

Jacek DĘBIEC

Center for Neural Science
New York UniversityPROBLEMY DETERMINIZMU I WOLNEJ WOLI
W NEUROBIOLOGII — NEUROEKONOMIA
PAULA GLIMCHERA

Wpływom poglądów Kartezjusza na kulturę europejską przypisuje się utrwalony w czasach nowożytnych sposób postrzegania rzeczywistości jako złożenia dwóch rozdzielnych i nieredukowalnych do siebie elementów: substancji rozciąglej (*res extensa*) oraz substancji myślącej (*res cogitans*). Konsekwencje tej metafizycznej wizji nie ograniczały się wyłącznie do obszaru refleksji filozoficznej. Podział na dwie substancje wyznaczał również zakresy dwóch różnych sposobów poznawania świata. Podczas gdy metody eksperymentalne i koncepcje teoretyczne rozwijającej się nauki znalazły swe zastosowanie do porządkowania zjawisk wymiaru rozciągniętego, wymiar myśli pozostawał domeną introspekcji oraz podejścia spekulatywnego. Według Patricii Churchland, kartezjański podział, poprzez wykluczenie części problemów poznawczych z obrębu dyscyplin empirycznych, umożliwił dynamiczny postęp w zakresie naukowego badania pozostałych zagadnień [Churchland 2002].

Wyrażna dychotomia pomiędzy opisywalną (jak się wówczas zdawało) w kategoriach determinizmu mechanicznego rzeczywistością fizyczną a niepoddającym się takiemu opisowi niektórym aspektem ludzkiego zachowania stanowiła jedną z przyczyn opowiedzenia

*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

się przez Kartezjusza za dualizmem metafizycznym. Proste reakcje układu nerwowego definiowano jako procesy odpowiadające funkcjom trybów maszyny, lecz doświadczana subiektywnie wolna wola człowieka i związane z nią postępowanie pozostawały poza wpływem identyfikowalnych determinant. Mimo wiary w możliwość badania układu nerwowego zgodnie z przesłankami paradygmatu mechanicznego, aktywność samego mózgu stanowiła wielką niewiadomą dla nowożytnych uczonych. Narząd ten jeszcze w czasach antycznych kojarzony był z procesami psychicznymi. Kierując się ówczesnym stanem wiedzy oraz deterministyczną wizją postrzeganej zmysłami rzeczywistości, Kartezjusz uznawał rolę mózgu w generowaniu myśli. Jednakże, aby pogodzić dualizm przejawiający się z jednej strony nieprzewidywalnym charakterem procesów psychicznych, a z drugiej możliwością ich fizycznej lokalizacji (w mózgu), francuski filozof zakładał, iż mózg-obiekt deterministycznego świata poddany zostaje niedeterministycznemu oddziaływaniu niematerialnej duszy, siedziska wolnej woli (dualizm interakcjonistyczny). Powstanie i rozwój nowych sposobów badania procesów poznawczych zachodzących w mózgu naruszyły ten metodologiczny rozdział. Myśl stała się dla nauk matematyczno-przyrodniczych takim samym przedmiotem systematycznej analizy, jakim już od kilku stuleci były obiekty świata fizycznego i zachodzące między nimi procesy, zaś poglądy metafizyczne samego Kartezjusza poddane zostały krytyce [Damasio 1994]. Współczesne badania i modele pozwalają spojrzeć na funkcjonowanie mózgu w sposób, który godzi niemechanicystyczny charakter procesów psychicznych z ich fizyczną naturą. Jedną z takich propozycji stanowi odwołująca się do reguł ekonomii oraz do założeń ekologii behawioralnej teoria neuroekonomii Paula Glimchera z New York University.

1. ODRUCHY NERWOWE I WOLNA WOLA

Swoje propozycje Glimcher prezentuje w artykułach publikowanych w fachowych pismach z zakresu neurobiologii [Glimcher 2001, 2002, 2003a] oraz, w rozszerzonym zakresie, w wydanej niedawno

książce pt. „Decisions, Uncertainty, and the Brain: The Science of Neuroeconomics” [Glimcher 2003b]. Ostatnia z wymienionych pozycji zasługuje na szczególną uwagę. To właśnie w niej nowojorski neurobiolog przedstawia zarys ewolucji reprezentowanego przez nauki empiryczne podejścia do problemów zachowania się żywych organizmów oraz towarzyszące mu filozoficzne uzasadnienia.

Kryształowanie się metod poznania naukowego w nowożytności nie pozostało bez wpływu na znajdującą się wówczas w dość wczesnej fazie rozwoju neurobiologię. Już w starożytności utrzymywała się świadomość szczególnej roli ośrodkowego układu nerwowego w kierowaniu zachowaniem i procesami życiowymi wyższych organizmów zwierzęcych. Uważany za jednego ze współtwórców medycyny, Rzymianin Galen z drugiego wieku naszej ery, obserwując rytualne poświęcenia byków w świątyniach, zanotował, iż gwałtowne przecięcie przez kapłana mieczem rdzenia kręgowego, powoduje natychmiastową śmierć zwierzęcia. Życie oraz wyrażające je ruch i różnorodne formy zachowania są zależne od łączności mózgu i rdzenia kręgowego z resztą ciała organizmu, konkludował rzymski medyk. Niedostatki metodologii nie pozwalały na jednoznaczne rozstrzygnięcie roli układu nerwowego w kierowaniu behawioralnymi aspektami życia. Brak danych empirycznych zastępowały teoretyczne spekulacje oparte na aparacie pojęciowym obowiązujących systemów filozoficznych. Stan ten powszechnie utrzymywał się aż do początków nowożytności.

Narodziny metody matematyczno-empirycznej i jej ogromny sukces w fizyce nie pozostały bez wpływu na sposób rozumienia przyrody ożywionej. Prostota mechanicznych wzorców kusiła do ich zastosowania w wyjaśnianiu złożonych zjawisk życia, w tym także procesów psychicznych oraz zachowania zwierząt i człowieka (na długo przed sformułowaniem przez Darwina teorii ewolucji postrzeganie istot ludzkich w łączności z resztą świata przyrody sprawiało jeszcze wiele pojęciowych trudności). Składające się na funkcjonowanie organizmu zwierzęcego reakcje porównywano do działania trybików maszyny. O ile taka propozycja miała jeszcze jakieś teoretyczne uzasadnienie w przypadku najprostszych elementów fizjologii, złożone

działania ludzkie, którym towarzyszyło subiektywne poczucie indywidualnego sprawstwa, nie poddawały się tak łatwo upraszczającym zabiegom mechanicystów. Aby rozwiązać zaistniały konflikt, Kartezjusz zaproponował metodologiczne rozróżnienie pomiędzy odruchami nerwowymi, prostymi elementami funkcjonalnymi układu nerwowego, a wynikającymi z wolnej woli działaniami człowieka. Mechanizmy leżące u podłoża odruchów nerwowych oraz opisy przejawów postępowania wolicjonalnego znaleźć można na kartach „Namiętności duszy” [Descartes 2001]. O odruchach pisał Kartezjusz w następujący sposób: „najmniejsza rzecz która porusza część ciała, gdzie zakończenie jakiegoś nerwu jest przymocowane, wywołuje zarazem ruch w tej części mózgu, skąd ów nerw wychodzi; podobnie dzieje się, gdy ciągnąc jeden koniec sznura, jednocześnie poruszamy drugi” [s. 34]. A oto przykład Kartezjuszowego rozumienia reakcji zależnych od wolnej woli: „Wszelkie zaś działanie duszy polega na tym, że już przez to samo, że ona chce czegoś, sprawia, iż mały gruczoł, z którym jest ściśle złączona, porusza się w sposób odpowiedni, by wywołać skutek, odpowiadający owej woli” [s. 46].

Kartezjański podział okazał się być na długie lata brzemienny w skutki dla nauk biologicznych. Glimcher zauważa: „Dualizm Kartezjusza stanowił krytyczne osiągnięcie pojęciowe, które umożliwiło zapoczątkowanie badania zachowania przez fizjologię. Opierając się na kartezjańskiej dualistycznej formule, proste deterministyczne formy zachowania mogły stać się domeną czysto fizjologicznych badań. Lecz.. zachowania złożone i nieprzewidywalne jako dziedzina filozofów, pozostały niedostępne dla podejścia fizjologicznego, ponieważ stanowiły one rezultat procesów, które lokalizowały się poza światem fizycznym, w którym to fizjologowie mogli prowadzić swoje eksperymenty” [Glimcher, 2003b: 72]

Analiza odruchów nerwowych koncentrowała się na pytaniach o związek pomiędzy wydarzeniami w otaczającym świecie (bodźcami środowiskowymi) oraz wyzwalanymi przez nie prostymi reakcjami motorycznymi. Późniejsze odkrycie Galvaniego, iż elektryczna stymulacja powoduje skurcz mięśni oraz eksperymenty Halla i Magendiego

nad refleksami rdzeniowymi utwierdziły przekonanie, że wysunięta przez Kartezjusza koncepcja odruchu spełnia wymogi deterministycznego opisu, jaki wówczas stawiano przed teoriami nauki. Znacznie więcej problemów konceptualnych stwarzał problem opisu bardziej złożonych form zachowań człowieka. Po pierwsze, ich skomplikowany charakter nie poddawał się próbom wyjaśnienia w oparciu o prosty schemat „bodziec — reakcja”. Bodźce środowiskowe niejednokrotnie pozostawały zupełnie nieidentyfikowalne, a różnorodne reakcje organizmu ludzkiego na wydarzenia w otaczającym świecie jawiły się jako nieprzewidywalne. Drugi problem, z jakim konfrontowali się nowożytni uczeni, wynikał z faktu subiektywnych przeżyć towarzyszących działaniom człowieka. Poczucie sprawstwa i wpływu na własne postępowanie w jawny sposób kolidowało z założeniami determinizmu. Nie mogąc znaleźć miejsca dla koncepcji wolnej woli w teorii deterministycznego świata, Kartezjusz odwołał się do dualistycznych tradycji w metafizyce. Postulat istnienia dwóch niesprowadzalnych do siebie wymiarów rzeczywistości (dwóch odrębnych rzeczywistości?) stał się teoretycznym fundamentem koncepcji dualizmu, w myśl którego dusza (niematerialny obiekt niedeterministycznego świata) poprzez oddziaływanie na mózg (materialny obiekt deterministycznego świata) wpływa na postępowanie człowieka. To właśnie takim formom działania towarzyszy poczucie indywidualnego sprawstwa i woli.

Mimo wymiernych korzyści, przejawiających się rozwojem procedur badania odruchów nerwowych oraz zażegnaniem konfliktu pomiędzy teoriami bazującymi na subiektywnym odczuciu wolnej woli i nieprzewidywalnym charakterze ludzkiego zachowania a wymogami deterministycznego paradygmatu, propozycja Kartezjusza znalazła także wielu oponentów. W obrębie nauki krytyka dualistycznej teorii najczęściej sprowadzała się do odrzucenia koncepcji wolnej woli oraz do negacji istnienia niematerialnej duszy. Kulminacją myślenia zgodnie z założeniami materialistycznego monizmu stała się opublikowana w 1748 roku praca La Mettriego pt. „Człowiek — maszyna”. Wiara, iż złożone formy zachowań człowieka oraz innych organizmów da się

ostatecznie zredukować do prostych, deterministycznych elementów składowych, towarzyszy często także wielu współczesnym uczonym.

Dyskutując historyczne okoliczności sformułowania przez Karezsusa koncepcji odruchów nerwowych oraz skutki tej teorii dla nauki, Glimcher [Glimcher 2003b] zwraca uwagę na zasadniczy mankament kartezjańskiej propozycji. Według neurobiologa z Nowego Jorku, analiza reakcji nerwowych w oparciu o schemat „bodziec — reakcja” w nieuzasadniony sposób unika podstawowego pytania, pytania o cel tych reakcji. To nie tylko natura i natężenie bodźca determinują charakter i wielkość reakcji układu nerwowego. Zrozumienie behawioralnych aspektów życia organizmów zwierzęcych nie może abstrahować od celów tych reakcji. Przejawiane przez istoty zwierzęce formy zachowań charakteryzuje celowość.

2. OD DETERMINIZMU BEHAWIORYSTYCZNEGO DO EKOLOGII BEHAWIORALNEJ

Prostota mechanicystycznej wizji świata, wsparta postępującą ewolucją samej mechaniki stanowiła układ odniesienia nie tylko dla fizyki, ale także i dla innych dyscyplin nowożytnej nauki. Mimo iż dla Karezsusa doświadczenie wolnej woli stanowiło jeden z powodów do opowiedzenia się za metodologicznym rozdziałem w analizie zachowań i procesów psychicznych, rozwijające się nauki behawioralne na długo pozostawały pod wyraźnym wpływem paradygmatu „odrchów nerwowych”. Co interesujące, zwraca na to uwagę Glimcher, akceptacja kartezjańskiego dualizmu nie przeszkadzała uczonym konstruować całościowych modeli funkcjonowania układu nerwowego w odwołaniu do teorii odruchów. Działający na przełomie dziewiętnastego i dwudziestego wieku angielski fizjolog Charles Scott Sherrington, twórca koncepcji „łuku odruchowego” wyjaśniającej sposób, w jaki układ nerwowy integruje recepcję bodźców zmysłowych z reakcjami motorycznymi, przypuszczał, że opierając się na elementarnych jednostkach funkcjonalnych można w deterministyczny sposób opisać zachowanie. Jak zauważa Glimcher, Sherrington usiłował opracować coś, co „Boole

i Frege starali się dokonać w dziedzinie matematyki”, swego rodzaju „rachunek odruchów” (*calculus of the reflex*) [Glimcher, 2003b: 60-69]. Z drugiej strony, angielski fizjolog nie ukrywał, że odpowiedź na pytanie o to, „jak ta kontrola — kontrola wolicjonalna — oddziałuje na odruchy” [Sherrington; za: Glimcher 2003b: 68] stanowi niemałe wyzwanie dla fizjologii. Na poziomie podstawowym dylematy Sherringtona zasadniczo nie odbiegały od problemów, z jakimi borykał się Kartezjusz. Angielski fizjolog uznawał konieczność pogodzenia koncepcji wolnej woli z deterministyczną teorią odruchów nerwowych. Nieco inne stanowisko zajął współczesny Sherringtonowi Iwan Pawłow. Rosyjski uczony był przekonany, iż cała aktywność organizmu poddaje się opisowi w kategoriach teorii odruchów nerwowych. Według Glimchera stanowisko Pawłowa pozwoliło fizjologom behawioralnym ostatecznie odrzucić karezyński dualizm. Uznano, że wszystkie aspekty zachowania mają deterministyczny charakter i dają się sprowadzić do systemu opartego na prostych odruchach nerwowych [Glimcher, 2003b: 72].

Postępujące zaawansowanie teoretyczne nauk behawioralnych spowodowało, iż dziedziny te w większym stopniu mogły korzystać z dostępnej aparatury matematycznej. Jakościowa zmiana w metodologii tych nauk, dowodzi Glimcher, dokonała się dzięki zastosowaniu rachunku prawdopodobieństwa. Prace Pascala i Bernoulliego stworzyły formalne podstawy do przełamania dominacji deterministyczno-mechanicystycznego spojrzenia na rzeczywistość. Opracowanie rachunku prawdopodobieństwa sprzyjało kształtowaniu się przekonań, że poddająca się formalizacji racjonalność nie ogranicza się wyłącznie do deterministycznych wzorców. Możliwość oceny prawdopodobieństwa zajścia wydarzenia o określonej wartości w warunkach niepewności co do przyszłych zdarzeń, początkowo wykorzystywana praktycznie w grach hazardowych, pomogła zrozumieć i zoptymalizować proces podejmowania decyzji. Chociaż Pascal, podobnie jak Kartezjusz, tworzył w siedemnastym stuleciu, to jednak, aby zastosowanie rachunku prawdopodobieństwa do modelowania zachowania stało się możliwe, konieczne było dokonanie się teoretycznego postępu w biologii.

Przełomowy dla nauk o przyrodzie ożywionej moment nadszedł wraz ze sformułowaniem teorii ewolucji. Odkrycia Darwina pokazały, iż formy życia podlegają zmianom w kierunku optymalnego przystosowania do warunków środowiska. Teoria ewolucji uwydatniła, iż zasadniczym celem żywej istoty jest jej przetrwanie. Na różnorodne formy zachowań zwierząt można było spojrzeć poprzez pryzmat celowości. Pojęcia teorii ewolucji w połączeniu z teorią prawdopodobieństwa pozwoliły także zrozumieć, iż organizm zwierzęcy, aby przeżyć, musi „generować zachowanie odpowiadające probabilistycznej konstrukcji świata pełnego niepewności” [Glimcher, 2003b: 206]. Zwierzęta żyjące w naturalnych warunkach nie mogą zachowywać się w deterministyczny sposób. Jeżeli by tak postępowały, to ich szanse przetrwania znacznie by zmalały. Dziedziną, w której doszło do równoczesnego wykorzystania teorii ewolucji oraz teorii prawdopodobieństwa, stała się ekologia behawioralna. W latach 1960-tych biolodzy zaczęli definiować nadrzędny cel każdego z organizmów jako maksymalizację przystosowania do warunków środowiska. Określenie celów bardziej specyficznych, podporządkowanych nadrzędnemu, umożliwiło biologom zastosowanie aparatury pojęciowej zapożyczonych z ekonomii. Dzięki tej innowacji uzyskano liczne dane empiryczne ukazujące, w jaki sposób organizmy zwierzęce optymalizują swoje zachowanie w zależności od warunków środowiskowych.

To właśnie ekolodzy behawioralni jako pierwsi zaczęli konstruować matematyczne opisy zachowania z wykorzystaniem podejścia ewolucyjnego oraz pojęć rachunku prawdopodobieństwa. Obserwacje przeprowadzane w warunkach naturalnych oraz eksperymentalnych ujawniły, iż zwierzęta dążące do zdobycia pokarmu, kierują się rodzajem (wartością) tego pokarmu oraz prawdopodobieństwem jego pozyskania. Ekolodzy zaczęli modelować procesy, leżące u podłoża podejmowanych przez zwierzęta decyzji. Analizy zwierzęcych zachowań w sytuacji wyboru odnośnie do tego, czy poprzestać na napotkanym źródle pożywienia, czy też kontynuować poszukiwania innych (bardziej wartościowych) prowadziły do opisu optymalnych strategii przystosowawczych. Oparte na ekonomii modele behawioralne znalazły

zły swoje zastosowanie w badaniu tak odległych od siebie ewolucyjnie organizmów, jak owady i ssaki. Wartość zysku oraz prawdopodobieństwo jego osiągnięcia zostały uznane za uniwersalne zmienne określające zachowanie zwierząt. Ograniczenia epistemologiczne (brak dostatecznej wiedzy o środowisku) powodują, że zwierzęta są zmuszone do oszacowania prawdopodobnych stanów środowiska oraz prawdopodobnych rezultatów swoich działań.

„Co zaskakujące, przypuszczalnie większość ekologów behawioralnych będzie w sposób nieugięty twierdzić, że nie badają oni fizjologii, neurobiologii lub mózgu”, zauważa Glimcher [Glimcher, 2003b: 206]. Odkrywanie prawideł środowiskowego wymiaru zachowania zwierząt nie wiązało się u ekologów ze stawianiem pytań o funkcjonowanie mózgu.

3. NEURONALNE KORELATY PROCESÓW PODEJMOWANIA DECYZJI

Uczonym, który powiązał podejście ewolucyjne z pytaniami o funkcjonowanie mózgu był angielski matematyk i informatyk, David Marr. W końcu lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia zaproponował on, aby działanie układu nerwowego definiować jako ukierunkowane na cel. Krokiem do zrozumienia związków pomiędzy różnymi formami zachowania a mózgiem miało być, według Marra, uprzednie zrozumienie celów i funkcji tych zachowań. Propozycja angielskiego matematyka, podkreśla Glimcher, stała się najpoważniejszą alternatywą dla dominującego przez przeszło dwa stulecia paradygmatu „odruchów nerwowych”.

Autor „Decisions...” podążył za sugestiami Marra. Prace eksperymentalne, które prowadzi od kilkunastu lat wraz ze swoimi współpracownikami, obrazują możliwości tkwiące w powiązaniu ekonomicznych metod analizy procesu podejmowania decyzji z ewolucyjną charakterystyką zwierzęcych form zachowań jako ukierowanych na cel oraz z badaniem aktywności neuronalnych obwodów odpowiedzialnych za generowanie tych zachowań. Na przykładzie modelowania

kontroli ruchów sakadowych gałek ocznych, Glimcher objaśnia zastosowania neuroekonomii.

Ruchy sakadowe polegają na szybkim przemieszczaniu wzroku z jednego miejsca na inne. Prędkość rotacji gałek ocznych dochodzi wówczas do 1000 na sekundę. Ruchy tego typu spotyka się bardzo często. Wykonujemy je na przykład wtedy, gdy oglądamy krajobraz lub malowidło (przesuwając spojrzenie ze szczegółu na szczegół). Za poruszanie każdej z gałek ocznych odpowiada sześć mięśni. Ich aktywność jest kontrolowana przez sześć grup neuronów motorycznych, które zlokalizowane są symetrycznie w pniu mózgu. Te neurony, z kolei, sterowane są przez dwa inne systemy, mieszczące się również w pniu mózgu. Jeden z nich reguluje poziomą, a drugi pionową pozycję gałek ocznych. Obydwa te systemy otrzymują impulsy z dwóch innych, wzajemnie połączonych, obszarów mózgu, z tzw. wzgórków wyższych i z pól ocznych czołowych, których komórki nerwowe tworzą topograficzne mapy wszystkich możliwych ruchów gałek ocznych. Amplituda i kierunek przemieszczania się wzroku stanowi wypadkową konstelacji pobudeń w tych dwóch strukturach. Zarówno wzgórki wyższe, jak i pola oczne czołowe połączone są między innymi z występującymi symetrycznie bocznymi polami wewnątrzciemieniowymi (*LIP* — *lateral intraparietal area*), zlokalizowanymi w tylnej części płatów ciemieniowych. Do *LIP* docierają drogi nerwowe z kory wzrokowej, stanowiącej sensoryczne ośrodki analizy informacji, która transmitowana jest tam z siatkówki poprzez nerwy wzrokowe, boczne wzgórki kolanowe i pasma wzrokowe. Boczne pola wewnątrzciemieniowe należą zatem do struktur pełniących funkcję łącznika pomiędzy układem sensorycznym a motorycznym. Aktywacja konkretnych neuronów *LIP*, rejestrowana w trakcie badań elektrofizjologicznych, odpowiada określonym ruchom gałek ocznych.

Na przykładzie modeli zwierzęcych Michael Platt i Paul Glimcher [Platt i Glimcher, 1999] wykazali, że aktywność neuronalna *LIP* jest skorelowana z prawdopodobieństwem uzyskania wieńczącej ruch gałek ocznych nagrody. Manipulując emitowanymi na ekranie sygnałami świetlnymi ukazującymi się w różnych miejscach pola widzenia, obaj

autorzy nauczyli badane małpy, iż jeśli zareagują one na określoną konstelację tych znaków ruchem sakadowym (przemieszczają wzrok na ustalony sygnał występujący po innym sygnale), to dostaną nagrodę w postaci wyznaczonej miary ulubionego przez nie soku owocowego (sok był dozowany przez rurkę, którą zwierzęta miały w pysku w trakcie trwania całego eksperymentu). Wychodząc z założenia, że każdy system, podejmujący w racjonalny sposób decyzję, musi zawierać informację o prawdopodobieństwie sukcesu, obaj badacze zastanawiali się, czy również neurony w *LIP* kodują taką informację. Inaczej rzecz ujmując, jeżeli boczne pola wewnątrzciemieniowe uczestniczą w podejmowaniu decyzji, w którą stronę skierować wzrok, a decyzja ta ma racjonalne podłoże (tzn. kieruje nią prawdopodobieństwo osiągnięcia sukcesu), to aktywność komórek nerwowych w *LIP* powinna być uzależniona od prawdopodobieństwa, że określone działanie (ruch gałek ocznych) zakończy się sukcesem. Kierując się tą przesłanką, badacze zaczęli manipulować prawdopodobieństwem zajścia korzystnego zdarzenia. Jeżeli ruch sakadowy w kierunku sygnału A prowadził do uzyskania przez małpę nagrody, to zmieniając częstość z jaką sygnał A pojawiał się po innym, ustalonym sygnale, Platt i Glimcher wpływali na prawdopodobieństwo sukcesu, np. kiedy w trakcie stu następujących po sobie prób testowych pojawienie się sygnału A w prawym polu widzenia było dwadzieścia razy poprzedzone przez sygnał B, a osiemdziesiąt prezentacji sygnału C poprzedzało pojawienie się sygnału A w lewym polu widzenia, to prawdopodobieństwo zajścia korzystnego z punktu widzenia małpy zdarzenia (nagroda w postaci miarki soku) w chwili emisji sygnału B wynosiło dwadzieścia procent, a w chwili prezentacji sygnału C osiemdziesiąt procent. Gdy emitowany był sygnał A prawdopodobieństwo to wynosiło już sto procent (ruch oczu w kierunku sygnału A dawał stuprocentową gwarancję sukcesu). Badacze zakładali, że testowane małpy po wielokrotnych treningach nauczą się oceniać prawdopodobieństwo uzyskania nagrody w momencie emisji sygnałów B i C, poprzedzających sygnał A. To prawdopodobieństwo powinno mieć wpływ na wybór działania (spojzienie w prawo lub w lewo). W trakcie przeprowadzania prób testo-

wych, Glimcher i Platt poprzez implantowane elektrody dokonywali pomiaru aktywności neuronów w *LIP*. Analiza danych ujawniła, iż aktywność neuronów, która odpowiada nagradzanemu ruchowi gałek ocznych jest skorelowana z prawdopodobieństwem uzyskania nagrody. Dla przykładu, jeśli emitowany był sygnał C (prawdopodobieństwo, że sygnał A pojawi się po lewej stronie, wynosi osiemdziesiąt procent), to wzmożeniu ulegała aktywność neuronów związanych z ruchem sakadowym w lewą stronę. Komórki nerwowe zachowywały się w taki sposób, jak gdyby antycypowały mające zajść wydarzenie bazując na prawdopodobieństwie jego zaistnienia. Gdy następował sygnał A, aktywność badanych neuronów rosła jeszcze bardziej. Jeśli jednak sygnał C, dla odmiany, poprzedzał pojawienie się sygnału A po prawej stronie, to po emisji sygnału A aktywność tych neuronów malała. Platt i Glimcher, zmieniając odpowiednie parametry, wielokrotnie powtarzali swoje eksperymenty. Ostateczne wyniki nie pozostawiały większych wątpliwości: aktywność neuronów w *LIP* odpowiedzialnych za dany ruch była proporcjonalnie zależna od prawdopodobieństwa, że ruch ten zakończy się sukcesem.

Ekonomiczne teorie podejmowanie decyzji wyróżniają dwie zmienne, które są krytyczne dla dokonania wyboru: prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia i wartość, jaka się z tym zdarzeniem wiąże. Platt i Glimcher zastanawiali się więc, czy neurony w *LIP* kodują informację o wartości każdego ruchu. W tym celu zmodyfikowali stosowane procedury badawcze w taki sposób, aby prawdopodobieństwo nagrody było stałe (i wynosiło pięćdziesiąt procent), zaś zmianie ulegała ilość soku, który otrzymywały małpy (odpowiednio 0.1 i 0.2 ml). Po przeanalizowaniu danych okazało się, że aktywność neuronów w *LIP* związanych z danym ruchem była skorelowana z wielkością nagrody, jaką ten ruch mógł przynieść: im większa była jej przewidywana wartość, tym bardziej aktywne były komórki nerwowe.

Wielkość płynącego z danego działania zysku oraz prawdopodobieństwo jego osiągnięcia okazały się skuteczne nie tylko w opisie zachowania zwierząt, na co już wcześniej zwracali uwagę ekolodzy behawioralni. Te same zmienne ujawniły swoją przydatność do cha-

rakterystyki aktywności skorelowanych z daną formą zachowania neuronów. Założenie ekologów, iż brak dostatecznej wiedzy o otaczającym świecie skłania organizmy zwierzęce do oceny prawdopodobnych stanów środowiska i prawdopodobnych rezultatów swoich działań znalazło swoje potwierdzenie we wzorcach aktywności mózgu.

4. W CO „GRA” MÓZG? – TEORIA GIER A ZACHOWANIE ORGANIZMU

Sukcesy ekologii behawioralnej w opisie postępowania zwierząt w warunkach nieprzewidywalnego środowiska, teoretyczne propozycje Marra, łączące działanie mózgu z funkcjami tych zachowań oraz własne dane eksperymentalne skłoniły Glimchera do postawienia pytania o możliwość opracowania neurobiologicznego modelu zachowań, które Kartezjusz pierwotnie umiejscowił poza obrębem dyscyplin matematyczno-empirycznych. W jaki sposób nauki o mózgu mogą badać działania przypisywane wolnej woli, nie uciekając się ani do postulatów interakcjonizmu (duszy z ciałem), ani też nie redukując z góry złożonych, nieprzewidywalnych form behawioralnych do prostych, deterministycznych elementów składowych takich, jak „łuki odruchowe”? – pytał Glimcher. Nowojorski uczoney założył, że próba odpowiedzi na tak postawione pytanie wymaga uprzedniego zidentyfikowania „decyzji behawioralnych”, które miałyby odzwierciedlać działanie woli. Glimcher przyjął, że aby uznać daną formę zachowania za wynikającą z woli, zachowanie to musi spełniać dwa następujące warunki: Po pierwsze, musi się ono charakteryzować nieprzewidywalnością ze względu na zewnętrzne bodźce zmysłowe. Po drugie, decyzji o podjęciu działania musi towarzyszyć subiektywne poczucie woli: „*it has to feel, at a subjective level, like we are making a decision*” [Glimcher, 2003b: 300].

Kierując się powyżej opisanymi przesłankami, Glimcher wraz ze swoim współpracownikiem Michaeliem Dorrisem [Glimcher 2003b] zaprojektowali eksperyment, który spełniał oba kryteria „działania wolicjonalnego”. W eksperymencie tym uczestniczyli dwaj ochot-

nicy; jeden w roli „pracodawcy”, drugi w roli „pracownika”. Każdy z nich przebywał w odrębnym pomieszczeniu i o działaniach przeciwnej strony dowiadywał się wyłącznie za pomocą portalu komputerowego. Celem uczestników było osiągnięcie jak największego zysku przy udziale jak najmniejszych kosztów własnych. „Pracownik”, który „dostawał” umówioną pensję, mógł zredukować własny wkład podejmując decyzję o „nieprzysięciu do pracy” w danym dniu. Z drugiej strony, „pracodawca” odpowiednio decydował, czy w tym samym dniu skontrolować obecność zatrudnionego. Zarówno wykryta absencja pracownika (tracił „dniówkę”), jak i przeprowadzenie przez pracodawcę kontroli (ponosił jej koszty) miały swoją wymierną wartość (minimalizowały ostateczny zysk danego uczestnika). Obaj uczestnicy eksperymentu deklarowali, że podejmując swoje decyzje kierowali się wolną wolą. Chcąc osiągnąć jak największy zysk, zarówno „pracownik”, jak i „pracodawca” nie mogli sobie pozwolić na zachowywanie się w sposób przewidywalny dla drugiej strony (przewidywalne zachowanie mogłoby spowodować, że druga strona to zauważy i odpowiednio wykorzysta). W ten sposób spełnione zostały oba warunki „działania wolicjonalnego”: nieprzewidywalny charakter i subiektywne poczucie wolnej woli. Wielokrotne powtórzenia tego eksperymentu z udziałem wielu uczestników występujących odpowiednio w obu rolach ujawniły, że po pewnej ilości powtórzeń zachowanie eksperymentowanych osiąga stan równowagi.

Teoretycznych narzędzi do opisu zaobserwowanego equilibrium dostarczyła Glimcherowi teoria gier Nasha. Dostrzegając ograniczenia klasycznej ekonomii w charakterystyce podejmowania decyzji w warunkach konkurencji pomiędzy uczestnikami, którzy mogą dynamicznie zmieniać wpływające na dokonywane wybory zmienne, matematyk John von Neumann oraz ekonomista Oskar Morgenstern w połowie lat czterdziestych ubiegłego stulecia wspólnie zaproponowali przeformułowanie teoretycznych założeń, leżących u podłoża ekonomicznych modeli. Amerykański matematyk John Nash z powodzeniem rozwinął prace von Neumanna i Morgensterna. Wykazał on, że zachowanie rywalizujących ze sobą uczestników „strategicznych gier” dąży

do stanu równowagi, w którym każdy uczestnik obiera optymalną dla siebie strategię. Teoria Nasha tłumaczy, jaki wzorzec postępowania należy obrać, aby osiągnąć największą korzyść w warunkach rywalizacji z kimś, komu przyświeca cel podobny do naszego.

Teoria gier, podobnie jak klasyczne modele ekonomiczne, znalazła także swoje zastosowanie w ekologii behawioralnej. W swojej pracy z 1982 roku angielski uczony Harper wykazał, że działające w warunkach naturalnej konkurencji kaczki (zwierzęta żyły w jednym stadzie) obierają takie strategie pozyskiwania pokarmu, które dają się skutecznie modelować dostarczonymi przez Nasha narzędziami [Harper, 1982]. Dysponując wynikami przeprowadzonego przez siebie wcześniej eksperymentu (gra w pracodawcę i pracobiorcę) oraz sprawozdaniami Harpera, Dorris i Glimcher postanowili w taki sposób zmodyfikować stosowane procedury, aby można było poddać nim małpy. W zaaranżowanej sytuacji, widząc dwa równocześnie emitowane sygnały świetlne (jeden po prawej, drugi po lewej stronie), zwierzę podejmowało decyzję, w którą stronę spojrzy (np. spojrzenie w prawo odpowiadało „przyjściu do pracy”, a spojrzenie w lewo „absencji”. „Partnerem” małpy w tym eksperymencie był „inteligentny” program komputerowy, który zasadniczo w sposób przypadkowy podejmował decyzje o „kontrolu”. Jednakże, jeżeli tylko w zachowaniu małpy pojawiały się jakieś prawidłowości, to program ów odpowiednio to wykorzystywał (regularnie kontrolując i pozbawiając zwierzę „dniówki” — miarki soku). Po odpowiedniej liczbie powtórzeń zachowanie małpy oraz skorelowane z nim wzorce aktywności neuronalnej osiągnęły equilibrium przewidziane przez teorię Nasha.

Dla Glimchera stało się jasne, że zachowanie organizmów zwierzęcych oraz skorelowana z nim aktywność mózgu charakteryzuje się dwoma rodzajami indeterminizmu: jeden wynika z epistemologicznych ograniczeń (niedostateczna wiedza o środowisku), a drugi związany jest z wymogami rywalizacji z innymi organizmami (strategia unikania rozpoznania regularności własnego zachowania przez mogącego to wykorzystać rywala).

5. METODOLOGICZNE OGRANICZENIA NEUROEKONOMII

Postulując równoczesne wykorzystanie pojęć ewolucjonizmu (cełowy charakter zachowań) oraz narzędzi ekonomii klasycznej oraz teorii gier do modelowania czynności mózgu, Glimcher podkreśla istniejące ograniczenia metodologiczne [Glimcher 2003b: 287-288]. Autor „Decisions...” wymienia dwie podstawowe trudności. Po pierwsze, wzajemne interakcje zwierząt mają często charakter jednostkowy, a skuteczne zastosowanie modeli ekonomicznych do rozumienia podejmowania decyzji behawioralnych wymaga odpowiedniej liczby powtórzeń. Drugim krytycznym ograniczeniem jest brak adekwatnych metod opisu strategii dochodzenia do równowagi Nasha. Teoria gier opisuje już sam stan równowagi, podczas gdy problem z jakim konfrontują się organizmy zwierzęce, ma charakter dynamiczny — aby zrealizować swój ewolucyjnie określony cel, muszą one w danej chwili dokonać konkretnego wyboru.

Odmienny rodzaj ograniczeń pojawia się wówczas, gdy narzędziami neuroekonomii usiłujemy wytłumaczyć tę klasę zachowań, którą Kartezjusz przypisał działaniu duszy i doświadczanej wolnej woli. Za kryteria działań wolicjonalnych Glimcher przyjął ich nieprzewidywalny charakter oraz poczucie sprawstwa. Dla neuroekonomii nie ma różnicy pomiędzy dwiema istotami „z których jedna jest rzeczywistą, świadomą osobą, a druga to nie posiadający świadomości zombie”. Glimcher pisze: „Na mocy definicji, te dwie istoty powinny zachowywać się w podobny sposób. Dla każdego możliwego bodźca zmysłowego generują ten sam probabilistyczny wzorzec zachowania; te dwa organizmy opisuje dokładnie ten sam neuroekonomiczny model zachowania” [Glimcher, 2003b: 343]. Glimcher przyznaje, że „świadomość stanowi częściowo algorytm, który my i prawdopodobnie inne spokrewnione gatunki, stosujemy w generowaniu zachowań [...] To przypuszczalnie powstały w wyniku ewolucji mechanizm, przy pomocy którego nasz neurobiologiczny *hardware* produkuje zachowanie” [344]. To ostatnie stwierdzenie należy uznać za niewystarczające. Świadomość woli wyróżnia przecież tylko niektóre klasy zachowań.

Można przypuszczać, że ta prawidłowość określa bardziej specyficzne funkcje „wolnej woli”, od których teoria neuroekonomii konsekwentnie abstrahuje. Jeżeli przyjąć założenia ekologów behawioralnych, że zachowanie organizmu jest określane przez wymóg przetrwania, to doświadczenie woli oraz klasy zachowań, którym to doświadczenie towarzyszy, powinny znaleźć swój adekwatny opis. Jaka jest specyficzna funkcja tych form zachowań, która je wyróżnia spośród pozostałych? Jak pojawienie się świadomości w przypadku danego wzorca działania wpływa na to działanie? Jak zmienia się wówczas realizacja celu, któremu to działanie służy? Odpowiedź na te i podobne pytania jest nieodzowna, aby teorię behawioralną uznać za satysfakcjonującą właśnie z ewolucyjnego punktu widzenia. Niestety, teoria neuroekonomii Glimchera jak na razie tego wymogu nie spełnia. Pomimo braku konsekwencji, jakiej ostatecznie nie udało się uniknąć autorowi, jego koncepcja stanowi bardzo interesującą propozycję. Stawia w nowym świetle problemy determinizmu i wolnej woli oraz stwarza obiecującą perspektywę dla dalszych badań w neurobiologii.

BIBLIOGRAFIA

Churchland, P.S.

[2002] *Brain-Wise: Studies in Neurophilosophy*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Damasio, A.

[1994] *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*, Avon Books, New York.

Descartes, R.

[2001] *Namiętności duszy*, Wydawnictwo ANTYK, Kęty.

Glimcher, P.W.

[2001] „Making choices: the neurophysiology of visual-saccadic decision making”, *Trends in Neurosciences* 11, 654-659.

Glimcher, P.W.

[2002] „Decisions, decisions, decisions: choosing a biological science of choice”, *Neuron* 36, 323-332

Glimcher, P.W.

[2003a] „The neurobiology of visual-saccadic decision making”, *Annual Review of Neuroscience* 26, 133-179.

Glimcher, P.W.

[2003b] *Decisions, Uncertainty, and the Brain: The Science of Neuroeconomics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Harper, D.G.C.

[1982] „Competitive foraging in mallards: ‘Ideal free’ ducks”, *Animal Behavior* 30: 575-584.

Platt, M.L. i Glimcher, P.W.

[1999] „Neuronal correlates of decision variables in parietal cortex”, *Nature* 400: 233-238.