



Magdalena Knapiek

## ZABURZENIA MOWY A ASYMETRIA FUNKCJONALNA MÓZGU W KONTEKŚCIE UCZENIA SIĘ – DONIESIENIA Z BADAŃ

### Streszczenie

Na temat lateralizacji napisano już bardzo wiele, a trwające badania prowadzące do próby zrozumienia procesów neurobiologicznych mózgu pokazują, że jest to zagadnienie ważne w aspekcie procesu uczenia się. Dostrzeżenie znaczenia specjalizacji półkul mózgowych jest istotne w podejmowaniu działań dydaktycznych, terapeutycznych oraz stymulujących rozwój dziecka. Poniższy tekst stanowi próbę przedstawienia zależności między formułą lateralizacji a trudnościami w uczeniu się. Jest on zestawieniem badań autorki zamieszczonych w pracy doktorskiej pod tytułem „Zaburzenia przetwarzania porządków linearnych w języku dzieci pięcio- i sześciolletnich” (2015) oraz prowadzonych w latach 2015 i 2016.

**Słowa kluczowe:** mózg, język, lateralizacja, uczenie się, dysleksja

Lateralization vs. dyslexia. About functional asymmetry of brain and learning process on personal research context

### Summary

There were written many articles and books regarding the lateralization. The actual researches lead to understanding of the neurobiological processes showing that this is very important issue in the aspect of learning process. The importance of brain sides specialization in didactical, therapeutic and stimulating progress activities needs to be realized. The below text is dedicated to the attempt of showing the reliance between the lateralization formula and problems in learning. It shows the results of researches that may be found in doctoral thesis titled: *Disorders in linear orders processing of five- and six-year old children's language* (2015) and the researchers conducted in 2015 and 2016.

**Keywords:** brain, language, lateralization, learning process, dyslexia

## Mózg z perspektywy neurodydaktyki

Jak zbudowany jest mózg? W jaki sposób działa? Ile jego potencjału wykorzystujemy? Jak nasze aktywności wpływają na pracę mózgu? To tylko nieliczne pytania, które zajmują naukowców, w tym także logopedów. Mózg czynimy odpowiedzialnym za uczenie się, rozwój poznawczy, opanowanie języka. Opisuując jego budowę, zauważamy, że każdy obszar jest ważny, ponieważ odpowiada za poszczególne umiejętności człowieka.

Mózg składa się z dwóch półkul połączonych ciałem modzelowatym, uznawanym za miejsce kumulacji włókien nerwowych łączących je ze sobą. Spoidło wielkie wiąże obszary wzrokowe, słuchowe, czuciowe, ruchowe i asocjacyjne obydwóch półkul, co pozwala na koordynację ich pracy. W każdej półkuli wyróżnia się cztery płaty: czołowy, skroniowy, potyliczny i ciemieniowy. Pierwszy odpowiada za ekspresję mowy, planowanie działań, normy i zachowania społeczne, aktywność kulturotwórczą oraz czynności motoryczne. W płacie skroniowym znajdują się ośrodki słuchowe i rozumienia mowy. Płat potyliczny zajmuje się odbiorem i analizą bodźców wzrokowych, natomiast płat ciemieniowy, oprócz funkcji związanych z orientacją przestrzenną, odpowiada także za wrażenia pochodzące z naszego ciała (Budohoska, Grabowska 1994: 15).

Aby wyobrazić sobie, jak skomplikowanym i pełnym tajemnic organem jest mózg, wystarczy powiedzieć, że składa się on ze 100 mld neuronów i 10 razy więcej komórek glijowych. Do tego każdy neuron posiada 10 tys. połączeń z innymi komórkami nerwowymi. Neurony komunikują się za pomocą synaps. Im więcej bodźców dostarczamy do mózgu, tym więcej połączeń synaptycznych może się wytworzyć. To z kolei warunkuje poziom aktywności mózgu, a w szczególności proces uczenia się.

Formowanie się dróg przekazu informacji wiąże się z przeżywaniem nowych doświadczeń. Należy w tym miejscu zaznaczyć jednak, że mózg jest organem, który lubi znane połączenia, nawet jeżeli nowe byłyby dla niego optymalnie lepsze i bardziej funkcjonalne. Stąd też ważne jest wytworzenie się w okresie dzieciństwa struktury połączeń synaptycznych prawidłowo przetwarzającej informacje. Stanowi ona podstawę dobrego rozwoju dziecka (Żylińska 2013: 31). Jeżeli zatem mózg nauczy się we wczesnym dzieciństwie, np. przetwarzać informacje jedynie w sposób globalny, bardzo ciężko będzie mu zmienić raz obrane i niewystarczające ścieżki uczenia się, które w konsekwencji mogą doprowadzić do trudności szkolnych.

Nie tylko budowa mózgu, ale również zakres jego procesów neuronalnych jest imponujący. Manfred Spitzer podaje: „Jeden neuron potrafi generować do

300 impulsów na sekundę. Jeżeli założymy, że obecność lub brak impulsu niesie jeden bit informacji, to wynika z tego, że nasz mózg jest w stanie przetworzyć w ciągu sekundy 2,5 miliona razy 300 bitów = 750 milionów bitów. Osiem bitów odpowiada jednemu bajtowi, a «milion» zostaje często zastępowany przez «mega». Ilość informacji docierających do naszego mózgu wynosi blisko 100 megabajtów na sekundę” (2011: 52). Co więcej, impulsy przesyłające informacje mogą przemieszczać się z prędkością nawet 430 km/h.

Dodać trzeba, że człowiek rodzi się z bardzo dużą liczbą neuronów. Jednak nie wszystkie z nich są przez niego wykorzystywane. Te, które zostają uznane za nieprzydatne, zanikają. Zjawisko to szczególnie intensywnie zachodzi między 8. a 15. rokiem życia, stąd też ważne jest, aby w dzieciństwie pracować nad uruchomieniem i przydatnością jak największej liczby neuronów (Spitzer 2011; Vetulani 2011a, 2011b). Nie oznacza to oczywiście, że wszystkie te komórki powinny na zawsze pozostać w naszych mózgach. Redukcja zbędnych neuronów jest bowiem niezbędna w procesie dojrzewania struktur mózgowych. Natomiast następstwo tego procesu stanowi wykształcenie się ścieżek synaptycznych dostosowanych do indywidualnych potrzeb każdego człowieka.

W świetle najnowszych badań neurobiologicznych poświęconych pracy mózgu okazało się, że komórki glejowe są szczególnie ważne w procesie uczenia się (Spitzer 2011; Vetulani 2011a, 2011b). Tworzą one otoczenie aksonów, czyli przewodów neuronowych. Przez lata nie przypisywano im większej roli. Marian Diamond, po przebadaniu mózgu Alberta Einsteina, postawiła hipotezę, że jego geniusz nie był związany z liczbą neuronów w korze kreatywnej, lecz z podwójną warstwą komórek glejowych w korze ciemieniowej. Okolica ta odpowiada przede wszystkim za wyższe funkcje mózgowie, myślenie abstrakcyjne oraz obrazowanie wizualne (Żylińska 2013: 27–28). Proces mielinizacji, co ważne z punktu widzenia poznawczego, kończy się w trzeciej dekadzie życia i jest ostatnim etapem dojrzewania mózgu. M. Spitzer pisze: „Obszar, którego włókna jeszcze nie mają osłonki mielinowej, tylko w niewielkim stopniu przyczynia się do przetwarzania informacji. Połączenie nerwowe bez osłonki mielinowej jest więc w korze czymś w rodzaju głuchego połączenia telefonicznego; fizyczne połączenie istnieje, jest jednak zbyt wolne, by mogło pełnić jakąś funkcję” (2011: 170). Struktury mózgu zmieniają się na skutek różnych doświadczeń (Gazzaniga 1997), a stymulacja neurobiologiczna powoduje przyspieszenie budowy osłonki mielinowej, na jej grubość wpływa aktywna praca neuronów (Cieszyńska 2011).

Na jakość struktury białej i szarej oddziałuje otoczenie, w jakim wychowuje się dziecko. Jego stymulacja, kontakty z opiekunami i rówieśnikami, zabawy

ruchowe oraz manualne, ćwiczenia rozwijające poznawczo, muzyka, taniec i śpiew, zwiększają poziom mielinizacji włókien nerwowych. Odkrywanie świata wieloma zmysłami powoduje aktywację znacznych obszarów w mózgu, tym samym stymulację ich.

## Neuroplastyczność mózgu

Neuroplastyczność mózgu to inaczej możliwość uczenia się nowych informacji. Na temat tego zjawiska mówi się wiele w kontekście działań terapeutycznych, zarówno logopedycznych, jak i psychologicznych, pedagogicznych i psychiatrycznych. Małgorzata Kossut (2010) zauważa, że plastyczność neuronalna jest możliwa w sytuacji zmiany właściwości komórek nerwowych pod wpływem bodźców zewnętrznych. Todd Farmer sądzi, że połączenia neuronalne, tworzące się w naszym mózgu, powstają zarówno w strukturach komórkowych dzieci, jak i osób starszych (Farmer i in. 2016). O możliwości swoistego „okna” zmiany ścieżek neuronalnych po nastąpieniu okresu krytycznego, jakim jest osiągnięcie dorosłości, pisze zespół Davida Bochnera (2014). Jerzy Vetulani twierdzi, że plastyczność mózgu to bardzo ważna cecha, która pozwala na pełne wykorzystywanie połączeń neuronalnych. Uważa się, że zmiana struktur mózgowych powodowana jest oddziaływaniem czynników zewnętrznych, a „wiedza o mózgu mówi nam obecnie, że słowo, a właściwie przekazywane przez słowo uczenie się, powoduje wyraźne, wymierne, materialne zmiany w strukturze mózgu” (Vetulani 2011b: 204). M. Spitzer zwraca uwagę na zmiany w mózgu powodowane bezustannym uczeniem się. Jego zdaniem plastyczność mózgu wzrasta w momencie dostarczania mu nowych doświadczeń i pobudzania neuronów do wysiłku (2011: 17–21, 42). Zatem im więcej się uczymy, czytamy, angażujemy intelektualnie i kulturowo, tym więcej nowych połączeń neuronowych tworzy się w naszych mózgach. Ćwicząc mózg, dajemy mu szansę na lepszą pracę i dłuższą zdolność do aktywnych działań. Z całą pewnością można stwierdzić, że edukacja i stymulacja dzieci rozwijających się prawidłowo oraz dzieci z zaburzeniami pozwala im na osiągnięcie sukcesu i poprawia jakość ich funkcjonowania w otoczeniu, skoro za sprawą terapii dokonują się zmiany w mózgu. J. Vetulani zaznacza, że możliwości mózgu są bardzo duże. Neurobiolog stoi w opozycji do twierdzeń innych naukowców na temat tego, że wykorzystujemy mózg zaledwie w kilku procentach. Sądzi, iż człowiek w czasie wielu procesów neuronalnych aktywuje, oczywiście w różnym stopniu, cały mózg (2011b).

O plastyczności mózgu świadczą, ważne także z punktu widzenia logopedii, badania prowadzone na osobach głuchych. Velia Cardin twierdzi, że w ich przypadku struktura neuronalna zostaje przeorganizowana nie tylko, aby skompensować niemożliwość słyszenia, ale przede wszystkim, by dać człowiekowi biologiczną szansę nauczenia się np. języka drogą wzrokową. Bezpośrednio pozwala to na stworzenie się reprezentacji językowych w mózgu i rozwój poznawczy w ogóle. Mózg człowieka jest bowiem w stanie rozróżnić gesty w kontekście desygnatów językowych, do których się odnoszą, od innych wizualnych ruchów ręki. To udowadnia, że obszary mózgu, pierwotnie odpowiedzialne za słyszenie, zmieniają swoje przeznaczenie i rozpoczynają funkcjonowanie np. w zakresie bodźców wzrokowych. Udowodniono, że u osób, które są głuche i posługują się językiem migowym, aktywują się obszary w lewej półkuli mózgu, która nie odpowiada za globalne przetwarzanie informacji wzrokowych. A jednak to robi, budując kompetencję językową z materiałów opracowywanych globalnie – wizualnie. Takie procesy w mózgu osób słyszących nie zachodzą w czasie obserwowania gestów języka migowego (Cardin 2013).

Możliwość tworzenia języka symbolicznego i ustrukturalizowanego odróżnia nas od innych istot żyjących. Mowa, która pozwala nam na ekspresję myśli, jest jednak ograniczana, a ściślej porządkowana przez reguły gramatyczne. Człowiek rodzi się wyposażony w struktury mózgowie, które pozwalają na opanowanie systemu komunikacji językowej. System ten stanowi narzędzie w porozumiewaniu się z drugim człowiekiem, ale przede wszystkim jest podstawą ludzkiej świadomości (Vetulani 2011a: 32). Neurobiolodzy i genetycy molekularni dopatrują się różnych przyczyn zaburzeń mowy. Wymieniane są uszkodzenia struktur mózgowych w wyniku chorób i urazów, ale również czynniki genetyczne, które wpływają na problemy z komunikacją. Odkryto, że mutacja genu FOXP2 powoduje trudności z nabywaniem mowy, objawiające się problemami z „wybraniem i odpowiednią kolejnością wykonywania ruchów mięśni twarzy i ust, koniecznych do prawidłowej artykulacji” (Kaczmarczyk 2012: 29; Vetulani 2011a: 34).

## Proces uczenia się w kontekście neuronauk

Efektywne uczenie się związane jest z większą koncentracją i intensywniejszym skupieniem uwagi na konkretnych informacjach. Im głębiej analizujemy dane treści, im więcej struktur mózgu używamy do ich zapamiętania, tym korzystniej działa nasza pamięć długoterminowa.

Mózg dziecka rozwija się wielorako, wielopłaszczyznowo i bardzo intensywnie. Z jednej strony powstają szybsze połączenia pomiędzy poszczególnymi strukturami mózgu, z drugiej proces uczenia się sprawia, że w tych strukturach kształtują się coraz bardziej złożone ślady pamięciowe. W procesie uczenia się, także języka, ważne jest poznanie polisensoryczne. To ono pozwala na całościowy odbiór rzeczywistości i stymuluje wszystkie obszary mózgu.

Sprawne działanie mózgu zależy od współpracy neuronów i przepływu impulsów między nimi. Ich szybkość jest warunkowana przez grubość osłonki mielinowej. Ta z kolei stanowi podstawę plastyczności mózgu. Przetwarzanie informacji wpływa na odbiór rzeczywistości jednostkowy dla każdego człowieka i zależy od jego wiedzy oraz dotychczasowych doświadczeń. Efektywność procesu uczenia się, również uczenia się języka, zależy od motywacji, czasu, który jest poświęcany danemu zagadnieniu oraz głębokości przetwarzania informacji. To, czy odnosimy sukces w uczeniu się, jest warunkowane sposobem opracowywania danych przez mózg oraz strukturami aktywowanymi w czasie wykonywania określonych zadań. Możliwość trwałego zapamiętania materiału wiąże się z poziomem jego opracowania. Im bardziej złożony jest sposób analizowania informacji, tym lepsze możliwości jego długotrwałego zapamiętania. Można zatem wywnioskować, że polisensoryczne poznawanie świata, myślenie kreatywne i twórcze rozwiązywanie problemów stanowią klucz do sukcesu edukacyjnego (Żylińska 2013).

Zdaniem naukowców, efektywny proces uczenia się zależy od przyjemności czerpanej ze zdobywania nowej wiedzy. Możliwość własnego, nieuświadomionego rozwoju daje dziecku radość, pozwala osiągnąć cele, wyzwala uczucie zadowolenia i satysfakcji. Wszystkie dzieci chcą iść do przedszkola i szkoły, ponieważ pragną odkrywać świat. Środowisko przyjemne i stymulujące mózg stwarza im natomiast dobre warunki do prawidłowego kształtowania się potrzebnych umiejętności. Właśnie z tego powodu dzieci tak chętnie uczą się nowych rzeczy i z ogromną przyjemnością korzystają z nabywanych kompetencji językowych, szczególnie na początku procesu opanowywania mowy. Cały ten zakres wydarzeń musi opierać się jednak na relacjach międzyludzkich i przekazie kulturowym, stanowiącym źródło poznania. Marzena Żylińska zwraca uwagę, że małe dziecko, w wieku przedszkolnym, zachwyca się od dwudziestu do pięćdziesięciu razy dziennie, co prowadzi do uwalniania się neuroprzekazników potrzebnych do uczenia się oraz odczuwania szczęścia. Oczekiwanie na każdy nowy dzień uruchamia w dzieciach mechanizm przewidywania, który z kolei odpowiada za wydzielanie przez podwzgórze wewnętrznych opiatów, oddziałujących na ciało migdałowate, struktury kory limbicznej (bez udziału

świadomości decydują one o tym, jakie informacje mają zostać przetworzone; wpływają na motywację i emocje) oraz jądro pólężące (Żylińska 2013: 66).

Trzeba zauważyć, że neuromodulatory, które odpowiadają za uczenie się, pamięć i zdolności poznawcze mają również możliwości plastyczne. Dzięki stymulacji mogą one w sposób pozytywny wpływać na kształcenie się sprawności poszczególnych funkcji mózgu człowieka.

Plastyczność mózgu jest jednak zależna od wieku. W okresie przedszkolnym oraz szkolnym mówi się o jej największych możliwościach, które spadają po 25. roku życia. Ograniczona plastyczność mózgu u osób starszych wydaje się jednak ewolucyjnie uzasadniona. Ciągłe modulowanie struktur mózgowych mogłaby przynieść nieprzewidywalne, a może nawet destrukcyjne efekty (Bochner i in. 2014).

## Asymetria półkulowa a funkcjonowanie poszczególnych obszarów mózgu

Badania naukowe A. Grabowskiej pokazują, że już w okresie niemowlęstwa można zaobserwować różnice w odbiorze informacji przez obydwie półkule mózgu. Autorka uznaje, że istnieje większa aktywność neurofizjologiczna lewej półkuli mózgu, w czasie przetwarzania bodźców językowych, i prawej w czasie opracowywania danych wzrokowo-przestrzennych (Budohoska, Grabowska 1994). Odmienność funkcji półkul mózgowych wiąże się z różnicami anatomicznymi w ich budowie. Specjalizacja funkcjonalna sprowadza się do podziału na dwa rodzaje analiz przetwarzanego materiału: sekwencyjną i symultaniczną. Ten podział nie jest jednak sztywny i nie oznacza, że np. tylko półkula lewa odpowiada za opracowywanie języka. Główna różnica w strategiach pracy obydwu półkul polega na sposobie przetwarzania odbieranego przez nie materiału. Ich specjalizacja funkcjonalna wiąże się również z pojęciem plastyczności mózgu, czyli możliwości z jednej strony zmiany struktur neuronowych na skutek różnego rodzaju bodźców zewnętrznych, a z drugiej przejęciem określonych zadań przez drugą półkulę mózgu, np. na skutek powstałych uszkodzeń (Borkowska 2012: 22). Należy jednak pamiętać, że przejęcie zadań nie będzie wiązało się z taką samą ich realizacją, jak w przypadku półkuli mózgu szczególnie predysponowanej do wykonywania danej funkcji.

Wzorzec lateralizacji, jego mechanizm oraz kształtowanie się, to problem złożony, którym od lat zajmują się naukowcy. Prowadząc rozważania na temat funkcjonowania półkul mózgowych, na samym początku należy zaznaczyć, że prawa i lewa półkula mózgu różnią się od siebie charakterem biochemicznym, budową cytoarchitektoniczną oraz anatomiczną.

Wśród najważniejszych różnic strukturalnych między prawą a lewą półkulą mózgu należy wymienić: dłuższą i bardziej prostą bruzdę Sylwiusza w lewej półkuli; większy rozmiar i odmienną budowę *planum temporale* oraz obszarów odpowiadających za procesy językowe w lewej półkuli; większy w prawej półkuli mózgu zakręt Heschla, znajdujący się w płacie skroniowym i tworzący pierwszorzędowną korę słuchową (Springer, Deutsch 2004: 93).

Większy poziom dopaminy w lewej półkuli mózgu, na co zwraca uwagę Jagoda Cieszyńska, wiąże się bezpośrednio z funkcjami językowymi, bowiem neuroprzebieżnik ten jest w układzie pozapiramidowym odpowiedzialny za napęd ruchowy, koordynację oraz napięcie mięśni. Układ pozapiramidowy przejmuje i automatyzuje czynności nieświadome, do których należą także ruchy artykulacyjne (Cieszyńska 2010a: 24). M. Spitzer podkreśla z kolei, że wysoki poziom dopaminy, odpowiedzialny również za odczuwanie pozytywnych emocji, odgrywa ważną rolę w procesie uczenia się (2011).

Skutkiem tych różnic jest inne opracowywanie informacji. Prawa półkula działa według programu odbioru i przetwarzania bodźców w sposób symultaniczny, globalny, przez dostrzeganie podobieństw. Lewa półkula dokonuje analizy materiałów sekwencyjnego, linearnego, krok po kroku, dostrzegając różnice i relacje między różnymi elementami. Prawidłowy rozwój poznawczy, w tym także rozwój mowy, jest możliwy dzięki harmonijnej oraz niczym niezakłóconej pracy obydwóch półkul mózgu (Springer, Deutsch 2004: 56). Anna Grabowska zaznacza: „półkule nie specjalizują się w analizie konkretnych rodzajów materiału, lecz różnią się sposobem ich analizowania. W zależności od tego, jaki typ analizy może prowadzić do lepszych wyników w danym zadaniu, uzyskuje się przewagę lewej albo prawej półkuli” (2006a: 452). Zatem nieprawidłowe funkcjonowanie chociażby jednej z półkul powoduje zaburzenia komunikacji językowej oraz trudności w uczeniu się.

Można by założyć, że przychodząc na świat, człowiek ma pełne predyspozycje biologiczne do opanowania języka, którego nabycie warunkowane jest przez prawidłowe działanie lewej półkuli mózgu. Okazuje się jednak, że same uwarunkowania genetyczne są niewystarczające, ponieważ wpływ na kształtowanie się języka ma środowisko, w którym wyrasta dziecko.

Z porównania funkcji i sposobu przetwarzania informacji wynika, że lewa półkula mózgu o wiele lepiej rozpoznaje, zapamiętuje, porządkuje i opracowuje informacje językowe. Jagoda Cieszyńska zwraca uwagę, że lewa półkula „jest w najwyższym stopniu predestynowana do przetwarzania danych językowych” (2010a: 25). O niezdolności prawej półkuli mózgu do przetwarzania języka w taki sam sposób, jak w przypadku półkuli lewej, mówiła wnikliwiej



Anna Grabowska (Budohoska, Grabowska 1994, za Knapek 2013). Temat dominacji lewej półkuli mózgu został również omówiony przez Sally Springer oraz George'a Deutscha (2004: 49).

Uważa się, że zjawisko lateralizacji funkcji mózgu wiąże się z płcią. A. Grabowska i D. Kimura uznają, że kobiety prezentują lepszy poziom umiejętności językowych (w zakresie płynności, artykulacji, gramatyki), większą precyzję manualną, zdolności percepcyjne, natomiast mężczyźni są bardziej predysponowani do działań przestrzennych, konstrukcyjnych, technicznych i matematycznych. W odniesieniu do mężczyzn zwraca się uwagę na większy stopień lateralizacji funkcji wzrokowo-przestrzennych (Grabowska 1994; Kimura 2006). W przypadku kobiet D. Kimura mówi natomiast o mniejszej asymetrii półkul, która przejawia się np. w braku lub nieznacznej różnicy *planum temporale* w obu półkulach mózgu (Kimura 2006).

Asymetrię półkulową oraz związaną z nią specjalizację funkcji mózgu wiąże się także z rolą, jaką ogrywa w mózgu spoidło wielkie. Jak wskazują wyniki badań S. Springer i G. Deutscha ciało modzelowate i inne spoidła mózgu „odgrywają istotną rolę w osiągnięciu zgodności między półkulami, integrując wyspecjalizowane działania każdej z nich i zapewniając tym samym spójność zachowania” (Springer, Deutsch 2004: 63). Reguluje ono przepływ informacji między półkulami i pozwala na ich skoordynowaną pracę. Jego struktura *isthmus* bierze znaczący udział w procesach związanych z czytaniem i pisaniem. Obszar ten rozrasta się szczególnie, kiedy dzieci uczą się czytać i pisać; jest on również mniejszy w spoidle osób z dysleksją. Oznacza to, że wczesna nauka czytania może stymulować jego pracę i poprawić funkcjonowanie (Cieszyńska, Korendo 2007: 277–278).

Podsumowując zebrane informacje, trzeba postawić wniosek, że istnieje specjalizacja funkcji w poszczególnych obszarach półkul mózgowych. Wiadomo, że nie jest możliwe przejmowanie funkcji jednej półkuli przez drugą, które nie wiązałoby się ze zmianą sposobu opracowywania informacji. Nawet jeżeli np. prawa półkula przejęłaby przetwarzanie informacji językowych, będzie to robić według innych mechanizmów niż lewa półkula mózgu (Budohoska, Grabowska 1994: 143).

## Kształtowanie się dominacji stronnej

Kształtowanie się wzorca lateralizacji jest problemem złożonym. Proces dominacji stronnej zaczyna się już w życiu płodowym i powinien zakończyć się ok. 3. roku życia, co nie oznacza, że zawsze tak się dzieje. Na ustalenie dominacji

stronnej ma wpływ wiele czynników, w tym uwarunkowanie genetyczne, z jakim rodzi się dziecko. „Ważne są w tym przypadku również warunki biologiczne i chemiczne, wspierane późniejszą stymulacją dziecka. Już około 1. roku życia dziecko zaczyna prezentować wybór dominującej ręki i nogi. Wybór ten można zaobserwować przy wykonywaniu czynności dnia codziennego (jedzenia, wskazywania palcem, wchodzenia po schodach). W ten sposób wyróżniamy następujące formuły lateralizacji: prawostronną, lewostronną, skrzyżowaną i niestaloną” (Knapik 2013: 283).

Półkule mózgu pełnią skomplikowane funkcje, a ich działanie jest wynikiem wielostronnej współpracy ze wszystkimi częściami układu nerwowego. Przewodzenie informacji, szczególnie słuchowych i wzrokowych, jest zjawiskiem złożonym. Bodźce trafiające do prawego ucha, biegną do półkuli lewej, natomiast z ucha lewego do półkuli prawej. W przypadku informacji wzrokowych prawa półkula mózgu otrzymuje informacje z lewego pola widzenia, a lewa z pola prawego (Budohoska, Grabowska 1994: 39–41).

Doreen Kimura wykazała, że w przypadku badania procesu percepcji bodźców dźwiękowych przez każde z uszu osobno, lepiej odtwarzane są słowa, które kierowane są do prawego ucha. Wynika to z faktu, że każde ucho wysyła informacje do obu półkul mózgu. Jak podają Sally Springer i George Deutsch: „Ipsilateralne włókna przechodzą z jednego ucha do półkuli leżącej po tej samej stronie, natomiast włókna kontralateralne przechodzą do przeciwległej półkuli” (2004: 102). Problem polega na tym, że włókna ipsilateralne są wolniejsze i mniej liczne od kontralateralnych, a więc bodziec z lewego ucha może albo dotrzeć do lewej półkuli mózgu za pomocą słabszych połączeń ipsilateralnych, albo przez połączenie kontralateralne trafić najpierw do prawej, a potem włóknami międzypółkulowymi do lewej półkuli mózgu – półkuli analitycznej, która opracowuje informacje krok po kroku (Springer, Deutsch 2004: 103).

## Rozwój języka a lateralizacja

„Proces kształtowania się lateralizacji ręki rozpoczął się trzysta tysięcy lat temu, kiedy przedstawiciele *homo erectus* zaczęli w sposób bardziej skuteczny niż wcześniej wykorzystywać budowane przez siebie narzędzia. G. Small i G. Vorgan dowodzą w badaniach nad współczesnym mózgiem, że obszar Broki, odpowiadający za kontrolę mięśni twarzy i ust, znajduje się w płacie czołowym obok obszaru kontrolującego ruchy rąk (2011: 26). Ewolucja języka, a wraz z nią rozwój narzędzi, doprowadziły do powstania w mózgu obszarów odpowiedzialnych za działanie sekwencyjne, zgodne z planem i określonym porządkiem.

Sekwencje czynności, postrzegane jako złożone planowanie, okazały się natomiast niezbędne do rozwoju gramatyki języka” (Knapek 2013: 283) – rozwój płata czołowego był możliwy dzięki koordynowaniu ruchów mięśni twarzy i ust w czasie artykulacji głosek i łączenia wyrazów (Small, Vorgan 2011: 27).

Już w okresie prenatalnym obserwuje się zmniejszenie prawego obszaru *planum temporale*, co pozwala na dominację lewej półkuli mózgu w zakresie kompetencji językowych (Korendo 2010: 54). Brak asymetrii *planum temporale* występuje u osób leworęcznych, u nich także ta asymetria może być odwrotna.

Na dominację lewej półkuli mózgu w przypadku funkcji językowych zwraca uwagę Antonio Damasio. Badacz podkreśla, że u większości ludzi, nawet leworęcznych, za zdolności językowe odpowiada lewa półkula mózgu (Damasio 2011: 86; Budohoska, Grabowska 1994: 56). Okazuje się również, że osoby, których struktury mowy znajdują się w lewej półkuli mózgu lepiej odbierają dźwięki z prawego ucha, a informacje wzrokowe z prawego pola widzenia (Budohoska, Grabowska 1994: 43–44). Badania pokazały, że u osób praworęcznych w 96% za mowę odpowiada lewa półkula mózgu. W przypadku osób leworęcznych 70% opracowuje informacje językowe w lewej półkuli mózgu, 15% w prawej i 15% w obu półkulach mózgu (Budohoska, Grabowska 1994: 123). Mówi się także, że ręczność wpływa na lateralizację funkcji wzrokowo-przestrzennych. Osoby praworęczne w 69,3% mają lokalizowane te funkcje w prawej półkuli mózgu, natomiast leworęczne w 28,1% w lewej, 42,6% w prawej oraz 29,3% w obu (Budohoska, Grabowska 1994: 125). Istnieje zatem związek między lateralizacją funkcji w mózgu a ręcznością. Szacuje się przy tym, że osoby leworęczne stanowią 10% całej populacji.

Język opracowywany jest zarówno w lewej, jak i prawej półkuli mózgu, jednakże strategia opracowywania materiału w każdej z nich jest odmienna. Prawa półkula analizuje informacje globalnie, lewa linearnie. Asymetria stąd wynikająca nie ma jednak tylko podłoża neurobiologicznego. Anna Budohoska i A. Grabowska jej źródła dopatrują się również w warunkach środowiskowych, w jakich rozwija się człowiek (Budohoska, Grabowska 1994: 68)

„Prawidłowe funkcjonowanie półkul mózgowych i odpowiednie analizowanie otrzymywanych przez nie informacji stanowi ważne odniesienie przy rozważaniach dotyczących wpływu lateralizacji na zaburzenia komunikacji językowej. Coraz częściej pojawiają się głosy w dyskusji nad zagrożeniami nie tylko lateralizacji nieustalonej, ale również lewostronnej i skrzyżowanej” (Knapek 2013: 283).

## Lateralizacja nieustalona, lewostronna i skrzyżowana – zagrożenia

„Brak określania lateralizacji do 3. roku życia wpływa na opóźnienie dominacji półkulowej, co bezpośrednio wiąże się z funkcjonowaniem ośrodków odpowiedzialnych za przetwarzanie bodźców językowych (Korendo 2010: 55). Brak wyboru dominującej ręki może powodować trudności w nauce, koncentracji i prawidłowej artykulacji. Zwiększa prawdopodobieństwo opóźnionego rozwoju mowy, kłopotów w rozumieniu przekazu słownego w hałasie, uczeniu się sekwencji ruchowych oraz dobrej koncentracji na słuchaniu tekstu czytanego (Cieszyńska 2010a: 27). Jak podaje J. Cieszyńska „krytycznym okresem dla kształtowania się odbioru linearnego, warunkującego skuteczne uczenie się języka, są pierwsze cztery lata życia” (Cieszyńska 2010b: 44). Ten czas jest również ważny dla całego procesu nabywania kompetencji językowej i wrażliwości na bodźce językowe. U dzieci zaburzenia rozwoju mowy w wieku poniemowlęcym mogą być wynikiem trudności w przetwarzaniu linearnym informacji, a także wielu innych powodów”.

Leworęczność oraz jej związek z asymetrią mózgu należy rozpatrywać w kontekście zróżnicowania anatomicznego takich obszarów, jak *planum temporale* (jednego z rejonów mowy) oraz długości bruzdy bocznej. Okazało się, że rejon ten jest większy u osób praworęcznych, natomiast jego minimalna asymetria lub jej brak występują u osób leworęcznych. Większe *planum temporale* i bruzda boczna obserwowane są w lewej półkuli mózgu, w obszarze związanym z funkcją mowy. W przypadku ciała modzelowatego dostrzega się jego większe rozmiary u osób leworęcznych, co może wiązać się z wzajemnym hamowaniem półkul mózgowych w odniesieniu do lateralizacji ich funkcji (Budohoska, Grabowska 1994: 129–130).

Wśród skutków lewooczości wymienia się: odwrotne analizowanie przestrzeni (od strony prawej do lewej), minimalne pomijanie lewej strony (np. rysunku), trudności w utrzymaniu koncentracji (np. w czasie uczenia się, rysowania, wykonywania zadań). Jako skutki leworęczności podaje się nieporadność manualną, problemy z używaniem narzędzi oraz nadpobudliwość. Są również badania, które zauważają związek leworęczności z chorobami immunologicznymi, migreną, zaburzeniami pracy tarczycy i grasicy, alergiami i skłonnością do astmy (Springer, Deutsch 2004: 131). Model Geschwinda i Galaburdy, opisujący ten związek, opierał się na badaniach nad testosteronem, według których spowalnia on rozwój lewej półkuli mózgu w życiu płodowym i może również negatywnie oddziaływać na układ odpornościowy (Grabowska 2006b). W przypadku lewooczości bierze się pod uwagę problemy

z motoryką dużą (np. chodzeniem po schodach), równowagą (np. pływaniem, jazdą na rowerze, staniem na jednej nodze), odwzorowywaniem sekwencji (np. w tańcu, układach gimnastycznych), grami zespołowymi. Lewouszność niesie zagrożenie niepełnością mowy, wadami artykulacyjnymi, niezrozumieniem dłuższych wypowiedzi oraz nieróżnicowaniem dźwięków – zaburzeń słuchu fonemowego (Cieszyńska 2010a; Cieszyńska, Korendo 2007; Knapek 2013).

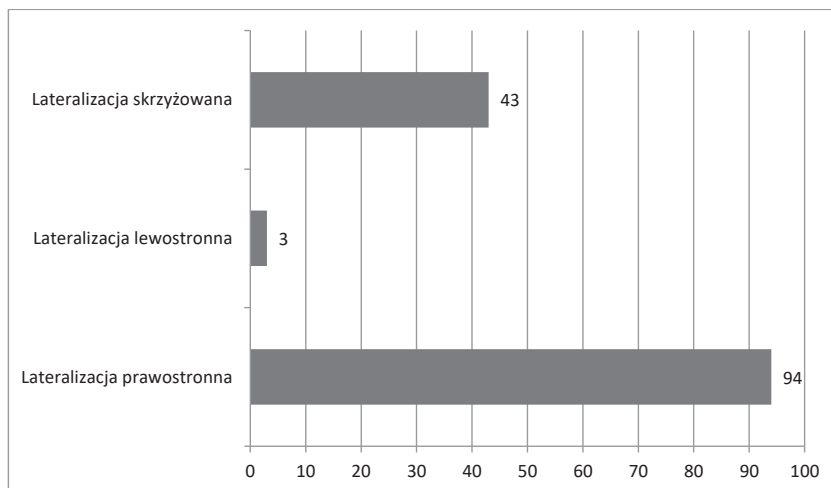
„Dzieci, które mają trudności z mechanizmami lewopółkulowymi, przejawiają zaburzenia zarówno w sferze wzrokowej, słuchowej, jak i ruchowej. Problem stanowi dla nich linearne porządkowanie rzeczywistości w czasie i przestrzeni (od strony lewej do prawej). Dotyczy to wszystkich aspektów poznawczych, chociażby używania języka, układania historyjek obrazkowych, porządkowania czasu i przestrzeni, odzwierciedlania sekwencji” (Knapek 2013: 284). Preferencja opracowywania informacji w sposób globalny to ryzyko trudności z rozumieniem pytań, różnicowaniem głosek podobnych oraz koncentracji uwagi przede wszystkim na bodźcach wizualnych.

## Lateralizacja

Badanie lateralizacji przeprowadzono w latach 2015 i 2016 na dwóch grupach dzieci (łącznie w badaniu uczestniczyło 280 dzieci). Pierwszą z nich stanowiły pięcio- i sześciolatki, które prezentowały mowę zgodną z wiekiem rozwojowym (70 dziewczynek i 70 chłopców). Druga grupa składała się z dzieci w tym samym wieku, które uczęszczały na terapię logopedyczną (52 dziewczynki i 88 chłopców). Próba porównania wyników była powodowana w dużej mierze toczącymi się dyskusjami, czy dominacja stronna wiąże się z zaburzeniami rozwoju mowy. Zebrane wyniki przedstawią rysunki 1 i 2.

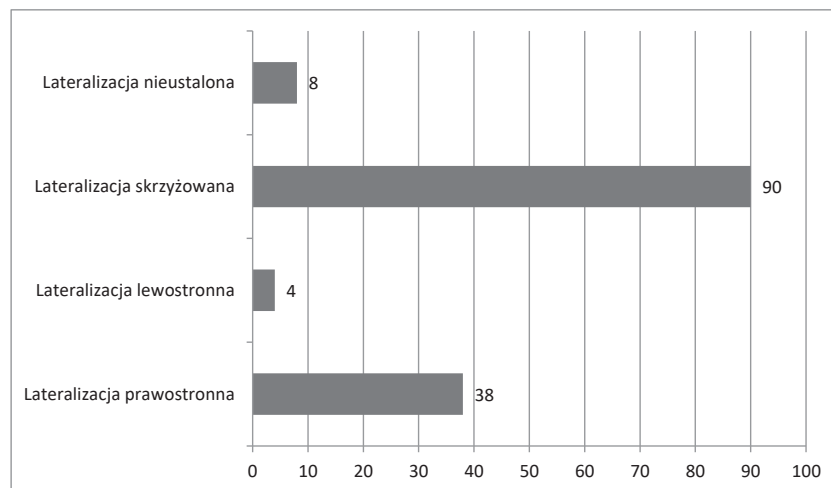
Porównując dane z rysunków 1 i 2, można wysnuć następujący wniosek: wśród badanych dzieci z prawidłowym rozwojem mowy większość wykazywała dominację prawostronną (67,1%). W przypadku dzieci z trudnościami logopedycznymi zdecydowana większość ma lateralizację skrzyżowaną (64,2%). W grupie ostatniej pojawią się także dzieci, których dominacja stronna jest nieustalona (5,7%), co z punktu widzenia rozwoju funkcji poznawczych wydaje się szczególnie niekorzystne. Dodatkowo wśród dzieci z trudnościami w mowie aż 38,6% jest lewousznych, a 25,4% przy układaniu historyjek obrazkowych obiera niewłaściwy kierunek (od strony prawej do lewej).

Rys. 1. Lateralizacja u dzieci z prawidłowym rozwojem mowy.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2. Lateralizacja u dzieci z zaburzeniami mowy.



Źródło: opracowanie własne.

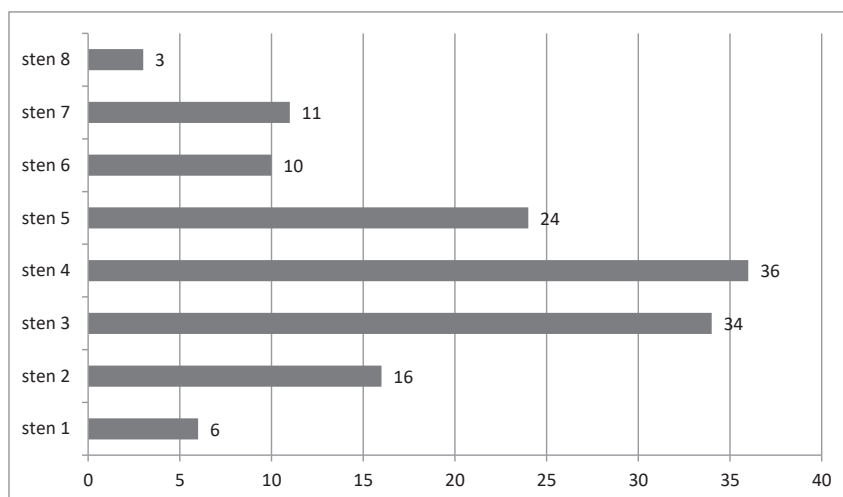
Badania na temat powiązania zależności między formułą lateralizacji i zaburzeniami słuchu fonemowego, czyli ważnego elementu wpływającego na kształtowanie się mowy, prowadziła Małgorzata Krajewska (2010a). Autorka,

podobnie jak ja, zajęła się grupą dzieci w wieku pięciu i sześciu lat. Wyniki jej badań potwierdzają istnienie braku dominacji lewej półkuli mózgu dla funkcji językowych w przypadku dzieci leworęcznych, z lateralizacją skrzyżowaną oraz nieustaloną. Największe trudności w zakresie słuchu fonemowego wykazały dzieci niepraworęczne, które w opracowywaniu informacji językowych wykorzystują przede wszystkim strategie holistyczne (Krajewska 2010b: 140). M. Krajewska wśród głównych objawów globalnego przetwarzania języka wymienia: trudności w „przeprowadzaniu analizy słuchowej, w dostrzeganiu zmian w liniowym uporządkowaniu sylab oraz w funkcjonowaniu słuchowej pamięci sekwencyjnej” (2010a: 142).

### Wyniki badań SWM – Testu do badania zagrożenia dysleksją dzieci od 3. do 7. roku życia J. Cieszyńskiej i M. Korendo

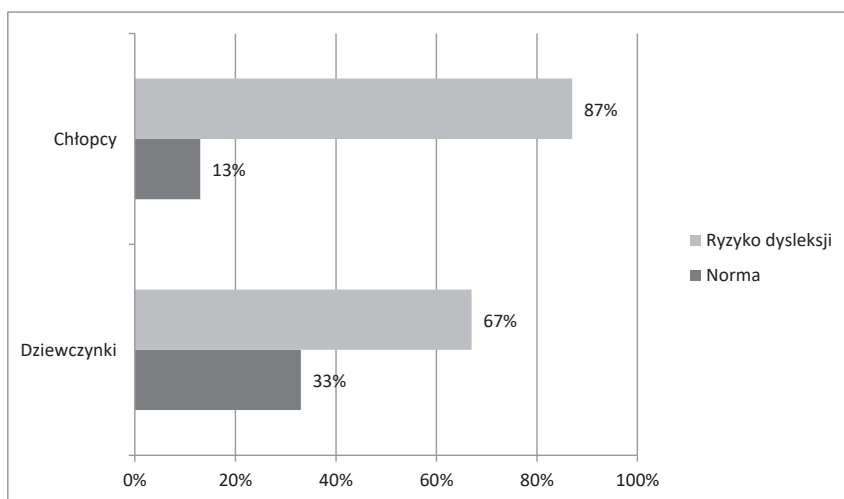
Z badania testem SWM (badano tylko dzieci uczęszczające na terapię logopedyczną) uzyskano następujące wyniki: u 112 dzieci zdiagnozowano zagrożenie dysleksją, natomiast jedynie 26 prezentowało rezultaty zgodne z normą rozwojową. Oznacza to, że zdecydowana większość dzieci z zaburzeniami mowy (80%), znajduje się w grupie zagrożonej dysleksją i poważnymi trudnościami w nauce.

Rys. 3. Liczba dzieci zagrożonych dysleksją. Źródło: opracowanie własne.



Autorki wyżej wspomnianego testu podzieliły wyniki według stenów. Ich zdaniem dzieci, których wyniki uplasowały się między 1. a 5. stenem powinny zostać objęte specjalistycznymi zajęciami stymulującymi rozwój poznawczy. Aż 35 z 52 badanych dziewczynek stanowi grupę ryzyka dysleksji, w przypadku chłopców 122 przejawia zaburzenia o charakterze dyslektycznym.

Rys. 4. Zagrożenie dysleksją ze względu na płeć. Źródło: opracowanie własne.



Trzeba zaznaczyć, że rozpatrując ryzyko dysleksji z uwzględnieniem płci badanych osób, można przypuszczać (co należałoby potwierdzić obliczeniami statystycznymi), że chłopcy stanowią grupę bardziej zagrożoną. Z jednej strony bierzemy tutaj pod uwagę czynnik genetyczny – chłopcy są w większym stopniu narażeni na występowanie zaburzeń tego typu, z drugiej strony, jak pokazują chociażby badania przeprowadzone przeze mnie w 2009 r.<sup>1</sup>, rodzice o wiele więcej czasu poświęcają dziewczynkom z trudnościami w nauce niż chłopcom. Istnieje bowiem stereotypowe, mylne przekonanie, że chłopcy „jakoś sobie w życiu poradzą”.

1 Prowadzone badania opisane zostały w pracy *Wpływ zaburzeń w mówieniu, pisaniu i czytaniu na proces edukacyjny uczniów szkół ponadgimnazjalnych*, która została napisana pod kierunkiem dr Teresy Wojtasińskiej na studiach podyplomowych z zakresu Terapii zaburzeń w mówieniu, czytaniu i pisaniu organizowanych przez Wydział Polonistyki Uniwersytetu Jagiellońskiego.



## Wyniki badań narzędziem autorskim – *Testem do badania zaburzeń przetwarzania porządków linearnych u dzieci pięcioletnio- i sześciolatków*

Nowa definicja dysleksji autorstwa J. Cieszyńskiej mówi: „Dysleksja to trudność w linearnym opracowaniu informacji językowych, którym towarzyszą problemy w linearnym przetwarzaniu informacji symbolicznych, czasowych i motorycznych” (2010b: 40). Takie ujęcie zagadnienia pozwala na zauważenie, że dysleksja to nie tylko zaburzenie linearnego przetwarzania języka, ale także innych umiejętności ściśle z nim skorelowanych. Przy tej okazji należy zwrócić uwagę, że okres kształtowania się odbioru linearnego oraz największej wrażliwości na bodźce słowne to czas od urodzenia do 4. roku życia. Trzeci rok życia to z kolei czas najważniejszy dla nabywania systemu językowego. Ten okres krytyczny, od którego następuje stopniowe zmniejszanie liczby nieużywanych połączeń synaptycznych, dla terapeutów stanowi pewnego rodzaju cezurę. Rozpoczęcie działań terapeutycznych przed 3. rokiem życia daje dziecku prognozy na lepsze funkcjonowanie, niż rozpoczęcie jej później.

W celu pełnego zrozumienia skali problemu zaburzeń przetwarzania porządków linearnych wśród dzieci z trudnościami w mowie, stworzyłam narzędzie pomocne do ich badania i jestem zobligowana do podania wyników podsumowujących przeprowadzone przeze mnie działania. W grupie pięcioletnio- i sześciolatków aż 64,2% posiada lateralizację skrzyżowaną, a 5,7% niestabilną. Dzieci z trudnościami w mowie przejawiają również następujące problemy w opracowywaniu informacji w sposób sekwencyjny:

1. Zaburzenia linearnego opracowania informacji słuchowych – 70% badanych;
2. Zaburzenia linearnego opracowywania działań ruchowych – 32,9% badanych;
3. Zaburzenia linearnego opracowywania relacji i sekwencji czasowych – 52,9% badanych;
4. Zaburzenia linearnego opracowywania informacji przestrzennych – 25,7%;
5. Zaburzenia linearnego opracowywania relacji i sekwencji dłuższych wypowiedzi językowych – 31,4%;
6. Zaburzenia linearnego opracowywania informacji wzrokowych – 52,9% badanych.

Zebrane dane pokazują, że z największymi trudnościami dzieci spotykają się podczas opracowania informacji słuchowych, wzrokowych oraz określenia relacji i sekwencji czasowych. W tym miejscu należy zaznaczyć, że dzieci, któ-

re prezentują trudności w opracowywaniu linearnym relacji przestrzennych (układanie historyjki obrazkowej od strony prawej do lewej), w 94,4% mają lateralizację nieustaloną lub skrzyżowaną. Dodatkowo 38,9% z nich, oprócz problemów z analizowaniem informacji przestrzennych, błędnie określa relacje czasowe i przestrzenne. Także 55,6% dzieci z zaburzeniami w przetwarzaniu relacji przestrzennych wykazuje problemy w zakresie percepcji wzrokowej i związanej z nią pamięci sekwencyjnej. Ciekawą informację stanowi również fakt, że aż 72,2% dzieci z lateralizacją skrzyżowaną i nieustaloną nieprawidłowo zapamiętuje i odtwarza sekwencje słuchowe.

Wszystkie zebrane dane pozwalają na postawienie dwóch najważniejszych wniosków. Po pierwsze, trudności językowe są w pewnym stopniu skorelowane z innymi umiejętnościami poznawczymi dziecka, które wpływają na jego proces uczenia się. Po drugie, mówiąc o terapii logopedycznej, należy ją postrzegać jako działanie holistyczne. Biorąc bowiem pod uwagę najnowsze badania nad działaniem mózgu trzeba pamiętać, że skoro nieprawidłowe opracowywanie informacji przez lewą i prawą półkulę mózgu wpływa na trudności w uczeniu się, to działania stymulujące, dzięki neuropatyczności, mogą diametralnie i na lepsze zmienić sytuację edukacyjną dziecka.

## Bibliografia

- Bochner D.N., Sapp R.W., Adelson J.D., Zhang S., Lee H., Djuricic M., Syken J., Dan Y., Shatz C.J. 2014, *Blocking PirB up-regulates spines and functional synapses to unlock visual cortical plasticity and facilitate recovery from amblyopia*, „Science Translational Medicine”, 6(258).
- Bokus B., Shugar G. 2007, *Psychologia języka dziecka. Osiągnięcia, nowe perspektywy*, Gdańsk.
- Borkowska A. 2012, *Neuropsychologia kliniczna dziecka*, Warszawa.
- Budohoska W., Grabowska A. 1992, *Organizacja niektórych czynności psychicznych w mózgu: asymetria półkulowa*, [w:] *Pamięć. Uczenie się. Język*, red. I. Kurcz, T. Tomaszewski, Warszawa, s. 268–292.
- Budohoska W., Grabowska A. 1994, *Dwie półkule – jeden mózg*, Warszawa.
- Cardin V., Orfanidou E., Rönnerberg J., Capek Ch.M., Rudner M., Woll B. 2013, *Dissociating cognitive and sensory neural plasticity in human superior temporal cortex*, „Nature Communications”, 4.
- Cieszyńska J. 2010a, *Diagnoza funkcji lewej półkuli mózgu i jej wpływ na programowanie terapii dziecka w wieku przedszkolnym*, „Nowa Logopedia”, 1, s. 23–30.
- Cieszyńska J. 2010b, *Zaburzenia linearnego porządkowania, czyli dysleksja*, [w:] *Nowe podejście w diagnozie i terapii logopedycznej – Metoda Krakowska*, red. J. Cieszyńska, Z. Orłowska-Popek, M. Korendo, Kraków, s. 37–51.
- Cieszyńska J. 2011, *Terapia neurobiologiczna zaburzeń komunikacji językowej*, „Nowa Logopedia”, 2, s. 25–34.
- Cieszyńska J., Korendo M. 2007, *Wczesna interwencja terapeutyczna. Stymulacja rozwoju dziecka od noworodka do 6 roku życia*, Kraków.

- Cybulska-Kłosowicz A., Kossuth M. 2006, *Oddziaływanie międzypółkulowe w procesach neuroplastycznych*, „Neuropsychiatria i neuropsychologia”, 1, s. 15–23.
- Damasio A. 2011, *Błąd Kartezjusza. Emocje, rozum i ludzki mózg*, Poznań.
- Destexhe A., Marder E. 2004, *Plasticity in single neuron and circuit computations*, „Nature”, 431.
- Farmer W.T., Abrahamsson T., Chierzi S., Lui C., Zaelzer C., Jones E.V., Bally B.P., Chen G.G., Théroux J.F., Peng J., Bourque C.W., Charron F., Ernst C., Sjöström P.J., Murai K.K. 2016, *Neurons diversify astrocytes in the adult brain through sonic hedgehog signaling*, „Science”, 351, s. 849–854.
- Gazzaniga M. 1997, *O tajemnicach ludzkiego umysłu. Biologiczne korzenie myślenia, emocji, seksualności, języka i inteligencji*, Warszawa.
- Gazzaniga M. 2011, *Istota człowieczeństwa: co nas czyni wyjątkowymi*, Sopot.
- Grabowska A. 2006a, *Lateralizacja funkcji psychicznych w mózgu człowieka*, [w:] *Mózg a zachowanie*, red. T. Górską, A. Grabowska, Warszawa, s. 440–485.
- Grabowska A. 2006b, *Mózg, płęć i hormony*, [w:] *Mózg a zachowanie*, red. T. Górską, A. Grabowska, Warszawa, s. 522–540.
- Grabowska A., Bednarek D. 2004, *Różnice płciowe w dysleksji*, [w:] *Dysleksja. Od badań mózgu do praktyki*, red. A. Grabowska, K. Rymarczyk, Warszawa, s. 56–74.
- Herzyk A., Ledwoch B. 1991, *Mózgowa organizacja funkcji językowych. Przegląd badań i teorii neuropsychologicznych*, „Logopedia”, 13, s. 52–74.
- Herzyk A. 1993, *Mózgowa organizacja języka w ontogenezie. Ujęcie neuropsychologiczne*, „Audiofonologia”, 5, s. 55–74.
- Kaczmarczyk M. 2012, *Zielony mem*, Mikołów.
- Kimura D. 2006, *Płęć i poznanie*, Warszawa.
- Knapek M. 2013, *Lateralizacja a zaburzenia przetwarzania porządków linearnych w języku dzieci pięcioletnich*, „Nowa Logopedia”, 4, s. 281–291.
- Knapek M. 2015, *Zaburzenia przetwarzania porządków linearnych w języku dzieci pięcioletnich*, Kraków (w druku).
- Korendo M. 2010, *Zaburzenia mechanizmów lewopółkulowych i ich objawy w zachowaniach i procesie uczenia się*, [w:] *Nowe podejście w diagnozie i terapii logopedycznej – Metoda Krakowska*, red. J. Cieszyńska, Z. Orłowska-Popek, M. Korendo, Kraków.
- Kossut M., *Synapsy i plastyczność mózgu*, online: <http://fundacjarozwojunauki.pl/res/Tom1/Nauka%20swiatowa%20i%20polska%5B1%5D.Rozdzial%2009.pdf> [dostęp: 14.09.2016].
- Krajewska M., 2010a, *Dziecko z zaburzonym słuchem fonemowym – problem diagnozy i terapii*, „Nowa Logopedia”, 1, s. 149–159.
- Krajewska M., 2010b, *Wpływ formuły lateralizacji na zaburzenia słuchu fonemowego u dzieci pięcioletnich*, [w:] *Nowe podejście w diagnozie i terapii logopedycznej – Metoda Krakowska*, red. J. Cieszyńska, Z. Orłowska-Popek, M. Korendo, Kraków.
- Merzenich M., Vleet T.M., Nahum M. 2014, *Brain plasticity-based therapeutics*, „Frontiers in Human Neuroscience”, 8(385).
- Small G., Vorgan G. 2011, *iMózg. Jak przetrwać technologiczną przemianę współczesnej umysłowości*, tłum. S. Borg, Poznań.
- Spitzer M. 2011, *Jak się uczy mózg?*, Warszawa.
- Spitzer M. 2013, *Cyfrowa demencja*, Warszawa.

- Springer S., Deutsch G. 2004, *Lewy mózg, prawy mózg z perspektywy neurobiologii poznawczej*, tłum. I. Szatkowska, Warszawa.
- Szeląg E. 2006, *Neuropsychologiczne podstawy mowy*, [w:] *Mózg a zachowanie*, red. T. Górski, A. Grabowska, J. Zagrodzka, Warszawa, s. 489–523.
- Tomasello M. 2002, *Kulturowe źródła ludzkiego poznania*, Warszawa.
- Vetulani J. 2011a, *Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice*, Kraków.
- Vetulani J. 2011b, *Piękno neurobiologii*, Kraków.
- Żylińska M. 2013, *Neurodydaktyka: nauczanie i uczenie się przyjazne mózgowi*, Toruń.

## Netografia

[https://www.researchgate.net/publication/290789504\\_Computational\\_implications\\_of\\_biological\\_diversity\\_and\\_multiple\\_timescales\\_in\\_neurons\\_and\\_synapses\\_for\\_circuit\\_performance](https://www.researchgate.net/publication/290789504_Computational_implications_of_biological_diversity_and_multiple_timescales_in_neurons_and_synapses_for_circuit_performance), [dostęp: 20.09.2016].

- Magdalena Knapik  
Wydział Polonistyki  
Uniwersytet Jagielloński  
Klinika Psychiatrii Dzieci i Młodzieży, Katedra Psychiatrii CMUJ