14

Wykorzystuj swój mózg i wyciśnij z niego więcej

Nowe dowody na nowe neurony

Dlaczego półkula prawa niszczeje w procesie starzenia się szybciej niż lewa i co chroni półkulę lewą przed podzieleniem tego losu? Co sprawia, że półkula lewa jest „wiecznie zielona" przez wszystkie pory roku życia umysłu? Jaka jest biologiczna podstawa tej tajemniczej rozbieżności między dwiema połówkami mózgu? Czy możliwe jest, że wraz ze starzeniem się mózgu on się jednak odnawia, a ów proces odnowy z jakiegoś powodu przebiega sprawniej w półkuli lewej niż w prawej? Żeby sobie pomóc w znalezieniu odpowiedzi na te pytania, wróciłem do konferencyjnego holu i maszerowałem w tę i z powrotem, szukając danych umożliwiających sprawdzenie tego przeczucia.

Narząd nieużywany zanika – to wyświechtane porzekadło tradycyjnie odnosi się do świata sportu. Ale niedawno znalazło nowe zastosowanie w badaniach nad mózgiem. W ciągu ostatnich dziesięciu lat dokonano spektakularnych odkryć, które zmieniły nasze podstawowe założenia na temat tego, co się dzieje z mózgiem w ciągu życia, i postawiły na głowie część najświętszych przekonań neuronauki. Jeszcze dwadzieścia lat temu wierzyliśmy, że ludzie rodzą się ze stałą liczbą komórek nerwowych (neuronów) w mózgu, które stopniowo, wraz z wiekiem, obumierają, i żadna regeneracja nie jest możliwa. Po skończeniu studiów na Uniwersytecie Moskiewskim wiele lat temu odnosiłem się do tego stwierdzenia (ideologicznie agnostycznego i szeroko rozpowszechnionego po obu stronach Żelaznej Kurtyny) w żartach i ze sceptycyzmem jako do zasady NNN – Nie Nowym Neuronom!

Neuronaukowcy dostrzegli, że zasada NNN różniła mózg od całej reszty ludzkiego ciała, ponieważ większość pozostałych narządów ma zdolności regeneracyjne. Neuronaukowcy zauważyli również, że zasada NNN nie była wszechobecna, ponieważ od lat było wiadomo, że mózgi wielu gatunków ptaków i szczurów mają zdolność regeneracji.

Przez lata kilku naukowców-bluźnierców, jak Fernando Nottebohm i Joseph Altman, próbowało zwrócić uwagę społeczności neurobiologów na dane z badań nad zwierzętami i ich znaczenie dla terapii ludzkiego mózgu. Jednak ich wysiłki zostały zignorowane jako pozbawione wartości dla ludzkiego układu nerwowego. Sądzono, że ludzie są inni, że niezdolność do odnawiania neuronów jest ceną, jaką przyszło nam zapłacić za utrzymywanie neuronów starych, kodujących nabytą wcześniej wiedzę, wspomnienia i istotę naszego Ja.

Na pierwszy rzut oka brzmiało to jak niezłe ćwiczenie w „neuroteleologii", skoro, jak wcześniej wyczerpująco ustaliliśmy, ludzie zależą od wcześniej zgromadzonej czy wyuczonej wiedzy w znacznie większym stopniu niż inne gatunki. Ale jeśli się temu przyjrzeć bliżej, to argument ten okazuje się słaby, ponieważ z biegiem czasu i tak tracimy stare neurony, czy nam się to podoba czy nie. Neurolodzy i neuropsycholodzy doskonale wiedzą, że nawet u idealnie zdrowych osób skany CT czy MRI ich mózgów wyglądają inaczej w różnych momentach życia, sugerując pewien stopień utraty tkanki nerwowej. Jak już wiemy, w przebiegu normalnego procesu starzenia się utrata tkanki nerwowej zachodzi zarówno w korze nowej, gdzie są zawarte uogólnione wspomnienia umożliwiające rozpoznawanie wzorców, jak i w określonych strukturach podkorowych i wokół komór, przestrzeni położonych głęboko w mózgu, zawierających płyn mózgowo-rdzeniowy. Skoro kora nowa najwyraźniej nie zostaje w całości oszczędzona, to jedynym wyjaśnieniem, dlaczego jesteśmy w stanie przetrwać utratę tkanki nerwowej bez utraty głównej, wcześniej zgromadzonej wiedzy jest założenie, że nasze wspomnienia, a zwłaszcza te uogólnione, są magazynowane w sposób wysoce redundantny. Taką redundancję widzimy między innymi w ekspansji wzorca omówionej we wcześniejszych rozdziałach.

Aksjomat NNN, niewzruszony przez dziesięciolecia, wreszcie okazał się nie do obronienia w świetle prac Elizabeth Gould i innych naukowców, którzy wykazali istnienie nieustannej neuronowej proliferacji u kilku gatunków małp. Małpy są z nami zbyt blisko spokrewnione, by takie wyniki odrzucić jako pozbawione znaczenia. Dane te były szczególnie ekscytujące, ponieważ pokazały proliferację nowych neuronów w heteromodalnej korze asocjacyjnej płatów czołowych, skroniowych i ciemieniowych. Wykazano również, że nowe neurony powstają w ciągu całego życia także w hipokampie. Wszystkie te części mózgu są bardzo ważne dla złożonych procesów poznawczych i szczególnie wrażliwe zarówno na normalne procesy starzenia się, jak i na różne procesy otępienne, w tym chorobę Alzheimera. Odkrycia te, wskazujące na powstawanie nowych neuronów w korze nowej i innych strukturach mózgowych (również w hipokampie, tak ważnym dla powstawania nowych wspomnień) w ciągu całego życia, otwierają potencjalnie drogę dla bogatego wyboru terapii u ludzi.

Dziś wiemy, że stara maksyma: Nie Nowym Neuronom! po prostu nie jest prawdziwa. Nowe neurony bezustannie powstają z komórek macierzystych przez całe życie, nawet kiedy się starzejemy. Wobec tego nasz mózg ma zdolność regenerowania się i odmładzania. Wbrew długo utrzymującym się przekonaniom, neurony nie przestają powstawać w okresie dzieciństwa. Zdecydowanie nie; rozwijają się na przestrzeni całego życia, do dorosłości, a nawet wieku zaawansowanego.

Co więcej – i to jest szczególnie ważne – istnieje coraz więcej dowodów, że na rozwój nowych neuronów można wpływać przez aktywność poznawczą w sposób wcale nieodległy od tego, jak ćwiczenia fizyczne wpływają na przyrost tkanki mięśniowej. Pokazano to bardzo wyraźnie w eksperymentach prowadzonych w Salk Institute, jednym z najważniejszych centrów badań biomedycznych na świecie. Zaobserwowano znacznie większy przyrost nowych neuronów u myszy (nawet o ponad 15%), które przebywały w otoczeniu pełnym zabawek, kółek, tuneli i innych łamigłówek dla mysich móżdżków, niż u myszy pozostawionych samym sobie. Myszy ze wzbogaconego środowiska

uzyskiwały również dużą przewagę w różnorodnych testach badających gryzoniową inteligencję. Namnażanie się neuronów w wyniku ćwiczeń poznawczych było szczególnie wyraźne w hipokampie. Odkrycie to ma kolosalne znaczenie, ponieważ, jak już wiemy, hipokamp odgrywa bardzo ważną rolę w procesach pamięciowych i należy do tych struktur mózgu, które już na wczesnych etapach choroby Alzheimera są objęte patologią. Nic zatem dziwnego, że poziomy substancji chemicznych stymulujących wzrost nowych neuronów w mózgu także się podnoszą w wyniku ćwiczeń. Wykazano to dla substancji o nazwie BDNF (czynnik neurotropowy pochodzenia mózgowego).

Choć wiele z tych początkowych wyników uzyskano w badaniach zwierząt, zaczynają się pojawiać także bezpośrednie dowody dotyczące ludzkich mózgów, wywołując ogromne podniecenie w społecznościach naukowych i biomedycznych.

Niektóre ze współczesnych odkryć są naprawdę niesamowite. Wykazano na przykład, że nowe neurony bezustannie pojawiają się w hipokampie ludzi dorosłych. Odkrycie to, po raz pierwszy opisane przez szwedzkiego naukowca Petera Erikssona, jest często cytowane w literaturze związanej z badaniami nad mózgiem. Co więcej, nowe neurony pojawiają się nie tylko w zdrowych mózgach, ale także w mózgach osób z chorobą Alzheimera. Takie doniesienia z pewnością nadają nowego znaczenia maksymie „narząd nieużywany zanika". Rodzi się pokusa, żeby ją przeformułować na „z narządu używanego można wycisnąć więcej".

Pomysł, że aktywność umysłowa może zmieniać mózg, zyskuje coraz więcej wsparcia. Wiele prowadzonych obecnie badań tego obszaru przedstawiono w doskonałej książce Jeffreya Schwartza i Sharon Begley *The Mind and the Brain* (Umysł i mózg). Ale co dokładnie dzieje się w ludzkim mózgu w wyniku intensywnej umysłowej aktywności? Gdybyś zadał mi to pytanie dziesięć lat temu, powiedziałbym, że połączenia między neuronami stają się liczniejsze i silniejsze. To by oznaczało szybszy wzrost dendrytów i synaps oraz rozwój dodatkowych receptorów, do których przyłączają się cząsteczki

neuroprzekaźników. Powiedziałbym również, że przybywa małych naczyń krwionośnych dostarczających krwi (i za jej pośrednictwem tlenu) do różnych części mózgu.

I wciąż wszystko to mówię. Jednak miniona dekada przyniosła nowe, jeszcze bardziej szokujące odkrycia na temat plastyczności mózgu i tego, jak na przestrzeni życia podlega on bezustannym wpływom otoczenia. Wiemy o tym z badań (z udziałem zwierząt), które spowodowały prawdziwą rewolucję w naszym myśleniu na temat życia mózgu. Jak już wspomniałem, ćwiczenia poznawcze zwiększają tempo pojawiania się nowych neuronów w wielu strukturach mózgowych, w tym również w korze przedczołowej, obszarze szczególnie ważnym dla złożonych procesów decyzyjnych, oraz w hipokampie, strukturze przypominającej konika morskiego, szczególnie ważnej dla procesów pamięciowych.

Ponieważ wszystkie mózgi ssaków działają wedle tych samych fundamentalnych praw neurobiologii, mamy podstawy zakładać, że ludzki mózg również jest w stanie wytwarzać nowe neurony w ciągu całego życia. Ale czy istnieją bezpośrednie dowody, że tak właśnie się dzieje, i czy przyrost nowych neuronów może być stymulowany ćwiczeniami umysłowymi również u ludzi? Założenie to brzmiałoby kosmicznie nawet dziesięć lat temu, nie mówiąc już o dwóch dekadach wstecz, do takiego stopnia, że czułbym, iż moja inteligencja jest obrażana przez sam fakt rozmyślania o takiej ewentualności. I jakże bym się mylił!

Pierwsze dowody na to, że struktury mózgowe rzeczywiście mogą rosnąć, rzeczywiście mogą powiększać rozmiary w wyniku czynników środowiskowych nawet w skali makroskopowej, pojawiły się nie gdzie indziej, a ... wśród taksówkarzy. Dane są szczególnie uderzające ze względu na swoją prostotę i bezpośrednie znaczenie dla wyjaśnienia zjawiska. Odkryto, że hipokampy są szczególnie duże, znacząco większe niż u większości ludzi, u londyńskich taksówkarzy, których praca wymaga zapamiętywania bardzo licznych, bardzo złożonych tras i miejsc. Ponieważ hipokamp jest strukturą ważną dla pamięci,

a dobry taksówkarz w takim ogromnym mieście jak Londyn musi zapamiętać wyjątkowo dużą liczbę tras i lokalizacji, więc, żeby to tak ująć, jego hipokamp jest obciążany bardziej niż u innych ludzi, podobnie, jak ciężarowcy obciążają swoje mięśnie bardziej niż przeciętny człowiek. Co więcej, im dłużej taksówkarz pracuje w swoim zawodzie, tym jego hipokamp jest większy: wielkość hipokampa była wprost proporcjonalna do liczby lat spędzonych na wykonywaniu tej pracy. Sugeruje to bezpośrednią zależność między ilością aktywności poznawczej określonego rodzaju a wielkością struktur mózgowych zaangażowanych w ten rodzaj aktywności[1].

Wyniki dotyczące kierowców taksówek są niezwykłe z kilku powodów. Po pierwsze, ważna struktura neuronalna może się wciąż rozwijać i wzrastać w wieku dorosłym. Co więcej – i to jest szczególnie znaczące – wygląda na to, że wzrost struktury nerwowej jest stymulowany jej używaniem. Więcej lat spędzonych w danym zawodzie ogólnie zakłada, że człowiek jest starszy, co z kolei powinno sugerować obecność zaników w hipokampie. A jednak mamy do czynienia ze starszymi osobami, których hipokampy są większe w związku ze zwiększoną aktywnością umysłową określonego rodzaju. Efekty energicznej stymulacji poznawczej wydają się równoważyć i eliminować niekorzystne skutki starzenia się – niewykluczone, że w znaczącym stopniu.

Chociaż ćwiczenia umysłowe stymulują powstawanie nowych neuronów, inne czynniki mogą ten proces upośledzać. Jak się okazało, powstawanie nowych neuronów w dorosłym mózgu jest procesem zarówno delikatnym, jak i elastycznym. Może on zostać zakłócony przez między innymi stany zapalne mózgu – pojawiające się w chorobach tak różnorodnych, jak choroba Alzheimera, zespół otępienny z ciałami Lewy'ego czy w otępieniu towarzyszącym

1 Będąc pozbawionym samochodu mieszkańcem Manhattanu, bezustannie korzystającym z taksówek i bezustannie wspierającym zagubionych taksówkarzy radami, jak się nie zgubić, nie byłbym zbyt optymistycznie nastawiony do możliwości powtórzenia wyników uzyskanych w Londynie w grupie taksówkarzy nowojorskich. Ale Stary Świat jest zupełnie innym miejscem, w którym jeżdżenie taksówką, podobnie jak obsługiwanie gości w restauracji, jest traktowane i akceptowane jako odrębny zawód, a nie przystanek między nieudaną karierą aktorską a wygraną na loterii.

AIDS. (Wynika to najprawdopodobniej z niekorzystnego wpływu zapalenia na mózgowe komórki macierzyste, komórki „prefabrykaty", które później przekształcają się w najróżniejsze specyficzne neurony). Ale neurogeneza w dorosłych hipokampach zostaje przywrócona, kiedy udaje się opanować proces zapalny.

Wiedząc już, że ćwiczenia umysłowe stymulują wzrost nowych neuronów, jesteśmy gotowi zadać kolejne pytanie: jak specyficzne są to efekty? Mózg jest zróżnicowanym, heterogenicznym narządem. Różne części mózgu odpowiadają za różne funkcje umysłowe, a różna aktywność umysłowa angażuje różne obszary mózgu. Jeżeli ćwiczenia umysłowe, wykorzystywanie własnego mózgu, stymulują wzrost nowych neuronów, to całkiem rozsądnie można założyć, że różne formy aktywności umysłowej będą stymulowały taki wzrost w różnych częściach mózgu.

Na przykład, czy powiększenie hipokampa jest specyficzne dla działań wymagających pamięci przestrzennej, czy pewne struktury mózgu są selektywnie wrażliwe na określoną stymulację umysłową? Jakie będą mózgowe skutki innych form mentalnej aktywności opierającej się na kompletnie odmiennych funkcjach poznawczych? Idąc dalej tym tropem, jeżeli u taksówkarzy powiększa się hipokamp, to czy można z jakąś dozą prawdopodobieństwa zakładać, że lewy płat skroniowy (związany z funkcjami językowymi) będzie powiększony u pisarzy, płaty ciemieniowe (zaangażowane w operacje przestrzenne) u architektów, a płaty czołowe (wykonawcze) u odnoszącego sukcesy przedsiębiorcy? A może jest tak, że pewne wybrane struktury, być może należy do nich właśnie hipokamp, będą powiększone u wszystkich osób wykonujących zawody wymagające aktywności umysłowej, niezależnie od ich specyfiki, inne zaś struktury nie?

Skoro rozmaite rodzaje ćwiczeń umysłowych angażują różne części mózgu, można założyć, że będą również stymulowały powstawanie dodatkowych neuronów w różnych częściach mózgu. Dlatego pomysł, że stymulująca mózg aktywność poznawcza musi być przynajmniej częściowo specyficzna, nie jest

aż taki kosmiczny. Właściwie im bardziej się nad tym zastanowimy, tym bardziej sensownie zaczyna to wszystko brzmieć. Sensownie czy nie, czy jednak mamy bezpośrednie dowody, że taka zależność istnieje?

Dwujęzyczny mózg – i muzyczny umysł

W równym stopniu, w jakim londyńskie badanie było spektakularne, przez jakiś czas pozostawało też jedyne w swoim rodzaju. A jedno badanie to za mało, właśnie ze względu na swoją spektakularność. Im ambitniejsza teza naukowa, tym poważniejsze jej implikacje, tym wyżej poprzeczka, by została przez naukową społeczność zaakceptowana, i tym bardziej rygorystyczna będzie jej weryfikacja. To jedno z najbardziej nienaruszalnych praw nauki i dlatego wyniki taksówkarskiego badania spotkały się ze sporą dozą ostrożności.

Możesz sobie więc wyobrazić moje podniecenie, kiedy w ciągu kilku godzin spędzonych w holu konferencji poświęconej mapowaniu mózgu natknąłem się nie na jedno, ale na dwa podobne badania, oba wykorzystujące MRI. Wpisując się w ducha konferencji, pochodziły z dwóch różnych krańców świata.

Pierwsze badanie, przeprowadzone w londyńskim Wellcome Department of Imaging Neuroscience of the Institute of Neurology, przedstawiało pomiary wielkości zakrętu kątowego – obszaru kory, w którym stykają się płaty skroniowe, ciemieniowe i potyliczne. Jest to część heteromodalnej kory asocjacyjnej odpowiadającej za integrację bodźców napływających różnymi kanałami sensorycznymi: wzrokowym, słuchowym i dotykowym. Zakręt kątowy lewej półkuli odgrywa niebywale istotną rolę w procesach językowych, szczególnie w przetwarzaniu różnych konstruktów dotyczących zależności: przed/po, nad/pod, lewy/prawy, strona bierna, dopełniacz (zaimki dzierżawcze) itd. Wiemy to wszystko, ponieważ dysponujemy pokaźną liczbą obserwacji tego, co się dzieje, kiedy lewy zakręt kątowy zostanie uszkodzony, na przykład w wyniku udaru

czy rany postrzałowej. Uszkodzenie tej części mózgu prowadzi do poważnych zakłóceń języka, szczególnej postaci afazji. Zakręt kątowy należy do jednej z najlepiej zbadanych struktur mózgowych, a jego funkcje opisano w licznych naukowych artykułach i książkach, włączając klasyczną monografię mojego mentora, Aleksandra Łurii *Травматическая афазия.*

Autor badania Wellcome, młody człowiek, stojący nieco nerwowo przed swoim plakatem, zaoferował się, że go wyjaśni, i już po kilku sekundach obaj oddaliśmy się żywiołowej dyskusji. Okazuje się, że lewy zakręt kątowy zawiera zdecydowanie więcej istoty szarej u osób dwujęzycznych (władających biegle dwoma językami) niż u osób posługujących się tylko jednym językiem. Co więcej, istota biała znajdująca się pod istotą szarą cechuje się zwiększoną gęstością. Posługując się językiem zwykłych ludzi, chcę powiedzieć, że widzimy więcej neuronów i więcej połączeń nerwowych w lewej półkuli u osób posługujących się dwoma językami niż u osób, które mówią tylko w jednym języku.

Będąc osobą dwujęzyczną (tak naprawdę trzyjęzyczną – nie żebym się chwalił), pogratulowałem sobie posiadania większego zakrętu kątowego i zacząłem rozważać znaczenie tego badania. Istota szara składa się z neuronów i krótkich, lokalnych połączeń między nimi. Wyniki badania sugerują, że dodatkowa aktywność poznawcza prowadzi do zwiększania się liczby neuronów w pracujących obszarach korowych. Wskazuje również na możliwość, że dodatkowa aktywność poznawcza może stymulować powstawanie krótkich, lokalnych połączeń między neuronami.

Neurony nie rodzą się dokładnie tam, gdzie później pełnią swoje funkcje. Powstają wokół ścian komór bocznych jako niezróżnicowane komórki macierzyste. Następnie komórki macierzyste różnicują się w poszczególne rodzaje komórek nerwowych i wędrują do swoich miejsc docelowych w różnych częściach mózgu, w tym do kory nowej, a zatem bardzo daleko (w kategoriach przestrzeni mózgowej) od miejsca narodzin. Wygląda więc na to, że migracja neuronów jest, przynajmniej częściowo, regulowana aktywnością poznawczą,

determinującą nie tylko to, ile nowych neuronów powinno zostać wytworzonych, ale również dokąd mają się one udać.

Ale to nie wszystko. Nie tylko osoby dwujęzyczne mają więcej istoty szarej w swoich zakrętach kątowych niż mówiące tylko w jednym języku, ale także ich istota biała w półkuli lewej ma większą gęstość. Istota biała składa się z długich, zmielinizowanych włókien nerwowych, odpowiedzialnych za łączenie oddalonych od siebie obszarów korowych. Wszystko wskazuje na to, że dodatkowa aktywność poznawcza stymuluje także powstawanie długich połączeń nerwowych. Ma to nie mniejsze znaczenie niż liczba neuronów, ponieważ złożone funkcje mózgowe są rezultatem skomplikowanych interakcji między ogromną liczbą neuronów położonych zarówno niedaleko siebie, jak i w znacznej odległości, a w takich interakcjach pośredniczą właśnie łączące je szlaki. Im gęstsza sieć takich połączeń, tym większa funkcjonalna wydolność całej sieci neuronowej. Co więcej, osoby dwujęzyczne zdają się mieć większą gęstość istoty białej niż osoby jednojęzyczne nie tylko w półkuli lewej, ale także w prawej. Wynik ten wskazuje, że półkula prawa ma znaczenie w nabywaniu drugiego języka, co współgra z omawianym na wcześniejszych stronach książki badaniem osób dwujęzycznych wykorzystującym techniki funkcjonalnego neuroobrazowania.

To badanie naprawdę jest perełką, również dlatego, że objęło osoby dwujęzyczne, które opanowały drugi język na wczesnym etapie życia, i takie, które nauczyły się go później. Przyrost istoty szarej w porównaniu z osobami posługującymi się jednym językiem jest widoczny w obu grupach osób dwujęzycznych. Znaczy to, że wzmacniające mózg skutki aktywności poznawczej nie ograniczają się do młodego wieku. Zachodzą także na późniejszych etapach życia.

Kolejne badanie porównywało wielkość obszaru korowego znanego jako zakręt Heschla u zawodowych muzyków i osób z muzyką niezwiązanych (do których można zaliczyć większość z nas). Ten obszar korowy ma podstawowe znaczenie dla przetwarzania dźwięków. I – zgaduj-zgadula – zakręt Heschla jest

dwukrotnie większy u muzyków niż u niemuzyków. Co więcej, im intensywniej w ciągu ostatniego dziesięciolecia przed badaniem ktoś się muzyką zajmował, tym większy był jego zakręt Heschla. Ponownie zależność między aktywacją poznawczą i specyficznymi obszarami mózgu jest wyraźna i uderzająca.

Jakby tego było mało, kilka miesięcy później w czasopiśmie *Nature*, jednym z najbardziej szanowanych czasopism naukowych na świecie, opublikowano wyniki badania MRI ukazujące zmiany w mózgu żonglerów. Zdrowi ochotnicy, niemający żadnych wcześniejszych doświadczeń z żonglowaniem, przez trzy miesiące ćwiczyli żonglowanie trzema piłeczkami. W rezultacie treningu opanowali oni tę czynność w stopniu umożliwiającym utrzymanie piłeczek w powietrzu przez przynajmniej sześćdziesiąt sekund. Kiedy porównano skany ich mózgów wykonane przed treningiem i po jego zakończeniu okazało się, że w płatach skroniowych obu półkul i w płacie ciemieniowym lewej półkuli przybyło istoty szarej. Wraz z zaprzestaniem ćwiczeń efekt stopniowo zanikał i przyrost istoty szarej w płatach ciemieniowym i skroniowych stopniowo się redukował. Było to wyraźnie widoczne na trzecim skanie MRI wykonanym trzy miesiące po przerwaniu ćwiczeń w żonglerce. Wpływ ćwiczenia umiejętności na powstawanie nowych neuronów w bardzo specyficznych częściach mózgu można było wykazać nawet w krótkim czasie.

Adwokat diabła rzekłby, że muzycy stają się muzykami, ponieważ rodzą się z większym zakrętem Heschla, co sprawia, że mają talent muzyczny. I czyż nie może być tak, że u taksówkarzy dochodzi do naturalnej selekcji polegającej na tym, że ci urodzeni z większymi hipokampami lepiej sobie w tej pracy radzą, ponieważ lepiej zapamiętują złożone trasy? Albo czy nie brzmi wiarygodnie, że osoby urodzone z większymi zakrętami kątowymi mają większy talent językowy i w związku z tym opanowują ich więcej? Choć biologia w znacznej mierze kształtuje nasze losy, to jednak „imperatyw przeznaczenia" nie wyjaśnia wszystkiego. Nie może na przykład wyjaśnić, dlaczego wielkość hipokampów, zakrętów Heschla czy zakrętów kątowych oraz innych części mózgu jest dodatnio skorelowana z czasem poświęcanym na

ćwiczenie danych umiejętności poznawczych. I z pewnością nie może wyjaśnić szybkiego i odwracalnego wpływu żonglowania na mózg. Korelacje te wskazują na istnienie sporej przestrzeni do zabawy z biologią, pokazują, że biologia wyznacza pewien zakres ekspresji (a nie określonej stałej) dla każdej zdolności, i że to, w jakim miejscu owego zakresu rzeczywiście się znajdziemy, zależy od nas – i od tego, co zrobimy z naszym mózgiem i sobą.