

1000 000 000



MILIARD W ROZUMIE

Ludzki mózg opisują astronomiczne liczby. Składa się on z ok. 100 mld neuronów (komórek nerwowych), a jeden neuron tworzy średnio kilka tysięcy połączeń z innymi komórkami nerwowymi. Każdy z nas nosi więc w głowie niewyobrażalnie skomplikowaną sieć złożoną z ok. 100 bln (czyli stu tysięcy miliardów) połączeń.

W 2013 r. Unia Europejska przeznaczyła ponad miliard euro na 6-letni program pt. Human Brain Project, który ma doprowadzić do stworzenia najbardziej szczegółowej mapy ludzkiego mózgu oraz jego komputerowej symulacji. Z kolei prezydent Obama ogłosił, że w 2014 r. na projekt BRAIN Initiative (inna jego nazwa to The Brain Activity Map Project) wyasygnuje 100 mln dol.; wcześniej zapowiadał już, iż w ciągu 10 lat nakłady na badania nad mózgiem sięgną nawet 3 mld dol. Czy te miliardy euro i dolarów pozwolą wreszcie zrozumieć, jak działa ta neuronowa sieć będąca siedliskiem naszego ja, a więc niemal wszystkiego, czym świadomie i nieświadomie jesteśmy?

W tym wydaniu „Niezbędnika Inteligenta” chcemy opowiedzieć o wielkiej filozoficznej i naukowej przygodzie ludzkości z najważniejszym organem człowieka. Przede wszystkim pragniemy pokazać, co już o mózgu udało się, szczególnie w ostatnich dekadach, dowiedzieć. W tym także, dlaczego coraz częściej sprawia on nam poważne kłopoty, chorując albo uzależniając się niemal od wszystkiego. Wybiegamy również w przyszłość, badając możliwości stworzenia sztucznej inteligencji oraz przyglądając się uważnie, czy i jak Internet oraz inne wynalazki współczesnej techniki zmieniają nasze mózgi (i naszą o nich wiedzę).

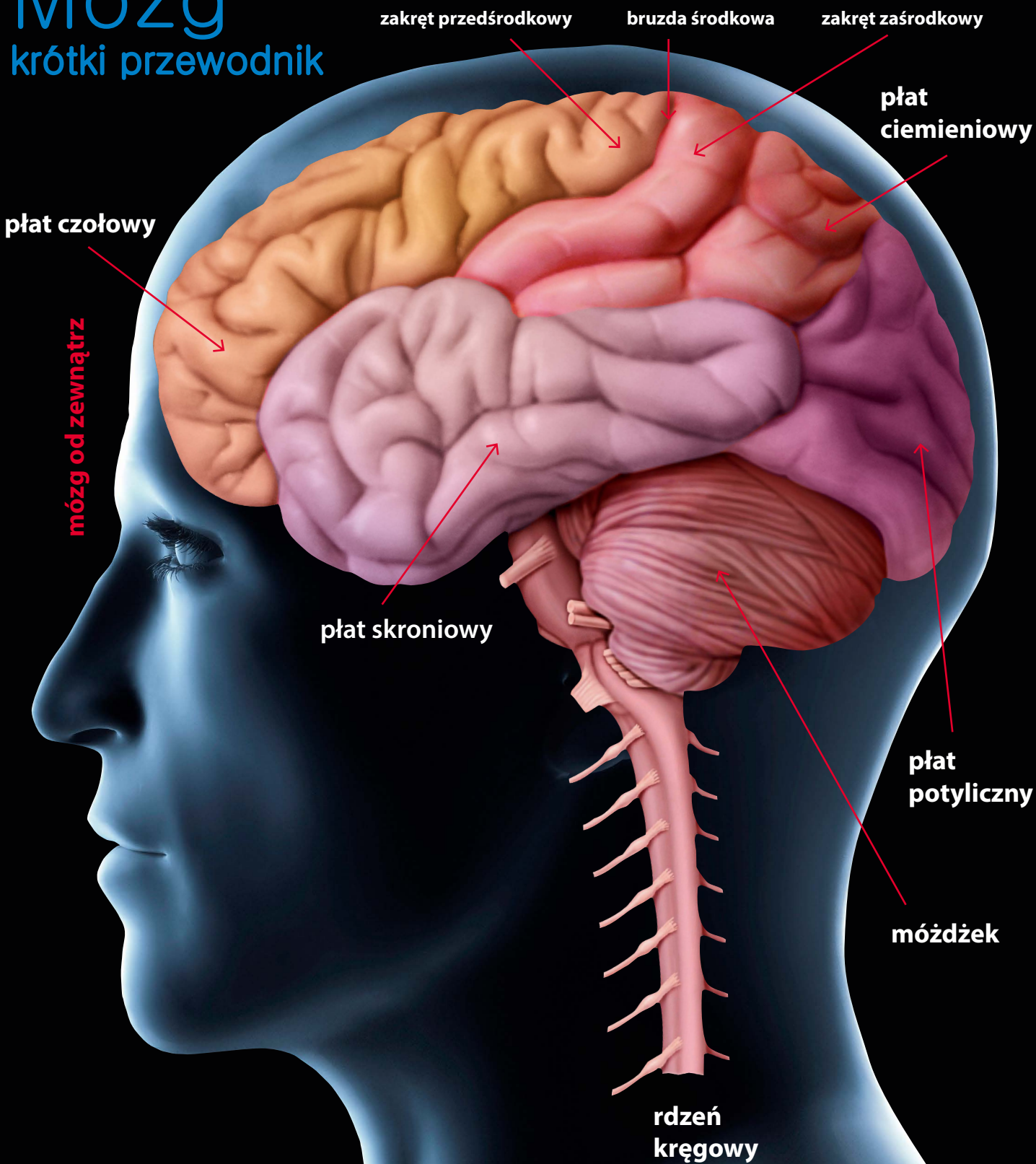
Nie chcemy jednak, by refleksja nad najbardziej skomplikowanym tworem we Wszechświecie ograniczała się do jego chemii, ewolucji, biologii czy futurologiczno-technologicznych rozważań. Dlatego oddajemy również głos filozofom umysłu, a nawet przyglądamy się, jak wiedza o mózgu wpływa na kulturę i popkulturę.

Oddajemy w Państwa ręce chyba najbardziej aktualne kompendium wiedzy na temat tej ledwie ponadkilogramowej galaretowatej masy w naszych głowach, w której zamyka się cały nasz świat. Zapraszamy zatem gorąco do odbycia fascynującej podróży ludzkiego mózgu w głąb samego siebie. Przewodnikami będą najlepsi polscy i zagraniczni popularyzatorzy nauki i uczeni.

MARCIN ROTKIEWICZ
dziennikarz działu naukowego tygodnika POLITYKA

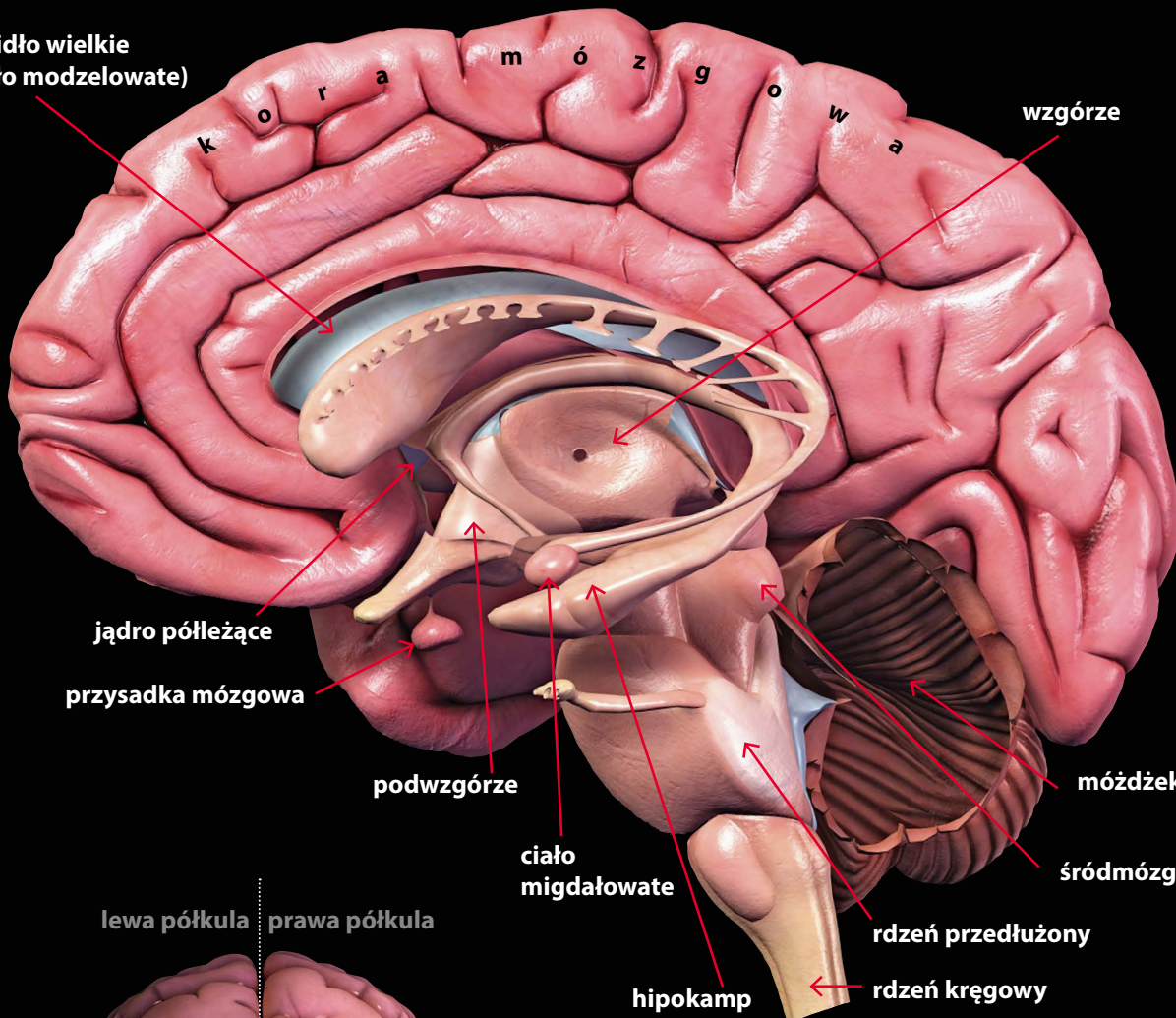
Mózg

krótki przewodnik



spoidło wielkie
(ciało modzelowate)

przekrój pionowy



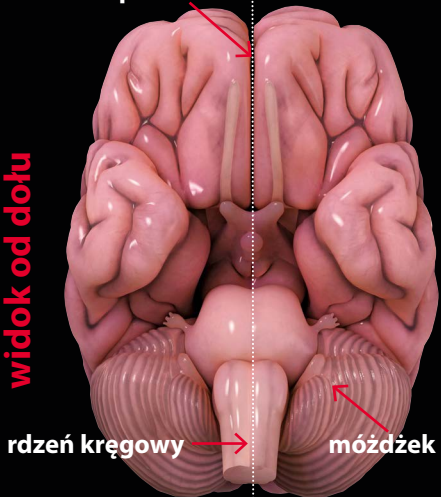
lewa półkula prawa półkula

widok od góry



szczelina podłużna

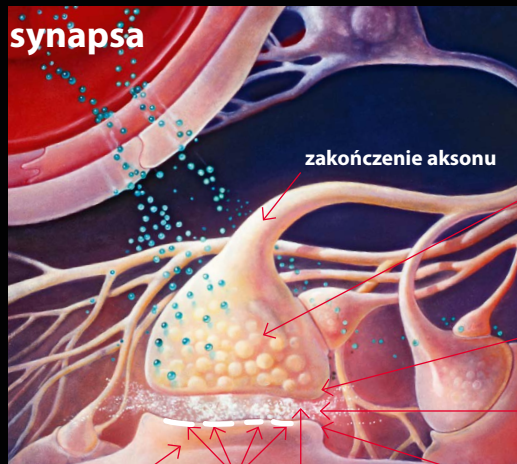
widok od dołu



neuron (komórka nerwowa)



synapsa



Mózg, krótki przewodnik 4

MÓZG POD MIKROSKOPEM

| | |
|--|----|
| Jak mózg powstał | 9 |
| Jak mózg poznawaliśmy | 13 |
| Jak mózg działa (i skąd o tym wiemy) | 17 |
| Po co do głowy zaglądamy | 20 |
| Jak mózg myśli | 24 |
| Czy mózg jest jeden | 26 |
| Na czym polega chemia mózgu | 28 |
| Czy mózg ma świadomość | 31 |
| Gdzie umysł się mieści | 34 |
| Jak działa pamięć | 37 |
| Co ma mózg do zmysłów | 40 |
| Czy mózg ma płeć | 44 |
| Co mózg robi podczas snu | 47 |
| Czy mózg odpoczywa | 50 |

MÓZG Z PROBLEMAMI

| | |
|------------------------------------|----|
| Zbrodniczy umysł | 53 |
| Smutek zwojów | 57 |
| Stary, jary? | 60 |
| Na haju, na złe i dobre | 63 |
| Kiedy krew zabija | 66 |
| Białkowa degeneracja | 68 |
| Więcej grzechów nie pamiętam | 71 |
| Niezapomniany H.M. | 74 |
| Trzy ciała i mózg | 78 |
| Genialni idioci | 80 |

MÓZG WIZJONERÓW

| | |
|----------------------------------|-----|
| AI | 85 |
| Groźba cyfrowej demencji | 88 |
| Mózg na pilota | 90 |
| Ciężkie roboty | 92 |
| Mózgowspomagacze | 95 |
| Zombie, mózg i popkultura | 99 |
| Lustrzana moralność | 103 |
| W poszukiwaniu wolnej woli | 106 |
| Bóg z głowy | 109 |
| To żadna tajemnica | 112 |

AUTORZY

Edwin Bendyk – dziennikarz działu naukowego tygodnika POLITYKA

Aneta Brzezicka – dr, pracuje w Interdyscyplinarnym Centrum Stosowanych Badań w Szkole Wyższej Psychologii Społecznej w Warszawie. Jest współtwórczynią specjalistycznej ścieżki dydaktycznej w SWPS – neurokognitywistyki. W pracy naukowej zajmuje się m.in. psychopatologią poznawczą, psychofizjologią i neuroobrazowaniem.

Irena Cieślińska – zastępca dyrektora Centrum Nauki Kopernik w Warszawie, popularyzatorka nauki

Agnieszka Krzemińska – dziennikarka działu naukowego tygodnika POLITYKA

Marek Matacz – z wykształcenia biotechnolog, dziennikarz specjalizujący się w popularyzacji nauki i techniki

Wojciech Orliński – dziennikarz „Gazety Wyborczej” specjalizujący się w popkulturze; autor książek poświęconych twórczości Stanisława Lema oraz opisujących współczesne Stany Zjednoczone

Katarzyna Paprzycka – dr hab., kierownik Zakładu Epistemologii w Instytucie Filozofii Uniwersytetu Warszawskiego i profesor nadzwyczajny tej uczelni. Doktorat obroniła w University of Pittsburgh w USA. Przedmiotem jej dociekań jest m.in. filozofia umysłu.

Marcin Rotkiewicz – dziennikarz działu naukowego tygodnika POLITYKA

Marcin Ryszkiewicz – dr, geolog i ewolucjonista, pracuje w Muzeum Ziemi PAN w Warszawie. Doktorat uzyskał na Uniwersytecie Piotra i Marii Curie w Paryżu. Jest autorem m.in. książek: „Ewolucja”, „Matka Ziemia w przyjaznym kosmosie”, „Przepis na człowieka”, „Ziemia i życie”, „Jak zostać człowiekiem – przepis ewolucyjny” oraz „Mieszkańcy światów alternatywnych, czyli historia naturalna rozumu”.

Krzysztof Szymborski – dr, fizyk, historyk i popularyzator nauki; wykładał w Skidmore College (USA), mieszka w Stanach Zjednoczonych; stale współpracuje z POLITYKĄ.

Jerzy Vetulani – prof. dr hab., psychofarmakolog, neurobiolog i biochemik, wykłada w Małopolskiej Szkole Wyższej im. J. Dietla w Krakowie. Wieloletni kierownik Zakładu Biochemii Instytutu Farmakologii PAN, autor kilkuset prac naukowych i popularnonaukowych oraz książek. Prowadzi blog pt. „Piękno Neurobiologii” – vetulani.wordpress.com.

Paweł Walewski – dziennikarz działu naukowego tygodnika POLITYKA

Olga Woźniak – dziennikarka popularyzująca wiedzę z zakresu neuronauk, nauk przyrodniczych, psychologii i medycyny. Właścicielka Prywatnej Szkoły Podstawowej Eureka, w której realizuje autorski program nauczania przedmiotów przyrodniczych.

W SERII NIEZBĘDNIKÓW INTELIGENTA UKAZAŁY SIĘ DOTYCHCZAS



Łącznie sprzedaliśmy ich już 240 tys. Wszystkie pozycje są jeszcze do kupienia w naszym sklepie internetowym www.skleppolityki.pl. Trzy poprzednie i obecny „NI” są też dostępne na iPadzie oraz dla abonentów Polityki Cyfrowej w Internecie www.polityka.pl/cyfrowa.

Neurokognitywistyka

– jedyne takie studia
w Polsce

Poznaj nowy wymiar psychologii

Mózg pozostaje dla ludzi wielką tajemnicą. Staram się ją odkryć, prowadząc badania naukowe. Obecnie opracowuję grę komputerową, która ma pomóc osobom starszym zachować sprawny umysł do późnego wieku. Taki fitness dla mózgu. Fundacja na rzecz Nauki Polskiej przyznała mi grant na realizację tego nowatorskiego projektu.

Anna Maria Wieczorek

Doktorantka w Interdyscyplinarnym
Centrum Stosowanych Badań
Poznawczych SWPS i w Instytucie Biologii
Doświadczalnej im. Marcelego Nenckiego,
absolwentka psychologii SWPS w Warszawie





MÓZG POD MIKROSKOPEM



JAK MÓZG POWSTAŁ

Wśród odpowiedzi na to podstawowe pytanie jest i taka, że wpływ miała radykalna zmiana diety. ❖ MARCIN RYSZKIEWICZ

Pokaźnych rozmiarów mózg człowieka to niewątpliwie jedna z wielu dziwacznych cech i ewolucyjnych zagadek gatunku. Jego wielkość bowiem powoduje niemal same problemy: podczas porodu główka dziecka z trudem przeciska się przez kanał rodny kobiety, stwarzając zagrożenie dla życia matki i noworodka. Później zaś narząd ten pochłania mnóstwo energii, zmuszając nas niejako do poszukiwania najbardziej wartościowego, a więc i najtrudniejszego do zdobycia pożywienia. Jest też bardzo czuły na przegrzanie – a ukształtował się przecież na afrykańskiej sawannie, nie tylko upalnej, ale i prawie pozbawionej cienia. W dodatku u gatunku specjalizującego się w długotrwałym biegu, który do tego słonecznego dodawał jeszcze ciepło generowane wewnątrz ciała.

Oczywiście można argumentować, że mózg to siedlisko inteligencji i rozumu, którym zawdzięczamy wielkie sukcesy ewolucyjne. To prawda, ale warto pamiętać, że wszystkie imponujące dzieła ludzkich mózgów (od sztuki naskalnej poczynając, a na łażkach marsjańskich kończąc – na razie) zaczęły pojawiać się dopiero ok. 50 tys. lat temu – 150 tys. lat po powstaniu gatunku *Homo sapiens* i 2 mln lat po narodzinach pierwszego wielkogłowego gatunku afrykańskiego hominida, zaliczanego umownie do *Homo erectus*. Nawet jeśli przyjmiemy, że mózg jest siedliskiem duszy, a jej dzisiejsze dokonania (i porażki) są na miarę wielkości tego siedliska, to problemem do wyjaśnienia pozostaje, dlaczego ukształtowało się ono tak absurdalnie wcześniej, na długo, zanim o ludzkich dokonaniach (i porażkach) mogliśmy zacząć marzyć. Zanim w ogóle mogliśmy marzyć o czymkolwiek.

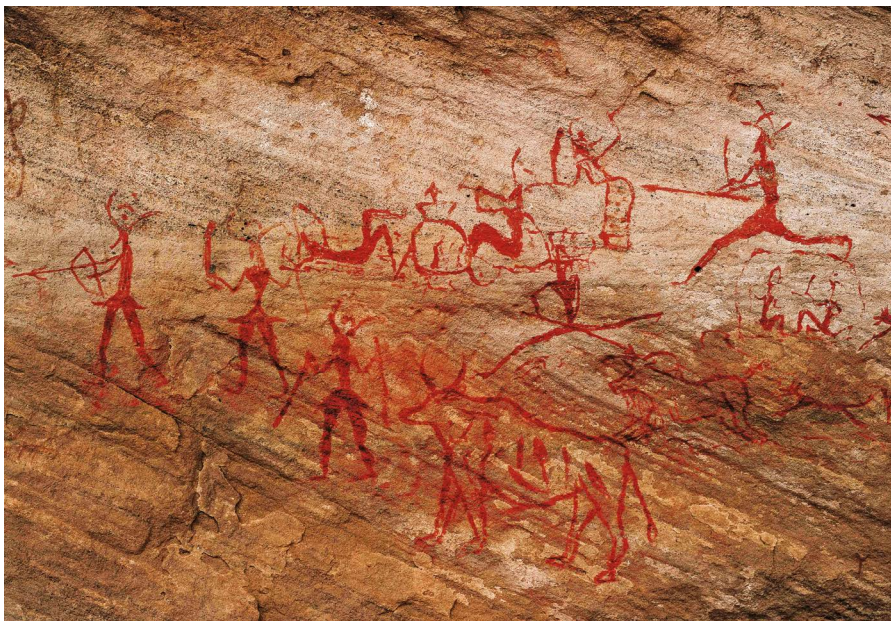
Do czego naszym przodkom potrzebne były tak duże mózgi? Ewolucja nigdy przecież nie planuje na zapas, nie wy-

posaża w narządy z nadzieją, że może kiedyś do czegoś się przydadzą. Co ją w tym przypadku do tego skłoniło? Nie mamy dziś jednej dominującej hipotezy wyjaśniającej tę zagadkę. Być może jednak przyjrzenie się warunkom, w których żyli nasi przodkowie przed kilkoma milionami lat oraz ścieżkom, jakimi podążała ich ewolucja, choć trochę uchyli rąbka tajemnicy.

Nowy dom, nowa dieta

Zacznijmy od tego, że należymy do tej grupy zwierząt – naczelnych – która na tle innych ssaków charakteryzuje się wyjątkowo dużymi mózgami. Wynika to z natury środowiska, w którym przyszło im żyć, i rodzaju bodźców, które do nich docierają i które muszą stale analizować i przetwarzać. Nadrzewne małpy żyją w trójwymiarowym świecie i – w odróżnieniu od ogromnej większości (naziemnych) ssaków – ich świat jest barwny i stereoskopowy. Oczy małp muszą pozwalać na precyzyjną ocenę wszystkich aspektów trójwymiarowej przestrzeni, czego bez nakładania się obrazów odbieranych przez każde z dwojga oczu osiągnąć nie można. Świat doznań wzrokowych małp tak się ma do świata większości innych ssaków, jak współczesny film 3D do filmów braci Lumière z końca XIX w. Jasne jest, że aparatura do ich obsługi i obróbki też odpowiada różnicom w liczbie szczegółów, które musi wziąć pod uwagę.

Ale to jeszcze nie tłumaczy, dlaczego mózg człowieka stał się aż tak wielki, zważywszy w dodatku, że ludzie akurat leśne środowisko opuścili. Być może klucz do rozwiązania zagadki znajduje się w przemianach, jakie ok. 2–3 mln lat temu zaszły wśród naszych przodków. Porzucili oni wówczas ostatecznie życie w dżungli lub na jej obrzeżu (wiodąc



naziemno-nadrzewny tryb życia) i podjęli niezwykle ryzykowną decyzję, by za swój nowy dom obrać afrykańską sawannę (dlaczego i jak to się stało, to osobna i dość skomplikowana historia, związana najpewniej z kurczeniem się lasów w tym czasie).

Ostateczne zejście z drzew wywołało lawinę zmian anatomicznych, behawioralnych i pokarmowych, a wszystkie one wpłynęły na charakter ewolucji. Przyjrzyjmy się diecie – zamiast owoców, których w lesie jest pod dostatkiem, sawanna oferowała mięso, które stało się ważnym elementem pożywienia – i tak nam zostało już do dziś. To nie znaczy, że staliśmy się mięsożercami jak kotowate ani tym bardziej że zyskaliśmy jakiegokolwiek adaptacje do aktywnego łowiectwa. Raczej przeciwnie. Niemniej ten istotny element diety wpłynął w zasadniczy sposób na całe nasze późniejsze losy, na zachowania, styl życia, psychikę i ogólnie na nasze człowieczeństwo.

Mięso bowiem, choćby nadpsute, ma kilka właściwości, których pokarm roślinny – zwłaszcza tak mało wartościowy i tak trudno przyswajalny, jak dominujące na sawannie trawy – nie posiada. Jest stosunkowo miękkie i nie wymaga zbyt długiego żucia, gdyż kwasy żołądkowe i bakterie przewodu pokarmowego łatwo sobie z nim radzą, nawet jeśli nie było przedtem rozdrobnione, a kęsy zostały połknięte w całości. Dzięki temu zarówno aparat zębowy, jak i układ pokarmowy mogą ulec redukcji, pozostawiając w ten sposób organizmowi więcej zasobów (miejsca i energii) na rozwój innych narządów, np. płuc albo – co dla nas szczególnie ważne – mózgu.

I istotnie – pierwsze prawdziwe hominidy sprzed ok. 2 mln lat, a więc istoty, które ostatecznie porzuciły lasy i anatomicznie bardziej przypominały nas niż małpy, wykazują się znaczną gracylizacją (delikatniejszą budową) szkieletu, w tym również szczęk. W naszym genomie zachowały się ślady wydarzeń z tamtych czasów – jeden z genów kontrolujących rozwój mięśni szczęk został wówczas dezaktywowany (i dziś występuje jako tzw. pseudogen – niefunkcjonalny już „duch” dawnego genu), co zaowocowało osłabieniem aparatu gryzienia, delikatniejszą budową samych kości szczękowych, a w konsekwencji i zębów. Nieoczekiwanym, ale potencjalnie rewolucyjnym efektem ubocznym tych mo-

dyfikacji było wygospodarowanie miejsca w czaszce na inne potrzeby, np. rozwój mózgu, który to narząd zyskał nowe możliwości ekspansji.

Zmieniły się także proporcje klatki piersiowej, której kształt ze stożkowego przybrał formę bardziej walcowatą. Zamiast wielkich brzuchów, zdolnych pomieścić długie jelita przystosowane do trawienia pokarmu roślinnego, zyskaliśmy rozrośnięte barki i szerokie plecy, lepiej nadające się do obsługi sprawnych i silnych rąk. Miało to ogromne konsekwencje w dalszej ewolucji gatunku.

Pożytki ze szpiku

Drugą istotną cechą mięsa jest bogactwo zawartych w nim związków odżywczych – białek, tłuszczów i wszelkich, często śladowych, domieszek substancji mineralnych, które się w nim zgromadziły. Jest też w zasadzie gotowym produktem spożywczym, a nie półproduktem, bo składa się z tych samych substancji, które budują nasze ciała; zjadając je, dostarczamy organizmowi składników odżywczych już przetworzonych przez inne zwierzę i odpowiednio poskładanych. Nie musimy ich oddzielnie poszukiwać, dobierać składników rozproszonych w różnych pokarmach, bo wszystko jest już gotowe i wymaga tylko włączenia do naszych ciał.

Mięsożercy stoją na szczycie piramidy pokarmowej, a przecież na jej kolejnych piętrach gromadzą się wszystkie cenne składniki, które zostały wcześniej pobrane i przyswojone. Gdy środowisko jest bogate, potencjalnej zdobyczy dla mięsożerców jest szczególnie dużo i mięso zawiera wszystko, czego potrzeba do życia. A wschodnioafrykańskie sawanny były miejscem szczególnym i nie brakowało tam niczego. Tutejsi mięsożercy należeli do uprzywilejowanej elity wśród ziemskich organizmów.

Poza mięsem z padliny, wychodzące na sawannę hominidy mogły liczyć na dwa inne źródła pożywienia, oba bardzo bogate w substancje odżywcze. Jednym z nich był szpik kostny dużych zwierząt, drugim podziemne części roślin: bulwy i kłącza. Szpik zawarty jest w trzonach kości długich, a te zbudowane są ze szczególnie grubej oraz zwięzłej tkanki i dlatego ich zawartość jest niedostępna dla większości



Malowidła naskalne sprzed kilkunastu tysięcy lat, od lewej: scena myśliwska, zwierzęta, zbieracz miodu. Być może obrazują więcej, niż nam się wydaje.

padlinożerców – by się do niej dostać, trzeba dysponować albo wyjątkowo potężnymi zębami, albo kamiennymi narzędziami.

Jednak nawet tak skuteczni padlinożercy jak hieny, gdy tylko mogą, unikają ryzyka połamania zębów na szczególnie twarde kościach i dzięki temu wydobywanie szpiku stało się domeną istot używających kamiennych narzędzi. Szpik jest przy tym pożywieniem wyjątkowym, bo jako tzw. tkanka macierzysta zawiera pełen zestaw substancji potrzebnych do tworzenia różnych typów komórek, w tym fosfor niezbędny do budowy tkanki mózgowej.

Szpik ma jeszcze jedną cenną właściwość – dłużej niż mięso zachowuje świeżość, bo dzięki hermetycznej osłonie kości nie dociera do niego powietrze ani bakterie. Rozbijając pozostawione przez drapieżców największe kości, zyskiwaliśmy dostęp do przebogaty zasobów zwykle świeżej żywności. Rozłupane kości dużych ssaków znane są z zapisu archeologicznego z afrykańskiej sawanny, z czasów pojawienia się najstarszych narzędzi kamiennych. Można sądzić, że z początku takie właśnie było najważniejsze zastosowanie tych narzędzi, zwłaszcza że nie wymagały one właściwie żadnej wcześniejszej obróbki – do tego celu nadają się nawet naturalne otoczaki.

Bulwy i ogień

Żyjąc na sawannie, mogliśmy korzystać z jeszcze jednego źródła zasobów, także niedostępnego dla większości zwierząt i także wyjątkowo bogatego. Rośliny na sawannie żyją w bogatym, lecz skrajnie sezonowym środowisku, i żeby przetrwać długie okresy suszy, muszą gromadzić zapasy w częściach podziemnych. Dlatego inwestują w różnego rodzaju kłącza i bulwy, gdzie gromadzą w skoncentrowanej postaci zapasy substancji odżywczych. Są to więc roślinne odpowiedniki najwyższych szczybli piramidy pokarmowej, dostępne – znów – tylko tym, którzy dysponują narzędziami (lub narządami) zdolnymi do wykopywania tych głęboko nieraz ukrytych w twardej ziemi skarbów oraz inteligencją pozwalającą je zlokalizować i zrozumieć ich znaczenie.

Jest bardzo prawdopodobne, że dwa tak odmierne źródła pokarmu – padlina i bulwy – wymagały podziału pracy i specjalizacji, a także wydaje się naturalne, że podział ten nałożył się na różnice między płciami: silniejsze i skłonne do ponoszenia większego ryzyka samce (a później mężczyźni) zajmowały się odnajdywaniem i przynoszeniem pokarmu mięsnego (w tym kości ze szpikiem), a słabsze i często obciążone dziećmi samice (kobiety) specjalizowały się w poszukiwaniu podziemnych części roślin. Współpraca ta musiała się opierać z jednej strony na więzach łączących samca i samicę, z drugiej oznaczała też istnienie większych grup, które razem wyruszały na poszukiwanie pożywienia i razem wracały do obozowiska ze zdobytymi łupami.

W kontekście tych anatomicznych, fizjologicznych, ekologicznych i żywieniowych przekształceń wspomnieć trzeba o jeszcze jednej, dosłownie prometejskiej rewolucji, jaką było ujarzmienie ognia. Ogień nie tylko ułatwia przyswajanie pokarmów, które bez niego byłyby trudne lub wręcz niemożliwe do zjedzenia, ale także udostępnia składniki trudno dające się wchłonąć podczas zwykłego trawienia. Zabija też pasożyty i patogeny, które się w spożywanym materiale zagnieżdżyły. W ten sposób wzbogaca dietę, również taką, która i bez tego jest dość bogata.

Są jednak jeszcze inne pozytywne z kulinarnych zastosowań ognia, a w tym przypadku właśnie te dodatkowe korzyści miały wręcz przełomowe znaczenie. Otóż obróbka termiczna pokarmu, skracając czas potrzebny na trawienie i dostarczając dodatkowych kalorii, zwolniła z potrzeby przeznaczania zbyt dużej części każdego dnia na poszukiwanie, rozgryzanie i trawienie pożywienia. Życie zwierząt, zwłaszcza roślinożernych, polega głównie na jedzeniu – ktokolwiek obserwował stada gnu czy zebra na sawannie, wie, że nie odrywają one właściwie nigdy pysków od ziemi. I nic dziwnego – trawa jest uboga w związki odżywcze i by ich odpowiednio dużo przyswoić, trzeba ją pochłaniać niemal bez przerwy. Na inne czynności pozostaje bardzo mało czasu. Podobnie wygląda codzienność naszych roślino- i owocożernych małpich krewnych.

Mięsożercy nie są tak zapracowani – jedno udane polowanie może zapewnić kalorie na cały dzień i więcej, a zwierzę-

ta, jeśli nie są bardzo młode, nie lubią się przemęczać i gdy wchłoną już wystarczająco dużą porcję pokarmu, po prostu zapadają w drzemkę. Na filmach z safari widzimy więc zwykle pasące się antylopy oraz śpiące lwy i tylko obrazy polowań wprowadzają nagły dramatyzm do tych monottonnych scen. Chyba że akurat obserwujemy młode osobniki – te zwykle pochłonięte są zabawą. Jeśli teraz odniesiemy te obserwacje do wczesnych *Homo*, nasuwa się pewna niezwykle konkluzja: mamy do czynienia z istotami, w których historii podaż kalorii nagle uległa zwielokrotnieniu.

Mózgowa lokata

W ten sposób stanęliśmy wobec rzadkiego w dziejach życia zjawiska nadwyżek w bilansie energetycznym, gdy wpływ energii mogły przewyższać jej wydatki. Nadmiar kalorii dał wczesnym ludziom wolny czas, ale i tak zostawało ich sporo, więc trzeba było je jakoś zagospodarować. W przypadku zwierząt żyjących w bogatych środowiskach taka sytuacja prowadzi zwykle do magazynowania energii pod po-

Koale czy kangury mają małe mózgi nie dlatego, że nie potrzebują inteligencji, tylko dlatego, że żyją w środowisku, które dostarcza nadzwyczaj mało kalorii.

12

stacją substancji zapasowych (np. tłuszczu – stąd charakterystyczne garby u mamutów) albo inwestowania w tzw. drugorzędne cechy płciowe, mające podkreślać zaradność i zasobność właścicieli (np. poroże u jeleni; jego wielkość, zdaniem wielu badaczy, jest niemal idealnym wskaźnikiem bogactwa środowiska).

Dla wczesnych ludzi, których styl życia zmuszał do częstego i wyczerpującego biegu na sawannie, nadmierne obciążanie ciała nie byłoby dobrym rozwiązaniem i w tym kontekście można zastanawiać się, czy wzrost mózgu, którego nagłe powiększenie się niemal dokładnie zbiegło się w czasie z ostatecznym zerwaniem z leśnym środowiskiem, nie był taką właśnie lokatą kapitału, inwestycją w narząd niezwykle energożerny, a zarazem lekki i w dodatku położony na osi wyprostowanego już ciała, więc w niewielkim stopniu zakłócający sprawność organizmu podczas długotrwałego biegu.

Rozwój mózgu rozpatruje się zwykle w kontekście korzyści, jakie przynosi inteligencja, która pozwala produkować coraz lepsze narzędzia, planować polowania, jest konieczna dla rozwoju mowy i tak dalej. Nie ma jednak żadnych dowodów, że którekolwiek z tych umiejętności były już obecne na początku sawannowego życia, nie można więc *a priori* odrzucić tezy, że rozwój mózgu był w większym stopniu skutkiem nadwyżek kalorycznych niż konsekwencją zapotrzebowania na inteligencję.

Ssaki drugiej kategorii

Koale czy kangury mają małe mózgi nie dlatego, że nie potrzebują inteligencji, tylko dlatego, że żyją w środowisku, które dostarcza nadzwyczaj mało kalorii – Australia jest najouboższym pod tym względem kontynentem na Ziemi. Dla-

tego konieczność oszczędzania energii obserwować można we wszystkich aspektach australijskiego życia, ale może najdramatyczniejsze są skutki tych oszczędności właśnie dla mózgu. W porównaniu ze ssakami łożyskowymi (a więc i ludźmi) wszystkie torbacze mają małe mózgi, co było jednym z powodów uznania ich za ssaki drugiej kategorii.

Choć w przypadku torbaczy i łożyskowców mamy do czynienia z zadziwiającymi wręcz przykładami ewolucyjnej konwergencji (powstawania podobnych cech), będącej efektem przystosowania się do zbliżonych warunków życia (co z kolei znalazło wyraz w ich analogicznych do łożyskowców nazwach rodzajowych – np. kret workowaty, mysz workowata, tygrys workowaty, wilk workowaty), to podobieństwo kończy się, gdy wkraczamy w obszar inteligencji. EQ (współczynnik encefalizacji, czyli coś w rodzaju zwierzęcego odpowiednika IQ, tyle że stosowany w odniesieniu do wielkości mózgu, a nie jakości jego wytworów, i do całych gatunków, a nie poszczególnych osobników) torbaczy jest w każdej z tych porównywalnych grup mniejszy niż u ich łożyskowych odpowiedników. Niechlubny rekord w tej dziedzinie dzierżą rozkoszne workowate misie koala, u których obie półkule mózgu skurczyły się tak bardzo, że nie przylegają już ani do siebie nawzajem, ani do i tak niewielkiej puszkii mózgowej. W sumie mózg koali wygląda jak silnie wysuszony orzech w łupinie.

Jeśli australijskie torbacze stanowią przykład negatywny zależności mózgu od środowiska, to przykładu pozytywnego dostarczyć mogą ssaki, które wtórnie przeszły do życia w morzu – delfiny i syreny. Choć bezpośrednio z ewolucją człowieka nie mają one żadnego związku, to porównanie ich EQ może, paradoksalnie, stanowić najlepszą wskazówkę dla wyjaśnienia przyczyn wzrostu objętości ludzkiego mózgu. Zważmy bowiem – delfiny, jak wczesne *Homo*, odżywiają się wyłącznie mięsem (ryb) i dzięki temu korzystają z całego bogactwa oceanu; syreny – jak australopiteki (nasi kuzyni i przodkowie żyjący między 5 a 1 mln lat temu), są roślinożercami (zjadają głównie trawy morskie i glony) i z pewnością nadmierne bogactwo pożywienia nie jest ich problemem. Jeśli teraz porównamy mózgi delfinów i syren, zobaczymy coś zadziwiającego. Mimo że mamy do czynienia z dwoma gatunkami zwierząt o opływowych, rybnych ciałach, niemal w niczym nieprzypominających swych łądowych przodków, za to bardzo podobnych do siebie nawzajem (konwergencja!), to budowa ich mózgow jest dramatycznie odmienna.

Delfiny są najbardziej umóżgowione ze wszystkich zwierząt, a skarłafy mózgu syren jest przy tej samej masie ciała trzykrotnie lżejszy od delfiniego. Przypomina to do złudzenia sytuację roślinożernych australopiteków i mięsożernych *Homo* w naszej linii rodowej i choć takie porównanie może wydawać się naciągane, dobrze ilustruje ono ekspansywny rozrost mózgu, jaki towarzyszył ekologicznej i pokarmowej zmianie w toku naszej ewolucji.

MARCIN RYSZKIEWICZ

Artykuł jest rozwinięciem wątków dotyczących ewolucji ludzkiego mózgu zawartych w najnowszej książce Marcina Ryszkiwicza „Homo sapiens. Meandry ewolucji”, wyd. CİS 2013.

JAK MÓZG POZNAWALIŚMY

Trochę trwało, zanim zrozumieliśmy, czym jest galaretowata substancja we wnętrzu naszej głowy. Dzieje badań nad mózgiem to historia mozolnego odkrywania kolejnych tajemnic najbardziej skomplikowanego z organów. ❖ AGNIESZKA KRZEMIŃSKA



U szy, nos, oczy i język – prawie wszystkie narządy zmysłów znajdują się w obrębie głowy. To w niej krążą nasze myśli, to ona bólem daje znać o chorobie. Znając skomplikowaną strukturę i znaczenie mózgu, chronimy go jak możemy, nosząc czapki, hełmy i kaski. Nasi przodkowie darzyli głowę szacunkiem, który okazywali w inny sposób – uprawiając kult czaszek. Polowanie na głowy i wyjadanie z nich mózgowi gwarantowało przejście cech zabitej ofiary.

Choć nieczuły na dotyk mózg nie wydawał się specjalnie istotny dla funkcjonowania organizmu, miał sporo substancji odżywczych, a o jego wartości symbolicznej decydowało umieszczenie w najbardziej zindywidualizowanej części naszego ciała. Czaszki przechowywano i przerabiano na puchary służące do obrzędów magicznych. Nawet chrześcijanie wierzyli, że wypicie wina z czaszki świętego zapewni odkupienie i zdrowie, a np. według pewnej szkockiej legendy ochroni przed epilepsją.

Dziurawe czerepy

Jeszcze powszechniejsza była wiara, że głowę zamieszkują demony, które sprowadzają na człowieka wizje i choroby. Dlatego na całym świecie praktykowano trepanacje czaszek. Najstarsze znalezione z intencjonalnie wydrążonymi otworami mają 7 tys. lat. Uzdrowiciel nacał i usuwał fragment kości w kształcie dysku. Ten religijno-leczniczy zabieg otwierał złemu duchowi drogę ucieczki, a człowieka uwalniał od jego wpływu. Trepanacje wykonywano do czasów nowożytnych, ale podczas gdy w pradziejach były one częste, to w antycznej i średniowiecznej Europie już mniej popularne. Nie istniały ogólnie przyjęte zasady dotyczące tego zabiegu. Znajdowane są czaszki z otworami mającymi

od 1 do 5 cm średnicy w różnych rejonach głowy (co mogło być związane w miejscu, które pacjentowi najbardziej dolegało). Bywało, że poddawano się zabiegowi kilkakrotnie. Ponad 2/3 pacjentów przeżywało

Ilustracja z „Philosophia naturalis” Alberta Wielkiego (1205–80). W pierwszej komorze mózgu umieścił on percepcję, w drugiej mądrość, w trzeciej pamięć.

operację, niektórzy żyli nawet kilka lat po jej wykonaniu, na co wskazuje stopień zablźnienia kości.

Starożytnym medykom udało się odkryć funkcjonowanie różnych ludzkich organów, jednak znaczenie mózgu, rdzenia kręgowego czy obwodowego układu nerwowego, mimo rozpowszechnienia trepanacji, długo pozostawało zagadką. W Biblii i Talmudzie nigdzie nie pojawia się informacja, że choroby mogą mieć związek z mózgiem. Podobnie w Egipcie, gdzie za najważniejszy ludzki organ uważano serce. Balsamiści wątrobę, płuca, jelita i żołądek konserwowali i wsadzali do specjalnych urn, zakonserwowane i owinięte bandażami serce na powrót umieszczali w klatce piersiowej mumii. Tymczasem mózg po prostu brutalnie usuwano z czaszki przez otwór nosowy lub oczodół i się go pozbywano.

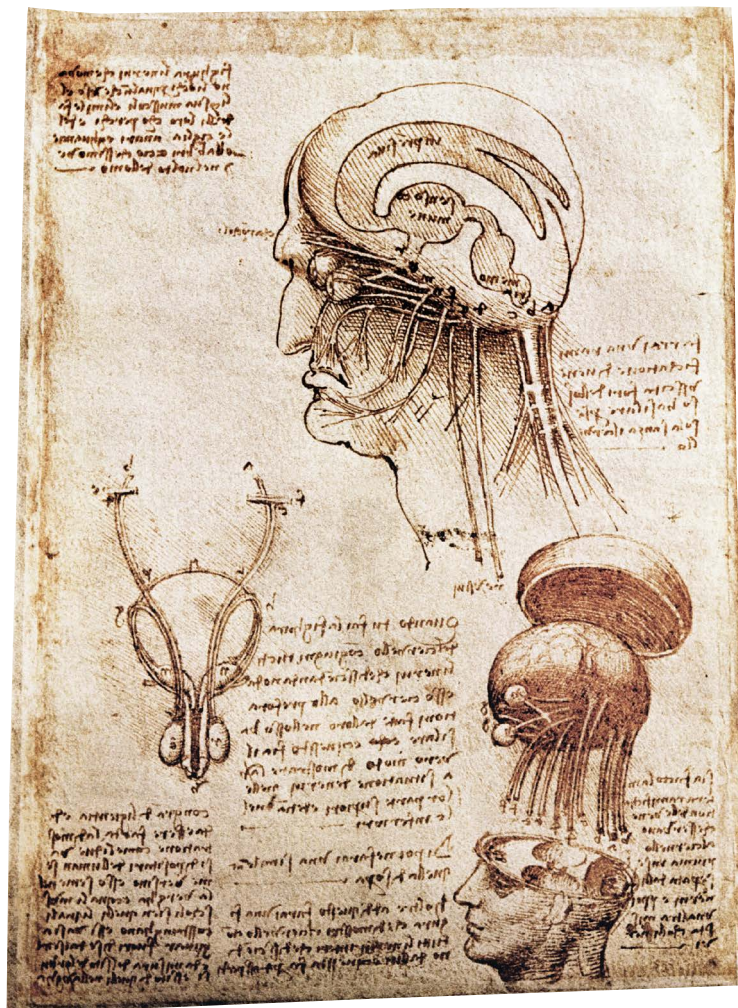
Mimo braku szacunku dla tego narządu najstarsza wzmianka o nim zachowała się na egipskim dokumencie medycznym. Na tzw. papirusie Edwina Smitha (tak nazywał się jego właściciel) z połowy XVI w. p.n.e. zapisano diagnozy, sposoby postępowania i prognozy u pacjentów z różnymi uszkodzeniami głowy, również takimi, które odsłaniają tkanki mózgu. Ale Egipcjanie, mimo niewątpliwego doświadczenia oraz możliwości praktykowania anatomii w pracowniach balsamistów, nie opisali ani wyglądu, ani nie postarali się o zrozumienie znaczenia tego organu. Zrobili to dopiero Grecy, choć ich największe antyczne odkrycia neurologiczne miały miejsce nad Nilem, w Akademii Aleksandryjskiej.

Narodziny anatomii

Być może już neandertalczyki wierzyli w istnienie niezależnej od ciała duszy, która może samodzielnie egzystować po śmierci, gdyż swoich zmarłych wyposażali w dary grobowe. „Cudownie byłoby zobaczyć własną duszę” – marzył Voltaire, ale starożytni też starali się znaleźć miejsce, gdzie mogłaby się kryć w naszym ciele. Grecy odróżniali żyły od tętnic, wierzyli, że wraz z jasną spienioną krwią transportowana jest też *pneuma* – tchnienie, siła życia, odpowiadająca za wszystkie procesy fizjologiczne.

Głównymi kandydatami na pomieszczenie dla *pneumy* były serce i mózg, ale podczas gdy stale bijący mięsień sercowy wydawał się taki żywy i wrażliwy na emocje, mózg robił wrażenie nieczułego. Arystoteles wyższość serca tłumaczył tym, że jego uszkodzenie kończy się natychmiastową śmiercią, a uraz mózgu nie ma tak drastycznych konsekwencji. Filozof sądził, że miękka masa w ludzkiej głowie służy jedynie jako rodzaj chłodziarki obniżającej temperaturę krwi. Większą wagę przywiązywali do mózgu Pitagoras, jego uczeń Alkmeon z Krotonu, Hipokrates oraz Platon. Ten ostatni rozróżniał nawet trzy aspekty duszy i podporządkowywał im organy: pożądaniu – wątrobę; dumie, odwadze, złości i strachowi – serce, a rozsądkowi – mózg.

Jako pierwszy mózg badał Alkmeon z Krotonu. Przeprowadzając sekcje zwłok zwierząt w VI w. p.n.e. stwierdził, że umieszczone w głowie narządy zmysłów wpływają na pamięć i wyobraźnię, które determinują wiedzę gromadzoną w mózgu. Dla Hipokratesa zaś mózg był przede wszystkim siedliskiem fenomenów psychicznych. Jednak za twórcę anatomii uważa się żyjącego na przełomie IV i III w. p.n.e. Herofilusa z Chalcedonu. Studia medyczne na najlepszej uczelni helleńskiej na Kos otworzyły mu drzwi do Akademii Aleksandryj-



Rysunki mózgu wykonane przez Leonarda da Vinci (1452–1519)

skiej, w której został szefem szkoły medycznej. Miał do dyspozycji laboratorium oraz nieograniczone środki.

Za zgodą faraona Herofilusowi dostarczano ponoć zwłoki, jak i żywych skazańców, na których naukowiec dokonywał wiwisekcji. Większość informacji na temat jego medycznych ustaleń pochodzi jednak z drugiej ręki, gdyż biblioteka aleksandryjska, w której było sześć jego wielkich dzieł, spłonęła w 48 r. p.n.e. Herofilusowi przypisuje się rozróżnienie nerwów motorycznych i sensorycznych (choć zdaje się, że często mylił je jeszcze ze ścięgnami), opisanie siatkówki oka, nerwów twarzowego i czaszkowych, komór mózgowych (czterech przestrzeni wewnątrz mózgowia, w których – jak dziś wiemy – powstaje płyn mózgowo-rdzeniowy), opon mózgowo-rdzeniowych, mózdzku i pofałdowania ludzkiego mózgu. On i jego uczeń Erasistratos z Keos sądzili, że to mózdzek odpowiada za myślenie.

Tchnienie w komorach

Kolejnym badaczem, który nie wzdrygał się na myśl o grzebaniu żywym stworzeniom w głowach, był żyjący w II w. rzymski medyk i anatom Galen. Ten autor ok. 350 medycznych traktatów oficjalnie zanegował przekonanie Arystotelesa o wyższości serca nad mózgiem. Odkryte przez niego nerwy wzrokowy i słuchowy dowodziły powiązania oczu i uszu z mózgiem, podobnie jak obserwacja,