

Mateusz Hohol

## Podstawy neuronauki poznawczej

Celem niniejszego rozdziału jest przybliżenie czytelnikom podstaw – zarówno empirycznych, jak i teoretycznych – neuronauki, rozwoju jej metod badawczych, oraz współczesnego stanu tej dyscypliny z uwzględnieniem stosowanej metodologii oraz przesunięć problemowych, jakie dokonały się w ostatnich dekadach. Ich efektem jest powstanie neuronauki poznawczej, która zrodziła się w wyniku fuzji neuronauki i kognitywistyki jako „podwójnie interdyscyplinarna” perspektywa badań nad mózgowymi uwarunkowaniami umysłu i poznania. „Podwójnie” – bo neuronauka poznawcza z jednej strony bazuje na wiedzy i metodach wspomnianych dziedzin, z drugiej zaś dlatego, że formułowane w jej ramach programy badawcze wykorzystywane są coraz częściej w naukach społecznych.

### 1. Empiryczne postawy neuronauki: rozwój metod

Dla starożytnych Greków siedliskiem duszy było serce. Mózg traktowali oni zwykle jako jeden z organów służebnych wobec niego. Przykładowo Arystoteles, choć spekulował, że w mózgu rezyduje tzw. zmysł wspólny, który scala docierające ze wszystkich zmysłów informacje w jeden strumień, twierdził, że podstawowym zadaniem tego organu jest chłodzenie sercowej pneумы<sup>1</sup>. Dopiero w III w. p.n.e. lekarze aleksandryjscy zaczęli prowadzić systematyczne studia nad anatomią mózgu. Ich zainteresowania koncentrowały się głównie na mózdzku, oponach i komorach, a badania prowadzone były *post mortem* (warto pamiętać, że gr. *anatome* oznacza „rozcięcie”).

Efektom prowadzonych na przestrzeni wieków badań anatomicznych stało się przypuszczenie, że różne rejony mózgu odpowiadają za odmienne funkcje psychiczne<sup>2</sup>. Przypuszczenie to zostało rozwinięte na przełomie XVIII i XIX w. przez

---

<sup>1</sup> E. Crivellato, D. Ribatti, *Soul, mind, brain: Greek philosophy and the birth of neuroscience*, „Brain Research Bulletin” 2007/71(4), s. 327–336.

<sup>2</sup> Zob. M. Glickstein, *Neuroscience: A historical introduction*, Cambridge 2015; J. Thorwald, *Kruchy dom duszy*, Kraków 2016.

Franza Josepha Galla w ramach dyscypliny zwanej frenologią. Gall zlokalizował 27 funkcji psychicznych powiązanych z odpowiednimi obszarami kory mózgowej. Część jego tez opierała się na rzetelnych studiach porównawczych – na przykład uznał, że specyficznie ludzkie cechy umysłu zlokalizowane są w płatach czołowych, gdyż zaobserwował, że u innych zwierząt są one znacznie słabiej rozwinięte – inne zaś opierały się na pojedynczych obserwacjach i świadectwach anegdotycznych – przykładowo ponadprzeciętne zdolności pamięciowe połączył on z wielkością oczu, obserwując obydwie cechy u swojego przyjaciela. Współcześnie przez niektórych badaczy frenologia uważana jest za paranaukę, inni zaś widzą w niej prekursorkę neuropsychologii, a nawet neuronauki poznawczej<sup>3</sup>.

Choć lekarze od wieków zbierali dane na temat korelacji określonych lezji (czyli uszkodzeń mózgu) oraz deficytów poznawczych, pierwsze ścisłe wyniki potwierdzające lub obalające przypuszczenia frenologów pojawiły się dopiero w drugiej połowie XIX wieku za sprawą Paula Brocki i Carla Wernickego. Uważany za ojca neuropsychologii i psycholingwistyki Brocka<sup>4</sup>, odkrył związek lezji okolicy czołowej (zob. badanie 1) z zaburzeniami mowy. Zlokalizowana przez niego struktura, nazywana do dziś ośrodkiem Brocki, usytuowana jest w części wieczkowej i trójkątnej dolnego zakrętu czołowego. Carl Wernicke opisał natomiast związek zaburzeń rozumienia mowy z lezją lewego górnego zakrętu skroniowego. Wspomnieć trzeba jednak, że niektórzy ze współczesnych badaczy przedstawiają argumenty świadczące o tym, że obszar Brocki jest zaangażowany nie tylko w generowanie, ale również rozumienie mowy<sup>5</sup>.

**Badanie 1.** Lezje płatów czołowych, a w szczególności kory przedczołowej (PFC), prowadzić mogą nie tylko do deficytów językowych, ale także zaburzeń funkcjonowania społecznego. Zespół Hanny i Antonia Damasiów przebadał ponownie klasyczny dla neuropsychologii przypadek Phineasa Gage'a<sup>6</sup>. W 1848 r., podczas prac pirotechnicznych na budowie linii kolejowej, brygadzysta Gage uległ poważnemu wypadkowi. W wyniku eksplozji metalowy pręt przeszył lewy policzek Gage'a, uszkodził płaty czołowe mózgu – poważnemu uszkodzeniu uległa między innymi PFC – i poszybował jeszcze kilkadziesiąt metrów dalej. Chociaż Gage przeżył wypadek, a rokowania powrotu do zdrowia były dobre, osobowość pacjenta uległa zmianie. Przed wypadkiem uważany był on za dobrego fachowca i człowieka pełnego energii człowieka, po wypadku zaś stał się niezdecydowany i agresywny, często zmieniał miejsca pracy (które równie często tracił), został nawet atrakcją

---

<sup>3</sup> W.R. Uttal, *The new phrenology: The limits of localizing cognitive processes in the brain*, Cambridge 2003.

<sup>4</sup> L.L. LaPointe, *Paul Broca and the origins of language in the brain*, Abingdon 2012.

<sup>5</sup> F. Pulvermüller, *The neuroscience of language: On brain circuits of words and serial order*, Cambridge 2002.

<sup>6</sup> H. Damasio, T. Grabowski, R. Frank, A.M. Galaburda, A.R. Damasio, *The return of Phineas Gage: Clues about the brain from the skull of a famous patient*, „Science” 1994/264(5162), s. 1102–1105.

cyrkową, demonstrując publicznie swoje rany i pręt, który je spowodował.<sup>7</sup> Hanna i Antonio Damasio zauważają, że na skutek lezji u Gage'a zaburzone zostały przede wszystkim mechanizmy podejmowania decyzji.

Wracając jednak do historii: XIX wiek był nie tylko czasem narodzin wiedzy o specjalizacji struktur mózgowych, ale również kształtowania się poglądów na temat komórkowej budowy mózgu. W 1837 r. czeski fizjolog Jan Evangelista Purkyně odkrył i opisał komórkę mózgu, nazwaną później jego nazwiskiem. Zaobserwował on po raz pierwszy wyrastające z jednej strony ciała komórki rozgałęziające się wypustki (dziś znane jako dendryty) oraz długie włókno z drugiej (akson). W środowisku naukowym panował jednak wówczas pogląd, że mózg nie jest zbudowany z dających się wyodrębnić jednostek, ale stanowi jednolitą substancję. Zaobserwowane przez Purkyněgo struktury uznane zostały więc tylko za niesamodzielne fragmenty tej substancji. W 1873 r. włoski patolog Camillo Golgi – który sam nie uznawał istnienia pojedynczych neuronów – opracował nowatorskie metody barwienia preparatów. Wykorzystane zostały one między innymi przez hiszpańskiego histologa Santiago Ramóna Cajala. W 1888 r. ten ostatni wykazał, że dendryty i aksony nie są ze sobą zrośnięte – dzieli je szczelina synaptyczna, która wynosi od 20 do 40 nm.

Wprawdzie już w 1780 r. włoski lekarz i fizyk Luigi Galvani odkrył, że mięśnie martwych zab drgają pod wpływem porażenia prądem, i mniej więcej od tego czasu przypuszczano, że układ nerwowy przejawia aktywność elektryczną, ale dopiero półtora wieku później zaprezentowano wyniki pierwszych badań elektrometrycznych włókien nerwowych<sup>8</sup>. Bezpośrednią aktywność komórek nerwowych zaobserwowano w hipokampie kota. Dokonano tego na drodze chirurgicznej interwencji, wprowadzając bardzo cienką elektrodę bezpośrednio do ciała komórkowego (lub nieopodal niego). Metoda ta stosowana jest dziś powszechnie we współczesnej neurobiologii w badaniach z udziałem zwierząt, jednak z przyczyn etycznych w badaniach z udziałem ludzi stosuje się ją tylko ze wskazań medycznych w celach diagnostycznych. Niekiedy przy okazji udaje się jednak ujawnić fakty rozszerzające naukową wiedzę o działaniu mózgu (zob. badanie 2).

**Badanie 2.** W trakcie cingulotomii, neurochirurgicznej operacji przeprowadzanej na lekoopornych pacjentach psychiatrycznych, która polega na uszkodzeniu środkowej części zakrętu obręczy, Hutchison i wsp.<sup>9</sup> odnaleźli w przedniej części tej struktury pojedyncze neurony, które wykazywały

<sup>7</sup> Por. jednak kontrowersje opisane w: M. Macmillan, M.L. Lena, *Rehabilitating Phineas Gage*, „Neuropsychological rehabilitation” 2010/20(5), s. 641–658.

<sup>8</sup> M. Piccolino, M. Bressadola, *Shocking frogs: Galvani, Volta, and the electric origins of neuroscience*, Oxford 2013.

<sup>9</sup> W.D. Hutchison, K. Davis, A.M. Lozano, R.R. Tasker, J.O. Dostrovsky, *Pain-related neurons in the human cingulate cortex*, „Nature Neuroscience” 1999/2(5), s. 403–405.

aktywność zarówno w reakcji na bodziec bólowy zadany pacjentowi, jak i podczas obserwacji analogicznego bodźca zadanego innej osobie. Odkrycie to doprowadziło do spekulacji na temat mózgowego podłoża współodczuwania bólu, a w ogólniejszej perspektywie także emocji<sup>10</sup>.

Wracając jednak do rozwoju wiedzy o mózgu, chociaż już Cajal wiedział, że neurony nie łączą się bezpośrednio, mechanizm chemicznej komunikacji synaptycznej odkryty został dopiero w XX wieku. W 1921 r. niemiecki farmakolog Otto Loewi zaobserwował, że zmiana ilości roztworu solnego wokół nerwu błędnego prowadzi do zmiany tętna serca. Stąd wyprowadził on wniosek, że funkcje serca mogą być regulowane na drodze chemicznej. Loewi odkrył również pierwszy z wielu znanych dziś neurotransmiterów – acetylocholinę.

W podobnym czasie, za sprawą niemieckiego psychiatry i neurologa Hansa Bergera, wynaleziona została kolejna, tym razem nieinwazyjna, a więc dająca się stosować w eksperymentach z udziałem zdrowych ochotników, metoda badania elektrycznej aktywności mózgowej: elektroencefalografia (EEG)<sup>11</sup>. Metoda ta polega na rejestracji zmian potencjału elektrycznego na powierzchni głowy. Zmiany te są efektem naturalnej aktywności elektrycznej mózgu. Do badań stosuje się zestaw elektrod, śledząc aktywność populacji neuronów zlokalizowanych w pobliżu każdej z nich. Zapis takiej aktywności nazywany jest elektroencefalogramem. Inwazyjna wersja metody pomiaru elektrycznej aktywności populacji neuronów nazywana jest elektrokortykografią (ECoG). Metoda ta polega na umieszczeniu elektrod bezpośrednio na powierzchni kory mózgowej. Podobną do EEG, również nieinwazyjną, a zarazem nowszą metodą jest magnetoencefalografia (MEG), w której pomiarowi podlegają słabe pola magnetyczne, skorelowane fizycznie z aktywnością elektryczną neuronów. Jej stosowanie wymaga znacznie bardziej skomplikowanej – i znacznie droższej – aparatury.

Choć elektroencefalografia wynaleziona została przed około wiekiem, współcześnie stosuje się ją przede wszystkim ze względu na bardzo dobrą rozdzielczość czasową, czyli czułość na zmiany dynamiki oscylacji w populacjach neuronów. Własność ta sprawia, że za pomocą aparatury EEG można rejestrować nie tylko spontaniczną aktywność mózgu (obserwując np. zmiany faz snu), ale także jego odpowiedź na działanie serii bodźców (np. wzrokowych lub słuchowych) zadanych przez eksperymentatora. W takim wypadku mówimy o badaniu z wykorzystaniem metody potencjałów wywołanych (ang. *event-related potentials* – ERP)<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> Zob. A. Coplan, P. Goldie, *Empathy: Philosophical and psychological perspectives*, Oxford 2014; J. Zaki, K. Ochsner, *The neuroscience of empathy: progress, pitfalls and promise*, „Nature Neuroscience” 2012/15(5), s. 675–680.

<sup>11</sup> P. Jaśkowski, *Zarys psychofizjologii*, Warszawa 2003; P. Jaśkowski, *Neuronauka poznawcza*, Warszawa 2009.

<sup>12</sup> S.J. Luck, *An introduction to the Event-Related Potential technique*, Cambridge 2014.

Kamieniem milowym rozwoju badań nad mózgiem było pojawienie się w latach 60. XX wieku – i rozwój w kolejnych dekadach – pozytonowej tomografii emisyjnej (ang. *positron emission tomography* – PET), techniki, która zapoczątkowała erę funkcjonalnego neuroobrazowania<sup>13</sup>. Metody funkcjonalnego neuroobrazowania wykorzystują fakt, że struktury mózgowe, zaangażowane szczególnie w określone zadanie, cechują się podwyższoną aktywnością metaboliczną<sup>14</sup>. Niezbędne zasoby energetyczne dostarczane są przez utlenowaną krew. W przypadku metody PET osobie badanej do krwioobiegu podaje się radioaktywny izotop (choć jego dawka jest bezpieczna, ze względu na konieczność iniekcji, technikę uznać można za inwazyjną dla osoby badanej). Podczas rozpadu każda cząsteczka substancji emituje pozyton, który zderzając się ze znajdującym się w bliskim otoczeniu tkanki elektronem emituje kwanty promieniowania elektromagnetycznego. Promieniowanie to rejestrowane jest przez system detektorów, będących częścią aparatury diagnostyczno-badawczej. Gdy dwa detektory w jednym momencie zarejestrują kwanty promieniowania, oznacza to, że ich źródło zlokalizowane jest dokładnie w połowie drogi. Stąd też wiadomo, które struktury mózgowe emitują rejestrowany sygnał, co z kolei umożliwia sporządzenie mapy aktywności mózgowej. O ile metoda PET cechuje się akceptowalną rozdzielczością przestrzenną (w praktyce rejestrowana jest jednak aktywność skupisk milionów komórek), jej rozdzielczość czasowa, pozostawia wiele do życzenia – sygnał rejestrowany jest co kilkanaście sekund.

Znacznie lepszą rozdzielczością czasową cechuje się młodsza, nieinwazyjna, a zarazem obecnie najbardziej popularna (zob. badanie 3), technika badań aktywności mózgowej: funkcjonalne obrazowanie rezonansem magnetycznym (*functional magnetic resonance imaging* – fMRI)<sup>15</sup>. Zaczęła się ona upowszechniać w latach 90. XX wieku. Podobnie jak w przypadku PET, za pomocą techniki fMRI nie mierzy się bezpośrednio bioelektrycznej aktywności mózgu, lecz skorelowaną z nią aktywność hemodynamiczną – tzw. sygnał zależny od utlenowania krwi (ang. *blood-oxygen-level dependent* – BOLD). Neuroobrazowanie jest możliwe, gdyż hemoglobina, czyli białko zawarte w erytrocytach, odpowiedzialna za przeniesienie tlenu, reaguje na pole magnetyczne. Ponieważ do szczególnie zaangażowanych w dane zadanie obszarów mózgu dostarczana jest większa ilość tlenu, odróżniając hemoglobinę niosącą tlen od hemoglobiny nieutlenowanej, wnioskować można na temat różnic aktywności poszczególnych struktur mózgu w danym momencie<sup>16</sup>. Choć zarówno rozdzielczość czasowa (sięgająca sekund), jak

<sup>13</sup> *Positron Emission Tomography*, red. D.L. Bailey, D.W. Townsend, P.E. Valk, M.N. Maisey, London 2006.

<sup>14</sup> P. Jaśkowski, *Neuronauka...*; W.W. Orrison Jr, J.D. Lewine, J.A. Sanders, M.F. Hartshorne, *Functional Brain Imaging*, New York 2015.

<sup>15</sup> *Ibidem*.

<sup>16</sup> N.K. Logothetis, J. Pauls, M. Augath, T. Trinath, *Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal*, „Nature” 2001/412(6843), s. 150–157.

i przestrzenna (rzędu milimetrów sześciennych) tej techniki umożliwia prowadzenie zaawansowanych badań, trzeba zdawać sobie sprawę, że nie jest ona – jak zresztą każda inna – omnipotentna. Przykładowo, w literaturze wskazuje się, że pewne procesy mogą być realizowane poniżej rejestrowanego progu aktywności hemodynamicznej<sup>17</sup> i odwrotnie – ze wzrostem sygnału BOLD nie musi korelować spodziewany wzrost aktywności neuronalnej<sup>18</sup>.

**Badanie 3.** Badania neuronaukowe nad rozwiązywaniem dylematów moralnych przeprowadzone zostały między innymi przez Joshuę Greene'a<sup>19</sup>. W wykorzystano w nich dwa warianty modelowego dylematu, będące od dawna przedmiotem dociekań etyków<sup>20</sup>: na jednym z torów kolejowych znajduje się jedna osoba, a na sąsiednim pięć osób. W pierwszej wersji osoby badane miały się wczuć w następującą sytuację: „Obserwujesz z bezpiecznej odległości pociąg oraz robotników znajdujących się na torach. Możesz pociągnąć za dźwignię, co doprowadzi do przekierowania pociągu na drugi tor. Jeśli tego nie zrobisz, rozpędzony pociąg uderzy w grupę pięciu osób, zabijając wszystkie z nich. Jeśli pociągniesz za dźwignię, pociąg uśmierci jedną osobę, która znajduje się na sąsiednim torze”. Druga wersja tej sytuacji jest następująca: „Znajdujesz się na mostku nad torami. Nie jesteś tam sam – nieopodal stoi nieznan ci, dobrze zbudowany przechodzień, niosący na plecach ciężki plecak. Nadjeżdżający pociąg za chwilę uderzy niechybnie w pięć osób znajdujących się na torach. Możesz je uratować, spychając z mostka postawnego przechodnia z plecakiem. Zepchnięta przez ciebie osoba zginie, ale pociąg wyhamuje i nie uderzy w piątkę osób znajdujących się dalej na torach”.

Choć skutki decyzji w obydwu wersjach dylematu są takie same (umiera albo jedna, albo pięć osób), zgodnie z wynikami Greene'a ludzie nie zachowują się tak samo w obydwu sytuacjach: w pierwszej wersji dylematu większość ludzi decyduje się na pociągnięcie dźwigni, a więc uśmierca jedną osobę, by uratować pięć. W drugiej wersji natomiast mało kto wybiera opcję uratowania pięciu osób, decydując się na zepchnięcie przechodnia<sup>21</sup>. Podejmowanie decyzji zależy od działania PFC. Badania Greena wskazują jednak, że obydwa rodzaje dylematów angażują różne rejony PFC. W przypadku dylematów niewymagających osobistego (pociągnięcie dźwigni) zaangażowania, zarejestrowano zwiększoną aktywność grzbietowo-bocznej PFC,

---

<sup>17</sup> V.G. Hardcastle, C.M. Stewart, *What do brain data really show?*, „Philosophy of Science” 2002/69(S3), s. S72–S82.

<sup>18</sup> Y.B. Sirotnin, A. Das, *Anticipatory haemodynamic signals in sensory cortex not predicted by local neuronal activity*, „Nature” 2009/457(7228), s. 475–479.

<sup>19</sup> J.D. Greene, *An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment*, „Science” 2001/293(5537), s. 2105–2108; J.D. Greene, *From neural “is” to moral “ought”: what are the moral implications of neuroscientific moral psychology?*, „Nature Reviews Neuroscience” 2003/4(10), s. 846–850.

<sup>20</sup> P.Foot, *The problem of abortion and the doctrine of double effect*, „Oxford Review” 1967/5, s. 5–15.

<sup>21</sup> J.D. Greene, *Moral tribes: emotion, reason and the gap between us and them*, New York 2013.

zaś w przypadku dylematów wymagających osobistego zaangażowania (własnoręcznego zepchnięcia osoby) brzuszno-przyśrodkowej PFC. O ile pierwsza z tych struktur kojarzona jest zazwyczaj z planowanym i racjonalnym działaniem, druga jest strukturą emocjonalną, o czym decydują między innymi jej połączenia z ciałem migdałowatym.

W przypadku eksperymentów przeprowadzanych z użyciem PET oraz fMRI, osoba badana musi leżeć nieruchomo w ciasnej i głośnej aparaturze sporych gabarytów. W takich warunkach trudno zachować trafność ekologiczną (podobieństwo do naturalnych uwarunkowań, w których przebiegają badane procesy), na co zwraca się uwagę między innymi w przypadku funkcjonalnego neuroobrazowania bezpośrednich interakcji społecznych<sup>22</sup>. Możliwość taką oferuje spektroskopia bliskiej podczerwieni (ang. *near infrared spectroscopy* – NIRS; zob. badanie 4). Jest to nieinwazyjna metoda, polegająca na przepuszczaniu przez czaszkę słabych promieni lasera o częstotliwości fali świetlnej. Podstawą pomiaru jest fakt, że utlenowana krew – której cyrkulacja koreluje z aktywacjami neuronalnymi – absorbuje fale o innej częstotliwości niż krew nieniosąca tlenu<sup>23</sup>.

**Badanie 4.** Cui, Bryant and Reiss prosili pary osób, by siedząc obok siebie grały w komputerową grę wymagającą kooperacji<sup>24</sup>. Aparatura NIRS rozmieszczona została na powierzchni skóry ich głów. Badacze zaobserwowali, że sygnał generowany w przez struktury prawej górnej kory czołowej obydwu graczy spójnie wzrastał podczas kooperacji (w odróżnieniu od warunku, gdy osoby badane konkurowały ze sobą). Co więcej, wzrost koherencji korelował pozytywnie z jakością kooperacji. Wyniki niniejszego eksperymentu stanowią argument za zaangażowaniem prawej górnej kory czołowej w kooperację oraz zwracają uwagę, że podczas interakcji społecznych aktywność struktur mózgowych ich uczestników jest wzajemnie modulowana.

Omówione dotychczas metody różnią się sposobem wnioskowania na temat korelacji funkcji poznawczych oraz aktywacji poszczególnych struktur mózgowych. O ile w przypadku rejestracji aktywności pojedynczych neuronów, EEG, ECoG, MEG, PET, fMRI oraz NIRS badacze oddziałują na cały mózg, eksponując osobie

<sup>22</sup> W. Casebeer, P.S. Churchland, *Neuronalne mechanizmy poznania moralnego: wieloaspektowe podejście do oceny moralnej i podejmowania decyzji moralnych* [w:] *Formy aktywności umysłu: Ujęcia kognitywistyczne*, red. A. Klawiter, vol. 2, Warszawa 2009, s. 395–421; P.R. Montague, G.S. Berns, J.D. Cohen, S.M. McClure, G. Pagnoni, M. Dhamala i in., *Hyperscanning: Simultaneous fMRI during linked social interactions*, „*NeuroImage*” 2002/16(4), s. 1159–1164.

<sup>23</sup> E. Keller, A. Nadler, H. Alkadhi, S.S. Kollias, Y. Yonekawa, P. Niederer, *Noninvasive measurement of regional cerebral blood flow and regional cerebral blood volume by near-infrared spectroscopy and indocyanine green dye dilution*, „*NeuroImage*” 2003/20(2), s. 828–839.

<sup>24</sup> X. Cui, D.M. Bryant, A.L. Reiss, *NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation*, „*NeuroImage*” 2012/59(3), s. 2430–2437.

badanej różnego rodzaju bodźce i próbują odgadnąć zaangażowanie poszczególnych części w przetwarzanie tych bodźców (w zależności od metody częściami są albo pojedyncze komórki, albo całe ich populacje), o tyle w przypadku badań nad lezjami chodzi o to, by na podstawie informacji o dysfunkcji części systemu wyciągnąć wnioski o jej zaangażowaniu zarówno w konkretne zadanie, jak i funkcjonowanie całego systemu<sup>25</sup>.

Rozwój technik neuronauki poznawczej umożliwił jednak przeprowadzanie nieinwazyjnych badań, których założenie zbliżone jest do studiów nad lezjami. W połowie lat 80. XX wieku skonstruowano pierwsze urządzenie umożliwiające przeczaszkową stymulację magnetyczną (*transcranial magnetic stimulation* – TMS)<sup>26</sup>. Stosowanie tej metody polega na umieszczeniu cewki w pobliżu powierzchni głowy. Wykorzystując indukcję elektromagnetyczną, cewka generuje słabe napięcie elektryczne, stymulujące aktywność zbliżonych struktur mózgowych. O zaangażowaniu funkcjonalnym danej struktury mózgowej wnioskować można, porównując zachowanie osób badanych przed stymulacją, jak i po niej. Ze względu na całkowitą odwracalność efektu, metoda ta uznawana jest za nieinwazyjną.

Pełna nazwa metody	Skrót	Inwazyjność	Mierzony sygnał
rejestrowanie aktywności pojedynczych neuronów		inwazyjna	elektryczny
elektroencefalografia	EEG	nieinwazyjna	elektryczny
elektrokortykografia	ECoG	inwazyjna	elektryczny
magnetoencefalografia	MEG	nieinwazyjna	magnetyczny
przeczaskowa stymulacja magnetyczna	TMS	nieinwazyjna	elektromagnetyczny
pozytronowa tomografia emisyjna	PET	inwazyjna	hemodynamiczny
funkcjonalne obrazowanie rezonansem magnetycznym	fMRI	nieinwazyjna	hemodynamiczny
spektroskopia bliskiej podczerwieni	NIRS	nieinwazyjna	hemodynamiczny

Tabela 1. Przegląd metod neuronauki poznawczej z uwzględnieniem inwazyjności oraz rodzaju mierzonego sygnału. Oprócz TMS, która jest metodą stymulacyjną, pozostałe metody polegają na rejestracji sygnału.

<sup>25</sup> W. Bechtel, *Aligning multiple research techniques in cognitive neuroscience: Why is it important?*, „Philosophy of Science” 2002/69(S3), s. S48–S58.

<sup>26</sup> E. Wassermann, C. Epstein, U. Ziemann, *Oxford Handbook of Transcranial Stimulation*, Oxford 2008.



## 2. Od kognitywistyki do neuronauki poznawczej

W poprzedniej sekcji przyjrzelśmy się historii neuronauk widzianej przez pryzmat rozwoju metod badań mózgu. Milowym krokiem – który postawiony został *de facto* już przez frenologów – była koncentracja wysiłków badawczych nie tylko na samej anatomii, ale też na funkcjonalnej specjalizacji struktur mózgowych, a więc ich zaangażowania na przykład w poszczególne funkcje poznawcze. Ukoronowaniem tych wysiłków było powstanie w latach 90. XX wieku neuronauki poznawczej, będącej fuzją neuronauki (neurobiologii) i kognitywistyki (psychologii poznawczej). Zanim omówimy teoretyczne podstawy neuronauki poznawczej, trzeba cofnąć się do połowy lat 50. ubiegłego stulecia, kiedy z informatyki, psychologii i lingwistyki matematycznej wyłoniła się kognitywistyka, czyli „multidyscyplinarny program badawczy, zajmujący się poznaniem oraz jego rolą w inteligentnym działaniu”<sup>27</sup>.

Wśród wczesnych kognitywistów, takich jak Alan Turing, Herbert Simon, Allan Newell, George Miller i Noam Chomsky, dominowało przekonanie, że ludzki umysł to maszyna operująca na abstrakcyjnych reprezentacjach o charakterze propozycjonalnym<sup>28</sup>. Zgodnie z popularną metaforą komputerową, umysł ma się do mózgu tak jak program do fizycznej struktury komputera. W takim ujęciu ludzkie poznanie badane było jako autonomiczne względem aktywności mózgowej: kognitywistów interesowało umysłowe oprogramowanie mózgu.

Paradygmatycznym przykładem jest generatywizm Noama Chomsky’ego<sup>29</sup>. Uczony ten chciał wyjaśnić między innymi zdolność małych dzieci do szybkiego przyswajania języka. W tym celu postulował on istnienie wrodzonej kompetencji językowej, która obejmuje kluczowe reguły gramatyczne dostrajane na podstawie bodźców do aktualnego kontekstu kulturowego (czyli konkretnego języka). Według Chomsky’ego wyjaśnienie kompetencji językowych odwoływać ma się nie tyle do wskazania powiązanych z nimi struktur mózgowych – albo innych czynników biologicznych – ale odtworzenia funkcjonalnej architektury modułu przyswajania języka.

Wczesna kognitywistyka opierała się na konsekwentnym stosowaniu dwóch metod badawczych: eksperymentach behawioralnych oraz symulacji komputerowych. Pierwsze z nich bazują na przyjmowanym już przez XIX-wiecznego uczonego, Franciscusa Dondersa<sup>30</sup> – okuliste, a zarazem jednego z twórców psychologii eksperymentalnej – założeniu, że procesy poznawcze przebiegają w czasie.

<sup>27</sup> W. Bechtel, A. Abrahamsen, G. Graham, *The life of cognitive science* [w:] *A companion to cognitive science*, red. W. Bechtel, G. Graham, Malden 1998, s. 3.

<sup>28</sup> *Ibidem*.

<sup>29</sup> N. Chomsky, *Rules and representations*, New York 1980.

<sup>30</sup> F.C. Donders, *On the speed of mental processes*, „Acta Psychologica” 1969/30, s. 412–431 (oryginalnie praca ukazała się w 1868 r.).

Stąd też metoda badawcza polegająca na badaniu czasu reakcji na eksponowane bodźce określona została mianem „chronometrii umysłu”. W pierwszej połowie XX wieku stosowana była ona między innymi przez behawiorystów. Psychologia poznawcza, później interdyscyplinarna kognitywistyka, rozwinęła tę metodę<sup>31</sup>. W typowym przypadku osoby badane otrzymują instrukcję, w jaki sposób reagować na konkretne bodźce (np. naciskać odpowiedni przycisk, gdy wyświetlony zostanie konkretny bodziec). Badaczy interesują przede wszystkim dwie zmienne: poprawność (odsetek reakcji zgodnych z instrukcją) oraz czas reakcji na poszczególne bodźce. Wyniki eksperymentów dostarczać miały informacji na temat warunków brzegowych dla symulacji komputerowych, symulacje zaś dostarczać przewidywać, podlegających testom z udziałem ochotników. Można więc powiedzieć – być może za cenę uproszczenia – że celem wczesnej kognitywistyki było zrozumienie ludzkiego umysłu poprzez konstrukcję komputerowych modeli procesów poznawczych zgodnych z wynikami eksperymentów behawioralnych i badań samoopisowych<sup>32</sup>.

Chronometria umysłu jest także podstawowym narzędziem współczesnych nauk o poznaniu, w tym również neuronauki poznawczej<sup>33</sup>. W typowych badaniach z wykorzystaniem EEG lub technik neuroobrazowania (np. fMRI) sygnał mózgowy koreluje się z uśrednionymi reakcjami motorycznymi osoby badanej w danym warunku eksperymentalnym, uwzględniając ich poprawność oraz czas. Zastosowania badawcze chronometrii umysłu są wręcz niewyczerpane – na podstawie pomiaru czasów reakcji i poprawności odpowiedzi wnioskować można między innymi o poznawczych podstawach przeprowadzania rozumowań, uczenia się reguł, wyobrażania sobie obiektów i ich przekształceń czy przetwarzania pojęć (zob. badanie 5).

**Badanie 5.** Jedną ze standardowych procedur badawczych stosowanych w psychologii eksperymentalnej i kognitywistyce jest tzw. test decyzji leksykalnych<sup>34</sup>. Osobom badanym prezentowane są kolejno na ekranie ciągi liter, a ich zadaniem jest za każdym razem zdecydowanie poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku, czy dany ciąg jest czy nie jest poprawnym słowem danego języka (np. „fajka” jest słowem, ale „faxka” nim nie jest). Na

<sup>31</sup> A.R. Jensen, *Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences*, Amsterdam 2006; D.E. Meyer, A.M. Osman, D.E. Irwin, S. Yantis, *Modern mental chronometry*, „Biological Psychology” 1988/26(1–3), s. 3–67.

<sup>32</sup> B. Von Eckardt, *What is Cognitive Science?*, Cambridge, MA 1995; J.E. Laird, A. Newell, P.S. Rosenbloom, *SOAR: An architecture for general intelligence*, „Artificial Intelligence” 1987/33(1), s. 1–64; A. Newell, J.C. Shaw, H.A. Simon, *Elements of a theory of human problem solving*, „Psychological Review” 1958/65(3), s. 151–166.

<sup>33</sup> M.I. Posner, *Timing the brain: Mental chronometry as a tool in neuroscience*, „PLOS Biology” 2005/3(2), e51.

<sup>34</sup> D.E. Meyer, R.W. Schvaneveldt, *Facilitation in recognizing pairs of words: Evidence of a dependence between retrieval operations*, „Journal of Experimental Psychology” 1971/90(2), s. 227–234.

podstawie uśrednionych czasów reakcji na określone grupy (prawdziwych) słów wnioskować można o mechanizmach przetwarzania pojęć. W szczególności wiadomo, że słowa nacechowane afektywnie, takie jak na przykład „śmierć” przetwarzane są szybciej (o czym świadczą szybsze reakcje w teście decyzji lekcyjnych) niż słowa neutralne<sup>35</sup>. Efekt ten nie występuje jednak u psychopatów<sup>36</sup>, co jest spójne z obserwacją, że osoby diagnozowane jako psychopatyczne często przejawiają różnego rodzaju deficyty emocjonalne<sup>37</sup>.

O ile u zarania tożsamość kognitywistyki wyznaczana była przez psychologię, informatykę i lingwistykę, o tyle wraz z rozwojem dyscyplina ta otwierać zaczęła się na neuronaukę. Chociaż już od początku lat 80. XX wieku kognitywiści zaczęli zwracać większą uwagę na mózgowie podłoże procesów poznawczych<sup>38</sup>, prawdziwa rewolucja dokonała się na przełomie dekad. Jedynym z czynników, które wywarły ważny wpływ na rozwój neuronauki poznawczej, było upowszechnienie omówionego wcześniej fMRI. W 1989 r. opublikowany został pierwszy numer czasopisma „Journal of Cognitive Neuroscience”. Jego redaktorem był Michael Gazzaniga – uczony, który w historię nauki wpisał się jako swego rodzaju *spiritus movens* nowej dyscypliny<sup>39</sup>. O ile wczesna kognitywistyka zakładała, że umysł traktować można jako problem badawczy autonomiczny względem nauk biologicznych, neuronauka poznawcza zmieniła ten stan rzeczy. Jak pisze Revonsuo:

„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 własności”<sup>40</sup>.

<sup>35</sup> E. Strauss, *Perception of emotional words*, „Neuropsychologia” 1983/21(1), s. 99–103.

<sup>36</sup> S. Williamson, T.J. Harpur, R.D. Hare, *Abnormal processing of affective words by psychopaths*, „Psychophysiology” 1991/28(3), s. 260–273.

<sup>37</sup> C.J. Patrick, B.N. Cuthbert, P.J. Lang, *Emotion in the criminal psychopath: Fear image processing*, „Journal of Abnormal Psychology” 1994/103(3), s. 523–534.

<sup>38</sup> W. Bechtel, A. Abrahamsen, G. Graham, *The life of cognitive science...*, s. 3.

<sup>39</sup> *The cognitive neurosciences*, red. M.S. Gazzaniga, Cambridge, MA 1995; M.S. Gazzaniga, R.B. Ivry, *Cognitive neuroscience: The biology of the mind*, New York 1998; *The cognitive neuroscience of mind: A tribute to Michael S. Gazzaniga*, red. P.A. Reuter-Lorenz, K. Baynes, G. Mangun, E. Phelps, Cambridge 2010.

<sup>40</sup> A. Revonsuo, *O naturze wyjaśniania w neuronaukach*, „Poznańskie Studia z Filozofii Humanistyki: Funkcje umysłu” 2010/8(21), s. 287–288.

Neuronauka poznawcza z jednej strony rzuca nowe światło na problemy badawcze klasycznej kognitywistyki, takie jak wspomniane wyżej przeprowadzanie rozumowań<sup>41</sup>, niejawne uczenie się reguł<sup>42</sup>, wyobrażenia przestrzenne<sup>43</sup> czy przetwarzanie pojęć<sup>44</sup>, ale bada również zjawiska, wkraczające w dziedzinę nauk społecznych, takie jak podejmowanie decyzji czy kierowanie się regułami społecznymi (zob. badanie 6).

**Badanie 6.** W eksperymencie z wykorzystaniem fMRI Schlein i wsp. przebadali zaangażowanie struktur mózgowych prawników po egzaminach uprawniających do wykonywania zawodu i grupy kontrolnej w podejmowanie dwóch typów decyzji: prawnych oraz moralnych<sup>45</sup>. W przypadku decyzji prawnych badawcze zarejestrowali zwiększoną aktywność w grzbietowo-bocznej PFC, struktury związanej z racjonalnym planowaniem i kierowaniem się regułami (por. badanie 3). Okazało się również, że w porównaniu do grupy kontrolnej prawnicy są mniej zaangażowani emocjonalnie w podejmowanie innych niż prawne decyzji, wymagających korzystania z reguł, a więc także decyzji moralnych. Wynik ten wskazuje, że nabywanie wiedzy eksperckiej może trwale modyfikować aktywność struktur mózgowych zaangażowanych w podejmowanie decyzji.

### 3. Teoretyczne podstawy neuronauki: mechanicyzm

Zdaniem Michaela Gazzanigi zadanie neuronauki poznawczej polega na tym, że „łączy mózg i poznanie w sposób mechanistyczny”<sup>46</sup>. Według Williama Bechtela również sam umysł jest złożonym mechanizmem wytwarzającym zjawiska, które nazywamy „mentalnymi” bądź „psychologicznymi”<sup>47</sup>. Teoretyczne podstawy neuronauki poznawczej nawiązują więc do mechanicyzmu – przyjmowanej przez XVII-wiecznych filozofów idei, zgodnie z którą wszechświat i przyroda mogą być wyjaśniane w kategoriach części i ich systematycznych

---

<sup>41</sup> J. Prado, A. Chadha, J.R. Booth, *The brain network for deductive reasoning: A quantitative meta-analysis of 28 neuroimaging studies*, „Journal of Cognitive Neuroscience” 2011/23(11), s. 3483–3497.

<sup>42</sup> M.D. Lieberman, G.Y. Chang, J. Chiao, *An event-related fMRI study of artificial grammar learning in a balanced chunk strength design*, „Journal of Cognitive Neuroscience” 2004/16(3), s. 427–438.

<sup>43</sup> G. Ganis, W.L. Thompson, S.M. Kosslyn, *Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: an fMRI study*, „Cognitive Brain Research” 2004/20(2), s. 226–241.

<sup>44</sup> W.K. Simmons, V. Ramjee, M.S. Beauchamp, K. McRae, A. Martin, L.W. Barsalou, *A common neural substrate for perceiving and knowing about color*, „Neuropsychologia” 2007/45(12), s. 2802–2810.

<sup>45</sup> S. Schlein, T.M. Spranger, S.M. Erk, H. Walter, *From moral to legal judgment: the influence of normative context in lawyers and other academics*, „Social Cognitive and Affective Neuroscience” 2011/6(1), s. 48–57.

<sup>46</sup> *The cognitive neurosciences...*, red. M.S. Gazzaniga, s. xiii.

<sup>47</sup> W. Bechtel, *Mental mechanisms: Philosophical perspectives on cognitive neuroscience*, New York 2008.

interakcji<sup>48</sup>. Co więcej, ujęcie takie jest zgodne ze współczesnymi poglądami na biologię, która postrzegana jest jako nauka wyjaśniająca zjawiska „poprzez odkrywanie mechanizmów”<sup>49</sup>.

Aby odróżnić jednak współczesną perspektywę teoretyczną neuronauki<sup>50</sup> oraz kognitywistyki<sup>51</sup> od XVII-wiecznych mechanistycznych wyjaśnień funkcjonowania ciała ludzkiego (np. pojmowania serca jako pompy, co zaproponował William Harvey), niekiedy mówi się o „neo-mechanicyzmie” albo „nowym mechanicyzmie”.

Podstawowym pojęciem tego podejścia jest oczywiście „mechanizm”, który może być charakteryzowany następująco:

- „Mechanizm odpowiedzialny za dane zachowanie jest złożonym układem, który wywołuje to zachowanie dzięki, (...) zgodnym z bezpośrednimi przyczynami przyczynowymi, oddziaływaniami, pewnej liczby części”<sup>52</sup>.
- „Mechanizm jest strukturą pełniącą funkcję ze względu na swoje części składowe, operacje części i ich organizację. Działanie mechanizmu odpowiedzialne jest za jedno lub więcej zjawisk”<sup>53</sup>.
- „Mechanizmy są to przedmioty i działania zorganizowane w taki sposób, że wywołują regularne zmiany od początku, albo stanu wyjściowego, do końca, albo warunków zakończenia”<sup>54</sup>.

Chociaż, jak widać, poszczególni współcześni teoretycy proponują ujęcia różniące się w szczegółach, w ogólności mechanizmy to złożone z wielu części układy, które jako całości charakteryzują się określonymi wzorcami działania (dyspozycjami). Kluczowa idea mechanicyzmu głosi natomiast, że „dyspozycja ta jest wyjaśniana przyczynowo jako rezultat oddziaływania między częściami mechanizmu, jego organizacji i zachodzących w nim procesów”<sup>55</sup>. Ponieważ w naukach biologicznych – w odróżnieniu od fizyki – uniwersalne prawa przyrody nie są

<sup>48</sup> M. Heller, J. Życiński, *Wszechświat: Maszyna czy myśl?*, Kraków 2014.

<sup>49</sup> W.C. Wimsatt, *Complexity and organization*, New York 1972.

<sup>50</sup> W. Bechtel, *Investigating neural representations: the tale of place cells*, „Synthese” 2016/193(5), s. 1287–1321; C.F. Craver, *Explaining the brain: Mechanisms and the mosaic unity of neuroscience*, Oxford 2009; C.F. Craver, L. Darden, *In search of mechanisms*, Chicago 2013; P. Machamer, L. Darden, C.F. Craver, *Myslenie w kategoriach mechanizmów*, „Przegląd Filozoficzno-Literacki” 2011/2–3(31), s. 145–173; G. Piccinini, C.F. Craver, *Integrating psychology and neuroscience: functional analyses as mechanism sketches*, „Synthese” 2011/183(3), 283–311.

<sup>51</sup> W. Bechtel, *Mental mechanisms...: P. Gładziejewski, Explaining cognitive phenomena with internal representations: A mechanistic perspective*, „Studies in Logic, Grammar and Rhetoric” 2015/40(1), s. 1–28; P. Gładziejewski, *Wyjaśnianie za pomocą reprezentacji mentalnych: Perspektywa mechaniczna*, Toruń 2015; M. Miłkowski, *Explaining the computational mind*, Cambridge 2013; M. Miłkowski, *Wyjaśnianie w kognitywistyce*, „Przegląd Filozoficzny: Nowa Seria” 2014/2(86), s. 151–166.

<sup>52</sup> S.S. Glennan, *Mechanisms and the nature of causation*, „Erkenntnis” 1996/44(1), s. 52.

<sup>53</sup> W. Bechtel, *Mental mechanisms...*, s. 13.

<sup>54</sup> P. Machamer, L. Darden, C.F. Craver, *Myslenie...*, s. 147.

<sup>55</sup> M. Miłkowski, *Wyjaśnianie...*, s. 153.

formułowane dość często<sup>56</sup>, wyjaśnianie neuronaukowe nie polega na wywnioskowaniu wyjaśnianego zjawiska (*explanandum*) z koniunkcji zdań opisujących warunki początkowe oraz prawo przyrody (*explanans*)<sup>57</sup>, ale na wskazaniu i opisie struktury przyczynowej zjawiska.

Stąd też mechanistyczne wyjaśnianie zjawisk interesujących neuronaukę wymaga eksplikacji przyczynowości. Intuicyjny wymóg, by znajdujące się w związku przyczynowo-skutkowym zjawiska były odpowiednio ułożone w czasie, w tym sensie, że przyczyna jest wcześniejsza niż skutek, jest konieczny, ale nie jest wystarczający. Nie pozwala bowiem odróżnić przyczynowości od korelacji. Podobnie jest ze stycznością obiektów w przestrzeni. Oznacza to, że przyczynowości nie da się zaobserwować. Stąd też wielu zwolenników wyjaśniania mechanistycznego przyjmuje tzw. manipulacyjną teorię przyczynowości sformułowaną przez Woodwarda<sup>58</sup>. Jej punktem wyjścia jest stwierdzenie, że o przyczynowości wnioskować można tylko na podstawie wyników kontrolowanych eksperymentów, tj. takich, w których manipuluje się wartościami zmiennych. Innymi słowy, wyjaśnienia przyczynowe to takie, które mówią, jak modyfikacja wartości jednej zmiennej modyfikuje wartości innej zmiennej. Teoria ta, a szczególnie jej sformalizowana wersja opracowana przez Pearlą<sup>59</sup>, znajduje zastosowanie nie tylko w badaniach eksperymentalnych, ale również w komputerowych modelach budowanych w kognitywistyce i neuronauce obliczeniowej<sup>60</sup>.

W praktyce wyjaśnienia formułowane w neuronauce polegają na opisie mechanizmów, które odwołują się do diagramów, rysunków pomocniczych itd. Przykładowo, fundamentalnym dla neuronauki mechanizmem jest neurotransmisja. Błona komórki nerwowej zachowuje stan polaryzacji, co oznacza, że wewnątrz komórki posiada ujemny ładunek w stosunku do jej zewnątrz. Różnica napięcia elektrycznego z obydwu stron błony neuronu określana jest jako potencjał spoczynkowy. Potencjały spoczynkowe neuronów wynoszą w dużym przybliżeniu  $-70\text{mV}$  (w istocie przybierają wartości z przedziału od  $-65\text{mV}$  do  $-90\text{mV}$ ). Depolaryzacja polega na zmniejszeniu elektroujemnego potencjału błony. Zjawisko to związane jest ze zmianami w dystrybucji jonów. Błona komórkowa jest selektywnie przepuszczalna. W zależności od warunków, kanały mogą przepuszczać jony lub nie. Przepływ jonów reguluje pompa sodowo-potasowa, która wydalą na zewnątrz neuronu trzy jony  $\text{Na}^+$ , wpuszczając do środka dwa jony  $\text{K}^+$ . Napływ jonów  $\text{Na}^+$  do wnętrza komórki prowadzi do zwiększenia potencjału wewnątrz neuronu. Jeśli

<sup>56</sup> C.F. Craver, M.I. Kaiser, *Mechanisms and laws: Clarifying the debate* [w:] *Mechanism and causality in biology and economics*, vol. 3, Dordrecht 2013, s. 125–145; M. Hohol, *Wyjaśnić umysł: Struktura teorii neurokognitywnych*, Kraków 2017.

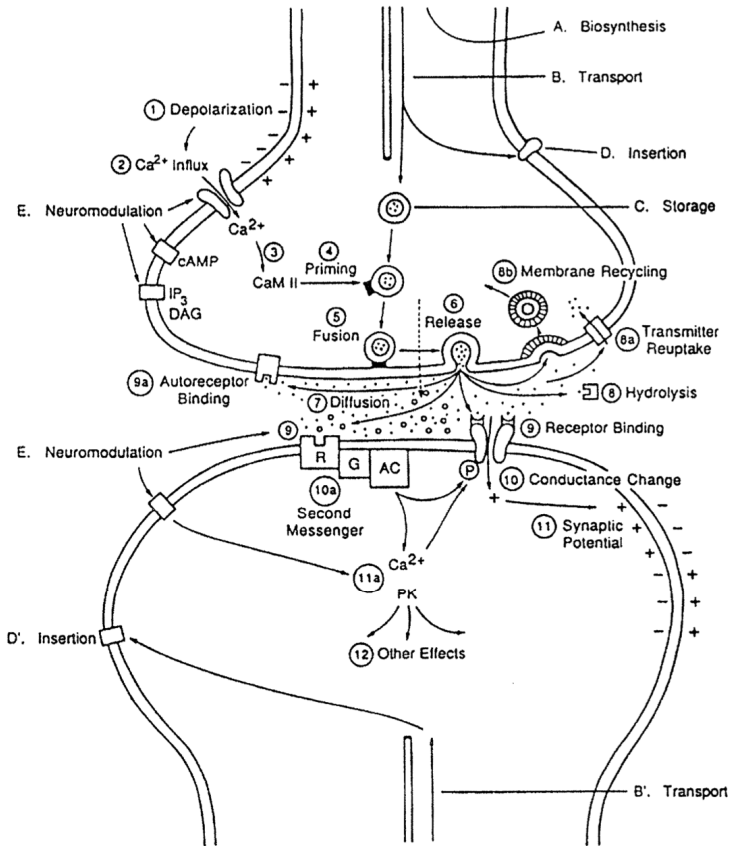
<sup>57</sup> C.G. Hempel, P. Oppenheim, *Studies in the logic of explanation*, „Philosophy of Science” 1948/15(2), s. 135–175.

<sup>58</sup> J. Woodward, *Making things happen: A theory of causal explanation*, Oxford 2013.

<sup>59</sup> J. Pearl, *Causality: Models, reasoning and Inference*, Cambridge 2009.

<sup>60</sup> M. Miłkowski, *Explaining...*

komórka (o potencjale spoczynkowym) zostanie pobudzona, powstaje potencjał czynnościowy (informacja przykazywana jest do neuronu postsynaptycznego). Mechanizm ten, podobnie jak każdy inny, charakteryzowany jest przez warunki początkowe, pośrednie oraz końcowe<sup>61</sup>.



Rycina 1. Graficzna reprezentacja mechanizmu neuroprzekaźnikowego (G.M. Shepherd, *Neurobiology*, Oxford 1994).

Warunki początkowe mogą być rezultatem wcześniejszych procesów, jednak zazwyczaj – na mocy idealizacji – utożsamiane są one z początkiem danego procesu. Na warunki początkowe składa się odpowiednia konfiguracja obiektów i ich własności (obejmuje ona np. relacje przestrzenne między obiektami). Linie plusów (+) i minusów (-) na diagramie (zob. rycina 1) wzdłuż błony komórkowej

<sup>61</sup> P. Machamer, L. Darden, C.F. Craver, *Myslenie...*, s. 153–159.

reprezentują na powyższej rycinie rozprzestrzenianie się fali depolaryzacji wzdłuż aksonu. Procesy inicjowane są dzięki warunkom aktywacji, których rolę pełnić może konfiguracja i dystrybucja jonów  $\text{Na}^+$ , a także czynniki takie jak temperatura oraz pH. Z kolei warunki końcowe opisują końcową fazę czy też wygaśnięcie procesu. W rezultacie pewne obiekty mogą być eliminowane, mogą pojawiać się nowe obiekty, układ może osiągnąć stan równowagi itd. Oczywiście jest to idealizacja, ponieważ koniec pewnego procesu jest zwykle początkiem nowych procesów biologicznych. W przypadku mechanizmu depolaryzacji warunki te odnoszą się do wzrostu poziomu jonów  $\text{Na}^+$  wewnątrz neuronu. Koreluje to ze wzrostem napięcia elektrycznego błony komórkowej. Pomiędzy początkiem a końcem tego procesu znajduje się jednak wiele, zachodzących w sposób ciągły, procesów pośredniczących. W przypadku depolaryzacji wyjaśnienie dostarczyć musi między innymi dokładnego opisu wnikaania jonów  $\text{Na}^+$  przez kanały.

Przedmiotem badań neuronologii poznawczej, która wyjaśnia zdolności poznawcze (i generowane przez nie zachowania) poprzez odwołanie do zjawisk neuronalnych, są mechanizmy hierarchiczne czy też wielopoziomowe<sup>62</sup>. Zaczerpniętym z klasycznej pracy Cravera i Darden<sup>63</sup> przykładem jest pamięć przestrzenna, która umożliwia zwierzętom sprawną orientację w środowisku, na przykład w eksperymentalnym labiryncie (zob. badanie 7).

**Badanie 7.** W pierwszej połowie XX wieku behawioryści sądzili, że każde – nawet złożone – zachowanie wyjaśnić można za pomocą mechanizmów kojarzenia bodźców i reakcji. Sprawną orientację przestrzenną gryzoni w labiryntach tłumaczyli oni uczeniem się kolejnych zakrętów. Obserwując, że szczury nie zawsze trzymają się sztywno wyuczonej drogi, ale niekiedy przemierzają labirynt (zob. rycina 2) „na skróty” lub „na około”, Edward Tolman<sup>64</sup> zaproponował hipotezę, zgodnie z którą zwierzęta (w tym ludzie) przechowują w pamięci reprezentacje przestrzeni abstrakcyjnych w postaci map, natomiast Donald Hebb<sup>65</sup> wskazał mózgowy mechanizm, na drodze którego zachodzi może uczenie się – do wzmacniania siły synapsy dochodzi, gdy neuron presynaptyczny i postsynaptyczny wielokrotnie ulegają równoczesnemu pobudzeniu. Hipoteza Tolmana potwierdzona została dopiero w latach 70.<sup>66</sup>, kiedy metodą rejestracji aktywności pojedynczych neuronów w hipokampie odkryto tzw. komórki miejsca, których aktywacje odzwier-

<sup>62</sup> P. Gładziejewski, *Wyjaśnianie...*, s. 90–95.

<sup>63</sup> C.F. Craver, L. Darden, *Discovering mechanisms in neurobiology: The case of spatial memory* [w:] *Theory and method in the neurosciences*, red. P. Machamer, R. Grush, i P. McLaughlin, Pittsburgh 2001, s. 153–195.

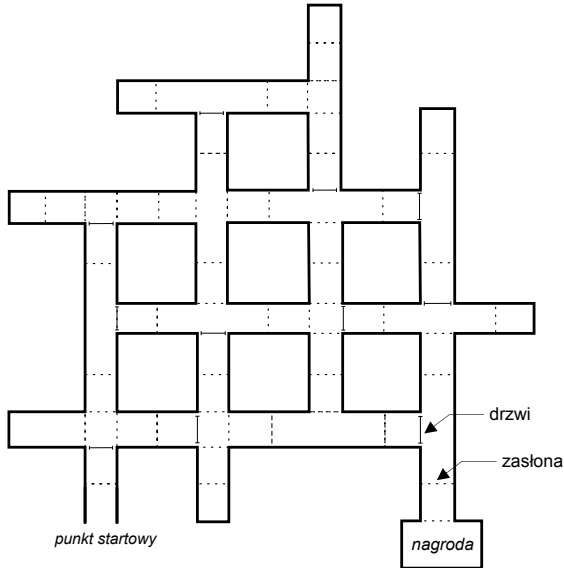
<sup>64</sup> E.C. Tolman, *Cognitive maps in rats and men*, „Psychological Review” 1948/55(4), s. 189–208.

<sup>65</sup> D.O. Hebb, *The organization of behavior*, New York 1949

<sup>66</sup> J. O’Keffe, J. Dostrovsky, *The hippocampus as a spatial map: Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat*, „Brain Research” 1971/34(1), s. 171–175; J. O’Keffe, L. Nadel, *The hippocampus as a cognitive map*, Oxford 1978.



ciędlą aktualne lokalizacje, w których znajdował się szczur. Odkrycie to uzupełnione zostało przez Edvarda i May-Britt Moserów, którzy w korze śródwęchowej zlokalizowali kolejne elementy mózgowego systemu kartograficznego: komórki siatki, komórki kierunku ruchu, komórki prędkości oraz komórki graniczne<sup>67</sup>. Za odkrycia te O'Keffe oraz Moserowie w 2014 r. uhonorowani zostali Nagrodą Nobla w dziedzinie fizjologii lub medycyny.



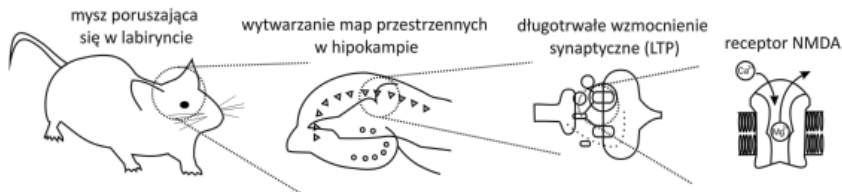
Rycina 2. Plan labiryntu wykorzystywanego w badaniach pamięci przestrzennej przez Tolmana (na podstawie: E.C. Tolman, *Cognitive maps in rats and men*, „Psychological Review” 1948/55(4), s. 189–208).

Orientacja przestrzenna możliwa jest dzięki poznawczym mapom przestrzeni, które kodowane są w hipokampie przy udziale kory śródwęchowej (por. badanie 7)<sup>68</sup>. Tworzenie tych map możliwe jest dzięki długotrwałym wzmocnieniom synaptycznym (*long-term potentiation* – LTP), zaś istotną rolę dla tego zjawiska odgrywa między innymi aktywacja receptorów NMDA (główną funkcją tych receptorów jest regulacja dystrybucji  $Ca^{+}$  do wnętrza neuronu). Wyjaśnienie zjawiska, jakim jest orientacja przestrzenna (operacjonizowana w badaniach z użyciem labiryntów podobnych do tego, który przedstawia rycina 2), polega na odkryciu

<sup>67</sup> Zob. przegląd badań: D. Derdikman, E.I. Moser, *A manifold of spatial maps in the brain*, „Trends in Cognitive Sciences” 2010/14(12), s. 561–569.

<sup>68</sup> Por. jednak naszą pracę na temat roli integracji sensorycznej w orientacji przestrzennej: M. Hohol, B. Baran, M. Krzyżowski, J. Francikowski, *Does spatial navigation have a blind-spot? Visiocentrism is not enough to explain the navigational behavior comprehensively*, „Frontiers in Behavioral Neuroscience” 2017/11(154), s. 1–5.

i przedstawieniu hierarchii, począwszy od wyjaśnianego zjawiska, a skończywszy na najniższym poziomie, na którym znajdują się obiekty i procesy konstytutywne dla danego mechanizmu (zob. rycina 3). W przypadku mechanizmu pamięci przestrzennej, aktywacja receptorów NMDA jest procesem niższego poziomu dla LTP, z kolei LTP jest procesem niższego poziomu dla konstruowania map przestrzennych w hipokampie, to zaś odgrywa rolę mechanizmów niższego poziomu dla pamięci przestrzennej myszy.



Rycina 3. Wielopoziomowy mechanizm pamięci przestrzennej myszy (na podstawie: C.F. Craver, L. Darden, *Discovering mechanisms in neurobiology: The case of spatial memory* [w:] *Theory and method in the neurosciences*, red. P. Machamer, R. Grush, P. McLaughlin, Pittsburgh 2001, s. 153–195).

Oczywiście każdy z poziomów poddać można dokładniejszej mechanistycznej analizie, dla przykładu wyróżnia się trzy fazy LTP: indukcji, przejawiania się i utrzymywania. Indukcja LTP zależna jest od aktywacji receptorów NMDA, wzrostu wydzielania kwasu glutaminowego w zakończeniach aksonów w części CA3 hipokampa oraz depolaryzacji neuronów postsynaptycznych w części CA1 hipokampa. Otwarcie kanałów jonowych umożliwia transport związanych z receptorami NMDA jonów wapnia do wnętrza neuronu, co odgrywa zasadniczą rolę dla indukcji LTP. Aktywowane zostają receptory AMPA, dzięki którym otwarty zostaje kanał sodowy – powoduje to napływ jonów  $\text{Na}^+$  oraz depolaryzację błony.

Na koniec niniejszej sekcji powiedzieć trzeba, że nie każdy model opisujący zjawisko jest zarazem wyjaśnieniem w sensie mechanistycznym. Wyjaśnianie neuronaukowe spełniać powinno kilka norm, które zostały wyszczególnione przez Cravera<sup>69</sup>. Po pierwsze, wyjaśnienia powinny opierać się nie tylko na obserwacjach, ale uwzględniać dane wynikające z eksperymentalnych manipulacji; innymi słowy, wyjaśnieniami nie mogą być modele fenomenologiczne, gdyż nie zawierają one informacji o związkach przyczynowo-skutkowych. Po drugie, wyjaśnienia powinny zmierzać do kompletnego opisu mechanizmu, stającego za daną prawidłowością, przy czym „kompletny” nie oznacza wskazania wszystkich biologicznych szczegółów, a jedynie tych, które odgrywają rolę przyczynową. Po trzecie wreszcie, mechanistyczne zjawiska powinny być adekwatne nie tylko na „wejściu” i na „wyjściu”; muszą one uwzględniać rzeczywisty przebieg procesów i zachowania podsystemów, które konstytuują dany mechanizm.

<sup>69</sup> C.F. Craver, *When mechanistic models explain*, „Synthese” 2006/153(3), s. 355–376.

## 4. Programy badawcze neuronauki poznawczej

Na wstępie zauważyliśmy, że neuronauka poznawcza ma charakter „podwójnie interdyscyplinarny”. Podwójnie – bo z jednej strony stanowi ona fuzyję kognitywistyki, posługującej się przede wszystkim metodami takimi jak eksperymenty behawioralne i modelowanie komputerowe, oraz neuronauki, korzystającej z różnych metod pomiaru aktywności mózgu, z drugiej strony zaś „wychodzi” w stronę innych nauk, w szczególności społecznych, tworząc szczegółowe programy badawcze. „Wyjście” to skutkuje wzbogaceniem neuronauki o dodatkowe założenia teoretyczne, a niekiedy również metody<sup>70</sup>. Poniżej omówione zostaną jednie dwa takie programy badawcze: psychologia ewolucyjna oraz ucieleśnione poznanie, ponieważ to one często uznawane są za najbardziej owocne w wyjaśnianiu zjawisk ze świata społecznego.

Podstawowa teza psychologii ewolucyjnej głosi, że produktami działania darwinowskich mechanizmów selekcyjnych – doboru naturalnego i doboru płciowego – są nie tylko cechy morfologiczne i skłonności behawioralne, ale również mechanizmy poznawcze<sup>71</sup>. Oznacza to, że architektura i funkcjonowanie ludzkiego umysłu powinno być wyjaśniane ewolucyjnie, podobnie jak budowa oka czy poruszanie się w pozycji wyprostowanej. W takim ujęciu – jak pisał Cosmides i Tooby:

„Podstawowym celem badań z zakresu psychologii ewolucyjnej jest odkrycie i zrozumienie, w jaki sposób umysł został zaprojektowany. (...) Psychologia, w tym ujęciu, jest gałęzią biologii, której przedmiotem badań jest (1) mózg, (2) to, w jaki sposób mózg przetwarza informacje, oraz (3) to, w jaki sposób typ przetwarzania informacji wpływa na zachowanie”<sup>72</sup>.

O ile wczesna kognitywistyka interesowała się umysłem rozumianym jako „ogólne narzędzie rozwiązywania dowolnych problemów”<sup>73</sup>, psychologia ewolucyjna przyjęła tzw. modułarną teorię umysłu sformułowaną przez Fodora<sup>74</sup>. Zdaniem tego ostatniego strukturę ludzkiego systemu poznawczego konstytuują trzy typy jednostek: przekąźniki transmitujące informacje ze środowiska do systemów wewnętrznych, procesy centralne, czyli ogólne mechanizmy psychiczne (niewyspecjalizowane ze względu na typ przetwarzanych informacji, np. inteligencja ogólna) oraz obliczeniowe moduły. Fodor opisywał te ostatnie jako cechujące się między innymi automatycznością działania (a więc niezależnością od świadomych

<sup>70</sup> M. Hohol, *Wyjaśnić umysł...*, s. 85–152.

<sup>71</sup> *The adapted mind: Biological approaches to mind and culture*, red. J. Barkow, L. Cosmides, J. Tooby, Oxford 1992, *passim*; D.M. Buss, *Psychologia ewolucyjna*, Gdańsk 2001, *passim*.

<sup>72</sup> J. Tooby, L. Cosmides, *Conceptual foundations of evolutionary psychology* [w:] *The Handbook of Evolutionary Psychology*, red. D.M. Buss, Hoboken 2015, s. 6.

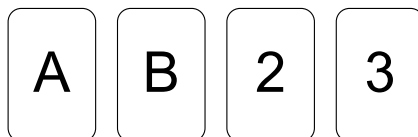
<sup>73</sup> A. Newell, J.C. Shaw, H.A. Simon, *Elements...*, s. 151–166.

<sup>74</sup> J.A. Fodor, *The modularity of mind*, Cambridge 1983.

decyzji), specyficznością dziedziny (aktywują się tylko wtedy, gdy zarejestrowane zostaną określone dane) oraz lokalizacją (powiązane są one z określonymi strukturami mózgowymi).

Zdaniem psychologów ewolucyjnych składające się na strukturę umysłu współczesnego człowieka moduły powstały jako produkty działania mechanizmów selekcyjnych w łowiecko-zbierackich społecznościach naszych przodków i mają one naturę obliczeniową. Dziedziny specjalizacji modułów określane są ze względu na problem adaptacyjny, z jakim mierzyli się nasi przodkowie – dany moduł umysłowy jest adaptacją, zmniejszającą presję selekcyjną w danej kwestii. Przykładem takiego modułu, często opisywanym w literaturze, jest moduł społeczny, którego celem jest wykrywanie sytuacji łamania umowy społecznej (por. badanie 8). Zdaniem psychologów ewolucyjnych moduł ten ukształtował się on jako rozwiązanie problemu „jazdy na gapę” (skłonności niektórych osób do czerpania korzyści, przy jednoczesnej niechęci do ponoszenia kosztów).

**Badanie 8.** Jednym z kluczowych problemów badawczych psychologii ewolucyjnej jest wymiana społeczna. Cosmides i Tooby<sup>75</sup> starali się zidentyfikować odpowiedzialny za nią moduł umysłowy, korzystając z zadania Wasona<sup>76</sup>. Uczestnikom badania przedstawiono najpierw następującą regułę „jeśli jedna strona karty zawiera symbol oznaczający samogłoskę, wówczas druga strona karty zawiera symbol oznaczający liczbę parzystą”, a następnie zaprezentowali karty:



Zadaniem osób badanych było udzielenie odpowiedzi na pytanie: „jakie karty (spośród otrzymanych) należy odwrócić, aby sprawdzić prawdziwość reguły”. Dla większości osób zadanie to jest bardzo trudne i popełniają oni wiele błędów (zazwyczaj uważają, że należy odwrócić karty z symbolami 2 i B, co jest błędną odpowiedzią, gdyż w przypadku karty z symbolem 2: reguła nie mówi, że jeżeli karta ma z jednej strony symbol, oznaczający liczbę parzystą, wówczas symbol z drugiej strony oznacza samogłoskę; jeśli chodzi natomiast o kartę z symbolem B: reguła milczy na temat tego, co dzieje się, gdy na jednej stronie karty znajduje się symbol oznaczający spółgłoskę). Poprawna odpowiedź na postawione pytanie jest następująca: poprawna odpowiedź to A i 3.

<sup>75</sup> J. Tooby, L. Cosmides, *Cognitive adaptations for social exchange* [w:] *The adapted mind: Biological approaches to mind and culture*, red. J. Barkow, L. Cosmides, J. Tooby, Oxford 1992, s. 163–228.

<sup>76</sup> P.C. Wason, *Reasoning about a rule*, „The Quarterly Journal of Experimental Psychology” 1968/20(3), s. 273–281.

Jeśli jednak zamiast kart zawierających abstrakcyjne symbole przedstawi się uczestnikom dane analogiczne, ale odnoszące się do sytuacji społecznej, udzielenie poprawnej odpowiedzi nie stanowi już problemu. Wówczas zadanie w zasadzie nie sprawia trudności prawie nikomu. Przykładowo, jeśli reguła mówi, że: „aby dokonać zakupu alkoholu trzeba mieć ukończone 18 lat”, a pytanie brzmi: „którego z kupujących należy wylegitymować, aby sprawdzić, czy reguła ta nie została złamana: kupującego wino, kupującego sok, czterdziestolatka czy szesnastolatka?”, większość badanych odpowiada na to pytanie poprawnie: należy wylegitymować kupującego wino oraz szesnastolatka.

Różnicę w wynikach badania w wariancie z abstrakcyjnymi symbolami i danymi społecznymi Cosmides i Tooby wyjaśniają tym, że w drugim wypadku nasz umysł nie musi wykonywać trudnego rozumowania dedukcyjnego „krok po kroku”, ale aktywowany jest wyspecjalizowany w nieświadomym przetwarzaniu reguł społecznych moduł. Ich zdaniem ukształtował się on w toku filogenezy, ułatwiając wykrywanie osób, które nie przestrzegają norm obowiązujących w danej społeczności. Stąd też moduł ten nazywany jest „społecznym” lub „normatywnym”<sup>77</sup>.

Psychologowie ewolucyjni przyjmują, że moduły umysłowe są wrodzone – nie znaczy to koniecznie, że rodzimy się ze wszystkimi modułami „na wyposażeniu”, ale że ich rozwój uwarunkowany jest genetycznie. Psychologia ewolucyjna postrzegana jest jako program badawczy neuronauki poznawczej, gdyż jej przedstawiciele zainteresowani są mózgową implementacją modułów umysłowych<sup>78</sup>. Nie należy myśleć o nich jednak w kategoriach frenologii, a więc na zasadzie ścisłej odpowiedniości moduł – fragment tkanki mózgowej<sup>79</sup>. Dana funkcja, jak na przykład stosowanie się do reguł życia społecznego, zależy od rozproszonego współdziałania struktur mózgowych (zob. badanie 9).

**Badanie 9.** Zadanie Wasona wykorzystane zostało również w badaniu z wykorzystaniem fMRI przeprowadzonym przez Canessę i wsp.<sup>80</sup> Dane, na których osoby badane przeprowadzać miały identyczne pod względem logicznym rozumowania, które prezentowane były jednak albo w wariancie abstrakcyjnym, albo odnosily się do sytuacji społecznych. W obydwu wariantach zaobserwowano zwiększoną aktywność przyśrodkowej kory czołowej oraz grzbietowo-bocznych i ciemieniowych struktur lewej półkuli mózgowej. Wynik ten potwierdza rolę lewej półkuli w rozumowaniach dedukcyjnych<sup>81</sup>.

<sup>77</sup> Por. B. Brożek, *Normatywność prawa*, Warszawa 2012 dla krytycznego omówienia tego zagadnienia.

<sup>78</sup> B. Duchaine, L. Cosmides, J. Tooby, *Evolutionary psychology and the brain*, „Current Opinion in Neurobiology” 2001/11(2), s. 225–230.

<sup>79</sup> M.L. Anderson, *After phrenology*, Cambridge 2014.

<sup>80</sup> N. Canessa, A. Gorini, S.F. Cappa, M. Piattelli-Palmarini, M. Danna, F. Fazio, D. Perani, *The effect of social content on deductive reasoning: An fMRI study*, „Human Brain Mapping” 2015/26(1), s. 30–43.

<sup>81</sup> V. Goel, *Anatomy of deductive reasoning*, „Trends in Cognitive Sciences” 2007/11(10), s. 435–441.

Co ważniejsze, Canessa i wsp. zaobserwowali jednak różnice między warunkiem abstrakcyjnym i społecznym. W drugim warunku rejestrowano także aktywność struktur czołowych i ciemieniowych w prawej półkuli. Zdaniem badaczy te ostatnie aktywacje odnoszą się do przetwarzania specyficznej treści reguł społecznych.

Innym, rozwijanym przez neuronaukowców poznawczych programem badawczym, jest ucieleśnione poznanie (ang. *embodied cognition*). W przeciwieństwie do psychologów ewolucyjnych, jego zwolennicy koncentrują się nie na ewolucyjnej genezie (choć w żadnym wypadku jej nie zaprzeczają), ale na wpływie ciała na ludzkie procesy poznawcze<sup>82</sup>. W podejściu tym nie chodzi jednak tylko o to, że stan naszego ciała wpływa na efektywność procesów poznawczych (np. deprywacja snu wpływa niekorzystnie na uczenie się), ale że – jak pisze Margaret Wilson – „procesy poznawcze są głęboko zakorzenione w cielesnych interakcjach ze światem”<sup>83</sup>.

Choć różni teoretycy ucieleśnionego poznania spierają się o to, na czym polega owo „głębokie zakorzenienie”<sup>84</sup>, w większości zgadzają się co do tego, że procesy poznawcze, takie jak pamięć, wyobraźnia czy przetwarzanie pojęć, realizowane są przez „najbliżej” związane z naszą aktywnością w świecie struktury sensoryczne i motoryczne mózgu (tj. korę ruchową, wzrokową itd.). W praktyce oznacza to na przykład, że niezależnie od tego, czy fizycznie zaangażowani jesteśmy w jakieś działanie, na przykład manipulujemy przedmiotem, czy tylko wyobrażamy sobie taką czynność, w naszych mózgach aktywowane są struktury sensoryczno-motoryczne<sup>85</sup>.

Szczególnie prężnym polem ucieleśnionej neuronauki jest poznanie społeczne<sup>86</sup>, którego przykładem jest przetwarzanie pojęć emocjonalnych. Przeżywaniu

<sup>82</sup> A. Clark, *Supersizing the mind: Embodiment, action, and cognitive extension*, Oxford 2009; R. Gibbs, *Embodiment and cognitive science*, Cambridge 2005; A.M. Glenberg, *Embodiment as a unifying perspective for psychology*, „Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science” 2010/42(4), s. 586–596; K. Wołoszyn, M. Hohol, *Commentary: The poverty of embodied cognition*, „Frontiers in Psychology” 2017/8(845), s. 1–3.

<sup>83</sup> M. Wilson, *Six views of embodied cognition* „Psychonomic Bulletin and Review” 2002/9(4), s. 625.

<sup>84</sup> Por. następujące prace eksplikujące różne, a nawet konkurencyjne, podejścia do ucieleśnienia: A. Chemero, *Radical embodied cognitive science*, Cambridge 2011; A. Clark, *Being there: Putting brain, body, and world together again*, Cambridge 1998; A.M. Glenberg, D.A. Robertson, *Symbol grounding and meaning: a comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning*, „Journal of Memory and Language” 2000/43(3), s. 379–401.

<sup>85</sup> A. Mazard, N. Tzourio Mazoyer, F. Crivello, B. Mazoyer, E. Mellet, *A PET meta-analysis of object and spatial mental imagery*, „European Journal of Cognitive Psychology” 2004/16(5), s. 673–695.

<sup>86</sup> A.I. Goldman, F. de Vignemont, *Is social cognition embodied?*, „Trends in Cognitive Sciences” 2009/13(4), s. 154–159; J. Lindblom, *Embodied social cognition*, vol. 26, Cham 2015; P. Winkielman, P.M. Niedenthal, J. Wielgosz, J. Eelen, L. Kavanagh, *Embodiment of cognition and emotion* [w:] *APA handbook of personality and social psychology*, vol. 1, *Attitudes and social cognition*, red. M. Mikulincer, P.R. Shaver, Washington 2015, s. 151–175.

emocji towarzyszą nie tylko aktywacje mózgowe, ale także aktywacje obwodowego układu nerwowego, na przykład mimowolne aktywacje mięśni twarzy oraz rozmaite sygnały fizjologiczne<sup>87</sup>. Zgodnie z teorią ucieleśnionego poznania, aby rozpoznać emocję innej osoby – i zareagować emocją komplementarną, na przykład strachem na złość albo samemu przeżyć analogiczną emocję – nasz mózg musi zasymulować tę emocję (por. badanie 10).

**Badanie 10.** W eksperymencie z wykorzystaniem fMRI Wicker i wsp.<sup>88</sup> prosili osoby badane, aby wdychały zapach wywołujący w nich silne odczucie obrzydzenia. W następnej kolejności pokazywano im filmy przedstawiające osoby, na twarzach których rysowało się obrzydzenie. W obydwu warunkach eksperymentu zarejestrowano sygnał hemodynamiczny odzwierciedlający aktywację przedniej części wyspy, a także – choć w mniejszym stopniu – przedniej kory zakrętu obręczy. Wynik ten zinterpretować można jako spójny z teorią ucieleśnienia: zarówno w trakcie przeżywania danej emocji, jak i obserwacji analogicznej emocji u innej osoby, aktywowane są te same struktury mózgowe. Interpretację taką potwierdzają badania nad osobami z leżjami wyspy – uszkodzenia tej struktury nie tylko zaburzają przeżywanie wstrętu, ale również rozpoznawanie tej emocji<sup>89</sup>.

Efekty te wyjaśnia teoria symboli percepcyjno-motorycznych sformułowana przez Barsalou<sup>90</sup>. Mówi ona, że wszystkie pojęcia kodowane są przez mózgowe systemy odpowiedzialne pierwotnie za percepcję i kontrolę ruchu. Podczas każdej interakcji z obiektem przynależącym do danej kategorii w strukturach tych rejestrowany jest charakterystyczny dla obiektu wzorzec aktywności. Wzorzec ten przechowywany jest w strukturach asocjacyjnych mózgu, które określane są jako strefy konwergencji<sup>91</sup>. Barsalou określa taki sensoryczno-motoryczny wzorzec jako „symulator”. Jego reaktywacja, która następuje na przykład podczas wyobrażania sobie obiektu albo przeprowadzania rozumowań, które angażują wiedzę o tym obiekcie, nazywana jest „symulacją” (symulacje zachodzą w pamięci roboczej, do której przekazywane są odpowiednie informacje o wcześniejszych fizycznych interakcjach z obiektem).

<sup>87</sup> E.T. Rolls, *Emotion and decision making explained*, Oxford 2013.

<sup>88</sup> B. Wicker, C. Keysers, J. Plailly, J.-P. Royet, V. Gallese, G. Rizzolatti, *Both of us disgusted in My insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust*, „Neuron” 2003/40(3), s. 655–664.

<sup>89</sup> A.J. Calder, J. Keane, F. Manes, N. Antoun, A.W. Young, *Impaired recognition and experience of disgust following brain injury*, „Nature Neuroscience” 2000/3(11), s. 1077–1078.

<sup>90</sup> L.W. Barsalou, *Perceptual symbol systems*, „Behavioral and Brain Sciences” 1999/22(4), s. 577–660; L.W. Barsalou, *Grounded cognition*, „Annual Review of Psychology” 2008/59, s. 617–645; L.W. Barsalou, *Situating concepts [w:] The Cambridge Handbook of Situated Cognition*, red. P. Robbins, M. Aydede, Cambridge 2009, s. 236–263.

<sup>91</sup> K. Meyer, A.R. Damasio, *Convergence and divergence in a neural architecture for recognition and memory*, „Trends in Neurosciences” 2009/32(7), s. 376–382.

## 5. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale przyjrzelśmy się rozwojowi empirycznych fundamentów neuronauki, jej podstawom konceptualno-metodologicznym, a także koewolucji empirii i teorii. Efektem tej ostatniej jest powstanie neuronauki poznawczej, czyli dyscypliny osadzającej psychologię procesów poznawczych (*resp.* kognitywistykę) w wiedzy na temat funkcjonowania mózgu. Integracja różnych poziomów teoretycznych – badanych dotychczas osobno przez psychologię i neurobiologię – jest jedną z kluczowych cech tej nowej dziedziny, badającej mechanizmy poznania. Wskazaliśmy, że słowo „mechanizm” nie jest tu przypadkową etykietką słowną, ale że wyjaśnianie naukowe, przynajmniej w naukach o poznaniu, polega na opisie mechanizmów, tj. układów złożonych z wielu części, które zaangażowane są w pewne działania, czego skutkiem jest dyspozycja przejawiana przez cały układ. Perspektywą metodologiczną, która zajmuje się ich badaniem, jest mechanicyzm (czasami określane także jako nowy mechanicyzm). Zauważyliśmy także, że wewnątrz neuronauki poznawczej toczą się różne dyskusje, dotyczące między innymi roli ciała w kształtowaniu procesów poznawczych (ucieleśnione poznanie) oraz filogenezy tych procesów (psychologia ewolucyjna). W wielu miejscach podkreślaliśmy wreszcie, że neuronauka poznawcza nie stroni od podejmowania tematów związanych z rozumianym szeroko uspołecznieniem. Otwiera ona więc nowe perspektywy – a także stawia wyzwania – przed naukami społecznymi.