

Wybrane aspekty wpływu asymetrii funkcjonalnej półkul mózgowych na funkcjonowanie poznawcze oraz emocjonalne człowieka

Selected aspects of the impact of functional asymmetry of the cerebral hemispheres on the cognitive and emotional functioning of the human being

Klinika Neurologii i Udarów Mózgu, Uniwersytet Medyczny w Łodzi. Kierownik: prof. dr hab. n. med. Andrzej Głąbiński

Adres do korespondencji: Magdalena Sabiniewicz, Klinika Neurologii i Udarów Mózgu, Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Wojskowej Akademii Medycznej – Centralny Szpital Weteranów, ul. Żeromskiego 113, 90-549 Łódź, tel.: +48 510 912 952, e-mail: sabiniewicz.magdalena@gmail.com

Streszczenie

Przez wiele lat asymetria półkul mózgowych rozpatrywana była jako wyraźny podział funkcjonalny. W tym dychotomicznym modelu badacze wiązali półkulę lewą wyłącznie z funkcjami werbalnymi, a prawą – ze zdolnościami niewerbalnymi. Podział ten jest jednak niewyczerpujący i zdecydowanie upraszcza tematykę specjalizacji półkul mózgowych. Najnowsze doniesienia wskazują na współpracę i zarazem pewną niezależność międzypółkulową w zakresie funkcjonowania człowieka. Ponadto podkreśla się, że różnice funkcjonalne istnieją, ale są znacznie subtelnierze, niż zakładano na początku badań dotyczących tej tematyki. Aby ułatwić zrozumienie istoty asymetrii funkcjonalnej, stworzono modele, które wyjaśniały mechanizm specjalizacji półkulowej i odrębność stylów przetwarzania bodźców. Dane potwierdzające istnienie asymetrii funkcjonalnej półkul pochodzą m.in. z doniesień o jednostronnych uszkodzeniach mózgu, agenezji spoidła wielkiego, zabiegach komisurotomii czy hemisferektomii. Na tej podstawie dokonano analizy funkcjonowania kognitywnego i emocjonalnego pacjentów. Wykryto pewne prawidłowości dotyczące różnic i podobieństw w funkcjonowaniu półkul mózgowych w zakresie percepcji wzrokowej, funkcji werbalnych, prakcji, uwagi, pamięci i uczenia się czy funkcji wykonawczych. Jeśli chodzi o lateralizację emocji w mózgu, pojawia się wiele sprzecznych doniesień. Potrzebne są dalsze, dobrze zaprojektowane badania, które pomogą zrozumieć, czy istnieje lateralizacja emocji w mózgu, a jeśli tak, to jakich aspektów funkcjonowania afektywnego ona dotyczy. Niniejsza praca przedstawia przegląd poglądów na wpływ asymetrii półkul mózgowych na funkcjonowanie poznawcze, emocjonalne i behawioralne człowieka.

Key words: pólkule mózgowie, funkcje poznawcze, funkcje emocjonalne, objawy depresyjne, schizofrenia

Abstract

For many years, the asymmetry of the cerebral hemispheres was considered to be dichotomous with clear specialisation of each hemisphere. Researchers associated the left hemisphere exclusively with verbal functions, and the right hemisphere with non-verbal abilities. This division, however, is not exhaustive and definitely simplifies the subject of hemispheric specialisation. Recent reports indicate both cooperation and some interhemispheric independence in the daily functioning of the human being. Moreover, it is emphasised that functional differences exist, but they are much more subtle than expected at the beginning of research on this subject. In order to study the functional asymmetry of the cerebral hemispheres several models were developed that explain the mechanism of hemispheric specialisation and distinct styles of processing stimuli. Data supporting the existence of functional hemispheric asymmetry come mostly from reports of unilateral brain damage, corpus callosum agenesis as well as hemispherectomy and commissurotomy surgery. On the basis of the data, scientists conducted the analysis of cognitive and emotional functioning of patients. Certain regularities were detected regarding the differences and similarities in the functioning of the cerebral hemispheres in the area of visual perception, verbal functions, praxis, attention, memory, learning and executive functions. Lateralisation of emotions in the brain is an area of research that generates a lot of conflicting reports. There is a need for further well-designed studies to understand whether there is lateralisation of emotions in the brain, and if so, what aspects of them are involved. This paper presents views on the impact of hemispheric asymmetry on the cognitive, emotional and behavioural functioning of man.

Słowa kluczowe: cerebral hemispheres, cognitive functions, emotional functions, depressive symptoms, schizophrenic disorders

WSTĘP

Początek rozwoju asymetrii półkulowej u człowieka przypada na drugi i trzeci trymestr ciąży (Scheinost *et al.*, 2015). Proces ten ma podłoże ewolucyjne i adaptacyjne. Zauważono, że wspomaga funkcjonowanie układu nerwowego, odciążając obie półkule przez przydzielenie im konkretnych zadań. Asymetria anatomiczna i funkcjonalna oraz współzależność półkul mózgowych zostały udowodnione w badaniach nad zdrowym i chorym mózgiem ludzkim (Walsh i Darby, 2008). Obecnie wiadomo, że już u zwierząt obserwuje się asymetrię półkul mózgowych, choć początkowo – ze względu na rozwój mowy – przypisywano ją tylko ludziom (Walsh i Darby, 2008). Zarówno w mózgu zdrowym, jak i uszkodzonym półkule charakteryzują się niezależnością, a jednocześnie integracją funkcjonalną. Wynika z tego wiele zasad dotyczących kontroli funkcjonowania poznawczego i emocjonalnego przez obie półkule. Istotą asymetrii jest prawidłowe działanie ciała modzelowatego, które umożliwia komunikację międzypółkulową (Reite *et al.*, 2003). Dysfunkcję łączności półkul mózgowych wiąże się z występowaniem takich chorób, jak depresja czy schizofrenia (Davidson *et al.*, 2003; Kayser *et al.*, 2014; Linden, 2014; McCarthy-Jones *et al.*, 2015; Mittelman *et al.*, 2005; Ribolsi *et al.*, 2014).

ASYMETRIA FUNKCJONALNA I STRUKTURALNA ORAZ MODELE LATERALIZACJI

Rozwój lateralizacji półkulowej u każdego człowieka przebiega w sposób indywidualny, istnieją jednak prawidłowości, które można odnieść do większości jednostek.

Różnice widać przede wszystkim na poziomie anatomicznym: u 65% osób obszar kory mózgowej zwany *planum temporale* okazuje się większy w lewej półkuli (Walsh i Darby, 2008). Równie istotny jest rozwój spoidła wielkiego (łac. *corpus callosum*), stanowiącego ważny łącznik międzypółkulowy (Reite *et al.*, 2003). U ludzi cierpiących na agenezję spoidła wielkiego występuje mechanizm kompensacyjny – polegający na przejściu funkcji przesyłu informacji przez pozostałe spoidła, większe niż u ludzi zdrowych (Kalat, 2007).

W literaturze przedmiotu można znaleźć modele pomocne w zrozumieniu podstawowych zasad lateralizacji w mózgu. Na przestrzeni lat teorie dotyczące różnic i podobieństw w funkcjonowaniu półkul mózgowych człowieka ulegały wielu modyfikacjom. Pierwsze koncepcje charakteryzowały się podejściem dychotomicznym, ściśle dzielącym półkule według dominujących zadań. Interesujący przykład badawczy stanowi tutaj technika Wady, w której chwilowo – przez iniekcję amytalu sodu do tętnicy szyjnej – wyłącza się funkcjonalnie jedną półkulę (Walsh i Darby, 2008). Eksperyment ten stosowano w celu zbadania asymetrii funkcjonalnej półkul w zakresie mowy. W ten sposób powstało podejście utożsamiające funkcje werbalne z lewą półkulą,

a niewerbalne – z prawą. Stało się ono podstawą wiedzy o lateralizacji, choć jest bardzo dużym uproszczeniem.

Obecnie w badaniach nad lateralizacją podkreśla się współpracę półkul i ich wzajemne przenikanie funkcjonalne. Utrzymuje się podejście dotyczące odrębności i zarazem współdziałania półkul. Badacze podkreślają m.in. rolę komunikacji międzypółkulowej oraz procesów świadomych i nieświadomych modyfikujących wyniki badań (Balconi i Ferrari, 2012). W najnowszych doniesieniach zwraca się uwagę, że wzorce aktywności neuronalnej analizowanych funkcji mają charakter dynamiczny i zmieniają się w czasie. Aspekt czasowy może zatem implikować różne wyniki badań tych samych procesów.

LATERALIZACJA A WYBRANE FUNKCJE POZNAWCZE

Jak podkreślają Chen i Omiya (2014), istnieją niepodważalne dowody na powiązanie funkcji poznawczych i asymetrii strukturalnej. Ponadto – w wyniku interakcji czynników biologicznych i środowiskowych – asymetria półkulowa ulega modyfikacjom w ciągu życia człowieka. Jest zatem procesem ciągłym, uwarunkowanym plastycznością poznawczą mózgu. Lateralizacja językowa i wzrokowo-przestrzenna zmienia się od dzieciństwa aż po wiek podeszły (Takio *et al.*, 2014).

Istnieją paradygmaty badań nad dominacją półkulową w zakresie funkcjonowania poznawczego. Naukowcy używają dane z badań pacjentów bez organicznego uszkodzenia mózgu, jak również osób z jednostronnym jego uszkodzeniem, agenezją spoidła wielkiego, po zabiegach komisurotomii i hemisferektomii oraz cierpiących na zaburzenia psychiczne lub somatyczne (Walsh i Darby, 2008). Schematy eksperymentów są różne, jednak w każdym wykorzystuje się testy albo zadania angażujące dany proces poznawczy. Metody neuroobrazowania pozwalają na dokładne określenie lokalizacji obszarów o podwyższonej aktywacji podczas badania.

Najwcześniej zbadanym aspektem dominacji półkulowej w zakresie funkcjonowania poznawczego jest lateralizacja werbalna. Współcześnie bierze się pod uwagę konkretny aspekt komunikatu i odchodzi od skrajnie dychotomicznego podziału na kontrolę funkcji werbalnych lub niewerbalnych. Wyniki badań określają dominującą rolę lewej półkuli w odbiorze bodźców na podstawie ich cech lingwistycznych, a nie akustycznych (Takio *et al.*, 2014). Rosen i wsp. (2011) sprecyzowali, że to lewa okolica skroniowa aktywuje się w odpowiedzi na sensowne komunikaty werbalne. W tworzeniu wypowiedzi dominuje lewa półkula, a prawa aktywuje się podczas odbioru semantycznych aspektów przekazu, kontrolując tworzenie konstrukcji metaforycznych (Argyriou *et al.*, 2015). Prawa półkula, aktywująca się w trakcie oceniania stanu emocjonalnego nadawcy komunikatu, dominuje też w kontroli prozodii afektywnej (Witte-man *et al.*, 2012). Istotną umiejętnością jest również fluencja werbalna, czyli płynne tworzenie słów i ekspresja językowa.

Zdolność ta wiąże się z aktywacją w środkowym zakręcie lewego płata czołowego i przedniego zakrętu obręczy (Wagner *et al.*, 2014). Analiza podłoża dysleksji u dzieci i młodzieży wskazuje na dominację lewej półkuli w tworzeniu wizualnych i wzrokowo-fonologicznych reprezentacji słów podczas czytania (Xu *et al.*, 2015). Powyższe przykłady pokazują, że współpraca obu półkul to warunek konieczny prawidłowego odbioru, analizy i ekspresji werbalnej.

Asymetria półkulowa ujawnia się także w procesach zaangażowanych w funkcjonowanie człowieka w przestrzeni. U osób z dominującą lewą półkulą prawa zawiaduje funkcjami wzrokowo-przestrzennymi (Ha *et al.*, 2012). Podłożem takiego zróżnicowania jest prawopółkulowy mechanizm kodowania danych przestrzennych, który przez wspieranie orientacji człowieka w otoczeniu pozwala poprawnie działać nawigacji przestrzennej (*spatial navigation*) (Baumann i Mattingley, 2014). Stronna dominacja przejawia się nawet większą aktywnością prawego hipokampa podczas wykonywania przez ochotnika zadania angażującego lokalizację obiektów w przestrzeni (Baumann i Mattingley, 2014). Kolejną funkcją, która pomaga jednostce poruszać się w otoczeniu, jest uwaga przestrzenna. Zarówno jej prawidłowe działanie, jak i zakłócenia wiążą się z dominacją prawopółkulową (Bartolomeo, 2014; Takio *et al.*, 2014). Do istotnych zaburzeń uwagi przestrzennej należy pomijanie stronne. Częściej obserwuje się pomijanie lewostronne, powiązane z dysfunkcją prawej półkuli. Pomijanie prawostronne zdarza się stosunkowo rzadko i ma łagodny charakter. Z tego względu lewa półkula nie jest dominująca dla tego zaburzenia (Bartolomeo, 2014). Najnowsze badania potwierdzają dominację prawej półkuli w kontroli uwagi i orientacji w otoczeniu, szczególnie zaś w przestrzeni najbliższej ciała (Longo *et al.*, 2015).

Ważnym obszarem poznawczym definiującym tożsamość człowieka są jego orientacja allopsychiczna i aktualny obraz samego siebie. Funkcje te świadczą o poziomie świadomości i samoświadomości oraz jakości wymiany informacji między osobą a otoczeniem bez zniekształceń

poznawczych. Prawy obszar czołowy odpowiada za funkcje składające się na obraz samego siebie. Uszkodzenie tej części kory mózgowej może doprowadzić do zaburzeń z grupy *neuropsychologies of the self*, takich jak somatoparafia, deluzje, zespół fantomowy, konfabulacje i zaburzenia orientacji autopsychicznej (Feinberg, 2013). Oprócz świadomego odbierania i przetwarzania informacji o sobie człowiek ma unikalną zdolność do twórczego myślenia. Wyobraźnia należy do najmniej zbadanych i najbardziej interesujących funkcji poznawczych. Aziz-Zadeh i wsp. (2013) podkreślają, że nawet zadania angażujące umiejętności kontrolowane przez prawą półkulę (np. zdolności wzrokowo-przestrzenne) – gdy zawierają aspekt twórczy – aktywują również obszary w lewej półkuli. Autorzy określają ten proces, oparty na współpracy półkul mózgowych, jako twórcze przetwarzanie. Podziały na funkcje prawej i lewej półkuli oddają złożoność procesów poznawczych. Specjalizacja półkulowa w tym zakresie nie jest ostrym, dychotomicznym podziałem – istnieją jedynie pewne obszary odpowiedzialne za dany aspekt czynności mające lokalizację jednostronną. Oznacza to brak równoważności strukturalnej i funkcjonalnej półkul, których aktywność w przebiegu wielu funkcji poznawczych i ich zaburzeń jest odmienna (tab. 1).

LATERALIZACJA A FUNKCJONOWANIE AFEKTYWNE

Stany afektywne występujące u ludzi mają różnorodne podłoże. Patomechanizm może mieć charakter organiczny bądź psychogeny – gdy nastroj podstawowy człowieka jest reakcją na sytuację trudną. Zarówno lewa, jak i prawa półkula kontrolują procesy funkcjonowania afektywnego.

Istnieją oddzielne paradygmaty do badania postrzegania i doświadczania emocji. Najbardziej rozpowszechnione schematy eksperymentu służącego ocenie percepcji emocji to ekspozycja bodźców słuchowych lub zdjęć twarzy z mimiką będącą wyrazem danego stanu afektywnego. Z kolei ocenę doświadczania emocji można przeprowadzić

Funkcja poznawcza	Lewa półkula	Prawa półkula
Funkcje werbalne	Kontroluje odbiór bodźców na podstawie cech lingwistycznych komunikatu i sensowności wypowiedzi (Rosen <i>et al.</i> , 2011; Takio <i>et al.</i> , 2014).	Zawiaduje odbiorem bodźców na podstawie cech semantycznych komunikatu i tworzeniem komunikatów metaforycznych (Argyriou <i>et al.</i> , 2015). Kontroluje procesy oceny stanu afektywnego nadawcy komunikatu, czyli prozodię afektywną (Witteman <i>et al.</i> , 2012).
Funkcjonowanie człowieka w przestrzeni	W wyniku jej uszkodzenia może wystąpić pomijanie prawostronne (Bartolomeo, 2014).	Odpowiada za funkcjonowanie człowieka w przestrzeni, poprawne działanie nawigacji przestrzennej i uwagi przestrzennej (Bartolomeo, 2014; Baumann i Mattingley, 2014; Ha <i>et al.</i> , 2012; Takio <i>et al.</i> , 2014). Kontroluje orientację w przestrzeni najbliższej ciała człowieka (Longo <i>et al.</i> , 2015). W wyniku jej uszkodzenia może wystąpić pomijanie lewostronne (Bartolomeo, 2014).
Obraz samego siebie	Nie jest dominującym obszarem dla tej funkcji.	Zaangażowana jest w tworzenie obrazu samego siebie. Uszkodzenie tej okolicy może powodować somatoparafrenię, deluzje, zespół fantomowy, konfabulacje i zaburzenia orientacji autopsychicznej (Feinberg, 2013).
Wyobraźnia	Aktywuje się podczas rozwiązywania zadań angażujących kreatywność (Aziz-Zadeh <i>et al.</i> , 2013).	Dominuje w kontroli zadań wzrokowo-przestrzennych (Aziz-Zadeh <i>et al.</i> , 2013).

Tab. 1. Dominacja półkulowa w wybranych funkcjach poznawczych

za pomocą demonstracji filmów czy fotografii wywołujących u odbiorców pożądane emocje (Guillory i Bujarski, 2014). W celu analizy obszarów aktywnych podczas tych eksperymentów naukowcy korzystają ze współczesnych technik neuroobrazowania.

Współpraca płatów czołowych obu półkul umożliwia pełne i prawidłowe funkcjonowanie afektywne. Analiza poziomów aktywacji konkretnych obszarów przedniej części mózgowia pozwala zrozumieć asymetrię półkulową w obszarze emocjonalnym. Prawa przednio-boczna część płata czołowego aktywuje się w przypadku gniewu, strachu i zaskoczenia, a lewa strona płata czołowego – w chwilach szczęścia (Balconi i Ferrari, 2012), lecz nie oznacza to dychotomicznego podziału funkcji półkul pod względem emocji. Stwierdza się dominującą aktywację lewej półkuli w odpowiedzi na odbiór pozytywnych emocji, a prawej – w reakcji na odbiór emocji negatywnych (Balconi i Ferrari, 2012; Balconi *et al.*, 2015). W sferze funkcjonowania motywacyjnego u osób praworęcznych aktywuje się lewa półkula, u leworęcznych zaś – prawa (Brookshire i Casasanto, 2012).

Wnioski badaczy (Costa *et al.*, 2014) potwierdzają hipotezę o różnych obszarach kory mózgu zaangażowanych w postrzeganie czterech podstawowych emocji (strach, obrzydzenie, szczęście, smutek) w poszczególnych oknach czasowych. Dodatkowo badania wykazały przestrzenne nakładanie się wielu wzorców neuronalnych w odpowiedzi na postrzeganie poszczególnych emocji (Costa *et al.*, 2014). Nie należy więc szukać jednej lokalizacji odpowiedzialnej za kontrolę konkretnej emocji; trzeba wziąć pod uwagę aspekt czasowy, który nadaje dynamikę i rozszerza przestrzennie reprezentację zarówno emocji, jak i umiejętności. Istnienie świadomych i nieświadomych procesów percepcji emocji też może wpływać na modyfikację wyników badań (Balconi i Ferrari, 2012).

DEPRESJA I SCHIZOFRENIA – KONCEPCJE LATERALIZACJI JAKO PATOMECHANIZMU ZABURZEŃ

Najnowsze badania sugerują, że rozwój schizofrenii wiąże się z upośledzoną dominacją lewej półkuli mózgu w zakresie funkcji werbalnych, czego podłożem jest zaburzona komunikacja międzypółkulowa (Ribolsi *et al.*, 2014). Potwierdzają to obserwacje Mitelmana i wsp. (2005), którzy zaobserwowali istotne zaburzenia w komunikacji metabolicznej między korą czołowo-skroniową a jądrem brzuszno-wzgórzka w lewej półkuli. Zakłócenie łączności między ośrodkami mowy zlokalizowanymi w obszarze czołowym (ośrodek Broki) i skroniowym (ośrodek Wernickego) to przyczyna wystąpienia omamów słuchowych u osób cierpiących na schizofrenię (McCarthy-Jones *et al.*, 2015). Ponadto Fillman i wsp. (2015) zaobserwowali mniejszą objętość ośrodka Broki, co wiąże się z obniżeniem poziomu fluencji słownej u chorych. Wszystkie te defekty pogarszają komunikację z chorym i przyczyniają się do rozwoju objawów pozytywnych. Bardzo istotną obserwacją poczynioną

w trakcie badań nad lateralizacją funkcji poznawczych jest nietypowa dominacja prawopółkulowa w zakresie mowy u pacjentów ze schizofrenią (Sommer *et al.*, 2001). Skoro współdziałanie obu zdrowych półkul utrzymuje homeostazę układu, brak łączności między półkulami być może zaburza równowagę informacyjną.

W przebiegu depresji naukowcy też szukają różnic w działaniu obu półkul mózgowych. Najnowsze doniesienia koncentrują się na analizowaniu wzorów aktywności lewych i prawych obszarów mózgu w odpowiedzi na bodźce emocjonalne (pozytywne, negatywne i neutralne). Opierając się na tym podejściu, Kayser i wsp. (2014) odkryli, że istnieje duże ryzyko wystąpienia depresji związane z dysfunkcją obszaru ciemieniowego prawej półkuli. Powyższy wniosek badacze sformułowali po zaobserwowaniu większej aktywacji tej okolicy podczas percepcji przetwarzania bodźców emocjonalnych. Inny eksperyment dotyczył silniejszej aktywacji prawego obszaru przedczołowego w odpowiedzi na bodźce negatywne w rozwoju depresji (Davidson *et al.*, 2003). Linden (2014) popiera tezę o zmniejszeniu aktywności lewego płata czołowego w przebiegu tej choroby. Ponadto zauważono, że u pacjentów cierpiących na długotrwałe objawy dużej depresji obszar lewego hipokampa jest zmniejszony nawet o 19%, co może – przynajmniej częściowo – wyjaśniać zaburzenia pamięci obserwowane w przebiegu omawianej choroby (Bremner *et al.*, 2000).

Obecnie naukowcy koncentrują się nie tylko na neurofizjologicznym podłożu depresji. Podkreślają istotność dysansu między nastrojem podstawowym jednostki a oczekiwaniem dotyczącym jej codziennego funkcjonowania, nazywanego konfliktem reakcji afektywnej (Davidson *et al.*, 2003). Podsumowując: początkowo w badaniach asymetrii półkulowej jako podłoża zaburzeń depresyjnych koncentrowano się na nadrzędnej roli obszaru czołowego. Obecnie obserwacje rozszerza się na cały układ nerwowy i czynniki psychiczne. Taka tendencja w nauce jest zasadna, ponieważ dysfunkcje w obrębie jednej półkuli nie wyjaśniają całkowicie występowania opisanych zaburzeń.

PODSUMOWANIE

Aktualne koncepcje dotyczące lateralizacji wybranych aspektów funkcjonowania człowieka podkreślają złożoność tej problematyki. Zwraca się uwagę na współpracę i zarazem pewną niezależność międzypółkulową. Najnowsze badania wskazują na rolę procesów świadomych i nieświadomych oraz dynamikę funkcji poznawczych i emocjonalnych człowieka. Uwzględnienie aspektu czasowego i nakładania się na siebie wzorców aktywności neuronalnej rozszerza możliwości interpretacji wielu eksperymentów oraz wyjaśnia różnorodność rezultatów badań. Dotychczas udowodniono asymetrię półkulową w zakresie funkcjonowania afektywnego i poznawczego człowieka. Obserwuje się sukcesywny rozwój eksperymentów mających na celu analizę wpływu asymetrii półkulowej na występowanie i przebieg schizofrenii i depresji.

Konflikt interesów

Autorzy oświadczają, iż nie ma konfliktu interesów w przedstawionej pracy.

Piśmiennictwo

- Argyriou P, Byfield S, Kita S: Semantics is crucial for the right-hemisphere involvement in metaphor processing: evidence from mouth asymmetry during speaking. *Laterality* 2015; 20: 191–210.
- Aziz-Zadeh L, Liew SL, Dandekar F: Exploring the neural correlates of visual creativity. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2013; 8: 475–480.
- Balconi M, Ferrari C: Subliminal and supraliminal processing of facial expression of emotions: brain oscillation in the left/right frontal area. *Brain Sci* 2012; 2: 85–100.
- Balconi M, Grippa E, Vanutelli ME: Resting lateralized activity predicts the cortical response and appraisal of emotions: an fNIRS study. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2015; 10: 1607–1614.
- Bartolomeo P: *Attention Disorders After Right Brain Damage: Living in Halved Worlds*. Springer-Verlag, London 2014.
- Baumann O, Mattingley JB: Dissociable roles of the hippocampus and parietal cortex in processing of coordinate and categorical spatial information. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 73.
- Bremner JD, Narayan M, Anderson ER *et al.*: Hippocampal volume reduction in major depression. *Am J Psychiatry* 2000; 157: 115–118.
- Brookshire G, Casasanto D: Motivation and motor control: hemispheric specialization for approach motivation reverses with handedness. *PLoS One* 2012; 7: e36036.
- Chen C, Omiya Y: Brain asymmetry in cortical thickness is correlated with cognitive function. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 877.
- Costa T, Cauda F, Crini M *et al.*: Temporal and spatial neural dynamics in the perception of basic emotions from complex scenes. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2014; 9: 1690–1703.
- Davidson RJ, Irwin W, Anderle MJ *et al.*: The neural substrates of affective processing in depressed patients treated with venlafaxine. *Am J Psychiatry* 2003; 160: 64–75.
- Feinberg TE: Neuropathologies of the self and the right hemisphere: a window into productive personal pathologies. *Front Hum Neurosci* 2013; 7: 472.
- Fillman SG, Weickert TW, Lenroot RK *et al.*: Elevated peripheral cytokines characterize a subgroup of people with schizophrenia displaying poor verbal fluency and reduced Broca's area volume. *Mol Psychiatry* 2015. DOI: 10.1038/mp.2015.90.
- Guillory SA, Bujarski KA: Exploring emotions using invasive methods: review of 60 years of human intracranial electrophysiology. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2014; 9: 1880–1889.
- Ha JW, Pyun SB, Hwang YM *et al.*: Lateralization of cognitive functions in aphasia after right brain damage. *Yonsei Med J* 2012; 53: 486–494.
- Kalat JW: *Biologiczne podstawy psychologii*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- Kayser J, Tenke CE, Abraham K *et al.*: Event-related potential (ERP) asymmetries to hemifield presentations of emotional stimuli differ between individuals at high and low risk for major depression. *Biol Psychiatry* 2014; 75: 151S–152S.
- Linden DE: Neurofeedback and networks of depression. *Dialogues Clin Neurosci* 2014; 16: 103–112.
- Longo MR, Trippier S, Vagnoni E *et al.*: Right hemisphere control of visuospatial attention in near space. *Neuropsychologia* 2015; 70: 350–357.
- McCarthy-Jones S, Oestreich LKL; Australian Schizophrenia Research Bank, Whitford TJ: Reduced integrity of the left arcuate fasciculus is specifically associated with auditory verbal hallucinations in schizophrenia. *Schizophr Res* 2015; 162: 1–6.
- Mitelman SA, Byne W, Kemether EM *et al.*: Metabolic disconnection between the mediodorsal nucleus of the thalamus and cortical Brodmann's areas of the left hemisphere in schizophrenia. *Am J Psychiatry* 2005; 162: 1733–1735.
- Reite M, Teale P, Rojas DC *et al.*: Anomalous somatosensory cortical localization in schizophrenia. *Am J Psychiatry* 2003; 160: 2148–2153.
- Ribolsi M, Daskalakis ZJ, Siracusano A *et al.*: Abnormal asymmetry of brain connectivity in Schizophrenia. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 1010.
- Rosen S, Wise RJ, Chadha S *et al.*: Hemispheric asymmetries in speech perception: sense, nonsense and modulations. *PLoS One* 2011; 6: e24672.
- Scheinost D, Lacadie C, Vohr BR *et al.*: Cerebral lateralization is protective in the very prematurely born. *Cereb Cortex* 2015; 25: 1858–1866.
- Sommer I, Ramsey N, Kahn R *et al.*: Handedness, language lateralisation and anatomical asymmetry in schizophrenia: meta-analysis. *Br J Psychiatry* 2001; 178: 344–351.
- Takio F, Koivisto M, Hämäläinen H: The influence of executive functions on spatial biases varies during the lifespan. *Dev Cogn Neurosci* 2014; 10: 170–180.
- Wagner S, Sebastian A, Lieb K *et al.*: A coordinate-based ALE functional MRI meta-analysis of brain activation during verbal fluency tasks in healthy control subjects. *BMC Neurosci* 2014; 15: 19.
- Walsh KW, Darby D: *Neuropsychologia kliniczna Walsha*. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2008.
- Witteaman J, Van Heuven VJ, Schiller NO: Hearing feelings: a quantitative meta-analysis on the neuroimaging literature of emotional prosody perception. *Neuropsychologia* 2012; 50: 2752–2763.
- Xu M, Yang J, Siok WT *et al.*: Atypical lateralization of phonological working memory in developmental dyslexia. *J Neurolinguistics* 2015; 33: 67–77.