

Ewolucja człowieka jako seria dodatnich sprzężeń zwrotnych

Jan Kozłowski

Instytut Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego;
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie

Human evolution as a series of positive feedbacks

Abstract

Perhaps in last few centuries not any big theory has resulted in so much opposition as Darwinian theory of evolution. Within this theory, claim that *Homo sapiens* evolved from animal ancestors, namely apes, is undoubtedly the most controversial issue. Long tradition of teaching by Church that a pair of first people was created in short time in Eden Garden is in contradiction to discoveries of biology, including paleontology. If God exists, which is not the research subject of science, he created human beings by a long process of biological Darwinian evolution followed by shorter process of non-Darwinian cultural evolution. Biologist must treat *Homo sapiens* as just one more species with long phylogeny, albeit special species characterized by brains of enormous size, with well-developed neocortex and very special mental traits being the consequence of such brain. The paper considers selection forces toward increase of this extremely expensive organ, draining at least 20% of energy. The main idea is that a series of positive feedbacks were responsible for the development of brain, correlated increase of intelligence and development of culture. Although no great breakthrough is required for such mode of

evolution, energetic constrain limiting brain size was present through large part of our evolution, which was first broken by using primitive tools for cutting meat and grinding down seeds, then by thermal processing of food. The new constrain on skull size, and correlated brain size, that is the danger of death of both mother and child during childbirth, has been partly relieved by shifting large part of brain development to postnatal period. Resulting very long childhood was a prerequisite to cultural development of our species.

Keywords

human evolution, fire and brain evolution, evolution of language, social evolution, roots of mathematics, constraints on brain size.

1. Wstęp

Karol Darwin jako pierwszy odważył się stwierdzić, że człowiek ma wspólnego przodka z małpami człekokształtnymi i powstał drogą ewolucji, opartej na losowej zmienności i doborze naturalnym, podobnie jak inne gatunki. Te poglądy przysporzyły mu więcej wrogów niż samo sformułowanie teorii ewolucji opartej na koncepcji doboru naturalnego. Warto podkreślić, że brak powszechnej akceptacji darwinowskiego modelu ewolucji, której wytworem jest też człowiek, nie wynika jedynie z pozornego konfliktu między tą teorią i religią. Opublikowana niedawno książka Jerrego Fodora i Massimo Plattelli-Palmariniego (2010, tłum. polskie 2018), deklarujących ateizm, atakuje bardzo ostro darwinowską teorię doboru naturalnego poprzez konfrontację z osiągnięciami współczesnej biologii. Obaj autorzy, niebędący biologami (Fodor był filozofem i psy-

chologiem, Plattelli-Palmarini jest kognitywistą), nie dostrzegają, że odkrycia biologii nie tylko nie stoją w sprzeczności z opartą na darwinizmie teorią ewolucji, ale przyczyniły się do jej głębszego zrozumienia i uszczegółowienia. Stawianie zarzutów zarówno Darwinowi jak i ewolucjonistom pierwszej połowy XX wieku (przed odkryciem kodu genetycznego), że ich poglądy są niekompatybilne ze współczesnymi osiągnięciami biologii, to tak, jakby stwierdzić, że teoria Kopernika jest fałszywa, gdyż nie przewiduje istnienia czarnych dziur.

To, że także ateści buntują się przeciwko darwinowskiej teorii ewolucji, nie zmienia faktu, że najpoważniejsza krytyka wynika z przesłanek religijnych. Stosunek Kościoła katolickiego do darwinowskiej teorii ewolucji ulegał stopniowym zmianom, by nie powiedzieć, ewolucji. Papież Pius XII w encyklice *Humani generis* (1950) stwierdził, że teoria ewolucji jest poważną hipotezą, która może być rozważana, ale nieprzekraczalną granicę stanowi wiara w pochodzenie wszystkich ludzi od jednej pary. Chociaż współczesne badania genetyczne wskazują na istnienie w przeszłości tzw. wąskiego gardła, pochodzenie naszego gatunku od jednej pary jest w świetle obecnej wiedzy wysoce nieprawdopodobne. Według danych molekularnych liczebność populacji *Homo sapiens* spadła lub kilkukrotnie spadała do kilku tysięcy, ale nie kilku osobników (np. Hawks i in., 2000). Papież Jan Paweł II w sławnym liście do Papieskiej Akademii Nauk z 22 października 1996 r. wyjaśnił, że prawdy religijne nie mogą zaprzeczać empirycznym badaniom naukowym, a teoria ewolucji jest czymś więcej niż hipotezą, jest poważną teorią, przy czym wyjaśnił dość precyzyjnie, czym jest hipoteza i teoria w sensie naukowym (w odróżnieniu od sensu potocznego, w którym „teoria” to coś niesprawdzonego, historyjka, przypuszczenie). Stworzenie w sensie nadprzyrodzonym rezerwuje dla ducha: „W konsekwencji, te teorie ewolucji, które inspirując się określoną filozofią uważają,

że duch jest wytworem sił materii ożywionej lub prostym epifenomenem tejże materii, są nie do pogodzenia z prawdą o człowieku” (Jan Paweł II, 1996). Znowu postawiona jest bariera, jak się wydaje nie do utrzymania w miarę rozwoju psychologii i nauki o mózgu. Zamiast powoli oddawać pole, bezpieczniej byłoby od razu uznać, że tylko dusza nieśmiertelna jest bezpośrednio stworzona przez Boga, bo jej istnienie leży poza zakresem badań przyrodniczych, nie stanowi więc pola do konfrontacji – jest kwestią indywidualnych przekonań, wiary. Również papież Benedykt XVI uważał, że alternatywa „uznawanie rzeczywistości ewolucji lub wiara w Boga” jest fałszywa. Papież Franciszek mówi ciepło o ewolucji, unikając jednak szczegółowego odnośnienia się do najbardziej kontrowersyjnej kwestii ewolucji człowieka, a przede wszystkim jego duchowości.

Religie chrześcijańskie tradycyjnie traktują stworzenie człowieka jako pojedynczy akt. W rezultacie nawet akceptując ewolucyjne pochodzenie człowieka, poszukuje się wtedy wielkiego przełomu, który jeszcze-nie-człowieka przekształcił w człowieka. Celem tej pracy jest pokazanie, że w ewolucji człowieka nie było gwałtownych przełomów. Ewolucja ta z punktu widzenia biologicznego to przede wszystkim stopniowe powiększanie mózgu, ściślej – kory nowej, a jeszcze ściślej – przede wszystkim płatów czołowych. Jej siłą napędową był szereg dodatnich sprzężeń zwrotnych. Od pewnego etapu ewolucja biologiczna została zdominowana przez ewolucję kulturową, również napędzaną dodatnimi sprzężeniami zwrotnymi. Proces trwał długo, tak więc ludzie wierzący mogą mówić raczej o stwarzaniu człowieka niż o jego stworzeniu. Oczywiście stwarzaniu poprzez prawa natury, bo jak stwierdził papież Franciszek (2014): „Gdy czytamy o stworzeniu w Księdze Rodzaju, ulegamy pokusie wyobrażenia sobie Boga jako magika z czarodziejską różdżką zdolnego do zrobienia wszystkiego. Ale tak nie jest. On stworzył istoty ludzkie

i pozwolił im się rozwijać zgodnie z wewnętrznymi prawami...” – stwierdził też, jak sądzę mając na myśli prawa przyrody¹. Dla ludzi niewierzących człowiek jest jednym z gatunków zamieszkujących Ziemię, choć gatunkiem wyjątkowym i, jak się okazało, niebezpiecznym dla całej biosfery.

2. Ewolucja w kierunku zwiększania mózgu

Najbliższym żyjącym krewnym człowieka jest szympan, z którym mamy nie mniej niż 94% wspólnych genów (Demuth i in., 2006)². Drogi ewolucyjne tych dwóch gatunków rozeszły się według badań molekularnych około 7 mln lat temu. Potwierdzają to dane paleontologiczne, bo mniej więcej wtedy pojawiają się w Afryce pierwsze małpy, które przynajmniej część czasu spędzały na otwartej sawannie (Gamble, Gowlett i Dunbar, 2014, tłum. polskie 2017). Przyczyną stopniowego zasiedlania sawanny przez małpy człekokształtne były zmiany klimatyczne w późnym miocenie, które spowodowały kurczenie się lasów tropikalnych. Drzewo rodowe tych sawannowych naczelnych, od czasu oddzielenia się linii prowadzących do szympana i do współczesnego człowieka jest dość rozgałęzione, a dalsze odkrycia szczątków, niestety rzadko znajdowanych, gdyż sawanna nie jest środowiskiem sprzyjającym fosylizacji, będą przyczyną po-

¹ Słowa skierowane do członków Papieskiej Akademii Nauk 27 października 2014 r. Tłumaczenie własne.

² Wcześniejsze oszacowania mówiły o 98% wspólnych genów. Sprawa nie jest prosta. Podobieństwo wspólnych genów jest rzeczywiście ogromne, rzędu 98,5%. Wiele genów jest jednak zduplikowanych. Od chwili rozdzielenia się linii filogenetycznych z szympansem człowiek zyskał 689 i stracił 86 duplikacji, a szympan stracił 729 kopii. Autorzy uważają, że „evolucja mogła eksperymentować” z dodatkowymi kopiami zachowując funkcjonalność starych, co może tłumaczyć tak duże różnice między tymi dwoma gatunkami.

wstawiania nowych rozgałęzień. Nie jest celem tego artykułu omawianie drzewa rodowego, dlatego koncentrować się będą przede wszystkim na zaledwie kilku gatunkach, które leżą blisko linii prowadzącej do *Homo sapiens*: są to w kolejności chronologicznej *Australopithecus afarensis*, *Homo habilis* i *Homo erectus*. W toku ewolucji następowała stopniowo pionizacja i przejście do pełnej dwunożności, połączone z zanikiem chwytności stóp umożliwiającej sprawne poruszanie się na drzewach. Drugi proces, to stopniowe zmniejszanie kłów, a trzeci, najważniejszy, to powiększanie mózgu. Ponieważ to właśnie posiadanie ogromnego mózgu z dobrze rozwiniętą korą nową odróżnia *Homo sapiens* od zwierzęcych i praludzkich przodków, zajmę się siłami selekcji i ograniczeniami, które decydowały o stopniowym powiększaniu się tego organu.

Przejście do życia na otwartej przestrzeni sawanny, bardzo ubogiej w drzewa, wymagało szeregu nowych adaptacji. Jednym z wyzwań była wysoka temperatura powietrza przy bezpośredniej operacji słońca. Ponieważ promienie słońca padają w tropikach pionowo lub niemal pionowo, dwunożność zmniejszyła ilość dochodzącego ciepła do mniej więcej 1/3 w stosunku do pozycji czworonożnej. Konieczne było też wytworzenie wydajnego chłodzenia poprzez parowanie potu i duża wytrzymałość na brak wody. Kolejnym wyzwaniem była zmiana diety. Sawanna jest uboga w owoce, pokarmem musiały być zatem nasiona, owady, padlina i mięso upolowanych zwierząt. Największym problemem było jednak zagrożenie przez drapieżniki, odpędzenie innych zwierząt od padliny i obrona upolowanej zdobyczy przed zjedzeniem przez mięsożerne ssaki i ptaki. Z powodu braku zwartych drzew, na które można uciec lub zawlec upolowaną zdobycz, jedynym dostępnym mechanizmem było od-

straszanie poprzez grupową skoordynowaną akcję. Zatem liczebność grupy i jej zdolność do podejmowania skoordynowanych akcji decydowała zapewne o sukcesie.

Dwunożność miała między innymi dwa pozytywne skutki uboczne. Pierwszym jest poszerzenie horyzontu poprzez wyprostowaną postawę, a więc wcześniejsze dostrzeżenie drapieżników i potencjalnych ofiar. Drugim, uwolnienie rąk, co umożliwiło noszenie broni w postaci kija czy kamienia, lub transport upolowanej zdobyczy. Szympansy używają wprawdzie prostych narzędzi, ale ich ze sobą nie noszą – musiałyby je nosić w zębach, gdyż potrzebują wszystkich kończyn do sprawnego poruszania się. Wprawdzie wszystkie małe człokształtne potrafią poruszać się na dwóch nogach, ale czynią to niezdarnie i z dużym nakładem energii, zatem taki sposób przemieszczania się jest możliwy tylko na krótkim dystansie. Dopiero stopniowe przekształcanie kończyn dolnych i pasa biodrowego stworzyło doskonałego długodystansowego piechura jakim jest człowiek. Mamy tu zatem do czynienia z dodatnim sprzężeniem zwrotnym: początek pionizacji – możliwość pokonywania większego dystansu na dwóch nogach – nacisk selekcji na dalszą pionizację – możliwość pokonywania jeszcze większych dystansów itd. Tak najprawdopodobniej odbywało się stopniowe oddalanie od lasu tropikalnego w kierunku otwartej przestrzeni sawanny, wspomagane możliwością przenoszenia prostej broni niezbędnej na tym niebezpiecznym obszarze.

Najważniejszy był jednak nacisk selekcji na zwiększanie liczebności grupy. Łączenie się w stada jest powszechnym w przyrodzie sposobem zmniejszania presji drapieżników. Drapieżnikom trudniej jest odszukać skupione w stada ofiary, gdyż większość przestrzeni jest pusta. Nawet jeśli wytropią stado, ryzyko śmierci rozkłada się na wiele osobników i prawdopodobieństwo śmierci każdego z nich jest

niewielkie. To jest przyczyną, że planktonożerne ryby tworzą najczęściej ławice, gawrony zbierają się w stada przed odlotem na noclegowisko, a szpaki przed odlotem na południe. W takich dużych stadach nie jest konieczna osobista znajomość osobników, nie występuje zatem ograniczenie wielkości stada. Nieuniknione straty powodowane przez drapieżniki są niwelowane przez szybkie dojrzewanie i intensywne rozmnażanie.

Mały człekokszałtne, które żyły na sawannie, nie mogły tworzyć takich wielkich anonimowych stad, gdyż nie znalazłyby dostatecznie dużo pożywienia. Ponadto nie były dostatecznie płodne, a ich wzrost i dojrzewanie przebiegały zbyt wolno, by uzupełnić zadawane przez drapieżniki straty. Konieczne było zbiorowe odstraszenie i obrona, co wymaga koordynacji i wzajemnego zaufania, a zatem także osobistej znajomości poszczególnych osobników. Jak twierdzi Robin Dunbar, liczebność tego rodzaju grup jest ściśle skorelowana z wielkością mózgu, a zwłaszcza kory nowej (Dunbar, 1996, tłum. polskie 2017) lub jej płatów czołowych (Dunbar, 2014, tłum. polskie 2016). *Australopithecus afarensis* żyjący 4,2 – 3,0 mln lat temu, miał mózg o objętości 460 (przedział ufności 335 – 580) cm^3 , niewiele większy niż u szympansa (Robson i Wood, 2008). Według Dunbara (Dunbar 1996, 2016) australopiteki mogły tworzyć grupy nieprzekraczające 60 osobników, gdyż na tyle pozwalała „moc obliczeniowa” ich mózgow. Człowiek zręczny *Homo habilis*, żyjący 2,5 – 1,5 mln lat temu, miał mózg nieco większy, 609 (544 – 674) cm^3 (Robson i Wood, 2008) i mógł tworzyć grupy złożone z 70 – 80 osób (Dunbar 1996, 2016). Wielkość mózgu *Homo erectus*, który pojawił się najprawdopodobniej około 1,9 mln lat temu, zmieniała się w trakcie trwającej około 1,7 mln lat ewolucji (De Miguel i Henneberg, 2001), od 600 – 800 cm^3 do około 1000 cm^3 , co według Dunbara koreluje

z liczebnością grupy od 90 do 110 osób. Sławna liczba Dunbara, to przeciętna liczebność grupy współczesnego człowieka – około 150 osób.

Skoro większy mózg to większe bezpieczeństwo, a zatem i większy sukces reprodukcyjny, to co ograniczało powiększanie tego organu na wcześniejszych etapach ewolucji? Dlaczego większość ssaków ma małe mózgi w stosunku do wielkości ciała? Odpowiedź jest prosta: mózg jest bardzo kosztownym organem. Mózg stanowi zaledwie 2% masy dorosłego człowieka. Kuzawa i współautorzy wykazali, używając nowoczesnych metod badawczych, że mózg pochłania u nastolatka i zapewne także dorosłego około 20%, a u 5–6 latka nawet 40% energii zużywanej w ciągu dnia; w czasie spoczynku mózg dziecka może pochłaniać nawet do 60% energii (Kuzawa i in., 2014). Ewolucyjne powiększanie mózgu jest więc ograniczone dostępnością energii. Pozornie mogłoby się wydawać, że rozwiązaniem byłoby synchroniczne zwiększanie dostarczającego energii układu trawiennego. Jednak koszty utrzymania tego układu są też bardzo wysokie, byłaby to zatem droga donikąd. Jedynym rozwiązaniem była zmiana diety na lepiej przyswajalną. *Homo habilis* produkował proste narzędzia kamienne, umożliwiające rozdrabnianie mięsa i rozcieranie nasion, co zwiększyło przyswajalność pokarmu i umożliwiło umiarkowane powiększenie mózgu (Zink i Lieberman, 2016). Bez obróbki termicznej pokarmu dalsze powiększanie mózgu byłoby niemożliwe. Opanowanie ognia przypisywane jest *Homo erectus* i było zapewne procesem stopniowym. Ogień był i jest zjawiskiem naturalnym na sawannie. Dla większości zwierząt pojawienie się ognia bywa śmiertelnym zagrożeniem. Wyobraźmy sobie grupę osobników *Homo erectus*, której dzięki inteligencji udało się ująć z życiem z pożaru i poszukuje pokarmu na spalonej sawannie. Znajdują tam szczątki upieczonych zwierząt, które miały mniej szczęścia i upie-

czone bulwy roślin. Nie mając nic innego do dyspozycji, próbują tego pokarmu i odkrywają, że jest on nawet lepszy od pokarmu świeżego. Ogień stałby się już nie wrogiem, a przyjacielem. Pierwszym etapem mogło być poszukiwanie terenów wypalonych. Drugim podtrzymywanie ognia, co wymagało najprawdopodobniej podziału pracy – jedna grupa pilnowała ognia, druga zajmowała się zdobywaniem pokarmu, a także planowania z wyprzedzeniem działań, takich jak przygotowywanie paliwa na noc. Kolejny etap to zdobycie umiejętności rozpalania ognia, co wymagało już sporej inteligencji. Należało zaobserwować, że tarcie powoduje wydzielanie ciepła, skojarzyć ciepło z ogniem, dobrać odpowiednie drewno i nauczyć się kolektywnego działania – do dziś przy rozpalaniu ognia poprzez szybkie rotowanie patyka opartego na kawałku drewna osoby rozpalające „dają sobie zmianę”, gdyż jest to zbyt ciężka praca, by mógł ją wykonać pojedynczy człowiek³. Nic dziwnego, że stopniowe opanowywanie ognia zajęło około miliona lat: ślady wykorzystywania ognia pojawiają się około 1,5 mln lat temu (James, 1989), a ślady powszechnego używania ognia, co wskazuje na umiejętność jego rozpalania, datowane są na 350 tys. lat temu, być może nawet 500 tys. lat (Shimelmitz i in., 2014).

Opanowanie ognia pozwoliło na wykarmienie powiększającego się ewolucyjnie mózgu nie tylko poprzez obróbkę termiczną pokarmu, ale także poprzez oszczędzanie energii niezbędnej dla termoregulacji podczas zimnej nawet na sawannie nocy. Zwiększyło się też bezpieczeństwo, gdyż drapieżniki boją się ognia. Być może najważniejszy był jednak wpływ ognia na rozwój życia społecznego (Fodor i Piatelli-Palmarini, 2010). Noc w tropikach trwa około 12 godzin, a człowiek potrzebuje około 8 godzin snu. Pozostają więc cztery godziny, wcześniej bezużyteczne, a po opanowaniu ognia poświęcane

³ Obserwacja własna z wioski Masajów w Tanzanii.

na kultywację interakcji społecznych – do dziś zabawy przy ognisku są naszym ulubionym zajęciem. Rozwój życia społecznego stwarzał kolejną presję selekcyjną na wzrost inteligencji poprzez rozwój mózgu.

Warto wspomnieć, że gatunek *Homo erectus* osiągnął niebywały sukces dzięki rozwojowi życia społecznego. Zapewne jego liczebność wzrosła tak radykalnie, że już nie drapieżniki były głównym zagrożeniem, ale obecność sąsiadujących i konkurujących o przestrzeń grup. Pierwszy exodus z Afryki dotyczył tego właśnie gatunku; *Homo erectus* zajął ogromne obszary Eurazji. Jak się wydaje nastąpiło to około 1,9 mln lat temu, a więc jeszcze przed opanowaniem ognia (Carotenutoa i in., 2016). Wprawdzie czas wyjścia z Afryki pokrywa się z początkiem występowania tego gatunku, ale należy pamiętać o małej precyzji datowania, więc w rzeczywistości ten exodus mógł być nieco później. Jest jednak prawdopodobne, że wzrost zagęszczenia, będący bodźcem do wędrówki, trwał zaledwie kilkadziesiąt tysięcy lat. Podobnie według danych molekularnych pierwsza fala migracji z Afryki *Homo sapiens* nastąpiła nie później niż kilkadziesiąt tysięcy lat od powstania naszego gatunku, co nastąpiło około 300 tys. lat temu (259–315 tys. wg Hershkovitz, Weber i Quam, 2018; 350–260 tys. wg Schlebusch, Malmstrom i Gunther, 2017), chociaż aktualne dane paleontologiczne przesunęły tę migrację wstecz „zaledwie” do około 175 tys. lat temu (Hershkovitz, Weber i Quam, 2018).

Dalsze powiększanie mózgu natrafiło na kolejną barierę, tym razem anatomiczną. Człowiek, podobnie jak inne ssaki, ma zamkniętą miednicę ograniczającą wielkość kanału rodnego. Powiększenie kanału rodnego wymagałoby powiększenia miednicy, co z kolei upośledziłoby poruszanie się na dwóch kończynach. Wielkość kanału rodnego ogranicza dopuszczalny rozmiar puszeki mózgowej nowo-

rodka. U innych małp człekokształtnych puszka mózgowa przechodzi bez trudu przez kanał rodny. U naszych przodków nacisk selekcji na zwiększanie mózgu (pociągające za sobą zwiększanie puszki mózgowej) był tak silny, przy równoczesnej niemożności ewolucyjnego poszerzenia tego kanału ze względu na dwunożność, że najczęściej główka niemowlęcia jest nieco większa od kanału rodnego, przez co poród jest trudny⁴ i niebezpieczny (Rosenberg i Trevathan, 1995). Gdy wyjdzie już z łona matki główka dziecka, dalszy poród jest błyskawiczny. Do chwili wynalezienia, a właściwie udoskonalenia cesarskiego cięcia, poród często kończył się śmiercią matki, śmiercią dziecka lub – częściej – i matki i dziecka, a kończyłyby się śmiercią jeszcze częściej, gdyby nie pomoc innych (Trevathan, 2015). Wielkość noworodka, silnie skorelowana z wielkością czaszki, jest podawana w podręcznikach jako przykład selekcji stabilizującej, czyli preferującej wartości przeciętne: mniejsze od średniej noworodki miały w przeszłości niższe szanse przeżycia po urodzeniu, a większe od średniej noworodki mniejsze szanse przeżycia porodu (np. Futuyma, 2013).

Gdyby powyższe ograniczenie nie zostało przełamane, zapewne nie wyewoluowałby nasz gatunek. Sposobem na dalsze zwiększanie rozmiaru mózgu stało się przeniesienie większej części rozwoju tego organu do życia postnatalnego. Człowiek rodzi się ze znacznie mniej rozwiniętym mózgiem niż inne małpy człekokształtne, jest mniej samodzielny, rośnie wolniej i wymaga znacznie dłuższej opieki niż nasz najbliższy krewniak – szympan. Młode szympanse pomagają w opiece nad innymi młodymi już w wieku 10 miesięcy (Lawick-Goodall, 1971, tłum. polskie 1974), a rodzą pierwsze młode już w wieku średnio 11,5 (8,5–13,5) lat (Walker i in., 2018).

⁴ „Odtąd w bólu rodzić będziesz”, jak według Księgi Rodzaju usłyszał człowiek wypędzony z raj.

Powolny wzrost somatyczny człowieka wynika z braku dostatecznej ilości energii, drenowanej intensywnie przez mózg (Kuzawa i in., 2014). Ryzyko śmierci przed późnym uzyskiwaniem dojrzałości musiało być dawniej ogromne, co wskazuje, jak wielki zysk wynikał z posiadania większego mózgu.

Opóźnienie rozwoju, obarczone niewątpliwie kosztem ryzyka śmierci bez pozostawienia potomka i wielkim wysiłkiem rodziców, miało jednak także zalety: dłuższy był okres nauki, przede wszystkim zdobywania doświadczenia społecznego. Już sześćo- siedmioletki mogły uczestniczyć w sprawnym zbieraniu pokarmu; we wczesnym kapitalizmie takie dzieci szły często do pracy (np. Humphries, 2013). Nastolatki mogły uczestniczyć w polowaniu. Potrzeba było jednak szeregu lat do uzyskania dojrzałości społecznej. Podobnie jak dziś staramy się ograniczać pracę dzieci, by dać im szansę pełnego rozwoju umysłowego i społecznego, przedłużone dzieciństwo w przeszłości było zapewne motorem rozwoju społecznego.

Podsumowując, ciągła presja selekcji na zwiększanie grupy i komplikację interakcji społecznych przekładała się na selekcję w kierunku zwiększania mózgu, a więc idące za tym zwiększanie inteligencji. Mamy więc do czynienia z potężnym dodatnim sprzężeniem zwrotnym: większy mózg – wyższa inteligencja – bardziej wartościowy pokarm – możliwość utrzymania jeszcze większego mózgu – itd. Ważnym etapem tego procesu było opanowanie obróbki termicznej pokarmu. Problemy przy porodzie noworodków z dużą czaszką spowodowały przenoszenie coraz większej części osobniczego rozwoju mózgu na okres postnatalny, otwierając kolejne sprzężenie zwrotne: dłuższe dzieciństwo – wyższa inteligencja – komplikacja życia społecznego – nacisk na dalsze przedłużanie dzieciństwa. Wydaje się, że ten proces trwa do dziś, jeśli słowo „dzieciństwo” zamienimy na „zależność od rodziców”. Czy ten ostatni etap ewolucji

człowieka byłyby możliwe, gdyby nie powstał język? Duży i sprawny mózg połączony z długim dzieciństwem umożliwił też niebywałą sprawność manualną i emisję głosu, wymagającą dobrej koordynacji układu nerwowego i mięśniowego.

3. Język i myślenie

Nie jest moim zamiarem definiowanie, czym jest język. Wystarczy stwierdzenie, że język to coś więcej niż sposób porozumiewania się występujący u wielu gatunków zwierząt. Zapewne jeszcze przed powstaniem języka nasi przodkowie porozumiewali się przy pomocy gestów i dźwięków symbolizujących konkretne pojęcia. Język, ze swoim bogatym słownictwem i charakterystyczną strukturą gramatyczną jest czymś znacznie więcej. Nie ma w tej chwili w miarę zbliżonych poglądów ani co do etapów pośrednich, ani sił selekcji prowadzących do jego powstania. Przedstawione dalej poglądy mają charakter subiektywny, bez ambicji przedstawienia wyczerpującego przeglądu.

Moim zdaniem język mógł wyewoluować ze śpiewu (Kozłowski i Czarnołęski, 2016). O takiej możliwości wspomina już Darwin w swoim dziele *O pochodzeniu człowieka* (Darwin, 1871). Jeśli taki pogląd okazałby się słuszny, to nie Louis Armstrong byłby wynalazcą śpiewu bez słów (podobno zastosował ten rodzaj sztuki muzycznej, gdy upadły mu nuty z tekstem, a potem to się w jazzie przyjęło), ale nasi odlegli przodkowie. Śpiew, zwłaszcza zbiorowy, wymaga zachowania rytmu, a w tym człowiek jest mistrzem w świecie zwierząt (Gardenfors, 2010)⁵. Odstraszanie atakującego drapieżnika

⁵ Cytuję tutaj jedynie polską wersję, gdyż została ona w uzgodnieniu z autorem nieco zmieniona w stosunku do szwedzkiego oryginału.

mogło być pierwszym etapem. A potem, jak zwykle, seria dodatnich sprzężeń zwrotnych. Wyobraźmy sobie matkę zbierającą owoce, nasiona czy owady i jej nieco podrośnięte dziecko, niekoniecznie starające się już mieć matkę w polu widzenia przez cały czas. Jeśli matka śpiewa, dziecko zna jej pozycję i czuje się bezpiecznie. Jeśli dziecko śpiewa razem z nią, matka wie, gdzie jest dziecko i że jest w danej chwili bezpieczne. Skoro śpiew daje poczucie bezpieczeństwa, dlaczego nie próbować uspić dziecka przy pomocy kołysanki? Wspomnienie śpiewu dającego poczucie bezpieczeństwa towarzyszyło zapewne okresowi dojrzewania i dojrzałości. Dlaczego nie użyć takiego narzędzia w uwodzeniu? Przecież najpewniej także u partnera śpiew kojarzy się pozytywnie. Dlaczego nie przekazać w śpiewie informacji, najpierw prostych, z czasem coraz bardziej złożonych? Spory, czy śpiew powstał jako narzędzie uwodzenia, czy do usypiania dzieci, czy w jeszcze innym celu, np. koordynacji wspólnych działań (szanty), wydają mi się jałowe – jeśli śpiew powstał w swojej pierwotnej postaci i zaczął sprawiać przyjemność, mógł się już tylko udoskonalać ze wszystkich wymienionych i innych niewymienionych powodów. A wplatanie w śpiew informacji przetrwało do dziś podczas polowań z nagonką Pigmejów: gdy słucha się nagrania, nie ulega wątpliwości, że główną rolą śpiewu jest pozycjonowanie poszczególnych uczestników, ale co pewien czas ta monotonia jest przerywana śpiewnymi okrzykami mniejszych grup, zapewne informujących o napotkanych zwierzętach. Także dziś emisja głosu jest łatwiejsza w formie śpiewu niż mowy. Jeśli zdenerwowany jąkała nie może wypowiedzieć swej kwestii, najlepiej poprosić go, by ją wyśpiewał. Osoba jękająca się może nawet profesjonalnie zajmować się śpiewem, czego przykładem jest jeden z braci Golców. Další rozwój języka polegał głównie na tworzeniu metafor z istniejących pojęć i relacji, następnie wchłanianiu przez język takich me-

tafor jako kolejnych pojęć, tworzenie dalszych metafor itd. (Smith i Hoffer, 2015). Mamy tu zatem kolejne sprzężenie zwrotne dodatnie, tyle, że dotyczące już ewolucji kulturowej.

Kiedy mogła powstać mowa? Robin Dunbar, wnioskując na podstawie niezbędnych do tego zmian w szkielecie, takich jak odpowiednie ukształtowanie kręgów piersiowych, kanału nerwu podjęzykowego i kości gnykowej, umieszcza powstanie mowy mniej więcej 500 tys. lat temu, u naszego najprawdopodobniej bezpośredniego przodka *Homo heidelbergensis* (Dunbar, 2014). Zatem byłby tej zdolności pozbawiony wcześniejszy *Homo erectus*. Jednak Rappaport i Corbally (Rappaport i Corbally, 2016) uważają, że przynajmniej prajęzykiem musiał posługiwać się już *Homo erectus*. Moim zdaniem za taką hipotezą przemawia ogromny sukces ewolucyjny tego gatunku, który wywędrował z Afryki, jak pisałem wcześniej. Trudno wyobrazić sobie taki sukces bez w miarę sprawnego porozumiewania się.

Dlaczego wyewoluował język, to kolejne pytanie. Robin Dunbar (2014) dokonuje przeglądu najczęstszych hipotez. Choć nikt nie wątpi, że język służy wymianie informacji, istnieją spory, czy ważniejsza jest wiedza instrumentalna, czy społeczna. Przeważa pogląd, że społeczna, czego dowodem ma być to, że informacje o charakterze społecznym są dla większości ludzi łatwiejsze do zapamiętania. Najczęściej przytaczane wersje hipotezy społecznej to: wymiana informacji na temat relacji społecznych; czynienie formalnych ustaleń i obwieszczeń społecznych; przywabianie i utrzymywanie przy sobie partnerów. Podobnie jak w przypadku ewolucji śpiewu, tego rodzaju spory wydają się jałowe jeśli przyjmiemy, że język rozwijał się dzięki dodatnim sprzężeniom zwrotnym. Już prajęzyk służył zapewne po trochu wszystkim tym celom, stwarzając presję selekcyjną na dalszy rozwój języka.

Niewiele wiemy o tym, w jaki sposób myślą zwierzęta podejmując decyzje. Nie wiemy też do końca, jak my podejmujemy proste decyzje, na zasadzie impulsu. Jednak bardziej skomplikowane myślenie odbywa się bez wątpienia z pomocą języka. Dla optymalizacji wykonywania różnorodnych zadań istotne jest planowanie. Wydaje się, że w miarę rozwoju myślenia coraz ważniejsze było rozpatrywanie i porównywanie różnych scenariuszy, czyli tworzenie nieistniejących jeszcze potencjalnych historii. Jeśli chodziło na przykład o wybranie miejsca na polowanie, wystarczała wiedza o otaczającym świecie, miejscu występowania zwierząt, ich zachowaniu, zagrożeniach dla łowcy itp. Jeśli jednak chodziło o interakcje społeczne, konieczne było przewidywanie reakcji innych ludzi. Rozwinać się musiała zdolność zwana w psychologii teorią umysłu. Jej pierwszy stopień to „ja myślę...”, drugi, „ja myślę, że on myśli...”, trzeci, „ja myślę, że on myśli, że ja myślę...” i tak dalej, u małp do drugiego stopnia, u ludzi przeciętnie do piątego. Tak dobrze rozwinięta teoria umysłu pozwala już nie tylko na empatię (wystarczy drugi stopień), ale na stosowanie coraz bardziej skomplikowanej manipulacji innymi, i co ważniejsze, rozpoznawanie takiej manipulacji, gdy jest stosowana w stosunku do nas. Łatwo sobie wyobrazić istnienie swobodnego „ewolucyjnego wyścigu zbrojeń”, znów opartego na dodatnim sprzężeniu zwrotnym: coraz lepsze metody manipulowania – coraz lepsze metody rozpoznawania manipulacji – coraz lepsze metody manipulowania... Doniesienia, że w ostatnich latach informacje z Facebooka zostały użyte do manipulowania wynikami wyborów w kilku krajach, w tym USA, z zastosowaniem sztucznej inteligencji do badania lęków ludzi, co z kolei pozwoliło formułować odpowiednie hasła wyborcze, wskazują, że ewolucja już wprawdzie nie biologiczna, ale kulturowa, wcale się nie zakończyła.

Nie rodzimy się z umiejętnością mówienia. Początki są trudne i powolne. Dziecko żmudnie buduje swój wewnętrzny obraz świata, nazwijmy go modelem świata, poprzez własne zmysłowe doznania i ich porządkowanie. Niewiele wiemy o tym skomplikowanym procesie. W pewnym momencie dziecko potrafi już zadawać pytania i uzgadniać swój model rzeczywistości z modelami innych ludzi. Proces uczenia nabiera wtedy ogromnego przyspieszenia, a mózg pochłania ogromne ilości energii, jak pisałem wcześniej. Co ciekawe, rozwój programów opartych na sztucznej inteligencji oparty był początkowo na naśladowaniu tego drugiego okresu: tzw. sieć neuronowa (jako biolog wolę używać terminu „neuropodobna”) była trenowana. Obecnie sztuczna inteligencja w coraz większym stopniu przypomina ten pierwszy okres rozwoju osobniczego: dostatecznie złożonej sieci neuropodobnej dostarcza się dużej ilości informacji i pewnych ogólnych wskazówek, a sieć sama się uczy poprzez poszukiwanie reguł w morzu informacji. Te ogólne wskazówki odpowiadają w naszych mózgach temu, co z angielska nazywa się *hardware*, z czym już się rodzimy – nikt już chyba nie wierzy w mózg jako *tabula rasa*.

Dla sprawnego poruszania się w świecie niezbędne jest posiadanie w miarę poprawnego modelu tegoż świata oraz zdolność do generowania scenariuszy działania i możliwość w miarę bezbłędnego ich oceniania. Wewnętrzny model świata powinien być w miarę kompletny i spójny. Ponieważ zawsze brakuje nam pewnych informacji, wyewoluowała zdolność do wypełniania braków, nie zawsze w sposób w pełni racjonalny. Tak rodziły się osobiste przesady, które dzięki mowie i umiejętności opowiadania historyjek przekształcały się w mity. Mity całej wspólnoty mogły ją spajać, a więc proces samonapędzał się (znów dodatnie sprzężenie zwrotne: mity – większa spójność grupy – bardziej rozwinięte mity – jeszcze większa

spójność grupy itd.). Niewątpliwie rozmowy przy ognisku sprzyjały wypracowywaniu wspólnych poglądów, w tym przesądów i mitów, a czasem poprawnego modelu świata.

4. Trwanie w genach już nie wystarcza

Jedną z przyczyn tego, że wielu ludziom jest tak trudno zrozumieć darwinowską teorię ewolucji jest to, że losy pojedynczego osobnika są z punktu widzenia ewolucji zupełnie nieistotne. Liczy się przekazywanie genów, a każdy wariant genu znajduje się w populacji w bardzo wielu kopiach, z wyjątkiem sytuacji, gdy dany wariant powstał *de novo*. Cóż z tego, że miliony nasion brzozy nie wykiełkują, albo zginą siewki czy młode drzewka przed rozpoczęciem owocowania, jeśli jednemu uda się przetrwać i wydać plon milionkrotny? Istotne jest jedynie to, że nosiciele jednej wersji genu mają średnio tylko odrobinę większy sukces niż nosiciele innej wersji. Nieśmiertelność genów jest istotna, umieranie osobników nie ma znaczenia. W przypadku brzozy, trudno wyobrazić sobie lęk przed śmiercią. Większość zwierząt stara się uniknąć śmierci, co jest zrozumiałe – śmierć to utrata szansy na rozprzestrzenianie genów, ale tylko tyle, nie mają one żadnych jak się wydaje lęków egzystencjalnych. Są gatunki, u których śmierć jest zaprogramowana, na przykład ciało matki musi się rozerwać by uwolnić potomstwo lub rozwijające się potomstwo zjada matkę od środka. W takich sytuacjach matka, rzecz oczywista, nie będzie unikać śmierci. W miarę ewolucji naszego gatunku rosła jednak świadomość własnego „ja”, świadomość własnej unikalności, bo nie ma przecież dwóch identycznych ludzi. Choć realizowane poprzez posiadanie dzieci trwanie w genach było ciągle ważne, musiały pojawić się lęk przed zakończeniem własnego istnienia nawet wtedy,

gdy rodzenie lub płodzenie potomstwa ze względu na wiek było już niemożliwe. Ważnym celem pierwotnych religii było zapewne łągodzenie takich lęków. Wprawdzie duchy przodków mogą dokuczać, ale ich istnienie gwarantuje, że ze śmiercią nie wszystko się kończy – można stać się takim właśnie duchem. Do dziś w religiach szamańskich osobiste nieszczęścia, takie jak choroba, głód czy śmierć bliskich, są tłumaczone ingerencją duchów, które trzeba obłaskawiać, a na pewno nie drażnić. Niewidzialny świat duchów doskonale nadał się też do tworzenia mitów wyjaśniających zjawiska, których na tamtym etapie rozwoju ludzie nie umieli wyjaśnić racjonalnie (np. wschody i zachody słońca). Jak pisałem wcześniej, spójność i kompletność modelu świata wydaje się ważniejsza niż racjonalność.

Co ciekawe, pierwotne religie nie zajmowały się zasadami moralnymi (Noreazyan, 2013). Zapewne w stosunkowo małych grupach relacje opierały się na altruizmie krewniaczym i odwzajemnionym plus kilka tabu i wspólnie wypracowanych i zaakceptowanych reguł. Ponieważ wszyscy się znali, nie groziło niebezpieczeństwo wniknięcia do grupy tzw. jeźdźców na gapę (*free riders*) eksploatujących grupę. Dopiero rozrost społeczeństw wymusił wprowadzenie do wierzeń religijnych zasad moralnych i przypisanie bogu lub bogom funkcji wszechpotężnej kamery monitoringu („Bóg wszystko widzi”), by wymuszać, mniej lub bardziej skutecznie, przestrzeganie reguł społecznych przez poszczególne jednostki (Noreazyan, 2013). Interes całej społeczności jest przecież często sprzeczny z interesem jednostki.

Świadomość własnej indywidualności może prowadzić do decyzji nieoptymalnych z punktu widzenia rozprzestrzeniania genów. Wyobraźmy sobie dwie konkurujące strategie. Strategia A daje 20 potomków z prawdopodobieństwem 0,2, co oznacza, że 80% nosicieli tej strategii poniesie klęskę, ale średnio będzie wyprodukowanych czterech potomków. Strategia B daje 6 potomków z prawdo-

podobieństwem 50%, co oznacza, że tylko 50% nosicielei poniesie klęskę, ale średnio będzie produkowanych tylko trzech potomków. Powinna rozprzestrzeniać się w populacji strategia A jako bardziej skuteczna, i zapewne tak byłoby u prostych zwierząt. Jest jednak wysoce prawdopodobne, że ludzie będą chętniej wybierać strategię B, gdyż minimalizuje ona szansę indywidualnej przegranej (Kozłowski i Czarnołęski, 2016).

Powyższy przykład powinien uświadomić, że nasze mózgi nie są komputerami wyliczającymi optymalny sposób zachowania. W mózgach istnieje prosty mechanizm nagrody i kary. Nie uprawiamy seksu, by świadomie rozprzestrzeniać geny, lecz dlatego, że seks sprawia przyjemność. Nie jemy, by uniknąć śmierci, lecz dlatego, że głód sprawia dyskomfort lub ból, a sytość – uczucie przyjemności. Proste reakcje są wrodzone, co może prowadzić do ewolucyjnych pułapek. Dla naszych przodków cukier był pożyteczną rzadkością, spotykaną w niewielkiej ilości w owocach, dlatego jedzenie słodkich rzeczy sprawiało przyjemność. Dalej większość ludzi lubi słodkie, ale cukru jest pod dostatkiem i nadmiar może nam szkodzić. Podobnie z tłuszczem – mięso dzikich zwierząt jest bardzo chude, tłuszcz był więc słusznie pożądanym. Dziś jego nadmiar może szkodzić, a i tak lubimy jeść tłusto (Konarzewski, 2015). Opisane reakcje są wrodzone, ale układ nagrody i kary można też trenować, niestety zarówno w dobrym jak i złym kierunku⁶.

⁶ W fantastyczno-naukowej książce A. Huxleya *Nowy wspaniały świat* klonowane dzieci wychowywane na robotników były rażone prądem, gdy pokazywano im rzeczy piękne, na przykład kwiaty. W ten sposób zabijano w nich wrażliwość na piękno. Trochę mniej drastyczne zjawiska zdarzają się niestety przy wychowywaniu dzieci także w realnym świecie.

5. Wielki wynalazek ewolucyjny – plemię

Według Robina Dunbara (2014) hierarchia kształtowała się w pierwotnych grupach ludzkich następująco: (1) grupa wsparcia (*support clique*), zapewne najczęściej rodzina – przeciętnie około 5 osób, (2) grupa przyjaciół (*sympathy group*), zapewne najczęściej poszerzona rodzina – około 15 osób, (3) zespół lub grupa wspólnie nocująca (*band or overnight camp*) – około 50 osób, (4) klan – około 150 osób, megazespół (*megaband*) – około 500 osób, plemię (*tribe*) – około 1500 osób. Taka struktura wynika z potrzeby tworzenia koalicji i sojuszy. Grupa (2) to grupa przyjaciół, na których można liczyć, że w sytuacji konfliktowej przyjdą z pomocą. Podczas zbierania pokarmu grupy (2) przemieszczały się razem, choć kobiety miały tendencję do łączenia się w większe grupy, co wiadomo z obserwacji nielicznych do dziś lub niedawna żyjących plemion zbieracko-łowieckich. Przeciętnie trzy takie grupy łączyły się ze sobą, by spędzić noc, co zapewniało bezpieczeństwo i swobodne interakcje przy ognisku. Grupy wspólnie nocujące były dość labilne, ich składowe wymieniały się (Dunbar, 2014).

Klanowi przypisuje się różnorodne funkcje, przy czym najważniejszą wydaje się być obrona terytorium przed innymi grupami. Moim zdaniem klany odgrywały także pierwszorzędną rolę przy zawieraniu małżeństw, czym Dunbar się w sposób szczególny nie zajmuje. U wszystkich zwierząt socjalnych istnieje problem unikania *inbredu*, czyli chowu wsobnego, ze względu na jego genetyczną szkodliwość. Najczęstszym rozwiązaniem jest opuszczanie grupy przez osobniki jednej płci, przeważnie samce, choć u naszego najbliższego krewnego szympansa – samice (Pusey, 1990), z chwilą dochodzenia do dojrzałości. Skoro w liczbie siła, jest to ogromna strata dla grupy. Znacznie lepszym rozwiązaniem byłoby unikanie inbredu bez opusz-

czania grupy przez jedną z płci. Gdyby kojarzenie było losowe, grupa musiałaby liczyć około 500 osobników. Jednak w grupach ludzkich i praludzkich genealogia była znana, można więc było unikać kojarzenia w pokrewieństwie. Istnieje wręcz tabu kazirodztwa we wszystkich kulturach, choć nie jest w stu procentach skuteczne. Wydaje się, że przy takich warunkach grupa 150 osób jest wystarczająca dla wymiany partnerów bez ryzyka upośledzenia genetycznego z powodu chowu wsobnego.

Tworzenie większych grup (plemię i większe społeczności, takie jak organizmy państwowe) było i jest ograniczone do naszego gatunku. Musimy pamiętać, że po eksplozji demograficznej, która nastąpiła około 100 tys. lat temu, walki terytorialne musiały być intensywne. Prawdopodobnie przetrwały tylko te grupy ludzkie, które potrafiły wytworzyć plemiona. Plemię zajmuje duży teren, posiada wspólny język, wspólne mity i obyczaje. Spójność plemienia zapewniały święta, podczas których spotykali się przedstawiciele różnych klanów. Ponieważ przeciętne pokrewieństwo w obrębie plemienia jest niskie i nie mógł działać altruizm krewniaczy, zapewne zawierano też umowy regulujące stosunki pomiędzy poszczególnymi klanami, w tym dotyczące korzystania z zasobów. Najważniejszym zadaniem plemienia była wspólna obrona, nie w sytuacji drobnych konfliktów, bo wtedy siła klanu była wystarczająca, ale podczas wojen o terytoria z innymi plemionami.

6. W drodze ku globalizacji

Dlaczego mamy dziś do czynienia z tak szybkim postępem technicznym, a w przeszłości postęp ten był powolny lub niesłychanie powolny? Wszelkie uzdolnienia mają z grubsza rozkład normalny.

Oznacza to, że osoby bardzo zdolne w jakimś konkretnym kierunku w małych grupach pojawiały się bardzo rzadko. W dodatku takie osoby mają często deficyty w innym kierunku, mogą być nie najlepiej przystosowane do codziennego życia. Małe grupy nie były w stanie utrzymać „dziwaków”, ciągle wymyślających coś nowego, zamiast stosowania istniejących technologii.

Prawdziwy postęp wymaga wymiany myśli. Jak pisał John Ziman (1972), Robinson Crusoe mógł na bezludnej wyspie uprawiać sztukę lub religię, ale nie naukę. Szansa, że w małej grupie pojawi się równocześnie kilka osób uzdolnionych w tym samym kierunku, mogących wymieniać się myślami i pomysłami, jest praktycznie równa zero. Tak więc dla postępu, który można by już nazwać nauką, potrzebne były wielkie grupy, już nie plemiona, lecz państwa. W XX wieku nauka stała się aktywnością globalną. Nie powinniśmy się zatem dziwić, że jej rozwój tak drastycznie przyspieszył. Nie powinniśmy się też dziwić, że nasze ukształtowane w paleolicie mózgi nie zawsze nadążają za rozwojem nauki i techniki. Media społecznościowe są wykwitem postępu naukowego, ale ich popularność wynika stąd, że nasze paleolityczne mózgi są nastawione przede wszystkim na relacje socjalne.

Postęp naukowo-techniczny był też od pewnego momentu uzależniony od rozwoju matematyki. Jej powstanie i rozwój to kolejna zagadka ewolucji naszego gatunku, omówiona bardzo pobieżnie w następnym rozdziale.

7. Skąd się wzięła matematyka?

Zdolność człowieka do tworzenia matematyki to wielka ewolucyjna zagadka. Matematyka ma niewątpliwie coś wspólnego zarówno

z muzyką⁷⁸ jak i mową, gdyż matematyka jest specyficznym językiem. W tych trzech dziedzinach kreowane są potencjalnie nieskończone łańcuchy złożone z niewielu prostych symboli, możliwe do odczytania i powtórzenia przez odbiorcę. Jest wysoce prawdopodobne, że te trzy rodzaje aktywności są obsługiwane przez te same lub zbliżone obszary mózgu (Hauser i Watumull, 2016). Jeśli zwierzęta potrafią określać liczebność obiektów, to zapewne nie więcej niż do czterech, gdyż przeciętny człowiek potrafi bez liczenia intuicyjnie powiedzieć, czy mamy do czynienia z jednym, dwoma, trzema czy czterema obiektami, powyżej tej liczby zaczyna obiekty zliczać używając innych metod. Jest też w stanie śledzić niezależnie do czterech obiektów. To jeszcze nie matematyka, ale jakiś początek. Liczenie obiektów mogło mieć znaczenie przy uczciwym dzieleniu na przykład znalezionych przez grupę orzechów na wszystkich jej członków. Mogły tak być też odkryte liczby pierwsze – pewna liczba orzechów mogła być podzielona uczciwie tylko wtedy, gdy wielkość grupy była taka sama jak liczba orzechów (każdy dostawał po jednym, czyli liczba była podzielna przez 1 i siebie). Może nawet ułamki powstały przy podziale zdobyczy? Przecież nie zawsze liczba orzechów była podzielna przez liczbę ludzi. Porównywanie liczebności zbioru

⁷ Można znaleźć bardzo wiele artykułów na temat związków między muzyką i matematyką.

⁸ Studia nad związkami muzyki i matematyki prowadzone były już w starożytnych kulturach. W myśli zachodnioeuropejskiej znaczący wpływ na rozumienie związków matematyki i muzyki wywarły koncepcje wytworzone w szkole pitagorejskiej. Średniowiecze przejęło w dużej mierze starożytne podejście, czego zinstytucjonalizowanym wyrazem stało *quadrivium* traktowane jako zespół czterech nauk matematycznych, a wchodząca w ich skład muzyka była nauką o liczbach odnajdywanych w dźwiękach (Kasjodor, Izydor z Sewilli). Studia nad związkami muzyki i matematyki rozwinęły się znacząco w XX wieku pod wpływem rozwoju teorii muzyki jak i samej koncepcji nowej muzyki (zob. np. Brożek, 2002). Istnieje nawet czasopismo *Journal of Mathematics and Music* odnotowane m.in. na wysokiej pozycji w rankingu naukowych czasopism z zakresu muzyki bazy Scopus (przyp. red.).

rów mogło być pomocne przy ocenianiu szans w walce. Proste pojęcia geometryczne, być może nawet nie do końca uświadomione, pomagają w orientacji przestrzennej. Na przykład okrąg wyznaczać może to, do czego możemy sięgnąć ręką, albo okrąg światła ogniska. Prosta, to kierunek na przykład od domu do drzewa, a odcinek, to część tej prostej. Przyszłe badania wykażą zapewne, w jakim stopniu zwierzęta mają rozwinięty zmysł geometryczny, bo przecież doskonale orientują się w terenie: pies „zna” zapewne twierdzenie, że suma przyprostokątnych jest dłuższa niż przeciwprostokątna, bo zawsze ciągnie nas na skróty. W przypadku ludzi tabliczki z napisem „szanuj zieleni” nie zapobiegają wydeptywaniu ścieżek na skróty, bo czujemy dyskomfort nakładając drogi.

Tzw. kość z Ishango znajdująca się obecnie w Muséum des sciences naturelles w Brukseli, pochodzi sprzed co najmniej 22 000 lat (Brooks i Smith, 1987). Są na niej trzy kolumny nacięć. Pierwsza zawiera nacięcia będące liczbami pierwszymi 11, 13, 17, 19. Druga zawiera reguły mnożenia przez dwa: 3 i 6, 4 i 8, 10 i dwa razy 5. Czwarta zawiera zaś liczby 10+1, 10-1, 20+1, 20-1.

Matematyka rozwijała się wolno, krok po kroku, często te same odkrycia dokonywane były niezależnie w różnych kulturach. Jako przykład może służyć dodanie zera do zbioru liczb naturalnych. Nowe koncepcje matematyczne dodawane są jakby na szczycie piramidy utworzonej już wcześniej, co jest analogią do rozwoju języka poprzez metafory. Nie wydaje się, by do tworzenia i rozumienia matematyki potrzebne były inne struktury mózgu, jak te służące muzyce i mowie. Niezbędny jest jednak trening, przy czym nie da się

przeskakiwać etapów⁹. Trening ten, odbywający się w procesie edukacji, jest połączony z dużym wysiłkiem i nie każdemu wystarcza zdolności, motywacji i uporu, by wspiąć się na szczyt. Jest to zrozumiałe, gdyż matematyka przechodzi stopniowo od prostych relacji, dla których łatwo jest znaleźć odniesienia w realnym świecie, do coraz bardziej abstrakcyjnych pojęć. Indywidualne uczenie się matematyki jest w znacznym stopniu rekapitulacją historii matematyki.

Poza rozróżnianiem zbiorów kilkuelementowych i jakąś prymitywną geometrią zapisaną w naszych mózgach, matematyka jest wytworem kultury, nie biologii. Bez rozwoju matematyki nie rozwijałyby się cywilizacje, a postęp techniczny zatrzymałby się na niskim poziomie, albo był niezwykle powolny. Nie ma skuteczniejszego języka do opisywania skomplikowanych zależności niż język matematyki.

8. Konkluzja

W ewolucyjnej historii człowieka, od australopiteków do *Homo sapiens*, nie było gwałtownych przełomów. Prawdopodobnie stosunkowo szybko środowisko społeczne stało się ważniejsze niż środowisko przyrodnicze. Ewolucyjny rozwój praludzi, a potem ludzi, był napędzany przez szereg dodatnich sprzężeń zwrotnych. Najważniejszym z nich było sprzężenie: większy mózg – bardziej skomplikowane życie społeczne – nacisk selekcji na jeszcze większy mózg. Wzrastająca „moc obliczeniowa” mózgu umożliwiła powsta-

⁹ W naszym szkolnictwie nie powtarza się pierwszych klas. Może to być jedną z przyczyn postępującego analfabetyzmu matematycznego: gdy dziecko przejdzie do drugiej klasy nie opanowawszy materiału z matematyki z klasy pierwszej, może już dalej niewiele rozumieć. Rozwiązaniem byłaby indywidualizacja zajęć z matematyki.

nie i stopniowy rozwój języka, co spowodowało, że ewolucja kulturowa, oparta na niedarwinowskim mechanizmie, coraz bardziej dominowała nad ewolucją biologiczną. Obecny niesłychanie szybki rozwój naukowo-techniczny zawdzięczamy globalizacji nauki oraz wspomagananiu naszych mózłów przez komputery, w coraz większym stopniu posługujące się sztuczną inteligencją. Lepsze niż obecnie zrozumienie interakcji między ewolucją biologiczną i kulturową jest jednak niezbędne do wyjaśnienia „niesamowitych właściwości człowieka jako gatunku” (Bielicki, 2004).

Podziękowania Dziękuję dwóm anonimowym recenzentom za cenne uwagi do wcześniejszej wersji maszynopisu, jednak za wszelkie niedociągnięcia w obecnej wersji odpowiadam sam.

Bibliografia

- Bielicki, T., 2004. O pewnych niesamowitych właściwościach człowieka jako gatunku. *Nauka*, (1), ss. 57–63.
- Brooks, A. i Smith, C., 1987. Ishango revisited: new age determinations and cultural interpretations. *The African Archaeological Review*, 5, ss. 65–67.
- Brożek, A., 2002. Rozwój nauki a filozofia nowej muzyki. *Semina Scientiarum*, 1, ss. 43–51.
- Carotenuto, F. i in., 2016. Venturing out safely: the biogeography of *Homo erectus* dispersal out of Africa. *Journal of Human Evolution*, 95, 1–12.
- Darwin, C., 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. London: J. Murray.
- De Miguel, C. i Henneberg, M., 2001. Variation in hominid brain size: how much is due to method? *HOMO – Journal of Comparative Human Biology*, 52, ss. 3–58.

- Demuth, J. i in., 2006. The evolution of mammalina gene families. *PloS One*, 1, s. 85.
- Dunbar, R., 1996. *Grooming, Gossip and the Evolution of Language*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Dunbar, R., 2014. *Human Evolution*. London: Penguin Books, Ltd.
- Dunbar, R., 2016. *Człowiek. Biografia* (Ł. Lamża. Tłum.). Kraków: Copernicus Center Press.
- Dunbar, R., 2017. *Pchły, plotki a ewolucja języka* (T. Pańkowski. Tłum.). Kraków: Copernicus Center Press.
- Fodor, J. i Piatelli-Palmarini, M., 2010. *What Darwin Got Wrong*. New York: Picador.
- Fodor, J. i Piatelli-Palmarini, M., 2018. *Błąd Darwina* (M. Gokieli. Tłum.). Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Francis, 2014. *Address of His Holiness Pope Francis on the Occasion of the Inauguration of the Bust in Honour of Pope Benedict XVI (Plenary Session of the Pontifical Academy of Sciences)* [Online]. Dostępne na: <http://w2.vatican.va/content/francesco/en/speeches/2014/october/documents/papa-francesco_20141027_plenaria-accademia-scienze.pdf> [ostatni dostęp: 7 grudnia 2018].
- Futuyma, D., 2013. *Evolution*. 3 wyd. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Gamble, C., Gowlett, J.A.J. i Dunbar, R.I.M., 2014. *Thinking Big: How the Evolution of Social Life Shaped the Human Mind*. OCLC: 880685676. London: Thames & Hudson.
- Gamble, C., Gowlett, J.A.J. i Dunbar, R.I.M., 2017. *Potęga mózgu: jak ewolucja życia społecznego kształtowała ludzki umysł* (R. Kosarzycki. Tłum.). Kraków: Copernicus Center Press.
- Gardenfors, P., 2010. *Jak Homo stał się sapiens* (T. Pańkowski. Tłum.). Warszawa: Wydawnictwo Czarna Owca.
- Hauser, M.D. i Watumull, J., 2016. The Universal Generative Faculty: The source of our expressive power in language, mathematics, morality, and music. *Journal of Neurolinguistics* [Online], 43, ss. 78–94. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2016.10.005> [ostatni dostęp: 7 grudnia 2018].

- Hawks, J., Hunley, K., Lee, S.-H. i Wolpoff, M., 2000. Population bottlenecks and Pleistocene human evolution. *Molecular Biology and Evolution*, 17, ss. 2–22.
- Hershkovitz, I., Weber, G. i Quam, R., 2018. The earliest modern humans outside Africa. *Science*, 359, ss. 456–459.
- Humphries, J., 2013. Childhood and child labour in the British industrial revolution. *The Economic History Review* [Online], 66(2), ss. 395–418. Dostępne na: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0289.2012.00651.x> [ostatni dostęp: 7 grudnia 2018].
- James, S., 1989. Hominid use of fire in the Lower and Middle Pleistocene: a review of the evidence. *Current Anthropology*, 30, ss. 1–26.
- Jan Paweł II, 1996. *Message du Saint-Père Jean-Paul II aux membres de l'Assemblée plénière de l'Académie Pontificale des Sciences* [Online]. Dostępne na: <https://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/fr/messages/pont_messages/1996/documents/hf_jp-ii_mes_19961022_evoluzione.html>.
- Konarzewski, M., 2015. *Na początku był głód*, Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
- Kozłowski, J. i Czarnołęski, M., 2016. From ape to Einstein: some speculations on the evolution of morality, mind, and cooperation in humans. W: Stelmach, J., Brożek, B. i Kwiatek, Ł. red. *The Normative Mind*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Kuzawa, C., Chugani, H., Grossman, L. i Lipovich, L., 2014. Metabolic costs and evolutionary implications of human brain development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, ss. 13010–13015.
- Lawick-Goodall, J., 1971. *In the Shadow of Man*. London: Collins.
- Lawick-Goodall, J., 1974. *W cieniu człowieka* (G. Bujalska-Grüm i L. Grüm. Tłum.), seria: *Biblioteka Problemów*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Noreazyan, A., 2013. *Big Gods: How Religion Transformed Cooperation and Conflict*. Princeton: Princeton University Press.

- Pius XII, 1950. *Humani generis* [Online]. Dostępne na: <http://w2.vatican.va/content/pius-xii/en/encyclicals/documents/hf_p-xii_enc_12081950_humani-generis.html>.
- Pusey, A.E., 1990. Behavioural changes at adolescence in chimpanzees. *Behaviour*, 115(3), ss. 203–246.
- Rappaport, M. i Corbally, C., 2016. Did morality first evolve in *Homo erectus*? *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)*, 61, ss. 105–131.
- Robson, S.L. i Wood, B., 2008. Hominin life history: reconstruction and evolution. *Journal of Anatomy*, 212(4), ss. 394–425.
- Rosenberg, K. i Trevathan, W., 1995. Bipedalism and human birth: the obstetrical dilemma revisited. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 4(5), ss. 161–168.
- Schlebusch, C., Malmstrom, H. i Gunther, T., 2017. Southern African ancient genomes estimate modern human divergence to 350,000 to 260,000 years ago. *Science*, 358, ss. 652–655.
- Shimelmitz, R. i in., 2014. ‘Fire at will’: the emergence of habitual fire use 350,000 years ago. *Journal of Human Evolution* [Online], 77, ss. 196–203. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2014.07.005> [ostatni dostęp: 7 grudnia 2018].
- Smith, A. i Hofler, S., 2015. The pivotal role of metaphor in the evolution of human language. W: Vera, J. red. *Metaphor and Metonymy across Time and Cultures: Perspectives on the Sociohistorical Linguistics of Figurative Language*. Berlin: de Gruyter Mouton.
- Trevathan, W., 2015. Primate pelvic anatomy and implications for birth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 370, s. 20140065.
- Walker, K., Walker, C., Goodall, J. i Pusey, A., 2018. Maturation is prolonged and variable in female chimpanzees. *Journal of Human Evolution*, 114, ss. 131–140.
- Ziman, J., 1972. *Spółczesność nauki. seria: Biblioteka Myśli Współczesnej* (E. Krasieńska. Tłum.). Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.

Zink, K.D. i Lieberman, D.E., 2016. Impact of meat and Lower Palaeolithic food processing techniques on chewing in humans. *Nature* [Online], 531(7595), ss. 500–503. Dostępne na: <https://doi.org/10.1038/nature16990>.