

Problem w tym, że to odkrycie wcale nie jest takie pomocne w próbach ustalenia, *co* tak naprawdę neurony lustrzane robią u makaków i u ludzi. Aby odpowiedzieć na to pytanie, musimy zagłębić się w ideę symulacji motorycznej jako podstawy rozumienia działania. A gdy już zaczniemy kopać, znajdziemy tam trochę problematycznych anomalii.

#### 4. Anomalie

Kiedy spojrzysz w niebo, wygląda to tak, jakby Słońce kręciło się wokół Ziemi. Wrażenie, że Ziemia znajduje się w centrum, jest tak nieodparte, iż trudno się dziwić, że teoria geocentryczna na wieki zdominowała filozofię, naukę i religię. Jednak z biegiem czasu astronomowie zauważali anomalie, które nie pasowały do tej teorii. Podstawową nieprawidłowością była retrogradacja planet\*. Obiekty na nocnym niebie, w tym także gwiazdy i planety, poruszają się w ciągu nocy ze wschodu na zachód. Jednak planety obserwowane przez kilka nocy z rzędu wydają się poruszać *względem gwiazd* z zachodu na wschód. To właśnie temu mechanizmowi planety zawdzięczają swoją nazwę, pochodzącą od greckiego słowa oznaczającego „wędrówki gwiazd”. Co jakiś czas zdarza się, że planety na kilka tygodni zmieniają swój kierunek w stosunku do gwiazd. Ten nietypowy ruch wsteczny nie ma sensu z perspektywy modelu nieba, w którym wszystkie ciała niebieskie krążą wokół Ziemi.

W drugim wieku Ptolemeusz zaproponował zawile rozwiązanie tego problemu, podtrzymujące geocentryczną wizję. Zgodnie z tym rozwiązaniem orbity planet są zorganizowane wokół wielu koncentrycznych sfer, a nie uporządkowanych

\* Czyli pozorny ruch wsteczny (przyp. tłum.).

kolistych orbit. Jednak w XVI wieku retrogradacja planet ostatecznie umocniła heliocentryczną teorię Kopernika. Umieszczając w środku orbit planet Słońce, Kopernik pokazał, że zadawalająco nieskomplikowane orbity mogą być spójne z retrogradacją planet, ponieważ ruch wsteczny jest tylko *pozorny*, a nie prawdziwy. Planety wydają się zmieniać kierunek swojego ruchu, ponieważ obserwujemy je z miejsca, które również się porusza. Kiedy Ziemia wyprzedza inną planetę, w podobny sposób jak samochody wyprzedzają się na autostradzie, planeta ta wydaje się poruszać wstecz.

Co ta historia ma wspólnego z neuronami lustrzanymi? Ilustruje ona bardzo duży wpływ zdroworozsądkowej intuicji. Z racji tego, że intuicyjnie teoria geocentryczna tak bardzo pasuje do obserwowanego gołym okiem faktu, że Słońce porusza się po niebie, wieki zajęło zrozumienie, o co tak naprawdę chodzi. Podobnie może być z neuronami lustrzanymi, które aktywują się zarówno wtedy, gdy małpa wykonuje jakieś działanie, jak i wtedy, gdy obserwuje podobne działanie innych. Biorąc pod uwagę ten rzucający się w oczy fakt, neurony lustrzane *muszą* brać udział zarówno w generowaniu ruchów, *jak i* rozumieniu działania innych. Jednak pojawiają się tu pewne anomalie. Kilka z nich zostało opisanych w poprzednim rozdziale, jak na przykład to, że ludzki i małpi system lustrzany zdają się działać nieco inaczej, utrudniając wnioskowania międzygatunkowe. Gdy zaczniemy dokładniej przyglądać się dowodom, możemy zobaczyć znacznie więcej.

### Anomalia 1: percepcja mowy bez motorycznego systemu mowy

Rozwijana w latach pięćdziesiątych motoryczna teoria percepcji mowy stanowiła główną inspirację dla teorii rozumienia działania poprzez neurony lustrzane (szczegóły tej historii pojawiają się w rozdziale 5). W skrócie, teoria motoryczna dowodzi, że odbieramy mowę nie poprzez rozpoznawanie dźwięków, jak mogłoby się wydawać, ale przez identyfikowanie gestów toru głosowego, które generują te dźwięki. Po pierwszych eksperymentach z małpami w 1992 i 1996 roku, zaczęto uznawać neurony lustrzane za możliwe neuropsychologiczne wyjaśnienie mechanizmu motorycznej teorii percepcji mowy, czyniąc tym samym język pierwszym aspektem ludzkiego zachowania, który miał zostać przez te neurony wyjaśniony. Problemem motorycznej teorii percepcji mowy oraz jej wersji z udziałem neuronów lustrzanych jest pewien rodzaj zaburzeń językowych, zwany afazją Broki. Charakteryzuje się ona zaburzeniem zdolności do produkcji mowy w wyniku zniszczenia motorycznych ośrodków mowy w mózgu, włączając w to właśnie ośrodek Broki – uznawany za odpowiednik obszaru F5 u makaków. Jeśli teoria motoryczna i twierdzenia dotyczące neuronów lustrzanych są prawdziwe, szczególnie twierdzenie, że motoryczne obszary mowy są niezbędne do percepcji mowy, możemy oczekiwać, że pacjenci z afazją Broki oprócz deficytów w zakresie produkcji mowy, będą mieli także problemy z jej rozumieniem. A jednak nie mają. Osoby z afazją Broki całkiem dobrze rozumieją mowę. Broca sam opisał przypadek pacjenta, który potrafił wymówić tylko jedną sylabę: „tan”. Jednak zauważył on także, że ten sławny teraz pacjent mógł

zrozumieć praktycznie wszystko, co się do niego mówiło. Jeśli teoria rozumienia działania poprzez neurony lustrzane byłaby prawdziwa, afazja Broki nie powinna istnieć.

### Anomalia 2: rozumienie działań, których nie potrafimy wykonać

Mam dwa koty i psa, i oto co wiem. Kiedy mój pies merda ogonem, jest zadowolony. Kiedy chowa ogon między nogami, jest przestraszony. Zadarte uszy oznaczają skupienie i gotowość, a kiedy są położone do tyłu – to znaczy, że coś jest nie tak. Mój pies szczeka na różne sposoby, a także wydaje inne dźwięki, oznaczające agresję, podekscytowanie, komunikat „to moje – nie dotykaj”, smutek czy strach. Kiedy mój kot mruczy, jest otwarty na społeczne interakcje, ale gdy syczy – lepiej żebym się wycofał. Koci ogon wymachujący energicznie z boku na bok wskazuje na rozdrażnienie, ale podniesiony do góry i wibrujący oznacza gotowość na kontakt. Skąd wiem, co oznaczają te wszystkie zachowania? Nie szczekam ani nie mruczę, nie potrafię ruszać uszami, nie mam ogona.

To, że potrafimy rozumieć zachowania naszych zwierząt, lot ptaka, zwijanie się i grzechotanie węża, napęd odrzutowy u ośmiornicy czy koszykarski wsad typu *reverse*, oznacza, że wcale nie musimy być zdolni do wykonania jakiejś czynności, żeby ją zrozumieć. Rzeczywiście, z ewolucyjnego punktu widzenia, nawet lepiej abyśmy potrafili zrozumieć i przewidzieć zachowania naszych przeciwników lub ofiar, nawet jeśli nie poruszają tak jak my, po to, by nie zostać zjedzonym lub nie chodzić głodnym.

Teoretycy neuronów lustrzanych uznają ten fakt. We wpływowym artykule przeglądowym z 2004 roku<sup>1</sup>, Rizzolatti i Craighero przyznają, że mózg może rozumieć działania bez wykorzystywania neuronów lustrzanych – „pomimo, że jesteśmy całkowicie przekonani (...) że mechanizm neuronów lustrzanych jest niezmiernie ważnym ewolucyjnym mechanizmem, dzięki któremu naczelnie rozumiejemy działania wykonywane przez osobniki tego samego gatunku, nie możemy zapewnić, że jest to jedyny mechanizm wykorzystywany do rozumienia działań innych” (s. 172). Powstaje tu jednak problem. Jeśli istnieje inny mechanizm, w jaki sposób presja selekcyjna mogła doprowadzić do wyewoluowania neuronów lustrzanych? Jeśli te komórki są absolutnie redundantne, nie ma powodu, by dobór naturalny się nimi zajmował. Muszą one nieść jakieś inne korzyści dla przetrwania, poza byciem „inną” siecią rozumienia działania.

Spekulowano, że dodatkową korzyścią płynącą z neuronów lustrzanych mogłoby być „rozumienie od wewnątrz”. Idea ta opierała się na założeniu, że nie jesteśmy w stanie w pełni zrozumieć działania, dopóki nie jesteśmy w stanie połączyć się z nim motorycznie. Tak więc możemy rozpoznać latanie, ale nie możemy go *tak naprawdę* zrozumieć, ponieważ nigdy nie lataliśmy o własnych siłach. Oto wyjaśnienie Rizzolattiego oraz Corrado Sinigaglii z artykułu przeglądowego z 2010 roku<sup>2</sup>. Odnosi się ono do streszczenia poprzedniego badania autorów wykorzystującego fMRI<sup>3</sup>, z którego wynika, że obserwator jest w stanie rozpoznać działania zwierząt pochodzące spoza repertuaru ludzkich zachowań (jak na przykład szczekanie) i że odbywa się to poprzez *strumień brzuszny* (patrz Aneks A), znajdujący się w płatach skroniowych, a nie przy pomocy systemu lustrzanego:

Dane te wskazują, że rozpoznawanie zachowań motorycznych innych może opierać się na przetwarzaniu jedynie ich wizualnych aspektów. Przypomina ono przetwarzanie wykonywane w obszarach „strumienia brzuszego”, odpowiedzialnego za rozpoznawanie obiektów nieożywionych. Pozwala ono na nazwanie obserwowanych zachowań, ale nie dostarcza wskazówek niezbędnych do prawdziwego zrozumienia treści, którą dane zachowanie ze sobą niesie (na przykład komunikatu stojącego za szczekaniem psa). Gdy z kolei obserwowane zachowanie oddziałuje na [aktywuje] system motoryczny poprzez mechanizm lustrzany, to może być ono nie tylko rozpoznane wzrokowo, ale także zrozumiane. Dzieje się tak, ponieważ motoryczna reprezentacja celu zachowania jest podzielana przez sprawcę i obserwatora. Innymi słowy, obserwowane działanie jest rozumiane od wewnątrz – jako motoryczna możliwość, a nie z zewnątrz jedynie jako wizualne doświadczenie (s. 270).

Właściciele psów, a nawet ich przypadkowi obserwatorzy, mogą nie zgodzić się z tym stwierdzeniem. Wcale nie jest tak trudno odróżnić znaczenie różnych rodzajów szczekania, od podekscytowania po agresję. Empiryczne dowody popierają tę intuicję. Zespół naukowców nagrał szczekanie komondorów\* w różnych sytuacjach, między innymi gdy do psów podchodził nieznajomy, gdy przygotowywały się one do walki, gdy zostały same lub podczas zabawy piłką. Następnie poproszono 45 osób o odsłuchanie nagrań szczekania i zaklasyfikowanie ich do sytuacji, w których mogły zostać zarejestrowane. Wykonanie znacznie przekraczało poziom losowy dla kategorii takich

\* Czyli owczarków węgierskich (przyp. tłum.).

jak: nieznajomy, walka, bycie samemu oraz zabawa. Błędy pojawiały się w obrębie tych samych kategorii (mylono na przykład szczeknięcie „nieznajomy” ze szczeknięciem „walka”). Uczestnicy badania szacowali również emocjonalną zawartość poszczególnych rodzajów szczekania. Szczekanie na obcego było oceniane jako agresywne oraz najmniej radosne i swawolne, szczekanie w samotności otrzymało największą ilość punktów na skali strachu i rozpacz, z kolei szczekanie podczas zabawy zostało scharakteryzowane jako najbardziej radosne i wesołe. Co więcej, badanie obejmowało trzy grupy uczestników: osoby widzące, osoby niewidzące, które utraciły wzrok w ciągu życia oraz osoby niewidome od urodzenia (a więc bez jakichkolwiek doświadczeń wizualnych). Wyniki poszczególnych grup nie różniły się od siebie, co wskazuje, że intencje ukryte za szczekaniem można „zrozumieć” przy pomocy samej akustyki, nie odnosząc się do wskazówek pochodzących z wcześniejszych wizualnych doświadczeń związanych ze szczekaniem<sup>4</sup>.

Z ewolucyjnego punktu widzenia takie wyniki mają sens. Jeśli jeden gatunek potrafi odczytywać różnego rodzaju zachowania innego gatunku, czy to w sposób wrodzony, czy wyuczony, zwiększa się znacznie jego szansa na przetrwanie. Pytanie brzmi: co do tej zdolności wnosi „rozumienie od wewnątrz”? Według Rizzolattiego i Sinigaglii oznacza ono dane działanie jako „motoryczną możliwość”, czyli innymi słowy zrozumienie, że *hej, ja też wiem jak to zrobić!* Chociaż może być to korzystne dla niektórych zadań motorycznych, takich jak uczenie się zachowań poprzez obserwację innych (do czego wrócimy w rozdziale 8), wydaje się jednak drugorzędne dla rozumienia działania na podstawowym poziomie, takim jak określenie, czy pies ma zamiar zaatakować, czy polizać. Ponadto warto zauważyć,

że zawężone twierdzenie, iż neurony lustrzane pozwalają „rozumieć od wewnątrz”, jest raczej odmienne, a na pewno znacznie słabsze, od popularnej idei traktującej neurony lustrzane jako podstawę rozumienia działania.

### Anomalia 3: apraksja motoryczna

Apraksja motoryczna\* jest zaburzeniem neurologicznym, wywołanym zazwyczaj przez udar lub choroby neurodegeneracyjne, takie jak choroba Alzheimera. Uszkadza ona zdolność pacjenta do wykonywania ruchów czy czynności, gdy się go o to poprosi, nawet wtedy, gdy rozumie on polecenie, jest gotowy je wykonać, zna zadanie i nie ma żadnych problemów na poziomie mięśni, które mogłyby uniemożliwić jego wykonanie. W skrócie, jest to niezdolność do wykonywania wyspecjalizowanych i celowych ruchów. Pantomima i naśladowanie czyichś gestów są dla pacjentów z apraksją najtrudniejsze, z kolei znacznie mniej zaburzone są codzienne działania wykorzystujące konkretne przedmioty. Klasycznym przykładem jest sytuacja, gdy pacjent poproszony o pokazanie, jak odbiera się telefon, podniesie co prawda rękę w stronę głowy, jednak zamiast przyłożenia wyobrażonego telefonu do ucha – dotknie palcami ust, tak jakby coś jadł. Może on także bezradnie poruszać dłonią w poszukiwaniu odpowiedniego gestu. Jednak, gdy telefon rzeczywiście zadzwoni, ten sam pacjent podniesie go i odbierze bez najmniejszego problemu.

\* Czasem określana również jako apraksja ruchowa lub apraksja kończyn (przyj. tłum.).

Artykuły z 1992 i 1996 roku dotyczące neuronów lustrzanych u małp uznały apraksję motoryczną za potencjalny łącznik z systemami zaangażowanymi w rozumienie działania przez ludzi. Podstawowa idea jest taka, że pacjenci z apraksją motoryczną przejawiają deficyty w wykonywaniu działań, a część z nich również w ich rozpoznawaniu. Fakt ten został potraktowany jako sugestywny neuropsychologiczny dowód na to, że systemy odpowiedzialne za wykonywanie działania stanowią równocześnie podstawę jego rozumienia. Ale apraksja w większości dotyczy pantomimy oraz naśladowania\*, czyli dwóch zdolności, których małpy nie posiadają, i na które neurony lustrzane nie reagują. Zatem, nawet jeśli związek pomiędzy wykonaniem działania i jego rozumieniem w apraksji zostałby jednoznacznie dowiedziony, i tak odnosiłby się do funkcji innego systemu niż małpi system neuronów lustrzanych. Niemniej jednak, ukazanie *jakichś* związków pomiędzy wykonywaniem i rozumieniem działania byłoby znaczącym krokiem naprzód dla programu badań systemu lustrzanego.

Jak można było przewidzieć, apraksja motoryczna stała się gorącym tematem w badaniach nad systemem lustrzanym. Szczególnie wiele uwagi przyciągnęło badanie z 2008 roku<sup>5</sup> przeprowadzone przez zespół naukowców w Rzymie. Wydaje się, że stanowi ono mocny dowód na związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy wykonaniem działania i jego rozumieniem. Badacze oceniali zdolności do wykonywania i rozumienia gestów u 41 pacjentów, którzy doznali udaru w lewej (33) lub prawej (8) półkuli. Apraksja motoryczna jest przede wszystkim związana z uszkodzeniami w lewej półkuli, więc skupimy się na tej grupie

\* Jest to postać apraksji zwana apraksją ideomotoryczną (przyj. tłum.).

33 pacjentów, spośród których 21 zostało zaklasyfikowanych jako cierpiących na apraksję, ze względu na obserwowane deficyty w zadaniach sprawdzających zdolność naśladowania gestów (na przykład gest autostopowicza) lub wykonywania sekwencji ruchów z wykorzystaniem rzeczywistego przedmiotu (na przykład zapalenie świecy). Zgodnie z wynikami poprzednich badań, deficyty ruchów związanych z przedmiotami nie były tak silne (82% poprawnie wykonywanych prób) jak deficyty w zadaniu mierzącym naśladowanie (poprawność 54%). Oznacza to, że przyczyną opisanych tu zależności najprawdopodobniej jest poziom wykonania w zadaniu mierzącym naśladowanie. 12 pacjentów, u których nie zdiagnozowano apraksji, uzyskało 100% punktów w zadaniu wykorzystującym przedmioty oraz 91% w zadaniu na naśladowanie.

Nasuwa się kluczowe w kontekście testowania hipotez neuronów lustrzanych pytanie: czy pacjenci z apraksją mają problem z rozpoznawaniem gestów? Żeby to sprawdzić, pokazano tym pacjentom nagrania z aktorami wykonującymi działania skierowane na obiekt, takie jak brzdąkanie na gitarze, oraz nie związane z obiektem, jak na przykład gest autostopowicza. Pacjenci oglądali również zestaw filmów przedstawiających niepoprawne działania, na których aktor brzdąkał na flecie zamiast na gitarze lub łapał autostop małym palcem. Zadaniem pacjentów było wskazanie, które działania są poprawne, a które nie.

Jeśli teoria rozumienia działania poprzez neurony lustrzane jest poprawna (zapomnijmy na chwilę o komplikacjach związanych z imitacją), pacjenci z apraksją motoryczną powinni przejawiać deficyty w zakresie rozpoznawania działania, a co więcej – deficyty te powinny być tym większe, im poważniejsza jest apraksja. Dokładnie coś takiego wykazało omawiane bada-

nie. Pacjenci z apraksją uzyskali 68% poprawności w zadaniu na rozpoznawanie działania, podczas gdy osoby zdrowe osiągnęły 90%. Ponadto odnotowano silną pozytywną korelację pomiędzy poprawnością wykonywania i rozpoznawania gestów: im większy deficyt w ekspresji (więcej problemów z wykonaniem działania), tym większy deficyt w rozpoznawaniu (więcej problemów z zaklasyfikowaniem działania jako poprawnego bądź nie). Jednak uśrednianie może przysłonić ważne szczegóły, a korelacja wcale nie musi oznaczać związku przyczynowego. Jak zauważył matematyk Des MacHale, „przeciętny człowiek ma jedną pierś i jedno jądro”. Możemy do tego dodać, że rozmiar lewej i prawej piersi są ze sobą silnie skorelowane, ale nie oznacza to, że lewa powoduje wzrost prawej.

Rzeczywiście, bliższe przyjrzenie się temu badaniu odkrywa kilka ciekawych szczegółów. Pierwszy jest taki, że u 7 spośród 21 pacjentów z apraksją nie zaobserwowano żadnych deficytów w rozpoznawaniu działania, to znaczy, że wprawdzie mieli oni kłopoty z wykonaniem działania, jednak bez problemu wychwytywali różnicę pomiędzy poprawnym i niepoprawnym działaniem zaprezentowanym na filmie. Ci pacjenci stanowią jedną trzecią wszystkich przebadanych osób, czyli dość pokaźną mniejszość, która nie może być sprowadzona do poziomu statystycznego szumu. Wskazuje to niezawodnie, że zdolność do rozumienia działania nie wymaga zdolności do jego wykonania, zatem niezgodnie z przewidywaniami teorii rozumienia działania poprzez neurony lustrzane.

Pozostaje jeszcze kilka pytań. Jak wyjaśnić to, że pozostałe dwie trzecie osób przejawiało deficyty zarówno w wykonywaniu, jak i rozumieniu? I co w takim razie z korelacją pomiędzy natężeniem deficytów w ekspresji i rozpoznawaniu? Jest wiele

możliwych wyjaśnień. Oto jedno z nich: obszar(y) mózgu kluczowy dla rozumienia działania jest odrębny od obszaru zaangażowanego w kontrolę motoryczną, jednak obydwie zostały uszkodzone u danego pacjenta cierpiącego na apraksję. Jeśli dwa obwody znajdują się względnie blisko siebie, deficyty mogą występować łącznie, co prowadzić może do istotnych korelacji lub uśrednionych efektów wyglądających jakby wynikały z uszkodzeń tego samego obwodu.

Streszczając wnioski, do których prowadzą badania nad apraksją motoryczną, w jednym zdaniu: deficyty w zakresie kontroli działania niekoniecznie skutkują problemami w rozumieniu działania, co stanowi anomalię w teorii rozumienia działania poprzez neurony lustrzane.

#### Anomalia 4: zespół Möbiusa

Kiedy jesteśmy szczęśliwi, uśmiechamy się, a gdy zdenerwowani – krzywimy. Kiedy jesteśmy zaskoczeni, na takich właśnie wyglądamy. Emocje wyzwalają specyficzne i łatwo rozpoznawalne ekspresje mimiczne. Przynajmniej siedem spośród nich – złość, pogarda, wstręt, strach, szczęście, smutek oraz zaskoczenie – zostały rozpoznane we wszystkich kulturach<sup>6</sup>. Rozpoznawanie ekspresji mimicznej niesie ze sobą oczywiste społeczne implikacje i stanowi podstawowe źródło informacji dla mentalizacji – czyli rozumienia, co inni myślą i czują. Ponieważ posiadamy wbudowane neuronalne powiązania pomiędzy własnymi emocjami i korespondującymi z nimi ekspresjami mimicznymi (na przykład emocja szczęścia wyzwala ekspresję szczęścia), możemy łatwo odczytywać emocje na twarzach in-

nych przez symulowanie zaobserwowanych ekspresji i odtworzenie tego powiązania w odwrotnej kolejności. Poprzez symulowanie czyjejś ekspresji, możemy podłączyć się do powiązanej z nią emocji i dosłownie poczuć ból, radość czy zdziwienie, które ta osoba odczuwa.

Istnieją dowody potwierdzające, że związek emocje-mimika może działać także wstecz. Amerykański psycholog Paul Ekman i jego współpracownicy odkryli, że wystarczy poprosić ludzi o ułożenie twarzy w odpowiedniej konfiguracji (opuścić brwi, zmruż oczy i tak dalej), bez nadmieniania o jaką konkretnie emocję chodzi, by wywołać fizjologiczną reakcję związaną z danym wyrazem twarzy – na przykład wyraz złości może spowodować przyspieszenie akcji serca<sup>7</sup>.

Co by się stało, gdybyśmy stracili te automatyczne połączenia pomiędzy emocjami i ekspresjami mimicznymi? Lub gdybyśmy w ogóle nie mogli wyrażać emocji za pomocą mimiki? Właśnie w takiej sytuacji znajdują się osoby z zespołem Möbiusa<sup>8</sup>. Jest to rzadkie, wrodzone zaburzenie polegające na obustronnym paraliżu twarzy, który uniemożliwia ekspresję emocji. Jego przyczyna jest nieznaną. Niezdolność do poruszania wargami upośledza także artykulację mowy, ale jeśli reszta toru głosowego funkcjonuje prawidłowo, łatwo można pokonać tę przeszkodę, stosując terapię mowy. Nawet osoby z bardzo dużym natężeniem tego zespołu mogą nauczyć się mówić wyraźnie.

Trudno wyobrazić sobie, jak trudna byłaby komunikacja społeczna bez ekspresji mimicznej. W opublikowanym niedawno artykule Kathleen Bogart i David Matsumoto zauważyli, że osoby z zespołem Möbiusa nie są w stanie podzielać jednego z najbardziej uniwersalnych języków, jakim jest mimiczna ekspresja emocji. Przyjacielski uśmiech czy szeroko otwarte z za-

interesowania oczy są poza ich zasięgiem. Jak możemy zakomunikować innym, co czujemy? Można to po prostu powiedzieć, ale kto nam uwierzy, jeśli słowa wydobywają się z marmurowej twarzy? Tym, którzy nas nie znają, wydamy się sztuczni i nieprzyjacielscy. Nie jest więc zaskakujące, że osoby z tym zespołem są bardziej zamknięte w sobie i introwertywne, a także częściej raportują poczucie niższości czy nieadekwatności.

Motoryczne skutki syndromu Möbiusa są znane od 1888 roku, kiedy został po raz pierwszy opisany przez niemieckiego neurologa Paula Juliusa Möbiusa. Jednak dopiero od niedawna prowadzi się badania nad jego percepcyjnymi skutkami. Powstaje pytanie, czy niezdolność do wyrażania emocji za pomocą mimiki uniemożliwia osobom z zespołem Möbiusa rozpoznawanie emocji u innych. Według podejścia, zgodnie z którym symulacja motoryczna stanowi źródło rozumienia działania, można przewidywać, że tak będzie.

W badaniu opublikowanym w 2010 roku na łamach „Social Neuroscience”, Bogart i Matsumoto porównali poziom wykonania zadania rozpoznawania ekspresji mimicznej przez 37 dorosłych z zespołem Möbiusa i 37 osób z grupy kontrolnej<sup>9</sup>. Uczestnicy obejrzelni zestaw prezentowanych pojedynczo 42 kolorowych fotografii twarzy wyrażających różne emocje. Ich zadaniem było określenie, którą z siedmiu uniwersalnych emocji wyraża każda twarz. Wyniki pokazały, że osoby z zespołem Möbiusa poradziły sobie z zadaniem tak samo dobrze, jak zdrowe osoby z grupy kontrolnej. Nie znaleziono żadnych istotnych statystycznie różnic. Właściwie to grupa z zespołem Möbiusa osiągnęła wyższe surowe wyniki w pięciu z siedmiu kategorii emocji. Innymi słowy, wśród ludzi ze zdiagnozowanym zespołem Möbiusa nie zaobserwowano żadnych deficytów

w rozpoznawaniu mimicznej ekspresji emocji. W przeciwieństwie do predykcji wynikających z teorii symulacji motorycznej, nie trzeba potrafić mimicznie wyrażać emocje, by móc te ekspresje rozpoznawać.

Teoria symulacji motorycznej przywołuje jednak swój kontrargument wobec tego rodzaju wyników. Brzmi on mniej więcej tak: zespół Möbiusa wpływa na zdolność do wprowadzenia w życie zaplanowanego ruchu ze względu na dysfunkcje nerwów twarzy, jednak plan motoryczny sam w sobie żyje spokojnie w korze mózgowej i nie jest zaburzony. Tak więc osoby z zespołem Möbiusa wciąż mogą *wewnętrznie* symulować ruchy twarzy, które widzą i to właśnie na tym poziomie tkwią zdolności do rozpoznawania emocji. Jest to uzasadniona możliwość i potencjalny argument.

Istnieje jednak kontr-kontrargument. Kora mózgowa to bardzo plastyczna i zdolna do adaptacji sieć, która może zmienić swoją organizację zgodnie z aktualną sytuacją sensomotoryczną. Na przykład, jeśli dane wejściowe do jakiegoś konkretnego obszaru kory zostaną z jakichś powodów odcięte, to ten fragment tkanki często zaczyna odpowiadać na stymulacje z innego źródła<sup>10</sup>. Jeśli miałeś wystarczającego pecha by, na przykład, stracić środkowy palec podczas wielkiego wybuchu agresji na drodze, fragment kory mózgowej, który dotychczas odpowiadał na stymulację pochodzącą ze środkowego palca, może w zamian zacząć reagować na sygnały z palca wskazującego i serdecznego, które zajmują pobliskie obszary kory. Tracąc swoje normalne wejście sensoryczne, tkanka jest efektywnie przeprogramowana, by przetwarzać informacje pochodzące z pobliskich obszarów ciała, tak jakby sąsiadujące terytoria kory wtargnęły na nieużywaną już tkankę. Ponadto, na podstawie przypadków

wrodzonej i chronicznej deaferentacji – jak nazywa się odcięcie dopływu bodźców z określonego narządu – wiadomo, że dane obszary kory mogą „zapomnieć” (lub nie nauczyć się), jak przetwarzać informacje z ich standardowego źródła. Klasycznym przykładem jest wrodzona głuchota, czyli brak słuchu spowodowany dysfunkcją ucha wewnętrznego (ślimaka) lub nerwu słuchowego. Wraz z rozwojem technologii implantów ślimakowych, obwodowa stymulacja słuchowa może zostać przywrócona do poziomu pozwalającego na dość dobre słyszenie, a nawet wspierać zdolność mowy. Jednak znaczenie ma wiek, w którym wszczepiony zostanie implant ślimakowy. W jednym z badań stwierdzono nieprawidłowe reakcje słuchowe u dzieci, którym implant wszczepiono po siódmym roku życia<sup>11</sup>. Istnieją także dowody, że wszczepienie implantu przed drugim rokiem życia przynosi większe korzyści niż wszczepienie go pomiędzy drugim a trzecim rokiem<sup>12</sup>. Osoby niesłyszące od urodzenia, którym implant wszczepiono w wieku dorosłym, funkcjonowały z nim znacznie gorzej: ich zdolność do rozpoznawania mowy jeśli w ogóle się polepszyła, to tylko minimalnie<sup>13</sup>.

Podsumowanie brzmi znajomo – używasz lub tracisz – rodzi się tu pytanie, czy osoby z zespołem Möbiusa, nigdy nie używając systemu kontrolującego mimiczną ekspresję emocjonalną, mogą go stracić. Jeśli to prawda, to możliwość ta osłabiałaby kontrargument teorii motorycznej symulacji dotyczący „planów” motorycznych tkwiących w korze mózgowej.

### Anomalia 5: odzwierciedlanie może być nieprzystosowawcze

Teoretycy neuronów lustrzanych przekonują o zaletach „bezpośredniego” rozumienia poprzez symulację motoryczną, która nie wymaga skomplikowanego wnioskowania poznawczego. Na przykład, kiedy obserwujesz przyjaciółkę sięgającą po rodzinę, nie ma potrzeby, by rozważać wszystkie logiczne możliwości, takie jak: *Ania lubi rodzinę, Ania jest głodna czy Ania prawdopodobnie sięga po rodzinę, by ją zjeść*. Poprzez symulowanie jej ruchów, możesz rozumieć to „bezpośrednio” i „automatycznie”. Można to uznać za walor teorii, w końcu tłumaczenie skomplikowanych rzeczy przy pomocy prostych mechanizmów jest dobrą rzeczą. Jednak potencjalnie może być to także katastrofalne w skutkach. Jeśli musielibyśmy symulować działania innych w naszych własnych systemach motorycznych, by móc je zrozumieć, mogłoby to kolidować z nielustrzanymi działaniami, którymi być może musielibyśmy odpowiedzieć.

Sport jest tutaj dobrym przykładem. W wielu dyscyplinach sportowcy muszą reagować na działania innych graczy, wcale nie w lustrzanym stylu. Pałkarz w baseballu musi zaplanować zamachnięcie się w odpowiedzi na obserwowany tor lotu piłki. Bokser musi unikać ciosu przeciwnika lub go zablokować. Bramkarz musi rzucić się naprzód lub skoczyć w górę, gdy widzi kopnięcie. Można mnożyć przykłady, jednak w każdym z nich czas reakcji jest kluczem do sukcesu. I teraz, jeśli pałkarz, bokser czy bramkarz najpierw byłby zmuszony symulować obserwowane działanie, mogłoby to wydłużyć czas reakcji, ponieważ system motoryczny musiałby aktywować program symulujący, który konkurowałby i kolidował z programem wymaganym

do skutecznego zareagowania. Widzieliśmy przykład takiej interferencji w rozdziale 3 (badanie, w którym uczestnicy oceniali przedmioty jako małe bądź duże i musieli na nie zareagować używając większego lub mniejszego chwytu), a jeszcze inny przykład zobaczymy w rozdziale 6. Odzwierciedlanie może zatem nie być przystosowawcze w sytuacjach wymagających szybkiej i nielustrzanej reakcji na obserwowane działanie.

### Anomalia 6: system lustrzany jest plastyczny

W 2007 roku zespół naukowców z University College London – Caroline Catmur, Vincent Walsh i Cecilia Heyes – przeprowadził następujące badanie TMS<sup>14</sup>. Najpierw zreplikowali podstawowy wynik TMS dotyczący neuronów lustrzanych, pokazując, że w palcu wskazującym osoby badanej pojawia się więcej skurczów podczas oglądania nagrania poruszającego się palca wskazującego niż podczas nagrania ruchów małego palca (i odwrotnie). Następnie zespół przystąpił do szkolenia uczestników w wykonywaniu „odwrotnych ruchów lustrzanych”, w odpowiedzi na nagranie przedstawiające ruchy małego lub wskazującego palca: kiedy osoba badana oglądała ruchy palca wskazującego, jej zadaniem było poruszyć małym palcem, i odwrotnie, i tak przez 864 próby. Następnie Catmur wraz ze współpracownikami, ponownie używając standardowego paradygmatu TMS, mierzyli mózgową odpowiedź na obserwowany ruch palca i odkryli, że „lustrzany” efekt obserwacji został odwrócony. Patrzenie na ruchy palca *wskazującego* sprawiało, że w *małym* palcu obserwatora pojawiało się więcej skurczy, a obserwowanie *małego* palca wiązało się z większą ilością skurczy w palcu *wskazu-*

*jącym*, pomimo tego, iż osoby badane były proszone o samo obserwowanie ruchów, a *nie* o wykonywanie zadania ruchowego.

Tak jak pozorowane uderzenie w twarz powoduje antycypacyjny unik uderzanego, uczestnicy badania TMS wytwarzali swoje własne (ukryte) antycypacyjne reakcje motoryczne odzwierciedlające skojarzenia obserwacja–wykonanie (palec wskazujący/mały, mały/wskazujący), które wcześniej ćwiczyli. Jest to zwykłe uczenie się na zasadzie bodziec–reakcja. Czerwone światło zawieszona na słupie na środku skrzyżowania samo w sobie nie sprawia, że podnosisz nogę z jednego pedału w samochodzie i wciskasz nią inny, jednak po latach doświadczeń w prowadzeniu, twój mózg tworzy powiązanie pomiędzy kolorem światła i ruchem nóg. Jeśli przy użyciu TMS zmierzmy reakcje mięśni nóg w odpowiedzi na widok czerwonego światła, bez wątpienia zaobserwujemy wzrost skurczu tych mięśni w czasie obserwowania zmiany koloru ulicznych świateł, nawet jeśli twoim zadaniem byłoby tylko i wyłącznie spokojne siedzenie w fotelu pasażera. Catmur, Walsh i Heyes zasadniczo wykazali, że „system lustrzany” jest zdolny do tego samego rodzaju asocjacyjnego uczenia się na zasadzie bodziec–reakcja.

Dlaczego stanowi to problem dla teorii rozumienia działania przez neurony lustrzane? Ponieważ możemy przyjąć za pewnik, że kiedy osoba wyuczona tego odwrotnego lustrzanego ruchu zobaczy ruch małego palca (a w rezultacie zwiększy się liczba skurczy w jej palcu wskazującym), nie odczyta ona go błędnie jako ruch palcem wskazującym. Trening sensomotoryczny nie zmienia percepcji uczestników, modyfikuje tylko *odpowieź motoryczną* wyzwalaną przez obserwowane działanie, na zasadzie tworzenia skojarzeń sensomotorycznych. Wykonanie działania i jego rozumienie jest rozłączne: jeśli można zmienić reakcję

motoryczną bez oddziaływania na percepcję, to odpowiedź motoryczna nie może stanowić podstawy spostrzeżenia.

Jonathan Venezia, student z mojego laboratorium, pokazał empirycznie ekstremalną postać zmiany wzorców „odzwierciedlania” bodźców. Zakładając, że wywołane poprzez TMS „lustrzane odpowiedzi” nie są przejawem niczego więcej niż związków skojarzeniowych, zaprojektował eksperyment podobny do tego, który przeprowadziła grupa londyńska. Najpierw wykazał standardowy „efekt lustrzany” – oglądanie ruchu małego palca powoduje wzrost liczby skurczów w małym palcu, a oglądanie ruchu palca wskazującego zwiększa liczbę skurczów w palcu wskazującym. Następnie, zamiast trenować osoby badane w wykonywaniu odwróconych lustrzanych ruchów, uczył je poruszać małym palcem w odpowiedzi na obrazek przedstawiający chmurę, a palcem wskazującym – na obrazek budynku (i odwrotnie). Pytanie brzmiało: czy „system lustrzany” w ogóle wymaga obserwowania działania? Czy może reaguje na każdy bodziec sensoryczny, który wcześniej skojarzono z działaniem? Czy patrzenie na chmurę prowadzi do skurczu małego palca, a oglądanie budynku do skurczu palca wskazującego? Odpowiedź brzmi – tak. Ludzki „system lustrzany” jest tak plastyczny, że działa nawet wtedy, gdy nie występuje obserwacja działania. Możemy skojarzyć arbitralne bodźce, nawet takie, których nie da się chwycić, z jakimś konkretnym ruchem dłoni i już po godzinie takiego treningu po prostu obserwować, jak bodziec ułatwia (ułatwia) powiązaną reakcję motoryczną.

W świetle tych wyników zrewidujmy logikę teorii rozumienia działania poprzez neurony lustrzane. System lustrzany jest aktywny zarówno podczas obserwowania, jak i wykonywania działania. Zgodnie z tą teorią, taki wzorec aktywacji jest prze-

jawem mechanizmu polegającego na tym, że rozumienie działań innych jest efektem symulacji tych działań we własnym systemie motorycznym. Jednak „system lustrzany” aktywuje się zarówno podczas wykonywania działania, jak i podczas obserwowania. Czy oznacza to, że rozumiemy chmury poprzez symulowanie ich postrzegania w naszym własnym systemie motorycznym? Oczywiście, że nie. Więc jeśli nie działa to dla chmur, musimy zastanowić się, czy sprawdza się to dla działania.

Istnieje jeszcze jeden możliwy wniosek. Być może TMS nie jest dobrą miarą funkcjonowania systemu lustrzanego, albo mierzy po prostu różne obwody neuronalne: jeden, „prawdziwy” system lustrzany, który koduje działania i drugi, który koduje arbitralne skojarzenia pomiędzy zdarzeniami sensorycznymi i działaniami. To całkiem prawdopodobne wyjaśnienie, i jeśli jest prawdziwe, nasuwa się pytanie, co dokładnie jest mierzone w *każdym* badaniu interakcji sensomotorycznych z wykorzystaniem TMS.

Na szczęście TMS nie jest jedynym źródłem dowodów na plastyczność systemu lustrzanego. Udowodniono ją także w badaniach nad małpami, z wykorzystaniem rejestracji aktywności pojedynczych komórek. Przypomnijmy jedno z kluczowych badań nad neuronami lustrzanymi u małp z 1996 roku, które udowodniło, że komórki odpowiadające na obserwowane działanie odpalają, gdy chwyt jest wykonywany przez ludzką dłoń, ale nie wtedy, gdy dzieje się to przy wykorzystaniu narzędzia, na przykład szczypiec. Zostało to uznane za dowód na to, że ten system jest specyficzny dla działań, które małpy mają w swoim repertuarze zachowań (a małpy nie używają szczypiec), co wskazuje, że ów mechanizm dopasowuje lub symuluje działania obserwowane do tych możliwych do wykonania. W 2005 roku twierdzenie

to zostało skorygowane w oparciu o inny eksperyment opublikowany przez zespół z Parmy:

Obserwacje poczynione w naszym laboratorium pokazały, że w końcu, po stosunkowo długich badaniach, udało się znaleźć neurony lustrzane odpowiadające także na działania eksperymentatora, w których były wykorzystywane narzędzia<sup>15</sup>.

W tym eksperymencie, tak samo jak w jego pierwotnej wersji, małpy przez dwa miesiące były trenowane w zadaniach polegających na obserwowaniu obiektów i działań, oraz na wykonywaniu działań skierowanych na obiekt. Jednakże podczas treningów w ramach eksperymentu małpy obserwowały również działania z wykorzystaniem dwóch narzędzi: patyka służącego do popychania przedmiotów i szczypiec używanych do chwytania. Narzędzi tych używano do podnoszenia jedzenia i podawania go małpom. Autorzy raportowali, że patyk był używany podczas treningów częściej niż szczypce.

W głównym eksperymencie zarejestrowano aktywność 209 neuronów w regionie F5 u dwóch małp podczas obserwowania przez nie działania (z wykorzystaniem narzędzi oraz samych rąk), a także podczas wykonywania działania. Ponownie zaobserwowano podstawowy efekt neuronów lustrzanych: większość (ponad 95%) neuronów reagowała podczas wykonywania działania, a część z nich także podczas obserwowania działania. Siedemdziesiąt cztery z nich zachowywało się jak typowe neurony lustrzane, odpowiadając najsilniej podczas obserwacji działania bez użycia narzędzi. Jednak okazało się, że czterdzieści dwa (20,1%) neurony reagowały najsilniej na obserwowanie działania z wykorzystaniem narzędzi, w związku z czym ochrzczono

je neuronami lustrzanymi reagującymi na narzędzia. Następnie zbadano trzydzieści trzy neurony spośród tych reagujących na narzędzia. Zauważono, że większość (26) preferowała obserwowanie działań wykorzystujących patyk, cztery neurony reagowały na działania z wykorzystaniem szczypiec, a trzy pozostałe na obydwie. Dwadzieścia dziewięć z trzydziestu trzech komórek reagowało również (jednak trochę słabiej) na obserwację standardowych działań bez narzędzi.

Biorąc pod uwagę, jaki procent neuronów lustrzanych reagował na narzędzia w stosunku do całej próbki, mało prawdopodobne wydaje się, by poprzednie eksperymenty zwyczajnie przeoczyły te komórki. Dwa miesiące treningu musiało doprowadzić do ich powstania, co oznacza, że przed szkoleniem nie odpowiadały one na obserwowane działania wykorzystujące narzędzia. Reakcje na te działania ukształtowały się na skutek długiego treningu. Tę konkluzję wspiera fakt, że więcej neuronów preferowało działania z wykorzystaniem patyka, który był częściej używany podczas treningów. Autorzy poinformowali także, że neurony reagujące na narzędzia zostały wykryte dopiero w końcowych stadiach eksperymentu, czyli po większej ilości treningów.

Co oznaczają te wyniki, to kwestia dyskusyjna. Autorzy badania argumentują, że neurony lustrzane reagujące na narzędzia są przejawem możliwości tego systemu do generalizowania rozumienia różnych działań od, powiedzmy, sięgania dłonią, po chwyt przy użyciu narzędzi. Sugerują także, że neurony mogą nabywać zdolność do traktowania narzędzia jako przedłużenia dłoni, co z kolei tworzy podstawę dla nowej umiejętności, jaką jest rozumienie działań z wykorzystaniem narzędzi. Jest to prawdopodobna interpretacja. Jednak nie jest wcale takie oczywiste,

że małpy naprawdę „rozumieją”, jak używać narzędzi, na takim poziomie, jak to sugerują autorzy badania.

Po skończeniu sesji rejestracji aktywności neuronów u jednej z małp, zespół badaczy umieścił naprzeciwko klatki podest. Na podeście, tuż poza zasięgiem kończyn małpy, ułożono kaski jedzenia. Badacze odczekali dziesięć minut, pozwalając małpie wykonać kilka nieudanych prób jego osiągnięcia. Potem położyli na platformie patyk używany podczas eksperymentu, tak że małpa mogła go dosięgnąć. Opuścili pokój i obserwowali małpę przez kolejną godzinę za pomocą monitora. Jak donoszą autorzy, „mimo że w pierwszych minutach po tym, jak patyk stał się dostępny, małpa chwyciła go i gryzła, to jednak wcale nie próbowała użyć narzędzia, by sięgnąć po jedzenie”. Zamiast tego ignorowała patyk i próbowała dostać się do jedzenia, poruszając podestem. Tak więc neurony reagujące na narzędzia zostały najpierw wytrenowane w małpim mózgu, a następnie bezsprzecznie zarejestrowane. Jednak zachowanie małpy po treningu nie dostarcza żadnej wskazówki, iż rozumie ona, że narzędzie mogłoby zostać użyte do przepchnięcia i zdobycia pożywienia. Zachowanie „odzwierciedlone” przez reagujące na narzędzia neurony lustrzane nie przekształciło się w „zrozumienie”, a przynajmniej nie w zrozumienie, które prowadziło do działania.

Ten eksperyment z wykorzystaniem narzędzi ujawnił potencjalnie kluczową informację, która może pomóc zrozumieć, skąd wzięły się normalne neurony lustrzane i co właściwie robią. Pierwsze odkrycie neuronów lustrzanych miało miejsce po godzinach treningu zadania polegającego na sięganiu. W czasie tego treningu małpy obserwowały eksperymentatora, który za pomocą dłoni kładł przedmioty różnego kształtu i rozmiaru oraz sięgał po nie. Wydaje się, że gdy małpa obserwuje działa-

nia z użyciem dłoni (na przykład używanie narzędzi) i wiąże je z własnym działaniem (obserwuje ruchy dłoni, które mają znaczenie dla jej własnych działań: *kiedy ręka kładzie obiekt, ja po niego sięgam*), wtedy komórka w obwodzie odpowiedzialnym za skojarzenia sensomotoryczne, mająca kontrolować działanie, może zacząć odpowiadać podczas samego jego obserwowania. Ma to miejsce tylko wtedy, gdy w działanie zaangażowany jest obiekt (ponieważ właśnie obiekt jest istotny dla własnych działań małpy). Omówimy dokładniej tę możliwość w rozdziale 8.

### Anomalia 7: neurony lustrzane to funkcjonalne przypadki odstające w organizacji systemów korowych

Żeby zobaczyć, dlaczego neurony lustrzane nie pasują do funkcjonalnej organizacji kory mózgowej, musimy przejść przez krótką dygresję dotyczącą naszego ogólnie przyjętego rozumienia, jak właściwie wygląda organizacja kory mózgowej. Zanim się tym zajmiemy, pozwólcie, że wytłumaczę, co rozumiem w tym kontekście przez „funkcjonalny”. Rozróżnienie pomiędzy neuroanatomią, czyli badaniem struktury mózgu w stanie statycznym, i neurofizjologią, która zajmuje się badaniem mózgu w działaniu, jest dobrze znane. Czasami termin *funkcjonalny* jest używany zamiennie z fizjologią. Jest tak w przypadku *funkcjonalnego* rezonansu magnetycznego (fMRI), który mierzy pewne aspekty fizjologii mózgu, a dokładniej wzorce przepływu krwi, w przeciwieństwie do *anatomicznego* czy *strukturalnego* MRI. Jednak mózgi to coś więcej niż tylko anatomia i fizjologia – są one zaprojektowane do wykonywania całego wachlarza zadań

i funkcji między innymi takich jak: kontrola oddychania, cykle snu-czuwania, wzrokowa i słuchowa percepcja bodźców, poruszanie się, mówienie czy zapamiętywanie. Często zakłada się, że mózg realizuje różne funkcje wykonując *obliczenia*, podobnie jak robi to komputer (więcej na ten temat w rozdziale 6). Kiedy neuronaukowcy poznawczy mówią o *funkcjonalnej organizacji* lub o *systemach funkcjonalnych*, odnoszą się do różnych zadań, które wykonuje mózg i do tego, w jaki sposób systemy, sieci czy obszary wspierające wykonywanie tych zadań są zorganizowane wewnątrz mózgu. Tak więc możemy mówić o *funkcjonalnej anatomii*, która odnosi się do relacji pomiędzy różnymi funkcjami i strukturami anatomicznymi. Na przykład to, że system słuchowy zajmuje górne płaty skroniowe, podczas gdy system wzrokowy zamieszkuje w płacie potylicznym (i poza nim) jest twierdzeniem na temat funkcjonalnej anatomii. Skupiamy się tutaj na funkcjonalnej organizacji wewnątrz kory mózgowej.

W ciągu ostatnich kilku stuleci nauczyliśmy się, że funkcjonalna organizacja kory mózgowej ssaków nie polega na tym, że mamy do czynienia ze zbiorem oddzielonych od siebie obszarów, z których każdy miałby pełnić osobną funkcję. Jest to mit frenologii, zgodnie z którą kora składa się z wielu funkcjonalnych wysp, małych neuronarządów, z których każdy dedykowany jest unikalnej i specyficznej zdolności lub cesze. Frenologia miała rację jeśli chodzi o niejednorodność funkcji kory, myliła się jednak co do architektury neuroarchipelagów. W rzeczywistości systemy wspierające daną funkcję zorganizowane są w rozproszone sieci, które zawierają tuziny połączonych ze sobą podregionów, komunikujących się wzajemnie (i w których przepływ informacji nie jest jednokierunkowy) i często oddziałują z innymi sieciami funkcjonalnymi (na przy-

kład język jest bezużyteczny bez pamięci). Kolejną rzeczą, której udało nam się dowiedzieć, jest to, że owe sieci funkcjonalne nie są zorganizowane w mózgu na chybił-trafił. Są one raczej ułożone w szerokie strumienie przetwarzania, częściowo poszegregowane super-autostrady informacji o wspólnych właściwościach funkcjonalnych.

Prawdopodobnie wielu z Czytelników jest zaznajomionych z jedną z zasad organizacji korowej, zgodnie z którą lewa półkula mózgu jest bardziej logiczna, werbalna i zorientowana na szczegóły, a z kolei prawa – bardziej kreatywna i emocjonalna, operuje na materiale przestrzennym i przetwarza holistycznie. To również po części mit – dwudziestowieczny odpowiednik frenologii. Opiera się on na obserwacji, że dwie półkule mózgu nie są idealnie symetryczne jeśli chodzi o ich funkcje. Ta perfekcyjnie uzasadniona obserwacja w popkulturze urosła do niespotykanych rozmiarów, doprowadzając do pomysłu, że lewa półkula jest neuronalną wersją logicznego i gotowego zepsuć każdą imprezę matematycznego nerda, podczas gdy prawa jest kreatywnym i kochającym zabawę artystą. W rzeczywistości pod względem funkcjonalnym obydwie półkule są podobne do siebie dużo bardziej niż różne obwody w obrębie jednej półkuli. Na przykład obie półkule mają system słuchowy i wzrokowy. Po bliższym przyjrzeniu się można wyłuskać subtelne różnice pomiędzy lewo- i prawostronnym systemem sensorycznym. Istnieją dowody wskazujące, że lewa półkula może być nieco lepsza w przetwarzaniu sensorycznych szczegółów środowiska, a prawa może kłaść nacisk na całościowy obraz. Jednak różnice te są naprawdę subtelne w porównaniu do anatomicznych i funkcjonalnych różnic pomiędzy słuchowymi i wzrokowymi systemami w obrębie danej półkuli.

Poza oczywistymi wewnątrzpółkulowymi różnicami pomiędzy systemami sensorycznymi, pojawiają się między nimi także i inne różnice funkcjonalne. Główną zasadą organizacyjną jest rozróżnienie pomiędzy dwoma strumieniami przetwarzania – tak zwanym strumieniem brzuszonym „co” i grzbietowym „jak”<sup>16</sup>.

Mózg musi robić dwie podstawowe rzeczy z informacjami sensorycznymi. Jedną z nich jest zrozumienie, *co* jest doświadczane, a drugą – rozpoznanie, *jak* działać w oparciu o to, czego doświadczamy. Są to dwa różniące się funkcjonalnie cele, które angażują odrębne obwody neuronalne. Rozważmy różne zadania, z którymi musi poradzić sobie mózg, kiedy przedstawiamy mu wizualny obraz filiżanki. Żeby rozpoznać, *co* to jest za obiekt, system wzrokowy musi zignorować informacje o rozmiarze filiżanki, o szczegółach jej kształtu, umiejscowieniu i orientacji w przestrzeni w stosunku do innych obiektów oraz ciała. W końcu filiżanki mogą mieć wiele różnych kształtów i rozmiarów, i nie przestają być filiżankami tylko dlatego, że znajdują się blisko lub daleko, za lub przed nami, na wprost czy z boku. System wzrokowy musi wydobyć ogólne cechy – opierając się na uprzednich doświadczeniach z filiżankami – żeby zidentyfikować obiekt jako filiżankę. To właśnie jest funkcja *co*. Jednak często potrzebujemy nie tylko rozpoznać filiżankę, ale także po nią sięgnąć. Nagle szczegóły, które nie miały znaczenia dla rozpoznania, stają się ogromnie istotne dla sięgania. Musimy wiedzieć dokładnie, jak duży jest obiekt, jaki jest jego szczegółowy kształt, czy z jego przodu znajduje się coś, co może utrudnić sięgnięcie po niego, gdzie w przestrzeni się znajduje i czy jest ułożony pionowo czy poziomo. To właśnie funkcja *jak*.

Badania zarówno w zakresie zmysłu słuchu jak i wzroku wykazały, że obwody neuronalne wspierające funkcje *co* i *jak*

zorganizowane są w anatomicznie dające się odróżnić sieci<sup>17</sup>. W zakresie wzroku, zniszczenie brzusznych rejonów mózgu, obejmujących płaty potyliczny i płaty skroniowe, może prowadzić do *agnozji wzrokowej*, czyli deficytu we wzrokowym rozpoznawaniu obiektów<sup>18</sup>. Nie oznacza to, że osoby z agnozą nie mogą zobaczyć obiektów – raczej nie są w stanie rozpoznać, *czym* te objekty są. Pacjenci mogą potrafić zidentyfikować ogólne cechy i kształty, ale ucieka im istota tych przedmiotów. Sami czasem opisują objekty jako „nieokreślone”. Na przykład lekarz z agnozą wzrokową opisał rękawiczkę jako pojemnik z pięcioma wybrzuszeniami, a stetoskop jako długi sznur z dyskiem na końcu. Nie miał jednak pojęcia, *co* to za przedmioty. Deficyt ten nie jest uogólniony, odnosi się tylko do rozpoznawania za pomocą wzroku. Jeśli pokażesz osobie z agnozą wzrokową pęk kluczy, nie będzie ona miała prawdopodobnie pojęcia, *co* to jest, jednak kiedy tylko weźmie je do ręki, od razu je rozpozna. Co ciekawe, zdolność do odpowiedniego sięgania po objekty i wiedza *jak* się nimi posługiwać, mogą pozostać nienaruszone<sup>19</sup>.

Zniszczenie grzbietowych regionów kory w płacie ciemniowym może dać niemal odwrotny wzorec objawów. W zaburzeniu zwanym *ataksją wzrokową* pacjenci mogą z łatwością rozpoznawać objekty, ale sięganie po nie pod kontrolą wzroku przychodzi im z trudnością. W ciężkich przypadkach pacjenci szukają po omacku, tak jakby znajdowali się w całkowitej ciemności, próbując odnaleźć poszukiwany obiekt. Deficyt nie jest jednak całkowity. Pojawia się najczęściej, gdy pacjent sięga po obiekt znajdujący się na peryferiach pola widzenia, gdy zmieniające się warunki wymagają szybkiego dostosowania się, a także gdy obiekt jest nieznany<sup>20</sup> – czyli właśnie wtedy, kiedy szczegóły

obiektu są niezbędne do skutecznego przeprowadzenia działania (w przeciwieństwie do rozpoznania *co* to za obiekt).

Gdybym poprosił cię o pokazanie mi, jak sięgasz po kubek, mógłbyś/abyś to zrobić w bardzo ogólny sposób. Najprawdopodobniej sięgnąłbyś/ęłabyś na wprost siebie na wysokość hipotetycznego stołu, przed którym siedzisz, z dłonią otwartą mniej więcej na wielkość typowego kubka, ustawioną jakby stał on pionowo. Zasadniczo sięgałeś/aś już w swoim życiu po tyle kubków, że przechowujesz w pamięci program motoryczny do sięgania po przeciętny kubek w przeciętnej lokalizacji. Kiedy ten program jest wymagany, nie potrzebujesz sygnału wzrokowego, by móc go zrealizować. Jeśli jednak znajdziesz się w sytuacji prawdziwego sięgania, a ja umieszczę obiekt na peryferiach twojego pola widzenia, prosząc byś sięgnął/ęła bez patrzenia wprost na niego, będziesz musiał/a zmodyfikować swój domyślny ruch, a do tego potrzebujesz już informacji wzrokowej. W podobny sposób, używając wzroku, musisz zboczyć z trybu domyślnego, gdy masz do czynienia z nieznanym obiektem lub, gdy w połowie twojego ruchu, odwrócę przedmiot lub przysunę go bliżej ciebie. Są to warunki, które wymagają wzrokowej analizy szczegółów konkretnego kształtu i lokalizacji obiektu, w przeciwieństwie do analizy „co”. To właśnie w takich sytuacjach najwyraźniej widać zaburzenia powiązane z ataksją wzrokową.

Takie obserwacje doprowadziły do poglądu, propagowanego najsilniej przez dwóch psychologów – Melvyna Goodale’a i Davida Milnera\*, że tak naprawdę istnieją dwa systemy wzrokowe, system brzuszny służący percepcji (rozpoznawaniu) i grzbietowy

\* W języku polskim dostępna jest praca tych autorów poświęcona tematyce dwóch systemów wzrokowych (*Mózg wzrokowy w działaniu*, PWN, Warszawa 2008; przyp. tłum.).

służący działaniu<sup>21</sup>. Jeśli się nad tym zastanowić, niemalże nie mogłoby być inaczej, ponieważ funkcjonalne potrzeby rozpoznawania i działania bardzo się od siebie różnią. Żeby rozpoznać obiekt, informacja wzrokowa musi zostać skonfrontowana z kodem neuronalnym przechowywanym w pamięci informacji dotyczącym sensu czy znaczenia obiektu (czy to kubek czy kot?), konieczne jest także pominięcie nieistotnych szczegółów. Aby wykonać działanie, informacja wzrokowa musi wejść w kontakt z programem motorycznym kontrolującym ciało. Wymagana jest również szczegółowa analiza poszczególnych fragmentów dostępnego obrazu wzrokowego i ich zależności względem ciała. W takim samym stopniu, jak kody neuronalne różnią się dla abstrakcyjnego semantycznego „co” i odpowiedzialnego za kontrolę motoryczną „jak”, różnic muszą się obwody neuronalne odpowiedzialne za rozpoznawanie i chwytanie.

Analogicznie, jeśli skierujemy obiektyw aparatu fotograficznego naszego smartfona na QR kod (kwadratowe „kody paskowe”), korzystając z aplikacji do robienia zdjęć, informacja wejściowa z matrycy światłoczułej pojawi się na ekranie jako wzorec zakodowanych przy pomocy kolorów intensywności światła. Obraz na ekranie zachowuje również informacje dotyczące oświetlenia, odbłasków, zaburzeń czy zniekształceń obrazu związanych z kątem, pod którym wykonaliśmy zdjęcie. Jeśli jednak skierujemy aparat naszego smartfona na ten sam wzorec, ale wykorzystamy aplikację do skanowania QR kodów, obraz będzie przetwarzany w zupełnie inny sposób. Gdy sensor wykona swoje zadanie, określone fragmenty kodu zostają wykorzystane do znalezienia krawędzi wzorca, inne do prawidłowego ustawienia go, inne do odczytania formatu informacji (tekst, link do strony internetowej, chińskie litery), a inne do

odczytania samej treści. Szczegóły, takie jak oświetlenie, różnice w kolorach, orientacja, zaburzenia i zniekształcenia obrazu są odrzucane lub korygowane. Potem, zamiast wyświetlania czy przechowywania obrazu, przetworzone dane są wykorzystywane do określonego działania. Może to być wyświetlenie tekstu czy uruchomienie przeglądarki, lub otwarcie określonej strony internetowej. Dokładnie ta sama informacja wejściowa może być użyta do bardzo różnych rzeczy i doprowadzić do rozmaitych wyników. Żeby tak się stało, potrzebne są różne procesy obliczeniowe. Co ważne, aplikacja do robienia zdjęć nie jest najlepsza w odczytywaniu QR kodów, a aplikacja do skanowania QR kodów nie działa dobrze jako aparat fotograficzny. Dlaczego? Ponieważ wykorzystywane obliczenia są dostosowane do celów i funkcji danej aplikacji.

Tak samo jest z mózgiem. Mimo że siatkówka zawsze rejestruje te same informacje z przykładowego kubka, mózgowy obwód (obliczenia) na poziomie kory zależą całkowicie od neuronalnej aplikacji, która uruchamiana jest w zależności od tego, jakie zadanie ma zostać wykonane. I okazuje się, że neuronalna aplikacja do rozpoznawania angażuje inne obwody niż neuroaplikacja służąca do kontroli motorycznej. To właśnie jest brzuszny strumień *co* i grzbietowy *jak*.

Te dwa strumienie nie są całkowicie niezależne. W rzeczywistości w pewnym stopniu oddziałują wzajemnie na siebie – możemy na przykład chcieć sięgnąć po linę, ale zazwyczaj wolelibyśmy uniknąć sięgnięcia po węża. Czasami musimy rozpoznać obiekt zanim zdecydujemy, co z nim zrobić. Jednak nie zmienia to faktu, że obliczenia zaangażowane w rozpoznawanie i sięganie muszą różnić się od siebie. Inne cechy obiektu wykorzystywane są do jego rozpoznawania, a inne do sięgania

po niego, różne są także efekty końcowe tych procesów (reprezentacja znaczenia obiektu lub kategorii w pamięci długotrwałej *versus* kod do kontrolowania ruchu kończyn). Fakt, że zbytnie często reagujemy na bodźce bez ich pełnego zrozumienia (*najpierw pomyśl, potem rób!*), mówi nam, że strumień grzbietowy nie jest całkowicie uzależniony od wyników działania systemu rozpoznającego. Może on działać na własną rękę.

Z ewolucyjnego punktu widzenia sensowne jest posiadanie dwóch systemów, jednego, który działa i reaguje oraz drugiego – odpowiedzialnego za rozpoznawanie. Jeśli nie jest się zbyt skomplikowanym organizmem, wystarczające może być odczuwanie czegoś, na przykład nieprzyjemnego uwierania, i zwykłe poruszanie się, dopóki się go nie wyeliminuje. To może znacznie poprawić szanse na przetrwanie i działa całkiem dobrze podczas wylegiwania się na wersalce przed telewizorem. Jednak świat jest bardziej skomplikowany. W wielu sytuacjach przydatne jest reagowanie w różny sposób w zależności od tego, co powoduje nasze doznania (dobrze byłoby nie pomylić pilota ze snickersem) lub niereagowanie w ogóle. Zatem drugi system nastawiony jest na rozpoznawanie obiektów poprzez łączenie tego, czego doświadczamy, z przechowywanymi w pamięci informacjami o podobnych obiektach lub przeszłych wydarzeniach, co daje jeszcze większe możliwości przetrwania. Nie zastępuje on jednak pierwszego systemu, odpowiedzialnego za działanie – wciąż musimy być zdolni do reagowania. Zamiast tego, zwiększa radykalnie *elastyczność* naszych reakcji. Możemy działać od razu, później lub nigdy, w zależności od tego, w jaki sposób rozpoznajemy i rozumiemy przedmiot czy sytuację.

Brzuszny strumień *co* oraz grzbietowy *jak* istnieją również w modalności słuchowej. Tak jak są przynajmniej dwa różne

rodzaje działań, które musimy być zdolni wykonywać z obrazem wzrokowym kubka, tak również z akustycznym wzorcem słowa *kubek* musimy potrafić działać na dwa sposoby. Z jednej strony musimy rozumieć poszczególne niuanse akustyczne: ćwierknięcia, ryki, świsty *znaczą* (uwzględniając ich warianty specyficzne dla indywidualnych głosów czy akcentów), i tym zajmuje się strumień brzuszny. Z drugiej strony, musimy potrafić odtwarzać te wszystkie akustyczne zawilości przy użyciu własnych aparatów mowy, co jest zadaniem strumienia grzbietowego. Tak jak w przypadku agnozji wzrokowej i ataksji wzrokowej w strumieniach przetwarzania informacji wzrokowych, również strumienie słuchowe po uszkodzeniu mózgu ulegają dysocjacji<sup>22</sup>.

Teraz jesteśmy wreszcie w stanie zrozumieć, dlaczego proponowane wytłumaczenie funkcji neuronów lustrzanych nie pasuje do grzbietowo-brzuszej reguły. Neurony lustrzane są podobno częścią systemu motorycznego. Jako takie stanowią część grzbietowego strumienia *jak*. Anomalia jest następująca: co robi funkcja *co* w strumieniu *jak*? Jak już wiemy, cechy istotne dla kontroli motorycznej nie są przydatne dla rozpoznawania. Jest to jeszcze bardziej zastanawiające w kontekście neuronalnych sąsiadów neuronów lustrzanych, tak zwanych neuronów kanonicznych. Podobnie jak neurony lustrzane, te komórki odpowiadają zarówno na stymulację sensoryczną (wzrokową percepcję obiektu), jak i podczas wykonywania działania. Wyjaśnienie funkcji tych komórek przez zespół z Parmy było spójne ze standardową interpretacją funkcji strumienia grzbietowego. Mówiąc precyzyjniej, uznano, że neurony kanoniczne kodują „glosariusz aktów motorycznych, i że można uzyskać dostęp do tego glosariusza poprzez (...) bodźce wzrokowe”<sup>23</sup>. W związku z tym system neuronów kanonicznych ma kluczowe znaczenie dla „ucze-

nia się skojarzeń, włącznie z arbitralnymi skojarzeniami między bodźcami a schematami [motorycznymi]”<sup>24</sup>. I jest to „pragmatyczny sposób przetwarzania, którego funkcja polega na wydobyciu kluczowych dla działania parametrów i generowania odpowiednich komend motorycznych”, w przeciwieństwie do „analizy semantycznej [która jest] przeprowadzana w płacie skroniowym”<sup>25</sup>. A zatem, neurony kanoniczne reagują na obiekty nie dlatego, że stanowią część mechanizmu rozumienia obiektów, ale dlatego, że obiekty posiadają właściwości istotne z punktu widzenia przeprowadzenia działania. Jednak leżące w pobliżu neurony lustrzane, które przejawiają te same wzorce reagowania co neurony kanoniczne (reagują zarówno podczas wykonywania jak i obserwowania), są wyposażone w semantyczną funkcję podobną do funkcji strumienia brzuszego. Jest to anomalia – zarówno funkcjonalna, jak i anatomiczna.

Mogłoby być tak, że neurony lustrzane są po prostu funkcjonalnym przypadkiem odstającym w imponującym schemacie korowej organizacji. Ale żeby tak stwierdzić, będziemy potrzebować wyjątkowo przekonujących dowodów. Dowodów, które dopiero muszą się pojawić.

### Anomalia 8: symulowanie i „przypisywanie celów” jako droga do rozumienia

Początkowa fascynacja neuronami lustrzanymi skupiła się na komórkach przejawiających zgodność pomiędzy działaniem motorycznym, które kodowały, a obserwowanym działaniem, na które reagowały – czyli na tak zwanych *spójnych neuronach lustrzanych*. Zespół z Parmy komentuje to w ten sposób:

Co najważniejsze, neurony lustrzane wykazują wysoką zgodność pomiędzy obserwowanym i wykonywanym skutecznym działaniem. Ta wzrokowo-motoryczna zgodność podpowiada ideę, że podstawowa funkcja neuronów lustrzanych polega na rozumieniu działania innych osobników<sup>26</sup>.

Tytułem przypomnienia, wg Gallesego ta zgodność umożliwia „rozumienie” w następujący sposób:

Kiedy jednostka wykonuje działania, „zna” (przewiduje) jego konsekwencje. Ta wiedza jest najprawdopodobniej rezultatem związku pomiędzy reprezentacją aktu motorycznego, zakodowaną w obszarach motorycznych, a reprezentacją konsekwencji tego działania. To dzięki neuronom lustrzanym ten rodzaj wiedzy mógłby być rozszerzony na działania wykonywane przez innych. Kiedy obserwacja działania wykonywanego przez inną jednostkę wywołuje aktywność neuronalną podobną do tej, która reprezentuje określone działanie (gdy jest ono wykonywane samodzielnie), to jego znaczenie powinno zostać rozpoznane ze względu na podobieństwo tych dwóch reprezentacji<sup>27</sup>.

Z kolei Rizzolatti i Craighero piszą:

Za każdym razem, gdy jednostka widzi działanie wykonywane przez kogoś innego, w korze przedruchowej obserwatora aktywują się neurony reprezentujące to działanie. Ta automatycznie wzbudzana reprezentacja ruchowa obserwowanego działania odpowiada tej, która jest spontanicznie generowana podczas wykonywania działania, i której rezultat jest znany wykonującej je jed-

nostce. W ten sposób system lustrzany przekształca informację wzrokową w wiedzę<sup>28</sup>.

Komplikację stanowi to, że sam ruch – czyli to, co jest hipotetycznie odzwierciedlane czy symulowane i automatycznie prowadzące do przewidywania rezultatu – jest niejednoznaczny. Jeśli siedzimy w kawiarni i sięgam w kierunku stołu dłonią ułożoną tak, jakbym chciał chwycić pionowo leżący walec, możesz symulować moje działanie i być może przewidzieć, biorąc pod uwagę ułożenie mojej dłoni i dostosowanie wielkości chwytu, że zamierzam sięgnąć po coś o określonym kształcie i ułożeniu. Jest to potencjalnie użyteczna informacja. Poprzez symulowanie mojego ruchu może udać ci się zrozumieć, że zamierzam złapać cylinder.

Jednak mogą nam przyjść do głowy trzy pytania:

1. *Czy rzeczywiście musisz symulować mój ruch, żeby dobrze „zrozumieć” moje działanie?* Nie, do tego wystarczyłoby samo skojarzenie pomiędzy ułożeniem dłoni a rozmiarem obiektu. Mój pies uwielbia aportować. Po wielu doświadczeniach z rzucaniem mu zabawek, może on teraz łatwo i niezawodnie przewidzieć kierunek lotu piłki na podstawie tego, w jaki sposób wykonuję zamach. Skoro on sam nie potrafi rzucać, nie może też więc symulować ruchu, żeby „zrozumieć” co się stanie. Robi to przez skojarzenie. Ty także możesz.

2. *Czy neurony lustrzane dokonują tego rodzaju przewidywań, to jest używają informacji o kształcie dłoni, aby przewidzieć, jaki rodzaj obiektu może być celem chwytania?* Nie w prostym rozumieniu. Typ symulacji motorycznej zainspirowany opisem mechanizmu zacytowanego wyżej obejmowałby aktywację programu motorycznego odpowiadającego obserwowanemu

działaniu, a następnie obserwację konsekwencji, do jakich doprowadziło to, co zostało aktywowane. „Precyzyjny chwyt” pęsetowy skierowany do przodu → O, chwytanie małego obiektu! Chwyt całą dłonią skierowany do przodu → O, chwytanie dużego obiektu! Cały proces zaczyna się od symulowania rzeczywistego ruchu i następnie jest kontynuowany, jednak to nie w taki sposób działają neurony lustrzane. Nie symulują one ruchów w tak prosty sposób, a raczej symulacja odbywa się tylko w odpowiednim kontekście. Precyzyjny chwyt nie jest symulowany przez neurony lustrzane, dopóki obiekt, na który skierowane jest działanie (w tym przypadku mały obiekt), nie jest obecny. Proces nie może wyglądać więc tak: symulowanie działania → zrozumienie, jakie konsekwencje zostały zaktywizowane. Musi być to coś w rodzaju: czy obserwowane działanie jest skierowane na określony obiekt? Jeśli tak, wtedy następuje symulacja<sup>29</sup>. Jednak kiedy system oceni, czy działanie skierowane jest na określony obiekt, nie wiadomo, czy symulacja wnosi cokolwiek do „rozumienia” bezpośredniego celu działania. Jeśli symulowanie pozwala na rozumienie w stylu – *to działanie zaskutkuje złapaniem rodzynki*, ale i tak wcześniej (przed symulacją) musisz zidentyfikować działanie jako skierowane na rodzynekę, to wiesz już przed symulacją, że rodzynekę może zostać złapana. Być może jednak neurony lustrzane prowadzą do głębszego zrozumienia, poprzez symulowanie obserwowanego działania, co prowadzi nas do trzeciego pytania.

3. *Czy neurony lustrzane dostarczają informacji o intencji stojącej za działaniem?* Mogłaby to być niezwykle istotna informacja. Ostatecznie, jeśli chcemy naprawdę zrozumieć jakieś działanie, musimy wyjść poza rozpoznanie, że, powiedzmy, jakiś mały obiekt jest chwytny. Powinniśmy wiedzieć, dlaczego

jest on chwytny. Dokładnie w tym teoretycznym kierunku mierzyli w ostatnich latach Rizzolatti i jego współpracownicy. Kluczowe odkrycie w tym zakresie zrelacjonowano w 2005 roku w opublikowanym w „Science” artykule *Parietal lobe: from action organization to intention understanding* (Płat ciemieniowy: od organizacji działania do rozumienia intencji)<sup>30</sup>.

W badaniu wykorzystano bardzo sprytny układ eksperymentalny. Dwie małpy szkolono w chwytaniu jedzenia lub przedmiotu niebędącego pożywieniem i umieszczanie go w ustach (jedzenie) lub w małym pojemniku (przedmiot). Przez większość czasu trwania eksperymentu pojemnik umieszczony był na stole z lewej lub prawej strony w stosunku do tego, gdzie eksperymentator kładł jedzenie/przedmiot. Przez pozostałą część eksperymentu, obejmującą mniejszą ilość prób, pojemnik był usytuowany na prawo od ust małpy, tak jakby był położony na jej ramieniu. Dzięki temu zespół mógł kontrolować potencjalne różnice w ruchach w tych dwóch warunkach – chwytaniu, by zjeść *versus* chwytaniu, by odłożyć. Rejestrowano aktywność neuronów z płata ciemieniowego, czyli regionu, w którym uprzednio stwierdzono występowanie neuronów lustrzanych.

W pierwszej fazie eksperymentu zbadano 165 neuronów, z których wszystkie były aktywne podczas chwytania. Trzydzieści sześć procent neuronów reagowało z taką samą intensywnością podczas chwytania mającego na celu zjedzenie i tego, które kończyło się odłożeniem przedmiotu. Jednak większość z nich, bo aż 64%, różniła się w swoich reakcjach w zależności od celu chwytu. Blisko trzy czwarte komórek specyficznych dla celu preferowało chwytanie w celu zjedzenia (nic dziwnego!), podczas gdy jedna czwarta wolała chwytanie kończące się odkładaniem przedmiotu do pojemnika

(ktoś w końcu musi to robić). Część komórek (18) była badana we wszystkich trzech warunkach – jedzenia, umieszczenia przedmiotu blisko miejsca, gdzie leżał oraz umieszczenia przy ustach. Czternaście z tych komórek preferowało chwytanie pożywienia i reagowało słabiej, gdy przedmiot umieszczony był w pojemniku koło jedzenia, co nie jest szczególnie zaskakujące, zważając na to, jak bardzo różnią się te ruchy. Jednak te same 14 komórek odpalało mniej energicznie podczas chwytania-by-odłożyć (w porównaniu z chwytaniem-by-zjeść), kiedy pojemnik usytuowany był zaraz koło ust małpy. Jest to istotne, ponieważ fizyczny ruch podczas wykonywania tych dwóch działań (jedzenie i odkładanie) był prawie identyczny, więc wydaje się, że komórki nie kodowały ruchu samego w sobie, ale raczej *cele* działania. Podobnie, 4 neurony, które preferowały sięganie w celu umieszczenia w pojemniku, reagowały tak samo silnie na umieszczanie przedmiotu w pojemniku na stole i zaraz koło ust. Według autorów, „głównym czynnikiem determinującym intensywność wyładowań neuronów był cel działania, a nie kinematyka” (s. 663); kinematyka w tym miejscu odnosi się do mechaniki ruchu, wzorca skurczów i rozkurczów mięśni realizowanego podczas ruchu.

Są to interesujące wyniki, jednak badane komórki niekoniecznie musiały być neuronami lustrzanymi, ponieważ mierzono tylko reakcje na wykonywanie działania. W następnym etapie eksperymentu zespół zabrał się za sprawdzanie, czy neurony lustrzane zachowują się w podobny, zależny od celu, sposób. Zidentyfikowano 41 neuronów lustrzanych, komórek które odpowiadały nie tylko podczas chwytania, ale także podczas obserwowania przez małpę eksperymentatora wykonującego te same zadania polegające na chwytaniu i zjadaniu

lub chwytaniu i umieszczaniu w pojemniku. Czy neurony lustrzane również wykazały preferencję ze względu na cel? Dla większości z nich (prawie dwóch trzecich, czyli 31 z 41 komórek) odpowiedź brzmi: tak. Spośród nich, jak łatwo się domyślić, większość preferowała jedzenie (23 komórki). Część (19) z tych reagujących wybiórczo dla celu komórek sprawdzono pod względem zgodności tego, jakie były wybiórcze reakcje na wykonywane i obserwowane działania (czy preferują one ten sam rodzaj ruchu podczas wykonywania i podczas obserwowania?). Większość (16) wykazała zgodność preferencji dla działania i obserwowania. Tak więc, neurony lustrzane są wybiórcze ze względu na *cel*.

Ten efekt zorientowania na cel, a nie na ruch, nie jest tylko szczęśliwym trafem, w innym, często cytowanym artykule, przeczytać można o podobnych rezultatach w przedniej korze ruchowej w obszarze F5, a dokładniej o tym, że komórki reagują na cel działania, a nie na kinematykę ruchu, mimo że zestaw komórek był raczej odmienny<sup>31</sup>. W dodatku neuroobrazowanie ludzkich mózgow wykazało podobne efekty – system lustrzany nie odpowiada na ruch sam w sobie, a raczej na kontekst, w którym dany ruch jest wykonywany<sup>32</sup>.

Wróćmy jednak do oryginalnego badania. Udokumentowane właściwości neuronów w płatach ciemieniowych, czyli ich zależne od celu odpowiedzi, „pozwalają małpom przewidywać cel obserwowanego działania, a zatem *odczytywać* intencje działającego osobnika”. Przynajmniej tak głosi ta opowieść. Bliższe spojrzenie na wyniki badań nasuwa to samo pytanie, które zadawaliśmy już odnośnie do przewidywania bodźca docelowego prostego działania. Czy symulowanie ruchu zwiększa zdolność małpy do przewidywania celu?

Oto kilka informacji w pigułce dotyczących układu eksperymentu w warunku obserwowania działania. Obecność lub brak pojemnika pozwalała przewidywać działanie eksperymentatora. Kiedy pojemnik był obecny – późniejszym działaniem było zawsze odkładanie do niego przedmiotu, a gdy go nie było – jedzenie. Preferowana odpowiedź komórek ciemieniowych (odkładanie *versus* jedzenie) ujawniała się już, gdy eksperymentator sięgał w *kierunku* obiektu, który był wykorzystywany w obydwu warunkach eksperymentu, więc nie stanowił sam w sobie żadnej wskazówki dotyczącej końcowego celu ruchu. Jak zatem małpie neurony przewidywały cel? Wykorzystywały do tego niezwiązany z motoryką kontekst, a nie sam obserwowany ruch. Ruch sam w sobie był całkowicie niejednoznaczny i niemożliwe było rozróżnienie pomiędzy umieszczeniem a jedzeniem, a jednak w tym samym czasie neurony „przewidywały” cel. Informacja po prostu nie zawierała się w działaniu.

Badacze byli całkowicie świadomi faktu, że cel był przewidywany z kontekstu. Przecież sami zaprojektowali eksperyment w ten sposób. Alternatywą dla takiego układu eksperymentalnego mogło być zostawienie pojemnika w tym samym miejscu podczas obydwu warunków. Aby sobie to uzmysłować, wyobraź sobie siedzącego na miejscu małpy oraz eksperymentatora ze słoikiem na ramieniu i kawałek jedzenia na stole. Eksperymentator sięga po kasek i chwyta go. Do tego momentu nie jesteś w stanie powiedzieć, co dalej będzie się działo. Następnie rozpoczyna ruch ramienia w kierunku głowy. Przewidzenie rezultatu wciąż może być niemożliwe. Ostatecznie dłoń omija usta i wrzuca kasek jedzenia do słoika. W tym scenariuszu ruchy są identyczne prawie do ostatniej sekundy, sprawiając, że przewidzenie wyniku działania jest niemożliwe, nim się ono nie za-

kończy. Gdyby taki scenariusz został zastosowany w tym eksperymencie, nie byłoby możliwości, żeby odpowiedzi komórek różniły się aż do momentu włożenia jedzenia do pojemnika, i do tego czasu nic nie mogłoby zostać przewidziane. Usuwając pojemnik z prób zakończonych jedzeniem i ustawiając go tylko podczas prób z umieszczaniem, eksperymentatorzy pozbyli się towarzyszącej ruchom dwuznaczności i sprawili, że komórki mogły zaprezentować to, co wiedziały i kiedy to wiedziały. biorąc pod uwagę, że przewidywalność wyniku pochodzi z kontekstu, a nie z ruchu, możemy zapytać, jak możliwy jest wniosek, że neurony lustrzane przewidują rezultat działania poprzez symulację motoryczną, kiedy w samym ruchu nie ma żadnej wskazówki, która pozwoliłaby na taką predykcję?

Oto jak wyjaśniają to autorzy badania. Akty motoryczne są często połączone ze sobą. Sięgamy po kubek z kawą i przykładamy go do ust, podrzucamy piłkę w powietrze a następnie uderzamy ją rakieta. Płynność, z jaką wykonujemy takie sekwencje ruchowe, sugeruje, że są one połączone neuronalnym kodem – aktywacja jednego składnika sekwencji ruchowej wyzwala aktywację kolejnej. Jest to dość dobrze ugruntowana idea, którą ilustruje różnica pomiędzy napisaniem na klawiaturze komputera nieznanego słowa (litera po literze), a własnego imienia (kolejność ruchów sama wychodzi spod palców). Odnosząc tę ideę do wyniku eksperymentu, autorzy zasugerowali, że neurony lustrzane w płacie ciemieniowym, odróżniające chwytanie-by-zjeść od chwytania-by-odłożyć, kodują te dłuższe łańcuchy motoryczne, a nie pojedyncze ruchy. Następnie, gdy ruch pojawia się w kontekście, który jest bardziej związany z danym łańcuchem motorycznym niż z innym, system może aktywować właściwy łańcuch, zasymulować sekwencję ruchów i na tej podstawie przewidzieć jej wynik.

Jest to całkiem elegancki pomysł, jednak jak zauważyła filozofka Patricia Churchland, nie rozwiązuje on problemu<sup>33</sup>. Żeby wiedzieć, który łańcuch aktywować, musisz wiedzieć z wyprzedzeniem, czy ruch raczej zakończy się położeniem obiektu (gdy pojemnik jest obecny), czy zjedzeniem go (podczas nieobecności pojemnika). A jeśli wiesz to z wyprzedzeniem, to co nowego symulacja wnosi do twojej wiedzy? To ten sam problem, z którym spotkaliśmy się wcześniej przy okazji standardowych neuronów lustrzanych i ta sama konieczność, by przedmiot był obecny. Węgierski kognitywista Gergely Csibra elokwentnie podsumował tę kwestię:

[Występuje] napięcie między dwoma przeczącymi sobie nawzajem twierdzeniami na temat odzwierciedlenia działania, wynikającymi z hipotezy bezpośredniego dopasowania: twierdzeniem, że odzwierciedlanie działania stanowi przejaw mechanizmów rezonansu niskiego poziomu, oraz twierdzeniem, że jest ono przejawem rozumienia działania na wysokim poziomie. Napięcie to wyrasta z faktu, że im bardziej wydaje się, że odzwierciedlanie jest niczym więcej niż dokładną duplikacją obserwowanych działań, tym mamy mniej dowodów, że leży ono u podłoża rozumienia działania; a im bardziej odzwierciedlanie przybliża się do interpretacji „wysokiego poziomu” obserwowanych działań, tym mniej zyskujemy dowodów na to, że ta interpretacja jest generowana przez duplikację odbywającą się na niskim poziomie<sup>34</sup>.

Kolejny często cytowany artykuł z 2001 roku, autorstwa większości członków oryginalnego zespołu z Parmy oraz kilku współpracowników, bezpośrednio ilustruje to napięcie<sup>35</sup>. Prze-

prowadzili oni standardowy eksperyment wykazujący istnienie neuronów lustrzanych, obejmujący zarówno wykonywanie, jak i obserwowanie działania, jednak został on trochę urozmaicony. Do zadania polegającego na obserwowaniu działania dodano kilka warunków. W pierwszym, małpa obserwowała całość działania, tak jak było to w poprzednich eksperymentach. W kolejnym warunku, po tym, jak małpie siedzącej na podestce pokazano obiekt, naprzeciwko umieszczano zasłaniający go, nieprzezroczysty ekran. Następnie eksperymentator sięgał po przedmiot znajdujący się za ekranem, tak jak wcześniej. Jak neurony lustrzane mogą się zachować, gdy obiekt jest ukryty? Nie reagują one podczas pantomimy – przedmiot, na który skierowane jest działanie, musi być zawsze obecny. Czy w takim razie neurony lustrzane zareagują bez kontekstu wizualnego? Albo czy odpowiedzą dlatego, że małpa „wie”, iż obiekt znajduje się za zasłoną? Możecie domyślić się odpowiedzi, opierając się na tytule artykułu *I know what you are doing: a neurophysiological study* (Wiem, co robisz: badanie neurofizjologiczne). Rzeczywiście, wiele neuronów wytrwale odpalało, nawet gdy przedmiot był niewidoczny. W warunkach kontrolnych bez wykorzystania przedmiotu, pokazywano małpie pustą platformę, następnie opuszczano ekran, po czym sięgano za niego, tak jakby znajdował się tam obiekt. W takiej sytuacji neurony lustrzane nie odpalały.

Podobnie jak w przypadku opisanych powyżej eksperymentów, wynik ten zinterpretowano jako dowód, że neurony lustrzane śledzą cel lub znaczenie działania, a nie same jego fizyczne właściwości<sup>36</sup>.

We fragmencie dyskusji w artykule zespołu z Parmy, jasno widać „napięcie”, które zauważył Csibra:

Żeby aktywować neurony w warunku ukrycia, muszą zostać spełnione dwa warunki: małpa musi „wiedzieć”, że za zasłoną znajduje się przedmiot i musi widzieć znikającą za tą zasłoną dłoń eksperymentatora. Okazuje się zatem, że neurony lustrzane reagujące w warunku ukrycia, potrafią generować reprezentację motoryczną obserwowanego działania nie tylko wtedy, gdy małpa widzi działanie, ale także wtedy, gdy zna jego rezultat bez oglądania najbardziej kluczowego fragmentu (na przykład interakcji dłoni z obiektem) (s. 96).

Skoro małpa już na początku zna rezultat, jaki ma sens symulowanie go za pomocą odpowiedzi motorycznej?

Wygląda na to, że teoria rozumienia działania poprzez neurony lustrzane znalazła się pomiędzy młotem a kowadłem. Symulowanie nic nie wnosi, dopóki nie znamy rezultatu działania (ze względu na niejednoznaczność ruchów), a jeśli wcześniej jest znany wynik, symulowanie działania nie ma sensu. Jednak Rizzolatti i włoski filozof Corrado Sinigaglia, w bezpośredniej reakcji na tego rodzaju krytykę, podjęli próbę uratowania teorii (w mojej opinii nieudaną)<sup>37</sup>. Argumentują oni, że system lustrzany wykonuje dwa rodzaje transformacji sensomotorycznych, z których jedna rzeczywiście polega na bezpośrednim odzwierciedlaniu szczegółów ruchu, a druga odzwierciedla cele. Ponadto stwierdzili, że bezpośrednio dopasowanie ruchów – dokładna i wierna symulacja, która stała się podstawą całej teorii – jest „pozbawione jakiegokolwiek poznawczego znaczenia *per se*”. Dalej argumentowali: „Z kolei poprzez dopasowywanie celu obserwowanego aktu motorycznego do działania, które ma ten sam cel, obserwator jest zdolny do zrozumienia, co robi wykonawca działania”. Mamy więc dwa procesy: pierwszy, obejmujący

muszący odzwierciedlanie ruchów, który nie odgrywa znaczącej roli w rozumieniu (młot) oraz drugi, obejmujący odzwierciedlanie celów działania, który zgodnie z powyższymi argumentami nie wynika z *symulacji motorycznej*, co zaprzecza fundamentalnej tezie całego przedsięwzięcia symulacji motorycznej (kowadło).

Dorzućmy do tej dyskusji wynik jeszcze jednego badania, który kwestionuje to, że neurony lustrzane w ogóle odzwierciedlają cele. W przeprowadzonym eksperymencie fMRI zbadano grupę makaków.

Przekonanie małpy, aby poddała się badaniu MRI, jest imponującym osiągnięciem, ale jest to możliwe i stanowi piękne uzupełnienie wyników badań pojedynczych komórek, ponieważ zapewnia szersze spojrzenie na reakcje neurofizjologiczne. Aby tego dokonać, zespół Rizzolattiego nawiązał współpracę z naukowcami z belgijskiego Katolickiego Uniwersytetu Lowańskiego<sup>38</sup>. Nauczycieli oni pięć małp poddawać się badaniu fMRI podczas oglądania nagrań wideo przedstawiających następujące działania: chwytanie przez eksperymentatora różnych przedmiotów (tak jak w typowych badaniach nad neuronami lustrzanymi), przybliżony widok ręki sięgającej po przedmiot, ręka robota chwytająca obiekt, pantomima przedstawiająca chwytanie czegoś oraz samodzielnie poruszający się obiekt. W warunkach kontrolnych użyto statycznych kadrów wideo oraz pociętych i wymieszanych nagrań, które tworzą dynamiczne wzory w różnych odcieniach szarości.

Zgodnie z oczekiwaniami, w porównaniu z warunkiem kontrolnym, obserwacja działania wiązała się z aktywacją rejonu F5 jak również innych obszarów czołowych. Co ciekawe, F5c – fragment F5, o którym wiadomo, że zawiera neurony lustrzane,

reagował na nagranie przedstawiające całą scenę, a nie odpowiadał na przybliżenie ruchu samej ręki. Pełny kontekst, włączając w to ubranego w biały fartuch eksperymentatora, był konieczny, aby wywołać związaną z działaniem aktywność w tym „regionie neuronów lustrzanych”. Dwa inne obszary F5 (F5p i F5a) wraz z innym obszarem – 45B, odpowiadały zarówno na pełne sceny, jak i na przybliżone nagrania.

To odkrycie prowadzi do problemu teoretycznego, dotyczącego ukierunkowania na cel odpowiedzi neuronów lustrzanych. Zarówno w warunku, gdzie widoczna była sama ręka, jak i w przypadku pełnej sceny, cel był ten sam: sięgnięcie po przedmiot. Jednak neurony lustrzane nie zareagowały na obydwa te warunki, co sugeruje, że nie odpowiadają one na cel działania, ale na coś bardziej specyficznego dla konkretnej sytuacji, w której odbywa się działanie.

Wyniki z dwóch kolejnych warunków eksperymentalnych (działanie wykonywane przez robota i pantomima) również są interesujące. Chociaż obszar neuronów lustrzanych (F5c) nie uaktywniał się w żadnym warunku, poza podstawowym, to inny fragment F5 (F5a) odpowiadał nie tylko na skierowane na cel działanie człowieka, ale także na to samo działanie wykonywane przez robota oraz niewykorzystującą przedmiotu pantomimę. Mimo że nie przeprowadzono jeszcze bezpośrednich badań przy użyciu metody rejestracji aktywności pojedynczych komórek, autorzy badania podkreślają, słusznie zresztą, że biorąc pod uwagę umiejscowienie F5a w korze przedruchowej, możliwe jest, że komórki, które reagują na działania robota oraz na pantomimę, same posiadają właściwości motoryczne. Możemy z tego *wstępnie* wnioskować o istnieniu nowej klasy neuronów lustrzanych, które odpowiadają zarówno podczas wykonywa-

nia działania przez małpy, jak i podczas obserwowania działania robotów oraz pantomimy. Autorzy sugerują, że taki wzorzec reagowania jest przejawem reprezentacji abstrakcyjnego działania. To z kolei, według ich spekulacji, łączy system lustrzany z językiem, czyli systemem, który jest niemal w całości zdefiniowany przez abstrakcję:

Jest więc prawdopodobne, że umiejscowione w płacie czołowym małpy przejście od uzależnionych od kontekstu opisów działań w F5c do tych bardziej abstrakcyjnych umiejscowionych w F5a (...) stanowi pierwotną, przedjęzykową podstawę, z której ewoluował abstrakcyjny opis działania, niezbędny do powstania języka (s. 336).

Jest to dość radykalne stwierdzenie, jak na badanie, które wydaje się wskazywać, (1) że neurony lustrzane, które badano od 1992 roku, nie są jednak zorientowane na cel, ale raczej w specyficzny sposób uzależnione od kontekstu oraz, (2) że jest inny, jeszcze niezbadany obszar, który stanowi podstawę dla ewolucji języka, z racji tego, że reaguje na działania niezależnie od kontekstu, obiektów i wykonawcy (to znaczy – nie koduje celów) i w związku z tym nie radzi sobie z określeniem „*informacji krytycznych dla zrozumienia semantyki działania, jak na przykład tego, czego dotyczy działanie, co jest jego celem, i jak powiązane jest z innymi działaniami*”<sup>39</sup> – cytując fragment wprowadzenia z tego samego artykułu.

Z perspektywy czasu, w najwcześniejszych badaniach można znaleźć dowód, że odpowiedzi neuronów lustrzanych nie były skierowane przede wszystkim na cel, a raczej pełnią bardziej zróżnicowane, wyspecjalizowane funkcje. Na przykład

publikacja z 1996 roku podaje, że 30 z 47 badanych neuronów lustrzanych jest wrażliwych na kierunek ruchu, to znaczy, że odpowiadają one z większym zapalem w zależności od tego, czy obserwowany ruch odbywał się od lewej do prawej strony, czy od prawej do lewej<sup>40</sup>. Cel oczywiście nie zmieniał się w zależności od kierunku ruchu – skąd więc selektywność?

Przyglądając się całemu zbiorowi przytoczonych tu wyników, musimy dojść do wniosku, że jeśli orientacja na cel jest krytyczna dla rozumienia semantyki działania, to wcale nie jest oczywiste, że neurony lustrzane posiadają odpowiednie właściwości, by umożliwić rozumienie działania.

### Co mówią nam anomalie?

Istnienie anomalii w ramach danej teorii niekoniecznie musi oznaczać, że teoria jest błędna. Dobre teorie prawie zawsze muszą zmierzyć się z empirycznymi wyzwaniem. W niektórych przypadkach dane okazują się niepoprawne lub źle zinterpretowane. W innych nowe fakty mogą zostać wyjaśnione poprzez stosunkowo niewielkie poprawki do teorii. Jednak czasami anomalie mogą ostatecznie wskazać zupełnie inny teoretyczny punkt widzenia (np. że to Ziemia krąży wokół Słońca). We wszystkich tych przypadkach anomalie domagają się bliższego spojrzenia na fakty i założenia teoretyczne.

Żadna z nieprawidłowości, które tu wymieniłem, sama w sobie nie doprowadziłaby do całkowitej rezygnacji z teorii rozumienia działania przez neurony lustrzane. Rzeczywiście, jak mogliśmy zobaczyć, zaproponowano różne poprawki do modelu, żeby dostosować go do nowych odkryć. Jednak już sama

liczba zaobserwowanych anomalii jest istotnym problemem, co powinno prowadzić do rozważenia innych źródeł danych, w celu przetestowania teorii, jak również do zgłębienia alternatywnych wyjaśnień zachowań neuronów lustrzanych. Stanowi to temat kolejnych rozdziałów. Zaczniemy od zachowania, które zainspirowało samą teorię rozumienia działania za pomocą neuronów lustrzanych, i którego wyjaśnienie wydaje się najbardziej naciągane: od języka.