

Mózg a świadomość

Rozmowa z profesorem Andrzejem Wróblem, autorem odczytu z cyklu Konwersatorium PW

„Ta część kory mózgowej, która nie opracowuje bodźców ze świata zewnętrznego, zaczyna niezależnie przetwarzać zapamiętane uprzednio informacje, co owocuje rozwojem kultury, sztuki, nauki – abstrakcji, które, jak się wydaje, nie były bezpośrednio istotne dla ewolucji gatunku”

Ilona Sadowska: Proszę opowiedzieć o działalności Pracowni Układu Wzrokowego, której jest Pan Kierownikiem, w ramach Zakładu Neurofizjologii Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN.

Andrzej Wróbel: Nazwa jest związana z układem wzrokowym – częścią mózgu analizującą podstawowe źródło informacji dla człowieka – zmysł wzroku, którego badania mają długą historię w Instytucie Nenckiego. Prowadzimy je na modelu zwierzęcym – poznając układ wzrokowy kotów i częściowo również szczurów. Doświadczenia skończyliśmy już kilka lat temu, ale ciągle analizujemy ich wyniki zgromadzone na nośnikach cyfrowych. W tej chwili Pracownia zajmuje się również innym układem zmysłowym – czuciowym, którego modelem doświadczalnym jest układ czucia wibrysonowego u gryzoni. Badamy przetwarzanie informacji dochodzącej za pośrednictwem długich wąsów u szczurów i myszy, informacji istotnej dla zwierząt żyjących naturalnie w ciemności. Trzecim modelem układów zmysłowych, którym się zajmujemy w Pracowni, jest układ wzrokowy człowieka. Mechanizmy fizjologiczne, które odkrywamy w doświadczeniach na zwierzętach, sprawdzamy w warunkach eksperymentów nieinwazyjnych na ludziach, z nadzieją, że ich poznanie będzie miało zastosowania w klinice. Jednym z głównych mechanizmów łączących wszystkie te modele badawcze jest sposób aktywacji uwagowej mózgowych struktur analizujących informacje zmysłowe. Badania na ludziach robimy, używając metod obrazowania funkcjonalnego: bezpośredniej, rejestrującej aktywność elektryczną tkanki mózgowej (EEG), oraz pośredniej, rejestrującej ilość krwi przepływającej w aktywnych strukturach mózgu (fMRI).

IS: Jaki jest cel prowadzonych doświadczeń?

AW: Głównym celem naszych badań jest zrozumienie mechanizmów przetwarzania informacji w układach

zmysłowych, tzn. sposobu postrzegania świata zewnętrznego przez mózg. Z początku byłem bardzo ostrożny i badaliśmy analizatory zmysłowe tylko do poziomu tzw. kory pierwszorzędowej, która dla analizatora wzrokowego znajduje się w potylicznej części mózgu, a dla analizatora czuciowego w jego centralnej części zarówno u człowieka, jak i u gryzoni. Ale im bliżej mam do emerytury, tym bardziej jestem nastawiony na badania kognitywne, a w szczególności – ponieważ zidentyfikowaliśmy aktywność neuronalną mózgu zwierząt związaną z przenoszeniem uwagi – dynamicznym wzbudzaniem uwagi i jej rozchodzeniem się między strukturami układów zmysłowych. I tak badania uwagi na zwierzętach zawiodły nas do badań umysłu człowieka, ponieważ uwaga jest podstawowym elementem świadomości.

IS: Jakie zastosowania medyczne mogą wynikać z tych badań?

AW: Zaburzenia uwagi, to jest bardzo poważny problem w klinice ludzkiej. Większość z nas miała kontakt z dziećmi, u których zdiagnozowano ADHD, ale nie pamiętamy, że zaburzenia te są problemem również w wieku dorosłym. Fizjologicznej starości towarzyszy osłabienie mechanizmów uwagi i warto badać, czy możemy w tym czasie zwiększyć efektywność uwagi, czyli również potencjał kognitywny osób starszych. Oba te cele mamy na względzie w planowaniu badań Pracowni. Natomiast wspomniane wcześniej badania na modelach zwierzęcych, są jeszcze stosunkowo odległe od bezpośredniego zastosowania w klinice ludzkiej.

IS: Jakich zmysłów dotyczą zaburzenia uwagi?

AW: Wszystkich. Nasze zmysły działają również bez angażowania świadomości, ale żeby coś zauważyć, czyli żeby dotarło do nas, że coś widzimy, czujemy, wachamy, to mózg musi aktywować mechanizm uwagi – bez niego nie ma świadomości zmysłowej.

IS: Doświadczenia są prowadzone z wykorzystaniem zwierząt – szczurów i kotów: dlaczego akurat te zwierzęta?

AW: Kot tradycyjnie jest zwierzęciem modelem doświadczalnym dla badań układu wzrokowego, gdyż, podobnie jak u człowieka, większość informacji o świecie dociera do niego za pomocą tego zmysłu, a docelowym horyzontem naszych badań jest przydatność w klinice ludzkiej. Szczury zaś są typowym i najtańszym zwierzęciem laboratoryjnym. Ich układ czuciowy jest w wielu miejscach analogiczny do naczelnych, a kora pierwszorzędowa łatwa do badania metodami elektrofizjologicznymi. Poza tym, ostatnio uzyskano genetycznie modyfikowane modele tych zwierząt, co znacznie rozszerza paletę możliwych technik badawczych.

IS: Wspomniał Pan o metodach badawczych, na czym polegają metody elektrofizjologiczne w badaniach mózgu?

AW: W naszym laboratorium używamy większości standardowych metod elektrofizjologicznych – od takich, które rejestrują przepływ prądu przez jeden kanał jonowy w błonie neuronu. Rejestrujemy również aktywność elektryczną całych neuronów zarówno u zwierząt w narkozie, jak i wykonujących jakieś zadania, korelując tę aktywność z zachowaniem. Analizujemy wreszcie potencjały polowe, czyli aktywność zespołu wielu (od kilkudziesięciu do kilku tysięcy) komórek nerwowych. U ludzi analizujemy sygnały EEG, które są sumą wielu lokalnych potencjałów polowych i mogą być rejestrowane z zewnątrz kości czaszki.

Wszystkie te metody badają bezpośrednio aktywność elektryczną tkanki neuronalnej, która jest nośnikiem informacji w mózgu. W badaniach ludzkich stosujemy również inną metodę obrazowania aktywności mózgu – fMRI, która jest dostępna w Laboratorium Rezonansu Magnetycznego naszego Instytutu. Metoda fMRI bada zmiany przepływu krwi w określonych regionach mózgu z założeniem, że przepływ ten rośnie w strukturach aktywnych, ze



względem na ich zwiększone zapotrzebowanie energetyczne.

IS: Czy badania wzroku na zwierzętach są nieinwazyjne?

AW: Doświadczenia na zwierzętach wymagają implantacji elektrod rejestrujących do wnętrza mózgu. Po ukończeniu rejestracji (ok. pół roku) trzeba uspić zwierzę aby, po pocięciu tkanki mózgowej na cienkie skrawki, dokładnie ustalić położenie elektrod rejestrujących. W badaniach na ludziach określenie aktywnych regionów mózgu jest bardzo niedokładne, bo opiera się na aproksymacji źródeł aktywności za pomocą matematycznej analizy zewnętrznych sygnałów EEG.

IS: Czym się Pan pasjonuje w działalności naukowej?

AW: Oprócz wzrokowej aktywności uwagowej (elektryczna, synchroniczna aktywność w zakresie częstotliwości 12-30 Hz, nazywana „pasmem beta” w elektroencefalografii), którą opisaliśmy jako pierwsi i badamy od 20 lat, za istotne osiągnięcia w mojej karierze uważam wprowadzenie do polskich badań neurofizjologicznych trzech ważnych dziedzin: neuroinformatyki, neurokognitywistyki i ostatnio, neurofeedbacku. Neuroinformatyka, to metoda analizy tkanki neuronalnej oparta na dużych zbiorach danych, matematyczna ich analiza i tworzenie modeli teoretycznych. W latach 90. ubiegłego wieku, kiedy jako przedstawiciel Ministerstwa Nauki wraz z kolegami z innych krajów OECD, tworzyliśmy zręby Międzynarodowego Towarzystwa Neuroinformatycznego (INCF) zaangażowałem się w konsolidację tego środowiska naukowego w Polsce. Wymiernym efektem tej pracy jest Polski Węzeł Neuroinformatyczny oraz samodzielna Pracownia Neuroinformatyki w Instytucie Nenckiego, zorganizowana i prowadzona przez profesora Daniela Wójcika, młodszego kolegę, który wrócił w tym celu z USA.

IS: Jakie Pan widzi znaczenie neuroinformatyki w dzisiejszej nauce?

AW: Biologia dąży do tego, aby – w ślad za fizyką i chemią – zalgorytmizować swoją wiedzę. Żeby coś zrozumieć, trzeba opisać to wzorami, czyli umieć zbudować model (np. matematyczny). Tę prawdę opisał już w XVIII w. Giambattista Vico (*Rozumiemy to co potrafimy zrobić*). Fizyka zrobiła to jako pierwsza dyscyplina naukowa, ponieważ materia nieożywiona jest łatwiejsza do opisu niż materia ożywiona. Chemia, która miała do czynienia

z bardziej skomplikowaną strukturą związków organicznych, uporała się z ich modelowaniem z pewnym opóźnieniem, ale wiele doświadczeń chemicznych można już również opisać *in silico*. Natomiast biologia, a w szczególności neurofizjologia, jest na początku drogi. Neuroinformatyka jest właśnie próbą znalezienia odpowiednich modeli do opisu struktury i aktywności mózgu.

IS: A neurokognitywistyka?

AW: To było na SWPS jakieś 14 lat temu. Zostałem zaproszony przez prof. Andrzeja Nowaka, aby wyklądać neuronaukę studentom psychologii. Zauważyłem wtedy, że w polskiej psychologii badania oparte są głównie na obserwacjach behawioralnych i kwestionariuszach testowych, podczas kiedy w tym samym czasie w Stanach Zjednoczonych praktycznie żaden psycholog nie mógł otrzymać grantu badawczego bez użycia metod obrazowania mózgu. Szczęśliwie, moja propozycja utworzenia pierwszej w Polsce Katedry Neurokognitywistyki na SWPS znalazła uznanie kolegów i udało mi się rozpocząć szkolenie, a potem badania psychologiczne oparte na obrazowaniu pracy mózgu. Teraz neurokognitywistyka jest wykładana już chyba w siedmiu polskich wyższych uczelniach i w pewnym sensie czuję się współtwórcą tej odnowy. Poruszając się w środowisku psychologów, zwróciłem również uwagę, że ze wsparciem Ministerstwa Edukacji w poradniach psychologicznych używa się tzw. neurofeedbacku (NFB) jako metody treningu wspomagającego u dzieci. Szybko zorientowałem się, że metoda ta nie ma w Polsce żadnego oparcia w wiedzy naukowej, a terapie prowadzi się na podstawie szablonów szkoleniowych bez jakichkolwiek odnośników naukowych. Bardzo mnie to zbulwersowało, więc sięgnąłem do literatury. Okazało się, że również w skali światowej jest niezmiernie mało badań podstawowych dotyczących neurofeedbacku opartego na EEG. Znalazłem jedynie 40 dobrze przygotowanych pod względem naukowym publikacji na ten temat. W dziedzinie np. fizjologii wzroku rocznie ukazuje się wiele tysięcy prac. Mówię o badaniach na zdrowych ludziach, mających na celu zrozumienie mechanizmów zmian plastycznych zachodzących podczas treningu NFB. Jednocześnie publikuje się znacznie więcej prac klinicznych, w których neurofeedback jest używany wspomagająco – bez prawidłowo udokumentowanych wyników. Doszedłem do wniosku, że państwowe pieniądze nie powinny być wydawane na procedury niemające

podstaw naukowych i postanowiłem stworzyć przed przejściem na emeryturę co najmniej jedno polskie laboratorium, w którym mogłyby być prowadzone naukowe badania procedur NFB. Rok temu dostaliśmy z NCN-u grant na badania neurofeedbacku i muszę przyznać, że obecnie większość swego czasu poświęcam właśnie tej tematyce.

IS: A zatem na czym polega neurofeedback?

AW: Neurofeedback (NFB) jest metodą terapii wspomagającej mającą służyć poprawie funkcji kognitywnych i behawioralnych. Treningi NFB polegają na indukowaniu zmian aktywności elektrycznej mózgu (a więc również plastycznych zmian jego sieci neuronalnej) poprzez zmiany bodźców (wzrokowego lub słuchowego) sprzężonych w pętli zwrotnej z tą aktywnością. Sprzężenie to jest często realizowane za pomocą gry video, której pozytywny postęp zależy od nieświadomego samowzmocnienia przez badanego określonych pasm częstotliwości EEG. Przy dużych nadziejach związanych z tą techniką, trzeba jednak pamiętać, że podstawą jakiegokolwiek uczenia jest przemodelowanie połączeń między wieloma neuronami mózgu, które, podczas skomplikowanej procedury NFB, są trudne do określenia. To uwiadcza specyficzny problem neurofizjologii, o którym wspominałem wcześniej. Ponieważ mózg jest strukturą niezwykle dynamiczną i skomplikowaną, jego aktywność jest powiązana w wieloparametrową przestrzeń, której wymiar jest trudny do ustalenia, co praktycznie uniemożliwia określenie jednoznacznych warunków doświadczenia.

Najbardziej znaną i najprostszą wersję NFB spopularyzowano w USA w latach 70. ubiegłego wieku. Każdy mógł za kilkanaście dolarów kupić jednokanałowy rejestrator EEG, tzw. „relaksator”, i przykleić elektrodę rejestrującą na potylicznej części czaszki, z której rejestruje się najwyższe amplitudowo „fale alfa” EEG o częstotliwości ok. 10 Hz (w potylicznej części mózgu znajdują się pierwszorzędowe pola kory wzrokowej). Uważa się, że im większa jest amplituda fal alfa, tym bardziej człowiek jest zrelaksowany, a jego mózg spokojny. Stąd uspakajające wzorce pokazujące się na małym ekranie kupionego urządzenia lub łagodna muzyka (przy zamkniętych oczach) były wyraźniejsze, gdy amplituda tych fal wzrastała. Nabywca mógł w ten sposób trenować swój mózg, aby „produkował” fale alfa o większej

amplitudzie i przez to mógł oczekiwać poprawy w utrzymaniu się stanu relaksacji.

Na podobnej zasadzie działa pętla wzmocnienia biologicznych fal mózgowych we współcześnie stosowanej terapii NFB. Otóż osoba na ogół gra w jakąś grę komputerową, np. „prowadzi” na ekranie samochodzik, starając się go utrzymać na szosie, przy czym uczestnik nie steruje tym pojazdem za pomocą myszki – w procedurze NFB stara się on utrzymać ten samochód na drodze zmieniając aktywność swojego mózgu – czyli zwiększając trenowane fale mózgowie (np. „uwagową” częstotliwość beta). Czyni to metodą prób i błędów, bo trener nie zna i nie może mu przekazać potrzebnej do tego celu strategii zmian osobniczej aktywności mózgu. Okazuje się, że w wielu przypadkach trening taki jest wieńczony sukcesem! Obraz oglądany przez uczestnika na monitorze powoduje zmianę aktywności mózgu, co jest rejestrowane przez elektrodę urządzenia NFB i zamieniane na odpowiedni kierunek ruchu obserwowanego samochodzika oraz dalszy wzrost amplitudy trenowanych fal. Niestety, nie znamy ani mechanizmów neuronalnych, które do tego prowadzą, ani specyficzności tej procedury. Możemy jednak podejrzewać, że podczas tych treningów zmienia się wiele parametrów pracy mózgu, a przez to i jego funkcji behawioralnych. Dlatego stosowanie procedury NFB według zwyczajowo przyjętych reguł opartych na ogólnikowym przypisaniu różnym pasmom częstotliwościowym EEG różnych funkcji uważam za wyjątkowo ryzykowne. Potrzebne są niewątpliwie szeroko zakrojone badania naukowe tej procedury i to nie tylko w Polsce, gdzie jak powiedziałem nie ma ich w ogóle, ale również na świecie.

W ostatnich kilku latach pojawia się coraz więcej prac na temat procedury neurofeedbacku, bo wydaje się on obiecującą „nieinwazyjną” metodą wspomagającą leczenie. Niewątpliwie czasem jest ona skuteczna, ale trzeba poznać uruchamiane przez nią mechanizmy neuronalne, żeby ją stosować w sposób specyficzny, w celu zmiany określonych zachowań. Dlatego zaczęliśmy od metaanalizy wszystkich dotychczas opublikowanych prac i na początek, prowadzimy trening tylko jednej częstotliwości encefalograficznej – beta – której funkcje i mechanizmy rozchodzenia się w mózgu badamy od wielu lat i w dużej mierze rozumiemy. Według nas aktywność neuronalna w rytmie beta jest nośnikiem uwagi i nie należy się dziwić, że jest ona jedną z najczęściej zmienianych parametrów w treningach NFB na

świecie. W naszych badaniach staramy się zobrazować te struktury i obwody funkcjonalne, które ulegają plastycznym zmianom w wyniku treningu NFB, używając w tym celu pełnowymiarowych rejestracji EEG i jednocześnie stosując metodę obrazowania aktywności mózgu za pomocą rezonansu magnetycznego. Warto przy okazji dodać, że pierwszą pracę na temat neurofeedbacku opublikowała pani prof. Wanda Wyrwicka, która rozpoczęła pracę w Instytucie Nenckiego i wyemigrowała do Stanów Zjednoczonych w latach 60. ubiegłego wieku. W Kalifornii stosowała ona z sukcesem procedurę podobną do NFB na kotach, wzmacniając jedzeniem amplitudę fal o częstotliwości od 12 do 15 Hz (które nazwała falami SMR, *sensory motory reflex*).

IS: Czy są próby polskiego nazewnictwa neurofeedbacku?

AW: Proste tłumaczenie to zapewne mózgowie sprzężenie zwrotne, co w języku polskim obejmowałoby cały obszar uczenia się. Może rzeczywiście trzeba zastanowić się nad jego bardziej adekwatnym tłumaczeniem.

IS: W jaki sposób działają mechanizmy plastyczności mózgu?

AW: Uczenie się jest tą cechą mózgu, która go odróżnia od wielu innych żywych struktur – jest to zmiana organizacji wewnętrznej pod wpływem doświadczenia, inaczej nazywana zmianą plastyczną. Twórcą nazwy „plastyczność mózgu” był Jerzy Konorski, dyrektor Instytutu Nenckiego i twórca Zakładu Neurofizjologii w tym Instytucie. Zapoczątkował on te badania jeszcze przed II wojną światową. Gdyby nie zmarł w 1972 r., dostałby zapewne nagrodę Nobla, do której był nominowany. Na poziomie komórkowym plastyczność polega na wytworzeniu nowego połączenia pomiędzy dwoma neuronami mózgu, które powstaje gdy są one jednocześnie aktywne. Po powstaniu takiego połączenia (synapsy) zmienia się sieć neuronalna mózgu, co skutkuje tym, że pobudzenie jednej z tych komórek prowadzi automatycznie do pobudzenia drugiej – a więc odtworzenia poprzedniego wzorca aktywności (mózg „zapamiętał” poprzedni stan). Na poziomie sieci neuronalnej pamięć taka oznacza, że gdy kilkakrotnie podamy psu kawałek mięsa w obecności dzwonka – co wywołuje odruchowe wydzielanie śliny – „nauczony” mózg będzie wywoływał jej wydzielanie na sam dźwięk – bez mięsa. Od takich doświadczeń Pawłowa zaczęły się badania nad uczeniem. Obecnie wiedza dotycząca plastyczności mózgu jest

już bardzo zaawansowana zarówno na poziomie molekularno-komórkowym, jak i systemowym (połączeń między strukturami mózgu) oraz kognitywnym (układów funkcjonalnych). Procesy plastyczne zachodzą bowiem w wielu wymiarach, od zmian połączeń między neuronami do wynikającej z nich zmian sieci neuronalnej.

IS: W kwietniu tego roku miał Pan odczyt na Politechnice Warszawskiej pt. *Mózg a świadomość*. Na czym polega zatem owa zależność i co właściwie widzi mózg?

AW: Wykład o podobnym tytule po raz pierwszy powiedziałem chyba w latach 70. ubiegłego wieku. Od 40 lat mówię na podobny temat i za każdym razem trochę inaczej. Staram się tak go zbudować, aby jak w pigułce pokazywał naszą aktualną wiedzę o przetwarzaniu informacji w mózgu. Zawieram w nim przede wszystkim informację, że mózg nie jest narzędziem służącym do obiektywnego poznawania świata. Jego zadaniem jest zabezpieczenie przeżycia zwierzęcia i jego gatunku. Pozwala on przede wszystkim znaleźć pożywienie i uniknąć drapieżnika. Nie jest więc istotne żeby to, co mózg widzi w sposób absolutny oddawało rzeczywistość. Nie jest na przykład ważne, jakiego koloru oczy ma tygrys, który za mną goni. Trzeba po prostu jak najszybciej rozpoznać drapieżnika i uciec. Dlatego mózg analizuje przede wszystkim rzeczy najlepiej charakteryzujące dane obiekty wykorzystując w tym celu, między innymi mechanizmy uwagi. Sama uwaga nie oznacza jednak świadomej percepcji, ale jest (podobnie jak pamięć) warunkiem koniecznym do jej powstania. Kwestia percepcji, czyli powstawania świadomości zmysłowej, jest interesująca, bo wyróżnia zwierzęta wyższe wśród innych żywych organizmów. Świadomość jest nierozwiązaną dotychczas zagadką nauki. Filozofowie myślą na ten temat, bez skutku, tysiące lat. Mam nadzieję, że neurofizjolodzy, którzy starają się zrozumieć powstawanie świadomości od mniej więcej 50 lat, szybciej rozwiążą ten problem. Przed rokiem 1960 panował w światowej fizjologii mózgu behawioryzm, według którego mózg można było opisać jako narząd odruchowo-warunkowy. Nie tylko nasza część świata była zdominowana przez teorię Pawłowa, problem świadomości uważano za „nienaukowy” również w USA. Dlatego Benjamin Libet, który w latach 80. ubiegłego wieku jako pierwszy zrobił doświadczenie na temat wolnej woli, opublikował je dopiero wtedy, gdy uzyskał pozycję zapewniającą etat do emerytury (ang. *tenure*

Doświadczenie to pokazało, że w momencie poruszenia palcem nie mamy woli, bo mózg człowieka wie o tym, że jego nosiciel chce poruszyć palcem dużo wcześniej niż uświadamia on sobie wolę poruszenia palcem. To było przełomowe doświadczenie, od którego zaczęły się poważne badania kognitywne. Istnienie świadomości dowodzi możliwości emergencji nowych funkcji w skomplikowanym układzie sieci neuronalnej. Za jej pomocą mózg może tworzyć konstrukty (również materialne), których nie było przedtem.

IS: Jakie są obecnie konkluzje dotyczące tych badań?

AW: W tej chwili badacze spierają się nawet o to, czy istnieje jakiś fizyczny substrat odczuć bodźców zmysłowych, tzw. qualiów, np. odczucia czerwoności koloru czerwonego albo przyjemności dźwięku. Filozofowie twierdzą, że coś takiego na pewno istnieje, mnie na razie wystarcza hipoteza, że świadomość czerwoności powstaje w momencie, kiedy dość skomplikowany układ neuronów jest ze sobą aktywnie połączony i taka chwilowa, funkcjonalna struktura wyróżnia tę jakość (niekoniecznie jej odczucie). Substrat świadomości (np. widzenia psa) można sobie wyobrazić tak: proste elementy składowe psa (krawędzie każdej z czterech nóg, głowy itd.), mają swoje reprezentacje w mózgu i kiedy wszystkie te komórki będą

jednocześnie działać mózg „zobaczy” psa. Mózg może ten zespół komórek pobudzić również wewnętrznie, to są wyobrażenia oparte na pamięci. Od kilkunastu lat wiemy, że faktycznie mamy dwa mózgi: jeden, który współpracuje ze światem zewnętrznym, i drugi, mózg wewnętrzny, który działa przede wszystkim wtedy, kiedy odpoczywamy. Układ struktur tego wewnętrznego mózgu nazywa się *default mode network* (DMN; propozycja polskiego odpowiednika – sieć aktywności wewnętrznej). Wydaje się on równie ważny jak ten mózg, który komunikuje się ze światem. Człowiek dąży stale do zaspokojenia swoich potrzeb i najlepiej czuje się, gdy taki stan osiągnie. Wtedy zaczyna przeważać aktywność DMN; mózg przypomina sobie zdarzenia luźno związane z interakcją ze światem zewnętrznym, np. może pobudzić taki zespół neuronów, które „widzą” psa. Załóżmy również, że jednocześnie pobudzony zostanie zespół neuronów związanych z przeżywaniem emocji strachu. W tym kontekście mózg może wymyślić „psa Baskerville’ów”, prawda? Inni czytają i też go sobie wyobrażają – wszystko pozostaje na poziomie abstrakcji, która w tak złożonym kontekście nie istniała w świecie rzeczywistym. To jest po prostu fascynujące. W czasie gdy kończyłem studia na Wydziale Fizyki UW, wydawało mi się, że fizycy opisali już większość praw oddziaływań w materii nieożywionej. Nie

musieli już robić eksperymentów, każde doświadczenie mogli przeprowadzić w przestrzeni wirtualnej. Pozostaje im może jeszcze jedno pytanie: jak działały prawa fizyki przed wielkim wybuchem A do opisania „ogólnej teorii wszystkiego” trzeba przecież zrozumieć również abstrakcyjny świat mózgu

IS: Właśnie, studiował Pan fizykę na UW, skąd się wzięło zainteresowanie tematyką mózgu, jak znalazł się Pan w Instytucie?

AW: To był, oczywiście, przypadek. Wiedziałem, że po studiach biofizycznych u prof. D. Shugara chcę dalej badać prawa przyrody. Dowiedziałem się wtedy, że po 20 latach przerwy, w Instytucie Nenckiego prof. J. Konorski otwiera studia doktoranckie z neurofizjologii. Przeszedłem i od pierwszej wizyty, na której zobaczyłem rejestrację elektrofizjologiczną pojedynczej komórki na ekranie oscyloskopu wiedziałem, że to jest to... Kot pod narkozą, a w jego mózgu na ruch mojej ręki aktywuje się komórka i trzeba tylko odpowiedzieć na proste pytanie: jak to się dzieje, że ta komórka wysyła potencjały czynnościowe wtedy, kiedy ja macham ręką? 45 lat mnie to już zajmuje. Zacząłem w grudniu 1969 r., czyli 44 lata i pół.

IS: Wracając do mózgu, jaka jest rola automatyzmów w procesach przetwarzania informacji wzrokowej lub czuciowej?

AW: Automatyzmy to jest podstawowy sposób działania naszego mózgu. Uświadamiamy sobie nie więcej niż 10^{-7} rejestrowanej informacji zmysłowej. To jest drobny ułamek, można by powiedzieć – błąd ewolucji. Cała reszta naszego zachowania opiera się na procesach automatycznych. Bez automatyzmów nie moglibyśmy na przykład chodzić. Mamy ok. czterystu mięśni ruchowych, więc gdybyśmy mieli myśleć, że do wykonania następnego kroku należy uaktywnić prostowniki stawu kolanowego, a rozluźnić jego zginacze (aby się nie zerwały) itd. dla wszystkich innych stawów, to mózg nie dałby rady przetworzyć tej ilości informacji. Większość procesów kontrolujących nasze ciało dzieje pod automatyczną kontrolą mózgu. To jest jedna z przyczyn, że mamy taki duży mózg. Z podobnego powodu dużym mózgiem charakteryzuje się delfin. Jego zadaniem jest w dużej mierze nadawanie ciału kształtu opływowej kropli, żeby w czasie pływania uniknąć turbulencji. W tym celu skomplikowane, automatyczne reakcje w układzie czuciowo-ruchowym wygładzają skórę poprzez odpowiednie reakcje mięśniowe. Ewolucja mózgu





„Mózg niezależnie od tego czy patrzy się na białą ścianę z jedną czarną kropką (siedzącą muchą), czy kiedy rozwiązuje równanie różniczkowe Shroedingera zawsze działa w 100%”

człowieka skierowała się przede wszystkim na zwiększenie kory mózgu, aby rozwinąć mechanizmy szybkiej adaptacji do zmieniających się warunków środowiska oraz uczenia się. Wyobrażam sobie, że w którymś momencie ten skomplikowany układ korowo-wzgorzowego przetwarzania informacji zewnętrznej stworzył własny system kontroli, który w sytuacji mniejszego obciążenia zaczął tworzyć abstrakcyjne, ale funkcjonalne skojarzenia. Może to właśnie stało się źródłem rozwoju kultury, sztuki i nauki – aktywności z początku nieoczywiście koniecznych dla biologii gatunku, ale dzięki którym nasz gatunek opanował świat.

IS: Czyli „mózg a zachowanie” jest uwarunkowane automatyzmami?

AW: W przeważającym stosunku. Gdyby zapytał mnie ktoś, czy kognitywna aktywność człowieka jest marginesem ewolucji, to bym nie oponował. Ewolucja nie jest celowa i z pewnością nie prowadziła do tego, żebyśmy umieli myśleć i rozwiązywać problemy. Te umiejętności, i zbudowana na ich bazie kultura, stały się możliwe dzięki skomplikowaniu ludzkiego mózgu, które pierwotnie miało służyć szybkiemu przystosowaniu się do zmieniających się warunków zewnętrznych. Nie można jednak powiedzieć, że mózg wykorzystał w tym celu jakąś „nadmiarową” część. W obiegowym pojęciu, utrwalanym czasem przez dziennikarzy, uważa się, że w wykorzystujemy jedynie 20% mózgu – to jest oczywisty błąd. Mózg niezależnie od tego czy patrzy się na białą ścianę z jedną czarną kropką (siedzącą muchą), czy kiedy rozwiązuje równanie różniczkowe Shroedingera zawsze działa w 100%. To, że tylko specyficzna część komórek jest w danej chwili aktywna, jest równie ważne jak to, że cała reszta – w kontraście – jest nieaktywna. Procent tych aktywnych został źle zinterpretowany przez dziennikarzy ...

IS: że 20% mózgu jest wykorzystywane efektywnie ...

AW: Żaden układ złożony, w którym jednocześnie aktywne są wszystkie elementy nie mógłby działać. W ewolucji mózgu okazało się, że efektywne działanie wymaga jednoczesnej aktywności tylko jednej piątej neuronów.

IS: W swoim zespole ma Pan młodych naukowców. Jak się dzisiaj pracuje z młodymi ludźmi? Czy są wystarczająco przygotowani w macierzystych uczelniach do pracy w takich placówkach jak Instytut?

AW: Przez 12 lat pracowałem równoległe na uczelni, bo kontakt z młodymi ludźmi jest bardzo stymulujący. Na każdej uczelni, państwowej czy prywatnej, są błyskotliwi studenci, potencjalni pracownicy naukowcy, rzesza takich, którzy ją skończą i sprawdzą się w wyuczonym zawodzie oraz sporo takich, którzy nie powinni w ogóle studiować. Oczywiście kandydatów na doktorantów

wybieramy z tej pierwszej grupy w ostatnich dwadzieścia lat obserwujemy wielki postęp w ogólnym przygotowaniu studentów. Młodzi ludzie, którzy teraz do nas przychodzą na studia doktoranckie, po pierwsze mówią perfektnie w języku angielskim, który jest podstawowym językiem w nauce; po drugie większość miała już jakieś doświadczenie badawcze, staże naukowe Erasmusa za granicą lub pracę na macierzystej uczelni; po trzecie są inteligentni, niezwykle ciekawi świata i chłonnie uczą się. Często zazdroszczę im możliwości rozwoju w nowym systemie. Chociaż myśmy mieli swoje wyzwania ...

IS: Czy neurofizjologia jest w centrum Pana zainteresowań, czy starcza czasu na coś innego, czy są jakieś inne dziedziny, które Pana fascynują, interesują?

AW: Przez dłuższy czas oddawałem się przede wszystkim nauce, ale im jestem starszy, tym bardziej zdaję sobie sprawę, że ta cegiełka, którą ustawiam w murze wiedzy, to nie jedyna istotna rzecz w życiu. Staram się cenić własne zadowolenie płynące w pierwszym rzędzie z życia rodzinnego. To jest niezwykle ważny element emocjonalny naszej egzystencji i stanowi dla niej pozytywny feedback, neuro, oczywiście.

IS: Czyli rodzina jako pierwszoplanowe źródło zadowolenia.

AW: Są jeszcze inne, dobra książka czy puszka Kaszubska, takie rzeczy też umiem doceniać.

Rozmawiała: Ilona Sadowska

Profesor Andrzej Wróbel, kierownik Pracowni Układu Wzrokowego w Instytucie Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego. Przewodniczący Komitetu Neurobiologii PAN. Był prezesem Polskiego Towarzystwa Badań Układu Nerwowego, długoletnim kierownikiem Zakładu Neurofizjologii Instytutu Nenckiego oraz członkiem zarządów międzynarodowych towarzystw: *International Brain Research Organization*, *European Neuroscience Association*, *European Brain and Behaviour Society*, *International Neuroinformatics Coordinating Facility*. Wypromował dziewięciu doktorów; opublikował 66 prac w czasopiśmie z listy ISI, 28 rozdziałów w książkach i podręcznikach, 37 publikacji popularnonaukowych, zredagował 6 monografii lub podręczników akademickich. Założyciel i kierownik Katedry Neurokognitywistyki w Szkole Wyższej Psychologii Społecznej w Warszawie, pierwszej w Polsce specjalności psychologicznej opartej na badaniach mózgu. Organizator zespołu neuroinformatycznego w Instytucie Nenckiego. Obecnie kieruje również konsorcjum do naukowych badań neurofeedbacku. Prowadzi badania nad dynamiką aktywności neuronalnej w systemach zmysłowych zwierząt i ludzi. Używając technik elektrofizjologicznych do zbierania danych oraz neuroinformatycznych metod ich analizy, koreluje reakcje komórek nerwowych i aktywność matych obwodów neuronalnych oraz większych systemów funkcjonalnych mózgu z ich kontekstem behawioralnym.

PROFUNDERE SCIENTIAM

nr **11**
październik 2014

BIULETYN CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Dostrzeżone w tęczy

Rozmowa z profesorem sir Michaelem Berrym

Ewa Stefaniak: Jednym z Pana wybitnych osiągnięć jest odkrycie fazy geometrycznej, nazwanej zresztą fazą Berry'ego. Proszę przybliżyć to zjawisko laikowi.

Michael Berry: Gdybym miał wyjaśnić to zjawisko laikowi, powiedziałbym, że jest to część geometrii mająca niezwykle zastosowanie w fizyce kwantowej. Podam przykład. Parkowanie samochodu w małej przestrzeni wymaga serii manewrów, tj. cofania, jechania do przodu, skrętu kierownicy. Wszystkie te operacje powtarza się periodycznie, a każdy z kolejnych ruchów przybliża nas do celu. W fizyce kwantowej, a dokładniej rzecz ujmując, w fizyce zjawisk falowych, a takie właśnie zjawiska mechanika kwantowa opisuje, sytuacja wygląda następująco: mamy układ, powiedzmy cząsteczkę, i część tego układu jest poddawana zmianom, na przykład poprzez zmianę sił oddziałujących na ten układ. Zmieniamy siły, a potem przywracamy poprzedni stan rzeczy. Można byłoby pomyśleć, i tak zresztą uważano, że układ fałuje bardziej, niż by to miało miejsce, gdybyśmy na niego nie wpływali. Wpływamy powoli, układ fałuje, a liczba fał jest duża. Matematycznie wszystko jest jasne, ale moje odkrycie wnosi coś nowego. Zmiana nie zależy bowiem od tego, jak wolno się jej dokonuje, ale od sposobu, w jaki jest ona wykonywana, od geometrii, i to właśnie jest faza geometryczna. Ku mojemu zaskoczeniu muszę przyznać, faza geometryczna znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach fizyki, na przykład w optyce, fizyce kwantowej i wszędzie tam, gdzie występują fale,

czyli w fizyce materii skondensowanej, fizyce cząstek elementarnych, chemii molekularnej. Powstało już około 5 tysięcy prac, w których autorzy odwołują się do mojego odkrycia.

ES: Jest Pan geniuszem.

MB: Nie, nie sądzę. Miałem po prostu szczęście. O latach 20. ubiegłego wieku, kiedy rodziła się fizyka kwantowa, Paul Dirac, jeden z najwybitniejszych fizyków tamtych czasów, powiedział, że wtedy pierwszy lepszy fizyk mógł dokonać pierwszorzędnych odkryć. Dekadę później, gdy można już było jedynie omawiać kwestie techniczne zdobytej wiedzy, nie było takich możliwości, i nawet wielcy nie dokonywali przełomu. W tym sensie ja miałem szczęście, bo rozpocząłem swoją wielokierunkową pracę naukową w dogodnym momencie. Z moich osiągnięć korzystają inni, ale to nie dowodzi geniuszu. Trzeba być wytrwałym, ciężko pracować i mieć zacięcie, jak to w fizyce teoretycznej, do gryzmoleń. Trzeba śledzić sukcesy innych, ale nie za bardzo się na nich skupiać. To są delikatne kwestie. Geniusz to coś zupełnie innego.

ES: Czy odkrycie fazy geometrycznej było przypadkiem?

MB: To był splot pewnych okoliczności, jak to ktoś kiedyś ujął, nie pamiętam kto: „Los sprzyja przygotowanym umysłom”. Moje wcześniejsze prace przygotowały mnie na fazę geometryczną. Podczas jednego z wykładów

W NUMERZE

między innymi:

- *Dostrzeżone w tęczy* – rozmowa z prof. sir Michaelem Berrym (s. 1)
- *Organy i instrumenty poznawcze* – prof. Stanisław Janeczko (s. 1)
- *Mózg a świadomość* – rozmowa z prof. Andrzejem Wróblem (s. 10)
- *Mario Botta* – współczesny Człowiek Renesansu (s. 15)
- *Stypendyści Centrum* (s. 19)
- *Projekt: Bezpieczeństwo i obronność kraju* – prof. Robert Głębocki (s. 28)
- *PR PW w CSZ – 2008-2014* (s. 32)

ORGANY

I INSTRUMENTY POZNAWCZE⁽¹⁾

Profesor Stanisław Janeczko

Zobaczyć cienie nadchodzącej katastrofy⁽¹⁾

Jak daleko sięga nauka? Jaka będzie i jaka powinna być jej rola w oczekującej przyszłości? Wydaje się, że przyszłość jest dzisiaj bardziej niepewna niż w jakiegokolwiek wcześniejszej epoce. Musimy więc podejmować największe wysiłki, aby przewidzieć jej przypuszczalny rozwój. Przyszłość pozornie jest bardziej niepewna niż kiedykolwiek, ponieważ świat (z 7 miliardami ludzi) nigdy jeszcze nie

{ CIĄG DALSZY NA S. 8 }

¹ Fragmenty odczytu wygłoszonego podczas debaty w Pałacu Prezydenckim 11 czerwca 2014, z okazji 25-lecia odzyskania suwerenności, *Czy istnieją granice poznania? Jak daleko może sięgać nauka?*

{ CIĄG DALSZY NA S. 4 }