

ZRKADLIACE NEURÓNY A IMITAČNÉ UČENIE AKO HNACIA SILA „VEĽKÉHO SKOKU VPRED“ V EVOLÚCII ČLOVEKA

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN

www.edge.org

Objav zrkadliacich neurónov v čelových lalokoch opíc a rola, ktorú potenciálne zohrali v evolúcii ľudského mozgu – a nad ktorou sa zamýšľam v tejto eseji – sú tou najvýznamnejšou „nezverejnenou“ (či pri najmenšom nespropagovanou) udalosťou desaťročia. Domnievam sa, že zrkadliace neuróny urobila pre biológov – poskytnú jej jednotiaci rámec a pomôžu vysvetliť podstatu mnohých mentálnych schopností, ktoré boli až doteraz tajomstvom nedostupným experimentálnemu skúmaniu.

V oblasti evolúcie ľudskej mysle a mozgu je veľa hádaniek:

1) Mozog hominidov dosiahol veľkosť takmer totožnú s veľkosťou našich mozgov – a vari aj súčasnú intelektuálnu kapacitu – asi pred dvestopäťdesiatimi rokmi. Mnohé z atribútov, ktoré považujeme za čisto ľudské, sa však objavili omnoho neskôr. Prečo? Čo sa dialo v mozgu počas tejto dlhej „inkubačnej doby“? Prečo mal tento latentný potenciál pre používanie nástrojov, robenie ohňa, umenie, hudbu a možno dokonca aj pre jazyk – teda schopnosti, ktoré sa rozvinuli až podstatne neskôr? Ako sa tieto „spiacie“ vlastnosti objavili, ak môže prírodný výber selektovať len manifesto- vané schopnosti, a nie tie latentné? Túto otázku pomenujem „Wallaceho problémom“ podľa viktoriánskeho naturalistu Alfreda Russella Wallaceho, ktorý s ňou prišiel ako prvý.

2) Primitívne nástroje „olduvajskej kultúry“ – vyrobené len niekoľkými údermi kameňom do okružliaka, aby vzniklo ostrie – sa objavili pred 2.4 miliónmi rokov a ich pravdepodobným autorom bol Homo habilis, ktorého mozog bol svojou veľkosťou

(700 kubických centimetrov) na polceste medzi moderným človekom (1300 cm³) a šimpanzom (400 cm³). Po ďalšom miliónoch rokov evolučnej nečinnosti sa začali objavovať estetické „symetrické“ nástroje, ruka v ruku so štandardizáciou ich výrobných techník a foriem. Vyžadovalo si to prechod od tvrdých nástrojov k mäkkým (dreveným?), aby sa dalo vyrobiť ostrie, ktoré už nebolo nepravidelné a zubaté, ale hladké. A napokon – len pred dvestotisíc rokmi – boli vynájdené stereotypizované nástroje „hromadnej výroby“ (rafinované symetrické obojstranné nástroje) osadené do rúčky. Prečo bola evolúcia ľudskej mysle „prešpikovaná“ týmito relatívne prudkými prevratnými technologickými zmenami?

3) Prečo sa prudký rozvoj technologickej rafinovanosti (ktorý mnohí prezývajú „veľkým skokom“), globálne rozšírenie jaskynného umenia, šiat, stereotypizovaných príbytkov a podobne, uskutočnil pred približne 40 000 rokmi, hoci mozog dosiahol svoju súčasnú „modernú“ veľkosť o takmer milión rokov skôr?

4) Objavil sa jazyk len tak „z čista-jasna“, ako tvrdí Chomsky? Alebo sa vyvinul z primitívnejšieho jazyka gest, ktorý v tom čase už existoval?

5) Ľudí často prezývajú „machiavelliánsky- mi primátmi“. Túto prezývku sme si vyslúžili vďaka schopnosti „čítať v myšliach“ druhých, ktorá nám umožňuje predvídať konanie ostatných príslušníkov nášho druhu, a prejsť im cez rozum. Prečo sú ľudoopy a ľudia takí dobrí v „čítaní“ zámerov druhých? Majú vyššie primáty v mozgu špecializované centrum alebo modul, v ktorých vzniká „teória druhých myslí“, ako sa domnievajú Nick Humphrey a Simon Baron-Cohen? Ak áno, kde je táto dráha a ako a kedy sa vyvinula?

Riešenie mnohých z týchto hádaniek prichádza z nečakaného zdroja – štúdií individuálnych neurónov v mozgoch opíc. Podľa mňa sa tieto otázky stanú o niečo menej záhadnými, keď sa zamyslíme nad

nedávnym objavom „zrkadliacich neurónov“ vo ventrálnej premotorickej oblasti opičieho mozgu, ku ktorému sa dopracoval Giacomo Rizzolatti. Táto skupina neurónov je podľa môjho názoru kľúčom k pochopeniu mnohých nevysvetliteľných aspektov ľudskej evolúcie. Rizzolatti a Arbib už poukázali na relevantnosť svojho objavu k evolúcií jazyka. Domnievam sa však, že význam zrkadliacich neurónov pre pochopenie iných, rovnako dôležitých aspektov ľudskej evolúcie, sa zväčša prehliaha. Podľa môjho názoru je práve tento objav tou najdôležitejšou nezverejnenou „udalosťou“ posledného desaťročia.

Vznik jazyka

Jazyk je – na rozdiel od iných ľudských črt ako napríklad humoru, umenia, tanca alebo hudby – evidentne kľúčovou schopnosťou v našom boji o prežitie, pretože nám umožňuje komunikovať naše myšlienky a zámery. Ale ako sa vlastne táto výnimočná schopnosť vyvinula? Táto otázka trápila biológov, psychológov a filozofov minimálne od čias Charlesa Darwina. Problém je v tom, že vokálny trakt ľudí je síce oveľa komplikovanejší než vokálny trakt opíc, ale bez príslušných sofistikovaných jazykových oblastí v mozgu by nám bolo toto zariadenie celkom nanič. Ako sa teda tieto dva mechanizmy, prepojené množstvom do seba zapadajúcich prvkov, vyvinuli bok po boku? Po vzore Darwina zastávam hypotézu, že naša hlasová výbava a pozoruhodná schopnosť modulovať hlas sa vyvinuli hlavne pre účely vydávania emocionálnych výkrikov a hudbe podobných zvukov počas dvorenia (*croonin a toon*). Keď sa vyvinuli tieto dve veci, mohol sa v mozgu – predovšetkým v jeho ľavej hemisfére – vyvinúť jazyk.

Ale stále sme nevyriešili tú ťažšiu hádanku. Je jazyk sprostredkovaný sofistikovaným a komplikovaným „jazykovým orgánom“, ktorý majú len ľudia a ktorý sa vyvinul „z čista-jasna“, ako tvrdí Chomsky? Alebo

sme už pred príchodom jazyka disponovali primitívnym systémom posunkovej reči, ktorý mu poskytol základnú konštrukciu?

Rizzolattiho objav nám môže pomôcť vyriešiť túto prastarú hádanku. Rizzolatti zaznamenával neuronálnu aktivitu vo ventrálnej premotorickej oblasti čelových lalokov opíc, a zistil, že niektoré bunky pália vtedy, keď opica rukou vykoná určitú veľmi špecifickú činnosť: napríklad niečo potiahne, potlačí, šklbne, uchopí, chytí arašid a vloží si ho do úst a podobne. Na rôzne činnosti reagujú rôzne neuróny. Mohli by sme sa domnievať, že sú to motorické „riadiace“ neuróny, ktoré prikazujú svalom, aby vykonali určitú činnosť. Ale skutočnosť je prekvapujúcejšia: každý zrkadliaci neurón páli aj vtedy, keď daná opica pozoruje inú opicu (alebo dokonca aj experimentátora) ako vykonáva niektorú zo spomínaných činností – napríklad ochutnáva arašidový oriešok. Objavom týchto neurónov sme umožnili porozumieť mnohým záhadným aspektom ľudskej mysle: empatii umožnenej „čítaním v myslí“, imitačnému učeniu, a dokonca aj evolúcii jazyka. Vždy, keď vidíte, ako niekto niečo robí (alebo sa ešte len chystá niečo urobiť), môže sa vo vašom mozgu aktivovať príslušný zrkadliaci neurón, čím vám umožní „čítať“ a pochopiť zámery pozorovaného a dopracovať sa tak k sofistikovanej „teórií druhých myslí“. (Domnievam sa tiež, že poškodenie takýchto zrkadliacich neurónov by mohlo vysvetliť krutú detskú poruchu autizmus. Dieťa, ktorému chýbajú takéto neuróny, nedokáže pochopiť druhých, ani sa do nich emocionálne vcítiť, a preto je vlastne cudzincom v našom spoločenskom svete.)

Zrkadliace neuróny nám tiež umožňujú imitovať pohyby druhých, čím pripravujú pôdu pre komplexný lamarckovský alebo kultúrny typ dedičnosti. Je to typ dedičnosti charakteristický pre náš druh, ktorý nás oslobodzuje od nedostatkov evolúcie založenej na výlučne genetickej báze. Okrem toho – ako poznamenal Rizzolatti –



Filmotvorozmeny

nám tieto neuróny mohli umožniť aj schopnosť napodobňovať – a tým hádam aj pochopiť – pohyby pier a jazyka druhých ľudí, čo mohlo viesť k evolúcii jazyka. (To je dôvod, prečo novorodenec, keď naňho vyplazíte jazyk, urobí to isté. Aké ironické a zároveň dojímavé, keď si uvedomíme, že toto malé gesto je stelesnením pol milióna rokov evolúcie mozgu primátov.) Keď už raz disponujete týmito dvoma schopnosťami – schopnosťou čítať zámery druhých a napodobňovať ich vokalizácie – môže sa uviesť do pohybu mašinéria evolúcie jazyka. Už nepotrebujeme hovoriť o jedinečnom jazykovom orgáne, a celý problém už zrazu nie je až takou veľkou záhadou.

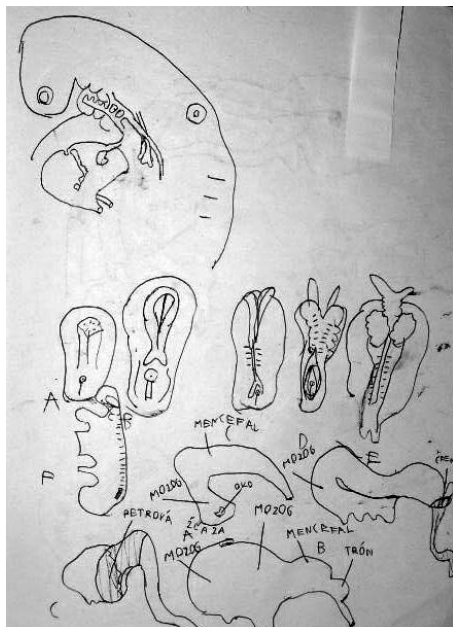
(Ďalším dôležitým dielikom skladačky je Rizzollatiho pozorovanie, že ventrálna premotorická oblasť čelového laloka mozgu by mohla byť homologická s Broccovou oblasťou – mozgovým centrom, ktoré sa spája s expresívnymi a syntaktickými aspektmi jazyka u ľudí).

Tieto argumenty ani trochu nespochybňujú myšlienku, že v ľudskom mozgu sa nachádzajú špecializované jazykové centrá. Zaoberáme sa tu otázkou, ako sa tieto centrá vyvinuli, a nie, či existujú.

Zrkadliace neuróny boli objavené u opíc – ako však vieme, že sú prítomné aj v ľudskom mozgu? Aby sme to zistili, skúmali sme pacientov trpiacich zvláštnou poru-

chou menom anozognózia. Pacienti, ktorých pravú hemisféru poškodila mŕtvica, sú väčšinou úplne paralyzovaní na ľavej strane tela, a podľa očakávania sa na to aj sťažujú. Ale asi päť percent z nich vlastnú paralýzu vehementne popiera, napriek inak celkom jasnému vedomiu a normálnej inteligencii. Je to takzvaný „neglekt“ syndróm alebo anozognózia. S úžasom sme pozorovali, že niektorí z týchto pacientov popierali nielen vlastnú paralýzu, ale aj paralýzu iného pacienta, ktorého neschopnosť hýbať rukou mohli jasne vidieť oni i ďalší pacienti. Popieranie vlastnej paralýzy je samo osebe dost čudné, ale prečo by pacient popieral paralýzu iného pacienta? Podľa nás sa dá toto bizarné ochorenie najlepšie vysvetliť ako poškodenie Rizzollatiho zrkadliacich neurónov. Môžete si to predstaviť takto: vždy, keď chcete posúdiť pohyb niekoho iného, musí vo vašom vlastnom mozgu prebehnúť VR (virtuálna realita) príslušných pohybov – a to bez zrkadliacich neurónov nejde.

Ďalší dôkaz pochádza zo štúdií ľudských mozgových vln (EEG). Keď človek pohne rukami, mozgová vlna nazývaná MU vlna sa zablokuje a celkom zmizne. Eric Altschuller, Jamie Pineda a ja sme v roku 1998 v Spoločnosti pre neurovedy navrhli hypotézu, že tento útlm spôsobujú Rizzollatiho zrkadliace neuróny. V súlade s touto teóriou je aj naše zistenie, že k podobnému zablo-



Vývoj CNS a mozgu

kovaniu dôjde, keď osoba vidí, ako hýbe rukou niekto iný, ale nie, ak podobný pohyb vykoná neživý predmet. (Podľa našej predpovede by sme mali potlačenie MU vln pozorovať u autistických detí vtedy, keď hýbu vlastnými rukami, ale nie ak pri tom pozorujú niekoho iného.) V našom laboratóriu teraz máme predbežné výsledky experimentov s jedným funkčným autistickým dieťaťom, ktoré naznačujú, že táto predikcia by sa mohla potvrdiť (Social Neuroscience Abstracts 2000).

Veľký tresk v evolúcii človeka

Mozog hominidov rástol stále rýchlejšie, až kým asi pred dvestotisíc rokmi dosiahol svoju súčasnú veľkosť 1500 kubických centimetrov. Ale schopnosti, ktoré sú vlastné len ľuďom – napríklad vynájdenie nesmierne zložitých „standardizovaných“ nástrojov zložených z viacerých častí, šaty ušité na mieru, umenie, náboženská viera a pravdepodobne aj jazyk, sa podľa vedcov zjavili pomerne rýchlo pred asi 40 000 rok-

mi – v náhlej explózií ľudských mentálnych schopností a kultúry, ktorá sa niekedy zvykne nazývať „veľkým treskom“. Ak dosiahol mozog svoj vrchol – prinajmenšom čo sa týka veľkosti – pred 200 000 rokmi, prečo potom ďalších 150 000 rokov zaháľal? Väčšina vedcov sa domnieva, že veľký tresk umožnila nejaká neznáma genetická zmena v štruktúre mozgu. Archeológ Steve Mithen napríklad práve dopísal knihu, v ktorej tvrdí, že pred veľkým treskom boli v mozgu tri moduly, ktoré sa špecializovali na „sociálnu alebo machiavelliánsku inteligenciu“, na „mechanickú inteligenciu“ alebo používanie nástrojov a na „intuitívnu históriu“ (prirodený sklon klasifikovať). Tieto tri moduly boli pôvodne izolované, ale pred približne 50 000 rokmi im zrazu nejaká genetická zmena v mozgu umožnila spolu komunikovať, čo vyústilo do obrovskej flexibility a všestrannosti ľudského vedomia.

Ja s Mithenovým dôvtipným návrhom nesúhlasím a ponúkam celkom iné riešenie tejto záhady. (Je síce kompatibilné s Mithenovými názormi, ale ide o inú myšlienku). Podľa mojej hypotézy sa takzvaný veľký tresk uskutočnil preto, lebo nejaké kľúčové spúšťače v životnom prostredí hominidov pôsobili na ich mozog, ktorý už mal veľký objem z iných dôvodov, a tým pádom bol „predpripravený“ na spomínané typicky ľudské kultúrne inovácie. (Jednou z kľúčových adaptácií boli zrkadliace neuróny.) K vynálezom ako používanie nástrojov, umenie, matematika a dokonca aj niektoré aspekty jazyka mohlo dôjsť „náhodou“ na jednom mieste, a potom sa veľmi rýchlo rozšírili vďaka úžasným schopnostiam nášho mozgu – imitačnému učeniu a čítaniu v myšliach druhých, podmieneným existenciou zrkadliacich neurónov. Je možné, že k VŠETkým dôležitým „inováciám“ dôjde kvôli šťastnej zhode okolností v prostredí – čo sa zväčša stane na jednom mieste a v jednom čase. Ale vďaka pozoruhodnej schopnosti nášho druhu napodobňovať

druhých by sa takáto inovácia rozšírila medzi celú populáciu veľmi rýchlo po tom, ako vznikne.

Je samozrejmé, že zrkadliace neuróny nemôžu byť jediným riešením všetkých týchto evolučných hádaniek. Veď ich majú aj makaky a ľudooppy, a ich kultúra predsa nie je taká sofistikovaná ako tá ľudská (aj keď sa nedávno ukázalo, že prinajmenšom šimpanzy, dokonca aj tie divé, majú primitívne základy kultúry). Ja však tvrdím, že zrkadliace neuróny sú nevyhnutné, ale nie dostačujúce: ich vznik a ďalší vývin u hominidov bol rozhodujúcim krokom. Dôvod je ten, že len čo máte určité minimum „imitačného učenia“ a „kultúry“, môže táto kultúra pôsobiť ako dodatočný evolučný tlak na vývin ďalších mentálnych črt, ktoré nás „robia ľuďmi“. A keď sa to raz začne diať, uviedli ste do pohybu autokatalytický proces, ktorý vyvrcholil vo vzniku vedomia u moderného človeka.

Druhým nedostatkom môjho návrhu je, že nijako nevysvetľuje, prečo sa to množstvo ľudských vynálezov, ktoré boli súčasťou veľkého tresku, vyskytlo počas relatívne krátkeho obdobia. Ak by išlo len o rýchle rozšírenie náhodných objavov, prečo by sa potom všetky vyskytli naraz? Na túto námietku mám tri odpovede. Po prvé, dôkazy o tom, že sa to všetko stalo naraz, nie sú bohaté. Vynájdenie hudby, príbytkov, nástrojov s násadkou, zhotovovania šiat, písma, reči, a tak ďalej, sa možno rozšírilo do vzdialenosti piatich až desiatich kilometrov, a takzvaný veľký skok môže byť len dôsledkom nesprávneho výberu miest pre archeologické vykopávky. Po druhé, ktorákoľvek zo spomínaných inovácií (napríklad reč alebo písmo alebo nástroje) mohla slúžiť ako katalyzátor pre tie ostatné, a mohla tak urýchliť tempo vývoja kultúry ako celku. A po tretie, možno naozaj došlo k zmene v génoch, ale nemusel ňou byť nárast schopnosti inovovať (alebo odstránenie hraníc medzi modulmi, ako navrhuje Mithen), ale nárast v sofistikovanosti systémov

mu zrkadliacich neurónov, a tým pádom aj v „potenciáli učiť sa“. Výsledné zlepšenie schopností imitovať a učiť sa (a vyučovať) by potom dokázalo vysvetliť tú explóziu kultúrnych zmien, ktorý nazývame „veľkým skokom vpred“ či „veľkým treskom“ v evolúcii človeka. Z tohto argumentu vyplýva, že celá „nature-nurture“ diskusia v podstate stráca zmysel, aspoň čo sa týka ľudí. Bez geneticky podmieneného potenciálu učiť sa, ktorý je charakteristický pre mozgy ľudí, by si Homo sapiens nezaslúžil titul „sapiens“ (rozumný). Ak by však nebol obklopený kultúrou, ktorá môže z tohto „potenciálu učiť sa“ profitovať, bol by spomínaný prívlastok rovnako nemiestny. V tomto zmysle sa ľudská kultúra a ľudské mozgy museli vyvinúť jeden vedľa druhého ako parazity – bez existencie jedného či druhého by nevznikla ľudská bytosť. (Rovnako ako bunka nedokáže fungovať bez svojho parazita – mitochondrie).

Druhý veľký tresk

Môj návrh – že zrkadliace neuróny boli prvotným impulzom pre „zrýchlenú“ koevolúciu mozgu/kultúry u ľudí – nie je až taký bizarný, ako by sa mohlo zdať. Predstavte si, že za milión rokov bude študovať evolúciu človeka antropológ z Marsu. Bol by zmätený (rovnako ako bol zmätený Wallace) z relatívne náhleho objavenia sa niektorých mentálnych črt, ako napríklad sofistikovaného používania nástrojov, ohňa, umenia a „kultúry“, a snažil by sa ich dať do súvisu (ako to teraz robia mnohí antropológovia) s údajnými zmenami vo veľkosti a anatomickej štruktúre mozgu spôsobenými mutáciami. Ale na rozdiel od dnešných antropológov by sa čudoval aj enormným prevratom a zmenám, ktoré sa udiali (povedzme) po 19. storočí – a ktoré my voláme vedeckou/ priemyselnou revolúciou. Táto revolúcia je v mnohých ohľadoch oveľa dramatickejšia ako „veľký skok vpred“ pred štyridsaťtisíc rokov (napríklad odrazu sa objavila jadrová energia, automobily,

letecká doprava, a cesty do kozmu)!!

Možno by ho lákalo vysvetľovať tento druhý skok vpred tak, že muselo prísť k zmenám v génoch a následne zmene v anatomickej štruktúre mozgu a v správaní. (Rovnako ako mnohí dnešní antropológovia pátrajú po genetickom vysvetlení prvého veľkého skoku.) Napriek tomu však dnes vieme, že tie súčasné prevratné zmeny nastali výlučne vďaka náhodným okolnostiam v prostredí, pretože Galileo vynášiel „experimentálnu metódu“, ktorá ruka v ruke s kráľovskou záštitou a vynálezom kníhtlače odštartovala vedeckú revolúciu. Jeho experimenty a vynájdenie komplikovaného nového jazyka – matematiky – v prvom tisícročí po Kristovi v Indii (založenej na zázname rádov, existencii nuly a desiatkovej sústave) pripravili pôdu pre newtonovskú mechaniku a algebru – a to ostatné už poznáme.

Treba mať na pamäti, že nič z toho sa nemuselo udiť. Určite sa to nestalo kvôli genetickým zmenám v ľudských mozgoch počas obdobia renesancie. Stalo sa to aspoň čiastočne vďaka imitačnému učeniu a rýchlemu „kultúrnemu“ prenosu poznania. (Naozaj, hádam by sme mohli tvrdiť, že medzi ľuďmi pred 18. storočím a po 20. storočí boli väčšie behaviorálne/kognitívne rozdiely ako medzi Homo erectus a archaickým Homo sapiens. Ak by náš marťanský etológ nemal viac dôkazov, mohol by prísť k záveru, že medzi prvými dvoma skupinami boli väčšie genetické rozdiely ako medzi spomínanými dvoma druhmi!)

Na základe tejto analógie navrhujem hypotézu, že aj prvý veľký skok vpred umožnili hlavne schopnosti imitácie a emulácie. Wallacova otázka bola celkom na mieste: to, ako sa mohla množina výnimočných schopností objaviť zdanlivo „z ničoho nič“, je veľkou záhadou. Ale jeho odpoveď bola nesprávna... k zdanlivo náhlemu vzniku vecí ako umenie alebo komplikované nástroje nedošlo vďaka Bohu alebo „božskému zásahu“. Namiesto toho navrhujem rie-

šenie, že podobne, ako sa jeden jediný vynález (alebo dva vynálezy) Galileiho a Gutenberga rýchlo rozšírili a premenili zemský povrch (aj keď bez predchádzajúcej genetickej zmeny), mohli sa na základe šťastných náhod zjaviť na jednom mieste a potom veľmi rýchlo rozšíriť objavy ako oheň, šaty, „symetrické nástroje“ a umenie, a tak ďalej. Takéto vynálezy sa možno podarili aj raným hominidom (dokonca aj šimpanzy a orangutany sú pozoruhodne vynaliezavé... ktovie, akí invenční boli Homo erectus alebo neandertálci), ale raní hominidi možno jednoducho nemali systém zrkadliacich neurónov na dostatočne vysokej úrovni na to, aby umožnil rýchly prenos a rozšírenie nápadov. A tak sa nápady rýchlo vytratili z „banky mémov“. Táto sústava buniek – keď sa vyvinula natoľko, že sa dala využiť pri „tréningu“ v používaní nástrojov a čítaní v mysliach druhých, mala možno rovnako vedúcu rolu v emergencii ľudského vedomia (a premene z neandertálcov na Homo sapiens), ako mal dopad asteroidu na víťazstvo cicavcov nad suchozemskými plazmi.

Takže už nemá o nič väčší zmysel pýtať sa „prečo sa sofistikované používanie nástrojov a umenie objavilo až pred 40 000 rokmi, keď mal mozog všetky potrebné latentné schopnosti už pred 100 000 rokmi?“ — ako sa pýtať „Prečo sa cesty do kozmu začali až pred zopár desiatkami rokov, keď naše mozgy boli uspôsobené na cestovanie do kozmu prinajmenšom od éry kromaňoncov?“ Tá otázka ignoruje dôležitú úlohu kontingencie či „starého dobrého“ šťastia v evolučnej histórii človeka.

Preto považujem Rizzollatiho objav zrkadliacich neurónov – a moje čisto špekulatívne hypotézy o ich kľúčovej role v našej evolúcii – za najdôležitejšiu nepublikovanú udalosť posledného desaťročia.

z anglického originálu preložila Jana Hanulová