

**WSZYSTKO,
CO TRZEBA WIEDZIEĆ!**

- jak działa mózg?
- jak mózg przetwarza informacje?
- jakie są wyniki eksperymentów z obrazowaniem mózgu?
- w jakim kierunku rozwinie się neuronauka?

Richard Passingham

NEURONAUKA POZNAWCZA

Tłumaczenie Konrad Rudnicki

Redakcja naukowa Katarzyna Nowakowska-Domagala

Original English
language edition by

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

**> KRÓTKIE
WPROWADZENIE**

NEURONAUKA POZNAWCZA

> KRÓTKIE
WPROWADZENIE

[Kup książkę](#)



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

[Kup książkę](#)

Richard Passingham

NEURONAUKA POZNAWCZA

Tłumaczenie Konrad Rudnicki

Redakcja naukowa Katarzyna Nowakowska-Domagła

Original English
language edition by

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

> **KRÓTKIE
WPROWADZENIE**

Łódź 2021

Tytuł oryginału: *Cognitive Neuroscience: A Very Short Introduction*

Rada Naukowa serii *Krótkie Wprowadzenie*

*Jerzy Gajdka, Ewa Gajewska, Krystyna Kujawińska Courtney
Aneta Pawłowska, Piotr Stalmaszczyk*

Redaktorzy inicjujący serii *Krótkie Wprowadzenie*

Urszula Dzieciatkowska, Agnieszka Kałowska

Tłumaczenie

Konrad Rudnicki

Redakcja naukowa

Katarzyna Nowakowska-Domagala

Opracowanie redakcyjne

Aurelia Hołubowska

Skład i łamanie

Munda – Maciej Torz

Projekt typograficzny serii

Tomasz Przybył

Korekta techniczna

Leonora Gralka

Projekt okładki

krzysztof de mianiuk

Zdjęcie wykorzystane na okładce: © Depositphotos.com/agsandrew

Cognitive Neuroscience: A Very Short Introduction was originally published in English in 2016. This translation is published by arrangement with Oxford University Press. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego is solely responsible for this translation from the original work and Oxford University Press shall have no liability for any errors, omissions or inaccuracies or ambiguities in such translation or for any losses caused by reliance thereon

© Copyright by Richard Passingham 2016

The moral rights of the author have been asserted

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2021

© Copyright for Polish translation by Konrad Rudnicki, Łódź 2021

Publikacja sfinansowana ze środków Wydawnictwa Uniwersytetu Łódzkiego

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W.09298.19.0.M

Ark. wyd. 6,0; ark. druk. 10,625

ISBN Oxford University Press 978-0-19-878622-1

ISBN 978-83-8220-148-2

e-ISBN 978-83-8220-149-9

[Kup książkę](#)

*Moim studentom,
którzy nauczyli mnie,
jak należy tłumaczyć*

Spis treści

Neuronauka, czyli jak działa ludzki mózg.	
Wstęp tłumacza do wydania polskiego	9
Przedmowa i podziękowania	13
Spis ilustracji	15
Rozdział 1. Nowa dziedzina	19
Rozdział 2. Percepcja	31
Rozdział 3. Uwaga	47
Rozdział 4. Pamięć	63
Rozdział 5. Rozumowanie	77
Rozdział 6. Podejmowanie decyzji	89
Rozdział 7. Kontrola poznawcza	107
Rozdział 8. Działanie	121
Rozdział 9. Przyszłość	133
Bibliografia	139
Polecana literatura	155
Polecana literatura w języku polskim	157
Indeks	161

Neuronauka, czyli jak działa ludzki mózg

Wstęp tłumacza do wydania polskiego

Seria Krótkie Wprowadzenie adresowana jest do wszystkich osób, które są zainteresowane daną tematyką, ale nie posiadają formalnego wykształcenia w jej kierunku. *Neuronauka poznawcza* to idealna pozycja dla wszystkich, którzy chcieliby dowiedzieć się więcej o tym, jak działa ludzki mózg.

Wiele dziedzin nauki zajmuje się funkcjonowaniem mózgu i każda podejmuje problem z nieco innej perspektywy. Na przykład neurobiologia koncentruje się na badaniach nad zwierzętami oraz hodowlami komórek (tzw. badania *in vitro* – czyli poza organizmem). Z kolei neurochemicy i neuroendokrynolodzy poświęcają się badaniom nad właściwościami neurotransmiterów i hormonów, które wpływają na nasze zachowanie. W niniejszym opracowaniu autor opisuje natomiast osiągnięcia neuronauki poznawczej, którą w języku polskim można również nazwać neuropsychologią procesów poznawczych lub neurokognitywistyką. Różne nazwy kładą nacisk na nieco inne aspekty tej dziedziny. Neuropsychologia poznawcza kojarzyć się może z badaniami nad osobami cierpiącymi na uszkodzenia mózgu, podczas gdy neurokognitywistyka jest bliższa psychologii poznawczej i filozofii. Z tego powodu w nauce anglojęzycznej najbardziej popularny stał się termin „neuronauka”, który obejmuje absolutnie wszystkie możliwe obszary badań nad mózgiem. Neuronauka poznawcza skupia się na badaniach z udziałem ludzi i wykorzystuje do nich różnego rodzaju aparaturę obrazującą pracę mózgu. Takie badania pozwalają nam lepiej zrozumieć, jak ludzki mózg przetwarza spostrzeżenia zmysłowe i reguluje zachowanie.

Badania w ramach neuronauki poznawczej w ostatnich trzydziestu latach pozwoliły psychologom dużo lepiej zrozumieć, jak działa ludzki mózg, oraz pomóc tym, którzy takiej pomocy potrzebują. Na przykład brytyjski badacz Adrian Owen wykorzystał skany aktywności mózgu, aby stworzyć metodę komunikacji z ludźmi w stanie wegetatywnym. Osoby w takim stanie nie są zdolne do podejmowania jakichkolwiek czynności, łącznie z mruganiem czy poruszaniem gałkami ocznymi. Do czasu badań profesora Owena¹ nie było wiadomo, czy pacjenci w stanie wegetatywnym w ogóle słyszą głos ludzi, którzy do nich mówią. Dzięki neuronauce poznawczej udało się nie tylko ustalić, iż wiele takich osób słyszy głosy swoich bliskich, ale nawet stworzyć interfejs pozwalający na komunikację z nimi. Dalszy rozwój neuronauki jest nieunikniony. Badacze z tej dziedziny od lat zaangażowani są w tak zwany Human Brain Project, czyli przedsięwzięcie wzorowane na Human Genome Project, mające na celu szczegółowe zmapowanie struktury ludzkiego mózgu. W miarę rozwoju inżynierii neuronaukowcy pozyskują coraz dokładniejsze narzędzia pozwalające im zrozumieć, jak mózg przetwarza informacje. Dzięki nim być może uda się odpowiedzieć na wiele pytań, takich jak: „dlaczego śnimy?”, „jak mózg zapisuje i odtwarza wspomnienia?”, „czym jest świadomość?”. Niemniej neuronauka poznawcza ma również wiele ograniczeń, z których należy zdawać sobie sprawę, myśląc o jej wynikach.

Dziedzina ta bada funkcjonowanie człowieka z jednej, jasno określonej perspektywy – perspektywy jego mózgu i układu nerwowego. Jest nauką empiryczną i z tego powodu musi stosować się do szeregu ściśle określonych reguł. Reguły te pozwalają nam mieć większą pewność co do wiarygodności uzyskiwanych wyników, ale uniemożliwiają odpowiadanie na wielkie pytania, takie jak: „czym jest umysł?”, „jaki jest związek między ciałem a umysłem?”, „czym jest wolna wola?”. Pytania te pozostają wciąż w dużej mierze domeną filozofii, ponieważ neuronauka poznawcza musi sobie na nie odpowiedzieć, jesz-

¹ A. M. Owen, M. R. Coleman, M. Boly, M. H. Davis, S. Laureys, J. D. Pickard, *Detecting awareness in the vegetative state*, „Science” 2006, vol. 313, is. 5792, s. 1402.

cze zanim zacznie przeprowadzać swoje eksperymenty. Wstępnie zakłada ona, iż umysł jest produktem pracy mózgu oraz że badanie mózgu jest w takiej sytuacji jedyną metodą umożliwiającą zrozumienie, jak działa umysł. Wolna wola najczęściej pozostaje w ogóle poza obszarem zainteresowania neuronauki poznawczej, która zakłada daleko idący determinizm. Zdaniem neuronauki nasze zachowanie jest zdeterminowane przez naszą biologię (geny, hormony, pracę mózgu) oraz środowisko (wychowanie, odbierane bodźce).

Neuronauka poznawcza opisuje, jak działa człowiek, przez pryzmat tego, jak jego mózg przetwarza informacje. W książce, którą czytelnik trzyma w ręku, odnaleźć można opisy aktualnie prowadzonych badań nad poszczególnymi procesami, które zawiadują percepcją, pamięcią, uwagą, podejmowaniem decyzji, rozumowaniem oraz kontrolą własnego zachowania. Badania te opisane są w sposób przystępny dla każdego i pozwolą na lepsze zrozumienie bardziej specjalistycznej literatury, którą wydawnictwo poleca na końcu tomu. Oznacza to także, iż ta pozycja nie stanowi dla studentów psychologii lub kognitywistyki odpowiedniego zastępstwa podręczników z neuropsychologii. Autor niniejszego wprowadzenia ogranicza się bowiem wyłącznie do podstaw neuroanatomii i stosuje daleko idące uproszczenia, które zwykłemu czytelnikowi pozwolą lepiej zrozumieć opisywane zagadnienia.

Uproszczenia stosowane w tym opracowaniu dotyczą sposobu omawiania wyników badań oraz prezentowanych schematów neuroanatomicznych. W wielu miejscach autor dla jasności pisze o „podwyższonej aktywności” mózgu podczas wykonywania jakiegoś zadania. Specjaliści oraz studenci powinni jednak pamiętać, iż badania z wykorzystaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego nie dają wglądu w bezwzględny poziom aktywności mózgu. Jest on zawsze względny, co oznacza, iż poziom utlenowania kory mózgowej podczas jednego zadania porównywany jest do poziomu jej utlenowania podczas innego zadania, zaś naukowcy interpretują różnicę między nimi. Co więcej, zamieszczone w niniejszym tomie rysunki często przedstawiają tuż obok

siebie obszary anatomiczne oraz funkcje poznawcze. Należy jednak pamiętać, iż na przykład „kora potyliczna” to termin opisujący anatomiczną część mózgu, zaś „wzrok” jest fenomenem z domeny ludzkiego umysłu i nie można powiedzieć, iż „wzrok znajduje się” w jakiejś części mózgu. Dzięki takim uproszczeniom czytelnikowi łatwiej będzie zapamiętać prezentowane treści, ale należy je traktować z odrobiną ostrożności.

Przedmowa i podziękowania

Neuronauka poznawcza jest względnie nową dziedziną, co oznacza, że jest w niej znacznie trudniej przedstawić powszechnie uznawane poglądy niż w fizyce czy chemii. Oznacza to też, że książka ta jest odzwierciedleniem mojego własnego spojrzenia na różne kwestie. Jestem wdzięczny za komentarze Johna Duncan, Eleanor Maguire i Jamesa Rowe'a, które utrzymały mnie na właściwej ścieżce.

Zakładałam, że aby zrozumieć wyniki eksperymentów wykorzystujących obrazowanie mózgu, musimy najpierw dowiedzieć się, jak informacje przesyłane są między różnymi jego częściami. Z tego powodu opatrzyłem tekst tej książki rysunkami przedstawiającymi połączenia anatomiczne między różnymi rejonami mózgu. Z początku mogą się one wydać czytelnikowi skomplikowane, niemniej pomimo licznych nowych terminów nie zawierają niczego, co byłoby trudne do zrozumienia.

Uznałem także, że czytelnik powinien zrozumieć, skąd biorą się przedstawiane wnioski. Tłumaczę zatem często szczegóły eksperymentów oraz wyjaśniam, kto je przeprowadził. Mam nadzieję, że pozwoli to dokładnie zrozumieć, jak nauka powstaje i jak się rozwija. By wykazać, że przedstawiane argumenty są oparte na solidnych dowodach, na końcu książki umieściłem listę artykułów zawierających omawiane dane eksperymentalne. Jest ich znacznie więcej niż zwykle w tej serii wydawniczej i wiele z nich jest pisanych językiem bardzo specjalistycznym. Z tego powodu zamieszczam także listę tekstów, które warto przeczytać.

Ograniczyłem zakres zagadnień ujętych w tej pracy tylko do tych badań nad ludzkim poznaniem, które wykorzystują obrazowanie mózgu. Nie starczyło w niej miejsca, aby omówić wnioski płynące z badań aktywności elektrycznej komórek mózgu innych gatunków zwierząt. Jest to zatem *bardzo krótkie* wprowadzenie.

W badaniach obrazowych mózgu standardem jest, by opisywać uczestników eksperymentów jako ochotników. Nie podążam za tą tradycją, ponieważ jest to zupełnie bez znaczenia, czy uczestnicy byli ochotnikami, czy zostali siłą wciśnięci do rezonansu. Znaczenie ma fakt, iż byli ludźmi, i to tym słowem będę ich opisywał.

Świadom jestem, iż mój wywód jest ogromnie uproszczony. Czytelnicy mogą mi wybaczyć, ale koledzy po fachu prawdopodobnie mnie zamordują.

Spis ilustracji

1. Popularny model funkcjonalnego rezonansu magnetycznego	21
Za: http://www.siemens.com/press	
2. Przykładowy schemat aktywacji mózgu zwizualizowany przy użyciu fMRI	23
Przedruk za zgodą Macmillan Publishers Ltd: Michelle Erika-Florence, Robert Leech, Adam Hampshire, <i>A functional network perspective on response inhibition and attentional control</i> , „Nature Communications” 2014, copyright (2014)	
3. Obrazki wykorzystane w zadaniach: a) eksperymentalnym oraz b) kontrolnym, podczas eksperymentu dotyczącego wiedzy semantycznej	25
Przedruk za zgodą: Macmillan Publishers Ltd: R. Vandenberghe, C. Price, R. Wise, O. Josephs, R. S. J. Frackowiak, <i>Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures</i> , „Nature” 1996, vol. 383, s. 254–256, copyright (1996)	
4. Wewnętrzna/przyśrodkowa powierzchnia lewej półkuli ludzkiego mózgu. Rysunek pokazuje obszary, w których aktywację zaobserwowano w badaniach nad depresją, atrakcyjnością seksualną oraz preferencjami dotyczącymi napojów. Ciało migdałowe leży pod warstwą kory mózgowej	27
5. Połączenia szlaków wzrokowych	32
6. Pierwszorzędowe obszary zmysłowe	35
7. Brzuszny i grzbietowy system uwagowy	49

8. Ścieżki ruchów gałek ocznych pacjenta z zespołem nieuwagi stronnej po stronie lewej podczas wykonywania zadania z wykreślaniem liter	51
Przedruk za zgodą Oxford University Press: Masud Husain, Sabira Mannan, Tim Hodgson, Ewa Wojciulik, Jon Driver, Christopher Kennard, <i>Impaired spatial working memory across saccades contributes to abnormal search in parietal neglect</i> , „Brain” 2001, vol. 124, s. 941–952	
9. Ścieżki top-down z kory przedczołowej do kompleksu MT oraz zakrętu wrzecionowatego	56
10. Brzuszną korę przedczołową	59
11. Połączenia neuroanatomiczne hipokampu	64
12. Katedra Świętego Pawła i Bank Anglii	66
Chris Dorney/123RF; alessandro0770/123RF	
13. System semantyczny ukazany przy użyciu fMRI	73
14. Zadanie z Testu Matrycy Ravena	78
Eveline A. Crone, Carter Wendelken, Linda Van Leijenhorst, Ryan D. Honomichl, Kalina Christoff, Silvia A. Bunge, <i>Neurocognitive development of relational reasoning</i> , „Developmental Science” 2008, © John Wiley & Sons Ltd	
15. Obszary zaangażowane w rozumowanie werbalne i niewerbalne	79
16. Połączenia kory przedczołowej	90
17. Przednie i tylne prążkowie	94
18. Komputerowa wersja Testu Wieży Londyńskiej	99
Przedruk za zgodą Oxford University Press: Alain Dagher, Adrian M. Owen, Henning Boecker, David J. Brooks, <i>Mapping the network for planning: a correlational PET activation study with the Tower of London task</i> , „Brain” 1999, vol. 122, s. 1973–1987	
19. Zegar Libeta	109
20. Wewnętrzna część lewej półkuli mózgu ukazująca obszary zaangażowane w nadzór poznawczy	110

21. Teoretyczny diagram ukazujący dwa potencjały, z czego jeden jest wzmocniony	112
Przedruk za zgodą Macmillan Publishers Ltd: Angela Sirigu, Elena Daprati, Sophie Ciancia, Pascal Giroux, Norbert Nighoghossian et al., <i>Altered awareness of voluntary action after damage to the parietal cortex</i> , „Nature Neuroscience”, vol. 7, s. 80–84, copyright 2004	
22. Połączenia obszaru Broki	124
23. Środkowa lub wewnętrzna powierzchnia mózgu z ukazanym pniem mózgu oraz mózdzkiem	128
24. Zarejestrowana przy użyciu magnetoencefalografii kolejność aktywacji obszarów mózgu w trakcie imitowania ruchów warg	135
Przedruk za zgodą Elsevier: Nobuyuki Nishitani, Riitta Hari, <i>Viewing lip forms cortical dynamics</i> , „Neuron” 2002, vol. 36, s. 1211–1220, copyright (2002)	

Rozdział 1

Nowa dziedzina

Gdy studiowałem psychologię na Uniwersytecie Oksfordzkim, nie zachęcano nas do zadawania pytań dotyczących umysłu. Były to wczesne lata sześćdziesiąte i psychologia wciąż znajdowała się pod silnym wpływem behawioryzmu. Behawioryzm utrzymywał, że nauka może mierzyć bodźce (sygnały wejścia – ang. *inputs*) oraz reakcje (sygnały wyjścia – ang. *outputs*), ale nigdy nie powinna się zajmować tym, co dzieje się w międzyczasie. Uważano tak, ponieważ to, co wydarza się w międzyczasie, dzieje się w głowie człowieka, a więc nie ma obiektywnej metody, aby to zmierzyć. Zatem dla mnie i moich kolegów psychologia dotyczyła głównie zachowań szczurów i gołębi, ponieważ u tych gatunków łatwo kontrolować bodźce i mierzyć reakcje. Nic dziwnego, że uważaliśmy te studia za potwornie nudne.

W tym samym czasie musieliśmy także uczęszczać na wykłady z filozofii. Uczyliśmy się o filozofach, którzy chętnie rozprawiali o umyśle, ale wielu z nich wierzyło, że umysł jest czymś osobnym od mózgu. Taki pogląd filozoficzny nazywa się dualizmem. Niestety, tacy filozofowie byli równie bezsilni w tłumaczeniu, jak umysł i mózg wchodzi w interakcje, co Kartezjusz 400 lat wcześniej. Taki rażąco brak postępu nie napawał nas ekscytacją.

Jedynym powiewem świeżości były wykłady Gilberta Ryle’a. Twierdził on, że dualizm był „poważnym błędem”, ponieważ wymagał, aby przyjąć istnienie „ducha w maszynie” (ang. *ghost in the machine*). Nie było jednak dla nas jasne, czego możemy dowiedzieć się o naszych szczurach i gołębiach, jeśli tego ducha z maszyny wypędzimy.

Psychologia poznawcza

Zatem coś się zmieniło od tamtego czasu, jeśli cokolwiek? Przecież nawet wtedy behawioryzm chwiał się już w posadach. Przyczyną był fakt, że odkrywano metody pozwalające obiektywnie zbadać zjawiska mające miejsce w mózgu. Na przykład jako studenci nauczyliśmy się o eksperymentach Donalda Broadbenta i Anne Treisman, których uczestnicy w słuchawkach słuchali jednego ciągu liczb czytanego do prawego ucha i innego ciągu czytanego do lewego ucha. Byli też instruowani, aby koncentrować uwagę tylko na liczbach słyszanych jednym uchem. Wyniki pokazały, że uczestnicy nie pamiętali liczb czytanych do drugiego ucha. Z tego powodu Donald Broadbent postulował, że mózg musiał odfiltrowywać bodźce odbierane przez ucho, na których, zgodnie z poleceniem, uczestnicy mieli nie koncentrować uwagi. To właśnie tego typu eksperymenty, wraz z eksperymentami dotyczącymi percepcji prowadzonymi przez Ulrica Neissera i doświadczeniami George'a Millera odnoszącymi się do pamięci, przyczyniły się do powstania nauki zwanej psychologią poznawczą.

Jednym ze sposobów przedstawienia tego, co musi dziać się w głowie, jest diagram ukazujący przepływ informacji wewnątrz systemu. Donald Broadbent był pionierem, jeśli chodzi o wykorzystanie diagramów. W modelu przedstawionym właśnie przy ich użyciu zawarł istnienie filtra, co tłumaczyło uzyskane przez niego wyniki w badaniach nad uwagę. Modele takie nazywamy czarnymi skrzynkami (ang. *black box*), ponieważ rysuje się je jako szereg prostokątów połączonych strzałkami. Skrzynki nazywano czarnymi, gdyż w tamtych czasach nie wiedziano jeszcze, na czym dokładnie polega działanie poszczególnych elementów modelu i gdzie należy szukać ich w mózgu.

Można spróbować dowiedzieć się, gdzie te elementy się znajdują, poprzez badanie skutków uszkodzeń mózgu u pacjentów. Jeśli uszkodzenie mózgu jest względnie ograniczone do jednego miejsca, to można pokusić się o wysnuwanie wniosków dotyczących funkcji tego obszaru. W późnych latach siedemdziesiątych uzyskano w ten sposób wystarczającą wiedzę, aby zachęcić bada-

czy do stworzenia nowej dziedziny nauki. Rozmawiając w tak-
sówce, Michael Gazzaniga i George Miller ukuli dla niej nazwę:
neuronauka poznawcza (ang. *cognitive neuroscience*)².

Neuronauka poznawcza

Gazzaniga i Miller nie spodziewali się jednak, że w ciągu dekady psychologowie zdobędą narzędzia pozwalające zwi-
zualizować aktywność mózgu u osób zdrowych, i to w dodat-
ku podczas wykonywania testów oceniających funkcjonowanie
poznawcze. Do narzędzi tych należą pozytonowa tomografia
emisyjna (ang. *positron emission tomography* – PET), rozwinięta
w latach osiemdziesiątych, oraz funkcjonalny rezonans magne-
tyczny (ang. *functional magnetic resonance* – fMRI), rozwinięty
w latach dziewięćdziesiątych. Techniki te zrewolucjonizowały
neuronaukę poznawczą. Do dziś przeprowadzono prawie 30 000
eksperymentów z wykorzystaniem samego fMRI. Ilustracja 1
przedstawia jeden z najbardziej popularnych modeli skanerów
wykorzystywanych do fMRI.



Ilustracja 1. Popularny model funkcjonalnego rezonansu magnetycznego

² Termin „neuronauka poznawcza” jest dużo bardziej popularny w języku angielskim niż w polskim. Dziedzina ta może być również nazywana neurokognitywistyką bądź neuropsychologią procesów poznawczych (przyp. tłum.).

Tym samym psychologia zmieniła się nie do poznania w porównaniu do tego, czego uczyłem się jako student. Tak jak zawsze przypuszczali laicy, jest ona w istocie nauką o umyśle, a w szczególności o umyśle człowieka. Od czasu, gdy wydziały psychologii uzyskały dostęp do obrazowania metodą funkcjonalnego rezonansu magnetycznego, na ich korytarzach często można natknąć się na plakaty ukazujące ludzki mózg w trakcie pracy.

Analizowanie skanów mózgu

Skany mózgu są jednocześnie piękne i pociągające (ilustracja 2), więc nic dziwnego, że przyciągają uwagę laików oraz mediów. Czytamy na przykład, że bunt młodzieńczy spowodowany jest niepełnym wykształceniem płatów czołowych lub że skany mózgu wykazały, iż kobiety mają kłopoty z logicznym myśleniem. Takie twierdzenia nadają się na chwytliwe nagłówki.

Dziennikarze, którzy powielają takie bzdury, ujawniają swoją ignorancję na trzy sposoby. Pierwszy można im wybaczyć, drugi świadczy o tym, że nie rozumieją nauki, a trzeci wskazuje na ich ogólny problem z logicznym rozumowaniem.

Pierwszym nieporozumieniem jest zakładanie, że kolorowe rejony widoczne na skanach mózgu powstających w trakcie badania faktycznie pokazują wysoką aktywność komórek mózgu i neuronów. W rzeczywistości są one wyłącznie niebezpośrednią miarą aktywacji, ponieważ sygnał, jaki wychwytuje PET czy fMRI, odzwierciedla zmiany ukrwienia poszczególnych rejonów mózgu. W przypadku fMRI jest to stosunek krwi utlenowanej do nieutlenowanej. Gdy neurony podwyższają swoją aktywność, zwiększa się także ich zapotrzebowanie na krew, która dostarcza im tlenu i glukozy – niezbędnych dla metabolizmu. To właśnie przez to, że jesteśmy w stanie mierzyć aktywność mózgu tylko pośrednio, w artykułach naukowych używa się terminu „aktywacja” (ang. *activation*) lub „poziom aktywacji” zamiast „aktywność” (ang. *activity*).