

*Jolanta Zielińska*

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie

## Badania nad niepełnosprawnością w perspektywie neurobiologii

### Streszczenie

Artykuł jest próbą pokazania praktykom zajmującym się pedagogiką specjalną drogi polegającej na umiejętnym czerpaniu z dorobku innych nauk w obszarze zastosowań praktycznych, w dwóch zakresach: poznawczym i badawczym. Wybrany został do tego celu niezupełnie nowy, ale w perspektywie praktyki pedagogiki specjalnej przyszłościowy i aktualnie dynamicznie rozwijający się obszar „neuralny”. Chodzi o podejmowanie działań praktycznych w obszarze pogranicza pedagogiki specjalnej i neurobiologii. Ich celem jest opracowywanie, upowszechnianie i udostępnianie nowych metod diagnostycznych, terapeutycznych, rehabilitacyjnych, aktywnie wspierających rozwój osób z deficytami rozwojowymi.

Słowa kluczowe: pedagogika specjalna, neurobiologia, niepełnosprawność, badania mózgu.

## Research in the area of disability in the context of neurobiology

### Summary

The paper attempts at presenting the practitioners in the area of special pedagogy with multi-disciplinary approach that takes advantage from others scientific disciplines in cognitive and research study. A promising future neural area, which is growing rapidly in special pedagogy, has been specified for this purpose. It concerns practical measures in area of special pedagogy and neurobiology borders. They aim at new diagnostic methods, therapeutic procedures, and rehabilitation of people with developmental deficit promotion.

Keywords: special pedagogy, neurobiology, disability, brain research.

## Wprowadzenie

Korzystanie w badaniach pedagogiki specjalnej z osiągnięć nauk pomocniczych, takich jak: psychologia, kognitywistyka, socjologia, medycyna, ekonomia, prawo, informatyka, telekomunikacja czy ostatnio neurobiologia, jest pewnego rodzaju koniecznością badawczą. Prowadzi bowiem do całościowego i pełnego zgłębienia zjawisk i zagadnień, jakich dotyczą te badania. Nauki współdziałające od bardzo dawna z pedagogiką specjalną wnoszą swój wkład wiedzy zarówno do rozwiązań teoretycznych, jak i zastosowań praktycznych. Dotyczy to głównie szeroko rozumianej rewalidacji, terapii i resocjalizacji, pozwalając na ich kompleksowe i wielokontekstowe ujęcie (J. Gnitecki, 1994, s. 39).

Nie ulega wątpliwości, że tzw. nauki i ideologie pomocnicze od dawna mają wpływ na badania pedagogiczne, historycznie posiadając różny zasięg, przebieg i charakter. Aktualnie wpływ ten stał się elementem korzystnym dla rozwoju pedagogiki zarówno w sensie naukowym, poznawczym, jak i aplikacyjnym. Pozwala on bowiem na szerokie i wielostronne spojrzenie oraz ogląd złożonych zagadnień i zjawisk pedagogicznych, a tym samym podjęcie skuteczniejszych i lepszych działań w praktyce edukacyjnej. Nie ogranicza przy tym samodzielności pedagogiki, a jedynie ją pojęciowo, metodologicznie i merytorycznie wspiera (T. Lewowicki, 2003, s. 43).

Odnosząc się do praktyki, co – trzeba wyraźnie podkreślić – ma miejsce w prezentowanym opracowaniu, należy stwierdzić, że m.in. integracyjny system opieki społecznej, edukacyjnej i rehabilitacyjnej wymusza potrzebę prowadzenia w pedagogice badań o charakterze interdyscyplinarnym. Zenon Gajdzica w książce *Sytuacje trudne w opinii nauczycieli klas integracyjnych* pisze:

Przenikanie się różnych teorii i koncepcji nie tylko pozwala wielowątkowo spojrzeć na konkretne zagadnienie, ale sprzyja także tworzeniu nowej jakości ukonstytuowanej na wiedzy interdyscyplinarnej. Sama integracja edukacyjna traktowana jako kategoria rozmysłu staje się tygłem generującym koncepcje, które trudno jednoznacznie przyporządkować określonej dyscyplinie naukowej [...] (Z. Gajdzica, 2011, s. 7).

### Pogranicze pedagogiki specjalnej i neurobiologii – rozważania ogólne

Amadeusz Krause w książce *Współczesne paradygmaty pedagogiki specjalnej* zadaje pytania bardzo istotne z punktu widzenia wizji rozwoju pedagogiki specjalnej:

Czy jest to w ogóle wykonalne, czy rzeczywiście wobec takich wąskich specjalizacji, jakie wymuszają na nas interdyscyplinarność współczesnej pedagogiki i realizacja jej zadań, możliwe jest poznanie wszystkiego? A może kontynuować popularną strategię przetrwania i ograniczyć się w uwagach, refleksjach i badaniach wyłącznie do „swojego” obszaru? (A. Krause, 2010, s. 10).

I odpowiada:

Badaczom pedagogiki specjalnej, zajmującym się rozwojem teorii, właściwym rozwiązaniem wydaje się być droga trzecia, tj. umiejętna strategia czerpania z dorobku innych i wykorzystania go do analiz na gruncie pedagogiki specjalnej (A. Krause 2010, s. 10).

Prezentowane opracowanie jest próbą pokazania drogi praktykom zajmującym się pedagogiką specjalną. Drogi trzeciej, umiejętnego czerpania z dorobku innych nauk w obszarze zastosowań praktycznych, w dwóch zakresach: poznawczym i badawczym. Wybrany został do tego celu niezupełnie nowy, ale w perspektywie praktyki pedagogiki specjalnej przyszłościowy i aktualnie dynamicznie rozwijający się obszar „neuralny”. Chodzi o podejmowanie działań praktycznych w obszarze pogranicza pedagogiki specjalnej i neurobiologii. Ich celem jest opracowywanie, upowszechnianie i udostępnianie nowych metod diagnostycznych, terapeutycznych, rehabilitacyjnych, aktywnie wspierających rozwój osób z deficytami rozwojowymi.

Problematyką systemów nerwowych i neuronalnym korelatem przetwarzania informacji w ramach nauki zwanej neurobiologią zajmują się zazwyczaj biolodzy, rzadziej psychologowie. Aktualnie w tym zakresie zachodzą dynamiczne zmiany. Naukowcy takich dziedzin naukowych, jak: anatomia, biologia molekularna, biochemia, neurologia kliniczna, farmakologia, rehabilitacja, fizjologia, zoologia i psychologia, stworzyli naukę pogranicza zwaną *neuroscience*, o polskim odpowiedniku „neuro nauka” (A.D. Milner, M.A. Goodale, 2008, s. 21). Stanowi ona wielką szansę dla zaistnienia w jej systemie pedagogiki specjalnej.

Aby odpowiedzieć na pytanie: jakie inspiracje poznawcze i badawcze wynikają z pogranicza pedagogiki specjalnej i neuronauki? należy określić, w jakich obszarach osiągnięcia tych nauk mogą wpłynąć na pojmowanie i rozwiązywanie problemów badawczych we współczesnej pedagogice specjalnej. Prezentowane opracowanie stanowi taką próbę.

Stopień złożoności zjawisk związanych z niepełnosprawnością osób, którymi zajmuje się pedagogika specjalna, w pewnym sensie wymusza sposób zbierania o nich wiedzy o charakterze neuronalno-informatycznym. Bowiem takie postępowanie dostarcza informacji, które, odpowiednio zinterpretowane, dają nowe szanse na ocenę skuteczności działań diagnostycznych i rehabilitacyjnych. Dotychczasowe osiągnięcia neuronauki pokazują, że możliwe jest

uzyskanie obiektywnej odpowiedzi na pytania zadawane od czasu powstania pedagogiki specjalnej jako dyscypliny naukowej. Przykładowo: jakie programy rehabilitacyjne stosować i w jaki sposób, by po latach ćwiczeń nie dojść do wniosku, że podejmowane działania nie miały większego sensu, gdyż nie prowadziły do zakładanych pozytywnych zmian? Jak uchronić się przed popełnianiem błędów w działaniach rehabilitacyjnych i edukacyjnych? Idąc dalej tym tokiem rozumowania, można założyć, że możliwe będzie pokazanie mechanizmów kompensacyjnych wykorzystywanych przez osobę, której udało się zrobić postęp, a w dalszej kolejności doprowadzenie do opracowania lepszych, skuteczniejszych programów rehabilitacyjno-wyrównawczych czy edukacyjnych, a także sformułowanie oceny w perspektywie zaburzeń rozwojowych kosztów rehabilitacji czy kompensacji.

Można zadać pytanie: dlaczego celowe jest podjęcie wykorzystania osiągnięć neuronauki jako nauki pomocniczej w pedagogice specjalnej właśnie teraz, chociaż metody badania pracy mózgu są znane od dawna? Odpowiedź stanowi stwierdzenie, że z jednej strony pozwala na to aktualny stan badań nad mózgiem realizowany przez neurobiologów, z drugiej – informatyczne narzędzia opracowane przez inżynierów.

Badania nad mózgiem trwają już jakiś czas i charakteryzują się aktualnie dużą dynamiką wzrostową. Przykład reprezentowanego obecnie podejścia naukowego stanowi wydana w lutym 2011 roku książka prof. Jerzego Vetulaniego *Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice*. Pisze on:

Neurobiologia jest dziś jedną z najważniejszych i najbardziej wszechstronnych nauk. Odpowiada lub pomaga odpowiedzieć na wielkie pytania, z którymi od dawien dawna mierzyła się filozofia, teologia, psychologia i nauki społeczne, a także na małe pytania, które zadajemy sobie na co dzień [...]. (J. Vetulani 2011, s. 43).

Na wspólne obszary badawcze neurobiologii i pedagogiki specjalnej wskazuje także książka Sarah-Jayne Blakemore i Uty Frith *Jak uczy się mózg*, wydana w roku 2008. Autorki, będące pracownikami naukowymi w Institute of Cognitive Neuroscience londyńskiego University College, od lat zajmują się problemami dysleksji, autyzmu i zespołu Aspergera. Przykładowe zadawane przez nie pytania, interesujące dla pedagoga specjalnego, to: „W jaki sposób mózg ludzi głuchych przetwarza język migowy?”, „Czy naśladowanie jest czymś dobrym, czy tłumi ono zdolności twórcze?”. Autorki nie udzielają odpowiedzi na postawione pytania, gdyż, jak same stwierdzają, nie mają stosownej wiedzy pedagogicznej. Piszą:

jest obecnie bardzo niewiele materiałów na temat znaczenia badań nad mózgiem dla edukacji, które byłyby przystępne dla niespecjalistów. Powstała luka między nauką o mózgu a pedagogiką [...] (S.J. Blakemore, U. Frith, 2008, s. 3).

Przykładem zapowiedzi zastosowań osiągnięć neurobiologii w pedagogice jako tematu przyszłych badań jest opracowanie Manfreda Spitzera, również pod tytułem *Jak uczy się mózg*. Oto wybrana z niego myśl:

uczniowie nie są głupi, nauczyciele nie są leniwi, a nasze szkoły nie są do niczego. Ale od jakiegoś czasu wszyscy podejrzewamy, że coś jest nie tak [...] (M. Spitzer, 2007, s. 12).

Pytanie, jak obiektywnie zbadać, co powoduje taki stan, i spróbować udzielić odpowiedzi, jak to zmienić.

Podstawą postulowanej do realizacji w pedagogice specjalnej tematyki badawczej wykorzystania osiągnięć neurobiologii w pedagogice specjalnej jest użycie sprzętu do neuroobrazowania pracy mózgu tak oprogramowanego, aby mógł go zastosować i uzyskane wyniki samodzielnie zinterpretować humanista, pedagog, terapeuta. Praktycznie każda osoba zajmująca się edukacją i rozwojem człowieka. W chwili obecnej jest to możliwe w realizacji praktycznej, należy jedynie podjąć stosowne działania w tym kierunku. Prezentowane opracowanie stanowi taką próbę m.in. poprzez podjęcie w dalszej części oceny metod badania pracy mózgu w kontekście ich zastosowania w diagnozie i rehabilitacji osób z niepełnosprawnością.

## Ocena metod badania pracy mózgu w kontekście ich zastosowania w pedagogice specjalnej

Do wykorzystania oceny pracy mózgu osób z niepełnosprawnością podczas wykonywania przez nie konkretnych zadań poznawczych przydatne są jedynie metody bezinwazyjne. Wśród nich można wprowadzić dodatkowe kryterium oceny, a mianowicie mobilność sprzętu do przeprowadzania badań. Sprzęt stacjonarny, o dużych gabarytach, związany z konkretnym miejscem, nie pozwala na przeprowadzanie badań w różnych ośrodkach, na różnych grupach, a tym samym na uzyskanie w określonym przedziale czasowym porównywalnych ze sobą danych. Całkowitą nieinwazyjnością i najwyższą rozdzielczością czasową, a więc bardzo dokładnymi pomiarami cechuje się magnetoencefalografia MEG. Oparta jest ona na zapisie pól magnetycznych generowanych przez płynące w mózgu prądy. Zapis pracy mózgu tą metodą wymaga stosowania bardzo drogiej i nieprzenośnej aparatury (P. Durka, 2009, s. 235). Metoda MEG może więc służyć jedynie do celów diagnostycznych. Osoba badana siedzi wygodnie w fotelu skanera, bez dodatkowych elektrod na głowie, które stanowią ujemny aspekt badań metodą elektroencefalografii EEG.

Systemy oparte na fMRI, czyli funkcjonalnym magnetycznym rezonansie jądrowym, to wyspecjalizowana odmiana obrazowania rezonansu magnetycznego. Za pomocą tej metody mierzona jest hemodynamiczna odpowiedź

ośrodkowego układu nerwowego. Zależność intensywności sygnału MRI od poziomu natlenienia krwi określa się terminem BOLD (z ang. *blood oxygen level dependent*). Od początku lat 90. fMRI stał się dominującą metodą obrazowania mózgu ze względu na niską inwazyjność, brak promieniowania jonizującego i stosunkowo szeroki dostęp. Przykładem zastosowania tej metody jest wyjaśnienie zjawisk związanych m.in. z plastycznością mózgu podczas doświadczania tzw. fantomowych kończyn czy uaktywniania obszarów mózgu odpowiedzialnych za wzrok w sytuacji dysfunkcji wzrokowej (<http://mozg.wikispaces.com>, data dostępu 14.02.2014).

Metoda encefalograficzna EEG badania pracy mózgu jest znana i stosowana od dawna. Aktualny stan badań nad mózgiem realizowany przez neurobiologów z jednej strony, z drugiej zaś informatyczne narzędzia opracowane przez inżynierów, umożliwiające przedstawienie wyników badań na ekranie komputera, spowodowały dynamiczny wzrost stosowania tej metody w praktyce. Spośród wszystkich technik badania pracy mózgu wyróżnia się ona najdłuższą historią zastosowań klinicznych, najniższym kosztem, całkowitą nieinwazyjnością oraz najwyższą rozdzielczością. Dwie ostatnie cechy posiada opisana wcześniej metoda magnetoencefalografii. Badanie EEG polega na rejestracji przy pomocy elektrod, umieszczonych na skórze głowy ze specjalnym żelem (co stanowi dużą niedogodność), czynnościowych prądów mózgu człowieka, które charakteryzują się niewielkim napięciem (od kilku do kilkuset mikrowoltów). Częstotliwość tych prądów waha się od 0,5 Hz do 50 Hz. Technologia zapisu EEG wykorzystuje obecnie wysokiej klasy wyspecjalizowane urządzenia zapewniające próbkowanie badanych sygnałów w czasie i przestrzeni z częstotliwością tysięcy herców oraz do 130 par elektrod używanych jako detektory wejściowe jednocześnie (P. Durka, 2009, s. 235).

Metoda QEEG (ang. *Quantitative EEG*) jest z informatyzowanym narzędziem do badania funkcji i dysfunkcji mózgu, a także planowania sesji biofeedback. Aktualnie jest ona stosowana w badaniach z zakresu psychologii i psychiatrii: do diagnozy ADHD, depresji, dysleksji, schizofrenii oraz zaburzeń lękowych. Metoda QEEG umożliwia nie tylko zapis sygnału EEG, ale także jego ilościową analizę w oparciu o specjalny program komputerowy. Analiza ta jest realizowana w postaci widma amplitudy względem częstotliwości, opisanego stabelaryzowanymi wartościami liczbowymi, oraz jako mapa topograficzna pokazująca rozkład czynności EEG w różnych miejscach na powierzchni skóry głowy. Metoda QEEG jest jednym z najbardziej dostępnych i praktycznych narzędzi do badania funkcjonowania mózgu oraz przeprowadzania terapii biofeedback. W badaniach z zakresu psychologii oraz psychiatrii jest wykorzystywana przykładowo do diagnozy ADHD, depresji, dysleksji, schizofrenii, zaburzeń lękowych, autyzmu, zespołu Aspergera (M.T. Thompson 2012, s. 168-180). Umożliwia ona nie tylko zapis EEG, ale również określa oprogramowanie analizujące sygnał EEG, oznaczając różne aspekty EEG w sposób ilościowy

(aktywność mózgu w zdefiniowanym zakresie częstotliwości). Metoda QEEG ułatwia wizualizację tego, co tak naprawdę dzieje się w mózgu, wyświetlając wartości liczbowe w tabeli jako widmo amplitud względem częstotliwości lub jako mapę topograficzną pokazującą rozkład czynności EEG w różnych miejscach na powierzchni skóry głowy.

Najnowsza, eksperymentalna metoda uzyskiwania informacji dotyczących aktywności bioelektrycznej mózgu to metoda LORETA (ang. *low resolution brain electromagnetic tomography*). Polega ona na wykonaniu określonych obliczeń matematycznych wykorzystujących dane z powierzchniowego EEG, wnioskując o aktywności zachodzącej głębiej w korze mózgowej. Dane uzyskane przy pomocy omawianej metody są ściśle skorelowane z danymi uzyskanymi metodą MRI (ang. *magnetic resonance imaging*). Jednocześnie metoda LORETA jest bardzo czuła na różnego rodzaju artefakty, rozumiane jako niepożądane czynniki obecne w trakcie badań empirycznych. Charakteryzuje się też największą dokładnością w odniesieniu do liczby pomiarów na sekundę, w porównaniu z badaniami MRI czy PET (ang. *positron emission tomography*). Jej zaletą jest możliwość dokładnej obserwacji tego, czym „zajmuje się” w danej chwili mózg, oraz jej nieinwazyjność (M.T. Thompson, 2012, s. 256).

Kolejny obszar praktyki związany z działaniami terapeutycznymi to trening neurofeedback. Opiera się on na obserwacji wzorców fal mózgowych, powiązanych z określonymi stanami umysłu oraz określonym zachowaniem. Równowaga w zakresie czynności fal wolnych (theta) i produkcji fal szybkich (beta) wiąże się ze stabilną uwagą, koncentracją i optymalną aktywacją mózgu do rozwiązywania problemów. Monitorowanie czynności fal mózgowych przy jednoczesnym stosowaniu strategii metakognitywnych przyspiesza proces uczenia się, wpływa na poprawę procesów uwagi i zmniejszenie impulsywności, osłabia lęk i zwiększa czujność (M.T. Thompson 2012, s. 248).

Inna metoda nosi nazwę potencjałów wywołanych. Opiera się ona na założeniu, że zawarta w EEG odpowiedź mózgu na każdy z kolejnych bodźców jest niezmienna, a EEG odzwierciedlające pozostałe procesy traktowane jest jak nieskorelowany z nią proces stochastyczny. Zależnie od rodzaju potencjałów wywołanych założenia te są mniej lub bardziej nieuzasadnione. Podważa je przykładowo efekt habituacji, polegający na osłabieniu późnych potencjałów wywołanych kolejnymi powtórzeniami bodźca. Potencjały związane z wydarzeniami (ERP) to czynność elektryczna mózgu na skali czasowej, z dokładnym zaznaczeniem wydarzenia zewnętrznego, które służą jako punkt odniesienia. Potencjały elektryczne są rejestrowane z powierzchni głowy po zadziałaniu bodźca wzrokowego, słuchowego lub czuciowego. Stąd wyróżnia się wzrokowe, słuchowe lub somatosensoryczne potencjały wywołane.

Potencjały wywołane ERP (ang. *event related potentials*) stanowią więc miarę aktywności mózgu powstałą w odpowiedzi na specyficzny bodziec. Uważa się, że są one powiązane czasowo z konkretnym bodźcem. Według

Vaughna (za: L. Thompson, M. Thompson, 2012, s. 39): „potencjał wywołany to reakcja mózgu, która wykazuje stały związek z rzeczywistymi bądź oczekiwanymi bodźcami”.

Natomiast EEG jest pomiarem spontanicznej i bieżącej aktywności mózgu. Ponieważ warunki eksperymentalne towarzyszące badaniom ERP są ściśle kontrolowane, metoda ta cieszy się większym uznaniem naukowym. Za pomocą potencjałów wywołanych można rozróżniać stany kliniczne, badać reakcje na dźwięki nawet przy braku werbalnego potwierdzenia.

## Podsumowanie

Przeprowadzona ocena przydatności poszczególnych metod neuroobrazowania pracy mózgu w badaniach pedagogiki specjalnej obejmuje trzy kryteria: nieinwazyjności, mobilności sprzętu oraz kontekstu sztucznej laboratoryjności otoczenia osoby badanej.

Oceniając pod tym kątem metody magnetoencefalografii, można stwierdzić, że są one wprawdzie nieinwazyjne, ale wymagają użycia nieprzenośnej i drogiej aparatury. Stąd prowadzone z ich użyciem badania realizowane są głównie w naukach psychologicznych i biologicznych, w indywidualnych przypadkach diagnozowanych osób. W zastosowaniach pedagogicznych, których innowacyjność wykorzystania osiągnięć neuronauki powinna polegać na możliwości wykonywania badań na statystycznie istotnych grupach i na tej podstawie na wyprowadzaniu wniosków przydatnych dla praktyki, z możliwością uogólnień, wydają się mało przydatne.

Metoda encefalografii EEG jest rozwiązaniem możliwym do użycia w działaniach diagnostycznych i rehabilitacyjnych. Ma charakter bezinwazyjny, a aparatura jest mobilna i przenośna. Wymaga ona jednak doświadczenia w przeprowadzaniu badania, odpowiedniego, profesjonalnego wykszolenia i umiejętności interpretacji widocznych na ekranie komputera przebiegów sygnału pracy mózgu. Stąd może być użyta w praktyce przez pedagoga specjalnego, zwłaszcza jako narzędzie o charakterze monitorująco-diagnostycznym. Do oceny aktywności poznawczej podczas wykonywania konkretnych zadań znacząco lepszym rozwiązaniem wydaje się metoda potencjałów wywołanych. Jest ona przedmiotem otwartej dyskusji naukowej, z której wynika, że jest to doskonałe rozwiązanie dla zastosowań w zakresie zaawansowanych metod modelowania oraz analizy sygnałów (P. Durka, 2009, s. 239). Dlatego z prezentowanych metod badania pracy mózgu stanowi ona najlepszą możliwą do użycia przez pedagoga specjalnego technikę służącą do uzyskania wiedzy pozwalającej na tworzenie modeli procesów poznawczych osoby z niepełnosprawnością. Omawiana metoda neuroobrazowania pracy mózgu może być wykorzystana zarówno w obszarze diagnozy, jak i rehabilitacji, w tym w obiektywnej ocenie



dotychczas stosowanych i tworzenia nowych, skutecznych programów rehabilitacyjnych.

Do rozwiązania pozostaje jeszcze jeden problem, bardzo istotny z punktu widzenia prac badawczych prowadzonych w pedagogice specjalnej, a mianowicie laboratoryjne, sztuczne otoczenie osoby badanej i jego wpływ na wyniki badań.

## Bibliografia

- Blakemore S.J., Frith U. (2008), *Jak uczy się mózg*, UJ, Kraków.
- Durka P. (2009), *Badanie funkcji mózgu z wykorzystaniem encefalografii* [w:] T. Tadeusiewicz (red.), *Neurocybernetyka teoretyczna*, UW, Warszawa.
- Gajdzica Z. (2011), *Sytuacje trudne w opinii nauczycieli klas integracyjnych*, Impuls, Kraków.
- Gnitecki J. (1994), *Zarys pedagogiki ogólnej*, Zys i S-ka, Poznań.
- Krause A. (2010), *Współczesne paradygmaty pedagogiki specjalnej*, Impuls, Kraków.
- Lewowicki T. (2003), *Rozwój pedagogiki i jej oddziaływanie na edukację* [w:] J. Kuźma, J. Morbitzer (red.), *Nauki pedagogiczne w teorii i praktyce edukacyjnej*, t. 1, UP, Kraków.
- Lindsay P.H., Norman D.A. (1991), *Procesy przetwarzania informacji u człowieka*, PWN, Warszawa.
- Milner A.D., Goodale M.A. (2008), *Mózg wzrokowy w działaniu*, PWN, Warszawa.
- Spitzer M. (2007), *Jak uczy się mózg*, PWN, Warszawa.
- Thompson L., Thompson M. (2012), *Neurofeedback. Wprowadzenie do podstawowych koncepcji psychofizjologii stosowanej*, Biomed Neurotechnologie, Wrocław.
- Vetulani J. (2011), *Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice*, Znak, Kraków.
- <http://mozg.wikispaces.com> [data dostępu 14.02.2014]