojančiųjų dalių, intronai gali būti įvairiais būdais iškirpti, ir tas pats genas gali koduoti keletą susijusių baltymų. Nors žmogaus genome yra tik apie 25 000 genų, keičiant juos vietomis, gaunama mažiausiai 60 000 – didžiulė įvairovė – skirtingų baltymų. Bakterijos yra didžiausios konservatorės, o intronai eukariotus pavertė nenuilstančiais bandytojais.

Antras privalumas: šokinėjantieji genai eukariotams leido išplėsti savo genomą. Įvaldžiusių fagocitinį gyvenimo būdą eukariotų nebevaržė nuolatiniai bakterijų gyvenimo vargai, ypač būtinybė gebėti greitai daugintis. Eukariotams nereikėjo varžytis su bakterijomis, jie galėjo laisvalaikiu jas praryti ir suvirškinti.

Atsikratę būtinybės skubėti, pirmieji eukariotai galėjo kaupti DNR ir genus, o tai jiems davė galimybę tapti itin sudėtingiems. Šokinėjantieji genai eukariotų genus padėjo padidinti tūkstančius kartų, palyginti su normaliu bakterijos dydžiu. Nors didelė papildomos DNR dalis tebuvo šlamštas, dalis jos buvo panaudota kurti naujus genus ir reguliavimo sekas. Didesnis sudėtingumas buvo tarsi šalutinis poveikis.

Tai tiek apie sudėtingos Žemės gyvybės ar žmogaus sąmonės neišvengiamumą. Pasaulis yra pasidalijęs perpus: amžinieji prokariotai ir kaleidoskopiški eukariotai. Panašu, kad perėjimas nuo vieno prie kitų nebuvo laipsniška evoliucija ar lėtas kopimas į sudėtingumą, nes kai kurios prokariotų populiacijos išbandė visus įsivaizduojamus variantus.

Žinoma, didelės bakterijų populiacijos išbandė visus galimus būdus, bet amžinai liko bakterijomis, kurioms trukdė jų nesugebėjimas didinti savo dydžio ir energijos tuo pat metu. Tik retas ir laimingas atsitikimas – dviejų prokariotų bendradarbiavimas ir vieno patekimas į kito vidų, – nutraukė uždarą ratą. Atsitiktinumas.

Nauja chimerinė ląstelė susidūrė su daugybe problemų, bet gavo ir didelę laisvę – didėti, nemokant luošinamos duoklės energija, laisvę tapti fagocitu ir išsiveržti iš užburto bakterijų rato. Susidūrus su šokinėjančiųjų genų protrūkiu, atsitiktinis sprendimas galėjo duoti pradžią ne tik ląstelės branduolio susidarymui, bet ir polinkiui kaupti DNR ir ją rekombinuoti, kuriant begalinius mūsų pasaulio stebuklus. Dar vienas atsitiktinumas.

Atrodo, šis stebuklingas pasaulis atsirado iš dviejų tolimoje senovėje įvykusių atsitiktinumų. Likimas kabo ant tokio plono siūlo. Mums pasisėkė, kad apskritai čia esame.



## PENKTAS SKYRIUS

# LYTINIAI SANTYKIAI

### DIDŽIAUSIA LOTERIJA ŽEMĖJE

**A**pie airių dramaturgą Džordžą Bernardą Šo (*George Bernard Shaw*) sukurta daugybė anekdotų ir apokrifų. Viena tokių istorijų pasakoja apie gražios aktorės pasiūlymą Šo vakarėlyje.<sup>1</sup> „Mums reikėtų kartu susilaukti vaiko, – tarė aktorė, – jis būtų toks gražus, kaip aš, ir toks protingas, kaip jūs.“ „Bet kas bus, jei jis paveldės mano grožį ir jūsų protą?“ – atsargiai atsakė Dž. B. Šo.

Dž. B. Šo paklausė teisingai – lytiniai santykiai yra keisčiausias, geriausias genų maišytojas atsitiktine tvarka. Ko gero, tik lytinių santykių gebėjimas maišyti genus atsitiktine tvarka leido atsirasti Dž. B. Šo ir gražiajai aktorei. Bet, vos sukūrę puikią genų kombinaciją, lytiniai santykiai vėl ją išardo. Žymi, nors beveik nekenksminga organizacija, vadinama „Nobelio spermos banku“, pateko būtent į tokius spąstus.

Biochemikas Džordžas Valdas (*George Wald*), pakviestas paaukoti savo, kaip premijos laimėtojo, spermą, atsisakė – esą jiems reikia ne jo spermos, o tokių žmonių, kaip jo tėvas – neturtingas imigrantas siuvėjas, iš kurio niekas nesitikėjo duosiant gyvybę genijui. „Ką mano sperma davė pasauliui? – klausė laureatas, – du gitaristus!“ Genialumas ar protas apskritai tikrai yra paveldimi (tiksliau sakant, genai turi įtakos, bet nenulemia rezultato), tačiau lytiniai santykiai visa tai paverčia nenuspėjama loterija.

Dauguma mano, kad lytinių santykių (kaip reprodukcijos formos) magija slypi būtent šiame gebėjime kurti variantus ir kiekvieną kartą iš skrybėlės

ištraukti nepaprastą būtybę. Tačiau, panagrinėjus su matematiko ir genetiko atidumu, tikrai neatrodo, kad įvairovė dėl įvairovės yra geras dalykas.

Kam išskaidyti gerą kombinaciją? Kodėl jos neklonuoti? Volfango Amadejaus Mocarto (*Wolfgang Amadeus Mozart*) ar Dž. B. Šo klonavimas daugeliui gali pasirodyti kaip Dievo savybių prisiėmimas – pavojinga žmonijos išpuikimo išraiška – tačiau genetikai ne tai turi omenyje. Jų siekis daug žemiškesnis – lytinių santykių sukuriama begalinė įvairovė veda tiesiai į kančias, ligas ir mirtį, o klonuojant to būtų galima išvengti. Klonavimas, išsaugant genų kombinacijas, atmetamas negailestingos atrankos, dažniausiai yra geriausias sprendimas.

Pavyzdžiui, pakalbėkime apie pjautuvinę mažakraujystę. Tai sunki genetinė liga, kur raudonieji kūno kūneliai išsikreipia pjautuvo forma ir nebegali pralįsti pro plonus kapiliarus. Ją sukelia dvi paveldėtos „blogo“ geno kopijos. Galite paklausti, kodėl blogo geno nepašalino natūralioji atranka? Todėl, kad viena blogo geno kopija yra netgi naudinga.

Jei iš tėvų paveldime po vieną gerą ir blogą kopiją, ne tik kad *nesusergame* pjautuvine mažakraujyste, bet ir esame mažiau linkę susirgti maliarija – kita liga, paveikianti raudonuosius kraujo kūnelius. Viena bloga pjautuvinės mažakraujystės geno kopija pakeičia raudonųjų kraujo kūnelių membraną ir užkerta kelią maliariniams parazitams, bet kūnelių formos nepakeičia į pavojingus pjautuvus. Klonuojant, t. y. dauginantis nelytiniu būdu, galima kaskart perduoti šį naudingą mišrų genotipą. O lytiniai santykiai genus neišvengiamai sumaišo.

Jei laikysime, kad abu tėvai turi tokį mišrų genotipą, apie pusę jų vaikų paveldės mišrų genotipą, tačiau maždaug  $\frac{1}{4}$  gaus dvi „blogas“ geno kopijas, kurios sukels pjautuvinę mažakraujystę, o kitas  $\frac{1}{4}$  paveldės dvi „geras“ geno kopijas, todėl bus itin linkę susirgti maliarija, ypač jei gyvens tose planetos vietovėse, kuriose gausu moskitų (pernešančių ligą). Kitaip tariant, didelė įvairovė ne mažiau nei pusei populiacijos lemia pavojų susirgti sunkia liga. Lytiniai santykiai gali tiesiogiai kenkti gyvenimui.

Ir tai toli gražu ne vienintelis lytinių santykių trūkumas. Iš tiesų, trūkumų sąrašas turėtų amžiams atbaidyti bet kokį sveiko proto žmogų nuo šios minties. Džeradas Daimondas (*Jared Diamond*) parašė knygą „Kodėl seksas malonus?“ (*Why Sex is Fun?*), tačiau taip ir nepateikė atsakymo. Matyt, jam tai

atrodė savaime suprantama: jei seksas nebūtų malonus, niekas, turintis bent kiek sveiko proto, juo neužsiimtų. Ir kur tada būtume?

Įsivaizduokime, kad Dž. B. Šo spjovė į atsargumą ir išbandė laimę susilaukti gražaus ir protingo vaiko. Taip pat įsivaizduokime, galbūt nesąžiningai, bet imdami kaip pavyzdį, kad ta aktorė alegorinę savo profesijos reputaciją patvirtino. Ji greičiausiai sirgo venerine liga, tarkime, sifiliu. Jie susitiko, prieš pasirodant antibiotikams, anksčiau, nei sifilis prarado savo baisią įtaką tiems varganiams kareiviams, muzikantams ir artistams, kurie lygiai taip pat dažnai vargindavo naktines plaštakes.

Tame amžiuje, kai tokios asmenybės, kaip Frydrichas Nyčė (*Friedrich Nietzsche*), Robertas Šumanas (*Robert Schumann*) ir Francas Šubertas (*Franz Schubert*) savo dienas baigė išprotėję, bausmė už ištvirtavimą buvo visai galima. Tais laikais taikomos gydymo priemonės arsenas ir gyvsidabris buvo beveik toks pat blogis. Buvo sakoma, kad naktis Veneros glėbyje gali pasmerkti gyventi Merkurijuje.\*

Žinoma, sifilis tik viena iš daugelio nemalonių ar mirtinų venerinių ligų; AIDS dabar plinta beveik visame pasaulyje. AIDS atvejų daugėjimas Afrikoje į pietus nuo Sacharos kelia nerimą. Man rašant šią knygą, ŽIV yra užsikrėtę apie 24 mln. afrikiečių, t. y. apie 6 % jaunų suaugusių žmonių. Labiausiai paveiktose šalyse paplitimas gerokai viršija 10 %. Jose taip pat daugiau nei dešimtmetį dėl to atitinkamai trumpėja gyvenimo trukmė. Nors prie krizės, be abejonės, prisidėjo ir vaistų trūkumas, skurdas ir gretutinės ligos, pavyzdžiui, tuberkuliozė, nesaugūs lytiniai santykiai vis dar yra pagrindinė problema.<sup>2</sup> Nepaisant priežasties, vien tik problemos mastas rodo, kad užsiimti lytiniais santykiais yra kvailystė.

Bet grįžkime prie Dž. B. Šo. Po nesaugių lytinių santykių su aktore galėjo gimti vaikas, paveldėjęs visas blogiausias tėvų savybes ir pačiam Dž. B. Šo įvaręs ligą ir beprotybę. Bet jis turėjo ir kitų privalumų, kaip ir dauguma mūsų. Kai aktorė pasisiūlė, jis jau buvo turtingas ir garsus, t. y. traukė ne tik anekdotus, bet ir, kalbant šiuolaikiškai, „pupytes“. Bent sutikdamas pasimylėti, jis būtų padidinęs tikimybę, kad jo genai būtų perduoti toliau laiko upe. Jam nebūtų reikėję vargti ieškant tinkamo partnerio ar apskritai bet kokio partnerio, kaip tenka daugeliui.

\* Angl. *Mercury* – gyvsidabris.

Nenoriu daug kalbėti apie įtemptą lytinių santykių politiką. Atrodo aki-vaizdu, kad susirasti partnerį šį tą kainuoja, vadinasi, kainuoja ir perduoti savo genus. Turiu omenyje ne finansinę kainą (nors, per pirmą pasimatymą apmokant čekį ar išsvirduliuojant po turto pasidalijimo per skyrības, tai itin jaučiama), bet sugaišto laiko ir emocijų kainą, kuri akivaizdi iš pažinčių skelbimų ar siūlymų internetinių pažinčių svetainėse. Vis dėlto tikrąją biologinę kainą žmonių visuomenei suvokti sunku, nes ji paslėpta po kultūros ir etiketo sluoksniais.

Jei abejojate, ar yra rimta biologinė kaina, pagalvokite apie pavo uodegą. Tos nuostabios plunksnos – patino vaisingumo ir sveikatos ženklas – neabejotinai kelia grėsmę išlikimui, kaip ir spalvingos daugelio kitų paukščių puošmenos. Matyt, labiausiai netikėtas pavyzdys yra kolibris. Kad ir kokie jie nuostabūs, 3400 kolibrių rūšių įkūnija partnerio susiradimo kainą, tik ne kolibriui (tai, žinoma, irgi sunku), bet žydintiems augalams.

Išsiskniję vienoje vietoje, augalai yra labiausiai neįtikėtini lytiniai organizmai, tačiau didžioji jų dauguma yra būtent tokie. Tik kiaulpienės ir keletas kitų rūšių lytiniais santykiams atkišo špygą. Visi kiti suranda kokį nors būdą, kurių puikiausias – rafinuotas žydinčių augalų grožis, pasklidęs po pasaulį maždaug prieš 80 mln. m. ir nuobodžius žalius miškus pavertęs magiškomis spalvingomis džiunglėmis, kuriomis grožimės šiandien. Nors šie augalai pirmiausia atsirado jūros periode maždaug prieš 160 mln. m., paplitimas po visą pasaulį užtruko ir galiausiai tapo susijęs su vabzdžių apdulkintojų, tarkime, bičių, atsiradimu.

Žiedai augalams brangiai kainuoja. Jie turi privilioti apdulkintojus savo puikiomis spalvomis ir formomis, gaminti saldų nektarą, kad vabzdžiams būtų verta lankytis (pagal svorį  $\frac{1}{4}$  nektaro sudaro cukrus) ir strategiškai išsidėstyti ne per arti (nes dėl įvaisos lytiniai santykiai netenka prasmės) ir ne per toli (nes apdulkiniojai partnerio nepasieks ir neapvaisins). Pasirinkęs apdulkintoją, žiedas ir apdulkintojas sudaro tandemą: kiekvienas moka, ir abu gauna naudos. Ir jokia kaina nėra didesnė nei ta, kurią mažutis kolibris sumoka dėl statinių lytinių augalų santykių.

Kolibris turi būti labai mažas, nes didesnis paukštis negalėtų nejudėdamas kyboti virš žiedo taurės, plakdamas sparnais 50 kartų per sekundę. Mažumas ir didžiulis metabolizmo tempas reikalingas tam, kad paukštis galėtų kyboti

vietoje, vadinasi, kolibris privalo beveik be perstojo maitintis. Kiekvieną dieną jie išsiurbia daugiau nei pusę savo svorio nektaro ir aplanko šimtus gėlių.

Jei jie būna priversti nustoti maitintis ilgesnį laiką (ilgiau nei porą valandų), krinta be sąmonės ir panyra į komą primenantį miegą: širdies plakimas sulėtėja, kvėpavimas tampa dar lėtesnis nei miegant normaliai, o kūno temperatūra ima kristi. Stebuklingi gėlių eliksyras juos priviliojo ir įkinkė į vergiją be perstojo skraidyti nuo žiedo prie žiedo, platinti žiedadulkes arba nugrimzti į komą ir greičiausiai žūti.

Jei tai dar ne taip blogai, lytiniai santykiai turi dar didesnę paslaptį. Partnerio susiradimo kaina yra niekis, palyginti su kaina apskritai neturėti partnerio – tai garsioji dviguba lytinių santykių kaina.

Įtūžusi feministė, keikianti pačią vyrų egzistenciją, yra pagrįstai teisi. Iš pirmo žvilgsnio turėti vyrą kainuoja tikrai daug, ir moteris, įminusi nekalto prasidėjimo mįslę, būtų verta Madonos vardo. Nors kai kurie vyrai siekia įprasminti savo egzistenciją, prisiimdami vaikų priežiūros našta ar materialinį aprūpinimą, tai nėra būdinga daugeliui žemesnių organizmų – tiek žmonių, tiek kitų būtybių, nes patinai dažniausiai tiesiog „nusiplauna“.

Tačiau apvaisinta patelė vis tiek gimdo sūnus ir dukteris. 50 % jos pastangų iššvaistoma atnešti į šį pasaulį daugiau nedėkingų patinų – jie toliau kelia tą pačią problemą. Bet kuri patelė, priklausanti bet kuriai rūšiai, kur tėvas nesirūpina, sugebėdama išsiversti be patino, padidintų savo reprodukcijos sėkmingumą. Besiklonuojančių patelių skaičius padvigubėtų kiekvienoje kartoje ir kitą lytį iš populiacijos išstumtų per keletą kartų. Žiūrint visiškai aritmetiškai, viena besiklonuojanti patelė lytiniu būdu besidauginančių individų populiaciją iki milijono galėtų padidinti vos per 50 kartų!

Pagalvokite apie tai ląstelių lygmeniu. Klonų reprodukcijos ar nekalto prasidėjimo būdu ląstelė pasidalija į 2 ląsteles. Lytinė reprodukcija yra priešinga. 1 ląstelė (spermatozoidas) susilieja su kita ląstele (kiaušialąste) ir sudaro 1 ląstelę (apvaisintą kiaušinėlių). Taip iš 2 ląstelių atsiranda viena – tai tarsi atvirkštinė replikacija.

Dviguba lytinių santykių kaina pasireiškia genų skaičiumi. Kiekviena lytinė ląstelė – spermatozoidas ir kiaušialąstė – kitai kartai perduoda tik 50 % tėvo ar motinos genų. Visas reikiamas genų skaičius atkuriamas, kai susilieja 2 ląstelės. Šiuo atžvilgiu individas, sugebantis perduoti 100 % savo genų visiems

savo palikuonims klonavimosi būdu, turi dvigubą privalumą. Kadangi kiekvienas klonas perduoda dvigubai daugiau genų nei lytinis organizmas, klono genai greitai paplinta populiacijoje ir galiausiai išstumia lytinio dauginimosi genus.

Toliau dar blogiau. Perduodant tik pusę genų, kitai kartai atveriamos durys įvairiausioms savanaudžių genų apgavystėms.<sup>3</sup> Lytinių santykių metu, bent jau iš principo, visi genai turi lygiai 50 % tikimybę būti perduoti kitai kartai. Praktikoje tai suteikia progą apgavikams įgyti pranašumą veikti pagal savanaudiškus savo interesus ir būti perduotiems daugiau nei 50 % palikuonių. Tai ne tik teorinė galimybė, kuri nevyksta iš tikrųjų.

Yra daug genų, sakykime, parazitinių, konflikto pavyzdžių, pažeidžiančių taisykles, ir taisyklėms paklūstančios daugumos, kuri susivienija juos sustabdyti. Yra tokių parazitinių genų, kurie nužudo spermatozoidą ar net palikuonį, kuris jų nepaveldi – tai genai, sukeliantys vyrų nevaisingumą, ir šokinėjančieji genai, plintantys po genomą.

Daugelis genomų, taip pat mūsų, turi daugybę šokinėjančiųjų genų liekanų, kurie kažkada replikavosi po visą genomą, kaip matėme 4 skyriuje. Žmogaus genomas yra mirusių šokinėjančiųjų genų kapinės – pusę genomo tiesiogine žodžio prasme sudaro genų lavonai. Kiti genomai dar blogesni. Kviečių genome šokinėjančieji genai sudaro neįtikėtinus 98 %. O dauguma besiklonuojančių organizmų turi mažesnę genomą, kurio parazitiniai genai taip lengvai nepaveikia.

Apskritai atrodo, kad lytiniai santykiai kaip reprodukcijos būdas privalumų neturi. Išradingas biologas sugalvotų aplinkybių, kai lytiniai santykiai būtų naudingi, bet dauguma mūsų jaustumės priversti lytinius santykius atmesti kaip nepriimtina keistenybę. Jų kaina, palyginti su nekaltu prasidėjimu, yra dviguba: platina savanaudžius genetinius parazitus, galinčius pakenkti visam genomui, užkrauna rūpestį susirasti partnerį, jais perduodamos baisios venerinės ligos, jie sistemiškai naikina pačias geriausias genų kombinacijas.

Tačiau lytiniai santykiai yra būdingi beveik visoms sudėtingoms gyvybės formoms. Galima sakyti, visi eukariotiniai organizmai (sudaryti iš ląstelės su branduoliu, žr. 4 skyrių) kažkuriuo gyvenimo ciklo metu užsiima lytiniais santykiais, o didžioji dauguma augalų ir gyvūnų gali daugintis tik lytiniu būdu.

Tai nėra keistenybė. Nelytinių rūšių, kurios dauginasi klonais, mažai, bet kai kurios jų, pavyzdžiui, kiaulpienės, yra tiesiai mums po nosimis. Nuostabu, kad beveik visi šie klonai yra sąlygiškai naujos rūšys, atsiradusios prieš tūkstančius, o ne prieš milijonus metų. Jos – mažiausios gyvenimo medžio šakelės ir yra pasmerktos. Daug rūšių pereina prie klonavimosi, bet retai sulaukia brandos – tiesiog išnyksta.

Žinomi vos keli seniausieji klonai – rūšys, išsivysčiusios prieš dešimtis milijonų metų ir davusios pradžią didelėms susijusių rūšių grupėms. Rūšys, kurioms tai pavyko, tarkime, žiuželiniai *Bdelloidea*, tapo biologinėmis įžymybėmis, skaisčiomis išimtimis pasaulyje, apsėstame sekso, einančiomis lyg vienuoliai per raudonųjų žibintų kvartalą.

Jei lytiniai santykiai yra kvailystė ir egzistencinis absurdas, tai jų neturėjimas yra dar blogiau, nes dažniausiai lemia išnykimą – nebūties absurdą. Vadinas, lytiniai santykiai turi turėti didelių privalumų, kurie atsvertų kvailystę jais užsiimti. Šiuos privalumus nepaprastai sunku pamatuoti, todėl lytinių santykių evoliucija didžiąją XX a. dalį buvo laikoma evoliucinių klausimų karaliene.

Gali būti, kad be lytinių santykių didelės, sudėtingos gyvybės formos apskritai nėra įmanomos – išnyktume per keletą kartų, pasmerkti irti kaip degeneracinė Y chromosoma. Bet kuriuo atveju lytiniai santykiai lemia ne tylią ir introspektyvią planetą, pilną asketiškų besireplikuojančių organizmų (primena eilėraščio „Senasis jūreivis“\* eilutę „tūkstančiai tūkstančių slidžių gyvių“), o malonumo ir puikumo sprogimą.

Pasaulis be lytinių santykių – tai pasaulis be dainų, kurias dainuoja vyrai ir moterys, paukščiai ir varlės, be ryškių gėlių spalvų, be gladiatorių kovų, poezijos, meilės ar susižavėjimo. Ne itin įdomus pasaulis. Lytiniai santykiai, be abejonės, yra vienas didžiausių gyvybės išradimų. Bet kodėl ir kaip jie atsirado?



Č. Darvinas vienas pirmųjų ėmė svarstyti, kokia yra lytinių santykių nauda, ir kaip visada buvo pragmatiškas. Pagrindine lytinių santykių nauda jis laikė hibrido stiprumą, nes, palyginti su artimais giminaičiais – tėvų vaikais, dvie-

\* *Angl. Ancient Mariner.*

jų negiminingų tėvų palikuonys yra stipresni, sveikesni ir mažiau linkę sirgti įgimtomis ligomis – hemofilija ar Tėjo-Sakso liga. Pavyzdžių daug.

Kad įvertintume itin didelį neigiamą įvaisos poveikį, pakanka pažiūrėti į senovės Europos monarchijas, pavyzdžiui, Habsburgus – ligonių ir pamišėlių būrelį. Č. Darvinui lytiniai santykiai atrodė svarbūs dėl tolimojo kryžminimo [*outbreeding*], nors tai nesustabdė jo nuo vedybų su pirmos eilės pussesere, dorybės įsikūnijimu Ema Vedžvud (*Emma Wedgewood*), su kuria susilaukė dešimties vaikų.

Č. Darvino atsakymas turėjo du didelius privalumus, bet nukentėjo dėl nežinojimo apie genus. Privalumai: hibrido stiprumo nauda pasireiškia iškart, ir ta nauda nukreipta į individą – dėl tolimojo kryžminimo labiau tikėtina susilaukti sveikų vaikų, kurie nemirs vaikystėje, taigi daugiau jūsų genų išliks iki kitos kartos. Tai gražus darvininis paaiškinimas, turintis platesnę reikšmę, prie kurios grįšime vėliau. (Natūralioji atranka čia veikia individus, o ne dideles grupes.) Nors tai paaiškina tik tolimąjį kryžminimą, o ne lytinius santykius. Vadinasi, tai net ne pusė istorijos.

Lytinių santykių mechanikos supratimas turėjo laukti dešimtmečius, kol iš naujo buvo atrasti garsieji austrų vienuolio Gregoro Mendelio (*Gregor Mendel*) žirnių stebėjimai, atlikti XX a. pradžioje.

Turiu prisipažinti – mokykloje jo dėsniai man visuomet buvo tokie nuobodūs, kad net nepajėgiau jų suvokti; tai prisimindamas, šiek tiek susigėstu. Tačiau vis tiek manau, kad elementariąją genetiką lengviau suvokti, praleidus G. Mendelio dėsnis, nes jie buvo išsiaiškinti, neturint jokių tikrų žinių apie genų sandarą ir chromosomas. Iškart įsivaizduokime, kad chromosomos yra genų vėriniai, ir tada aiškiai pamatysime, kas vyksta lytinių santykių metu, ir kodėl Č. Darvino aiškinimo nepakanka.

Pirmas 2 lytinių ląstelių žingsnis lytiniuose santykiuose – spermatozoido ir kiaušialąstės susiliejimas. Kiekvienas jų atsineša po 1 porą chromosomų, ir apvaisintas kiaušinėlis gauna 2 pilnas poras. 2 kopijos retai kada būna visiškai vienodos, ir „gera“ kopija gali paslėpti „blogos“ kopijos poveikį. Tai ir yra hibrido stiprumo pagrindas.

Tolimasis kryžminimas atskleidžia užslėptas ligas, nes labiau tikėtina, kad paveldėsite 2 „blogas“ to paties geno kopijas, jei tėvai yra artimi giminės. Tačiau tai labiau tolimojo kryžminimo trūkumas nei lytinių santykių privalu-



mas. Hibrido stiprumo privalumas – kad gaunamos 2 kiek skirtingos kiekvienos chromosomos kopijos, kurios gali viena kitą pavaduoti.

Tačiau tai taikoma ne tik lytiniam organizmams, bet ir klonams, kurie turi 2 skirtingas kiekvienos chromosomos kopijas. Tokiu atveju hibrido stiprumas atsiranda dėl 2 skirtingų chromosomų porų, o ne dėl lytinių santykių *per se*\*.

Antras žingsnis – lytinių ląstelių regeneracija, kur kiekviena jų turi po 1 kiekvieno geno kopiją. Tai lytinių santykių pagrindas, ir jį paaiškinti sunkiausia. Procesas vadinamas mejoze, ir iš pažiūros pasidalijimas yra ir elegantiškas, ir painus. Elegantiškas chromosomų šokiu, kai jos susiranda partnerius: kuriam laikui tvirtai susikimba, tada atsitraukia į priešingas ląstelės puses.

Šio šokio choreografija tokia graži ir tiksli, kad mikroskopijos pradininkai negalėjo atitraukti akių ir kūrė vis naujus dažus, leidžiančius pamatyti chromosomų veikimą lyg senoje fotografijoje, kurioje įamžinta akrobatinio šokio trupė savo klestėjimo laikais. Painus dėl to, kad šokio žingsniai yra daug sudėtingesni, nei kas galėtų tikėtis iš tos praktiškos choreografės Motinos Gamtos.

Terminas mejozė kilęs iš graikų kalbos ir pažodžiui reiškia mažėti. Mejozė prasideda nuo ląstelės, turinčios 2 kiekvienos chromosomos kopijas, o pabaigoje kiekvienai lytinei ląstelei skiriama 1 kopija. Tai gana protinga, jei lytinių santykių metu susilieja 2 ląstelės, kad susidarytų 1 nauja su dviem chromosomų poromis, patogiausia, kai lytinės ląstelės turi po 1 porą.

Tačiau stebina, kad mejozės pradžioje visos chromosomos padvigubinamos, ir kiekvienoje ląstelėje atsiranda 4 poros. Tada jos maišomos ir derinamos (techninis terminas – rekombinuojamos), kad susidarytų 4 visiškai naujos chromosomos iš šen bei ten paimtų gabalėlių. Rekombinacija yra tikroji lytinių santykių esmė. Vadinasi, kažkada iš tėvo gautas genas fiziškai atsiduria toje pačioje chromosomoje, kaip ir iš motinos paveldėtas genas.

Kiekvienoje chromosomoje tai gali pasikartoti kelis kartus ir susidaryti, pavyzdžiui, tokia genų seka: tėvo, tėvo, motinos, motinos, motinos, tėvo, tėvo. Susidariusios chromosomos yra vienetinės, ir skiriasi ne tik viena nuo kitos, bet ir beveik neabejotinai nuo bet kokios kada nors gyvavusios chromosomos (nes susikryžiavimas yra atsitiktinis ir dažniausiai skirtingose vietose).

---

\* *Lot. savaime.*

Galiausiai ląstelė pasidalija, o antrinės ląstelės pasidalija dar kartą ir sudaro 4 „ląstelių vaikaičių“ kamuolėlį, kur kiekviena ląstelė turi unikalių chromosomų porą. Ir tai yra lytiniai santykiai.

Trumpai tariant, lytiniai santykiai žongliruoja genais ir sudaro naujas jų kombinacijas, kurių anksčiau niekada nebuvo. Tai vyksta sistemiškai visame genome. Tai tas pats, kas sumaišyti kortų malką, suardant ankstesnes kombinacijas, kad visi žaidėjai gautų statistiškai vienodas kortas. Kyla klausimas – kodėl?



Net ir šiandien daugumai biologų intuityviai protingiausiai atrodantį atsakymą pateikė Augustas Vaismanas (*August Weismann*), išradingas vokiečių mąstytojas ir Č. Darvino įpėdinis, kuris 1904 m. teigė, kad lytiniai santykiai suteikia didesnę įvairovę natūraliajai atrankai. Jo atsakymas skyrėsi nuo Č. Darvino atsakymo, nes jis pabrėžė lytinių santykių naudą ne individui, o populiacijai.

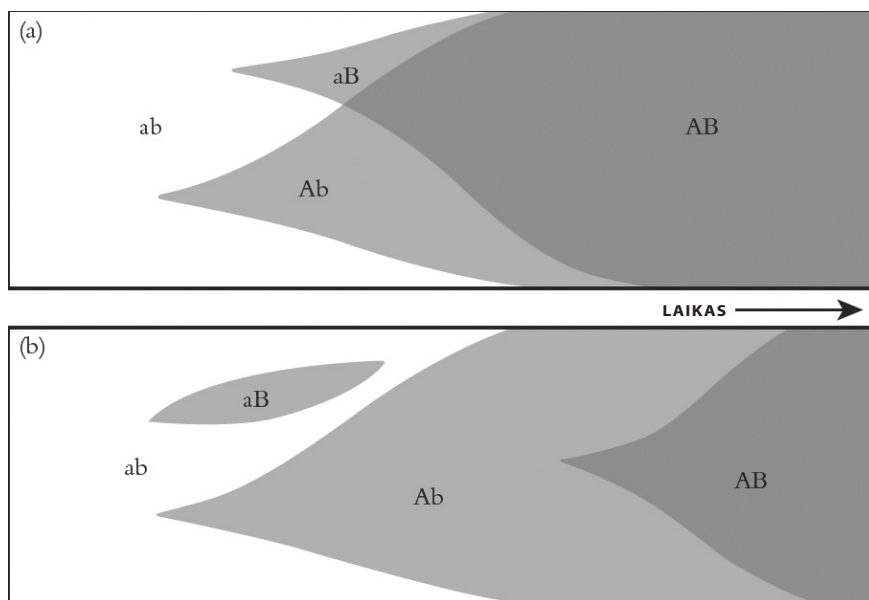
Anot A. Vaismano, lytinių santykių metu gali susidaryti tiek „gera“, tiek „bloga“ genų kombinacija. „Geros“ kombinacijos tiesiogiai naudingos jų savininkui, o „blogos“ lygiai taip pat tiesiogiai kenksmingos. Vadinasi, jokios kartos individams lytiniai santykiai neturi jokių tiesioginių privalumų ar trūkumų. Tačiau populiacija kaip visuma tobulėja, nes blogas kombinacijas išnaikina natūralioji atranka, ir galiausiai (po daugelio kartų) lieka daugiausia geros kombinacijos.

Žinoma, lytiniai santykiai patys savaime į populiaciją neįneša jokios naujos įvairovės. Be mutacijos, lytiniai santykiai vietomis sukeičia esamus genus, blogieji pamažu išnyksta, todėl galiausiai įvairovė tik dar labiau apribojama. Bet, pridėjus šiek tiek naujų mutacijų, kaip 1930 m. padarė puikus statistikas ir genetikas Ronaldas Fišeris (*Ronald Fisher*), ir lytinių santykių privalumai padidėja.

Pasak R. Fišerio, kadangi mutacijos yra retos, labiausiai tikėtina, kad skirtingos mutacijos įvyks skirtinguose individuose. Panašiai tikėtina, kad žaibas trenks į du skirtingus žmones, o ne į tą patį dukart (nors ir mutacijos, ir žaibas kartais trenkia tam pačiam žmogui dukart).

Norėdami pailustruoti R. Fišerio argumentą, tarkime, kad dvi naudingos mutacijos įvyksta klonais besidauginančioje populiacijoje. Kaip jos plinta? Gali

## LYTINIAI SANTYKIAI



5.1 PAV. NAUJŲ NAUDINGŲ MUTACIJŲ PAPLITIMAS LYTINIUISE (VIRŠUJE) IR NELYTINIUISE (APAČIOJE) ORGANIZMUOSE. LYTINIŲ SANTYKIŲ METU NAUDINGOS MUTACIJOS, A GENĄ PAVERČIANČIOS A GENU, B GENĄ – B GENU, GREITAI REKOMBINUOJAMOS, IR SUDAROMAS GERIAUSIAS AB GENOTIPAS. BE LYTINIŲ SANTYKIŲ, A GALI PLISTI TIK B SĄSKAITA, IR ATVIRKŠČIAI, TODĖL GERIAUSIAS AB GENOTIPAS GALI SUSIDARYTI TIK TADA, JEI AB POPULIACIJOJE DAR KARTĄ ĮVYKSTA B MUTACIJA.

plisti tik viena kitos ar mutacijų neturinčių individų sąskaita (žr. 5.1 pav.). Jei abi mutacijos naudingos vienodai, gali būti, kad populiacijoje jos pasiskirstys perpus. Svarbiausia – joks individas negali turėti abiejų mutacijų iškart, nebent antroji įvyktų individe, kuris jau turi pirmąją, t. y. jei žaibas trenktų dukart.

To dažnumas priklauso nuo įvairių veiksnių, sakykime, mutacijų greičio ir populiacijos dydžio, bet apskritai populiacijose, kurios dauginasi tik klonais, dvi naudingos mutacijos viename individe bus labai retos.<sup>4</sup> Lytiniai santykiai priešingai – gali sujungti dvi mutacijas vienu transcendentiniu akimirkiniu.

R. Fišeris teigia: lytiniai santykiai naudingi tuo, kad naujos to paties individo mutacijos gali būti sujungtos beveik iškart, todėl natūralioji atranka turi galimybę išbandyti individo prisitaikymą su abiem mutacijomis. Jei dėl naujų mutacijų prisitaikymas iš tiesų pagerėja, lytiniai santykiai joms padeda greičiau paplsti visoje populiacijoje, pagerinant organizmų prisitaikymą ir paspartinant evoliuciją (žr. 5.1 pav.).

Amerikiečių genetikas Hermanas Miuleris (*Hermann Muller*), 1946 m. gavęs Nobelio fiziologijos ir medicinos premiją už atradimą, kad rentgeno spinduliai sukelia genų mutaciją, vėliau išplėtojo šią idėją, įtraukdamas ir žalingas mutacijas. Pats sukėlęs tūkstančius mutacijų vaisinėse muselėse, jis geriau nei bet kas kitas žinojo, kad dauguma naujų mutacijų yra žalingos. Mokslininkas kėlė gilesnį filosofinį klausimą: kaip klonų populiacija tokių žalingų mutacijų gali atsikratyti. Jis siūlė įsivaizduoti, kad visos muselės turi po 1 ar 2 mutacijas, išskyrus kelis genetiškai „švarius“ individus.

Kas vyktų toliau? Nedidelėje klonų populiacijoje neįmanoma išvengti laipsniško prisitaikymo prastėjimo, nes reprodukcijos tikimybė priklauso ne tik nuo genetinio prisitaikymo, bet ir nuo atsitiktinumo būti tinkamoje vietoje tinkamu laiku. Įsivaizduokite dvi museles. Viena jų turi 2 mutacijas, kita nė vienos. Mutacijų turinti muselė atsiduria ten, kur gausu maisto, o „švari“ muselė badauja. Nepaisant prastesnio prisitaikymo, tik mutacijų turinti muselė išgyvena ir perduoda savo genus.

Dabar įsivaizduokite, kad badu mirusi muselė buvo paskutinis mutacijų neturintis individas savo populiacijoje; visos kitos populiacijos muselės turi bent po 1 mutaciją. Jei neįvyksta atgalinė mutacija, kuri pasitaiko labai retai, visa populiacija tampa šiek tiek mažiau prisitaikiusi nei anksčiau. Tas pats scenarijus gali vis kartotis, kiekvieną kartą spragtelint reketo strektei. Galiausiai visa populiacija taip išsigimsta, kad išnyksta. Ši progresija vadinama Miulerio reketu.

H. Miulerio reketas priklauso nuo atsitiktinumo. Jei populiacija labai didelė, atsitiktinumo reikšmingumas sumažėja, ir statistškai tikėtina, kad labiausiai prisitaikę individai išgyvens. Didelėje populiacijoje žiaurais likimo strėlės ne tokios baisios. Jei reprodukcijos greitis didesnis nei mutacijų kaupimosi sparta, tada populiacija kaip visuma nuo Miulerio reketo efekto yra apsaugota. Kita vertus, jei populiacija maža, arba jei didelis mutacijų greitis, reketas įsijungia. Tokiomis aplinkybėmis klonų populiacija pradeda nykti, amžiams kaupdama mutacijas.

Lytiniai santykiai – tikras išsigelbėjimas, nes jie gali atkurti nepažeistus individus, sujungdami nemutavusius to paties individo genus. Džono Meinardo Smito (*John Maynard Smith*) analogijoje apie 2 sugedusias mašinas, kur vienos sugedusi pavarų dėžė, o kitos variklis, lytiniai santykiai yra kaip me-

chanikas, sumontuojantis veikiančią mašiną iš sveikų dalių. Tačiau kitaip nei protingas mechanikas, lytiniai santykiai taip pat gali sumontuoti ir sugedusias dalis, ir pagaminti neveikiančią laužo krūvą. Gamta, kaip visada, nešališka: individualią lytinių santykių naudą atsveria individuali žala.

Yra tik vienas būdas išvengti šio lytinių santykių nešališkumo, kurį 1983 m. pasiūlė gudrus rusų evoliucijos genetikas Aleksejus Kondrašovas (*Alexey Kondrashov*), šiuo metu dirbantis mokslinių tyrimų profesoriumi Mičigano universitete. Jis studijavo zoologiją Maskvoje, paskui tapo teoretiku Puščino tyrimų centre, o kompiuterinės technologijos jam padėjo padaryti neįprastas išvadas apie lytinius santykius.

Jo teorijoje daromos dvi drąsios prielaidos, vis dar sukeliančios evoliucionistų pykčių. Pirma: mutacijų greitis yra kur kas didesnis, nei manė dauguma žmonių. Kad A. Kondrašovo teorija veiktų, kiekvienos kartos kiekviename individe turi būti 1 ar daugiau žalingų mutacijų. Antra: dauguma organizmų yra daugiau ar mažiau atsparūs taškinių mutacijų poveikiui.

Mūsų prisitaikymas iš tikrųjų pradeda mažėti tik tada, kai vienu metu paveldime daug mutacijų. Taip gali atsitikti, pavyzdžiui, jei kūnas turi tam tikrą trūkumą. Panašiai kaip galime išgyventi netekę vieno inksto, plaučio ar net vienos akies (nes kitas organas funkcionuoja toliau), taip ir genų lygmeniu yra tam tikras funkcijų dvigubinimas. Tą patį gali atlikti daugiau nei vienas genas, todėl visa sistema apsaugoma nuo rimtos žalos. Jei tai tiesa, ir genai gali „pavaduoti“ vienas kitą, tada taškinė mutacija nebūtų tokia pražūtinga, ir A. Kondrašovo teorija veiktų.

Kuo naudingos šios dvi prielaidos? Pirma – didelis mutacijų greitis – reiškia, kad netgi be galo didelės klonų populiacijos nėra apsaugotos nuo Miulero reketo poveikio. Jos neišvengiamai pradės nykti, ir galiausiai įvyks „mutacijų katastrofa“. Antra prielaida labai protinga: lytiniai santykiai gali pašalinti daugiau nei 1 mutaciją vienu kartu.

Markas Ridlis (*Mark Ridley*) puikioje analogijoje lygina klonavimą ir lytinius santykius, aprašytus Senajame ir Naujajame testamentuose. Mokslininkas sako, kad mutacijos yra lyg nuodėmės. Jei mutacijų greitis pasiekia 1 mutaciją kartoje (visi yra nusidėjėliai), tada vienintelis būdas atsikratyti nuodėmių klonų populiacijoje – išnaikinti visą populiaciją: nuskandinti tvane, nušluoti ugnimi ir siera ar apkirsti maru.

Jei lytiniai organizmai gali sukaupti tam tikrą kiekį mutacijų be žalos (iki ribos, kurią peržengus, nebeįmanoma grįžti), lytiniai santykiai gali surinkti didelį mutacijų kiekį sveikuose tėvuose ir perduoti jas visas vienam vaikui. Tai Naujojo Testamento metodas. Kaip Kristus mirė už visos žmonijos nuodėmės, taip ir lytiniai santykiai visos populiacijos mutacijas gali perduoti vienam atpirkimo ožiui ir jį nukryžiuoti.

A. Kondrašovas priėjo prie išvados, kad tik lytiniai santykiai gali užkirsti kelią mutacinei didelių, sudėtingų organizmų pražūčiai. Iš to daroma kita išvada: sudėtinga gyvybė nebūtų įmanoma be lytinių santykių. Tai įkvepianti išvada, bet ji nėra visuotinai priimta.

Vis dar kyla ginčų dėl abiejų A. Kondrašovo prielaidų, o mutacijų greitį ar jų sąveiką tiesiogiai pamatuoti nelengva. Jei dėl ko nors sutariama, tai dėl to, kad teorija gali būti teisinga kai kuriais atvejais, tačiau prielaidos per dažnai būna klaidingos, kad teorija galėtų paaiškinti masinį lytinių santykių paplitimą pasaulyje. Teorija taip pat nepaaiškina lytinių santykių atsiradimo paprastuose vienaląsčiuose organizmuose, kuriems nereikia jaudintis dėl savo dydžio ir sudėtingumo, o tuo labiau dėl prigimtinės nuodėmės.



Lytiniai santykiai populiacijoms naudingi tuo, kad sudaro palankius genų derinius ir pašalina nepalankius. XX a. pirmoje pusėje klausimas buvo laikomas daugmaž išspręstu, nors R. Fišeris ir išreiškė abejonių dėl savo paties teorijos. Apskritai jis kaip ir Č. Darvinas manė, kad atranka veikia individus, o ne rūšį kaip visumą. Tačiau jis jautėsi privalęs padaryti išimtį dėl rekombinacijos, kuri „gali būti išsivysčiusi dėl specifinės, o ne dėl individualios naudos.“

Nors A. Kondrašovo teorija palanki daugumai individų, ir tik vienas kitas kartais yra nukryžiuojamas, net ir šiuo atveju tiesioginė lytinių santykių nauda gali būti jaučiama tik po daugelio kartų. Atskiriems individams nauda nedidėja, bent ne įprasta prasme.

R. Fišerio uždegtas degiklis smilko ilgai, bet bomba galiausiai sprogo septintojo dešimtmečio viduryje, kai evoliucionistai ėmė grumtis su savanaudžių genų ir altruizmo paradokso idėjomis.

Šios problemos ėmėsi vieni iškiliausių žmonių evoliucijos teorijoje: Džordžas K. Viljamsas (*George C. Williams*), Dž. M. Smitas, Bilas Hamiltonas (*Bill*

*Hamilton*), Robertas Triversas (*Robert Trivers*), Grehemas Belas (*Graham Bell*) ir Ričardas Dokinasas (*Richard Dawkins*). Paaiškėjo, kad biologijoje tikro altruizmo labai mažai. Pasak R. Dokinso, esame aklos marionetės, valdomos savanaudžių genų, kurie elgiasi pagal savo interesus.

Remiantis šiuo savanaudišku požiūriu, kyla klausimas, kodėl apgavikai nelaimėjo? Kodėl individas turėtų paaukoti savo interesus (daugintis klonavimu) dėl naudos (genetinės sveikatos), kurią rūšis pajus tik tolimoje ateityje? Nors žmonės gali numatyti ateitį, jie elgiasi beveik neatsižvelgdami į geriausius savo palikuonių artimiausioje ateityje interesus: naikina miškus, skatina globalinį atšilimą ir demografinį sprogamą. Tai koku būdu akla, savanaudė evoliucija suteikė populiacijai ilgalaikės lytinių santykių naudos prioritetą prieš trumpalaikę dvigubą lytinių santykių kainą su visais jos trūkumais?

Vienas galimų atsakymų: lytiniai santykiai mums painūs dėl to, kad jie taip lengvai negali deevoliucionuoti. Tokiu atveju trumpalaikė lytinių santykių kaina yra nediskutuotina. Šiame argumente yra tiesos. Anksčiau minėjau, kad beveik visos klonų rūšys išsivystė neseniai – prieš tūkstančius, o ne prieš milijonus metų. Būtent to ir reikėtų tikėtis, jei klonų rūšys retkarčiais išsivysto, kurį laiką klesti ir per tūkstančius metų laipsniškai išnyksta. Nepaisant atsitiktinių nelytinių rūšių suklestėjimų, lytiniai santykiai retai kada yra visiškai išstumiami, nes vienu metu aplinkoje tėra vos kelios nelytinės rūšys.

Iš tiesų, yra gerų „atsitiktinių“ priežasčių, dėl ko lytiniam organizmams sunku pereiti prie klonavimosi. Pavyzdžiui, žinduoliams būdingas reiškinys, vadinamas genomo imprintingu (kuris „išjungia“ kai kuriuos motinos ar tėvo genus), reiškia, kad bet kuris palikuonis privalo paveldėti abiejų tėvų genus, nes kitaip jis nebus gyvybingas. Galimas daiktas, mechanškai sunku panaikinti tokią priklausomybę nuo 2 lyčių – jokie žinduoliai nėra atsisakę lytinių santykių.

Beveik tą patį galima pasakyti ir apie spygliuočius: sunku panaikinti 2 lytis, nes mitochondrijos paveldimos iš sėklapradžio, o chloroplastai – iš žiedadulkių. Kad būtų gyvybingas, palikuonis turi paveldėti ir viena, ir kita, o tam reikia 2 tėvų. Visi spygliuočiai taip pat yra lytiniai organizmai.

Bet šis argumentas siekia tik tiek. Yra keletas priežasčių manyti, kad lytiniai santykiai ne tik yra naudingi populiacijai, bet tiesioginės naudos turi turėti ir individui. Pirma, daug rūšių (dauguma rūšių, jei įskaičiuosime daugybę

vienaląsčių pirmuonių) yra pasirinktinai lytiniai, t. y. lytiniais santykiais jie užsiima tik retkarčiais, kai kuriais atvejais net kas 30 kartų ar panašiai.

Kai kurios rūšys, sakykime, žiuželinis pirmuonis *Lamblia (Giardia) intestinalis*, niekada nebuvo pagautas „nusikaltimo vietoje“, tačiau jis turi visų mejozei reikalingų genų, taigi retkarčiais paslapčia susiporuoja (kai mokslininkai nemato). Ši logika galioja ne tik vienaląsčiams, bet ir kai kuriems dideliems organizmams – moliuskams, driežams ir žolėms, kurie pagal aplinkybes tai klonuojasi, tai dauginasi lytiniu būdu. Akivaizdu: prie klonavimosi jie gali grįžti kada panorėję, todėl „atsitiktinis“ blokavimas negali būti atsakymas.

Panašus argumentas taikomas ir lytinių santykių kilmei. Kai pirmieji eukariotai „išrado“ lytinius santykius (daugiau apie tai vėliau), greičiausiai buvo vos kelios lytiniu būdu besidauginančios ląstelės didesnėje populiacijoje, kuri dauginosi klonavimu. Kad paplistų populiacijoje (taip ir įvyko, nes visi eukariotai kilę iš protėvio, kuris jau buvo lytinis organizmas), patys lytiniai santykiai turėjo teikti naudos lytiškai besidauginančių ląstelių palikuonims. Kitaip sakant, lytiniai santykiai pirmą kartą turėjo paplisti todėl, kad buvo naudingi populiacijos individams, o ne populiacijai apskritai.

Būtent šį bręstantį supratimą, kad lytiniai santykiai privalo būti naudingi individams, nepaisant dvigubos jų kainos, 1966 m. išreiškė Dž. K. Viljamsas. Klausimas atrodė išspręstas, o dabar jis vėl iškilo ir tapo net dar keblesnis. Kad lytiniai santykiai paplistų nelytinėje populiacijoje, lytiniai individai turėtų turėti daugiau nei dvigubai daugiau išgyvenusių palikuonių kiekvienoje kartoje.

Tačiau nešališka lytinių santykių mechanika buvo gerai žinoma – kiekvienam laimėjusiam tenka vienas pralaimėjęs, kiekvienam geram genų deriniui tenka vienas blogas. Paaiškinimas turėjo būti ir subtilus, ir milžiniškas, žvelgiantis tiesiai į mus, bet mums nematomas. Nenuostabu, kad tai pritraukė puikiausių biologų protus.

Dž. K. Viljamas nukreipė dėmesį nuo genų į aplinką, tiksliau – į ekologiją. Jis paklausė: kodėl yra gerai skirtis nuo tėvų? Tai galėtų būti svarbu, jei aplinka būtų kintanti, arba jei organizmai užimtų naujas teritorijas, plėstų savo nišą, išsisklaidytų ar migruotų. Jis padarė išvadą: daugintis klonuojantis – tai tas pat, kas nusipirkti 100 vienodų loterijos bilietų. Geriau nusipirkti 50 bilietų su skirtingais skaičiais – būtent tokį sprendimą siūlo lytiniai santykiai.



Idėja, atrodo, pagrįsta, ir neabejotinai yra pavyzdžių, kai ji teisinga, tačiau tai buvo pirmoji iš daugelio protingų hipotezių, kurios pasirodė esančios nepakankamos, kai buvo palygintos su duomenimis. Jei lytiniai santykiai yra reakcija į kintančias sąlygas, tai arčiau Žemės polių ar dideliame aukštyje, kur sąlygos labai nepastovios, arba gėlavandeniuose upeliuose, kurie tai patvinsta, tai išdžiūsta, lytiniai santykiai turėtų pasitaikyti dažniau. Tačiau paprastai taip nėra.

Lytiniai santykiai dažniau pasitaiko stabilioje aplinkoje, kur gausu populiacijos – ežeruose, jūroje, tropikuose. Ir apskritai, jei aplinka keičiasi, augalai ir gyvūnai seka paskui savo mėgstamas sąlygas: migruoja į šiaurę, pavyzdžiui, sekdami paskui tirpstančius ledynus, kai klimatas šyla.

Labai retai aplinka pakinta taip greitai, kad palikuonims reikėtų būti kitoiems kiekvienoje kartoje. Reti lytiniai santykiai tikrai būtų geriau. Rūšis, dažniausiai besidauginanti klonavimusi ir, tarkime, sykį per 30 kartų užsiimanti lytiniais santykiais, išvengtų dvigubos kainos, neprarasdama rekombinacijos naudos. Tačiau dažniausiai tai nebūdinga bent dideliems augalams ir gyvūnams.

Kitos ekologijos idėjos, pavyzdžiui, konkurencija dėl erdvės, taip pat neatlaikė patikrinimo duomenimis. Bet tada, palikusi sceną, pasirodė Karalienė. Jei jos nepažįstate, tai Karalienė yra surrealistinė veikėja iš Luiso Kerolio (*Lewis Carroll*) nuostabiai absurdiškos knygos „Alisa Stebuklų šalyje ir Veidro-džio karalystėje“ (*Through the Looking Glass*). Kai Alisa sutinka Karalienę, ši greitai bėga, bet niekur nenubėga. „Reikia bėgti kiek įkabini, kad išsilaikytum toje pačioje vietoje,“ – sako Karalienė.

Nors biologai šia mintimi remiasi, kalbėdami apie bet kokias lenktynes rūšių, įsuktų į nuolatinį varžymąsi: lenktyniauja viena su kita, bet niekada neišsiveržia toli į priekį. Šie žodžiai prasmingiausi kalbant apie lytinių santykių evoliuciją.<sup>5</sup>

Devintojo dešimtmečio pradžioje Karalienės hipotezę įnirtingai gynė B. Hamiltonas – talentingas matematikas, genetikas ir natūralistas, kurį daugelis laiko „įžymiausiu darvinistu po Darvino“. Prie Č. Darvino teorijos pridėjęs kelis svarbius papildymus (pavyzdžiui, sukūrė giminių atrankos modelius, paaiškinančius altruizmą), susidomėjo parazitais ir, būdamas 63 m., 1999 m. dalyvaudamas bebaimių ekspedicijoje į Kongą ieškoti šimpanzių su AIDS virusu, tapo maliarinio parazito auka. Jis mirė 2000 m.

Jo kolega R. Triversas jaudinančiame nekrologe *Nature* žurnale rašė: B. Hamiltonas „turėjo patį subtiliausią ir, sakytume, daugiasluoksnią protą.

Tai, ką jis kalbėjo, dažniausiai turėjo dvejopą ar net trejopą prasmę. Mes kalbame ir mąstome pavienėmis natomis, o jis mąstė akordais.“

Iki ypatingo B. Hamiltono susidomėjimo parazitai turėjo prastą reputaciją. Įtakingas karalienės Viktorijos laikų zoologas Rėjus Lankesteris (*Ray Lankester*) juos „nurašė“ kaip niekingą evoliucinės degeneracijos rezultatą (manė, kad toks likimas laukia ir Vakarų civilizacijos). Grėsmingas R. Lankesterio šešėlis po šimtmečio vis dar tvyrojo virš zoologų.

Už parazitologijos ribų nedaug mokslininkų ryžosi palaikyti sudėtingas parazitų adaptacijas, keičiant formą ir pobūdį, priklausomai nuo šeimininko, gebėjimą stebuklingu tikslumu nusitaikyti į savo aukas – tai žinios, aplenkusios parazitologus ištisais dešimtmečiais.

Parazitai toli gražu nėra degeneravę: jie – viena gudriausiai prisitaikiusių rūšių. Be to, jiems nepaprastai sekasi: remiantis apskaičiavimais, jų ir laisvai gyvenančių rūšių santykis – 4 : 1. B. Hamiltonas greitai suprato, kad negailestinga parazitų ir jų šeimininkų konkurencija sukūrė būtent tokią nuolat kintančią aplinką, kokios reikėjo, kad lytiniai santykiai įgytų didelį privalumą.

Kodėl reikia skirtis nuo tėvų? Todėl, kad, net mums gimstant, tėvus, ko gero, iš vidaus ėda parazitai, kartais ir tiesiogine prasme. Tie, kuriems pasisekė gyventi steriliomis Europos ar Šiaurės Amerikos sąlygomis, greičiausiai jau pamiršo parazitinių infekcijų siaubus, tačiau kitai pasaulio daliai pasisekė mažiau: maliarija, afrikinė miegligė, onkocerkozė (upinis aklumas) rodo, kiek vargo sukelia parazitai. Visame pasaulyje mažiausiai 2 mlrd. žmonių yra užsikrėtę vienos ar kitos rūšies parazitais.

Apskritai, žmonės labiau linkę susirgti ir mirti nuo tokių ligų, nei žūti nuo plėšrūnų, ekstremalių oro sąlygų ar bado. Be to, visiškai įprasta tropiniams gyvūnams ir augalams turėti net iki 20 rūšių parazitų vienu metu.

Lytiniai santykiai naudingi, nes parazitai greitai evoliucionuoja. Jie gyvena trumpai ir vis didėjančiomis populiacijomis. Jie ilgai netrunka prie šeimininko prisitaikyti molekulinio lygmeniu – baltymas prie baltymo, genas prie geno. Jei tai nepavyksta, jie žūsta, o jei pasiseka – gali augti ir daugintis.

Jei šeimininkų populiacija būtų genetiškai tapati, prisitaikęs parazitas galėtų paplisti po visą populiaciją ir ją sunaikinti. Tačiau jei šeimininkai yra skirtingi, atsiranda tikimybė, kad kai kurie individai turės retą genotipą, kuris

parazitui bus atsparus. Jie klestės tol, kol parazitas nebus priverstas bandyti prisitaikyti prie naujo genotipo arba išnykti pats. Ir tai tęsiasi karta po kartos, genotipas po genotipo, amžinas bėgimas, niekur nenubėgant – visai kaip Karalienės atveju. Taigi lytiniai santykiai riboja parazitų veiklą.<sup>6</sup>

Ar bent taip teigia teorija. Tiesa, lytiniai santykiai itin paplitę gausiai apgyventose vietose, kur klesti parazitai. Taip pat tiesa, kad tokiomis sąlygomis atskiriems palikuonims lytiniai santykiai gali teikti tiesioginės naudos. Tačiau vis tiek kyla abejonių, ar parazitų keliama grėsmė iš tiesų yra tokia rimta, kad paaiškina lytinių santykių atsiradimą, paplitimą ir išlikimą.

Karalienės išpranašauta nepailstama genotipo kaita nėra lengvai pastebima laukinėje gamtoje, o kompiuteriniai modeliai, skirti išbandyti lytinių santykių atsiradimą paskatinusias sąlygas, piešia labiau ribotą vaizdą nei pradinę liepsnojanti B. Hamiltono koncepcija.

Pavyzdžiui, Karalienės hipotezės pradininkas Kurtis Laivlis (*Curtis Lively*) 1994 m. pripažino: kompiuterinis modeliavimas rodo: „parazitai paskatino lemiamą lytinių santykių privalumą tik tada, kai parazitų perdavimo tikimybė buvo didelė (>70 %), o parazitų poveikis šeimininko prisitaikymui buvo lemtingi (>80 % prisitaikymo netekimas).“

Nors šios sąlygos kai kuriais atvejais neabejotinai buvo, dauguma parazitinių infekcijų nėra tokios aršios, kad suteiktų privalumą lytiniais santykiais. Mutacijos reiškia, kad tolydžio ir klonai gali genetiškai pakisti, o kompiuteriniai modeliai rodo – kai kuriems klonams sekasi geriau nei lytiniais organizmams. Įvairūs patobulinimai Karalienei suteikia daugiau galios, bet primena tik „patogios“ informacijos pabrėžimą. XX a. paskutinio dešimtmečio viduryje toje srityje buvo justi nusivylimas ir suvokimas, kad viena teorija negali paaiškinti lytinių santykių atsiradimo ir išlikimo.



Žinoma, niekas nesako, kad lytinius santykius turi paaiškinti tik viena teorija. Viską galima suderinti, ir nors tai atrodo kaip netvarkingas sprendimas matematiniu požiūriu, gamta gali būti tokia netvarkinga, kokia nori. XX a. paskutinio dešimtmečio viduryje mokslininkai ėmė jungti teorijas ir žiūrėti, ar jos kaip nors sustiprina viena kitą; pasirodė – taip ir yra. Su kuo Karalienė gula į lovą, nėra nesvarbu, ir ji tikrai pajėgesnė su kai kuriais partneriais.

K. Laivlis parodė, kad, sujungus Karalienės ir Miulerio reketo teorijas, padidėja lytinių santykių „atsipirkimas“, todėl abi idėjos gali būti taikomos. Tačiau, mokslininkams grįžus prie brėžinių ir iš naujo pažvelgus į įvairius rodiklius, vienas jų pasirodė esąs neabejotinai neteisingas ir per daug matematinis, kad atitiktų tikrovę begalinio populiacijos dydžio prielaida. Dauguma populiacijų ne tik kad nėra begalinės, bet net ir didelės populiacijos yra geografiškai struktūrizuotos, suskaidytos į neabejotinai baigtinius, iš dalies atskirus vienetus. Dėl to atsiranda didžiulis skirtumas.

Matyt, didžiausias netikėtumas buvo tai, kas pasikeitė. Senosios populiacinės genetikos idėjos, siekiančios ketvirtą dešimtmečio R. Fišerio ir H. Miulerio mintis, vėl pakilo iš savo poilsio vietos vadovėliuose ir, mano nuomone, tapo vienintele daug žadančia teorija, paaiškinančia visuotinį lytinių santykių paplitimą.

Nors nuo septintojo dešimtmečio R. Fišerio idėjas plėtojo daug mokslininkų, ypač Viljamas Hilas (*William Hill*), Alanas Robertsonas (*Alan Robertson*) ir Džo Felzenšteinas (*Joe Felsenstein*), įvykių kryptį pakeitė Niko Bartono (*Nick Barton*) iš Edinburgo universiteto ir Saros Oto (*Sarah Otto*) iš Britų Kolumbijos universiteto įkvepiantis matematinis duomenų apdorojimas. Per pastarąjį dešimtmetį jų modeliavimas sėkmingai paaiškino lytinių santykių naudą individams ir populiacijoms. Malonu matyti, kad į naująją sistemą taip pat įtrauktos ir kitos teorijos nuo Dž. K. Viljamso loterijos iki pačios Karalienės.

Naujos idėjos remiasi atsitiktinumu ir atranka baigtinėse populiacijose. Begalinėse populiacijose atsitiks viskas, kas gali atsitikti. Neišvengiamai atsiras geriausias genų derinys ir, galimas daiktas, tai net ilgai neužtruks. Tačiau baigtinėse populiacijose aplinkybės yra visiškai kitokios. Taip yra todėl, kad, be rekombinacijos, genai chromosomoje yra lyg ant siūlo suverti karoliukai.

Chromosomos likimas priklauso nuo visumos – nuo viso siūlo, o ne nuo atskirų genų savybių. Dauguma mutacijų yra žalingos, bet ne tokios blogos, kad pasmerktų kitais atžvilgiais gerą chromosomą. Taigi jos gali kauptis, laipsniškai mažindamos prisitaikymą ir prisidedamos prie prasto chromosominio fono. Nors mutacijos retai kada būna tokios rimtos, kad suluošintų ar nužudytų, lėtas jų lašėjimas išsiurbia genetinę energiją ir nepastebimai sumažina vidurkį.

Įdomu, kad šiame antraeilame plane naudingos mutacijos daro tik dar daugiau žalos. Įsivaizduokime, kad chromosomoje yra 500 genų. Gali nutikti

vienas iš dviejų dalykų. Antraeilė „kompanija“ chromosomoje mutacijos plitimą arba pristabdys, arba ne. Pirmu atveju stiprią teigiamą vieno geno atranką atsvers silpna kitų 499 genų atranka. Bendras poveikis bus neutralus, ir labai tikėtina, kad naudinga mutacija dings, nes jos genas beveik nematomas natūraliai atrankai. Kitaip sakant, tos pačios chromosomos genų trukdžiai, vadinami atrankos trukdžiais, užtemdo vertingų mutacijų naudą ir trukdo atrankai.

Bet antra alternatyva yra tiesiog velniškai klastinga. Sakykime, populiacijoje yra 50 tos pačios chromosomos variantų. Nauja mutacija, kuri yra gana naudinga, kad populiacijoje paplistų, turi išstumti visus kitus to paties geno variantus. Deja, ji išstumia ne tik visus to paties geno variantus, bet ir visų konkurentų visų genų, esančių toje pačioje chromosomoje, variantus.

Jei nauja mutacija atsiranda vienoje iš tų 50 chromosomų, kitos 49 išnyks. Iš tiesų padėtis net blogesnė, nes principas galioja ne tik fiziškai toje pačioje chromosomoje susietiems genams, bet ir visiems to paties likimo genams klonuotame organizme, t. y. visiems genams. Galima sakyti, dingsta visa genų įvairovė.

Vadinasi, „blogos“ mutacijos gadina „geras“ chromosomas, o „geros“ mutacijos įstringa „blogose“ chromosomose – abiem atvejais prisitaikymas mažėja. Retais atvejais, kai mutacija sukelia didelį pokytį, stipri atranka turi pražūtingą poveikį genų įvairovei.

Rezultatas puikiai matyti degeneravusioje vyrų Y chromosomoje, kuri niekuomet nesirekombinuoja.<sup>7</sup> Moterų X chromosomos (ji rekombinuoja, nes moterys turi dvi X chromosomas) šešėlis, Y chromosoma, yra ne kas kita, kaip tik liekana, turinti šiek tiek genų, susimaišiusių su krūva nesuprantamų genų skiemenų. Jei visos chromosomos būtų tokios degeneravusios, sudėtingos gyvybės formos nebūtų įmanomos.

Velniška klasta tuo nesibaigia. Juo stipresnė atranka, tuo labiau tikėtina, kad vieną ar kitą geną atranka pašalins. Čia veikia įvairios stiprios atrankos jėgos: parazitai, klimatas, badas, pasklidimas į naujas buveines, dėl to atsiranda sąsaja su Karaliene ir kitomis lytinių santykių teorijomis. Kiekvienu atveju rezultatas yra genų įvairovės praradimas, kuris sumažina naudingąją populiacijos dydį. Apskritai didelės populiacijos turi didelę genų įvairovę, ir atvirkščiai.

Klonavimosi būdu besidauginančios populiacijos netenka genų įvairovės per kiekvieną atranką. Populiacijos genų požiūriu, didelės populiacijos (mi-

lijoninės) elgiasi taip, lyg būtų mažos (tūkstantinės), ir tai vėl atveria duris atsitiktinumui. Tokiu būdu stipri atranka net didžiules populiacijas paverčia mažomis, „naudingo“ dydžio populiacijomis, ir jos tampa pažeidžiamos degeneracijos ir išnykimo grėsmės.

Tyrimai parodė, kad būtent toks genų skurdumas būdingas ne tik klonams, bet ir rūšims, kurios lytiniais santykiais užsiima retai. Didysis lytinių santykių privalumas tas, kad jie visuomet leidžia rekombinuotis geresiems genams, nepaisant šlamšto genetiniame fone, ir išsaugoti didelę dalį genų populiacijų įvairovės.

Matematiniai N. Bartono ir S. Oto modeliai rodo, kad genų „atrankos trukdžiai“ taikomi ir individams, ne tik populiacijoms. Organizmuose, kurie gali daugintis tiek lytiniu, tiek klonavimosi būdu, lytinių santykių kiekį gali kontroliuoti vienintelis genas. Tokio geno paplitimo pokytis rodo lytinių santykių sėkmingumą bėgant laikui.

Jei paplitimas didėja, laimi lytiniai santykiai, jei mažėja – laimi klonavimasis. Jei paplitimas didėja iš vienos kartos į kitą, lytiniai santykiai yra naudingi individams – tai labai svarbu. O paplitimas didėja. Iš visų mūsų šiame skyriuje aptartų idėjų atrankos trukdžiai taikomi plačiausiai.

Lytiniai santykiai veikia geriau nei klonavimasis (išskyrus dvigubą kainą) beveik visomis aplinkybėmis. Skirtumas didžiausias, kai populiacija yra labai įvairi, mutacijų greitis didelis, o atrankos spaudimas stiprus – nešventa trejbė, dėl kurios ši teorija yra akivaizdžiai susijusi su lytinių santykių atsiradimu.



Vieni geriausių protų biologijoje sprendė lytinių santykių klausimą, bet tik neapdairi mažuma buvo linkusi spėlioti apie tolimą jų kilmę. Per daug neaiškumų, aiškinantis, kokioje būtybėje ar aplinkoje atsirado lytiniai santykiai, todėl spėlionės lieka spėlionėmis. Tačiau, nepaisant tebeverdančių ginčų, yra 2 teiginiai, su kuriais, manau, sutinka dauguma šios srities mokslininkų.

Pirma: bendrasis visų eukariotų protėvis užsiėmė lytiniais santykiais, t. y. jei atkurtume bendras augalų, gyvūnų, dumblių, grybų ir pirmuonių savybes, viena pagrindinių mums visiems būdingų savybių būtų lytiniai santykiai. Tai, kad jie yra esminiai visiems eukariotams, daug ką atskleidžia. Jei visi esame

kilę iš lytinio protėvio, kuris savo ruožtu kilo iš nelytinių bakterijų, turi būti „butelio kakliukas“, pro kurį gali prasisprausti tik lytiniai eukariotai. Gali būti, kad pirmieji eukariotai buvo nelytiniai, kaip ir bakterijos (jokios bakterijos neturi tikrų lytinių santykių), tačiau visi jie išnyko.

Antras dalykas, dėl kurio, manau, visi sutaria, susijęs su mitochondrijomis – eukariotinių ląstelių „jėgainėmis“. Neabejojama – mitochondrijos kada buvo laisvosios bakterijos, ir atrodo beveik neabejotina, kad bendrasis šiandieninių eukariotų protėvis mitochondrijas jau turėjo. Taip pat neabejojama, kad mitochondrijos ląstelei šeimininkei perdavė šimtus ar net tūkstančius genų, ir „šokinėjantieji genai“, apsidiję beveik visų eukariotų genomus, yra kilę iš mitochondrijų. Nė vienas šių teiginių nėra itin prieštaringas, tačiau visi kartu jie nupiešia įsimenamą paveikslą atrankos spaudimo, dėl kurio galėjo atsirasti lytiniai santykiai.<sup>8</sup>

Įsivaizduokite pirmąją eukariotinę ląstelę – chimera su mažomis bakterijomis, gyvenančiomis didesnėje ląstelėje šeimininkėje. Mirus vienai iš vidinių bakterijų, išlaisvinami jos genai, ir jie krinta ant ląstelės šeimininkės chromosomų. Jų fragmentai atsitiktine tvarka patenka į ląstelės šeimininkės chromosomą įprastu bakterijų genų prisijungimo būdu. Kai kurie šių naujų genų yra naudingi, kiti ne, dar kiti dvigubinasi su esamais genais. Tačiau kai kurie jų įvedami tiesiai į šeimininkės genų vidurį ir juos suskaido į gabalėlius.

Šokinėjantieji genai kelia sumaištį. Ląstelė šeimininkė negali sustabdyti plitimo, todėl jie nebaudžiami šokinėja po genomą, įsiterpdami į genus ir žiedinę ląstelės šeimininkės chromosomą suardydami į daugybę tiesių chromosomų, kokias šiandien turi eukariotai (žr. 4 skyrių).

Tai greit evoliucionuojanti ir labai įvairi populiacija. Mutuodama ląstelė netenka sienelės. Kitos bakterijų ląstelės skeletą paverčia dinamiškesniu eukarioto skeletu. Bakterijoms svečiams netvarkingai perduodant lipidų sintezės genus ląstelėje šeimininkėje formuojasi branduolys ir vidinės membranos. Nė vienas šių pokyčių nereikalauja aklai šokti į nežinomybę – visi šie etapai gali evoliucionuoti genus perduodant ir vykstant nedidelėms mutacijoms. Tačiau beveik visi pokyčiai žalingi. Kiekviena gauta nauda atsieina tūkstantį klaidingų žingsnių.

Vienintelis būdas sukurti chromosomą, kuri nenužudytų, vienintelis būdas vienoje ląstelėje sujungti geriausias naujoves ir genus – lytiniai santykiai.

Visaverčiai lytiniai santykiai. Ne šiaip abejingas keitimasis genais. Tik lytiniai santykiai gali suvienyti vienos ląstelės branduolio membraną ir dinamišką kitos ląstelės skeletą arba dar kitos ląstelės baltymų nukreipimo mechanizmą, tuo pat metu pašalinti nesėkmes.

Dėl atsitiktinio mejozės pobūdžio gali atsirasti vos vienas laimėjęs (ar – greičiau – išlikęs) organizmas iš tūkstančio, bet tai daug kartų geriau nei klonavimasis. Esant įvairiai populiacijai, dideliame mutacijų greičiui ir dideliame atrankos spaudimui (ji iš dalies kelia parazitinių šokinėjančiųjų genų krušą), klonai pasmerkti mirti. Nenuostabu, kad visi užsiimame lytiniais santykiais. Be jų mūsų, eukariotų, apskritai nebūtų.

Kyla klausimas: jei klonai buvo pasmerkti mirti, ar lytiniai santykiai galėjo išsivystyti taip greitai, kad juos išgelbėtų? Atsakymas gali nustebinti – taip! Mechanškai lytiniai santykiai galėjo išsivystyti gana lengvai. Iš esmės juos sudaro 3 dalykai: ląstelių susiliejimas, chromosomų atsiskyrimas ir rekombinacija. Šiek tiek panagrinėkime kiekvieną.

Susilieti bakterijų ląstelėms yra daugiau ar mažiau nelengva, nes trukdo ląstelės sienelė. Tačiau, netekus sienelės, padėtis gali tapti priešinga – ląstelės nesusilies. Daug paprastų eukariotų, pavyzdžiui, gleivūnai ir grybai, susilieja į milžiniškas ląsteles su daugybe branduolių. Laisvi ląstelių tinklai, vadinami sincitijomis, reguliariai susidaro kaip primityvių eukariotų gyvenimo ciklo dalis. Parazitai, tarkime, šokinėjantieji genai, taip pat mitochondrijos, naudos gauna, suliedami ląsteles – patekdami pas naujus šeiminkus.

Įrodyta, kad jie gali paskatinti ląsteles susilieti. Šiuo atveju gali būti, kad rimtesnė kliūtis buvo išrasti būdą užkirsti kelią ląstelėms susilieti. Taigi pirmoji lytinių santykių sąlyga – ląstelių susiliejimas – beveik neabejotinai problemų nekėlė.

Iš pirmo žvilgsnio chromosomų atskyrimas atrodo kaip rimtesnis iššūkis. Prisiminkime, kad mejozė yra įmantrus chromosomų šokis, netikėtai prasišedantis, chromosomų skaičiui padvigubėjus, o po to kiekvienai iš 4 antrinių ląstelių atskiriant 1 porą. Kodėl taip sudėtinga? Iš tiesų visiškai nesudėtinga – tai ne kas kita, nei esamo ląstelių pasidalijimo būdo – mitozės, kuri taip pat prasideda chromosomoms dvigubėjant – modifikacija.

Anot T. Kavaljė-Smito, mitozė tikriausiai atsirado per gana paprastą seką nuo įprasto bakterijų ląstelių pasidalijimo. Toliau jis nurodo: reikalingas tik vie-



nas esminis pakeitimas, kad mitozė virstų primityvia mejozės forma – nesuvirškinti visų „klijų“ (kohezino baltymo), chromosomas surišančių į krūvą. Užtuot vėl pradėjusi replikaciją ir chromosomų dvigubinimą, ląstelė akimirka sustoja, o tada pradeda atskirti chromosomas. Likę klijai ląstelę priverčia manyti, kad ji pasirengusi kitam chromosomų atskyrimui, nors dar nebaigusi pirmojo.

To rezultatas – chromosomų skaičiaus sumažėjimas, kuris, pasak T. Kavaljė-Smito, buvo pirminė mejozės nauda. Jei pirmosios eukariotinės ląstelės negalėjo nustoti jungtis į tinklus su daugybe chromosomų (tai ir šiandien dar gleivūnai), buvo reikalingas koks nors redukcinis ląstelės pasidalijimas, kuris būtų leidęs atkurti paprastas ląsteles su 1 chromosomų pora. Stabdydama įprastą ląstelės dalijimosi būdą, mejozė suteikė galimybę atkurti atskiras ląsteles. Ji tai atliko su esamu ląstelės dalijimosi mechanizmu be nereikalingo triukšmo.

Pasiekiamo paskutinį lytinių santykių aspektą – rekombinaciją. Rekombinacijos evoliucija vyksta be kliūčių, nes visas reikalingas mechanizmas yra bakterijose, ir buvo paveldėtas. Ne tik mechanizmas, bet ir pats bakterijų ir eukariotų rekombinacijos būdas yra visiškai toks pat. Bakterijos paprastai pasiima genus iš aplinkos (per procesą, vadinamą horizontaliuoju genų perdavimu) ir rekombinacijos būdu juos įveda į savo chromosomą.

Pirmuosiuose eukariotuose tas pats mechanizmas tikriausiai įvesdavo bakterijų genus, kurie krisdavo iš mitochondrijų, taip nuolat didinant genomą. Pasak Tiboro Velajaus (*Tibor Vellai*), dirbančio Budapešto Otvošo Loranodo (*Eötvös Loránd*) universitete, pirmieji eukariotai, kaip ir bakterijos, rekombinaciją greičiausiai naudojo genams įkrauti. Bet rekombinacijos mechanizmą panaudoti mejozei neabejotinai buvo tik formalumas.

Taigi lytinių santykių evoliucija, matyt, nebuvo sunki. Mechaniniu požiūriu, jai buvo tiesiog lemta įvykti. Natūralioji atranka reiškia ne „stipriausiųjų išgyvenimą“, nes išgyvenimas nieko nereiškia, jei stiprieji nesugeba daugintis.

Iki lytiniam santykiams atsirandant ilgai vyravo klonavimasis, tačiau lytiniai santykiai paplito beveik tarp visų eukariotų. Lytinių santykių siūlomi privalumai pačioje pradžioje, manytina, nesiskyrė nuo dabartinių: galimybė sujungti geriausius genų derinius tame pačiame individe, panaikinti žalingas mutacijas ir priimti visas vertingas naujoves.

Tais laikais lytiniuose santykiuose būdavo tik vienas laimėjęs, o gal vienas išlikęs organizmas iš tūkstančio, bet tai vis tiek buvo daug geriau nei klonavi-

## GYVYBĖS TRIUMFAS

masis, kuris reiškė garantuotą žūtį. Netgi šiandien iš lytinių santykių atsiranda perpus mažiau palikuonių nei iš klonavimosi, bet jie daugiau nei dvigubai geriau prisitaikę.

Beje, šios idėjos, kilusios XX a. pradžioje, buvo atmestos ir vėl iškilo sudėtingesniu pavidalu, o madingesnės teorijos liko nuošalyje. Jos teigia lytinius santykius esant naudingus individui, bet noriai priima ir senesnes istorijas lygiai taip pat, kaip ir lytiniai santykiai: klaidingos idėjos atmetamos, vaisingos sujungiamos į vieną teoriją, lyg genų rekombinacija chromosomoje. Idėjos geriausiai evoliucionuoja taip pat per lytinius santykius, ir mes visi prie to prisidedame.

## ŠEŠTAS SKYRIUS

# JUDĖJIMAS

### JĖGA IR ŠLOVĖ

„G amta kruvinais dantimis ir nagais“ – tai turbūt vienas dažniausiai Č. Darvinui klaidingai priskiriamų anglišių posakių. Bet ši frazė išreiškia jei ne pačios natūraliosios atrankos, tai bent plačiai paplitusio jos supratimo esmę. Ši eilutė paimta iš Alfredo Tenisono (*Alfred Tennyson*) eilėraščio *In memoriam*, kurį jis parašė 1850 m., t. y. likus 9 m. iki Č. Darvino „Rūšių kilmės“ paskelbimo.

Eilėraštis skirtas mirusio A. Tenisono draugui, poetui Arturui Halamui (*Arthur Hallam*) atminti, o tiesioginis šios eilutės kontekstas – baisiai niūrus Dievo meilės ir visiško Gamtos abejingumo kontrastas. Poeto lūpomis Gamta byloja, kad pražus ne tik pavieniai asmenys, bet ir ištisos rūšys: „Tūkstantis rūšių išnyko – man tai visiškai nerūpi, išnyks viskas!“ Numanoma, kad „viskas“ reiškia viską, ką branginame – tikslas, meilė, tiesa, teisingumas, Dievas. Nors A. Tenisonas niekada nebuvo visiškai praradęs tikėjimo, kartais atrodė, kad jį drasko abejonės.

Šis niūrus gamtos vaizdas, vėliau priskirtas negailestingoms natūraliosios atrankos girnoms, buvo puolamas iš visų pusių. Skaitant pažodžiui, čia neatsižvelgiama į žolėdžius, augalus, grybus, bakterijas ir pan. – visas gamtos gyvenimas susiaurinamas iki ryškios plėšrūno ir jo grobio kovos. Tačiau perkeltine prasme kova už būvį – šitaip itin mėgo sakyti Č. Darvinas – apskritai menkina individų ir rūšių ar netgi individo genų bendradarbiavimo – gamtoje pasitaikančios simbiozės – svarbą.

Bet aš šioje knygoje nenoriu nagrinėti bendradarbiavimo, tad cituotą eilutę skaitysiu pažodžiui ir sutelksiu dėmesį į plėšraus gyvenimo būdo svarbą, ypač į tai, kaip judėjimas (judrumas) prieš daugelį metų pavertė pasaulį tokiu, kokiame dabar gyvename.

„Kruvini dantys ir nagai“ savaime reiškia judėjimą. Pirmiausia reikia sugauti grobį – paprastai tai nėra pasyvus uždavinys. Tada, norint stipriai sukąsti nasrus, reikia išsižioti ir susičiaupti – tam reikalingi raumenys. Nagai taip pat negali draskyti, jei jų nuožmumo nevaldo raumenys. Manau, jei bandytume įsivaizduoti pasyvią grobuoniško gyvenimo būdo formą, matytume kažką panašaus į grybą, bet net ir tada vyksta kažkoks judėjimas, net jei tai tik lėtas grybienos gijų užsiveržimas.

Čia noriu pabrėžti: be judrumo plėšraus gyvenimo būdas sunkiai įmanomas. Judrumas yra sudėtingesnis, esmingesnis išradimas. Kad grobį galėtume pagauti ir suėsti, pirma turime išmokti judėti – galbūt šliaužti – ir praryti kaip mažutę amebą, o galbūt pulti greitai ir grakščiai kaip gepardas.

Judrumas tikrai pakeitė gyvenimą Žemėje iš pirmo žvilgsnio galbūt nepastebimais būdais – nuo ekosistemų sudėtingumo iki augalų evoliucijos greičio ir krypties. Šią istoriją atskleidžia fosilijų informacija, kuri atveria įžvalgas, nors ir netobulas, bet rodančias rūšių ryšių voratinklius ir kaip jie tolydžio keitėsi.

Įdomu, kad fosilijų informacija liudija gana staigų sudėtingumo pasikeitimą, įvykusį po didžiausio mūsų planetos istorijoje rūšių išnykimo. Manoma, kad permio periodo pabaigoje, prieš 250 mln. m., išnyko 95 % visų rūšių. Po to, kai šis didysis išnykimas paliko tik plikas uolas, viskas pasikeitė.

Žinoma, iki permio periodo pasaulis buvo gana sudėtingas. Sausumoje augo milžiniški medžiai ir paparčiai, gyveno skorpionai, laumžirgiai, varliagyviai, ropliai. Jūrose knibždėjo trilobitai, žuvys, rykliai, amonitai, pečiakojai, jūros lelijos (paprastieji krinoidėjai, kuriuos permio išnykimas beveik visiškai nušlavė nuo Žemės paviršiaus) ir koralai. Žvelgiant paviršutiniškai, gali atrodyti: nors kai kurios šios rūšys pasikeitė, ekosistemos ne taip ir skiriasi. Tačiau, panagrinėjus išsamiau, atsiskleidžia visai kitoks vaizdas.

Ekosistemos sudėtingumą galima įvertinti pagal rūšių santykį: jeigu vyrauja nedaug rūšių, o kitos egzistuoja tik paribyje, sakoma, kad ekosistema paprasta. Bet jei drauge gyvuoja didelis skaičius daugelio rūšių atstovų, tada ekosistema kur kas sudėtingesnė, o rūšių ryšių voratinklis kur kas platesnis.

## JUDĖJIMAS

Iš fosilijų informacijoje matomo vienu metu gyvenusių rūšių skaičiaus galima nustatyti sudėtingumo „indeksą“ – tokių apskaičiavimų rezultatai šiek tiek stebina. Atrodo, išnykus didžiajam permui, ekosistemos sudėtingėjo ne laipsniškai, bet staiga. Iki išnykimo maždaug 300 mln. m. sudėtingos ir paprastos jūrų ekosistemos buvo pasiskirsčiusios maždaug perpus. Vėliau ėmė vyrauti sudėtingos sistemos (santykiu maždaug 3 : 1) – tai buvo stabilus ir nuolatinis keitimasis, trukęs dar 250 mln. m. ir tebesitęsiantis iki šiol. Taigi pokytis įvyko ne laipsniškai, o staiga. Kodėl?

Pasak Čikagos Fildo gamtos istorijos muziejaus paleontologo Piterio Vagnerio (*Peter Wagner*), „kaltas“ judrių organizmų paplitimas. Šis postūmis pakeitė vandenynų pasaulį iš to, kuriame organizmai (pečiakojai, jūrų lelijos ir pan.) daugiausia buvo prisitvirtinę viename taške ir maitindavosi filtruodami vandenį (tokiam gyvenimo būdui pakako nedaug energijos), į naują, aktyvesnį gyvenimą, kuriame vyravo judantys gyvūnai, net jei jie judėjo mažučiais žingsneliais – moliuskai, jūrų ežiai, krabai. Žinoma, nemažai gyvūnų buvo judrūs jau prieš išnykimą, tačiau įsiviešpatavo tik po jo.

Kodėl šis pokytis įvyko tik išnykus permui, iki šiol nežinoma, bet tai galėjo būti susiję su geresniu „apsisaugojimu“ pasaulyje, kuris atnešė judrų gyvenimo būdą. Jei galite judėti, dažniau atsiduriate greitai kintančioje aplinkoje, todėl reikia didesnio fizinio atsparumo. Taigi gali būti, kad judresni gyvūnai turėjo pranašumą, leidusį išgyventi staigius aplinkos pokyčius, kurie lydėjo rūšių išnykimo apokalipsę (daugiau apie tai skaitykite 8 skyriuje). Išnykti pasmerkti individai, kurie maitinosi, filtruodami vandenį, neturėjo nieko, kas galėtų likimo smūgi sušvelninti.

Kad ir kokios būtų priežastys, nesulaikomas judrių organizmų gausėjimas, išnykus permui, pakeitė visą gyvąjį pasaulį. Judėjimas taip pat reiškė, kad gyvūnai kur kas dažniau susidurdavo vieni su kitais tiek tiesiogine, tiek perkeltine prasme. Tai leido dar labiau išplėsti skirtingų rūšių tarpusavio ryšių voratinklį: šie ryšiai apėmė ne tik medžioklę, bet ir ganymąsi, maisto ieškojimą, urvų rausimą. Nors visada yra priešasčių judėti, tačiau drauge su judrumu atėjęs naujas gyvenimo būdas davė gyvūnams pagrindą tam tikru metu būti tam tikroje vietoje, tiksliau – skirtingu metu skirtingose vietose. Kitaip tariant, judėjimas jiems leido elgtis sąmoningai ir tikslingai.

Be to, judėjimo nauda pranoko gyvenimo būdo pokyčius – judrumas lėmė evoliucijos tempą, t. y. genų ir rūšių kitimo spartą evoliucionuojant. Nors visų

sparčiausiai vystosi parazitai ir patogeninės bakterijos, kurios turi nuolat kovoti su be galo išradingu ir žiauriu imuninės sistemos persekiojimu, gyvūnai ėmė lipti jiems ant kulnų. Ir atvirkščiai, organizmai, kurie maitinasi, filtruodami vandenį, ir augalai (visi jie iš esmės yra prisitvirtinę vienoje vietoje) taip sparčiai nesivystė.

Karalienė, privalanti bėgti, kad liktų toje pačioje vietoje bent jau konkurentų atžvilgiu, yra beveik svetima nejudantiems maistą filtruojantiems organizmams, kurie iš esmės nesikeičė ilgus amžius, kol negandos vienu smūgiu juos nušlavė. Tačiau yra ir šios praktika grįstos taisyklės išimtis, kuri dar kartą patvirtina judrumo svarbą, – tai žydintieji augalai.

Iki permio išnykimo žydintieji augalai neaugo. Augalų pasaulis atrodė nuobodžiai žalias tarsi šių dienų spygliuočių miškas. Staigus spalvotų gėlių ir vaisių atsiradimas buvo atsakas į gyvūnijos pasaulį. Gėlių žiedai traukia apdulkintojus – judrius gyvūnus, žiedadulkes pernešančius nuo vieno augalo prie kito, kad vienoje vietoje įsitvirtinę augalai pasinaudotų lytinio gyvenimo privalumais. Vaisiai taip pat susiję su judrumu, nes gyvūnai sėklas išbarsto su išmatomis.

Taigi žydintieji augalai vystėsi drauge su gyvūnais, ir abi pusės viena kitai buvo naudingos – augalai tenkindavo esminius apdulkintojų ir vaisiaėdžių poreikius, o gyvūnai akla pasiduodavo tylioms augalų gudrybėms (bent jau iki tol, kol žmonės išvedė besėklius vaisius). Tokie susipynę likimai paspartino ir žydinčių augalų, ir jų partnerių gyvūnų evoliuciją.

Taigi judrumas atnešė būtinybę gebėti susitvarkyti sparčiai besikeičiančioje aplinkoje, lėmė glaudesnę augalų ir kitų gyvūnų sąveiką, paskatino susikurti naują (grobuonišką) gyvenimo būdą ir sudėtingesnes ekosistemas. Šie veiksniai pagreitino jutimų vystymąsi (jų reikia geriau išbandyti supančią aplinką), paspartėjo evoliucija, todėl turėjo neatsilikti ne tik gyvūnai, bet ir augalai.

Visų šių naujovių esmė – vienintelis išradimas, leidęs visoms joms įvykti, – tai raumenys. Nors jie galbūt nėra tokie tobuli kaip, pavyzdžiui, akys, pro mikroskopą matyti, kad juos sudaro neįtikėtina tikslinga skaidulų visuma, kuri veikdama kuria jėgą. Šie mechanizmai cheminę energiją paverčia mechanine jėga – tai toks pats nuostabus dalykas, kaip Leonardo\* išradimai. Bet kaip

\* Galvoje turimas Leonardas da Vinčis (*Leonardo da Vinci*) – labiausiai žinomas kaip Renesanso epochos tapytojas, bet pasireiškė įvairiose srityse: buvo ir poetas, muzikantas, inžinierius; jo idėjos turėjo įtakos anatomijos, botanikos, matematikos, optikos, filosofijos ir kt. mokslų raidai.

šis tikslingas mechanizmas susidarė? Šiame skyriuje panagrinėsime molekulinio mechanizmo, kuris skatina raumenų susitraukimus, leidusius gyvūnams visiškai pakeisti pasaulį, kilmę ir vystymąsi.

Nedaug yra organų, tokių išpūdingų, kaip raumenys, ir raumeningas vyras žadina geismą ir pavydą – pradedant Achilu ir baigiant vienu Kalifornijos gubernatoriumi. Tačiau išvaizda dar ne viskas. Istorijos eigoje nemažai žymiausių mąstytojų ir bandytojų stengėsi įveikti klausimą, kaip raumenys veikia iš tikrųjų.

Nuo Aristotelio iki Renė Dekarto (*René Descartes*) vyravo idėja, kad raumenys susitraukia mažiau, nei išsipučia, panašiai kaip raumeningų asmenų *ego*. Neregima besvorė gyvybės dvasia, iš smegenų skilvelių pro tuščiavidurius nervus plūstanti į raumenis, juos ir sutraukia. R. Dekartas – jis laikėsi mechanistinio požiūrio į kūną – teigė, kad raumenyse yra mažyčiai vožtuvai, neleidžiantys gyvybės dvasiai grįžti tuo pačiu keliu, panašiai kaip kraujagyslių vožtuvai.

Neilgai gyvavo R. Dekarto teiginiai – šias ilgą laiką puoselėtas idėjas niekais pavertė vienintelis XVII a. septintojo dešimtmečio išradimas – olandas Janas Svamerdamas (*Jan Swammerdam*) įrodė, kad susitraukiančių raumenų tūris nedidėja, priešingai – netgi šiek tiek sumažėja. Jeigu tūris sumažėja, raumenys vargu ar gali išsipūsti dėl „gyvybės dvasios“ kaip pūslė.

Netrukus, XVII a. aštuntajame dešimtmetyje, kitas olandas, mikroskopijos pradininkas Antonis van Levenhukas (*Antonie van Leeuwenhoek*), pirmą kartą panaudojo didinamuosius stiklinius lęšius ir atskleidė mikroskopinę raumenų sandarą. Juos apibūdino kaip plonus pluoštelius, sudarytus „iš labai mažų tarpusavyje sujungtų globulių“, kurios sudaro grandinę, o iš tokių globulių grandinių sudaryti raumenys.

Anglas Viljamas Krūnas (*William Croone*) įsivaizdavo, kad globulės gali veikti kaip mikroskopinės pūslelės: išsipūsdamos keičia raumenų formą, nors bendrasis tūris išlieka toks pats.<sup>1</sup> Tačiau atsakyti į klausimą, kas vyksta iš tikrųjų, buvo galima tik atliekant bandymus, o ne pasitelkus vaizduotę.

Keletas žymių mokslininkų pasiūlė idėją, kad šias pūsleles pripildo tam tikra sprogstamoji medžiaga. Džonas Majovas (*John Mayow*) tvirtino: gyvybės dvasią sudaro „azoto dujų dalelės“. Jis teigė, kad šios dalelės ateina nervais ir, susimaišiusios su sulfitinėmis kraujo dalelėmis, sukelia sproginimą, panašų į parako.

Minėtos idėjos taip pat ilgai neišsilaikė. Praėjus 8 m. po pirmųjų savo pastabų, A. Levenhukas vėl kruopščiai ištyrė „globules“ nauju, tobulesniu, mikroskopu ir atsiprašė už ankstesnes mintis – raumenų pluošteliai yra ne ilgus mažų pūslelių juostos, bet skaidulos, reguliariai kertamos „žiedų ir raukšlių“, ir tai sudaro globulių įspūdį. Be to, sutraiškęs skaidulas ir pro mikroskopą pažvelgęs į jų turinį, tyrėjas suprato, kad jose pilna dar plonesnių gijų – kiekvienoje skaiduloje jų yra šimtai.

Terminija keitėsi, tačiau A. Levenhuko aprašyti segmentai ir šiandien vadinami sarkomerais, o jų viduje esančios gijos – miofibrilėmis. Akivaizdu, kad raumenų susitraukimas neturi nieko bendra su prisipildančiomis pūslelėmis – jis priklauso tik nuo skaidulų, ir nuo kuo didesnio jų skaičiaus.

Bet net jeigu ir taip, nepaisant prielaidų, kad motorinės skaidulos raumenyse gali kažkaip slysti viena virš kitos, mokslininkai neįsivaizdavo, kokia jėga verčia raumenis judėti. Praėjo beveik 100 m., kol buvo atrasta nauja jėga, pajėgi iš tiesų „atgaivinti“ skaidulas – tai elektra.

XVIII a. devintajame dešimtmetyje Bolonijos universiteto anatomijos profesorius Luidžis Galvanis (*Luigi Galvani*) netikėjo savo akimis, kai, paliesti skalpeliu, staiga susitraukė negyvos varlės kojų raumenys, o iš elektros mašinos tuo metu trenkė kibirkštis. Tas pats rezultatas buvo gautas skalpelį patrynus variniu šepėčiu ir pjaunant, o panašūs dalykai vyko ir kitomis aplinkybėmis, įskaitant elektros audrą.

Atgaivinimo elektra idėja, kuri netrukus buvo pavadinta galvanizmu, įkvėpė L. Galvanio ataskaitas studijavusią Merę Šeli (*Mary Shelley*), ir 1823 m. ji parašė siaubo novelę „Frankenšteinas“. Frankenšteino prototipu tam tikru atžvilgiu tapo paties L. Galvanio sūnėnas Džiovanis Aldinis (*Giovanni Aldini*).

XIX a. pradžioje pastarasis keliavo po Europą ir demonstravo „mirusiųjų prikėlimą elektra“. Per vieną tokių žymų demonstravimą, kuris vyko Karališkajame chirurgijos koledže, stebint chirurgams, gydytojams, kunigaikščiams ir net Velso princui, Dž. Aldinis elektra paveikė nukirstą nusikaltėlio galvą. Pridėjęs elektros išlydžio strypus prie galvos ir ausų, komentavo: „Žandikaulis pradėjo drebėti, raumenys siaubingai įsitempė, o kairė akis iš tiesų atsimerkė“.

L. Galvanio išvados padarė didelį įspūdį Pavijos universiteto fizikui Aleksandrui Voltai (*Alessandro Volta*), tačiau pastarasis jų pagrindimui nepritarė. A. Volta tvirtino, kad pačiame kūne nėra elektros, o galvanizmas – tai atsakas



į išorines elektros iškrovas, kurias sukuria metalai. Jis teigė: koja laidu elektrai taip pat, kaip ir druskos tirpalas, tačiau tai yra pasyvi savybė. L. Galvanis ir A. Volta įsivėlė į dešimtmetį trukusį ginčą. Uolūs jų gerbėjai pasidalijo į grupes kaip tikri italai: animalistai prieš metalistus, fiziologai prieš fizikus, Bolonija prieš Paviją.

L. Galvanis buvo įsitikinęs, kad yra „gyvūninė elektra“, susidaranti pačiame organizme, tačiau jam (bent A. Voltos pasitenkinimui) sunkiai sekėsi tai įrodyti. Šis ginčas gerai rodo skepticizmo jėgą, „galvanizuojančią“ eksperimentinį mąstymą. Atlikdamas bandymus, kad įrodytų savo teiginį, L. Galvanis nustatė: raumenys *sužadunami* iš vidaus ir, kaip jis ir teigė, proporcingai reaguoja į sužadavimo stiprumą. Netgi iškėlė prielaidą, kad raumenys gali patys generuoti elektrą – kaupti teigiamuosius ir neigiamuosius krūvius visame vidiniame paviršiuje, o srovė, anot jo, teka per šiuos paviršius jungiančias poras.

Tai buvo laiką pralenkusi idėja, deja, L. Galvanio likimas įrodo: istorija už mokslą kartkartėmis galingesnė.<sup>2</sup> Atsisakęs prisiekti ištikimybę Napoleonui, kurio kariuomenė tuo metu užėmė Italiją, L. Galvanis buvo pašalintas iš Bolonijos universitete einamų pareigų ir kitais metais mirė skurde.

Jo idėjos dešimtmečiams nugrimzdo į užmarštį, ir ilgą laiką apie jį buvo prisimenama ne ką daugiau, nei jo mintis siejant su okultinėmis animalistinėmis jėgomis arba kaip A. Voltos oponentą. Pastarasis priešingai – pritarė Napoleono valdžiai Lombardijoje 1810 m., o vėliau jo vardu buvo pavadintas įtampos matavimo vienetas – voltas. Nors jo išradimai – pirma tikra baterija, t. y. „Voltos stulpas“ – jo vardą įrašė į mokslo istoriją, jis visiškai klydo dėl gyvuose organizmuose susidarancios elektros.

Kiek vėliau XIX a. vėl imta rimtai vertinti L. Galvanio idėjas – daugiausia prie to prisidėjo Vokietijos biofizinių tyrimų mokykla, kurios žymiausias atstovas – didysis Hermanas fon Helmholtcas (*Hermann von Helmholtz*). Nors ne tik ši mokykla įrodė, kad raumenis ir nervus tikrai maitina „gyvūninė“ elektros energija, tačiau H. Helmholtcas, pasitelkdamas artilerijos sviedinių greičiui apskaičiuoti skirtą karinę metodiką, net apskaičiavo, koku greičiu elektros impulsai sklinda nervais.

Pasirodė, impulsai nervais perduodami nepaprastai lėtai – vos kelių dešimčių metrų per sekundę greičiu (o ne įprastu šimtus kilometrų per sekundę siekiančiu elektros srovės greičiu) – taigi buvo galima daryti prielaidą, kad

gyvūninė elektra yra kažkuo ypatinga. Šis skirtumas buvo netrukus priskirtas gremėzdiškam krūvį pernešančių atomų, arba jonų (t. y. kalio, natrio ar kalcio jonų), judėjimui, kuris skiriasi nuo akimirksnį trunkančio elektronų skrydžio.

Kirsdami ląstelės membraną, jonai sukuria depoliarizacijos bangą, ir dėl to krūvis ląstelės viduje tampa neigiamesnis. Tai paveikia gretimą membraną, ir tokiu būdu impulsai sklinda nervais, arba raumenimis, kaip „veiksmo potencialas“.

Bet kokių būdu veiksmo potencialas priverčia raumenis susitraukti? Prieš atsakant į šį klausimą, derėtų rasti atsakymą į svarbesnį pamatinį klausimą – kaip raumenys susitraukia fiziškai? Atsakymą davė irgi mikroskopijos pažanga – raumenų skaidulose buvo pastebėtos nuoseklios juostos, sudarytos, kaip manoma, iš skirtingo tankio medžiagų.

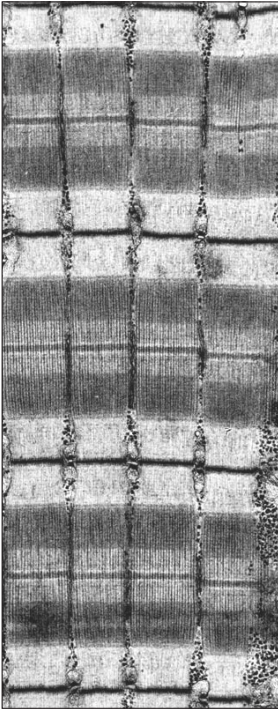
XIX a. ketvirtojo dešimtmečio pabaigoje anglų chirurgas ir anatomas Viljamas Baumanas (*William Bowman*) atliko išsamų daugiau nei 40 gyvūnų rūšių (įskaitant žmones, kitus žinduolius, paukščius, roplius, varliagyvius, žuvis, vėžliagyvius ir vabzdžius) skeleto raumenų mikroskopinės sandaros tyrimą. Visų gyvūnų raumenyse buvo galima išskirti segmentus, arba sarkomerus, kuriuos jau prieš 160 m. apibūdino A. Levenhukas.

V. Baumanas kiekviename sarkomere pastebėjo vieną kitą keičiančias tamsesnes ir šviesesnes juostas. Raumenims susitraukus, sarkomerai sutrumpėja, ir šviesesnės juostos darosi nepastebimos. Jis tai pavadino tamsiąja susitraukimo banga. Jis priėjo prie teisingos išvados – „kontraktiliškumas slypi kai kuriuose segmentuose“ (žr. 6.1 pav.).

Tačiau vėliau V. Baumanas savo išvadų atsisakė. Jis pastebėjo, kad raumenų nervai su sarkomerais tiesiogiai nesąveikauja, taigi elektrinis sužadinimas turi būti bent netiesioginis. Tačiau didžiausią nerimą jam kėlė arterijose ir sfinkteriuose aptinkami lygieji raumenys. Juose apskritai nėra tokių vieną kitą keičiančių juostų, kaip griaučių raumenyse, tačiau jie vis tiek puikiai susitraukinėja.

Galiausiai V. Baumanas nusprendė, kad juostos turi nedaug bendro su raumenų susitraukimu, ir susitraukimo paslaptis – neįžiūrima molekulinė sandara, kuri, anot jo, amžiams išliks „mokslo nepažinta“. Nors, kalbėdamas apie molekulinės sandaros svarbą, buvo teisus, klydo dėl raumenų juostų ir, žinoma, dėl mokslo galimybių.

## JUDĖJIMAS



6.1 PAV. SKELETO RAUMENŲ SANDARA, KURIOJE MATYTI BŪDINGI RUOŽELIAI IR JUOSTOS. VIENAS SARKOMERAS TĘSIASI NUO VIENOS JUODOS LINIJOS (Z DISKAS) IKI KITOS. SARKOMERO VIDUJE ESANČIOSE TAMSIAUSIOSE SRITYSE (A JUOSTOS) YRA PRIE AKTINO PRISIJUNGUSIO MIOZINO, O ŠVIESIOSE SRITYSE (I JUOSTOS) YRA AKTINO. TARPINĖS PILKOS MIOZINO GIJOS SUJUNGOTOS SU M LINIJA. KAI RAUMUO SUSITRAUKIA, I JUOSTOS AKTINAS KRYŽMINĖMIS MIOZINO JUNGTIMIS STUMIAMAS M LINIJOS LINK – TOKIU BŪDU SARKOMERAS SUTRUMPĖJA, IR SUŽADINAMA TAMSIOJI BANGA (I JUOSTĄ ĮTRAUKIA A JUOSTA).

V. Baumano abejonėms dėl raumenų sandaros beveik visi pritarė.

Tam tikru požiūriu Viktorijos laikų mokslininkai žinojo viską ir nežinojo nieko. Žinojo, kad raumenys yra sudaryti iš tūkstančių skaidulų, kurių kiekviena suskirstyta į segmentus, arba sarkomerus, ir jie yra atsakingi už raumenų susitraukimą. Žinojo, kad sarkomerus jungia kitokio tankio medžiaga.

Kai kurie mokslininkai bent įtarė, kad juostos sudarytos iš gijų, kurios slysta viena per kitą. Taip pat žinojo – raumenų susitraukimą lemia elektros impulsai, ir elektra generuojama, skatinant vidinių paviršių potencialų skirtumą. Jie netgi teisingai nustatė, kad čia svarbiausias yra kalcis. Išskyrė reikšmingiausią raumenų baltymą ir pavadino miozinu (šis pavadinimas kilęs iš graikiško žodžio, kuris reiškia raumenį).

Tačiau didesnės molekulinės sandaros paslaptys, kurias V. Baumanas įvardijo kaip „nepažinias mokslui“, žinoma, slėpėsi už Viktorijos epochos mokslininkų suvokimo ribų. Jie žinojo kai kurias sudedamąsias dalis, bet nesuvokė,

nei kaip jos susijungia, nei kaip veikia. Šioms įžvalgoms buvo reikalingi virtualioji ir redukcionistinio XX a. mokslo pasiekimai. Tam, kad įvertintume tikrąją raumenų didybę ir sužinotume, kaip išsivystė jų sudedamosios dalys, turime toli praeityje palikti Viktorijos epochos mokslininkus ir į raumenų molekules pažvelgti patys.



Kembridžo universiteto Kavendišo laboratorijos Biologijos padalinio įsikūrimas 1950 m. mokslo istorijai yra prasmingas. Du fizikai ir du chemikai kibo į technologiją, kuriai XX a. antroje pusėje buvo lemta visiškai pakeisti biologijos mokslą – tai rentgeno kristalografija. Ši technologija yra gana sudėtinga tiriant pasikartojančius geometrinius kristalus, o taikant globularioms biologinėms molekulėms, ji net ir šiandien yra „juodasis“ matematinis menas.

Minėtam laboratorijos padaliniui vadovavo Maksas Perucas (*Max Perutz*). Drauge su savo pavaduotoju Džonu Kendriu (*John Kendrew*) jie pirmieji nustatė tokių didelių baltymų, kaip hemoglobinas ir mioglobinas, sandarą, vadovaudamiesi modeliais, kurie susidaro, kai vingiuotos jų atomų grandinės išskaido rentgeno spindulius.<sup>3</sup> F. Krikas, prie kurio netrukus prisidėjo jaunas amerikietis Dž. Vatsonas, puikiai pritaikė šį metodą, nagrinėdami DNR sandarą.

Tačiau tada, 1950 m., ketvirtas asmuo buvo ne Dž. Vatsonas, o palyginti nežinomas (bent nespecialistas) asmuo, kuris vienintelis iš visos grupės negavo Nobelio premijos. Tačiau Hjugas Haksli (*Hugh Huxley*) tikrai buvo jos vertas, nes daugiau nei kuris kitas mokslininkas atskleidė, kaip, raumenims judant, molekuliniame lygmenyje juda „krumpliaračiai ir svertai“ – jo atradimų aktualumas neblėso pusę amžiaus.

Galiausiai Karališkoji draugija 1997 m. jam įteikė aukščiausią apdovanojimą – Koplio (*Copley*) medalį. Šiuo metu, kai rašau šias eilutes, jis jau yra sulaukęs 83 m., tačiau kaip Brendeiso universiteto Masačusetse profesorius emeritas vis dar skelbia mokslinius darbus.

Nepakankamą H. Hakslio įvertinimą iš dalies lėmė sumaištis dėl jo pavardės – jis buvo painiojamas su žymesniu bendravardžiu, Nobelio premijos laureatu, Endriumi Haksliu (*Andrew Huxley*), neįtikėtina iškalbingo „Darvino buldogo“ T. H. Hakslio (*T. H. Huxley*) vaikaičiu.

E. Hakselis išgarsėjo pokario metais atliktais nervinio laidumo tyrimais, o dėmesį į raumenis jis nukreipė kiek vėliau – šeštojo dešimtmečio pradžioje, taigi jis taip pat yra vienas žymiausių pastaraisiais dešimtmečiais raumenis tyrusių asmenų. Dirbdami savarankiškai bei vadovaudamiesi tik savo žiniomis, Haksliai priėjo prie tos pačios išvados ir 1954 m. savo darbų rezultatus taip pat paskelbė *Nature* žurnale.

Abu šie mokslininkai pasiūlė raumenų veiklos paaiškinimą, kuris buvo pavadintas *slankiuųjų gijų teorija*. H. Hakselis naudojo nepaprastai galingomis rentgeno kristalografijos ir elektroninės mikroskopijos (tuo metu jai buvo tik 20 m.) priemonėmis. Pasirodė, jog tai pats sėkmingiausias metodų derinys, kuris per ateinančius dešimtmečius padėjo atskleisti vis daugiau informacijos apie raumenų veiklą.

H. Hakselis per karą dirbo su radiolokatoriumi. Grįžęs į Kembridžo universitetą įgyti mokslinio laipsnio, jis – paveiktas bombų siaubo kaip ir daugelis jo kartos fizikų – nusprendė atsisakyti fizikos ir nukreipti dėmesį į mokslą, kuriame būtų mažiau emocinės ir moralinės atsakomybės. Fizika ir vėl pralaimėjo biologijai.

1948 m. prisidėjęs prie M. Peruco grupelės, jis nustebė, kiek nedaug biologai žino apie raumenų sandarą ir funkcijas, ir visą gyvenimą skyrė šiems klausimams. H. Hakselis, kaip kažkada anksčiau L. Galvanis, dirbo su varlių kojomis. Tačiau pirmieji rezultatai nuvylė. Pagal laboratorinių varlių raumenis sudaryti modeliai buvo prasti.

Kaip tik tada H. Hakselis aptiko, kad iš natūralios aplinkos paimtos varlės kur kas tinkamesnės – tad jis daug kartų prieš pusryčius važinėjo dviračiu po pelkes ir gaudė varles. Remiantis šiomis varlėmis sudaryti rentgeno modeliai buvo daug išsamesni, tačiau nevienareikšmiai.

1952 m. gindamas daktaro disertaciją, H. Hakselis susitiko su viena iš kristalografijos pradininkių Dorote Hodžkin (*Dorothy Hodgkin*). Jai skaitant disertaciją, staiga kilo mintis, kad šie duomenys gali reikšti slankiąsias gijas. Šitą mintį ji karštai aptarė su F. Kriku, susidūrusi ant laiptų.

Tačiau H. Hakselis, nestokodamas jaunatviško agresyvumo, pareiškė: ji nepakankamai kruopščiai perskaitė skyrių, kuriame aprašyti metodai, o tyrimų duomenys jos išvados nepatvirtina. Po 2 m., pasitelkęs elektroniniu mikroskopu gautus vaizdus, jis pats irgi priėjo prie panašios išvados, tačiau dabar ji jau buvo pakankamai pagrįsta empiriškai.

Bet net jei ankstyvas išvadas H. Hakselis atmetė, ir dėl to slankių gijų teorijos atradimas buvo atidėtas 2 m., jis įsikibęs laikėsi ankstesnio įsitikinimo, kad rentgeno kristalografijos ir elektroninės mikroskopijos derinys gali atverti su raumenų susitraukimu susijusią molekulinę informaciją.

Kiekvienas iš šių metodų turėjo trūkumų. H. Hakselis juos apibūdino šiais žodžiais: „Elektroninė mikroskopija leidžia gauti tikrus apčiuopiamus vaizdus, tačiau juose yra įvairiausių trukdžių, o rentgeno spindulių difrakcija teikia tikslus duomenis, tačiau mįslinga forma.“ Jo įžvalga tokia: vieno metodo trūkumus gali įveikti kito metodo privalumai, ir atvirkščiai.

Jam taip pat pavyko pasiekti, kad per ateinantį pusę šimtmečio būtų padaryta milžiniška šių metodų (ypač rentgeno spindulių kristalografijos) pažanga, kurios niekas negalėjo numatyti. Problema – spindulių intensyvumas. Tam, kad būtų gautas tirti tinkamas difrakcinių (išsklaidytų) rentgeno spindulių modelis, reikia labai daug spindulių. Tai gali užtrukti kelias valandas ar net kelias dienas.

Buvo galima elgtis kaip šeštajame dešimtmetyje, kai H. Hakselis drauge su kolegomis per naktį aušindavo silpnus rentgeno spindulių šaltinius, arba reikėjo ypač intensyvaus šaltinio, kuris galėjo akimirksniu generuoti intensyvių rentgeno spindulį. Biologai vėl tapo priklausomi nuo fizikos pažangos, ypač nuo sinchotrono tobulinimo (sinchotronas – tai milžiniškas ciklinis elementariųjų dalelių greitintuvas, kuriame naudojami sinchronizuoti magnetiniai ir elektriniai laukai, padedantys elektronus ir protonus prieš susidūrimą pagreitininti iki astronominio greičio).

Biologams sinchotrono vertė yra tai, ką fizikai laikė erzinančiu šalutiniu poveikiu. Dalelės, įkrautos įprastuose cikluose, skleidžia elektromagnetinius spindulius, arba „sinchotroninę šviesą“, kuri daugiausia patenka į rentgeno spindulių intervalą. Šie nepaprastai intensyvūs spinduliai gali generuoti difrakcijos modelį tiesiog per sekundės dalis – atlikti tai, kas šeštajame dešimtmetyje užtrukdavo kelias valandas ar net dienas. Ir tai turėjo lemiamą reikšmę, nes raumenų susitraukimą lemiantys įvykiai taip pat trunka vos šimtąsias sekundės dalis. Pasitelkus sinchotroninę šviesą, tapo įmanoma tirti molekulinės sandaros pokyčius, vykstančius susitraukiant raumenims.

Kai H. Hakselis pirmą kartą išklė slankių gijų teoriją, ji vis dar buvo nepakankamai duomenimis grįsta hipotezė. Nuo to laiko jis su kolegomis, naudodamiesi tais pačiais patobulintais metodais ir matuodami atominę skyrą

## JUDĖJIMAS

per sekundės dalis, įrodė daugelį mechanistinių prognozių. Viktorijos epochos mokslininkai galėjo tirti tik gana grubias mikroskopines struktūras, o H. Hakslis galėjo sukurti išsamius molekulinis modelius ir pagrįsti jų veikimą. Todėl šiandien, nepaisant kelių dar likusių neišklumų, kaip susitraukinėja raumenys, žinome beveik atomo tikslumu.



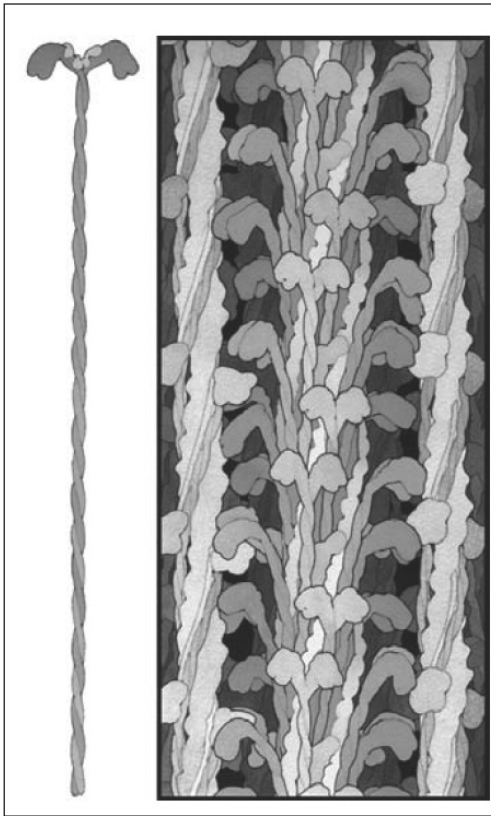
Raumenų susitraukimas priklauso nuo 2 molekulių – aktino ir miozino – savybių. Abi jos sudarytos iš pasikartojančio baltymo ir yra tarsi ilgos gijos (polimerai). Storesnės gijos yra miozinas (ši pavadinimą jos gavo jau Viktorijos laikais), o plonosios – aktinas. Šios plonosios ir storosios gijos yra išsidėsčiusios viena šalia kitos ir sudaro pluoštus, kuriuos suriša skersiniai tilteliai (juos pirmą kartą elektroniniu mikroskopu pastebėjo H. Hakslis šeštajame dešimtmetyje).

Šie tilteliai nėra kieti ar nejudami – jie supasi, ir supdamiesi šiek tiek suaktyvina aktino gijas, tarsi langskipo įgula stumteli laivą kiekvienu irklų mostu. Iš tiesų šis pavyzdys nevysiškai atitinka vikingų langskipo judėjimą, nes baltymo „irklų“ mostai dažnai nevaldomi ir neatitinka komandos.

Elektroninė mikroskopija atskleidžia, kad iš daugelio tūkstančių skersinių tiltelių tik mažiau nei pusė kada nors buvo susijungę vienu metu – dauguma vis dar netvarkingai „mojuoja irklais“. Tačiau apskaičiavimais buvo įrodyta: šie maži poslinkiai, net jei ir nepakankamai darnūs, drauge yra gana stiprūs, kad sudarytų bendrą raumenų susitraukimo jėgą.

Besisupantys skersiniai tilteliai yra išsikišę iš storų gijų – jie yra miozino subvienetų dalis. Vertinant molekulių mastu, miozinas yra labai didelis, jo molekulė 8 kartus didesnė už vidutinę baltymų, pavyzdžiui, hemoglobino, molekulę. Kalbant apie formą, miozino molekulė panaši į spermatozoidą, o gal, tiksliau, į 2 spermatozoidus, susiglaudusius galvomis bei susivijusius uodegomis. Šios uodegos dengia gretimų miozino molekulių uodegas ir sudaro laiptuotą masyvą, arba sunkią giją, šiek tiek primenančią virvės vijas. Jų galvos iš šios virvės viena po kitos išsikiša, ir būtent jos suformuoja besisupančias jungtis, kurios sąveikauja su aktino gijomis (žr. 6.2 pav.).

Toliau parodyta, kaip šios besisupančios jungtys veikia. Tokia jungtis pirmiausia prisijungia prie aktino gijos, o susijungusios jungiasi prie ATP. ATP visam procesui duoda reikalingos energijos.



6.2 PAV. IŠSKIRTINĖJE DEVIDO GUDSELO (DAVID GOODSELL) AKVARELĖJE PAVAIZDUOTAS MIOZINAS. KAIRĖJE: VIENA MIOZINO MOLEKULĖ SU 2 GALVUTĖMIS IR SUSIPYNUSIOMIS UODEGOMIS. DEŠINĖJE: STORA MIOZINO GIJA, IŠ KURIOS KYŠO GALVUTĖS, IŠ ABIEJŲ PUSIŲ SĄVEIKAUJANČIOS SU AKTINU. UODEGOS, SUSIPYNUSIOS TARSĖ, SUFORMUOJA STORĄ GIJĄ.

Kai tik prisijungia ATP, supamasis tiltelis nuo plonos gijos atsiskiria. Atsilaisvinusi jungtis dabar supasi maždaug  $70^\circ$  kampu (per lankstų „kaklelį“), prieš vėl prisijungdama prie aktino gijos. Kai tai įvyksta, išskiriami panaudoti ATP fragmentai, o skersinis tiltelis atšoka į pradinį pavidalą, pastumdamas visą plonąją giją. Šis ciklas – atleidimas, supimasis, susijungimas ir traukimas – prilygsta irklų mostui, ir kiekvieną kartą plonoji gija pajudinama kelio milijonosiomis milimetro dalimis.

Pagrindinis vaidmuo tenka ATP. Be jos galvutė negalėtų atšokti nuo aktino ir negalėtų suptis – dėl to atsirastų sąstingis, pavyzdžiui, pomirtinis sąstingis (*rigor mortis*), kai raumenys po mirties sukietėja dėl ATP trūkumo. (Šis sąstingis pasibaigia maždaug po paros, pradėjus irti raumenų audiniams).





Skersiniai tilteliai gali būti įvairių tipų, tačiau iš esmės visi panašūs. Skiriasi tik veikimo greitis. Drauge sudaro tūkstančius narių vienijančią „superšeimą“ – vien žmonėse aptinkama apie 40 skirtingų jų rūšių. Raumenų susitraukimo greitis ir jėga priklauso nuo miozino spartos – greitas miozinas greitai suskaido ATP, taigi greitai apeina susitraukimo ciklą. Kiekviename žmoguje yra įvairių tipų raumenų, ir kiekvienam tipui būdingas specialus miozinas, turintis savitą susitraukimo greitį.<sup>4</sup>

Panašūs skirtumai būdingi ir gyvūnų rūšims. Sparčiausias miozinas aptinkamas už skrydį atsakinguose vabzdžių (tarkime, vaisinės muselės drozofilos) raumenyse – jie gali susitraukti kelis šimtus kartų per sekundę, o tai nepalyginamai daugiau už daugumai žinduolių įprastą susitraukimų ciklą. Apskritai spartesnis miozinas būdingas mažesniems gyvūnams – taigi pelių raumenys susitraukia beveik 3 kartus greičiau negu atitinkami žmogaus raumenys, o žiurkės raumenys – dusyk greičiau. Pats lėčiausias miozinas aptinkamas lėtuose tinginių ir vėžlių raumenyse. Šiems gyvūnams būdingas greitis, kuriuo miozinas skaido ATP, yra maždaug 20 kartų mažesnis nei žmogaus.

Bet net jeigu sparta, kuria miozinas skaido ATP, lemia raumenų susitraukimo greitį, apie ATP išsekimą niekada nepranešama raumenims susitraukus. Jei taip būtų, pasportavę sustingtume tarsi negyvėliai, ir mus reiktų iš naujo „ištempti“. Tačiau pradėdame justis raumenų nuovargį, kuris tikriausiai yra prisitaikymo priemonė, kad būtų išvengta sąstingio.

Raumens susitraukimo pradžia ir pabaiga priklauso nuo kalcio lygio ląstelėje – būtent tai raumenų susitraukimus susieja su L. Galvanio „gyvūnine elektra“. Atėjęs impulsas greitai sklinda per kanalėlių tinklą, kuris į ląstelę išskiria kalcio jonus. Po kelių etapų, kurių čia nenagrinėsime, kalcis galiausiai patenka į aktino giją, prijungtą supamuoju tilteliu, ir tai leidžia raumenims susitraukti.

Kai raumenų ląstelė „užliejama“ kalciumu, šliuzai uždaromi, ir įsijungia siurbliai, kurie vėl jį siurbia, kad kitą kartą paraginta ląstelė vėl galėtų veikti. Po to, kai kalcio lygis sumažėja, susijungimo su aktinu vietos vėl uždengiamos, supamosios jungtys atsijungia, ir susitraukimas privalo baigtis. Natūralus sarkomerų elastingumas užtikrina, kad jie greitai grįžtų į pradinę atsipalaidavimo būseną.



Tai, žinoma, yra labai supaprastintas vaizdas – kai kurios jo dalys supaprastintos beveik iki absurdo. Kiekviename vadovėlyje šį procesą rasite aprašytą ypač išsamiai, baltymas po baltymo, taip pat apibūdinamas kiekvienam jų tenkantis subtilus struktūrinis, arba reguliavimo, vaidmuo. Raumenų biochemija ypač sudėtinga, tačiau pro ją „šviečia“ vidinis paprastumas. Šis paprastumas – tai ne tik euristinė priemonė – būtent jis sudaro sudėtingų sistemų evoliucijos esmę. Yra daug būdų, kuriais miozino prisijungimas prie aktino valdomas skirtingų audinių arba skirtingoms gyvūnų rūšims.

Šie biocheminiai duomenys panašūs į rokoko stiliaus ornamentą barokinėje bažnyčioje – ir nors kiekviena tokia bažnyčia pati savaime gali būti šedevras, ji vis tiek išlieka barokinė. Panašiai, neatsižvelgiant į visus „rokoko“ raumenų funkcijos skirtumus, miozinas visada prisijungia prie aktino, o ATP visada „įjungia“ slankiąsias gijas.

Pažvelkime į neruožuotuosius raumenis, kurių gebėjimas sutraukti sfinkterius (ruožuotuosius raumenis) ir arterijas trikdė V. Baumaną ir jo Viktorijos laikų amžininkus. Neruožuotuosiuose raumenyse visiškai nėra griaučių raumenims būdingų ruoželių, tačiau kad jie susitrauktų, vis dar reikia, kad aktinas ir miozinas susijungtų. Šiuose raumenyse gijos išsidėsčiusios kur kas laisviau, nekreipiant dėmesio į jokią mikroskopinę tvarką. Aktino ir miozino sąveika juose taip pat supaprastinta. Kalcio antplūdis miozino galvutes suaktyvina tiesiogiai, o ne aplinkiniu keliu kaip griaučių raumenyse. Kitais atžvilgiais neruožuotųjų raumenų susitraukimas panašus į griaučių raumenų susitraukimą. Abiem atvejais susitraukimą lemia miozino prisijungimas prie aktino, kuris vyksta pagal tokį pat ciklą, kurį „įjungia“ ta pati ATP.

Toks palyginti paprastesnis mechanizmas skatina iškelti prielaidą, kad neruožutieji raumenys yra prieš griaučių raumenų susiformavimą buvusio evoliucijos etapo įrodymas. Neruožutieji raumenys yra susitraukiantis audinys, kuris veikia gana gerai, nors mikroskopinė jų sandara ne tokia sudėtinga.

Ištyrus skirtingų gyvūnų rūšių raumenų baltymus, buvo nustatyta, kad raumenų evoliucija vyko ne taip paprastai. Kruopštus tyrimas, kurį atliko Japonijos Mišimos nacionalinio genetikos instituto genetikai Satoši Ota (*Satoshi Oota*) ir Naruja Saitou (*Naruya Saitou*) atskleidė, kad žinduolių griaučių

## JUDĖJIMAS

raumenų baltymai yra tokie panašūs į vabzdžių ruožuotųjų skrydžio raumenų baltymus, jog abu jie turėjo išsivystyti iš bendrojo stuburinių ir bestuburių protėvio, gyvenusio prieš 600 mln. m.

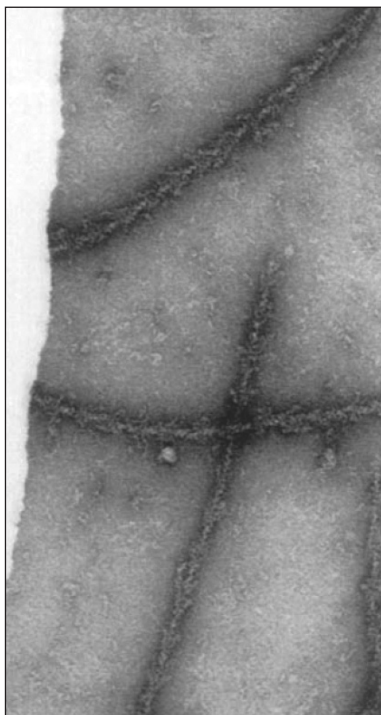
Šis bendrasis protėvis turėjo ruožuotuosius raumenis, net jei ir neturėjo griaučių. Tas pats didele dalimi pasakytina ir apie neruožuotųjų raumenų baltymus, nes juos irgi galima atsekti iki pat bendrojo protėvio. Neruožuotieji raumenys niekada nebuvo etapas pakeliui į sudėtingesnius ruožuotuosius raumenis – tai visiškai atskira evoliucijos kryptis.

Tai – svarbus faktas. Mūsų pačių griaučių raumenų baltymai kur kas artimesni miozinui, aptinkamam skrydžio raumenyse tų mūsų, kurios erzina mus, zvimbdamos aplink galvą, negu miozinui, aptinkamam mūsų pačių sfinkteriuose, sustingstančiuose, kai mums bloga.

Keista, tačiau šis atsiskyrimas siekia dar ankstesnius laikus, nei tą metą, kai susidarė dvipusė ir vabzdžiams, ir kitiems bestuburiams būdinga simetrija. Medūza, atrodo, taip pat turi mūsų raumenis primenančių ruožuotųjų raumenų. Taigi ir neruožuotieji, ir ruožuotieji raumenys susitraukia pagal panašią aktino ir miozino sąveikos sistemą, tačiau kiekviena šių raumenų grupė savarankiškai išsivystė iš bendrojo protėvio, turėjusio abiejų tipų ląstelių. Šis bendrasis protėvis turi būti vienas iš pačių seniausių gyvūnų, menančių dar tuos laikus, kai nebuvo medūzų.

Vis dėlto, nepaisant netikėtai ilgos evoliucijos, kai ruožuotieji ir neruožuotieji raumenys vystėsi atskirai, akivaizdu – miozino formų miriada išsivystė iš bendrojo protėvio. Jų visų pagrindinė sandara yra tokia pati, visi jie prisijungia prie aktino ir ATP tose pačiose vietose ir visi pereina tą patį motorinį ciklą. Jei ruožuotųjų ir neruožuotųjų raumenų miozinas kilęs iš bendrojo protėvio, tada šis protėvis buvo dar primityvesnis už medūzą ir tikriausiai neturėjo nei ruožuotųjų, nei neruožuotųjų raumenų. Tačiau jis vis dėlto rado, kur panaudoti aktiną ir mioziną.

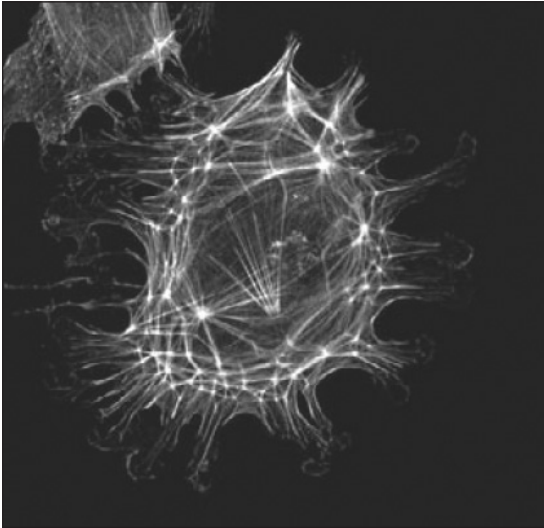
Ką gi veikė šie baltymai? Atsakymas žinomas jau senokai. Jis siekia septintąjį dešimtmetį ir gali būti susietas su vienintele netikėta išvada. Nepaisant jų senumo, kelios išvados biologijos srityje buvo ypač svarbios, nes jos „atvėrė langą“ į raumenų evoliuciją. H. Hakselis nustatė, kad aktiną gali „papuošti“ miozino galvutės, ir visa tai galima pamatyti pro elektroninį mikroskopą. Leiskite paaiškinti.



6.3 PAV. AKTINO GIJOS, IŠSKIRTOS IŠ PELĖSINIO GRYBO *PHYSARUM POLYCEPHALUM* IR PAPUOŠTOS IŠ TRIUŠIO RAUMENŲ IŠSKIRTO MIOZINO „STRĖLIŲ ANTGALIAIS“.

Bet kuri gija gali būti ištraukta iš raumens ir suskaidyta į sudedamąsias dalis. Pavyzdžiui, miozino galvutės gali būti atskirtos nuo ilgų uodegų ir mėgintuvėlyje sumaišytos su aktinu. Tada aktinas nedelsdamas susiveja į ilgas gijas – tinkamomis sąlygomis polimerizacija yra neatsiejama jo savybė. Po to miozino galvutės pačios prisitvirtina prie gijų (taip pat jos pasielgtų sveikame raumenyje), išsirikiuodamos palei visą gijų tarsi strėlių antgaliai.

Strėlių antgaliai nukreipti ta pačia kryptimi, rodančia aktino gijų poliškumą, – jie visada išsidėsto pagal tą pačią konfigūraciją, o miozinas visada prisijungia ta pačia kryptimi tarsi generuodamas jėgą. (Sarkomeruose šio poliškumo kryptis nuo vidurio keičiasi į priešingą, o viduryje abu galai nukreipiami į vidurį, tokiu būdu sutraukiant kiekvieną sarkomerą, kuris laikomas atskiru vienetu. Vienas po kito einančių sarkomerų susitraukimas sutrumpina visą raumenį.)



6.4 PAV. KARVĖS KREMZLIŲ LĄSTELĖS AKTINO CITOSKELETAS, PAŽYMĖTAS FLUORESCENCINIAIS DAŽAIS – FITC FALOIDINU.

Nedidukai „strėlių antgaliai“ jungiasi tik prie aktino ir niekur kitur – todėl bandymu pridėti miozino galvutes prie kitų ląstelių tipų tikrinama, ar juose yra aktino gijų. Iki septintojo dešimtmečio visi laikėsi prielaidos, kad aktinas yra specializuotas raumenų baltymas, kurio neabejotinai yra įvairių gyvūnų rūšių raumenyse, bet ne kitų tipų ląstelėse. Iššūkį šiai bendru sutarimu patvirtintai išminčiai metė biocheminiai duomenys, iš kurių išaiškėjo, kad aktino gali būti viename iš organizmų, visiškai neturinčių raumenų – alaus mielėse. Paprastas aktino „puošimo“ miozino galvutėmis bandymas atvėrė atradimų Pandoros skrynią. Ją pirmasis atvėrė H. Hakselis, triušio miozinus sumaišydamas su itin primityvaus organizmo – pelėsinio grybo – aktinais, ir jie puikiai derėjo (žr. 6.3 pav.).

Aktino yra visur. Visos sudėtingos ląstelės turi vidinį skeletą – citoskeletą, sudarytą iš aktino (arba kitų) gijų (žr. 6.4 pav.). Visos mūsų kūno, taip pat visų kitų gyvūnų, augalų, grybų, dumblių, pirmuonių ląstelės turi aktino citoskeletą. Triušio miozinai jungėsi su pelėsinio grybo aktinais, vadinasi, visiškai skirtingų tipų ląstelėse esančios aktino gijos yra labai panašios sandaros. Ši prielaida visiškai teisinga. Sakykime, dabar žinome, kad 95 % mielių ir žmogaus aktino genų sekos visiškai sutampa.<sup>5</sup> Laikantis šio požiūrio, raumenų evoliucija atrodo visiškai kitaip. Tos pačios gijos, kurios suteikia jėgą mūsų raumenims, ją duoda ir mikroskopiniam visų sudėtingų ląstelių pasauliui. Vienintelis skirtumas – kitoks jų išsidėstymas.



Kalbant muzikos terminais, yra kelios ypač man patinkančios variacijos. Sakoma, kai Liudvigas van Bethovenas (*Ludwig van Beethoven*), dar būdamas jaunas, grojo V. A. Mocartui, jo muzika pastarojo ypatingai nesužavėjo, išskyrus tik sugebėjimą improvizuoti – iš tos pačios paprastos temos išgauti daugybę ritmų ir melodijų.

Vėliau šis L. Bethoveno gebėjimas aukščiausia forma pasireiškė didžiame kūrinyje – Variacijose Diabelio (*Antonio Diabelli*) tema. Kaip ir anksčiau Johano Sebastiano Bacho (*Johann Sebastian Bach*) sukurtose nuostabiose Variacijose Goldbergo tema, L. Bethoveno variacijose laikomasi griežtos formos. Visame kūrinyje išlaikoma pagrindinė harmonijos schema, kuri kūrinį sujungia į atpažįstamą visumą.

Vėliau šio griežtumo dažnai nebūdavo laikomasi – kompozitoriai galėjo išreikšti nuotaikas ir išpūdžius, tačiau trūko matematinio didybės pojūčio. Trūko pojūčio, kad atskleistas kiekvienas paslėptas niuansas, kiekvienas slapta matmuo tapo tikrove, o visos galimybės išnaudotos.

Šis gebėjimas paimtą konkrečią temą groti visomis įmanomomis variacijomis, tuo pat metu griežtai išlaikant nepažeistus kūrinio „statybinius blokus“, randa atgarsį ir biologijoje. Iš anksto nustatyta tema – pavyzdžiui, miozino ir aktino motorinė sąveika varijuoja, veikiama begalinės natūraliosios atrankos vaizduotės, ir pateikia kvapą gniaužiančią formų ir funkcijų įvairovę. Vidinis bet kurios sudėtingos ląstelės pasaulis patvirtina – tai griežta neeilinio kūrinio variacija.

Motorinių baltymų sąveika su citoskeleto gijomis atsako už sudėtingų ląstelių judėjimą tiek jų viduje, tiek išorėje. Daugelis ląstelių slysta kietu paviršiumi be jokių regimų pastangų, nes jos neturi nei kliūvančių galūnių, nei išraitytų išlinkimų. Kitos šios formos projekcijos vadinamos pseudopodijomis – išsikišdamos kartu velka ląstelę arba praryja grobį, įvyniodamos į protoplazmos klostes. Dar kitos turi blakstienėles, arba žiuželius, kurie vingiuotais ar ritmiškais lenkimo judesiais verčia ląstelę judėti. Ląstelės viduje susidarantys citoplazmos verpetai jos turinį įsuka į nepalaujamas bangas.

Šiame mažyčiame ląstelės pasaulėlyje dideli objektai, sakykime, mitochondrijos, skuba pirmyn ir atgal, o chromosomos šoka didingą gavotą, prieš

atsitraukdamas į atskirus kampus. Netrukus ląstelė pasidalija į 2 ląsteles, per vidurį susiverždama negailestingu korsetu. Visas šis judėjimas priklauso nuo molekulinį instrumentų rinkinio, kurio pavyzdiniai elementai yra aktinas ir miozinas. O tai lemia griežtos tik vienos temos variacijos.

Jei sumažėtume, tarkime, iki ATP molekulės dydžio, ląstelė taptų didžiuliu futuristiniu miestovaizdžiu. Jame, kiek akis užmato, visomis kryptimis tęstųsi svaiginanti daugybė lynų, kuriuos prilaiko kiti lynai. Vieni atrodo silpni ir ploni, o kiti yra labai didelio skersmens. Šiame ląstelės metropolijoje gravitacija nieko nereiškia, o didžiausią svarbą įgyja klampumas ir atsitiktinis atomų stumdymasis.

Pamėginkite pajudėti ir pasijusite įstrigę klampiamame skystyje, tačiau tuo pat metu daužomi ir smūgiuojami iš visų pusių. Ir staiga per šį svaiginantį miestą atskrieja savotiška mašina su valdoma mechanine ranka, judanti stulbinamu greičiu, o kaip bėgiai naudojamas vienas iš lynų. Griozdišku sukabinimo įrenginiu prie šios mašinos pritvirtintas didžiulis objektas, kuris, važiuojant dideliu greičiu, velkamas drauge. Jei pasimaišytumėte kelyje, galėtumėte sakyti, kad nukentėjote nuo skraidančios jėgainės.

O ji tokia ir yra – tai mitochondrija, kuri pakeliui energija aprūpina didžiąją dalį kitoje miesto pusėje atliekamų darbų. Dabar pastebėsite, kad ta pačia kryptimi juda ir įvairūs kiti objektai – vieni lėčiau, kiti greičiau, tačiau visus juos dangaus takeliais velka panašios mašinos. Ir tada – bum! Mitochondrija pralekia pro šalį, jus įtraukia vėjo gūsis, kilęs palei šį sūkurį. Patekote į nesibaigiančią cirkuliaciją, kuri maišo visų sudėtingų ląstelių turinį – į citoplazmos srautą.

Tai yra nanotechnologija, kurios sudėtingumą vargu ar pajėgsime įsivaizduoti. Tačiau šiame keistame futuristiniame miestovaizdyje turėtų būti kai kas pažįstamo. Aš galėjau taip apibūdinti vienos iš mūsų pačių ląstelių vidų, tačiau taip pat – augalo, grybo ar tvenkinyje plaukiojančio vienaląščio pirmuonies ląstelę.

Ląstelių pasaulyje gyvuoja vienybė, lemianti stiprų tarpusavio ryšio ir bendravimo su aplinkiniu pasauliu pojūtį. Žvelgiant ląstelės akimis, esate tiesiog dar vienas kūno plano variantas, dar vienas mėginimas pastatyti kažką nuostabaus iš panašių plytų. Bet kokių plytų!

Kiekvienas toks metropolis, būdingas visiems eukariotams (organizmams, kuriuos sudaro sudėtingos branduolį turinčios ląstelės, žr. 4 skyrių),

labai skiriasi nuo daug paprastesnio bakterijos vidaus pasaulio. Didžioji šio skirtumo dalis gali būti susieta su per kraštus besiliejančia citoskeleto energija ir nuolatiniu jo judėjimu, kuris nuolat verčia aplink judėti ląstelės turinį. Be šio nenutrūkstamo eismo srauto ląstelės metropolis būtų įmanomas ne daugiau, nei mūsų pačių didieji miestai be judrių gatvių.

Už vidinį ląstelės eismą „atsako“ motorinių baltymų varikliai, veikiantys labai panašiai. Pirmiausia tai miozinas: jis panašiai kaip ir raumenyse pakelia ir nuleidžia aktino gijas. Bet čia prasideda skirtumai. Raumenyse miozino galvutės 10 laiko praleidžia atsiskyrusios nuo aktino gijų. Likusios prisijungusios fiziškai trukdytų supstis kitoms galvutėms. Tai būtų panašu į valtį, kurioje irklininkas būtų atsisakęs ištraukti iš vandens irklus.

Raumenyse šis patvarkymas veikia puikiai, nes miozino galvutės netoli aktino gijų yra surištos ilgomis uodegomis, kurios susipina į storą giją. Tačiau ląstelėje, kurioje aktino gijos „važinėjasi“ įtemptais lynais, pritaikyti tokią sandarą būtų kur kas sunkiau. Kai tik varikliai būtų atskiriami nuo gijų, į juos taip pat būtų smūgiuojama, ir jie stengtųsi vėl atsigauti (nors kai kuriais atvejais elektrinė sąveika padeda išlaikyti motorinius baltymus pritvirtintus prie jų lynų).

Geriausias sprendimas čia būtų „procesinis“ variklis, kuris išliktų prisitvirtinęs prie aktino gijos ir ja judėtų. Būtent taip mūsų organizme ir yra. Keletas nedidelių miozino sandaros pokyčių jį pavertė procesiniu varikliu, kuris gali judėti aktino gija, neprarasdamas sukibimo.

Kokie tie pokyčiai? Vienas iš jų yra pailgėjęs kaklelis. Prisiminkite, kad raumenyse dvi miozino galvutės yra tvirtai sujungtos tarpusavyje uodegomis ir kakleliais, nes kitaip jos akivaizdžiai prarastų koordinaciją. Truputį pailginus kaklelį, galvutės įgyja šiek tiek savarankiškumo. Viena galvutė ir toliau lieka prisitvirtinusi, tačiau kita siūbuoja, leisdama varikliui toliau judėti lynu.<sup>6</sup>

Kai kuriais atvejais sujungiamos ne dvi, o trys ar net keturios galvutės. Ir, žinoma, uodegos taip pat turi keisti padėtį – taigi dabar miozino galvutės gali kur kas plačiau judėti, užuot buvusios susuktos į storą giją. Galiausiai prie galvučių-variklių pritvirtinami kiti objektai – tam pasitelkiamos baltymų jungtys (po vieną kiekvienam „kroviniui“). Taigi susidaro tam tikri procesiniai varikliai, kurie aktino bėgiais gali „gabenti“ krovinį po visą ląstelę.



Kaip susidarė šis šaunus motorinių baltymų paradas? Jo negalima lyginti su bakterijų pasauliu. Ne tik aktinas ar miozinas užtikrina dvigubą motorizavimą eukariotinėse ląstelėse. Antroji motorinių baltymų šeima, vadinama kinezinais, veikia beveik taip pat – „rankomis įsikabinę“ į įtemptus citoskeleto lynus, juda aukštyn ir žemyn. Tačiau kinezinų atvejų aukštai įtempti lynai yra ne aktinai, o didesnio skersmens lygūs vamzdeliai, dar vadinami mikrovamzdeliais (arba mikrotubulėmis), kurie sudaryti iš kito baltymo – tubulino – žemesnio lygmens elementų. Be daugelio kitų užduočių, kinezinai atsako už chromosomų atskyrimą ant mikrovamzdelių ašies, ląstelei dalijantis. Yra ir daug kitų motorinių baltymų tipų, tad pasistengsime į detales per giliai neįbristi.

Motorinių baltymų (drauge su aukštai įtemptais lynais) protėviai yra bakterijos, tik šie protėviai ne visada aiškiai atpažįstami, nes paprastai jie užsiėmė visiškai kitais darbais.<sup>7</sup> Šią giminystę, kurios turbūt niekada nebūtų pavykę nustatyti vien iš genų sekų, atskleidė rentgeno spindulių kristalografijos metodas.

Išsamiai nagrinėjant šių dviejų pagrindinių motorinių baltymų tipų – miozinų ir kinezinų – genų sekas, paaiškėja, kad jie neturi beveik nieko bendro. Vienur ar kitur pasitaiko panašumų, tačiau per ilgą laiką jie galėjo susidaryti arba atsitiktinai, arba dėl ta pačia kryptimi vykstančios evoliucijos.

Iš tiesų atrodė, kad kinezinai ir miozinai yra klasikinis konverguojančios evoliucijos atvejis, t. y. kai 2 nesusiję baltymų tipai buvo specialiai nukreipti panašiam uždaviniui, ir dėl to išsivystė panaši jų sandara. Panašiai savarankiškai išsivystė šikšnosparnių ir paukščių sparnai, nes jiems teko spręsti tą pačią užduotį – sudaryti galimybę skraidyti.

Bet tada trimatės jų struktūros buvo išspręstos, atominiame skyros lygmenyje pasitelkus kristalografiją. Genų seka yra dvimatė raidžių seka, tad ją galima prilyginti libretui be muzikos. Kristalografija atskleidžia trimatį baltymo vaizdą, kuris suskamba tarsi didinga opera.

Richardas Vagneris (*Richard Wagner*) kartą pasakė, kad muzika turi išaugti iš operos žodžių, nes žodžiai buvo pirma. Tačiau R. Vagnerį nedaug kas prisimena dėl jo sentimentų teutonams, o jo muzika išliko, kad džiugintų būsimąsias kartas.

Taip pat genų seka savo esme yra žodis, o tikroji baltymų muzika – jų forma, ir būtent ji pajėgia išgyventi natūraliąją atranką. Pastarajai rūpi ne

genų seka, o jų funkcijos. Ir nors genai lemia funkciją, labai dažnai tai vyksta nustatant baltymo formą ir vadovaujantis jų „lankstymo“ taisyklėmis, apie kurias vis dar labai mažai žinome. Dėl to atskiros genų sekos gali taip atitolti viena nuo kitos, kad jose nebelieka jokio tarpusavio panašumo, – tai atsitiko miozinams ir kinezinams. Bet giliau slypinti baltymų muzika vis dar gali būti išgirsta, pasitelkus kristalografiją.

Taigi, remdamiesi kristalografijos rezultatais, sužinojome: nors miozinų ir kinezinų genų sekos turi labai mažai bendro, jie turėjo tą patį protėvį. Trimačiai jų modeliai atskleidė daugelį panašių lenkimo taškų ir bendrąją sandarą iki pat svarbiausių aminorūgščių, kurios erdvėje nukreiptos ta pačia kryptimi. Tai nepaprasta atrankos ypatybė: tie patys modeliai, tos pačios formos, ta pati erdvinė struktūra – ir visa tai atomų lygmenyje išsaugota milijardus metų, neatsižvelgiant į medžiagos sudėtį ir netgi genų seką, kurias ardo laiko tėkmė.

Visos šios formos atskleidžia, kad ir miozinai, ir kinezinai susiję su didesne baltymų šeima, kurios protėviai akivaizdžiai buvo bakterijos.<sup>8</sup> Šie protėviai atliko (ir iki šiol atlieka) darbus, susijusius su tam tikra judėjimo ir jėgos išskyrimo forma, pavyzdžiui, perėjimu nuo vienos sandaros prie kitos, tačiau nė vienas iš jų negalėjo judėti iš tikrųjų.

„Pliką baltymų skeletą“ kristalografija parodė tokiu pat būdu, kaip paukščio sparno rentgeno nuotraukoje matomi jo kaulai. Lygiai taip, kaip sparnų protėvius išdavė kaulų sandara ir sąnariai, kurie akivaizdžiai yra išsivystę iš neskraidančių roplių galūnių, motorinių baltymų sandara neabejotinai paveldėta iš protėvių baltymų, kurie galėjo keistis prisitaikydami, bet neužtikrino didelio judrumo.

Kristalografija taip pat leido pažvelgti į citoskeleto evoliuciją – į tuos aukštai ištemptus aktino ir tubulino lynus. Kas nors gali paklausti, ar ląstelė būtų išvysčiusi šių įtemptų lynų, kurie yra greitą motorinių baltymų judėjimą užtikrinantys bėgiai, tinklą, jei nebūtų buvę pačių motorinių baltymų. Ar taip neužbėgame už akių? Ne, jei citoskeletas savaime yra vertingas.

O jo vertė – struktūrinės savybės. Citoskeleto pluoštai palaiko visų eukariotinių ląstelių formą, pradedant ilgomis bei išsčiusiomis neuronų ląstelėmis ir baigiant plokščiomis endotelio ląstelėmis – beveik tas pats pasakytina ir apie bakterijas. Ilgus metus biologai daugybę bakterijų formų (lazdeles, spirales, pūsmėnulus ir pan.) siejo su standžiomis jas gaubiančiomis ląstelės sienelėmis.

## JUDĖJIMAS

mis, todėl paskutinio dešimtmečio vidurio atradimas, kad bakterijos irgi turi citoskeletą, gerokai nustebino.

Jis sudarytas iš plonų pluoštelių, kurie labai primena aktiną ir tubuliną – gijas, kurios, kaip dabar žinome, yra atsakingos už griežtesnių bakterijų formų išlaikymą. (Citoskeleto mutacijos šias sudėtingas bakterijų ląsteles vėl pavertė paprastais rutuliais.)

Kaip ir kalbant apie motorinius baltymus, bakterijų ir eukariotų baltymai genetiškai taip pat šiek tiek panašūs. Tačiau tūkstantmečio sandūroje kristalografijos būdu atskleistos trimatės jų struktūros buvo dar įspūdingesnės, nei motorinių baltymų. Baltyminės bakterijų ir eukariotų struktūros beveik sutampa: jos yra tų pačių formų, to paties erdvinio išdėstymo ir net turi keletą tų pačių svarbiausių aminorūgščių tose pačiose vietose.

Akivaizdu – eukariotinių ląstelių skeletas išsivystė iš panašaus bakterijų skeleto. Drauge su forma išsaugoma ir funkcija – abiem jiems tenka platesnis struktūrinis vaidmuo. Tačiau abiem atvejais ląstelės skeletas pajėgia kur kas daugiau, nei vien tik užtikrinti statinę atramą. Jis nepanašus į kietus kaulinius mūsų griaučius, tačiau yra dinamiškas, nuolat keičiasi, pats save rekonstruoja ir yra nepastovus – tarsi debesys audringą dieną.

Jis gali sukurti jėgą, judindamas chromosomas, padalydamas ląstelę per pusę replikuodamasis ir (tai tinka bent eukariotinėms ląstelėms) išstumdamas ląstelės projekcijas (pseudopodijas) be jokios motorinių baltymų pagalbos. Trumpai tariant, citoskeletas juda, kaip jam patinka. Kaip toks dalykas galėjo susidaryti?



Ir aktino, ir tubulino gijos yra sudarytos iš baltymų subvienetų, kurie patys jungiasi į ilgas grandines, arba polimerus. Šis gebėjimas polimerizuotis nėra neįprastas. Galiausiai, ir plastmasės yra tiesiog polimerai, sudaryti iš pagrindinių elementų, kurie vis kartojasi begalinėse molekulių eilutėse.

Neįprasta citoskeleto ypatybė yra tai, kad jis išlaiko dinaminę pusiausvyrą, nors elementų pusiausvyra nuolat keičiasi, vienus pridėdant, kitus pašalinant, – vyksta polimerizacija ir depolimerizacija. Dėl to citoskeletas nuolat perkuria pats save, statydindamasis ir skaidydamasis. Čia ir visa paslaptis. „Statybinius blokus“ galima pridėti tik viename gale (jį dera vienas prie kito

panašiai kaip *Lego* detalės arba, tiksliau tariant, kaip badmintono plunksninukų vėrinys), o išardyti – tik iš kitos grandinės pusės. Tai suteikia citoskeletui galimybę kurti jėgą. Štai kodėl taip yra.

Jeigu sparta, kuria elementai pridedami viename grandinės gale, atitinka spartą, kuria jie pašalinami nuo kito galo, polimeras išlaiko pastovų ilgį. Šiuo atveju atrodo, kad grandinė juda į priekį ta kryptimi, kurioje elementai pridedami. Judančios grandinės kelyje pasitaikęs koks nors objektas gali būti fiziškai stumiamas drauge. Tačiau iš tiesų grandinė jo nejudina.

Objektą daužo atsitiktiniai molekuliniai jėgų smūgiai, o kiekvieną kartą, kai tarp objekto bei ilgėjančio citoskeleto grandinės galo susidaro nedidelis tarpelis, čia gali prisitvirtinti papildomas elementas. Tokiu būdu objekto grįžimas atgal trukdo grandinei ilgėti, o atsitiktinis stumdymas varo objektą pirmyn.

Ko gero, geriausias to pavyzdys – kai kurios bakterijų infekcijos, kai bakterija suardo citoskeleto struktūrą. Pavyzdžiui, listerija, galinti sukelti meningitą naujagimiams, išskiria 2 arba 3 baltymus, kurie drauge užgrobia ląstelės šeimininkės citoskeletą. Dėl to bakterija gali judėti po užkrėstą ląstelę, stumdoma aktino „kometos uodegos“, kuri už jos susijungia ir atsijungia. Manoma, panašus procesas vyksta ir pačioje bakterijoje, kad, ląstelei dalijantis, galėtų atsiskirti chromosomos ir plazmidės (maži DNR skritulėliai).

Kažkas panašaus vyksta amebose (ir netgi kai kuriose mūsų pačių imuniteto sistemos ląstelėse, tarkime, makrofaguose). Ląstelių projekcijas – pseudopodijas, išstumia dinaminė pačių aktino gijų sąranka ir iširimas. Jokių sudėtingų motorinių baltymų čia visiškai nereikia.

Čia aprašytas dinaminis citoskeletas gali atrodyti tarsi burtai, tačiau, pasak biochemiko iš Harvardo Timo Mičisono (*Tim Mitchison*), jokių burtų. Citoskeleto ypatybės lemia spontaniškas fizinis procesas, ir kad jis vyktų, netgi nereikia jokios aukštesnės evoliucijos. Baltymai, kurie nevaidina jokio struktūrinio vaidmens, gali staiga be jokio išpėjimo polimerizuotis ir sudaryti ląstelės skeletą, kuris savo ruožtu gali kurti jėgą, o atsiskyrę nuo skeleto, jie pajėgia greitai grįžti į ankstesnę būseną.

Toks baltymų elgesys gali atrodyti pavojingas, ir iš tikrųjų jis paprastai yra visiškai nepageidaujamas. Pavyzdžiui, esant pjautuvo pavidalo ląstelių mažakraujystei, pakitusios formos hemoglobinas staiga polimerizuojasi ir įgyja vidinę struktūrą, bet taip vyksta tik tuomet, kai deguonies mažai.

Šis pokytis paveikia raudonuosius kraujo kūnelius – jie tampa pjautuvo formos (iš čia kilęs ligos pavadinimas), kitais žodžiais tariant, jis sužadina jėgą ir judėjimą. Kai deguonies lygis vėl pakyla, nenormalus ląstelės skeletas lygiai taip pat spontaniškai išyra, ir ląstelė vėl tampa įprastos disko formos. Taigi net jei šis dinaminis citoskeletas nėra visai naudingas, jis kuria jėgą.<sup>9</sup>

Kažkas panašaus jau seniai turi būti įvykę, kalbant apie citoskeleto tinkamumą. Aktino ir tubulino pluoštų elementai susidarė iš paprastų baltymų, kurie ląstelėje atliko kitas funkcijas. Keletas nežymių jų sandaros pokyčių (kaip atsitiko pakitusiam hemoglobiniui) suteikė galimybę spontaniškai jungtis į gijas. Tačiau kitaip nei pjautuvinės mažakraujystės atveju, šis pokytis privalėjo duoti tiesioginės naudos, nes tik taip jis galėjo pelnyti natūraliosios atrankos palankumą.

Tiesioginė nauda galėjo nebūti tiesiogiai susijusi su judėjimu, o galbūt netgi visiškai nebuvo su juo susijusi. Tiesą sakant, ląstelių pjautuvo formą lemiantis hemoglobinas taip pat yra atrankos įtvirtintas tose vietovėse, kuriose klesti maliarija, nes nuo jos apsaugo viena pažeisto geno kopija. Nepaisant ilgalaikių ir skausmingų priepuolių (pjautuvo formos ląstelės yra nelanksčios ir užkemša kapiliarus), spontaniškai susidarantį nepageidaujamą citoskeletą natūralioji atranka išsaugojo dėl jo teikiamos netiesioginės naudos – sugebėjimo saugoti nuo maliariją sukeliančių parazitų.

Taigi judrumo didybė nuo pat savo pradžią pradžios iki visapusiškai dingos griaučių raumenų jėgos išliko priklausoma nuo trupučio baltymų ir be galo įvairių jų formų veikimo. Iki šių dienų lieka neišspręstas uždavinys, kaip pašalinti visas jų „variācijas“, kad būtų atskleista pradinė tema, – paprastas choralas, nuo kurio viskas ir prasidėjo. Šiandien tai yra viena įdomiausių mokslinių tyrimų sričių, kurioje taip pat kyla daug ginčų, – juk šį choralą giedoja visų eukariotinių ląstelių protėvis galbūt net prieš 2 mlrd. m., ir atkurti tokių senų akordų aidą ne taip paprasta.

Kol kas negalima tvirtai pasakyti, kaip išsivystė eukariotų protėvio judrumas. Tiksliai nežinome, ar pagrindinis vaidmuo atiteko ląstelių bendradarbiavimui (simbiozei), kaip ilgą laiką teigė L. Margulis, o galbūt ląstelės citoskeletas išsivystė iš ląstelėje šeimininkėje jau buvusių genų.

Jei šias įdomias dėliones pavyktų sudėlioti, jos gal atvertų aiškesnį vaizdą. Pavyzdžiui, bakterijose chromosomos atitraukiamos, naudojant aktino gijas,

tačiau susiaurėjimas, susidarantis ląstelei dalijantis, vyksta dėl tubulino mikrovamzdelių. Eukariotinėms ląstelėms galioja priešingas teiginys. Čia veleno, kuris atskiria chromosomas, ląstelei dalijantis, „pastolius“ sudaro mikrotubulės, o korsetas, kuris ląstelę suveržia taip, kad ji pasidalija perpus, sudarytas iš aktino. Sužinoję, kaip ir kodėl įvyko šis pasikeitimas vaidmenimis, tikrai geriau suprasime išsamią Žemės gyvybės istoriją.

Tačiau mokslininkų dar laukiantys sunkumai daugiausia susiję su atskiromis platesnio vaizdo detalėmis, o šis platesnis vaizdas iš esmės jau atskleistas. Žinojimas, iš ko išsivystė citoskeleto baltymai ir motoriniai baltymai (ar tai lėmė simbiotinė bakterija, ar pati ląstelė šeimininkė), platesnėje schemoje nėra labai svarbus. Tikėtinas bet kuris iš šių variantų, tad, sužinojus atsakymą, šiuolaikinės biologijos pamatai nesugrius.

Bet vienas faktas aiškus: jei kada nors ir buvo eukariotų, kurie negalėjo judėti ir kurti jėgos, pasitelkdami dinaminį citoskeletą ir motorinius baltymus, jų nebegalime aptikti – jie išnyko prieš daugelį amžių drauge su visais savo palikuonimis. Visų šiuo metu gyvenančių eukariotų protėvis buvo judrus.

Judrumas, matyt, teikė daug privalumų. Ir todėl gali būti, kad judrumo įsivyravimas lėmė kur kas daugiau, nei visiems laikams išaugusį ekosistemų sudėtingumą. Jis galėjo prisidėti prie to, kad mūsų planetos veidas būtų pakeistas iš paprasto pasaulio, kuriame viešpatavo bakterijos, į tą stebuklą šalį, kurią regime šiandien.

## SEPTINTAS SKYRIUS

# REGA

## IŠ AKLŲJŲ KARALYSTĖS

**R**ega iš tiesų nėra dažna savybė. Akių, bent įprasta prasme, neturi augalų karalystės gyventojai, grybai, dumbliai ir bakterijos. Net ir gyvūnų karalystėje akimis gali džiaugtis ne visi. Sakoma, kad tik 6 iš 38 visiškai skirtingų gyvūnų tipų turi tikras akis. Kiti gyvūnai milijonus metų išgyveno, neturėdami galimybės regėti juos supantį pasaulį. Tačiau dėl to, kad neregėjo, natūralioji atranka jų neatmetė.

Tačiau šiame spartietiška fone evoliucinė regos nauda atrodo labai didelė. Tipai nėra lygūs, vieni jų kur kas „lygesni“ už kitus. Pavyzdžiui, chordinių tipui, kuris apima ir mus bei kitus stuburinius, priskiriama 40 000 gyvūnų rūšių; moliuskams (įskaitant dvigeldžius, pilvakojus ir galvakojus) – 100 000 rūšių, o nariuotakojams – vėžiagyviams, voragyviams ir vabzdžiams – priskiriamų rūšių skaičius viršija milijoną ir sudaro 80 % visų aprašytų rūšių.

Ir priešingai, daugelis mažiau žinomų tipų, įskaitant ir tokias keistenybes (paprastai žinomas tik klasikinį išsilavinimą turintiems zoologams), kaip stiklinės pintys, žiuželiniai, kirmėlės *priapulida* ir drebutiniai šukuočiai, apjungia palyginti nedaug rūšių (dešimtis ar šimtus), o plokščiagyvių (*Placozoa*) tipas – vos vieną. Juos sudėję draugėn, pamatysime, kad akis turi net 95 % visų gyvūnų rūšių – taigi šiandien neginčijamai vyrauja apdovanotieji rega.

Žinoma, tai gali būti tik atsitiktinumas. Galbūt šių gyvūnų tipų kūnai turi ir kitų subtilių privalumų, kurie visiškai nesusiję su akimis, ir kurių ne-

pastebėjome? Bet tai atrodo mažai tikėtina. Tikrųjų akių, kuriomis galima matyti erdvinį vaizdą, o ne vien skirti šviesą ir tamsą, evoliucija, atrodo, buvusi kiek kitokia nei įprasta.

Fosilijos atskleidžia, kad pirmosios „tikrosios“ akys staiga atsirado prieš 540 mln. m., – tai įvyko prieš pat Didįjį evoliucijos sprogimą (taip vadinamas Kambro sprogimas) – fosilijos liudija, kad tuomet į gyvąjį pasaulį įsiveržė kvapą gniaužianti gyvūnų rūšių įvairovė. Uolose, kurios buvo nebylios visą amžinybę, staiga ir nelauktai pasirodė beveik visi šiuolaikinių gyvūnų tipai.

Beveik neabejotina, kad fosilijose atsispindinčio gyvūnų karalystės „sprogimo“ ir akių atsiradimo glaudus ryšys nėra sutapimas – plėšrūnus ir grobį erdvinė rega turėjo perkelti į visiškai skirtingą lygmenį, jis galėjo (o gal taip ir įvyko) lemti polinkį kambre išsivystyti sunkiems gyvūnų šarvams, taigi ir daug didesnę tikimybę, kad jų palaikai suakmenės ir išliks.

Gamtos istorijos muziejaus Londone biologas Endrius Parkeris (*Andrew Parker*) iškėlė įtikinamą prielaidą, kad Kambro sprogimą paspartino akių išsivystymas. Jis tai aprašė įdomioje, nors kartkartėmis ir norą prieštarauti žadinančioje knygoje. Ar akys iš tiesų atsirado staiga (o gal fosilijų liudijimas šiuo atveju klaidina) – tai klausimas, kurį nagrinėsime toliau. Dabar tik paminėsiu, kad akys suteikia kur kas daugiau informacijos apie šviesą užlietą pasaulį, nei uoslė, klausa arba lytėjimas.

Vargu ar galėjome nebūti regintys. Daugelis iš nuostabiausių gyvojo pasaulio prisitaikymo požymių atsirado kaip atsakas į tai, kad jie tapo matomi, nesvarbu, ar šių požymių tikslas yra dauginimasis (kaip pavo arba gėlės, arba didžiųjų stegozauro šarvo plokščių), ar kruopštus bandymas pasislėpti dygių vabzdžių pasaulyje. Mūsų pačių visuomenė tokia margaspalvė, kad vargu ar reikia atskirai tai minėti.

Regos išsivystymas ne tik naudingas, bet ir ypatingas kultūros požiūriu, nes akys atrodo esančios tiesiog tobulos. Nuo pat Č. Darvino laikų akys buvo suvokiamos kaip apoteozė, iššūkis pačiai natūraliosios atrankos sąvokai. Ar toks sudėtingas ir tobulas dalykas gali išsivystyti savaime? Skeptikai klausė: „Kam tikrų pusė akies?“ Natūralioji atranka skatina milijonus mažų žingsnelių, iš kurių kiekvienas privalo būti kiek tobulesnis už ankstesnį, o „pusiau pagaminta“ sistema iš pasaulio negailestingai šalinama.



Tačiau skeptikai tvirtina, kad akis tokia pat tobula kaip ir laikrodis, – ji negali būti supaprastinta. Pašalinkite nors vieną mažą dalelę, ir akis niekam nebetiks. Kaip laikrodis be rodyklių mažai ko vertas, taip ir akis be lęšiuko ar tinklainės. Jeigu „pusė akies“ niekam nenaudinga, tada akis negalėjo išsivystyti natūraliosios atrankos būdu ar kitais šiuolaikinei biologijai žinomais būdais, o tai patvirtina dieviškąjį Kūrėjo įsikišimą.

Daugelis ginčų dėl tobulumo biologijoje retai kada reiškia ką nors daugiau, nei dar didesnę ir taip jau sustabarėjusių pozicijų įtvirtinimą. Č. Darvino šalininkai teigia, kad akis toli gražu nėra tobula, – tai labai gerai žino kiekvienas, kuris nešioja akinius ar kontaktinius lęšius, arba kurio rega silpsta. Nors šis teiginys neabejotinai teisingas, tokiame teoriniame ginče kyla pavojus užmerkti akis prieš daugelį kitų neabejotinų regos subtilybių.

Panagrinėkime žmogaus akį. Paprastai pasitelkiamas argumentas, kad jos sandara turi didelių trūkumų, o tai iš tiesų yra geras įrodymas, jog evoliucija iš anksto nenumatė sujungę iš anksto neplanuotas struktūras. Teigiama, kad net inžinierius žmogus padarytų geriau, bet šioje srityje geriau pavyko aštuonkojui. Minėtas teiginys paneigia taisyklę, dar vadinamą antruoju Leslio Orgelio (*Leslie Orgel*) dėsnium: evoliucija už jus protingesnė.

Trumpai aptarkime. Aštuonkojų akys labai panašios į mūsų – tai „fotoaparato“ pobūdžio akys su vienu lęšiuku priekinėje dalyje ir šviesai jautria plokšte – tinklaine – galinėje dalyje (kuri atitinka fotoaparato juostą). Greičiausiai, paskutiniai bendrieji mūsų ir aštuonkojų protėviai buvo kokios nors kirmėlės, neturėjusios tikrų akių, tad ir mūsų, ir aštuonkojų akys vystėsi savarankiškai, bet galiausiai supanašėjo dėl panašių evoliucinių sprendimų.

Šią išvadą pagrindžia išsamus 2 tipų akių palyginimas. Abi šios akių rūšys vystosi iš skirtingų embriono audinių, be to, skiriasi mikroskopinė jų sandara. Tačiau atrodo, kad aštuonkojo akis sudaryta gerokai protingiau. Šviesai jautrios tinklainės ląstelės reaguoja į šviesą, o informacija neuronų jungtimis perduodama tiesiai į smegenis. Mūsų tinklainė „prijungta“ atvirkščiai – tai tikrai neprotinga sandara. Šviesai jautrios ląstelės nėra išsikišusios, jos labai giliai, padengtos jungtimis neuronų, kurie smegenis pasiekia aplinkiniu keliu. Šviesa turi prasibrauti pro šiuos jungčių tankumynus, kol pasieks šviesai jautrias ląsteles. Dar blogiau, šios jungtys sudaro pluoštus – regos nervą, kuris prisijungia prie tinklainės, ir toje vietoje susidaro akloji dėmė.<sup>1</sup>

Tačiau šios sandaros neturėtume per greitai atmesti. Kaip dažnai biologijoje, padėtis kur kas sudėtingesnė. Jungtys yra skaidrios, tad šviesos perdavimo negali labai trikdyti. Jos veikia netgi kaip „bangos kreiptuvas“: šviesą nukreipia į jai jautrias ląsteles vertikaliai ir fotonus išnaudoja geriausiai. Galbūt dar svarbesnis mums būdingas pranašumas yra tai, kad mūsų šviesai jautrios ląstelės išodintos tiesiogiai į palaikomąsias ląsteles (tinklainės pigmento epitelį), – tai gi iš apačios jos puikiai aprūpinamos krauju.

Tokia sandara užtikrina nuolatinę šviesai jautrių pigmentų apykaitą. Žmogaus tinklainė sunaudoja (1 g) netgi daugiau deguonies nei smegenys – ji yra labiausiai energijos imlus kūno organas, tad galima teigti, kad tokia sandara itin svarbi.

Aštuonkojų akys negalėtų ištverti tokios sparčios medžiagų apykaitos. Bet galbūt to ir nereikia. Jie gyvena po vandeniu, kur šviesos mažiau, tad jiems tikriausiai nereikia taip dažnai atnaujinti šviesai jautrių pigmentų. Mano nuomone, kiekviena biologinė sistema turi ir privalumų, ir trūkumų, tačiau galiausiai pasiekiamo atrankos jėgų pusiausvyra, kurią ne visada įvertiname. Tai yra „Tiesiog taip yra“ pobūdžio pasakojimų problema – dažnai matome tik dalinį vaizdą. Per daug conceptualius argumentus iš esmės nesunku paneigti priešingais.

Kaip ir bet kuris mokslininkas, pirmenybę teikiu duomenų „traukiniui“. Molekulinės genetikos iškilimas per pastaruosius dešimtmečius pateikia išsamios informacijos, kuri, savo ruožtu, siūlo ypatingus atsakymus į ypatingus klausimus. Susieti draugėn, jie sudaro įtikinamą paveikslą, kaip ir iš kur išsivystė rega – labai tolimas ir labai žalias protėvis. Šiame skyriuje ir nagrinėsime minėtą temą, kad aiškiai suprastume, kokia yra „pusės akies“ nauda, kaip išsivystė lęšiukai, ir iš kur atsirado šviesai jautrios tinklainės ląstelės. Sujungę visus šio pasakojimo dėmenis, suvoksime, kad akių atsiradimas iš tiesų pakeitė evoliucijos spartą ir kryptį.



Klausimą „Kokia „pusės akių“ nauda?“ nesunku pajuokti atsakant: „Kurios – kairiosios ar dešinėsios akies?“. Tačiau aš pritariu nuožmiam R. Dokinso atsakymui: „pusė akies“ yra 1 % geriau nei 49 % akies; tačiau tiems, kurie sunkiai pajėgia įsivaizduoti „pusė akies“, 49 % akies mintis sujaukia dar labiau. Tiesą

sakant, pažodinis terminas „pusė akies“ puikiai tinka problemos nagrinėjimo pradžiai.

Akis yra tvarkingai padalyta į 2 dalis: priekinę ir galinę. Kiekvienas, dalyvavęs oftalmologų konferencijoje, sutiks, kad šie specialistai skyla į 2 dideles gentis: dirbančius su priekine akies dalimi (kataraktos ir refrakcijos chirurgai, kurie gydo lęšiuką ir rageną) ir dirbančius su galine dalimi (tinklaine) – jie gydo tokias svarbias aklumo priežastis, kaip geltonosios dėmės degeneracija.

Šios 2 gentys bendrauja nenoriai, o kartais beveik kyla abejonių, ar jos kalba ta pačia kalba. Tačiau jos skiriasi neabejotinai. Jei pašalintume visą optinę įrangą, akis būtų redukuota iki plikos tinklainės: niekuo neapdengtos šviesai jautrios plokštelės. Būtent ši apnuoginta tinklainė yra evoliucijos ašis.

Atviros tinklainės idėja gali atrodyti keistai, tačiau ji puikiai tinka tokioje pat keistoje aplinkoje – padūmavusiose giliose vandenyno versmėse, „juoduosiuose rūkaliuose“ (kuriuos aplankėme 1 skyriuje). Tokios versmės tampa namais didžiulei gyvybės formų įvairovei, kurios vienu ar kitu būdu yra priklausomos nuo bakterijų, gyvenančių tiesiai virš vandenilio sulfito dujų, sklindančių iš dugno angos.

Galbūt keisčiausi ir žymiausi iš šių gyvūnų yra milžiniškos vamzdelinės kirmėlės, kurių ilgis pasiekia net 8 pėdas [2,4 m]. Nors ir susijusios tolimais giminystės ryšiais su įprastais sliėkais, vamzdelinės kirmėlės yra tiesioginė to žodžio prasme vidurių neturintys stebuklai, kurie neturi nei burnos, nei žarnyno, o už savo egzistavimą yra dėkingi jų audiniuose įsikūrusiai sieros bakterijai. Kiti šių urvų milžinai yra didžiuliai moliuskai, tarp jų ir midijos.

Pastarųjų randama tik Ramiajame vandenyne, tačiau Atlanto dugno versmėse yra savų stebuklų. Pavyzdžiui, ten knibžda krevečių *Rimicaris exoculata*, kurių tuntai susigrūdą prie juodųjų rūkalių. Jų pavadinimas pažodžiui reiškia beakės plyšių krevetės – tai visiškai iškreiptas terminas, kurį reikėtų „grąžinti“ jų kūrėjams patikslinti. Žinoma, kaip ir galima tikėtis iš pavadinimo ir jų buveinės juodoje vandenyno gelmėje, šios krevetės neturi įprastinių akių. Jos tikrai negalėtų persimesti žvilgsniais su paviršiuje gyvenančiais giminaičiais. Tačiau ant nugarų turi 2 dideles ypatingas juostas. Nors jų išvaizda sunkiai nusakoma, šios juostelės atspindi povandeninius šviesos blyksnius panašiai kaip katės akys.

Minėtas juosteles pirmoji pastebėjo Sindė Van Dover (*Cindy Van Dover*) – šis atradimas buvo vienos iš ryškiausių mūsų laikų mokslininkės kar-

jeros pradžia. Ji yra tarsi Žiulio Verno (*Jules Verne*) aprašyta mokslininkė, viena iš nykstančios rūšies – kurias pati ir tyrinėja – atstovių. S. Van Dover dabar vadovauja Djuko universiteto Jūrinių tyrimų laboratorijai ir yra ap- lankiusi beveik visas žinomas povandenines versmes, iš jų netgi kelias nety- rinėtas anksčiau.

Ji yra pirmoji moteris – giliųjų vandenų povandeninio laivo *Alvin* laiva- vedė. Vėliau ji atrado, kad lygiai tokie pat milžiniški moliuskai ir vamzdelinės kirmėlės gyvena šaltose jūros dugno vietose, kuriose iš Žemės gelmių smelkiasi metanas. Tad varomoji jūros dugno gyvūnų jėga akivaizdžiai yra cheminės sąlygos, o ne šiluma.

Tačiau, grįžtant į devintojo dešimtmečio pabaigą, kai visi minėti daly- kai dar laukė, ji tikriausiai turėjo jaustis gana sutrikusi, aklą krevečių audi- nio juostelių pavyzdžius siųsdama bestuburių akių specialistui ir užduodama keistą klausimą, ar tai negalėtų būti akys? Juk šiuose audiniuose nėra įprastų akies atributų – lęšiukų, rainelės ir pan. Atrodo, aklos krevetės turėjo organą, kurį galima vadinti plika tinklaine, – šis organas driekėsi per jų nugarą, nors krevetės gyveno tamsiose vandenyno gelmėse (žr. 7.1 pav.).

Daugiau tyrimų patvirtino dar geresnius rezultatus, nei S. Van Dover galėjo tikėtis. Pasirodė, šioje plikoje tinklainėje yra pigmento, kurio savybės labai panašios į mūsų tinklainėje esantį pigmentą rodopsiną, padedantį aptik- ti šviesą. Be to, šis pigmentas išpraustas tarp šviesai jautrių ląstelių, būdingų įprastų krevečių akims, nors tinklainės išvaizda labai skiriasi. Taigi beakės kre- vetės greičiausiai tikrai gali išvysti šviesos spindulėlį vandenyno dugne. Tada mokslininkė ėmė mąstyti: galbūt pačios versmės skleidžia silpną švytėjimą? Be to, karštos gijos spindi, o versmės yra ir karštos, ir jose gausu ištirpusių metalų.

Iki tol niekas nebuvo išjungęs povandeninio laivo žibintų. Aklinoje tam- soje toks manevras – daugiau nei pavojingas: visai tikėtina, kad laivas srovės bus nuneštas į vandenyno versmę, o tada iškeps visi esantys laive ar bent laivo prietaisai. S. Van Dover pati nesileido į versmes, tačiau jai pavyko įtikinti rizikos nemėgstantį geologą Džoną Delanėjų (*John Delaney*) išjungti laivo ži- bintus ir į versmę nukreipti skaitmeninę kamerą.

Nors plika akimi gelmių juoduma buvo neįveikiama, Dž. Delanėjus nu- fotografavo versmę supančią aiškią aureolę, kuri tamsoje šypsojosi kaip mėnu- lis. Tačiau šios pirmos nuotraukos neatskleidė, kokia šviesa skleidžiama – ko-

kios spalvos ar ryškumo. Ar tikrai krevetės galėjo „matyti“ versmių švytėjimą, jei jo išsvysti nepajėgėme mes?

Spėjama, kad juodieji rūkaliai, panašiai kaip įkaitusios gijos, švyti raudonai, o bangų ilgis yra šilumos bangų (artimųjų infraraudonųjų spindulių) intervale. Teoriškai trumpesnio ilgio bangos, patenkančios į geltoną, žalią ir mėlyną spektro dalis, apskritai neturi būti skleidžiamos. Ši prielaida buvo patvirtinta ankstesniais, nors ir apytikriais, tyrimais, kai objektyvas buvo pridengtas spalvotais filtrais. Taigi manytina: jei krevetės gali matyti versmių švytėjimą, jų akys turi būti „sureguliuotos“ taip, kad išvelgtų raudoną šviesą arba artimuosius infraraudonuosius spindulius.

Pirmieji krevečių akių tyrimai atskleidė kitokį vaizdą. Pasirodė, rodopsino pigmentą kaip tik sužadina maždaug 500 nm bangos ilgio žalia šviesa. Nors ji gali būti perduodama kaip aberacijos, krevečių tinklainėje atliktas sudėtingas elektros parametrų nuskaitymas taip pat atskleidė, kad krevetės gali



7.1 PAV. BEAKĖ KREKETĖ *RIMICARIS EXOCULATA*, ANT NUGAROS TURINTI 2 ŠVIESESNES NEPRIDENGTO TINKLAINĖS JUOSTAS.

matyti tik žalią šviesą. Keista. Jei angos švyti raudonai, o krevetės gali matyti tik žalią šviesą, vadinasi, jos tebėra aklos.

Galbūt šios keistos atviros tinklainės neatlieka jokių funkcijų, o yra tik degeneravę organai, panašiai kaip urvuose gyvenančių žuvų nereginių akys? Tai, kad jos buvo krevėčių nugarose, o ne galvose, leido daryti prielaidą – šie organai nėra degeneravę, tačiau tai buvo labai sunku įrodyti.

Įrodyti pavyko atradus lervas. Versmių pasaulis nėra amžinas (nors gal ir susidaro toks įspūdis) – kalbant žmonių gyvenimo terminais, atskiros versmės dažnai uždūsta, užspringusios savo pačių išmetalais. Kažkur vandenyno dugne išsiveržia naujos versmės, dažnai nutolusios ne vieną kilometrą. Prie versmių įsikūrusios norinčios išgyventi rūšys turi kirsti erdvę nuo išnykstančios iki atsirandančios versmės.

Daugumos suaugusių gyvūnų judrumą riboja glaudus sąryšis su versme (pagalvokite apie milžiniškas vamzdelines neturinčias burnos ir žarnyno kirmėles), jų lervos gali išplisti labai didelėje vandenyno teritorijoje. Ar naujas versmes lervos pasiekia atsitiktinai (nešamos giliųjų vandenyno srovių), ar čia veikia koks nors dar nežinomas ieškos „prietaisas“ (pavyzdžiui, cheminiai gradientai), yra ginčytinas klausimas, tačiau lervos nevisiškai prisitaikiusios prie versmių pasaulio. Didžioji jų dalis aptinkama kur kas arčiau paviršiaus – nors vis dar giliai jūroje, tačiau tokia lygyje, į kurią gali įsismelkti gęstantys saulės spinduliai. Kitaip tariant, lervos gyvena pasaulyje, kuriame akys praverčia.

Tarp pirmųjų atpažintų lervų buvo krabo, vadinamo *Bythograea thermydron*, lerva. Įdomu, kad kaip ir suaugusios krevetės, taip ir suaugę krabai turi ne tikras akis, o porą atvirų tinklainių, tačiau kitaip nei krevėčių, krabų tinklainės aptinkamos galvoje – toje vietoje, kur galima tikėtis rasti akis. Tačiau labiausiai stebina, kad šio krabo lervos turi visiškai įprastas akis, na, bent įprastas krabams. Taigi, kai akys buvo naudingos, krabai jas turėjo.

Toliau – ištisa lervų procesija. Keletas rūšių versmių krevėčių gyvena šalia *Rimicaris exoculata*, bet jų lengva nepastebėti, nes jos yra vieniši gyvūnai – nesispiečia į grupes. Gali būti, kad jos taip pat turi pliką tinklainę galvoje, o ne nugaroje, o jų lervos, panašiai kaip krabo, turi įprastas akis. Iš tiesų paskutinė lerva, kurią dar reikia identifikuoti, yra pačios aklosios krevetės *Rimicaris* lerva. Iš dalies taip yra dėl to, kad ji nepaprastai panaši į kitų krevėčių lervas, o iš dalies – kad galvoje turi gana įprastas akis.

Tyrimų išvada, jog lervos turi įprastas akis, yra labai svarbi. Vadinasi, plika tinklainė yra ne tik degeneravusi akis – ji yra galutinis per kartų kartas vykusio funkcionalumo praradimo etapas, likutinė funkcija, pritaikyta gyventi aklinoje tamsoje. Lervos turi puikias akis.

Jei jos „nusprendė“ akis prarasti bręsdamos, tai neturėjo nieko bendro su per kartas vykusiu evoliuciniu praradimu, o buvo kur kas labiau „apgalvotas“ pasirinkimas, įvertinant sąnaudas ir naudą. Dėl tos pačios priežasties atvira tinklainė neišsivystė „iš nieko“, pasiekdama tik nominalų funkcionalumą (t. y. šioje amžinų sutemų aplinkoje ji niekada negalės varžytis su įprasta vaizdus formuojančia akimi), tačiau kai lerva subręsta ir tampa suaugusiu gyvūnu, kuris nusileidžia į versmes, akys degeneruoja, ir pamažu išnyksta visų jų „optiniai įtaisai“ – lieka tik plika tinklainė. Šiuo atveju atrodo, kad akys visai išnyksta, o tinklainė „nuo nulio“ išsivysto tik vienintelės *R. exoculata* nugaroje. Be to, ši tinklainė kur kas naudingesnė, nei išsivysčiusios daugelio gyvūnų akys, ir tai ne vienkartinis reiškinys ir ne atsitiktinumas. Kodėl?

Esamomis sąlygomis atviros tinklainės privalumas yra geriausia skiriamosios gebos ir jautrumo pusiausvyra. Skiriamoji geba susijusi su gebėjimu matyti (išskirti) vaizdo detales. Skiriamąją gebą padidina lęšiukas, rageną ir pan., nes šie organai leidžia sufokusuoti šviesą į tinklainę, ir susidaro vaizdas. Jautrumas yra priešingas procesas, kuris reiškia gebėjimą aptikti fotonus. Mažo jautrumo rega neleis išnaudoti visos akį pasiekiančios šviesos.

Mūsų atveju jautrumas šviesai didėja plečiantis vyzdžiui ir „įjungiant“ šviesai jautresnes ląsteles (lazdeles). Net ir šiuo atveju tokios priemonės tinkamos tik iki tam tikros ribos – kad vaizdai būtų atkurti, reikalingos „mechaninės“ schemos, kurios galiausiai riboja jautrumą. Vienintelis būdas dar padidinti jautrumą iki paties didžiausio, yra prarasti lęšiuką ir neribotai padidinti šviesai patekti skirtą angą ir išplėsti kampą, kuriuo šviesa gali patekti į akį. Taigi didžiausia anga yra angos nebuvimas – plika tinklainė. Atsižvelgiant į šiuos veiksnius, gana paprastas apskaičiavimas atskleidžia, kad atvira suaugusiųjų versmių krevečių tinklainė yra bent 7 mln. kartų jautresnė nei visiškai susiformavusios lervų akys.

Taigi, aukodamos skyrą, krevetės įgijo gebėjimą aptikti labai silpną šviesą ir padidino erdvę, iš kurios šviesa gali jas pasiekti – jos „mato“ šviesą artimiausiame pusrutulyje: aukštyn ir žemyn, pirmyn ir atgal. Sugebėjimas aptikti

šviesą tampa gyvybės ir mirties klausimu pasaulyje, kuriame temperatūra gali būti tokia aukšta, kad krevetės išvirtų per kelias sekundes, arba kur, per daug nutolus, yra per šalta, kad jos galėtų išlikti.

Įsivaizduoju į išorinę vandenyno erdvę nunešamas krevetes tarsi ryšį su erdvėlaiviu praradusį astronautą. Tai gali paaiškinti, kodėl krevetės *R. exoculata* turi akis nugaroje, gyvendamos taip, kaip gyvena – prie pat versmių pakraščių. Be abejo, patogiausia, kai iš viršaus žemyn prasiskverbiantią šviesą galima aptikti nugarą tuo metu, kai galva palaidota susigrūdusiame tunte. Vienatvė labiau mėgstantys šių krevečių giminaičiai, matyt, su atranka sudarė kiek kito-kį sandorį, nes plika tinklainė yra jų galvose.

Klausimą, kodėl krevetės mato žalia, o ne raudoną, šviesą (jos nėra daltonikės), nagrinėsime kiek vėliau. Dabar apibendrinant galima teigti, kad pusinė akis – atvira tinklainė – bent jau tam tikromis aplinkybėmis yra geriau už išsivysčiusią akį. Vargu ar reikia pagrįsti, kodėl „pusė akies“ geriau nei akių neturėti.



Paprasta plika tinklainė – didelis šviesai jautrus taškas – tapo ir daugybės diskusijų apie regos evoliuciją pradžia. Nuo šviesai jautraus taško prasidėjusį regos evoliucijos procesą įsivaizdavo ir Č. Darvinas. Jis dažnai cituojamas, regos temą ištraukiant iš konteksto, ir taip elgiasi ne tik tie, kurie atmeta natūraliąją atranką, bet netgi tada, kai mokslininkai geidžia išspręsti problemą, kuri tariamai praslydo pro šio didžio žmogaus akis. Taigi (cituojant tiksliai) Č. Darvinas rašė taip:

„Manyti, kad akis, turinti visas nepakartojamas jos gudrybes, skirtas pritaikyti fokusuojamą vaizdą įvairiems atstumams, praleisti skirtingus kiekius šviesos ir ištaisyti sferinę ar chromatinę aberaciją, galėjo susidaryti natūraliosios atrankos būdu, atrodo – atvirai tai pripažįstu – didžiausias absurdas.“

Tačiau dažnai praleidžiamas visas antras sakiny, kuris atskleidžia, kad šitai mokslininkas visiškai nelaikė akies atsitiktinumu:

„Tačiau protas man kalba: jeigu galima įrodyti, jog daugybė atrankos pako-pų iš tobulos ir sudėtingos akies suformavo visiškai netobulą ir paprastą, o kiekvienas šis laiptelis buvo naudingas jos savininkui, jeigu – toliau – akys netgi ne itin skiriasi, ir šie skirtumai yra paveldimi, ir jeigu bet koks organo



pokytis ar pasikeitimas yra naudingas gyvūnui besikeičiančiomis gyvenimo sąlygomis, tada sunkumas patikėti, kad tobula ir sudėtinga akis susiformavo natūraliosios atrankos būdu (nors tai neįveikiama mūsų vaizduotei), vargu ar gali būti laikomas pagrįstu.“

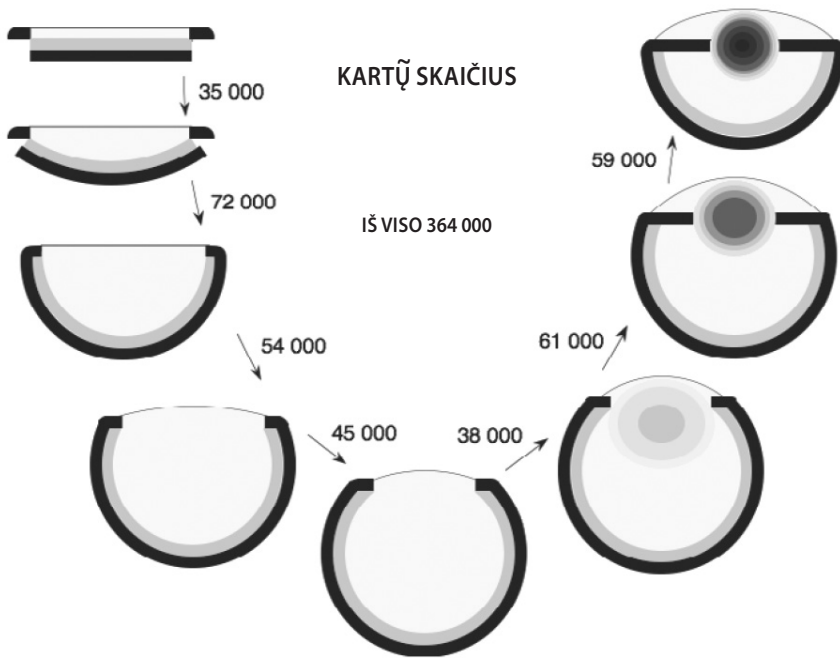


Kalbant paprasčiau, jeigu vienos akys yra sudėtingesnės už kitas, jeigu regos skirtumai gali būti paveldimi, jeigu silpna rega visada yra trūkumas, tada, anot Č. Darvino, akys gali evoliucionuoti. Visos šios sąlygos įvykdytos pakankamai. Pasaulyje pilna visiškai paprastų ir netobulų akių, pradedant taškais akių vietoje bei akiduobėmis, kuriose nėra lęšiuko, ir baigiant sudėtingesnėmis akimis, kurios visos sudaro jo minėtą „nepakartojamų gudrybių“ parądą.

Be abejonės, rega skiriasi, tai gerai žino kiekvienas, kuris nešioja akinius arba kurio rega nenumaldomai silpsta. Akivaizdu, labiau tikėtina, jog mus suės tigras arba partrenks autobusas, jeigu nepastebėsime jų prisiartinant. Ir, žinoma, tobulumas yra reliatyvi sąvoka. Erelio akies skyra 4 kartus didesnė už mūsų, todėl jis pajėgia išvelgti smulkius dalykus mylios [1,6 km] atstumu; mes matome 8 kartus geriau negu daugelis vabzdžių, kurių regos vaizdas taip suskaidytas į taškus, kad gali būti laikomas meno kūrinium.

Nors manau, kad dauguma žmonių neabejodami pritartų Č. Darvino išvardytoms sąlygoms, vis dar sunku įsivaizduoti visus tarpinius evoliucijos etapus – jei tikėsime P. G. Vudhausu (*G. P. Wodehouse*), įsivaizduoti visą tęstinumą labai sunku, o gal net neįmanoma.<sup>2</sup> Jau žinome: jeigu kiekvienas etapas savaime nėra naudingas, sudėtinga akis negali išsivystyti. Tačiau, atrodo, pažanga gali būti nesudėtingai paaiškinama.

Švedijos mokslininkai Danas Erikas Nilsonas (*Dan-Eric Nilsson*) ir Suzana Pelger (*Susanne Pelger*) akies evoliuciją sumodeliavo kaip paprastų etapų seką (tai parodyta 7.2 pav.). Kiekvienas iš eilės einantis etapas tobulesnis, pradedant nuo atviros tinklainės ir baigiant akimi, panašia į žuvis ir ne itin besiskiriančia nuo mūsų pačių. Žinoma, jie galėjo (o gal tai ir padarė) eiti dar toliau. Galėtume pridėti raišelę, kuri išplečia ir sutraukia vyzdį, atsižvelgiant į tai, kiek šviesos patenka į akį, – ar žvelgiama į skaisčią saulės šviesą, ar į vakaro prieblandą. Prie lęšiukų galime pritvirtinti raumenis, kurie leidžia keisti jo



7.2 PAV. D. E. NILSONO IR S. PELGER SUDARYTA SEKA ETAPŲ, KURIŲ REIKIA, KAD IŠSIVYSTYTŲ AKIS, IR ATITINKAMAS KARTŲ SKAIČIUS, PER KURĮ ĮSITVIRTINA KIEKVIENAS POKYTIS. DARANT PRIELAIĐĄ, KAD KIEKVIENA KARTA PRILYGSTA 1 M., VISAS TOKS VYSTYMASIS UŽTRUNKA KIEK MAŽIAU NEI 0,5 MLN.M.

formą, išstumti ar įtraukti – taip žvilgsnis nukreipiamas nuo artimų objektų prie tolimų (prisitaikymas).

Tai – tobulinantys potėpiai, kurių neturi daugelis akių. Kiekvienu patobulinimu gali būti papildyta tik jau esanti akis. Taigi galime būti patenkinti, kad šiame skyriuje irgi pasiekėme panašią pažangą – apžvelgėme vaizdą leidžiančios suvokti akies išsivystymą, net jei ji kol kas neturi kai kurių papildomų privalumų.<sup>3</sup>

Esminis šią sėkmę lėmęs dalykas yra tai, kad netgi paprasčiausias lęšiukas yra geriau nei jo neturėti (bet kur kitur, nei gyvenant greta juodojo rūkaliaus), o neryškus vaizdas – geriau nei joks. Tačiau turi būti pasiektas skyros ir jautrumo šviesai kompromisas. Tobulai geras vaizdas gali būti formuojamas fotoaparatu, turinčiu itin mažą angą, kuriame apskritai nėra objektyvo. Iš tiesų,

tokio pobūdžio akis turi ir kai kurių rūšių gyvūnai, ypač moliuskai nautilai, kurie yra šiuo metu gyvenantys moliuskų amonitų giminaičiai.<sup>4</sup>

Nautilo akių problema yra menkas regos jautrumas – ryškiam vaizdui reikia mažytės angelės, taigi į akį gali patekti mažiau šviesos. Jei šviesa silpna, vaizdas toks blankus, kad jo detalės nesuvokiamos – būtent tai ir yra giliuose, tamsiuose vandenyse gyvenančių nautilų bėda.

Vienas žymiausių gyvūnų akių specialistų, Sasekso universiteto mokslininkas Maiklas Lendas (*Michael Land*) apskaičiavo, kad, pridėjus lęšiuką, to paties dydžio akis tampa 400 kartų jautresnė, o skiriamoji geba padidėja 100 kartų. Taigi už kiekvieną žingsnį, žengtą bet kokio lęšiuko susidarymo link, laukia didelis atlygis, kuris pasireiškia geresnėmis galimybėmis išlikti.

Pirmasis „tikras“ vaizdą padėjęs suformuoti lęšiukas tikriausiai išsivystė tarsi viduramžių riteriai apsišarvavusiems trilobitams, kurių daugybė rūšių viešpatavo jūrose net 300 mln. m. Seniausia trilobito akis priklauso anksčiausiam žinomam trilobitui – amžius siekia jau 540 mln. m. Kaip jau minėjome kiek anksčiau šiame skyriuje, trilobitai atsirado maždaug Kambro sprogimo pradžioje.

Nors jų akys buvo gana paprastos, palyginti su šlovingais „optiniais įtaisais“, atsiradusiais po 30 mln. m., netikėtas trilobitų akių atsiradimas fosilijose verčia kelti klausimą, ar akys tikrai galėjo atsirasti taip staiga? Jei taip, rega tikrai galėjo paskatinti Kambro sprogimą, kaip teigė E. Parkeris. Jei ne, tada akys jau turėjo egzistuoti anksčiau, tačiau dėl nežinomos priežasties jų neišliko fosilijose, vadinasi, vargu ar didįjį rūšių sprogimą galėjo sukelti rega.

Dauguma įrodymų atskleidžia, kad Kambro sprogimas įvyko būtent tada, kai tuo metu pasikeitusios sąlygos leido nusimesti dydį ribojančius varžtus. Kambro periodo gyvūnų protėviai beveik neabejotinai buvo maži, ir jiems trūko kietųjų kūno dalių – tuo galima paaiškinti fosilijų nebuvimą. Tai irgi galėjo kliudyti išsivystyti akims. Erdvinei regai reikalingas didelis lęšiukas, plati tinklainė ir smegenys, pajėgios suvokti į jas patenkančią informaciją – taigi akys galėjo išsivystyti tik gyvūnams, kurie yra tokie dideli, kad tenkintų šiuos reikalavimus.

Daugumą iš pradinių regos elementų, pavyzdžiui, pliką tinklainę ir rudimentinę nervų sistemą, tikriausiai turėjo ir nedideli gyvūnai, kurie gyveno iki kambro periodo, tačiau akių tobulėjimą beveik neabejotinai stabdė jų mažu-

mas. Stambių gyvūnų išsivystymą lėmęs tiesioginis postūmis greičiausiai buvo deguonies kiekio didėjimas ir ore, ir jūrose. Stambūs gyvūnai ir plėšrūnai gali gyventi tik ten, kur yra daug deguonies (daugiau niekas negali užtikrinti pakankamo energijos kiekio – apie tai rašėme 3 skyriuje).

Deguonis šiuolaikinį lygį pasiekė netrukus po to, kai baigėsi vienas kitą keitę pasauliniai ledynmečiai (to laikotarpio Žemė dar vadinama sniego gniūžte). Tad šioje įelektrintoje, deguonies turinčioje naujoje aplinkoje pirmą kartą planetos istorijoje galėjo atsirasti stambūs ir plėšrūs gyvūnai.

Toliau reikalai tik gerėjo. Tačiau jeigu iki kambro periodo nebuvo „tikrų“ akių, dar aštriau pakartotinai iškyla klausimas, ar akys tikrai galėjo išsivystyti, veikiamos natūraliosios atrankos? Prieš 544 mln. m. akių visiškai nebuvo, bet dar po 4 mln. m. atsirado puikios akys. Iš pirmo žvilgsnio atrodo – fosilijos prieštarauja Č. Darvino teiginiui, kad atrankai būdinga milijonas smulkių laiptelių, iš kurių kiekvienas tobulesnis už ankstesnį.

Iš tiesų, ši problema plačiai aiškinama neatitikimu, viena vertus, žinomų gyvūnų gyvenimo ir kartų trukmės, kita vertus, sustingusios geologinių epochų tėkmės. Kai laikotarpis nuolat matuojamas šimtais milijonų metų, bet koks per milijoną metų įvykęs pokytis atrodo susidaręs tiesiog nepadoriai skubotai, tačiau tai vis dar yra neįtikėtina ilgas laikas, palyginti su organizmų gyvenimu. Sakykime, visos mums žinomos šunų veislės iš vilkų išsivystė maždaug per  $\frac{1}{100}$  to laiko.

Geologiniu požiūriu Kambro sprogimas įvyko tiesiog akimirksniu – jis tęsėsi ne ilgiau kaip kelis milijonus metų. Tačiau evoliucijos požiūriu šis laikas ne toks trumpas – juk akiai išsivystyti pakanka netgi 0,5 mln. m. Siūlydami akies evoliucijos etapų seką (žr. 7.2 pav.), D. N. Nilsonas ir S. Pelger taip pat apskaičiavo akiai išsivystyti reikalingą laiką. Jie laikėsi konservatyvios nuomonės, kad kiekviename etape konkreti sandara turėtų pasikeisti ne daugiau kaip 1 % – tai galėtų būti vos vos gilesnis akies obuolys, vos jautresnis lęšiukas ir pan.

Visus etapus jie sujungė ir nustebo, jog pakanka vos 400 000 atskirų pokyčių (tai ne taip labai skiriasi nuo milijono, apie kurį buvo užsiminę), kad iš plikos tinklainės išsivystytų visiškai susiformavusi akis. Be to, tvirtino: vienoje kartoje įvykdavo vos vienas pokytis (nors lengvai galėjo įvykti ir keli vienu metu, todėl tai yra dar vienas konservatyvus vertinimas). Galiausiai, teigė, kad

„vidutinis“ jūrų gyvūnas, kuriame vyko šie pokyčiai, dauginasi kartą per metus. Remdamiesi anksčiau minėtomis prielaidomis, jie priėjo prie išvados, kad akies evoliucija truko mažiau nei 0,5 mln. m.<sup>5</sup>

Jeigu visi šie argumentai teisingi, akių susiformavimas tikrai galėjo įžiebtį Kambro sprogimą. Ir jei tikrai taip buvo, akies evoliucija galėjo būti vienas iš įspūdingiausių, labiausiai sukrečiančių ir svarbiausių visos Žemės gyvybės istorijos įvykių.

Tačiau D. E. Nilsono ir S. Pelger pasiūlytoje vystymosi sekoje yra vienas nerimą keliantis etapas – pradinis lęšiuko susidarymas. Kai primityvus lęšiukas jau yra, nesunku nustatyti, kaip natūralioji atranka jį gali pakeisti ir patobulinti. Tačiau kaip reikiamos sudedamosios dalys buvo surinktos pirmą kartą? Jeigu atskiras daleles ir gabalėlius, sudarančius lęšiuką, naudotume atskirai, ar natūralioji atranka be jokių ceremonijų jų neatmestų dar prieš prasidedant darbui? Galbūt šis sudėtingumas paaiškina, kodėl moliškai nautilai taip ir neįgijo lęšiuko, net jeigu jis būtų buvęs jiems naudingas.

Šis klausimas neatsakomas, ir bent jau nautilai dėl nežinomų priežasčių lieka keista išimtimi, nes dauguma gyvūnų rūšių (įskaitant ir artimiausius šiuo metu gyvenančius nautilų giminaičius aštuonkojus bei kalmarus) rado būdų, kaip tai padaryti. Kartais daroma itin išradingai. Nors lęšiukas akivaizdžiai yra specializuotas audinys, jo sandara neįtikėtinai oportunistinė, o pagrindinės „statybinės jo medžiagos“ yra nugvelbtos iš patogių netoli esančių šaltinių, pradedant mineralais, kristalais ir baigiant fermentais – nedideliais ląstelės elementais.<sup>6</sup>

Puikus to pavyzdys yra trilobitas. Jis tikrai galėjo perverti akmeninės akies žvilgsniu, nes trilobitų lęšiukus sudarė mineralo kalcito kristalai. Kalcitas dar vadinamas kalcio karbonatu. Kalkakmenis yra negryna jo forma, gerokai grynesnė forma – kreida. Baltosios Doverio uolos sudarytos beveik vien iš kalcito – jas sudaro mažyčiai netvarkingi, atsitiktinai išsibarstę kristalai, kurie kreidai suteikia baltą spalvą. Ir atvirkščiai, jei kristalai formuojasi lėtai (dažnai tai vyksta mineralų gyslose), kalcitai gali susiformuoti į aiškius, skaidrius šiek tiek svyruojančio kubo formos darinius, vadinamus rombais.

Rombai pasižymi susidomėjimą žadinančia optine ypatybe, kuri savaime kyla iš juos sudarančių atomų geometrijos: jie nukreipia šviesą, sklindančią iš visų kampų, išskyrus vieną privilegijuotą vidurinę ašį. Šviesa, į rombą paten-

kanti palei šią ašį (dar vadinamą *c* ašimi), netrukdoma skverbiasi tiesiai, tarsi drąsiai žengtų raudonu kilimu. Trilobitai pasinaudojo šios įdomios savybės teikiamais privalumais. Kiekvienas iš daugelio pagal šią privilegijuotą *c* ašį išsidėsčiusių akies facečių turi atskirą mažytį kalcito lęšiuką (žr. 7.3 pav.). Į tinklainę, esančią po lęšiu, šviesa gali patekti tik viena kryptimi.

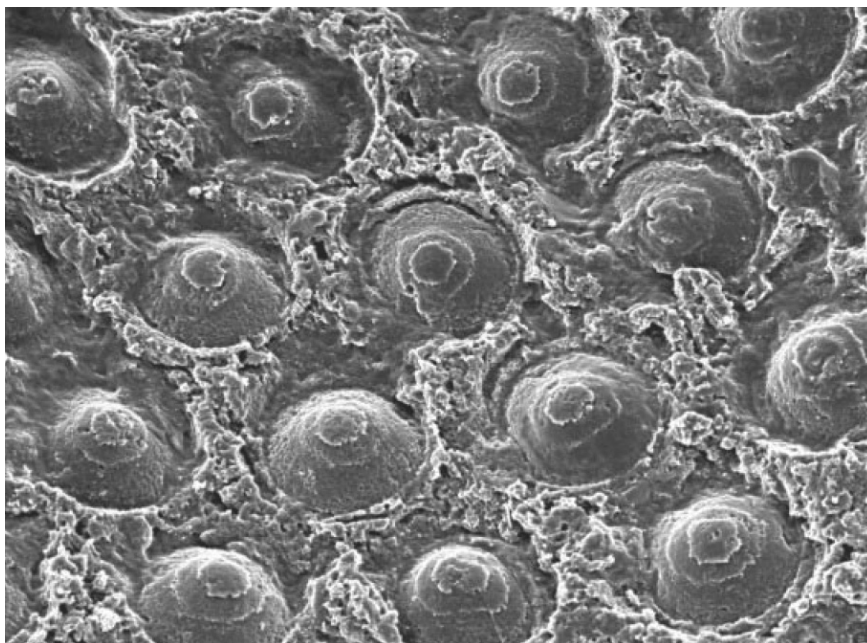
Bet lieka nežinoma, koku būdu trilobitams pavyko išsiauginti šiuos kristalo lęšius, suderinant jų visų kryptis. Greičiausiai šis klausimas ir liks neatsakytas, nes paskutinį trilobitą nusinešė prieš 250 mln. m. išnykęs permas. Kita vertus, tai, kad šis nepaprastai ilgas laikotarpis jau seniai nutildė trilobitus, dar nereiškia, jog nebepajėgsime suprasti, kaip susidarė ši akis. Vienas geras paslapties raktas 2001 m. buvo aptiktas visiškai netikėtoje vietoje. Atrodo, trilobitų lęšiukas ne toks ir išskirtinis, kaip manyta anksčiau, – kalcito lęšius turi ir šiuo metu gyvenančios ofiūros.

Yra apie 2000 ofiūrų rūšių, kiekviena iš jų (panašiai kaip ir jų pusseserės jūrų žvaigždės) turi 5 ataugas – spindulius. Tačiau kitaip nei jūrų žvaigždžių, ofiūrų spinduliai ilgi, ploni, nukarę žemyn ir nulūžta, patraukti į viršų (iš čia kilęs angliškas jų pavadinimas *brittlestar* – trapioji žvaigždė). Visos ofiūros turi skeletą, sudarytą iš tarpusavyje sujungtų kalcito plokštelių, kurios sudaro spyglius ant jų spindulių, naudojamų čiupti grobį.

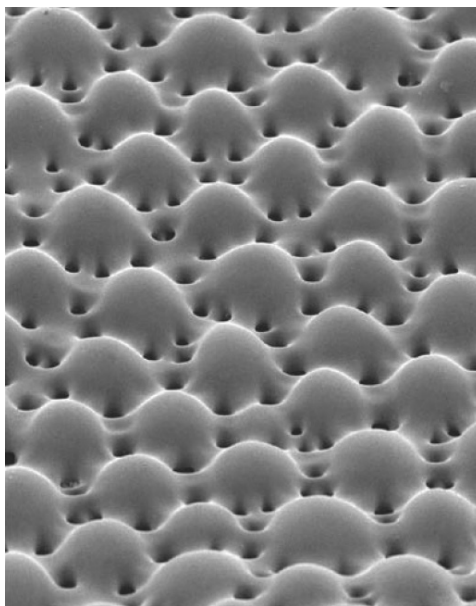
Dauguma ofiūrų nejautrios šviesai, bet viena rūšis, *Ophiocoma wendtii*, nustebino tyrėjus sprukdama į tamsų plyšį, maždaug už metro pasirodžius plėšrūnui. Bėda, kad jos neturi akių, – bent taip buvo manoma iki tol, kol *Bell Labs*\* tyrėjų komanda pastebėjo ant jų spindulių išsidėsčiusius kalcito rutuliukus, primenančius trilobitų lęšius (žr. 7.4 pav.). Jiems pavyko įrodyti, kad šie rutuliukai iš tiesų veikia kaip lęšiukai – fokusuoja šviesą į po jais esančias šviesai jautrias ląsteles.<sup>7</sup> Taigi nors ofiūros neturi nieko, ką galėtume laikyti smegenimis, jos turi „veikiančias“ akis. *National Geographic* tuo metu jas apibūdino kaip „gamtos išdaigą, kai jūra akis turi savo žvaigždėse“.

Kaipgi susidarė ofiūrų lęšiukai? Nors daugelio smulkmenų iki šiol nežinome, apskritai jos susidarė taip pat, kaip ir kitos mineralizuotos biologinės struktūros, pavyzdžiui, jūrų ežių spygliai (kurie taip pat sudaryti iš kalcito). Šis procesas prasideda ląstelėse, kuriose didelės koncentracijos kalcio jonai sąvei-

\* Kitaip *Bell Laboratories* – stambus telekomunikacijų, elektronikos ir kompiuterinių sistemų tyrimo centras JAV.

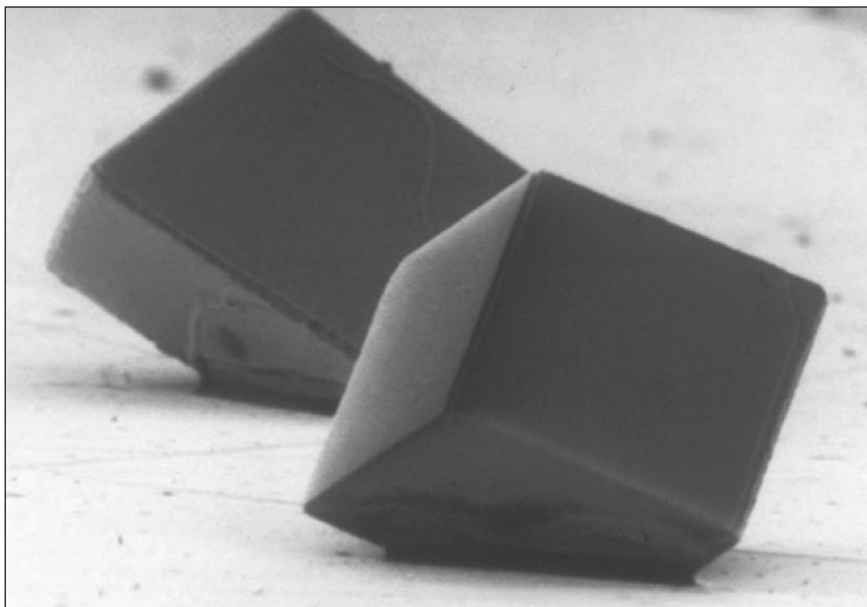


7.3 PAV. IŠ KRISTALŲ SUDARYTI  
*DALMANITINA SOCIALIS* TRILOBITO  
LĘŠIUKAI. ŠIE TRILOBITAI BUVO  
APTIKTI ORDOVIKO PERIODO UOLOSE  
BOHEMIJOJE, ČEKIJOJE. MAŽDAUG  
0,5 MM PJŪVYJE MATOME LĘŠIUKO  
VIDINĮ PAVIRŠIŲ.



7.4 PAV. IŠ KRISTALŲ SUDARYTI OFIŪROS  
*OPHIOCOMA WENDTII* LĘŠIUKAI,  
APTINKAMI ANT SUJUNGIMUS  
SAUGANČIŲ SKELETO PLOKŠČIŲ,  
DENGIANČIŲ KIEKVIENĄ SPINDULĮ.





7.5 PAV. ROMBINIAI KALCITO KRISTALAI, AUGANTYS ANT RŪGŠTINIAIS MOLIUSKŲ KRIAUKLIŲ BALTYMAIS PATEPTO POPIERIAUS, PANARDINTO Į STIPRŲ KALCIO KARBONATO TIRPALĄ. OPTINĖ *c* AŠIS – VIENTELĖ KRYPTIS, KURIA EINANTI PRO KRISTALĄ ŠVIESA NEIŠSKLAIDOMA, – NUKREIPTA TIESIAI AUKŠTYN.

kauja su baltymais. Taip jie susijungia į pastovius darinius, kurie tampa kristalų „sėklomis“ tokiu pat būdu, kaip prie tuščios bakalėjos parduotuvės Sovietų Sąjungoje stovintis optimistas galėjo būti eilės užuomazga. Vienas asmuo arba vienas atomas nejudamai įtvirtinamas, kad prie jo galėtų laikytis kiti.

Taigi (visa garbė tenka redukcionizmui), jeigu baltymai, lemiantys kalcito kristalų užuomazgas, išgryninami ir jais ištepamas popieriaus lapas, kuris vėliau panardinamas į stiprų kalcio karbonato tirpalą, tiesiog ant popieriaus ima formuotis tobulos formos kristalai, kurių optinės *c* ašys nukreiptos tiesiai aukštyn, kaip ir trilobitų lėšiukų (žr. 7.5 pav.). Ši užuomina gali padėti suprasti, kaip viskas vyko iš pradžių, – tikslus baltymų parinkimas nėra ypač svarbus. Jis reikšmingas tik tiek, kad baltymai su šoninėmis rūgšties grandinėmis turi suformuoti dygliukus.

Grįžtant į 1992 m., t. y. 10 m. anksčiau, nei buvo sužinota apie ofiūrų lėšiukus, biomineralogai Lia Adadi (*Lia Addadi*) ir Stivenas Vaineris (*Stephen*



*Weiner*) išaugino gražius kalcito lęšiukus ant popieriaus lapo, pasitelkę iš moliuskų (kurie tikrai negali nieko matyti) kriauklių išgautus rūgšties baltymus. Kitaip tariant, nuostabiausia, kad šis procesas spontaniškai vyksta tada, kai įprastas baltymų mišinys susimaišo su įprastais mineralais. Be abejonės, tai nepaprasta, tačiau šiame vyksme stebuklo ne daugiau, nei nuostabiuose pasišiaušusiuose kristalų masyvuose, kurių randama gamtiniuose urvuose, pavyzdžiui, Kardų urve Meksikoje.

Nepaisant žėrinčio žvilgsnio, kristolo akys tebebuvo aklos. Tikroji trilobitų akių svarba yra istorinė, nes tai buvo pirmos tikrosios akys, o ne ilgai išliekantis paminklas evoliucijai. Kitas gamtinių kristalų rūšis į tarnybą įkinkė kiti dariniai, ypač guaninas (viena iš sudedamųjų DNR dalių), kuris kristalizuojasi į plokšteles, galinčias fokusuoti šviesą. Dėl guanino kristalų žuvų žvynai žėri sidabru, dėl tos pat priežasties jo dedama į daugelį kosmetikos priemonių, bei jo galima rasti guane (iš čia ir kilo jo pavadinimas) – džiovinuose paukščių ir šikšnosparnių išmatose.

Panašūs organiniai kristalai veikia kaip biologiniai veidrodžiai – tai daugeliui žmonių pažįstami katės akies atšvaitai. Jie pagerina naktinį matymą, šviesos pluoštą nukreipdami atgal į tinklainės receptorių ir suteikdami antrą galimybę užfiksuoti dar nors kelis menkus fotonus. Kiti veidrodėliai fokusuoja šviesą į tinklainę, kad būtų suformuotas vaizdas. Tai tinka ir daugybei žavių šukutės akių, išlindusių pro kiaukuto kraštus tarp čiuptuvų – šviesai sufokusuoti jos naudoja įgaubtą veidrodį po tinklaine. Daugelio vėžiagyvių, įskaitant langustus, krevetes ir omarus, sudėtinės akys taip pat grindžiamos šviesą fokusuojančiais veidrodžiais, kurie pagal guanino linijas sudaryti iš natūralių kristalų.

Tačiau apskritai evoliucijos traukos centras ir didžiausia šlovė buvo iš specialių baltymų sudaryti lęšiukai – tokie kaip mūsų. Ar jie taip pat yra oportunistinės konstrukcijos, sujungtos iš esamų sudedamųjų dalių, kurios jau koku nors kitu būdu naudojamos mūsų kūnuose? Nors kartkartėmis sakoma, kad evoliucija yra istorinis mokslas, ir todėl negali būti įrodoma vienu ar kitu būdu, tačiau ji leidžia iškelti labai konkrečias hipotezes, kurios gali būti patikrintos. Šiuo atveju teorija teigia, kad lęšiuko baltymai turėtų būti sudaryti iš esamų baltymų, jau naudojamų kūne kitiems tikslams. Šis tvirtinimas grindžiamas tuo, kad specializuotas lęšiuko baltymas negalėjo išsivystyti, kol dar nebuvo paties lęšiuko.

Žmogaus lęšiukas yra akivaizdžiai labai specializuotas audinys: jis skaidrus, o kraujagyslės ir ląstelės prarado beveik visas įprastas funkcijas, išskyrus baltymų sutelkimą į skysto kristalo masę, kuris gali nukreipti šviesą ir tinklainėje suformuoti aiškų vaizdą. Ir, žinoma, keisdamas formą, lęšiukas gali keisti regos lauko gylį. Dar daugiau, šviesos lūžimo kampas lęšiuke skiriasi, išvengiant tokių trukdžių, kaip sferinė aberacija (kai šviesa, einanti pro lęšiuko centrą arba pakraštį, fokusuojama skirtingose vietose).

Atsižvelgdami į tai, galime teigti, kad tokiam išgrynintam dariniui suformuoti reikalingi baltymai turėtų būti ypatingi, optinės savybės tokios, kokių išvis neaptinkama kituose žemiškuose baltymuose. Tačiau šis teiginys būtų visiškai klaidingas.

Žmogaus lęšiuke aptinkami baltymai vadinami kristaliniais – jie taip pavadinti tikintis, kad iš tiesų turi unikalių savybių. Kristaliniai sudaro apie 90 % visų lęšiuko baltymų. Skirtingų rūšių lęšiukai tokie panašūs ir savo išvaizda, ir funkcijomis, kad, atrodo, būtų pagrįsta manyti, jog jie sudaryti iš panašių baltymų. Tačiau kai metodai, leidžiantys palyginti sudedamąsias skirtingų baltymų dalis, tapo plačiai prieinami, – tai įvyko devintojo dešimtmečio pradžioje – rezultatai tiesiog pribloškė.

Kristaliniai nėra struktūriniai baltymai, ir dauguma jų netgi nėra būdingi tik lęšiukui – visi jie vienoje ar kitoje kūno vietose atlieka ir kitus darbus. Dar labiau netikėta buvo tai, kad kristalinai pasirodė esą fermentai (biologiniai katalizatoriai), kurie kažkur kitur organizme atlieka „švarinimo“ funkcijas. Sakykime, apie kristaliną, kurio žmogaus akyje daugiausia (vadinamas  $\alpha$  kristalinu), kuris susijęs su streso baltymu ir kuris pirmą kartą buvo aptiktas vaisinėje muselėje drozofiloje, dabar žinoma, kad būdingas daugeliui gyvūnų. Žmonėms jis veikia kaip šaperonas – tarsi skydas saugo nuo pažeidimo kitus baltymus. Be to, jo randama ne tik akyse, bet ir smegenyse, kepenyse, plaučiuose, blužnyje, odos ir plonosiose žarnose.

Iki šiol aprašyta 11 kristalino rūšių, bet tik 3 iš jų randamos visų stuburinių akyse – kitos aptinkamos tik vienoje ar kitoje grupėje. Tad galima kelti prielaidą, kad į lęšiuką jie buvo „įdarbinti“ visiškai nepriklausomai, tiksliai taip, kaip buvo prognozuojama, vadovaujantis natūraliajai atrankai būdingu veikimo būdu. Čia nevardysime minėtų fermentų pavadinimų ar funkcijų – tiesiog sukrečia, kad ši metabolinių baltymų grupė, kurių kiekvienas ląstelėje

turi savo uždavinį, buvo „išpešioti“ ir priversti eiti visiškai kitą tarnybą – tarsi reguliarioji kariuomenė būtų formuojama tik iš šauktinių prekybininkų ar kokios nors gildijos narių. Tačiau, neatsižvelgiant į priežastis, čia nieko nesakoma apie šią ekscentrišką politiką, kai įdarbinti lęšiuko baltymus būtų labai sunku.

Galiausiai, lęšiuko baltymai nėra kuo nors ypatingi – jie išrankioti iš kitų organizmo vietų ir priversti tarnauti čia. Beveik visi baltymai yra skaidrūs, todėl spalva nesvarbu (spalvą įgyja tik susijungę su pigmentais, tarkime, su hemoglobinu). Optinių savybių pokytis – lęšiuko šviesos laužimo (refrakcijos) laipsnis – taip pat nesunkiai pasiekiamas keičiant baltymų koncentraciją. Tai, žinoma, reikalauja subtilumo, tačiau vargu ar yra rimtas conceptualus kliuvinys. Priežastis, kodėl tokia didelė dalis lęšiuko baltymų yra būtent fermentai (jei tai apskritai lemia kokia nors priežastis), iki šiol nežinoma, tačiau akivaizdu, kad puikiai suformuoti lęšiuko baltymai neišsoko iš Dzeuso galvos.

Langu, padėjusiu šiek tiek į tai žvilgtelėti, tapo paprastas bestuburis, vadinamas ascidija (lotynų kalba – *Ciona intestinalis*, arba, pažodžiui, „žarnų stulpas“ – atrodo, K. Linėjus nebuvo romantikas). Suaugęs gyvūnas nedaug kuo prisideda prie tiriamo klausimo atskleidimo – jis iš esmės yra prie olos prisitvirtinęs permatomas maišelis, sudarytas iš 2 gelsvų siūbuojančių sifonų, per kuriuos įteka ir išteka vanduo. Ascidijos taip gausiai paplitusios Jungtinės Karalystės pakrančių vandenyse, kad laikomos kenkėjais.

Tačiau didžiausią ascidijų paslaptį atskleidžia jų lervos – būtent jos parodo, kad šis gyvūnas yra kur kas daugiau nei kenkėjas. Lervos šiek tiek primena buožgalvius ir gali plaukioti, naudodamosi paprasta nervų sistema bei pora primityvių, lęšiukų neturinčių akių. Radusi tinkamus namus, mažoji ascidija gerai prisitvirtina toje vietoje, o tada reabsorbuoja nebereikalingas smegenis (kaip juokauja Stivas Džonsas (*Steve Johns*), šiuo žygdarbiu žavisi daugelis universiteto profesorių).

Nors suaugusi ascidija, rodos, daugiau niekuo negali būti siejama su mumis, kai kurias paslaptis atskleidžia buožgalvio pavidalo lervos. Taigi ascidija yra primityvus chordinis organizmas, turintis stuburo pirmtaką – notochordą. Dėl to jos priskiriamos anksčiausiai chordinių, o ir visų stuburinių, atšakai. Iš tiesų, nuo stuburinių gyvūnų ji atsiskyrė dar prieš lęšiuko evoliuciją. Vadinasi, nesudėtingas akis turinti ascidija gali viena iš pirmųjų pateikti įžvalgų, kad susidarė stuburinių lęšiukas.

Taip ir yra. 2005 m. Sebastianas Šimeldas (*Sebastian Shimeld*) drauge su kolegomis iš Oksfordo nustatė, kad, nepaisant trūkstamo lęšiuko, *C. intestinalis* turi baltymų – kristalinių ne akyse, o nuošalioje smegenų vietoje. Kol kas nežinoma, kaip jie veikia, tačiau čia to nenagrinėsime. Reikšminga, kad tie patys genai, kurie „vadovauja“ stuburinių lęšiuko susidarymui, taip pat valdo ir šio baltymo aktyvumą – jie veikia ir ascidijų smegenis, ir akis.

Vadinasi, bendrasis stuburinių ir ascidijų protėvis (prieš tai, kai jų keliai išsiskyrė) jau turėjo visą lęšiuko susidarymo mechanizmą. Spragtelėjimas nedideliu „perjungikliu“ šį baltymą iš stuburinių smegenų perkėlė į akis. Matyt, panašus „rekrūtų ėmimas“ buvo pakartotinai taikomas ir kitiems kažkur kūne susidariusiems kristalinams – tai pasakytina ir apie bendrąjį stuburinių protėvį, ir apie vėlesnes konkretesnes gyvūnų grupes.

Kodėl ascidijoms nepavyko suformuoti šio paprasto išteklių „perjungiklio“, išlieka paslaptis. Galbūt taip yra todėl, kad uolą ne taip sunku surasti net ir neturint lęšiuko. Tačiau net ir tada ascidija išlieka viena iš keistenybių. Daugumai stuburinių gyvūnų minėtą perjungiklį pavyko įjungti, ir tai atsitiko mažiausiai 11 kartų. Taigi, atkuriant akies susiformavimo seką, ypač sudėtingų etapų nebelieka.



Nuo šių maištingų baltymų, kristalų ir mineralų, kurie sudaro atskirų gyvūnų rūšių akies lęšiuką, iš esmės skiriasi tinklainės baltymai. Ypač išsiskiria vienas – už šviesos aptikimą atsakingas pigmentas rodopsinas. Prisiminkite plikas versmių krevečių *Rimicaris exoculata* tinklainės. Nepaisant ypatingo giliųjų terminių versmių pasaulio išskirtinumo, nugaroje esančios atviros tinklainės keistumo, krevečių gebėjimo aptikti šviesą ten, kur mes to nepajėgiame, nepaisant to, kad jos gyvena prie srios bakterijų, kad jų kraujas mėlynas, ir jos neturi stuburkaulio, ir galiausiai nepaisant to, kad paskutinį bendrąjį protėvį turėjome maždaug prieš 600 mln. m., t. y. ilgą laiką prieš Kambro sprogimą, – nepaisant viso to, versmių krevetės pasitelkia tą patį baltymą, kaip ir mes. Ar šis giliai laike ir erdvėje slypintis ryšys yra ne daugiau nei slėpiningas sutapimas, o galbūt jis kur kas svarbesnis?

Nors krevečių ir mūsų baltymai nėra tapatūs, tačiau jie tokie panašūs, kad jeigu kreiptumėtės į teisną ir pamėgintumėte įtikinti teisėją, kad jūsų variantas nėra prastai užmaskuotas plagiatas, vargiai laimėtumėte. Tiesą sa-

kant, taptumėte pajuokos objektu, nes rodopsinas būdingas ne tik žmonėms ir krevetėms, bet ir visai gyvūnų karalystei.

Pavyzdžiui, nedaug žinome apie trilobitų akių funkcijas, nes kitų akių dalių, kitaip nei kristalo lęšiukų, neišliko. Tačiau pakankamai daug žinome apie jų giminaičius, kad galėtume tvirtinti – jų akyse buvo rodopsino. Nes šių baltymų yra visuose gyvūnuose, išskyrus kelias retas išimtis. Jeigu bandytumėte įtikinti teisėją, kad jūsų rodopsinas nėra plagiatas, tai būtų tarsi mėginimas įteigti, jog jūsų televizorius iš esmės kitoks, nei visi kiti, tik todėl, kad jis didesnis arba plokščiau ekranis.

Šis nepaprastas panašumas galėjo susidaryti keliais būdais. Tai gali reikšti, kad visi gyvūnai tą patį baltymą paveldėjo iš vieno bendrojo protėvio. Nors, be abejonės, per pastaruosius 600 mln. m. įvyko daug mažų pokyčių, tebėra aki-vaizdu – baltymas tas pats. Ar tai gali reikšti, kad yra tokių rimtų šviesą aptikti pajėgiančių molekulių sandaros apribojimų, jei jos visos iš esmės turėjo tap-  
ti tokios pačios? Šią mintį galima iliustruoti televizijos programos žiūrėjimu kompiuterio ekrane, t. y. kai panašiam sprendimui pasitelkiamos skirtingos technologijos. Arba, galiausiai, gal tai gali reikšti, kad molekulė buvo laisvai perduodama iš vienos rūšies kitai „vagiant“, o ne paveldint?

Trečią variantą galima gana nesunkiai atmesti. Genų „vagystės“ gyvuoja tarp atskirų rūšių (pavyzdžiui, genai perkeliama kylant virusinėms infekcijoms), tačiau tai nėra įprasta tiems gyvūnijos pasaulio atstovams, kurie nėra bakterijos. Procesas primena skaudantį nykštį. Nereikšmingų atskirų baltymų rūšių skirtumų tyrimas gali paslėpti žinomus atskirų rūšių tarpusavio ryšius.

Tačiau jeigu atsitiktų, kad žmogaus baltymas būtų pavogtas ir įterptas į versmių krevetę, jis būtų „išvytas“ kaip nelegalus užsienietis, nes aki-vaizdu – jis susijęs su žmonėmis, o ne su krevetėmis. Kita vertus, jeigu krevečių protėvių skirtumai kaupėsi laikui bėgant, krevečių baltymai turėtų būti panašiausi į jų artimiausių giminaičių – didžiųjų krevečių ir omarų – baltymus ir labiausiai skirtusi nuo tolimų savo giminaičių, tokių kaip mes, baltymų. Tačiau šiuo atveju taip nėra.

Jei rodopsinas nebuvo „pavogtas“, ar atskirose rūšyse iš naujo jo neatsirado dėl būtinybės? Sunku tvirtai pasakyti, ar prasminga molekulei vystytis iš naujo, jeigu ji jau vieną kartą susidarė. Versmių krevetėms būdingas rodopsi-

nas yra taip nutolęs nuo mūsų, kaip tai tik įmanoma 2 panašioms molekulėms. Tarp jų išsidėstęs visas tarpinių variantų spektras, tačiau jis nenuoseklus: skyla į 2 grupes, iš kurių viena daugmaž atitinka stuburinius gyvūnus, o kita – bestuburius (įskaitant krevetes). Šį skirtumą didina priešingus požymius slepiantis kontekstas. Nors abiem atvejais šviesai jautrios ląstelės yra pakitusios nervinės ląstelės, tuo panašumas ir baigiasi.

Krevetėms ir kitiems bestuburiams rodopsinas yra prijungtas prie membranų, kurios auga nuo ląstelės viršaus tarsi šeriai (mažyčiai gaureliai). Stuburiniams nuo ląstelės viršaus tarsi radijo antena styro viena blakstienėlė. Šis stiebelis yra įsiskverbęs į viena po kitos einančias galias horizontalias klostes, todėl jos dar labiau primena ant ląstelės viršaus sumautus diskus.

Šviesai jautrių ląstelių vidiniai skirtumai susiję su biochemija. Tuo metu, kai stuburiniai absorbuoja šviesą, signalų kaskada sustiprina elektros krūvį visoje ląstelės membranoje. Bestuburiai elgiasi visiškai priešingai: kai šviesa absorbuojama, visiškai kitokia signalų seka membraną priverčia prarasti elektros krūvį – ir tai sužadina nervą, kad jis smegenims perduotų pranešimą apie *šviesą!* Apskritai, 2 gana panašūs rodopsino tipai aptinkami visiškai priešingo tipo ląstelėse. Ar tai reiškia, kad šviesai jautrios ląstelės išsivystė 2 kartus: vieną kartą bestuburiuose, o kitą – stuburiniuose gyvūnuose?

Nors ši mintis atrodo kaip logiškas paaiškinimas, ir būtent taip daugelis šios srities specialistų manė iki pat XX a. paskutinio dešimtmečio vidurio, pastaruoju metu viskas staiga pasikeitė. Tiesą sakant, nė vienas iš anksčiau minėtų faktų nebuvo neteisingas, – pasirodė, kad jie atskleidžia vos dalį istorijos. Šiuo metu manoma, kad visi rodopsino turintys gyvūnai jį paveldėjo iš bendrojo protėvio. Taip pat atrodo, kad anksčiausia akies užuomazga vystėsi tik 1 kartą.

Šį naują požiūrį ryžtingai skelbė ikonoklastinis vystymosi biologas iš Bazelio universiteto Šveicarijoje Valteris Gėringas (*Walter Gehring*). Jis, vienas iš *hox* geno (šie genai lemia mūsų kūno sandarą) atradėjų, 1995 m. atliko monumentalų atradimą, tapusį vienu iš įspūdingiausių biologijos eksperimentų.

V. Gėringo grupė išskyrė pelės geną ir įterpė į vaisinę muselę drozofilą. Tai nebuvo įprastas, šalutinį vaidmenį atliekantis genas, – jo veikiamai drozofilai visame kūne staiga pradėjo formuotis akys – susidarė kojose, sparnuose ir net iškilo antenos (žr. 7.6 pav.). Šios keistos menkos akelės, pūpsančios ne-



7.6 PAV. ELEKTRONINIŲ MIKROGRAFU NUSKAITYTA VAININĖS MUŠLĖS (DROZOFILOS) GALVA, KURIOJE MATOMA ANTENOJE SUSIDARIUSI MAŽYTĖ PAPILDOMA AKIS – JOS SUSIDARYMĄ LĖMĖ GENŲ INŽINERIJOS PRIEMONĖMIS ĮTERPTAS PELĖS GENAS *PAX 6*. TAS PATS GENAS VALDO IR STUBURINIŲ, IR BESTUBURIŲ AKIŲ VYSTYMĄSI. TIKRIAUSIAI TAS PAČIAS FUNKCIJAS JIS ATLIKO IR MAŽDAUG PRIEŠ 600 MLN. M. GYVENUSIAME BENDRAJAME PROTĖVYJE.

įprastose vietose, nebuvo žmonėms ir pelėms būdingos fotoaparato pobūdžio akys – jos sudedamosios, turinčios visas vabzdžiams ir vėžiagyviams būdingas savybes.

Šiuo siaubingu eksperimentu buvo įrodyta, kad visceralinė jėga, reikalinga susiformuoti ir pelių, ir musių akims, buvo ta pati: kruopščiai išsaugota per 600 mln. evoliucijos metų – nuo tada, kai dar gyveno bendrasis stuburinių ir bestuburių protėvis, iki tol, kol jie tebeturi tam tikrų tarpusavyje pakeičiamų savybių. Įterpkite pelės geną į muselę, ir jis užvaldys muselės sistemas, subordinuotą muselės genų hierarchiją versdamas toje vietoje formuoti akį.

Bazelyje kadaise mokė F. Nyčė, tad, galbūt jį pagerbdamas, pelės geną V. Gėringas pavadino pagrindiniu.

Aš galvoju, ar „pagrindinis“ genas galėjo būti tinkamesnis – veikti ne taip pompastiškai ir pakančiau. Tarsi orkestro dirigentas, kuris padeda skambėti nuostabiausiai muzikai, pats nesugrodamas nė natos, šis genas išjudina akies sistemas, sužadindamas atskiras dalis, kurių kiekviena atlieka savo vaidmenį. Skirtingi to paties geno variantai jau buvo žinomi – mutacijos vyko muselėse, pelėse ir žmonėse.

Šis pelių ir muselių genas buvo atitinkamai pavadintas mažaakiu ir beakiu – priešingos reikšmės terminais, kurie genetikams itin tinka. Šie terminai rodo trūkumą, susidarantį tada, jeigu minėto geno nėra. Mūsų atveju to paties geno mutacijos sukelia aniridiją – kai neišsivysto akies rainelė, – tai nemaloni ir dažnai akinanti būseną, už visą akies formavimąsi atsakingo „pagrindinio“ geno nebuvimo ribojantis padarinys. Bet taip yra tik tada, jeigu pažeistas tik vienas genas. Jeigu pažeisti abu arba jei jų nėra, nesivysto visa galva.

Atlikus pradinį V. Gėringo eksperimentą, vaizdas tapo dar sudėtingesnis. Jo naudotas „pagrindinis“ genas, dabar vadinamas *Pax 6*, pasirodė esąs kur kas galingesnis ir ne toks vienišas, kaip atrodė iš pradžių. Jis veikia beveik visuose stuburiniuose ir bestuburiuose, įskaitant krevetes, o glaudžiai su juo susijęs genas aptinkamas net medūzose.

Paaikšėjo, kad *Pax 6* atsako ne tik už akių formavimąsi, bet ir už dideles galvos smegenų dalis. Taigi todėl, kai nėra abiejų šio geno kopijų, galva visiškai nesivysto. Be to, *Pax 6* yra ne vienintelis. Kiti genai taip pat gali veikti išsisas drozofilų akis, netgi atrodo, kad tai padaryti labai paprasta. Visi šie



genai glaudžiai susiję tarpusavyje ir yra labai seni. Dauguma jų aptinkama ir bestuburiuose, ir stuburiniuose, nors jų vaidmuo bei kontekstas, kuriame jie veikia, šiek tiek skiriasi. Nuostabią gyvybės muziką kuria ne vienas dirigentas, bet negausus jų „komitetas“.

Esmė ta, kad tas pats genų „komitetas“ valdo ir stuburinių, ir bestuburių gyvūnų akių susidarymą. Kitaip nei rodopsino atveju, nėra jokios praktinės priežasties, kodėl procesą turėtų valdyti tie patys genai, – visi jie yra beveidžiai biurokratai, kuriuos sunku atskirti nuo kitų beveidžių biurokratų. Tačiau šią istoriją visada keičia tas pats genų rinkinys (kitaip, nei, sakykime, lęšiukų baltymai) – keisti atsitiktinumai, o ne būtinybės jėga. Ši istorija atskleidžia, kad šviesai jautri ląstelė bendrajam stuburinių ir bestuburių protėviui išsivystė tik 1 kartą, o ją valdo nedidelė genų grupė.

Yra dar viena priežastis, patvirtinanti, kad šviesai jautri ląstelė išsivystė tik 1 kartą, – tai tiesioginis šių dienų sulaukusios „fosilijos“ liudijimas. Toks išlikęs senovinis gyvūnas yra vos kelių milimetrų ilgio šereliais apaugusi maža jūrinė nereidė *Platynereis*. Galima tik stebėtis, kiek nedaug žmonių žino, kad šios dumblinų upių žiočių gyventojos bei mėgstamas žvejų masalas beveik nepasikeitė nuo kambro periodo.

Ši nereidė primenanti kirmėlė ir buvo bendrasis bestuburių bei stuburinių protėvis. Kaip ir visi stuburiniai bei daugelis bestuburių, nereidė pasižymi dvipuse simetrija – abi jos pusės yra panašios (kitaip nei jūrų žvaigždžių). Ši simetrija visus tokius gyvūnus daro dvipusius: nesvarbu, ar tai būtų vabzdžiai, ar žmonės. Svarbiausia, kad dar prieš šių rūšių išsivystymą nereidė turėjo potencialą, vėliau puikiai ištvirtinusį visose šiandien aptinkamose rūšyse. Ji yra pirmą kartą dvipuse simetrija pasižyminti gyvūnų „gyvoji fosilija“ – galimas jų visų protėvis. Štai kodėl Detlefas Arendas (*Detlev Arendt*) su kolegomis iš Europos molekulinės biologijos laboratorijos domėjosi šviesai jautriomis šio gyvūno ląstelėmis.

Jie žinojo, kad nereidžių akys panašesnės į bestuburių nei į stuburinių, – tai priklauso nuo jose esančio rodopsino tipo. Tačiau 2004 m. Heidelbergo grupė nereidės smegenyse aptiko giliai „paslėptą“ kitą šviesos receptorių sandarumą. Ji apskritai nebuvo naudojama regai valdyti – šia sandara buvo valdomas vidinis paros ritmas, kuris lemia miego, budrumo laikotarpius ir netgi bakterijoms padeda atskirti dieną nuo nakties.

Paros ritmo ląstelės ne tik naudojo rodopsiną. Specialistai (bent tokie kaip D. Arendas) jas tuoj pat atpažino kaip šviesai jautrias *stuburinių* ląsteles – tai vėliau buvo patvirtinta išsamesniais biocheminiais ir genetiniais tyrimais. Mokslininkas priėjo prie išvados, kad šis bendrasis visų dvipuse simetrija pasižyminčių gyvūnų protėvis turėjo abiejų tipų šviesai jautrių ląstelių. Ir tai reiškė, kad šios dviejų tipų ląstelės neišsivystė nepriklausomai kaip visiškai skirtingos linijos, – greičiau jos buvo „broliškos“ ląstelės, kurios drauge susiformavo bendrame visų bilateralinių gyvūnų protėvyje.

Jeigu šis bendras bestuburių ir stuburinių protėvis turėjo abiejų tipų ląstelių, abu tipus galėjome ir pavidėti – reikia tik žinoti, kur jų ieškoti. Atrodo, abi ląsteles tikrai turime. Praėjus metams, kai savo paslaptis atskleidė gyvoji fosilija, Sačinas Panda (*Satchin Panda*) drauge su kolegomis iš Salko instituto San Diego tyrimus tęsė, vadovaudamiesi nuojauta dėl kai kurių mūsų pačių akies ląstelių (tinklainės ganglijų ląstelių). Nors jos nėra pritaikytos aptikti šviesą, jose taip pat yra rodopsino.

Ši neįprasta rodopsino forma dar vadinama melanopsinu – ji būdinga šviesai jautrioms *bestuburių* ląstelėms. Visų nuostabai, šis su paros ciklu susijęs rodopsinas mūsų pačių ląstelėse pagal savo sandarą artimesnis rodopsinui, kurio aptinkama atviroje versmių krevečių tinklainėje, nei mūsų pačių tinklainėje esančiam kitokiam rodopsinui.

Visa tai leidžia kelti prielaidą, kad ir stuburinių, ir bestuburių šviesai jautrios ląstelės kilo iš to paties šaltinio. Jos neišsivystė nepriklausomai – tai broliškos ląstelės, turinčios tą patį „tėvą“. Ir ši „tėvo“ ląstelė – pirmą kartą šviesai jautri ląstelė ir visų gyvūnų akių promotė – vystėsi tik 1 kartą.

Kuo platesnis vaizdas atsiskleidžia, tuo tvirčiau tai galima teigti. Vienintelė šviesai jautri ląstelė, kurioje buvo šviesai jautraus pigmento – rodopsino, vystėsi tik 1 kartą bendrajam stuburinių ir bestuburių protėviui, o ją valdo nedidelė genų grupė. Vėliau ši šviesai jautri ląstelė skilo į 2 atmainas, ir dabar susidarė jau 2 antrinės ląstelės, kurių vienos specializacija buvo rega, o kitos – paros ritmas.

Dėl priežasčių, kurios galėjo būti ne daugiau kaip atsitiktinumas, stuburiniai ir bestuburiai šiems tikslams pasirinko priešingų tipų ląsteles – taigi akys išsivystė iš dviejų skirtingų audinių grupių, kurios lėmė embrioninius panašių akių, pavyzdžiui, aštuonkojo ir žmogaus, skirtumus. Pirmoji „stotelė“

pakeliui į visavertę akį buvo plika tinklainė – šviesai jautrių ląstelių plokštelė, kurią sudaro vienas ar kitas šviesai jautrių ląstelių tipas, atsižvelgiant į kilmę.

Kai kurie organizmai vis dar išsaugojo paprasčiausią plokščią atvirą tinklainę, o kitiems ji perėjo į akiduobes, galinčias mesti šešėlį ir padėti suvokti, iš kur sklinda šviesa. Šioms „duobėms“ gilėjant, teko priimti jautrumo ir skyros kompromisą – tai reiškė, kad bet kokios formos lęšiukas tapo geresniu pasirinkimu, nei lęšiuko nebuvimas. Lęšiukas išsivystė iš įvairiausių prieinamų bei šiam tikslui pasitelktų medžiagų, pradedant mineralais ir baigiant fermentais. Panašus procesas vyko įvairiomis kryptimis, ir jis lėmė tikrą lęšiuko atmainų kakofoniją. Tačiau funkicinei akiai susidaryti būtini optiniai ribojimai šią įvairovę molekulių lygyje apribojo iki nedidelio sudėtingų darinių intervalo, pradedant mūsų pačių fotoaparato pobūdžio akimis ir baigiant sudedamosiomis vabzdžių akimis.

Žinoma, šis paveikslas dar turės būti papildytas daugybe informacijos, tačiau bendrais bruožais atskleidžia, kaip išsivystė akis. Nenuostabu, kad turime tokio pat rodopsino, kaip ir terminių versmių krevetės, – visi jį paveldėjome iš to paties senovinio protėvio. Tačiau, baigiant šį skyrių, vis dar lieka vienas svarbus klausimas – kas buvo šis protėvis? Atsakymo ir vėl ieškosime genuose.



S. Van Dover, nusileidusi į jūros gelmes prie terminių versmių, nerado ramybės dėl gelmių šviesos. Jos aptiktos versmių krevetės akivaizdžiai pajėgė aptikti žalią šviesą (ir šio aptikimo jautrumas buvo tiesiog neįtikėtinas), pasikeldamos rodopsiną, panašų į tą, kurio yra ir mūsų akyse, tačiau dar pirmieji matavimai parodė, kad angos nešvyti žaliai. Ką tai galėtų reikšti?

Kiek ironiškai kreipdamasi į jaunuosius mokslininkus savo atsistatydinimo kalboje, žymi mokslininkė tvirtino, kad niekas niekada neturėtų kartoti pasisėkusio eksperimento, jeigu nenori karčiai nusivilti.<sup>8</sup> Priešingas teiginys – niekada nebijoti pakartoti nesėkmės – kur kas mažiau žinomas, tačiau S. Van Dover turėjo gerą priežastį jį patikrinti. Kaip ir miręs žmogus, rodopsinas niekada nemeluoja. Ji tvirtino: jeigu šis pigmentas sugeria žalią šviesą, vadinasi, kažkur gelmėse turi būti šiek tiek žalios šviesos. Galimas daiktas, tyrimų pradžioje naudota primityvi įranga nebuvo tokia jautri, kaip atvira krevetės tinklainė.

Iš NASA mokslininkų, kurie labai gerai žinojo, kaip neperžvelgiamoje tarsi rašalas kosmoso tamsoje aptikti spindulius, ji užsisakė naują ir kur kas sudėtingesnę fotometrą. Šis prietaisas, pavadintas ALISS (aplinkos šviesos vaizdavimo ir spektro nustatymo sistema – *Ambient Light Imaging and Spectral System*), puikiai tiko aptikti kito ilgio šviesos bangas.

Leisdamasis į stebuklingą terminų versmių pasaulį, ALISS nubrėžė mažą žaliosios spektro dalies smailę, kurios intensyvumas buvo kur kas didesnis, nei manyta, remiantis teorija. Šie nauji matavimų rezultatai netrukus buvo patvirtinti ir kitose versmėse. Nors tokios vaiduokliškos žalios šviesos šaltinis tebėra paslaptis, netrūksta egzotiškų jo aiškinimo hipotezių. Sakykime, teigiama, kad regimą šviesą gali spinduliuoti maži iš terminų versmių kylantys dujų burbuliukai, kuriuos gniuždo vandenyno slėgis. Ją taip pat gali sukelti šilumos ir slėgio veikiamų kristalų formavimasis arba skilinėjimas.

Nors S. Van Dover šiuo atveju vis tiek rizikavo, jos pasitikėjimas rodopsinu buvo gerai pagrįstas. Rodopsinas pasižymi išpūdinga galimybe prisitaikyti prie aplinkos sąlygų. Gili žydra jūra – šis apibūdinimas kilo iš to, kad mėlyna šviesa į jūros vandenį prasiskverbia giliau nei kitų ilgių bangos. Vanduo greitai sugeria raudoną šviesą, ir ji negali toli skverbtis. Geltona šviesa pasiekia kiek toliau, o žalia – dar toliau. Pradedant 20 m gyliu, įsivyrąja mėlyna ir žalia spalvos, o leidžiantis gilyn, mėlynumas stiprėja. Mėlyna šviesa švysčioja aplink, visiems vandenyno gelmių objektams suteikdama mėlyną atspalvį.

Šį mėlį puikiai padeda aptikti žuvims būdingas pigmentas rodopsinas – tai vadinama spektriniu derinimu. Taigi, nusileidę apie 80 m, rasime žuvų, kurių akyse esantis rodopsinas geriausiai absorbuoja žalią šviesą (apie 520 nm bangos ilgio), tačiau, panirę į 200 m gylį, kuriame dar regimi blėstantys šviesos atspindžiai, nustatysime, kad žuvis turi mėlyną šviesą absorbuojančio rodopsino (apie 450 nm).

Įdomu, kad versmių krabas *B. thermydron*, su kuriuo susipažinome anksčiau, gyvendamas arčiau terminų versmių, keičia šios tendencijos kryptį. Krabų lervos gyvena giliuose mėlynuose vandenyse ir turi rodopsino, geriausiai sugeriančio mėlyną šviesą, kurios bangos ilgis yra 450 nm. Priešingai, plikoje suaugusio krabo tinklainėje yra rodopsino, kuris sugeria 490 nm šviesos bangą – t. y. ši šviesa artimesnė žaliai. Nors šis pokytis nedi-

delis, tačiau tikslingas. Atsižvelgiant į tai, kad versmių krevečių rodopsinas taip pat sugeria žalią šviesą, kurios bangos ilgis 500 nm, S. Van Dover tikrai turėjo suklusti.

Spalvinis mūsų pačių matymas priklauso nuo rodopsino gebėjimo aptikti skirtingo ilgio bangas. Tinklainėje turime dvejopus šviesos receptorius: lazdeles ir kolbeles. Griežtai kalbant, rodopsino yra tik lazdelėse, o kolbelėse aptinkama viena iš trijų „kolbopsino“ atmainų. Tačiau iš tikrųjų šis skirstymas nenaudingas, nes visų šių regos pigmentų sandara iš esmės tokia pati – visi yra sudaryti iš tam tikros rūšies baltymų „opsinų“, kurie per membraną prijungti prie 7 vijų zigzago, susijusio su išvestiniu A vitamino produktu – retinoliu. Būtent retinolis atsako už sugeriamą šviesą. Absorbavęs fotoną, jis keičia formą – iš lenkto tampa tiesus, ir to pakanka išjudinti visą biocheminę kaskadą, kuri *šviesos* signalus galiausiai perduoda į smegenis.

Nors šviesą sugeria retinolis, iki šiol svarbiausiu „spektrinio derinimo“ veiksmu laikoma baltymų opsinų sandara. Nedideli šios sandaros pokyčiai šviesos absorbciją gali perkelti nuo ultravioletinės spinduliuotės (apie 350 nm) – juos regi vabzdžiai ir paukščiai, – prie raudonos šviesos (apie 625 nm bangos ilgio), kurią mato chameleonai. Taigi, sujungus keletą šiek tiek skirtingų opsinų, tampa įmanoma skirti spalvas. Mūsų kolbelių opsinai daugiausia sugeria mėlynos (433 nm), žalios (535 nm) ir raudonos (564 nm) spektro dalių šviesą – tai mums pažįstamas matomos šviesos intervalas.<sup>9</sup>

Bendroji opsinų sandara iš esmės yra panaši, tačiau jų skirtumai atskleidžia nepakartojamą gyvybės istoriją. Visi jie susiformavo dalydamiesi, gyvūnams atsisiskyrus, ir galima netgi atsekti bendrąjį jų „protėvį“ – opsino geną. Reikia pripažinti – kai kurie iš šių dvigubinimosi atvejų vyko vėliau nei kiti. Pavyzdžiui, mūsų „raudonasis“ ir „žaliasis“ opsinai yra glaudžiai susiję, nes buvo sudvigubinti bendrojo primatų protėvio genai. Dėl dvigubinimosi primatams išsivystė trijų tipų kolbelių opsinai (arba tai įvyko vėliau, kai primatai šiek tiek išsiskyrė), o ne dviejų, tad daugeliui iš mūsų būdingas trijų spalvų (trichromatinė) rega.

Kai kurie nelaimėliai, kurie neskiria raudonos ir žalios spalvos, vėl prarado vieną iš šių genų, ir jų rega tapo dichromatinė, panašiai kaip ir beveik visų kitų žinduolių. Ši ribota rega rodo dar neseno naktinio gyvenimo (slepiančio nuo dinosauro) patirtį. Kodėl primatai atgavo trispalvę regą, tebėra ginčijamasi.

Populiariausia teorija teigia, kad tokia rega padėjo atskirti raudonus vaisius nuo žalių lapų. Alternatyvi ir socialesnė teorija tvirtina, kad jis padėjo atskirti emocijas, grėsmes ir seksualinius signalus, pradedant paraudimu susidrovėjus ir baigiant melu net nemirktelėjus (įdomu, kad visų trispalviu matymu pasižyminčių primatų veidai beplaukiai).

Minėjau, kad primatai „atgavo“ trispalvę regą, tačiau iš tiesų šioje srityje esame tik vargani kitų stuburinių giminaičiai. Ropliams, paukščiams, varliagyviams ir rykliams būdinga keturspalvė rega – panašu, kad bendrojo visų stuburinių protėvio rega buvo tetrachromatinė.<sup>10</sup>

Šią galimybę patvirtino šauniai atliktas eksperimentas: lygindami šiuo metu gyvenančių stuburinių genų seką Sirakūzų universiteto (Niujorke) mokslininkai Jongšeng Ši (*Yongsheng Shi*) ir Šozo Jokojama (*Shozo Yokoyama*) sudarė spėjamą stuburinių protėvio genų seką. Remdamiesi vien pirmaisiais principais, negalime spėlioti, kokio tiksliai ilgio bangas absorbuodavo protėvių rodopsinas. Mokslininkai (stengdamiesi nieko negąsdinti) taikė genų inžinerijos metodus baltymui sukurti, o tada tiesiogiai išmatavo jo šviesos absorbciją. Pasirodė, absorbuojama ultravioletinė spinduliuotė (360 nm bangos ilgio).

Didžiausias opsinų skirtumas yra susidaręs tarp bestuburių ir stuburinių. Bet net ir gyvoji fosilija – dvipuse simetrija pasižyminčių organizmų promotė – nereidė *Platynereis*, vis dar turi dviejų tipų opsinus, atitinkančius stuburiniams ir bestuburiams būdingas atmainas. Taigi į ką buvo panašus didysis visų gyvūnų opsinų protėvis, ir iš kur jis atsirado?

Tikslus atsakymas kol kas nežinomas, o siekdamos dėmesio „stumdosi“ kelios hipotezės. Tačiau mūsų vadovas buvo pats genas, ir jį pasitelkdami grįžome net 600 mln. m. eitu keliu. Kaip toli dar galime grįžti? Anot Piterio Hegemano (*Peter Hegemann*) ir jo kolegų iš Vokietijos Rėgensburgo universiteto, genas iš tikrųjų pateikia atsakymus, ir vienas iš jų yra visiškai netikėtas – anksčiausias akies protėvis išsivystė iš dumblių.

Dumbliai, kaip ir augalai, yra fotosintezės specialistai ir šiam tikslui gali pasitelkti įvairius sudėtingus šviesai jautrius pigmentus. Daugelis dumblių šiuos pigmentus naudoja paprastose „akutėse“, kur jie registruoja šviesos intensyvumą ir, jeigu reikia, imasi kokių nors veiksmų. Taigi švytinčio grožio maurakuliai (*Volvox*) jungiasi į kelių šimtų ląstelių rutuliukus, kurių skersmuo siekia iki 1 mm. Kiekvienoje ląstelėje yra 2 tarsi irklai išsikišę žiuželiai – jie

plakasi tamsoje, tačiau ryškioje šviesoje sustoja ir visą rutuliuką pasuka į saulę – taip užtikrinamos geriausios sąlygos fotosintezai. Komandą sustoti duoda akutės. Šviesai jautrus maurakulio akučių pigmentas yra rodopsinas.

Dar labiau netikėta, kad maurakuliuose aptinkamas rodopsinas, atrodo, buvo visų gyvūnų opsinų protėvis. Tą vietą, kurioje retinolis jungiasi su baltymais, sudaro dalys, beveik visiškai tapačios ir stuburinių, ir bestuburių opsinams – iš tikrųjų tai yra jų mišinys. Ir bendroji geno sandara drauge su šiuo eklektišku koduotų ir ne koduotų sekų mišiniu (specialūs terminai – intronai ir eksonai), taip pat atskleidžia senovinę sąsają su stuburinių ir bestuburių opsinais. Nors tai ne įrodymas, bet būtent šitai galima laikyti abiejų šeimų protėviui būdinga ypatybė. Vadinasi, yra didelė tikimybė, kad visų gyvūnų akių „tėvas“ buvo fotosintetinėmis savybėmis pasižymintis dumblis.

Tada savaime kyla klausimas – kaipgi, po perkūnais, rodopsinas iš dumblių perėjo gyvūnams? Puikusiai maurakulis tikrai nėra tiesioginis gyvūnų protėvis. Tačiau atsakymo raktą galima aptikti šiek tiek žvilgtelėjus į dumblių akučių sandarą: rodopsinas įterptas į chloroplastų membranas – už fotosintezę atsakingas mažutes augalų ir dumblių ląstelių dalis.

Prieš 1 mlrd. m. chloroplastų protėviai buvo savarankiškos fotosintetinančios bakterijos melsvabakterės, kuriuos vėliau „prarijo“ didesnės ląstelės (žr. 3 skyrių). Taigi maurakulių akutės nėra išskirtinės, tačiau jos būdingos chloroplastams, o gal net jų protėviams – melsvabakterėms.<sup>11</sup> Chloroplastų aptinkama ir daugelyje kitų ląstelių tipų, įskaitant keletą pirmuonių, kurie yra vieni iš tiesioginių gyvūnų protėvių.

Pirmuonys yra vienaląsčiai organizmai, o geriausiai žinomas iš jų yra ameba. XVII a. mikroskopo išradėjas A. Levenhukas pirmą kartą juos pamatė, kartu su savo paties sperma, ir įsimintinai pavadino mikroorganizmais, taip atskirdamas nuo mikroskopinių dumblių, kuriuos drauge su augalais priskyrė augalijai.

Tačiau šis paprastas atskyrimas pridengė daugybę „nuodėmių“ – jeigu kai kuriuos šių mikroorganizmų padidintume iki mūsų dydžio, mus pulstų tarsi iš Džiuzepės Arčimboldžio (*Giuseppe Arcimboldi*) paveikslų nužengusios pabaisos – pusiau žvėrys, pusiau augalai. Paprasčiau kalbant, kai kurie judrūs pirmuonys, kurie gali plaukioti, persekiodami grobį, taip pat turi chloroplastų, suteikiančių jiems ir dumblių savybių, – chloroplastų jie įgijo taip pat, kaip ir dumbliai, t. y. absorbuodami kitas ląsteles.

Kartkartėmis šie chloroplastai lieka funkcionalūs ir padeda šeimininkui apsirūpinti maisto atsargomis, tačiau kitais atvejais degeneruoja, prarasdami būdingas membranas ir genus – tai primena blunkančius prisiminimus apie šlovingą praeitį arba skardininko dirbtuvėje išmėtytus įvairius gabalėlius, iš kurių vėliau sukuriamas naujas išradimas, pavyzdžiui, akis. Ir būtent tokia mikroskopinė chimera, o ne pats maurakulis, yra tas tvarinys, kurį kai kurie tyrėjai (kad ir tas pats V. Gėringas) spėlioja buvus visų gyvūnų akių „tėvu.“

Kuri maža chimera? Į tai dar negalima atsakyti (nors yra keli patrauklūs „įkalčiai“) ir dar reikia daug sužinoti. Kai kurie pirmuonys (šarvadumbliai) turi labai sudėtingas „akeles“, apimančias į tą pačią ląstelę įspraustą tinklainę, lęšiuką ir rageną. Atrodo, jos išsivystė iš chloroplastų. Be to, jose yra rodopsino. Ar gyvūnų akys iš šių visur knibždančių mikrovisatų išsivystė tiesiogiai, ar netiesiogiai (per simbiozę), tebėra nežinoma. Negalime pasakyti, ar tai įvyko kaip nuspėjamas etapas, ar kaip likimo užgaida. Tačiau tokie klausimai, kurie tuo pat metu yra ir konkretūs, ir universalūs, yra mokslo šerdis, ir aš viliuosi, kad jie įžiebs kibirkštis ateinančios kartos akyse.



## AŠTUNTAS SKYRIUS

# ŠILTAS KRAUJAS

### PERŽENGTA ENERGIJOS RIBA

**L**aikas skriste skrenda, kai vairuoji traukinį, – taip sakoma vaikų eilėraštu-ke. O kas iš mūsų neatsimena visai priešingos vaikystės patirties – tų be galo nuobodžių minučių, kratantis ant galinės automobilio sėdynės ir be paliovos klausinėjant: „Tėveli, ar jau atvykome?“ Taip pat manau, kad dauguma skaitytojų atsimins liūdesį, aplankantį stebint senstančius tėvus ar senelius, kurių gyvenimo tempas lėtėjo iki sraigės „apsukų“, ir galiausiai jie tiesiog susimąstę sėdėdavo, o valandos jiems lėkdavo tarsi minutės. Abu šie kraštutiniai nutolę nuo mūsų pačių pasaulio tempo – suaugusio žmogaus *andante*.

Mums nereikia Alberto Einšteino (*Albert Einstein*), kad suprastume – laikas reliatyvus. Tačiau tai, ką jis griežtai nustatė laikui ir erdvei, biologijoje, kaip visada, turi kur kas labiau impresionistinį atspalvį. Garsusis aštrialiežuvis Klementas Froidas (*Clement Freud*) sakė: „Jei nuspręsite mesti rūkyti, gerti ir mylėti, ilgiau negyvensite – jums tik atrodys, kad gyvenimas tęsiasi kur kas ilgiau.“<sup>1</sup> Tačiau tas pojūtis, kad šuoliuojame per vaikystę ir ropojame per senatvę, yra neabejotinas. Ir tai lemia vidinė mūsų sandara: medžiagų apykaitos sparta, širdies dūžių dažnis ir greitis, kuriuo ląstelės sudegina maistą dėl deguonies. Be to, netgi ir suaugusiųjų yra ir spartuolių, ir lėtapėdžių.

Daugelis mūsų iš vienos būsenos į kitą pereiname lėtai. Sparta, kuria mūsų gyvenimo tempas lėtėja ar kuria priaugame svorio, labai priklauso nuo medžiagų apykaitos, o ji visų kitokia. Du žmonės, kurie valgo tą patį maistą ir

ties pat mankština, ilsėdamiesi dažnai sudegina ne tokį patį kalorijų skaičių. Tačiau labiausiai skiriasi šiltakraujų ir šaltakraujų organizmų medžiagų apykaitos sparta. Nors sąvokos šiltakraujis ir šaltakraujis biologus verčia gūžtis, jos yra aiškios ir suprantamos beveik kiekvienam, ir reiškia tą patį, ką ir sudėtingi specialieji terminai homeotermija ir poikilotermija.

Be to, pastebėjau keistą dalyką: yra keli biologijos aspektai, dėl kurių mes, šiltakraujai, jaučiamės šovinistais. Įnirši ir tulžį, kuri liejama žurnaluose ir internete dėl to, ar dinosauurai buvo šiltakraujai ar šaltakraujai, sunku suprasti racionaliai: turbūt šis vidinis skirtumas kažkaip veikia mūsų orumą – ar geriau norime būti suėsti milžiniškų driežų, ar gudresnių, klastingesnių, greitesnių plėšrūnų, prieš kuriuos turėjome panaudoti savo sumanumą, kad išgyventume.

Atrodo, mus, žinduolius, vis dar graužia pavydas dėl to meto, kai buvome tik maži kailiu apaugę gyvūnėliai, urvuose besislepiantys nuo senovinių plėšrūnų. Bet tai vyko prieš 120 mln. m. – gana ilgas laikas, kad ir kaip skaičiuotume.

Šiltas kraujas lemia kitokią medžiagų apykaitos spartą ir gyvenimo tempą. Jis savaime pagreitina visas chemines reakcijas, nes pakyla organizmo temperatūra, – tai taikoma ir gyvybės pagrindą sudarančioms biocheminėms reakcijoms. Nedideliame biologiškai reikšmingame temperatūros intervale 0–40 °C gyvūnų pajėgumo skirtumas labai ryškus. Tarkime, deguonies suvartojimas padvigubėja, didėjant temperatūrai kas 10 °C, taip pat didėja ištvermė ir jėga. Taigi gyvūnas, kurio kūno temperatūra 37 °C, turi dvigubai daugiau jėgos nei tas, kurio temperatūra 27 °C, ir 4 kartus daugiau jėgos nei gyvūnas, kurio temperatūra tesiekia 17 °C.

Tačiau apskritai minėtos savybės ne visada priklauso nuo temperatūros. Šiltakraujų gyvūnų kūno temperatūra nebūtinai aukštesnė už šaltakraujų. Dauguma roplių sugeba sugerti saulės energiją, ir įprastinė jų kūno temperatūra tampa panaši į žinduolių ir paukščių. Žinoma, jie negali išlaikyti tokios aukštos temperatūros sutemus, tačiau naktį žinduoliai ir paukščiai taip pat dažnai būna neaktyvūs. Jie irgi gali taupyti energiją, sumažindami kūno temperatūrą, tačiau taip elgiasi retai ar bent nedaugelis (nors kolibriai, taupydami energiją, dažnai pereina į komos būseną).

Mūsų laikais, kai nuolat raginama nešvaistyti energijos, aplinkosaugininkus žinduoliai gali privesti iki ašarų: mūsų „termostatas“ išlieka užstrigęs ties 37 °C ištisą parą ir kiekvieną dieną, neatsižvelgiant į energijos poreikį.

Ir pamirškite alternatyvią energetiką. Mes jokių būdu negalime pasinaudoti saulės energija kaip driežai. Iš vidaus išylame, tik padedami anglimi kūrenamų vidinių „jėginių“, išmetančių į aplinką daugybę anglies dioksido. Tad žinduoliai – pirmieji ekologijos kenkėjai.

Galbūt manote: žinduolių organizmas visu pajėgumu veikia per naktį, tai jiems geriau ryte, tačiau driežams taip pat nereikia gaišti daug laiko, kad pakeltų temperatūrą iki reikiamo lygio. Beausis driežas galvoje turi kraujo sinusą, kurio padedamas, gali greitai sušildyti visą kūną. Rytui išaušus, iškiša galvą iš urvo ir, budriai stebėdamas, ar nėra plėšrūnų, kad galėtų mikliai smukti atgal, per pusę valandos paprastai pakankamai sušyla ir gali užsiimti dienos reikalais. Tai – puiki dienos pradžia. Be to, natūralioji atranka neapsiriboja viena funkcija. Kai kurių driežų sinusai susiję su vokais: pagauti jie gali purkšti kraują į plėšrūnus – na, kad ir į šunis, – kuriems jų kraujo skonis atgrasus.

Dydis – dar vienas būdas, padedantis išlaikyti aukštą kūno temperatūrą. Nereikia būti didžiu baltuoju medžiotoju, kad įsivaizduotume kaip kilimus ant grindų ištiestus du gyvūnų kailius. Taigi: vienas iš šių kailių dusyk ilgesnis ir platesnis už kitą. Vadinasi, didesnis gyvūnas turi 4 kartus didesnę kailį ( $2 \times 2 = 4$ ), tačiau jis gali būti 8 kartus sunkesnis, nes nereikia pamiršti dusyk didesnio aukščio ( $2 \times 2 \times 2 = 8$ ). Taigi, kiekvieną kartą matmenis padvigubinus, paviršiaus ir svorio santykis sumažėja perpus ( $4/8 = 0,5$ ).

Jei kelsime prielaidą, kad kiekvienas gyvo kūno svaras sukuria tą patį šilumos kiekį, tai didesni ir daugiau sveriantys gyvūnai sukurs daugiau šilumos.<sup>2</sup> Be to, šilumą praranda lėčiau, nes jų odos paviršiaus plotas palyginti mažas (palyginti su sukuriama vidine šiluma). Vadinasi, kuo gyvūnas didesnis, tuo šiltesnis. Tam tikru momentu šaltak kraujai gyvūnai tampa šiltakraujais. Sakykime, dideli aligatoriai pagal savo prigimtį yra šaltakraujai, tačiau šilumą išlaiko taip ilgai, kad gali būti laikomi ribine rūšimi su šiltakraujais. Netgi per naktį jų nuolatinė temperatūra nukrinta vos keliais laipsniais, nors vidinės šilumos organizmas beveik nesukuria.

Akivaizdu, kad daugelis dinosauro lengvai viršijo šią dydžio ribą, taigi iš tiesų jie buvo šiltakraujai, ypač atsižvelgiant į maloniai šiltą aplinkos temperatūrą, kuri vyravo mūsų planetoje tomis ramiomis dienomis. Tada nebuvo ledo kepurė, o anglies dioksido lygis atmosferoje buvo maždaug 10 kartų didesnis nei dabar. Kitaip tariant, kai kurie paprasti fizikos dėsniai atskleidžia, kad

dauguma dinosaurų galėjo būti šiltakraujai, kad ir kokia būtų jų medžiagų apykaita. Milžiniškiems žolėdžiams galbūt buvo net sunkiau prarasti šilumą, nei ją sukaupti, o kai kurios anatominės keistenybės, sakykime, didelės šarvuotos stegozaurų plokštės panašiai kaip dramblio ausys galėjo padėti išskirti papildomos šilumos.

Bet jei viskas būtų buvę taip paprasta, nebūtų nesutarimų dėl to, ar dinosaurai buvo šiltakraujai. Šiuo ribotu požiūriu jie arba bent daugelis iš jų tikrai buvo tokie. Mėgstantiems sąvokas, kurias tariant galima nusilaužti liežuvį, paminėsiu, kai tai vadinama incertine endotermija. Jie ne tik pajėgė išlaikyti aukštą kūno temperatūrą, tačiau ir kūrė šilumą organizmo viduje panašiai kaip šiuolaikiniai žinduoliai – degindami anglį.

Taigi kodėl, žvelgiant plačiau, dinosaurai *nebuvo* šiltakraujai? Na, galbūt kai kurie iš jų tikrai buvo tokie – tai pamatysime vėliau. Tačiau kad suprastume keistąjį žinduolių ir paukščių šiltakraujiškumą, pažvelkime priešinga kryptimi ir pažiūrėkime, kas vyksta mažesniuose gyvūnuose, kurių temperatūra žemiau „šilto kraujo ribos“.

Pagalvokime apie driežą. Iš esmės jis yra šaltakraujis – kitaip tariant, negali išlaikyti vidinės kūno temperatūros per naktį. Jei didelis krokodilas tai beveik įstengia, kuo mažesnis gyvūnas, tuo jam sunkiau. Izoliacija – kailis ar plunksnos – padeda tik iki tam tikros ribos, o kartkartėmis gali net trukdyti – sugerti šilumą iš aplinkos. Jei driežą aprengsite kailiniais (verta paminėti, kad taip elgėsi rimti mokslininkai), jis šals labiau nei be jų, nes nesugebės taip gerai sugerti saulės šilumos arba generuoti pakankamai vidinės šilumos, kurios reikia kompensuoti šiam trūkumui.

Tad viskas vyksta visiškai kitaip, palyginti su žinduoliais ir paukščiais, ir atskleidžia tikrąjį šiltakraujo organizmo apibrėžimą. Žinduoliai ir paukščiai sukuria net 10 ar 15 kartų daugiau vidinės šilumos, nei panašaus dydžio driežas. Ir tai nepriklauso nuo aplinkybių. Jei driežą ir žinduolį kankins dusinantis karštis, žinduolis vis tiek kurs 10 kartų daugiau vidinės šilumos – šiuo atveju savo nenaudai. Jis privalės rasti būdų atvėsti – gerti vandenį, į jį pasinerti, lekuoti, slėptis šešėlyje, vėduotis, gerti kokteilius ar įsijungti oro kondicionierių. Driežas šiluma mėgausis. Tad nenuostabu, kad driežai ir apskritai ropliai daug geriau jaučiasi dykumoje.

Pavyzdys. Driežas ir žinduolis dabar yra šaltoje aplinkoje – temperatūra arti užšalimo. Driežas įsikis į lapus, susirangys ir užmigs. Tiesą sakant, dauge-

lis smulkiųjų žinduolių pasielgs taip pat, tačiau mes – visiškai kitaip. Priešingai. Tokiomis sąlygomis sudeginsime dar daugiau maisto. Žinduolio gyvenimo „sąnaudos“ šaltoje aplinkoje yra 100 kartų didesnės nei driežo.

Net ir vidutinio klimato sąlygomis, tarkime, esant apie 20 °C – maloniai šilta pavasario diena daugelyje Europos šalių, – šis atotrūkis bus milžiniškas ir sieks netgi apie 30 kartų. Kad išlaikytų tokią neįtikėtinai sparčią medžiagų apykaitą, žinduolis turi sudeginti iki 30 kartų daugiau maisto nei roplys. Kiekvieną mielą dieną jis turi suvartoti tiek maisto, kiek driežui pakaktų visam mėnesiui. Atsižvelgiant į tai, kad gyvūnų pasaulyje nemokamų pietų nebūna, šios išlaidos gana nemenkos.

Taigi priėjome prie išvados: būti žinduoliu ar paukščiu yra bent 10 kartų (greičiausiai kur kas daugiau) „brangiau“ nei driežu. Kodėl turime gyventi taip išlaidžiai? Atsakymas akivaizdus – kad galėtume užimti teritorines „nišas“. Nors būti šiltakrauju galbūt neverta dykumoje, tačiau šiltas kraujas leidžia medžioti naktį arba aktyviai leisti žiemą vidutinio klimato sąlygomis – to nepajėgia driežai. Kitas privalumas – išaugusios proto galios, nors gal čia būtų sunku įžvelgti ryšį.

Žinduolių smegenys, palyginti su kūnu, kur kas didesnės nei roplių. Nors didesnės smegenys dar negarantuoja aukštesnio intelekto ar bent didesnio sumanumo, atrodo, šiuo atveju spartesnė medžiagų apykaita padeda išlaikyti didesnes smegenis, specialiai neskirdama išteklių. Taigi, jei driežai ir žinduoliai skiria tiek pat, tarkime, 3 % savo išteklių smegenims, o žinduoliai gali skirti 10 kartų daugiau išteklių, pastarieji gali turėti 10 kartų didesnes smegenis – paprastai būtent taip ir yra.

Reikia pasakyti, kad primatai, ypač žmonės, smegenų veiklai palaikyti skiria kur kas didesnę dalį savo organizmo išteklių; žmonės – apie 20 %, nors smegenys užima tik kelis procentus kūno. Įtariu, kad proto galios yra tik nedidelis priedas šiltakraujams, duotas be papildomų išlaidų. Juk yra kur kas pigesnių būdų susikurti didesnes smegenis.

Trumpai tariant, neatrodo, kad galimybė užimti gyvenamųjų teritorijų nišas, aktyvumas naktį ir didesnis smegenų pajėgumas būtų pakankamas atlygis už dideles šilto kraujo medžiagų apykaitos sąnaudas. Atrodo, kažką praleidome. Debeto pusėje yra nuolatinės išlaidos maitinimuisi, maitinimuisi, maitinimuisi, kurios gerokai viršija tik pilvo urzgimo numalšinimą. Maisto rinkimui, medžioklei ar derliaus nuėmimui reikia skirti daug daugiau laiko

ir jėgų, o šį laiką savo naudai gali išnaudoti plėšrūnai ir konkurentai. Maisto atsargos baigsis arba sumenks. Akivaizdu: kuo daugiau maitinamasi, tuo greičiau maistas baigiasi, ir populiacija sumažėja.

Praktiškai populiacijos dydį lemia medžiagų apykaitos sparta, o roplių skaičius dažnai 10 kartų viršija žinduolių skaičių. Dėl tos pačios priežasties žinduoliai turi mažiau palikuonių (nors mažesniai palikuonių skaičiui gali skirti daugiau išteklių). Nuo medžiagų apykaitos spartos priklauso netgi gyvenimo trukmė. K. Froidas buvo teisus, kalbėdamas apie žmones, bet klydo dėl roplių. Pastarųjų gyvenimas gali būti lėtas ir nuobodus, tačiau gyvena ilgiau – milžiniški vėžliai netgi šimtus metų.

Taigi šilto kraujo kaina labai aukšta. Jis reiskia trumpą gyvenimą, praleistą nuolat maitinantis pavojaus akivaizdoje. Jis mažina populiaciją ir palikuonių skaičių – už šiuos 2 veiksnius turėtų būti negailestingai baudžiama natūraliosios atrankos. Tačiau dėl to sugebame keltis naktį ir pakęsti šaltį. Atrodo, tai „menkas biznis“, ypač jei vis tiek einame miegoti. Tačiau didžiojo gyvybės panteono viršūnėje ir toliau vyrauja žinduoliai ir paukščiai. Ką gi mes turime tokio, ko neturi ropliai? Tai turėtų būti kažkas gero.

Vienas labiausiai įtikinamų atsakymų yra ištvermė. Driežai gali prilįgti žinduoliams greičiu arba raumenų jėga, o trumpais atstumais netgi juos pralenkti, bet šios jėgos išsieikvoja labai greitai. Pamėginkite pačiuoti driežą, ir jis akimirksniu išnyks iš akių, pasislėpdamas po artimiausią priedangą. Tačiau užtruks valandų valandas, kol driežas pailsės ir atsigaus, nes ropliai nėra sukurti patogumui – jie skirti greičiui.<sup>3</sup> Kaip ir trumpų nuotolių bėgikai žmonės, jie remiasi anaerobiniu kvėpavimu, kitaip sakant, jie nesivargina kvėpuoti, tačiau tai negali trukti ilgai. Energiją (ATP) generuoja labai greitai, tačiau tam naudoja procesus, kurie užkemša juos pieno rūgštimi ir sukelia traukulius.

Skirtumą lemia raumenų sandara. Jų yra įvairių tipų – tai aptarėme 6 skyriuje. Skiriasi trijų svarbiausių raumenų sudedamųjų dalių: skaidulų, kapiliarų ir mitochondrijų pusiausvyra. Iš esmės traukdamiesi raumenys sukuria jėgą, kapiliarais kraujas tiekia deguonį ir šalina atliekas, o mitochondrijose deguonis degina maistą – kuriama susitraukimui reikalinga energija.

Bet šios dalys užima daug vietos, todėl jei daugiau raumenų skaidulų, mažiau vietos kapiliarams ar mitochondrijoms. Jei raumenis sudaro tankios skaidulos, jų jėga bus didžiulė, tačiau ji greitai pasibaigs, nes neliks susitrau-

kimams būtinos energijos. Taigi tenka rinktis: didelė jėga ir menka ištvermė arba nedidelė galia, tačiau didelė ištvermė. Skirtumą galite matyti, palyginę stambų sprinterį ir liesą ilgų nuotolių bėgiką.

Mes visi turime įvairių raumenų tipų, o jų pasiskirstymas priklauso nuo aplinkybių, pavyzdžiui, kokiame aukštyje virš jūros lygio gyvename. Labai svarbu ir gyvenimo būdas. Jeigu treniruositės kaip sprinteris, užsiauginsite didelius greitai susitraukiančius raumenis, teikiančius daug jėgos, bet mažai ištvermės. Treniruodamiesi bėgti ilgas distancijas, pereisite į kitą kraštutinumą.

Kadangi šie skirtumai taip pat būdingi atskiriems asmenims ir rasėms, per kartas juos veikė natūralioji atranka, kurią lėmė aplinkybės. Štai kodėl Nepalo, Rytų Afrikos gyventojai ir Andų indėnai turi daug bendrų bruožų, padedančių jiems išgyventi aukštikalnėse, o žemumų gyventojai stambesni ir kresni.

1979 m. paskelbtame ir klasika tapusiame Alberto Beneto (*Albert Bennett*) ir Džono Rubeno (*John Ruben*) (tuo metu dirbusių Irvino universitete Kalifornijoje) straipsnyje rašoma, kad tokie skirtumai siekia šilto kraujo susiformavimo ištakas. Jie ragino pamiršti temperatūrą – šiltakraujų ir šaltakraujų organizmų skirtumą lemia jų ištvermė. Ši jų idėja, dar vadinama aerobinio pajėgumo hipoteze (net jei ji nėra visiškai teisinga) visiškai pakeitė gyvybės supratimą.

Aerobinio pajėgumo hipotezę sudaro 2 teiginiai. Pirma, daugeliu atveju tiesiogiai naudinga ne aukštesnė kūno temperatūra, o didesnis aktyvumas. Beneto ir Dž. Rubeno žodžiais tariant, „selektyvus padidėjusio aktyvumo pranašumas nėra subtilus skirtumas – tai esminė sėkmingo išlikimo ir dauginimosi sąlyga. Didesne ištverme pasižymintis gyvūnas turi pranašumą, kuris lengvai suprantamas atrankos požiūriu. Jis pajėgia kur kas daugiau nubėgti ar nuskristi, kad susirastų maisto ar netaptų kieno nors kito maistu. Tai taip pat didelis privalumas ginant savo teritoriją nuo įsiveržėlių. Ištvermė duoda ir daugiau pranašumo užmezgant ryšius ar poruojantis.“

Visa tai atrodo neginčytina. Šią idėją įdomiai papildė lenkų zoologas Pavelas Kotėja (*Paweł Koteja*), kuris pabrėžė su jauniklių maitinimu susijusią intensyvią tėvų globą, trunkančią mėnesius ar net metus, – tuo žinduoliai ir paukščiai skiriasi nuo šaltakraujų gyvūnų. Tokioms investicijoms reikia labai daug ištvermės, ir tai gali turėti didelį poveikį išlikimui labiausiai pažeidžiamu gyvūno gyvenimo tarpsniu.

Nenagrinėjant tikslių priežasčių, antra aerobinio pajėgumo hipotezės dalis yra kur kas problemiškesnė ir įdomesnė – ištvermės ir ramybės būsenos

sąsaja. Anot A. Beneto ir Dž. Rubeno, tarp didžiausios medžiagų apykaitos spartos ir šios spartos ramybės metu būtinai yra ryšys. Paaiškinsiu.

Didžiausia medžiagų apykaitos sparta apibrėžiama kaip deguonies kiekis, suvartojamas skiriant visas jėgas, kai daugiau jau nebeįmanoma „pasispausti“. Tai priklauso nuo daugelio dalykų, įskaitant fizinį pasirengimą ir, žinoma, genus. Didžiausia medžiagų apykaitos sparta galiausiai priklauso nuo to, kiek deguonies suvartoja „galutiniai naudotojai“ – t. y. raumenų mitochondrijos. Kuo greičiau suvartoja, tuo didesnė didžiausia medžiagų apykaitos sparta.

Tačiau, net žvelgiant paviršutiniškai, akivaizdu, kad turi būti ir daugiau susijusių veiksnių. Minėtas rodiklis priklauso nuo mitochondrijų ir jas maitinančių kapiliarų skaičiaus, kraujospūdžio, širdies dydžio ir sandaros, raudonųjų kraujo kūnelių skaičiaus, deguonį pernešančio pigmento (hemoglobino) tikslios molekulinės sandaros, plaučių dydžio ir sandaros, trachėjos skersmens, diafragmos stiprumo ir pan. Jei kuri nors iš šių savybių nepakankama, didžiausia medžiagų apykaitos sparta bus mažesnė.

Taigi ištvermės atranka prilimpa didžiausios medžiagų apykaitos spartos atrankai, kuri, savo ruožtu, yra kvėpavimo savybių rinkinys.<sup>4</sup> Anot A. Beneto ir Dž. Rubeno, didžiausia medžiagų apykaitos sparta kažkaip „padidina“ ir medžiagų apykaitos spartą ramybės būsenoje. Kitaip tariant, atletiško žinduolio, pasižyminčio didele ištverme, medžiagų apykaitos sparta *ramybės būsenoje* taip pat bus didelė – jis ir toliau kvėpuodamas sunaudos daug deguonies, net jei ir gulės nieko neveikdamas.

Ši teiginį grindė empiriniais stebėjimais. Anot jų, bet kurios priežasties sukelta didžiausia žinduolių, paukščių ar roplių medžiagų apykaitos sparta yra maždaug 10 kartų didesnė už medžiagų apykaitos spartą ramybės būsenoje.

Taigi atrankos būdu įtvirtinama didžiausia medžiagų apykaitos sparta didėja ir ramybės būsenoje. Jei ji padidėja dešimteriopai (tiek skiriasi žinduolių ir driežų), medžiagų apykaitos sparta ramybės būsenoje padidėja tiek pat. Tuo metu gyvūnas sukuria tiek daug vidinės šilumos, kad, tiesą sakant, atsitiktinai tampa „šiltakraujis“.

Ši idėja patraukli ir intuityviai atrodo teisinga, bet, nagrinėjant atidžiau, labai sunku pagrįsti, kodėl šie 2 rodikliai *turi būti* susiję. Didžiausia medžiagų apykaitos sparta susijusi su raumenų aprūpinimu deguonimi, tačiau ramybės būsenoje raumenys deguonies suvartoja nedaug. Čia svarbiausias vaidmuo tenka smegenims



ir vidaus organams: kepenims, kasai, inkstams, žarnynui ir pan. Tebėra neaišku, kodėl kepenys turi suvartoti tiek daug deguonies, kaip ir raumenys.

Tačiau galima įsivaizduoti gyvūną, kurio aerobinis pajėgumas yra labai didelis, o medžiagų apykaitos sparta ramybės būsenoje labai maža – tai tam tikras galingas driežas, turintis geriausias šaltakraujų ir šiltakraujų gyvūnų savybes. Galbūt būtent tokie buvo dinozaurai. Tiesą sakant, vis dar šiek tiek trikdo tai, kad nežinome, kodėl šiuolaikinių žinduolių, roplių ir paukščių didžiausia ir ramybės būsenos medžiagų apykaitos sparta yra susijusi, ir ar šis dėsnis kai kuriems gyvūnams negalioja.<sup>5</sup>

Žinoma, ypač „sportiški“ žinduoliai – šakiaragės antilopės – pasižymi labai dideliu aerobiniu pajėgumu, kuris net 65 kartus viršija medžiagų apykaitą ramybės būsenoje, taigi minėtus rodiklius galima atsieti. Tas pats pasakytina apie kai kuriuos roplius: aerobinis Misisipės aligatoriaus pajėgumas ne mažiau kaip 40 kartų viršija ramybės būsenos medžiagų apykaitą.

Tačiau taip gali būti, ir vis dar yra keletas svarių priežasčių, leidžiančių manyti, kad A. Benetas ir Dž. Rubenas buvo teisūs. Galbūt svarbiausios iš šių priežasčių yra susijusios su šiltakraujų gyvūnų šilumos šaltiniu. Yra daug būdų tiesiogiai generuoti šilumą, bet dauguma šiltakraujų dėl to nesivargina: šilumos gamyba yra netiesioginė medžiagų apykaitos pasekmė. Tiesiogiai generuoti šilumą gali tik maži žinduoliai (žiurkės), kurie greitai ją praranda.

Žiurkės (ir daugelio kitų žinduolių rūšių jaunikliai) šiam tikslui naudoja tam tikrą specializuotą audinį, vadinamą rudaisiais riebalais, kurie pilni įkai-tusių mitochondrijų. Jie naudoja gana paprastą triuką. Paprastai mitochondrija visoje membranoje generuoja iš protonų sudarytą elektros srovę, ir tai naudojama sukurti ląstelės energijos „valiutą“ – ATP (žr. 1 skyrių). Visam šiam mechanizmui reikia nepažeistos membranos, kuri veiktų kaip izoliacinė medžiaga. Srovės nuotėkis membranoje sukuria trumpąjį protonų grandinės jungimąsi ir jų energiją išskaido kaip šilumą. Būtent tai vyksta ruduosiuose riebaluose – į jų ląstelių membraną „sąmoningai“ yra įterptos poros, ir ji tampa laidu. Tad šios mitochondrijos sukuria ne ATP, o šilumą.

Taigi kurti šilumą yra pagrindinis laidžios mitochondrijos tikslas ir uždavinys. Jeigu visos mitochondrijos būtų laidžios (kaip rudųjų riebalų mitochondrijos), visa maisto energija būtų tiesiogiai verčiama šiluma. Gali atrodyti, jog tai paprasta ir greita bei neužima daug vietos, nes šiluma veiksmingai

kuriama nedidelės apimties audiniuose. Tačiau paprastai viskas vyksta ne visai taip. Driežų, žinduolių ir paukščių mitochondrijų laidumas skiriasi labai nedaug. Šaltakraujų ir šiltakraujų organizmų skirtumus daugiausia lemia organų dydis ir mitochondrijų skaičius. Sakykime, žiurkės kepenys yra žymiai didesnės nei panašaus dydžio driežo, ir jose „prikimšta“ daug daugiau mitochondrijų. Kitaip tariant, šiltakraujų gyvūnų vidaus organuose yra didelio našumo „turbininis kompresorius“. Jie sunaudoja didelį kiekį deguonies ne tiesiogiai generuodami šilumą, bet didindami šių organų našumą. Šiluma yra tik šalutinis produktas, kuris buvo pradėtas tinkamai išnaudoti vėliau, kai išsivystė išorinė šilumos izoliacija – kailis ir plunksnos.

Šiltakraujų gyvūnų vieta gyvūnijos vystymesi patvirtina mintį, kad šiltas kraujas visų pirma skirtas „įkrauti“ vidaus organus, o ne gaminti šilumą. Sidnėjaus universiteto evoliucijos fiziologas Frankas Zybacheris (*Frank Seebacher*), tyręs, kurie genai lemia šilto kraujo susiformavimą paukščių embrionuose, nustatė, kad vidaus organus „įkrauna“ vienintelis pagrindinis genas (kurio uždoduojamas baltymas PGC-1 $\alpha$ ), versdamas jų mitochondrijas daugintis.

Organų dydį taip pat galima gana nesunkiai valdyti, panašiu pagrindiniu genu reguliuojant ląstelių replikacijos ir mirties pusiausvyrą. Trumpai tariant, „įkrauti“ organus energija genetiškai nėra sudėtinga – tam pakanka nedaugelio genų, – tačiau energijos požiūriu tai labai brangu, vadinasi, atrankos būdu ši savybė gali būti įtvirtinta tik tada, jei ji tikrai to verta.

Taigi platus aerobinio pajėgumo hipotezės scenarijus atrodo įtikinamas. Neabejotina, kad šiltakraujai gyvūnai turi kur kas daugiau ištvermės nei šaltakraujai – įprastai aerobinis jų pajėgumas yra didesnis 10 kartų. Sparčiai didėjantis aerobinis ir žinduolių, ir paukščių pajėgumas yra susijęs su medžiagų apykaita, kuri ramybės būsenoje ląsteles (t. y. didelius vidaus organus, kuriuose yra daug mitochondrijų) įkrauna energija, tačiau turi nedaug bendro su „sąmoningu“ siekiu kurti šilumą. Bet nuojauta man kužda, kad didelis aerobinis pajėgumas turi derėti su išvystyta jo palaikymo sistema. Ši idėja nesunkiai patikrinama. Didinant aerobinį pajėgumą, turi didėti ir medžiagų apykaitos sparta ramybės būsenoje. Tačiau šie 2 rodikliai turėtų derėti tarpusavyje, net jei priežastinių ryšių sunku įrodyti.

Čia prasideda trintis. Kai maždaug prieš 30 m. buvo iškelta minėta hipotezė, daug sykių bandyta patvirtinti ją eksperimentais, tačiau rezultatai

skyrėsi. Iš tiesų, yra bendra tendencija, kad didžiausia medžiagų apykaitos sparta ir jo sparta ramybės būsenoje linkusios būti susijusios, tačiau yra ir daugiau veiksnių bei daug šios taisyklės išimčių. Gali būti, kad šie 2 ro-dikliai *buvo* glaudžiai susiję per evoliuciją, net jei toks ryšys nėra griežtai būtinas fiziologiniu požiūriu. Nesiremiant kitomis konkrečiomis evoliucijos istorijos idėjomis, sunku tai tvirtai teigti. Bet jei tai vyksta, atsakymą galbūt gali duoti iškastinės fosilijos. Įmanoma, kad trūkstantį grandį atskleistų ne fiziologija, bet istorijos vingiai.



Karštas kraujas energijos duoda vidaus organams (kepenims). Minkštieji au-diniai nėra labai atsparūs laikui, o kailis ne visada gerai apsaugo uolose. Ilgą laiką iš iškastinių suakmenėjusių palaikų buvo sunku nustatyti šilto kraujo kilmę, ir netgi šiandien dėl to neretai kyla aršūs nesutarimai. Tačiau iš naujo įvertinti fosilijų informaciją, remiantis aerobinio pajėgumo hipoteze, yra kur kas paprasčiau, nes daug ką galima pasakyti iš griaučių sandaros.

Galimas daiktas, kad ir žinduolių, ir paukščių protėviai gyveno triase maždaug prieš 250 mln. m. Šis laikotarpis, pasižymintis didžiausiu masiniu rūšių išnykimu visoje mūsų planetos istorijoje – vadinamasis permio išnyki-mas, manoma, nušlavė apie 95 % visų rūšių. Tarp nedaugelio išgyvenusių šias skerdynes liko dvi rūšys roplių: šiuolaikinių žinduolių protėviai *žvėriaropliai* (žinduolius primenantys ropliai) bei paukščių ir krokodilų protėviai *archozau-rai* (iš graikų kalbos – viešpataujantieji driežai) ir dinozaurai bei pterozaurai.

Atsižvelgiant į vėlesnį suklestėjimą ir vyravimą, gali būti keista, kad anksty-vajame triase geriausiai prisitaikė žvėriaropliai. Dinozaurų klestėjimo metu žvėri-aroplių palikuonys, žinduoliai, sumažėjo ir nusileido į urvus. Bet anksčiau, triaso periode, vyraujanti gyvūnų rūšis buvo *listrozaurai* (driežai kasėjai) – kiaulės dydžio žolėdžiai su dviem bukomis iltimis, priplotu snukiu ir statinės formos krūtine.

Tačiau listrozaurų gyvenimo būdas vertinamas nevienareikšmiškai. Nors daugelį metų jie buvo vaizduojami kaip varliagyviai, nedideli ropliai-hipopota-mai, dabar manoma, kad gyveno kur kas sausesnėmis klimato sąlygomis ir, ko gero, kasė urvus, – tai bendras žvėriaroplių bruožas. Šio dalyko svarbą aptarsime vėliau, dabar tik paminėsime, kad ankstyvajame triase listrozaurai buvo įsigalėję kaip niekada anksčiau.<sup>6</sup> Manoma, tam tikru laikotarpiu 95 % visų sausumos

stuburinių buvo listrozaurai. Amerikiečių poetas ir gamtininkas Kristoferis Kokinosas (*Christopher Cokinos*) šį laikotarpį apibūdino taip: „Įsivaizduokite, kad, ryt rytą atsikėlę ir vaikštinėdami po visus žemynus rasite, tarkime, tik voveres.“

Listrozaurai buvo žolėdžiai (galbūt vieninteliai tame laikotarpyje) ir nebi-  
jojo plėšrūnų. Vėliau triase listrozaurus pradėjo išstumti susijusi žvėriaroplių grupė, vadinama *cinodontais* („šuns dantys“), ir galiausiai listrozaurai visiškai išnyko triaso pabaigoje, t. y. prieš 200 mln. m. Cinodontų buvo ir žolėdžių, ir mėsėdžių: jie – tiesioginiai triaso pabaigoje atsiradusių žinduolių protėviai.

Cinodontams buvo būdingi daugelis didelio aerobinio pajėgumo požymių, įskaitant kaulinį gomurį (jis atskiria oro srautus iš burnos ir leidžia vienu metu ir kvėpuoti, ir kramtyti), plačią krūtinę, pasikeitusią krūtinės ląstą ir, tikriausiai, raumeningą diafragmą. Be to, padidėjo jų nosies angos, ir jose atsirado nedidelis porytas kaulas, vadinamas nosies kriaukle. Cinodontai netgi galėjo turėti kailį, tačiau jie ir toliau dėjo kiaušinius kaip ropliai.

Atrodo tikėtina, kad jau tada cinodontai pasižymėjo dideliu aerobiniu pajėgumu, kuris galėjo užtikrinti didelę ištvermę. Bet ką galima pasakyti apie medžiagų apykaitą ramybės būsenoje? Ar jie buvo šiltakraujai?

Pasak Dž. Rubeno, nosies kriauklių buvimas – vienas iš nedaugelio patikimų požymių, atskleidžiančių spartesnę medžiagų apykaitą ramybės būsenoje. Jos riboja drėgmės netekimą, kuris gali būti labai didelis nuolat giliai kvėpuojant – kitaip nei trumpais aktyvumo tarpais. Roplių medžiagų apykaita ramybės būsenoje yra labai nedidelė – ramybės būsenoje jie kvėpuoja negiliai, todėl nereikia riboti drėgmės praradimo. Dėl to nėra žinomų roplių, kurie turėtų nosies kriaukles.

Bet jas turi beveik visi tikrieji šiltakraujai organizmai, išskyrus keletą išimčių – tokie yra primatai ir kai kurie paukščiai. Akivaizdu, kad nosies kriauklės yra naudingos, nors gal ir nėra būtinos, tačiau jų aptikimas fosilijose gali padėti įminti šiltakraujų gyvūnų kilmės paslaptį. Kadangi cinodontai galėjo turėti kailį (iš fosilijų apie tai galima tik spėti, o ne daryti išvadą), atrodo, jie tikrai turėjo kažkiek šilto kraujo, nors dar nebuvo žinduoliai.

Tačiau galiausiai ir cinodontai pasijuto likę „uodegoje“ – vėlyvajame triase į priedangą ir naktinį gyvenimą juos išstūmė visur įsiviešpatavę archozaurai. Bet jeigu cinodontai buvo šiltakraujai, ką galima pasakyti apie juos nugalėjusią grupę, kuri netrukus tapo pirmaisiais dinozaurais? Paskutiniai išlikę iš archozaurų amžiaus – krokodilai ir paukščiai – atitinkamai yra šaltakraujai ir šiltakraujai.

Pamažu virsdami pirmaisiais paukščiais, archozaurai kažkuriuo momentu įgijo šiltą kraują. Tačiau kurie iš jų ir kodėl? Ar tarp jų buvo dinosauro?

Čia padėtis kur kas sudėtingesnė, kartais net ypač prieštaringa. Paukščiai, panašiai kaip ir dinosaurai, sukėlė aistringas diskusijas, o kai kurios nuomonės buvo pridengiamos mokslu. Ilgą laiką manyta, kad paukščiai tam tikru būdu susiję su dinizaurais, ypač su teropodais vadinama jų grupe, kuriai priklausė ir *Tyrannosaurus rex*. Paukščiai buvo tiesiogiai susieti su teropodais, atlikus sistemingus anatomicinės eilės (kladistinius) tyrimus, datuojamus devintojo dešimtmečio viduriu. Svarbiausia jų išvada – paukščiai nėra tiesiog susiję su dinizaurais – jie yra dinosaurai, t. y. paukštiniai teropodai.

Nors tuo įsitikinę dauguma specialistų, didžiabalės mažuma, vadovaujama žymaus paleornitologo Alano Fedučijos (*Alan Fedducia*) iš Šiaurės Karolinos universiteto, mano, kad paukščiai yra kilę iš ankstesnės neapibrėžtos grupės, kuri atsilo prieš teropodų evoliuciją. Laikantis šio požiūrio, paukščiai nėra dinosaurai – jie yra unikali savarankiška klasė.

Jau rašiau, kad vėliausi iš šių ilgą laiką vykdytų tyrimų taip pat yra labai įvairiapusiai, ir susiję visų pirma su baltymais, o ne su morfologiniais bruožais. Nepaprastą atradimą 2007 m. pavyko padaryti Džono Asaros (*John Asara*) vadovaujamai Harvardo medicinos mokyklos specialistų grupei – jie aptiko ypač gerai išsilaikiusį maždaug 68 mln. m. senumo *T. rex* kaulą, kuriame vis dar buvo svarbiausios sudedamosios organinės kaulo dalies – kolageno – fragmentų. Tyrėjų grupei pavyko atkurti kelis aminorūgščių fragmentus, tada juos sujungti ir gauti dalį *T. rex* sekos.

2008 m. šias sekas jie lygino su atitinkamomis žinduolių, paukščių ir aligatorių sekomis. Šios sekos buvo trumpos ir, galimas daiktas, klaidingos, tačiau iš pirmo žvilgsnio atrodo, kad artimiausias gyvas *T. rex* giminitis yra visiems gerai žinomas viščiukas, po jo – strutis. Nenuostabu, kad šiai ataskaitai chorą pritarė laikraščiai – buvo džiūgaujama: pagaliau tapo aišku, koks buvo *T. rex* kepsnio skonis. Be to, reikia paminėti, kad kolageno tyrimas iš esmės pavirtina kladistinį paukščių kaip dinosauro teropodų paveikslą.

Kitas svarbus nesutarimų šaltinis, susijęs su paukščių pasauliu, yra plunksnos. A. Fedučija ir kiti jau seniai tvirtino, kad paukščių plunksnos išsivystė todėl, kad jie galėtų skristi, užtai jie tokie tobuli. Bet jei plunksnos skirtos tik skristi, jų neturėtų turėti kiti nepaukštiniai teropodai, pavyzdžiui, *T. rex*.

Anot A. Fedučijos, šie dinozaurai plunksnų neturėjo, tačiau per pastarąjį dešimtmetį iš Kinijos išžygiavo ištisas plunksnotų dinozaurų paradas. Nors kai kurie tyrėjai šiek tiek abejoja, dauguma specialistų yra įsitikinę, kad neskraidantys teropodai iš tiesų puikavosi plunksnomis – plunksnotas netgi nedidelis paties *T. rex* protėvis.

Alternatyvus požiūris, kad plunksnos nėra tai, kas atrodo, o tik išsidarę kolageno pluoštai, kvepia nepagrįstu pareiškimu. Jei tai tik kolageno pluoštai, būtų sunku paaiškinti, kodėl jie priklauso tik vienai teropodų, dar vadinamų plėšrūnais, grupei, įskaitant ir velosiraptorius, kurį išgarsino filmas „Juros periodo parkas“. Arba kodėl tokie pluoštai turėtų atrodyti taip pat, kaip paukščių kūnus dengiančios plunksnos. Šios plunksnos ne tik priminė plunksnas – kai kurie plėšrūs ropliai, ypač *mikroraptorius*, galėjo sklandyti tarp medžių, padėdami plunksnų, dengiančių visas 4 galūnes (tiksliau pasakius, sparnus). Sunku patikėti, kad šios puikiai išlikusios plunksnos nebuvo plunksnos, net jeigu A. Fedučija tuo abejoja. Ar medžiuose gyvenęs ir tarp jų sklandęs mikroraptorius prisidėjo prie paukščių skrydžio kilmės, ar prie jų artimiausio giminaičio archopterikso išsivystymo, tebėra ginčijamas klausimas.

Išvada, kad dinozaurų teropodų plunksnos išsivystė dar prieš jiems pradėdant skraidyti, grindžiama paukščių plunksnų embrioninio vystymosi tyrimais ir ypač jų sąryšiu su krokodilų embrionų oda. Atminkite, kad krokodilai yra gyvi išlikę archozaurai – viešpataujantieji driežai, – kurie pirmą kartą pasirodė triase.

Krokodilai ir dinozaurai (įskaitant paukščius) pradėjo atsiskirti vieni nuo kitų viduriniame triase, maždaug prieš 230 mln. m. Ir vis dėlto, nepaisant šio senovinio atsiskyrimo, krokodilai jau turi plunksnų „sėklų“ – netgi šiandien jų embrionai turi lygiai tokius pat odos sluoksnius, iš kurių paukščiams išsivysto plunksnos, bei tokius pačius plunksnų keratinu vadinamus baltymus – lengvus, lanksčius ir tvirtus.

Plunksnų keratino daugiausia randama kai kuriuose sluoksniuose krokodilų embriono odos, kuri jaunikliams nusilupa, ir pasirodo žvynai (jų likučių randama ir suaugusių krokodilų žvynuose). Panašius žvynus paukščiai turi ant kojų ir pėdų; jie taip pat pasirodo tada, kai išsiritusiems jaunikliams nusilupa išoriniai odos sluoksniai.

Pasak Bolonijos universiteto plunksnų evoliucijos specialisto Lorencio Alibardžio (*Lorenzo Alibardi*), plunksnos auga iš tų pačių odos sluoksnių, ku-

rie nusilupa susiformavus žvynams. Embrioniniai žvynai ištįsta į vamzdines gijas, arba spaiglius. Tai yra tuščiaviduriai plaukus primenantys dariniai, kurių gyvos sienelės susidaro iš embrioninių odos sluoksnių, ir jie gali išleisti atšakas bet kur per visą savo ilgį.<sup>7</sup> Paprasčiausios plunksnos, pūkai iš esmės yra prie to paties taško pritvirtinti ūselių pluoštai, o skraidomosios plunksnos sudarytos iš centrinį stiebą gaubiančių šakelių. Gyvos šakelių sienelės pridengtos keratinu, kuris toliau degeneruoja, ir atsiveria šakotas keratino darinys – plunksna.

Krokodilų odos sluoksniai ir baltymai ne tik turi galimybę išauginti plunksnas – krokodiluose aptinkama netgi reikiamų genų, kurie tikriausiai buvo būdingi bendriems jų protėviams archozaurams. Pasikeitė tik vystymosi programos. Glaudus embrioninis plunksnų ir žvynų ryšys atskleidė (labai) keistą mutaciją, kuri priverčia žvynus, išlikusius ant paukščių kojų, virsti plunksnomis. Tačiau niekas dar neaptiko plunksnoto krokodilo.

Vadinasi, galima teigti, kad plunksnų prototipai iš tikrųjų išsiveržė netgi pro ankstyviausių archozaurų odą, taigi nenuostabu, kad teropodai pradėjo dengtis įvairiais „epidermio priedais“: nuo šerių (panašių kaip pterozaurų) iki nesudėtingų šakotų darinių, primenančių pūkinės plunksnas. Bet kam jos buvo naudojamos, jei jie neskraidė?

Yra daug tikėtinų atsakymų, kurių jokių būdu negalima atmesti, įskaitant seksualumo demonstravimą, jutimo funkcijas, apsaugą (pūkai pridėdavo dydžio ir buvo dygūs) ir, galiausiai, šilumos izoliaciją. Plunksnotų teropodų aktyvumas, be abejo, reiškia galimybę, kad jie buvo šiltakraujai, panašai kaip šiuo metu gyvenantys jų giminaičiai paukščiai.

Kiti įrodymai, patvirtinantys teiginį, kad teropodai – aktyvi dinozaurų grupė, bent reiškia, kad jie buvo ištvermingi. Dar vienas toks bruožas yra širdis. Kitaip nei driežai ir dauguma kitų roplių, krokodilai ir paukščiai turi galingas 4 kamerų širdis. Galima kelti prielaidą, kad tokia širdis buvo paveldimas visų archozaurų, taigi ir dinozaurų, bruožas.

4 kamerų širdis yra svarbi, nes kraujotakos sistemą dalija į dvi dalis. Viena jos dalis krauju aprūpina plaučius, o kita – visą organizmą. Tai turi du svarbius privalumus. Visų pirma, kraujas dideliu slėgiu gali būti pumpuojamas į raumenis, smegenis ir pan., nepažeidus jautrių plaučių audinių (priešingu atveju tai sukeltų plaučių edemą ir, greičiausiai, mirtį). Akivaizdu, kad aukštesnis kraujospūdis gali padėti daugiau nuveikti bei leisti užaugti didesniam.

Didelių dinozaurų smegenys nebūtų buvusios aprūpinamos krauju, jei jie nebūtų turėję 4 kamerų širdies. Antra, kraujotakos sistemos padalijimas perpus reiškia, kad deguonies prisotintas ir neprisotintas kraujas nesusimaišo – prisotintas grįžta iš plaučių, ir nedelsiant dideliu slėgiu perpumpuojamas kitur – taigi didžiausias kiekis deguonies perduodamas į tas vietas, kur jo reikia. Nors tokia širdis nebūtinai reiškia šiltą kraują (juk, galiausiai, krokodilai yra šaltakraujai), ji yra galimybė be šilto kraujo užtikrinti aerobinį pajėgumą.

Atrodo, ir teropodų kvėpavimo sistema buvo panaši į paukščių ir leido jiems būti labai aktyviems. Paukščių plaučiai veikia kitaip nei mūsų, ir yra veiksmingesni net nedideliame aukštyje. Dideliame aukštyje virš jūros lygio šis skirtumas tiesiog gniaužia kvapą. Paukščiai iš išretėjusio oro gali išgauti 2 arba 3 kartus daugiau deguonies nei žinduoliai. Štai kodėl migruojančios žąsys gali skristi tūkstančius pėdų aukščiau Everesto, o žinduoliai žiopčioja kur kas mažesniame aukštyje.

Mūsų pačių plaučiai sudaryti kaip tuščiaviduris medis – oras patenka per tuščiavidurį kamieną (trachėją), o tada pro vieną iš šakų (tracheolių) perduodamas į daugybę smulkių „vytelių“. Šių „vytelių“ galiukai neaštrūs – tai pusiau pripučiami balionėliai (alveolės), kurių sienelės apgaubtos plonais kapiliarais. Čia vyksta dujų apykaita. Čia raudonuosiuose kraujo kūneliuose esantis hemoglobinas atiduoda anglies dioksidą ir paima deguonį, prieš jiems vėl patenkant į širdį. Kvėpuojant visa „balionėlių“ sistema pripučiama ir išleidžiama tarsi dumplės, o jėgos kvėpuoti duoda krūtinės ląstos ir diafragmos raumenys. Neišvengiamas trūkumas yra tai, kad visas medis baigiasi aklavietėmis, kuriose oras vos vos maišosi, taigi nuolat reikalingas grynas oras. Ir netgi įkvėptas grynas oras susimaišo su išsineančiu panaudotu.

Paukščiai, priešingai, turi išmaniai patobulintus roplių plaučius. Įprasti roplių plaučiai yra labai paprasti – iš tiesų tai didelis „krepšys“, padalytas į menteles primenančius audinio lakštus, vadinamus pertvaromis, kurios suskirsto centrinę ertmę. Panašiai kaip ir žinduolių plaučiai, roplių plaučiai veikia tarsi dumplės, išplėsdami arba krūtinės ląstą, arba prie kepenų (krokodilų) prisitvirtinusių stūmoklių primenančią diafragmą, kurią atitraukia prie gaktikaulio prisijungę raumenys. Todėl krokodilo plaučiai šiek tiek primena švirkštą, kuriame diafragma yra sandarus stūmoklis, atitraukiamas, kad plaučiai galėtų prisipildyti.

Nors tai jau yra gana sudėtingas kvėpavimo mechanizmas, paukščiai nuėjo dar toliau ir pusę savo kūno pavertė sudėtinga vienkrypte tarpusavyje



sujungtų oro maišelių sistema. Užuoť tiesiogiai patekęs į plaučius, oras pirmiausia eina į oro maišelių sistemą ir tada galiausiai išeina per plaučius – taip užtikrinamas nuolatinis oro srautas, kuris pašalina mūsų uždaroms alveolėms būdingą „akligatvių“ problemą.

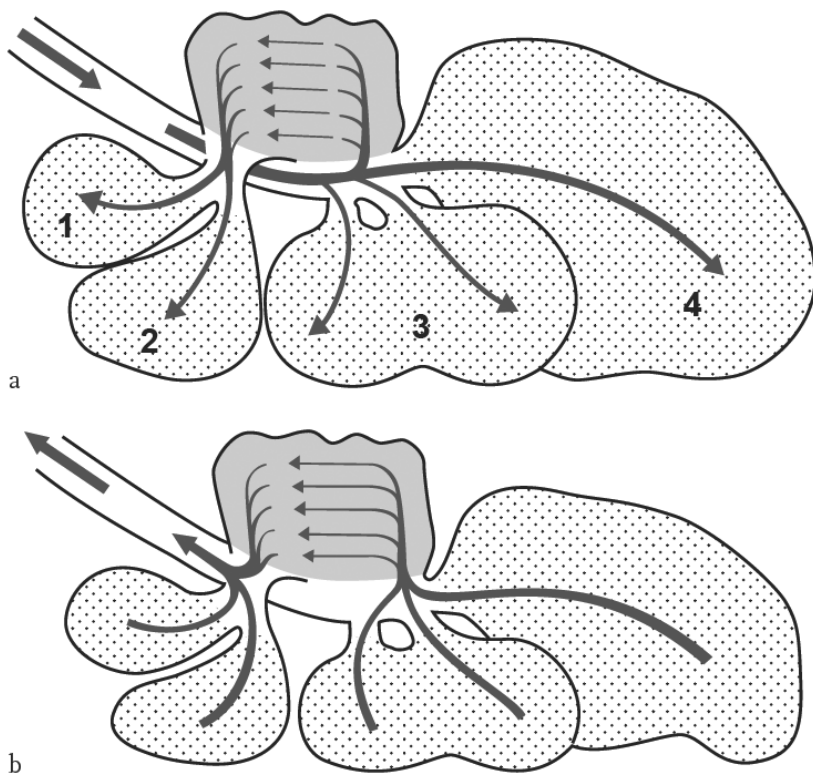
Oro srautas ratu eina per pertvarą (panašiai įtaisyť ir paukščiams) ir įkvepiant, ir iškvepiant judant apatiniams šonkauliams ir apatinei kvėpavimo maišelių sistemai, nes paukščiai neturi diafragmos. Be to, oro srautas yra nukreiptas tik į vieną pusę, o kraujas tuo pat metu teka priešinga kryptimi – taip sukuriamas priešingų srovių dujų apykaita, kuri užtikrina didžiausią keitimąsi (žr. 8.1 pav.).<sup>8</sup>

Klausimas, kuris šią sritį dešimtmečiams padalijo į piktai pasisakymais besišaudančias stovyklas – kokios rūšies plaučius turėjo teropodai. Ar stūmoklinius, panašius į krokodilų, ar vientiso srauto kaip paukščiai? Paukščių oro maišelių sistema apima ne tik minkštuosius pilvo ir krūtinės audinius, bet ir kaulus, įskaitant šonkaulius ir stuburą. Jau seniai žinoma, kad teropodų kauluose buvo ertmės – tose pačiose vietose kaip ir paukščių.

Maištingasis paleontologas Robertas Bakeris (*Robert Bakker*) šią išvadą, be kita ko, panaudojo aštuntajame dešimtmetyje dinozaurus atkurdamas kaip šiltakraujus gyvūnus – šį revoliucinį požiūrį įkvėpė Maiklo Kričtono (*Michael Crichton*) knyga (vėliau pagal ją sukurtas filmas) „Juros periodo parkas“.

Tačiau Dž. Rubenas drauge su kolegomis atkūrė kitokius teropodo plaučius su stūmokline diafragma (ją galbūt galima pastebėti vienoje ar dviejose fosilijose), kurie kur kas artimesni krokodilų plaučiams. Dž. Rubenas neneigia, kad teropodų kauluose buvo oro kišenės – prieštarauja tik dėl jų paskirties. Jis tvirtino: šių kišenių paskirtis – ne užtikrinti ventiliaciją, bet galbūt sumažinti kūno svorį arba dvikojams gyvūnams padėti išlaikyti pusiausvyrą. Dėl naujų duomenų trūkumo šiame ginče nebuvo galima priimti jokio sprendimo iki tol, kol 2005 m. *Nature* žurnale buvo paskelbtas esminį posūkį ženklantis Patriko O'Konoro (*Patrick O'Connor*) ir Leono Klesenso (*Leon Claessens*) (tuo metu dirbusių Ohajo Harvardo universitetuose) straipsnis.

P. O'Konoras ir L. Klesensas ėmėsi nuodugnusiai tirti oro maišelių sistemas – ėmėsi kelių šimtų dabar gyvenančių paukščių (ar veikiau, kaip jie sakė, „gelbėjimo pavyzdžių“, paimtų iš gyvosios gamtos reabilitacijos centrų ir muziejų). Į jų oro maišelius įšvirkstė latekso, kad geriau suprastų plaučių anatomiją. Visų pirma aptiko, kad ši sistema užima dar didesnę organizmo dalį, nei jie manė anks-



8.1 PAV. ORO SRAUTO JUDĖJIMAS PER PAUKŠČIŲ PLAČIUS (A) ĮKVEPIANT IR (B) IŠKVEPIANT. 1. RAKTIKAULINIS ORO MAIŠELIS. 2. KAUKOLĖS-KRŪTINĖS ORO MAIŠELIS. 3. UODEGOS-KRŪTINĖS ORO MAIŠELIS. 4. PILVO ORO MAIŠELIS. ORO SRAUTAS TA PAČIA KRYPTIMI NUOLAT JUDA PER PLAČIUS, O KRAUJAS TEKA Į KITĄ PUSĘ, IR TOKIU BŪDU VYKSTA YPAČ VEIKSMINGA PRIEŠINGŲ SROVIŲ DUJŲ APYKAITA.

čiau – ne tik kaklo ir krūtinės dalis, bet ir pilvo ertmę, iš kur ji įsiveržia į apatinę stuburo dalį – ši dalis yra esminė, aiškinant teropodų griaučių anatomiją.



Šis galinis (uodegos) oro maišelis yra visos paukščių plaučių sistemos varomoji jėga. Kvėpuojant jis suspaudžiamas, ir oras iš uodegos pusės stumiamas į plaučius. Kai šis uodegos maišelis vėl išsiplečia, oras siurbiamas iš susijusių krūtinės ir kaklo maišelių. Kalbant žargonu, jis veikia tarsi *įsiurbiamasis siurblys* arba dūdmaiškis, kuriame, spaudant maišus, per birbynes teka nenutrūkstamas oro srautas.

P. O’Konoras ir L. Klesensas savo išvadas mėgino pritaikyti iškastinių teropodų kaulų sandarai, įskaitant ir puikiai išsilaikiusius *Majungatholus atopus* griaučius, – šis teropodas tolimais giminystės ryšiais susijęs su paukščiais. Nors, atliekant daugumą tyrimų, daugiausia dėmesio buvo skiriama viršutinių stuburo slankstelių ir šonkaulių sandarai, jie ieškojo ertmių ir apatinėje stuburo dalyje – jos turėjo patvirtinti, kad teropodai pilve turėjo oro maišelius, – ir tyrėjai aptiko juos lygiai tose pačiose vietose, kaip ir paukščių. Ir ne tik tai.

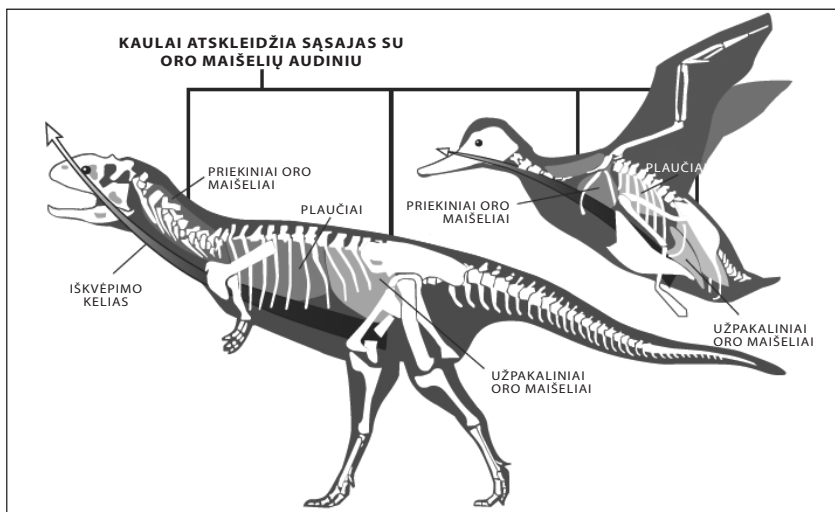
Stuburo, krūtinės ląstos ir krūtinkaulio anatomija atitinka įsiurbiamojo siurblio „specifikacijas“: apatinių šonkaulių ir krūtinkaulio didelis lankstumas leidžia suspausti uodegos oro maišėlį ir plaučius ventiliuoti iš uodegos pusės (panašiai kaip paukščių). Apskritai, nekyla abejonių, kad teropodai tikrai turėjo tokį pat plaučių sistemos „įsiurbiamąjį siurblį“ kaip paukščiai – tai pati našiausia kvėpavimo sistema iš visų stuburinių (žr. 8.2 pav.).

Taigi teropodai turėjo plunksnas, 4 kamerų širdį bei su išsisinio oro srauto plaučiais sujungtus oro maišelius – tai rodo, kad jie gyveno aktyvų gyvenimą, kuriam reikia ištvermės. Tačiau ta ištvermė neišvengiamai lėmė šilto kraujo atsiradimą (jei laikysimės aerobinio pajėgumo hipotezės). O galbūt jie buvo pusiaukelėje tarp šiuolaikinių krokodilų ir paukščių? Nors atrodo, kad plunksnos skirtos užtikrinti šilumos izoliaciją, kurios reikia šiltam kraujui, jos galėjo tarnauti ir kitiems tikslams, nes kiti įrodymai, įskaitant nosies kriaukles, ne tokie vienareikšmiai.<sup>9</sup>

Paukščiai, panašiai kaip ir žinduoliai, dažniausiai turi nosies kriaukles, tačiau jas sudaro ne kaulai (kaip žinduolių), o kremzlės, kurios gerai neišsilaiko. Iki šiol nerasta teropodų nosies kriauklių požymių, tačiau tik nedaugelis fosilijų išsilaikė pakankamai gerai, kad būtų galima apie tai spręsti. Tačiau Dž. Rubenas įtikinamai teigia: paukščių nosies kriauklės visada susijusios su platesnėmis nosies angomis. Matyt, subtilios nosies kriauklių vijos oro srautą sustabdo tiek, kad tai turi būti kompensuojama nosies angų padidėjimu. Tačiau teropodai neturėjo ypač plačių nosies angų, ir tai reiškia, kad nosies kriauklių greičiausiai iš tiesų nebuvo, o ne tai, kad jų neišliko.

Ar, neturėdami nosies kriauklių, jie galėjo būti šiltakraujai? Na, mes jų irgi neturime, tačiau esame šiltakraujai, taigi atsakymas gali būti „Taip“. Abejonių vis dėlto kyla.

Dž. Rubenas mano, kad aerobinis teropodų pajėgumas buvo didelis, tačiau jie *nebuvo* šiltakraujai, nors jo paties suformuluotoje aerobinio pajėgumo



**8.2 PAV. DINOZAURO *MAJUNGATHOLUS ATOPUS* ORO MAIŠELIŲ SISTEMOS REKONSTRUKCIJA, LYGINANT SU DABARTINIAIS PAUKŠČIAIS. ABIEJIS ATVEJAIŠ PLAUČIUS PALAIKO IR PRIEKINIAI, IR UŽPAKALINIAI ORO MAIŠELIAI, KURIŲ PĖDSAKAI DINOZAURO KAULUOSE TIKSLIAI ATITINKA PAUKŠČIŲ MAIŠELIUS. ORO MAIŠELIAI VEIKIA KAIP DUMPLĖS, KURIOS STUMIA ORĄ PER STANDŽIUS PLAUČIUS.**

hipotezėje teigiama: šie dalykai turi būti susiję. Ir nors žinome dar nepakankamai, kad galėtume tvirtai teigti, tačiau sutariama: teropodų medžiagų apykaita ramybės būsenoje buvo spartesnė, bet jie nebuvo tikrieji šiltakraujai.

Bent tokią istoriją pasakoja fosilijos. Tačiau daugiau informacijos – apie senovinį klimatą ir atmosferą – galima rasti uolose. Triase atmosfera buvo ypatinga ir turėjo ypatingą poveikį iškastinėms liekanoms. Tai padeda paaiškinti ne tik didelį aerobinių cinodontų ir teropodų pajėgumą, bet ir tai, kodėl įsiviešpatavo dinosauurai.

Daugiausia diskusijų apie fiziologiją vyksta neatsižvelgiant į istorinį kontekstą, ir jaučiama neišsakyta prielaida, kad praeitis nebuvo tokia, kaip dabartis, tačiau atranka veikė nekintamai tarsi traukos jėga. Tačiau taip nebuvo – tai patvirtina didysis rūšių išnykimas. Daugiausia visų laikų rūšių išnyko permo pabaigoje, maždaug prieš 250 mln. m., ir įsigalėjo viešpataujantys driežai, vėliau – ir dinosauurai.

Permo išnykimas dažnai vadinamas viena iš didžiausių gyvosios gamtos paslapčių – juk galiausiai toks įvardijimas padeda pritraukti tyrimams reikalingas subsidijas, – tačiau aplinkos fonas piešiamas plačiais potėpiais. Iš tiesų buvo ne vienas, bet du masiniai išnykimai, kuriuos skyrė 10 mln. m. trukęs beviltiško nuosmukio amžius.

Abu išnykimai atitiko tuometinį ilgalaikį vulkaninį aktyvumą – didžiausią lavos išsiveržimą Žemės istorijoje – po giliu bazalto sluoksniu buvo palaidoti beveik žemyno dydžio sausumos plotai. Lavos srautus veikiant erozijai, formavosi laiptuotas reljefas, dar vadinamas spąstais.

Pirmasis ugnikalnių aktyvumo epizodas kalno „spąstus“ suformavo Kinijoje maždaug prieš 260 mln. m. Po 8 mln. m. įvyko dar stipresnis išsiliejimas, „spąstus“ sukūręs Sibire. Ir Emė, ir Sibire lavos srautai išsiveržė pro sluoksnius, kuriuose buvo anglinių uolienų ir akmens anglių. Tai labai svarbu, nes, įkaitusiai lavai reaguojant su anglimi, į aplinką išsiskiria daug anglies dioksido ir metano – tai vyko per visus be išimties išsiveržimus ištisus tūkstantmečius.<sup>10</sup> Ir tai pakeitė klimatą.

Už permo išnykimą atsakingu „žudiku“ buvo įvardijamas visuotinis atšilimas, ozono sluoksnio mažėjimas, metano išsiskyrimas, dusimas dėl anglies dioksido, deguonies trūkumas, apsinuodijimas vandenilio sulfidu ir pan. Vientelis veiksnys, daugiau ar mažiau atmetas, – tai meteorito poveikis, nes nėra pakankamai įrodymų poveikio, panašaus į tą, kuris po 200 mln. m. galiausiai lėmė dinosauro viešpatavimo pabaigą.

Visi kiti šio sąrašo elementai yra daugiau nei tikėtini, o per pastaruosius kelerius metus buvo padaryta didelė pažanga pripažįstant, kad jie visi glaudžiai ir neatšaukiamai susiję. Toks vulkaninio aktyvumo epizodas, kaip suformavęs Emė spąstus, išjudina aplinkybių „traukinį“, ir jis įsibėgėja su kvapą gniaužiančia nenumaldoma jėga. Panašūs tarpusavio priklausomybės „traukiniai“ ir šiandien kelia grėsmę pasauliui, nors jų pradžios negalima palyginti.

Ugnikalniai aukštai į atmosferą išmetė metaną ir anglies dioksidą drauge su kitomis kenksmingomis dujomis, kurios pakenkė ozono sluoksniui, ir pasaulis tapo ypač šiltas ir sausas. Sausringi plotai išplito visame didžiajame Pangėjos žemyne. Didžiosios praėjusių karbono ir permo periodų anglinės pelkės išdžiūvo, ir pradėjo pūsti vėjai. Anglis sunaikino deguonį – menko oro gyvybingumas. Daugiau kaip per 10 mln. m. deguonies lygis sumažėjo nuo 30 % iki mažiau negu 15 %.

Šylančio vandens (kuriame deguonies tirpumas ribotas), atmosferoje mažėjančio deguonies ir didėjančio anglies dioksido kiekio derinys smelkte persmelkė jūrų gyvybę. Klestėjo tik bakterijos – nuodinga rūšis, kuri jau kartą viešpatavo mūsų planetoje prieš augalų ir gyvūnų amžių. Šios bakterijos milžiniškais kiekiais skleidė nuodingas vandenilio sulfido dujas. Jūros tapo tamsios ir negyvos. Mirstančių vandenynų išspjaunamos dujos dar labiau gadino orą,

ir pakrančių gyvūnai ėmė dusti. O tada trenkė dar vienas, paskutinis, likimo smūgis – išsiveržė didieji Sibiro „spąstai“, ir laidotuvių varpai suskambo dar kartą per 5 mln. m. Per šiuos 5 mln. m. jūroje ir sausumoje nedaug kas pasikeitė. Ir tik tada pasirodė pirmieji atsigavimo požymiai.

Kas gi išgyveno? Kad ir keista, panašiai pasakytina ir apie jūrą, ir apie sausumą: išgyveno tie, kurių kvėpavimo aparatas buvo geriausias, kurie galėjo susidoroti su mažu deguonies kiekiu, daugybe anglies dioksido ir bjauriu įvairių kenksmingų dujų mišiniu. Išgyveno tie, kurie galėjo užgniaužti kvapą ir vis tiek likti aktyvūs, tie, kurie gyveno urvuose, skylėse, pelkėse, nuosėdose arba tokiose vietose, kurių niekas kitas nebūtų rinkęsis.

Išgyveno tūkstančiai menkų organizmų, iš kurių galiausiai kilome ir mes. Štai kodėl taip svarbu, kad pirmieji sausumos gyvūnai, kurie atsigavo po didžiojo išmirimo, buvo listrozaurai – urvų kasėjai, pasižymintys statinės formos krūtinės ląsta, raumeninga diafragma, kauliniu gomuriu, platesniais kvėpavimo takais ir nosies kriauklėmis. Jie išnirio iš įgirusių urvų ir užėmė tuščius žemynus tarsi voverės.

Ši nuostabi istorija, kuri tęsėsi milijonus metų, įrašyta cheminėje uolų sandaroje – tai triaso atspaudas. Nuodingos dujos išnyko, tačiau anglies dioksido vis daugėjo – jo buvo 10 kartų daugiau nei dabar. Deguonies ir toliau buvo mažiau nei 15 %, o klimatas išliko be galo sausringas. Net jūros lygyje esantys gyvūnai žiopčiodami gaudė deguonį, kurio buvo tiek mažai, kaip šiandien dideliame aukštyje.

Toks buvo pirmųjų dinosauro pasaulis. Bet jie patys save traukė už užpakalinių kojų, išlaisvindami plaučius iš keistų driežams būdingų „spąstų“ – mat vienu metu negalėjo vaikščioti ir kvėpuoti. Drauge susiformavus oro maišeliams ir plaučių „įsiurbiamajam siurbliui“, dinosauro įsivyravimas, atrodo, pasidarė neišvengiamas.

Ši istorija išsamiai aprašyta reikšmingoje paleontologo Piterio Vardo (*Peter Ward*) knygoje „Iš oro“ (*Out of Thin Air*). Jis tvirtina (ir aš tikiu), kad archozaurai išstūmė cinodontus. Jų sėkmę lėmė pertvaromis suskirstyti plaučiai, kurie nežinomą būdu galėjo pasikeisti į nenutrūkstamo srauto paukščių plaučius. Teropodai buvo vieninteliai gyvūnai, kuriems nereikėjo visą laiką šnupuoti. Jiems nelabai reikėjo nosies kriauklių.

Ir ištvermė buvo ne papildomas privalumas, bet gyvybę gelbstinti jėga, laimingasis bilietas, padėjęs išgyventi tais siaubingais laikais. Tačiau kai kur su P. Vardu nenorėčiau sutikti. Sutinku, kad didelis aerobinis pajėgumas buvo

esminis išgyvenimo veiksnys, bet kodėl jis turėjo lemti spartesnę medžiagų apykaitą ramybės būsenoje?

P. Vardas iškėlė prielaidą (cituodamas aerobinio pajėgumo hipotezę), kad tai buvo ne visai tas pats, kas šiandien būdinga dideliame aukštyje gyvenantiems gyvūnams. Priešingai, raumenų masė buvo linkusi mažėti, o ištvermingesnieji – laimėti. Aerobinis pajėgumas gali būti didelis, tačiau medžiagų apykaita ramybės būsenoje sinchroniškai nedidėja, atvirkščiai – mažėja. Apskritai, sunkiais laikais fiziologija menksta, o ne klesti.

Vėl grįžtant į triaso periodą, kai didžiausias atlygis buvo išgyvenimas, ar tikrai galima teigti, kad gyvūnų medžiagų apykaitos sparta padidėjo be reikalo? Tai atrodo beveik paradoksaliai. Sakykime, aerobinis teropodų pajėgumas padidėjo, tačiau jiems nereikėjo tapti visiškai šiltakraujais gyvūnais, bent jau pradžioje. Po jų įsigalėję cinodontai, matyt, virto šiltakraujais. Ar jie tai darė varžydamiesi su didžiuliais archozaurais? O gal tai padėjo išlikti aktyviems tada, kai jie sumažėjo ir pradėjo naktinį gyvenimą? Abi šios galimybės atrodo tikėtinos, tačiau yra dar vienas atsakymas, man atrodo, priimtinesnis. Jis gali šiek tiek atskleisti uždangą, kodėl dinozaurai pasielgė visiškai priešingai – virto neregėtais milžiniais.



Mano patirtis rodo, kad vegetarai linkę būti „šventesni“ už mane, o gal tai kalba tik mano – mėsėdžio – kaltės jausmas. Tačiau jei tikėtume gana svarbiu straipsniu, kuris 2008 m. pasirodė gana nežymiam *Ecology Letters* žurnale, vegetarai turi kur kas daugiau kuo didžiulis, nei maniau iki šiol. Jei nebūtų buvę vegetarų, arba, tiksliau, žolėdžių jų protėvių, niekada nebūtume tapę šiltakraujais ir nebūtume įsisukę į spartų gyvenimo tempą. Šį straipsnį parašė Marselis Klasenas (*Marcel Klaassen*) ir Bartas Noletas (*Bart Nolet*) iš Nyderlandų ekologijos instituto. Jame pateikiami puikūs techniniai (stechiometriniai) apskaičiavimai, atskiriantys mėsėdžius ir žolėdžius.

Ištarkite žodį baltymai, ir dauguma žmonių pagalvos apie burnoje tirpstantį kepsnį. Iš tiesų, prote yra susidariusios labai tvirtos sąsajos, kurių šaknys neabejotinai siekia nesibaigiančias kulinarijos laidas, rodomas per televiziją, ir mitybos vadovus, pabrėžiančius baltymų ir mėsos ryšį. Jei norite organizmui duoti baltymų, valgykite mėsą, jei esate vegetaras – valgykite daug riešutų, grūdų ir pupinių. Be to, vegetarai paprastai daugiau žino apie maisto sudėtį nei mėsėdžiai.

Turime valgyti baltymų, kad su maistu gautume pakankamai azoto, kurio reikia, kad gamintųsi pakankamai baltymų bei DNR (abiem reikalingas azotas). Visai paprasta užsitikrinti subalansuotą mitybą, net jei esame vegetarai, nes esame šiltakraujai ir (pagal apibrėžimą) daug valgome. M. Klasenas ir B. Noletas įrodo, kad tai netinka šaltakraujams gyvūnams. Pagal apibrėžimą, jie ėda nedaug, ir dėl to per daug nesidžiaugia.

Labai mažai šiuolaikinių driežų yra žolėdžiai, ir nėra nė vienos žolėdės iš 2700 rūšių gyvačių. Žinoma, kai kurie driežai žolėdžiai, bet arba gana dideli, pavyzdžiui, iguanos, arba aktyvesni ir išlaiko aukštesnę kūno temperatūrą nei mėšėdžiai driežai. Kitaip nei mėšėdžiai, kurių kūno temperatūra greitai mažėja, ir jie apsnūsta, žolėdžiai driežai ne tokie lankstūs ir privalo neatsitraukti iš užimtų pozicijų.

Tradiciškai tai buvo priskiriama augalinių maisto medžiagų virškinimo sunkumams – jas pavyksta suvirškinti tik padedant žarnyno mikrobams, kurie šią atsparią augalinę medžiagą gali fermentuoti, ir šis procesas geriau vyksta aukštesnėje temperatūroje. Pasak M. Klaseno ir B. Noletos, galėjo būti ir kita priežastis, susijusi su azoto kiekiu augaliniame maiste. Jie ištyrė su maistu gaunamą azotą ir patvirtino, kad žolėdžiai driežai iš tiesų susiduria su rimtomis problemomis.

Įsivaizduokite, kad valgote tik žalėsius, kuriuose mažai azoto. Kaip galite jo gauti pakankamai? Galite mėginti įvairesnį maistą: šiek tiek maitos, sėklų ar pan., bet net ir tada azoto greičiausiai trūks. Arba galite valgyti daugiau. Jei, suvalgydami kibirą lapų, patenkinate, pavyzdžiui, 1/5 kasdienio azoto poreikio, tada per dieną tereikia suvartoti 5 kibirus. Bei jei taip darysite, atsiras anglies (augaliniame maiste jo netrūksta) perteklius, ir turėsite kažką jo atsikratyti. Kaip tai padaryti? Sudeginti – taip teigia M. Klasenas ir B. Noletas. Tik augalinė mityba puikiai tinka šiltakraujams gyvūnams, nes mes nuolat deginame kibirus anglies, tačiau tokia mityba netinka šaltakraujams.

Šiuo požiūriu galime dar kartą panagrinėti žolėdžius listrozaurus bei cinodontus – jie turėjo ir žolėdžių, ir mėšėdžių savybių. Gali būti, kad šiltakraujais virto cinodontai, nes jiems buvo būdingas didelis aerobinis pajėgumas, būtinas, siekiant išlikti tais sunkiais laikais drauge su žalumynų turtinga mityba? Papildoma ankstyvųjų žolėdžių, tik tapusių šiltakraujais, energija padėjo greitai atgauti jėgas, mylių mylias klajoti po sausringas triaso žemes arba žaibo greičiu pasislėpti nuo plėšrūnų. Plėšrūnams galbūt reikėjo mažiau maisto, kad



išlaikytų šiltą kraują, tačiau su šiais „energija įkrautais“ žolėdžiais jie turėjo varžytis vienodomis sąlygomis. Galbūt šilto kraujo jiems reikėjo tik tam, kad suspėtų drauge su vegetare Karaliene?

O ką galima pasakyti apie žymiausius istorijoje žolėdžius – milžiniškus dinosaurus? Ar, siekdami tų pačių tikslų, jie pasirinko kitą strategiją? Jeigu suvalgote 5 kibirus lapų, tačiau anglies pertekliaus nuolat nesudeginate, reikia kažkur jį saugoti – vis didėti iki milžino dydžio! Milžinai pasižymi ne tik didesne saugojimo talpykla – jų medžiagų apykaita taip pat neišvengiamai lėtesnė, vadinasi, lėtesnė ir baltymų, ir DNR apykaita, mažesnis su maistu gaunamo azoto poreikis.

Taigi yra du tikėtini būdai susidoroti su maistu, kuriame gausu žalumynų: stambus kūnas ir lėtesnė medžiagų apykaita arba smulkumas ir greita medžiagų apykaita. Atrodo, būtent šias strategijas pasirinko šių dienų žolėdžiai driežai, nors pasiekti tikrąją šiltakraujiškumo būseną galbūt trukdo įgimtas menkas aerobinis pajėgumas. (Kaip šie driežai išgyveno permo išnykimo metu, yra atskiras klausimas, kurio čia nenagrinėsime.)

Taigi kodėl dinosaurai tapo tokie dideli? Nepaisant daugelio bandymų, į šį klausimą kol kas nepavyko patenkinamai atsakyti. Pagal lyg tarp kitko paminėtą teoriją, kurią 2001 m. savo straipsnyje suformulavo Dž. Daimondas su kolegomis, tai lėmė didesnis to meto anglies dioksido kiekis – jis skatino didesnę pirminį vaisingumą, t. y. spartesnę augalų augimą. Tačiau Dž. Daimondo įžvalgoms trūko azoto aspekto, kurį pabrėžė M. Klasenas ir B. Noletas.

Didelis anglies dioksido kiekis iš tiesų galėjo paspartinti augalų augimą, tačiau jis taip pat mažino azoto dalį augalinėje medžiagoje – būtent tai atskleidė tyrimai, kuriuos paskatino reikmė sužinoti, kokį poveikį planetos aprūpinimui maistu gali turėti didėjantis anglies dioksido kiekis šiame amžiuje. Tad problema, su kuria susidūrė cinodontai ir dinosaurai, buvo dar aštresnė nei šiomis dienomis: kad su maistu gautų daugiau deguonies, turėjo suėsti dar daugiau žalumynų. Griežti vegetarai privalėjo suvartoti milžinišką kiekį maisto.

Galbūt tai paaiškina, kodėl teropodams nereikėjo šilto kraujo. Jie buvo mėsėdžiai, taigi azoto netrūko. Tačiau kitaip nei šnopusiantys cinodontai, kurie buvo priversti lygiomis sąlygomis varžytis su „energija įkrautais“ žolėdžiais, teropodai buvo „aukščiau visko“. Jie turėjo ypač veiksmingus įsiurbiamojo siurblio pobūdžio plaučius ir galėjo pavyti visa, kas juda.

Ir tik vėliau, kremos periode, šie plėšrūnai netikėtai tapo vegetarais. Vienas iš pirmųjų, kuriam taip atsitiko, buvo maniraptorius *Falcarius utahensis*, kurį 2005 m. *Nature* žurnale oficialiai aprašė tyrėjų grupė iš Jutos, o neoficialiai – Lindsėjus Zano (*Lindsay Zanno*), pavadindamas „neįtikėtinai keistu stručio, gorilos ir Edvardo Žirkliarankio“ hibridu. Tačiau tai buvo *bona fide*\* trūkstama grandis – pusiau žolėdis, pusiau plėšrūnas, – kuris gyveno tuo metu, kai pasirodė pirmieji gardūs žydintys augalai, gundantys rinktis vegetarišką gyvenimo būdą.

Šiame skyriuje nagrinėjamo klausimo požiūriu galbūt svarbiausias faktas apie *Falcarius* yra tai, kad jis priklausė maniraptoriams, iš kurių, kaip manoma, išsivystė paukščiai. Galbūt šilto kraujo atsiradimas paukščiams taip pat buvo susijęs su perėjimu prie vegetariškos mitybos, taigi ir didesniu azoto poreikiu? Tai nėra visiškai neįmanoma.

Ši skyrių baigiu spėliojimų gaida. Tačiau spėliojimus lengva pridengti rūbais hipotezės, kuri, kaip kažkada apibūdino Piteris Medavaras (*Peter Medawar*), yra vaizduotės šuolis į nežinią ir mokslo pasiekimų pagrindas. Reikia dar daug ką ištirti ir patikrinti, tačiau jeigu norime sužinoti mūsų spartaus gyvenimo būdo priežastis, pro fiziologijos dėsnius turime pažvelgti į pačią gyvybės istoriją – į tą mūsų planetos istorijos laikotarpį, kai vyravo ekstremalios sąlygos.

Galbūt tai labiau istorinis, o ne mokslinis pasakojimas, kai bandoma paaiškinti, kaip viskas vyko. Jeigu nebūtų buvę permio išnykimo bei užsitęsusio deguonies trūkumo padarinių, ar didelis aerobinis pajėgumas būtų tapęs gyvenimo ar mirties klausimu? Gal gyvybės tobulumo viršūnė būtų buvę paprasti roplių plaučiai? O jei šie keli dideliu aerobiniu pajėgumu pasižymintys gyvūnai nebūtų tapę vegetarai, ar būtų atsiradęs šiltas kraujas? Galbūt tai tik pasakojimas, tačiau mokslas turi teisę savo nuožiūra skaityti tolimą praeitį, kuri tik viena pajėgia išplėsti mūsų supratimą apie gyvybę.

---

\* *Lot.* iš tikrųjų.

## DEVINTAS SKYRIUS

# SĄMONĖ

## ŽMOGAUS PROTO IŠTAKOS

1996 m. popiežius Jonas Paulius II parašė garsųjį pranešimą Popiežiškajai mokslų akademijai ir pripažino, kad evoliucija yra daugiau nei hipotezė: „Išties verta dėmesio, kad šią teoriją, padarius nemažą atradimų įvairiose žinojimo srityse, tyrinėtojai vis labiau pripažįsta. Toks tyrinėjimų rezultatų sutapimas, nei siektas, nei suklasztotas, jau pats savaime yra svarus argumentas šios teorijos naudai.“

Nenuostabu – popiežius, „iš vonelės pildamas vandenį, nenorėjo išpilti ir kūdikio“. Toliau jis tvirtino, kad žmogaus protas visuomet išliks už mokslo srities ribų: „Evoliucijos teorijos, kurios pagal jas įkvėpusias filosofines idėjas teigia, jog protas susidarė, veikiant gyvosios materijos jėgoms arba yra vien šios materijos epifenomenas, nesuderinamos su tiesa apie žmogų. Jos negali pagrįsti žmogaus orumo.“

Anot popiežiaus, vidinė patirtis ir sąmoningumas, t. y. visas metafizinis mechanizmas, per kurį bendraujame su Dievu, išlieka nepavaldūs objektyviems mokslo vertinimams, o patenka į filosofijos ir teologijos valdas. Trumpai tariant, apie evoliuciją kalbėdamas kaip apie tikrovę, jis stengėsi nesumenkinti ir atitinkamo Bažnyčios mokymo.<sup>1</sup>

Ši knyga nėra apie religiją, ir aš visiškai nenoriu pulti nuoširdžių kitų žmonių įsitikinimų. Nepaisant to, mokslininkai laikosi evoliucinio požiūrio, vadovaudamiesi tais pačiais sumetimais, kurie ir paskatino popiežių rašyti apie evoliuciją („Bažnyčios mokymas tiesiogiai susijęs su evoliucijos klausimu, nes

jis apima žmogaus sampratą“). Jei protas yra ne evoliucijos produktas, kas gi jis? Koks proto santykis su smegenimis?

Akivaizdu, žmogaus smegenys yra fizinis objektas, taigi, galima teigti, jos yra evoliucijos produktas, kaip ir gyvūnų smegenys, kurioms būdingos beveik žmogaus smegenų struktūros. Bet jei taip, ar protas vystėsi drauge su smegenimis, sakykime, per pastaruosius kelis milijonus metų didėjant smegenų tūriui hominidų kaukolėse (dėl to mokslininkai nebesiginčija)? Toliau galima klausti, kaip materija ir dvasia sąveikauja: ar turėtų sąveikauti molekulių lygmenyje – kitaip tariant, kaip psichiką veikia smegenų traumos ar narkotikai?

Stivenas Džėjus Gouldas (*Steven Jay Gould*) pritarė teiginiui, kad yra 2 nesiejamos pažinimo sritys – mokslas ir religija, tačiau tvirtino: neišvengiamai yra kelios vietos, kuriose šios sritys turi susidurti ir susijungti – puikiausias to pavyzdys yra sąmonė. Tokio atskyrimo šaknys siekia pačias istorijos gelmes.

Kalbėdamas apie dvasios ir materijos atskyrimą, R. Dekartas tiesiog formalizavo idėją, kilusią antikoje (ją rėmė Bažnyčia): būdamas uolus katalikas, jis neturėjo pakankamai tvirto stuburo, kad ištvirtų tokį pasmerkimą, kokio iš Bažnyčios sulaukė Galileo Galilėjus (*Galileo Galilei*). Tačiau, įformindamas dvasios atskyrimą nuo materijos, kūną, netgi smegenis, R. Dekartas atvėrė moksliniams tyrimams.

Kitaip nei popiežius, šiandien tik nedaugelis mokslininkų visiškai pritaria R. Dekarto dualizmui, t. y. tiki dvasios ir materijos atskyrimu, tačiau ši idėja nėra absurdiška, o klausimai, kuriuos iškėliau anksčiau, gali būti tiriami mokslo. Tarkime, kvantinė mechanika vis dar turi atverti gilesnių kosminių proto paslapčių duris – apie tai kalbėsime toliau.

Aš citavau popiežių, nes manau, kad tai, ką jis sakė, peržengia religijos ribas ir atveria žmogaus savimonės esmę. Netgi nereligingi žmonės gali jausti, kad jų dvasia – tai kažkas nematerialaus, išskirtinai žmogiško, ir ji tam tikru požiūriu yra už „mokslo ribų“. Kai kurie, perskaite šias mintis, gali teigti esą mokslas neturi teisės vadovauti sąmonei. Galbūt dar keletas tvirtins: evoliucijos mokslai viršesni už kitas disciplinas – robotų techniką, dirbtinį intelektą, lingvistiką, neurologiją, farmakologiją, kvantinę fiziką, filosofiją, teologiją, meditaciją, dzeną, literatūrą, sociologiją, psichologiją, psichiatriją, antropologiją, etologiją ir kitas – kurioms gali būti reikalingos jų įžvalgos.

Tad iš pat pradžių norėčiau pasakyti, kad šis skyrius yra kitoks nei kiti šios knygos skyriai, nes mokslas ne tik nežino atsakymų į anksčiau keltus klausi-

mus: šiuo metu vos galime įsivaizduoti, kaip, remiantis žinomais fizikos, biologijos ar informatikos dėsniais, tokie atsakymai atrodytų dabar.

Sąmonės tyrinėtojai iki šiol nesutaria, koku tiksliai būdu neuronų sužadimas asmeniui gali sukelti intensyviuosius pojūčius. Yra ir daugiau priežasčių, raginančių kelti klausimus, ką mokslas gali papasakoti apie žmogaus proto veikimą, ir kurioje vietoje jis atsitrenkia į nežinojimo sieną. Popiežiaus pozicija, mano nuomone, gali būti pateisinama tuo atžvilgiu, kad nežinome, kaip „paprasčiausia materija“ generuoja mums suvokiamą proto nematerialumą.

Iš tiesų net nežinome, kas gi yra toji „paprasčiausia materija“, arba kodėl egzistuoja materija, o ne absoliutus niekas (kai kuriais atvejais keliamas panašus klausimas, kodėl egzistuoja sąmonė, o ne nesąmoningas informacijos apdorojimas). Tačiau manau – gal turėčiau sakyti – tikiu, kad evoliucija gali paaiškinti daugumą eterinių žmogaus proto savybių.<sup>2</sup> Ir dar daugiau – jau žinomas žmogaus proto veikimas yra kur kas nuostabesnis, nei naivus protas gali įsivaizduoti, taigi pagrįsti žmogaus orumą pakanka biologinio proto didybės.

Yra ir kitų įtikinamų priežasčių, kodėl mokslas turi priimti šį iššūkį. Žmogaus protas ne visuomet yra tas brangus mūsų vertinamas indas. Protinę veiklą gali sunaikinti smegenų ligos. Alzheimerio liga žiauriai nugremžia visus asmenybės sluoksnius, galiausiai atskleisdama po jais slypintį asmenybės nebuvimą. Jau per dažna negalia tampa sunki depresija – tas piktybinis liūdesys, protą naikinantį iš vidaus. Šizofrenija iš sąmonės gelmių ištraukia tikras ir siaubingas iliuzijas, o epilepsijos priepuolių metu sąmonė kartais apskritai ištirpsta, atverdama mūsų zombį. Šios būsenos gąsdinamai atskleidžia žmogaus proto trapumą.

F. Krikas įžvalgiai teigia: „esame tik neuronų rinkinys“, tačiau jis dar galėtų pridėti, kad tarpusavyje jie sujungti tarsi trapus kortų namelis. Jei visuomenė ir medicina nesistengtų suprasti ir išgydyti šių psichikos ligų, jos paneigtų patį gailėstingumą, kurį taip vertina Bažnyčia.

Bet koks mokslinis sąmonės nagrinėjimas susiduria su sąvokos apibrėžtimi: sąmonė visiems reiškia viską. Jei sąmonę galima apibrėžti kaip *savęs* suvokimą pasaulyje – platų autobiografinį suvokimą, kuris visuomenės, kultūros ir istorijos kontekste apibrėžia asmenį, turintį vilčių ir nerimaujančią dėl ateities, tai pridengiant tankiu ir atspindinčiu kalbos simbolizmu – tokiu atveju žmonija iš tiesų unikali.

Tarp žmonių ir gyvūnų – bedugnė, nė vieni iš jų negali būti apdovanoti tuoj pat, netgi mūsų protėviai ir maži vaikai. Galbūt šio požiūrio išaukštinimas

prasidėjo nuo keistos amerikiečių psichologo Džuliano Džeinso (*Julian Jaynes*) knygos „Sąmonės kilmė dviejų pakopų proto kontekste“ (*The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*). Jis gražiai tai apibendrina: „Vie- nu metu žmogaus prigimtis buvo padalyta į dvi dalis: vadovaujanti dalis buvo pavadinta Dievu, o dalis sekėja – žmogumi. Nė viena dalis nebuvo sąmoninga.“

Stebina, kad, anot Dž. Džeinso, šis padalijimo laikotarpis buvo visai neseniai – tarp „Iliados“ ir „Odisėjos“ (tiesa, jis teigė, kad šiuos vienas į kitą nepanašius epus sukūrė skirtingi „homeraĩ“, ir juos skiria šimtai metų). Esminis dalykas, kad, pasak Dž. Džeinso, sąmonė yra tik socialinis ir kalbinis konstruktas, be to, visai nesenas. Protas sąmoningas tik tada, kai jis supranta *esąs* sąmoningas, – kai tai galiausiai suvokiama.

Kaip argumentas šis teiginys gal ir geras, tačiau bet kuris argumentas, kuriuo kartelė pakeliama taip aukštai, kad nelieka vietos net „Iliados“ autoriui, yra per daug griežtas. Jei teigiama, kad „Homeras vyresnysis“ nebuvo sąmoningas, neįau jis buvo bedvasis zombis? Jei ne, tada turi būti išskirtas sąmonės spektras, kuriame aukščiausioji sąmonės forma būtų savęs kaip laisvo ir raštin- go visuomenės nario suvokimas, o žemesniosios formos būtų tiesiog žemesnės.

Dauguma neurologų išskiria dvi sąmonės formas, susijusias su smegenų sandara. Terminai ir apibrėžimai gali skirtis, tačiau iš esmės „tęstinė sąmonė“ atspindi visą šlovingą žmogaus protą, lėmusį kalbos, visuomenės ir pan. susi- formavimą. „Pradinė sąmonė“, arba „sąmonės branduolys“, kur kas artimesnis gyvūnų pasauliui – tai emocijos, motyvai, skausmas, savo ribotumo suvokimas, autobiografinė perspektyva, mirties supratimas ir objektų pasaulyje suvokimas. Tai pasaulis lapės, kuri, įstrigusi į spąstus, nusigraučia koją, kad galėtų pabėgti.

Žymus australų mokslininkas Derekas Dentonas (*Derek Denton*) puikioje savo knygoje apie gyvūnų sąmonę „Pirmapradės emocijos“ (*The Primordial Emotions*) teigia: gyvūnas iš tiesų suvokia patekęs į spąstus ir nori išsilaisvinti. Taigi gyvūnui būdingas tam tikras savęs suvokimas ir veiksmų planavimas.

Paradoksas, kad „tęstinė sąmonė“ nesunku paaiškinti, nors žodis nesun- ku čia gal ir ne visai tinkamas. Kalbant apie žemesnio lygmens „sąmoningu- mą“, nėra jokios „tęstinės sąmonės“, kuri peržengtų fizinio pasaulio suvokimą. Tai tiesiog smegenyse veikianti sudėtinga lygiagrečioji schema, įausta į mar- gą visuomenės raštą. Pavyzdžiui, visuomenė pati savaime nėra stebuklingas reiškinys. Akivaizdu, kad uždarame urve užaugintam vaikui bus būdinga tik

## SĄMONĖ

primityvi sąmonė, o šių dienų Paryžiuje išaugęs kromanjonietis nuo prancūzų greičiausiai nesiskirtų. Tą patį galima pasakyti ir apie kalbą.

Dauguma žmonių negali įsivaizduoti jokios išsivysčiusios sąmonės formos tų asmenų ar rūšių, kurie neturi kalbos: beje, tai beveik tiesa. Tačiau kalboje nėra jokios magijos. Kalbą galima užprogramuoti taip gerai, kad robotas pajėgs išlaikyti intelekto testą (tarkime, Tiuringo). Tačiau robotas niekad netaps sąmoningas – jis neigis net sąmonės pradmenų.

Atmintis irgi yra programuojama – ačiū Dievui, kompiuteris gali atsiminti kiekvieną mano parašytą žodį. Programuojamas netgi mąstymas – prisiminkite šachmatais žaidžiantį kompiuterį „Gili mintis“ (*Deep Thought*) (šis pavadinimas buvo pasiskolintas iš fantastinės komedijos „Kelautojo su kosmostopu vadovas po galaktiką“ (*Hitchhiker's Guide to the Galaxy*)) ir jo įpėdinį „Gilioji žydrynė“ (*Deep Blue*), kuris 1997 m. įveikė tuometinį pasaulio šachmatų čempioną Garį Kasparovą.<sup>3</sup> Jei žmonės pajėgia užprogramuoti tokius dalykus, be abejonės, tai galėjo atlikti ir natūralioji atranka.

Aš nenoriu sumenkinti visuomenės, atminties, kalbos ir apmąstymo svarbos žmogaus sąmonei – sąmonė yra visų jų šaltinis. Svarbiausia, kad visi jie priklauso nuo gilesnės sąmonės formos – jausmų. Lengva įsivaizduoti robotus, kurių intelektas būtų toks kaip Giliosios žydrynės – jie kalbėtų, turėtų išorinio pasaulio jutiklius, galima sakyti, beribę atmintį, tačiau nebūtų sąmoningi. Jie negalėtų patirti džiaugsmo, liūdesio, meilės ar išsiskyrimo skausmo, nesuvoktų pažinimo džiaugsmo, vilties, tikėjimo arba gailestingumo, nesuvirpėtų nuo subtilaus kvapo ar šmės-telėjusio kūno, nepatirtų saulės kaitros ar širdperšos, pirmąsias Kalėdas praleidus toli nuo namų. Galbūt vieną dieną robotai pajėgs tai justti savo krumpliaračiais, tačiau šiandien užprogramuoti skausmo vis dar nesugebame.

Tą patį galima pasakyti ir apie vidinį gyvenimą, kurį popiežius apibrėžė kaip patenkantį į Bažnyčios mokymo sritį, ir kurį Australijos filosofas Deividas Čalmersas (*David Chalmers*) tuo metu apibūdino kaip „sudėtingą sąmonės problemą“. Nuo to laiko jau būta nemažai bandymų spręsti sąmonės problemą, kai kurie jų buvo netgi gana sėkmingi, tačiau sudėtingosios D. Čalmerso problemos dar niekam nepavyko įveikti.

Net ikonoklastinis filosofas Danielis Denetas (*Daniel Dennett*), kaltinamas tuo, kad neigė problemą apskritai, iš tikrųjų ją praleido savo garsiajame 1991 m. išleistame veikle „Paaiškinta sąmonė“ (*Consciousness Explained*).

Baigdamas skyrių apie pradinius pojūčius (subjektyvius), klausia, kodėl neuronų sužadinimas neturėtų sukelti kokių nors jausmų? Iš tiesų, kodėl gi ne, bet ar tai nėra būdas išvengti klausimo sprendimo?

Aš esu biochemikas ir suvokiu šios mokslo srities ribas. Jei norite daugiau sužinoti apie kalbos svarbą, formuojant sąmonę, skaitykite Stiveno Pinkerio (*Steven Pinker*) darbus. Biochemijos neįtraukiau į sąrašą dalykų, kurie gali pretenduoti turį specialių žinių sąmonės srityje. Bet nors tik nedaugelis biochemikų kada nors bandė rimtai nagrinėti sąmonę, K. Diuvas gali būti išimtis.

Tik ar D. Čalmerso „sudėtinga problema“ iš tikrųjų yra biochemijos problema? Kodėl neuronų sužadinimas apskritai turi sukurti kokį nors pojūtį? Kodėl per membraną besiskverbiantys kalcio jonai verčia rausti iš gėdos, jausti baimę, pyktį ar meilę? Nepamirškite šio klausimo, kai nagrinėsime sąmonės branduolio esmę, – kaip ir kodėl tęstinė sąmonė turi būti grindžiama pirmaprade sąmone, ir kodėl pirmaprade sąmonė „įjungia“ jausmus. Net jei negalio atsakyti į šį klausimą, tikiuosi – jį apibrėžiau gana aiškiai, kad galėtume matyti, kur verta ieškoti atsakymo. Nemanau, kad atsakymo reikia ieškoti danguje. Greičiausiai jis čia, žemėje, tarp paukščių ir bičių.



Pirmas dalykas, kurį turime padaryti, tai atsisakyti minties, kad sąmonė yra kažkas, ką ji primena. Taip nėra. Jei galima taip sakyti, sąmonė atrodo vientisa, nesuskaldyta į gabalus. Mūsų galvose neteka atskiri sąmonės srautai – būdingas vienas visa apimantis suvokimas, kuris nuolat keičiasi, kiekvieną sekundę pereidamas iš vienos į kitą niekad nesikartojančią būseną. Sąmonė – tarsi mūsų galvoje rodomas filmas, tik vaizdai čia sujungti ne tik su garsais, bet ir su kvapais, lytėjimu, skoniu, emocijomis, jausmais, mintimis – ir visa tai susieta su savimone, kuri visą mūsų esybę ir jos patirtį sujungia su kūnu.

Nereikia ilgai galvoti, kad suprastume, jog smegenims būtina sensorinė informacija, kuri tam tikru būdu sukuria darnios visumos *suvokimą*. Informacija, gaunama iš akių, ausų, šnervių, lytėjimo, atminties arba vidurių, patenka į skirtingas smegenų dalis, kur ji atskirai apdorojama ir galiausiai pasireiškia skirtingu spalvos, kvapo, lytėjimo ar alkio pojūčiu. Nėra nieko „tikro“ – visa tai tik nervų sužadinimas, tad kartkartėmis painiojame objektus, kuriuos suvokiame iš garsų ar kvapų.



Nors akies tinklainėje iš tikrųjų susidaro apverstas pasaulio vaizdas, smegenų „ekrane“ jis tiesiogiai nematomas – pakeičiamas tam tikrais regos nervu nusenkančiais neuronų sužadavimo signalais (panašiai veikia fakso aparatas). Labai panašiai viskas vyksta, kai ką nors girdime ar užuodžiame, – į mūsų galvą patenka ne realūs dalykai, o tik sužadunami neuronai. Apie pilvo skausmą irgi praneša nervai.

Tačiau visus šiuos dalykus kiekvieną akimirką patiriame sąmoningai, tarsi galvoje matytume multimedijos filmą, kuriame skaitmeniniai taškai ir brūkšneliai vėl verčiami „tikro pasaulio“ suvokimu su visais jo vaizdais ir kvapais. Ir, žinoma, šį atkurtą pasaulį suvokiame ne kaip kažką, esantį mūsų galvose, tačiau viską projektuojame iš naujo „kaip priklauso“. Tarsi pasaulį suvoktume iš vienos ciklopiškos angos kaukolės priekyje – tai akivaizdžiai yra iliuzija.

Akivaizdu – suvokimas tėra daugybės neuronų žaismas. Lygiai taip pat akivaizdu, koks svarbus yra tinkamas informacijos perdavimas. Nutrūkus regos nervams apankama. Ir atvirkščiai, implantuotais elektrodais stimuliuojant regos centrus aklo žmogaus smegenyse, jis vėl matys tiesiogiai smegenyse atkurtus vaizdus, net jei iki šiol jie tebėra elementarūs. Tai yra dirbtinės regos pagrindas – ši technologija žengia dar tik pirmuosius žingsnius, tačiau iš esmės tai jau tapo įmanoma. Remiantis tomis pačiomis prielaidomis, buvo sukurtas filmas „Matrica“ (*The Matrix*), kuriame rodoma, kad visi pojūčiai imituojami.

Šį nenutrūkstamą neuronų žaismą išduoda šimtai neurologijos analuose aprašytų keistų, įdomių arba tiesiog antgamtinių atvejų, ir sakoma, „kad tai vyko iš Dievo malonės“ – šiuos archyvus veiksmingai ir atsargiai tyrinėjo Oliveris Saksas (*Oliver Sacks*) bei kiti mokslininkai. „Žmogus, kuris savo žmoną supainiojo su skrybėlė“, turbūt yra žymiausias atvejis – jis netgi buvo panaudotas kamerinėje Maiklo Naimeno (*Michael Nyman*) operoje (vėliau sukurtas filmas). Vyras, apie kurį kalbama, apibūdintas tik kaip Dr. P., buvo žymus muzikantas, kentėjęs nuo vadinamosios regos agnozijos, t. y. kai rega yra nepriekaištinga, tačiau žmogus nepajėgia atpažinti ir tinkamai identifikuoti objektų, ypač veidų.

Konsultuodamasis su O. Saksu, pėdą sumaišė su batų, o vėliau, norėdamas pasiimti skrybėlę, čiupo už galvos žmonai. Už vaizdų apdorojimą atsakingos jo smegenų sritys degeneracija (kurią sukėlė neįprasta Alzheimerio ligos forma) regimą pasaulį sumenkino iki beprasmių abstrakčių figūrų, spalvų ir judesių raštų, tačiau protas ir nuostabūs muzikiniai gebėjimai liko nepažeisti.

Laimei, tokio pobūdžio degeneracija yra reta, nors neurologijos požiūriu – tai tik vienas iš daugelio tokios rūšies sutrikimų. Kita panaši būklė, kurią sukelia tam tikrės smegenų zonos pažeidimas, vadinama Kapgraso sindromu. Šiuo atveju pacientas puikiai atpažįsta žmones, tačiau jam kyla keistas įsitikinimas, kad sutuoktinius ar tėvus pakeitė jų vietą užėmę antrininkai. Tai atsitinka, bendraujant tik emociškai artimiems asmenims – draugams ar šeimos nariams, sutrikus smegenų regos centrus ir emocinius centrus (migdolinių kūną) jungiantiems nervams.

Jeigu šias sąsajas pažeidžia insultas arba navikas, tada, matant brangų žmogų, sutrikdomas įprastas emocinis atsakas – tai galima aptikti melo detektoriumi. Kaip juokauja neurologas V. S. Ramachandranas (*V. S. Ramachandran*), net jei nesate geras žydų berniukas, išvydus motiną, rankos suprakaituoja. Prakaitas keičia odos varžą, ir būtent tai registruojama melo detektoriumi.

Tačiau nuo Kapgraso sindromo kenčiantiems žmonėms prakaitas neišsiskiria – akys jiems liudija, kad tai jų motina, tačiau emociniai centrai šio įspūdžio negali pagrįsti. Atrodo, ši emocinė tuštuma ir yra minėto sindromo pagrindas. Smegenys, kurioms ima trūkti nuoseklumo, iškelia absurdišką, tačiau tarsi logišką prielaidą, kad asmuo yra apsišaukėlis. Emocijos galingesnės už intelektą, tiksliau, gal jos sudaro intelekto pagrindą.

Dar keistesnis yra Kotaro sindromas. Šiuo atveju susidaro dar didesnis trūkumas – visi pojūčiai atsiejami nuo emocinių smegenų centrų, ir visos emocijos išnyksta. Jeigu joks suvokimas nekelia jokių emocijų, peršasi keista, nors ir „logiška“ išvada, kad asmuo turi būti miręs. Logika pakeičiama taip, kad apimtų emocijas. Iš tikrųjų, Kotaro sindromą turintis pacientas mano, kad jis yra miręs, ir netgi gali tvirtinti jaučiąs pūvančio kūno kvapą. Jis gali sutikti, kad mirusieji nekraujuoja. Tačiau jei įdursite adata, iš pradžių labai nustebis, o vėliau pripažins, kad kraujuoja ir mirusieji.<sup>4</sup>

Aš kalbu apie tai, kad tam tikros smegenų traumos (pažeidimai) gali sukelti savitus *atkuriamuosius* trūkumus. Nenuostabu, kad tos pačios srities pažeidimas sukelia tą pačią problemą skirtingiems žmonėms ar netgi gyvūnams. Kai kuriais atvejais tokie pažeidimai turi įtakos jutimų suvokimui – sukelia judesio aklumą arba kitą keistą sindromą, kai asmuo negali suvokti judančių objektų, tačiau visą pasaulį mato nutviektą šviesos blyksnių (tarsi diskotekoje), todėl jam beveik neįmanoma suvokti, koku greičiu juda automobilis,

ar net prisipilti taurės vyno. Kitais atvejais panašūs pažeidimai iškreipia savęs suvokimą.

Pacientai, sergantys praeinančiąja globaline amnezija, negali nei planuoti, nei atsiminti – jie suvokia tik tai, kas yra čia ir dabar. Antono sindromu sergantys pacientai yra akli, bet tai neigia. Nuo anozognozijos kenčiantys pacientai tvirtina, kad jie jaučiasi gerai („Daktare, aš išsiuos“), tačiau jų būklė gali būti sunki – pavyzdžiui, jie gali būti paralyžiuoti. Skausmo asimbolija sergantys pacientai jaučia skausmą, tačiau dėl to nepatiria kančios.

Galiausiai tie, kurie kenčia nuo aklaregystės, nesuvokia, kad gali matyti (jie tikrai akli), tačiau paprašyti vis dėlto gali teisingai parodyti objektus. Aklaregystė buvo nustatyta ir makakoms, kurios buvo mokytos reaguoti, kai mato (arba nemato) tam tikrą objektą. Tai viena iš daugelio paralelių, kurias atskleidžia gyvūnų sąmonę tiriančių naujosios kartos psichologų eksperimentuotojų išradinumas.

Bet kokie savotiški yra šie trūkumai! Pastarąjį šimtmetį ar net ilgiau atliekami kruopštūs neurologų tyrimai padėjo atskleisti jų buvimą, atkuriamumą ir priežastis (kai jautimas ribojamas dėl tam tikros smegenų dalies pažeidimo). Panašiai kai kurios jungtys prarandamos, tam tikras smegenų vietas stimuliuojant elektrodais. Toks metodas prieš kelis dešimtmečius daugiausia buvo taikomas šimtams žmonių, sergančių nepagydoma epilepsija, kurios sunkiausia forma sukelia generalizuotus traukulius, lemiančius katastrofišką sąmonės netekimą, o kartais demenciją arba dalinę paralyžių.

Daugelis pacientų, kuriems dėl epilepsijos buvo atliekamos neurochirurginės intervencijos, tiksliai ir sąmoningai sutiko, kad su jais būtų atliekami bandymai, ir chirurgui pasakydavo apie savo pojūčius. Taigi taip sužinojome, kad tam tikrės smegenų srities stimuliavimas sukelia visa apimančią sunkiosios depresijos jausmą, kuris baigiasi, nustojus stimuliuoti, o kitų sričių sužadimas kelia regėjimus arba primena muzikos kūrinį ištraukas. Stimuliuojant tam tikrą tašką, užtikrinamas „išėjimas iš kūno“, kai atrodo, kad siela kažkur sklendo.

Šiuo metu panašūs rezultatai gaunami naudojant sudėtingą diferencialinį mechanizmą – šalmą, skleidžiantį nestiprius elektromagnetinius laukus, kurie be operacijos sužadina tam tikrų smegenų sričių pokyčius. Toks šalmas tapo plačiai žinomas XX a. dešimtojo dešimtmečio viduryje, kai Maiklas Persindžeris (*Michael Persinger*) iš Laurentijaus universiteto Kanadoje pradėjo stimuliuoti smegenų laiko skiltis (esančias už smilkinų srities) ir nustatė, kad patikimai

daugumai (80 %) tirtų asmenų tai sukėlė mistines vizijas, Dievo ar net velnio buvimo patalpoje pojūtį. Taigi šiam prietaisui prigijo Dievo šalmo pavadinimas, nors Švedijos mokslininkų komanda tyrimo išvadomis ir suabejojo.

Didžiosios Britanijos mokslinės-dokumentinės televizijos programos kūrėjai, iš anksto džiūgaudami dėl numatomos išdaigos, 2003 m. pakvietė į Kanadą žymų ateistą R. Dokinsą išbandyti „Dievo šalmo“. Jų nusivylimui, „Dievo šalmas“ jam tikrai nesužadino jokios transcendentinės patirties.

M. Persindžeris šią nesėkmę aiškino tuo, kad pagal psichologinę matavimo skalę R. Dokinsio smegenų laiko skilčių jautrumas įvertintinas labai menkai. Arba, kitaip sakant, už religinę patirtį atsakingos jo smegenų sritys nejautrios net palankiausiomis sąlygomis.

Tačiau žymios rašytojos ir eksperimentinės psichologijos atstovės Sjužanos Blekmor (*Susan Blackmore*) įspūdžiai buvo kur kas stipresni: „Persindžerio laboratorijoje atlikusi atitinkamas procedūras, išgyvenau ypatingą patirtį, kokios mano gyvenime dar nebuvo... Labai nustebčiau, jei paaiškėtų, kad tai placebo efektas.“ Beje, M. Persindžeris stengiasi pabrėžti, kad fizinis mistinės patirties sužadinimas neneigia Dievo egzistavimo: „turi būti kažkoks fizinis antgamtinės patirties perdavimo mechanizmas“.

Vadinasi, smegenys, lygiai taip kaip ir protas, akivaizdžiai suskirstytos į specializuotas sritis. Dar nedaug žinome apie vidinį jų veikimą, tačiau tokį smegenų vaizdą patvirtina ir haliucinacinių narkotikų poveikis – narkotikai tiksliai veikia tam tikras smegenų vietas. Sakykime, haliucinogenai LSD, psilocibinas (jo yra grybuose) ir meskalinas (kai kuriuose kaktusuose esantis junginys) veikia specialiuose neuronuose (piramidiniuose) aptinkamą atitinkamą receptorių (serotonino), o minėti neuronai yra išsidėstę tam tikrose smegenų srityse (5-ame smegenų žievės sluoksnyje).

Kaip pastebėjo Kalifornijos technologijos instituto Pasadenoje neurologas Kristofas Kochas (*Christof Koch*), jie nesujaukia smegenyse susidarančių grandinių visumos. Į konkrečias smegenų zonas panašiai nukreiptas daugelio anti-depresantų bei vaistų nuo psichozės veikimas. Vadinasi, sąmonė taip pat neatsiranda tik tam tikroje vientisoje smegenų srityje ar nekyla iš bendro pobūdžio smegenų veiklos – ją lemia būdinga smegenų anatomija, kai daugelis smegenų sričių vieningai veikia tuo pat metu. Reikia pridurti, kad dėl tokio aiškinimo kol kas nesutaria net neurologai, tačiau toliau šią nuomonę mėginsiu pagrįsti.



Rega yra kur kas sudėtingesnė, nei atrodo, bet galime ir nesuvokti šio sudėtingumo, tik stebėdami save arba apmąstydami tai, kaip ir ką matome. To negali numatyti logiškai mąstantis filosofas. Sąmoningas mūsų protas neturi prieigos prie nervinių regos mechanizmų. Tai, koku mastu regimoji informacija suskaidoma į sudedamąsias dalis, buvo menkai suvokiama iki novatoriškų Deivido Habelio (*David Hubel*) ir Torsteno Vyzelio (*Torsten Wiesel*) tyrimų, kuriuos jie atliko Harvarde šeštajame dešimtmetyje. Už šiuos tyrimus drauge su Rodžeriu Speriu (*Roger Sperry*) 1981 m. jiems buvo skirta Nobelio premija.

Įterpę elektrodus į smegenis katėms, kurioms buvo atlikta anestezija, D. Habelis ir T. Vyzelis atskleidė, kad atskiri matomo vaizdo aspektai sužadina skirtingas neuronų grupes. Dabar žinome, kad kiekvienas vaizdas suskaidomas į 30 ar daugiau kanalų, todėl kai kurie neuronai sužadinami tik tada, kai juos paveikia tam tikra kryptimi (įstrižai, horizontaliai arba vertikalčiai) judančios briaunos.

Kitos ląstelės sužadinamos didelio arba mažo kontrasto, arba ryškumo, arba tam tikros spalvos, ar judesio tam tikra kryptimi ir pan. Taip pat apibūdinama erdvinė kiekvienos tokios ypatybės padėtis regos lauke – tamsi horizontali linija viršutiniame kairiajame regos lauko kampe sužadina vieną neuronų grupę, o panaši linija apatiniame dešiniajame kampe – kitą.

Kiekvieną akimirką smegenų regos sritys piešia topografinį pasaulio vaizdą. Tik vėliau šis „žemėlapis“ įgyja tam tikrą prasmę (būtent tokios prasmės ir nepajėgė užčiuopti vargšas Dr. P) – „Ak! Tai tigras!“, t. y. vaizdinė informacija turi būti susieta tarpusavyje. Beveik neabejotina, kad tai vyksta keliais etapais: linijos ir spalvos jungiamos į juostas, tada jos tampa suskaidytu kontūru ir, galiausiai, remdamiesi patirtimi, atpažįstame už krūmų tupintį tigrą. Sąmonė dalyvauja tik paskutiniuose šio proceso etapuose, o didžiausia vaizdų apdorojimo proceso dalis proto šviesos nenušviečiama niekada.

Kaip visi tokio „išdraskyto“ vaizdo informacijos bitai vėl sujungiami, kad sudarytų vientisą paveikslą? Šis klausimas ir toliau lieka vienas įdomiausių neurologijoje, į jį dar nepavyko pateikti visus tenkinančio atsakymo. Bendrais bruožais galima pasakyti: neuronai sužadinami sinchroniškai – t. y. susijungia tik tuo pačiu momentu sužadinti neuronai. Esminis dalykas yra tikslus laikas.

Baigiantis devintajam dešimtmečiui, Volfas Zingeris (*Wolf Singer*) su kolegomis iš Makso Planko (*Max Planck*) smegenų tyrimų instituto Frankfurte pirmą kartą pranešė apie naujo tipo smegenų bangas, kurias galima įrašyti, atliekant EEG (elektroencefalogramą) – dabar jos vadinamos gama virpesiais.<sup>5</sup> Jie nustatė, kad didelės neuronų grupės į bendrą struktūrą sinchronizuojamos tada, kai neuronai sužadunami maždaug kas 25 ms, taigi vidutiniškai 40 kartų per sekundę, arba 40 Hz dažniu (tiesą sakant, šis dažnis svyruoja gana plačiame 30–70 Hz intervale – apie tai kalbėsime vėliau).

Tokios sinchroniškai sužadintos struktūros buvo kaip tik tai, ko ieškojo F. Krikas. Po to, kai jis daug pasiekė, iššifruodamas DNR kodą, galingą savo protą F. Krikas nukreipė spręsti sąmonės problemą. Dirbdamas drauge su K. Kochu, jis ėmė ieškoti tokio sužadintų neuronų modelio, kuris galėtų koreliuoti su pačia sąmone (tokį modelį pavadino nervine sąmonės koreliacija, arba NSK).

F. Krikas ir K. Kochas puikiai žinojo, kad didžioji regimosios informacijos dalis apdorojama nesąmoningai. Dėl to sąmonė dar įdomesnė. Visa jutiminė informacija į smegenis patenka sužadinus neuronus, tačiau tik tam tikros rūšies sužadinimas suvokiamas sąmoningai, pavyzdžiui, atpažįstame veido spalvą. Kitos sužadinimo rūšys sąmoningai nesuvokiamos (nesąmoningai vyksta linijos, kontrasto, atstumo ir pan. apdorojimas). Kur skirtumas?

F. Krikas ir K. Kochas argumentavo, kad šio skirtumo apibūdinti neįmanoma, jeigu nežinome, kokie neuronų tipai su sąmoningu suvokimu susiję, o kokie ne. Jie norėjo atrasti konkrečią grupę neuronų, kurie sužadunami tuo momentu, kai subjektas ką nors suvokia sąmoningai (tarkime, supranta, kad mato šunį) ir išsijungia, kai dėmesys nukreipiamas kitur. Šie mokslininkai iškėlė prielaidą, kad sąmoningą suvokimą lemiantis neuronų sužadinimas turi būti kažkoks kitoks.

Jų atliekamos nervinės sąmonės koreliacijos paieškos tapo savotišku neurologijos šventuoju Graliu. 40 Hz dažnis paveikė jų vaizduotę, nes čia buvo (ir tebėra) konceptualus atsakymas. Tam tikru konkrečiu momentu drauge sužadinti neuronai susiejami plačioje smegenų juostoje. Tuo pat metu visos lygiagrečiosios grandinės duoda nuoseklių rezultatą. Taigi sąmonė kiekvieną akimirką kinta kaip besikeičiančių orkestro instrumentų melodinių linijų kuriama harmonija. T. S. Elioto (*T. S. Eliot*) žodžiais tariant, tol, kol muzika skamba, ta muzika esate jūs.

Ši idėja atrodo patraukli, tačiau, ilgiau ją apmąstant, išryškėja įvairios problemos. Pagrindinė – kad minėtos neuronų sąsajos susidaro įvairiais lygiais, o ne tik regos sistemoje. Atrodo, kiti proto aspektai irgi veikia tuo pačiu būdu. Panagrinėkime atmintį.

Puikioje savo knygoje „Atminties kūrimas“ (*The Making of Memory*) neurochemikas Stivenas Rouzas (*Steven Rose*) prisimena, kaip jis nustebė, sužinojęs, kad atsiminimai išsisklaido po smegenis kaip dūmas – neatrodo, kad jie būtų „sudėti“ į vieną vietą. Vėliau įsitikino, kad atsiminimai į sudedamąsias dalis suskaidyti panašiai kaip rega. Tirdamas ką tik išsiritusius viščiukus, kurie lesė aromatizuotus rutuliukus, S. Rouzas pastebėjo: jie greitai išmoko vengti tam tikrų spalvotų aitraus skonio rutuliukų, tačiau atmintį išsaugojo tam tikrose vietose: vienoje – spalva, kitoje – forma, dar kitose – dydis, kvapas, aitrumas ir pan.

Kad būtų galima suformuoti nuoseklią atmintį, šiuos elementus vėl reikia sujungti, imituojant tai, kas vyko. Naujausi tyrimai taip pat atskleidžia, kad sudedamųjų atminties dalių sujungimas grindžiamas sužadiniu lygiai tų pačių neuronų grupių, kurios iš pradžių reagavo į patirtį.

Neurologas Antonijus Damasijus (*Antonio Damasio*) žengė dar toliau ir į neuronų žemėlapi įtraukė savąjį aš. Jis kruopščiai atskyrė emocijas ir jausmus (kai kurie mokslininkai mano, kad per kruopščiai). Anot A. Damasijaus, emocijas daugiausia sudaro fizinio kūno reakcija: iš baimės užgniaužtas kvapas, širdies daužymasis, plačiai atvertos akys, išsiplėtę vyzdžiai, grimasos ir pan. Tai yra nesąmoningas elgesys, kurio paprastai negalime valdyti ir netgi negalime įsivaizduoti – bent dauguma iš mūsų, įpratusių prie patogaus gyvenimo būdo.

Per visus vaikystės metus tik du ar tris kartus buvau apimtas gyvuliškos baimės, kai emocijos tiesiog užgniaužė kvapą, bet jų stiprumas mane sukrėtė. Tik vieną kartą jaučiau baimės kvapą, tačiau niekada to nepamiršiu – jis šiurpino. Anot A. Damasijaus, visos emocijos, net ir nuosaikesnės, yra fizinės ir grįstos organizmo procesais. Tačiau kūnas nuo proto neatskirtas, taigi jos susijusios ir su protu. Bet kuri tokia fizinė būklė per nervus ir hormonus pasiekia smegenis, kuriose pavaizduojamas kiekvienas fizinės būklės pokyčio informacijos bitas, kiekvienas organas ir kiekviena sistema.

Šis vaizdavimas daugiausia vyksta senesnėse smegenų dalyse, įskaitant smegenų kamieną ir vidurines smegenis, – visi šie centrai yra stuburinių sme-

genyse. Toks proto „žemėlapis“ sukuria jausmus, kurie yra kūno emocijų atspindys neuronuose. Kaip toks neuroninis atspindys (pagrindinė informacija) sužadina subjektyvius jausmus, vis dar yra ginčijamasi. Mes apie tai pakalbėsime šiek tiek vėliau.

Tačiau jausmais A. Damasijus neapsiribojo – nesame sąmoningi, kol nepradedame suprasti savo jausmų, kol nesuvokiame, kad jaučiame. Tai reiškia naują neuroninį vaizdavimą. Taigi pradiniai neuronų žemėlapiai atspindi fizinės mūsų sistemas – raumenų tonusą, skrandžio rūgštingumą, cukraus kiekį kraujyje, kvėpavimo dažnį, akių judesius, pulsą, šlapimo pūslės pripildymą ir pan. Šis vaizdavimas atnaujinamas kas akimirką.

A. Damasijus mano, kad mūsų savimonė kyla iš šių fizinių pranešimų, kurie iš pradžių yra tarsi iš apibendrintų fizinės būklės rodiklių sudarytas nesąmoningas „aš“ pirmtakas. Savimonė kyla iš to, koku būdu šie proto žemėlapiai keičiami, atsižvelgiant į išorinio pasaulio objektus: jūsų sūnus, ta mergina, svaiginanti uola, kavos kvapas, bilietų kontrolierius ir pan.

Minėti objektai suvokiami tiesiogiai per jutimus, bet jie taip pat sukuria emocinį kūno atsaką, kuris irgi vaizduojamas smegenyse susidarančiuose neuronų žemėlapiuose, ir atsiranda jausmai. Taigi tokiu atveju sąmonė yra tai, kaip pasaulio objektai keičia mūsų są, – tai visų šių žemėlapių ir jų pokyčių žemėlapis, jei galima taip pasakyti, žemėlapių žemėlapis, arba antrosios eilės žemėlapis. Jame vaizduojama tai, kaip jausmai susiję su išoriniu pasauliu. Šis žemėlapis sujungia mūsų suvokimą ir vertybes.



Kaipgi šie žemėlapiai sudaryti? Kaip susiję tarpusavyje? Labiausiai įtikinamą atsakymą pateikė neurologas Džeraldas Edelmanas (*Gerald Edelman*), kuris po to, kai 1972 m. buvo apdovanotas Nobelio premija už indėlį į imunologiją, ateinančius dešimtmečius skyrė sąmonės tyrimams. Jo idėjos kyla iš to paties šaltinio kaip ir darbai imunologijos srityje – jos grindžiamos kūne veikiančiomis atrankos jėgomis.

Imunologijos srityje neurologas padėjo atskleisti, kaip vienas antikūnas gali būti selektyviai sustiprintas sąlyčio su bakterija: atranka lemia, kad stipriosios imuninės ląstelės įsigali kitų ląstelių sąskaita. Praėjus pusei gyvenimo, imuninių ląstelių specifiškumas mūsų kraujyje daug priklauso nuo mūsų pa-



tirties, o ne tik tiesiogiai nuo mūsų genų. Anot Dž. Edelmano, panašaus tipo atranka nuolat veikia smegenis. Naudojamos neuronų grupės atrankos būdu įsitvirtina, o nenaudojamos – nunyksta. Vėl įsivyrąja laimėję deriniai. Neuronų ryšius ir vėl nulemia patirtis, o ne tiesiogiai genai.

Viskas vyksta maždaug taip. Embrionui vystantis, atskiros smegenų sritys (optinis nervas, kuris siekia regos centrus, didžioji smegenų jungtis (*corpus callosum*), jungianti abudu pusrutulius ir pan.) yra „grubiai“ sujungtos nervinių skaidulų pluoštais, tačiau šiose jungtyse mažai specifiškumo ir prasmės. Iš esmės genai lemia bendrąją smegenų sandarą, o patirtis formuoja konkrečias jungtis ir visą išsamią idiosinkrazinę informaciją.

Pasmė daugiausia ateina su patirtimi, tiesiogiai įrašoma smegenyse. Kaip teigia Dž. Edelmanas, „tuo pat metu sužadinti neuronai sujungiami“. Kitaip tariant, tuo pačiu metu sužadinamų neuronų ryšiai (sinapsės) tvirtėja ir sudaro daugiau jungčių, kurios juos susieja fiziškai.<sup>6</sup> Taip susikuria vietiniai ryšiai neuronų grupėse (jie padeda sujungti skirtingus vaizdinės informacijos aspektus), tačiau jie gali sujungti ir vieną nuo kito nutolusius neuronus, sakykime, regos centrus sujungti su emociniais ir kalbos centrais. Tuo pačiu metu kitos sinapsinės jungtys silpsta ar net visai išnyksta, nes jų neuronai turi mažai ką bendro.

Tik gimus patirties srautas vis stiprėja, ir protas formuojamas iš vidaus. Milijardai neuronų miršta – per pirmuosius gyvenimo mėnesius prarandama 20–50 % visų neuronų – ir nunyksta dešimtys milijardų silpnų sinapsinių jungčių. Tuo pat metu dešimtys *trilijonų* sinapsių stiprėja, o kai kuriose smegenų žievės srityse vienas neuronas gali turėti net 10 000 sinapsių. Sinapsės plastiškiausios tada, kai augame, tačiau plastiškos išlieka visą gyvenimą. Mišelis Montenis (*Michel Montaigne*) yra pasakęs, kad kiekvienas vyresnis nei 40 metų žmogus atsakingas už savo veidą. Neabejotina – esame atsakingi už savo smegenis.

Gali būti įdomu, kaip prie šio proceso prisideda genai. Jie ne tik lemia bendrą smegenų sandarą, bet ir santykinį įvairių smegenų sričių dydį bei jų vystymąsi, taip pat – neuronų išlikimo tikimybę, sinapsinių jungčių tvirtumą, sužadinimo ir slopinimo sinapsių proporciją, bendrą skirtingų neuronešiklių pusiausvyrą ir pan. Toks poveikis akivaizdžiai formuoja mūsų asmenybę bei tikimybę tapti priklausomiems nuo pavojingų sporto šakų ar narkotikų arba kristi į sunkią depresiją, arba mąstyti racionaliai.

Tokiu pat būdu genai veikia mūsų talentus ir patirtį. Tačiau genai iki smulkmenų nelemia neuronų struktūros smegenyse. To nepajėgtų... Neįmanoma, kad 30 000 genų lemtų 240 trilijonų (trilijonas lygus tūkstančiui milijardų) smegenų žievės sinapsinių jungčių (ši skaičių pateikė K. Kochas), t. y. daugiau nei 8 mlrd. sinapsių vienam genui.

Dž. Edelmanas smegenų raidą apibūdina kaip neuronų darvinizmą, pabrėždamas mintį, kad patirtis lemia gerų neuronų derinių atranką. Čia galioja visi svarbiausi natūraliosios atrankos principai: pradedame gyvenimą, turėdami milžinišką neuronų skaičių, kurie, siekiant tų pačių tikslų, gali būti sujungti milijonais skirtingų būdų.

Neuronai gali skirtis vieni nuo kitų – gali sustiprėti arba nusilpti. Taip pat neuronai varžosi dėl sinapsinių jungčių sudarymo, ir jų išgyvenamumas priklauso nuo sėkmės: „tinkamiausi“ neuronų deriniai lemia daugiausia sinapsinių jungčių. F. Krikas įžvalgiai pastebėjo, kad šią sistemą geriausia vadinti neuronų edelmanizmu, šiek tiek priverstinai brėždamas paraleles su natūraliąja atranka. Nepaisant to, ši pagrindinė idėja neurologų dabar plačiai pripažįstama.

Antras svarbus Dž. Edelmano indėlis, tiriant neuronus kaip sąmonės pagrindą, yra atspindimųjų neuronų kilpų, kurias jis vadino (šiek tiek netiksliai) lygiagrečiais grįžtamaisiais signalais, idėja. Neurologas turėjo omenyje, kad vienoje srityje sužadinti neuronai susijungia su nutolusių sričių neuronais, kurie tuo pačiu atsako per kitas jungtis, sudarydami laikiną sinchroniškai atsispindinčių neuronų grandinę. Ji išlieka tol, kol kitas jutiminis signalas šį neuronų derinį išardo ir pakeičia kitu sutartinai veikiančiu laikinu neuronų deriniu.

Čia Dž. Edelmano idėjos gražiai dera su F. Kriko, K. Kocho ir V. Zingerio idėjomis (nors reikia pasakyti, kad, vertinant minėtus bendrumus, dažnai tenka skaityti tarp eilučių; aš retai susiduriu su tokia sritimi, kurios iškiliausi atstovai teiktų tiek mažai nuorodų vieni į kitų darbus, netgi nepuldami smerkti klaidingų savo oponentų idėjų).

Sąmonė veikia nuo dešimčių iki šimtų milisekundžių intervalais.<sup>7</sup> Jei jums vienas po kito būtų parodyti du vaizdai, kuriuos skirtų tik 40 ms, sąmoningai suvoktumėte tik antrą vaizdą, nes pirmo net nepamatytumėte. Mikroelektrodai ir smegenų nuskaitymas (sakykime, funkcinis magnetinis rezonansas) taip pat pavirtina, kad smegenų regos centrai pirmo vaizdo neužfiksuoja – jis neįsisąmoninamas. Kad jį būtų galima suvokti, atrodo, reikia, kad neuronų

kohortos atsimuštų viena į kitą dešimtis ar net šimtus milisekundžių – čia vėl galime prisiminti V. Zingerio 40 Hz dažnio virpesius.

Ir V. Zingeris, ir Dž. Edelmanas įrodė, kad nutolusios smegenų sritys iš tiesų sinchroniškai virpa – tai tarsi „fazės sinchronizacija“. Kitos neuronų grupės sinchronizuojausi kitaip, t. y. šiek tiek greičiau arba lėčiau. Iš esmės tokios sinchroninės fazės leidžia atskirti įvairius to paties vaizdo aspektus. Taigi visi žalios mašinos elementai sinchronizuojami drauge, o šalia stovinčios mėlynos mašinos elementai sinchronizuojami kiek kitaip, ir taip užtikrinama, kad šios mašinos galvoje nebūtų supainiotos. Kiek kitaip vyksta kiekvieno vaizdo aspekto „fazės sinchronizacija“.

V. Zingeris iškėlė puikią idėją, kuri paaiškina, kaip šie sinchroniniai virpesiai susijungia aukštesniame – sąmonės – lygmenyje, t. y. kaip šie virpesiai turi būti susiję su kita jutimine informacija (klausa, uosle, skonių ir t. t.) bei jausmais, atmintimi ir kalba, kad būtų sukurtas vienas sąmonės jausmas. Jis tai vadina *neuronų ryšio patvirtinimu*, kuris leidžia hierarchinius informacijos „lizdus“ sukurti taip, kad mažesni informacijos elementai rastų vietą didesniame paveiksle. Sąmoningai suvokiama tik pati šios hierarchijos viršūnė, apimanti tam tikrą išsamią visos nesąmoningos informacijos santrauką.

Neuronų ryšio patvirtinimas priklauso nuo paprasto fakto: sužadintas neuronas depoliarizuojamas, ir jis vėl galės būti sužadintas tik tada, kai poliarizuosis iš naujo. Tai šiek tiek užtrunka. Tad jei kitas signalas gaunamas repoliarizacijos metu, šio neurono jis bus ignoruojamas. Pavyzdžiui, jei neuronas sužadinamas 60 kartų per sekundę (60 Hz dažniu), jis yra priverstas priimti signalus tik iš tų neuronų, kurie sužadinami sinchroniškai. Jei kita neuronų grupė sužadinama 70 kartų per sekundę (70 Hz dažniu), didžiąją laiko dalį jie nebus sinchronizuoti su pirmąja grupe. Šie neuronai tampa nepriklausomais elementais, kurie negali patvirtinti ryšio.

Kita vertus, jei trečia neuronų grupė sužadinama lėčiau, tarkime, 40 Hz dažniu, praeina kur kas daugiau laiko, kol šie neuronai repoliarizuojami ir pasirošia sužadinimui, kuriam reikia tik atitinkamo signalo. Šie neuronai gali būti sužadinti, atsakydami į 70 Hz dažnio neuronų svyravimus. Kitaip tariant, kuo lėtesni virpesiai, tuo daugiau fazė sutampa, ir tuo geresnės galimybės užmegzti grįžtamąjį ryšį su kitų grupių neuronais. Taigi sparčiausi virpesiai sujungia diskrečiuosius vaizdo, kvapų, atminties, emocijų ir pan., aspektus, kurie yra ne-

priklausomi elementai, o lėtesni virpesiai jutiminę ir fizinę informaciją susieja į visumą (A. Damasijaus antrosios eilės žemėlapi) – sąmonės srauto akimirka.

Nors ne viskas šioje teorijoje pagrįsta taip tvirtai, kad nekeltų abejonių, tačiau yra daug įrodymų, kurie šį poveikslą atitinka. Svarbiausia, šios idėjos leidžia kelti patikrinamas prielaidas, pavyzdžiui, kad 40 Hz svyravimai yra būtini susieti sąmonės turiniui, ir, priešingai, tokių svyravimų praradimas pri-lygsta sąmonės netekimui. Žinant, kaip sunku atlikti patvirtinančius matavi-mus (nes vienu metu reikia matuoti tūkstančių atskirų neuronų sužadinimo spartą visose smegenyse), gali praeiti ne vieneri metai, kol šios (arba kitos) hipotezės bus verifikuotos.

Be to, šios idėjos gali padėti suprasti sąmonę kaip aiškinamoji sistema: jos parodo, kaip iš sąmonės branduolio išsivysto tęstinė sąmonė. Sąmonės branduolys veikia dabartyje ir atsikuria kiekvieną akimirką, atspindėdamas tai, kaip išoriniai objektai keičia mūsų są, bei suvokimą atskirdamas jausmais. Tęstinėje sąmonėje pasitelkiamas tas pats mechanizmas, tačiau prie kiekvienos sąmonės branduolio akimirkos dar pridedama atmintis ir kalba – tokiu būdu emocinė prasmė papildoma autobiografinė praeitimi, jausmai ir objektai įvar-dijami žodžiais ir pan. Taigi tęstinė sąmonė emocinę prasmę, integruotą at-mintį, kalbą, praeitį ir ateitį įpina į pagrindinės atminties „čia ir dabar“. Taip pat neuroniniai ryšio patvirtinimo mechanizmai neribotą lygiagrečių schemų plėtrą leidžia vėl susieti su vieninteliu suvokimo momentu.

Manau, visa tai tikėtina. Bet dar lieka neatsakytas pats neaiškiausias klausimas. Kokiu būdu neuronai visų pirma sukuria jausmus? Jei sąmonė yra ge-bėjimas jausti jausmą, sukurti niuansų turinčią emocinę prasmę, nuolatinį savo vietos pasaulyje suvokimą, išstisus didingus šokius ant jausmų smeigtuko galvutės – filosofai tai vadina pradinių pojūčių problema. Tad atėjo metas akis į akį susidurti su šiuo sudėtingu klausimu.



Skausmas žeidžia ne be priežasties. Yra nelaimingų žmonių, kurie iš prigimties nejautrūs skausmui. Jie kenčia baises, dažnai nenumatytus sunkumus. Reži-sierė Melodi Džilbert (*Melody Gilbert*) 2005 m. šia tema sukūrė dokumentinį filmą apie 4 m. Gabi Gingras (*Gabby Gingras*). Ji nejaučia skausmo, tad kie-kvienas jos raidos tarpsnis tapo sunkiu išbandymu.

Kai jai prasikalė pirmieji pieniniai dantys, Gabi iki kaulų nusikramtė pirštus, ir tėvai buvo priversti ištraukti dantis. Mokydamasi vaikščioti, nuolat susižeisdavo, vieną kartą net susilaužė žandikaulį ir to nežinojo tol, kol užkratas sukėlė karščiavimą. Dar blogiau, susižeidė akį, kurią reikėjo net siūti, tačiau netrukus siūlus išsitraukė. Tėvai bandė ją apsaugoti tvarsčiais, vėliau akiniais, tačiau viskas buvo veltui. Sulaukus ketverių, kairė akis buvo pašalinta, o dešinė taip pat yra smarkiai pažeista – dabar mergaitė beveik akla (rega lygi 20/200).

Kai rašau šias eilutes, Gabi yra 7 m., ir su savo keblia padėtimi mokosi susitaikyti. Daugelis nuo panašaus sutrikimo kenčiančių žmonių miršta vaikystėje, keliems pavyko sulaukti suaugusiųjų amžiaus, bet dažniausiai jie jau yra patyrę sunkių sužalojimų. Gabi tėvai įkūrė paramos fondą „Skausmo dovana“ (*Gift of Pain*), kurio tikslas – padėti nuo panašios būklės kenčiantiems asmenims (šiuo metu fondas vienija 39 narius). Tai – tikrai taiklus pavadinimas, nes skausmas neabejotinai yra palaiminimas.

Ir ne tik skausmas. Toks yra alkis, troškulys, baimė, geismas ir kiti panašūs jausmai, kuriuos D. Dentonas vadina pirmąkštėmis emocijomis ir apibūdina kaip priverčiamuosius pojūčius, nukreipiančius visą sąmonės srautą kaip įtikinamas paskatas veikti. Šie jausmai akivaizdžiai pritaikyti tam, kad būtų užtikrintas organizmo išlikimas arba dauginimasis: jausmai skatina veiksmą, o veiksmai, savo ruožtu, pradeda išsaugoti arba skleisti gyvenimą.

Žmonės galbūt yra vieninteliai gyvūnai, kurie lytiniais santykiais siekia pratęsti giminę, bet netgi Bažnyčiai menkai pavyko panaikinti už tokius santykius gaunamą „atpildą“. Ir gyvūnai, ir dauguma žmonių poruojasi, siekdami orgazmo, o ne susilaukti palikuonių. Juk šios pirmąkštės emocijos yra *jausmai*, ir visi jie tarnauja biologiniams tikslams, net jei šie tikslai ne visuomet įvertinami.

Sakykime, skausmas, be kita ko, yra nemalonus jausmas. Tačiau be *skausmo* sukeliamų kančių baisiai susižalotume, taigi skausmas be šios „karčiosios“ savybės būtų nenaudingas. Taip pat geismas. Mechaniškas poravimasis savaime nėra atlygis – mes, kaip ir visi gyvūnai, siekiame kūniško atlygio, kurį norime *pajusti*. Dykumoje nepakanka tiesiog neutraliai užfiksuoti troškulį – jis tampa galinga emocija, kuri užvaldo visas mintis ir nukreipia nuo bet ko, kas negali patarnauti išlikimui, tampa paskata, kuri veda į oazę ir verčia išnaudoti visą ištvermę iki paskutiniųjų.

Nors idėja, kad tokios pradinės emocijos vystėsi, veikiamos natūraliosios atrankos, atrodo esanti nemenkas iššūkis: ji turi nemažai svarbių reikšmės atspalvių, kuriuos visų pirma pastebėjo šiuolaikinės psichologijos tėvas – vėlyvųjų Viktorijos laikų Amerikos genijus Viljamas Džeimsas (*William James*). Jis teigė, kad jausmai, o žvelgiant plačiau – ir pati sąmonė, teikia biologinę naudą. Tai, savo ruožtu, reiškia, kad sąmonė nėra „epifenomenas“, kuris lydi organizmą tarsi šešėlis, bet pats savaime negali turėti jokio fizinio poveikio.

Jausmai daro fizinį poveikį. Taigi jei jausmai daro fizinį poveikį, tam tikru atžvilgiu jie turi *būti* fiziniai. V. Džeimsas priėjo prie išvados, kad, nepaisant nefizinio pavidalo, jausmai iš tiesų yra fiziniai ir vystėsi, veikiami natūraliosios atrankos. Bet kas jie *yra* iš tikrųjų? Kažin ar kas nors nagrinėjo šią problemą nuodugniau nei V. Džeimsas, tačiau jo išvados buvo prieštaringos ir kėlė abejonių.

Anot jo, turi būti nežinomų materijos savybių, tam tikrų „proto dulkių“, kurios persmelkia Visatą. Nors V. Džeimsas yra pavyzdys netgi daugeliui žymių šiuolaikinių neurologų, jis pritarė tam tikrai panpsichizmo formai (idėjai, kad sąmonė yra visur ir visa ko dalis), kurios linkę laikytis tik nedaugelis. Ir taip yra iki šiol.

Kad lengviau įsivaizduotume šios problemos sudėtingumą, pamąstykite apie keletą išmaniųjų įrenginių: televizorių, fakso aparatą ar telefoną. Mums nereikia tiksliai žinoti, kaip jie veikia, kad suprastumėte – fizikos dėsnių jie nepažeidžia. Išeinanti informacija vienu ar kitu būdu užkoduojama elektroniniais signalais, o jie visada yra fiziniai: šviesos raštai televizoriuje, garso bangos telefone ar radijuje, spaudos ženklai fakso aparate. Elektroninis kodas informaciją paverčia pažįstama fizine terpe.

O ką galima pasakyti apie jausmus? Šiuo atveju koduotus elektroninius signalus nervai perduoda beveik taip pat, kaip televizijos sistemoje: informacija tiksliai apibūdinama tam tikrais neuronų kodais. Čia viskas gerai. Bet kas tiksliai yra ši informacija? Pagalvokite apie visas žinomas materijos savybes. Neatrodo, kad jausmai būtų elektromagnetinė spinduliuotė ar garso bangos arba kad atitiktų bet kokią žinomą atomų fizinės sandaros aspektą. Jie ne kvantai ir ne elektronai. Tai kas gi, galiausiai, jie yra? Virpesių pluoštai? Kvantiniai gravitonai? Tamsioji materija?<sup>8</sup>

Tai ir yra „sudėtinga problema“, kurią suformulavo D. Čalmersas, – jis (kaip anksčiau V. Džeimsas) teigė: šią problemą galima išspręsti tik atradus iš esmės naujas materijos savybes. Tai grindžiama paprastai. Jausmai yra fiziniai, tačiau

žinomi fizikos dėsniai, kurie tariamai gali atskleisti išsamų pasaulio vaizdą, jausmams negali būti pritaikyti. Nepaisant nepaprastos galios, natūralioji atranka negali ko nors sukurti iš nieko: jau turi būti *kažkieno* gemalas, galintis tobulėti; šiuo atveju galima sakyti, kad reikalingas „jausmų gemalas“, kurį evoliucija paverčia didingu protu.

Škotijos fizikos chemikas Greimas Kernsas-Smitas (*Graham Cairns-Smith*) tai vadina bomba prie šiuolaikinės fizikos pamatų. Visų pirma sako: jei jausmai neatitinka jokių žinomų materijos savybių, vadinasi, pati materija turi turėti daugiau savybių, „subjektyvių savybių“, kurios, veikiamos natūraliosios atrankos, galiausiai išsivystė į vidinius mūsų jausmus. Tam tikra prasme materija sąmoninga dėl savo „vidinių“ savybių – ji pasižymi ir išorinėmis, kurias gali išmatuoti fizikai. Vėl imta rimtai vertinti panpsychizmą.

Tai atrodo absurdiškai. Tačiau ar ne per daug arogantiška manyti, kad apie materijos kilmę žinome viską? Mes dar daug ko nežinome. Net nesuprantame, kaip veikia kvantinė mechanika. Virpančių stygų teorija svarbi dėl to, kad materijos savybes kildina iš neįsivaizduojamai plonų stygų virpesių, tačiau bandymais negalime nustatyti, ar joje yra bent grūdas tiesos.

Štai kodėl šio skyriaus pradžioje pabrėžiau, kad popiežiaus pozicija nebuvo laužta iš piršto. Mes dar nepakankamai perpratę giliausią materijos esmę, kad suprastume, kaip negyvą materiją neuronai paverčia subjektyviais jausmais. Jei tuo pačiu metu elektronai gali būti ir bangos, ir dalelės, kodėl gi dvasia ir materija negali būti to paties dalyko aspektai?

Nors G. Kernsas-Smitas labiau pagarsėjo darbais apie gyvybės kilmę, tačiau, išėjęs į pensiją, aštrų savo protą jis nukreipė nagrinėti sąmonės problemą. Įtraukiančios ir įdomios jo knygos šia tema, panašiai kaip ir Rodžerio Penrouzo (*Roger Penrose*) ir Stiuarto Hamerovo (*Stuart Hameroff*) darbai, veda į kvantinius proto sodus.

G. Kernsas-Smitas jausmus įvardija koherentiniais baltymų virpesiais. Sąvoka koherentiniai vartojama ta pačia prasme, kaip apibūdinant koherentinį lazerio spindulį, t. y. kad virpesiai (fononai) yra tos pačios kvantinės būsenos. Šiuo atveju tai makrokvantinė būseną, kuri apima dideles smegenų sritis. Mokslininkui šitai siejasi su orkestru, kurio atskirų instrumentų virpesiai susilieja į transcendentinę harmoniją. Jausmai yra muzika, ir tol, kol muzika skamba, ta muzika esame mes. Tai – nuostabi idėja.

Bet ar kvantinio poveikio negalima susieti su evoliucija? Galima paminėti bent du atvejus, kai aklos atrankos jėgos puikiai panaudojo kvantinius mechanizmus: tai šviesos energijos virsmas chlorofilu fotosintezės metu ir elektronų pernaša į deguonį kvėpuojant ląstelėms.

Bet aš kol kas negaliu šių savybių beatodairiškai priskirti protui. Kvantinis protas gal yra, tačiau keletas problemų, nagrinėjamų drauge, man atrodo neįveikiamos. Pirma ir svarbiausia – logistikos problema. Kaip kvantiniai virpesiai peršoka sinapses? R. Penrouzas pripažino, kad makrokvantinė būseną, apribojama vienu neuronu, nieko neišsprendžia, o kvantų lygmenyje sinapsė priligsta vandenynui. Darnus fononų vibravimas privalo pakartoti baltymų masyvą, kuriame jie būtų glaudžiai išdėstyti taip, kad visi sutartinai vibruotų prieš suyrant fononams.

Tokius dalykus galima patikrinti bandymais, tačiau kol kas nėra nė mažiausio įrodymo, kad egzistuoja koherentinės makrokvantinės proto būsenos. Greičiau priešingai: smegenys yra karšta, drėgna ir turbulentinė sistema – matyt, pati netinkamiausia vieta makrokvantinei būsenai susidaryti.

Jei tariamieji kvantiniai virpesiai tikrai yra ir priklauso nuo kartotinių baltymų masyvų, kas atsitinka sąmonei, jei tokį baltymų masyvą pažeidžia neurodegeneracinės ligos? R. Penrouzas ir S. Hamerovas sąmonę „patalpino“ į neuronų viduje esančius mikrovamzdelius, kurie degeneruoja, sergant Alzheimerio liga, ir, jiems susiraužgius, sąmonė galiausiai aptemsta – tai klasikinis šios ligos požymis. Tačiau tūkstančiai tokių raužginių aptinkama jau anksčiausiose šios būklės stadijose (daugiausia tose smegenų srityse, kuriose susidaro nauji atsiminimai), nors sąmoningas suvokimas išlieka iki gana vėlyvų ligos etapų. Trumpai tariant, nėra jokios koreliacijos.

Panašiai pasakytina ir apie kitas postuluojamas kvantines struktūras. Mielino apvalkalai, gaubiantys neuronus baltąja medžiaga, išnyksta, sergant išsėtine skleroze, tačiau tai turi labai nedidelį poveikį sąmonei ar jos net visai neveikia. Vienintelis pavyzdys, atitinkantis kvantinį aiškinimą, yra pagalbinių ląstelių (astrocitų) elgesys po insulto.

Per vieną tyrimą buvo nustatyta, kad kai kurie pacientai sąmoningai nesuvokia savo atsigavimo po insulto – susidarė keistas skirtumas tarp įvertintos jų būsenos ir to, kaip šią būseną suvokia patys. Tai gali būti (bet gali ir nebūti) aiškinama kaip kvantinė koherencija visame astrocitų tinkle (jeigu toks tinklas iš tiesų yra; dabar tuo abejotina).



## SĄMONĖ

Antras su kvantinės sąmonės idėja susijęs klausimas – ar ši idėja iš tikrųjų ką nors išsprendžia? Tarkime, smegenyse tikrai yra virpančių baltymų tinklas, kuris sutartinai „groja“, o jų melodijos sukelia jausmus, arba, tiksliau, jausmai *yra*. Taip pat tarkime, kad šie kvantiniai virpesiai kažkur „prasiskverbia“ pro sinapsių vandenyną ir sužadina melodiją kitoje pusėje – konherenciją skleidžia visose smegenyse. Taigi smegenyse susidaro visa lygiagrečioji visata, kuri gali „ranka rankon“ veikti su mums žinoma klasikine neuronų sužadinimo visata, kurioje sinchronizuotas neuronų sužadinimas sukelia sąmoningą suvokimą, arba kaip sąmonės būklę veikia neuronešikliai (jie greičiausiai būtent tai ir daro)?

Kvantinė visata turėtų būti suskirstyta lygiai taip pat, kaip ir smegenys. Tai gi jausmai, susiję su rega (pavyzdžiui, raudonos spalvos matymas), turi ribotis regimų vaizdų apdorojimo sritimis, o emociniai jausmai gali vibruoti migdoliniame kūne arba vidurinėse smegenyse.

Dar vienas su tuo susijęs dalykas: mikroskopinė visų neuronų sandara yra maždaug tokia pat – vieno neurono mikrovamzdeliai iš esmės nesiskiria nuo kito neurono vamzdelių. Tad kodėl vienu jų „muzika“ pasireiškia kaip spalva, o kitų – kaip skausmas? Sunkiausia pritarti tam, kad jausmai išreiškia svarbiausias kūno problemas. Galbūt įmanoma įsivaizduoti, kad viena esminių materijos savybių – virpesiais išreikšti meilę ar muziką, tačiau ar galima tai pasakyti apie skrandžio skausmą? Ar kai kurie unikalūs virpesiai *yra* šlapimo pūslės išsiplėtimo viešumoje jausmas? Neįtikėtina. Jei Dievas žaidžia kauliukais, tai, be abejo, ne žaidimas. Bet jei netinka ir kvantai, kas lieka?



Kur galėtume ieškoti geresnio sudėtingos sąmonės problemos sprendimo? Kai kuriuos akivaizdžius paradoksus galima išspręsti gana paprastai, įskaitant ir G. Kernso-Smito „bombą prie šiuolaikinės fizikos pamatų“. Ar tikrai jausmai privalo būti fizinė materijos savybė, jeigu jie išsivystė natūraliosios atrankos būdu? Nebūtinai, jei neuronai jausmus užkoduoja tiksliai atkuriamu būdu, t. y. jei tam tikru būdu sužadintų neuronų grupė *visada* sukelia tą patį jausmą. Tada atranka tiesiog veikia pagrindines fizines neuronų savybes. Dž. Edelmanas, kaip visada apgalvotai rinkdamasis žodžius, pirmenybę teikė sąvokai būti priežastimi. Neuronų sužadinimo modelis yra jausmo *priežastis* – nuo jausmo jis neatsiejamas. Lygiai taip pat galima pasakyti, kad genas yra baltymo priežastis. Natūralioji atranka veikia baltymų, o

ne genų sekų savybes, tačiau baltymai yra griežtai užkoduoti genuose, ir tik genai perduodami palikuonims, vadinasi, iš esmės tas pat. Žinoma, man atrodo labiau tikėtina, kad pirmapradžių emocijų – alkio ar troškulio – priežastis yra tam tikras tikslus neuronų sužadinimo modelis, o ne esminė materijos virpesių ypatybė.

Kitas paradoksas, kurį bent iš dalies galima paprastai išspręsti, yra suvokimas, kad mūsų protas yra nematerialus, o jausmai – nenusakomi. Kito puikaus mokslininko, kuris, išėjęs į pensiją, irgi atsidavė sąmonės tyrimams, – gydytojo ir farmakologo iš Niujorko Chosė Musakčijus (*José Musacchio*), esminė įžvalga yra tai, kad protas niekada neaptiko, o ir negali aptikti smegenų buvimo.

Mes negalime suvokti nei smegenų, nei fizinės proto kilmės, jeigu apie tai tik galvojame. Tik objektyvūs mokslo metodai protą susiejo su fizine smegenų veikla. Kaip labai klydome praeityje, rodo senovės egiptiečių veiksmai – balzamuodami savo valdovus, rūpestingai saugodavo širdį ir kitus organus (manė, kad širdis yra emocijų ir proto buveinė), tačiau smegenis kabliu iškrapštydavo pro nosį, ertmę išgrandydavo ilgu šaukštu ir atliekas išmesdavo. Jie nežinojo, kam reikalingos smegenys, ir manė, kad būsimajame pasaulyje jų nereikės.

Net ir šiandien smegenų operacijos liudija tam tikrą proto nesugebėjimą aptikti pačiam save. Smegenys, jautrios daugybei pasaulio dalykų, neturi skausmo receptorių – skausmui visiškai nejautrios. Štai kodėl smegenų operacijos gali būti atliekamos be bendrosios nejautos. Kodėl protas neturėtų suvokti savo paties fizinės veiklos? Organizmui visiškai nenaudinga svarstyti apie savo paties proto veikimą tuo metu, kai visos proto galios stebi krūmuose tupintį tigrą ir mąsto, kaip elgtis. Savistaba netinkamu metu nepadedą išgyventi atšiauriomis atrankos sąlygomis.

Tai lėmė mūsų suvokimo ir jausmų skaidrumą: jie tiesiog yra, niekuo nepriimdami savo fizinio-neuroninio pagrindo. Kadangi fizinio sąmonės ir jausmų pamato savaime nesuvokiame, sąmoningas protas pasižymi stipriu nematerialumu, arba dvasingumu. Galbūt kai kuriuos žmones ši išvada gali sutrikdyti, tačiau ji atrodo neišvengiama: mūsų dvasingumo jausmas kyla iš to, kad sąmonė veikia, remdamasi „tik tuo, ką reikia žinoti“. Mūsų smegenys mums užvertos – tai yra naudinga mūsų išlikimui.

Beveik tą patį galima pasakyti ir apie jausmų nenusakomumą. Jei, kaip tvirtinau anksčiau, jausmus sukelia tam tikras neuronų sužadinimas, paremtas labai tiksliai kodu, tada jausmai yra gana sudėtinga neverbalinė kalba. Žodinė kalba giliai įsišaknijusi joje, tačiau jos abi *nėra* tas pats. Jei jausmą sukelia vienoks neu-

ronų sužadindimas, tą jausmą apibūdinančio žodžio priežastis yra jau kitoks sužadindimas, „išverstas“ iš vieno kodo į kitą ar iš vienos kalbos į kitą kalbą. Jausmus galima apsaityti žodžiais tik per tokį „vertimą“, taigi jausmai griežtai nenusakomi. Tačiau tie patys jausmai sudaro bet kokios mūsų kalbos pagrindą.

Tikrovėje raudonos spalvos nėra. Tai – nervų sistemos konstruktas, kuris negali būti perduotas tokiame asmeniui, kuris pats kažko panašaus nėra patyręs. Panašiai skausmo ar alkio jausmas arba kavos kvapas yra pojūčiai, kuriems priskyrus atitinkamus žodžius, tampa įmanoma verbalinė komunikacija.

Ch. Musakčijus teigia: visada ateina akimirka, kai esame priversti pasakyti: „Ar žinote, ką turiu galvoje?“ Mums būdingos tos pačios nervinės struktūros ir jausmai, o visos kalbos grįstos bendražmogiškąja patirtimi. Kalba be jausmų netenka esmės, tačiau jausmai ir prasmė egzistuoja be jokios žodinės kalbos, kaip esminis tylių emocijų ir bežodžio suvokimo įsisąmoninimas.

Taigi, nors jausmus gali sukelti neuronai, niekada geriau jų nesuprasime tik savistabos ar logikos būdu – per filosofiją ar teologiją. Tam būtini bandymai.

Kita vertus, tai, kad sąmonė yra pagrįsta jausmais, motyvais ir atsisakymu, reiškia – galime pasiekti sąmonės šaknis, žodžiais nebendraudami su kitais gyvūnais: pakanka atlikti išmanių eksperimentus ir turėtume sugebėti ištirti kritinę gyvūnų neuronų transformaciją nuo sužadindimo iki jausmų – tai taikytina netgi paprasčiausiems gyvūnams, nes stuburiniams būdingi visi pirmapradžių emocijų požymiai.

Dar vienas svarbus dalykas – sąmonė apima kur kas daugiau, nei galima priskirti išlikimui, – sąmoningi net tie nedaugelis ypatingų vaikų, gimusių be smegenų žievės (žr. 9.1 pav.). Nestiprus smūgis ar panaši vystymosi anomalija gali lemti didelių abiejų smegenų pusrutulių dalių žievės reabsorbciją nėštumo metu. Nenuostabu, kad tokie vaikai kenčia nuo daugelio negalių – sutrikusi kalba ir rega, tačiau, anot Švedijos neurologo Bjorno Merkerio (*Björn Merker*), nors jie neturi beveik visų smegenų dalių, kurias siejame su sąmone, kai kurie gali reikšti emocijas – verksti arba juoktis, o jų išraiška visiškai žmogiška (žr. 9.2 pav.).

Jau anksčiau minėjau, kad daugelis emociinių smegenų centrų yra išdėstyti senosiose smegenų dalyse, t. y. smegenų kamiene ir vidurinėse smegenyse, kurias turi beveik visi stuburiniai. Atlikdamas magnetinio rezonanso tomografijos tyrimus D. Dentonas atskleidė, kad šios senosios smegenų sritys tarpininkauja perduodant pirmaprades emocijas: troškulį arba baimę uždusti. Taip pat gali

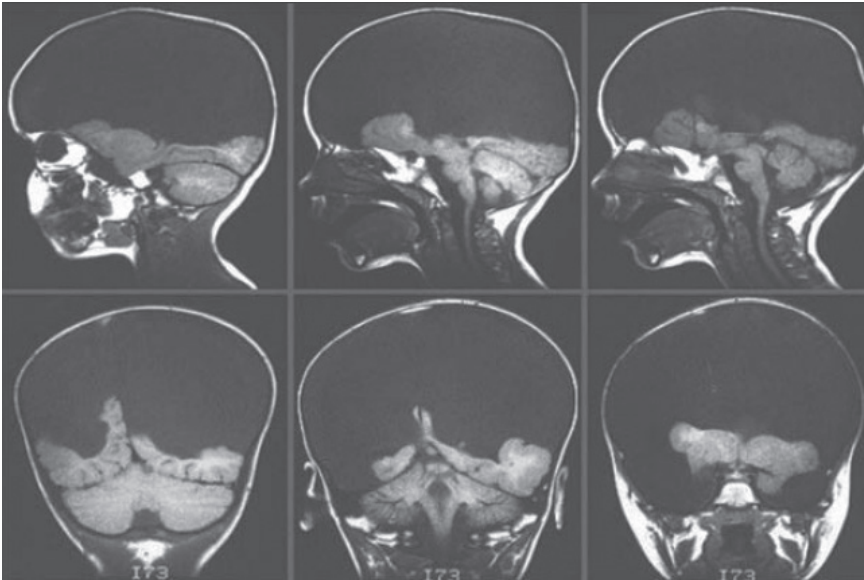
būti, kad sąmonės šaknų apskritai nėra naujose smegenų dalyse, kurios sąmonę nepaprastai *išplečia*, tačiau jos vieta – senovinėse ir didelio tankio smegenų dalyse, kurias turi daugelis gyvūnų. Jeigu taip yra, tada nervinė transformacija, pradedant neuronų sužadiniu ir baigiant jausmais, netenka dalies paslaptįingumo.

Kaip plačiai sąmonė paplitusi? Tol, kol nesukursime tam tikro „sąmonės matuoklio“, tikslaus atsakymo nepateiksime. Be to, pirmapradės emocijos – troškulys, alkis, skausmas, geismas, baimė uždusti ir pan. – atrodo, yra būdingos smegenis turintiems gyvūnams, net paprastiems bestuburiams – bitėms. Jos turi mažiau nei milijoną neuronų (mes jų turime 23 milijardus vien smegenų žievėje) ir sugeba gana sudėtingai elgtis – ne tik žymiuoju šoku nurodyti kryptį, kur yra maisto, bet netgi optimizuoti elgesį: pirmiausia aplanko daugiausia nektaro turinčius žiedus, net jei mokslininkai gudriai pakeičia nektaro likučius.

Neteigiui, kad bitės yra sąmoningos įprasta šios sąvokos aiškinimo prasme: netgi paprasta nervinė „atlygio sistema“ reikalauja atlygio, kuris reiškia *malonų pojūtį*, t. y. saldų nektaro skonį. Kitaip tariant, bitės jau turi kažką, kas gali būti laikoma sąmoningumu, nors jos galbūt ir nėra iš tiesų sąmoningos.

Taigi, galiausiai galima teigti, kad jausmai yra nervų sistemos konstruktas, o ne esminė materijos savybė. Ar kokioje nors lygiagrečioje visatoje, kurioje evoliucinės raidos vainikas būtų bitė, iš tiesų manytume, kad būtina atrasti naujus fizikos dėsnius, siekiant paaiškinti jų elgesį? Bet jeigu jausmai yra ne daugiau nei neuronų veikla, kodėl atrodo tokie *tikroviški* ir kodėl tokie tikri? Jausmai *jaučiami* iš tikrųjų, nes jie turi tikrą prasmę, kuri buvo įgyta atrankoje, prasmę, kuri kyla iš tikro gyvenimo ir tikros mirties. Nors jausmai tėra neuronų kodas, tačiau jis gyvas ir prasmingas, įgytas per milijonus ar net milijardus kartų. Vis dar nežinome, kaip mūsų neuronai sugeba sužadinti sąmonę, tačiau sąmonės ištakos susijusios su gyvenimu ir mirtimi, o ne su nuostabiomis žmogaus proto aukštumomis. Jeigu tikrai norime suprasti, kaip atsirado sąmonė, patys turėtume pasišalinti iš kadro.

## SĄMONĖ



9.1 PAV. HIDROANENCEFALIJA SERGANČIO VAIKO GALVOS MAGNETINIO REZONANSO TOMOGRAFIJOS VAIZDAI. KAIP MATYTI, BEVEIK VISIŠKAI NĖRA SMEGENŲ ŽIEVĖS, O KAUKOLĖ PRIPILDYTA GALVOS IR STUBURO SMEGENŲ SKYSČIO.



9.2 PAV. LAIMĖS IR DŽIAUGSMO IŠRAIŠKA HIDROANENCEFALIJA SERGANČIOS 4 M. NIKĖS (NIKKI) VEIDE.

## DEŠIMTAS SKYRIUS

# MIRTIS

## NEMIRTINGUMO KAINA

Sakoma, už pinigus laimės nenusipirksi. Bet senovės Lidijos karalius Krezas buvo turtingas kaip... Krezas ir manė esąs laimingiausias žmogus. Atvirai apie tai pareiškęs Atėnų valstybės veikėjui Solonui, kuris tuo metu vyko per jo žemes, Krezas susierzino, išgirdęs posakį: „Nevadink žmogaus laimingu tol, kol jis nemiręs.“ Kas gali nuspėti, koks likimas jo laukia?

Taip ir atsitiko, kai, vadovavęsis dviprasmiškais Delfų orakulo patarimais, Krezas buvo nugalėtas didžiojo Persijos karaliaus Kyro, surištas ir turėjo būti gyvas sudegintas ant laužo. Užuoat keikęs dievus dėl tokios siaubingos savo gyvenimo pabaigos, Krezas tik sumurmėjo: „Solonas“. Nustebęs Kyras paklausė, ką jis turįs galvoje, ir taip sužinojo apie Solono patarimą. Suprasdamas, kad ir pats tėra žaislas likimo rankose, Kyras nukirto Krezo pančius (kiti sako, kad jam padėjo su griausmais nusileidęs Apolonas) ir jį paskyrė savo patarėju.

Derama mirtis graikams buvo labai svarbi. Likimas ir mirtis nematomomis rankomis įsiterpdavo į žmonių likimus ir juos parklupdydavo. Graikų teatre skambėdavo sudėtingi šios temos motyvai, o likimo iš anksto numatyta mirtis vyravo paslaptingoje pranašystėse. Prisiminus siautulingus Bakcho ritualus ir pasakėčias, kurioms būdingos metamorfozės, atrodo, kad dalį fatalizmo graikai pasiskolino iš gamtos pasaulio. Ir atvirkščiai, Vakarų kultūros požiūriu, gamtos užprogramuotos gyvūnų mirtys kartais, atrodo, įgyja senovės Graikijos teatro atspalvį.

Jose slypi kur kas daugiau nei tik senovės graikų tragedijos elementai: lašalai mėnesių mėnesius gyvena kaip lervos, paskui virsta vabzdžiais, neturinčiais burnos ir virškinamojo trakto. Toms rūšims, kurios išgyvena ilgiau nei vieną orgijoms skirtą dieną, lemta netrukus mirti badu.

Ką galima pasakyti apie Ramiojo vandenyno lašišas, kurios šimtus mylių migruoja į savo gimtąsias upes, o ten jų hormonų sukeltą siautulį per kelias dienas nutraukia katastrofiška baigtis – mirtis? Arba bičių motinėlė: 16 m. nerodo jokių senėjimo požymių, kol galiausiai išsenka spermos atsargos, ir ji sudraskoma savo pačios dukterų? Arba 12 valandų trunkantis Australijos sterblinių pelių poravimosi šėlas, kuris baigiasi mirtimi dėl suspaudimo ir išsekimo, ir kurio išvengti leidžia kastracija? Nesvarbu, ar tai tragedija, ar komedija – ji, be abejonės, skaudi. Nes šie gyvūnai – tokie pat likimo įkaitai, kaip ir pats Edipas. Mirtis ne tik neišvengiama – ji auste jaušta paties gyvenimo rašte.

Tačiau iš visų šių groteskiškų mirties paveikslų, ko gero, tragiškiausias ir didžiausią atgarsį šių dienų pasaulyje sukeliantis pasakojimas yra mitas apie lemtį, ištikusią Titoną iš Trojos. Jo mylimoji deivė prašė Dzeuso suteikti Titonui nemirtingumą, bet pamiršo paminėti amžinąją jaunystę. Homeras rašė: „pasi-bjaurėtina senatvė užgulė jį visu svoriu“, ir galiausiai jis tik neaiškiai balbatavo. Iš Alfredo Tenisono (*Alfred Tennyson*) paveikslų jis žvelgia „į prietemoje skendinčius laukus, kurie supa namus laimingų žmonių – turinčių galią mirti, bei žolė apaugusius piliakalnius, liudijančius laimingesnę baigtį“.

Taigi šios dvi mirties formos yra tarsi priešinguose poliuose: staigi mirtis, užprogramuota kai kurių gyvūnų gyvenime, ir ilgos senatvės pabaiga, su kuria susiduria tik žmonija – sunkiai apsakoma begalinės Titono senatvės pabaiga. Būtent tai ir pamatytume, pažvelgę į save, nes medicina sparčiai žengia pirmyn, ilgindama gyvenimo trukmę, bet nepajėgdama išsaugoti sveikatos. Iš kiekvienų gyvenimo metų, dovanotų šių dienų medicinos dievų, vos keli mėnesiai praleidžiami džiaugiantis gera sveikata, o kiti – neišvengiamai jai silpnėjant. Galiausiai mes kaip Titonas meldžiame kapo. Nors mirtis gali atrodyti žiaurus Visatos pokštas, senėjimas taip pat neteikia džiaugsmo.

Mūsų prieblandos metais turbūt nereikėtų kalbėti apie Titoną. Žinoma, nesukalbami fizikos dėsniai amžinąją jaunystę neigia taip tvirtai, kaip ir *perpetuum mobile*, tačiau evoliucija yra nepaprastai lanksti ir atskleidžia, kad ilgesnis gyvenimas paprastai dera su ilgesne jaunyste, ir Titono kančių galima išvengti.



Pavyzdžiui, gausu gyvūnų, kurių gyvenimas, pasikeitus aplinkybėms, be skausmo (t. y. be ligų) pailgėjo 2, 3 ar net 4 kartus, palyginti su pradine trukme.

Vienas įspūdingas pavyzdys yra upokšnių šalvis, apgyvendintas šaltuose, skurdžiuose maisto Siera Nevados (Kalifornijoje) vandenyse. Šių žuvų gyvenimo trukmė pailgėjo 4 kartus – nuo 6 iki daugiau nei 24 m., o vienintelė akivaizdi „kaina“ buvo vėlesnė lytinė branda. Panašiai atsitiko ir žinduoliams, oposumams. Salose, kur kelis tūkstančius metų nebuvo plėšrūnų, jų gyvenimo trukmė pailgėjo daugiau nei dvigubai, ir jie imdavo senėti perpus lėčiau. Per pastaruosius kelis milijonus metų mūsų, žmonių, gyvenimo trukmė taip pat padvigubėjo be jokių akivaizdžių praradimų. Evoliucijos požiūriu Titonas turėtų būti tik mitas.

Tačiau žmonija tūkstantmečiais trokšta amžinojo gyvenimo, bet niekaip nepavyksta pasiekti. Nors higienos ir medicinos pažanga pailgino *vidutinę* žmogaus gyvenimo trukmę, nepaisant pastangų, *ilgiausia* gyvenimo trukmė, kuri gali siekti apie 120 m., atkakliai lieka tokia pati.

Pačioje istorijos aušroje Uruko karalius Gilgamešas ieškojo legendinio amžinojo gyvenimo augalo, bet rastas tarsi mitas išslydo jam iš rankų. Nuo tada niekas nepasikeitė. Jaunystės eliksyras, šventasis Gralis, vieneragio ragas, filosofinis akmuo, jogurtas, melatoninas – visi šie dalykai turėjo pailginti gyvenimą, bet taip neįvyko. Į amžinosios jaunystės paieškų istoriją rėksmingi šarlatanai įėjo kartu su mokslininkais.

Garsus prancūzų biologas Šarlis Brun-Sekaras (*Charles Broun-Séguard*) iššvirkštė šunų ir jūrų kiaulyčių sėklidžių ekstrakto ir 1889 m. Biologijos draugijos susirinkime Paryžiuje pranešė, kad jo gyvybinės ir proto galios pagerėjo – apstulbusių susirinkimo dalyvių akivaizdoje išdidžiai pademonstravo šlapimo lanką. Iki tų metų pabaigos net 12 000 gydytojų skyrė Š. Brun-Sekaro skystį.

Chirurgai visame pasaulyje nedelsdami pradėjo implantuoti ožių, beždžionių ir netgi kalinių sėklidžių gabalėlius. Turbūt garsiausias visų laikų Amerikos šarlatanas Džonas R. Brinklis (*John R. Brinkley*) daug pelnė iš ožkų liaukų persodinimo, kol galiausiai tapo ieškinių auka ir mirė visiškai nuskurdęs. Abejotina, ar, nepaisant išradingumo, žmonija pridėjo bent vieną dieną prie mums šioje Žemėje skirto laiko.

Taigi susidaro atotrūkis tarp evoliucijos lankstumo – to lengvumo, su kuriuo, rodos, galima keisti gyvenimo trukmę – ir gyvenimo trukmės sustabarėjimo, kuris šiandien žlugdo mūsų pastangas. Kaip evoliucija gali taip lengvai



## MIRTIS

pratęsti gyvenimą? Iš tūkstantmečius trunkančių gėdingų nesėkmių matyti: nesupratę tikresnių mirties priežasčių, niekur nenueisime.

Iš pirmo žvilgsnio atrodo, kad mirtis yra keistas „išradimas“: natūralioji atranka paprastai veikia atskirų organizmų lygiu, taigi sunku suvokti, kuo man naudinga mano mirtis, ką pelno Ramiojo vandenyno lašišos, iš kurių lieka tik galalai, arba vorai juodosios našlės, kuriuos suėda jų patelės. Tačiau lygiai taip pat akivaizdu – mirtis yra toli gražu ne atsitiktinis reiškinys – ji naudinga atskiriems individams (tiksliau, jų savanaudžiams genams, jei atsiminsime šią nepamirštamą R. Dokinso frazę) nuo pat gyvybės atsiradimo. Jei norime gyvenimą baigti geriau ir išvengti Titono bėdų, turėtume grįžti į pradžią.



Įsivaizduokite: laiko mašina nusileidote sekliuose pakrančių vandenyse prieš 3 mlrd. m. Pirmiausia pastebėsite, kad dangus ne žydras, – virš galvos tvyro blausios raudonos ūkanos – šiek tiek panašios į Marso. Ramiaje jūros paviršiuje atsispindi įvairūs raudonos spalvos atspalviai. Migla maloniai šilta, nors per ūkanas ir nepavyksta aiškiai įžvelgti saulės.

Sausumoje nedaug kas patraukia žvilgsnį. Aplink tik plikos uolos su vienur kitur išsibarsčiusiais drėgnais išblukusiais lopais – tai bakterijos bando įsitvirtinti sausumos gyvenvietėse. Nėra žolės ir jokių kitų augalų. Bet sekliuose vandenyse galima įžvelgti daugybę keistų žalsvo akmens kupolų. Akivaizdu – tai jau gyvų organizmų kūriniai, aukščiausias kurių siekia maždaug metrą. Panašių retai pasitaikančių struktūrų – stromatolitų – vis dar aptinkama atokiausiose ir sunkiausiai pasiekiamose Žemės įlankose.

Daugiau niekas nedrumsčia vandens. Nėra žuvų, dumblių, neropoja krabai, nebanguoja plukės. Nusiimkite deguonies kaukę ir suprasite, kodėl nėra gyvybės, – uždusite per kelias minutes.

Deguonies beveik nėra, netgi prie pat stromatolitų. Tačiau melsvai žalios bakterijos – *melsvabakterės* – jau pradeda skleisti šių pavojingų dujų pėdsakus. Po milijardo metų jų išmetamos dujos Žemę pavers žaliaja (žydraja) planeta. Tik tada pripažinsime, kad ši nyki vieta yra mūsų namai.

Žvelgiant iš kosmoso – jei tik ką nors galėtume įžiūrėti per tirštą raudoną smogą – atpažintume vienintelę ypatybę, kuri beveik nepakitusi išliko ir šiandien. Tai – dumblių sukeltas vandens žydėjimas. Tai melsvabakterės, giminingos

stromatolituose gyvenančioms bakterijoms, tik atskiromis kolonijomis plūduriuojantys jūroje. Iš kosmoso jie atrodo panašiai kaip ir žydintis vanduo šiais laikais, o pro mikroskopą matomos senovinės suakmenėjusios jų liekanos yra beveik visiškai tokios pat, kaip kai kurių šiuolaikinių melsvabakterių, pavyzdžiui, *Trichodesmium*.

Vanduo žydi kelias savaites, spartų melsvabakterių augimą skatina mineralai, į jūrą atnešti iš upių arba iš vandenyno gelmių išjudinti kylančių srovių. Ir staiga per naktį jie dingsta, ištirpsta vandenyje, kuriame ir vėl atsispindi tik negyvas raudonas dangus. Ir šiandien vandenyno žydėjimas netikėtai išnyksta per vieną naktį.

Tik neseniai išsiaiškinome, kas tada vyksta. Šios bakterijų masės ne miršta – nusižudo. Visose be išimties melsvabakterėse yra „mirties mašina“ – senovinė fermentų sistema, labai primenanti esančią ir mūsų ląstelėse, kurios paskirtis – sunaikinti ląstelę iš vidaus. Mintis, kad bakterijos susinaikina, atrodo tokia nelogiška, kad į jų įrodymus tyrėjai nebuvo linkę atsižvelgti, tačiau dabar jie per svarūs, kad būtų galima nepaisyti. Tai, kad bakterijos miršta „sąmoningai“, ir genetinis pagrindimas, pateiktas Polo Falkovskio (*Paul Falkowski*) ir Kėjaus Bidlo (*Kay Bidle*) iš Rutgerio universiteto Naujajame Džersyje, leidžia kelti prielaidą, jog jos taip elgiasi jau 3 mlrd. m. Kodėl?

Mirti apsimoka. Bakterijų nulemtą vandens žydėjimą sudaro nesusikaičiuojami milijardai genetiškai labai panašių, o gal ir tapačių ląstelių. Bet genetiškai vienodos ląstelės ne visada yra tokios pat. Pagalvokime apie savo kūnus, kuriuos sudaro keli šimtai skirtingų ląstelių rūšių, kurios visos yra genetiškai tapčios. Ląstelės skirtingai vystosi, arba *diferencijuojasi, reaguodamos* į subtiliai skirtingą cheminį poveikį aplinkos, kurią mūsų atveju sudaro aplinkinės ląstelės.

Bakterijoms žydingi aplinka yra kitos ląstelės (kai kurios iš jų skleidžia cheminius signalus ar netgi toksinus) ir fiziniai veiksniai, tarkime, saulės šviesos lygis, maistinių medžiagų prieinamumas, virusinės infekcijos ir pan. Taigi jos gali būti genetiškai vienodos, tačiau jų aplinka veikia begale išradingų būdų. Ir tai tampa diferenciacijos pagrindu.

Pirmųjų diferenciacijos požymių buvo jau prieš 3 mlrd. m. – genetiškai vienodos ląstelės pradėjo įgyti skirtingą, jų likimui pritaikytą išvaizdą, atsižvelgiant į gyvenimo istoriją. Kai kurios jų tapo tvirtomis, atspariomis sporomis, kitos įsivyniojo į ploną lipnią plėvelę (bioplėvelę), padėjusią prisitvirtinti prie povan-

deninių paviršių, sakykime, uolų, dar kitos klestėjo sau vienos, atskirai nuo visos genties, o kai kurios mirė.

Tiksliau, mirė ne paprastai – sudėtingai. Iki šiol neaišku, kaip išsivystė ta mirties mašina. Labiausiai tikėtinas atsakymas – tai įvyko sąveikaujant su bakteriofagais – tam tikros rūšies virusais, užkrečiančiais bakterijas. Virusų dalelių šiuolaikiniuose vandenynuose aptinkama itin gausiai – šimtai milijonų 1 ml jūros vandens, t. y. bent 100 kartų daugiau nei bakterijų. Beveik neabejotina, kad panašus jų skaičius buvo ir senovėje. Nenutrūkstamas bakterijų ir bakteriofagų karas – tai viena reikšmingiausių neapdainuotų evoliucijos jėgų. Užprogramuota mirtis greičiausiai atsirado kaip vienas pirmųjų šio karo ginklų.

Paprastas pavyzdys – toksino–antitoksino moduliai, kuriais pasižymi daugelis bakteriofagų. Be kelių genų, šiuose bakteriofaguose yra užkoduoti kai kurie juos priglaidusias bakterijas galintys nužudyti toksinai ir nuo toksinų bakteriją saugantys antitoksinais. Blogiausia, kad toksinas yra ilgalaikis, o antitoksinas – trumpalaikis. Užkrėsta bakterija išskiria ir toksiną, ir antitoksina, bet išgyvena, o naivi bakterija, t. y. užkrėsta, kuri bando nusimesti viruso pančius, yra pažeidžiama toksino ir žūva.

Paprasčiausias būdas nelaimingai bakterijai išsigelbėti – čiupti antitoksino geną, įtraukti į savo genomą ir užsitikrinti apsaugą, net jei ji ir nėra užsikrėtusi. Taigi karas tęsiasi, susidaro vis sudėtingesni toksinai ir antitoksinais, o karo mašina tampa vis įmantresnė. Tai tikrai gali būti priežastis, lėmusi fermentą, kuris atsirado turbūt melsvabakterėse.<sup>1</sup>

Šie specializuoti „mirties“ baltymai ląsteles sukapoja iš vidaus. Jie veikia kaskadomis, t. y. vienas „mirties“ fermentas suaktyvina kitą, ir tai tęsiasi tol, kol ląstelę apsupa visa armija budelių.<sup>2</sup> Svarbu, kad kiekvienas kaspazės fermentas turi savo inhibitorių, „priešnuodį“, galintį blokuoti jo veiksmus. Visa ši į kelis užpuolimo ir pasipriešinimo lygius suskirstyta toksinų ir antitoksinių sistema gali papasakoti apie ilgą evoliucinę bakterijų ir bakteriofagų kovą.

Nors tokie bakterijų ir virusų mūšiai vyko tikriausiai pačiose mirties ištakose, savižudybė, be abejo, naudinga net ir neužkrėstoms bakterijoms. Galioja tokie pat principai. Bet kokia fizinė grėsmė, galinti sunaikinti visą žydinčio vandens koloniją (stipri ultravioletinė spinduliuotė arba maisto medžiagų stoka), gali sužadinti užprogramuotą melsvabakterių ląstelių mirtį.

Tvirčiausios ląstelės šią grėsmę išgyvena, virsdamos kietomis sporomis, kurios tampa naujos kolonijos sėklomis, o jų trapesni, nors ir genetiškai vienodi,

broliai ir seserys į tą pačią grėsmę reaguoja įjungdami mirties mašiną. Skonio reikalas, ar šiuos veiksmus derėtų vertinti kaip nužudymą, ar kaip savižudybę. Galutinis rezultatas tas, kad, pašalinus pažeistas ląsteles, daugiau bakterijų genomo kopijų išgyvena evoliucinį laikotarpį. Tai – paprasčiausia diferenciacijos forma, kai, atsižvelgiant tik į vienodų ląstelių gyvavimo aplinkybes, reikia rinktis – gyventi ar mirti.

Lygiai tokia pati logika dar tvirčiau gali būti taikoma daugialąsčiams organizmams. Visos jų ląstelės genetiškai tapačios, o jų likimai tarpusavyje susieti glaudžiau nei palaidoje melsvabakterių kolonijoje. Net ir paprasčiausiu sferinės kolonijos atveju diferenciacija neišvengiama, nes vidinės ir išorinės ląstelės skirtingai aprūpinamos medžiagomis, deguonimi, anglies dioksidu, jas nevienodai veikia saulė, įvairi plėšrūnų grėsmė. Ląstelės negali būti tokios pačios, net jei jos to ir „norėtų“. Net ir paprasčiausias prisitaikymas netrukus pradeda apsimokėti.

Pavyzdžiui, kai kuriuose išsivystymo etapuose daugelis dumblių įgyja botagelio formos žiuželį, leidžiantį jiems judėti. Sferos formos kolonijai tokias ląsteles su žiuželiu apsimoka turėti išorėje, nes bendri jų judesiai judina visą koloniją, o sporos (kitas genetiškai vienodų ląstelių vystymosi etapas) yra apsaugotos kolonijos viduje. Toks paprastas darbo pasidalijimas pirmosioms primityvioms kolonijoms buvo svarbus pranašumas prieš pavienes ląsteles.

Didelio skaičiaus ir specializacijos teikiami pranašumai panašūs į pirmąsias žemdirbių visuomenes, kuriose pakako maisto išmaitinti didesnę gyventojų skaičių, ir kai kurie asmenys galėjo atlikti specialias užduotis: tapti kariais, ūkininkais, kalviais ar taisyklių kūrėjais. Nenuostabu, kad žemdirbių bendruomenės netrukus išstūmė negausias medžiotojų-rinkėjų gentis, kurių specializacija buvo neįmanoma.

Net paprasčiausiose kolonijose atsirado labai besiskiriančių dviejų tipų ląstelių: germinacinių ir somatinių. Šį skirtumą pirmiausia pastebėjo tikriausiai įtakingiausias ir įžvalgiausias XIX a. darvinistas po Č. Darvino – vokiečių evoliucionistas A. Vaismanas (su juo susipažinome 5 skyriuje). Jis teigė, kad tik germinacinės ląstelės yra nemirtingos, nes jos perduoda genus iš kartos į kartą, o somatinės išnyksta – iš tiesų, jos tik padeda nemirtingoms germinacinėms ląstelėms.

Šią idėją paneigė Nobelio premijos laureatas iš Prancūzijos Aleksis Karelis (*Alexis Carrel*), kuris vėliau ir pats buvo diskredituotas dėl duomenų klastojimo. Taigi galiausiai A. Vaismanas buvo teisus. Jo pateiktas išskyrimas paaiškina visų

daugialąsčių organizmų mirtį. Pagal savo kilmę specializacija reiškia, kad tik kai kurios organizmo ląstelės gali būti germinacinės. Kitos yra pagalbinės – jos tik naudojasi germinacinių ląstelių perduodamų genų privalumais. Po to, kai somatinės ląstelės sutiko su „šalutiniu“ vaidmeniu, jų mirties laikas taip pat ėmė priklausyti nuo germinacinių ląstelių poreikių.

Ląstelių kolonijos ir tikro daugialąsčio organizmo skirtumas geriausiai matomas nagrinėjant diferenciaciją. Dumbliai, pavyzdžiui, *Volvox*, gauna naudos iš bendruomeninio gyvenimo, bet taip pat jo gali „atsisakyti“ ir gyventi kaip pavienės ląstelės. Išlaikoma nepriklausomybė riboja galimą pasiekti specializacijos laipsnį. Visiškai specializuotos ląstelės, sakykime, neuronai, „laukinėje gamtoje“ išgyventi negali.

Tikrasis daugialąsčio organizmo gyvenimas pasiekiamas tik tada, kai ląstelės yra pasirengusios visiškai „pasišvęsti“ tam tikrai funkcijai. Toks jų pasišvenčimas turi būti griežtai prižiūrimas, o bandymas susigrąžinti nepriklausomumą baudžiamas mirtimi. Kitokios priemonės neveikia. Tik pagalvokite apie naikinamąjį vėžio poveikį, kuris patvirtina, kad net ir dabar, po milijardų daugialąsčių organizmų gyvavimo metų, daugialąstis negali išlikti, jeigu jo ląstelės ima elgtis taip, kaip patinka. Daugialąsčiams padeda išgyventi tik mirtis. Ir, žinoma, be mirties negalėtų būti evoliucijos, nes be diferencijuoto išlikimo natūralioji atranka netenka prasmės.

Net ir pirmiesiems daugialąsčiams organizmams, kurių ląstelėms už nusižengimą grėsė mirties bausmė, nereikėjo didelio evoliucinio šuolio. Prisiminkime 4 skyrių, kuriame rašoma, kad sudėtingos eukariotinės ląstelės susiformavo susijungus dviejų tipų ląstelėms: ląstelei šeimininkei ir bakterijai, kuri vėliau tapo mitochondrija – mažąja elektrine, dabar generuojančia energiją.

„Laisvėje“ gyvenę mitochondrijų protėviai buvo bakterijų grupė, kuri, panašiai kaip ir melsvabakterės, turėjo kaspazės fermentą, naikinantį ląstelę iš vidaus. Dabar nenagrinėsime, kaip tai įvyko (gali būti, kad jis perėjo iš melsvabakterių arba atvirkščiai, arba abi grupės jį paveldėjo iš tolimo bendrojo protėvio). Svarbiausia, kad pirmosioms eukariotinėms ląstelėms mitochondrijos perdavė puikiai veikiančią mirties aparatą.

Ar eukariotai būtų galėję taip sėkmingai išsivystyti į tikruosius daugialąsčius organizmus be paveldėto kaspazės fermento, tebėra įdomus klausimas, tačiau akivaizdu – su kaspaze jie buvo nesustabdomi. Tikrieji daugialąsčiai indivi-

dualiai į eukariotus išsivystė ne mažiau kaip 5 kartus – taip atsirado raudonieji ir žalieji dumbliai, augalai, gyvūnai ir grybai.<sup>3</sup> Pagal savo sandarą šios skirtingos gyvybės formos turi nedaug bendro, bet visos prižiūri savo ląsteles ir už nusižen gimą baudžia mirtimi, pasitelkdamos panašius kaspazės fermentus.

Įdomu, kad beveik visais atvejais mitochondrijos vis dar yra svarbiausios mirties tarpininkės – šie vidiniai ląstelių mechanizmai jungia prieštarigus signalus, pašalina triukšmą ir prireikus „ijungia“ mirties aparatą. Taigi, nors ląstelių mirtis yra būtina bet kokio daugialąsčio organizmo išgyvenimui, reikėjo ir šiek tiek evoliucinių naujovių. Į pirmąsias eukariotines ląsteles per mitochondrijas buvo įterptas reikiamas mechanizmas, kuris, nežymiai patobulėjęs, išliko iki šių dienų.

Tačiau atskirų ląstelių žūtis ir viso organizmo mirtis labai skiriasi. Ląstelių mirtis svarbi daugialąsčių senėjimo ir mirties procesams, ir dar nėra dėsnių, teigiančių, kad *visos* kūno ląstelės turi mirti, arba kad jų neturi pakeisti naujos. Kai kurie gyvūnai, tarkime, gėlavandenė *hidra*, iš esmės yra nemirtinga – jų ląstelės miršta, jos pakeičiamos kitomis, bet organizmas kaip visuma nerodo jokių senėjimo požymių.

Tarp ląstelių gyvenimo ir ląstelių žūties susidaro ilgalaikė pusiausvyra. Tai tarsi neišsenkanti srovė: niekas negali du kartus įbristi į tą patį upės vandenį, nes jis amžinai skuba ir keičiasi, bet upelio kontūrai, dydis ir forma išlieka kokie buvę. Bet kam kitam, išskyrus graikų filosofą, tai yra ta pati upė. Panašiai ir organizmas – jo ląstelės keičia viena kitą tarsi vanduo, bet organizmas kaip visuma nesikeičia. Aš esu aš, net jei mano ląstelės atsinaujina.

Vargu ar galėtų būti koks nors kitas organizmo išlikimo būdas. Jei ląstelių gyvenimo ir mirties pusiausvyra pasikeistų, organizmas taptų nestabilus kaip srovė per potvynį ar sausrą. Pakeitus mirties „nustatymus“, t. y. jei ląstelė tampa mažiau mirtinga, rezultatas yra nesustabdomas vėžio augimas, jei jos labiau mirtingos – organizmas nunyksta. Vėžys ir degeneracija yra dvi medalio pusės – abi jos naikina daugialąstį organizmą. Bet paprastoji *hidra* tokią pusiausvyrą gali išlaikyti amžinai, o žmogus dešimtmečiais gali išlaikyti tą patį svorį ir sudėjimą, nors kasdien pasikeičia milijardai jo ląstelių. Tik tada, kai senstame, ši pusiausvyra prarandama, ir, deja, kenčiame dėl abiejų medalio pusių vienu metu. Ir vėžys, ir degeneracinės ligos neatskiriamai susijusios su senyvu amžiumi. Taigi kodėl organizmas sensta ir miršta?



Populiariausia XIX a. devintojo dešimtmečio idėja, priskiriama A. Vaismanui, buvo klaidinga – jis ir pats netrukus tai pripažino. Iš pradžių mokslininkas darė prielaidą, kad senėjimas ir mirtis populiacijoms padeda atsikratyti senų susidėvėjusių individų ir pakeisti juos jaunais, turinčiais naują genų rinkinį, susimaišiusį dėl lytinių santykių. Ši idėja mirtį sieja su tam tikru didingumu, darna bei tarnavimu kilnesniam tikslui, nors vargu ar ji gali siekti religinės didybės. Laikantis šio požiūrio, atskiro individo mirtis naudinga visai rūšiai, panašiai kaip kai kurių ląstelių žūtis naudinga organizmui.

Tačiau A. Vaismano kritikai atkreipė dėmesį, kad šis argumentas yra uždaras ratas: seni individai „susidėvi“ tik tada, jei sensta, taigi A. Vaismanas supo- nuoja tai, ką bando paaiškinti. Vadinasi, išlieka klausimas, kas senėjant verčia individus „nusidėvėti“, net jei mirtis naudinga visai populiacijai? Kas neleidžia apgavikams, išvengusiems mirties, panašiai kaip vėžio ląstelės, palikti vis daugiau palikuonių, apdovanotų tais pačiais savanaudžiais genais? Kas stabdo vėžį visuomenėje?

Darvininį atsakymą pirmas pateikė P. Medavaras savo žymiojoje inaugura- cinėje paskaitoje, kurią skaitė Londono universitetiniame koledže 1953 m. Jis pasiūlė atsakymą: statistinė mirties tikimybė nepriklauso nuo senėjimo, – mirtis gali ištikti, partrenkus autobusui, iš dangaus nukritus akmeniui, individas gali būti suėstas tigro ar sugraužtas ligos. Net būdami nemirtingi, vargu ar gyventu- me amžinai. Todėl asmenys, savo reprodukinius išteklius sutelkiantys ankstyvo- joje gyvenimo pusėje, statistiškai gali susilaukti daugiau palikuonių nei tie, kurie tai daro pagal neskubų grafiką, tarkime, kartą per 500 m. ar pan., tačiau, deja, galvos netenka po 450 m. Anksčiau pradėję lytinį gyvenimą tikriausiai susilauk- site daugiau palikuonių, kurie paveldės „ankstyvo lytinio gyvenimo“ genus, nei ramesni jūsų pusbroliai. Tai ir yra problema.

Anot P. Medavaro, kiekvienai rūšiai būdinga tam tikra statistiškai tikėti- na gyvenimo trukmė, kuri priklauso nuo individų dydžio, medžiagų apykaitos spartos, natūralių priešų, fizinių savybių, pavyzdžiui, sparnų, ir pan. Jei statistinė gyvenimo trukmė yra, sakykim, 20 m., individai, kurie šiuo laikotarpiu repro- dukcijos ciklą baigia, greičiausiai paliks daugiau palikuonių nei kiti. Labiau rizi- kuojantys genai išliks geriau nei kiti.

Galiausiai A. Medvaras priėjo prie išvados, kad genai, sukeliantys širdies ligas, genome kaupiami tada, kai statistškai jau turėtume būti mirę. Žmonių atveju natūralioji atranka negali pašalinti geno, kuris sukelia Alzheimerio ligą, sulaukus 150 m., nes niekas taip ilgai negyvena. Ankstesniais laikais genai, sukeliantys šią ligą 70-mečiams, taip pat „praslysdavo“, nes nedaugelis žmonių sulaukdavo Biblijoje minimo 70 m. amžiaus. Taigi, pasak jo, senatvė – tai silpnėjimas, kurį sukelia genai, įsijungiantys tada, kai jau turėtume būti mirę. Tai šimtai ar net tūkstančiai genų, kurie iš tiesų yra mirę, nes jų nebepasiekia atranka. Tik žmonės kenčia Titono vargus, nes tik jie dirbtinai pratęsė savo gyvenimą, pašalinę statistines mirties priežastis – plėšrūnų grėsmę ar daugelį mirštamų užkrečiamųjų ligų. Mes atkasėme genų kapines, o jie, savo ruožtu, mus varo į kapus.

P. Medvaro idėją visiškai atskirai ištobulino ir žymus amerikiečių evoliucionistas Dž. K. Viljamsas – iškėlė idėją vienu blogiausių pavadinimų visame moksle – antagonistinė pleotropija. Man šis terminas siejasi su jūrų dinosauro, pagautu maitinimosi šėlo. Iš tiesų jis reiškia įvairų poveikį turinčius genus – vienas poveikis geresnis už kitą, o kai kurie gali būti tiesiog žalingi. Klasikinis ir slogus pavyzdys yra Huntingtono chorėja – negailestinga psichinė ir fizinė degeneracinė liga, prasidedanti nesmarkiais traukuliais vidutinio amžiaus pradžioje ir galiausiai atimanti gebėjimą vaikščioti, kalbėti, galvoti ir protauti.

Šią „svirduliuojančią beprotybę“ sukelia vienintelio geno defektas, kuris nepasireiškia iki lytinės brandos. Kai kurie negalutiniai duomenys rodo: labiau tikėtina, jog žmonės, kuriems gali išsivystyti Huntingtono chorėja, anksčiau pradės lytinį gyvenimą, nors vis dar neaišku, kodėl taip yra, o poveikio mastas yra nepamatuojamas. Bet svarbiausia, kad genas, skatinantis net nedidelę lytinio gyvenimo sėkmę, atrankos būdu įsitvirtino ir išlieka genome, nors vėliau jis sukelia siaubingą degeneraciją.

Iki šiol neaišku, kiek genų su šia liga susiję vėlesniame gyvenime, tačiau minėta idėja gana paprasta, ir galima paaiškinti. Nesunku įsivaizduoti geną, kuris skatina kauptis geležį – ji naudinga gyvenimo pradžioje, nes lemia kraujo pigmento hemoglobino susidarymą, tačiau vėliau tampa neparanki, nes geležies perteklius sukelia širdies nepakankamumą.

Tai tikrai ne evoliucinė idėja – ji labiau dera su šiuolaikine medicina. Kalbant paprastai, kiekvienam dalykui yra savas genas, pradedant homoseksualizmu ir baigiant Alzheimeriu. Ir nors ši mintis skamba kaip laki frazė, padedanti



parduoti daugiau laikraščių, iš tiesų ji kur kas gilesnė. Idėja, kad tam tikri genetiniai pokyčiai lemia tam tikrą asmens būklę, būdinga visiems medicininiais tyrimams. Pakanka pateikti vieną gerai žinomą pavyzdį.

Yra 3 būdingi geno *ApoE* variantai, vadinami *ApoE2*, *E3* ir *E4*. Apie 20 % Vakarų Europos gyventojų turi *ApoE4* geno variantą, tačiau, be abejonės, jie norėtų visai ko kito – šis variantas susijęs su statistiškai didesne Alzheimerio ligos, širdies ir kraujagyslių ligų bei insulto rizika. Jei turite dvi *ApoE4* geno kopijas, verčiau atidžiai rinkitės maistą ir reguliariai lankykitės sporto salėje – galbūt tokiu būdu kompensuosite genetinį polinkį.<sup>4</sup>

Iki šiol nežinoma, kam *ApoE4* genas iš tiesų reikalingas, tačiau tai, kad ši jo atmaina tokia dažna, verčia matyti – palankiu poveikiu jaunesniame amžiuje tarsi nori atlyginti senatvėje būsimus nepatogumus. Ir tai tik vienas iš šimtų, o gal ir tūkstančių pavyzdžių. Tokias genų atmainas siekiama aptikti medicininiais tyrimais, o grėsmingą poveikį bandoma šalinti naujais (ir dažniausiai brangiais) vaistais.

Kitaip nei Huntingtono chorėja, dauguma su amžiumi susijusių ligų – tankiai supintas genetinių ir aplinkos veiksnių gobelenas. Apskritai, patologiją lemia daug genų. Kalbant apie širdies ir kraujagyslių ligas sukeliančius veiksnius, skirtingi genetiniai variantai lemia aukštą kraujospūdį, greitą kraujo krešėjimą, nutukimą, aukštą cholesterolio lygį ar tinginystę. Jei polinkis į aukštą kraujospūdį dera su sūraus ir riebaus maisto pomėgiu, meile alui ar cigaretėms bei mankšta tik televizoriaus ekrane, susirgimo rizikai įvertinti vargu ar reikalinga draudimo bendrovė.

Nors rizikos susirgti viena ar kita liga įvertinimas tebėra nemalonus uždavinys, mūsų supratimas apie genetinius polinkius dar neišaugo iš vystyklų. Netgi susumavus visus veiksnius, genetinės su amžiumi susijusių ligų priežastys paprastai neviršija 50 %. Paprastai didžiausias rizikos veiksnys ir yra pats senyvas amžius – juk tik nedaugelis nelaimėlių kenčia nuo vėžio ar patiria insultą trečiajame ar ketvirtajame savo gyvenimo dešimtmetyje.

Šiuolaikinės medicinos atskleidžiama su amžiumi susijusių ligų samprata gana tiksliai atitinka evoliucinį vėlavį pradedančių veikti genų paveikslą, kurį „nutapė“ P. Medavaras. Mūsų polinkį įvairioms ligoms lemia šimtai genų, tad kiekvienas turime savo rizikos spektrą, nuosavas „genų kapines“; jų poveikį gali sustiprinti arba susilpninti gyvenimo būdas arba kiti genai. Tačiau, nagrinėjant šį požiūrį į senėjimą, kyla dvi rimtos problemos.

Pirma numanoma iš šio mano teiginio: apie ligas kalbu kaip apie senėjimo *simptomus*, o ne kaip apie jo *priežastį*. Minėti genai yra susiję su tam tikromis ligomis, bet tik nedaugelis iš jų, atrodo, sukelia patį senėjimą. Įmanoma gyventi iki 120 m. ir niekada niekuo nesirgti, tačiau net ir tada žmogus sensta ir miršta. Be to, neigiamą šių genų poveikį atskleidžia tik senyvas amžius – jie mums ne-trukdo, kol esame jauni, o pasireiškia tik pasenus. Medicinoje yra tendencija su amžiumi susijusias ligas vertinti kaip patologiją (ir laikyti jas „išgydomomis“), tačiau pati senatvė laikoma neišgydoma būseną, o ne liga. Puikiai suprantamas nenoras senatvę tapatinti su nesveikata. Nors šis požiūris yra naudingas tuo, kad bandoma atskirti senėjimą ir su amžiumi susijusias ligas, jis taip pat gražiai pa-tvirtina P. Medavaro teiginius: genai lemia su amžiumi susijusių ligų išsivystymą, tačiau svarbiausia jų priežastis išliko senėjimas.

Šis skirstymas visa jėga atsiskleidė praėjus dešimtmečiui, t. y. 1988 m., kai Deividas Frydmanas (*David Friedman*) ir Tomas Džonsonas (*Tom Johnson*) iš Kalifornijos universiteto Irvine pranešė apie pirmąją kirmėlių nematodų gyvenimą pratęsusią mutaciją. Dvigubos *amžiaus-1* geno mutacijos gyvenimo trukmę pailgino beveik dvigubai – nuo 22 iki 46 dienų. Vėlesniais metais buvo užregis-truota dešimtys panašių nematodų bei kitų gyvybės formų (pradedant mielėmis ir baigiant vaisinėmis muselėmis, pelėmis) mutacijų.

Tuo laikotarpiu ši sritis suklestėjo tarsi dalelių fizika aštuntajame dešimt-metyje – buvo įregistruota tiek gyvenimo trukmę ilginančių mutacijų, jog būtų galima sudaryti visą zoologijos sodą. Pamažu išryškėjo dėsningumai. Beveik vi-suose mutavusiuose genuose – mielių, muselių, pelių – baltymai buvo užkoduoti tokiu pat biocheminiu būdu. Kitaip tariant, ir grybų, ir žinduolių gyvenimo tru-kmę kontroliuoja panašus itin apsaugotas mechanizmas. Minėtos mutacijos gali ne tik pailginti gyvenimo trukmę, bet ir vėlinti senatvės negalias ar netgi leisti jų išvengti. Kitaip nei bėdžiui Titonui, dvigubai pailgėjusi gyvenimo trukmė su-teiktų daugiau nei dvigubai sveikatos.

Ligų ir gyvenimo trukmės sąsaja nebuvo staigmena. Galiausiai beveik visi žinduoliai kenčia nuo panašių su amžiumi susijusių ligų, įskaitant cukrinį dia-betą, insultą, širdies ligas, aklumą, demenciją ir pan. Tačiau žiurkė vėžiui pasi-duoda sulaukusi maždaug 3 m., t. y. kai pasensta, o žmonės nuo tų pačių ligų pradeda kentėti 60–70 m. Akivaizdu – net „genetinės“ negalios susijusios su senyvu amžiumi, o ne su chronologiniu laiku. Tačiau tikra staigmena, tiriant

su gyvenimo trukme susijusias mutacijas, buvo visos sistemos lankstumas. Viena vienintelio geno mutacija gali dvigubai pailginti gyvenimą ir galiausiai „sulaikyti“ senatvės ligas.

Negalima neįvertinti šių išvadų svarbos. Nejau visas senatvės ligas, pradedant vėžiu, širdies ligomis ir baigiant Alzheimerio liga, iš esmės galima atidėti ar netgi išvengti, tiesiog sukeitus vieną geno seką. Taigi buvo pateikta šokiruojanti išvada: rodos, paprasčiau įveikti senėjimą ir visas su amžiumi susijusias ligas, pritaikius vienintelę panacėją, nei išgydyti bet kurią atskirą senatvės ligą, pavyzdžiui, Alzheimerį, senyvo asmens.

Tai yra antra priežastis, kodėl manau, kad P. Medavaro pateiktas senėjimo aiškinimas neteisingas. Mes nesame pasmerkti turėti nuosavų „genų kapinių“ – apskritai galime tokių „genų kapinių“ išvengti, išvengę senėjimo. Su amžiumi susijusios ligos priklauso nuo *biologinio amžiaus*, o ne nuo laiko. Išgydykime senėjimą, ir išgydysime senatvės ligas – visas ligas. Pati svarbiausia visų šių genetinių tyrimų išvada – senėjimas išgydomas.



Gyvenimo trukmę valdančios biocheminės sekos buvimas iškelia keletą evoliucinių klausimų. Pirmoji (klaidinga) implikacija – kad gyvenimo trukmė tiesiogiai „įrašyta“ genuose, t. y. senėjimas ir mirtis užprogramuoti kaip kažkas apskritai naudingo rūšiai, – taip iš pradžių teigė A. Vaismanas. Bet jeigu vienintelė mutacija gali padvigubinti gyvenimo trukmę, kodėl neaptinkame daugiau „gudruolių“, t. y. daugiau gyvūnų, kurie būtų „nusprendę“ tuo pasinaudoti? Tai būtų paprasta. Jei gyvūnai „neapgaukinėja“ gyvenimo trukmės, vadinasi, turi būti „bausmė“ už tokį „apgaukinėjimą“, ir gana griežta bausmė, kad nustelbtų net ilgesnio gyvenimo privalumus. Jei tokia „bausmė“ galiotų ir mums, galbūt nuspręstume verčiau kęsti ligas.

Štai tas trūkumas. Dar kartą tenka kalbėti apie seksą. Jeigu norime pratęsti gyvenimą ir išvengti ligų, būtų protinga perskaityti, kas smulkiu šriftu surašyta mūsų sutartyje su mirtimi. Keista – visos mūsų gyvenimo trukmę ilginančių genų, vadinamų *gerontogenais*, mutacijos veikia taip, kad gyvenimo trukmė pailgėtų, o ne sutrumpėtų. „Pradinė padėtis“ visada yra trumpesnė gyvenimo trukmė. Tai logiška, jei manome, kad gerontologiniai genai atskleidžia biocheminės sekos esmę.

Tačiau kalbama ne apie senėjimą apskritai, o apie lytinę brandą. Lytinei gyvūno brandai reikia daug išteklių ir energijos, o jeigu jų nėra, geriau šią brandą atidėti ir laukti, kol jų atsiras. Vadinasi, genuose stebima aplinkos išteklių gausa, kur „perskaičiuojama“ į biocheminę „valiutą“ ir tiesiogiai kalbama ląsčiai: „Čia netrūksta maisto, taigi dabar tinkamas metas daugintis. Ruoškitės seksui!“

Apie gausą pranešantis biocheminis signalas yra hormonas insulinas drauge su visa gausia panašių hormonų šeima, kurie veikia ilgą laiką (mėnesius ir savaites), o svarbiausias iš jų yra su insulinu susijęs augimo veiksnys. Jų pavadinimams nesvarbūs – vien kirmėlės nematodai turi 39 tokius su insulinu susijusius hormonus. Svarbiausia – kai maisto pakanka, insulino hormonai puola į darbą ir skatina daug įvairių vystymosi pokyčių, reikalingų lytiniam gyvenimui. Jei maisto nepakanka, šios sekos prityla, ir lytinė branda vėluoja. Tačiau tylą nereiškia, kad nieko nevyksta. Priešingai, signalo nebuvimą aptinka kiti jutikliai, kurie iš esmės pristabdo patį gyvenimą. Jie ragina palaukti geresnių sąlygų, o tada bandyti vėl. Organizmas saugomas nuo senėjimo tiek, kiek įmanoma.

Idėją apie kompromisą tarp lytinės brandos ir ilgaaamžiškumo aštuntojo dešimtmečio viduryje išdėstė Didžiosios Britanijos gerontologas Tomas Kirkvudas (*Tom Kirkwood*) – tai įvyko kur kas anksčiau, nei buvo atrasti gerontologiniai genai. Jis aiškiai pagrindė tokį pasirinkimą ekonominėmis priežastimis, t. y. energija yra ribota, ir viskas turi savo kainą. Energijos sąnaudas organizmui palaikyti reikia atimti iš lytinio gyvenimo energijos sąnaudų, tad organizmams, kurie abu šiuos dalykus bando daryti vienu metu, sekasi ne taip gerai kaip tiems, kurie išteklius paskirsto.

Kraštutiniai pavyzdžiai yra gyvūnai, kurie dauginasi tik kartą gyvenime ir savo palikuoniais nesirūpina – pavyzdžiui, Ramiojo vandenyno lašišos. Katastrofiška jų baigtis aiškinama ne kaip „mirties programa“, o kaip absoliučiai visų išteklių investavimas į „viso gyvenimo verslą“ – dauginimąsi.<sup>5</sup> Lašišos suyra į gabalus, nes 100 % išteklių skiria dauginimuisi, taigi nepalieka nieko kitoms organizmo funkcijoms.

Gyvūnai, kurie gyvenime dauginasi daugiau nei vieną kartą (įvairiomis progomis), turi tam skirti mažiau išteklių ir geriau prižiūrėti organizmą, o tie, kurie metų metais privalo investuoti į palikuonių auginimą (panašiai kaip mes), šią pusiausvyrą turi palaikyti dar ilgiau. Tačiau visais atvejais išlieka pasirinkimas, ir jį valdo insulino hormonai.

Gerontologinių genų mutacijos imituoja tylą. Jos „išjungia“ gausos signalą ir suaktyvina su organizmo funkcijų palaikymu susijusius genus. Net tada, kai maisto yra gausu, mutavę gerontologiniai genai į tai nereaguoja – jie neatsako į insulino signalus. Beje, atsparumas insulinui žmonėms nesuteikia ilgaamžiškumo, bet sukelia pirmo tipo cukrinį diabetą – organizmo perkaitimas drauge su fiziologiniu polinkiu išteklius kaupti geresniems laikams lemia svorio prieaugį, cukrinį diabetą ir ankstyvą mirtį.

Antras paradoksas: ir toliau išlieka „bausmė“ už gyvenimo pratęsimą – atidėtas lytinis gyvenimas. Tai pasireiškia nevaisingumu. Taigi cukrinis diabetas su nevaisingumu susijęs neatsitiktinai – cukrinį diabetą ir nevaisingumą sukelia tos pačios hormonų sūpynės. Insulino išjungimas tik tada pailgina gyvenimą, jeigu alkstate ilgą laiką, o galima to kaina – neturėti vaikų.

Iš tiesų, visa tai žinome jau dešimtmečius – tai trečias paradoksas. Galime tuo pernelyg nesidžiaugti, tačiau jau nuo XX a. trečiojo dešimtmečio pripažįstame, kad nuolatinis nestiprus alkis ilgina gyvenimą. Tai vadinama kalorijų ribojimu. Žiurkės, šeriamos subalansuotu pašaru, kuriame yra apie 40 % mažiau kalorijų nei įprasta, gyvena maždaug pusantro karto ilgiau bei patiria mažiau senatvės ligų, nei gausiai šeriami jų broliai ir seserys. Senatvės ligos atidedamos neapibrėžtam laikui, ir mažiau tikėtina, kad jos apskritai pasireikš.

Ar kalorijų ribojimas turi tokį patį poveikį žmonėms, kaip žiurkėms, kol kas neaišku, tačiau yra tokį poveikį patvirtinančių požymių, tik gal ne tiek daug: biocheminiai tyrimai atskleidžia, kad mumyse vyksta iš esmės panašūs pokyčiai. Nors apie kalorijų ribojimo poveikį žinome jau dešimtmečius, vis dar ne itin gerai suprantame, kaip ir kodėl tai veikia, ir netgi tai, ar tai tikrai tinka žmonėms.

Viena priežastis yra ta, kad išsamus žmogaus gyvenimo trukmės tyrimas truktų dešimtmečius – tai gali užgesinti net darbščiausių tyrėjų uolumą.<sup>6</sup> Kita vertus, jau seniai suvokta, kad gyventi ilgiau – tai gyventi lėčiau, vadinasi, ir nuobodžiau. Vilties teikia tik tai, kad tai gali būti netiesa. Kalorijų ribojimas gerina energijos vartojimo veiksmingumą, nemažinant bendro energijos lygio; priešingai, ribojimu energijos lygis netgi padidinamas.

Bet pagrindinė priežastis, kodėl žinome tiek mažai, yra su kalorijų ribojimu susijusi biochemija – tai didžiulis atsako ciklą, lygiagrečių grandinių ir pertekliaus raizginys, kuris kaleidoskopiškai kinta atskiruose audiniuose bei rūšyse, ir kurį nelengva išpauoti. Gerontologiniai genai svarbūs dėl to, kad įrodo: keli

nedideli šio sudėtingo tinklo pokyčiai gali turėti didelį poveikį. Nenuostabu, kad žinios turėjo neįtikėtiną poveikį tyrėjams.

Keliama prielaida: kalorijų apribojimas bent iš dalies veikia gerontologinių genų valdomas biochemines sekas. Tad tenka rinktis – seksas ar ilgaamžiškumas. Vienas kalorijų ribojimo trūkumas – kad jungiklis perjungiamas visiškai, tad maža tikimybė ir gyventi lytinį gyvenimą, ir gyventi ilgai. Tiesa, gerontologinių genų atveju tai ne visada pasitvirtina. Tai lemia kai kurios jų mutacijos (pradinė geno *amžius-1* mutacija tai lemia net 75 %), tačiau ne visos.

Kai kurios gerontologinių genų mutacijos gali pailginti gyvenimo trukmę, neblogėjant sveikatai, šiek tiek slopindamos seksualumą, – jos tik šiek tiek jį susilpnina, o ne panaikina. Kitos mutacijos stabdo jaunų gyvūnų lytinį brendimą, tačiau neturi jokių akivaizdžių neigiamų padarinių vyresniame amžiuje. Betgi šie duomenys tiesiogiai nesusiję su mumis. Esmė – kad įmanoma subtiliai atskirti lytinį gyvenimą nuo ilgaamžiškumo, t. y. suaktyvinti už ilgaamžiškumą atsakingus genus, nemenkinant seksualumo.

Per pastaruosius kelerius metus išskirti du gerontologiniai genai, kurie, atrodo, labiausiai prisideda prie kalorijų ribojimo: SIRT-1 ir TOR. Abu šie genai aptinkami beveik visur – pradedant mielėmis ir baigiant žinduoliais – ir veikia gyvenimo trukmę, aktyvindami tam tikrus baltymų rinkinius. Abu šie genai jautrūs maisto medžiagų ir augimo veiksnių buvimui arba nebuvimui ir pradeda veikti priešingomis sąlygomis.<sup>7</sup>

Manoma, kad TOR valdo lytinį „perjungimą“ – skatina ląstelių augimą ir dauginimąsi. Jis veikia įjungdamas ir kitus baltymus, be kita ko, skatina baltymų sintezę ir ląstelių augimą, blokuodamas ląstelių sudedamųjų dalių irimą ir kaitą. SIRT-1 iš esmės elgiasi priešingai: įjungia „apsaugą nuo streso“, kuri ląstelę sustiprina. Įprastomis biologinėmis sąlygomis jų veikimas ne atsveria, o papildo vienas kitą. Tačiau SIRT-1 ir TOR veikia ir kaip pagrindinės ašys, atsakingos už daugelio kalorijų ribojimo privalumų koordinavimą.

SIRT-1 ir TOR į save atkreipė dėmesį iš dalies dėl to, kad šie genai gana svarbūs, o iš dalies todėl, kad jau žinome, kaip paveikti juos farmakologiškai – tai sukėlė gyvą mokslinę diskusiją. Leonardas Guarentė (*Leonard Guarente*) iš Masačusetso technologijos instituto bei Deividas Sinkleiras (*David Sinclair*) – ankstesnis jo bendradarbis, kuris tęsė tyrimus ir apsigynęs disertaciją, o dabar dirba Harvarde, teigė: SIRT-1 yra atsakingas už didžiąją dalį

kalorijų apribojimo poveikio žinduoliams, o jį gali įjungti raudonajame vyne randama maža molekulė, vadinama resveratroliu.

*Nature* žurnale 2003 m. paskelbtų svarbių mokslinių straipsnių serija atskleidė, kad mielių, kirmėlių ir musių gyvenimą resveratrolis gali pratęsti. Viešai šiuo klausimu buvo ypač susidomėta 2006 m., kai D. Sinkleiras *Nature* paskelbė veikalą ir įrodė, kad resveratrolis  $\frac{1}{3}$  sumažina nutukusių pelių mirties riziką. Ši žinia buvo išspausdinta pirmajame *New York Times* puslapyje ir sukėlė tikrą audrą. Jeigu resveratrolis taip veikia nutukusias peles ir kitus žinduolius, galbūt jis ir žmonėms galėtų daryti stebuklus.

Seniai žinoma raudonojo vyno nauda sveikatai tik įpylė alyvos į ugnį, tačiau stiklinėje vyno yra labai nedaug resveratolio – vos 0,3 % pelėms skirtos dozės. Paradoksalu, tačiau šiai idėjai paprieštaravo du buvę L. Guarentės laboratorijos doktorantai – Brajanas Kenedis (*Brian Kennedy*) ir Metas Keberlainas (*Matt Kaeberlein*) – šiuo metu jie dirba Vašingtono universitete Sietle. Nors jie buvo vieni iš pirmųjų SIRT-1 tyrėjų, nerimą jiems ėmė kelti daugybė išimčių.

M. Keberlainas ir B. Kenedis dirbo ne su SIRT-1, o su TOR, kurio poveikis įvairioms gyvūnų rūšims, anot jų, yra panašesnis ir dažnesnis. Kadangi TOR ir SIRT-1 poveikis susimaišo, o ne lemia priešingas savybes, jie gali būti teisūs. Visų pirma, TOR blokavimas slopina imuninius ir uždegiminius procesus – tai gali būti naudinga, nes daugeliui su amžiumi susijusių ligų būdingas nuolatinis uždegimas. Dar vienas dalykas – kad TOR iš esmės veikia *rapamicinas* – tai buvo atrasta transplantacinės medicinos.

Rapamicinas yra vienas iš veiksmingiausių imunosupresantų persodinant organus, naudojamas jau ilgiau nei dešimtmetį. Jis pasižymi imunosupresantams nebūdingomis savybėmis, t. y. recipientai netampa imlesni vėžiui arba osteoporozei. Kai kurie tyrėjai patikėjo karštais Michailo Blagosklonyj (*Mikhail Blagosklonny*) teiginiais, kad rapamicinas puikiai saugo nuo senėjimo. Bus įdomu pamatyti, ar asmenys, kuriems buvo atlikta transplantacija, ir kurie vartoja rapamiciną, mažiau sirgs senatvės ligomis.

Tačiau, apie resveratrolį ir rapamiciną kalbant kaip apie senėjimą stabdančius preparatus, iškyla kur kas sunkesnė problema – platus jų veikimo spektras. Abu jie suaktyvina ir išjungia dešimtis, o gal net ir šimtus baltymų bei genų. Galbūt tam tikru mastu tai būtina, tačiau kai kurios tokio didelio pokyčių masyvo dalys gali būti nenaudingos arba reikalingos tik esant trumpalaikiam maisto trū-



kumui arba stresui – galiausiai, juk tokiomis aplinkybėmis šie pokyčiai ir susidarr. Jau sužinojome, kad aktyvinamas SIRT-1 arba slopinamas TOR gali sukelti atsparumą insulinui, cukrinį diabetą, nevaisingumą ir slopinti imuninę sistemą.

Reikalingas labiau į tikslą nukreiptas metodas, pasižymintis mažesniu šalutiniu poveikiu.<sup>8</sup> Šitai turėtų būti įmanoma, nes gyvūnams, kurių gyvenimo trukmė per kelias kartas pailgėja dėl gamtoje vykstančios natūraliosios atrankos, tai nebūdinga. Kyla klausimas, kurie SIRT-1 ir TOR sužadinti genai yra atsakingi už gyvenimo trukmės ilginimą ir ligų slopinimą? Kokie konkretūs fiziniai pokyčiai turi vykti ląstelėse, kad būtų „užšaldytas“ laiko tėkmės poveikis?

Tikslaus atsakymo vis dar nežinome ir – kaip dažnai būna tokiais atvejais – atrodo, atsakymų yra tiek pat, kiek ir tyrėjų. Vieni mokslininkai pabrėžia apsauginį atsaką į stresą, kiti – toksinus šalinančių fermentų reguliavimą, dar kiti – tobulesnę šalinimo sistemą. Visi šie dalykai gali būti svarbūs, susiklosčius tam tikroms aplinkybėms, tačiau panašu, kad jų mastas skirtingas įvairioms gyvų organizmų rūšims.

Vienintelis pokytis, atrodo, būdingas visiems organizmams, pradedant grybais ir baigiant gyvūnais (įskaitant ir mus), yra susijęs su ląstelės „jėgainėmis“ mitochondrijomis. Kalorijų ribojimas beveik visada suaktyvina pažėdimui atsparias membranas turinčias mitochondrijas, kurios medžiagų apykaitos metu išskiria mažiau reaktyvių laisvųjų radikalų. Šie pokyčiai ne tik pastovūs – jie puikiai dera su pusę amžiaus trukusiais laisvųjų radikalų įtakos senėjimui tyrimais.



Mintis, kad senėjimą gali sukelti laisvieji radikalai, kilo šeštajame dešimtmetyje, kai Denhemas Harmenas (*Denham Harman*), tyręs laisvųjų radikalų chemiją naftos pramonėje, iškėlė hipotezę, kad šie reaktyvieji deguonies arba azoto fragmentai (kurie prarado arba ėgijo elektronų) taip pat gali atakuoti svarbiausias biologines molekules, tarkime, DNR ir baltymus. D. Harmenas teigė, kad galiausiai į ląsteles jie nukreipia atliekas ir skatina senėjimo procesą.

Per pusę amžiaus, praėjusio nuo tada, kai buvo iškelta ši idėja, daug kas pasikeitė, ir dabar galima pagrįstai teigti – pradinė teorija buvo klaidinga. Betgi galimas daiktas, kad subtilesnis jos variantas gali būti teisingas.

Yra du dalykai, kurių D. Harmenas nežinojo ir negalėjo žinoti.



Viena, laisvieji radikalai yra ne tik reaktyvūs, bet ir naudojami kaip pavojaus signalas ląstelių medžiagų apykaitai optimizuoti. Jie veikia beveik taip pat, kaip priešgaisrinę signalizaciją įjungiantys dūmai. Laisvieji radikalai baltymus ir DNR puola neatsitiktinai – jie suaktyvina arba išjungia kelis svarbiausius signalinius baltymus (įskaitant ir TOR), kurie, savo ruožtu, reguliuoja šimtų baltymų ir genų veiklą.

Dabar žinome, kad laisvųjų radikalų signalai sudaro ląstelių fiziologijos esmę, taigi pradedame suprasti, kodėl antioksidantai (jie šluote iššluoja laisvuosius radikalus) duoda tiek pat žalos, kiek ir naudos. Daugelis pradinės D. Harmeno prielaidos šalininkų vis dar mano, kad antioksidantai turėtų sulėtinti senėjimą ir saugoti nuo ligų. Kartotiniaus klinikiniais tyrimais įrodyta, kad taip nėra – dėl to, kad antioksidantai trukdo laisvųjų radikalų signalams.

Panaikinti laisvųjų radikalų signalai – tai tarsi išjungta priešgaisrinės apsaugos signalizacija. Kad tai neįvyktų, antioksidantų lygis kraujyje išlieka toks, koks turi būti. Didelės antioksidantų dozės organizmo tiesiog išsiskiriamos arba neįsisavinamos. Antioksidantų lygis organizme visada maždaug pastovus, kad pavojaus signalas visad būtų deramos parengties.

Antras veiksnys, kurio nežinojo D. Harmenas (jis buvo atrastas tik po 25 m.), – užprogramuota ląstelių mirtis. Užprogramuotą daugumos ląstelių mirtį vis dar valdo mitochondrijos, kurios prieš 2 mlrd. m. suformavo visą eukariotinių ląstelių sistemą. Vienas iš svarbiausių signalų, kuris ląsteles nukreipia mirti, – paspartėjęs laisvųjų radikalų nuotėkis iš mitochondrijų. Reaguodama į šį laisvųjų radikalų signalą, ląstelė įjungia mirties aparatą ir tyliai pasišalina iš sistemos, o visi jos ankstesnio buvimo pėdsakai išnyksta.

Nors šis mechanizmas turi nedaug bendro su „šiukšlių“ kaupimu molekulėje, kurį įsivaizdavo D. Harmenas, tylioji mirties mašina nuolat šalina ankstesnių ląstelių buvimo įrodymus beveik taip pat veiksmingai, kaip KGB. Taigi dvi iš svarbiausių jo teorijos prielaidų (pažeistos molekulės kaupiasi iki kritinio lygio; šį kaupimąsi antioksidantai turėtų sulėtinti ir pailginti gyvenimą) buvo neteisingos.

Tačiau yra keletas priežasčių, leidžiančių manyti, kad subtilesnė šios teorijos versija iš esmės teisinga, nors jai pagrįsti reikia dar daug informacijos. Visų svarbiausia, kad beveik visų rūšių gyvų organizmų gyvenimo trukmė priklauso nuo laisvųjų radikalų nuotėkio.<sup>9</sup> Kuo šis nuotėkis spartesnis, tuo gyvenimas trumpesnis. Dideliu mas-

tu laisvųjų radikalų nuotėkio sparta priklauso nuo medžiagų apykaitos spartos, kurią kitais žodžiais galima apibūdinti kaip spartą, kuria ląstelės vartoja deguonį. Smulkiųjų gyvūnų medžiagų apykaita labai greita, o jų ląstelės deguonį siurbtė siurbia – šių gyvūnų širdis net ramybės būsenoje plaka šimtus kartų per minutę. Esant tokiai sparčiai apykaitai laisvųjų radikalų nuotėkis irgi labai didelis, o gyvenimas – trumpas. Ir priešingai, stambesnių gyvūnų medžiagų apykaita lėtesnė, širdies ritmas nespartus, o laisvųjų radikalų nuotėkis nedidelis. Jie gyvena ilgiau.

Išimtyis čia tikrai tik patvirtina taisyklę. Daugelis paukščių gyvena daug ilgiau nei „turėtų“, atsižvelgiant į medžiagų apykaitos spartą. Štai balandis gyvena maždaug 35 m. – gerus 10 kartų ilgiau nei žiurkės, nors balandžiai ir žiurkės yra panašaus dydžio, ir jų medžiagų apykaita taip pat panaši. Ispanų fiziologas Gustavas Barcha (*Gustavo Barja*) iš Madrido Komplutensės universiteto, XX a. paskutiniame dešimtmetyje atlikęs daugybę radikalų eksperimentų, atskleidė ypatumus, į kuriuos reikia atsižvelgti, vertinant laisvųjų radikalų nutėkimą.

Pagal deguonies suvartojimą paukščių laisvųjų radikalų nuotėkis beveik 10 kartų *mažesnis* nei panašių žinduolių. Tą patį galima pasakyti ir apie šikšnosparnius, kurie irgi gyvena neproporcingai ilgai. Šikšnosparnių, kaip ir paukščių, mitochondrijos praranda daug mažiau laisvųjų radikalų. Iki šiol neaišku, kodėl taip yra, nors ankstesnėse knygose tvirtinau, kad priežastis – gebėjimas skraidyti. Nesvarbu, kokia priežastis, nepaneigiama, kad lėtas laisvųjų radikalų nuotėkis prilygsta ilgam gyvenimui, neatsižvelgiant į medžiagų apykaitos spartą.

Nuo laisvųjų radikalų nuotėkio priklauso ne tik gyvenimo trukmė, bet ir sveikata. Jau pastebėjome, kad su amžiumi susijusios ligos priklauso ne nuo praėjusio laiko, o nuo biologinio amžiaus. Žiurkės ir žmonės kenčia nuo tų pačių ligų, tačiau pirmosios jomis pradeda sirgti sulaukusios poros metų, o antrieji – kelių dešimtmečių. Tam tikras degeneracines būkles ir žiurkėms, ir žmonėms sukelia tos pačios mutacijos, tačiau visada pastebime chronologinius skirtumus.

Netipiniai genai, kuriuos P. Medavaras susiejo su senėjimu, ir kurie yra ypač svarbūs medicininiais tyrimams, atskleidė, kad yra kažkas būdinga senų gyvūnų ląstelėms. Alenas Raitas (*Alan Wright*) drauge su kolegomis iš Edinburgo universiteto įrodė, kad tas „kažkas“ susijęs su laisvųjų radikalų nuotėkio sparta. Jei jis greitas, nedelsia išsivystyti ir degeneracinės ligos, jei lėtas, jos pasirodo vėliau, o kartais net ir visai neišsivysto. Tarkime, paukščiai mažai kenčia nuo su amžiumi susijusių ligų, būdingų daugumai žinduolių (išskyrus šikšnosparnius).

Taigi hipotezė, kad laisvųjų radikalų nuotėkis galiausiai pakeičia ląstelės būklę, ją pasendindamas, ir ši pakeista būseną „įjungia“ nepalankų vėlai pradedančių veikti genų poveikį, yra pagrįsta.

Kaip laisvieji radikalai gali pakeisti senstančių ląstelių būklę? Beveik neabejotina, jog tai atsitinka, veikiant nenumatytiems signalams. Jie padeda gerinti mūsų sveikatą, kol esame jauni, bet turi neigiamą poveikį senstant (taip teigiama ir Dž. K. Viljamso antagonistinės pleotropijos teorijoje). Kai ląstelių mitochondrijų populiacijos pradeda susidėvėti, laisvųjų radikalų nuotėkis po truputį spartėja, kol peržengiama riba, ir „priešgaisrinė signalizacija“ ima veikti nuolat.

Suaktyvinami šimtai genų, kurie, bergždžiai siekdami atkurti įprastą būklę, sukelia daugeliui senatvės ligų būdingą nedidelį uždegimą.<sup>10</sup> Šis nuolatinis nestiprus uždegimas keičia daugelio kitų baltymų ir genų savybes ir verčia ląstelę patirti dar didesnę įtampą. Manau, būtent ši uždegiminė būklė ir suaktyvina neigiamą vėlai veikiančių genų, pavyzdžiui, *ApoE4*, įtaką.

Iš šios padėties tėra dvi išeitys: su lėtiniu stresu ląstelės arba gali susidoroti, arba negali. Įvairių tipų ląstelių „gebėjimai“ šioje srityje skiriasi, atsižvelgiant į jų funkcijas. Geriausias man žinomas pavyzdys – naujoviški Londono universiteto kolegijos farmakologo Salvadora Monkados (*Salvador Moncada*) darbai. Jis atskleidė, kad neuronų ir pagalbinių jų ląstelių, dar vadinamų astrocitais, likimai visai priešingi.

Neuronai yra visiškai priklausomi nuo savo mitochondrijų. Jei jie negali generuoti pakankamai energijos, kad patenkintų mitochondrijų poreikius, įsijungia ląstelės mirties mechanizmas, ir neuronas tyliai išnyksta. Iki tol, kol išryškėja pirmieji Alzheimerio ligos požymiai, smegenys jau būna sumažėjusios beveik ¼. Astroцитai, priešingai, gali gana gerai išgyventi ir be mitochondrijų. Jie gali „prisijungti“ prie alternatyvių energijos šaltinių (*glikolitinis persijungimas*) ir tampa beveik atsparūs užprogramuotai ląstelės mirčiai.

Šie prieštaringi rezultatai atskleidžia, kodėl senėjant ir degeneracinės ligos, ir vėžys gali eiti koja kojon. Ląstelės, negalėdamos gauti energijos iš alternatyvių šaltinių, miršta ir sukelia degeneracines ligas – audinių ir organų susitraukimą, o kitoms ląstelėms tenka vis didesnė atsakomybė perimti jų funkcijas. Kita vertus, ląstelės, galinčios gauti alternatyvios energijos, tampa beveik visiškai apsaugotos nuo mirties. Gyvendamos nuolatinio uždegimo sąlygomis, jos ima daugintis,

greitai sukaupia mutacijas, o tada išsilaisvina iš įprastų ląstelės gyvavimo ciklo ribojimų ir tampa vėžinės. Taigi neatsitiktinai iš neuronų navikų susidaro labai retai ar beveik niekada, tačiau gana dažnai – iš astrocitų.<sup>11</sup>

Tai perpratę, galime suvokti, kodėl kalorijų ribojimas saugo nuo su amžiumi susijusių ligų ir senėjimo bent tada, kai riboti pradedama gana anksti (prieš susidėvint mitochondrijoms, taigi sulaukus vidutinio amžiaus). Kalorijų ribojimas, padedantis mažinti laisvųjų radikalų nuotėkį, stiprinti mitochondrijų membranas, kad jos nebūtų pažeistos, ir didinti mitochondrijų skaičių, vėl atsuka gyvenimo laikrodį į „jaunystę“. Tokiu būdu išjungiami šimtai uždegimo genų, ir atkuriami jaunatviška cheminė aplinka – ląstelės apsaugomos nuo užprogramuotos ląstelių mirties.

Šis derinys ne tik slopina vėžį ir degeneracines ligas, bet ir lėtina senėjimą. Tikėtina, kad iš tikrųjų veikia ir daugiau veiksmų (tiesioginis imuniteto slopinimas, slopinant TOR), tačiau iš esmės kalorijų ribojimo naudą galima paaiškinti tuo, kad, ribojant kalorijas, mažėja laisvųjų radikalų nuotėkis – panašėjame į paukščius.

Toliau pateiksiu šiek tiek įdomių įrodymų, patvirtinančių, kad viskas būtent taip ir vyksta. 1998 m. Masaši Tanaka (*Masashi Tanaka*), su kolegomis tuo metu dirbęs Tarptautiniame Gifu biotechnologijos universitete Japonijoje, tyrė tam tikrą mitochondrijų DNR pokytį turinčių žmonių likimus (minėtas pokytis būdingas Japonijai, kitur jis nepaplitęs).

Nors toks pokytis – tai pasikeitusi vienintelė DNR raidė, tačiau dėl jo šiek tiek sumažėja laisvųjų radikalų nuotėkis. Konkrečiu momentu šį poveikį vos įmanoma aptikti, tačiau jis išlieka visą gyvenimą, ir jo pasekmės yra labai reikšmingos.

M. Tanaka su kolegomis tyrė kelių šimtų į ligoninę paciliui atvykusių pacientų mitochondrijų DNR ir nustatė, kad asmenų, jaunesnių nei maždaug 50 m., šių dviejų DNR tipų (tiriamos atmainos ir „įprasto“) proporcijos beveik nesiskyrė. Vyresnių nei 50 m. asmenų grupių rodikliai kitokie. Tikimybė, kad pakitusį DNR turintys 80-mečiai dėl bet kokios priežasties atvyks į ligoninę, tapo lygi pusei. Į ligoninę jie galėjo nebeatvykti, nes buvo jau mirę arba dėl kitos priežasties.

M. Tanaka nustatė, kad japonams, turintiems pakitusį geną, tikimybė išgyventi iki 100 m. yra dvigubai didesnė. Tačiau tai reiškia, kad 2 kartus labiau tikėtina, jog pakitusį geną turintys žmonės sirgs įvairiomis su amžiumi susijusiomis ligomis. Ir vėl pakartosiu – nežinau labiau stebinančių medicinos faktų:

nedidelis mitochondrijos pokytis perpus sumažina riziką patekti į ligoninę dėl bet kokios su amžiumi susijusios ligos, tačiau padvigubina perspektyvas sulaukti 100 m. Jei, gyvendami žilstančioje planetoje, esame rimtai nusiteikę kovoti su varginančiomis ir brangiai kainuojančiomis senyvo amžiaus sveikatos problemomis, nuo to galime ir pradėti. Skelbkite tai visur!



Nenoriu sumenkinti ateities kartų, laukiančių mokslo iššūkių, arba juodinti pastangų tų tyrėjų, kurie visas jėgas skyrė tam, kad išvengtume tam tikrų senatvės ligų. Be didvyriškos jų sėkmės, atskleidžiant ligos genetiką ir biochemiją, platesnė sintezė būtų tiesiog neįmanoma. Tačiau kyla pavojus, kad mokslininkai medikai arba nežino apie evoliucinį mąstymą, arba juo nesidomi. Jei biologijoje niekas neturi prasmės, nebent domimasi evoliucija, kaip teigė mąstytojas Teodoras Dobžanskis (*Theodore Dhobzhansky*), medicinoje yra dar blogiau – tada šiuolaikinis požiūris į ligą apskritai neturi prasmės.

Žinome kiekvieno dalyko kainą ir suvokiame nieko vertę. Stoiškos mano senelių kartos atstovai guosdavosi, sakydami, kad negalios ir vargai siunčiami mums išbandyti. Tačiau kai šis fatalizmas nuo ligonių lovų pasitraukė, ligos dabar tiesiog užklumpa ir gyvenimą sudarko taip, kuris Apokalipsės raitelius verstų rausti iš gėdos. Dabar „kovojame“ su vėžiu arba Alzheimerio liga, žinodami, kad vieną dieną šią kovą pralaimėsime.

Bet mirtis ir ligos nėra atsitiktinės. Jos turi prasmę, o tą prasmę galime panaudoti ir išsigydyti. Mirtis pasikeitė. Senėjimas pasikeitė. Jie pasikeitė dėl pragmatiškų priežasčių. Kalbant plačiausia prasme, senėjimas – tai lankstus evoliucinis kintamasis, priklausomas nuo lytinės brandos ir „didžiosios knygos“, kurioje įrašyti smulkiausi gyvenimo įvykiai.

Už šių rodiklių klastojimą taikomos nuobaudos, tačiau jos skiriasi, o kai kuriais atvejais gali būti netgi nereikšmingos. Iš esmės nedideli tam tikrų sekų pokyčiai gali suteikti galimybę nugyventi ilgesnį ir sveikesnį gyvenimą. Norėčiau dar labiau tai pabrėžti. Evoliucijos teorija atskleidžia: senatvės ligas galime įveikti, pasiitelkę vienintelę gerai apgalvotą panacėją. Amžinosios jaunystės piliulė nėra mitas.

Bet įtariu, kad mitas yra Alzheimerio ligos išgydymas. Tiesą sakant, mokslininkai medikai net nevartoja sąvokos gydyti – verčiau renkasi bendresnius terminus: gerinti gyvenimą, lengvinti simptomus ar nutolinti. Abejoju, kad kada

nors pajėgsime išgydyti senų žmonių Alzheimerio ligą, nes tada pažeistume evoliucijos dėsnius. Tai tarsi bandymas užlipdyti užtvankos plyšius glaistu, mėginant sustabdyti besiveržiantį srautą. Maždaug tas pats pasakytina ir apie insultą, širdies ligas, daugelį vėžio formų ir pan.

Jau turime labai daug informacijos. Žinome, kas vyksta atskiruose baltymuose ar genuose, tačiau pro medžius nebematome miško. Tokios ligos puola pasenusį organizmą – jos yra senos vidinės organizmo aplinkos pasekmė. Jei įsikištume dar ankstyvame amžiuje, šią aplinką galėtume vėl atkurti, kad ji taptų „jauna“ ar bent „jaunesnė“. Tai nebus paprasta – yra per daug evoliucinės sutarties sąlygų, per daug reikia kompromisų. Tačiau jeigu dalį medicininiams tyrimams skiriamo laiko ir pastangų nukreiptume tirti pagrindinius senėjimo mechanizmus, nustebčiau, jei per ateinančius porą dešimtmečių nerastume atsakymo, kuris vienu mostu leistų išgydyti visas senatvės ligas.

Kai kurie žmonės nerimauja dėl etinių gyvenimo trukmės ilginimo aspektų, bet aš manau, kad tai gal visai priimtina. Papildoma amžiaus dalis, kurią galima pelnyti, ribojant kalorijas, akivaizdžiai mažėja rūšims, kurių gyvenimo trukmė apskritai ilgesnė. Žiurkės gali išgyventi beveik dvigubai ilgiau, bet to negalima pasakyti apie makakas. Beždžionių tyrimai dar nebaigti, tačiau panašu, kad, kalbant apie gyvenimo trukmę, kalorijų ribojimo nauda bus kur kas mažesnė. Nors nauda sveikatai – tai visai kitas dalykas.

Biocheminiai makakų pokyčiai leidžia kelti prielaidą, kad senyvos beždžionės mažiau kenčia nuo senatvės ligų, net jei jų gyvenimo trukmė žymiai nepailgėja. Nuojauta man kužda, kad pagerinti sveikatos būklę bus paprasčiau, nei pailginti gyvenimą. Jei pajėgtume sukurti jaunystės piliulę, kuria būtų imituojami kalorijų ribojimo privalumai, kartu išvengiant trūkumų, tikėtina, kad apskritai pagerintume sveikatos būklę, ir būtų daugiau sveikų šimtamečių, kiek primenančių minėtą genetinį mitochondrijų variantą turinčius laiminguosius japonus. Tačiau abejoju, kad kas nors sulauktų 1000 ar bent 200 metų. Tai būtų kur kas atsakingesnė misija.<sup>12</sup>

Tikėtina, kad niekada negyvensime amžinai, o ir neturėtume to linkėti. Problema numanoma, jau žvelgiant į pirmąsias vienaląsčių organizmų kolonijas, kuriose ėmė atsiskirti lytinės ir somatinės ląstelės. Kai jos pradėjo skirtis, vieną kartą gyvenančios somatinės ląstelės tapo pavaldžios germicidinėms. Didėjant ląstelių specializacijai, didėjo ir nauda visam organizmui, ypač – reprodukcijai.

## MIRTIS

Labiausiai specializuotos ląstelės yra žmogaus smegenų neuronai. Kitaip nei „žemiškesnės“ ląstelės, neuronai yra nepakeičiami. Kiekvienas jų su kitais neuronais sujungtas net maždaug 10 000 sinapsinių jungčių, o kiekviena jų grindžiama išskirtine mūsų patirtimi. Mūsų smegenys nepakeičiamos. Kai neuronai miršta, paprastai jau nebėra juos galinčių pakeisti kamieninių ląstelių. Jei vieną dieną pavyktų sukurti kamieninių ląstelių šaltinį neuronams, privalėtume už tai paaukoti savo gyvenimo patirtį. Taigi nemirtingumo kaina yra mūsų žmogiškumas.

# EPILOGAS

Viename įspūdingiausių epizodų, pasirodžiusių televizijos ekrane, Jakobas Bronovskis (*Jacob Bronowski*) žingsniuoja po Aušvico pelkę, į kurią buvo nuplauti 4 mln. žmonių palaikai, taip pat jo artimųjų, ir kalba į kamerą taip, kaip sugeba tik jis: sako, kad mokslas nenužmogina ir nepaverčia žmonių skaičiais. Tai darė Aušvicas. Ne dujomis, bet arogancija. Dogma. Nežinojimu. Jis sako – taip atsitinka, kai žmonės pretenduoja į dievų žinias ir negali jų išbandyti tikrovėje.

Mokslas – priešingai – yra labai žmogiška žinių forma. J. Bronovskis tai išreiškė labai puikiai: „Mes nuolat balansuojame ant žinių ribos, nuolat jaučiame, ko tikėtis toliau. Kiekvienas mokslo sprendimas yra asmeniškasis ir ant klaidos ribos. Mokslas – duoklė tam, ką galime žinoti, nors ir esame klystantys.“

Šis epizodas iš serialo „Žmogaus iškilimas“ (*The Ascent of Man*) nufilmuotas 1973 m. Kitais metais J. Bronovskis mirė nuo širdies smūgio – žmogiškai, klystamai, kaip ir pats mokslas. Tačiau jo įkvėpimas tebegyvena, ir nežinau geresnio mokslo dvasios liudijimo. Remdamasi šia dvasia ir pagarbą išreiškiančiu pavadinimu, ši knyga balansuoja ant žinojimo ribos. Joje daugybė sprendimų, esančių prie klaidingumo ribos. Tai – duoklė tam, ką galime žinoti, nors ir klystame.

Tačiau kur yra riba tarp klaidingumo ir teisingumo? Kai kurie mokslininkai gali nesutikti su knygos teiginiais, kiti – sutinka. Nesutarimų atsiranda ties klaidos riba, ir labai nesunku nukristi į kitą pusę. Tačiau jei teiginiai yra kintantys ar neteisingi, ar visa istorija dėl to tampa neteisinga? Ar mokslo žinios, ypač susijusios su tolimesnėmis praeitimi, yra sąlyginės? Ar tokiu atveju jas galima



## EPILOGAS

nuginčyti, kaip tai kasdien daro dogmos patogumo mėgėjai? O gal evoliucijos mokslas tėra dar viena nenuginčijama dogma?

Mano nuomone, atsakymas tas, kad įrodymai gali būti ir klaidingi, ir nepaneigiami tuo pat metu. Niekados nesužinosime visų smulkmenų apie praeitį, nes interpretavimas visuomet gali būti klaidingas ir aiškinamas daugiau nei vienu būdu. Būtent todėl mokslas gali būti toks prieštaringas. Tačiau mokslas turi unikalią savybę išlyginti rezultatą, atlikdamas eksperimentus ir stebėjimus, praktinius bandymus ir begalę detalių, sudarančių kažką didesnio, panašiai, kaip, žiūrint iš tinkamo atstumo, gausybė taškelių susilieja į prasmingą paveikslą.

Net jei kai kurie šioje knygoje aprašyti dalykai pasirodytų esą netiesa, abejoti, kad gyvybė evoliucionavo – tai abejoti sutampančiais įrodymais nuo molekulių iki žmonių, nuo bakterijų iki planetų sistemų. Tai abejoti biologijos įrodymais ir jų sutapimu su fizikos, chemijos, geologijos ir astronomijos įrodymais. Tai abejoti eksperimentų ir stebėjimų teisingumu, abejoti praktiniais bandymais. Apskritai abejoti tikrove.

Manau, šioje knygoje piešiamas paveikslas yra teisingas. Gyvybė beveik neabejotinai evoliucionavo čia aprašytu būdu. Tai yra ne dogma, o praktiškai išbandyti ir atitinkamai patikslinti įrodymai. Nežinau, ar šis didis paveikslas suderinamas su tikėjimu Dievu. Kai kuriems itin gerai su evoliucija susipažinusiems žmonėms – taip, kitiems – ne. Tačiau, nepaisant mūsų įsitikinimų, šis turtingas suvokimas turėtų stebinti ir džiuginti. Nuostabu turėti tiek daug bendro su mus supančia gyvybe ant šio mėlyno (žalio) marmurinio rutuliuko, plaukiančio per tamsią kosmoso begalybę. Toks požiūris į gyvybę yra ne tik didingas. Čia yra ir klaidų, ir didybės, ir žmogaus troškimo žinoti.

## PADĖKA

Rašydamas šią knygą nebuvo vienišas. Didžiąją laiko dalį namuose laktė du mano maži sūnūs Enekas (*Eneko*) ir Hjugas (*Hugo*), ir nors jie ne visada leido susikaupti, bet suteikė kiekvienam žodžiui prasmės ir malonumo. Mano žmona dr. Ana Hidalgo (*Ana Hidalgo*) diskutavo dėl kiekvienos temos, kiekvienos idėjos, kiekvieno žodžio, dažnai pateikdama naują svarstytiną perspektyvą ir negailestingai iškirpdama šlamštą. Įpratau pasitikėti jos mokslinių ir literatūrinių sprendimų teisingumu, ir kur anksčiau ginčydavausi ir galiausiai pripažindavau buvęs neteisingas, dabar mielai pasinaudoju jos patarimais. Be jos ši knyga būtų blogesnė ir didelė dalis knygos vertės yra jos nuopelnas.

Taip pat buvo daug įdomių pokalbių elektroniniu paštu tiek dieną, tiek naktį su žmonėmis iš viso pasaulio, įvairių sričių, kurias norėjau aprėpti, specialistų minčių ir požiūrių. Nors laikiausi savo krypties, labai vertinu jų dosnumą ir patirtį. Ypač dėkoju profesoriams Bilui Martinui (*Bill Martin*) iš Heinricho Heinės universiteto Diuseldorfe, Džonui Alenui (*John Allen*) iš Londono universitetinio Karalienės Marijos koledžo ir Maikui Raselui (*Mike Russell*), kuris šiuo metu dirba NASA Reaktyvinio judėjimo laboratorijoje Kalifornijos technologijos institute. Visi jie – stiprūs ir originalūs mąstytojai, ir esu skolingas už jų laiką ir paskatinimą, sveiką kritiką ir įkvepiančią meilę mokslui. Jei kada mano entuziazmas išblėsdavo, elektroninis laiškas ar susitikimas su jais vėl įelektrindavo.

Aš taip pat labai dėkingas daugybei kitų mokslininkų už tai, kad paaiškino savo idėjas, kad perskaitė ir pakomentavo knygos skyrius. Kiekvienam skyriui teko bent dviejų tos srities specialistų konstruktyvios kritikos. Dėkoju (abėcėles tvarka): profesorius Gustavui Bardžai (*Gustavo Barja*), Madrido Komplutensės universitetas, profesorius Bobui Blankenšipui (*Bob Blankenship*), Vašingtono universitetas, profesorė Šelei Kopli (*Shelley*

## PADĖKA

*Copley*), Kolorado universitetas, dr. Džoeliui Daksui (*Joel Dacks*), Albertos universitetas, profesorui Derekui Dentonui (*Derek Denton*), Melburno universitetas, profesorui Paului Falkovskiui (*Paul Falkowski*), Ratgerso universitetas Niudžersyje, profesorui Hju Haksliui (*Hugh Huxley*), Brandeiso universitetas Masačiuasetse, profesorui Marseliui Klasenui (*Marcel Klaasen*), Nyderlandų Ekologijos institutas, profesorui Kristofui Kochui (*Christof Koch*), Kalifornijos technologijos institutas, dr. Judžinui Kuninui (*Eugene Koonin*), Nacionalinis sveikatos institutas Merilende, profesorui Pavelui Kotejai (*Paweł Koteja*), Jogailos universitetas Lenkijoje, profesorui Maiklui Lendui (*Michael Land*), Sasekso universitetas, profesorui Bjornui Merkeriui (*Björn Merker*), Upsalos universitetas, profesorui Salvadorui Monkadai (*Salvador Moncada*), Londono Universiteto koledžas, profesorui Chosė Musakio (*José Musacchio*), Niujorko universitetas, profesei Selei Oto (*Sally Otto*), Britų Kolumbijos universitetas, profesorui Frankui Zybacheriui (*Frank Seebacher*), Sidnio universitetas, dr. Li Svitlavui (*Lee Sweetlove*), Oksfordo universitetas, dr. Džonui Terniui (*Jon Turney*) ir profesorui Piteriui Vardui (*Peter Ward*), Vašingtono universitetas. Bet kokios knygoje likusios klaidos yra mano paties.

Dėkoju savo šeimai – tiek esančiai čia, tiek Ispanijoje – už jų meilę ir palaikymą. Mano tėvas, atidėjęs į šalį savo knygų apie istoriją rašymą ir įveikęs pasidrygėjimą molekulėmis, skyrė ypač daug laiko perskaityti ir pakomentuoti beveik visus skyrius. Esu labai dėkingas keistai siaurėjančiam draugų ratui, kurie, man leidžiant trečiąją knygą, vis dar skaitė jos skyrius ir davė pastabų. Ypač dėkoju Maikui Karteriui (*Mike Carter*), kurio dosnumas neprilygstamas net ir sunkiausiu metu, Endriui Filipsui (*Andrew Philips*) už įkvepiančias diskusijas ir malonias pastabas ir Polui Esburiui (*Paul Asbury*) už kopimus, pasivaikščiojimus ir pokalbius. Taip pat dėkoju profesorui Beriui Fuleriui (*Barry Fuller*) už skvošą ir reguliarias mokslines diskusijas prie pintos alaus, profesorui Kolinui Grynui (*Colin Green*) už jo plačius interesus ir tikėjimą manimi, kai man to reikėjo, dr. Ianui Aklandui-Snau (*Ian Ackland-Snow*) už beribį entuziazmą ir reguliarių priminimą, kaip man pasisekė, dr. Džonui Emsliui (*John Emsley*) už daugybę įkvepiančių pokalbių apie mokslo literatūrą ir už tai, kad padėjo man pradėti rašyti, profesoriams Erikui ir Andrėjai Gnaigeriams (*Erich* ir *Andrea Gnaiger*), kurių vaišingumas neturi ribų ir p. Devaniui (*Devani*) ir p. Adamsui

## GYVYBĖS TRIUMFAS

(*Adams*), įkvepiantiems mokytojams, kurie prieš daugelį metų pasėjo mano gyvenimo meilės biologijai ir chemijai sėklą.

Galiausiai noriu paminėti savo redaktorius „Profile“ ir „WW Norton“ leidyklose – Endrių Frankliną (*Andrew Franklin*) ir Anželą von der Lipę (*Angela von der Lippe*), kurie nepailstamai mane palaikė ir tikėjo šia knyga nuo pat pradžių, Edį Micį (*Eddie Mizzi*) už jo gerą skonį ir eklektiškas redagavimo žinias ir Karoliną Doni (*Caroline Dawnay*), savo agentę iš „United Agents“, kuri visada turi maloniai paskatinantį žodį ir niekuomet nepraranda įkvepiančio požiūrio.

Londonas, 2009

# PASTABOS

## 1 SKYRIUS

- 1 Konkrečiai tai yra oksidacijos-redukcijos reakcija, kurios metu elektronai iš donoro (vandenilio) perduodami akceptorui (deguoniui), kuris jų nori daug labiau, ir susidaro vanduo – termodinamiškai stabilus galutinis produktas. Visose oksidacijos-redukcijos reakcijose elektronai perduodami iš donoro akceptorui; nuostabu tai, kad visa gyvybė – nuo bakterijų iki žmonių – priklauso nuo vienokio ar kitokio elektronų perdavimo energijai sukurti. Pasak vengrų Nobelio premijos laureato Alberto Sent-Diordi (*Albert Szent-György*): „Gyvybė yra ne kas kita, kaip tik elektronas, ieškantis ramios vietos (vietos poilsui).“
- 2 Šis teiginys nėra visiškai teisingas. Versmės skleidžia silpną šviesą (plačiau aptariama 7 skyriuje), kuri yra pernelyg blanki, kad būtų matoma žmogaus akiai, tačiau pakankamai stipri, kad sukeltų kai kurių bakterijų fotosintezę. Tačiau jos sudaro tik nedidelę ekosistemos dalį, palyginti su sieros bakterijomis. Beje, šilumos ir šviesos nereikšmingumas pasitvirtino vandenyno dugne atradus šaltąsias versmes, kuriose gyvena tokia pat gausi fauna kaip ir šiose versmėse.
- 3 Kitos problemos yra temperatūra (kai kas sako, jog temperatūra yra per aukšta, kad organinės molekulės išliktų), rūgštingumas (dauguma juodųjų rūkalių yra pernelyg rūgštiniai, kad pasitvirtintų G. Vėchetershoizerio siūlomos cheminės reakcijos, o jo paties laboratorijoje sintezė vyko tik šarminėmis sąlygomis) ir siera (jos per daug, palyginti su šiuolaikine biochemija).
- 4 Kyla įdomus klausimas dėl planetos branduolio vėsimo ilgalaikių pasekmių. Vėstant mantijai jūros vanduo prisijungia prie uolienų ir tampa jų struktūros dalimi, o ne yra atstumiama ir grąžinama į paviršių dėl aktyvaus vulkanizmo. Tokiu būdu vėstanti planeta gali ilgai sunaikinti savo vandenynus; gali būti, kad šis procesas prisidėjo prie vandenynų išnykimo Marse.
- 5 Egzistuoja du prokariotinių ląstelių, neturinčių branduolio, domenai: bakterijos ir archėjos. Pagrindinės Prarastojo Miesto gyventojos yra archėjos, gaunančios energijos iš metano gamybos (metanogenezės). Archėjų biochemija labai skiriasi nuo sudėtingų eukariotinių ląstelių, kurios sudaro augalus ir gyvūnus. Iki šiol nėra žinoma tarp archėjų atsiradusių patogenų ar parazitų; visos jos yra bakterijos, turinčios panašią biochemiją į ląstelių šeimininkų. Galbūt archėjos yra pernelyg skirtingos. Viena išimtis yra archėjos ir bakterijos partnerystė, dėl kurios prieš du milijardus metų galėjo atsirasti eukariotinė ląstelė (žr. 4 skyrių).
- 6 Cheminis acto pavadinimas yra acto rūgštis, iš kurios kyla „acetilas“. Tioeteryje ši dviejų anglies atomų molekulė pririšama prie reaktyvios sieros grupės. Jau du dešimtmečius K. de Diuvus liaupsina esminę acetilo tioeterių svarbą ankstyvajai evoliucijoje, ir pagaliau eksperimentatoriai pradeda rimtai priimti jo argumentus.
- 7 Norintiems visos istorijos ir daugiau informacijos apie chemoosmozės keistumą ir kosminę svarbą siūlau paskaityti savo ankstesnę knygą „Galia, seksas, savizudybė: mitochondrijos ir gyvenimo prasmė“ (*Power, Sex, Suicide: Mitochondria and the Meaning of Life*).

## 2 SKYRIUS

- 1 Kai tiek daug naujų mutacijų, gali kilti klausimas, kodėl neįvyksta mutacinė katastrofa. Šis klausimas kyla ir daugeliui biologų. Trumpai tariant, atsakymas yra seksas, bet apie tai plačiau pakalbėsime 5 skyriuje.
- 2 Šis skaičius reiškia DNR sekų panašumą. Kiti didesni genomo pokyčiai, pavyzdžiui, iškirpimai ir chromosomų susiliejimai, taip pat vyko nuo šimpanzių ir žmonių atsiskyrimo, todėl viso genomo panašumas yra maždaug 95 %. Palyginimui genetiniai skirtumai tarp žmonių populiacijų yra itin maži – mes esame 99,9 % tapatūs. Tokie riboti variacijos rodo sąlygiškai neseniai atsiradusį populiacijos „butelio kakliuką“, t. y. maždaug prieš 150 000 m. nedidelę Afrikos populiaciją tapo visų šiuolaikinių žmonių rasių pradžia, kurios pasklido vienai po kitos vykstant migracijos iš Afrikos bangoms.
- 3 DNR T (timinas) RNR pakeičiamas kiek kitokia baze, vadinama uracilu (U). Tai vienas iš dviejų mažųjų RNR ir DNR struktūros skirtumų. Kitas skirtumas – RNR vartoja cukrų, vadinamą ribozę, o DNR – deoksiribozę. Vėliau pamatysime, kokią didelę funkciją reikšmę turi šios dvi cheminės smulkmenos.
- 4 Taigi kaip gamta išvengia rėmelio skaitymo problemos? Paprastai – jis prasideda iRNR pradžioje ir baigiasi jos pabaigoje. tRNR neišsirikiuoja kaip paršeliai prie motinos spėnių – procesas stulbinamai mechaniškas. iRNR lyg garso juostelę leidžiama pro ribosomą, kuri veikia lyg juostos skaitytuvą, paeiliui perskaitantis kiekvieną kodoną, kol pasiekia pabaigą. Užuoat suspaudus visą užbaigtą baltymą, jis po truputį plečiamas ir galiausiai paleidžiamas, kai pasiekia ribosomos pabaigą. Vienoje iRNR vijoje tuo pat metu gali veikti kelios ribosomos, kurių kiekviena kuria naują baltymą.
- 5 Pavadinimai mums nėra svarbu, tačiau jei pirmoji kodo raidė yra C, koduojama aminorūgštis yra gauta iš  $\alpha$ -ketoglutarato, jei A – iš oksalocetato, jei T – iš piruvato. O jei pirmoji raidė yra G, aminorūgštis susidarė vienu atitinkamu etapu iš bet kokio paprastojo prekursoriaus.
- 6 Gali būti, kad aminorūgšties perdavimas į RNR priklauso nuo RNR sekos. Maiklas Jarus (*Michael Yarus*) ir kolegės Kolorado universitete parodė, kad mažos RNR molekulės, turinčios daug antikodonų sekų, prijungia „teisingą“ aminorūgštį iki milijono kartų tiksliau pagal giminingumą nei kitos aminorūgštys.
- 7 Laboratorijoje taip pat reikalingas fermentas – DNR polimerazė. Tikėtina, kad fermentas būtų reikalingas paskatinti RNR ar DNR replikaciją ir versmėse, bet niekas negali patvirtinti, kad fermentas būtinai turi būti baltymas. RNR replikazė taip pat turėtų tikti – tai šiek tiek primena šventąjį Graį, nors atrodo tikėtina, kad taip galėjo būti.
- 8 Mūsų pačių (eukariotinis) DNR replikacijos būdas paimitas ne iš bakterijų, o archėjų dėl priežasčių, kurias patyrinėsime 4 skyriuje.
- 9 Dž. Vatsonas ir F. Krikas teigė: „Turbūt neįmanoma sukurti šią struktūrą [dvigubą spiralę] turint ribozę vietoj deoksiribozės, nes dėl papildomo deguonies atomo per daug padidėtų van der Valso kontakto tikimybė.“

## 3 SKYRIUS

- 1 Atmosferoje yra maždaug 550 kartų daugiau deguonies nei anglies dioksido, dėl to daug lengviau padvigubinti ar patrigubinti anglies dioksido koncentraciją. Tačiau net jei atmosferinio deguonies koncentracija labai nekinta, kylanti temperatūra sumažina deguonies tirpumą vandenyje. Sumažėjusi vandenyuose ištirpusio deguonies koncentracija jau turi įtakos žuvų populiacijoms. Pavyzdžiui, netikrųjų vėgėlių populiacija Šiaurės jūroje kiekvienais metais kinta priklausomai nuo ištirpusio deguonies koncentracijos – kuo mažiau deguonies, tuo mažesnė populiacija.

## PASTABOS

- 2 Daugiau apie deguonies svarbą evoliucijai galite rasti mano ankstesnėje knygoje „Deguonis: molekulė, sukūrusi pasaulį“ (*Oxygen: The Molecule that Made the World*).
- 3 Jei norite sužinoti daugiau, nuoširdžiai rekomenduoju Oliverio Mortono (*Oliver Morton*) knygą „Suvalgyti saulę“ (*Eating the Sun*).
- 4 T. H. Haksliis, perskaitęs „Rūšių kilmę“, sušuko: „Kaip kvaila, kad apie tai nepagalvojo-me!“
- 5 Elektromagnetiniame spektre energija ir bangos ilgis yra atvirkščiai susiję – kuo mažesnis bangos ilgis, tuo didesnė energija. Chlorofilas sugeria matomos spektro dalies šviesą, konkrečiai – raudoną. Galinga oksiduojanti chlorofilo forma vadinama P680, nes jis sugeria 680 nm bangos ilgio šviesą. Kitos augalų chlorofilų formos sugeria šiek tiek mažesnės energijos šviesą, t. y. 700 nm bangos ilgio. Mėlyna ir geltona šviesa fotosintzei apskritai nereikalinga, kaip ir atspindėta (ar perduota) juoda – todėl augalus matome žalius.
- 6 Jei kam įdomu, kaip biochemija įgijo blogą vardą, NADPH reiškia nikotinamidadenindinukleotido fosfato redukuotą formą. Tai stiprus reduktorius, kitaip sakant, jis stipriai bruka elektronus kitiems.
- 7 Techniškai kalbant, bakterijose tai vadinama ne fotosistemomis, o fotosintetinėmis vienetais. Tačiau bakterijų reakcijos centrai itin tiksliai kartoja augalų fotosistemas tiek struktūros, tiek funkcijos atžvilgiu, tad vartosiu tą patį terminą.
- 8 Porfirija iš tiesų yra ligų grupė, kurias sukelia odoje ir organuose susikaupę porfirinai. Dauguma formų yra nepiktybinės, tačiau kartais susikaupusius porfirinus sužadina saulės šviesa ir sukelia itin skausmingus nudegimus. Sunkiausios ligos formos, pavyzdžiui, lėtinė eritropoetinė porfirija, yra tokios destruktuvios, kad žmogus gali netekti nosies ir ausų, sunykti dantenos, palikdamos dantis kyšančius lyg iltys, susidaryti randinių audinių ir imti augti plaukai ant veido. Kai kurie biochemikai susiejo šias ligas su liaudies legendomis apie vampyrus ir vilkolakius, o tai itin piktna žmones, sergančius lengvesnės ligos forma ir manančius, kad jiems pakanka sunkumų ir be to, kad būtų laikomi atstumtaisiais. Iš tiesų, šiais laikais retai susiduriama su sunkiausiomis porfirijos formomis, nes atsargumo priemonės ir geresnis gydymas neleidžia pasireikšti sunkiausiems atvejams. Iš kitos pusės, kaustinės šviesai jautrių porfirinų savybės puikiai panaudotos gydyti vėžį fotodinamine terapija, kur šviesa sužadina ir į naviką įvesti porfirinai.
- 9 Pasak Dž. Aleno, divergencija tarp fotosistemų įvyko melsvabakterių protėviuose, kurie naudojo jas skirtingiems tikslams. Kiti teigia, kad divergencija įvyko dviejose visiškai skirtingose bakterijų linijose, o vėliau susijungė genų susiliejimo būdu ir sudarė genetinę chimera, kuri pati buvo šiuolaikinių melsvabakterių protėvis. Naujausių tyrimų duomenys patvirtina Dž. Aleno požiūrį (kad melsvabakterės perdavė fotosistemas kitoms linijoms, o ne atvirkščiai), tačiau šiuo metu genetiniai duomenys yra abejotini. Bet kuriuo atveju pradžioje fotosistemos funkcionavo atskirai.
- 10 Pasak Džimo Barberio (Jim Barber), būtent taip susiformuoja vandens skaidymo kompleksas šiais laikais. Jei iš II fotosistemos būtų pašalintas kompleksas ir „tuščia“ fotosistema būtų įdėta į tirpalą su magnio ir kalcio jonais, keli šviesos blyksniai atkurtų kompleksą. Kiekvienas blyksnis oksiduoja vieną mangano joną, kuris tada prisitvirtina savo vietoje. Po penkių ar šešių blyksnių visi mangano jonai būtų savo vietoje ir sudarytų visą vandens skaidymo kompleksą. Kitaip tariant, esant tinkamai baltymų aplinkai, kompleksas susidaro pats.

## 4 SKYRIUS

- 1 Gali būti, kad kai skaitysite šį tekstą, *Windows XP* jums reikš ne daugiau nei *Windows 286*. Ši operacinė sistema taip pat išnyks, o ją pakeis dar sudėtingesnė (nors galbūt nestabili ir linkusi į virusus) sistema.

## GYVYBĖS TRIUMFAS

- 2 Tai nereiškia, kad nėra jokių bakterinių ekvivalentų. Pavyzdžiui, bakterijų citoskeletą sudaro baltymai, tiesiogiai susiję su savo ekvivalentais eukariotuose, nes jų fizinė struktūra yra tokia panaši, kad juos galima uždėti vieną ant kito erdvėje. Tačiau genų sekos pasikeitė tiek, kad prarado tapatybę. Sprendžiant vien iš genų sekos, citoskeleto baltymai būtų laikomi unikaliai eukariotiniams.
- 3 K. Vuzas teigia, kad jo ribosomų RNR medis yra „kanoniškas“, nes mažos RNR ribosomos subdalelės genas ne tik lėtai evoliucionuoja, bet ir *niekada* nebuvo pakeistas horizontalių genų perdavimu. Jis paveldimas tik vertikaliai, t. y. perduodamas iš pagrindinės antrinei ląstelei. Tai nėra griežta tiesa – žinoma ribosominės RNR geno horizontalaus genų perdavimo pavyzdžių tarp tokių bakterijų, kaip *Neisseria gonorrhoea*. Kiek tai įprasta evoliuciniu laikotarpiu – kitas klausimas, į kurį galima atsakyti tik sudarius sudėtingesnių medžių, naudojant daug genų.
- 4 Tai seno filosofinio klausimo apie tapatybę ląstelės versija. Ar išlaikytume „savęs“ jausmą, jei pakeistume viską, išskyrus smegenų dalis, atsakingas už atsiminimus? Ir jei mūsų atsiminimai būtų persodinti kitam asmeniui, ar jis perimtų donoro asmenybę? Ląstelė, kaip ir žmogus, yra visų savo dalių visuma.
- 5 Žinoma, evoliucija daro ir viena, ir kita, dėl to nesiginčijama. Nesutarimų kyla dėl klausimo, ar pokyčių greitis matuojamas kartomis ar geologinėmis eromis? Dauguma mutacijų yra žalingos, ir jas atmeta natūralioji atranka, visa kita palikdama kaip buvo, nebent jei aplinkos pokyčiai (pavyzdžiui, masinis išnykimas) pakeistų *status quo*. Tada pokyčiai gali vykti greitai geologinio laiko atžvilgiu, bet jie vis tiek vyks pagal tuos pačius procesus genų lygmenyje, ir jie vis tiek bus lėti einant iš vienos kartos į kitą.
- 6 B. Martino ir M. Miulerio „vandenilio hipotezė“ teigia, kad archėjos, vartojančios vandenilį ir anglies dioksidą, ir bakterijos, gebančios kvėpuoti deguonimi ryšys ar fermentacijos būdu pasigaminti vandenilio ir deguonies, priklauso nuo aplinkybių. Galbūt ši universali bakterija gali naudotis archėjos išmetamu šalutiniu produktu – metanu. Tačiau čia neapartinėsiu toliau šios idėjos, nes tai išsamiau padariau ankstesnėje knygoje „Galia, seksas, savižudybė: mitochondrija ir gyvenimo prasmė“. Tolesniuose puslapiuose aptariamos idėjos labiau išplėtos šioje knygoje.
- 7 Techniniu požiūriu, paviršiaus ploto ir tūrio santykis mažėja didėjant dydžiui, nes paviršiaus plotas didėja kvadratu, o tūris didėja kubu. Padvigubinus linijinius matmenis, paviršiaus plotas tampa keturgubas ( $2 \times 2 = 4$ ), tačiau tūris padidėja aštuoneriopa ( $2 \times 2 \times 2 = 8$ ). Rezultatas toks, kad bakterijai didėjant energijos efektyvumas mažėja – energijos generavimui naudojama membrana tampa mažesnė, palyginti su ląstelės dydžiu.
- 8 Argumentavau tai paskaitose visame pasaulyje ir vis dar sulaukiu „žudančios“ kritikos. Smarkiausia buvo T. Kavaljė-Smito, kuris nurodė kelias eukariotines ląsteles, kurios šiais laikais turi fagocitozę, bet neturi mitochondrijų. Nemanau, kad jų egzistavimas paneigia argumentą, nes stipriausias atrankos spaudimas veikia prokariotus, kvėpuojančius pro išorinę membraną. Išsivysčius fagocitui, įvairiomis aplinkybėmis galima atsikratyti vienos ar kitos jo dalies – tai redukcinės evoliucijos procesas, būdingas parazitams. Visiškai išsivysčiusiam fagocitui lengviau netekti mitochondrijų tam tikromis aplinkybėmis, pavyzdžiui, parazituojančiam, nei prokariotui evoliucionuoti į fagocitą be mitochondrijų pagalbos.

## 5 SKYRIUS

- 1 Yra sakančių, kad dama buvo garsiausia ir žymiausia aktorė ponija Patrik Kempbel (*Patrick Campbell*), kuriai vėliau Dž. B. Šo parašė Elizos Dulitl vaidmenį „Pigmalione“ (*Pygmalion*). Kiti kalba, kad ji buvo skandalingoji modernaus šokio motina Izadora Dankan (*Isadora Duncan*). Tačiau greičiausiai istorija yra tik pokštas.
- 2 Ugandoje, vienoje nedaugelio Afrikos šalių, pakeitusių įvykių tėkmę, ŽIV paplitimas per



## PASTABOS

daugiau nei dešimtmetį nukrito nuo 14 iki 6% daugiausia dėl geresnio visuomenės informavimo. Iš principo žinia labai paprasta, nors gal ne taip paprastai pritaikoma praktiškai – venkite nesaugių lytinių santykių. Vienas tyrimas parodė, kad Ugandos „ABC kelio“ (susilaikymas, ištikimybė, prezervatyvų naudojimas) sėkmę labiausiai nulėmė paskutinis punktas.

- 3 Šį elgesį nuspėjo R. Dokinsas knygoje „Savanaudiškas genas“ (*The Selfish Gene*), o nuo tol jis buvo patvirtintas labiau nei numatė jo aštri vizija.
- 4 Šiuo požiūriu, bakterijos nesidaugina griežtai vien tik klonavimosi būdu, nes jos gauna DNR iš kitų šaltinių per horizontalų genų perdavimą. Šiuo atžvilgiu bakterijos yra daug lankstesnės nei nelytiniai eukariotai. Kokia iš to nauda bakterijoms, matyti iš greito atsparumo antibiotikams plitimo, kuris paprastai įgaunamas horizontalaus genų perdavimo būdu.
- 5 Istoriją savitu stiliumi pasakoja M. Ridlis savo knygoje „Širdžių Karalienė“ (*The Red Queen*), kuri pirmą kartą buvo išleista 1993 m.
- 6 Galite prieštarauti, kad imuninė sistema išsivystė, kad tai atliktų. Tiesa, ji išsivystė, bet imuninė sistema turi silpnę, kurią sustiprinti gali tik lytiniai santykiai. Tam, kad veiktų, imuninė sistema turi atskirti „savą“ ir „svetimą“. Jei baltymai, laikomi „savais“, išlieka tokie pat iš kartos į kartą, tai visa, ką parazitas turi padaryti, kad išvengtų imuninės sistemos, tai pasislėpti tarp baltymų, kurie atrodo „savi“ – ignoruok apgavystes ir kirkš į labiausiai pažeidžiamą vietą. Taip nutiktų bet kuriems klonams, turintiems imuninę sistemą. Tik lytiniai santykiai (arba labai didelis mutacijų greitis kritiniu atveju) gali kiekvienoje kartoje paleisti imuninės sistemos „savo“ supratimą.
- 7 Ne visai tiesa. Viena priežasčių, dėl ko Y chromosoma visiškai neišnyko, tai todėl, kad ji turi daug to paties geno kopijų. Pasirodo, chromosoma susilenkia perpus, ir įvyksta rekombinacija tarp tos pačios chromosomos genų. Net tokia ribota rekombinacija apsaugojo – bent žinduolių – Y chromosomą nuo užmaršties. Tačiau kai kurie jų, pavyzdžiui, Azijos kurminiai lemingai *Ellobius tancrei*, neteko savo Y chromosomos. Kaip išskiriami jų patinai, neaišku, bet malonu žinoti, kad vyrai nebūtinai yra pasmerkti mirčiai kartu su savo degeneracine chromosoma.
- 8 Šie du teiginiai nieko nesako apie ląstelės šeiminingą tapatybę ar simbiozinę ląstelių sąjungos kilmę, o šie du aspektai yra itin prieštaringi. Taip pat šiame scenarijuje nesvarbu, ar ląstelė šeiminingė turi branduolį, ląstelės sienelę ar yra fagocitas. Taigi, nors eukariotinės ląstelės kilmė daugeliu atžvilgių yra prieštaringa, čia pateiktos mintys nepriklauso jokiai teorijai.

## 6 SKYRIUS

- 1 V. Krūnas buvo vienas iš Karališkosios Draugijos įkūrėjų ir jo vardas tebegyvena „Krūno paskaitoje“ – geriausioje Draugijos biologijos mokslų paskaitoje.
- 2 Garsi V. Čerčilio frazė: „Istorija bus man maloninga, nes aš ketinu ją rašyti.“ Jo autoritetingi raštai 1953 m. buvo pelnytai apdovanoti Nobelio literatūros premija. Kada istorija paskutinį kartą laimėjo literatūros premiją?
- 3 Perutzas (*Perutz*) ir Kendriu (*Kendrew*) pirmieji nustatė kašaloto mioglobino struktūrą, ir tai gali atrodyti kaip įdomus pasirinkimas. To priežastis – nustatyta, kad mioglobinas kristalizuojasi kraujo ir krešulių balose ant banginių medžiojimo laivų denių (nardančių žinduolių, pavyzdžiui, banginių kraujyje jo koncentracija daug didesnė). Ši tendencija kristalizuotis yra itin svarbi: kad kristalografija veiktų, reikalinga kokia nors kristalo forma ar bent pasikartojanti struktūra.
- 4 Skirtingus raumenis sudaro skirtingos skaidulos. Greitai susitraukiančios skaidulos remiasi

## GYVYBĖS TRIUMFAS

anaerobiniu kvėpavimu, kuris yra greitas, bet neefektyvus – tokios skaidulos greitai susitraukia (su greitais miozinais), bet greitai ir pavargsta. Joms nereikalingi tankūs kapiliarų tinklai, mitochondrijos ar mioglobinas – aerobinio kvėpavimo priemonės, – ir tai suteikia jiems daugiausia baltą spalvą, kuri matoma baltoje mėsoje. Lėtai susitraukiančių skaidulų aptinkama daugiausia raudonoje mėsoje, jos remiasi aerobiniu kvėpavimu (su lėtesniais miozinais). Jos lėčiau susitraukia, bet ne taip lengvai pavargsta.

- 5 Tai šiek tiek supaprastinta – genų sekos yra 80 % tapačios, bet aminorūgščių sekos baltyme yra tapačios 95 %. Taip yra todėl, kad tą pačią aminorūgštį galima koduoti keliais būdais (žr. 2 skyrių). Neatitikimai atspindi reguliarias mutacijas genų sekoje ir stiprią atranką, siekiant išlaikyti pirminę baltymų seką. Beveik vieninteliai pakeitimai, kuriuos atranka leidžia padaryti genų sekoje, yra tie, kurie nekeičia aminorūgščių tapatybės grandinėje. Dar vienas mažas veikiančios atrankos ženklas.
- 6 Žinoma, šie pokyčiai įvyko atvirkščiai: procesiniai varikliai galiausia tapo storosiomis raumenų gijomis. Galbūt tai paaiškina, kodėl kiekviena miozino molekulė vis dar turi dvi galvutes raumenyje, nors atrodo, kad jos nėra naudingai koordinuojamos.
- 7 Bakterijos taip pat gali judėti, naudodamos žiuželį, kuris labai skiriasi nuo bet kurios eukariotinės ląstelės dalies. Iš esmės tai tvirtas kamščiatraukis, kurį aplink ašį suka baltymų variklis. Bakterijų žiuželis dažnai giriamas kaip „paprastas sudėtingumas“, bet šis klausimas taip išsamiai aptartas kitur, kad nenoriu jo čia nagrinėti. Jei norite daugiau sužinoti apie bakterijų žiuželius, perskaitykite garsaus biochemiko, išmanaus projekto „rykštės“ ir praktikuojančio kataliko Keno Millerio (*Ken Miller*) knygą „Atsuktas žiuželis“ (*The Flagellum Unspun*). Jis nemato prieštaro tarp tikėjimo, kad molekulinę gyvybės informaciją paaiškina evoliucija ir tikėjimo Dievu. Vis dėlto išmanaus projekto gynėjas jis laiko dvigubais nevykėliais, „atmes-tais mokslo, nes neatitinka faktų, ir neturinčiais religijos, nes per menkai galvoja apie Dievą.“
- 8 Konkrečiau – G baltymai, molekulinių „jungiklių“ šeima, dalyvaujanti ląstelių signalų sistemoje. Jų bakteriniai giminaičiai yra didelė GTPazės baltymų šeima. Pavadinimai nėra svarbu, pakanka pasakyti, kad baltymų protėviai yra žinomi.
- 9 Dar nenaudingesnis pavyzdys yra galvijų spongiforminė encefalopatija (BSE), dar vadinama galvijų kempinlige. BSE yra infekcinė liga, perduodama prionų – baltymų, kurie elgiasi kaip infekcinės dalelės. Jie pakeičia gretimų baltymų struktūrą. Pakeisti baltymai polimerizuojasi į ilgus fibriles, kitaip sakant, suformuoja tam tikrą citoskeletą. Nors buvo laikoma patologine liga, naujausi tyrimai rodo, kad į prionus panašūs baltymai gali būti svarbūs smegenų sinapsėse susidarant ilgalaikiai atminčiai.

## 7 SKYRIUS

- 1 Viena iš kelių priežasčių, dėl ko mano senoji mokykla buvo žinoma, buvo vaikas, kuris ėmėsi vairuoti Kembridžo laivą lenktynėse su Oksfordu. Kembridžo laivą jis įvaravo tiesiai į baržą ir nugrimzdo drauge su nusiminusia įgula. Vėliau jis paaiškino, kad barža buvo jo aklojoje zonoje.
- 2 „Mačiau: nors jis nebuvo visiškai nepatenkintas, nebuvo ir visiškai patenkintas“.
- 3 Ar žinojote, kad dauguma žinduolių (išskyrus primatus) negali pritaikyti žvilgsnio, t. y. pakeisti fokusą nuo tolimų daiktų prie artimų? Tai papildomas priedas.
- 4 Amonitai išnyko kartu su dinosaurois, palikdami nuostabias spiralines kriaukles, suakmenėjusias jūros periodo uolose. Mano mėgstamiausias pavyzdys įsispaudęs ant svaiginančio ir senstančiam kopėjui kankinamai nepasiekiamo jūros uolų skardžio Svonidže Dorsete.
- 5 Paskutinis trilobitų akies evoliucijos žingsnis, neįtrauktas į 7.2 pavyzdį, yra paruoštų face-čių sudvigubinimas, kad būtų galima sudaryti sudedamąją akį. Tai ne problema – gyvybė gerai moka kopijuoti esamas dalis.

## PASTABOS

- 6 Mano mėgstamiausia – mažytė parazitinė plokščioji kirmėlė *Entobdella soleae*, kurios lęšiukas sudarytas iš susijungusių mitochondrijų. Mitochondrijos paprastai yra sudedamųjų ląstelių „jėgainės“, gaminančios visą energiją, kurios mums reikia išgyvenimui, ir jos tikrai neturi jokių optinių savybių. Iš tiesų kitos plokščiosios kirmėlės turi lęšiukus, sudarytus iš mitochondrijų grupelių, kurios net nesivargina susijungti. Pasirodo, paprastų ląstelių komponentų grupelė pakankamai iškreipia šviesą, kad būtų galima pasinaudoti.
- 7 *Bell Labs* komandą iš tiesų domino komercinė mikrolęšių matricų gamyba elektroniniams ir optiniams prietaisams. Užuoat bandę sukurti matricas lazeriais – normaliu, bet trūkumų turinčiu technologiniu būdu, – komanda pasimokė iš biologijos. Esminis žodis – biometika ir tegul gamta atlieka darbą už juos. Apie jų sėkmę 2003 m. rašė žurnalas *Nature*.
- 8 Velionis E. Dentonas, Plimuto Jūrų biologijos asociacijos laboratorijos vadovas, pasiūlė gerą variantą: „Kai gauni gerą rezultatą, suvalgyk skanią vakarienę prieš pakartodamas. Tada bent jau būsi suvalgęs skanią vakarienę.“
- 9 Turintys aštrią regą skaitytojai ar turintys žinių iš anksčiau bus pastebėję, kad „raudonasis“ kūgelis sugeria maksimaliai 564 nm spektrą, kas visiškai nėra raudona, o gelsvai žalia spektro dalis. Nepaisant jos gyvybingumo, raudona spalva yra mūsų vaizduotės vaisius – mes „matome“ raudoną, kai smegenys asimiliuoja dviejų skirtingų kūgelių informaciją: jokio signalo iš žaliojo kūgelio ir išspėjimo signalas iš gelsvai žalsvo kūgelio. Tai tik įrodo vaizduotės galią. Kai kitą kartą ginčysitės, ar du raudoni atspalviai dera tarpusavyje, priminkite savo priešininkei, kad „teisingo“ atsakymo nėra – ji tikriausiai klysta.
- 10 Kaip žino visi paparaciai, kuo didesnis lęšiukas, tuo geriau mato – tas pat galioja ir akims. Priešingas teiginys irgi akivaizdžiai teisingas ir nustato mažiausią lęšiuko dydžio ribą – maždaug vabzdžio sudedamosios akies facetės dydžio. Problema paremta ne tik lęšio dydžiu, bet ir šviesos bangų ilgiu – trumpesnis bangų ilgis teikia geresnę skiriamąją gebą. Galbūt tai paaiškina, kodėl šiandieniniai vabzdžiai ir ankstyvieji (maži) stuburiniai mato ultravioletinį spektrą – jis teikia geresnę skiriamąją gebą mažoms akims. Mums to nereikia, nes turime didelį lęšiuką ir galime atmesti šią kenksmingesnę spektro dalį.
- 11 Įdomu, kad vabzdžių gebėjimas matyti ultravioletinį spektrą reiškia, kad jie gali suvokti gėlių spalvas ir raštus, kuriuos mes matome kaip baltus. Tai paaiškina, kodėl pasaulyje tiek daug baltų gėlių – patiems apdulkintojams jos atrodo su turtingais raštais.
- 12 Bakteriniai rodopsinai yra įprastas dalykas. Jie turi panašią struktūrą tiek į dumblių, tiek į gyvūnų rodopsinus, o jų genų sekos yra susijusios su dumblių rodopsinais. Bakterijos naudoja rodopsinus tiek kaip šviesos jutiklius, tiek fotosintezės formai.

## 8 SKYRIUS

- 1 K. Froidas buvo Zigmundo Froido (*Sigmund Freud*) anūkas ir kurį laiką – politikas liberalas. Oficialios kelionės į Kiniją metu jis nustebo, kad jo žemesnės pareigas einantis kolega gavo geresnius apartamentus. Jam buvo paaiškinta, kad kolega yra V. Čerčilio anūkas. „Tai vienintelis kartas, kai buvau „persenelintas,“ – vėliau prisiminė K. Froidas.
- 2 Tai nėra griežtai tiesa. Didesni gyvūnai pagamina mažiau šilumos vienam kūno svarui nei maži gyvūnai, t. y. medžiagų apykaitos greitis krinta didėjant dydžiui. Priežastys yra prieštaringos ir čia jų plačiau neaptarinėsiu. Jei norite plataus aptarimo, rekomenduoju savo anksčiau knygą „Galia, seksas, savižudybė: mitochondrijos ir gyvenimo prasmė“. Pakanka pasakyti, kad dideli gyvūnai išties geriau išlaiko šilumą nei maži gyvūnai, nors ir sukuria mažiau šilumos vienam svarui.
- 3 Atsiprašydamas bliuzo legendos Howlin' Wolf. „Vieni sudėti taip, kiti sudėti kitaip. Bet dėl mano sudėjimo neturėtum vadinti manęs storuliu. Aš sudėtas patogumui, o ne greičiui.“
- 4 Jei jums sunku įsivaizduoti, kaip visos šios savybės gali būti atrenkamos vienu metu, ap-

sižvalgykite aplink. Kai kurie žmonės akivaizdžiai yra atleisti už kitus – nedidelė dalis žmonių buvo apdovanoti olimpinio stotu. Galbūt nenorėsite prisiminti tokios misijos, bet programai, kur atletai santykiu su atletais ir būtų atrenkami iki stipriausi, beveik neabejotinai pavyktų sukurti „superatletus“. Tokie eksperimentai buvo atliekami su žiurkėmis tyrinėjant cukrinį diabetą. Aerobinis pajėgumas padidėjo 350 % vos per dešimt kartų (sumažindamas cukrinio diabeto riziką). Žiurkės taip pat gyveno šešiais mėnesiais ilgiau, t. y. gyvenimo trukmė pailgėjo apie 20 %.

- 5 Viena įdomi galimybė, kurią įnirtingai gina Polas Elsas (*Paul Else*) ir Tonis Hulbertas (*Tony Hulbert*) iš Vulongongo universiteto Australijoje, susijusi su ląstelių membranų lipidine sandara. Greita medžiagų apykaita reikalauja, kad medžiagos greitai praeitų pro membranas, o tam paprastai reikia sąlygiškai didelės proporcijos polinesočiųjų riebalų rūgščių, kurių sulenktos grandinės suteikia didesnę takumą (skirtumas tarp taukų ir aliejų). Jei gyvūnai atrenkami dėl didelio aerobinio pajėgumo, jie linkę turėti daugiau polinesočiųjų riebalų rūgščių, o jų buvimas vidaus organuose gali paspartinti medžiagų apykaitą ir išsintinti. Trūkumas tas, kad turėtų būti galima keisti skirtingų audinių membranų riebalų rūgščių sudėtį, ir tai tikrai vyksta iki tam tikro laipsnio. Taigi, nesu tikras, ar tai išsprendžia problemą. Tai taip pat nepaaiškina, kodėl šiltakraujų gyvūnų vidaus organuose turi būti daugiau mitochondrijų. Tai reiškia, kad greita medžiagų apykaita buvo specialiai atrinkta tiems organams, ir tai nėra atsitiktinė lipidinė sudėtis.
- 6 1969 m. Edvinui Kolbertui (*Edwin Colbert*) Antarktidoje atradus listrozauro fosiliją, buvo galima patvirtinti prieštarinę tektoninių plokščių teoriją, nes listrozauro jau buvo rasta Pietų Afrikoje, Kinijoje ir Indijoje. Lengviau buvo patikėti, kad ten nuplūduriavo Antarktida, nei kad žemi ir stori listrozaurai galėjo plaukioti.
- 7 Pasak Ričardo Prumo (*Richard Prum*) iš Jeilio, pagrindinė įžvalga yra ta, kad plunksnos iš esmės yra vamzdinės. Vamzdeliai svarbūs embriologiniuose požiūriu, nes turi kelias ašis: aukštyn–žemyn, skersai ir vidun–išorėn. Šios ašys sukuria biocheminį gradientą, signalinėms molekulėms išsisklaidant palei ašis. Gradientai aktyvuoja skirtingus genus palei ašis, kurie valdo embriono vystymąsi. Kūnai embriologams taip pat iš esmės yra „vamzdeliai“.
- 8 Kaip buvęs rūkalius ir alpinistas, įpratęs gaudyti orą bet kokiame aukštyje, galiu tik įsivaizduoti, kaip paukščiai apsivaigtų nuo rūkymo – nuolatinio oro srauto ir itin efektyvaus pasisavinimo poveikis turėtų būti svaiginantis.
- 9 Teropodo kaukolės dydis rodo, kad jie turėjo dideles smegenis, kurios tapo įmanomos dėl greitos medžiagų apykaitos. Tačiau smegenų dydį sunku interpretuoti, nes dauguma roplių neužpildė savo kaukolės smegenimis. Pėdsakai ant teropodų kaukolių rodo, kad smegenis aprūpinančios kraujagyslės lietsi prie kaukolės, vadinasi, smegenys užpildė kaukolę, nors tai tikrai ne galutinė išvada. Be to, yra „pigėsnų“ būdų turėti dideles smegenis, nei būti šiltakraujų – būtino sąryšio nėra.
- 10 Viso to įrodymai išsaugoti uolose kaip „izotopų parašas“. Jei norite sužinoti daugiau, išdrįsiu rekomenduoti savo parašytą straipsnį žurnalui *Nature* ta tema: „Skaitant mirties knygą“ (*Reading the Book of Death*), *Nature* (liepa, 2007 m.).

## 9 SKYRIUS

- 1 Kaip teigia Maiklas Gazaniga (*Michael Gazzaniga*) savo knygoje „Socialinės smegenys“ (*The Social Brain*), jo mentorius Rodžeris Speris (*Roger Sperry*) grįžo iš konferencijos Vatikane ir teigė, kad popiežius iš esmės pasakė, kad „mokslininkai galėtų turėti smegenis, o Bažnyčia turėtų protą“.
- 2 Vartoju dualistinį žodyną, darydamas prielaidą, kad yra skirtumas tarp proto ir smegenų. Nors aš nemanau, kad skirtumas yra, bet tokius žodžius renkuosi, norėdamas pabrėžti, kaip giliai kalboje įsisknijęs toks dualizmas, ir iš dalies dėl to, kad tai reikalauja paaiš-

## PASTABOS

- kinimo. Jei protas ir smegenys yra vienas ir tas pat, turime paaiškinti, kodėl mums taip neatrodo. Neužtenka pasakyti: „Tai tik iliuzija!“ Koks iliuzijos molekulinis pagrindas?
- 3 Pirma „Gilioji žydrynė“ 1996 m. pralaimėjo seriją G. Kasparovui, nors ir laimėjo vieną žaidimą. Atnaujinta versija, neoficialiai pavadinta „Gilesnė žydrynė“ laimėjo seriją prieš Kasparovą 1997 m., bet G. Kasparovas teigė kartais matęs „gilų intelektą ir kūrybingumą“ kompiuterio ėjimuose ir apkaltino *IBM* sukčiavimu. Kita vertus, jei grupelė programuotojų gali nugalėti genijų šachmatais, pasekmės beveik tokios pat prastos – genialumas per komitetą.
  - 4 Jei ką nors domina daugiau tokių keistų atvejų, rekomenduoju nuostabias V. S. Ramachandrano knygas, kurios teikia gilių žinių apie neurologiją ir evoliuciją.
  - 5 Svyravimai yra ritmiški pasikeitimai pavienių neuronų elektrinės veiklos, ir jei pakankamai jų veikia kartu, juos galima stebėti EKG. Sužadintas neuronas depoliarizuojasi, t. y. membranos krūvis iš dalies išsisklaido, kalcio ir natrio jonams skubant į ląstelę. Jei neuronų sužadinimas yra atsitiktinis ir pavienis, EKG sunku pastebėti ką nors organizuoto, bet jei didelis skaičius neuronų smegenyse depoliarizuojasi ir vėl repoliarizuojasi ritmiškomis bangomis, efektus galima stebėti kaip smegenų bangas EKG. Svyravimai 40 Hz srityje reiškia, kad daug neuronų yra sužadinami sinchroniškai maždaug kas 25 sekundes.
  - 6 Sinapsės yra maži sandarūs tarpeliai tarp neuronų, kurie fiziškai nutraukia nervinį impulsą praėjimą (kitai sakant, trukdo sužadinimui). Kai impulsas pasiekia sinapsę, išskiriamos cheminės medžiagos, vadinamos neurotransmiteriais. Jie išsisklaido palei tarpelį, prisijungia prie posinapsinio neuro receptorių ir jį aktyvuoja arba slopina, arba sukelia ilgalaikius pakitimus, kurie stiprina arba silpnina sinapses. Naujų sinapsių formavimas ar esamų sinapsių keitimas vyksta susidarant atminčiai ir mokantis, nors apie patį mechanizmą dar daug reikia išsiaiškinti.
  - 7 Yra net varginančių įrodymų, kad sąmonę sudaro „kadrai“, panašiai kaip filme. Kadru trukmė gali kisti nuo kelių dešimtųjų milisekundės iki šimto ar daugiau. Veikiant emocijoms tie kadrai pailginami arba sutrumpinami, todėl kartais atrodo, kad tam tikromis aplinkybėmis laikas sulėtėja arba pagreitinėja. Jei kadrai būtų kuriami kas 20 milisekundžių, o ne kas 100, laikas sulėtėtų penkiagubai – ranką su peiliu matytume lyg sulėtintame filme.
  - 8 Tamsioji materija yra sąmonės medžiaga ir romanisto Filipo Pulmano (*Philip Pullman*) trilogijoje „Jo tamsiosios medžiagos“ (*His Dark Materials*) apibūdinama kaip „dulkės“; manau, kad tai duoklė V. Džeimso „proto dulkėms“.

## 10 SKYRIUS

- 1 Iš tiesų bakterijos ir augalai turi fermento metakaspazės, ne tikrosios kaspazės. Tačiau metakaspazė yra evoliucinis kaspazės prekursorius, aptinkamas gyvūnuose ir tarnaujantis įvairiems tikslams. Paprastumo dėlei visus juos vadinsiu kaspazėmis. Daugiau informacijos rasite mano straipsnyje „Mirties kilmė“ (*Origins of Death*), *Nature* (May, 2008).
- 2 Fermentų kaskados ląstelėse labai svarbios, nes sustiprina silpną pradinį signalą. Įsivaizduokite, kad aktyvuotas vienas fermentas, kuris savo ruožtu aktyvuoja dešimt tikslių fermentų, kurių kiekvienas aktyvuoja dar dešimt. Jau turime šimtą aktyvių fermentų. Jei kiekvienas jų aktyvuoja dešimt kitų, netrukus turime tūkstantį, tada dešimt tūkstančių, ir t. t. Tokiai kaskadai pakanka šešių žingsnių, kad aktyvuotų milijoną budelių, kurie sudrasko ląstelę.
- 3 Žinoma, buvo ir kitų priežasčių, dėl kurių eukariotai žengė keliu daugialąsčių link, o bakterijos niekuomet neišsivystė daugiau nei kolonijos, ypač neišvystė eukariotinių ląstelių polinkio didėti ir kaupti genus. Šio vystymosi priežastys yra pagrindinė mano ankstesnės knygos tema „Galia, seksas, savijudybė: mitochondrijos ir gyvenimo prasmė“.

## GYVYBĖS TRIUMFAS

- 4 Nežinau, ar turiu *ApoE4* variantų, bet, sprendžiant iš mano šeimos ligų spektro, nenustebčiau sužinojęs, kad bent vieną turiu. Todėl man geriau nežinoti. Reikia nueiti į sporto klubą.
- 5 T. Kirkvudas pavadino savo teoriją „vienkartinės somos teorija“, prisimindamas A. Vaismano taisyklę. T. Kirkvudas ir A. Vaismanas unisonu tvirtina, kad kūnas yra pavaldus germicidinėms ląstelėms, o Ramiojo vandenyno lašiša yra pavyzdinis atvejis.
- 6 Gali būti nenumatytų trūkumų. Vienas žmogus, griežtai ribojantis kalorijas, nesunkiai griuvęs, susilaužė koją. Jam išsivystė rimta osteoporozė ir gydytojas jį perspėjo dėl mitybos režimo.
- 7 Tiems, kurie tikrai nori sužinoti, kaip molekulė gali būti „jautri“ maisto medžiagų buvimui ar nebuvimui, SIRT-1 prisiriša ir yra aktyvuojamas „panaudotos“ kvėpavimo fermento formos, vadinamos NAD, kuris kaupiasi ląstelėse tik tada, kai trūksta tokių substratų kaip gliukozė. TOR yra „jautrus oksidacijos-redukcijos reakcijai“, o tai reiškia, kad jo aktyvumas kinta priklausomai nuo ląstelės prisotinimo deguonimi; tai rodo maisto medžiagų prieinamumą.
- 8 Anksčiau minėjome dar vieną galimą kompromisą: vėžys prieš degeneracinę ligą. Pelės, turinčios papildomą SIRT-1 geną, rodo geresnės sveikatos požymius, bet negyvena ilgiau. Jos dažniausiai dvesia nuo vėžio – nesėkmingo kompromiso.
- 9 Kiti postuluoja „laikrodžiai“, pavyzdžiui, telomerų (kepūrėlės ant chromosomų galų, kurios sutrumpėja kiekvieną kartą pasidalijus ląstelei) ilgis nekoreliuoja su gyvenimo trukme pagal rūšis. Nors koreliacija nereiškia priežastingumo, tai gera pradžia. Koreliacijos nebuvimas daugiau ar mažiau paneigia priežastingumą. Ar telomerų saugo nuo vėžio, sustabdydamos begalinį ląstelės dalijimąsi, ginčytinas klausimas, bet jos tikrai nelemia gyvenimo trukmės.
- 10 Keli pavyzdžiai turėtų patvirtinti mano mintį. Nekalbu apie ūminį uždegimą, kokį mato me uždegiminiame įplovime. Aterosklerozė sukelia lėtinę uždegiminę reakciją medžiagoje, kuri kaupiasi arterijų apnašose, ir užsitęsęs uždegimas tik apsunkina procesą. Alzheimerio ligą sukelia nuolatinė amiloido san kaupų smegenyse uždegiminė reakcija; geltonosios dėmės, susijusios su amžiumi, degeneraciją sukelia tinklainės membranos uždegimas, kuris gali baigtis naujų kraujagyslių įaugimu ir aklumu. Galėčiau tęsti be galo: cukrinis diabetas, vėžys, artritas, išsėtinė sklerozė ir t. t. Lėtinis lengvas uždegimas yra bendras rodiklis. Rūkymas sukelia tokias ligas, dažniausiai pasunkindamas uždegimą. Ir atvirkščiai, TOR blokavimas paskatina lengvą imuninės sistemos slopinimą, o kaip matėme, tai gali padėti nuslopinti uždegimą.
- 11 Glikolitinio persijungimo idėja kilo Oto Varburgui (*Otto Warburg*) 1940 m., bet patvirtinta buvo tik neseniai. Paprastai tik ląstelės, galinčios apsieiti be mitochondrijų, tampa vėžinės. Didžiausios kaltininkės yra kamieninės ląstelės, kurios beveik nepriklauso nuo mitochondrijų ir dažnai dalyvauja susidarant navikams. Odos, plaučių ląstelės, baltieji kraujo kūneliai sąlygiškai nepriklausomi nuo mitochondrijų ir visi siejami su navikais.
- 12 Kaip pažymėjo G. Barža, tai, kad evoliucija gali pratęsti gyvenimo trukmę dešimt kartų, reiškia, kad labai reikšmingas žmogaus gyvenimo trukmės pratęsimas yra visai įmanomas, tik reikalauja daug dėmesio.

# ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

- 1.1. Vulkaninis juodasis rūkalius Ramiojo vandenyno šiaurės rytuose. Išspausdinta leidus Deborah S. Keli (*Deborah S. Kelley*) ir Okeanografijos draugijai (*Oceanography* vol. 18, no 3, September 2005).
- 1.2. Gamtos bokštas, aktyvi šarminė versmė Prarastojo Miesto vietovėje. Išspausdinta leidus Deborah S. Keli ir Okeanografijos draugijai (*Oceanography* vol. 20, no 4, December 2007).
- 1.3. Šarminės versmės mikroskopinė struktūra. Išspausdinta leidus Deborah S. Keli ir Okeanografijos draugijai (*Oceanography* vol. 20, no 4, gruodis, 2005).
- 2.1. Bazinės DNR poros.
- 2.2. Dviguba DNR spiralė, parodanti, kaip spiralės sukasi viena apie kitą.
- 3.1. Ričardo Valkerio paveikslėlis, vaizduojantis Z schemą. Išspausdinta leidus: David A. Walker. 'The Z-scheme – Down Hill all the way', *Trends in Plant Sciences* 7: 183–185; 2002.
- 3.2. Paprastojo runkelio (*Beta vulgaris*) chloroplasto klasikinis vaizdas. Leidus profesoriui Klausui Kovalikui (*Klaus Kowalik*), Diuseldorfo universitetas.
- 3.3. Gyvi stromatolitai Hamelino baseine netoli Ryklių įlankos vakarų Australijoje. Leidus dr. Katerinai Kolas de Frenks-Smol (*Catherine Colas des Francs-Small*), Vakarų Australijos universitetas.
- 3.4. Sena vandens skaidymo komplekso mineralų struktūra – keturi mangano atomai, sujungti deguonies tinkleliu. Šalia – kalcio atomas. Vaizdas gautas taikant rentgeno kristalografiją. Perpiešta iš: Yano J., et al. *Where Water Is Oxidised to Dioxygen: Structure of the Photosynthetic Mn4Ca Cluster Science* 314: 821; 2006.
- 4.1. Skirtumai tarp prokariotinių ląstelių, pvz., bakterijų, ir sudedamųjų eukariotinių ląstelių.
- 4.2. Įprastas gyvybės medis.
- 4.3. Gyvybės medis, paremtas ribosomų RNR.
- 4.4. „Gyvybės žiedas“. Perpiešta iš: Rivera MC, Lake JA. 'The ring of life provides evidence for a genome fusion origin of eukaryotes', *Nature* 431: 152–155; 2004.
- 4.5. Bakterinės ląstelės, gyvenančios kitose bakterinėse ląstelėse. Leidus Kerol von Dolen (*Carol von Dohlen*), Jutos valstijos universitetas.
- 4.6. Branduolio membranos struktūra. Perspausdinta leidus: Bill Martin: *Archaeobacteria and the origin of the eukaryotic nucleus. Current Opinion in Microbiology* 8: 630–637; 2005.
- 5.1. Naudingų mutacijų paplitimas tarp lytinių (viršuje) ir nelytinių (apačioje) organizmų.
- 6.1. Griaučių raumenų sandara, kurioje matyti būdingi ruoželiai ir juostos. Leidus profesoriui Rodžeriui Kreigui (*Roger Craig*), Masačiusetso universitetas.
- 6.2. Išskirtinėje Devido Gudselo (*David Goodsell*) akvarelėje pavaizduotas miozinas. Leidus dr. Deividui Gudseliui, Skripso (*Scripps*) tyrimų institutas, San Diegas.
- 6.3. Aktino gijos, išskirtos iš pelėsinio grybo *Physarum polycephalum* ir papuoštos iš triušio raumenų išskirto miozino „strėlių antgaliais“. Perspausdinta leidus H. Haksliui iš: *Nachmias VT, Huxley HE, Kessler D. Electron microscope observations on actomyosin and*



- actin preparations from Physarum polycephalum, and on their interaction with heavy mero-myosin subfragment I from muscle myosin. J Mol Biol* 1970: 50; 83–90.
- 6.4. Aktino citoskeletas karvės kremzlių ląstelėje, pažymėtas fluorescenciniais dažais – FITC faloideinu. Leidus dr. Markui Keriganui (*Mark Kerrigan*), Vestminsterio universitetas.
  - 7.1. Beakė krevetė *Rimicaris exoculata*, ant nugaros turinti dvi šviesesnes neapdengtos tinklainės juostas. Leidus Patrikui Briandui (*Patrick Briand*), IFREMER (Prancūzijos jūros tyrimų ir eksploatavimo institutas).
  - 7.2. D. E. Nilsono ir S. Pelger sudaryta etapų seka, kurių reikia, kad išsivystytų akis. Perspausdinta leidus D. E. Nilsonui iš: *Michael Land and Dan-Eric Nilsson, Animal Eyes*. OUP, Oxford, 2002.
  - 7.3. Iš kristalų sudaryti *Dalmanitina socialis* trilobito lęšiukai. Leidus profesoriui Evanui Klarksonui (*Euan Clarkson*), Edinburgo universitetas.
  - 7.4. Iš kristalų sudaryti ofiūros *Ophiocoma wendtii* lęšiukai. Leidus profesorei Joanai Aizenberg (*Joanna Aizenberg*), Harvardo universitetas.
  - 7.5. Rombiniai kalcito kristalai. Perspausdinta leidus iš Addadi L, Weiner S. *Control and Design Principles in Biological Mineralisation. Angew. Chem Int. Ed. Engl.* 3: 153–169; 1992. Copyright Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
  - 7.6. Elektroniniu mikroskopu nuskaityta vaisinės muselės (*Drosophila*) galva. Leidus profesoriui Valteriui Geringui (*Walter Gehring*), Biocentras, Bazelio universitetas, Šveicarija.
  - 8.1. Oro srauto judėjimas pro paukščių plaučius. Perpiešta iš: Reese S. et al. 'The avian lung-associated immune system: a review', *Vet. Res.* 37: 311–324; 2006.
  - 8.2. Dinozaurų oro maišelių sistemos rekonstrukcija. Leidus Zinai Deretski (*Zina Deretsky*), Nacionalinis mokslo fondas, Arlingtonas, Virginija, JAV.
  - 9.1. Hidroanencefalija sergančio vaiko galvos magnetinio rezonanso tomografijos vaizdai. Iš Amerikos radiologijos koledžo mokymosi failo (Neuroradiologijos skyrius, 2 leidimas), autoriaus teisės 2004. Perspausdinta leidus Amerikos radiologijos koledžui. Bet koks kitoks šios medžiagos pateikimas be atskiro raštiško Amerikos radiologijos koledžo sutikimo draudžiamas.
  - 9.2. Laimės ir džiaugsmo išraiška hidroanencefalija sergančios ketverių metų Nikės (*Nikki*) veide. Publikuojama maloniai leidus Nikės mamai Linei Trys (*Lynne Trease*).



# BIBLIOGRAFIJA

„Gyvybės evoliuciją“ rašiau daugiausia remdamasis pirminiais šaltiniais, tačiau toliau nurodytos knygos buvo tikras įžvalgos ir malonumo šaltinis. Ne su viskuo, kas jose rašoma, sutinku, tačiau tai ir yra geros knygos skaitymo malonumo dalis. Daugelis jų skirta paprastam skaitytojui ir yra originalūs moksliniai darbai, tęsiantys „Rūšių kilmės“ tradiciją. Abėcėlės tvarka.

David Beerling *The Emerald Planet* (OUP, 2006). Nuostabi knyga apie augalų įtaką mūsų planetos istorijai. Didelės ir spalvingos evoliucijos vinjetės.

Susan Blackmore *Conversations on Consciousness* (OUP, 2005). Pasigėrėtinais šaltakraujiškas bandymas išanalizuoti ir rasti prasmę prieštaringuose pagrindinių mokslininkų ir filosofų požiūriuose į sąmonę.

Jacob Bronowski *The Ascent of Man* (Little, Brown, 1974). Knyga pagal televizijos serialą. Puiki. Graham Cairns-Smith *Seven Clues to the Origin of Life* (CUP, 1982). Dabar jau mokliškai pasenusi knyga, bet neprilygstamas šaltinis šerlokiskoms užuominų paieškoms pačioje gyvybės chemijos širdyje.

Graham Cairns-Smith *Evolving the Mind* (CUP, 1998). Puiki ir neįprasta individualaus mąstytojo sąmonės kvantinių teorijų gynyba.

Francis Crick *Life Itself* (Simon & Schuster, 1981). Vienas puikiausių XX a. mokslinių protų gina neapginamą hipotezę. Senstelėjusi, bet verta paskaityti.

Antonio Damasio *The Feeling of What Happens* (Vintage Books, 2000). Viena A. Damasio knygu, nors perskaityti verta jas visas. Poetiška ir intensyvi. Stipriausia pusė – neurologija, silpniausia – evoliucija.

Charles Darwin *The Origin of Species* (Penguin, 1985). Viena svarbiausių visų laikų knygų.

Paul Davies *The Origin of Life* (Penguin, 2006). Gera knyga, nors autorius linkęs matyti per daug kliūčių.

Richard Dawkins *Climbing Mount Improbable* (Viking, 1996). Viena iš labai nedaugelio populiarių knygų, nagrinėjančių sudėtingų savybių, pavyzdžiui, akių, evoliuciją. Parašyta nepakartojamu R. Dokinsio stiliumi.

Richard Dawkins *The Selfish Gene* (OUP, 1976). Viena įtakingiausių mūsų amžiaus knygų. Būtina perskaityti.

Daniel Dennett *Consciousness Explained* (Little, Brown, 1991). Prieštaringa klasika, kurios negalima ignoruoti.

Derek Denton *The Primordial Emotions* (OUP, 2005). Iškalbinga knyga svarbia tema. Dar geresnė tuo, kad puikiai aptaria kitų tyrėjų ir filosofų darbus.

Christian de Duve *Singularities* (CUP, 2005). Labai argumentuota knyga, perteikianti aiškų K. de Diuvo mąstymą. Skirta ne chemijos silpnadviasiams, bet išreiškia išgrynintas puikaus proto mintis.

## GYVYBĖS TRIUMFAS

Christian de Duve *Life Evolving* (OUP, 2002). Elegiška knyga apie gyvybės biocheminę evoliuciją ir mūsų vietą Visatoje. Atrodo, lyg būtų gulgės giesmė, nors iš tiesų ji parašyta anksčiau nei *Singularities*.

Gerald Edelman *Wider than the Sky* (Penguin, 2004). Plonas, bet informatyvus tomas ir gera įžanga į svarbiausias Dž. Edelmano idėjas.

Richard Fortey *Trilobite!* (HarperCollins 2000). Grynas malonumas, kaip ir visos Fortėjaus (*Fortey*) knygos. Ypač gerai aprašyta trilobitų kristalų akių evoliucija.

Tibor Ganti *The Principles of Life* (OUP, 2003). Originalus požiūris į pagrindinę gyvybės sandarą, net jei ir trūksta realios biochemijos žinių. Nenoromis nusprendžiau neapartinėti jo idėjų.

Steven Jay Gould *The Structure of Evolutionary Theory* (Harvard University Press, 2002). Rimtas mokslinis darbas, bet su S. Dž. Guldso įprasto veržlumo žybsniais. Įdomios medžiagos aukso kasykla.

Franklin Harold *The Way of the Cell* (OUP, 2001). Nuostabi, įžvalgi knyga apie ląstelę, kupina mokslo poezijos. Nelengva skaityti, bet verta pastangų.

Steve Jones *The Language of the Genes* (Flamingo, 2000). Nuostabus, energija trykstantis geno pristatymas.

Steve Jones *Almost like a Whale* (Doubleday, 1999). Č. Darvinas, praturtintas veržlumu ir giliomis žiniomis.

Horace Freeland Judson *The Eighth Day of Creation* (Cold Spring Harbor Press, 1996). Įtakinga knyga. Interviu su molekulinės biologijos pradininkais eros pradžioje.

Tom Kirkwood *Time of Our Lives* (Weidenfeld & Nicolson, 1999). Viena geriausių įžangų į senėjimo biologiją, parašyta tos srities pradininko. Žmogiškas mokslo darbas.

Andre Klarsfeld and Frederic Revah *The Biology of Death* (Cornell University Press, 2004). Gili senėjimo ir mirties analizė iš ląstelės požiūrio taško. Retas evoliucijos ir medicinos derinys.

Andrew Knoll *Life on a Young Planet* (Princeton University Press, 2003). Viena iš pagrindinių šalininkų puikus, prieinamas ankstyvos evoliucijos aprašymas. Rekomenduoju.

Christof Koch *The Quest for Consciousness* (Roberts & Co, 2004). Vadovėlis ir nelengvai skaitomas, bet kupinas talento ir įžvalgos. Puikus ir harmoningas protas, klausiantis kito proto.

Marek Kohn *A Reason for Everything* (Faber and Faber, 2004). Penkių britų evolucionistų trumpos biografijos, kupinos iškalbos ir įžvalgos. Labai gerai aprašo lytinių santykių evoliuciją.

Michael Land and Dan-Eric Nilsson *Animal Eyes* (OUP, Oxford, 2002). Vadovėlis apie gyvūnų optiką. Prieinamai parašytas ir gerai perteikiantis produktyvų evoliucijos išradingumą.

Nick Lane *Power, Sex, Suicide* (OUP, 2005). Mano paties ląstelių biologijos ir sudėtingumo evoliucijos tyrinėjimas ląstelių energijos požiūriu.

Nick Lane *Oxygen* (OUP, 2002). Gyvybės Žemėje istorija, kur pagrindinę vietą užima dujos, dėl kurių gali egzistuoti sudėtinga gyvybė – deguonis.

Primo Levi *The Periodic Table* (Penguin, 1988). Ne mokslinė knyga, bet sklidina poezijos, žmogiškumo ir mokslo. Literatūros meistras.

Lynn Margulis and Dorion Sagan *Microcosmos* (University of California Press, 1997). Puiki įžanga į mikrokosmą, parašyta vienos iškiliausių figūrų biologijoje, kuriai nesvetimos prieštarnos.

Bill Martin and Miklós Müller *Origin of Mitochondria and Hydrogenosomes* (Springer, 2007). Mokslinė keletu autorių knyga apie įtakingą įvykį evoliucijoje – skirtingi požiūriai į eukariotinę ląstelę.

John Maynard Smith and Eörs Szathmáry *The Origins of Life* (OUP, 1999). Populiarus klasikinio teksto *The Great Transitions of Evolution* (OUP, 1997) perdirbinys. Didis didžiųjų protų darbas.

John Maynard Smith *Did Darwin get it Right?* (Penguin, 1988). Evoliucijos biologų guru prieinamai parašyti esė, kai kurie jų – apie lytinių santykių evoliuciją.

Oliver Morton *Eating the Sun* (Fourth Estate, 2007). Tikras brangakmenis, suderinantis beletristo įžvalgą apie žmones ir vietas su giliais jausmais molekulėms ir planetoms. Ypač gerai aprašo anglies krizę.

## BIBLIOGRAFIJA

Andrew Parker *In the Blink of an Eye* (Free Press, 2003). Yra kuo pasimėgauti, nepaisant kiek beatodairiško požiūrio.

Vilayanur Ramachandran *The Emerging Mind* (Profile, 2003). V. Ramachandrano 2003 m. *Reith Lectures* paskaitos. Iš esmės jo ankstesnės knygos *Phantoms in the Brain* sutrumpinta versija. Originalaus ir kūrybingo proto žaidimas.

Mark Ridley *Mendel's Demon* (Weidenfeld & Nicolson, 2000). Intelektinis skanėstas, dėstantis gilią medžiagą apie sudėtingumo evoliuciją su solidžiu sąmoju.

Matt Ridley *The Red Queen* (Penguin, 1993). Įtakinga knyga apie lytinių santykių ir lytinio elgesio evoliuciją. Įžvalgi ir pilna M. Ridlio savito stiliaus.

Matt Ridley *Francis Crick* (HarperPress, 2006). Aukščiausios klasės biografija apie vieną įdomiausių figūrų XX a. moksle. Su įdomiais niuansais, bet nestatanti į pavojų jo meilės mokslui.

Steven Rose *The Making of Memory* (Vintage 2003). Puiki knyga apie atminties nervinę veiklą, geriausiai aprašantį socialinį mokslo aspektą.

Ian Stewart and Jack Cohen *Figments of Reality* (CUP, 1997). Eklektiškas, sąmojingas ir išprusęs žvilgsnis į sąmonę. Įdomi ir ginanti nuomonę.

Peter Ward *Out of Thin Air* (Joseph Henry Press, 2006). Rimta ir originali hipotezė apie tai, kodėl dinozaurai vyravo taip ilgai. Prieinama ir įtikinama.

Carl Zimmer *Parasite Rex* (The Free Press, 2000). Puiki knyga su nuostabiu skyriumi apie parazitų vaidmenį lytinių santykių evoliucijoje.

## PIRMINIAI ŠALTINIAI

F. Krikas kartą skundėsi, kad „Nėra sunkiau suprantamos ir nuobodžiau skaitomos prozos nei vidutinis mokslinis pranešimas“. Tame yra tiesos, bet jis vartoja žodį „vidutinis“. Patys geriausi moksliniai pranešimai gali perteikti visiškai distiliuotą reikšmę ir paveikti protą lyg meno kūriny. Pamėginau susiaurinti savo sąrašą iki būtent tokių darbų. Tai nėra išsamus sąrašas, bet rinktiniai darbai, turėję daugiausia įtakos mano mąstymui rašant šią knygą. Taip pat pridėjau keletą bendrųjų apžvalgų kaip įvadą į literatūrą. Abėcėlės tvarka pagal skyrius.

## 1 SKYRIUS. GYVYBĖS KILMĖ

Fyfe W. S. The water inventory of the Earth: fluids and tectonics. Geological Society, London, Special Publications 78: 1–7; 1994.

Holm N. G., et al. Alkaline fluid circulation in ultramafic rocks and formation of nucleotide constituents: a hypothesis. Geochemical Transactions 7:7; 2006.

Huber C., Wächtershäuser G. Peptides by activation of amino acids with CO on (Ni,Fe)S surfaces: implications for the origin of life. Science 281: 670–72; 1998.

Kelley D. S., Karson J. A., Fruh-Green G. L. et al. A serpentinite-hosted ecosystem: the Lost City hydrothermal field. Science 307: 1428–34; 2005.

Martin W., Baross J., Kelley D., Russell M. J. Hydrothermal vents and the origin of life. Nature Reviews in Microbiology 6: 805–14; 2008.

## GYVYBĖS TRIUMFAS

- Martin W., Russell M. J. On the origin of biochemistry at an alkaline hydrothermal vent. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 362: 1887–925; 2007.
- Morowitz H., Smith E. Energy flow and the organisation of life. *Complexity* 13: 51–9; 2007.
- Proskurowski G., et al. Abiogenic hydrocarbon production at Lost City hydrothermal field. *Science* 319: 604–7; 2008.
- Russell M. J., Martin W. The rocky roots of the acetyl CoA pathway. *Trends in Biochemical Sciences* 29: 358–63; 2004.
- Russell M. First Life. *American Scientist* 94: 32–9; 2006.
- Smith E., Morowitz H. J. Universality in intermediary metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 101: 13168–73; 2004.
- Wächtershäuser G. From volcanic origins of chemoautotrophic life to bacteria, archaea and eukarya. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 361: 1787–806; 2006.

## 2 SKYRIUS. DNR

- Baaske P., et al. Extreme accumulation of nucleotides in simulated hydrothermal pore systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104: 9346–51; 2007.
- Copley S. D., Smith E., Morowitz H. J. A mechanism for the association of amino acids with their codons and the origin of the genetic code. *PNAS* 102: 4442–7 2005.
- Crick F. H. C. The origin of the genetic code. *Journal of Molecular Biology* 38: 367–79; 1968.
- De Duve C. The onset of selection. *Nature* 433: 581–2; 2005.
- Freeland S. J., Hurst L. D. The genetic code is one in a million. *Journal of Molecular Evolution* 47: 238–48; 1998.
- Gilbert W. The RNA world. *Nature* 319: 618; 1986.
- Hayes B. The invention of the genetic code. *American Scientist* 86: 8–14; 1998.
- Koonin E. V., Martin W. On the origin of genomes and cells within inorganic compartments. *Trends in Genetics* 21: 647–54; 2005.
- Leipe D., Aravind L., Koonin E.V. Did DNA replication evolve twice independently? *Nucleic Acids Research* 27: 3389–401; 1999.
- Martin W., Russell M. J. On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*. 358: 59–83; 2003.
- Taylor F. J. R., Coates D. The code within the codons. *Biosystems* 22: 177–87; 1989.
- Watson J. D., Crick F. H. C. A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 171: 737–8; 1953.

## 3 SKYRIUS. FOTOSINTEZĖ

- Allen J. F., Martin W. Out of thin air. *Nature* 445: 610–12; 2007.
- Allen J. F. A redox switch hypothesis for the origin of two light reactions in photosynthesis. *FEBS Letters* 579: 963–68; 2005.
- Dalton R. Squaring up over ancient life. *Nature* 417: 782–4; 2002.
- Ferreira K. N. et al. Architecture of the photosynthetic oxygen-evolving center. *Science* 303: 1831–8; 2004.

## BIBLIOGRAFIJA

- Mauzerall D. Evolution of porphyrins – life as a cosmic imperative. *Clinics in Dermatology* 16: 195–201; 1998.
- Olson J. M., Blankenship R. E. Thinking about photosynthesis. *Photosynthesis Research* 80: 373–86; 2004.
- Russell M. J., Allen J. F., Milner-White E. J. Inorganic complexes enabled the onset of life and oxygenic photosynthesis. In *Energy from the Sun: 14th International Congress on Photosynthesis*, Allen J. F., Gantt E., Golbeck J. H., Osmond B. (editors). Springer 1193–8; 2008.
- Sadekar S., Raymond J., Blankenship R. E. Conservation of distantly related membrane proteins: photosynthetic reaction centers share a common structural core. *Molecular Biology and Evolution* 23: 2001–7; 2006.
- Sauer K., Yachandra V. K. A possible evolutionary origin for the Mn<sub>4</sub> cluster of the photosynthetic water oxidation complex from natural MnO<sub>2</sub> precipitates in the early ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 99: 8631–6; 2002.
- Walker D. A. The Z-scheme – Down Hill all the way. *Trends in Plant Sciences* 7: 183–5; 2002.
- Yano J., et al. Where water is oxidised to dioxygen: structure of the photosynthetic Mn<sub>4</sub>Ca cluster. *Science* 314: 821–5; 2006.

## 4 SKYRIUS. SUDĖTINGA LAŠTELĖ

- Cox C. J., et al. The archaeobacterial origin of eukaryotes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 105: 20356–61; 2008.
- Embley M. T., Martin W. Eukaryotic evolution, changes and challenges. *Nature* 440: 623–30; 2006.
- Javaux E. J. The early eukaryotic fossil record. In: *Origins and Evolution of Eukaryotic Endomembranes and Cytoskeleton* (Ed. Gšpšr Jékely); Landes Bioscience 2006.
- Koonin E. V. The origin of introns and their role in eukaryogenesis: a compromise solution to the introns-early versus introns-late debate? *Biology Direct* 1: 22; 2006.
- Lane N. Mitochondria: key to complexity. In: *Origin of Mitochondria and Hydrogenosomes* (Eds Martin W, Müller M); Springer, 2007.
- Martin W., Koonin E. V. Introns and the origin of nucleus-cytosol compartmentalisation. *Nature* 440: 41–5; 2006.
- Martin W., Müller M. The hydrogen hypothesis for the first eukaryote. *Nature* 392: 37–41; 1998.
- Pisani D., Cotton J. A., McInerney J. O. Supertrees disentangle the chimerical origin of eukaryotic genomes. *Molecular Biology and Evolution* 24: 1752–60; 2007.
- Sagan L. On the origin of mitosing cells. *Journal of Theoretical Biology* 14: 255–74; 1967.
- Simonson A. B., et al. Decoding the genomic tree of life. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 6608–13; 2005.
- Taft R. J., Pheasant M., Mattick J. S. The relationship between non-protein-coding DNA and eukaryotic complexity. *BioEssays* 29: 288–99; 2007.
- Vellai T., Vida G. The difference between prokaryotic and eukaryotic cells. *Proceedings of the Royal Society of London B* 266: 1571–7; 1999.

## 5 SKYRIUS. LYTINIAI SANTYKIAI

- Burt A. Sex, recombination, and the efficacy of selection: was Weismann right? *Evolution* 54: 337–51; 2000.

- Butlin R. The costs and benefits of sex: new insights from old asexual lineages. *Nature Reviews in Genetics* 3: 311–17; 2002.
- Cavalier-Smith T. Origins of the machinery of recombination and sex. *Heredity* 88: 125–41; 2002.
- Dacks J., Roger A. J. The first sexual lineage and the relevance of facultative sex. *Journal of Molecular Evolution* 48: 779–83; 1999.
- Felsenstein J. The evolutionary advantage of recombination. *Genetics* 78: 737–56; 1974.
- Hamilton W. D., Axelrod R., Tanese R. Sexual reproduction as an adaptation to resist parasites. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 87: 3566–73; 1990.
- Howard R. S., Lively C. V. Parasitism, mutation accumulation and the maintenance of sex. *Nature* 367: 554–7; 1994.
- Keightley P. D., Otto S. P. Interference among deleterious mutations favours sex and recombination in finite populations. *Nature* 443: 89–92; 2006.
- Kondrashov A. Deleterious mutations and the evolution of sexual recombination. *Nature* 336: 435–40; 1988.
- Otto S. P., Nuismer S. L. Species interactions and the evolution of sex. *Science* 304: 1018–20; 2004.
- Szollosi G. J., Derenyi I., Vellai T. The maintenance of sex in bacteria is ensured by its potential to reload genes. *Genetics* 174: 2173–80; 2006.

## 6 SKYRIUS. JUDEJIMAS

- Amos L. A., van den Ent F., Lowe J. Structural/functional homology between the bacterial and eukaryotic cytoskeletons. *Current Opinion in Cell Biology* 16: 24–31; 2004.
- Frixione E. Recurring views on the structure and function of the cytoskeleton: a 300 year epic. *Cell Motility and the Cytoskeleton* 46: 73–94; 2000.
- Huxley H. E., Hanson J. Changes in the cross striations of muscle during contraction and stretch and their structural interpretation. *Nature* 173: 973–1954.
- Huxley H. E. A personal view of muscle and motility mechanisms. *Annual Review of Physiology* 58: 1–19; 1996.
- Mitchison T. J. Evolution of a dynamic cytoskeleton. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 349: 299–304; 1995.
- Nachmias V. T., Huxley H., Kessler D. Electron microscope observations on actomyosin and actin preparations from *Physarum polycephalum*, and on their interaction with heavy meromyosin subfragment I from muscle myosin. *Journal of Molecular Biology* 50: 83–90; 1970.
- OOta S., Saitou N. Phylogenetic relationship of muscle tissues deduced from superimposition of gene trees. *Molecular Biology and Evolution* 16: 856–67; 1999.
- Piccolino M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. *Brain Research Bulletin* 46: 381–407; 1998.
- Richards T. A., Cavalier-Smith T. Myosin domain evolution and the primary divergence of eukaryotes. *Nature* 436: 1113–18; 2005.
- Swank D. M., Vishnudas V. K., Maughan D. W. An exceptionally fast actomyosin re-activation powers insect flight muscle. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103: 17543–7; 2006.
- Wagner P. J., Kosnik M. A., Lidgard S. Abundance distributions imply elevated complexity of post-paleozoic marine ecosystems. *Science* 314: 1289–92; 2006.

## BIBLIOGRAFIJA

### 7 SKYRIUS. REGA

- Addadi L., Weiner S. Control and Design Principles in Biological Mineralisation. *Angew Chem Int Ed Engl* 3: 153–69; 1992.
- Aizenberg J., et al. Calcitic microlenses as part of the photoreceptor system in brittlestars. *Nature* 412: 819–22; 2001.
- Arendt D., et al. Ciliary photoreceptors with a vertebrate-type opsin in an invertebrate brain. *Science* 306: 869–71; 2004.
- Deininger W., Fuhrmann M., Hegemann P. Opsin evolution: out of wild green yonder? *Trends in Genetics* 16: 158–9; 2000.
- Gehring W. J. Historical perspective on the development and evolution of eyes and photoreceptors. *International Journal of Developmental Biology* 48: 707–17; 2004.
- Gehring W. J. New perspectives on eye development and the evolution of eyes and photoreceptors. *Journal of Heredity* 96: 171–84; 2005.
- Nilsson D. E., Pelger S. A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve. *Proceedings of the Royal Society of London B* 256: 53–8; 1994.
- Panda S., et al. Illumination of the melanopsin signaling pathway. *Science* 307: 600–604; 2005.
- Piatigorsky J. Seeing the light: the role of inherited developmental cascades in the origins of vertebrate lenses and their crystallins. *Heredity* 96: 275–77; 2006.
- Shi Y., Yokoyama S. Molecular analysis of the evolutionary significance of ultraviolet vision in vertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100: 8308–13; 2003.
- Van Dover C. L., et al. A novel eye in 'eyeless' shrimp from hydrothermal vents on the Mid-Atlantic Ridge. *Nature* 337: 458–60; 1989.
- White S. N., et al. Ambient light emission from hydrothermal vents on the Mid-Atlantic Ridge. *Geophysical Research Letters* 29: 341–4; 2000.

### 8 SKYRIUS. KARŠTAS KRAUJAS

- Burness G. P., Diamond J., Flannery T. Dinosaurs, dragons, and dwarfs: the evolution of maximal body size. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98: 14518–23; 2001.
- Hayes J. P., Garland J. The evolution of endothermy: testing the aerobic capacity model. *Evolution* 49: 836–47; 1995.
- Hulbert A. J., Else P. L. Membranes and the setting of energy demand. *Journal of Experimental Biology* 208: 1593–99; 2005.
- Kirkland J. I., et al. A primitive therizinosauroid dinosaur from the Early Cretaceous of Utah. *Nature* 435: 84–7; 2005.
- Klaassen M., Nolet B. A. Stoichiometry of endothermy: shifting the quest from nitrogen to carbon. *Ecology Letters* 11: 1–8; 2008.
- Lane N. Reading the book of death. *Nature* 448: 122–5; 2007.
- O'Connor P. M., Claessens L. P. A. M. Basic avian pulmonary design and flow-through ventilation in non-avian theropod dinosaurs. *Nature* 436: 253–6; 2005.
- Organ C. L., et al. Molecular phylogenetics of *Mastodon* and *Tyrannosaurus rex*. *Science* 320: 499; 2008.
- Prum R. O., Brush A. H. The evolutionary origin and diversification of feathers. *Quarterly Review of Biology* 77: 261–95; 2002.
- Sawyer R. H., Knapp L. W. Avian skin development and the evolutionary origin of feathers. *Journal of Experimental Zoology* 298B: 57–72; 2003.

## GYVYBĖS TRIUMFAS

Seebacher F. Dinosaur body temperatures: the occurrence of endothermy and ectothermy. *Paleobiology* 29: 105–22; 2003.

Walter I., Seebacher F. Molecular mechanisms underlying the development of endothermy in birds (*Gallus gallus*): a new role of PGC-1? *American Journal of Physiology Regul Integr Comp Physiol* 293: R2315–22, 2007.

## 9 SKYRIUS. SĄMONĖ

Churchland P. How do neurons know? *Daedalus* Winter 2004; 42–50.

Crick F., Koch C. A framework for consciousness. *Nature Neuroscience* 6: 119–26; 2003.

Denton D. A., et al. The role of primordial emotions in the evolutionary origin of consciousness. *Consciousness and Cognition* doi:10.1016/j.concog.2008.06.009.

Edelman G., Gally J. A. Degeneracy and complexity in biological systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98: 13763–68; 2001.

Edelman G. Consciousness: the remembered present. *Annals of the New York Academy of Sciences* 929: 111–22; 2001.

Gil M., De Marco R. J., Menzel R. Learning reward expectations in honeybees. *Learning and Memory* 14: 49–96; 2007.

Koch C., Greenfield S. How does consciousness happen? *Scientific American* October 2007; 76–83.

Lane N. Medical constraints on the quantum mind. *Journal of the Royal Society of Medicine* 93: 571–5; 2000.

Merker B. Consciousness without a cerebral cortex: A challenge for neuroscience and medicine. *Behavioral and Brain Sciences* 30: 63–134; 2007.

Musacchio J. M. The ineffability of qualia and the word-anchoring problem. *Language Sciences* 27: 403–35; 2005.

Searle J. How to study consciousness scientifically. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 353: 1935–42; 1998.

Singer W. Consciousness and the binding problem. *Annals of the New York Academy of Sciences* 929: 123–46; 2001.

## 10 SKYRIUS. MIRTIS

Almeida A., Almeida J., Bolaños J. P., Moncada S. Different responses of astrocytes and neurons to nitric oxide: the role of glycolytically generated ATP in astrocyte protection. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98: 15294–99; 2001.

Barja G. Mitochondrial oxygen consumption and reactive oxygen species production are independently modulated: implications for aging studies. *Rejuvenation Research* 10: 215–24; 2007.

Bauer et al. Resveratrol improves health and survival of mice on a highcalorie diet. *Nature* 444: 280–81; 2006.

Bidle K. D., Falkowski P. G. Cell death in planktonic, photosynthetic microorganisms. *Nature Reviews in Microbiology* 2: 643–55; 2004.

Blagosklonny M. V. An anti-aging drug today: from senescence-promoting genes to anti-aging pill. *Drug Discovery Today* 12: 218–24; 2007. Bonawitz N. D., et al. Reduced TOR signaling extends chronological life span via increased respiration and upregulation of mitochondrial gene expression. *Cell Metabolism* 5: 265–77; 2007.



## BIBLIOGRAFIJA

Garber K. A mid-life crisis for aging theory. *Nature* 26: 371–4; 2008. Hunter P. Is eternal youth scientifically plausible? *EMBO Reports* 8: 18–20; 2007.

Kirkwood T. Understanding the odd science of aging. *Cell* 120: 437–47; 2005.

Lane N. A unifying view of aging and disease: the double-agent theory. *Journal of Theoretical Biology* 225: 531–40; 2003.

Lane N. Origins of death. *Nature* 453: 583–5; 2008.

Tanaka M., et al. Mitochondrial genotype associated with longevity. *Lancet* 351: 185–6; 1998.

# RODYKLĖ

## A

- acetilo fosfatas 33  
acetilo tioeteris 293  
actas 21, 32, 33, 105, 293  
Adadi, Lia (*Lia Addadi*) 192  
adeninas 41, 297  
adenozino trifosfatas 29  
aerobinio pajėgumo hipotezė 215, 218, 227, 228, 231  
aerobinis pajėgumas 217–220, 224, 228, 231, 233–235, 302  
afrikinė miegligė 138  
AIDS 123, 137  
„akelė“ 198  
aklaregystė 243  
akis 8, 10, 59, 67, 81, 152, 167, 175, 177, 179, 182–187, 190, 195, 200, 253  
aktinas 159, 162–174  
akutė 206, 207  
Aldinis, Džiovanis (*Giovani Aldini*) 152  
Alenas, Džonas (*John Allen*) 86, 290  
Alibardis, Lorenčas (*Lorenzo Alibardi*) 222  
aligatorius 211, 217, 221  
ALISS (aplinkos šviesos vaizdavimo ir spektro nustatymo sistema) 204  
alkis 240, 253, 258, 260, 271  
altruizmas 134, 135, 137  
alveolės 224, 225  
*Alvin* (povandeninis laivas) 19, 180  
Alzheimerio liga 43, 237, 242, 257, 273, 274, 276, 284, 286, 287, 303  
ameba 40, 41, 94, 95, 97, 118, 148, 172  
*Amoeba dubia* 41  
amoniakas 16, 24, 57  
amonitas 148, 187, 298  
amžinė geltonosios dėmės degeneracija 179, 302  
amžius 8, 10, 14, 16, 150, 187, 221, 228, 254, 272, 273–276, 280, 285–287  
anglies dioksidas 24, 32, 68, 76  
anglies monoksidas 22  
anglis 69, 72, 81, 229  
aniridija 200  
anozognozija 243  
antagonistinė pleotropija 273, 285  
Antarktida 9, 300  
antibiotikas 123, 297  
antikodonas 48, 294  
antikūnas 249  
antioksidantas 88, 283  
Antono sindromas 243  
*ApoE* 273  
*ApoE4* 273, 287, 302  
aragonitas 27  
archėjos 27, 32, 59, 60, 63, 104–106, 111, 118, 293  
archozauras 219–223, 230  
Arčimboldis, Džiuzepė (*Giuseppe Arcimboldi*) 207  
Arendas, Detlefas (*Detlev Arendt*) 201, 202, 311  
Aristotelis 151  
Armstrongas, Nilas (*Neil Armstrong*) 19  
Asara, Džonas (*John Asara*) 221  
ascidija 8, 195, 196  
asteroidų bombardavimas 16, 17, 80

## RODYKLĖ

- astrobiologai 17, 65  
 astrocitas 256, 283, 284  
 aterosklerozė 302  
 Atlanto masyvas 26  
 „atlygio sistema“ 260  
 atmintis 239, 240, 251  
 atmosfera 13, 229  
 ATP 29–31, 33–37, 58, 74, 77, 84, 89,  
 114, 159–163, 167, 213, 216, 312  
 atrankos trukdžiai 141, 142  
 atsakas į stresą 282  
 „Atsuktas žiuželis“ (*The Flagellum Unspun*)  
 298  
 atvirkštinė transkriptazė 61, 62  
 augalas 7, 14, 43, 65–69, 78, 93, 97, 100,  
 105, 124, 137, 148, 167, 205, 229,  
 264, 270, 295, 301  
 Aušvicas 288  
 autobrydingas 128  
 Azijos pelėnas (*Ellobius tancrei*) 297  
 azotas 24, 232  
 azoto dujų dalelė 151
- B**  
 Bachas, Johanas Sebastianas (*Johann Sebastian Bach*) 166  
 baimė 8, 95, 240, 247, 248, 252, 260  
 Bakeris, Robertas (*Robert Bakker*) 225  
 bakterijos 5, 9, 14, 21, 23, 59, 66, 72,  
 80–82, 86–89, 94–99, 103–108, 170, 266  
 bakteriofagas 267  
 baltymas 67, 138, 162, 165, 193, 197, 218  
 Barberis, Džimas (*Jim Barber*) 82  
 Bardža, Gustavas (*Gusatvo Barja*) 282,  
 290, 302  
 Barosas, Džonas (*John Baross*) 22  
 Bartonas, Nikas (*Nick Barton*) 140, 142  
 Baumanas, Viljamas (*Williams Bowman*)  
 154, 155, 162  
 bazė (DNR) 41, 44, 52, 55, 294  
*Bdelloidea* žiuželinis 127  
 Belas, Grehemas (*Graham Bell*) 135  
 Benetas, Albertas (*Albert Bennet*) 215–217  
 Berneris, Robertas (*Robert Berner*) 69  
 bestuburis 163, 180, 195, 198–202, 204,  
 207, 260  
 Bethovenas, Liudvikas van (*Ludwig van Beethoven*) 166  
 Bidlas, Kėjus (*Kay Bidle*) 266, 312  
 biochemija 29–31, 44, 52, 74, 99, 106,  
 108, 162, 198, 240, 277, 285, 293, 295  
 biomimetika 299  
 bioplėvelė 266  
 bitė 260, 261  
 Blagosklonyj, Michailas (*Mikhail Blagosklonny*) 279  
 blakstienėlės 166, 198  
 Blankenšipas, Bobas (*Bob Blankenship*) 82,  
 83, 290  
 Blekmor, Suzana (*Susan Blackmore*) 244,  
 305  
 Bošas, Jeronimas (*Hieronymous Bosch*) 21  
 branduolys 47, 48, 95, 96, 98, 109–118,  
 126, 143, 144, 167, 238, 240, 252  
 Braunas, Diteris (*Dieter Braun*) 57  
 Breizeris, Martinas (*Martin Brasier*) 81  
 Brenneris, Sidnis (*Sydney Brenner*) 45  
 Brinklis, Džonas (*John R. Brinkley*) 262  
 Bronovskis, Jakobas (*Jacob Bronowski*) 288  
 BSE (galvijų spongiforminė encefalopatija)  
 298  
*Bythograea thermydron* (versmių krabas)  
 182
- C, Č**  
 Čalmersas, Deividas (*David Chalmers*)  
 238, 239, 254  
 Čerčilis, Vinstonas (*Winston Churchill*)  
 299  
 chemija 31, 41, 84, 93, 292  
 chemoosmozė 35–37, 293  
 chlorofilas 65, 74, 76, 77, 84, 85, 88, 90,  
 91, 255, 295  
 chloroplastas 74, 78, 97, 207, 208  
 chordiniai 195  
 chromosoma 41, 42, 95–98, 118, 127–130,

- 140, 141, 143–146, 166, 169, 171,  
174, 294, 297, 302  
cianidas 31, 57, 113  
cinodontai 220, 221, 229, 230, 231, 232  
*Ciona intestinalis* 195  
citoplazma 48, 49, 96, 119, 166  
citoplazmos srautas 167  
citoskeletas 110, 165, 166, 168–174, 296,  
298, 304  
citozinas 41  
cukrinis diabetas 43, 274, 277, 280, 300,  
302  
cukrus 40, 73, 75, 77, 83–85, 88, 89, 124,  
249, 294
- D**  
da Vinčis, Leonardas (*Leonardo da Vinci*)  
150  
Daimondas, Džeredas (*Jared Diamond*)  
122, 233  
*Dalmanitina socialis* 191, 304  
Damasijus, Antonijus (*Antonio Damasio*)  
247, 305  
Dankan, Izadora (*Isadora Duncan*) 296  
Darvinas, Čarlzas (*Charles Darwin*) 5, 9,  
19, 100, 102, 107, 127, 128, 130, 134,  
137, 147, 176, 184, 185, 188, 268, 306  
darvininiai procesai 109  
daugialastis organizmas 269, 270  
de Diuvas, Kristianas (*Christian de Duve*)  
15, 108, 240, 293, 305  
degeneracija 50, 138, 179, 243, 270, 272  
deguonis 19, 65–68, 70, 72, 73, 77, 78,  
89, 91, 98, 188, 306  
„Deguonis: molekulė, sukūrusi pasaulį“  
(*Oxygen: The Molecule that Made the  
World*) 295  
Deivisas, Brajanas K. (*Brian K. Davis*) 51  
Dekartas, Renė (*René Decartes*) 151  
Delanėjus, Džonas (*John Delaney*) 180  
Denetas, Danielis (*Daniel Dennett*) 241  
Dentonas, Derekas (*Derek Denton*) 238,  
252, 291  
Dentonas, Erikas (*Eric Denton*) 399  
deoksiribozę 294  
depolarizacija 154  
diafragma 216, 220, 224, 230  
Dievas 94, 122, 147, 236, 239, 240, 242,  
245, 257, 289, 298  
„Dievo šalmas“ 244  
diferenciacija 266, 268  
dinamiškumas 97  
DNR (deoksiribonukleino rūgštis) 8,  
15–17, 37, 39–48, 55, 58–63, 96, 102,  
119, 156, 172, 232, 246, 281, 294,  
297, 303  
Dobžanskis, Teodoras (*Theodore Dzhobz-  
hansky*) 285  
Dokinas, Ričardas (*Richard Dawkins*)  
135, 178, 245, 265, 297, 305  
domenai 103–106, 295  
driežas 9, 136, 210–214, 216–219, 222,  
224, 229, 231, 231–233  
Dulitlis, Fordas (*Ford Doolittle*) 93  
dumbliai 65, 70, 72, 78, 83, 94, 97,  
102, 105, 142, 165, 175, 206, 207, 265,  
268, 270, 299  
dviguba spiralė 8, 39–41, 44, 45, 54, 62,  
294, 303  
„Dviguba spiralė“ (*The Double Helix*) 45  
dvipusė simetrija 201, 202, 206  
Džeimsas, Viljamas (*William James*) 253,  
255  
Džeinsas, Džulianas (*Julian Jaynes*) 239  
Džilbert, Melodi (*Melody Gilbert*) 252  
Džonsas, Stivas (*Steve Jones*) 195  
Džonsonas, Tomas (*Tom Johnson*) 272
- E**  
Edelmanas, Džeraldas (*Gerald Edelman*)  
248–250, 257, 306, 312  
Edipas 260  
EEG (elektroencefalograma) 247  
egiptiečiai, senovės 257  
Einšteinas, Albertas (*Albert Einstein*) 209  
ekologija 27, 137, 211, 232, 291

## RODYKLĖ

ekosistema 148–150, 174  
 elektra 16, 18, 31, 84, 85, 152–155, 161  
 elektronas 75, 76, 84, 293  
 elektroninė mikroskopija 157–159  
 elektronų perdavimo grandinė 84, 85, 88  
 Eliotas, T. S. (*T. S. Eliot*) 247  
 Elsas, Polas (*Paul Else*) 300  
 embrioninis vystymasis 221  
 emocija 124, 206, 239, 240, 242, 247,  
 251–253, 257, 258, 260, 301  
 endoplazminis tinklas 96, 116  
*Entobdella soleae* mitochondrijų lęšiukas  
 299  
 epilepsija 238, 243  
 erozija 69, 70, 229  
 eubakterijos 59  
 eukariotas 95–99, 103–109, 111, 112,  
 117, 118–120, 143, 145, 269, 297, 302  
 Everėjus, Osvaldas (*Oswald Avery*) 46  
 evoliucija 6, 8, 57, 59, 73, 108, 110, 127,  
 145, 150, 162, 177, 193, 238, 255,  
 264, 289, 293

### F

fagocitozė 97, 109–111, 114, 115, 296  
*Falcaurus utahensis* 234  
 Falkovskis, Polas (*Paul Falkowski*) 266, 291  
 Fedučija, Alenas (*Alan Fedducia*) 221, 222  
 Felzenšteinas, Džo (*Joe Felsenstein*) 140  
 fermentacija 66, 109, 296  
 fermentas 9, 10, 62, 63, 267, 294, 301  
 Fišeris, Ronaldas (*Ronald Fisher*) 130, 131,  
 134, 140  
 fizika 157  
 fosfatas 33, 40, 70, 295  
 fosilija 9, 28, 79, 81, 100, 228, 202, 206  
 fosilizacija 100  
 fotosintetinis vienetas 295  
 fotosintezė 65, 66, 68, 70–75, 77–85, 87,  
 89, 91, 98, 206, 257, 299  
 fotosistema 74, 75, 77, 82–84, 86–91, 295  
 „Frankenšteinas“ 152  
 Frilendas, Stivenas (*Stephen Freeland*) 53

Froidas, Klementas (*Clement Freud*) 209,  
 214, 299  
 Froidas, Zigmundas (*Sigmund Freud*) 299  
 Frydmanas, Deividas (*David Friedman*)  
 274

### G

Gaja 66  
 Galapagų riftas 19, 20  
 „Galia, seksas, savižudybė: mitochondrija  
 ir gyvenimo prasmė“ (*Power, Sex, Sui-  
 cide: Mitochondria and the Meaning of  
 Life*) 293  
 Galilėjus, Galileo (*Galileo Galilei*) 237  
 Galvanis, Luidžis (*Luigi Galvani*) 152,  
 153, 157, 162  
 galvos smegenų žievė 246, 249, 260  
 Gamovas, Džordžas (*George Gamow*) 47,  
 48  
 Gazaniga, Maiklas (*Michael Gazzaniga*)  
 300  
 geismas 18, 151, 252, 253, 260  
 gėlė 5, 125, 127, 150, 176, 299  
 geležies ir sieros mineralas 22, 25, 27, 28  
 geležies piritas 21–23  
 geležis 27, 66, 70  
 genas 83, 89, 106, 117, 119, 129, 133,  
 138, 141, 142, 198–200  
 genetika 8, 9, 11, 17, 60, 111, 128, 140,  
 162, 178, 287  
 genomas 41–43, 101, 107, 112, 126  
 genomika 10, 101  
 genomo sekos 46, 117  
 genomo susilieėjimas 107  
 Gėringas, Valteris (*Walter Gehring*) 198,  
 200, 208, 304  
 germicidinės ląstelės 302  
*Giardia* 102, 136  
 Gilbertas, Valteris (*Walter Gilbert*) 55  
 Gilgamešas 264  
 „Gili mintis“ (*Deep Thought*) 239  
 „Gilioji žydrynė“ (*Deep Blue*) 239, 301  
 giminių atranka 137

## GYVYBĖS TRIUMFAS

Gingras, Gabi (*Gabby Gingras*) 252  
gleivūnas 144, 145  
glikolitinis persijungimas 283, 302  
globalinis atšilimas 72, 91  
gomurys (kaulinis) 220, 230  
Gouldas, Stivenas Džėjus (*Steven Jay Gould*) 236, 306  
grybai 40, 66, 70, 94, 102, 118, 142, 147, 148, 164, 167, 175, 245, 272, 282, 305  
guaninas 41, 193  
Guarentė, Leonardas (*Leonard Guarente*) 278, 279  
Gudselas, Deividas (*David Goodsell*) 160, 303  
gyvatė 24, 100  
gyvenimo trukmė 8, 123, 214, 265, 266, 273, 276, 277, 279, 280, 282, 284, 288, 302, 304  
gyvūnas 189, 195, 201, 210–212, 215, 216, 238  
gyvybės dvasia 151  
gyvybės kilmė 13, 15  
gyvybės medis 93, 94, 102, 105, 305  
gyvybės žiedas 108, 303

## H

Habelis, Deividas (*David Hubel*) 245  
Habsburgas 128  
Hakslis, Endriu (*Andrew Huxley*) 157  
Hakslis, Hjugas (*Hugh Huxley*) 157–169, 163, 165, 293, 305  
Hakslis, T. H. (*T. H. Huxley*) 295  
Halamas, Arturas (*Arthur Hallam*) 147  
haliucinogenas 244  
Hamelino baseinas 80, 303  
Hamerovas, Stiuartas (*Stuart Hameroff*) 255, 256  
Hamiltonas, Bilas (*Bill Hamilton*) 134, 135, 137–139  
Huntingtono chorėja 272, 273  
Harmanas, Denhemas (*Denham Harman*) 280, 281  
Hegemanas, Piteris (*Peter Hegemann*) 206

Helmholcas, Hermanas fon (*Hermann von Helmholtz*) 153  
hemoglobinas 156, 159, 172, 173, 195, 216, 274  
hercas (Hz) 246, 251, 252, 301  
40 Hz svyravimai 246, 252  
Herstas, Lorensas (*Lawrence Hurst*) 53  
hibrido stiprumas 127–128  
hidroanencefalija 261, 304  
hidroksidinis mineralas 24  
hidroterminė versmė 9, 19, 23, 24, 26, 28, 30, 52, 56, 57, 61, 84, 86, 87, 89, 90  
Hilas, Robinas (*Robin Hill*) 75  
Hilas, Viljamas (*William Hill*) 140  
Hodžkin, Dorotė (*Dorothy Hodgkin*) 157  
Hoilis, Fredas (*Fred Hoyle*) 14, 17  
holanditas 89  
homeotermija 210  
Homeras 238, 263  
hominidas 100, 236  
horizontalus genų perdavimas 107, 111  
Howlin' Wolf 299  
Hulbertas, Tonis (*Tony Hulbert*) 300

## I

iguana 232  
„Iliada“ 238  
imprintingas 135  
imuninė sistema 150, 172, 280, 297, 304  
imuninės ląstelės 97, 248  
In Memoriam 147  
įvaista 124, 128  
infekcija 50, 138, 139, 172, 197, 268  
informaciniai procesai 104, 106  
informavimas 397  
infraraudonieji spinduliai 181  
insulinas 48, 276, 277, 282  
intronas 117–119  
„Iš oro“ (*Out of Thin Air*) 230  
įsiurbiamasis siurblys 226, 227  
iškastinis kuras 69, 73, 91  
išmanus projektas 6, 298  
išnykimas 199, 127, 142, 148–150, 219,

## RODYKLĖ

229, 234, 235, 295, 328  
išradimas 6–8, 148, 150, 151, 208, 267  
išsėtinė sklerozė 256, 302  
ištermė 210, 214–216, 218, 220, 227,  
231, 255  
izoliacija 212, 217, 218, 223, 227  
izotopų analizė 11  
izotopų parašas 300

### J

Jačandra, Vitalis (*Vittal Yachandra*) 90  
Jarus, Maiklas (*Michael Yarus*) 294  
jaunystės piliulė 8, 285, 286  
jausmas 8, 231, 239, 240, 243, 248, 251,  
253, 257–259  
Jokojama, Šozo (*Shozo Yokoyama*) 206  
judėjimas 7–9, 35, 148, 149, 167, 226,  
306  
judrumas 148–150, 170, 173, 174, 182  
juodasis rūkalius 20, 21, 27, 28, 179, 181,  
186  
Juodoji jūra 66  
Jupiteris 16  
juros periodas 126, 302  
„Juros periodo parkas“ (*Jurassic Park*) 222,  
225

### K

Keberlainas, Metas (*Matt Kaeberlein*) 279  
Kalahario mangano laukas 87  
kalba 13, 95, 101, 129, 179, 184, 195,  
203, 219, 231, 237–239  
kalcis 36, 89, 90, 154, 155, 161, 162, 189,  
190, 192, 241, 297, 303, 305  
kalcitas 189, 190, 192, 193, 306  
kalorijų ribojimas 277, 278, 286  
kambro periodas 67, 187, 188, 201  
kamieninė ląstelė 287, 302  
Kapgraso sindromas 242  
karbono periodas 69  
Karelis, Aleksis (*Alexis Carrel*) 268  
Kasparovas, Garis (*Gary Kasparov*) 239,  
301

kaspazė (fermentas) 267, 269, 270, 301  
Kavaljė-Smitas, Tomas (*Tom Cavalier-Smith*) 108, 109, 144, 298  
Kavendišo laboratorija 156  
„Kelautojo kosmostopu vadovas po galaktiką“ (*Hitchhiker's Guide to the Galaxy*) 34, 239  
Kempbel, Patrik (*Patrick Campbell*) 296  
Kendriu, Džonas (*John Kendrew*) 46, 156,  
299  
Kenedis, Brajanas (*Brian Kennedy*) 279  
kepenys 96, 194, 217–219, 225  
keratinas 222, 223  
Kernsas-Smitas, Greimas (*Graham Cairns-Smith*) 255, 257  
Kerolis, Luisas (*Lewis Carroll*) 137  
kiaulpienė 124, 127  
kiaušialastė 83, 97, 125, 128  
kiautas 67  
kilmė 15, 19, 28, 79, 81, 90, 100, 108,  
109, 147, 220, 222, 238, 258, 301,  
305, 307  
kinezinas 169, 170  
Kirkvudas, Tomas (*Tom Kirkwood*) 276,  
302  
Klasenas, Marselis (*Marcel Klaassen*) 231–233,  
291  
Klesensas, Leonas (*Leon Claessens*) 225,  
227  
klonas 50, 51, 125–127, 129–133, 135,  
139, 144, 297  
klonavimas 122, 133, 136  
klonų populiacija 132, 133  
klonų rūšys 135  
Kochas, Kristofas (*Christof Koch*) 244, 246,  
250, 291, 306  
kodonas 47–56, 294  
kohezinis (baltymas) 145  
Kokinosas, Kristoferis (*Christopher Cokin-  
nos*) 220  
kolagenas 67, 221, 222  
kolbelė (akies) 205  
kolbelės opsinas 205

## GYVYBĖS TRIUMFAS

- Kolbertas, Edvinas (*Edwin Colbert*) 300  
kolibris 99, 124, 125, 210  
kolonija 80, 98, 105, 266–269, 301  
koncentracijos problema 23  
Kondrašovas, Aleksejus (*Alexey Kondrashov*) 133, 134  
Kopli, Šelė (*Shelley Copley*) 55, 290  
Kotaro sindromas 242  
Kotėja, Pavelas (*Pavel Koteja*) 215, 291  
kraujas 9, 196, 210, 211, 213, 214, 218, 219, 223–226, 234  
kraujotakos sistema 223  
kremzlė 67, 227  
krevetė 21, 179–184, 193, 197–198, 200, 203, 304  
Krezas 262  
Kričtonas, Maiklas (*Michael Crichton*) 225  
Krik, Odilė (*Odile Crick*) 45  
Krikas, Frensis (*Francis Crick*) 14, 39, 40, 44–51, 54–56, 62, 156, 157, 237, 246, 250, 294, 307  
kristalinas 194, 196  
krokodilas 212, 219, 220, 222–225, 227  
Krou, Džeimsas (*James Crow*) 42  
Krūnas, Viljamas (*William Croone*) 151, 297  
kultūrinė evoliucija 8  
kūnas 133, 233, 247, 302  
Kuninas, Judžinas (*Eugene Koonin*) 60–62, 116, 117, 119, 291  
kvailių auksas 21, 22, 57  
kvantinė mechanika 236, 255  
kvantinis gravitonas 254  
kvėpavimas 22, 68, 69, 113, 125  
kvėpavimo sistema 224, 227  
kviečių genomai 126  
Kyras 262
- L**  
laikas 14, 32, 43, 59, 123, 131, 188, 209, 210, 245, 269, 301  
laisvieji radikalai 32, 280–284  
Laivlis, Kurtas (*Curtis Lively*) 139, 140  
Lankesteris, Rėjus (*Ray Lankester*) 138  
lašiša, Ramiojo vandenyno 263, 302  
laumžirgis (milžiniškas) 69, 148  
lava 229  
lazdelė (akies) 95, 183, 205  
Lendas, Maiklas (*Michael Land*) 187  
lervos 182, 183, 195, 204, 263  
lėšis 151, 177–180  
Levenhukas, Antonis van (*Antony van Leeuwenhoek*) 151, 152, 154, 207  
Levis, Primas (*Primo Levi*) 71, 77  
ligninas 60, 68, 70  
Linėjus, Karlas (*Carolus Linnaeus*) 93, 94, 195  
lipidai 19, 29, 104, 105, 143  
Listeria 172  
LUCA 29, 35, 322  
lyginamoji genomika 10
- M**  
magma 13, 21, 23, 24  
Mairas, Ernstas (*Ernst Mayr*) 105  
maitinimasis maita 232  
Majovas, Džonas (*John Mayow*) 151  
*Majungatholus atopus* 227, 228  
makinavitas 25  
maliarija 122, 138, 178  
maliarinis parazitas 102  
manganas 87–91  
maniraptorius 234  
mantija 23, 24, 28  
Margulis, Lina (*Lynn Margulis*) 105, 110, 173  
Marsas 13, 65, 68, 69, 71, 265  
Martinas, Bilas (*Bill Martin*) 31, 32, 34–37, 60–62  
masinis išnykimas 99  
materija 69, 74, 236, 237, 254, 255  
„Matrica“ (*The Matrix*) 241  
Medavaras, Piteris (*Peter Medawar*) 234, 271–275, 282  
medūza 100, 163, 200  
medžiagų apykaitos sparta 209, 210, 214,



## RODYKLĖ

- 216–219, 231, 282  
 Meinardas-Smitas, Džonas (*John Maynard Smith*) 132  
 mejozė 129, 136, 144, 145  
 melsvabakterės 72, 78–81, 86, 90, 97, 105, 108, 207, 265–267, 269  
 membrana 35, 61, 96, 114–116, 119, 122, 144, 154, 198, 205, 207, 208, 217, 240, 280, 284  
 Mendelio dėsniai 128  
 Mendelis, Gregoras (*Gregor Mendel*) 128  
 mėšėdis 220, 231–233  
 metabolizmas 59, 104, 105, 124  
 metanas 16, 24, 57, 62, 66, 98, 180, 229  
 Mičelas, Piteris (*Peter Mitchell*) 35  
 mielės 112, 165, 274, 278, 279  
 mielino apvalkalai 256  
 mikroorganizmas 94, 207  
 mikroskopija 129, 151, 154, 157–159  
 mikrovamzdelis 97, 169, 174, 256, 257  
 Milerio–Urėjaus eksperimentas 15  
 Mileris, Stenlis (*Stanley Miller*) 15, 16, 24  
 mineralinė ląstelė 25, 33, 37, 60–63  
 miofibrilė 152  
 mioglobinas 156, 297  
 miozinas 155, 159, 160–170  
 Mičisonas, Timas (*Tim Mitchison*) 172  
 mitochondrijos 54, 96, 97, 109, 111–115, 118, 135, 143–145, 166, 167, 214, 216–218, 269, 270, 280–286  
 mitozė 144, 145  
 mitybos grandinė 66, 67  
 Miulerio reketas 132, 133, 140  
 Miuleris, Hermanas (*Hermann Müller*) 132  
 Miuleris, Miklosas (*Miklós Müller*) 306  
 Mocartas, Volfgangas Amadėjus (*Wolfgang Amadeus Mozart*) 122, 166  
 molekulinis laikrodis 103  
 moliuskai (*mollusca*) 21, 80, 136, 149, 175, 179, 180, 187, 189, 192, 193  
 Monkada, Salvadoras (*Salvador Moncada*) 283, 291  
 Morovitzas, Haroldas (*Harold Morowitz*) 30, 55  
 Mortonas, Oliveris (*Oliver Morton*) 295  
 motoriniai baltymai 174  
 Musakčijus, Chosė (*José Musacchio*) 258  
 mutacija 42, 43, 48–50, 53, 73, 88, 89, 101–103, 131–134, 139–145, 171, 200, 223, 274, 275, 277, 278, 282, 284  
 mutacinė katastrofa 294
- ## N
- NADPH (nikotinamidadenindinukleotido) 76, 77, 84  
 nafta 69  
 Napoleonas 153  
 nariuotakojai 175  
 natris 36, 154, 301  
 natūralioji atranka 6, 8, 17, 31, 37, 42–44, 53, 54, 63, 83, 85, 99, 101, 104, 112–114, 122, 128, 130, 131, 141, , 157, 166, 169, 173, 175–177, 184, 185, 189, 194, 211, 214, 215, 239, 250, 254, 255, 257, 269, 280, 296  
 nautilai 187, 189  
*Neisseria gonorrhoea* 296  
 nektaras 124, 125, 260  
 nelytinės rūšys 66, 274  
 nematodas 66, 274, 276  
 nemirtingumas 9, 262, 263, 287  
 nereidė 201, 206  
 nervas 8, 151, 153, 154, 177, 198, 240, 241, 242, 247, 259, 254  
 nervų sistema 36, 94, 187, 195, 260  
 neurodegeneracinė liga 256  
 neuronas 11, 170, 177, 237, 240, 241, 244–252, 254, 255–260, 269, 283, 284, 387, 301  
 neuronų ryšio patvirtinimas 251  
 neuronešiklis 249, 257  
 nevaisingumas 126, 277, 280  
 nikelis 32, 37  
 Nilsonas, Denas Erikas (*Nilsson, Dan-Eric*) 185, 186, 188, 189, 304

- nitratui 70  
 „Nobelio spermos bankas“ 121  
 Noletas, Bartas (*Bart Nolet*) 231–233  
 Norvičas, Džonas Džulijus (*John Julius Norwich*) 26  
 nosies anga 220, 227  
 notochorda 195  
 nukleotidai 30, 43, 57–59, 62, 63  
 Nyčė, Frydrichas (*Friedrich Nietzsche*) 123, 200
- O**  
 O’Konoras, Patrikas (*Patrick O’Connor*) 225, 227  
 „Odiseja“ 238  
 ofiūra 191–193, 304  
 oksidacijos-redukcijos reakcija 293, 302  
 oksidantas 76  
 onkocerkozė 138  
*Ophiocoma wendtii* 190, 191  
 opsinas, baltymas 205–207  
 organelė 96, 97  
 oro maišelių sistema 225, 228, 304  
 osteoporozė 279, 302  
 Ota, Satoši (*Satoshi Oota*) 162  
 Oto, Sara (*Sarah Otto*) 140  
 ozonas 65, 66, 87, 229
- P**  
 „Paaiškinta sąmonė“ (*Consciousness Explained*) 239  
 paleontologija 11, 81  
 Panda, Sačinas (*Satchin Panda*) 202  
 Pangėja 229  
 panpsichizmas 254, 255  
 panspermija 50  
 parazitai 122, 126, 137–139, 141, 144, 150, 173, 293, 296, 297, 307  
 Parkeris, Endrius (*Andrew Parker*) 176, 187  
 paskutinis universalus bendrasis protėvis (žr. LUCA) 29, 35–37, 43, 50, 101, 102, 111, 117, 163  
 „Pati gyvybė“ (*Life Itself*) 50  
 paukštis 9, 100, 124, 127, 154, 169, 170, 193, 205, 206, 210, 212–228, 230, 234, 240, 282, 284, 300  
 paveldėjimas (vertikalusis) 46, 60, 103, 109  
 paviršiaus ploto ir tūrio santykis 296  
 pelė 198–200, 274, 279, 302  
 Penrouzas, Rodžeris (*Roger Penrose*) 255, 256  
 „Periodinė elementų lentelė“ (*The Periodic Table*) 71  
 Pelger, Suzana (*Suzanne Pelger*) 185, 186, 188, 189, 304  
 permo išnykimas 148, 150, 219, 228, 229, 233, 234  
 permo periodas 148, 229  
 Persindžeris, Maiklas (*Michael Persinger*) 243, 244  
 Perucas, Maksas (*Max Perutz*) 46, 156, 157  
 PGR (polimerazinė grandininė reakcija) 58  
*Physarum polycephalum* 164, 303  
 pigmentas 65, 74, 84, 85, 178, 180, 181, 195, 196, 202–207, 216, 272  
 Pinkeris, Stivenas (*Steven Pinker*) 240  
 pirmapradsės emocijos 238, 258, 259, 260  
 „Pirmapradsės emocijos“ (*The Primordial Emotions*) 238  
 pirmuonis 43, 94, 95, 105, 136, 142, 165, 167, 207, 208  
 pirmyktė sriuba 16, 17, 19, 22, 23, 51, 56  
 piruvatas 32, 52, 55, 294  
 pjautuvinė mažakraujystė 122, 173, *Platynereis* 201, 206  
 plautis 13, 69, 133, 194, 216, 223–228, 230, 233, 234, 302, 304  
 plėšrumas 67  
 plėšrūnas 66–68, 138, 147, 176, 188, 190, 210, 211, 214, 220, 222, 232, 234, 264, 268, 272  
 plonoji gija 160  
 plunksnos 124, 212, 218, 221–223, 227, 300

## RODYKLĖ

- poikilothermija 210  
 polimerazės grandininė reakcija (žr. PGR)  
 polimerizacija 164, 171  
 popiežius Jonas Paulius II 235  
 poravimasis 253, 263  
 porfirija 84, 295  
 porfirinas 84, 85, 295  
 potvyniai 13, 86, 91, 270,  
 Prarastasis Miestas 20, 26–28, 32, 293  
 prionas 298  
 prisitaikymas (genetinis) 132  
 projektas 6, 11, 298  
 prokariotas 95, 96, 107, 110, 111, 114,  
 118, 120, 296  
 proteomika 10  
 proto dulkės 254, 301  
 protonai 35–37, 72, 158, 217,  
 Prumas, Ričardas (*Richard Prum*) 300  
 pseudopodijos 166, 171, 172  
 pterozauras 219, 223  
 Pulmanas, Filipas (*Philip Pullman*) 301  
 pusiausvyros nebuvimas 27
- R**  
 radiacija 99  
 ragena 179, 183, 208  
 rainelė 180, 185, 200  
 Raitas, Alanas (*Alan Wright*) 282  
 Ramachandranas, V. S. (*V. S. Ramachandran*) 242, 301  
 rapamicinas 2879  
 Raselas, Maikas (*Mike Russell*) 19, 23, 25,  
 27, 31, 32, 34–37, 57, 60, 89, 90, 290  
 raumuo 8, 67, 148, 150–165, 168, 173,  
 185, 214–217, 223, 224, 231, 248,  
 297, 298  
 rausimas 149  
 reduktorius 76, 295  
 rega 7, 9, 175–179, 183, 185, 187, 201,  
 202, 205, 206, 241, 245, 247, 253,  
 257, 259, 299  
 rekombinacija 129, 134, 137, 140, 144–146,  
 297  
 rentgeno kristalografija 82, 90, 156–158,  
 169, 303  
 rentgeno spinduliai 10, 39, 132, 156, 158  
 replikacija 17, 58–60, 95, 106, 125, 145,  
 218, 294  
 replikatorius 17–19, 60  
 resveratrolis 279  
 retinolis (vitaminas A) 205, 207  
 retrovirusas 61–63  
 ribosoma 48, 96, 104, 105, 107, 111, 116,  
 118, 119, 294, 296  
 ribozė 294  
 ribozimas 54  
 Ridlis, Markas (*Mark Ridley*) 133  
 Ridlis, Matas (*Matt Ridley*) 50  
*rigor mortis* (žr. raumuo) 160  
*Rimicaris exoculata* 179, 181, 182, 196  
 RNR (ribonukleorūgštis) 17, 19, 23, 28, 31,  
 48, 49, 54–63, 104–107, 111, 117–119,  
 294, 296  
 Robertsonas, Alanas (*Alan Robertson*) 140  
 rodopsinas 180, 181, 196, 197, 198, 201–208,  
 299  
 rombas 47, 189, 192  
 roplys 43, 148, 154, 170, 210, 212, 213,  
 214, 216, 217, 219, 220, 222, 223,  
 224, 234, 300  
 Rouzas, Stivenas (*Steven Rose*) 247  
 Rubenas, Džonas (*John Ruben*) 215, 216,  
 217, 220, 225, 227  
 rūgštis 23, 36, 47, 43, 192, 193, 214  
 rūkymas 300, 302  
 „Rūšių kilmė“ (*The Origin of Species*) 19,  
 100, 147, 295, 305  
 Ryklių įlanka 80, 303
- S**  
 Saitou, Naruja (*Naruya Saitou*) 162, 310  
 Saksas, Oliveris (*Oliver Sacks*) 241  
 sąmonė 4, 7–9, 99, 120, 125, 135, 236–254,  
 301, 305, 307, 312  
 Sangeris, Fredas (*Fred Sanger*) 47  
 sarkomeras 152, 154, 155, 161, 164

## GYVYBĖS TRIUMFAS

- saulės šviesa 21, 68, 71, 72, 87, 89, 94, 97,  
 185, 266, 295  
 savanaudiškas genas (žr. genai)  
 „Savanaudiškas genas“ (*Selfish Gene, The*)  
 (žr. genai) 297  
 Sent-Diordi, Albertas (*Albert Szent-Györ-  
 gy*) 293  
 serotoninas 244  
 serpentinai (mineralas) 20, 24, 25, 307  
 serpentinizacija (procesas) 25  
 Sibiro „spąstai“ 230  
 siera 21, 22, 25, 27, 28, 32, 37, 66, 73,  
 133, 179, 196, 293  
 sifilis 123  
 simbiozė 147, 173, 208  
 sinapsė 249, 250, 256, 257, 298, 301  
 sinchrotronas 158  
 sincitija 144  
 Sinkleiras, Deividas (*David Sinclair*) 278,  
 279  
 SIRT-1 278–280, 302  
 skaičiuojamoji (kompiuterinė) biologija 11  
 skalė 44, 52, 68, 97, 244  
 skausmas 41, 238, 239, 241, 243, 252,  
 253, 257–260, 264, 295  
 „Skausmo dovana“ (*Gift of Pain*) 253  
 skeletas 96–98, 109, 111, 143, 144, 154,  
 155, 165, 170, 171, 173, 191  
 skilimas (žr. RNR)  
 skrydis 8, 154, 161, 163, 222  
 slankių gijų teorija (žr. raumenys)  
 smegenys 8, 11, 94, 100, 151, 177, 178,  
 187, 190, 194–196, 198, 200, 201,  
 205, 213, 216, 223, 224, 237–252,  
 255–261, 283, 287, 296, 299–302, 306  
 Smitas, Erikas (*Eric Smith*) 55  
 „sniego gniūžtės“ Žemė 70, 98, 188  
 „Socialinės smegenys“ (*The Social Brain*)  
 300  
 Solonas 262  
 sparnas 100, 124, 169, 170, 198, 222, 271  
 Speris, Rodžeris (*Roger Sperry*) 245, 300  
 sperma 42, 50, 57, 121, 125, 126, 128,  
 159, 207, 263  
 spygliuotis 135, 150, 190  
 sraigė 209  
 stegozauras 176, 212  
 sterblinis gyvūnas 43  
 storoji gija (žr. raumuo)  
 stromatolitas 79–81, 86, 87, 265, 266, 303  
 stygų teorija 255  
 Šubertas, Francas (*Franz Schubert*) 123  
 sudedamoji akis (žr. akis)  
 sudedamosios ląstelės (žr. eukariotinės ląs-  
 telės)  
 šukutės akis 193  
 sulfatas 24, 66  
 Šumanas, Robertas (*Robert Schumann*) 123  
 „Suvalgyti saulę“ (*Eating the Sun*) 295  
 Svamerdamas, Janas (*Jan Swammerdam*)  
 151
- Š**  
 šarmai 23, 36  
 šarvadumblis 208  
 Šeli, Merė (*Mary Shelley*) 152  
 Ši, Jongšengas (*Yongsheng Shi*) 206  
 šiltas kraujas 209, 211, 213, 215, 217, 219,  
 221, 223, 225, 227, 229, 231, 233, 234  
 Šimeldas, Sebastianas (*Sebastian Shimeld*) 196  
 šimpanzė 43, 101, 137  
 širdis 125, 209, 216, 223, 224, 227, 247,  
 258, 272, 273, 274, 275, 282, 286, 288  
 „Širdžių Karalienė“ (*Red Queen, The*) 297  
 šizofrenija 237  
 Šo, Džordžas Bernardas (*George Bernard  
 Shaw*) 121–123  
 Šokas, Everetas (*Everett Shock*) 27  
 šokinėjantysis genas (žr. genai)  
 Šopfas, Bilas (*Bill Schopf*) 79–81  
 Špygelmanas, Solis (*Sol Spiegelman*) 58  
 šviesai jautri ląstelė 177, 178, 180, 183,  
 190, 198, 201, 202, 203
- T**  
 tamsioji materija 254

## RODYKLĖ

- Tanaka, Masašis (*Masashi Tanaka*) 284  
 Tėjo-Sakso liga 128  
 tektoninė plokštė 20, 21, 23  
 telomeras 302  
 Tenisonas, Alfredas (*Alfred Tennyson*) 147, 263  
 termodinamika 7, 18, 22, 23, 30, 74  
 teropodas 221–228, 230, 231, 233, 300  
 timinas 41, 62, 294  
 tinginys 161  
 tinklainė 177–185, 187, 188, 190, 193, 194, 196, 202–205, 208, 241, 302  
 Titonas 263–265, 272, 274  
 Tiuringo testas 239  
 TOR 278–281, 284  
 transplantacija 279  
 triaso periodas 219, 220, 230, 231, 232  
*Trichodesmium* 266  
 trilobitas 148, 187, 189–193, 197, 298  
 Triversas, Robertas (*Robert Trivers*) 135, 137  
 troškulys 253, 258–260  
 tubulinas 169–171, 173, 174  
*Tyrannosaurus rex* 221, 311
- U**  
 ugnikalnis 57, 68, 229  
 ultravioletinė spinduliuotė 65, 66, 72, 87–91, 205, 206, 267  
 uolienos 11, 14, 16, 20, 23, 24, 25, 32, 37, 60, 61, 63, 65, 66, 69, 70, 73, 79, 229, 293  
 upokšnių šalvis 264  
 uracilas 62, 294  
 Urėjus, Haroldas (*Harold Urey*) 15  
 uždegimas 279, 283, 284, 302
- V**  
 Vagneris, Piteris (*Peter Wagner*) 149  
 Vagneris, Ričardas (*Richard Wagner*) 169  
 Vaineris, Stivenas (*Stephen Weiner*) 192  
 vaisinė muselė (*Drosophila*) 132, 161, 194, 198, 274  
 Valdas, Džordžas (*George Wald*) 121  
 Valkeris, Ričardas (*Richard Walker*) 75  
 vampyras 295  
 vamzdelinė kirmėlė 19, 21, 22, 179, 180, 182  
 Van Dover, Sindė (*Cindy Van Dover*) 179, 180, 203–205  
 vandenilio hipotezė 296  
 vandenilio sulfidas 21, 22, 24, 27, 72, 73, 83–87, 89, 229  
 Varburgas, Otas (*Otto Warburg*) 302  
 Vardas, Piteris (*Peter Ward*) 230, 231, 291  
 Vatsonas, Džeimsas (*James Watson*) 39, 40, 44–46, 48, 55, 62, 156, 294  
 Vėchtershoizeris, Giunteris (*Günter Wächtershäuser*) 22, 23, 25  
 Vedžvud, Ema (*Emma Wedgwood*) 128  
 Vaismanas, Augustas (*August Weismann*) 130, 268, 271, 275, 302  
 Velajus, Tiboras (*Tibor Vellai*) 145  
 Venera 65, 123  
 venerinė liga 123, 126  
 Vernas, Žiulis (*Jules Verne*) 180  
 vėžlys 161, 214  
 vėžys 30, 42, 269–271, 273–275, 279, 283–286, 295, 302  
 vidaus organai 217–219, 300  
 vienkartinės somos teorija 302  
 vieno nukleotido polimorfizmas 43  
 Viljamsas, Džordžas K. (*George C. Williams*) 134, 136, 140, 272, 283  
 vilkas 188  
 vilkolakis 295  
 virusas 39, 40, 42, 58, 61, 137, 267, 295  
 VNP 43  
 Volta, Aleksandras (*Alessandro Volta*) 152, 153  
*Volvox* 206, 269  
 Vudhausas, P. G. (*P. G. Wodehouse*) 185  
 vulkanizmas 24, 28, 70, 293  
 Vuzas, Karlas (*Carl Woese*) 104, 105, 296  
 vyzdys 183, 185, 247  
 Vyzelis, Torstenas (*Torsten Wiesel*) 245

## GYVYBĖS TRIUMFAS

### **X**

X chromosoma 141

### **Y**

Y chromosoma 127, 141, 297

### **Z**

Z schema 74–76, 78, 80, 83, 85, 86, 88, 89, 303

Zanas, Lindsėjus (*Lindsay Zanno*) 234

Zingeris, Volfas (*Wolf Singer*) 246, 250, 251

zombis 237, 238

Zybacheris, Frankas (*Frank Seebacher*) 218, 291

### **Ž**

žaibas 16, 18, 57, 112, 113, 130–132

Žemės paviršius 27, 148

žinduolis 67, 99, 135, 154, 161, 162, 205, 210–224, 227, 264, 274, 278, 279, 289, 297, 298

žiuželis 96, 105, 127, 136, 166, 175, 206, 268, 298

ŽIV 61, 62, 123, 296

„Žmogaus genomo projektas“ 11, 117

„Žmogaus iškilimas“ (*The Ascent of Man*) 288

žmogbeždžionė 34, 100

žolėdis 147, 212, 219, 220, 231–234



**Lane, Nick**

La245 Gyvybės triumfas : dešimt didžiųjų evoliucijos išradimų / Nick Lane;  
iš anglų kalbos vertė Kristina Petrutytė. – Vilnius : Eugrimas, 2013. –  
328 p. : iliustr. – R-klė: p. 314-326

ISBN 978-609-437-176-9

Biochemikas Nikas Leinas knygoje „Gyvybės triumfas“ išskiria dešimt didžiųjų evoliucijos išradimų, iš esmės pakeitusių gyvąjį pasaulį ir vis dar tebedarančių reikšmingą įtaką kiekvienam Žemės organizmui. Atskirai tirdamas kiekvieno iš šių išradimų kilmę, funkciją ir reikšmę, knygos autorius siekia juos sujungti į aiškią ir informatyvią visumą. Tam jis pasitelkia pažangiausias analizes ir eksperimentus, atliktus naudojantis šiuolaikinėmis technologijomis ir turimais resursais, taip pateikdamas detalesnę ir tikslesnę gyvybės istorijos vaizdą.

UDK 575+577.2

Nick Lane

## **GYVYBĖS TRIUMFAS**

DEŠIMT DIDŽIŲ EVOLIUCIJOS IŠRADIMŲ

Projekto vadovė *Vaiva Švagždienė*

Redaktorė *Ona Balkevičienė*

Mokslinė redaktorė *Danutė Rimšienė*

Maketuotojos *Jurgita Petruelytė* ir *Dovilė Kuliešienė*

Viršelio dailininkai *Jurgita Petruelytė* ir *Artūras Babušis*

Išleido

Leidykla „Eugrimas“, Kalvarijų g. 98-42, LT-08211 Vilnius  
Tel./faks. (8 5) 273 39 55, el. p. [info@eugrimas.lt](mailto:info@eugrimas.lt), [www.eugrimas.lt](http://www.eugrimas.lt)

Spausdino

UAB „BALTO print“, Utenos g. 41a, LT-08217 Vilnius