

Interdyscyplinarne podejście do badań mechanizmów uwagi jako model badawczy dla kognitywistyki?

Jednym z głównych wyzwań stojących przed kognitywistyką jest integracja wiedzy gromadzonej przez różne dyscypliny naukowe zajmujące się problematyką umysłu i poznania. Wydaje się jednak, że jeszcze ważniejszym i jednocześnie trudniejszym zadaniem jest stworzenie spójnego paradygmatu pozwalającego na wielopoziomowe ujęcie zarówno starych, jak i nowych problemów badawczych. Przed wyzwaniem tym stoi nie tylko interdyscyplinarna, bardzo ogólna nauka, jaką jest kognitywistyka, ale także dyscypliny naukowe, które niejako wchodzą w skład kognitywistyki. Przykładowo, psychologowie poznawczy, którzy badają funkcjonowanie ludzkiego umysłu, coraz częściej zmuszeni są czerpać z innych dziedzin psychologii, a także łączyć wiedzę psychologiczną z tą, której o mózgu, poznaniu, emocjach czy zachowaniu społecznym dostarczają badania prowadzone na gruncie innych nauk. Niezwykle szybki przyrost wiedzy czyni to zadanie coraz trudniejszym. Współczesna psychologia wciąż oferuje wiedzę bardzo fragmentaryczną, nietworzącą spójnego obrazu. Jej poszczególne dziedziny funkcjonują niemal niezależnie od siebie, a rezultaty badań prowadzonych w różnych paradygmatach eksperymentalnych trudno jest z sobą zintegrować. Jesteśmy przekonani, że tak uprawiana psychologia nie jest w stanie wypracować pełnego i adekwatnego obrazu działania ludzkiego umysłu.

Rozwój nowych metod badania mózgu pozwala gromadzić dane, których nie można było uzyskać w tradycyjnych badaniach behawioralnych. Tym samym psychologiczne teorie mogą być weryfikowane w sposób wcześniej niedostępny. Ponadto, coraz więcej problemów, którymi od lat zajmowała się psychologia, zostało zredefiniowanych i postawionych na nowo przez neurobiologów czy genetyków. Stworzenie spójnego, wielopoziomowego programu badawczego integrującego badania behawioralne, neuroobrazowanie czynności mózgu, badania neurochemii mózgu, rozwoju oraz patologii funkcji poznawczych, a także ich genetycznego podłoża, może sprawić, że wiedza psychologiczna przestanie być wiedzą encyklopedyczną i pozwoli stworzyć pełniejszy obraz umysłu człowieka [Posner, Rothbart 2007]. W niniejszym artykule, na przykładzie prowadzonych w ten sposób badań nad mechanizmami uwagi, chcielibyśmy pokazać, jak można budować interdyscyplinarną, zintegrowaną wiedzę o umyśle.

Uwaga to zagadnienie, z którym psychologia poznawcza zmagą się od lat. W literaturze przedmiotu często spotyka się opinię, iż badania procesów uwagi stały się centralnym tematem badawczym we współczesnej psychologii i neuropsychologii

poznawczej [Raz, Buhle 2006]. Wagę i znaczenie tego zagadnienia dobrze ilustruje gwałtowny wzrost liczby publikacji na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat: z około 500 w 1983 roku do ponad 2000 w 2003 roku; podczas gdy liczba tekstów dotyczących innych zagadnień utrzymuje się na względnie stałym poziomie [Cavanagh 2004].

Mechanizm uwagi to system przetwarzania informacji, którego zadaniem jest z jednej strony selekcja informacji sensorycznych, a z drugiej wybór odpowiednich reakcji motorycznych i kontrola ich wykonania. Jego funkcjonowanie wpływa na inne procesy mózgowe o charakterze percepcyjnym, motorycznym i poznawczym [Wronka 2004]. Pierwsze eksperymentalne prace nad uwagą na gruncie psychologii poznawczej wiązały się z badaniami procesu selekcji informacji i zaowocowały stworzeniem modelu filtra, czyli metaforycznej, wąskiej szyjki od butelki selekcyjnej docierającej do systemu poznawczego informacje i chroniącej go przed przeciążeniem [Nęcka 2000]. Od końca lat pięćdziesiątych powstało kilka znaczących teorii, opisujących pewne wybrane aspekty uwagi, jednocześnie nie było żadnej, która ujmowałaby wszystkie jej najważniejsze aspekty. Ponadto, badania psychofizjologiczne dostarczały wielu nowych danych dotyczących procesów fizjologicznych i neuronalnych związanych m.in. z reakcją orientacyjną czy z czujnością [Wronka 2004], które były trudne do pogodzenia np. z bardzo popularną w psychologii metaforą zasobów uwagi.

Teoria uwagi autorstwa Michaela Posnera

Współczesne podejście do badań uwagi, wypracowane w ramach poznawczej neuronauki (*cognitive neuroscience*), pozwoliło na zaproponowanie teorii integrujących wyniki badań prowadzonych w wielu różnych obszarach badawczych [Mesulam 1999; Posner 2004]. Badania te obejmują zarówno doświadczenia na osobach zdrowych, jak i chorych, a także na zwierzętach; prowadzi się je z wykorzystaniem metod behawioralnych (m.in. pomiarów czasu i poprawności reakcji), neuropsychologicznych (analizy lezji mózgowych), badań neurochemii mózgu, metod rejestracji aktywności elektrofizjologicznej mózgu (EEG, MEG) oraz najnowszych technologii pozwalających na neuroobrazowanie czynności mózgu (emisyjnej tomografii pozytronowej, PET; funkcjonalnego obrazowania magnetyczno-rezonansowego, fMRI) oraz na stymulację lub czasową dezaktywację wybranych okolic mózgu (przezczaszkowa stymulacja magnetyczna, TMS).

Zaproponowana przez Michaela Posnera [Posner, Petersen 1990; Posner, Fan 2007], niezwykle wpływowa, rozwijana od ponad trzydziestu lat teoria ujmuje uwagę jako system realizujący określone funkcje: **wzbudzenie** aktywacji ośrodków mózgowych w odpowiedzi na pojawiającą się stymulację, ułatwiające szybkie reagowanie, **orientację** w otoczeniu i przenoszenie ogniska uwagi między obiektami w polu widzenia, oraz **zarządzanie i kontrolę** nad aktualną i planowaną aktywnością, umożliwiające regulację zachowania, myślenia i emocji oraz rozwiązywanie sytuacji konfliktowych, interferencyjnych. Jak zauważa Kolańczyk [2004], teoria Posnera obejmuje jednocześnie niemal wszystkie istotne cechy uwagi.

Struktury mózgowe realizujące wymienione wyżej funkcje tworzą wyspecjalizowane sieci neuronalne (*Attention Networks*), które mimo że pracują w sposób zintegrowany, umożliwiając spójne i skuteczne zachowanie się organizmu, pozostają jednak funkcjonalnie i anatomicznie niezależne względem siebie [Posner, Fan 2007]. Uszkodzenie określonej struktury zaburza przebieg realizowanego przez tę strukturę procesu, ale nie upośledza uwagi jako całości [Fernandez-Duque, Posner 2001]. Co więcej, aktywność każdej z trzech sieci uwagowych jest regulowana przez inny system neuromodulacyjny [Marocco, Davidson 2000]. Neuronalne sieci systemu wzbudzeniowego (*Alerting Network*) lokalizowane są głównie w przedczołowych i ciemieniowych obszarach prawej półkuli oraz w strukturach wzgórza. Ich funkcjonowanie jest regulowane przez projekcje noradrenaliny (norepinefryny). Struktury nerwowe górnego płata ciemieniowego i styku skroniowo-ciemieniowego, a także wzgórki górne śródmózgowia i boczne obszary poduszki wzgórza to najważniejsze fragmenty sieci uwagi orientacyjnej (*Orienting Network*). Ich aktywność jest regulowana przez system cholinergiczny (głównie przez wydzielanie acetylocholino). System zarządczy (*Executive Network*) to przede wszystkim struktury przedniej części zakrętu obręczy, oraz grzbietowo- i brzuszno-boczne obszary kory przedczołowej. Aktywność tych sieci jest regulowana przez wydzielanie dopaminy.

Test sieci uwagowych (*Attention Network Test, ANT*)

Kilka lat temu Fan, McCandliss, Sommer, Raz i Posner [2002] opracowali nową, behawioralną metodę pomiaru aktywności poszczególnych systemów uwagi: komputerowy test sieci uwagowych (*Attention Network Test, ANT*). Zadanie składa się z szeregu prób, w których zadaniem osoby badanej jest decydowanie, którą stronę wskazuje strzałka (sygnał), prezentowana kilka centymetrów powyżej lub poniżej znajdującego się na środku ekranu punktu fiksacji wzroku. Mierzy się czas oraz poprawność reakcji. Strzałka, na którą mają reagować badani, prezentowana jest w otoczeniu tzw. flankerów. Mogą to być bodźce spójne z wymaganą reakcją, czyli strzałki wskazujące ten sam kierunek co strzałka środkowa, lub niespójne, czyli wskazujące kierunek przeciwny; osoba badana musi wtedy poradzić sobie z dystrakcją i zahamować narzucającą się, ale błędną reakcję sugerowaną przez strzałki niespójne z sygnałem. Wynik odejmowania średniego czasu reakcji na sygnał w warunkach spójnym od czasu w warunkach konfliktowym jest wskaźnikiem efektywności funkcjonowania systemu zarządczego. Ponadto, sygnał może być poprzedzony prezentacją jednej z trzech wskazówek (*cue*): centralna (gwiazdka pojawiająca się na środku ekranu), podwójna (dwie gwiazdki, powyżej i poniżej punktu fiksacji), lub wskazówka peryferyczna (informująca o lokalizacji sygnału). Wskaźnik działania systemu uwagi orientacyjnej (a dokładniej czasu przeniesienia ogniska uwagi z punktu fiksacji w miejsce prezentacji sygnału) jest obliczany przez odjęcie czasu reakcji na bodźce poprzedzane wskazówką peryferyczną od czasu reakcji na sygnał poprzedzany wskazówką centralną. Natomiast wskaźnikiem mechanizmu wzbudzeniowego jest wynik odejmo-

wania czasu reakcji w warunkach ze wskazówką podwójną od czasu reakcji na sygnał niepoprzedzany wskazówką.

Co badano za pomocą ANT?

Badania behawioralne i neuroobrazowanie czynności mózgu

Badania behawioralne z zastosowaniem ANT wykazują brak korelacji pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami uwagi, co wskazuje na funkcjonalną niezależność i odrębność tych systemów [Fan i in. 2002]. Doświadczenia, w których wykorzystano technikę neuroobrazowania czynności mózgu (fMRI), zdają się potwierdzać również ich anatomiczną odrębność; podczas wykonywania kolejnych warunków zadania obserwuje się aktywację odrębnych struktur mózgowych [Fan i in. 2005]. Stwierdzono ponadto, iż każda z sieci charakteryzuje się inną częstotliwością zsynchronizowanej aktywności neuronów, mierzonej podczas wykonywania ANT [Fan i in. 2007].

Różnice indywidualne i genetyka

Interesujące informacje o podłożu różnic indywidualnych w funkcjonowaniu uwagi przynoszą badania tzw. fenotypu uwagowego (*attentional phenotypes*). Badania jedno- i dwujajowych bliźniąt wykazały, że współczynnik odziedziczalności dla mechanizmu zarządczego jest bardzo wysoki i wynosi 0,89, podczas gdy dla systemu wzbudzeniowego jest niewielki – 0,18, a dla orientacyjnego zerowy [Fossella i in. 2002]. Z kolei badania genetyczne wykazały, że różnice w genach kodujących białko receptora 4 dopaminy (DRD4) oraz antagonisty dopaminy: monoaminy oksydazy A (MAOA) są skorelowane ze wskaźnikiem konfliktu w zadaniu ANT, jak również z wielkością aktywacji zakrętu obręczy podczas wykonywania tego zadania w warunkach konfliktowym [Fan i in. 2003].

Rozwój i trening uwagi

ANT zaadaptowany został do badania uwagi u dzieci. Strzałkę zastąpiono rybką; dzieci miały pomóc płynąć jej w odpowiednim kierunku, zwłaszcza kiedy rybce przeszkadzały inne rybki płynące w kierunku odwrotnym (flankery w warunkach konfliktowym). Okazało się, że dzieciom trudniej jest utrzymywać kontrolę uwagową, a ich czasy reakcji są dłuższe niż u dorosłych. Dzieci poddawano także treningom funkcji kontrolnych. W rezultacie zaobserwowano poprawę wykonania nie tylko zadania uwagowego, ale również testów mierzących poziom inteligencji ogólnej, a wzorce aktywności elektrycznej mózgu podczas wykonywania zadania zaczęły bardziej przypominać te, które obserwowano u dorosłych [Rueda i in. 2005]. Warto również zauważyć, że aby poprawić efektywność funkcjonowania sieci uwagowych, wykorzystuje się ostatnio technikę tzw. neurofeedbacku [Barnea i in. 2004].

Psychopatologia

Badania prowadzone na osobach z różnymi zaburzeniami wykazały, że u wielu z nich występują określone deficyty funkcjonowania mechanizmów uwagi, np. w schizofrenii, chorobie Alzheimera czy zaburzeniu borderline obserwuje się deficyty kontroli uwagowej; u osób autystycznych zaobserwowano deficyty funkcji orientacyjnych, a u dzieci z ADHD zaburzenia mechanizmu wzbudzeniowego [Rothbart, Posner 2006].

Samokontrola i emocje

Badania nad uwagą ujawniły związek między efektywnością funkcji zarządczych a temperamentem i samokontrolą, a także znaczenie funkcjonowania systemu zarządczego w regulacji procesów emocjonalnych [Raz 2004]. Związek między emocjami a funkcjonowaniem uwagi był przedmiotem naszego zainteresowania w niedawno przeprowadzonych badaniach własnych [Asanowicz, Siedlecka; w przygotowaniu]. Zadaliśmy sobie pytanie, w jaki sposób emocje wpływają na efektywność funkcjonowania poszczególnych sieci uwagowych oraz jak wyjaśnić ten związek.

Jak wspomniano, funkcjonowanie systemu zarządczego jest regulowane przez układ transmisji dopaminergicznej. Na przykład podanie antagonisty dopaminy – droperidolu – zmniejsza skuteczność i elastyczność działania systemu kontrolnego; w efekcie zwiększa się koszt wykonania zadań niespójnych, konfliktowych [Marrocco, Davidson 2000]. Ponadto aktywność systemu dopaminergicznego jest silnie związana ze zmianami nastroju. Pozytywne emocje skorelowane są z podwyższonym, a negatywne z obniżonym poziomem dopaminy [Ashby, Isen, Turken 1999; Colzato, van Wouwe, Hommel 2007]. Nastrojem badanych manipulowaliśmy, pokazując im fotografie wybrane ze standaryzowanego zestawu IAPS [1999]. Zgodnie z przewidywaniami, wywołanie negatywnego nastroju obniżyło efektywność systemu zarządczego, co ujawniło się w wyższym wskaźniku konfliktu w porównaniu z grupą kontrolną. Nie stwierdziliśmy natomiast takiego wpływu na wskaźniki systemów orientacyjnego i wzbudzeniowego. Powyższe wyniki są w pełni spójne z przewidywaniami teorii, a ponadto wyniki grupy kontrolnej okazały się zaskakująco zgodne z rezultatami badań Fana i in. [2002], co świadczy o bardzo wysokiej rzetelności ANT.

Symulacje komputerowe

Mechanizm działania sieci uwagowych jest również badany za pomocą symulacji komputerowych. Model koneksjonistyczny opracowany przez Wanga i Fana [2007] bazujący na tzw. algorytmie biologicznie realnym (*biologically realistic algorithm*, LEABRA), zawiera moduły dla każdej z trzech sieci uwagowych oraz systemu percepcyjnego, rozpoznawania obiektów i reakcji. Są one połączone z sobą w ten sposób, że zachowują znane ograniczenia anatomiczne i funkcjonalne, co sprawia, że model ten jest biologicznie możliwy. Porównanie czasów reakcji ludzi i wyników osiągnię-

tych w symulacji podczas wykonywania zadania ANT wykazało, że model ten bardzo dobrze pasuje do danych behawioralnych (współczynnik korelacji – 0,94).

Drugi model został zbudowany na podstawie teorii ACT-R i symuluje procesy uwagi na poziomie symbolicznym [Wang, Fan, Johnson 2004]. Twórcy modelu wyróżnili sześć etapów wykonania każdej próby zadania ANT, a następnie zaimplementowali odpowiadające im funkcjonalne komponenty jako reguły w ACT-R. Stwórcy „symulowanych badanych” wykonywało zadanie ANT w takim samym planie eksperymentalnym jak odbywało się to w przypadku ludzi. I tu również uzyskano bardzo dobre dopasowanie modelu (korelacje na poziomie 0,99). Potwierdzono także niezależność wskaźników wykonania dla poszczególnych sieci uwagowych.

Podsumowanie

Interdyscyplinarna teoria, ujmująca najważniejsze aspekty uwagi, wypracowana w jej ramach terminologia oraz rzetelne i trafne narzędzie eksperymentalne – to wszystko razem okazało się doskonałym punktem wyjścia do realizacji spójnego projektu badawczego. Wykorzystanie wszelkich dostępnych technik badawczych pozwoliło na podjęcie problemu na wielu poziomach: od funkcjonowania pojedynczych neuronów i systemów neuromodulacyjnych poprzez neuroobrazowanie całych sieci i ich symulacje, aż po badanie zachowania. Jak twierdzi Posner (2004), żaden z tych poziomów osobno nie wyjaśni fenomenu uwagi, podobnie jak odkrycie struktury DNA nie wystarcza, żeby pojąć cały fenomen życia i odnaleźć sens istnienia. Jednakże integracja wielopoziomowej wiedzy w jeden wspólny obraz pozwoli na ogromny postęp w poznawaniu natury umysłu. Wydaje się, że takie podejście do poszczególnych problemów badawczych może stanowić bardzo dobrą podstawę dla wypracowania interdyscyplinarnego, a jednocześnie jednolitego paradygmatu kognitywistycznego.

BIBLIOGRAFIA

- Asanowicz D., Siedlecka M. 2008, *The Influence of Emotion on the Efficiency of Attentional Networks*. W przygotowaniu.
- Ashby F.G., Isen A.M., Turken A.U. 1999, *A neuropsychological theory of positive affect and its influence on cognition*, „Psychological Review”, nr 106, s. 529–550.
- Barnea A., Rassis A., Raz A., Othmer S., Zaidel E. 2004, *Effects of neurofeedback on hemispheric attentional networks*, „Brain and Cognition”. W druku.
- Cavanagh P. 2004, *Attention Routines and the Architecture of Selection* [w:] *Cognitive Neuroscience of Attention*, red. M.I. Posner, Guilford Press, New York, s. 13–28.
- Center for the Study of Emotion and Attention (CSEA) 1999, *The international affective picture system. Photographic slides*, The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida, Gainesville.
- Colzato L.S., van Wouwe N.C., Hommel B. 2007, *Feature binding and affect: Emotional modulation of visuo-motor integration*, „Neuropsychologia”, nr 45 (2), s. 440–446.
- Fan J., Byrne J., Worden M.S., Guise K.G., McCandliss B.D., Fossella J., Posner M.I. 2007, *The*

- relation of brain oscillations to attentional networks*, „Journal of Neuroscience”, nr 27(23), s. 197–206.
- Fan J., McCandliss B.D., Fossella J., Flombaum J.I., Posner M.I. 2005, *Activation of attentional networks*, „Neuroimage”, nr 26, s. 471–479.
- Fan J., McCandliss B.D., Sommer T., Raz A. i Posner M.I. 2002, *Testing the efficiency and independence of attentional networks*, „Journal of Cognitive Neuroscience”, nr 14, s. 340–347.
- Fernandez-Duque D., Posner M. I. 2001, *Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states*, „Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology”, nr 23(1), s. 477–486.
- Fossella J., Posner M.I., Fan J., Swanson J.M., Pfaff D.M. 2002, *Attentional phenotypes for the analysis of higher mental function*, „The Scientific World Journal”, nr 2, s. 217–223.
- Kolańczyk A. 2004, *Serce w rozumie. Afektywne podstawy orientacji w otoczeniu*, GWP, Gdańsk.
- Marrocco R.T., Davidson M.C. 2000, *Neurochemistry of attention* [w:] *The Attentive Brain*, red. R. Parasuraman, MIT Press, Cambridge, s. 33–50.
- Mesulam M.M. 1999, *Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events*, „Philosophical Transaction of the Royal Society B: Biological Sciences” 354(1387), 1325–1346.
- Nęcka E. 2000, *Procesy uwagi* [w:] *Psychologia. Podręcznik akademicki*, t. 2, red. J. Strelau, GWP, Gdańsk, s. 77–96.
- Posner M.I. 2004, *Cognitive Neuroscience of Attention*, The Guilford Press, New York.
- Posner M.I., Fan J. 2007, *Attention as an organ system* [w:] *Neurobiology of Perception and Communication: From Synapse to Society*, red. J. Pomerantz, Cambridge University Press, London.
- Posner M.I., Petersen S. 1990, *The attentional system of the human brain*, „The Annual Review of Neuroscience”, nr 13, s. 25–42.
- Posner M.I., Rothbart M.K. 2007, *Research on Attention Networks as a Model for the Integration of Psychological Science*, „Annual Review of Psychology”, nr 58, s. 1–23.
- Raz A. 2004, *Anatomy of attentional networks*, „Anatomical Record (Part B) New Anatomy” 281B, s. 21–36.
- Raz A., Buhle J. 2006, *Typologies of attentional networks*, „Nature”, nr 7 (5), s. 367–379.
- Rothbart M.K., Posner M.I. 2006, *Temperament, attention, and developmental psychopathology* [w:] *Handbook of Developmental Psychopathology, Revised*, red. D. Cicchetti, D.J. Cohen, Wiley, New York, s. 167–188.
- Rueda M.R., Rothbart M.K., McCandliss B.D., Saccomanno L., Posner M.I. 2005, *Training, maturation and genetic influences on the development of executive attention*, „Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America” 102(41): 14931–14936.
- Wang H., Fan J. 2007, *Human Attentional Networks: A Connectionist Model*, „Journal of Cognitive Neuroscience”, nr 19, s. 1678–1689.
- Wang H., Fan J., Johnson T.R. 2004, *A symbolic model of human attentional networks*, „Cognitive Systems Research”, nr 5, s. 119–134.
- Wronka E. 2004, *Uwaga. Mózg w działaniu. O neuronalnych podstawach mechanizmu uwagi*, „Studia Psychologiczne”, nr 4 (1), s. 11–23.