

WERONIKA REDOS¹, JOANNA WĄSOWICZ¹, MAKSYMILIAN RADZIKOWSKI²,
ANDRZEJ WRÓBEL¹

¹Kognitywistyka

Instytut Filozofii

Uniwersytet Warszawski

Krakowskie Przedmieście 3, 00-927 Warszawa

²Kolegium Międzyobszarowych Indywidualnych Studiów Humanistycznych i Społecznych

Uniwersytetu Warszawskiego

Prosta 69, 00-838 Warszawa

E-mail: andrzej.wrobel@uw.edu.pl

CZY DOŚWIADCZENIE BENJAMINA LIBETA RZECZYWIŚCIE KWESTIONUJE WOLNĄ WOLĘ? PRÓBY WYJAŚNIENIA PARADOKSU

WSTĘP

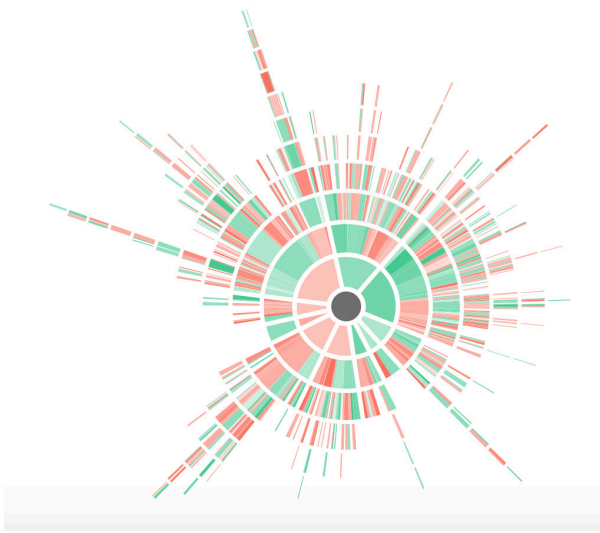
„Przespacerować się po mieście czy pójść do parku?” W codziennym życiu mamy do czynienia z wieloma wyborami. Musimy podejmować decyzje od rana do wieczora, od przebudzenia do zaśnięcia. Dostyc oczywiście wydaje się, przynajmniej na pierwszy rzut oka, że nikt za nas tych decyzji nie podejmuje, mamy przecież wolną wolę. Jest ona jednym z najważniejszych konceptów myślowych w naszej kulturze, bez którego świat, jaki znamy, nie mógłby istnieć, a większość instytucji społecznych przestałaby mieć sens. Jak bez tej idei przypisać komuś odpowiedzialność za swoje czyny, coś niezbędnego przy tworzeniu relacji społecznych, funkcjonowaniu sądownictwa, instytucji religijnych? Gdybyśmy nie posiadali wolnej woli, jaki sens miałoby złośczenie się na współpracownika za to, że nie przygotował projektu na umówiony termin? Czy gwałtemalski sąd miałby podstawy do skazania na 6060 lat czterech żołnierzy oskarżonych o udział w masakrze Indian z 1982 r.? Czy chrześcijanin powinien przejmować się swoimi grzechami?

Wydaje się, że na wszystkie te pytania trzeba by było odpowiedzieć – nie. Jesteśmy tak przyzwyczajeni i przywiązani do poczucia, że to my dokonujemy wyborów, i to właśnie my jesteśmy za nie odpowiedzialni, że wolna wola stała się kluczowym pojęciem

w naszym społeczeństwie. W życiu codziennym i w większości systemów prawnych usprawiedliwia się przewinienia nieintencjonalne, a sprawcy odpowiadają jedynie za te działania, które zrobili świadomie. Prawodawstwo uwzględnia również koncept przestępstwa popełnionego w afekcie, gdy silne wzburzenie emocjonalne, ograniczające wolną wolę usprawiedliwia częściowo winnego.

Jednak okazuje się, że w filozofii i teologii nie jest to takie proste. Choć to św. Augustynowi z Hippony przypisuje się ukucie pojęcia „wolna wola” (łac. *liberum arbitrium*), to motyw ten jest obecny już w *Fedonie* Platona. Najwięksi myśliciele w historii ludzkości zajmowali się tym tematem, i wielu z nich sugerowało, że wrażenie dokonywania wolnego wyboru jest złudą. Choć debata nad naturą wolnej woli i jej istnieniem ma długą historię, a bogactwo używanych w niej argumentów może robić wrażenie (Ryc. 1), to dyskutanci nie dostarczyli dotąd rozstrzygającej odpowiedzi, która byłaby dla wszystkich satysfakcjonująca. W takich sytuacjach wszyscy spoglądają z nadzieją w stronę laboratoriów naukowych.

Do połowy lat 80. XX w. wydawało się, że pytanie, czy faktycznie jesteśmy obdarzeni wolną wolą, jest zbyt abstrakcyjne dla badań eksperymentalnych. Jednak sytuacja zmieniła się, gdy Benjamin Libet opublikował wyniki pierwszej naukowej próby wy-



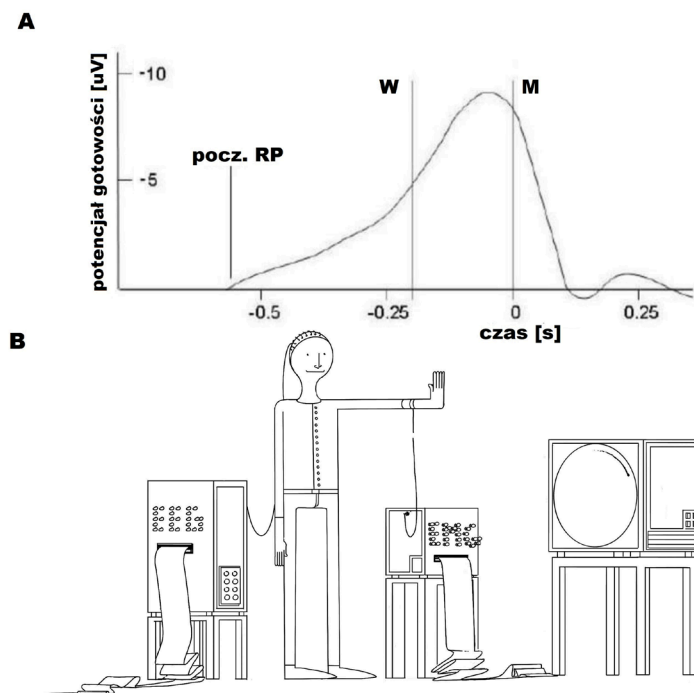
Ryc. 1. Grafika przedstawiająca argumenty za (zielone kreski) i przeciw (czerwone) tezie: „Nie ma wolnej woli” w internetowym serwisie Kialo, <https://www.kialo.com/free-will-or-determinism-do-we-have-free-will-5685> (2019).

Radialnie przedstawiono argumenty różnego rodzaju, a pochodne kontrargumenty coraz dalej od środka wykresu. Im kolor kreski jest ciemniejszy, tym siła danego argumentu jest lepiej oceniana przez społeczność serwisu Kialo.

jaśnienia tego tematu (LIBET 1985). Dziś to właśnie implikacje z eksperymentów neurobiologów, psychologów i kognitywistów są jednymi z najważniejszych argumentów w tej ważkiej debacie.

EKSPERYMENT LIBETA – PRZYGOTOWANIE RUCHU

Najbardziej znanym artykułem Benjamina Libeta dotyczącym wolnej woli, jest obszerna publikacja (LIBET 1985), która ukazała się w „Behavioral and Brain Science”, i do dziś była już cytowana 3039 razy (stan na 1.01.2020, za: Google Scholar). W badaniu tym brało udział pięciu uczestników, którzy 40-krotnie wykonywali bardzo proste zadanie: mieli poruszyć palcem prawej ręki w chwili, kiedy poczuli na to ochotę. W trakcie badania obserwowali oni również tarczę zegara, po której poruszała się plamka świetlna, obiegając ją w czasie 2,5 sekundy. Po wykonaniu ruchu, badani byli proszeni o podanie położenia plamki na tarczy w momencie, w którym uświadomili sobie chęć poruszenia palcem. Moment ruchu mierzono obiektywnie analizując sygnał elektromiograficzny (EMG, które rejestruje elektryczną czynność mięśni) i przyjmowano za punkt zero na osi czasu pojedynczej próby (wyko-



Ryc. 2. (A) Przebieg średniego potencjału gotowości (RP) zmierzony przez Libeta. Na rysunku oznaczono jego charakterystyczne momenty: średni czas początku jego narastania (pocz. RP), średni moment uświadomienia sobie ochoty ruchu palcem (W), średni moment inicjacji ruchu palcem (M). (B) Schematyczne przedstawienie procedury badania.

nanego ruchu palca). U każdego z uczestników badania rejestrowano jednocześnie sygnał elektroencefalograficzny, który monitorował aktywność elektryczną w okolicy leżącej do przodu od kory ruchowej mózgu (kory przedruchowej¹). Po zarejestrowaniu sygnałów EEG z 40 powtórzeń określano czas, w którym przebieg potencjału EEG odchyłał się (w chwili oznaczonej „pocz. RP” na Ryc. 2A) od uśrednionej aktywności mózgu w okresie między kolejnymi ruchami palca (zerowy „potencjał spoczynkowy”). Trajektorią przebiegu zmian tego potencjału wokół wartości zero jest nazywana potencjałem gotowości (ang. readiness potential, RP) i pokazuje aktywność mózgu związaną z przygotowaniem ruchu palca. Benjamin Libet musiał być zaskoczony, gdy umieścił uśrednione wyniki dla wszystkich badanych na wspólnej osi czasu, gdyż rezultat eksperymentu był sprzeczny z jego oczekiwaniem. Badacz był przekonany, że świadome podjęcie decyzji będzie poprzedzało potencjał gotowości, tymczasem wykres pokazał, że uśredniony RP zaczynał się na 350 milisekund przed czasem raportowanym przez badanych jako moment uświadomienia sobie woli ruchu. Potencjał gotowości rejestrowany nad okolicą przedruchową (ang. premotor area; region, w którym kora mózgu przygotowuje m.in. programy ruchowe dla rąk) pojawiał się już na 550 milisekund przed ruchem palca. Według Libeta miałyby to oznaczać, że procesy mózgowo odpowiedzialne za wykonanie ruchu były aktywowane około 350 milisekund wcześniej, nim w świadomości uczestników eksperymentu pojawiała się chęć poruszenia palcem (Ryc. 2A).

W obliczu tak różnego od oczekiwań wyniku, Libet próbował argumentować, że potencjał gotowości zawiera w sobie aktywność neuronalną związaną z przygotowaniem wszystkich możliwych ruchów przedświadomie, a z chwilą świadomego wyboru wszystkie niewybrane procesy ulegałyby zawetowaniu. Wraz z możliwością świadomego wetowania powróciłaby również istota wolnej woli. W następnych badaniach pokazano jednak, że aktywacja mózgu dla procesu wetowania również rozpoczyna się przed jego uświadomieniem (HANES i CARPENTER 1999), i cała argumentacja Libeta została poddana

istotnej krytyce (WRÓBEL 2003, STRZYŻYŃSKI 2013).

W powszechnym rozumieniu praca Libeta kwestionowała istnienie wolnej woli. Skoro uświadamiamy sobie chęć ruchu po rozpoczęciu aktywności neuronalnej związanej z jego przygotowaniem, to przekonanie, że to my decydujemy o naszym działaniu, musi być złudzeniem, a wolna wola jest iluzją. To nie osoba badana planuje ruch palca, a uświadamia ona sobie jedynie trwającą już wcześniej aktywność mózgu, która przygotowuje ten ruch. Teza tak kontrowersyjna wywołała wielkie poruszenie. Nie dziwi więc fakt, że spotkała się z wieloma kontrargumentami, podważającymi wyniki samego eksperymentu, lub zwracającymi uwagę na problem z wyciąganiem zbyt daleko posuniętych, deterministycznych wniosków.

Jeden z pierwszych zarzutów w stosunku do eksperymentu Libeta dotyczył nieobiektywnego sposobu wyznaczania momentu podjęcia przez badanych świadomej decyzji o chęci ruchu palcem. W końcu, introspekcja czy retrospekcja nie są zbyt dokładnymi metodami pozyskiwania informacji. Dysponujemy wieloma badaniami z zakresu psychologii społecznej i poznawczej, pokazującymi jak pamięć badanych potrafi być zawodna (np. ROTHBART i współaut. 1979). Co więcej, istnieją badania przeprowadzane w paradygmacie libetowskim, których wyniki świadczą o tym, że odpowiedź badanych może być modyfikowana przez czynniki zewnętrzne (BANKS i ISHAM 2009). Należy również zauważyć, że Libet rejestrował jedynie ustne sprawozdanie o chwili pojawienia się przekonania, że badani mają ochotę wykonania ruchu. Tymczasem nie znamy czasu między uświadomieniem sobie przez badanych decyzji a faktycznym momentem jej podjęcia.

Krytyce poddawano również metodę statystyczną wybraną do analizy danych doświadczalnych. Wartości mierzone przez Libeta opierały się na średniej z wszystkich prób, u wszystkich badanych. Jednak taka procedura budzi uzasadnione wątpliwości co do ostatecznego wyniku i może zakłamywać rzeczywistość. Co podróżnikowi z tego, że średni wzrost mieszkańców wyspy Tongao wynosi półtora metra, jeśli zamieszkuje ją populacja czterech osób, z których dwie mierzą po jednym metrze, a pozostałe po dwa metry? W badaniu Libeta liczba badanych osób była podobna, zbadał ich zaledwie pięć, wykonujących zadanie w 40 powtórzeniach. Tak mała próba powinna rodzić niepewność dotyczącą statystycznej poprawności uzyskanego wyniku. Dodatkowym zarzutem, z którym spotkał się Libet była istota procesu, którego czas mierzył w swoim eksperymencie (MARZEC-REMISZEWSKI 2016).

¹W różnych artykułach proponowane są różne źródła potencjału gotowości. Libet (1985) pisze ogólnie, że rejestrował aktywność ze skalpu ponad „obszarem kory przedruchowej/ruchowej”, ale we wcześniejszym artykule (Libet i współaut. 1983) podaje, że aktywność ta pochodzi prawdopodobnie z dodatkowego pola ruchowego (ang. supplementary motor area, SMA). Jako SMA określają to źródło również Soon i współaut. (2008) i wielu innych badaczy. W tej pracy będziemy pisać o „okolicy przedruchowej”, gdyż obejmuje ona całość drugorzędowej kory ruchowej.

Jedynym zadaniem uczestników było ruszanie palcem, kiedy tylko będą mieli ochotę. W ich przypadku było to uleganie wewnętrznej chęci (pragnieniu?). Jednak nie wydaje się, aby działanie w zgodzie z wewnętrznymi impulsami, było rozumiane przez większość ludzi jako wyraz wolnej woli. Raczej powiedzielibyśmy, że wyrazem woli jest powstrzymanie się przed działaniem ze względu np. na wyznawane przez siebie ideały, choć czujemy silną wewnętrzną potrzebę, żeby je podjąć. Wolna wola pojawia się w momencie rozważania racji za i przeciw w wyborze alternatyw, w umiejętności robienia czegoś wbrew odciągającym nas od tego czynnikom zewnętrznym, czy też wewnętrznemu imperatywowi. Taka perspektywa patrzenia na wolną wolę leży w tradycji naszej kultury opartej na dualizmach ciało-umysł, emocje-rozum.

Argumenty te, choć krytycznie odnoszą się do doświadczenia Libeta, to same w większości nie opierają się na danych empirycznych. Warto je z pewnością brać pod uwagę przy wyciąganiu wniosków z różnorodnych badań, ale jest to praca w głównej mierze filozoficzna. Ta byłaby dzisiaj mało istotna, gdyby nie cała seria eksperymentów opartych na paradygmacie stworzonej przez Libeta, często bezpośrednio odnoszących się do jego oryginalnego badania, a stawiających sobie za cel przybliżenie nas do odpowiedzi o istotę i istnienie wolnej woli. Najciekawsze z, często polemicznych w stosunku do siebie, doświadczeń zostaną przedstawione w dalszej części tekstu. Może one pozwolą odpowiedzieć na pytanie zawarte w tytule artykułu.

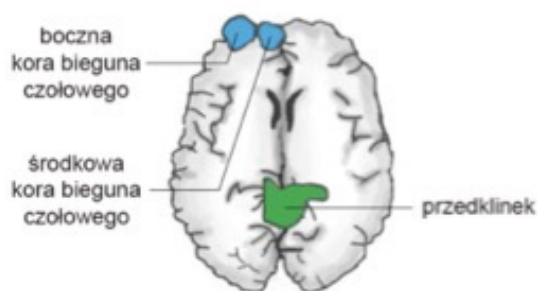
EKSPERYMENT SOON'A – PODEJMOWANIE DECYZJI

Próba dokładnego zdefiniowania terminu „wolna wola” w kategoriach naukowych nie przynosi, jak dotąd, zadowalających efektów, chociaż współcześnie prowadzi się wiele badań nad procesem podejmowania decyzji. Potencjał gotowości, opisany w poprzednim rozdziale, generowany jest w obszarze okolicy przedruchowej powiązanej z przygotowaniem do ruchu. Chun Siong Soon z zespołem (SOON i współaut. 2008) zauważyli, że potencjał ten jest związany jedynie z późnym etapem całego procesu planowania ruchu. Nie wiadomo, czy początek powstawania decyzji o ruchu znajduje się w okolicy przedruchowej, czy może w procesie nieświadomionego podejmowania decyzji zaangażowane są również struktury wyższego rzędu. Niewykluczone, że informację o podjęciu decyzji o wykonaniu ruchu można odnaleźć również w innych obszarach mózgu.

Klasyczny paradygmat Libeta ogranicza akt woli do podjęcia decyzji o wykonaniu ruchu w danym momencie. Jest to możliwie najprostsza forma wykazania się świadomą mocą sprawczą i zdecydowanie nie wyczerpuje całego, obszernego zakresu wyborów, z jakimi mierzymy się w codziennym życiu. W końcu często stawiani jesteśmy w sytuacji, w której musimy dokonać wyboru znacznie bardziej skomplikowanego niż decyzja czy wykonać ruch. Z tego powodu SOON i współaut. (2008) postanowili stworzyć sytuację, w której osoba badana miałaby do wyboru więcej niż jedną opcję i zbadać, ile informacji predykcyjnych dotyczących konkretnej decyzji zawierają poszczególne regiony mózgu przed i po świadomie podjętej decyzji. Dzięki temu badacze ci mogli sprawdzić, czy istnieją w mózgu specyficzne sieci neuronalne pozwalające przewidzieć czas i rodzaj decyzji przed świadomie dokonanym wyborem.

Eksperyment zespołu Soona opierał się na zmodyfikowanym paradygmacie Libeta. Na ekranie przed osobą badaną co 500 milisekund wyświetlały się kolejne litery, zastępując zegar używany przez Libeta. Badany miał za zadanie w dowolnej chwili wybrać i wcisnąć jeden z dwóch znajdujących się przed nim przycisków i zapamiętać jaka litera wyświetlała się na „zegarze” w momencie dokonania przez niego wyboru. Po wykonaniu tego zadania, na ekranie pojawiał się obraz zawierający cztery różne znaki: trzy kolejne litery obecne na ekranie przed wciśnięciem przycisku i symbol kratki (#). Badany miał zadeklarować, która litera wyświetlała się na ekranie podczas podjęcia decyzji lub wybrać symbol kratki, jeśli nie wyświetlała się żadna z nich. Po chwili przerwy, strumień liter się wznawiał i przechodzono do kolejnej próby.

W eksperymencie przeprowadzonym przez SOON i współaut. (2008) zbadano 14 osób wykorzystując metodę funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (ang. functional magnetic resonance imaging, fMRI). Odnalezienie wzorców aktywności mózgu związanych z wykonywaniem opisanego zadania stanowi niemałe wyzwanie. Ze względu na wysoki szum aktywności neuronalnej w konkretnych obszarach mózgu, w badaniach tego typu używa się analizy klasyfikacji wzorów wielowymiarowych (ang. multivariate pattern analysis, MVPA), która pozwala na wykrywanie powtarzających się wzorców w całym zbiorze danych. Metoda MVPA aplikowana do danych z fMRI koreluje mapy aktywności w całym mózgu z czasem wykonywania konkretnego zadania poznawczego. W przypadku omawianego eksperymentu pozwalała na stwierdzenie, które obszary w mózgu zawierają informację o dokonywanej decyzji



Ryc. 3. Widok mózgu od spodu.

Na rysunku zaznaczone są obszary bocznej kory bieguna czołowego (ang. lateral frontopolar cortex), środkowej kory bieguna czołowego (ang. medial frontopolar cortex), oraz przedklinek (ang. precuneus), na podstawie których można przewidzieć wybierany przez badanego ruch nawet 7 sekund przed podjęciem przez niego świadomej decyzji. (wg. SOON i współaut. 2008).

i daje możliwość jej przewidywania (BODE i współaut. 2014).

Wyniki badań Soona okazały się być jeszcze bardziej zaskakujące niż te w doświadczeniu Libeta. Analiza MPVA wykazała, że czas opóźnienia pomiędzy charakterystyczną mapą decyzyjnej aktywności mózgu a, skorelowanym z nią, naciśnięciem odpowiedniego przycisku, wynosił aż siedem sekund (SOON i współaut. 2008). To oznacza, że badani przez kilka sekund „nieświadomie” przetwarzali informację o podjętej decyzji zanim doszła ona do ich świadomości (jak w doświadczeniu Libeta, ok. 200 ms przed ruchem). W porównaniu do wywołującego metodologiczne wątpliwości czasu 350 milisekund zmierzonych przez Libeta, siedem sekund wydaje się być uderzająco dużą różnicą czasu między „przedświadomym” rozpoczęciem przygotowywania do wykonania konkretnej akcji, a świadomą decyzją o niej.

Eksperyment Soona pozwolił również zbadać, które obszary mózgu biorą udział w „nieświadomym” podejmowaniu decyzji. Analizy fMRI wykazały, że najwcześniejsze informacje, na podstawie których można wnioskować o tym, jakiego wyboru dokona osoba badana, są zakodowane w specyficznych obszarach kory przedczołowej i kory ciemieniowej (Ryc. 3). Są to też obszary, w których pojawia się wzmożona aktywność tuż po rozpoczęciu kolejnej próby. Aktywność w regionie okolicy przedruchowej, gdzie Libet zaobserwował początek potencjału przygotowawczego (350 ms przed świadomym podjęciem decyzji), stanowi dużo późniejszy etap obserwowanego procesu. Na podstawie analiz MVPVA Soon zaproponował model, według którego informacje o decyzji ruchowej powstają we wspomnianej części kory przedczołowej (boczna kora bieguna czołowego),

skąd przepływają do przedklinek w korze ciemieniowej, po czym wędrują do obszarów kory przedruchowej i dopiero po pewnym czasie badany uświadamia sobie intencję wykonania konkretnego ruchu (SOON i współaut. 2008).

Zaskakujące wyniki eksperymentu zespołu Soona wydają się zaprzeczać tezie o istnieniu wolnej woli. Jednak wykrycie odpowiedniego wzoru aktywności w danym obszarze nie jest zawsze jednoznaczne z poprawnym przewidzeniem decyzji u osoby badanej. Celność predykcji dotyczącej wyboru przycisku zmienia się w czasie i przed momentem świadomego podjęcia decyzji dochodzi maksymalnie do około 60% (wynik 50% jest równoważny z prawdopodobieństwem poprawnej predykcji przy przewidywaniu całkowicie losowym). Tak więc, mimo istotnego wyniku poprawności dekodowania wyboru przycisku przez badanego, margines błędu tego szacunku pozostaje bardzo duży. To oznacza, że przewidywanie na podstawie wzorów aktywności jedynie zwiększa prawdopodobieństwo „odgadnięcia” wyboru osoby badanej, ale nie mówi jednoznacznie o jej ostatecznej decyzji. Autorzy badania sugerują, że wymienione obszary mogą zawierać część informacji o przyszłej decyzji, ale nie są jej bezbłędnym wyznacznikiem. Wśród możliwych przyczyn niskiej skuteczności przewidywania może być zbyt mała liczba osób badanych lub zbyt niska dokładność stosowanej techniki analizy wzorców. A może margines błędu w przewidywaniu wyklucza wyniki zespołu Soona jako argument przeciwko istnieniu wolnej woli? Być może obserwowany proces to jedynie efekt utajonego „rozważania” alternatyw wyboru, przed dokonaniem świadomej, ostatecznej decyzji.

CO KRYJE SIĘ ZA NARASTAJĄCYM SYGNAŁEM POTENCJAŁU GOTOWOŚCI?

W eksperymentach mających badać wolną wolę i proces świadomego podejmowania decyzji często wykorzystuje się paradygmat stworzony przez Libeta, w którym mierzy się czas podjęcia przez badanego świadomej decyzji o ruchu oraz wykonanie określonej czynności ruchowej. ALEXANDER i współaut. (2016) postanowili sprawdzić, czy przebieg RP (potencjału gotowości) jest wskaźnikiem neuronalnych procesów związanych jedynie z nieświadomym przygotowaniem do ruchu, czy też zawiera również poprzedzające je procesy decyzyjne.

Eksperyment zawierał w sobie dwa typy zadań: pierwszy („decyzyjny”) polegał na tym, że badany miał dokonać pewnego wyboru i zapamiętać czas podjęcia decyzji, natomiast

drugi („decyzja plus ruch”) różnił się jedynie tym, że osoba badana miała dodatkowo nacisnąć przycisk w momencie podjęcia decyzji. Dane były zbierane za pomocą aparatów EEG (elektroencefalograf) i EOG (elektrookulograf) z elektrodami umieszczonymi nad i pod prawym okiem badanego oraz aparatu EMG (elektromiograf) z elektrodami na obu przedramionach.

W odróżnieniu od badania wykonanego przez Libeta, dane do analizy nie mogły być uśrednione wokół chwili wykonania ruchu związanego z naciśnięciem przycisku. Aby można było porównać ze sobą dane uzyskane w obu zadaniach, rozpatrywano je w odniesieniu do deklarowanego przez badanego momentu podjęcia decyzji. Okazało się, że potencjał gotowości pojawia się również w próbach bez wykonywania ruchu. Co więcej, przebieg średniego sygnału RP w obu typach zadań nie różnił się istotnie.

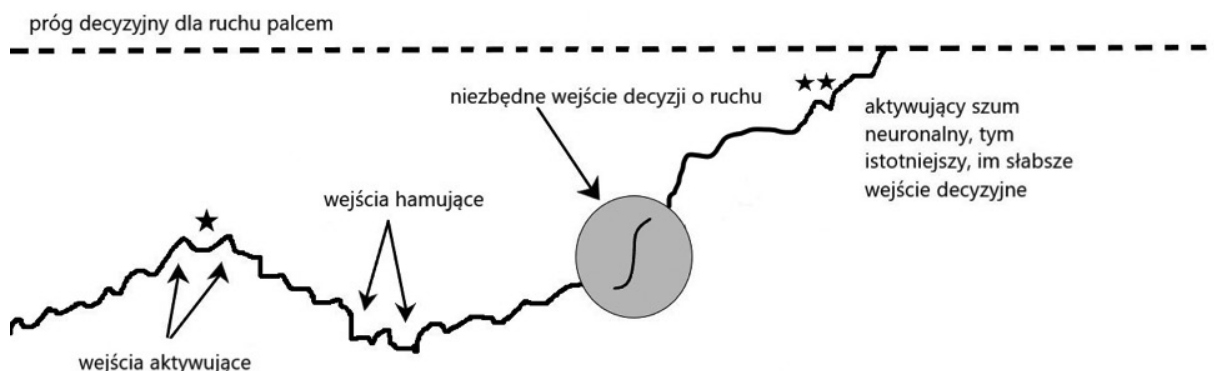
Uzyskane wyniki podważają powszechnie przyjmowane założenie o tym, że potencjał gotowości reprezentuje aktywność kory przedruchowej związanej z planowaniem ruchu. ALEXANDER i współaut. (2016) zaproponowali trzy hipotezy wyjaśniające aktywność neuronalną składającą się na RP. Według pierwszej z nich, (1) RP odzwierciedla ogólne przygotowanie kory do podjęcia pewnej akcji, a nie tylko do wykonania aktu ruchowego. Przyjęcie takiego założenia jest zgodne z wynikami uzyskanymi przez Libeta i pozwala na szerszą ich interpretację, obejmującą nie tylko akcje ruchowe, ale też decyzje innego rodzaju. Drugą propozycją autorów jest teza, że (2) RP miałyby być wskaźnikiem ogólnego oczekiwania (ang. general anticipation), czyli „świadomego doznania, że zdarzenie wkrótce się wydarzy, niezależnie od tego, czy precyzyjny czas lub natura zdarzenia jest znana”. Aktywność występująca przed momentem świadomego podjęcia decyzji świadczyłaby w takim razie o ogólnym poczuciu badanego, że zaraz nastąpi moment podjęcia decyzji. W eksperymentach opierających się na paradygmacie Libeta prosi się badanych o zapamiętanie konkretnego momentu podjęcia świadomej decyzji, więc narastanie ogólnego oczekiwania pozostaje nieodnotowane. Stopniowy wzrost potencjału RP, jako wskaźnik takiego doznania, mógłby tłumaczyć również zarejestrowanie aktywności kory czołowej aż do siedmiu sekund przed świadomym wyborem przycisku w eksperymencie SOONA i współaut. (2008), gdzie badany miał większą dowolność w wybraniu momentu podjęcia decyzji niż w przypadku eksperymentu Libeta, więc aktywność związana z przygotowaniem mogła rozwijać się przez dłuższy

czas. Ostatnią propozycją autorów jest (3) wytłumaczenie RP jako wyniku spontanicznych fluktuacji neuronalnych. Model ten został opracowany przez grupę SCHURGERA i współaut. (2012) i jest omówiony poniżej.

TO TYLKO SZUM AKTYWNOŚCI NEURONALNEJ

Kontrowersyjne odkrycie Libeta, choć przedstawione opinii publicznej już w połowie lat 80. ubiegłego wieku, stało się więc niedawno jedną z przyczyn zakwestionowania powszechnej interpretacji potencjału gotowości jako aktywności neuronalnej związanej z przygotowaniem ruchu (za moment inicjacji tego procesu przyjmowano początek RP). Przełom nastąpił dzięki zastosowaniu w badaniach „wolnej woli” modeli integracji do progę (ang. evidence accumulation, integration to bound), wykorzystywanych do opisu decyzji percepcyjnych. Według nowej hipotezy, wzrost aktywności poprzedzający uświadomienie sobie woli wykonania ruchu może odzwierciedlać stochastyczny „przyływ szumu neuronalnego” (SCHURGER i współaut. 2016) – spontaniczną fluktuację lokalnej aktywności mózgu (por. aktywację oznaczoną gwiazdką na Ryc. 4), a nie wynik jakiegoś celowego pobudzenia neuronalnego odpowiadającego, inicjowanej poza wolą, decyzji o ruchu.

Z badań SCHURGERA i współaut. (2012) oraz MURAKAMIEGO i współaut. (2014) wynika, iż mechanizm wykonania spontanicznego ruchu przez badanych w paradygmacie Libeta można wytłumaczyć w oparciu o modele wykorzystywane wcześniej do opisu procesu percepcji (ang. stochastic decision model, SDM). W przypadku decyzji percepcyjnych, informacje uzyskiwane (dzięki analizie bodźca są akumulowane (w ośrodku zwanym akumulatorem) do momentu osiągnięcia tzw. „progu decyzyjnego”, którego przekroczenie jest równoznaczne z ostateczną percepcją. W przypadku spontanicznej inicjacji ruchu brak jest bodźca zewnętrznego, a proces decyzyjny opiera się wyłącznie na podprogowych fluktuacjach aktywności neuronalnej. Aktywność ta składa się z wejść pobudzających i hamujących (odpowiednio zbliżających i oddalających aktywność neuronalną od progu inicjacji ruchu, Ryc. 4) oraz aktywności ośrodka decyzyjnego dla planu wykonania ruchu (oznaczonego znakiem całki na Ryc. 4). Instrukcja prezentowana na początku paradygmatu Libeta wywołuje w tym ośrodku inklinację do wykonywania spontanicznie inicjowanych ruchów, co powoduje, że w trakcie trwania eksperymentu wejścia pobudzające przeważają nad



Ryc. 4. Przykładowy przebieg potencjału elektrycznego w ośrodku decyzyjnym składa się z szumu neuronalnego i podprogowego wejścia zakładającego decyzję o ruchu w przyszłości (oznaczonego znakiem całki).

Szum neuronalny ma stochastyczny rozkład wejść aktywujących i hamujących (przykłady pojedynczych wejść zaznaczono strzałkami). Przypadkowa kumulacja wielu wejść aktywujących może powodować dryf potencjału w kierunku progu (**). Gwiazdką (*) oznaczono spontaniczny wzrost aktywności – jeżeli w tym okresie prezentowano bodziec słuchowy wymagający reakcji (SCHURGER i współaut. 2012) badani szybciej wykonywali ruch palcem. (wg. SCHURGER 2018).

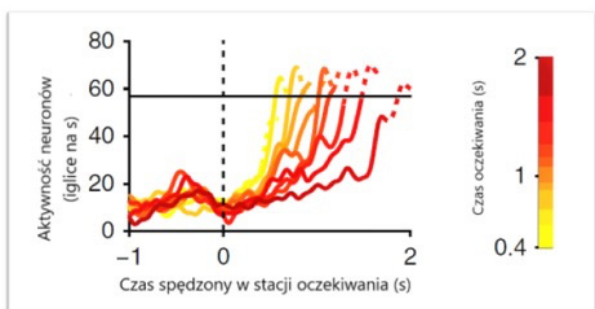
hamującymi². Wykorzystując ten model w próbach z klasycznym wariantem doświadczenia Libeta, grupa Schurgera wykazała, że aktywność neuronalna przewidywana przez model odpowiada obserwowanemu kształtowi potencjału gotowości (SCHURGER i współaut. 2012, 2016) oraz odtwarza zarejestrowane w trakcie eksperymentu czasu reakcji.

W 2012 r. SCHURGER i współaut. wykonali doświadczenie, w którym przedstawili dowód na to, że model SDM rzeczywiście rozwiązuje paradoks wolnej woli Libeta. W doświadczeniu tym autorzy dokonali modyfikacji paradygmatu Libeta. Poza naciskaniem przycisku w spontanicznie wybranym przez badanego momencie, badacze wprowadzili również sygnał słuchowy. Bodziec ten pojawiał się w nierównych odstępach, a na jego dźwięk badany musiał nacisnąć przycisk tak

szybko, jak to możliwe. Nie miał zatem czasu, aby przygotować się do reakcji ruchowej. W czasie całego doświadczenia rejestrowano EEG. Posłużony model SDM, SCHURGER i współaut. (2012) pokazali, iż badani reagowali szybciej na usłyszany sygnał dźwiękowy, gdy spontaniczna aktywność neuronalna tuż przed wystąpieniem tego sygnału była bliżej progu decyzyjnego (Ryc. 4 – moment oznaczony *). Wzrost aktywności neuronalnej przed wystąpieniem sygnału nie może odzwierciedlać spodziewanego przygotowania do poruszenia palcem, gdyż sygnały te występowały w losowym momencie, bez uprzedniego ostrzeżenia osoby badanej.

Innym eksperymentem, którego wyniki potwierdzają hipotezę grupy Schurgera, jest badanie przeprowadzone przez MURAKAMIEGO i współaut. (2014). Autorzy ci uzyskali dane pochodzące z aktywności pojedynczych komórek nerwowych u szczurów w czasie zadania behawioralnego. Polegało ono na nagrodzeniu zwierzęcia smacznym pokarmem, gdy doczekało ono na sygnał dźwiękowy trzymając pyszczek w specjalnym otworze zwanym „stacją oczekiwania”. Jeśli szczur poczekał do tego sygnału, to mógł wsadzić pyszczek do sąsiedniego otworu, w którym uzyskiwał dużą nagrodę. Jednak, gdy czas pomiędzy sygnałami się wydłużał, a szczur niecierpliwie wyjmował pyszczek ze „stacji oczekiwania” przed pojawieniem się sygnału dźwiękowego, otrzymywał jedynie małą nagrodę. Dokładna analiza danych wykazała stopniowy wzrost aktywności w korze przedczerwonej szczura podczas oczekiwania na sygnał dźwiękowy. W czasie oczekiwania określona grupa neuronów zwiększała swoją aktywność, po-

²Zdolność stochastycznej integracji szumu neuronalnego oraz osiągnięcia przez niego progu pobudzenia bez wejścia zmysłowego możliwa jest przy założeniu, iż w mózgu występuje również szum różowy (ang. pink noise), a nie tak jak do tej pory zakładano, tylko szum biały (ang. white noise) (SCHURGER 2018). Szum biały cechuje się statystyczną równomiernością w swoim pasmie, nie ma tendencji przyrostowych, zatem osiągnięcie przez niego progu pobudzenia jest prawie niemożliwe. Szum różowy opisany jest gęstością widmową mocy odwrotnie proporcjonalną do swojej częstotliwości. Sygnały takie charakteryzują się niezerową wartością funkcji autokorelacji, mówiącą o daleko-zasięgowych korelacjach czasowych pomiędzy kolejnymi obserwacjami. Skutkiem różnic w poziomie autokorelacji szumu neuronalnego (mierzonego jego współczynnikiem korelacji) oraz działania akumulatora jest prawdopodobnie zróżnicowanie w poziomie pobudzenia neuronalnego pomiędzy różnymi osobnikami oraz ich różnymi stanami poznawczymi (He 2010). Szum różowy odpowiedzialny za kumulację wejść aktywujących w modelu SDM, pozwala wytłumaczyć obserwowany dryf potencjału w kierunku progu (oznaczony * oraz ** na Ryc. 4).



Ryc. 5. Związek pomiędzy czasem wyczekiwania szczura na sygnał dźwiękowy w stacji oczekiwania, a aktywnością neuronów w korze przedruchowej zwierzęcia.

Czas 0 oznacza moment włożenia pyszczka do „stacji oczekiwania”. (wg Do rats have free will? Neuroskeptic, Discover Magazine, 2014, <http://blogs.discovermagazine.com/neuroskeptic/2014/11/12/rats-free-will/>).

dobnie do pobudzenia wywołanego analizą bodźca zmysłowego przewidywanego w modelu SDM podczas decyzji percepcyjnych (SCHURGER i współaut. 2016). Szybkość wzrostu tej aktywności korelowała z czasem podjęcia przez szczura decyzji o spontanicznym opuszczeniu „stacji oczekiwania” (Ryc. 5).

Wyniki badań zespołów Shurgera i Murakami pozwoliły na potwierdzenie hipotezy mechanizmu pobudzenia neuronalnego, skutkującego podjęciem decyzji o wykonaniu ruchu. Dla wytłumaczenia tego mechanizmu wykorzystano model integracji do progu stosowany od dawna w opisie podejmowania decyzji i czasu reakcji. Opiera się on na ciągłej integracji danych zmysłowych, np. sygnału dźwiękowego, występującego w badaniu Schurgera, nakazującego badanemu wykonać ruch palcem, lub decyzji o „spontanicznym ruchu” w klasycznym paradygmacie Libeta, oraz wewnętrznego szumu aktywności w sieci neuronalnej. Integracja ta trwa do momentu osiągnięcia ustalonego progu pobudzenia w regionach przedruchowych kory. W przypadku spontanicznie zainicjowanego ruchu, bez pobudzenia wejścia zmysłowego, akumulator pobudzany jest podprogowo przez sygnał instrukcji zawierający informację, iż w pewnym momencie trzeba będzie wykonać spontaniczny ruch palcem (Ryc. 4 – znak całki). W rezultacie integracji tego sygnału i szumu neuronalnego dochodzi do osiągnięcia progu decyzyjnego i poruszenia palcem przez badanego bez żadnych dodatkowych bodźców zmysłowych na wejściu. Za neuronalny korelat kumulacji aktywności wywołanej instrukcją o „spontanicznym ruchu” można przyjąć na-

rastającą aktywność grupy neuronów kory przedruchowej w doświadczeniu grupy Murakami (MURAKAMI i współaut. 2014).

Hipoteza modelu integracji do progu zmienia interpretację RP, którego początek był dotychczas utożsamiany z „inicjacją przygotowania ruchu”. Według nowej hipotezy moment podjęcia decyzji następuje w chwili przekroczenia przez aktywność neuronalną wartości progowej, a więc znacznie później niż początek RP. Aktywność poprzedzająca przekroczenie progu stanowi jedynie szum neuronalny, który nie pozwala na przewidywanie ostatecznej decyzji, która na tym etapie może ulec zmianie (jeśli aktywność w kierunku hipotezy alternatywnej zacznie przeważać) lub zostać anulowana (jeżeli potencjał nie osiągnie, w wymaganym czasie, progu decyzyjnego). W tym ujęciu moment podjęcia decyzji o „inicjacji ruchu” odpowiada wzbudzeniu aktywności kory ruchowej. Następuje ona około 150 ms przed wykonaniem ruchu, to jest w tym samym momencie, w którym osoby badane raportują uświadomienie sobie chęci wykonania ruchu. Przyjęcie modelu integracji do progu tłumaczy więc nie tylko paradoks narastania potencjału gotowości przed momentem uświadomienia decyzji o wykonaniu ruchu, ale sugeruje także, że przy słabych bodźcach zmysłowych lub wewnętrznych, szum sieci może mieć duży wpływ na rezultat integracji aktywności neuronalnej obserwowany behawioralnie.

PODZIĘKOWANIA

Dziękujemy Pani Katarzynie Kędzielskiej, która udostępniła część materiałów do niniejszego artykułu, oraz Panom Jakubowi Mateli i Wojciechowi Garstce, autorom odpowiednio drugiej i trzeciej ryciny.

Streszczenie

W 1985 r. Benjamin Libet opublikował wyniki doświadczenia, w którym pokazał, że u badanych przez niego osób spontaniczny ruch palcem jest poprzedzany narastającą przez 550 ms aktywnością kory przedruchowej, ale świadomość woli wykonania tego ruchu następuje dopiero na ok 200 ms przed ruchem. Wynik ten sugerował, że mózg zaczyna przygotowywać się do ruchu 350 ms wcześniej, nim osoba badana uświadomi sobie chęć poruszenia palcem, co podważało istnienie wolnej woli. W niniejszym artykule przedstawiamy powody, dla których eksperyment ten wywołał zrozumiałe poruszenie nie tylko w społeczności naukowej, ale również wśród wielu czytelników mediów popularnonaukowych. Analizując kolejne doświadczenia mające na celu wyjaśnienie paradoksu Libeta staramy się dowieść, że prawdopodobne rozwiązanie leży w statystycznych własnościach aktywności neuronalnej oraz procesu podejmowania decyzji i nie wymaga kwestionowania wolnej woli.

LITERATURA

- ALEXANDER P., SCHLEGEL A., SINNOTT-ARMSTRONG W., ROSKIES A. L., WHEATLEY T., TSE P. U., 2016. *Readiness potentials driven by non-motoric processes*. *Conscious. Cogn.* 39, 38-47
- BANKS W. P., ISHAM E. A., 2009. *We infer rather than perceive the moment we decided to act*. *Psychol. Sci.* 20, 17-21.
- BODE S., MURAWSKI C., SOON C. S., BODE P., STAHL J., SMITH P. L., 2014. *Demystifying "free will": The role of contextual information and evidence accumulation for predictive brain activity*. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 47, 636-645.
- HANES D. P., CARPENTER R. H. S., 1999. *Countermanding saccades in humans*. *Vision Res.* 39, 2777-2791.
- HE B. J., ZEMPEL J. M., SNYDER A. Z., RAICHEL M. E., 2010. *The temporal structures and functional significance of scale-free brain activity*. *Neuron* 66, 353-369
- LIBET B., GLEASON C. A., WRIGHT E. W., PEARL D. K., 1983. *Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activities (readiness-potential); the unconscious initiation of a freely voluntary act*. *Brain* 106, 623-642.
- LIBET B., 1985. *Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action*. *Behav. Brain Sci.* 8, 529-566.
- MARZEC-REMISZEWSKI M., 2016. *Czy wnioski z eksperymentów naukowych badających wolną wolę są uzasadnione?* *Argument: Biannual Philosophical J.* 6, 475-492.
- MURAKAMI M., VICENTE M. I., COSTA G. M., MAINEN Z. F., 2014. *Neural antecedents of self-initiated actions in secondary motor cortex*. *Nat. Neurosci.* 17, 1574-1582
- ROTHBART M., EVANS M., FULERO S., 1979. *Recall for confirming events: Memory processes and the maintenance of social stereotypes*. *J. Exp. Soc. Psychol.* 15, 343-355.
- SCHURGER A., 2018. *Specific relationship between the shape of the readiness potential, subjective decision time, and waiting time predicted by an accumulator model with temporally autocorrelated input noise*. *eNeuro* 5, doi: 10.1523/ENEURO.0302-17.2018
- SCHURGER A., SITT J. D., DEHAENE S., 2012. *An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109, E2904-E2913
- SCHURGER A., MYLOPOULOS M., ROSENTHAL D., 2016. *Neural antecedents of spontaneous voluntary movement: A new perspective*. *Trends Cogn. Sci.* 20, 77-79
- SOON C. S., BRASS M., HEINZE H.-J., HAYNES J.-D., 2008. *Unconscious determinants of free decisions in the human brain*. *Nat. Neurosci.* 11, 543-545.
- STRZYŻYŃSKI P., 2013. *Benjamin Libet's experiment and its critique between 2000-2012*. *Osoba i wola* 10, 83-102.
- WRÓBEL A., 2003. *Wolność to świadoma kontrola automatyzmów*. [W:] *Natura automatyzmów, perspektywy*. OHME R. K., JARYMOWICZ M. (red.). IP PAN, Warszawa, 23-26.

KOSMOS Vol. 69, 1, 135-143, 2020

WERONIKA REDOS¹, JOANNA WĄSOWICZ¹, MAKSYMILIAN RADZIKOWSKI², ANDRZEJ WRÓBEL¹

¹Cognitive Science, Institute of Philosophy, University of Warsaw, 3 Krakowskie Przedmieście Str., 00-927 Warszawa, ²College of Inter-Area Individual Studies in Humanities and Social Science, 69 Prosta Str., 00-838 Warszawa, E-mail: andrzej.wrobel@uw.edu.pl

DOES BENJAMIN LIBET'S EXPERIMENT QUESTION THE EXISTENCE OF FREE WILL? A POSSIBLE EXPLANATION OF A PARADOX

Summary

In 1985 Benjamin Libet published an experiment showing that the conscious will to act, such as moving a finger, appeared 200 ms earlier than the act itself. Unexpectedly, preceding activity in the premotor cortex started to build up even earlier, around 550 ms, before the motor response. This result suggested that the brain started preparatory action 350 ms before its conscious trigger and thus questioned the existence of free will. In this article we describe the popular and scientific boom started by this paradoxical conclusion which might be possibly explained by statistical rules governing neural activity during decisional processes and does necessarily question free will.

Key words: free will, Libet's experiment, stochastic decision model (SDM)