

Wprowadzenie

W literaturze filozoficznej skupionej wokół szeroko rozumianej neuronauki (*neuroscience*) wyłoniły się dotychczas dwa zasadnicze nurty analiz: filozofia neuronauk oraz neurofilozofia¹. Pierwszy z tych nurtów – ogólnie rzecz biorąc – to zrelatywizowana do *neuroscience* metodologia i filozofia nauki. Przykładowe zagadnienia, które są badane w filozofii neuronauk, to wyjaśnianie naukowe, jedność wiedzy naukowej, źródła danych czy też uteoretyzowanie badań. Z kolei drugi nurt, neurofilozofia, bada przydatność wyników i pojęć neuronaukowych w analizie zagadnień filozoficznych, takich jak np. wolna wola, tożsamość osobowa (podmiotowość) czy też (samo)-świadomość. W ramach obydwu nurtów powstało wiele wartościowych prac, a także wykształciło się środowisko, czy wręcz „ruch” filozoficzny, skupiony wokół różnych dyscyplin opierających się na wiedzy dotyczącej funkcjonowania mózgu. Niniejsza praca dotyczy przede wszystkim zagadnień filozofii neuronauki, a dokładniej – filozofii i metodologii neuronauki poznawczej. Pokazuję jednak, że szczególnie na gruncie *filozofii w neuronauce*, która jest metodą, czy też stylem uprawiania filozofii, jaką przyjmuję, ścisłe rozdzielenie filozofii neuronauki i neurofilozofii nie jest możliwe.

Choć na przestrzeni ostatnich lat pojawiło się wiele książek i artykułów poświęconych zagadnieniom filozoficznym i metodologicznym *neuroscience*, a nawet wyłonił się wyraźny nurt badawczy,

¹ Zob. J. Bickle, P. Mandik, *The Philosophy of Neuroscience*, [w:] *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, red. E.N. Zalta, Stanford University, Stanford 2010, <<http://plato.stanford.edu/entries/neuroscience>>.

określany mianem *mechanicyzmu*, z pewnością nie można mówić o tym samym stopniu dojrzałości filozofii i metodologii neuronauki, jak w przypadku filozofii i metodologii fizyki. O ile partykularne problemy metodologiczne, takie jak np. wyjaśnianie neuronaukowe, doczekały się licznych opracowań (głównie na gruncie wspomnianego mechanicyzmu), o tyle wciąż brakuje pozycji scalających dotychczasowe analizy, a także skupionych wokół zagadnienia ogólnej struktury teorii neuronaukowych. Krótko mówiąc: neuronauka czeka dopiero na swoje Koło Wiedeńskie i jego bezkompromisową krytykę. Oczywiście brak tak dojrzałych analiz nie jest w żadnym wypadku zarzutem wobec filozofów i metodologów, gdyż neuro-nauka, a szczególnie neuronauka poznawcza, jest bardzo młodą dyscypliną, znajdującą się w fazie rewolucyjnej (zgodnie z terminologią Thomasa Kuhna), czy też na etapie przejścia fazowego (według terminologii Michała Hellera). Od początków nowożytnej fizyki (Newton, Galileusz, Kopernik) do analiz Karla Poppera, przedstawicieli Koła Wiedeńskiego oraz W.V.O. Quine’a upłynęło przecież kilkaset lat.

To wszystko nie znaczy jednak, że dotychczasowe narzędzia filozoficzno-naukowe i metodologiczne nie mogą być wykorzystane w odniesieniu do *neuroscience*. Uważam jednak, że zarówno kurczowe trzymanie się sprawdzonych narzędzi, jak i próby stworzenia za wszelką cenę unikatowego dla *neuroscience* aparatu filozoficzno-metodologicznego są strategiami chybionymi. Lepiej jest rozwijać systematycznie strategię kompromisu, testując i adaptując znane narzędzia, a gdy zajdzie taka potrzeba, wypracowując nowe. Trzeba mieć na uwadze, że neuronauka w ogólności i neuronauka poznawcza w szczególności w pewnych aspektach są dalekie od „modelowej” nauki analizowanej przez filozofów – fizyki. Z drugiej strony nie sądzę jednak, żebyśmy mieli do czynienia z fundamentalnymi różnicami, powodującymi konieczność rewizji naszych poglądów na „naukę w ogóle”. Po tej krótkiej refleksji nad dotychczasowym stanem analiz przejdę do przedstawienia celów niniejszego studium oraz moich tez na temat specyfiki neuronauki poznawczej.

Podstawowym celem niniejszej pracy jest rekonstrukcja struktury teorii neurokognitywnych, które pozwalają wyjaśnić umysł. Wypełnienie tego zadania – przynajmniej częściowe – wymaga zmierzenia się między innymi z problemem uteoretyzowania badań prowadzonych pod szyldem neuronauki poznawczej, a także znalezienia optymalnej strategii wyjaśniania neuronaukowego. Niezwykle istotne jest również przedstawienie kryteriów wyboru i uzasadniania hipotez neurokognitywnych.

Główna teza niniejszego studium głosi, że kluczowym aspektem struktury teorii neurokognitywnych jest wnioskowanie do najlepszego wyjaśnienia (*inference to the best explanation*, w skrócie: IBE). W związku z tym proces konstrukcji teorii neurokognitywnych przebiega dwuetapowo. W pierwszym etapie formułowane są adekwatne empirycznie wyjaśnienia interesujących zjawisk, zaś w drugim etapie wybierane jest najlepsze wyjaśnienie. Kryteriami selekcji najlepszych wyjaśnień, a zarazem kryteriami uzasadniania hipotez neuronaukowych, prócz empirycznej adekwatności, są konwergencja i koherencja danych, hipotez oraz całych teorii. Sądzę, że dwa ostatnie kryteria są specyficzne dla neuronauki poznawczej. Oznacza to, że znaczenie innych kryteriów czy też wartości epistemicznych, takich jak prostota (istotna szczególnie w matematyce i fizyce), jest marginalne w neuronauce poznawczej. Sporo miejsca poświęcam również problemowi wyjaśniania w neuronauce poznawczej. Bronię stanowiska, zgodnie z którym wyjaśnianie problematycznych zjawisk jest operacją przeprowadzaną na zdaniach (czyli rozumowaniem) i polega na unifikacji. Pogląd ten nie wyklucza, moim zdaniem, semantycznych strategii wyjaśniania (wykorzystujących diagramy i wykresy). Specyfika neuronauki poznawczej powoduje, że wybór strategii wyjaśniania jest uwarunkowany poziomem teorii, na którym badane jest interesujące zjawisko. W niniejszej pracy staram się również pokazać, że wyjaśnianie umysłu jest komplikowane przez wielopoziomowość badań neurokognitywnych, istnienie schematów interpretacji danych i reguł heurystycznych, umożliwiających przeprowadzanie eksperymentów, oraz niemożliwą do pominięcia rolę pluralizmu

paradygmatów badawczych. Jeśli chodzi o te ostatnie, łatwo zauważyć, że neuronauka poznawcza jest uprawiana w konkurencyjnych paradygmatach, takich jak: paradygmat komputerowy, psychologia ewolucyjna oraz umysł ucieleśniony-osadzony w kulturze (*embodied-embedded mind*). Wszystko to świadczy o dużym stopniu uteoretyzowania badań neurokognitywnych.

Przedstawię teraz krótko samą strukturę niniejszej książki. Rozdział pierwszy ma w dużej mierze charakter przygotowawczy. Precyzuję w nim, co rozumiem przez neuronaukę poznawczą, i przyglądam się cechom różniącym ją od „podstawowej” neuronauki oraz kognitywistyki. Następnie krótko rozważam problematykę związaną ze strukturą teorii naukowych. Prezentuję wstępną strukturę wiedzy neurokognitywnej, która w wyraźny sposób różni się od np. wiedzy fizycznej. Zadaję podstawowe pytanie: czym w ogóle jest teoria naukowa? Pomimo pewnych zastrzeżeń opowiadam się za „dość konserwatywnym” zdaniowym ujęciem teorii neurokognitywnych. Następnie podkreślam wagę istotnej cechy neuronauki poznawczej, jaką jest wielopoziomowość badań. Wyróżniam poziomy teorii, takie jak pojedyncze neurony, neuronalne struktury podkorowe, struktury korowe oraz procesy poznawcze. Pod koniec rozdziału szczegółowo omawiam źródła danych, na których opiera się neuronauka poznawcza. Należą do nich między innymi studia nad uszkodzeniami mózgu, czyli lezjami, rejestrowanie aktywności elektrycznej pojedynczych neuronów, pośrednie obrazowanie aktywności całego mózgu (co możliwe jest za pomocą różnych technik neuroobrazowania) oraz eksperymenty behawioralne. Wielopoziomowość badań oraz opieranie się na różnych źródłach danych świadczą o złożoności neuronauki poznawczej.

W rozdziale drugim analizuję kwestie, które jeszcze bardziej komplikują obraz metodologiczny tej dyscypliny, a także potwierdzają duży stopień uteoretyzowania badań neurokognitywnych. Omawiam rolę reguł heurystycznych, wykorzystywanych podczas przeprowadzania eksperymentów, oraz schematów, które są pomocne w interpretacji danych pozyskanych za pomocą neuroobrazowania. Moja uwaga skupia

się szczególnie na heurystyce modularności, która nakazuje traktować mózg tak, jak gdyby był on strukturą złożoną z wyspecjalizowanych modułów. Założenie to jest problematyczne, gdyż liczne dowody świadczą o niemodularnej strukturze kory mózgowej. Z drugiej strony koncepcja modularności mózgu towarzyszy wielu spektakularnym sukcesom neuronauki poznawczej. Mamy więc do czynienia z bardzo interesującą sytuacją filozoficzno-naukową.

Poza wspomnianymi heurystykami i schematami, w neuronauce poznawczej istnieją całe paradygmaty skupiające odrębne rozstrzygnięcia metodologiczne, pojęciowe, a także *stricte* filozoficzne. Zagadnieniu temu poświęcam trzeci rozdział. Analizuję w nim trzy najbardziej wpływowe, moim zdaniem, współczesne nurty: paradygmat komputerowy, psychologię ewolucyjną oraz *embodied-embedded mind*. Różnice pomiędzy nimi ilustruję następnie za pomocą różnych modeli zjawiska samooszukiwania się (*self-deception*). Analizy z rozdziałów pierwszego, drugiego i trzeciego pokazują jasno, że w neuro-naukę poznawczą są uwikłane różne problemy filozoficzne.

W czwartym rozdziale przedstawiam słynną analizę pojęciową neuronauki, którą przeprowadzili Maxwell Bennett i Peter Hacker. Ich zdaniem podstawy tej dyscypliny są obciążone poważnym błędem pojęciowym, określanym jako Błąd Mereologiczny. Pokazuję, przedstawiając różne polemiki, że zarzut Bennetta i Hackera nie wpływa w istotny sposób na wiarygodność badań prowadzonych w ramach neuronauki poznawczej. Co więcej, analizy Bennetta i Hackera same okazują się oparte na błędnych założeniach i przedzałożeniach, szczególnie dotyczących związków (a właściwie – ich zdaniem – braku związków) pomiędzy filozofią a naukami szczegółowymi. Po krytyce koncepcji Bennetta i Hackera dokonuję idealizacji, polegającej na zaniedbaniu problemu filozofii w neuronauce (wracam do niego w zakończeniu pracy). Dzięki takiej idealizacji możliwa staje się dalsza analiza metodologiczna.

Odparcie zarzutu Błędu Mereologicznego pozwala mi wrócić w rozdziale piątym do zagadnienia struktury teorii neurokognitywnych. Stawiam hipotezę, zgodnie z którą istotnym elementem

konstrukcji teorii neurokognitywnych jest wnioskowanie do najlepszego wyjaśnienia, które jest formą rozumowania abdukcyjnego. Bronię tezy, że proces konstrukcji teorii przebiega dwuetapowo. W etapie pierwszym są generowane adekwatne empirycznie wyjaśnienia zagadkowego zjawiska. W drugim etapie jest wybierane wyjaśnienie najlepsze z dostępnych. W tym miejscu wstępnie opisuję kluczowe dla neuronauki poznawczej kryteria wyboru hipotez, jakimi są konwergencja oraz koherencja. Następnie przedstawiam nieliniową logikę uzasadniania hipotez opracowaną przez Bartosza Brożka i Adama Olszewskiego, która stanowi rozwinięcie idei Michała Hellera. Działanie tego mechanizmu ilustruję przykładem neurokognitywnej teorii matematyki 3E. Na koniec rozdziału analizuję problem jedności neuronauki. Oddalam podejście redukcjonistyczne i opowiadam się jednocześnie za ujęciem sieciowym, którego szczególnym przypadkiem są teorie międzyzakresowe Lindley Darden i Nancy Maull.

O ile w rozdziale piątym pokazuję, na czym polega wnioskowanie i jak selekcjonowane są najlepsze wyjaśnienia, o tyle w rozdziale szóstym wracam do pytania bardziej ogólnego: czym jest wyjaśnianie (w odniesieniu do neuronauki poznawczej)? Strategie wyjaśniania naukowego dzielę na syntaktyczne (np. koncepcja dedukcyjno-nomologiczna), semantyczne (np. wyjaśnianie mechanistyczne) oraz psychologiczne (wyjaśnianie jako rozumienie oraz wyjaśnianie jako aktywacja określonego wzorca sieci PDP). W trakcie analizy poszczególnych strategii przedstawiam argumenty świadczące za tym, że najbardziej fundamentalna strategia wyjaśniania naukowego polega na przeprowadzaniu operacji na zdaniach (rozumowaniu). Pozostaję tu w zgodzie z zasadniczymi ideami Koła Wiedeńskiego. Odrzucam przyjmowany w coraz szerszych kręgach pogląd, zgodnie z którym wyjaśnianie neuronaukowe i neurokognitywne polega wyłącznie na odkrywaniu mechanizmów powodujących zjawiska. Taki typ wyjaśniania jest przypadkiem szczególnym strategii semantycznych. Nie neguję bynajmniej użyteczności i owocności wyjaśnień mechanistycznych, pokazuję jednak, że semantyczne (a częściowo również psychologiczne) strategie wyjaśniania „kolapsują” do strate-

gii zdaniowych. Klasyczne zarzuty wobec strategii zdaniowych (np. koncepcji dedukcyjno-nomologicznej) odpieram argumentem, zgodnie z którym wyjaśnianie nie opiera się na przeprowadzaniu izolowanych rozumowań (jak ma to miejsce w strategii dedukcyjno-nomologicznej), ale zawsze wpisuje się w szerszą strukturę argumentacyjną, co prowadzi do unifikacji. Pokazuję również, że w warstwie praktycznej wybór określonej strategii wyjaśniania jest ściśle związany z poziomem teoretycznym, do którego przynależy wyjaśniane zjawisko.

W rozdziale siódmym omawiam bardziej szczegółowo wspomniane już w rozdziale piątym kryteria wyboru hipotez neurokognitywnych. Kryteria te ilustruję przykładem neurokognitywnej teorii podstaw moralności, która została opracowana przez Williama D. Casebeera i Patricię S. Churchland. Argumentują oni za pewną wizją poznania moralnego, przedstawiając zarówno różnego rodzaju wspierające się wzajemnie dane (pochodzące z neuroobrazowania, badań pojedynczych neuronów, obserwacji zachowań), jak i „zazębiające się” teorie i hipotezy niższego rzędu. Teorie i hipotezy niższego rzędu dotyczą wydawania sądów i podejmowania decyzji w kontekście moralnym. Co więcej, teoria moralności Casebeera i Churchland okazuje się spójna z teoriami poznania społecznego i ewolucji kulturowej, odwołującymi się do niespotykanej u innych naczelnych zdolności *Homo sapiens* do imitacji (szczególną uwagę poświęcam teorii Michaela Tomasella). Teorie te są z kolei koherentne z imitacyjnymi teoriami akwizycji języka. Rozdział ten pokazuje, że pomimo nieistnienia w neuronauce poznawczej *experimentum crucis* wzajemne związki, w jakie wchodziły teorie, mogą sprzyjać ich akceptacji.

W zakończeniu pracy wracam do celowo ominiętego pod koniec rozdziału czwartego zagadnienia filozofii w neuronauce poznawczej. Pokazuję podobieństwa i różnice pomiędzy Hellerowską filozofią w nauce (która *de facto* okazuje się filozofią w fizyce i kosmologii) oraz klarującą się dopiero koncepcją filozofii w neuronauce. Jeśli chodzi o podobieństwa, przedstawiam zagadnienia, którymi można „wypełniać” trzy obszary wskazane przez Michała Hellera, takie jak: wpływ idei filozoficznych na powstanie i ewolucję teorii naukowych,

tradycyjne filozoficzne problemy uwikłane w teorie empiryczne, a także filozoficzną refleksję nad niektórymi założeniami nauk empirycznych. Wskazuję również dodatkowy obszar rozwijający Hellerowski roboczy katalog zagadnień. Jeśli zaś chodzi o różnice, staram się pokazać, że w przeciwieństwie do oryginalnego ujęcia Hellera filozofii w neuronauce nie da się odseparować od filozofii neuronauki.

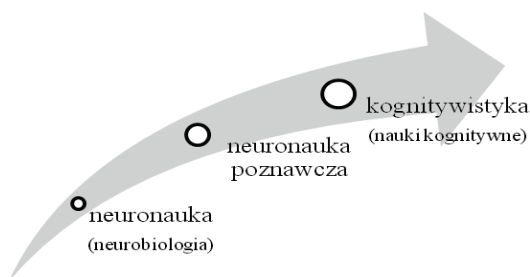
W niniejszym studium poruszam ponadto wiele istotnych kwestii filozoficznych i metateoretycznych, których nie wymieniałem dotychczas *explicite*. W pierwszym rzędzie praca ta wskazuje na owocność propagowanej przez Michała Hellera filozofii w nauce, która może być przeniesiona (z pewnymi zmianami oraz z zachowaniem ostrożności) na grunt neuronaukowy. Wówczas otrzymujemy *filozofię w neuronauce*. W moim przekonaniu jest ona najlepszym dostępnym narzędziem czy też typem uprawiania analiz filozoficznych, pokazującym wzajemne „nieliniowe” związki, w jakie wchodzi filozofia i nauki szczegółowe. Po drugie, lecz zarazem ściśle związane z pierwszym, analiza neuronauki poznawczej może być owocna również w kwestii „testowania” przydatności tradycyjnych narzędzi metodologicznych na gruncie nowych dyscyplin nauki. *Last but not least*, analizy całych paradygmatów neuronauki poznawczej oraz pojedynczych teorii i hipotez wskazują, że mamy do czynienia z bardzo bogatą dyscypliną naukową o *ogromnym* potencjale eksplanacyjnym, z którą można wiązać spore nadzieje na odkrycie zasad działania ludzkiego umysłu oraz na pomoc w rozwiązywaniu tradycyjnych problemów filozoficznych. Mówiąc swobodniej, to właśnie neuronauka poznawcza jest dyscypliną, która może „wyjaśnić umysł”. Dyscyplina ta domaga się jednak solidnej refleksji metodologicznej, która uchroni ją od „anarchizmu metodologicznego”.

Czym jest teoria neurokognitywna?

1.1. Wstęp do neuronauki poznawczej

Rozpocznijmy od podstawowego pytania: co należy rozumieć pod pojęciem *neuronauki poznawczej* (z ang. *cognitive neuroscience*)¹? Ponieważ dyscyplina ta wyłoniła się z „podstawowej” neuronauki stosunkowo niedawno, zaś motywem do tego była raczej praktyka badawcza, a nie huczna deklaracja programowa, trudno znaleźć akceptowaną przez większość specjalistów definicję tego terminu. Można jednak wskazać pewne cechy charakterystyczne dla neuronauki poznawczej oraz wyjaśnić, czym różni się ona z jednej strony od „podstawowej” neuronauki, z drugiej – od kognitywistyki (*cognitive science*). W najprostszym ujęciu „podstawowa” neuronauka jest czymś węższym, zarówno jeśli chodzi o przedmiot badań, jak i stosowane metody, zaś kognitywistyka jest czymś znacznie szerszym. Neuronauka poznawcza jest więc „nauką środka”.

¹ W polskojęzycznej literaturze *cognitive neuroscience* tłumaczy się nie tylko jako *neuronauka poznawcza*, lecz także jako *neuronauka kognitywna* lub *neurokognitywistyka*. Niekiedy w anglojęzycznej literaturze można się również spotkać z liczbą mnogą – *cognitive neurosciences* (*neuronauki poznawcze*), która ma oddawać interdyscyplinarny charakter badań. W niniejszym studium wszystkie te pojęcia uznaję za synonimiczne.



Rycina 1. Zakres zainteresowań badawczych i metod stosowanych w neuro-nauce poznawczej jest większy niż w „podstawowej” neuronauce, ale mniej-szy niż w przypadku kognitywistyki *sensu largo*. Rozszerzenie problematyki badawczej idzie w parze z rozszerzeniem metod.

Powyższy schemat jest poprawny, jeśli przyjmiemy szerokie rozumienie kognitywistyki (*sensu largo*), natomiast komplikuje się, gdy bierzemy pod uwagę kognitywistykę *sensu stricto*. Zanim zobrazuję różnicę między „podstawową” neuronauką a neuronauką poznawczą, omówię krótko rozróżnienie między kognitywistyką *sensu stricto* i *sensu largo*.

Przez kognitywistykę *sensu largo* rozumiem multidyscyplinarne przedsięwzięcie obejmujące wachlarz różnorodnych dziedzin, takich jak: filozofia, logika, psychologia, *neuroscience* (w tym także neuronauka poznawcza), nauki komputerowe (*computer science*), lingwistyka (zarówno generatywistyczna, jak i kognitywna), fizyka (w szczególności mechanika kwantowa), nauki ewolucyjne oraz antropologia fizyczna i kulturowa². Wykorzystanie wszystkich tych dyscyplin jest podporządkowane wspólnemu – ale zarazem bardzo ogólnemu – celowi, jakim jest lepsze zrozumienie procesów poznawczych człowieka oraz innych zwierząt. Mówiąc jeszcze ogólniej: kognitywistyka próbuje zrozumieć, jak działa umysł. Jest to oczywiście bar-

² Zob. np. *The MIT Encyclopedia of Cognitive Sciences*, red. R.A. Wilson, F.C. Keil, The MIT Press, Cambridge–London 1999, s. i–xxxii. Polski odpowiednik terminu *cognitive science*, czyli „kognitywistyka”, został wprowadzony i spopularyzowany przez Jerzego Perzanowskiego (był to prawdziwy *spiritus movens* polskiego ruchu kognitywistycznego).

dzo szerokie przedsięwzięcie. W jego ramach konstruowanych jest wiele interdyscyplinarnych programów badawczych, mających na celu zrozumienie konkretnych *aspektów* funkcjonowania systemu poznawczego człowieka przy wykorzystaniu *wybranych* dyscyplin i ich metod³. Kognitywistyka *sensu largo* jest wynikiem ewolucji, jakiej podlegała i wciąż podlega zrodzona w latach 50. XX wieku kognitywistyka *sensu stricto*.

Przez kognitywistykę *sensu stricto* rozumiem program badawczy, który był inspirowany rozwojem teorii obliczalności, praktycznymi osiągnięciami w dziedzinie *computer science* oraz nadziejami związanymi ze sztuczną inteligencją (*artificial intelligence*, AI)⁴. Istotnym wydarzeniem, które przyczyniło się do powstania kognitywistyki, była zorganizowana w Massachusetts Institute of Technology w 1956 roku konferencja naukowa, w której udział wzięli „ojcowie założyciele”, tacy jak: Noam Chomsky, Herbert Simon czy Allen Newell. Podstawowe założenie kognitywistyki głosiło, że ludzki umysł jest w *istocie* operującą na symbolach maszyną Turinga (podejście takie jest określane jako *symbolizm*). Najprościej rzecz ujmując, pierwsi kognitywiści uważali, że umysł ma się do mózgu tak jak *software* do *hardware*'u komputera. Przeświadczenie to skutkowało wiarą w duże możliwości komputerowego modelowania funkcji poznawczych. Z czasem wykształciło się również, a nawet zaczęło dominować, ujęcie koneksjonistyczne. Doprowadziło to do prób modelowania funkcji poznawczych za pomocą sztucznych sieci neuronowych. Różnorakie projekty są realizowane w podobnym duchu do dzisiaj. Kognitywistyka uległa jednak wzbogaceniu o dorobek innych niż teoria obliczalności i *computer science* dziedzin wiedzy, tworząc bardzo szeroko zakrojony projekt, czy też „ruch” naukowy. Jeśli chodzi o ustalenie relacji między kognitywistyką *sensu stricto* a neuronauką

³ Barbara Von Eckardt mówi też o transdyscyplinarności kognitywistyki; zob. *eadem*, *What Is Cognitive Science*, The MIT Press, Cambridge, MA 1992.

⁴ Zob. np. klasyczny tekst: A.M. Turing, *Maszyna licząca a inteligencja*, przeł. M. Szczubińska, [w:] *Filozofia umysłu*, red. B. Chwedeńczuk, Spacja, Warszawa 1995, s. 271–300.

poznawczą, proponuję, aby tę pierwszą uznać za jeden z kilku *paradygmatów* tej drugiej. Zagadnienie to przybliżę w rozdziale drugim niniejszej pracy, pisząc jednak nie o kognitywistyce *sensu stricto*, ale o paradygmacie komputerowym (aby uniknąć terminologicznych nieporozumień). Przyjrzyjmy się teraz relacji „podstawowej” neuro-nauki i neuronauki poznawczej.

„Podstawową” neuronaukę można utożsamiać z neurobiologią (w Polsce ta ostatnia nazwa jest zdecydowanie popularniejsza)⁵. Niekiedy używa się także liczby mnogiej, pisząc o „neuronaukach”. Oczywiście najprostsza, ale i mało precyzyjna, odpowiedź na pytanie: „czym jest neuronauka (neurobiologia)?” brzmi: „jest nauką badającą mózg”. Bardziej precyzyjnej odpowiedzi udziela Antti Revonsuo:

Kiedy mówię o podstawowych neuronaukach (...), mam przede wszystkim na myśli neuroanatomię i neurofizjologię z ich różnymi poziomami opisu – od poziomu molekularnego aż po poziom systemu nerwowego jako całości. Tak rozumiane podstawowe neuronauki skupiają się na pytaniu „Co?” i pytaniu „Jak?”, niekoniecznie zaś na ewolucjonistycznym pytaniu „Dlaczego?”⁶.

Najważniejszym elementem powyższego opisu jest *wielopoziomość*. Także inni uczeni definiują *neuroscience* jako naukę badającą organizację mózgu na wielu poziomach złożoności. Na przykład Gordon M. Shepherd pisze w swoim klasycznym podręczniku:

(...) zrozumienie funkcji układu nerwowego wymaga identyfikacji podstawowych jednostek na różnych poziomach organizacji i zrozu-

⁵ Przykładowo Jerzy Vetulani posługuje się zazwyczaj pojęciem „neurobiologia”. Znaczenie tego terminu rozszerza on jednak na zagadnienia, które w niniejszej pracy zaliczam do neuronauki poznawczej lub nawet kognitywistyki; zob.: *idem, Piękno neurobiologii*, Homini, Kraków 2012, *passim*; *idem, Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice*, Homini, Kraków 2010, *passim*.

⁶ A. Revonsuo, *O naturze wyjaśniania w neuronaukach*, przeł. D. Leszczyńska, P. Przybysz, „Poznańskie Studia z Filozofii Humanistyki: Funkcje umysłu” 2010, vol. 8, no. 21, s. 276.

mienia relacji pomiędzy różnymi poziomami. (...). Neurobiologia jest nauką o komórkach nerwowych i innych powiązanych z nimi komórkach, a także szlakach, które organizują je w funkcjonalne obwody, przetwarzają informacje i wpływają na zachowanie⁷.

Uznanie, że neuronauka zajmuje się badaniem różnych poziomów organizacji mózgu, rodzi oczywiście pytanie: „jakie poziomy należy wyróżnić?”. Wyróżnienie tych poziomów jest w dużej mierze zależne od przyjętych celów badawczych. Wydaje się jednak, że w najbardziej podstawowym ujęciu wyróżnia się zazwyczaj trzy poziomy:

- (i) poziom pojedynczych komórek nerwowych,
- (ii) poziom struktur podkorowych,
- (iii) poziom struktur korowych.

Oczywiście jest to idealizacja. Każdy z poziomów można rozbić na kilka „podpoziomów”, z każdego można zejść – co do zasady – o „poziom niżej”, docierając aż do świata kwantowego. Przykładowo, poniżej poziomu pojedynczych neuronów można wyodrębnić poziom molekuł, a ten z kolei można rozpatrywać na – co najmniej – czterech podpoziomach: geometryczno-mechanicznym, elektrochemicznym, energetycznym oraz elektromagnetycznym⁸. Jeśli zaś chodzi o wyższe poziomy, wyróżniam je, gdyż własności bardziej złożonych struktur mózgowych różnią się od własności pojedynczych neuronów. Kryterium rozróżnienia poziomów (ii) i (iii) jest ponadto związane z filogenetycznym czasem ich powstania (struktury podkorowe są „młodsze” niż korowe).

Pośród wyróżnionych wyżej poziomów nie ma żadnego, który *bezpośrednio* byłby interesujący dla psychologów, neurofilozofów,

⁷ G.M. Shepherd, *Neurobiology*, 3rd ed., Oxford University Press, New York 1994, s. 4–5.

⁸ Zob. P.K. Machamer, L. Darden, C.F. Craver, *Thinking about Mechanisms*, „Philosophy of Science” 2000, vol. 67, no. 1, s. 14.

filozofów umysłu i (ogólnie) naukowców zainteresowanych poznaniem (co nie znaczy oczywiście, że nie odwołują się oni wcale do poziomów (i), (ii) i (iii)). Dopiero dodanie do tej hierarchii wyższego poziomu, który określam jako (iv) *poziom procesów poznawczych*, sprawia, że mamy do czynienia z neuronauką poznawczą (kognitywną). Revonsuo opisuje ten poziom następująco:

Neuronauka kognitywna [poznawcza – M.H.] postrzega poziom zjawisk psychologicznych (skonceptualizowany jako np. „poznanie”, „przetwarzanie informacji”, „reprezentacja”, „obliczenia”) jako poziom wyższy, który należy wyjaśnić, odwołując się do neuronalnych i neuroobliczeniowych mechanizmów należących do niższego poziomu zjawisk. Zgodnie z tym poglądem zjawiska psychologiczne nie są eksplanacyjnie autonomiczne, ale nie są też eliminowane – podobnie cytologia nie jest ani eliminowana, ani autonomiczna względem biochemii i biologii molekularnej. Własności psychologiczne są postrzegane jako należące do wyższego poziomu organizacji niż własności neuronalne, ale też jako ukonstytuowane na *poziomie mikro* (...) w ten sam zasadniczo sposób jak inne specyficzne naukowe własności⁹.

Revonsuo przytacza również fragment pracy Michaela S. Gazzanigi:

W przyszłości neuronauka kognitywna będzie w stanie podać algorytmy prowadzące od strukturalnych elementów neuronalnych do aktywności fizjologicznej, której rezultatem jest percepcja, poznanie, a być może nawet świadomość. (...) Przyszłością tej dziedziny jest jednakże utworzenie nauki, która rzeczywiście łączy mózg i poznanie w sposób mechanistyczny (...). Nauka stworzona po to, by zrozumieć, jak mózg tworzy umysł, została nazwana neuronauką kognitywną¹⁰.

⁹ A. Revonsuo, *O naturze wyjaśniania w neuronaukach*, op. cit., s. 287–288.

¹⁰ Cyt. za: *ibidem*, s. 287 (*The Cognitive Neurosciences*, red. M.S. Gazzaniga, The MIT Press, Cambridge, MA 1995, s. xiii).

W powyższych cytatach kryje się całe mnóstwo ważkich problemów filozoficznych i metodologicznych. Na przykład Gazzaniga sugeruje, że neuronauka poznawcza wyjaśnia zjawiska na sposób mechanistyczny, to znaczy poprzez odwołanie do mechanizmów działających na każdym z poziomów organizacji oraz mechanizmów integrujących różne poziomy. Ponadto przypisuje on neuronauce poznawczej szczególną rolę *teorii unifikującej* różne dziedziny wiedzy. Zagadnienia te omawiam szczegółowo w dalszych częściach pracy. Na obecnym (początkowym) etapie analizy warto podkreślić, że neuronauka poznawcza rozszerza przedmiot badań w stosunku do „podstawowej” neuronauki.

Neuronauka poznawcza jest jednym z najmłodszych kierunków badawczych, który wyłonił się z „podstawowej” neuronauki na przełomie lat 80. i 90. XX wieku. Swego rodzaju „dowodem rzeczowym” jest publikacja w 1989 roku pierwszego numeru „Journal of Cognitive Neuroscience”. Ważną rolę w powstaniu neuronauki poznawczej odegrali oczywiście również pojedynczy naukowcy. Dobrym przykładem jest Michael Gazzaniga (zresztą był on pierwszym redaktorem wspomnianego wyżej czasopisma) – swoisty *spiritus movens* neuronauki poznawczej. Zdaniem Revonsuo, jedną z najbardziej istotnych prac, które przyczyniły się do powstania nowej dyscypliny, był podręcznik o wymownym tytule *Cognitive Neuroscience. The Biology of the Mind*, którego współautorem jest Gazzaniga¹¹.

Jak już zaznaczałem, neuronauka poznawcza wyłoniła się z praktyki badawczej. Praktyka ta wiąże się natomiast nierozzerwalnie ze stosowaniem specyficznych metod, takich jak: badania nad lezjami, czyli uszkodzeniami mózgu, badanie aktywności pojedynczych neuronów oraz obrazowanie aktywności całego mózgu (MEG, PET, fMRI i inne). Stosowanie tych metod jest zwykle uzupełniane różnego rodzaju eksperymentami behawioralnymi. Metody te – z wyjątkiem jednej z nich – nie są nowością w dziejach badań nad mózgiem.

¹¹ Zob. M.S. Gazzaniga, R.B. Ivry, G.R. Mangun, *Cognitive Neuroscience. The Biology of the Mind*, Norton, New York 1998.

Wspomnianym wyjątkiem jest zastosowanie fMRI, czyli funkcjonalnego rezonansu magnetycznego. Metoda ta zaczęła się upowszechniać w latach 90., a więc w czasie, kiedy krystalizowała się neuronauka poznawcza. Wielu naukowców uważa wręcz, że dopiero pojawienie się fMRI pozwoliło dokonać rewolucji w rozumieniu funkcjonowania ludzkiego mózgu. Dobrze ilustruje to wypowiedź twórców jednej z ważniejszych teorii przetwarzania informacji wzrokowych – A. Davida Milnera i Melvyna A. Goodale’a:

Największym pojedynczym obszarem rozwoju było neuroobrazowanie funkcjonalne, pozwalające badaczom po raz pierwszy wykreślać wzory aktywności w mózgach działających i myślących ludzi. Kiedy w 1994 r. pisaliśmy pierwszą edycję tej książki [*Mózg wzrokowy w działaniu* – M.H.], było zaledwie kilka relewantnych badań z neuroobrazowania. Badania te, z których kilka zacytowaliśmy, wykorzystywały technologię tomografii emisji pozytronów (PET). Niewiele laboratoriów mogło wykorzystywać ten rodzaj technologii, a jej ograniczenia, włączając w to niebezpieczeństwo dla zdrowia oraz koszt, oznaczały, że nigdy nie była ona powszechnie wykorzystywana. Funkcjonalne obrazowanie rezonansem magnetycznym (fMRI) było w zasadzie nieznane (...). fMRI ma przewagę w zakresie lepszej przestrzennej i czasowej rozdzielczości, jak również jest bardziej bezpieczne i tańsze niż PET. Obecnie są dostępne tysiące badań fMRI nad przetwarzaniem wzrokowym w ludzkiej korze mózgowej i liczba ta cały czas szybko wzrasta¹².

Wspomniana teoria Milnera i Goodale’a zaproponowana w 1992 roku zakłada, że struktury korowe regulujące widzenie są zorganizowane w dwa odrębne strumienie: strumień grzbietowy, który odpowiada za kontrolę działania, i strumień brzuszny, który jest związany z percepcją wzrokową. Do koncepcji tej wróć jeszcze w rozdziale piątym.

¹² A.D. Milner, M.A. Goodale, *Mózg wzrokowy w działaniu*, przeł. G. Króliczak, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2008, s. 14.

Oczywiście neuronaukowcy poznawczy odwołują się często do innych typów badań, choćby takich jak porównawcze studia anatomiczne ludzi i prymatów innych niż człowiek. Dane uzyskane ze wspomnianych wyżej źródeł mogą stawać się przyczynkiem do tworzenia różnego rodzaju symulacji i modeli komputerowych. Różne paradygmaty, które szczegółowo omawiam dalej, wprowadzają do neuronauki poznawczej również inne metody oraz założenia teoretyczne. Rozszerzenie zainteresowań na poziom procesów poznawczych wymusza więc na naukowcach korzystanie z różnego rodzaju narzędzi badawczych oraz porównywanie uzyskanych wyników.

1.2. Rozumienie teorii

Trudno znaleźć łatwą odpowiedź na pytanie, czym w ogólności jest teoria naukowa i co obejmuje. Przykładowo, jeśli chodzi o fizykę, Michał Heller wymienia następujące elementy teorii (struktury wiedzy)¹³:

- założenia teorii (przybierające nieraz postać zasad),
- prawa przyrody (prawa nauki),
- modele,
- hipotezy pomocnicze,
- definicje wielkości fizycznych,
- procedury pomiarowe,
- procedury testowania.

Sądzę jednak, że wiedza neurokognitywna – i ogólnie neuronaukowa – przypomina raczej strukturę wiedzy *medycznej*¹⁴ niż strukturę

¹³ Zob. M. Heller, *Filozofia nauki. Wprowadzenie*, Petrus, Kraków 2009, s. 45–46.

¹⁴ Zob. B. Brożek, *Granice eksperymentu medycznego*, [w:] J. Stelmach, B. Brożek, M. Soniewicka, W. Załuski, *Paradoksy bioetyki prawniczej*, Wolters Kluwer business, Warszawa 2010, s. 206–223 (zwł. s. 211–213); zob. także różne uwagi w: W. Szumowski, *Filozofia medycyny*, Wyd. M. Derewiecki, Kęty 2007, *passim*.

wiedzy fizycznej. W niniejszej pracy przyjmuję, że neuronauka poznawcza generuje wiedzę, która składa się z kilku zbiorów zdań. Pierwszym z nich jest wiedza neurokognitywna *sensu stricto*, która jest zbiorem akceptowanych teorii i hipotez na temat działania systemu poznawczego człowieka, począwszy od pojedynczych neuronów, przez bardziej złożone struktury mózgowe, aż do poziomu procesów poznawczych. Inną dziedziną wiedzy neuronaukowej jest metodologia pozyskiwania danych za pomocą specyficznych metod. Do zbioru tego należą nie tylko wszystkie dane uzyskane na podstawie badań nad lezjami czy z pomocą technik neuroobrazowania, ale również reguły metodologiczne, którymi należy się kierować w pozyskiwaniu i interpretacji tych danych. Trzecią dziedzinę stanowi natomiast wiedza towarzysząca (*background knowledge*; niekiedy w polskiej literaturze metodologicznej termin ten tłumaczy się jako „wiedza tła” lub „wiedza zastana”). Karl R. Popper rozumiał przez nią zbiór wszystkich hipotez i teorii, które w czasie prowadzenia określonych badań i analiz, na mocy decyzji metodologicznej, są traktowane jako wiarygodne:

(...) niemal całość wiedzy towarzyszącej, z której korzystamy w każdej krytycznej dyskusji, musi ze względów praktycznych zostać nie naruszona. Nierozważna próba zakwestionowania jej, rozpoczęcia analizy od zera, musi prowadzić do załamania się dyskusji¹⁵.

Oczywiście wspomniana *decyzja metodologiczna* w każdej chwili może zostać zmieniona, co prowadzi do rewizji wiedzy towarzyszącej. W praktyce wiedza towarzysząca neuronauce poznawczej jest zbiorem obejmującym najróżniejsze teorie i hipotezy z zakresu nauk takich jak psychiatria, cytologia czy prymatologia. Zapewne można by wyliczyć jeszcze kilka innych elementów wiedzy neurokognitywnej. Jedna z tez przyjmowanych w niniejszej pracy głosi, że istotne

¹⁵ K.R. Popper, *Droga do wiedzy. Domysły i refutacje*, przeł. S. Amsterdamski, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1999, s. 401–402.

miejsce w neuronauce poznawczej zajmują paradygmaty, które zawierają różnego rodzaju reguły heurystyczne i interpretacyjne oraz (niekoniecznie testowalne empirycznie) poglądy na temat funkcjonowania człowieka i jego procesów poznawczych. Innymi słowy, są to założenia o charakterze metodologicznym, antropologicznym i filozoficznym. Paradygmaty można usytuować na przecięciu wiedzy towarzyszącej i metodologii. Oczywiście należy pamiętać, że dany paradygmat może być przyjmowany przez danego naukowca jawnie (*explicite*) albo w sposób ukryty (*implicite*). W strukturze wiedzy neurokognitywnej nie trzeba wyróżniać paradygmatów jako osobnego zbioru, jednak trzeba zdawać sobie sprawę z ich wpływu na prowadzone badania i uzasadniane hipotezy.

Jednym z problemów, z którym boryka się neuronauka poznawcza, jest trudność w dokonywaniu idealizacji. Jak rozstrzygnąć, co można zaniedbać, a co nie? Czy komórki glejowe można traktować jedynie jako „wypełniacz” mózgu, skupiając uwagę wyłącznie na przewodnictwie synaptycznym? Czy mózg można traktować jako komputer? Czy wyniki badań układów nerwowych różnych zwierząt (choćby makaków) można ekstrapolować na człowieka? Czy nasze mózgi są na tyle podobne, że możemy zaniedbać pewne różnice pomiędzy poszczególnymi osobnikami? Czy badając procesy poznawcze, należy odwoływać się „tylko” do mózgu, czy koniecznie trzeba również uwzględniać wpływy środowiska? Odpowiedzi na te pytania są o tyle trudna, że bez wątplenia badacze mają do czynienia z niezwykle skomplikowanym układem. Taki stan rzeczy trafnie ujmuje Paul M. Churchland:

Ludzki mózg, mający objętość około jednego litra, stanowi bowiem przestrzeń pojęciowych i poznawczych możliwości przekraczających wymiary przestrzenne całego anatomicznego wszechświata, przynajmniej przy zastosowaniu objętościowego kryterium miary. Mózg ma tę niezwykle właściwość, ponieważ wykorzystuje kombinatorykę 100 miliardów swoich neuronów i 100 trylionów synaptycznych połączeń między nimi (...). Każde połączenie międzykomórkowe może

być w różnym stopniu silne lub słabe (...). Jeśli ostrożnie założymy, że każde połączenie synaptyczne może mieć jeden z dziesięciu różnych stopni nasilenia, to suma różnych możliwości konfiguracji nasileń, jakie mózg może zapewnić, wynosi w dużym przybliżeniu 10 do potęgi stu trylionów, czyli $10^{100\,000\,000\,000\,000}$. Porównajmy to z zaledwie 1087 metrami sześciennymi, którą to wielkość standardowo przyjmuje się jako objętość całego astronomicznego wszechświata¹⁶.

Nawet skupienie się na pewnych fragmentach tkanki nerwowej lub aspektach funkcjonowania mózgu nie poprawia sytuacji w znaczącym stopniu. Podobnie jak w innych naukach, jedynym sposobem badania mózgu oraz procesów poznawczych jest tworzenie teorii obejmujących pewne fragmenty rzeczywistości. Co należy jednak rozumieć przez teorię neuronaukową? W filozofii nauki nie ma ogólnej zgody w kwestii, czym jest teoria. Przyjrzyjmy się krótko, jak rozumie się *teorię* w odniesieniu do różnych nauk szczegółowych.

Przegląd ten wypada zacząć od podstawowych intuicji. Przemawiającą do wyobraźni wizję teorii naukowej przedstawił Karl Popper. W *Logice odkrycia naukowego* pisał on, że:

Teorie są sieciami chwytającymi to, co nazywamy „światem”: służą do racjonalnego ujmowania, wyjaśniania i opanowywania świata. Nasze wysiłki zmierzają do tego, by oczka tych sieci czynić coraz mniejszymi¹⁷.

Termin *teoria* wywodzi się z greckiego *theorein*, co oznacza ‘przyglądać się, rozważać, kontemplować’. W dyskursie potocznym do pojęć takich jak *teoria*, *hipoteza* czy też *model* podchodzi się zwykle dość swobodnie, operując nim w wielu różnych znaczeniach zależnych od kontekstu (nierzadkie jest również popełnianie błędów

¹⁶ P.M. Churchland, *Mechanizm rozumu, siedlisko duszy. Filozoficzna podróż w głąb mózgu*, przeł. Z. Karaś, Aletheia, Warszawa 2002, s. 12–13.

¹⁷ K.R. Popper, *Logika odkrycia naukowego*, przeł. U. Niklas, Aletheia, Warszawa 2002, s. 53.

ekwiwokacji). Trzeba wiedzieć jednak, że pojęcia te stanowią nie lada problem dla metodologów i filozofów nauki. Choć od wielu lat trwa dyskusja nad znaczeniem i zakresem stosowalności tych pojęć, wciąż daleka jest ona od rozstrzygnięcia¹⁸. Sytuacji nie ułatwia fakt, że metodologia i filozofia nauki odnoszone były tradycyjnie do matematyki, jako nauki najbardziej ścisłej i prowadzącej do *episteme*, oraz fizyki, jako nauki najbardziej dojrzałej metodologicznie i dostarczającej najbardziej fundamentalnych wyjaśnień rzeczywistości spośród wszystkich nauk przyrodniczych¹⁹. Można spodziewać się zatem, że pojęcie teorii naukowej czy modelu będzie jeszcze mniej doprecyzowane w naukach biologicznych.

Pierwsze ścisłe rozumienie teorii pojawiło się w metamatematyce rozwijanej w pierwszej połowie XX wieku przez Davida Hilberta. Najogólniej rzecz ujmując, teorię utożsamia się w tym wypadku z systemem aksjomatyczno-dedukcyjnym. Ujęcie to zostało przyjęte przez Koło Wiedeńskie. Pozytywiści logiczni uznali Hilbertowską metamatematykę za ideał poznania naukowego²⁰. W ujęciu metamatematycznym przez teorię rozumie się domknięty dedukcyjnie zbiór zdań. Kluczową rolę odgrywa tu pojęcie konsekwencji logicznej, które jest związane z działaniem niezawodnych reguł wnioskowania (inaczej: reguł inferencji). Należy do nich np. reguła odrywania. Z konsekwencją logiczną mamy do czynienia wtedy i tylko wtedy, gdy pewne zdanie można wyprowadzić za pomocą niezawodnych reguł inferencji z określonego zbioru zdań. W przypadku teorii metamatematycznej zdania te są określane jako aksjomaty teorii. Twierdzeniem teorii jest nazywane zdanie, które można wyprowadzić za pomocą reguł inferencji z aksjomatów, czyli zdanie mające dowód. Jest to czysto formalne ujęcie teorii, a więc takie, w którym nie jest istotna *treść* zdań, a jedynie *syntaktyczna poprawność* przekształceń symboli. Ujęcie takie doprowadziło w filozofii matematyki do powstania nurtu nazywanego

¹⁸ Można to łatwo zauważyć, czytając praktycznie dowolny podręcznik do ogólnej metodologii nauk lub filozofii nauki.

¹⁹ Zob. M. Heller, *Filozofia nauki...*, *op. cit.*, s. 10.

²⁰ Zob. A. Grobler, *Metodologia nauk*, Aureus-Znak, Kraków 2008, s. 139.

formalizmem. Najistotniejszą cechą teorii metamatematycznej jest niesprzeczność. O teorii mówimy, że jest niesprzeczna, gdy nie występuje w niej para zdań sprzecznych, czyli takich, że p i $\neg p$. Gdyby warunek niesprzeczności nie był spełniony, na mocy prawa logicznego *ex contradictione quodlibet* ($p \wedge \neg p \rightarrow q$) z teorii można byłoby wyprowadzić dowolne zdanie.

Należy podkreślić, że w ujęciu formalistycznym matematyka nie jest nauką o świecie, gdyż nie ma *treści empirycznej*. Jest ona jednak doskonałym narzędziem, które może być wykorzystywane w naukach przyrodniczych. Nic dziwnego, że filozofowie związani z Kołem Wiedeńskim sądzili, iż struktura teorii naukowej ma być, po pierwsze, wzorowana na teorii matematycznej, po drugie zaś musi posiadać treść empiryczną. Tego typu koncepcja jest określana mianem *poglądu otrzymanego* (*the received view*)²¹. Zgodnie z nim językiem teorii jest pewne rozszerzenie rachunku predykatów pierwszego rzędu. Terminy pozalogiczne teorii dzielą się na dwa zbiory, do których należą terminy teoretyczne i terminy obserwacyjne. Nie ma sensu przedstawiać dokładnie założeń poglądu otrzymanego, warto jednak wspomnieć, że zdaniem jego zwolenników dzięki obecności reguł korespondencji możliwe staje się wyjaśnienie, w jaki sposób zdania teoretyczne mogą być potwierdzane empirycznie.

Współcześnie wiadomo jednak, że w otrzymanym poglądzie kryje się kilka błędów. Po pierwsze, nie do utrzymania jest ściśle rozdzielenie zdań teoretycznych i obserwacyjnych. Wiemy bowiem, że wszystkie obserwacje – choć w różnym stopniu – są *uteoretyzowane* (problemem uteoretyzowania badań neurokognitywnych zajmuję się w dalszych częściach pracy). Po drugie, Karl Popper wykazał, że teorie nie podlegają potwierdzaniu, o czym poucza fiasko różnych programów, których celem było usprawiedliwienie indukcji²². Po trzecie, teorie fizyczne rzadko występują w postaci w pełni aksjomatycznej. Co więcej, aksjomatyzacja teorii fizycznej zazwy-

²¹ Zob. *ibidem*, s. 142.

²² Zob. *ibidem*, rozdz. I.2.

czaj staje się możliwa dopiero, gdy określona teoria zostanie albo sfalsyfikowana, albo gdy na mocy zasady korespondencji stanie się ona przypadkiem szczególnym teorii bardziej ogólnej (nie oznacza to oczywiście, że próby aksjomatyzacji teorii są rzadkie).

W mniej precyzyjnym, ale i bliższym praktyki ujęciu teoria fizyczna składa się z trzech warstw. Pierwszą z nich jest *matematyczna struktura*, drugą *obserwacje*, czyli pewien wycinek świata, do którego odnosi się teoria, a trzecią zespół *reguł pomostowych*, które łączą pierwsze dwie warstwy²³. Reguły te mogą przybierać postać definicji przyporządkowujących bądź interpretacji. Interpretacja teorii fizycznej czasem odbywa się niemal automatycznie (np. mechanika Newtona), czasami zaś jest trudnym wyzwaniem dla teoretyków (np. mechanika kwantowa). „Sercem” teorii jest jednak *zawsze* formalizm matematyczny.

Tego typu ujęcie, wykorzystywane w teoriach fizycznych, wydaje się jednak kompletnie nieadekwatne w analizie teorii neurokognitywnych. Jednym z powodów takiego stanu rzeczy jest fakt, że teorie neurokognitywne, podobnie jak większość teorii formułowanych w ramach nauk biologicznych, bardzo rzadko występują w postaci zmatematyzowanej. Dlatego też niektórzy uczeni twierdzą, że w *neuroscience* mamy do czynienia nie z teoriami, ale z *modelami*. Przykładowo, twierdzi tak badacz pamięci i mechanizmów uczenia się Yadin Dudai²⁴. Jednak jego rozróżnienie teorii, jako opartej na matematycznej strukturze, oraz modelu, czyli czegoś niezmatematyzowanego, wydaje się arbitralne. Alternatywą mogłoby być wykorzystanie któregoś z semantycznych, czyli niezdaniowych, ujęć teorii naukowych. W przypadku filozofii biologii podejście takie prezentuje między innymi Paul Thompson²⁵. Jego analiza odnosi się jednak do struktury teorii ewolucji, nie zaś do teorii neurokognitywnych.

²³ Zob. M. Heller, *Filozofia nauki...*, *op. cit.*, s. 46.

²⁴ Wypowiedź ustna podczas pobytu w Krakowie w ramach konferencji *The Emotional Brain. From the Humanities to Neuroscience and Back Again* (19–20.05.2011).

²⁵ Zob. P. Thompson, *The Structure of Biological Theories*, State University of New York Press, Albany 1989.

Koncepcja Thompsona wpisuje się w szerszą tendencję traktowania teorii naukowych jako „rodzin modeli”. Modele (zazwyczaj ikonizacyjne) mają reprezentować pewne aspekty rzeczywistości. Treść empiryczna teorii ma być natomiast gwarantowana przez modele odpowiadające wprost zjawiskom poddającym się pomiarowi, a także przez strukturalne relacje pomiędzy odpowiednimi modelami²⁶.

W niniejszej pracy pozostaję jednak przy „bardziej klasycznym”, zdaniowym (czy też syntaktycznym) ujęciu teorii naukowej. Choć spotyka się ono z krytyką, z powodzeniem stosowane jest przez filozofów biologii, takich jak np. Michael Ruse, Alexander Rosenberg czy też Mary B. Williams²⁷. Koncepcja teorii jako zbioru zdań pozwala uchwycić w dość przejrzysty sposób interesujące aspekty teorii neurokognitywnych, takie jak wnioskowanie do najlepszego wyjaśnienia, a także antyfundacjonistyczną strukturę uzasadniania hipotez. Zdaniem Paula Thagarda możliwe jest wprowadzenie prowadzenie wnioskowań (lub *quasi*-wnioskowań) nie tylko na zdaniach, ale też na pojęciach, mających podłoże neuronalne²⁸. Ujęcie takie oczywiście ma wiele zalet, jest jednak niejasne i nie sprzyja pogłębionej analizie metodologicznej.

W obronie zdaniowego ujęcia teorii powołałam się krótko na trzy argumenty. Po pierwsze, Karl Popper w *Wiedzy obiektywnej* pisał:

Prawdą jest, że działania lub procesy podpadające pod ogólny termin „rozumienie” są działaniami subiektywnymi, osobistymi lub psychologicznymi. Należy je odróżnić od (mniej lub bardziej udanych) efek-

²⁶ Zob. A. Grobler, *Metodologia nauk, op. cit.*, s. 178–187. Niezdaniowe ujęcie teorii naukowych jest badane m.in. przez: Fredericka Suppe’a, Patricka Suppesa, Basa van Fraassena, Ronalda Giere’a, Josepha D. Sneed’a i Wolfganga Stegmüllera. Zainteresowanych odsyłam do pracy Adama Groblera oraz zamieszczonej tam bibliografii.

²⁷ Zob. A. Rosenberg, *The Structure of Biological Science*, Cambridge University Press, Cambridge 1985; M.B. Williams, *Deducing the Consequences of Evolution. A Mathematical Model*, „Journal of Theoretical Biology” 1970, vol. 29, no. 3, s. 343–385.

²⁸ Zob. P. Thagard, *Abductive Inference. From Philosophical Analysis to Neural Mechanisms*, [w:] *Inductive Reasoning. Cognitive, Mathematical, and Neuroscientific Approaches*, red. A. Feeney, E. Heit, Cambridge University Press, Cambridge 2007, s. 226–247.

tów tej działalności, od ich rezultatów, od „ostatecznego stanu” rozumienia (w określonym czasie). (...) Z chwilą, gdy subiektywny stan rozumienia zostanie w końcu osiągnięty, psychologiczny proces wiodący ku niemu powinien być analizowany w kategoriach przedmiotów trzeciego świata, z którymi jest związany. W istocie można go analizować *wyłącznie* w tych kategoriach²⁹.

Wspomniany w powyższym cytacie trzeci świat (lub świat 3, jak później wołał mawiać Popper) to uniwersum zobiektywizowanych wytworów umysłu. Jak pisze Popper:

Świat 3, złożony z problemów, teorii i krytycznych argumentów, uważam za jeden z produktów działalności ewolucji ludzkiego języka, za wytwór oddziałujący zwrotnie na tę ewolucję³⁰.

Moim zdaniem Popper jest wystarczająco przekonujący w tym, by zdania traktować jako obiektywne wytwory działalności umysłu człowieka.

Po drugie, Jan Woleński słusznie zauważa, że traktowanie teorii jako zbioru zdań nie oznacza, iż teoria nie może być zarazem także czymś innym³¹. Zdaniowe ujęcie teorii jest przede wszystkim wygodne w prowadzeniu dociekań filozoficzno-naukowych i metodologicznych.

Po trzecie, zdaniowe ujęcie teorii nie stoi w sprzeczności, w moim przekonaniu, z koncepcją przyjmowaną przez czołowych filozofów neuronauki, takich jak Carl F. Craver oraz William Bechtel, w ramach której wiele problemów jest rozwiązywanych poprzez odwołanie się do pojęcia *mechanizmu*³². Reprezentacje mechanizmów,

²⁹ K.R. Popper, *Wiedza obiektywna*, przeł. A. Chmielewski, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2002, s. 202–204.

³⁰ *Ibidem*, s. 259.

³¹ Np. strukturą matematyczną; zob. J. Woleński, *Czy fizyka opiera się na założeniach filozoficznych?*, [w:] *Prawa przyrody*, red. M. Heller, J. Mączka, P. Polak, M. Szczerbińska-Polak, OBI-Biblos, Kraków–Tarnów 2008, s. 258.

³² Zob. np. C.F. Craver, *Explaining the Brain. Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*, Oxford University Press, Oxford–New York 2007; W. Bechtel, *Mental*

o których często piszą neuronaukowcy i filozofowie nauk kognitywnych, mogą być bowiem bez większych trudności przetłumaczone na zdania.

Zdaniowe ujęcie teorii było przyjmowane między innymi przez samego Karla Poppera. Choć Popper nie definiował jasno, co rozumie przez teorię naukową (przywołany wyżej cytat, gdzie wykorzystał on metaforę sieci, zdaje sprawę oczywiście tylko z jego intuicji), kładł jednak nacisk na dwie cechy teorii naukowych. Pierwszą z nich jest obecność *ogólnych praw*, drugą zaś logiczne wynikanie z nich *zdań bazowych*³³. Poprzez prawa rozumie on *zdania uniwersalne (ogólne)*, zaś przez zdania bazowe – *egzystencjalne zdania jednostkowe*, mówiące o uteoretyzowanych faktach, zewnętrznych wobec umysłu podmiotu. O ile zdania bazowe są przyjmowane na mocy decyzji metodologicznej (naukowiec uznaje, że opisują one to, co można określić jako *fakt*), o tyle prawa stanowią spore wyzwanie, szczególnie dla filozofów nauk biologicznych oraz neurokognitywnych.

Oczywiście w przypadku nauk neurokognitywnych również funkcjonuje ogólna reguła metodologiczna Poppera, która nakazuje formułować śmiałe hipotezy, a następnie poddawać je surowym testom empirycznym. Specyficzną i zarazem problematyczną cechą *neuroscience* jest natomiast konieczność przeformułowania hipotezy badawczej tak, by mogła być podatna na testy³⁴. Ze względu na ogromną złożoność mózgu wstępne hipotezy bywają bowiem *niefalsyfikowalne*. Jak pisze Valerie Gray Hardcastle:

Mózgi są skomplikowane i nieuporządkowane; teorie działania mózgu dzielą te same cechy. Trudność polega na tym, że aby dokonać

Mechanisms. Philosophical Perspectives on Cognitive Neuroscience, Routledge, New York–London 2008; W. Bechtel, R.C. Richardson, *Discovering Complexity. Decomposition and Localization as Strategies in Scientific Research*, The MIT Press, Cambridge–London 2010.

³³ Zob. W. Sady, *Spór o racjonalność naukową od Poincarégo do Laudana*, Monografie FNP, Wyd. Funna, Wrocław 2000, rozdz. 3.

³⁴ Zob. Ł. Kurek, R. Zyzik, *Struktura teorii biologicznych* [draft], <http://biolawgy.files.wordpress.com/2011/03/struktura_teorii_biologicznych1.pdf>.

prostej generalizacji odnośnie do wybranego aspektu funkcjonowania mózgu, naukowcy muszą wycofać się z wysokiego poziomu abstrakcji na poziom, gdzie twierdzenia nabierają niemal empirycznego znaczenia³⁵.

„Wycofanie się z wysokiego poziomu abstrakcji” jest możliwe dzięki zastosowaniu różnego rodzaju procedur idealizacyjnych, wykorzystywaniu reguł heurystycznych oraz wnikliwej analizie dotychczas znanych, i uznawanych za nieproblematyczne, danych, hipotez i teorii. Hardcastle obrazuje tę sytuację charakterystyką ośrodkowego układu nerwowego (*central nervous system*, CNS). Na dużym poziomie ogólności CNS ssaków i innych zwierząt są bardzo podobne³⁶. Można zatem wysunąć hipotezę, że *funkcjonowanie* CNS różnych organizmów jest również bardzo zbliżone. Łatwo zauważyć, że stopień ogólności powyższej hipotezy jest tak duży, iż jest ona niefalsyfikowalna (w sensie popperowskim). Testowanie hipotezy staje się możliwe dopiero po zejściu na niższy stopień ogólności. Wówczas ujawniają się szczegóły, takie jak np. różnice w działaniu kanału półkolistego bocznego w uchu wewnętrznym czy też zróżnicowana neuroplastyczność.

Powyższe uwagi prowadzą do stwierdzenia, że bardzo trudno jest odróżnić proces formułowania teorii neurokognitywnej od procesu ich uzasadniania. Oznacza to, że tradycyjne rozróżnienie na „kontekst odkrycia” i „kontekst uzasadnienia”³⁷ ulega zatarciu. Mam nadzieję, że kwestia ta stanie się klarowniejsza w kolejnych rozdziałach niniejszej pracy.

³⁵ V. Gray Hardcastle, *Neurobiology*, [w:] *The Cambridge Companion to the Philosophy of Biology*, red. D.L. Hull, M. Ruse, Cambridge University Press, Cambridge 2008, s. 275.

³⁶ Zob. *ibidem*, s. 276.

³⁷ Zob. H. Reichenbach, *Experience and Prediction*, University of Chicago Press, Chicago 1938.

1.3. Poziomy teoretyczne

Jedną z najistotniejszych cech odróżniających teorie neurokognitywne od teorii formułowanych w ramach innych nauk jest *wielopoziomowość* analizy, opisu i wyjaśnień. Oczywiście szereg współczesnych nauk operuje na wielu poziomach złożoności. Specyfika neuronauki poznawczej polega jednak w moim przekonaniu na tym, że formułowane w jej ramach teorie „scalają” informacje odnoszące się do wyróżnianych poziomów. Właśnie w takim rozumieniu Gordon Shepherd w cytowanym wcześniej fragmencie definiuje *neuroscience* jako naukę wielopoziomową. W swoim opisie wyróżnia on następujące poziomy: (i) poziom pojedynczych komórek, (ii) poziom funkcjonalnych obwodów odpowiedzialnych za przetwarzanie informacji, a także (iii) poziom zachowań. Jest to oczywiście tylko jedna – dość ogólna – z propozycji wyróżnienia poziomów. Można zgłosić ponadto wątpliwość co do wyróżnienia poziomu zachowań. Z kolei w ramach „tradycyjnej” – sięgającej Alana Turinga i wczesnych prac Hilary’ego Putnama – kognitywistyki (*sensu stricto*) często rozróżnia się dwa lub trzy poziomy. W ujęciu dwupoziomowym są to: (i) poziom reprezentacji czy też algorytmów oraz (ii) poziom implementacyjny, czyli fizyczne podłoże, na którym realizowane są obliczenia.

Oparty na takim podziale model wiedzy ludzkiej przedstawił np. John R. Anderson³⁸. Z kolei David Marr w swoim słynnym modelu widzenia rozróżnił trzy poziomy: (i) komputacyjny, (ii) algorytmiczny oraz (iii) implementacyjny³⁹. Jego zdaniem dopiero odwołanie się do wszystkich z nich pozwala wytłumaczyć, jak dwuwymiarowe reprezentacje są przekształcane na – doświadczane przez nas – reprezentacje trójwymiarowe. Teorie neurokognitywne, w rozumie-

³⁸ Zob. J.R. Anderson, *Metodologie badania wiedzy ludzkiej* (wraz z komentarzami), przeł. R. Balas, [w:] *Psychologia poznawcza. W trzech ostatnich dekadach XX wieku*, red. Z. Chlewiński, GWP, Gdańsk 2007, s. 27–123.

³⁹ Zob. D. Marr, *Vision. A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, The MIT Press, Cambridge–London 2010.

niu zaprezentowanym na początku pracy, będą łączyć analizę neurobiologiczną z analizą poznawczą.

Jak już wspominałem, w niniejszej pracy przyjmuję, że teorie neurokognitywne operują zazwyczaj na czterech poziomach. Są nimi:

- (i) poziom pojedynczych komórek nerwowych,
- (ii) poziom struktur podkorowych,
- (iii) poziom struktur korowych,
- (iv) poziom procesów poznawczych.

Jak widać, zrezygnowałem z wyróżnianego przez Shepherd'a poziomu zachowań. „Zachowanie” to bardzo ogólny termin. Mimo tego, że przez zachowania skłonni jesteśmy rozumieć np. ruchy, jakie wykonuje cały organizm (np. podczas poszukiwania pożywienia), równie dobrze można mówić o zachowaniach pojedynczych neuronów czy bardziej złożonych struktur mózgowych. W szerszym ujęciu zachowaniem będzie choćby przekazanie impulsu nerwowego z jednej komórki do drugiej. Mimo że całościowe zachowania organizmu, takie jak podejmowanie decyzji w dylematach moralnych, są oczywiście najbardziej interesujące z filozoficznego punktu widzenia, to jednak wyróżnianie ich jako osobnego poziomu wydaje się arbitralne i mało klarowne. Proponowany przeze mnie schemat nie ujmuje ponadto poziomu niższego niż poziom pojedynczych komórek nerwowych. Niektórzy uczeni, tacy jak np. Roger Penrose, współpracujący ze Stuartem Hameroffem, postulują uwzględnienie poziomu kwantowego w badaniach nad umysłem. Zmuszony jestem zrezygnować z dokładnego opisu tego przedsięwzięcia i odesłać czytelnika bądź do oryginalnych prac tych autorów⁴⁰, bądź do innych

⁴⁰ Zob. R. Penrose, *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, przeł. P. Amsterdamski, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1995; *idem*, *Cienie umysłu. Poszukiwanie naukowej teorii świadomości*, przeł. P. Amsterdamski, Zysk i S-ka, Poznań 2000; *idem*, *Beyond the Doubting of a Shadow. A Reply to Commentaries on Shadows of the Mind*, „Psyche” 1996, vol. 23, no. 3; *idem* (z udziałem: A. Shimony’ego, N. Cartwright, S. Hawkinga), *Makroświat, mikroświat i ludzki umysł*, przeł. P. Amsterdamski, red. M. Longair, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997; R. Penrose, S. Hameroff,

pozycji⁴¹. Kwantowe ujęcie umysłu wydaje się filozoficznie ciekawe, jednak można wskazać co najmniej dwa powody skutkujące jego dyskwalifikacją. Po pierwsze, model Penrose’a-Hameroffa ma *słabe podstawy empiryczne*, po drugie, ze względu na nikłą siłę wyjaśniającą, jest *kompletnie nieprzydatny* w konstruowaniu teorii neurokognitywnych. Moim zdaniem są to wystarczające względy, aby zaniedbać całkowicie poziom kwantowy w dalszych analizach.

Kolejną kwestią jest przyjęta przeze mnie terminologia. O ile określenia trzech pierwszych poziomów nie powinny budzić kontrowersji, określenie „poziom procesów poznawczych” może wywołać sprzeciw. Zwolennicy różnych orientacji przyjmowanych w ramach filozofii umysłu i kognitywistyki zapewne woleliby mówić wprost o *obliczeniach, algorytmach, stanach mentalnych, pojęciach, umyśle, dyspozycjach, metaforach* bądź w ogóle *wyeliminować* ten poziom analizy. Określenie „procesy poznawcze” będę traktował jako termin roboczy, a ściślej rzecz biorąc – teoretyczną fikcję. Posługuję się tu swobodnie zinterpretowanym kryterium istnienia, zaproponowanym przez W.V.O. Quine’a⁴². Zgodnie z tym kryterium należy uznać za istniejące obiekty, które są postulowane przez daną teorię. Nie chodzi więc o „metafizyczne” istnienie, ale o istnienie zrelatywizowane do teorii. W Quine’owskim duchu możemy zinterpretować nawet nasze introspekcyjne przekonanie o posiadaniu samoświadomości – jest ona postulowana na gruncie psychologii potocznej (*folk psychology*)⁴³. Nie ma nic dziwnego w tym, że różne

Consciousness in the Universe. Neuroscience, Quantum Space-Time Geometry and Orch OR Theory, „Journal of Cosmology” 2011, vol. 14. Ostatnia z prac jest dostępna on-line: <<http://journalofcosmology.com/Consciousness160.html>>.

⁴¹ Zob. W.P. Grygiel, M. Hohol, *Rogera Penrose’a kwantowanie umysłu*, „Filozofia Nauki” 2009, vol. 67, no. 3, s. 5–31; W.P. Grygiel, *Quantum Mechanics and Its Role in Cognitive Sciences. A Critical Survey*, [w:] *Philosophy in Neuroscience*, red. J. Stelmach, B. Brożek, Ł. Kurek, Copernicus Center Press, Kraków 2013.

⁴² W.V.O. Quine, *O tym, co istnieje*, [w:] *idem, Z punktu widzenia logiki*, przeł. B. Stanosz, Aletheia, Warszawa 2000, s. 20–47.

⁴³ „Psychologia potoczna (*folk psychology*) jest powszechną ramą pojęciową (*conceptual framework*) – obejmuje ona terminy takie jak ‘pragnie, żeby p’, ‘wierzy, że p’, ‘boi się, że p’, ‘planuje, że p’, które są używane przez osoby do wyjaśniania i przewidywa-

paradygmaty neuronauki poznawczej mają różne zobowiązania ontologiczne. Moim zdaniem określenie „procesy poznawcze” jest najbardziej neutralne względem różnorodnych zobowiązań.

W dalszych częściach pracy postaram się wykazać, że z im wyższym poziomem teorii mamy do czynienia, tym bardziej wzrasta rola przyjętego przez nas paradygmatu neuronauki poznawczej. Co za tym idzie, przyjęty paradygmat będzie w największym stopniu determinował rozumienie poziomu procesów poznawczych. Nie mam zamiaru tworzyć katalogu wszystkich paradygmatów, ani tym bardziej ich analizować. W niniejszej pracy ograniczę się do trzech – moim zdaniem – najbardziej reprezentacyjnych dla współczesnej neuronauki poznawczej. Są nimi:

- (1) paradygmat komputerowy,
- (2) psychologia ewolucyjna,
- (3) *embodied-embedded mind*.

Paradygmaty te dzielą z sobą pewną liczbę wspólnych cech i założeń (na zasadzie podobieństw rodzinnych), jednak ich motywacje, towarzyszące im konteksty oraz zastosowania są na tyle różne, że bez większych kontrowersji można je uznać za konkurencyjne. Moim celem nie jest apologia czy krytyka żadnego z nich (choć prawdopodobnie nie uda mi się uniknąć zdradzania własnych preferencji), ale wykazanie, że przyjęcie każdego z nich w istotny sposób wpływa na ocenę danych, formułowanie hipotez i rozumienie każdego z poziomów.

nia zachowań innych ludzi”. P.M. Churchland, *Plato's Camera. How the Physical Brain Captures a Landscape of Abstract Universals*, The MIT Press, Cambridge–London 2012, s. 5, przyp. 1.

1.4. Źródła danych neurokognitywnych

Jedną z cech szczególnych, odróżniających teorie neurokognitywne od teorii budowanych w ramach innych nauk (w tym nauk zaliczanych do biologicznych), są źródła danych wykorzystywane przy formułowaniu oraz testowaniu hipotez. Mózg może być badany ze względu na budowę oraz funkcjonowanie. Budowa mózgu jest przedmiotem zainteresowań anatomii. Mimo ogromnej komplikacji badanie budowy mózgu, które odbywa się między innymi przy użyciu mikroskopów elektronowych, jest zdecydowanie prostszą kwestią niż interesujące przedstawicieli neuronauki poznawczej funkcjonowanie mózgu i jego wpływ na obserwowalne gołym okiem zachowanie organizmu. Aby zrozumieć funkcjonowanie mózgu, neuronaukowcy poznawczy odwołują się do bardzo różnych metod, takich jak:

- (1) badania lezji (*lesions studies*),
- (2) obrazowanie pojedynczych komórek (*single-cell recording*),
- (3) obrazowanie aktywności całego mózgu (*neuroimaging*),
- (4) eksperymenty behawioralne (*behavioural experiments*).

Oczywiście nie jest to pełen katalog metod. Pluralizm źródeł danych – często bardzo różniących się od siebie – jest jedną z cech specyficznych neuronauki poznawczej. Jak już pisałem, można powiedzieć, że neuronauka poznawcza wręcz pojawiła się właśnie dzięki stworzeniu niektórych metod, a konkretniej funkcjonalnego obrazowania aktywności mózgu. Dzięki temu możliwe stało się odnajdywanie neuronalnych korelatów oraz mechanizmów odpowiedzialnych za powstawanie zachowań i procesów poznawczych. W pewnym uproszczeniu można stwierdzić, że metody neuroobrazowania spowodowały powrót przedstawicieli nauk o poznaniu (kognitywistów) do badań nad mózgiem, a także wymogły na nich konieczność odnośnienia architektur kognitywnych, abstrakcyjnych struktur symbolicznych oraz komputerowych modeli ludzkiego umysłu do funkcyjono-

wania biologicznego układu nerwowego. Inaczej mówiąc, postulatem neuronauki poznawczej jest powrót do biologii.

Jak już wspomniałem, wymienione wyżej metody nie są jedy-
nymi stosowanymi w neuronauce poznawczej. Co więcej, korzysta
ona z całych dziedzin wiedzy, takich jak: psychologia rozwojowa,
embriologia, neuroinformatyka (informatyka kognitywna), neuro-
lingwistyka czy wreszcie prymatologia i antropologia fizyczna oraz
kulturowa. Bardzo istotne są również badania porównawcze, szcze-
gólnie ludzi i prymatów innych niż człowiek. Sądzę jednak, że dys-
cypliny te, wraz z danymi uzyskiwanymi za pomocą specyficznych
dla nich metod, należą do *wiedzy towarzyszącej* neuronauce po-
znawczej, nie zaś do niej samej. Wymienione wyżej metody, takie
jak: studia nad lezjami, badanie pojedynczych neuronów, obrazo-
wanie całego mózgu, wraz z różnego rodzaju eksperymentami be-
hawioralnymi, wyznaczają podstawy neuronauki poznawczej *sensu*
stricto. Oczywiście mogą być one wspomagane danymi płynącymi
z wszelakich akceptowalnych źródeł, jednak to właśnie one – oczy-
wiście obok przedmiotu badań – wyznaczają tożsamość neuronauki
poznawczej.

W przeciwieństwie do kwestii takich jak wyróżnienie pozio-
mów teorii, zarówno wśród praktyków, jak i teoretyków neuro-
nauki poznawczej panuje zgoda co do akceptowanych źródeł da-
nych i metod ich pozyskiwania. William Bechtel wylicza w tym
kontekście trzy kryteria oceny dowodów w neuronauce poznaw-
czej: (i) generowanie przez instrument pomiarowy lub technikę *po-*
wtarzalnych rezultatów, które układają się w określony wzorec;
(ii) stopień zgodności pomiędzy danymi uzyskanymi z *różnych* źró-
deł oraz (iii) stopień zgodności z wiarygodnymi teoriami⁴⁴. Te ostat-
nie należą do wiedzy towarzyszącej. Brakuje jednak zgody co do
tego, o czym *rzeczywiście* mówią nam dane uzyskane za pomocą

⁴⁴ Zob. W. Bechtel, *Epistemology of Evidence in Cognitive Neuroscience*, [w:] *Philosophy and the Life Sciences. A Reader*, red. R. Skipper Jr., C. Allen, R.A. Ankeny, C.F. Craver, L. Darden, G. Mikkelsen, R. Richardson, The MIT Press, Cambridge, MA [w druku], <<http://mechanism.ucsd.edu/epist.evidence.bechtel.july2004.pdf>>, s. 2.

zaawansowanej technicznie aparatury i jak należy je interpretować⁴⁵. Kolejną kwestią, którą poruszę, są metody wykorzystywane w neuro-nauce poznawczej oraz wiążące się z nimi problemy metodologiczne i filozoficzno-naukowe. Najpierw przypomnę jednak krótko pewien kazus z historii nauki.

Początki. Frenologia – paranauka czy protoneuronauka?

Pierwsze badania nad mózgiem miały charakter anatomiczny⁴⁶. Oznacza to, że wiązały się one z otwarciem czaszki i chirurgicznym wy-preparowaniem części mózgu zmarłego (warto wspomnieć, że greckie *anatome* oznacza ‘rozcięcie’ oraz ‘pokrojenie’). Wyniki badań podlegały następnie systematyzacji. Do podniesienia jakości badań doprowadziło wynalezienie mikroskopu oraz barwienie próbek anatomicznych. Jednym z efektów zwiększenia precyzji badań było przypuszczenie, że poszczególne struktury mózgu są powiązane z różnymi funkcjami poznawczymi i psychicznymi. Wielkim entuzjastą tego przypuszczenia był żyjący na przełomie XVIII i XIX wieku Franz Joseph Gall. Szczególnie interesowała go kora mózgu człowieka. Gall twierdził, że możliwe jest dość precyzyjne wskazanie obszarów kory odpowiedzialnych za powstawanie poszczególnych uczuć, wrażeń i przeżyć psychicznych. Podobnie jak inny ówczesny uczony, Cesare Lombroso, twierdził on, że funkcje te są związane z kształtem czaszki człowieka. Gall zlokalizował 27 funkcji powiązanych z odpowiednimi obszarami kory. Warto dodać, że jego wnioski opierały się na różnych źródłach danych: część z nich oparta była na wnikliwej anatomii porównawczej człowieka i innych zwierząt, część na codziennych obserwacjach korelacji kształtu czaszki ze zdolnościami intelektualnymi i cechami charakteru, a część miała charakter całkowicie aprioryczny. Przykładowo, Gall twierdził, że specy-

⁴⁵ Zob. np. V. Gray Hardcastle, C.M. Stewart, *What Do Brain Data Really Show*, „Philosophy of Science” 2002, vol. 69, no. S3, s. S72–S78.

⁴⁶ Zob. P. Jaśkowski, *Neuronauka poznawcza. Jak mózg tworzy umysł*, Vizja Press & IT, Warszawa 2009, s. 20.

ficznie ludzkie cechy umysłu są zlokalizowane w płatach czołowych, gdyż zaobserwował, że u innych zwierząt są one znacznie słabiej rozwinięte. Innym razem jednak skorelował ponadprzeciętne zdolności pamięciowe z wielkością oczu. Wystarczającym motywem była dla niego obserwacja obydwu tych cech u swojego przyjaciela. Gall postulował istnienie zależności pomiędzy siłą ekspresji jakiejś cechy, np. skłonności do bycia mordercą, a wielkością mózgowego organu odpowiedzialnego za tę cechę⁴⁷. Dyscyplina, którą zapoczątkował Gall, została nazwana *frenologią*. Wywoływała ona bardzo różne reakcje: od skrajnej niechęci wielu uczonych po skrajny entuzjazm i bardzo szybkie rozbudowywanie bazy instytucjonalnej w postaci rozmaitych towarzystw frenologicznych.

Również współcześnie frenologia jest oceniana rozmaicie. Jedni widzą w niej paranaukę, zbliżoną raczej do szarlatanerii niż do systematycznego badania mózgu i umysłu, inni zaś uznają jej wagę jako „protoplastki” współczesnej neuronauki i psychologii. Wydaje mi się, że kontrowersja ta jest zbliżona do sporu o rolę, jaką w rozwoju astronomii i chemii odegrały astrologia i alchemia. Z punktu widzenia niniejszej pracy ważniejszy jest jednak fakt, że także współcześnie nie brakuje głosów, iż historia nauki zatoczyła wielkie koło. Zdaniem wielu specjalistów, techniki takie jak funkcjonalny rezonans magnetyczny w końcu pozwalają precyzyjnie zlokalizować struktury poznawcze. Zdaniem przeciwników takiego podejścia, wnioski wyciągane z badań przeprowadzanych z użyciem skomplikowanych metod neuroobrazowania są równie wizjonerskie i kontrowersyjne jak koncepcje Galla i innych frenologów. Przyjrzyjmy się teraz metodom wykorzystywanym we współczesnej neuronauce poznawczej. Bliższy ich opis ma głównie charakter przygotowawczy. Pozwoli lepiej zrozumieć wysoki stopień uteoretyzowania badań oraz studia przypadku, które przedstawiam w dalszych częściach pracy.

⁴⁷ Zob. np. J. Vetulani, *Piękno neurobiologii*, *op. cit.*, s. 28.

Badania lezji

Historyczny kazus frenologii nauczył nas, że ani korelowanie kształtu czaszki ze zdolnościami kognitywnymi, ani nawet najbardziej wnikliwe studia anatomiczne nie mogą wiele powiedzieć na temat funkcjonowania mózgu. Konieczne jest odwołanie się do innych metod. Najstarszą systematyczną metodą badania funkcjonowania mózgu, która do dziś jest wykorzystywana w neuronauce (zarówno „podstawowej”, jak i poznawczej), są studia nad lezjami, czyli wpływem uszkodzeń tkanki nerwowej na zachowanie. To właśnie im zawdzięczamy bardzo dużą część naszej współczesnej wiedzy o funkcjonowaniu układu nerwowego oraz mechanizmach poznawczych⁴⁸. Lezje są skutkiem urazów fizycznych, a także udarów oraz zatruc toksynami. Choć medycy od wieków zbierali dane łączące uszkodzenia mózgu ze zmianą zachowań i deficytami poznawczymi, pierwsze ścisłe wyniki pojawiły się dopiero w drugiej połowie XIX wieku za sprawą Paula Broki i Carla Wernickego. Ogromną rolę odegrał również słynny kazus Gage’a oraz analogiczne przypadki. Choć same studia anatomiczne nie mówią wiele na temat funkcjonowania mózgu, istotną rolę heurystyczną spełniły również dociekania frenologów.

Paul Broca, którego uważa się za ojca neuropsychologii⁴⁹, jest znany z odkrycia związku lezji okolicy czołowej z zaburzeniami mowy. Zlokalizowana przez niego neuronalna struktura, nazywana do dziś ośrodkiem Broki, jest usytuowana w części wieczkowej (*pars opercularis*) i trójkątnej (*pars triangularis*) dolnego zakrętu czołowego. Na mapie mózgu Brodmanna znajduje się ona w obszarach 44 i 45. Choć sam Broca zwracał uwagę, że wiele zawdzięcza obserwacjom innych uczonych, takich jak Jean-Baptiste Bouillaud, to właśnie jego badania i obserwacje pozwoliły usystematyzować wie-

⁴⁸ Zob. M.T. Banich, R.J. Compton, *Cognitive Neuroscience*, 3rd ed., Wadsworth, Belmont 2011, s. 53–38.

⁴⁹ Zob. P. Jaśkowski, *Neuronauka poznawcza...*, *op. cit.*, s. 21.

dzę nad lokalizacją mózgowego ośrodka mowy⁵⁰. Istotnym wydarzeniem było zaprezentowanie przez Brocę w 1861 roku mózgu zmarłego dzień wcześniej pacjenta o przydomku „Tan” (przydomek ten pochodził od jedyne go słowa, jakie potrafił on wypowiedzieć). Lezja w mózgu Tana była zlokalizowana w tylnej części lewego płata czołowego. Po zebraniu dostatecznej liczby danych przemawiających za lokalizacją ośrodka mowy, Broca w 1885 roku wygłosił swoje słynne zdanie: „*Nous parlons avec l'hémisphère gauche*” („Mówimy lewą półkulą”)⁵¹. Z kolei w 1874 roku Carl Wernicke po przeprowadzeniu licznych badań nad jednym ze swoich pacjentów opisał związek zaburzeń rozumienia mowy z lezją lewego górnego zakrętu skroniowego, czemu odpowiada pole 42 na mapie Brodmanna⁵².

Omawiając historię badań nad lezjami, nie sposób nie wspomnieć także o słynnym kazusie Gage’a z 1848 roku. Dzięki Hannie i Antonio Damasio przypadek ten stanął ponownie w centrum – tym razem współczesnych – badań nad funkcjonowaniem mózgu i umysłu⁵³. Podczas prac pirotechnicznych związanych z układaniem torów kolejowych brygadzysta budowlany Phineas Gage uległ poważnemu wypadkowi. W wyniku eksplozji sporych gabarytów metalowy pręt (służący do ubijania piasku w otworze skalnym, w którym umieszczano ładunek wybuchowy) przeszył w locie lewy policzek Gage’a, tylną część lewego oczodołu, okolicę czołową mózgu, wewnętrzną powierzchnię lewego (być może również prawego) płata czołowego, zaś wylatując z czaszki, uszkodził prawdopodobnie także część grzbietowego, tylnego obszaru płata czołowego⁵⁴. Co istotne dla kwestii związanych z wpływem lezji na zachowanie, poważnemu uszkodzeniu uległa kora przedczołowa. Pręt poruszał się z tak dużą prędkością, że po przeszyciu głowy Gage’a

⁵⁰ Zob. np. K.W. Walsh, D. Darby, *Neuropsychologia kliniczna Walsha*, przeł. B. Mroziak, wyd. V, GWP, Gdańsk 2008, s. 27.

⁵¹ Cyt. za: *ibidem*.

⁵² Zob. *ibidem*, s. 28.

⁵³ Zob. A.R. Damasio, *Błąd Kartezjusza. Emocje, rozum i ludzki mózg*, przeł. M. Karpiński, Rebis, Poznań 2011, s. 21–52.

⁵⁴ Jest to rekonstrukcja dokonana przez Hannę i Antonio Damasio, zob. *ibidem*, s. 41–42.

przeleciał jeszcze sto stóp. Pomimo poważnego urazu Gage nie tylko przeżył, ale też zachował przytomność, poruszał się, a ponadto był w stanie zrelacjonować lekarzowi przebieg wypadku. Rekonwalescencja Gage’a trwała dwa miesiące – po tym czasie został uznany za wyleczonego. Jedynym trwałym uszczerbkiem na zdrowiu zdawała się utrata wzroku w lewym oku. Lekarza zaczęły jednak niepokoić zmiany w zachowaniu pacjenta. Przed wypadkiem Gage był uważany przez współpracowników za doskonałego fachowca, a także człowieka kulturalnego, zrównoważonego i pełnego energii. Natomiast po wypadku – Damasio przytacza barwną relację lekarza Gage’a, doktora Harlowa – stał się:

kapryśny, folgujący sobie w największych bezceństwach, czego ongiś nie miał w zwyczaju; wobec swych kompanów przejawiał najwyższą obojętność (...). Często zawzięcie uparty, choć jednocześnie kapryśny i niezdecydowany, tworzył niezliczone plany na przyszłość, które jednak porzucał, nim zdążyły się w pełni wyklarować. (...) Stał się człowiekiem o zdolnościach intelektualnych dziecka i zwierzęcej zapalczywości silnego mężczyzny⁵⁵.

Z powodu niezrównoważenia Gage został zwolniony z pracy na kolei, często zmieniał miejsce zatrudnienia (stał się nawet atrakcją cyrkową – demonstrował swoje rany i pręt, który je spowodował). W 1861 roku zmarł prawdopodobnie w wyniku nieustannych ataków padaczkowych. Waga przypadku Gage’a polega nie tylko na dokładnych opisach klinicznych (sporządzanych przez doktora Harlowa), ale przede wszystkim na tym, że po raz pierwszy zanotowano, iż uszkodzenia mózgu mogą wpływać nie tylko na motorykę czy zdolności językowe, ale także na emocje, osobowość oraz społeczny wymiar zachowań człowieka. Jak pisze Damasio:

Przypadek Gage’a „mimowolnie” pokazywał, że istnieją w mózgu ośrodki w szczególnym stopniu odpowiedzialne za wyjątkowe włas-

⁵⁵ *Ibidem*, s. 26.

ności osobowości ludzkiej, m.in. za antycypowanie przyszłości i planowanie jej w zgodzie ze skomplikowanymi zasadami życia społecznego, poczucie odpowiedzialności wobec siebie i innych, zdolność do zorganizowanej troski o własne przetrwanie i kierowanie się wolną wolą⁵⁶.

Badania nad lezjami nie obejmują jedynie studiów przypadku, takich jak opisany powyżej. W laboratoryjnych badaniach na zwierzętach często celowo wywołuje się określone uszkodzenia przy użyciu zastrzyków z substancjami chemicznymi oraz za pomocą elektrod, umieszczonych bezpośrednio w tkance nerwowej⁵⁷. Podczas planowania eksperymentu wykorzystuje się stereotaktyczny atlas mózgu danego zwierzęcia, zaś elektrody wprowadza się precyzyjnie za pomocą aparatu stereotaktycznego. Efekty lezji wykonywanych celowo mogą, ale nie muszą, być całkowicie lub częściowo odwracalne. Możliwe jest również celowe wywoływanie mutacji genów, czego efektem fenotypowym jest np. zmiana działania mechanizmów neurotransmisji. Metoda ta jest określana jako *wyłączanie genów (gene-knockout)*. Ze względów etycznych powyższe metody nie są stosowane na ludziach. Neuronaukowcy nie muszą jednak ograniczać się tylko do badań pacjentów z nieodwracalnymi uszkodzeniami tkanki nerwowej. Za pomocą silnego źródła pola magnetycznego możliwa jest bezbolesna, tymczasowa i w pełni odwracalna dezaktywacja określonych okolic mózgu.

W laboratoriach stosowana jest również technika odwrotna do dezaktywacji pewnych obszarów mózgu. Stymulacji dokonuje się poprzez elektrody wszczepione bezpośrednio do mózgu zwierzęcia. Ponadto za pomocą krótkich, dość słabych impulsów magnetycznych możliwa jest stymulacja wybranych okolic mózgu człowieka (wszczepienie elektrod do mózgu człowieka stosuje się tylko

⁵⁶ *Ibidem*, s. 29.

⁵⁷ Zob. np. J.W. Kalat, *Biologiczne podstawy psychologii*, przeł. M. Binder, A. Jarmocik, M. Kuniecki, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2007, s. 74–78.

w przypadkach chorób wymagających interwencji chirurgicznej). Ostatnia z metod to przyczaszkowa stymulacja magnetyczna (*transcranial magnetic stimulation*, w skrócie: TMS)⁵⁸. Niewątpliwą zaletą stosowania TMS jest nie tylko brak wątpliwości etycznych, ale również zwiększenie kontroli nad eksperymentem. Można bowiem porównywać zachowanie badanego zarówno przed ingerencją, jak i po niej, a także wielokrotnie powtarzać procedurę eksperymentalną. TMS posiada jednak swoje ograniczenia. O ile pole magnetyczne skutecznie przenika czaszkę, o tyle wraz z odległością od swojego źródła staje się coraz słabsze. Przeciętna głębokość „penetracji” za pomocą TMS wynosi około 2 centymetrów. Co za tym idzie, TMS nadaje się jedynie do badania struktur kory mózgowej, zaś struktury podkorowe leżą poza jej zasięgiem. Za pomocą stymulacji mózgu jest możliwe wywołanie ruchów lub wrażeń zmysłowych. Na przykład pobudzając pierwszorzędną korę mózgową, można sprawić, że badany doświadczy błysków świetlnych, tzw. fotyzmów. Z uwagi na złożoność procesów poznawczych – w tym wypadku widzenia – metoda ta wykazuje jednak oczywiste ograniczenia. Korzystając z niej, można odkryć jedynie, że stymulowany obszar mózgu odgrywa pewną rolę w danym układzie funkcjonalnym (np. wzrokowym).

Poważnym problemem w identyfikacji obszarów funkcjonalnych mózgu jest trudność w ustaleniu jednoznacznego związku między leżką a daną funkcją. W grę wchodzi tu problem przyczynowości pomiędzy uszkodzeniem mózgu a dysfunkcją kognitywną. *Podwójna dysocjacja* jest ważnym warunkiem metodologicznym, który pozwala uprawdopodobnić związek danego uszkodzenia mózgu z określoną funkcją poznawczą. Jak pisze Hans-Lukas Teuber, który w latach 50. wprowadził to pojęcie:

Podwójna dysocjacja wymaga, by objaw A występował przy uszkodzeniach w obrębie jednej struktury, lecz nie przy leżkach innej struktury,

⁵⁸ Zob. P. Jaśkowski, *Neuronauka poznawcza...*, op. cit., s. 72–76; M.T. Banich, R.J. Compton, *Cognitive Neuroscience*, op. cit., s. 77–79.

oraz by objaw B występował przy uszkodzeniach tej drugiej struktury, lecz nie przy lezjach w obrębie tej pierwszej. Kiedy takiej dysocjacji nie ma, nie można wykazać specyfiki skutków uszkodzenia⁵⁹.

Z kolei jeden z pionierów neuropsychologii, Aleksander Łurija, pisze, że:

Wyjściową hipotezą przy takim podejściu jest założenie, że przy określonym, miejscowym uszkodzeniu bezpośrednio powodującym utratę jakiegoś czynnika wszystkie układy funkcjonalne zawierające ten czynnik ulegają zaburzeniu, podczas gdy wszystkie układy funkcjonalne, które nie zawierają owego utraconego czynnika, pozostają zachowane⁶⁰.

Przykładem, gdzie spełniony jest warunek podwójnej dysocjacji, są różne skutki lezji w lewym płacie skroniowym i lezji okolicy ciemieniowo-potylicznej. Skutkiem pierwszego z uszkodzeń są zaburzenia w odbieraniu bodźców słuchowych (fonemów), co z kolei prowadzi do trudności w powtarzaniu słów. Lezja ta nie wpływa natomiast na funkcje takie jak percepcja przestrzenna. Z kolei w drugim przypadku zostaje zaburzona orientacja w przestrzeni, natomiast funkcje zależne od analizy fonetycznej pozostają nienaruszone.

Zwiększenie stopnia prawdopodobieństwa, że dana dysfunkcja jest związana z wystąpieniem lezji, jest możliwe dzięki *dysocjacji zgodnej* (dwóch lub więcej podwójnych dysocjacji). Uszkodzenia mózgu powstałe naturalnie lub w wyniku wypadków (jak w przypadku Gage'a) prawie nigdy nie zachodzą z „chirurgiczną precyzją”, odnosząc się do określonych pól na mapie Brodmanna. Niemal zawsze jest tak, że uszkodzone zostają części mózgu należące do zbliżonych do siebie anatomicznie układów funkcjonalnych. Według Kevena W. Walsha i Davida Darby'ego:

⁵⁹ Cyt. za: K.W. Walsh, D. Darby, *Neuropsychologia kliniczna...*, op. cit., s. 35.

⁶⁰ Cyt. za: *ibidem*, s. 36.

(...) dzięki ustaleniu dwóch lub więcej „podwójnych dysocjacji” lokalizacja uszkodzenia będącego przyczyną zaburzeń staje się coraz pewniejsza. Inaczej mówiąc, znalezienie jednej dysocjacji może sugerować, że w niektórych przypadkach warto przeprowadzić odpowiedni sprawdzian w postaci „eksperymentu krzyżowego”. Takie sytuacje możemy nazwać dysocjacjami zgodnymi⁶¹.

Zadania	Lokalizacja lezji		
	Lewa okolica skroniowa	Prawa okolica skroniowa	Okolice nieskroniowe
Pamięć werbalna	Niski	Normalny	Normalny
Dźwięki znaczące	Niski	Normalny	Normalny
Pamięć niewerbalna	Normalny	Niski	Normalny
Dźwięki pozbawione znaczenia	Normalny	Niski	Normalny

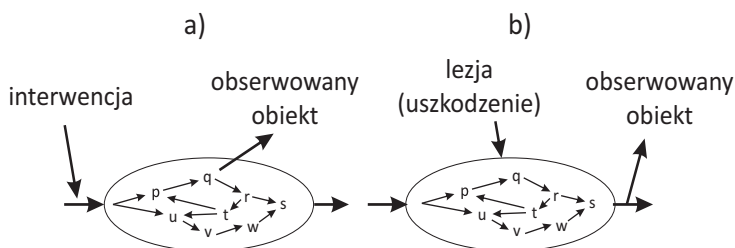
Tabela 1. Przykładowa dysocjacja zgodna⁶²

Podstawową różnicą pomiędzy danymi pozyskanymi z badań polegających na obrazowaniu (zarówno pojedynczych komórek, jak i całego mózgu) oraz badań nad lezjami jest fakt, że w pierwszym przypadku stymulacja całego systemu umożliwia powiedzenie czegoś na temat działania jego części, zaś w drugim to, że uszkodzenie części systemu powoduje obserwowalną zmianę funkcjonowania całości⁶³.

⁶¹ *Ibidem*; jak widać, warunek podwójnej dysocjacji jest podobny do eksperymentu krzyżowego. Wiadomo, że ten ostatni należy traktować raczej jako „ideę regulatywną” czy też „użyteczną heurystykę”, nie zaś jako test gwarantujący ostateczne rozstrzygnięcie problemu. Nawiązując do Pierre’a Duhema, Carl G. Hempel pisał: „(...) nawet najdokładniejszy i najbardziej uniwersalny test nie może ani obalić jednej z dwu hipotez, ani dowieść drugiej; zatem eksperyment krzyżowy w ścisłym sensie jest w nauce niemożliwy”; zob. *idem*, *Filozofia nauk przyrodniczych*, przeł. B. Stanosz, Aletheia, Warszawa 2001, s. 62.

⁶² Tabela została sporządzona na podstawie: K.W. Walsh, D. Darby, *Neuropsychologia kliniczna...*, *op. cit.*, s. 36.

⁶³ Zob. W. Bechtel, *Epistemology of Evidence in Cognitive Neuroscience*, *op. cit.*; *idem*, *Aligning Multiple Research Techniques in Cognitive Neuroscience. Why Is It Important?*, „Philosophy of Science” 2002, vol. 69, no. S3, s. S48–S58.



Rycina 2. Schematyczne przedstawienie miejsca interwencji i wykrycia zmian w funkcjonowaniu mózgu w przypadkach (a) obrazowania pojedynczych komórek lub całego mózgu oraz (b) badań nad lezjami⁶⁴.

Badania pojedynczych neuronów

Badanie aktywności elektrycznej pojedynczych neuronów (*single-cell recording*, dalej używam skrótu: SCR) jest najdokładniejszą metodą badania mózgu⁶⁵. Do badanych komórek (lub tuż obok nich) są precyzyjnie wprowadzane bardzo cienkie elektrody, za pomocą których możliwe jest śledzenie aktywności elektrycznej neuronów. Dzięki SCR udało się dość dobrze zbadać proces przekazywania impulsów nerwowych, a także zrozumieć przyczyny niektórych chorób. Co więcej, stosując SCR, neuronaukowcy z Parmy dokonali odkrycia tzw. neuronów lustrzanych w obszarze F5 kory mózgu makaka. Dalej pokażę, że odkrycie to było niezwykle ważne dla neuronauki poznawczej, a w szczególności paradygmatu *embodied-embedded mind*. SCR ma jednak swoje ograniczenia. Najważniejszym – z metodologicznego punktu widzenia – jest trudność w określeniu reprezentatywności danej komórki dla danej struktury neuronalnej⁶⁶. Jak wiadomo, neurony nie są identyczne pod względem anatomicznym i różnią się w istotny sposób własnościami funkcjonalnymi. Bardzo trudno jest ocenić, czy badany neuron jest prototypowym egzemplarzem struktury, do której należy. SCR jest doskonałym narzędziem analitycznym,

⁶⁴ Rycina została przygotowana na podstawie: W. Bechtel, *Epistemology of Evidence in Cognitive Neuroscience*, op. cit., s. 4.

⁶⁵ Zob. P. Jaśkowski, *Neuronauka poznawcza...*, op. cit., s. 42–43.

⁶⁶ Zob. *ibidem*, s. 43.

jednak nie ułatwia wyciągania ogólnych wniosków na temat funkcjonowania większych struktur mózgowych. Inne ograniczenia SCR, ujawniające się szczególnie w możliwości stosowania tej metody względem ludzi, mają charakter etyczny. Ponieważ rejestrowanie aktywności neuronów za pomocą elektrod wiąże się z bezpośrednią ingerencją w mózg żyjącego człowieka, metodę tę można stosować tylko w wyjątkowych i uzasadnionych przypadkach medycznych. Jedną z przesłanek medycznych, która usprawiedliwia wprowadzenie elektrod do mózgu, są poszukiwania ogniska padaczkowego. W trakcie takich poszukiwań czasami udaje się „przy okazji” powiększyć teoretyczną wiedzę na temat różnych aspektów działania mózgu.

EEG

Ważną i stosowaną na szeroką skalę nieinwazyjną metodą badawczą jest elektroencefalografia (EEG)⁶⁷. Za jej pomocą nie jest możliwe badanie aktywności pojedynczych komórek. EEG polega na rejestracji zmian potencjału elektrycznego na powierzchni skóry głowy. Zmiany te są efektem bioelektrycznej aktywności mózgu. Badanie elektroencefalograficzne przeprowadza się, rozmieszczając elektrody w różnych miejscach powierzchni głowy (standardowo korzysta się z zestawu obejmującego od 10 do 20 elektrod). Zapis odpowiednio wzmocnionej aktywności elektrycznej jest nazywany *elektroencefalogramem*. Za pomocą EEG śledzi się aktywność bioelektryczną, która jest generowana przez populację neuronów zlokalizowanych w pobliżu danej elektrody. Współcześnie uważa się, że źródłem rejestrowanej aktywności są postsynaptyczne potencjały pobudzające i hamujące. Elektroencefalografia jest wykorzystywana w bardzo różnych sytuacjach klinicznych i badawczych. Przykładowo, dzięki niej możliwe jest określanie faz snu czy też odnajdywanie ognisk padaczkowych. Co więcej, EEG jest wykorzystywana nawet w wykrywaniu kłamstw – technika ta określana jest jako *Brain Fingerprinting*. Usta-

⁶⁷ Zob. *ibidem*, s. 43–57.

lono, że fala P300 jest rejestrowana na elektroencefalogramie, gdy mózg badanego rozpoznaje eksponowany bodziec jako znany. Jedno z możliwych zastosowań polega na zaprezentowaniu podejrzanemu narzędzia zbrodni. Jeśli ten niezgodnie z prawdą stwierdzi, że nie rozpoznaje przedmiotu lub że przedmiot ten nie należy do niego, zarejestrowana zostanie fala P300⁶⁸.

MEG

Badanie dynamiki aktywności mózgu jest możliwe również za pomocą MEG, czyli magnetoencefalografii. Metoda ta polega na rejestracji słabych pól magnetycznych, które są skorelowane z aktywnością neuronalną (jak wiadomo, aktywności elektrycznej towarzyszy aktywność magnetyczna)⁶⁹. Pomiar jest dokonywany poprzez czujniki, które umieszcza się na powierzchni głowy. MEG cechuje się lepszą rozdzielczością czasową niż fMRI (zapisywane są zmiany sięgające milisekund). Z drugiej strony, ze względu na to, że dopiero duża populacja aktywnych neuronów (około 50 000) generuje mierzalny sygnał, rozdzielczość przestrzenna MEG jest słabsza niż w PET czy fMRI. Mimo to owa metoda jest wykorzystywana zarówno w celach klinicznych, jak i w identyfikacji neuronalnych korelatów funkcji kognitywnych.

PET

Bardziej zaawansowaną technicznie, ale i zdecydowanie bardziej kosztowną metodą jest PET, czyli emisyjna tomografia pozytronowa (*positron emission tomography*)⁷⁰. Fundamentalnym faktem, który

⁶⁸ Zob. np. M. Hohol, *Zjawisko kłamstwa w perspektywie nauk neurokognitywnych i ewolucyjnych*, „Semina Scientiarum” 2009, no. 8, s. 91–109.

⁶⁹ Zob. np. J.W. Kalat, *Biologiczne podstawy psychologii*, *op. cit.*, s. 117.

⁷⁰ Szczegółowe omówienie metodologii badań PET oraz fMRI można znaleźć np. w: *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition*, red. R. Cabeza, A. Kingstone, The MIT Press, Cambridge 2006; zob. także M.T. Banich, R.J. Compton, *Cognitive Neuroscience*, *op. cit.*, s. 62–66.

umożliwia stosowanie tej metody, jest zwiększający się dopływ krwi do mózgu, związany z potrzebami energetycznymi. Podczas aktywności poznawczej, dzięki przemianom chemicznym we krwi, aktywne części mózgu mogą korzystać ze zwiększonych zasobów energetycznych. Wiąże się to z dodatkowym dopływem krwi do tych części mózgu, które są zaangażowane w dane zadanie (np. rozwiązywanie dylematu moralnego). W obrazowaniu aktywności mózgu pośredniczy rejestracja promieniowania jonizującego. Promieniowanie to jest emitowane przez znacznik z radioaktywnym izotopem (np. ^{18}F -fluoro-2-deoksyglukozę (^{18}F -FDG)), który zostaje wprowadzony do krwiobiegu badanej osoby poprzez wstrzyknięcie do tętnicy udowej. Ponieważ okres połowicznego rozpadu substancji promieniotwórczej jest krótki, przygotowywana jest ona w cyklotronie bezpośrednio przed badaniem. Każda cząsteczka oznakowanej radioaktywnym izotopem glukozy podczas rozpadu emituje pozytron. Pozytron, który zderza się z elektronem, znajdującym się w bliskim otoczeniu, jest źródłem dwóch podążających w przeciwnych kierunkach fotonów promieniowania gamma. Promieniowanie gamma jest rejestrowane przez skaner (pierścień detektorów) umieszczony na głowie badanego. Gdy dwa detektory w jednej chwili rejestrują dwa fotony, oznacza to, że ich źródło jest zlokalizowane dokładnie w połowie odległości między nimi. Dane są następnie przetwarzane komputerowo. Dzięki temu wiadomo, ile fotonów zostało wyemitowanych w określonych rejonach mózgu, co pozwala na sporządzenie obrazu. W czasie eksperymentu badana osoba wykonuje szereg zadań (np. proszona jest o rozwiązanie dylematu moralnego, czy należy poświęcić życie jednej osoby, aby uratować kilka osób). Źródła promieniowania gamma pokrywają się z rejonami mózgu, które są najbardziej zaangażowane w rozwiązywanie zadań postawionych przed badaną osobą. Bez wątpienia eksperymenty przeprowadzone za pomocą PET w ogromnym stopniu wzbogaciły naszą wiedzę o mózgu. Jak każda inna, metoda ta ma jednak swoje ograniczenia. Wspomnę na razie tylko o trzech. Po pierwsze, za pomocą PET można zidentyfikować struktury neuronalne nie mniejsze niż $0,5\text{ cm}^3$ (co w praktyce

oznacza skupiska milionów komórek), które pozostają aktywne przez około 30 sekund. Po drugie, obraz otrzymywany za pomocą PET jest statyczny – nie ukazuje dynamiki aktywności mózgu. Po trzecie, nie jest to metoda całkowicie nieinwazyjna – nie jest ona obojętna dla zdrowia badanej osoby. Jej mózg zostaje wystawiony na promieniowanie jonizujące, w związku z czym ze względów zdrowotnych nie można przeprowadzić eksperymentu wielokrotnie w krótkich odstępach czasu⁷¹. Ograniczenie to utrudnia więc powtarzanie badań, których celem jest wykrycie neuronalnych korelatów określonych funkcji poznawczych w odniesieniu do tej samej osoby.

MRI

Kolejną metodą neuroobrazowania jest MRI, czyli rezonans magnetyczny (*magnetic resonance imaging*). Metoda ta jest również nazywana jądrowym rezonansem magnetycznym (*nuclear magnetic resonance*, w skrócie: NMR). Dwie podstawowe zalety MRI w stosunku do PET to: znacznie lepsza, sięgająca nawet ułamków milimetra, rozdzielczość i czułość skanów oraz brak konieczności wystawiania mózgu badanego na działanie substancji radioaktywnych⁷². Skaner MRI korzysta z działania bardzo silnych elektromagnesów. Pole magnetyczne generowane przez skaner powoduje przyjęcie liniowej konfiguracji, czyli równoległe ułożenie spinów atomów wodoru, które wchodzi w skład cząsteczek wody znajdujących się w mózgu. W kolejnej fazie emitowany jest krótki impuls elektromagnetyczny o częstotliwości radiowej (tzw. impuls RF, od *radio frequency*), który skutkuje przejściowym odchyleniem spinów od kierunku pola. Po jego wyłączeniu spiny wracają do pozycji wyjściowej, wyzwalając przy tym energię elektromagnetyczną. Neuroobrazowanie jest możliwe dzięki pomiarowi tej energii. Za pomocą tej metody można badać

⁷¹ Zob. np. J.W. Kalat, *Biologiczne podstawy psychologii*, przeł. M. Binder, A. Jarmocik, M. Kuniecki, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2007, s. 247.

⁷² Zob. np. *ibidem*, s. 112.

np. uszkodzenia mózgu. Są one wykrywane przez skaner MRI dzięki różnej ilości wody znajdującej się w zdrowych i uszkodzonych tkankach. Poważną, bo często wpływającą na wyniki pomiaru wadą jest konieczność pozostawiania badanej osoby w bezruchu. Ponadto za pomocą MRI otrzymuje się statyczny obraz mózgu – ze względu na brak obiegu wody nie można śledzić zmian aktywności mózgu w czasie.

fMRI

Badanie dynamiki aktywności mózgu jest możliwe za pomocą kolejnej – najmłodszej – techniki, jaką jest funkcjonalny rezonans magnetyczny, w skrócie fMRI (od *functional magnetic resonance imaging*)⁷³. Obrazowanie jest możliwe, gdyż hemoglobina, czyli białko zawarte w erytrocytach, odpowiedzialne za przenoszenie tlenu, reaguje na pole magnetyczne. Podczas wykonywania zadań poznawczych aktywne obszary mózgu zużywają więcej tlenu niż obszary niezaangażowane bezpośrednio w te zadania. Dynamika aktywności mózgu jest mierzona poprzez odróżnienie hemoglobiny bez tlenu od hemoglobiny niosącej tlen. Najistotniejszym ze względu na własności magnetyczne parametrem jest ilość hemoglobiny niosącej tlen (sygnał BOLD, od *blood-oxygen-level-dependent*). Korzystając z fMRI, naukowcy otrzymują mapę utlenowanej krwi w mózgu. W trakcie procesu interpretacji, gdzie wykorzystywany jest skomplikowany aparat teoretyczny, naukowcy tworzą mapę aktywności neuronalnej. Jeśli chodzi o rozdzielczość przestrzenną obrazów uzyskiwanych za pomocą fMRI, jest ona zbliżona do obrazów MRI. Parametr rozdzielczości czasowej, istotny ze względu na informacje o dynamice pracy mózgu, wynosi natomiast poniżej jednej sekundy (co oznacza, że co taki odstęp czasu otrzymuje się nowy obraz).

Na koniec krótkiego umówienia technik badawczych dodam, że w celu uzasadniania hipotez neuronaukowcy zwykle wykorzystują dane uzyskane za pomocą różnych metod. Nie ma jednej „najlepszej”

⁷³ Zob. np. *ibidem*, s. 170; P. Jaśkowski, *Neuronauka poznawcza...*, *op. cit.*, s. 62–69.

czy też „wolnej od trudności” techniki⁷⁴. Wiele przykładów takiego „nakładania” danych zobaczymy w dalszych częściach tej pracy. Dodam jeszcze, że w praktyce są obecnie stosowane wszystkie z wyżej wymienionych technik, włączając w to najstarszą, czyli EEG. Pomimo pewnych wątpliwości, które przedstawię w kolejnym rozdziale, należy podkreślić, że techniki neuroobrazowania, takie jak fMRI, pozwoliły naukowcom odkryć wiele tajemnic ludzkiego mózgu. Co więcej, jak już wcześniej zaznaczałem, metody te przyczyniły się istotnie do zaistnienia dyscypliny naukowej, której poświęcona jest niniejsza praca. Mimo tych niewątpliwych i spektakularnych sukcesów należy pamiętać, że neuroobrazowanie jest uwikłane w szereg problemów. Niektóre z nich prawdopodobnie zostaną pokonane wraz z postępem technicznym i teoretycznym, inne zaś mają charakter metodologiczno-filozoficzny. Zanim przejdę do drugiego rozdziału, wspomnę jeszcze krótko o eksperymentach behawioralnych, które towarzyszą niemal każdemu badaniu neuronaukowemu.

Eksperymenty behawioralne

Poza neuronauką poznawczą eksperymenty behawioralne zajmują ważne miejsce w różnych działach psychologii i zastosowaniach klinicznych⁷⁵. Eksperymenty te wymieniam w podstawowym katalogu metod neuronauki poznawczej, gdyż ich stosowanie jest niezbędne, jeśli chcemy dowiedzieć się czegoś o procesach kognitywnych za pomocą źródeł danych, takich jak leżje, badanie pojedynczych neuronów czy neuroobrazowanie. Najprościej rzecz ujmując, celem tych eksperymentów jest obserwacja zachowania badanej osoby w czasie wykonywania określonego zadania, postawionego przez eksperymentatora. Truizmem jest stwierdzenie, że eksperyment różni się od zwykłej obserwacji tym, iż jest projektowany i kontrolowany przez

⁷⁴ Zob. M.T. Banich, R.J. Compton, *Cognitive Neuroscience*, op. cit., s. 79–81.

⁷⁵ Zob. np. *Oxford Guide to Behavioural Experiments in Cognitive Therapy*, red. J. Bennett-Levy, G. Butler, M. Fennell, A. Hackman, M. Mueller, D. Westbrook, Oxford University Press, Oxford 2004.

badacza. Zainteresowanie eksperymentatora może być nakierowane na bardzo różne parametry związane z wykonywanym zadaniem, takie jak np.: poprawność udzielania odpowiedzi na stawiane pytania, poziom uwagi, czas reakcji na określony bodziec wzrokowy lub słuchowy, szybkość podejmowania decyzji czy też poziom stresu. Bardzo ważną rolę w neuronauce poznawczej odgrywają również obserwacje ruchów sakadowych, czyli mimowolnych ruchów oka. Przykładowo, obserwacje tych ruchów są wykorzystywane, wspólnie z innymi technikami, w badaniach nad podejmowaniem decyzji⁷⁶. Dodam jeszcze, że zwykle najciekawsze informacje o funkcjonowaniu aparatu poznawczego człowieka są uzyskiwane właśnie dzięki opracowaniu przemysłnych i błyskotliwych eksperymentów behawioralnych.

Niniejszy rozdział miał charakter przygotowawczy. Zdefiniowałem w nim, co rozumiem przez neuronaukę poznawczą i pokazałem, czym różni się ona od „podstawowej neuronauki” oraz kognitywistyki. Wprowadziłem następnie pojęcie teorii naukowej, przekonując, że w najogólniejszym ujęciu każda teoria jest zbiorem zdań. Trudnością w ujęciu teorii neurokognitywnych jest wielopoziomowość analizy oraz pluralizm źródeł danych. W dwóch kolejnych rozdziałach pokażę, że ten wstępny obraz neuronauki poznawczej jest komplikowany dodatkowo przez wysoki stopień uteoretyzowania badań.

⁷⁶ Zob. P.W. Glimcher, *Neurobiologia wzrokowo-sakadowego podejmowania decyzji*, [w:] *Formy aktywności umysłu. Ujęcia kognitywistyczne*, t. 2: *Ewolucja i złożone struktury poznawcze*, red. A. Klawiter, przeł. A. Wojciechowski, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2009, s. 336–394.