

Jolanta Zielińska

WYDAWNICTWO NAUKOWE  
UMIĘTSYTY PEDAGOGICZNEJ  
WARSZAWY

# Metody obrazowania pracy mózgu w perspektywie pedagogiki specjalnej

Wybrane zagadnienia



To w pełni trafiona publikacja, która wkomponowuje się w potrzeby kształcenia w tej dziedzinie pedagogów specjalnych. Do tej pory zainteresowane działalnością pedagogiczną z wykorzystaniem neuronauk były przede wszystkim psychologia (neuropsychologia) i logopedia (neurologopedia). Tym bardziej zasadnym jest wypełnienie luki w naukach pedagogicznych, wykorzystanie możliwości neuronauk, zwłaszcza w edukacji, terapii, opiece i wspomaganiu – czym zajmuje się pedagogika specjalna. [...] Ta książka to przykład przekraczania granic niewiedzy, kreatywnego poszukiwania rozwiązań, podejmowania interdyscyplinarnego dyskursu.

*Jacek J. Bleszyński*

**Metody obrazowania  
pracy mózgu  
w perspektywie  
pedagogiki specjalnej**

Uniwersytet Pedagogiczny  
im. Komisji Edukacji Narodowej  
w Krakowie  
Prace Monograficzne 739

**Jolanta Zielińska**

**Metody obrazowania  
pracy mózgu  
w perspektywie  
pedagogiki specjalnej**

**Wybrane zagadnienia**

**70  
UP**

  
WYDAWNICTWO NAUKOWE  
UNIWERSYTETU PEDAGOGICZNEGO ■ KRAKÓW 2015

## Recenzenci

prof. zw. dr hab. Janina Wyczesany

dr hab. Jacek J. Bleszyński, prof. UMK

© Copyright by Jolanta Zielińska & Wydawnictwo Naukowe UP,  
Kraków 2015

redakcja: Ewa Zamorska-Przyłuska  
projekt okładki: Janusz Schneider  
łamanie: Jadwiga Czyżowska-Maślak

ISSN 0239-6025  
ISBN 978-83-7271-951-5

## Wydawca

Wydawnictwo Naukowe UP

30-084 Kraków, ul. Podchorążych 2

tel./faks 12 662-63-83, tel. 12 662-67-56

e-mail: [wydawnictwo@up.krakow.pl](mailto:wydawnictwo@up.krakow.pl)

<http://www.wydawnictwoup.pl>

druk i oprawa: Zespół Poligraficzny UP, zam. 47/2015

## Spis treści

Wprowadzenie	7
Rozdział 1	
Interdyscyplinarny charakter pedagogiki specjalnej	12
1.1. Wprowadzenie	12
1.2. Interdyscyplinarna wizja pedagogiki specjalnej Marii Grzegorzewskiej	16
1.3. Pogranicze pedagogiki specjalnej i nauk technicznych	20
1.4. Pogranicze pedagogiki specjalnej i neuronauk	24
Rozdział 2	
Wybrane aspekty funkcjonowania mózgu	28
2.1. Wprowadzenie	28
2.2. Mózg: jego rozwój, budowa i funkcje	29
2.3. Mózg i jego plastyczność	35
2.4. Relacja mózg–umysł	40
Rozdział 3	
Modelowanie mechanizmów neurokognitywistycznych w teorii i praktyce	45
3.1. Wprowadzenie	45
3.2. Teoria poznawcza zapisu i przetwarzania informacji	47
3.3. Koncepcja naukowa dwóch mózgów wzrokowych	53
Rozdział 4	
Ogólna charakterystyka i ocena przydatności metod obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej	58
4.1. Wprowadzenie	58
4.2. Rys historyczny badań nad mózgiem	60
4.3. Zasada działania i ocena przydatności metody rezonansu magnetycznego MEG oraz fMRI obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej	64
4.4. Zasada działania i ocena przydatności metody encefalografii EEG oraz QEEG obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej	68
4.5. Zasada działania i ocena przydatności treningu neurofeedback w pedagogice specjalnej	72

4.6. Zasada działania i ocena przydatności metody potencjałów wywołanych obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej	78
4.7. Ocena przydatności metod obrazowania pracy mózgu w psychologii poznawczej – wybrane zagadnienia	81
Rozdział 5	
Ogólna charakterystyka i ocena przydatności metody okulografii obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej	85
5.1. Wprowadzenie	85
5.2. Zasada działania i realizacja praktyczna metody eye-trackingu	87
5.3. Budowa i działanie eye-trackerów (okulografów)	92
5.4. Ocena przydatności metody eye-trackingu w pedagogice specjalnej	105
Rozdział 6	
Interfejs mózg–komputer i ocena jego przydatności w pedagogice specjalnej	109
6.1. Wprowadzenie	109
6.2. Charakterystyka budowy i działania interfejsu mózg–komputer	110
6.3. Zastosowania praktyczne interfejsu mózg–komputer	114
6.4. Ocena przydatności interfejsu mózg–komputer w pedagogice specjalnej	119
6.5. Zastosowanie interfejsu mózg–komputer u osób z niepełnosprawnością – wybrane przykłady	122
Rozdział 7	
Wybrane aspekty funkcjonowania mózgu osób z niepełnosprawnością	128
7.1. Wprowadzenie	128
7.2. Uszkodzony mózg – ogólna charakterystyka problemu	129
7.3. Przykładowe możliwości poprawy funkcjonowania uszkodzonego mózgu	131
7.4. Co wiadomo o uszkodzeniu mózgu u osób z niepełnosprawnością – wybrane przykłady	139
Podsumowanie	149
Streszczenie	153
Summary	156
Bibliografia	157



## Wprowadzenie

Badaniami układu nerwowego człowieka zajmuje się obszerna dziedzina naukowa – neurobiologia. W węższym znaczeniu stanowi ona zbiór dyscyplin wyłącznie biologicznych. W znaczeniu szerszym i współczesnym określa się tym hasłem wszystkie, a nie tylko biologiczne dziedziny nauki, które w jakikolwiek sposób zajmują się badaniem układu nerwowego. Odpowiednikiem takiego znaczenia w języku angielskim jest wyrażenie *neurosciences* (w liczbie mnogiej) lub *neuroscience* (w liczbie pojedynczej). W języku polskim dosłowne tłumaczenie tego wyrażenia, choć nie wydaje się ono poprawne stylistycznie, to: neuronauki, neuronauka.

Niniejsza książka w żadnym razie nie pretenduje do miana opracowania naukowego przedstawiającego w minimalnym nawet stopniu całościowe ujęcie problemu funkcjonowania mózgu człowieka. Jest on przedmiotem zainteresowania wielu różnych dziedzin naukowych. Badania prowadzone w tym obszarze wymagają rozległej, specjalistycznej wiedzy, mają więc charakter interdyscyplinarny. Stąd też nauka o mózgu obejmuje bardzo wiele zagadnień, od badania molekuł (czyli cząsteczek chemicznych) do badania zachowania się człowieka i związanych z tym zjawisk psychicznych. Uzyskana wiedza jest obszerna i skomplikowana. Mimo to istnieje wiele podręczników starających się zintegrować w jednym opracowaniu streszczenie aktualnej wiedzy o układzie nerwowym, w tym o mózgu. Powstały nawet jednolite kierunki studiów *neuroscience*, gdzie można studiować zintegrowaną neurobiologię. Autorka pracy ma pełną świadomość rozległości wiedzy o mózgu. Stąd tematyka ta w pracy zostanie jedynie zasygnalizowana na poziomie podstawowych pojęć wprowadzających pedagoga specjalnego w obszary zastosowania wyników badań nad mózgiem w diagnostyce, rehabilitacji i terapii prowadzonej przez pedagogów specjalnych. W ramach poszukiwania odpowiedzi

na fundamentalne pytanie o jakość tych działań powstało wiele obszernych opracowań (por. Pąchalska 2009: 540).

Celem prezentowanej książki jest pokazanie, jak aktualne osiągnięcia obrazowania pracy mózgu zmieniają, a dokładniej: wspomagają proces diagnozy i terapii osób z niepełnosprawnością. Stąd dokonany przez autorkę pracy wybór ze skomplikowanej i obszernej wiedzy o mózgu pewnych zagadnień, mogących zainteresować pedagogów specjalnych, wzbogacić ich warsztat pracy, pobudzić zainteresowanie nowymi, opartymi na osiągnięciach obrazowania pracy mózgu metodami diagnozy i rehabilitacji. Część z nich stosuje się już w praktyce, tak jak metodę encefalografii czy neurobiofeedbacku. Być może książka uzupełni i usystematyzuje ten obszar praktyki w perspektywie zastosowań w pedagogice specjalnej.

Opracowanie prezentuje interdyscyplinarny charakter pedagogiki specjalnej i jej wkład we współcześnie tworzone koncepcje wspólnych obszarów badawczych różnych dyscyplin naukowych. Stanowi ono próbę pokazania pewnej drogi osobom zajmującym się pedagogiką specjalną zarówno w wymiarze teoretycznym, jak i praktycznym, sposobu umiejętnego czerpania z dorobku innych nauk. Wybrane zostały do tego celu dwa obszary. Obszar „informatyczny”, przedstawiony zwięźle i krótko (w nim realizowane były dotychczasowe prace badawcze autorki – por. bibliografia) oraz niezupełnie nowy, ale w perspektywie praktyki pedagogiki specjalnej przyszłościowy i aktualnie rozwijający się dynamicznie obszar „neuronalny”. Nie ma to na celu zaniechania stosowania metod tradycyjnych, ale głębsze zrozumienie „ja” człowieka wykazującego zaburzenia, a na tej podstawie opracowanie nowych metod terapii wspomagających tradycyjne postępowanie, charakterystycznych dla danego rodzaju niepełnosprawności. Zastosowanie osiągnięć neuronauk w pedagogice specjalnej ma więc budować, a nie burzyć, ma wspomagać pedagogikę specjalną w jej praktycznym wymiarze.

Wprowadzeniem do zagadnień praktycznych są rozdziały drugi i trzeci. W rozdziale drugim (*Wybrane aspekty funkcjonowania mózgu*) przedstawiona została ogólna wiedza na temat mózgu, jego budowy i funkcji. Jest ona przydatna do uzyskania wyobrażenia o stopniu skomplikowania tej tematyki i trudnościach stojących nie

tylko przed badaczami, ale również przed osobami usiłującymi wykorzystać wyniki badań. Problem polega na zrozumieniu ich istoty, charakteru i specyfiki. Kolejno, w bardzo dużym skrócie, omówione zostały zagadnienia dotyczące plastyczności mózgu i jego zdolności do wymuszonej (np. skuteczną terapią) lub samoistnej zmiany. Nacisk położono na wczesne wspomaganie rozwoju dziecka. Całości prezentacji dopełnił – jedynie zasygnalizowany, bo wysoce złożony – problem będący tematem wielu specjalistycznych publikacji: relacja mózg–umysł. Rozdział trzeci (*Modelowanie mechanizmów neurokognitywistycznych w teorii i praktyce*) prezentuje wybrane zagadnienia z zakresu modelowania mechanizmów neurokognitywistycznych. Do tego celu zostały wybrane dwie koncepcje naukowe, przydatne z punktu widzenia omawianej problematyki. Pierwsza dotyczy zapisu i przetwarzania informacji oraz jej udziału w rozwoju poznawczym człowieka. Opiera się więc na informacji, przetwarzaniu jej przez mózg i uzyskanych na tej drodze zmianach poznawczych. To, co badane jest podczas procesu neuroobrazowania pracy mózgu przy wykorzystaniu wszystkich zaprezentowanych w pracy metod, jest podstawą budowy modeli poznawczych. Druga koncepcja – dwóch mózgow wzrokowych – dotyczy udziału tego zmysłu w percepcji i działaniu człowieka. Powtarza się więc pojęcie informacji, jej przetwarzania i udziału mózgu w tym procesie.

Prezentacja tych zagadnień w kontekście niepełnosprawności osoby badanej stanowi treść rozdziału czwartego (*Ogólna charakterystyka i ocena przydatności metod obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej*). Wykazane w nim zostało, że jedynie dwie metody badania pracy mózgu: elektroencefalografia EEG oraz potencjałów wywołanych ERP spełniają przyjęte dla badań pedagogiki specjalnej kryteria: nieinwazyjności i mobilności prowadzonych badań. Potrzebny jest jednak do tego celu wysokiej klasy sprzęt i odpowiednio zaplanowany proces badawczy. Kryterium braku sztuczności warunków otoczenia osoby badanej nie spełniła żadna z zaprezentowanych w rozdziale czwartym metod. Stąd podjęta w rozdziale piątym (*Ogólna charakterystyka i ocena przydatności metody okulografii obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej*) próba wskazania metody innej niż wymienione. Metoda ta bazuje na osiągnięciach

okulografii. Jest ona dość kontrowersyjna w zastosowaniach w pedagogice specjalnej, co zostanie w książce wykazane, ale wydaje się skutecznym i prostym w zastosowaniu rozwiązaniem praktycznym. Jej zalety to łatwość opanowania techniki użycia i uwzględnianie kontekstu społecznego badanej osoby. Do wad metody należy zaliczyć fakt, iż uzyskiwane z jej wykorzystaniem wyniki są zarówno ilościowo, jak i jakościowo nieporównywalnie bardziej ubogie, aniżeli te dostarczane z wykorzystaniem metod obrazowania pracy mózgu scharakteryzowanych w rozdziale czwartym.

Rozdział szósty (*Interfejs mózg–komputer i ocena jego przydatności w pedagogice specjalnej*) stanowi „techniczne” uzupełnienie rozdziału trzeciego i dotyczy interfejsu mózg–komputer. Wpisuje się on w prace badawcze nad zbudowaniem sztucznego umysłu, stanowiące podstawę koncepcji informatyki neurokognitywnej. Jej celem jest stworzenie systemów osiągających poziom kompetencji przekraczający możliwości człowieka, opartych na wielkoskalowej architekturze mózgu i modelach funkcji jego wyspecjalizowanych obszarów. O ile udało się to w ramach takich zagadnień jak rozpoznawanie przez komputery, efektywniej niż przez człowieka, specyficznych wzorców w sygnałach, o tyle nie jest to na razie możliwe w obszarze tzw. niższych funkcji poznawczych. Praktyczne architektury obliczeniowe ograniczają możliwości przetwarzania informacji i być może nigdy nie osiągną podobnych do mózgu biologicznego możliwości, zarówno w ramach niższych, jak i wyższych czynności poznawczych. Ograniczeniem w tym zakresie są chociażby możliwości techniczne komputerów. W ramach informatyki kognitywnej prowadzone są prace nad unowocześnianiem i rozwijaniem, zwłaszcza w aspekcie zastosowań praktycznych, interfejsu mózg–komputer. Stąd właśnie on stanowi treść rozdziału szóstego. Pokazane w nim zostały między innymi przykłady praktyczne z zakresu pedagogiki specjalnej, dotyczące możliwości zastępowania utraconych funkcji sensorycznych poprzez implanty elektrycznie stymulujące neurony. Pracę domyka rozdział siódmy, nawiązujący bezpośrednio do funkcjonowania mózgu osób z niepełnosprawnością (*Wybrane aspekty funkcjonowania mózgu osób z niepełnosprawnością*). Zostały w nim przedstawione podstawowe zagadnienia dotyczące neurologicznych oraz biochemicznych

uszkodzeń mózgu oraz na tym tle charakterystyka działania mózgu u osób z autyzmem, wadą wzroku, wadą słuchu, dysleksją oraz afazją. Wybór przedstawionej problematyki został podyktowany zrealizowanymi przez neurobiologów badaniami empirycznymi, głównie z zastosowaniem metody fMRI obrazowania pracy mózgu. W rozdziale siódmym pokazane zostały również niektóre aktualnie stosowane rozwiązania prowadzące do poprawy funkcji mózgu. Z uwagi na złożoność problemu wybrano do realizacji założonego celu tylko niektóre zagadnienia. Podstawowe kryterium wyboru treści wszystkich omówionych rozdziałów książki stanowiła przydatność tematyki dla osób zajmujących się w ramach pedagogiki specjalnej – zarówno naukowo, jak i w praktyce – osobami z niepełnosprawnością. Stąd celowo nie została w zasadzie poruszona problematyka związana z neuropsychologią czy neurologopedią. Przydatność osiągnięć tych nauk w pedagogice specjalnej stanowi tak rozległy obszar badawczy, iż wymaga osobnego omówienia.

Książka podejmuje temat zastosowania osiągnięć w zakresie neuroobrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej. Jednocześnie jest ona pewnego rodzaju podsumowaniem pięcioletnich zainteresowań naukowych autorki. Dlatego też niektóre fragmenty pracy rozwijają tematykę wcześniejszych publikacji. Z faktem tym powiązany jest cel naukowy prezentowanych rozważań. Autorka wraz z zespołem Katedry Zastosowań Techniki w Diagnostyce i Rehabilitacji Osób z Niepełnosprawnością – którym chciałaby w tym miejscu podziękować za współpracę – podjęła prace naukowo-badawcze dotyczące diagnozy i terapii osób ze specjalnymi potrzebami rozwojowymi i edukacyjnymi, oparte na wykorzystaniu do tego celu osiągnięć neurotechnologii. Badania w odniesieniu do grup o różnym rodzaju niepełnosprawności są aktualnie realizowane. Ich wyniki w zakresie surdopedagogiki, jako kontynuacja prezentowanego opracowania, uzupełnione innymi wybranymi wynikami badań własnych autorki, zrealizowanymi w obszarze zastosowań nowoczesnych metod diagnozy i terapii w pedagogice specjalnej, zostaną omówione w osobnej publikacji książkowej. Będzie ona praktycznym uzupełnieniem niniejszej pracy, stanowiąc jej badawczą kontynuację.

## ROZDZIAŁ 1

# Interdyscyplinarny charakter pedagogiki specjalnej

### 1.1. Wprowadzenie

Cechą pedagogiki specjalnej, która w szczególny sposób wyróżnia ją spośród innych dyscyplin pedagogicznych, jest jej interdyscyplinarność. By tego dowiedzieć, można odnieść się do dwóch skrajnych okresów historycznych: czasów Marii Grzegorzewskiej i naszej współczesności.

Nie ulega wątpliwości, iż wpływ tzw. nauk i ideologii pomocniczych na badania pedagogiczne istniał od dawna, mając w perspektywie historycznej różny zasięg, przebieg i charakter. Aktualnie stał się on 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 (Lewowicki 2003: 43).

Stanisław Palka we wstępie do książki pt. *Pogranicza pedagogiki i nauk pomocniczych* odnosi się do problemu czerpania przez pedagogikę z innych nauk. Pisze:

Przyjąłem i podtrzymuję stanowisko, że poszukiwania poznawcze z pogranicza pedagogiki i innych nauk dawać mogą silne impulsy rozwojowe dla nauk pedagogicznych, mogą być także inspirujące dla nauk pomocniczych pedagogiki. Impulsy rozwojowe, inspiracje mogą występować

zarówno w dziedzinie poznania naukowego, jak i metodologii nauki oraz metodologii badań naukowych, ujmowanej w wymiarze założeń i praktyki badawczej [...] (Palka 2004: 7).

Przechodząc w kontekście zaprezentowanych myśli na grunt teorii pedagogiki specjalnej: Amadeusz Krause w książce pt. *Współczesne paradygmaty pedagogiki specjalnej* zadaje bardzo istotne z punktu widzenia wizji rozwoju tej dyscypliny pytania:

[...] czy rzeczywiście wobec 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? (Krause 2010: 10).

### **I odpowiada:**

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

Niniejsze opracowanie jest próbą ukazania drogi praktykom zajmującym się pedagogiką specjalną; właśnie tej drogi „trzeciej” – umiejętnego czerpania z dorobku innych nauk w obszarze zastosowań praktycznych i w dwóch zakresach: poznawczym i badawczym. Jak wspomniano we wprowadzeniu, wybrane zostaną do tego celu dwa obszary: „informatyczny” (por. wykaz prac w bibliografii) oraz „neuronalny”.

Odnosząc się do praktyki, należy stwierdzić, że między innymi integracyjny system opieki społecznej, edukacyjnej i rehabilitacyjnej wymusza potrzebę prowadzenia w pedagogice badań o charakterze interdyscyplinarnym. Zenon Gajdzica w książce pt. *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 rozmyślu staje się tygłem generu-

jącym koncepcje, które trudno jednoznacznie przyporządkować określonej dyscyplinie naukowej (Gajdzica 2011: 7).

Problem konieczności interdyscyplinarnego podejścia do podmiotu badań dotyczy w szczególności sposób pedagogiki specjalnej jako dyscypliny naukowej i dziedziny praktyki społeczno-wychowawczej, nastawionej na pomoc osobie ze specjalnymi potrzebami. Jej główne cele to: wspieranie wyrównywania szans życiowych, nastawienie na podmiotowość i możliwości realizacyjne osób z niepełnosprawnością, społecznie słabszych, czasami wręcz wykluczonych. Iwona Chrzanowska w pracy pt. *Zaniedbane obszary edukacji – pomiędzy pedagogiką a pedagogiką specjalną* pisze:

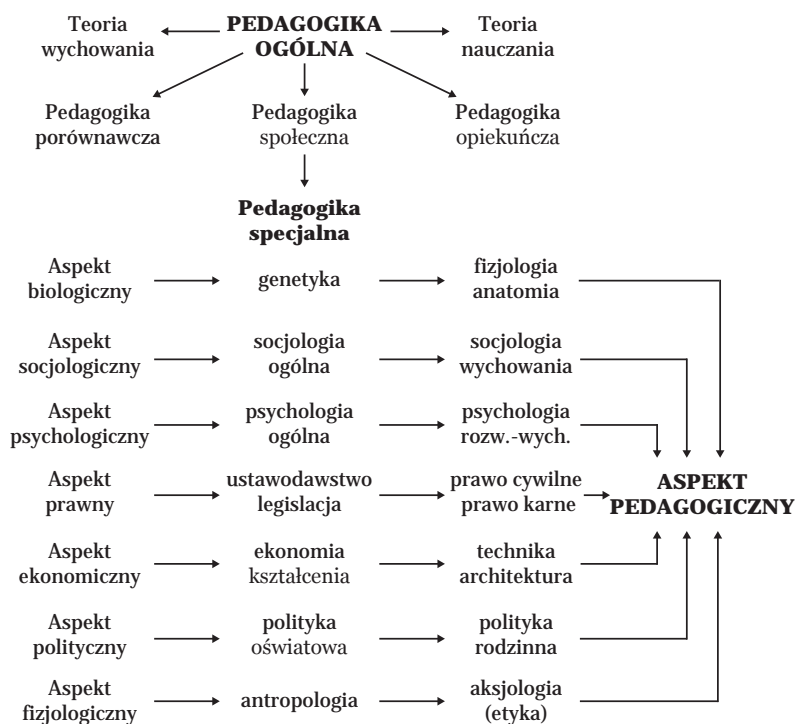
Grupą, która w kontekście przedstawionego rozumienia nierówności w edukacji może być szczególnie zagrożona marginalizacją i społecznym wykluczeniem, są wspomniane już przeze mnie osoby o specjalnych potrzebach edukacyjnych, m.in. dzieci i młodzież z niepełnosprawnością umysłową, niewidomi i słabo widzący, niesłyszący i słabo słyszący (Chrzanowska 2009: 11).

Pewnym rozwiązaniem tej trudnej sytuacji edukacyjnej jest podejmowanie działań praktycznych na pograniczu pedagogiki specjalnej i nauk pomocniczych. Ich celem jest opracowywanie, upowszechnianie i udostępnianie nowych metod diagnostycznych, terapeutycznych, rehabilitacyjnych, aktywnie wspierających rozwój osób z odchyleniami rozwojowymi. Odwołanie się do interdyscyplinarności w pedagogice specjalnej nie stanowi odchodzenia od naukowości, ale jest symptomem zastępowania doktrynalności pedagogiki systematycznej pluralizmem koncepcji alternatywnych zarówno w teorii, jak i praktyce, w tym terapeutycznej. Wynika to z przekonania, że osoby niepełnosprawne są zdolne do wielokierunkowych działań, a granice możliwości ich realizowania nie są do końca znane i możliwe do określenia (Zielińska 2005b: 108).

Korzystanie w badaniach z zakresu pedagogiki specjalnej z osiągnięć nauk pomocniczych, takich jak psychologia, kognitywistyka, socjologia, medycyna, ekonomia, prawo, informatyka, telekomunikacja czy ostatnio neurobiologia, jest pewnego rodzaju koniecznością



badawczą, prowadzącą do uzyskania całościowego i pełnego zglebie-  
 nia zjawisk i zagadnień, których te badania dotyczą. Nauki współdzia-  
 łające z pedagogiką specjalną od dawna wnoszą swój wkład zarówno  
 do rozwiązań teoretycznych, jak i zastosowań praktycznych, głównie  
 do szeroko rozumianej rewalidacji, terapii i resocjalizacji, pozwalając  
 na ich kompleksowe i wielokontekstowe ujęcie (Gnitecki 1994: 39).  
 Wybrane związki pedagogiki specjalnej z naukami pedagogicznymi  
 i innymi przedstawia rycina 1.1. Obrazuje ona stan sprzed prawie  
 dwudziestu lat, co pokazuje utrzymującą się tendencję.



Ryc. 1.1. Związki pedagogiki specjalnej z naukami pedagogicznymi i innymi naukami

Źródło: Gnitecki (1994: 39)

Prezentowane ujęcie nie jest w aktualnym stadium rozwojowym pedagogiki specjalnej pełne. Brak w nim nauk związanych z rozwojem techniki komputerowej i technologii informacyjnej, czyli informatyki, dynamicznie wchodzącej od wielu już lat do teorii i praktyki edukacyjnej i rehabilitacyjnej, oraz najnowszej dziedziny naukowej, której osiągnięcia mogą zrewolucjonizować badania pedagogiczne – neurobiologii.

To, co łączy pedagogikę specjalną i nauki pomocnicze, to wspólny podmiot badań: człowiek. Aktualne osiągnięcia pedagogiki specjalnej w dialogu z naukami pogranicza i dyscyplinami pomocniczymi, jej interdyscyplinarność teoretyczna i metodologiczna, mają zastosowanie zarówno w zagadnieniach dydaktycznych, jak i pozadydaktycznych. Tworzą one nowe perspektywy i wyzwania dla tendencji integracyjno-normalizacyjnych poprawy jakości życia osób niepełnosprawnych (Dykciak 2001: 10) – celu po raz pierwszy sformułowanego i praktycznie zrealizowanego na gruncie polskim przez Marię Grzegorzewską. Pokazanie w dalszej kolejności jej interdyscyplinarnej wizji pedagogiki specjalnej jest bardzo istotne z punktu widzenia współcześnie tworzonej koncepcji wspólnych obszarów badawczych.

## 1.2. Interdyscyplinarna wizja pedagogiki specjalnej Marii Grzegorzewskiej

Konieczność nadania interdyscyplinarnego charakteru pedagogice specjalnej, poprzez wykorzystanie dorobku takich nauk jak: fizjologia, patologia ogólna, pediatria, psychiatria, neurologia, psychologia, socjologia, pedagogika ogólna i higiena, jako pierwsza postulowała jej twórczyni Maria Grzegorzewska. Wskazała ona na związek pedagogiki specjalnej z naukami medycznymi m.in. w następujących opracowaniach:

- „Fizjologia podstawy nauki Pawłowa a oddziaływania wychowawcze”;

- „Zagadnienia współzależności pomiędzy układem nerwowym a czynnościami organizmu”;
- „Patofizjologia i jej rola w wychowaniu dzieci chorych” (Grzegorzewska 1989).

Prezentowane podejście wynikało w bezpośredni sposób z podstawowych założeń teoretycznych i specyfiki warsztatowo-metodologicznej pracy rewalidacyjnej z dziećmi, u których stwierdzono odchylenia od normy (Zielińska 2014: 194). Na taką wizję pedagogiki specjalnej miała wpływ droga edukacyjna Marii Grzegorzewskiej. Obejmowała ona kolejno etapy: rok 1909 – studia na wydziale przyrodniczym Uniwersytetu Jagiellońskiego, przerwane z powodu choroby; rok 1913 – Międzynarodowy Fakultet Pedagogiczny w Brukseli; wreszcie rok 1914 – pobyt w Warszawie, wybuch I wojny światowej, uniemożliwiający wyjazd do Brukseli, przedostanie się do Londynu i tam kontynuacja studiów (jednak ostatnio publikowane w Akademii Pedagogiki Specjalnej materiały wskazują, że dalsza nauka w Londynie nie miała miejsca). Z kolei inne źródła podają, że przez Londyn Maria Grzegorzewska udała się do Paryża, gdzie w 1915 roku podjęła studia psychologiczne na Sorbonie. Uzyskała tam tytuł doktora filozofii za rozprawę: *Studium na temat rozwoju uczuć estetycznych – badania z zakresu estetyki eksperymentalnej przeprowadzone wśród uczniów szkół brukselskich (50-lecie Państwowego Instytutu Pedagogiki Specjalnej...: 13–17)*.

Interdyscyplinarna wizja pedagogiki specjalnej miała również wpływ na decyzje zawodowe Marii Grzegorzewskiej. W roku 1919 podjęła ona pracę w Ministerstwie Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego. Zajmowała się sprawami szkolnictwa specjalnego, popularyzacją tego rodzaju szkół, ich zakładaniem oraz kursami seminaryjnymi dla nauczycieli. W roku 1922 nastąpiło przekształcenie kursu w Państwowy Instytut Pedagogiki Specjalnej. W okresie przedwojennym, w roku 1930, powstał Państwowy Instytut Nauczycielski, gdzie pracowała do 1935 roku. Program obejmował przedmioty dające podstawę naukową pracy pedagogicznej, takie jak: filozofia, pedagogika, psychologia, socjologia, ekonomia, prawo, higiena, higiena społeczna. W latach 1958–1960 była profesorem w Katedrze

Pedagogiki Specjalnej Uniwersytetu Warszawskiego, pierwszej uniwersyteckiej katedrze pedagogiki specjalnej w Polsce. W ramach studiów magisterskich wprowadzono tam zajęcia z zakresu neurologii i psychopatologii oraz obserwację w klinice psychiatrycznej w Pruszkowie. Konstrukcja ogólnej koncepcji pedagogiki specjalnej według Marii Grzegorzewskiej opierała się na fakcie, że brakowało wówczas wsparcia ze strony psychologii. Stąd zwróciła się ona o pomoc do psychiatrii oraz neurologii i stamtąd ją otrzymała. Psychiatrizy i neurologicy, z którymi współpracowała od początku Maria Grzegorzewska, to: dr Duniewski, dr Sterling, dr Handelsmann, dr Jarecki, później: dr Jaroszewski, dr Radziwiłłowicz, dr Mazurkiewicz i inni. W konsekwencji tej współpracy w roku 1961 nadano Marii Grzegorzewskiej godność członka honorowego Polskiego Towarzystwa Psychiatrycznego. Otrzymała ją za oryginalność ujęcia odchyleń od normy, potraktowanego jako całościowe zagadnienie rozpatrywane na wielu płaszczyznach: neurologiczno-psychiatrycznej, fizjologicznej, psychologicznej, socjologicznej. Maria Grzegorzewska była więc promotorem psychiatrii dziecięcej (*50-lecie Państwowego Instytutu Pedagogiki Specjalnej...*: 13–17).

O interdyscyplinarnej wizji Marii Grzegorzewskiej świadczą wykładowcy Instytutu Pedagogiki Specjalnej, wyspecjalizowani warsztatowo i pełni pasji. Należeli do nich lekarze, neurologicy, psychiatrzy, psychologowie oraz pedagodzy. Najbardziej znani spośród nich to psychiatrzy: Łuniewski, Sterling; psychologowie: Joteyko, Petrażycki (twórca psychologii emocjonalnej); pedagodzy: Korczak, Hessen. Spośród tych osób największy wpływ na kształt pedagogiki specjalnej miała Józefa Joteyko. Jeszcze za granicą razem z Marią Grzegorzewską przygotowywały one w latach I wojny światowej pierwsze projekty organizacji systemu wychowania i kształcenia dzieci upośledzonych. W roku 1919 Joteyko powróciła do Polski i rozpoczęła pracę w Państwowym Instytucie Pedagogicznym w Warszawie jako wykładowca psychologii ogólnej i wychowawczej. Sprowadziła dla Instytutu wyposażenie pracowni psychologicznej Międzynarodowego Fakultetu Pedologicznego. Prowadziła wykłady w Instytucie

Pedagogiki Specjalnej do końca roku 1927. Rok później zmarła. Jej wkładem w rozwój pedagogiki specjalnej było zastosowanie osiągnięć naukowych w zakresie fizjologii i psychologii w nauczaniu i wychowaniu. Dla potrzeb nauczycieli opracowała tzw. Indywidualną kartę dziecka. Reprezentowała koncepcję szkoły jednolitej, w której wszystkim dzieciom należy zapewnić równy start i prawo do nauki. Domagała się, aby w ramach szkoły powszechnej tworzone były oddziały specjalne dla dzieci upośledzonych umysłowo i przerośniętych wiekiem, sprawiających trudności wychowawcze. Uważała ona, że w pracy dydaktycznej należy zrezygnować z jedynie werbalnego nauczania i oprzeć je przede wszystkim na aktywizacji i zainteresowaniach dziecka. Nowatorskie propozycje Józefy Joteyko dotyczące organizacji szkolnictwa, metod dydaktycznych, kształcenia nauczycieli budziły pewne kontrowersje, niemniej zostały one w znacznej mierze zrealizowane w praktyce, czym wniosły istotny wkład w kształt pedagogiki specjalnej ([http://www.apk\\_poczatkowe2.republika.pl/pawlikowska1.doc](http://www.apk_poczatkowe2.republika.pl/pawlikowska1.doc)).

Wizja pedagogiki specjalnej prezentowana przez Marię Grzegorzewską i Józefę Joteyko odnalazła swoje miejsce w zapisach Statutu Instytutu Pedagogiki Specjalnej w Warszawie. W Dzienniku Ustaw z dnia 15 lipca 1922 roku (§ 3: *Organizacja Instytutu Pedagogiki Specjalnej*) napisano, że Instytut tworzą: odpowiednie szkoły ćwiczeń, biblioteka, pracownie do badań w dziedzinie fonetyki i ortofonii oraz pedagogiki leczniczej, poradnie. Maria Grzegorzewska swoją wizję pedagogiki specjalnej odwzorowała w prowadzonym przez siebie przedmiocie pedagogika specjalna, który był kluczowy, przekaznikowy, dynamicznie zmienny. W jego ramach skupiały się jak w soczewce wszystkie uzyskane przez studentów wiadomości z różnych dyscyplin i krystalizowały się w kształt zastosowań praktyczno-metodycznych (Zielińska 2014: 198). „Rozwijając przez 40 lat swoją pracę naukową i pedagogiczną wybiegała daleko poza systemy realizowane za granicą i utorowała pedagogice specjalnej drogę do poglądów dziś aktualnych w nauce”. Przytoczona opinia psychiatry Zdzisława Jaroszewskiego z roku 1961 jest nadal aktualna (*50-lecie Państwowe-*

go Instytutu Pedagogiki Specjalnej...: 13–17). Osobowość człowieka była stałym obiektem poszukiwań badawczych Marii Grzegorzewskiej. Źródeł cech osobowości poszukiwała ona w rodzinie, w przeżyciach związanych z uczeniem się, w przebiegu pracy i kontaktach międzyludzkich. Była naukowcem i praktykiem z wizją.

### 1.3. Pogranicze pedagogiki specjalnej i nauk technicznych

Na rozwój pedagogiki specjalnej wpływa znacząco, zwłaszcza w ostatnim czasie, rozwój nowoczesnych technik i technologii, w tym informatycznych i telekomunikacyjnych. Ich zastosowanie ma miejsce głównie w obszarach związanych z edukacją, diagnozą, usprawnianiem i rehabilitacją.

Praktycznym potwierdzeniem tego faktu są badania dotyczące zastosowania techniki komputerowej w diagnozie i terapii sprawności ortofonicznej dzieci z uszkodzeniem słuchu (Zielińska 2004: 112). Uzyskane z tych badań wnioski, a zwłaszcza ich aplikacje praktyczne, wskazują na potrzebę, a nawet konieczność zastosowania osiągnięć nowoczesnej techniki komputerowej oraz kognitywistyki w badaniach surdopedagogicznych.

W przeciągu ostatnich kilkudziesięciu lat socjologowie próbują określić rodzaj dokonującej się transformacji społeczno-kulturowej. Najczęściej używają sformułowań: „rewolucja komunikacyjna” czy „wiek informacji”, a w odniesieniu do społeczeństwa – „informacyjne”, „sieciowe”, „wiedzy”. Podstawę jego rozwoju i postępu stanowi przetwarzanie i dostęp do informacji oraz komunikacja, ze wskazaniem na planowe, strukturalne, wielofazowe i długotrwałe działania prowadzące do powstania społeczeństwa informacyjnego. Jego najistotniejsza cecha to zmiana w poszczególnych fazach podstawowych parametrów rozwoju społecznego (Zielińska 2005a: 100). Z punktu widzenia rozwoju społecznego osób niepełnosprawnych, w tym również procesu ich edukacji i rehabilitacji, charakter zmian prowadzą-

cych do komputeryzacji działań społecznych jest bardzo korzystny. Podmiotowy sposób traktowania człowieka, dbałość o jego zadowolenie i rozwój to założenia pedagogiki specjalnej. Podejście systemowe z pewnością stwarza większe szanse na ich pełniejszą i szybszą realizację w odniesieniu do osób niepełnosprawnych, w tym znacząco powiększa szanse edukacyjne i zawodowe tej grupy.

Opracowanie Komitetu Badań Naukowych z listopada 2000 roku pt. *Cele i kierunki rozwoju społeczeństwa informacyjnego w Polsce* zawiera opinię, iż proces formowania się cywilizacji informacyjnej postępuje nieuchronnie, zarówno w skali globalnej, jak i regionalnej, stąd niedocenywanie go świadczy o krótkowzroczności. Zwłaszcza w kontekście faktu, że pierwsze kraje wkraczające do społeczeństwa informacyjnego uzyskują największe korzyści i one ustalą porządek dla pozostałych. I przeciwnie: te kraje, które odkładają decyzje, lub też preferują częściowe rozwiązania, mogą doświadczyć znacznego spadku inwestycji oraz zmniejszenia liczby miejsc pracy. W tym samym dokumencie stwierdzono, że Polska powinna aktywnie i twórczo włączyć się w trwające prace nad zasadami przyszłego światowego „ładu informacyjnego” w zakresie środków instytucjonalnych, usługowych i technicznych infrastruktury informacyjnej. Brak aktywnego udziału w tych procesach byłby równoznaczny z utrwaleniem dystansu cywilizacyjnego i zepchnięciem naszego kraju na marginalną pozycję w świecie. Zawarte w przytaczanym opracowaniu tezy są nadal aktualne (Zielińska 2005a: 101).

Dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii umożliwia wprowadzenie ich do działań edukacyjnych, diagnostycznych, terapeutycznych, komunikacyjnych, obejmujących osoby niepełnosprawne. Jeśli mają one skutecznie korzystać z tych rozlicznych możliwości, należy je do tego odpowiednio przygotować, podobnie jak ich opiekunów, terapeutów oraz nauczycieli. Pozostaje niezaprzeczalnym faktem, iż przykładowo wykorzystanie komputera jako nowoczesnego środka rewalidacyjnego w procesie terapii osób niepełnosprawnych stało się obecnie częścią rzeczywistości. Nowoczesna technologia informacyjna odgrywa w tym zakresie istotną i, co należy podkreślić, docenianą przez samych zainteresowanych rolę (Zielińska 2004: 164).

Zastosowanie komputera w diagnozie i terapii osób niepełnosprawnych ma kompleksowy charakter i umożliwia między innymi usuwanie zaburzeń rozwojowych, rozwijanie umiejętności intelektualnych, wspomaganie rozwoju osobowościowego oraz oswojenie się z komputerem. Wykorzystanie techniki komputerowej we wspieraniu i terapii osób niepełnosprawnych stanowi nową, dynamicznie rozwijającą się dziedzinę, obejmującą zarówno oprogramowanie komputerów, jak i specjalistyczny sprzęt. Działania te w znaczący sposób wpływają na integrację osób niepełnosprawnych z resztą pełnosprawnego społeczeństwa. Wraz z rozwojem technologii informacyjnej integracja ta, podobnie jak sam omawiany proces, musi przybierać nowe rozmiary. Do tego należy przyszłościowo przygotować osoby niepełnosprawne oraz ich otoczenie. Można przypuszczać, że rozwój myśli naukowej i technicznej spowoduje pewne zmiany w podejściu do konstrukcji metod terapeutycznych. Będą one bardziej niż do tej pory profilowane, zawężone do konkretnych zagadnień – mniej ogólne, choć mocno osadzone w teoriach badawczych tematyki, której dotyczą. Będą miały również charakter podejścia interdyscyplinarnego (Zielińska 2004: 133).

Komputer oraz internet mogą i powinny spełniać funkcje rewalidacyjne. Jako narzędzie użytecznie-diagnostyczno-rehabilitacyjne komputer pozwala przykładowo na powszechne badania przesiewowe, wczesną diagnozę, uwrażliwianie, usprawnianie i terapię, zarówno z użyciem szeroko dostępnych programów i systemów komputerowych, jak i profesjonalnych, specjalistycznych rozwiązań (Zielińska 2005b: 19). Pozostaje niezaprzeczalnym faktem, że technika komputerowa w sensie programowym oraz systemowo-sprzętowym może znacząco wesprzeć działania terapeutów. Muszą oni posiadać rzetelną wiedzę merytoryczną w tym zakresie, by nowoczesna technologia informacyjna, wzbogacając ich warsztat metodyczny, jednocześnie kształtowała kompetentnego terapeutę, dobrze przygotowanego do pracy z niepełnosprawną osobą (Zielińska 2005b: 41).

Odpowiednio użyty w procesie edukacyjnym komputer może i powinien spełniać funkcje poznawcze. Jako narzędzie poznawcze staje się on istotnym elementem przestrzeni edukacyjnej osoby nie-



pełnosprawnej. Jego rola to doskonalenie sfery poznawczej poprzez tworzenie i rozwój schematów przebiegu procesów poznawczych oraz zwiększony udział w nich procesu kontroli, w tym zarówno wykonawczej, jak i sprawdzającej. Osoby obciążone wadą mają problem z wypracowaniem skutecznych strategii, które pozwalają im na rozwiązywanie problemów. Stąd pomoc polegająca na narzuceniu im toku postępowania poprzez podanie pewnego algorytmu w formie sekwencji kroków, czyli możliwego do powtórzenia schematu. Postawione zadanie musi mieć jasną strukturę i być przejrzyste zdefiniowane. W wyniku wielokrotnego powtarzania procedury jego rozwiązania następuje proces automatyzacji, zdarzenia równoległe wiążą się ze sobą, a śledzenie spójności i niespójności daje podstawy własnej kategoryzacji. W tym kontekście bardzo ważna staje się ilość, dostępność i organizacja informacji (Zielińska 2004: 23).

Kolejny obszar wspólny dla pedagogiki specjalnej i informatyki to komputer oraz internet wspomagające komunikację w odniesieniu zarówno do użytkownika niepełnosprawnego, jak i jego otoczenia. Przykładowo w odniesieniu do kompetencji komunikacyjnych dzieci niesłyszących można stwierdzić, że umiejętnie wykorzystany w akcie komunikacyjnym komputer ułatwia, a czasami wręcz umożliwia kontakt: nauczyciel – niesłyszący uczeń. Użycie go jako środka dydaktycznego pozwala przekazać wiele trudnych pojęciowo informacji, na przykład wspomagając prowadzenie lekcji matematyki. Komputer jest również aktywnym narzędziem ułatwiającym naukę pisania i czytania dzieci niesłyszących. Nie ulega wątpliwości, że rozwijanie umiejętności czytania i pisania ze zrozumieniem, co powinno mieć miejsce jak najwcześniej, stanowi istotny element efektywnego rozwoju językowego dzieci z wadą słuchu i wspomaga ich rozwój komunikacyjny. Jest to jedyny sposób porozumiewania się językowego, który nie jest ograniczony defektem narządu odpowiedzialnego za jego przebieg. Dziecko z wadą słuchu nie ma przeszkód ani w odbiorze substancji graficznej tekstu, czyli w czytaniu, ani w możliwości jej tworzenia, czyli w pisaniu. Istnieje szereg programów komputerowych efektywnie wspierających te działania, możliwych do zastosowania zarówno w szkole przez nauczyciela, jak i w domu przez rodziców (Zielińska

2005b: 133). Internet stanowi również istotne medium komunikacyjne służące pomocą rodzicom dziecka niepełnosprawnego. Wśród sieciowych form porozumiewania się dominują blogi oraz listy, grupy i fora dyskusyjne (Zielińska 2011: 411–421).

#### 1.4. Pogranicze pedagogiki specjalnej i neuronauk

Problematyką systemów nerwowych i neuronalnym korelatem przetwarzania informacji w ramach nauki zwanej neurobiologią zajmują się zazwyczaj biolodzy, rzadziej psychologzy. Obecnie w tym obszarze zachodzą dynamiczne zmiany. Naukowcy specjalizujący się w anatomii, biologii molekularnej, biochemii, neurologii klinicznej, farmakologii, rehabilitacji, fizjologii, zoologii i psychologii, stworzyli naukę pogranicza nazywaną *neuroscience*, czyli neuronaukę (Milner, Goodale 2008: 21). Stanowi ona wielką szansę dla zaistnienia w jej systemie pedagogiki specjalnej.

W celu uzyskania odpowiedzi na pytanie: „Jakie inspiracje poznawcze i badawcze wynikają z pogranicza pedagogiki specjalnej i neuronauk?”, należy określić, w jakich obszarach osiągnięcia tych nauk mogą wpłynąć na pojmowanie i rozwiązywanie problemów badawczych we współczesnej pedagogice specjalnej. 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. Takie bowiem postępowanie dostarcza informacji, które, odpowiednio zinterpretowane, dają nowe szanse na ocenę skuteczności działań diagnostycznych i rehabilitacyjnych. To, co łączy pedagogikę specjalną i nauki pomocnicze, to wspólny podmiot badań, czyli człowiek oraz to, co wyróżnia go spośród innych żywych istot, czyli umiejętność rozwijania się, zmiany poznawczej. Procesy te są zdeterminowane przez świat, w którym zachodzą, oraz narząd, który je umożliwia, czyli mózg (Spitzer 2007: 13). Stąd badania mózgu są tak istotne przy ich planowaniu, ocenie i realizacji praktycznej.

Wykorzystanie osiągnięć neuronauk w pedagogice specjalnej wynika z podjęcia problemu obiektywnej oceny skuteczności działań podejmowanych w odniesieniu do osób wykazujących odstępstwo od normy, przy wsparciu metod badania pracy mózgu. Wynika ono z poszukiwań kompetentnego i zrozumiałego wyjaśnienia sensu stosowania w odniesieniu do osób niepełnosprawnych konkretnych działań rehabilitacyjnych. Dotychczasowe osiągnięcia neuronauk pokazują, iż możliwe jest uzyskanie obiektywnej odpowiedzi na pytania **zadawane od chwili powstania pedagogiki specjalnej jako dyscypliny naukowej**. Przykładowo: Jakie i w jaki sposób stosować programy rehabilitacyjne, by po latach ćwiczeń nie dojść do wniosku, że podejmowane działania nie miały większego sensu, bo nie prowadziły do zakładanych pozytywnych zmian? Jak uchronić się przed popełnianiem błędów w działaniach rehabilitacyjnych i edukacyjnych? Idąc dalej tym tokiem rozumowania, można założyć, iż możliwe będzie pokazanie mechanizmów kompensacyjnych wykorzystywanych przez osobę, której udało się zrobić postęp, a w dalszej kolejności doprowadzanie do opracowania lepszych, skuteczniejszych programów rehabilitacyjno-wyrównawczych, a także sformułowanie oceny kosztów rehabilitacji czy kompensacji.

Można zadać pytanie: Dlaczego celowe jest wykorzystanie osiągnięć neuronauk jako nauk pomocniczych w pedagogice specjalnej właśnie teraz, chociaż metody badania pracy mózgu są znane od dawna? Odpowiedź jest następująca: pozwalają na to z jednej strony aktualny stan badań nad mózgiem, realizowanych przez neurobiologów, z drugiej zaś informatyczne narzędzia opracowane przez inżynierów. Badania nad mózgiem trwają już jakiś czas i charakteryzują się dziś dużą dynamiką wzrostu. Przykładowe współczesne podejście naukowe jest prezentowane w książce Jerzego Vetulaniego *Mózg. Fascynacje, problemy, tajemnice*. Czytamy w niej: „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” (Vetulani 2011: 43). W tym miejscu należy podkreślić rolę ba-

dań nad mózgiem i umysłem prowadzonych przez neuropsychologów. Dotyczą one z reguły osób zdrowych i mogą stanowić punkt odniesienia oraz bardzo istotne dla pedagogów specjalnych źródło informacji między innymi o relacjach pomiędzy pamięcią a mózgiem. Wykorzystanie obrazowania elektrofizjologicznego w ramach badań prowadzonych w psychologii poznawczej pozwoliło przykładowo na określenie neuronalnych korelatów szybkich procesów poznawczych, do których należy pamięć operacyjna, kodowanie i wydobywanie informacji z pamięci (Rugg, Allan 2000: 521–537; Dudai 2002: 345–548). Ocena stosowanych przez psychologów metod neuroobrazowania pracy mózgu zostanie opisana w rozdziale czwartym.

Wspólne obszary badawcze neurobiologii i pedagogiki specjalnej wskazują autorki książki pt. *Jak uczy się mózg*. Sahar-Jayne Blakemore oraz Uta Frith z Institute of Cognitive Neuroscience w londyńskim 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? (Blakemore, Frith 2008: 16–17). 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” (Blakemore, Frith 2008: 3).

Przykładem zapowiedzi zastosowań osiągnięć neurobiologii w pedagogice, jako tematu przyszłych badań, jest opracowanie Manfreda Spitzera pod identycznym 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” (Spitzer 2007: 12). Powstaje pytanie, jak obiektywnie zbadać, co powoduje taki stan, i trzeba spróbować zastanowić się, jak to zmienić. Opinie te niezbiecnie potwierdzają wyniki badań PISA – programu, w którym uczestniczy również Polska – pod nazwą Międzynarodowa Ocena Umiejętności Uczniów OECD PISA

(Programme for International Student Assessment). Jego szczegóły zamieszczone zostały na stronie internetowej [www.pisa.oecd.org](http://www.pisa.oecd.org). Ogólny wniosek wynikający z tych badań jest następujący: powinno się dogłębnie przemyśleć proces uczenia się w powołanych do tego celu instytucjach, czyli szkołach. W odniesieniu do tak sformułowanych wniosków Centrum Badań i Innowacji Edukacyjnych (Centre for Educational Research and Innovation) w roku 1999 zaproponowało projekt „Pedagogika i badania nad mózgiem: potencjalne implikacje dla polityki i praktyki edukacyjnej”. W jego ramach ma mieć miejsce współpraca polityków, pedagogów i badaczy mózgu, której celem jest uzyskanie wydajnych systemów kształcenia (Spitzer 2007: 275).

Podstawę postulowanego do realizacji programu, jakim jest wykorzystanie osiągnięć neurobiologii w pedagogice specjalnej, stanowi zastosowanie sprzętu do neuroobrazowania pracy mózgu, oprogramowanego w taki sposób, aby mógł go zastosować i uzyskane wyniki samodzielnie zinterpretować humanista, pedagog, terapeuta – praktycznie każda osoba zajmująca się edukacją i rozwojem człowieka. Jest to dziś możliwe na poziomie praktycznej realizacji, należy jedynie podjąć stosowne działania w tym kierunku. Niniejsze opracowanie stanowi taką próbę między innymi poprzez podjęcie w rozdziale czwartym i piątym próby oceny metod badania pracy mózgu w kontekście ich zastosowania w diagnozie i rehabilitacji osób z niepełnosprawnością. Aby dokonać takiej oceny, należy przedstawić aktualne osiągnięcia nauki o mózgu człowieka. Stąd kolejny rozdział będzie dotyczył problematyki mózgu i jego zdolności do zmiany.

## ROZDZIAŁ 2

# Wybrane aspekty funkcjonowania mózgu

### 2.1. Wprowadzenie

Historia naukowego zainteresowania mózgiem sięga ponad stu lat (por. rozdział 4). Mózg człowieka stanowi pewnego rodzaju fenomen. Stąd wyzwaniem naukowym było, jest i długo jeszcze będzie poznanie i wyjaśnienie mechanizmu jego działania. Jeśli w ogóle jest to możliwe. Z wielką erudycją pisze o tym znawca tematu Jerzy Vetulani w książce *Mózg. Fascynacje, problemy, tajemnice*. Autor ukazuje w niej na konkretnych przykładach, iż mózg stanowi pole zainteresowań zarówno dla „twardej” biologii, jak i „subtelnej, miękkiej” humanistyki, a coraz bardziej zaawansowane metody jego badania pomagają odpowiedzieć na wiele pytań, z którymi od dawna mierzyła się filozofia, teologia, psychologia i nauki społeczne. Wśród nauk społecznych szczególnie trudne pytania, bo dotyczące rozwoju osób z niepełnosprawnością, są zadawane w ramach pedagogiki specjalnej. Stąd zaprezentowane w niniejszym rozdziale zagadnienia, ich kolejność i zakres.

W pierwszej kolejności przedstawiona zostanie ogólna wiedza na temat mózgu, jego budowy i funkcji. Jest ona przydatna dla uzyskania wyobrażenia o stopniu skomplikowania zagadnienia i o trudnościach stojących nie tylko przed jego badaczami, ale również osobami usiłującymi wykorzystać wyniki tych badań. Problem polega na zrozumieniu ich istoty, charakteru i specyfiki. Trudno bowiem korzystać z czegoś, czego do końca się nie rozumie. Rozwiązaniem jest interdyscyplinarna współpraca naukowa. Kolejne omówione zagadnienie

dotyczyć będzie plastyczności mózgu i jego zdolności do wymuszonej, na przykład skuteczną terapią, lub samoistnej zmiany, przy czym nacisk położony zostanie na wczesne wspomaganie rozwoju dziecka. Ostatnim przedstawionym w rozdziale problemem jest temat wielu specjalistycznych publikacji: relacja mózg–umysł.

Na koniec przywołajmy stwierdzenie pokazujące pewien logiczny paradoks prezentowanych rozważań. Michael O'Shea w książce pt. *Mózg pisze*: „Już samo myślenie o mózgu jest w pewnym sensie niezłą łamigłówką, ponieważ o nim myślimy tylko za pomocą... własnego mózgu. [...] mózg jest najbardziej złożonym i niesamowitym mechanizmem w całym wszechświecie” (O'Shea 2012: 11).

## 2.2. Mózg: jego rozwój, budowa i funkcje

Mózg człowieka waży od 1,2 do 1,5 kilograma, zależnie od masy ciała człowieka. Jego waga stanowi około 2% tej masy. Zużywa stosunkowo dużo, bo 20% energii, i składa się z ponad stu miliardów komórek nerwowych, zwanych neuronami, oraz komórek glejowych, które spełniają funkcje pomocnicze: odżywcze, izolacyjne oraz podporowe w stosunku do neuronów. Mózg posiada skomplikowaną strukturę, będącą w większości efektem jego ewolucji, i rozwija się w dwóch zasadniczych okresach: prenatalnym i postnatalnym, czyli od procesu neurogenezy, rozwijającego się zarodka, a następnie embrionu, do okresu późnej starości. Najintensywniejszy rozwój przypada na pierwsze dwa lata życia.

Neurony, będące najważniejszymi elementami składowymi układu nerwowego, zbudowane są z ciała komórki i dwóch rodzajów wypustek. Jest to wypustka długa, czyli akson, oraz liczne wypustki krótkie, czyli dendryty. Budowę komórki nerwowej przedstawia rycina 2.1. Akson przenosi informacje z ciała komórki do innych komórek nerwowych lub narządów wykonawczych, czyli efektorów. Dendryty natomiast przekazują pobudzenia do ciała komórki nerwowej (Nyka 1996: 263).



Ryc. 2.1. Budowa komórki nerwowej

Źródło: Nyka (1996: 263)

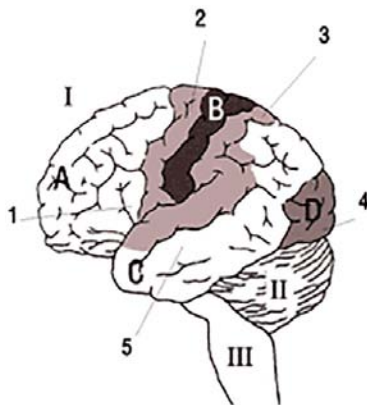
Neurony komunikują się ze sobą za pomocą setek trylionów wzajemnych połączeń zwanych synapsami. Rozwój synaps ma miejsce poprzez wzrost dendrytów i aksonów. W zależności od rodzaju substancji chemicznej pośredniczącej w przekazywaniu pobudzenia, wyróżnia się synapsy pobudzające i hamujące. Synaptogeneza przebiega intensywnie i skokowo w korze mózgowej, zwłaszcza w pierwszych latach życia. Skutkuje to czterokrotnym zwiększeniem masy mózgu dziecka w przeciągu czterech lat (Boyd, Bee 2007: 109). Synapsa jest miejscem kontaktu dwóch komórek nerwowych i jednocześnie złożoną mikrostrukturą, decydującą o biochemicznym działaniu mózgu. Pod dojściu impulsu nerwowego do zakończenia synaptycznego uruchamia się proces biochemiczny. Polega on na uwolnieniu się porcji neuroprzekaźnika do szczeliny synaptycznej. Tym samym uruchamiany jest proces prowadzący do pobudzenia lub hamowania komórki nerwowej (Sadowski 2005: 49). W okresie rozwoju mózgu zarówno neurony, jak i synapsy powstają w nadmiarze, a zbędna ich część jest eliminowana.

Mózg razem z pniem mózgu i mózdzkiem tworzą mózgowie. Z kolei mózgowie wraz rdzeniem kręgowym składają się na ośrodkowy układ nerwowy. Układ ten rejestruje i poddaje analizie pobudzenie dopływające z układu obwodowego i zapewnia prawidłową reakcję organizmu na bodźce (Nyka 1996: 263). Budowa i działanie ośrod-



kowego i obwodowego układu nerwowego stanowią rozległy temat, pozostający poza obszarem niniejszego opracowania.

Mózg tworzą dwie półkule, stanowiące 80% jego masy. Każda z nich dzieli się na cztery płaty: czołowy, ciemieniowy, skroniowy i potyliczny. Rycina 2.2 prezentuje obrazowo mózdzek, mózg oraz ich funkcje w uproszczony i przystępny sposób.



Ryc. 2.2. Mózgowie – podział anatomiczny (A, B, C, D) i ważniejsze obszary czynnościowe (1, 2, 3, 4, 5): I – mózg, II – mózdzek, III – pień mózgu; A – płat czołowy, B – płat ciemieniowy, C – płat skroniowy, D – płat potyliczny; 1 – mowa, 2 – ruchy dowolne, 3 – czucie bólu i dotyku, 4 – widzenie, 5 – słuch

Źródło: Nyka (1996: 263)

Struktury mózgowia wchodzą w skład dużych systemów tworzących układy anatomiczno-funkcjonalne. Ich rolą jest sterowanie czynnościami fizjologicznymi organizmu. Należą do nich układy czuciowe, czyli sensoryczne, układ ruchowy, układ siatkowy oraz rąbkowy, czyli limbiczny. Wymienione układy współdziałają z obwodowym układem nerwowym, który składa się z dwóch podsystemów. Pierwszy to układ somatyczny, unerwiający czuciowo skórę i narządy ruchu oraz ruchowo mięśnie szkieletowe. Drugi podsystem to układ wegetatywny: współczulny i przywspółczulny. Jego rolą jest zaopa-

trywanie narządów wewnętrznych i gruczołów. To, w jaki sposób mózg steruje działaniem konkretnego układu, zostanie pokazane na przykładzie układu ruchowego. Neurony ruchowe człowieka sterowane są z pierwotnej okolicy ruchowej w płacie czołowym. Kodowanie wzorców ruchów i programów działania zależy od okolic asocjacyjnych kory mózgowej. Natomiast precyzja i płynność ruchów sterowana jest przez jądra podstawowe i mózdzek. To one uczestniczą w zapoczątkowaniu i zakończeniu ruchu, regulują napięcie mięśniowe, koordynują współpracę mięśni oraz ograniczają zakres ruchów, eliminując ruchy zbędne (Sadowski 2005: 45).

Poniżej przedstawiona zostanie krótka charakterystyka rozwoju mózgu w poszczególnych okresach, z położeniem nacisku na wynikające z tego faktu zmiany w jego funkcjonowaniu. Mózg i układ nerwowy rozwijają się najintensywniej w pierwszych dwóch latach życia. W momencie narodzin następuje gwałtowny rozwój dwóch dolnych części mózgu: śródmózgowia i rdzenia przedłużonego. Regulują one funkcje życiowe, takie jak oddychanie i bicie serca, oraz odpowiadają za czynności wykonywane przez noworodka, w tym za koncentrację uwagi, spanie, czuwanie. Najslabiej jest rozwinięta kora mózgowa, odpowiadająca za spostrzeganie, myślenie, mowę i ruchy ciała. W pierwszych miesiącach życia znacząco poprawia się funkcjonowanie wszystkich zmysłów, zwłaszcza wzroku i słuchu. Pod koniec okresu wczesnego dzieciństwa (obejmującego lata 1–3) neurony w polach kojarzeniowych mózgu, które odpowiadają za połączenie czynności sensorycznych, motorycznych i intelektualnych, ulegają częściowej mielinizacji. Kończy się ona w środkowym dzieciństwie, czyli w okresie obejmującym wiek od 6 do 12 lat. Efektem przebiegu mielinizacji komórek nerwowych jest, pod koniec tego okresu, znacząco zwiększona prędkość przetwarzania informacji. Skutkuje to poprawą czynności pamięci, szybkości uczenia się i trwałości wyników tego procesu (Boyd, Bee 2008: 270). W okresie środkowego dzieciństwa zachodzą dwie istotne z punktu widzenia rozwoju i funkcji mózgu zmiany. Pierwsza dotyczy obszarów ruchowych i czuciowych odpowiedzialnych za ruchy precyzyjne oraz koordynację oka i ręki. W drugim okresie rozwijają się płaty czołowe, kierujące lo-

gicznym myśleniem i planowaniem (van der Molen, Molenaar 1994: 456–492). Z punktu widzenia efektywności uczenia się bardzo istotny jest rozwój umiejętności przetwarzania informacji. Skuteczność przetwarzania informacji, czyli zdolność efektywnego wykorzystywania pamięci krótkotrwałej, rośnie wraz z wiekiem i stanowi podstawę rozwoju poznawczego. W tym okresie rozwija się automatyzm decydujący o tej skuteczności (Jensen, Whang 1994: 1–12). W wieku młodzieńczym mają miejsce dwie kolejne zmiany w obrębie mózgu. Pomiędzy 13. a 15. rokiem życia pojawiają się jakościowo odmienne sieci neuronowe decydujące o możliwości abstrakcyjnego myślenia i refleksji nad procesami poznawczymi (Fischer, Rose 1994: 3–66). W dalszej kolejności, do okresu wczesnej dorosłości, rozwijają się w mózgu płaty czołowe kory mózgowej. Kontrolują one logiczne myślenie i planowanie (Davies, Rose 1999: 227–248).

Rozważania o mózgu przed osiągnięciem dorosłości oparte są na zjawiskach jego wzrostu i poprawy działania. Niestety, dorosłość oznacza możliwość osłabienia, a nawet zaniku pewnych jego czynności. We wczesnej dorosłości nadal rozwijają się płaty czołowe, a układ nerwowy cechuje duża wszechstronność. W miarę upływu lat zaczynają być jednak widoczne efekty zmian zachodzących na poziomie neuronów. Polegają one na utracie dendrytów i spowolnieniu wyładowań nerwów (Birren, Fischer 1995: 329–353). Proces ten skutkuje ograniczeniem prędkości reakcji i widoczny jest w zachowaniu. Szansą na osłabienie skutków tego procesu jest fakt, iż nawet u ludzi starszych ma miejsce, w pewnych obszarach mózgu, wytwarzanie nowych neuronów na skutek procesu stymulowania mózgu przez urozmaicone środowisko i ćwiczenia fizyczne (Cao i in. 2004: 827–835). Efektem jest zastępowanie obumarłych neuronów nowymi (Gould i in. 1999: 548–552).

Czas na omówienie konsekwencji uszkodzeń poszczególnych części układu nerwowego w perspektywie funkcjonalno-medycznej, począwszy od mózgu. Płat czołowy odpowiada za czynności ruchowe i psychiczne. Jego uszkodzenie może powodować niedowłady, porażenia kończyn, a także zaburzenia cech osobowości. Płat ciemieniowy uczestniczy w analizie doznań czuciowych. Następstwem jego uszko-

dzenia może być na przykład przeciwstronna niedoczulica. W płacie potylicznym znajdują się ośrodki wzrokowe, co skutkuje, w przypadku jego uszkodzenia, występowaniem zaburzeń w polu widzenia. Uszkodzenie w płacie skroniowym może być przyczyną problemów ze słuchem.

Rozpatrując budowę mózgu, jego ewentualne uszkodzenia i ich wpływ na funkcjonowanie człowieka, należy odnieść się do kory mózgowej. Pokrywa ona zewnętrzną powierzchnię półkul mózgowych. Jej uszkodzenie może prowadzić do zaburzeń funkcji związanych z konkretnym, uszkodzonym obszarem, na przykład do dysfunkcji takich jak: niedowład, zaburzenia mowy czy niedowidzenie. Może też, wyzwalając nadmierną aktywność komórek leżących w sąsiedztwie uszkodzonej strefy, spowodować nadpobudliwość, a w konsekwencji wystąpienie napadów padaczkowych. We wnętrzu półkul mózgowych znajdują się skupiska komórek nerwowych, tzw. zwoje podstawy. Regulują one napięcie mięśniowe i zapewniają kontrolę ruchów zautomatyzowanych. Ich uszkodzenie skutkuje zaburzeniami ruchowymi i postawy ciała. Połączenie między półkulami mózgu a rdzeniem kręgowym to pień mózgu. W jego obrębie znajduje się szereg ośrodków odpowiedzialnych za funkcjonowanie najważniejszych czynności życiowych, takich jak oddychanie, praca serca, przemiana materii i regulacja temperatury. Z kolei mózdzek moduluje napięcie mięśni i wpływa na utrzymanie prawidłowej postawy ciała. Jego uszkodzenie skutkuje zaburzeniami wykonywania ruchów precyzyjnych i powoduje trudności w utrzymywaniu równowagi ciała. Rdzeń kręgowy znajduje się w kanale kręgowym i pośredniczy w przekazywaniu pobudzeń czuciowych do mózgu oraz bodźców wykonawczych do nerwów obwodowych (Nyka 1996: 264).

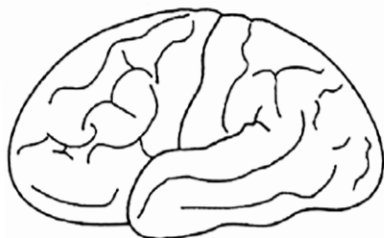
Tkanka nerwowa różni się od innych tkanek mających zdolność dzielenia się i tworzenia nowych komórek przez całe życie człowieka. Niestety, neurony są ostatecznie zróżnicowane. Oznacza to, iż podział komórek prowadzący do ich powstania jest podziałem ostatnim. Dlatego właśnie uszkodzenia mózgu prowadzą do znacznie poważniejszych konsekwencji i nieprawidłowości rozwojowych, aniżeli uszkodzenia innych tkanek. Zniszczone komórki tworzące obwód

nerwowy nigdy nie są zastępowane przez inne (Eliot 2010: 18). Mechanizmem zaradczym jest omówiona w kolejnym podrozdziale plastyczność mózgu.

### 2.3. Mózg i jego plastyczność

Pojęcie plastyczności nie jest nowe. Jako pierwszy zdefiniował je amerykański psycholog i filozof William James (1842–1910). Plastycznością nazwał on zdolność człowieka i zwierząt do zmian zachowania pod wpływem doświadczeń. Natomiast problem plastyczności mózgu i jego zdolności do zmiany jest relatywnie nowy i stanowi dynamicznie rozwijający się obszar naukowy. Stosunkowo niedawno, bo w XX wieku, Santiago Ramón Cajal badając tkanki nerwowe, stwierdził: „W dorosłych ośrodkach nerwowych szlaki nerwowe są ustalone, zakończone, nie do zmienienia. Wszystko może umrzeć, nic nie zregeneruje”. Pierwsze wzmianki przeciwne tej teorii zamieścił w swojej pracy Jerzy Konorski, który w książce *Organization of conditioned reflexes* (1948) wprowadził pojęcie plastyczności mózgu. Oparł się przy tym na zjawisku trwałych przekształceń w układach neuronów. Zmiany zachodzące w mózgu na skutek tego procesu nazwał zmianami plastycznymi. Środowisko naukowe odniosło się sceptycznie do jego badań, wręcz je zanegowało. Zwrot w podejściu nastąpił w roku 1969. Geoffrey Raisman udowodnił empirycznie za pomocą zdjęć z mikroskopu elektronowego, że uszkodzenie mózgu w rejonie formacji hipokampa prowadzi do powstawania nowych synaps. Wykazał on, że jednostronne uszkodzenie powoduje eliminację synaps, tworzonych przez degenerujące aksony, i powstawanie nowych. Kolejne badania Michaela Walla (1970) oraz Torstena Wiesela i Davida Hubla (1972) potwierdziły teorię plastyczności mózgu ([http://www.fundacjarozwojunauki.pl/res/Tom1/Nauka%20oswiatowa%20i%20polska\[1\].Rozdzial%2009.pdf](http://www.fundacjarozwojunauki.pl/res/Tom1/Nauka%20oswiatowa%20i%20polska[1].Rozdzial%2009.pdf), dostęp 06.08.2014).

### Mózg jest pobudliwy

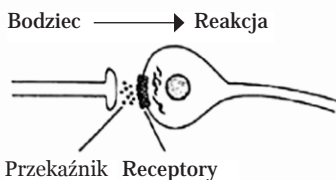


- reaguje na bodźce
- steruje czynnościami wrodzonymi

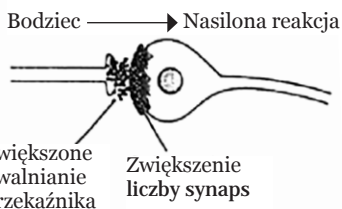
### Mózg jest plastyczny



- powstają ośrodki i połączenia nerwowe
- uczy się
- mówi
- naprawia uszkodzenia



### Przebieżnictwo synaptyczne



### Nasilone przebieżnictwo synaptyczne

Ryc. 2.3. Mechanizm pobudliwości i plastyczności mózgu

Źródło: Sadowski (2005: 44)

Aktualnie pojęcie plastyczności mózgu, określane jako neuroplastyczność, definiowane jest jako zdolność tkanki nerwowej do tworzenia nowych połączeń mających na celu zreorganizowanie się, adaptację, zmienność, samonaprawę, uczenie się i pamięć. Jest to powszechna cecha neuronów, występująca na wszystkich piętrach układu nerwowego. Neurobiologia definiuje plastyczność mózgu jako zdolność do modyfikacji połączeń neuronalnych w mózgu, zachodzącą pod wpływem bodźców. Jej istota polega na selekcji neuronów, ich wymieraniu i tworzeniu nowych, zmianach drzewa dendrytycznego i przewodnictwa synaptycznego, zwiększaniu połączeń pomiędzy neuronami i uwalnianiu większej liczby neuromediatorów,

czyli substancji przenoszących sygnały. Efektem funkcjonalnym tych procesów jest wytwarzanie w mózgu nowych dróg obiegu informacji (Vetulani 2011: 87). Przejawem plastyczności jest zdolność uczenia się, polegająca na nabywaniu nowych sposobów reakcji na otoczenie. Wzorce tych reakcji w postaci śladów pamięciowych są przechowywane w układzie nerwowym. Ich istota polega na trwałych zmianach w strukturze biochemicznej i morfologicznej neuronów i synaps (Sadowski 2005: 43). Mechanizm tych zmian prezentuje rycina 2.3, ukazująca dwie cechy mózgu: jego pobudliwość i plastyczność.

W ramach ogólnego pojęcia plastyczności mózgu wyróżnia się kilka jej rodzajów. Należą do nich:

- **Plastyczność rozwojowa** – podstawowy rodzaj plastyczności, polegający na dostosowaniu się młodego organizmu do środowiska w wyniku interakcji z nim. We wczesnym okresie rozwoju mózg wykazuje zwiększoną plastyczność, a tym samym większą skłonność do tworzenia nowych połączeń nerwowych. Przykładem są zmiany w mózgu małego dziecka zachodzące podczas nauki chodzenia czy mówienia.
- **Plastyczność pouszkodzeniowa (kompensacyjna)** – stanowi cechę dorosłego mózgu. Polega ona na tworzeniu nowej sieci połączeń nerwowych, które przejmują funkcje uszkodzonych struktur mózgu w wyniku ubytku tkanki nerwowej odpowiedzialnej za czynność lub funkcje. Przykładem są zmiany w mózgu mające miejsce podczas odzyskania władzy nad sparaliżowaną pod wpływem wyłewu kończyną.
- **Plastyczność wywołana wzmożonym doświadczeniem czuciowym lub ruchowym** – odnosi się przede wszystkim do doświadczeń powielanych. Czynności wykonywane podczas regularnych, planowanych ćwiczeń, a więc powtarzane odpowiednio często, powodują zmianę w mózgu polegającą na wzmacnianiu szlaków neuronalnych.
- **Plastyczność związana z uczeniem się i pamięcią** – polega ona na tworzeniu nowych ścieżek neuronalnych podczas procesu uczenia się, a zwłaszcza zapamiętywania nowego materiału.

- Plastyczność występująca przy powstawaniu uzależnień – ma miejsce wtedy, gdy w wyniku pobudzenia w układzie nagrody, dopaminergicznym, dochodzi do utrwalenia zachowania. Zmiany w mózgu wynikają z mechanizmu ewolucyjnego, który skłania człowieka do powielania zyskowych dla organizmu czynności. Stanowi to podłoże dla powstania nowych dróg neuronalnych. Substancje powodujące uzależnienia są neuroprzekaznikami, na przykład kofeina, nikotyna czy narkotyki, a ich pojawienie się powoduje wzmocnienia połączeń synaptycznych.
- Plastyczność patologiczna – związana jest z funkcjami obronnymi organizmu i towarzyszy przykładowo epileptogenezie czy bólowi neuropatycznemu ([http://\(www.fundacjarozwojunauki.pl/res/Tom1/Nauka%20oswiatowa%20i%20polska\[1\].Rozdzial%2009.pdf](http://(www.fundacjarozwojunauki.pl/res/Tom1/Nauka%20oswiatowa%20i%20polska[1].Rozdzial%2009.pdf), dostęp 06.08.2014).

Mimo tak dużej różnorodności, u podstaw wszystkich rodzajów plastyczności mózgu leży jedna zasadnicza, charakterystyczna dla nich zmiana siły połączeń międzyneuronalnych. Polega ona na zmianie siły i liczby połączeń synaptycznych.

Przykładem plastyczności mózgu jest echolokacja u osób niewidomych. Jest to wyuczona zdolność ludzi do lokalizacji obiektów znajdujących się w otoczeniu po emisji dźwięku. Może to być kłaskanie, czyli uderzanie językiem o podniebienie. Osoba wsłuchuje się w echa dźwiękowe powstałe w wyniku zetknięcia się fali akustycznej z napotkanym obiektem i na tej podstawie wnioskuje o jego położeniu. Badania zrealizowane z wykorzystaniem rezonansu magnetycznego wykazały, że do nowej umiejętności echolokacji przystosowane są części mózgu związane z przetwarzaniem wizualnym (Thaler, Arnott, Goodale 2010: 1050–1056).

Najważniejszym przykładem neuroplastyczności jest neurogeneza. Pojęcie to zostało zdefiniowane w odniesieniu do nowych komórek nerwowych tworzonych w fazie prenatalnej. Okazało się jednak, że głównie w hipokampie mózgu dorosłych również ma miejsce proces neurogenezy. W określonych strukturach mózgu osób dorosłych mogą być również tworzone nowe komórki nerwowe. Warunkiem



włączenia nowo powstających neuronów do już istniejących struktur mózgu jest ich przydatność i aktywny udział w procesie rozwiązywania określonych zadań (Vetulani 2011: 88; Żylińska 2013: 84).

Neuronalna plastyczność jako zjawisko występuje w całym cyklu życia. Natomiast zmienia się znacząco zakres jej przejawów. Największa plastyczność ma miejsce w dzieciństwie, potem wykazuje ona stopniowy spadek. Jest to związane z ograniczonym wzrostem synaps, ich gęstością, dojrzewaniem i redukcją, obniżającym się poziomem aktywności neurotransmiterów, zwłaszcza neurohormonów, oraz postępującym ubytkiem neuronów (Rostowski 2012: 57). Opisane zjawiska wiążą rozwój mózgu z koncepcją okresów krytycznych. Okresami krytycznymi nazywane są ograniczone okna rozwojowe, które cechuje podwyższona neuronalna plastyczność oraz podwyższona wrażliwość na określoną środowiskową kategorię bodźców lub określone specyficzne wydarzenia (Rostowski 2012: 59). Są to więc okresy w życiu, podczas których rozwój strukturalnych i funkcjonalnych właściwości mózgu jest ściśle powiązany z bodźcami z otoczenia i zależny od wpływu środowiska. Skutkiem tego zmysłowe doświadczenia nabywane w poszczególnych okresach krytycznych powodują, w zależności od nabywanej wiedzy i umiejętności, trwałe i szerokie zmiany w neuronalnych krążeniach określonych obszarów mózgu. Przykładowo okres krytyczny nabywania języka przez dziecko trwa od 2. do 6. roku życia. Mózg w pewnym sensie czeka w określonym okresie krytycznym na określone doświadczenia, od nich zależy trajektoria jego rozwoju. Gotowość mózgu do zamian, czyli jego oczekiwanie na nowe doświadczenia, spowodowała, że okresy, czy inaczej: fazy krytyczne, często nazywane są fazami wrażliwymi (Żylińska 2013: 81). Uboga stymulacja lub jej brak w okresach krytycznych skutkuje deprywacją rozwoju mózgu. Zjawisko to ma również podłoże fizjologiczne. Neurotrofin to czynnik umożliwiający włączanie nowych bodźców środowiskowych do wzorca neuronalnego rozwoju mózgu (Rostowski 2012: 60).

Okres krytyczny, a dokładniej to, co dzieje się z dzieckiem w tym czasie, czy i jakie oddziałują na niego bodźce, jak jest stymulowane

z uwagi na powiązania z neuronalnym korelatem przetwarzania informacji, odgrywa istotną rolę w powstawaniu zaburzeń rozwojowych. Może to mieć miejsce w okresie niemowlęcym, dzieciństwa, wczesnej młodości lub być przesunięte w czasie na okres nawet dorosłości. Temat ten zostanie pogłębiony i zilustrowany praktycznymi przykładami w rozdziale siódmym, dotyczącym uszkodzonego mózgu i jego zdolności do naprawy.

## 2.4. Relacja mózg–umysł

W ujęciu filozoficznym o podstawach społeczno-kulturowych ludzki umysł jest podwójnym modelem. Z jednej strony mamy do czynienia z modelem bliższego i dalszego otoczenia, z którego są odbierane stanowiące jego podstawę informacje. Decydują one o treściach wewnętrznych umysłowych reprezentacji, czyli o spostrzeżeniach i pojęciach. Z drugiej strony umysł to model samego siebie. Tworzy go zbiór wewnętrznych reprezentacji w formie przypomnień i wyobrażeń. Nie wynikają one bezpośrednio z odbieranych przez zmysły informacji, ale właśnie z ich wewnętrznej reprezentacji. Tak postrzegany umysł cechuje się dynamiką, zmianą, modyfikacją i przekształcaniem się. Ta cecha umysłu jest również charakterystyczna dla podejścia kognitywistycznego. Bada ono umysł w kontekście jego czynności poznawczych, percepcji, pamięci, inteligencji, różnych stanów umysłowych, jak na przykład wnioskowania czy wyobrażenia (Hetmański 2009: 10–12).

Kolejny sposób podejścia do umysłu ma charakter fizjologiczny i dotyczy jego fizycznej reprezentacji, czyli mózgu. Lisa Eliot w książce pt. *Co tam się dzieje? Jak rozwija się mózg i umysł w pierwszych pięciu latach życia* pisze: „Nie zdołamy zrozumieć umysłu dziecka, dopóki nie zrozumiemy struktury i fizjologii jego mózgu [...] od pierwszego podziału komórki rozwój mózgu jest subtelnym ciągiem wzajemnych oddziaływań genów i środowiska” (Eliot 2010: 15). Jak

zostało wspomniane w poprzednim podrozdziale, dziecko przychodzi na świat ze zdolnościami i predyspozycjami umysłowymi dopasowanymi do jego potrzeb. Nie rozpoczyna ono życia od rozwiniętych w pełni zdolności widzenia, słyszenia, chodzenia czy mówienia. Układ nerwowy rozwija się stopniowo według wytyczonego przez naturę programu. W momencie narodzin praktycznie całkowicie rozwinięte są struktury dolne mózgowia, odpowiadające za przetrwanie, wzrost i nawiązywanie więzi z otoczeniem. Należy do nich rdzeń kręgowy i pień mózgu. Tak więc mózg noworodka jest mały i stosunkowo prymitywny. Ale, paradoksalnie, dzięki temu może się on uczyć i zmieniać. Powstaje relacja: od mózgu do umysłu. Kontrolę nad życiem psychicznym przejmują górne partie mózgu. Należy do nich mózdzek i zwoje podstawy, które kierują ruchami, oraz układ limbiczny, odpowiadający za emocje i pamięć. Na końcu rozwija się kora mózgowa, ośrodek zachowań dowolnych, świadomych przeżyć i racjonalnych zdolności. Proces ten trwa kilka lat, obejmując rozwój zdolności poznawczych, powstanie wielości i różnorodności funkcji umysłowych. Do rozwinięcia czynności płatów czołowych potrzebne są określone obwody nerwowe. To prowadzi do zmiany. Niepotrzebne neurony i synapsy zanikają. Oprócz zaprogramowania genetycznego, pewnego schematu rozwoju, coraz bardziej znacząco na to, kim staje się człowiek, oddziałuje jego otoczenie. Wpływ środowiska na zmienianie się mózgu i kształtowanie się umysłu jest bardzo istotny (Eliot 2010: 21).

W miarę rozwoju mózgu i zachodzących w nim zmian rozwija się i zmienia umysł. Wspecjalizowane struktury mózgu współpracują ze sobą i kształtują umysł, osobowość i zachowanie człowieka. Poprawa jego intelektualnych możliwości wynika ze zmian anatomiczno-fizjologicznych zachodzących w obrębie mózgu. Jest ona spowodowana jego powiększaniem się, wzrostem wydajności energetycznej, szybkości opracowywania informacji oraz rozwojem czynności płatów czołowych i pełną, prawidłową komunikacją pomiędzy półkulami. Można zaryzykować stwierdzenie, że mając trzy, cztery lata dziecko odkrywa swój umysł (Eliot 2010: 561). To, w jaki sposób umysł za-

rządza napływającymi do niego informacjami, wyjaśnia model myślenia człowieka przyjęty w teorii poznawczej zapisu i przetwarzania informacji przedstawionej w kolejnym rozdziale pracy. Teoria ta w dość uproszczony, bo modelowy sposób pokazuje przebieg procesów pamięciowych będących podstawą kształtowania się umysłu (Klahr 1992: 273–335). Należy do nich kodowanie, przechowywanie w pamięci informacji napływających ze świata zewnętrznego oraz odzyskiwanie z niej informacji przechowywanych w pamięci trwałej.

W rozwoju umysłu istotną rolę odgrywają trzy współdziałające ze sobą czynniki: natura, kultura i różnice płciowe. Istnieje zgodność co do faktu, iż inteligencję determinuje zarówno dziedziczenie, jak i środowisko. Dyskusja dotyczy stopnia wpływu poszczególnych czynników. Przeprowadzone w ramach genetyki behawioralnej badania na statystycznie istotnej grupie jednojajowych bliźniąt pokazały, iż średnio 50% ilorazu inteligencji jest uwarunkowane przez geny (Eliot 2010: 578). Prognozowanie inteligencji dziecka jest w pewnym zakresie możliwe już w chwili narodzin. Przeprowadzone badania wykazały na przykład, że pewne cechy reakcji elektrycznych mózgu noworodków na dźwięki mowy pozwalają przewidzieć ich zdolności werbalne w wieku pięciu lat (Molfese D., Molfese V. 1997: 135–156). Geny stanowią podstawę pewnego planu sieci neuronów w mózgu. Niemniej jednak mózg do rozwoju potrzebuje stymulacji, dopływu bodźców, odpowiedniego środowiska. Bez stałej aktywności neuralnej, którą podtrzymują nowe doświadczenia, synapsy obumierają, a dendryty przestają się rozgałęziać. Dzieci pozbawione stymulacji, zaniedbane, pozostające w izolacji społecznej, wykazują nieprawidłowości w rozwoju sensorycznym, motorycznym, emocjonalnym i językowym. Jeśli deprywacja rozciąga się poza drugi rok życia, dziecku grozi nawet niepełnosprawność intelektualna (Eliot 2010: 581). Rola środowiska w rozwoju umysłu dziecka jest więc ogromna. To kolejne, po genach, 50% ilorazu inteligencji.

Dyskusja o tym, czy to natura, czy kultura i w jakim stopniu decydują o inteligencji, jest bardzo intensywna. Pojawiają się w niej skrajnie różne opinie. Najwięcej emocji budzi jednak kwestia różnic

dotyczących inteligencji pomiędzy płciami. Powstaje pytanie, czy występujące różnice pomiędzy umysłami przedstawicieli różnych płci wynikają z hormonów i chromosomów, czy też odmiennych doświadczeń i socjalizacji. Badania w tym zakresie wykazały, że w odniesieniu do większości zdolności umysłowych skala wykonania zadań jest znacząco szersza u mężczyzn niż u kobiet. Ten rozrzut wyników powoduje, że geniuszy i nieuków jest dużo więcej wśród mężczyzn niż wśród kobiet (Eliot 2010: 586). Pewnym wytłumaczeniem tego zjawiska może być scharakteryzowana w poprzednim rozdziale plastyczność mózgu. Różnice neuronalne oraz intelektualne mogą wynikać z odmiennych doświadczeń osobników różnych płci.

Jedno pozostaje niepodważalne: mózgu i umysłu nie można rozdzielić, zawsze należy je rozpatrywać łącznie. Badania relacji mózg–umysł doprowadziły do powstania neuronauki poznawczej. W jej ramach prowadzone są przykładowo badania służące uzyskaniu odpowiedzi na pytania: Jak funkcjonuje mózg podczas przyswajania nowych informacji? Gdzie i jak zarejestrowane są ślady wcześniejszych doświadczeń? W jakim stopniu mózg jest włączony w przebieg procesów pamięciowych? Do tego momentu jedynie neuropsychologia kliniczna zajmowała się zależnościami pomiędzy uszkodzonym mózgiem a zachowaniem. Nie ulega wątpliwości, że procesy pamięciowe mają swoje określone podłoże neurologiczne, fizjologiczne i biochemiczne (Jagodzińska 2008: 74). Mózg z jednej strony stanowi całość, z drugiej zaś ma swoje wyspecjalizowane struktury. Stąd zlokalizowanie w nim określonych funkcji jest bardzo trudne. Fakt ten wyraźnie staje się widoczny w badaniach psychologii poznawczej dotyczących pamięci. Praktycznie w każdej części mózgu są obszary mające swój udział w funkcjonowaniu pamięci. Należy do nich kora mózgowa, dokładniej kora przedczołowa (pełniąca bardzo złożone funkcje związane z różnymi systemami pamięci), oraz przyśrodkowe części płatów skroniowych. Układ hipokampu i sam hipokamp (limbiczny) odpowiadają w mózgu za powstawanie trwałych zapisów pamięciowych (Dudai 2002: 256–287). Jego uszkodzenie może powodować przykładowo amnezję. Zwoje podstawy, międzymózgowie,

móździek to obszary aktywne dla różnych form pamięci. Ślady pamięciowe, podobnie jak przypominanie, angażują obszary mózgu odpowiedzialne za percepcję i analizę (Jagodzińska 2008: 86). Problematykę uszkodzonego mózgu i jego naprawy omawia ostatni, siódmy rozdział prezentowanej pracy. Tymczasem trzeci rozdział, dotyczący modelowania mechanizmów neurokognitywistycznych, stanowić będzie wprowadzenie do tej tematyki.

## ROZDZIAŁ 3

# Modelowanie mechanizmów neurokognitywistycznych w teorii i praktyce

### 3.1. Wprowadzenie

Vilayanur S. Ramachandran, neurolog zajmujący się od ponad ćwierć wieku powstającą aktualnie neurokognitywistyką w zakresie kończyn fantomowych i autyzmu, w książce pt. *Neuronauka o podstawach człowieczeństwa. O czym mówi mózg* pisze: „Mimo triumfalnego postępu naszej dyscypliny naukowej musimy uczciwie przyznać, że zdołaliśmy odkryć drobną część tego, czego można dowiedzieć się o ludzkim mózgu”. I dalej, co stanowi bardzo istotne stwierdzenie dla koncepcji określenia wspólnych obszarów badawczych pedagogiki specjalnej i neuronauk: „W ciągu ostatniego dziesięciolecia neuro nauki nabrały takiej pewności siebie, że zaczęły wysuwać koncepcje dotyczące obszarów tradycyjnie zastrzeżonych dla nauk humanistycznych” (Ramachandran 2012: 10).

Na tym stwierdzeniu należałoby się zatrzymać i zapytać o istotę pogranicza pedagogiki specjalnej i neurokognitywistyki. Ramachandran odpowiada na to pytanie: jest nią obszar terapii. Jego wieloletnie badania wskazują, że zaburzenia zarówno wrodzone, jak i nabyte, przykładowo na skutek wypadku, przekazują bardzo dużo informacji na temat pracy mózgu. Zaburzenia te stanowią punkt wyjścia do, jak to określa, „zrazu fantastycznie brzmiących przypuszczeń”, mających swoje dalsze potwierdzenie nie tylko empiryczne, ale i praktyczne w terapii. Wynika to z faktu neuronalnego podłoża procesów umysłowych.

wych, odróżniających człowieka od zwierząt. Temat rozległy, trudny, dotyczący filozoficznego obszaru umiejscowionego na styku mózg – umysł – dusza – człowieczeństwo.

Podsumowując, słowem kluczem dla pedagogiki specjalnej, wynikającym z bardzo specyficznego podejścia do problemu, prezentowanego przez światowej klasy neurologa, jest terapia i zbieranie danych o jej przebiegu w sposób neuronalny, w oparciu o informacje uzyskane podczas badania pracy mózgu. Nie ma to na celu zaniechania stosowania metod tradycyjnych, ale głębsze zrozumienie „ja” człowieka wykazującego zaburzenia, zwłaszcza intelektualne, a na tej podstawie opracowanie nowych metod terapii, wspomagających tradycyjne postępowanie, charakterystycznych dla danego rodzaju niepełnosprawności. Neuronauka ma więc budować, a nie burzyć to, co do tej pory osiągnięto w praktycznym wymiarze pedagogiki specjalnej. Wczesne rozpoznanie problemów rozwojowych dziecka, ich zdiagnozowanie, oparte na wykorzystaniu obiektywnych metod badawczych, i dobrane na tej podstawie skutecznej metody terapeutycznej stanowią podstawę efektywnej rehabilitacji. Poprzez wykorzystanie podczas dynamicznie planowanej terapii osiągnięć neuronauki w zakresie dostępnych wiadomości na temat plastyczności układu nerwowego dziecka, w tym tworzenia się nowych połączeń i wzmacniania sieci nerwowych, można w znaczący sposób zmienić jakość podejmowanych działań. Poruszana problematyka jest bardzo złożona i trudna w wymiarze zarówno teoretycznym, jak i praktycznym. Stąd też stanowi ona treść osobnego rozdziału.

Modelowanie naturalnych procesów poznawczych jest bardzo niepewne w zakresie wyciąganych wniosków i ich uogólnień. Nie ulega bowiem najmniejszej wątpliwości, że równoważność skutków procesów poznawczych w żadnej mierze nie oznacza równoważności ich przebiegu (Nęcka 2003: 223). Pionierską próbę komputerowej symulacji procesów poznawczych związanych z działaniem inteligencji człowieka podjął brytyjski logik i matematyk Alan Turing (1912–1954). Jego prace stanowiły podstawę konstrukcji pierwszych komputerów. Był też twórcą tzw. testu Turinga, stanowiącego kryterium sztucznej inteligencji i podstawę budowy pierwszych modeli proce-



sów poznawczych. Test polegał na porównaniu końcowych wytworów działania maszyn i ludzi, przy założeniu, że ludzka inteligencja będzie stanowiła punkt odniesienia. W obszarze nauk psychologicznych i kognitywistycznych jest on uznawany za pożyteczne narzędzie prowadzenia badań naukowych (Nęcka 2003: 224). Istotnym elementem i punktem wyjścia podejmowanych w zakresie modelowania procesów poznawczych badań naukowych jest wstępna teoria. To ona daje podstawę do tworzenia modelu rzeczywistości weryfikowanego potem empirycznie.

Stąd w dalszej kolejności zostaną krótko przedstawione dwie koncepcje przydatne z punktu widzenia omawianej problematyki. Pytanie, dlaczego wybrane zostały właśnie one. Pierwsza dotyczy zapisu i przetwarzania informacji oraz jej udziału w rozwoju poznawczym człowieka. Opiera się więc na informacji, przetwarzaniu jej przez mózg i uzyskiwanych na tej drodze zmianach poznawczych. Druga koncepcja – dwóch mózgów wzrokowych – dotyczy udziału zmysłu wzroku w percepcji i działaniu człowieka. I znów powtarza się pojęcie informacji, jej przetwarzania i udziału mózgu w tym procesie. Jako dowody wskazujące na trafność dokonanego wyboru zostaną zaprezentowane w dalszej części opracowania praktyczne przykłady ich naukowego zastosowania.

### 3.2. Teoria poznawcza zapisu i przetwarzania informacji

Modelowanie mechanizmów poznawczych, którymi zajmuje się neurokognitywistyka, wpisuje się w teorię rozwoju poznawczego zapisu i przetwarzania informacji. Teoria ta powstała w latach siedemdziesiątych XX wieku. Wypracowane na jej gruncie modele stworzyły możliwość alternatywnego wobec teorii Piageta sposobu wyjaśniania poznania, łącząc w pewnym sensie po raz pierwszy w historii psychologii poznawczej rozwój poznawczy i rozwój społeczny człowieka w jeden system. Podejście systemowe, w którym dziecko od momentu narodzin jest rozpatrywane w kontekście interakcji ze środowiskiem

i aktywnie uczestniczy w kształtowaniu jego wpływów to lata osiemdziesiąte ubiegłego wieku. Podejście to pozostaje w ścisłym związku z teorią zapisu i przetwarzania informacji (Vasta, Haith, Miller 2001: 5). Fakt konieczności uwzględniania wpływu czynników tkwiących w rodzinie czy szkole na różne sfery rozwoju dziecka z niepełnosprawnością stanowi od samego początku powstania pedagogiki specjalnej podstawę jej praktycznego podejścia. Już w takim samym sposobie rozumienia rozwoju widać wspólne obszary psychologii rozwojowej i pedagogiki specjalnej.

Teoria poznawcza zapisu i przetwarzania informacji nawiązuje do teorii Piageta w podejściu do procesu rozwoju (Klahr 1992: 273–335). Traktuje ona bowiem człowieka jako istotę, która aktywnie uczestniczy w zrozumieniu otaczającego ją świata, bazując na dwóch procesach prowadzących do doskonalenia struktur poznawczych. Pierwszy to asymilacja, polegająca na włączeniu nowych informacji w już istniejące struktury poznawcze, drugi to akomodacja, czyli modyfikacja wytworzonych do tej pory struktur pod wpływem nowych informacji i pojawianie się ich w nowej, zmienionej formie, przy zachowaniu równowagi wewnętrznej. Modele rozwoju poznawczego opracowane w ramach nurtu przetwarzania informacji są, w większym stopniu niż Piagetowskie, specyficzne dla poszczególnych obszarów rozwoju, łatwiejsze do weryfikacji, bardziej precyzyjne i pełniejsze. Stąd są one bardziej przydatne w tworzeniu modeli procesów poznawczych. W swoim podejściu do procesu uczenia się, zapamiętywania, rozumowania, rozwiązywania problemów, zmian poznawczych teoria zapisu i przetwarzania informacji bazuje na dwóch metaforach: wielomagazynowej i komputerowej (Vasta, Haith, Miller 2001: 312–324).

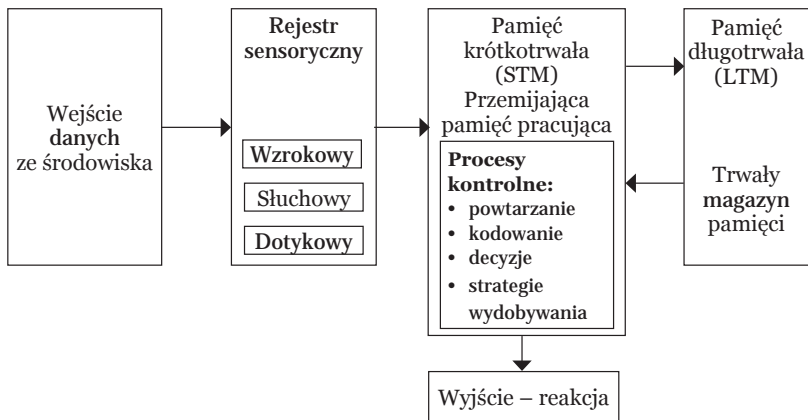
Jedną z metod badawczych teorii przetwarzania informacji, zastosowaną między innymi do badań nad procesem opanowania języka, była symulacja komputerowa zachowań ludzkich. W odniesieniu do języka taką próbę stanowiły rozbudowane programy komputerowe, służące określeniu reguł językowych oraz zasad umożliwiających opanowanie języka przez małe dzieci w określonym przedziale czasu, a także matematyczny opis procesów decydujących o tym, że jest to możliwe. Modele te, choć odegrały istotną rolę badawczą, nie zyska-

ły jednak pełnej akceptacji naukowej, gdyż były zbyt uproszczone i niekiedy sprzeczne z danymi empirycznymi (Vasta, Haith, Miller 2001: 314).

Badania realizowane na gruncie eksperymentalnej psychologii poznawczej i informatyki, prowadzące do tworzenia modeli procesów poznawczych, a dokładniej modeli przetwarzania informacji podczas ich przebiegu, traktują człowieka jako użytkownika języka symboli, przy ograniczonej pojemności ich przetwarzania, i koncentrują się na analizie drogi informacji po postawieniu mu konkretnego zadania. Podejście ma charakter systemowy, trzejelementowy. Pierwszy element systemu, jego wejście, to informacja dostarczana z zewnętrznego środowiska, odbierana przez receptory w postaci obrazów, dźwięków, zapachów, smaków. Drugi element systemu to procesy przebiegające w mózgu, jego praca podczas przetwarzania informacji, czyli kodowanie informacji, jej magazynowanie, zapamiętywanie, odzyskiwanie podczas działania. Wyjaśnienie natury i współdziałania tych procesów jest z jednej strony bardzo trudne, przebiegają one bowiem w mózgu człowieka, z drugiej zaś konieczne dla jego dalszego rozwoju. Zwłaszcza gdy odbiega on od normy i wymaga podejmowania skutecznych działań rehabilitacyjnych, opartych na obiektywnej, rzetelnej diagnozie, mocno umiejscowionych w czasie z uwagi na plastyczność mózgu. Stąd powstanie niniejszego opracowania, służącego poszukiwaniu prostego w przekazie (zarówno teoretycznym, jak i praktycznym) miejsca pedagogiki specjalnej w systemie neuronauk. Trzecia część systemu, w pełni obserwowalna, to zachowanie człowieka, czyli wyjście (reakcja).

Jak zostało wcześniej wspomniane, poznanie podczas przetwarzania informacji przez człowieka przebiega w formie ograniczonej liczby procesów bazowych, które zachodzą w określonym czasie i porządku. Należą do nich: rozpoznawanie, kodowanie, odszukiwanie, segregowanie, kategoryzowanie, tworzenie powiązań, koordynacja różnych informacji (Vasta, Haith, Miller 2001: 313).

Przykładowy model pamięci sformułowany na gruncie teorii zapisu i przetwarzania informacji przedstawia rycina 3.1.



Ryc. 3.1. Przykładowy model pamięci sformułowany na gruncie teorii zapisu i przetwarzania informacji: wielomagazynowy model pamięci służący do opisu sekwencyjnego przetwarzania informacji  
 Źródło: Vasta, Hait, Miller (2001: 313)

Zaprezentowany na rycinie 3.1. wielomagazynowy model pamięci, służący badaczom do opisu sekwencyjnego przetwarzania informacji, pokazuje istotę teorii zapisu i przetwarzania informacji. Pomiędzy bodźcem zewnętrznym, czyli wejściem danych ze środowiska, a reakcją, czyli wyjściem, zachodzi szereg procesów poznawczych. Przykładowo, jeśli bodźcem będzie nieznane słowo, to poprzez rejestr słuchowy, w którym jest utrzymywane bardzo krótko (ok. 1 sek.), przejdzie ono do pamięci krótkotrwałej. W pamięci tej informacja jest aktywnie i świadomie przetwarzana, a czas jej przechowania, wynoszący przeważnie kilka sekund, może zostać wydłużony poprzez zastosowanie odpowiednich strategii. Następnie słowo zostaje przekazane na czas nieokreślony do pamięci długotrwałej, stanowiącej zasadniczy magazyn pamięciowy zasobu słów danej osoby (Vasta, Haith, Miller 2001: 313).

Bardziej rozbudowany wielomagazynowy model pamięci, stanowiący podstawę naukową wielu badań nad pamięcią, zaproponowali prawie czterdzieści lat temu Richard C. Atkinson i Richard M. Shiffrin (1968). Rozróżnili oni trzy magazyny pamięciowe słu-

zące do przechowywania informacji w różnych okresach. Należą do nich: magazyn sensoryczny, krótkotrwały i długotrwały. Mają one charakter struktur, w których operacje przebiegają według pewnego rodzaju stałych programów. Kontrola nad przepływającymi pomiędzy magazynami informacjami odbywa się poprzez procesy kontrolne, wybierane i dostosowywane do konkretnego zadania. Są to więc strategie służące do selekcji i transformacji informacji (Jagodzińska 2008: 117). Badania nad pamięcią stanowią osobny, bardzo rozbudowany obszar. Prowadzone są one od wielu lat, ale w ostatnim czasie, na skutek rozwoju metod badań nad mózgiem, przyjęły formę badań interdyscyplinarnych, obejmując zagadnienia neurobiologicznych podstaw pamięci, a zwłaszcza relacji pomiędzy pamięcią a mózgiem (Jagodzińska 2008: 73–114).

Istotnym elementem doskonalenia sfery poznawczej staje się więc tworzenie i rozwój schematów przebiegu procesów poznawczych oraz zwiększony udział w nich procesu kontroli, w tym zarówno wykonawczej, jak i sprawdzającej. Stąd bardzo istotne staje się odwzorowanie, a potem narzucenie pewnego toku postępowania, charakterystyczne dla tworzenia modeli przebiegu procesów poznawczych i ich praktycznego wykorzystania. Jedną z możliwości w tym zakresie jest podanie algorytmu działania poznawczego w formie sekwencji kroków, czyli możliwości do powtórzenia schematu. Sformułowany algorytm musi mieć jasną strukturę, a tworzące go zadania poznawcze muszą być przejrzysto zdefiniowane. W wyniku wielokrotnego powtarzania następuje proces automatyzacji, zdarzenia równoległe wiążą się ze sobą, a śledzenie spójności i niespójności daje podstawy własnej kategoryzacji, prowadząc do trwałej zmiany poznawczej. W tym kontekście bardzo ważna staje się ilość, dostępność i organizacja informacji.

Zarówno pojęcie inteligencji, jak i funkcjonowanie procesów intelektualnych można rozpatrywać w czterech aspektach, przyjmowanych jako cztery poziomy przetwarzania informacji. Pierwszy to sprawność układu nerwowego, w sensie niezawodności i tempa transmisji impulsów nerwowych. Drugi to formalne właściwości przetwarzania informacji, czyli szybkość mentalna. Charakteryzują ją takie

wielkości, jak tempo przetwarzania informacji, pojemność pamięci roboczej, czyli operacyjnej, i trwałość przechowywania informacji. Trzeci poziom obejmuje strategie przetwarzania informacji w postaci wyboru właściwych składników procesu umysłowego i konstruowania odpowiednich do stawianego zadania struktur. Poziom czwarty to umiejętność oceny i kontroli (Nęcka 1992: 43).

Przez dziesiątki lat, od momentu uzyskania możliwości rejestracji fal mózgowych, podejmowano próby znalezienia związku pomiędzy różnymi metodami pomiaru aktywności mózgu a metodami badania inteligencji. Interpretacja uzyskiwanych wyników była i jest niejednoznaczna, a tym samym naukowo wątpliwa (Gardner, Kornhaber, Walke 2001: 118). Wynika to między innymi ze sztucznych warunków laboratoryjnych, w których wykonywane są badania pracy mózgu. Można bowiem popełnić poważny błąd, skupiając się na badaniu mózgu w kontekście wyizolowanej z otoczenia osoby.

W tym miejscu należy już, choć przedwcześnie, odwołać się do omówionej w dalszej części książki metody eye-trackingu badania aktywności mózgu, jako jedynej uwzględniającej kontekst społeczny. Jest to bardzo istotne stwierdzenie z punktu widzenia rozpatrywanego zagadnienia pogranicza poznawczo-badawczego pedagogiki specjalnej i neuronauk, gdyż oznacza ono, że w praktyce należy podejmować próby tworzenia modeli procesów poznawczych nie na gruncie neuropsychologii, ale neurokognitywistyki. Nie ulega wątpliwości, że zmiany poznawcze towarzyszą skutecznemu przebiegowi procesu uczenia się. W swojej istocie proces uczenia się polega na wykonaniu konkretnego zadania postawionego przed uczącym się. Towarzyszące mu uczenie się, polegające na zapamiętaniu informacji, jako proces latentny nie podlega bezpośredniej obserwacji. Takiej ocenie podlega jedynie sposób wykonania zadania. Stąd tworzenie modeli takiego procesu jest niezmiernie trudne. Przykładowo istnieje możliwość zakodowania informacji w pamięci podczas próby uczenia się pomimo pozornego jej braku w polu świadomości. Na skutek odpowiedniej procedury doświadczalnej lub przebiegu wewnętrznych procesów przetwarzania informacji może ona ulec uaktywnieniu. Aby uzyskać obiektywną i rzetelną wiedzę o tym, jak przebiegają procesy latentne

charakterystyczne dla procesu uczenia się, a tym samym dać podstawy naukowe do tworzenia modeli przebiegu procesów poznawczych, nie wystarczy jedynie procedura obserwacyjna. Jedynie metody neuroobrazowania pracy mózgu podczas działania poznawczego mogą przynieść obiektywne informacje na ten temat. Jest to jednak niezwykle trudne w praktycznej realizacji. Jedyną metodą dającą takie informacje jest opisana w dalszej części pracy metoda czynnościowa rezonansu magnetycznego fMRI.

Proste w przekazie i – co nie ulega wątpliwości – prawdziwe jest stwierdzenie, że narządem służącym do uczenia się jest mózg. Stąd w celu tworzenia modeli procesów poznawczych należy oprzeć się na osiągnięciach takich nauk, jak neurobiologia, neurocybernetyka, neurokognitywistyka – ogólnie *neuroscience* (neuronauka) w zakresie dostępu do wiedzy o jego pracy. Reasumując: należy oprzeć naukę skutecznego uczenia się na modelach poznawczych o podstawach neuronalnych. Jest to trudne w realizacji, ale możliwe. Niniejsze opracowanie jest próbą przybliżenia tego zagadnienia niespecjalistom, głównie pedagogom specjalnym, dla których uzyskiwane w ten sposób informacje mogą być bardzo istotne w planowaniu i realizacji skutecznych działań edukacyjnych i rehabilitacyjnych w odniesieniu do osób z niepełnosprawnością.

### 3.3. Koncepcja naukowa dwóch mózgów wzrokowych

We współczesnych badaniach realizowanych zarówno na gruncie psychologii, biologii, jak i kognitywistyki funkcjonuje pojęcie „mózgu wzrokowego”. Według koncepcji naukowej dwóch mózgów wzrokowych, czyli dwóch niezależnych systemów przetwarzania informacji wzrokowej, pierwszy jest odpowiedzialny za świadome widzenie, natomiast drugi zapewnia sprawność działania (Milner, Goodale 2008: 10). Ta nowa teoria widzenia zakłada istnienie dwóch systemów: brzuszego – wyspecjalizowanego w percepcji wzrokowej, i grzbie-

towego – wyspecjalizowanego we wzrokowej kontroli działania. Autorzy prezentowanej koncepcji, jak sami piszą we wstępie do książki pt. *Mózg wzrokowy w działaniu*, przewidują, że „zapoznanie się z nią bardzo przyda się psychologom, kognitywistom, informatykom [również pedagogom specjalnym – przyp. J. Z.] badającym interakcje między człowiekiem a komputerem, a także – a raczej przede wszystkim – tym, którzy zawodowo lub z czystej ciekawości zajmują się badaniem neuronalnego podłoża procesów poznawczych” (Milner, Goodale 2008: 10). Istotnym elementem praktycznym jest zaprezentowanie w drugim polskim wydaniu książki badań zrealizowanych według takiego paradygmatu w ostatnim dziesięcioleciu.

Autorzy koncepcji stwierdzają na podstawie empirycznych doświadczeń, że ewolucyjnie wcześniejszy system grzbietowy przetwarzania informacji wyspecjalizował się wyłącznie na potrzeby działania. Natomiast system brzuszny przetwarza informacje na potrzeby percepcji. Tym samym zaprzeczają oni twierdzeniu o rozdzieleniu pracy percepcyjnej między system brzuszny, dostarczający informacji o kształcie i wielkości przedmiotu, a grzbietowy, informujący o jego położeniu. Podstawą prezentowanej koncepcji jest więc założenie podwójnego wykorzystania tej samej informacji wzrokowej. Służy ona jednocześnie do tworzenia trwałych, istotnych reprezentacji percepcyjnych, czyli poznawczych, oraz do skutecznego działania. Różnica dotyczy szybkości i świadomości przetwarzania informacji. Na potrzeby działania informacja jest przetwarzana szybciej niż na potrzeby percepcji i zapamiętywana w sposób nieświadomy, a co najważniejsze – nie ma w niej typowych dla percepcji treści iluzyjnych (Milner, Goodale 2008: 11).

Zarówno strumień grzbietowy, jaki i brzuszny odgrywają istotną rolę w świadomości wzrokowej człowieka. Obydwa służą działaniu. Różnica polega na tym, że strumień grzbietowy dotyczy bezpośredniej, ciągłej kontroli ruchów. Natomiast strumień brzuszny wywiera wpływ o charakterze zdecydowanie bardziej pośrednim. Treść świadomości wzrokowej jest uzależniona od aktywności w strumieniu brzuszny, a rezultaty przetwarzania w tym strumieniu okazują się szczególnie efektywne w odniesieniu do kontroli zachowania (Mil-



ner, Goodale 2008: 231). W tym miejscu należy nawiązać do pamięci roboczej wiążącej dwie omawiane w tym rozdziale koncepcje naukowe: teorię poznawczą zapisu i przetwarzania informacji oraz koncepcję dwóch mózgów wzrokowych. Jedyne reprezentacje dochodzące do świadomości mogą bowiem być przetwarzane w pamięci roboczej i tym samym potencjalnie tworzyć trwałą wiedzę wzrokową. Stanowi to bardzo istotny element planowania skutecznej rehabilitacji poznawczej, gdyż jest podstawą wykorzystania pamięci roboczej w zakresie kształtowania możliwości elastyczności kontroli zachowania. Świadomość tego, co się widzi, pozwala na wykorzystanie informacji do planowania przyszłego działania, w tym realizacji prawidłowej komunikacji. Jest to bardzo ważny aspekt pracy pedagoga specjalnego, gdyż stopień niepełnosprawności osób, którymi się zajmuje, jest bardzo często definiowany poprzez ich problemy komunikacyjne.

Rola strumienia brzuszno i grzbietowego jest istotna zwłaszcza w planowaniu, kontroli i realizacji działań o charakterze wyuczonym i zautomatyzowanym. Niemniej bardzo interesujący wydaje się ich relatywny wkład w proces uczenia się nowych umiejętności. Badaniami neurofizjologicznymi i neuroobrazowania objęto do tej pory głównie uczenie, polegające na arbitralnym odwzorowaniu bodziec–reakcja. Niewiele wiadomo o towarzyszącemu uczeniu się nowych umiejętności przypuszczalnemu przesunięciu z przetwarzania brzuszno do grzbietowego. Dotychczasowe badania wskazały jedynie na związek pomiędzy mechanizmami zachodzącymi w strumieniu brzuszno i przedczołowych polach korowych. Prawdopodobnie istnieje związek pomiędzy podstawową funkcją obwodów przedczołowo-prążkowiowych a nabywaniem i implementacją informacji kontekstowych istotnych w kierowanym działaniu, również zautomatyzowanym (Milner, Goodale 2008: 256). Przywołany przykład wskazuje, jak wiele wyzwań stoi jeszcze przez neuronauką poznawczą.

Koncepcja naukowa dwóch mózgów wzrokowych zapoczątkowała wiele badań przeprowadzanych nowoczesnymi metodami obrazowania funkcjonalnego mózgu fMRI (opisanymi w czwartym rozdziale) oraz zrodziła nowe hipotezy filozoficzne na temat relacji umysł–ciało (Milner, Goodale 2008: 10). Badania te wskazują na możliwość no-

wego systemu organizacji wiedzy i projektowanie eksperymentów, które w inny sposób nie mogłyby być zrealizowane. Zaliczyć można do nich modelowanie procesów poznawczych, pozwalające na nauczanie skutecznego uczenia się, a co ważniejsze dla praktyki pedagogiki specjalnej – efektywną, opartą na trwałej zmianie poznawczej rehabilitację. Na podstawie oceny aktywności mózgu można wypracować algorytmny konkretnego działania, prowadzącego do konkretnej, planowanej zmiany poznawczej. Koncepcja ta stanowi podstawę teoretyczną zastosowania metody eye-trackingu w ocenie i planowaniu działań edukacyjnych i rehabilitacyjnych w odniesieniu do osób z niepełnosprawnością, co będzie stanowiło przedmiot prezentacji w rozdziale piątym. Na koniec bardzo istotna uwaga, dotycząca przydatności przedstawionej koncepcji naukowej: nie odnosi się ona pod żadnym pozorem do sytuacji, w której podjęta zostaje decyzja o działaniu, zanim przedmiot tego działania pojawia się w zasięgu wzroku. Ten obszar znajduje się obecnie w centrum zainteresowania badaczy w wielu laboratoriach świata (Milner, Goodale 2008: 258).

Z punktu widzenia omawianej tematyki istotne jest pytanie: Co łączy przestawioną koncepcję dwóch mózgów wzrokowych i metodę eye-trackingu? Odpowiedzią są oczy i ich udział w tworzeniu świadomości wzrokowej i świadomych doświadczeń. Wyzwaniem jest wykorzystanie w rehabilitacji poznawczej wyników percepcji wzrokowej oraz kontroli wzrokowo-ruchowej. W dalszej części książki zaprezentowane zostanie narzędzie do praktycznej realizacji tego zamierzenia.

Celem tego rozdziału nie jest omówienie całej, złożonej problematyki badań nad mózgiem, ich przydatności w ocenie i planowaniu ludzkiego działania (w tym uczenia się), czy nawet szczegółowego problemu pamięci jako fizycznego śladu pozostającego w mózgu po fakcie nauczenia się nowej umiejętności albo przyswojenia nowej informacji. Nie jest to możliwe. Prezentowane tu rozważania dotyczą przykładowej, w pewnym sensie kontrowersyjnej koncepcji naukowej rozwijanej od 1995, dotyczącej jedynie mózgu wzrokowego. Mózg interpretuje przecież sygnały elektryczne pochodzące nie tylko z oczu, ale również te docierające ze wszystkich receptorów, w tym uszu i komórek dotykowych skóry. Celem prezentowanych rozwa-

zań jest pokazanie, iż prowadzone w ramach neuronauki poznawczej prace badawcze mogą być przydatne dla pedagogiki specjalnej. Koncepcja dwóch mózgów wzrokowych została wybrana w kontekście metody eye-trackingu, postulowanej do wykorzystania praktycznego przez pedagogów specjalnych.

## ROZDZIAŁ 4

# Ogólna charakterystyka i ocena przydatności metod obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej

### 4.1. Wprowadzenie

Przetwarzanie informacji, o którym była mowa w poprzednim rozdziale, w mózgu przybiera formę procesów elektrycznych i chemicznych, przekładając się na impulsy nerwowe i metabolizm w komórkach. Są to bardzo złożone procesy badane w ramach neuroanatomii, neurofizjologii i biochemii. Do niedawna jedynie neuropsychologia kliniczna zajmowała się badaniami z pogranicza psychologii i neurobiologii, w zakresie badania zależności pomiędzy uszkodzeniem mózgu a zachowaniem. W chwili obecnej sytuacja uległa zmianie. Intensywny rozwój badań nad mózgiem w ramach nowej dyscypliny – neurokognitywistyki – stworzył możliwości badań nad relacjami pomiędzy mózgiem a funkcjami poznawczymi na niespotykaną dotąd skalę. Jako przykład mogą służyć badania nad pamięcią (Jagodzińska 2008: 73).

Badania neurokognitywistyczne obejmują dwa zakresy problemowe. Próbę uzyskania odpowiedzi nie tylko na pytanie, gdzie w mózgu, w jakich strukturach anatomicznych, czy szlakach nerwowych, zachodzą zmiany podczas aktywności poznawczej, ale również jak one przebiegają, na czym polega aktywność neuronów, co przykładowo dzieje się w mózgu, gdy „przerabia” uzyskiwaną informację. Tak więc to, co było do tej pory konstruktem jedynie teoretycznym, teraz dzięki zaawansowanym metodom badania pracy mózgu staje się możliwym do zmierzenia procesem.

Do jakich wniosków prowadzi to stwierdzenie w kontekście rozpatrywania wspólnych obszarów pogranicza badań pedagogiki specjalnej i neuronauki? Aby je sformułować, należy przybliżyć ogólny podział metod badania ośrodkowego układu nerwowego. Metody te w kategorii obrazowania dzieli się na strukturalne i funkcjonalne. Metody strukturalne pokazują struktury mózgowe, natomiast metody funkcjonalne dostarczają danych o metabolizmie tkanki mózgowej. W ramach metod strukturalnych można wyróżnić: tomografię komputerową, angiografię, a także nuklearny rezonans magnetyczny. Do metod funkcjonalnych należy funkcjonalny rezonans magnetyczny, metoda elektroencefalografii EEG, potencjałów wywołanych ERP, tomografia emisyjna pojedynczego fotonu oraz pozytonowa tomografia emisyjna. Kolejny możliwy do dokonania podział metod oparty jest na stopniu inwazyjności. Tym samym określa on stopień bezpieczeństwa zdrowotnego osoby badanej. Do metod inwazyjnych zaliczana jest tomografia komputerowa, angiografia oraz metody scyntygraficzne. Metody nieinwazyjne to metody rezonansowe oraz metoda EEG.

Do oceny pracy mózgu osób z niepełnosprawnością podczas wykonywania przez nie konkretnych zadań poznawczych przydatne są jedynie metody nieinwazyjne. Wśród nich można wprowadzić dodatkowe kryterium oceny – 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 nie umożliwiałoby uzyskania w określonym przedziale czasowym porównywalnych ze sobą danych. Stąd też jedyne możliwe do użycia metody neuroobrazowania pracy mózgu w ramach badań prowadzonych w pedagogice specjalnej to metody elektroencefalograficzne. Do rozwiązania pozostaje jeszcze jeden problem, bardzo istotny z punktu widzenia prac badawczych prowadzonych w ramach nauk społecznych: laboratoryjne, sztuczne otoczenie osoby badanej i jego wpływ na wyniki badań. Tak więc przeprowadzona ocena przydatności poszczególnych metod neuroobrazowania pracy mózgu obejmuje trzy kryteria: nieinwazyj-

ności, mobilności sprzętu oraz kontekstu sztucznej laboratoryjności otoczenia osoby badanej.

Podstawowym celem prezentowanej pracy jest wskazanie, jakie inspiracje poznawcze i badawcze wynikają dla pedagogiki specjalnej z możliwości zastosowania w niej aktualnych osiągnięć neuronauki. Nie tylko rozwój nauk biologicznych, ale także rozwój nauk technicznych, w tym elektroniki, informatyki i cybernetyki, pozwalając na stworzenie odpowiednio dokładnego sprzętu do neuroobrazowania pracy mózgu, otworzył nowe możliwości w tym zakresie. Ich końcowym celem jest model sztucznego mózgu, oparty na modelowaniu procesów poznawczych, poznawaniu człowieka, w tym również z niepełnosprawnością, poprzez odwzorowującą go maszynę. Aktualnie odpowiedzią na pytanie, jak zbudować sztuczny umysł, zajmują się architektury kognitywne. W ramach badań informatyki neurokognitywnej nad sztuczną inteligencją podejmowana jest próba stworzenia systemów, które osiągną poziom kompetencji przekraczających w różnych dziedzinach kompetencje człowieka (Duch 2009: 271). Aby zrozumieć fenomen podejmowanego wysiłku, należy spojrzeć na badania mózgu z perspektywy historycznej.

## 4.2. Rys historyczny badań nad mózgiem

Historia neuronauki obejmuje dwa zasadnicze okresy. W pierwszym, trwającym kilkadziesiąt wieków, w pewnym stopniu nienaukowym, interesowano się mózgiem jako najważniejszym organem człowieka, odpowiedzialnym za myśli, emocje, odczucia, poznanie. Jako pierwszy w ten sposób rolę mózgu określił Hipokrates (460–370 p.n.e.), tworząc na tej podstawie teorię czterech humorów, niejasną, zawiłą i zupełnie nieuprawnioną naukowo, ale inspirującą do podejmowania dalszych prac badawczych (O’Shea 2012: 24). Drugi okres, obejmujący praktycznie czasy współczesne, to intensywny rozwój naukowych badań dotyczących mózgu, rozpoczęty w XX wieku. Lata dziewięćdziesiąte są czasem największych osiągnięć w tym za-

kresie. Jego przebieg i charakter wynikają wprawdzie pośrednio, ale dość istotnie, z kontekstu historycznego.

Już bowiem Pitagoras (582–500 p.n.e.) uważał, że umysł funkcjonuje zgodnie z regułami określonymi przez matematykę i jest w swym działaniu ściśle powiązany z materią, w domyśle można sądzić – z mózgiem. Sto lat przed Hipokratesem Alkemon z Krotonu, uczeń Pitagorasa, po raz pierwszy w historii umieścił centrum intelektu w mózgu. Do tamtej pory za starożytnymi Egipcjanami uważano, że za inteligencję i myślenie odpowiada inny organ – serce. Badania aktualnie prowadzone w ramach medycyny informacyjnej, za pomocą wysokiej rozdzielczości sprzętu służącego do jednoczesnego monitorowania pracy serca i mózgu, wskazują jednoznacznie, że podczas testów wyboru to jednak serce jako organ wyprzedza w podejmowanej decyzji mózg. Najpierw zarejestrowano bowiem sygnał od serca, a potem od mózgu, gdy badano czas reakcji obydwu organów człowieka na widoczne na ekranie komputera obrazy. Osoba badana wybierała spośród kilku jednocześnie widocznych obrazów jej zdaniem najładniejszy w sensie estetycznym (neuroestetyka). Tak więc być może centrum decyzji człowieka ulokowane jest, jak się powszechnie uważa, nie w mózgu, ale w sercu.

Prawdopodobnie nie posiadamy jeszcze odpowiednio zaawansowanej technologicznie aparatury do badania serca – nie jako fizycznej pompy, ale centrum krwioobiegu ciała człowieka, przenoszącego tą drogą informacje do wszystkich części organizmu, w tym do mózgu. Medycyna informacyjna może przyszłościowo zaskoczyć badaczy uzyskanymi na jej polu wynikami. Bardzo interesującym tematem badawczym jest przykładowo problem atomowej budowy komórek niepowtarzalnego ciała konkretnego człowieka, jego twarzy, którą można rozpoznać nawet po wielu latach. Komórek obumierających i wielokrotnie wymienianych podczas cyklu życia, a jednocześnie przekazujących sobie na poziomie atomów informację o zachowaniu jego specyficznej budowy i odrębności. W kontekście tych rozważań należy dość silnie zaakcentować po raz kolejny istotną rolę informacji. Badaniami w tym zakresie objęto przykładowo problem pamięci wzrokowej, bezbłędnego rozpoznawania nawet po latach, w ułam-

kach sekund, twarzy znajomych osób. Tego właśnie, mimo usilnych prób jej skonstruowania, nie potrafi do tej pory dokonać żadna, nawet najwspanialsza technologicznie maszyna.

Obecny rozwój medycyny informacyjnej ukazuje, jak teorie tworzone w przeszłości wpływają na przyszłe kierunki badań naukowych. Jedną z nich, o dość dużym znaczeniu dla nauk medycznych, była teoria Galena (131–201), który zahamował ich rozwój na przeszło czterysta lat. Claudius Galenus z Pergamonu uważał jako lekarz, że mózg nie pełni funkcji mentalnych, ale jego rolą jest dystrybucja życiowego płynu pochodzącego z trzech komór do mięśni i organów organizmu człowieka (O’Shea 2012: 26).

Kolejnym wielkim uczonym i wpływowym autorytetem zajmującym się mózgiem był Leonardo da Vinci (1452–1519). Stosując iniekcje z wosku, jako pierwszy wykonał trójwymiarowy model mózgu i serca. Kolejny model, zwany hydraulicznym, skonstruował Kartezjusz (1596–1650). Innowacyjność reprezentowanego przez niego podejścia polegała na porównaniu działania mózgu do skomplikowanych maszyn hydraulicznych. W pewnym sensie taka myślowa konstrukcja dotyczy dziś komputera jako modelu spostrzegania, przetwarzania i magazynowania informacji przez mózg. Twórcą terminu „neurologia” był Thomas Willis (1621–1675). Nowatorski charakter jego podejścia do budowy i funkcji mózgu polegał na twierdzeniu, że stała tkanka mózgowa pełni istotne funkcje, a przepływ płynów tłumaczy sposób działania mózgu. Płynem tym była krew. Prezentowane przez niego podejście naukowe w chwili obecnej jest podstawą najwyżej cenionej przez neurologów metody obrazowania pracy mózgu, opisanej w dalszej części rozdziału – funkcjonalnego rezonansu magnetycznego fMRI. Tak więc teorie tworzone w XVII wieku znalazły istotne miejsce we współcześnie tworzonych praktycznych metodach neuroobrazowania pracy mózgu. Kolejny moment ważny również z punktu widzenia prowadzonych dziś badań to zastąpienie w XVIII wieku teorią płynów teorii przepływu impulsu elektrycznego przez Luigię Galvaniego (1737–1798). On i Alessandro Volta (1745–1827) stworzyli spójną teorię funkcjonowania układu nerwowego na podstawie przepływu impulsu elektrycznego. W XIX wieku



zdolność nerwów i mięśni do generowania szybkich impulsów elektrycznych potwierdził fizjolog Emil du Bois-Reymond (1818–1896). W tym momencie nastąpił przełom badań nad mózgiem.

Początek XX wieku otwiera czas nowoczesnej neurobiologii, rozpoznania neuronów i komórkowej natury mózgu. Za twórcę neurobiologii uważany jest neuroanatom Santiago Ramón y Cajal (1852–1934). Przełomowe znaczenie miało określenie przez niego neuronu jako spolaryzowanej cząstki służącej do przesyłania informacji. Bardzo istotne dla realizowanych teraz badań nad mózgiem było jego stwierdzenie, że funkcja neuronów jest związana z ruchem i przetwarzaniem informacji w mózgu. W kontekście tego faktu wprowadził on pojęcia aksonu i dendrytu. Ramón y Cajal wykonywał eksperymenty badawcze na mózgach różnych organizmów, usiłując połączyć wyniki z badaniami nad ich intelektualnymi możliwościami. W 1906 roku otrzymał on wraz z Camillo Golgiem (1843–1926), twórcą metody określania morfologii małej liczby neuronów znajdujących się w poszczególnych częściach mózgu, Nagrodę Nobla (O’Shea 2012: 37).

Początek XX wieku w nauce o mózgu to stawianie wielu pytań, niestety często bez odpowiedzi. Przykładowo: jak dokładnie i w jakiej formie w mózgu jest przekazywana informacja? W połowie XX wieku neuronauka stała się najszybciej rozwijającą się dziedziną badań naukowych. W latach siedemdziesiątych stworzono pierwszy technologicznie zaawansowany system obrazowania pracy mózgu, skanowanie CAT, czyli komputerową tomografię osiową. Opiera się ona w swym działaniu na technologii promieni rentgenowskich i jako narzędzie diagnostyczne ma zastosowanie w badaniach medycznych, przykładowo do stwierdzania zmian nowotworowych w mózgu. Ostatnie kilka dekad to rozwój wysoko zaawansowanych technik neuroobrazowania pracy mózgu, łącznie z jego funkcjami poznawczymi i odpowiadającymi im strukturami (O’Shea 2012: 39). Ogólny podział i krótką charakterystykę tych metod przedstawiono na początku rozdziału. W dalszej kolejności zostaną dokładnie omówione te z nich, które wydają się przydatne w badaniach pedagogiki specjalnej jako nauki społecznej.

#### 4.3. Zasada działania i ocena przydatności metody rezonansu magnetycznego MEG oraz fMRI obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej

W celu oceny przydatności w badaniach pedagogiki specjalnej nieinwazyjnych metod badania mózgu najpierw zostaną omówione dwie metody inwazyjne najczęściej stosowane w badaniach medycznych. Należy do nich tomografia komputerowa (w skrócie TK) oraz pozytonowa tomografia emisyjna (PET). Tomografia komputerowa to technika neuroobrazowania mózgu w przekroju. Badanie polega na wykonaniu serii prześwietleń z użyciem promieni rentgenowskich. Obraz powstaje na podstawie zróżnicowania ich pochłaniania przez różne tkanki, co jest uzależnione na przykład od ich gęstości. Na każdy weksel, czyli badany „fragment” mózgu, nakładane są różne odcienie szarości. Ich odmiany odzwierciedlają stopień osłabiania w wyniku pochłaniania promieni przez tkanki (<http://www.konsultacje-medyczne.pl/10,230,0,0Tomografia-komputerowa.html>, dostęp 26.02.2014). W celu zwiększenia dokładności obrazu, osobie badanej podaje się kontrast. Tomografia komputerowa, jako wysoce inwazyjne badanie, znajduje zastosowanie przede wszystkim w obszarze medycyny. Służy do lokalizacji i diagnostyki urazów i patologii struktur mózgowych, takich jak krwawienia, guzy czy procesy zapalne.

Podstawową różnicą pomiędzy TK a nowocześniejszą od niej PET jest źródło promieniowania. W przypadku tomografii komputerowej źródło jest zewnętrzne – promieniowanie rentgenowskie. W przypadku pozytonowej tomografii emisyjnej źródłem promieniowania jest wstrzyknięta do organizmu pacjenta substancja radioaktywna (zazwyczaj na bazie glukozy). Charakteryzuje się ona krótkim czasem rozpadu. Promieniowanie powstaje w wyniku anihilacji pozytonów, czyli zderzeń dodatnio naładowanych elektronów (pozytonów lub pozytronów) z elektronami ujemnie naładowanymi (negatonów) (<http://portalwiedzy.onet.pl/52262,,,pozyton,haslo.html>,

dostęp 26.07.2014). Uzyskany w ten sposób obraz przedstawia zróżnicowanie metabolizowania glukozy przez tkanki. Inaczej bowiem metabolizują ją komórki chore, a inaczej zdrowe; inaczej takie, które są w spoczynku, a inaczej aktualnie aktywne (<http://www.szare-komorki.pl/?p=222>, dostęp 26.07.2014). Przewaga PET nad TK obejmuje dwa obszary. Po pierwsze – promieniowanie konieczne do wykonania badania metodą PET, jak wynika z dotychczasowych doniesień, nie jest szkodliwe dla organizmu badanej osoby. Ponadto za jej pomocą można zobaczyć nie tylko strukturę, ale również funkcjonowanie tkanek mózgu. Pozwala to wcześniej i z dużą dokładnością, co ma obecnie miejsce w praktyce klinicznej, zdiagnozować nowotwory, różne rodzaje schizofrenii, padaczki, płasawicy Huntingtona, choroby Alzheimera oraz Parkinsona.

W odróżnieniu od tomografii komputerowej, wykorzystującej promieniowanie (rentgenowskie lub nuklearne), rezonans magnetyczny pozwala otrzymać obraz dzięki właściwościom magnetycznym atomów (<http://www.konsultacje-medyczne.pl/10,174,0,0,Tomografia-Rezonansu-Magnetycznego-Obrazowanie-rezonansu-magnetycznego.html>, dostęp 26.07.2014). Jego działanie opiera się na emisji zmiennego pola magnetycznego. W pierwszej fazie emisji ma miejsce ustawienie jąder atomów (najczęściej wodoru) zgodnie z kierunkiem pola magnetycznego. W drugiej, poprzez zmianę pola magnetycznego, wywołwany jest rezonans jąder. W wyniku tego jądra atomów wysyłają sygnały elektryczne, których intensywność zależy od rodzaju tkanki. Sygnały te z kolei są odbierane przez komputer i analizowane, tworząc w efekcie obraz MRI ([http://www.ptbun.org.pl/archiv/nmwno4\\_gut.pdf](http://www.ptbun.org.pl/archiv/nmwno4_gut.pdf), dostęp 26.07.2014).

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 (Durka 2009: 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

badania metodą elektroencefalografii EEG. Metoda MEG polega na rejestrowaniu wytwarzanego przez aktywne neurony pola magnetycznego i stanowi odpowiednik opisanej w kolejnym podrozdziale metody EEG. W porównaniu z nią zapewnia ona dokładniejszą lokalizację źródła aktywności i jest mniej podatna na zniekształcenia (Jagodzińska 2008: 91).

W metodzie rezonansu magnetycznego głównym elementem urządzenia jest elektromagnes, wytwarzający stałe, jednorodne pole magnetyczne rzędu 0,5–2 tesla, i trzy elektromagnesy wytwarzające zmienne pole magnetyczne 180–270 gausów. Nuklearny rezonans magnetyczny (NMR) oparty jest na zjawisku efektu paramagnetycznego atomów wodoru i pozwala na uzyskanie kontrastowego obrazu tkanek miękkich w dowolnie wybranej płaszczyźnie. Obraz uzyskany tą metodą jest dokładniejszy aniżeli z użyciem tomografu komputerowego. Bezwzględny przeciwwskazaniem jest wszczępienie rozrusznika czy metalowych implantów osobie badanej (<http://mozg.wikispaces.com>, dostęp 21.06.2013).

Systemy oparte na fMRI, czyli funkcjonalny magnetyczny rezonans jądrowy (ang. *functional Magnetic Resonance Imaging*), 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 (ang. *Blood Oxygen Level Dependent*). Od początku lat dziewięćdziesiątych fMRI stał się dominującą metodą obrazowania mózgu ze względu na niską inwazyjność, brak promieniowania jonizującego i stosunkowo szeroki dostęp. Przykładem zastosowania tej metody jest między innymi wyjaśnienie zjawisk związanych z plastycznością mózgu podczas doświadczenia tak zwanych fantomowych kończyn czy uaktywniania obszarów mózgu odpowiedzialnych za wzrok podczas wykonywania zadań wzrokowych jedynie z użyciem palców (<http://mozg.wikispaces.com>, dostęp 21.06.2013).

Na czym dokładnie polega różnica pomiędzy MRI a fMRI? Jak już zostało wspomniane, strukturalny rezonans magnetyczny MRI, badający budowę anatomiczną narządów wewnętrznych, wykorzy-

stuje zachowanie w polu magnetycznym jąder wodoru. Funkcjonalny rezonans magnetyczny opiera się natomiast na właściwościach hemoglobiny: natlenowanej i nienatlenowanej. Metody różnią się więc stopniem inwazyjności (Jagodzińska 2008: 94). W metodzie fMRI badane są obszary mózgu aktualnie aktywne, które wysyłają inny sygnał niż te, które aktualnie są bierne. Wynika to ze zwiększonego zapotrzebowania na tlen. Woksele mózgu, które mają wyższą koncentrację hemoglobiny natlenowanej (zatem są bierne), emitują silniejszy sygnał (<http://mozg.wikispaces.com>, dostęp 21.06.2013).

Cechą badania fMRI jest to, że wykonuje się je w kilku ustalonych sekwencjach. W pierwszej fazie realizowane jest kilkanaście obrazów w płaszczyźnie strzałkowej. Spośród nich wybiera się ten, na którym najlepiej widać spoidło przednie i tylne. Na tej podstawie ustala się przebieg skanowania w kolejnych sekwencjach. Należy do nich utworzenie strukturalnego obrazu całego mózgu oraz końcowe skanowanie funkcjonalne. Tym samym możliwa jest rejestracja zmian w obrazie podczas wykonywanych przez osobę badaną aktywności, na przykład mówienia czy poruszania ręką. Są one zapisywane w postaci wielu obrazów, następnie przetwarzanych w obraz trójwymiarowy ([http://www.ptbun.org.pl/archiv/nmwn04\\_gut.pdf](http://www.ptbun.org.pl/archiv/nmwn04_gut.pdf), dostęp 26.07.2014).

Podsumowując badania pracy mózgu wykonywane metodą magnetoencefalografii, można stwierdzić, że są one przydatne w zakresie neuronalnej oceny aktywności poznawczej, a przy tym nieinwazyjne. Niemniej wymagają użycia nieprzenośnej i drogiej aparatury. Stąd badania te mają zastosowanie głównie w naukach psychologicznych i biologicznych w indywidualnych przypadkach diagnozowanych osób, o czym świadczą liczne opisy badań ujęte w literaturze przedmiotu. W zastosowaniach pedagogicznych, gdzie innowacyjność wykorzystania osiągnięć neuronauk powinna polegać na możliwości wykonywania badań na statystycznie istotnych grupach i na tej podstawie wyprowadzania wniosków przydatnych dla praktyki z możliwością uogólnień, wydają się mało przydatne.

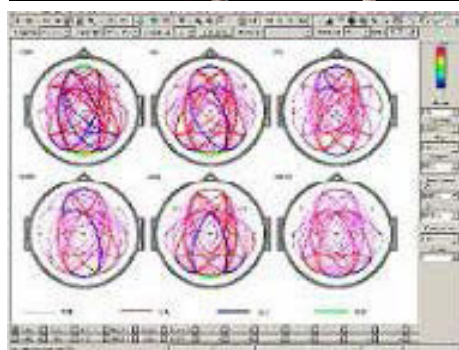
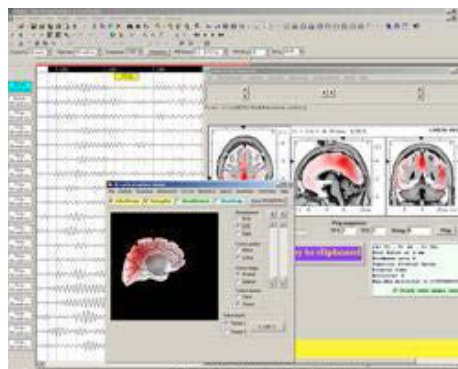
#### 4.4. Zasada działania i ocena przydatności metody encefalografii EEG oraz QEEG obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej

Metoda encefalograficzna EEG badania pracy mózgu jest znana i stosowana od dawna. Wyróżnia się ona spośród wszystkich technik badania pracy mózgu najdłuższą historią zastosowań klinicznych, najniższym kosztem, całkowitą nieinwazyjnością oraz wysoką rozdzielczością. Dwie ostatnie cechy ma również opisana wcześniej metoda magnetoencefalografii. Badanie EEG polega na rejestracji – przy pomocy elektrod umieszczonych na skórze głowy i z użyciem specjalnego żel (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 wyspecjalizowane urządzenia wysokiej klasy, zapewniające próbkowanie badanych sygnałów w czasie i przestrzeni z częstotliwością tysięcy herców oraz przy wykorzystaniu do 130 par elektrod używanych jako detektory wejściowe jednocześnie (Durka 2009: 235).

Najnowocześniejsza na świecie aparatura oparta na metodzie EEG służy do 2D i 3D neuroobrazowania oraz 2D i 3D neuromodulacji (neurofeedbacku) i przeznaczona jest do badań naukowych oraz pracy klinicznej. Działa w oparciu o wielokanałowe (24-kanałowa bezprzewodowa głowica) EEG i QEEG z ilościową i jakościową analizą danych, z wykorzystaniem pełnych, dynamicznych i mnogich baz danych normatywnych (Loreta, Hagemann, Brodman, moduły i sieci, funkcje dyskryminacyjne, obliczenia mocy, koherencji, fazy, natychmiastowego resetu fazy, domknięcia fazy i czasu trwania zmiany fazy, komodulacji, JTFA, burst metrics, batch processing, analiza bispektralna, analiza regresji wielokrotnej, adaptacyjny spektrogram Gabora), z mnogich i zróżnicowanych populacji, zróżnicowanego ujęcia metodologii sieciowej i neuroanatomicznej (powierzchniowej i 3D) do diagnozy i neuromodulacji w czasie rzeczywistym z wartościami Zet.

Metoda QEEG (ang. *Quantitative EEG*) jest z informatyzowanym narzędziem służącym do badania pracy mózgu oraz planowania przebiegu sesji biofeedback. Metoda ta jest stosowana w badaniach z zakresu psychologii i psychiatrii oraz wykorzystywana (o czym świadczą doniesienia literaturowe) do diagnozy ADHD, dysleksji, depresji, schizofrenii oraz zaburzeń lękowych. Metoda QEEG umożliwia zapis sygnału EEG oraz jego ilościową analizę. Wyniki dokonanej analizy (z użyciem odpowiedniego oprogramowania) przedstawiane są w dwóch formach. Jedną to widmo pokazujące zmianę amplitudy mierzonego sygnału względem jego częstotliwości. Jest ono opisane za pomocą stabelaryzowanych wartości liczbowych. Drugą formą prezentacji wyników to mapa topograficzna. Pokazuje ona rozkład czynności EEG w wybranych punktach na powierzchni skóry głowy. Obydwie formy prezentacji wyników badań są stosunkowo łatwe w odczycie i interpretacji. Rycina 4.1 przedstawia aparaturę do badań QEEG pracy mózgu oraz uzyskane z jej użyciem przykładowe wyniki badań.

Metoda QEEG jest jednym z najbardziej dostępnych i praktycznych narzędzi do badania funkcji i dysfunkcji mózgu, a także planowania sesji biofeedback. W badaniach z zakresu psychologii oraz psychiatrii jest wykorzystywana przykładowo do diagnozy ADHD, depresji, dysleksji, schizofrenii, zaburzeń lękowych, autyzmu, Zespołu Aspergera (Thompson M., Thompson L. 2012: 168–180). Umożliwia ona nie tylko zapis EEG, ale również analizę uzyskanego sygnału. Pozwala na określenie różnych aspektów EEG w sposób ilościowy (aktywność mózgu w zdefiniowanym zakresie częstotliwości). Metoda QEEG ułatwia wizualizację tego, co tak naprawdę dzieje się w mózgu, przez wyświetlanie wartości liczbowych w tabeli jako widma amplitud względem częstotliwości lub jako mapy topograficznej pokazującej rozkład czynności EEG w różnych miejscach na powierzchni skóry głowy. Proces ten zatem nie uwzględnia w diagnozie informacji o konkretnej morfologii (kształcie) fal lub o względnej liczebności niektórych rodzajów fal. Surowy zapis EEG pokazuje fale mózgowe, ich amplitudę i kształt w postaci funkcji czasu (Thompson M., Thompson L. 2012: 52).



Ryc. 4.1. Aparatura do badań QEEG oraz uzyskane za jej pomocą obrazy pracy mózgu

Źródło: materiały reklamowe jednej z firm sprzedającej sprzęt do badań QEEG



Metoda QEEG zastosowana w obszarze psychiatrii i psychologii stanowi potencjalne źródło informacji o objawach oraz markerach biologicznych, tzw. endofenotypach. W tak rozumianym ujęciu zastosowania metody QEEG badania genetyczne ukierunkowane mogą być na znalezienie biomarkerów wskazujących nie tylko na ryzyko zachorowania na określoną chorobę, ale także na prawdopodobieństwo najlepszej odpowiedzi na określony rodzaj terapii. Endofenotyp to komponent pośredni między fenotypem a genotypem, będący miarą odnoszącą się do procesów neurofizjologicznych, biochemicznych, poznawczych lub neuropsychologicznych. Jest on dziedziczny i niezależny od stanu zdrowia. Identyfikacja endofenotypów ma na celu wczesne wykrywanie ryzyka pojawienia się określonych zaburzeń zachowania i emocji, skuteczne zapobieganie zaburzeniom lub łagodzenie ich skutków, a także wybór najlepszej metody terapii, w tym monitorowanie jej skutków (Thompson M., Thompson L. 2012: 259). Stąd przyszłościowe zastosowanie jej w badaniach i praktyce pedagogiki specjalnej wydaje się wysoce przydatne.

Przykładowymi fenotypami EEG są: niskonapięciowe EEG, asymetria czołowa, zwiększona wolna częstotliwość. Diagnoza QEEG u osoby z dysleksją ujawnia:

- nieprawidłowy współczynnik theta/beta,
- nasilone problemy ze skupieniem i utrzymaniem uwagi na zadaniu,
- lepszą koncentrację i większą efektywność w zadaniach związanych z czytaniem, mniejszą liczbą błędów i szybszym przetwarzaniem informacji,
- wtórne objawy emocjonalne związane z reakcją na stres,
- obniżoną koherencję międzypółkulową w odprowadzeniach centralno-ciemieniowych.

Najnowsza, eksperymentalna metoda uzyskiwania informacji dotyczących aktywności bioelektrycznej mózgu to metoda LORETA (ang. *low resolution electrical tomography assessment*). Polega ona na wykonaniu określonych obliczeń matematycznych, wykorzystujących dane z powierzchniowego EEG, pozwalając wyciągnąć wnioski na temat aktywności zachodzącej głębiej w korze mózgowej. Dane

uzyskane przy pomocy omawianej metody są ściśle skorelowane z danymi uzyskanymi metodą MRI (ang. *magnetic resonance imagery*). 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, gdy porównać ją z badaniami MRI czy PET. Zaletą metody jest możliwość dokładnej obserwacji tego, czym „zajmuje się” w danej chwili mózg, oraz jej nieinwazyjność (Thompson M., Thompson L. 2012: 256).

#### 4.5. Zasada działania i ocena przydatności treningu neurofeedback w pedagogice specjalnej

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.

Termin biofeedback oznacza biologiczne sprzężenie zwrotne i wynika z połączenia dwóch słów: *bio* – biologiczny oraz *feedback* – sprzężenie zwrotne. Jest to metoda wspomagania funkcjonowania człowieka w obszarach niepodlegających jego świadomej kontroli, jednocześnie bardzo istotnych dla jego prawidłowego funkcjonowania. Metoda ta stosowana jest w psychologii, pedagogice, medycynie, parapsychologii oraz sporcie i biznesie. Polega na podawaniu osobie badanej sygnałów zwrotnych o zmianach stanu fizjologicznego organizmu, co daje umiejętność dobrowolnego modyfikowania funkcji niekontrolowanych świadomie. Informacje przesyłane są w postaci wizualnej lub akustycznej.

Pojęcie feedback wprowadził do literatury naukowej matematyk Norbert Wiener. Zdefiniował je jako metodę kontrolowania określonego systemu poprzez wprowadzenie do niego wyników z poprzednich działań. Oznacza to możliwość modyfikowania procesu fizjologicznego i nadawania mu pożądanego kierunku przez podawanie bezpośrednich informacji zwrotnych na temat parametrów tego procesu. Biofeedback w rozumieniu psychologicznym oznacza proces, podczas którego osoba (np. uczeń) otrzymuje ze pomocą przyrządów w miarę możliwości ciągle informacje o przebiegu jakiejś funkcji fizjologicznej, której sobie nie uświadamia (Pecyna 2001: 320).

W codziennej praktyce pedagogicznej zastosowanie systemu biofeedback umożliwia na przykład objęcie bezpośrednią kontrolą, bez środków farmakologicznych, wzmożonej aktywności psychoruchowej, która będąc podporządkowana pracy autonomicznego układu nerwowego, nie podlega regulacji korowej (Pańczyk 1998: 84).

Istnieje kilka rodzajów biofeedbacku, każdy z nich wykorzystuje inne sygnały i ma inne zastosowanie. Wszystkie rodzaje biofeedbacku przedstawia tabela 4.1.

Najczęściej stosowanym rodzajem biofeedbacku jest neurobiofeedback, inaczej EEG biofeedback. Wykorzystywana jest w nim aparatura komputerowa, która pozwala na jakościową i ilościową ocenę zapisu fal mózgowych z różnych regionów mózgu. Aparatura ta ma opcję treningową do sprzężenia zwrotnego. Po umieszczeniu elektrod w wybranych punktach na głowie osoby poddanej treningowi możliwa jest rejestracja czynności bioelektrycznej mózgu w okolicach umieszczenia elektrod. Zaburzenia funkcjonowania wiążą się z ilościowymi zaburzeniami czynności bioelektrycznej mózgu. Rejestrowana aktywność mózgu przetwarzana jest w graficzny zapis wideogry, którą osoba poddawana treningowi widzi na swoim monitorze. Za pomocą EEG biofeedbacku uczy się, jak pozytywnie zmieniać wzorce wytwarzanych fal mózgowych poprzez wzmocnienie pożądaných częstotliwości i wyhamowanie częstotliwości niepożądanych. Podstawą zmian czynności bioelektrycznej są utrzymujące się przez całe życie możliwości plastyczne mózgu, polegające na zwiększeniu liczby połączeń synaptycznych i wygaszaniu tych, które są w nadmia-

rze. W czasie treningu dobór odpowiedniej gry, opartej przykładowo na ruchu, daje możliwość pracy z dziećmi z autyzmem i z innymi zaburzeniami funkcjonowania, nawet z najmłodszymi, od 3. roku życia (Gambin, Łukowska 2009: 40).

Tabela 4.1. Rodzaje biofeedbacku

<b>Metoda</b>	<b>Co wykorzystuje?</b>	<b>Zastosowanie</b>
Biofeedback EMG (lub neurofeedback)	Właściwość mózgu, który wytwarza różne zakresy fal elektromagnetycznych, w zależności od podejmowanych aktywności.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ADHD</li> <li>• autyzm</li> <li>• nerwica</li> <li>• padaczka</li> <li>• zaburzenia koncentracji</li> <li>• stres</li> <li>• urazy czaszki</li> <li>• zaburzenia procesu uczenia się</li> </ul>
Biofeedback EMG (ElektroMioGrafia)	Napięcie mięśni wskazujące na stres. Wychwytuje je i pokazuje w formie czytelnej dla pacjenta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stres</li> </ul>
Biofeedback GSR (Galvanic Skin Response)//EDR (Electro Dermal Response)	Napięcie skóry, które jest zmienne w zależności od pobudzenia układu nerwowego. Elektrody montuje się na opuszkach palców.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dychawica oskrzelowa</li> <li>• hipnoterapia</li> <li>• nadciśnienie</li> <li>• nadmierne pocenie się</li> <li>• zaburzenia koncentracji</li> <li>• psychoterapia</li> <li>• relaksacja</li> <li>• wykrywanie kłamstw</li> </ul>
Biofeedback oddechowy	Długość i rytm oddechów, które następnie pokazuje w formie krzywej audiowizualnej.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• choroby układu krążenia</li> <li>• choroby układu oddechowego</li> <li>• padaczka</li> </ul>
Biofeedback temperaturowy	Temperatura skóry, która – poza czynnikami zewnętrznymi – jest zależna od stanu psychicznego człowieka. Elektrody montuje się na opuszkach palców.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• astma</li> <li>• niedokrwienie kończyn</li> <li>• reumatyzm</li> <li>• trening relaksu</li> </ul>

Biofeedback HEG (Hemo-Encephalo-Graphy)	Przeprowadza się za pomocą mierzenia temperatury i badania przepływu krwi wewnątrz głowy.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ADHD</li> <li>• dysleksja, dysgrafia i dysortografia</li> <li>• leczenie uzależnień</li> <li>• padaczka</li> <li>• stres</li> <li>• zaburzenia koncentracji i uwagi</li> </ul>
Biofeedback SCP	Wolne potencjały korowe (zmiany polaryzacji kory mózgowej).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ADD</li> <li>• ADHD</li> <li>• padaczka</li> <li>• urazy czaszki</li> <li>• zaburzenia koncentracji</li> <li>• zaburzenia procesu uczenia się</li> </ul>

Źródło: <http://www.treco.pl/upload/rte/images/biofeedback>, dostęp 31.12.2013

Trening neurobiofeedback to obszar praktyki związany z działaniami terapeutycznymi. Opiera się 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 zmniejszenia impulsywności, osłabia lęk i zwiększa czujność. Wykorzystując trening neurofeedback, można bezpośrednio wpływać na wymienione poniżej komponenty inteligencji:

- umiejętność włączania zrelaksowanego stanu umysłu,
- podejście do uczenia się nie tylko w kategoriach „muszę”,
- wysoki poziom czujności,
- elastyczność oraz kontrola stanu umysłu np. w sytuacji rozwiązywania złożonego problemu (niepożądany stan medytacyjny alfa i/lub stan senny theta),
- stan koncentracji uwagi na istotnym materiale oraz rozwiązywaniu problemów (czynność fal beta),

- refleksyjny i rozważny sposób funkcjonowania (w przeciwieństwie do impulsywności) (Thompson M., Thompson L. 2012: 37).

Metodę EEG biofeedback można stosować już od 4.–6. roku życia. Jest ona bezpieczna, bezinwazyjna i przyjemna, prowadzona w formie atrakcyjnej dla dziecka zabawy: gry komputerowej, filmu czy bajki. Do popularyzacji tej metody w polskich placówkach edukacyjnych przyczyniło się Ministerstwo Edukacji Narodowej, które wyposażyło w odpowiedni sprzęt wiele szkół i poradni psychologiczno-pedagogicznych. Metoda ma również zastosowanie o charakterze klinicznym. Wykorzystywana jest w działaniach wspomagających tradycyjne metody leczenia i rehabilitacji schorzeń o podłożu psychofizjologicznym oraz neurologicznym. Przykładowe obszary zastosowań to migreny i bóle głowy, nerwice, zaburzenia snu, zespół chronicznego zmęczenia, lęk i obniżenie nastroju typu depresyjnego, natrętne myśli i zaburzenia obsesyjno-kompulsywne, uzależnienia, autyzm i zespół Aspergera, porażenie mózgowe, urazy i udary mózgu, przykurcze spastyczne, zaburzenia ruchowe oraz parkinsonizm. Udowodnione praktycznie i naukowo efekty treningów to zwiększenie zasobów pamięciowych, wzrost koncentracji, poprawa efektywności procesów kojarzeniowych, poprawa koordynacji wzrokowo-ruchowej, rozwój kreatywności i twórczego myślenia, wzrost kontroli emocji, samooceny oraz motywacji do działania (<http://www.biofeedback-eeg.pl/>, dostęp 12.08.2014).

U osób zdrowych pozytywne rezultaty pracy metodą EEG biofeedback mają miejsce już po 10 spotkaniach. Większa liczba sesji wymagana jest u osób z problemami psychosomatycznymi. Przewidywany średni czas treningu to od 30 do 60 minut (<http://www.biofeedback-torun.pl>, dostęp 12.08.2014). Trening poprzedzony jest diagnozą, która obejmuje przeprowadzenie badania podstawowego (mini QEEG), omówienie wyników badania podstawowego, postawienie diagnozy, wywiad, omówienie przebiegu planowanej terapii (<http://www.neurobiofeedback.pl>, dostęp 12.08.2014). Osoba trenująca jest podłączona do głowicy EEG biofeedback z użyciem elektrod umocowanych za pomocą pasty klejącej na wybranych punktach głowy, podobnie jak w czasie badania EEG. Zazwyczaj jest to jedna

elektroda na głowie oraz po jednej elektrodzie na każdym uchu. Nie- wielki sensor umieszczony na głowie rejestruje informacje o funkcyj- nowaniu mózgu i przesyła dane do komputera. Są one wyświetlane na ekranie monitora. Dzięki temu osoba badana może obserwować pracę własnego mózgu oraz świadomie na nią wpływać. Otrzymuje ona na bieżąco informację zwrotną (feedback) o pracy swoich pół- kul mózgowych (EEG-bio). Uczy się tym samym, jakie postępowanie skutkuje określonym stanem jej mózgu (<http://www.openmedical.pl/biofeedback.php>, dostęp 12.08.2014). Prowadzący terapię kontroluje czas i zakres częstotliwości fal emitowanych przez mózg pacjenta. Za pomocą aparatury, regulując przykładowo parametry gry, określa stopień trudności zadania. Celem treningu jest „wycze- nie” mózgu określonego działania, poprzez systematyczne ćwiczenia oparte na stopniowanej trudności zadań ([www.neurobiofeedback.pl](http://www.neurobiofeedback.pl), dostęp 12.08.2014). Wykonywane ćwiczenia nie wymagają podczas ich realizacji używania mowy. Jest to szczególnie istotne w przypad- ku małych dzieci, osób z zaburzoną mową, z niepełnosprawnością in- telektualną oraz pacjentów po udarach mózgu. W wyniku terapii me- todą EEG biofeedback poprawiają się różne funkcje mózgu u około 60%–90% osób, w zależności od stopnia zaburzenia, wieku, ogólnych możliwości układu nerwowego oraz poziomu aktywności podczas tren- ingów (<http://www.biofeedback-eeg.pl/>, dostęp 12.08.2014). Za- równo metoda QEEG, jak i neurobiofeedback są pomocne w pracy z osobami z trudnościami rozwojowymi, koncentrując się na stra- tegiach wykorzystujących mocne strony i kompensując tym samym słabości (<http://www.isnr.org>, dostęp 21.06.2013).

Podsumowując przydatność metody elektroencefalografii, na któ- rej bazuje również metoda terapii EEG biofeedback, należy stwier- dzić, że poza sztucznymi warunkami badania, w tym problemami dla osoby badanej wynikającymi z warunków wykonywania badania (czas podłączenia i żel – choć funkcjonuje już sprzęt eliminujący te niedogodności), poważną wadą metody jest w dalszym ciągu analiza i interpretacja uzyskanych z jej wykorzystaniem danych. Pomimo dy- namicznego rozwoju matematyki i informatyki, podstawową metodą analizy wyników jest nadal analiza wzrokowa. Aspekt nowoczesności

to fakt jej realizacji na ekranie komputera (Durka 2009: 237). Przeprowadzający badania musi samodzielnie zdecydować, jakie części sygnału wycinać z uzyskanego obrazu, traktując je jako artefakty, wynikające przykładowo z otwarcia oczu i mrugania osoby badanej. Problemów jest więcej, związane są one z wpływem na uzyskiwane wyniki badań obecności innych pól, a nawet diety pacjenta czy stosowanych przed badaniem używek. Reasumując: metoda encefalografii EEG jest rozwiązaniem możliwym do użycia w działaniach diagnostycznych i rehabilitacyjnych, niemniej wymaga doświadczenia w przeprowadzaniu badania, odpowiedniego, profesjonalnego wykształcenia i umiejętności interpretacji widocznych na ekranie komputera przebiegów sygnału pracy mózgu. Stąd też może być użyta w praktyce przez pedagoga specjalnego, zwłaszcza jako narzędzie o charakterze monitorującym i diagnostycznym. Do oceny aktywności poznawczej podczas wykonywania konkretnych zadań znacząco lepszym rozwiązaniem jest omówiona w kolejnym podrozdziale metoda potencjałów wywołanych.

#### 4.6. Zasada działania i ocena przydatności metody potencjałów wywołanych obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej

Potencjały wywołane EEG (ang. *evoked potentials*, EP) definiowane są jako ślady odpowiedzi mózgu na bodźce. W przypadku MEG stosowane jest określenie pola wywołane (ang. *evoked fields*, EF). Zwykle reakcja ta jest słaba i w zapisie pojedynczej realizacji reakcji na bodziec najczęściej niewidoczna wśród czynności pochodzących od wielu innych procesów zachodzących w tym samym czasie w mózgu. Ich wyodrębnienie z tła EEG/MEG, czyli manifestacji elektrycznej innych, trwających w tym samym czasie w mózgu procesów (aktywny prąd niezależny), wymaga zapisu odpowiedzi na szereg powtórzeń tego samego bodźca. Rozwój techniki komputerowej, w tym odpowiednie oprogramowanie, pozwala w chwili obecnej na cyfrowe



uśrednianie kolejnych fragmentów EEG, zsynchronizowanych według momentu wystąpienia bodźca (Durka 2009: 238).

Metoda EP opiera się 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 wydarzeń zewnętrznych, które służą jako punkty 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. Zdaniem Herberta G. Vaughna (Thompson M., Thompson L. 2012: 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 rozróżnić stany kliniczne, badać reakcje na dźwięki, nawet przy braku werbalnego potwierdzenia.

Badanie ERP wymaga dużej ilości próbkowania (ok. 100 prób) dla dalszego ich uśrednienia. Potencjały wywołane pojawiają się w ustalonych odstępach czasu po wystąpieniu bodźca (latencja), a ich fale mają zawsze taki sam kształt. Herbert G. Vaughn (Thompson M., Thompson L. 2012: 39) wyróżnia cztery rodzaje potencjałów:

- sensoryczne – wywołane przez wzrok, słuch, węch i dotyk,
- motoryczne – poprzedzają ruchy i im towarzyszą,

- potencjały o długiej latencji – odzwierciedlają subiektywne reakcje na oczekiwane bądź nieoczekiwane bodźce, oznaczają, że mózg zwrócił na coś uwagę,
- zmiany poziomu potencjału – powstają w oczekiwaniu na sygnał ostrzegawczy, po którym należy wykonać prostą instrukcję, oczekiwanie postrzegane jest jako narastanie negatywnego potencjału między sygnałem ostrzegawczym a samym zdarzeniem. W stanie *go* osoba wykonuje czynność w odpowiedzi na wskazówkę, na przykład przechodzi przez ulicę po pojawieniu się zielonego światła. W stanie *nogo* osoba badana powstrzymuje się od działania po otrzymaniu wskazówki, że nie ma go podejmować (np. czerwone światło i powstrzymanie się od przechodzenia).

Badania ERP wykazały, że odpowiedzi w postaci potencjałów na bodźce *go–nogo* u dzieci z ADHD są zaburzone, a ich amplitudy są niższe niż u ludzi zdrowych. Ponadto w badaniach QEEG, które prowadził Juri Kropotov (2009), wykazano podwyższony współczynnik theta/beta. Ten sam autor wskazuje na następujące wyniki uzyskane w badaniach QEEG/ERP u osób z depresją: podwyższone ERP w odpowiedzi na bodźce negatywne i asymetria czołowa alfa między lewą a prawą półkulą. U osób z zaburzeniami lękowymi stwierdzono podwyższoną aktywność w zakresie fal beta i obniżone ERP w odpowiedzi na bodźce negatywne. W odróżnieniu od QEEG, dzięki potencjałom związanym ze zdarzeniem, można sprawdzić szybkość przepływu informacji w mózgu, a także poprawność reakcji, poprzez wskaźnik behawioralny (Thompson M., Thompson L. 2012: 39).

Metoda potencjałów wywołanych jest przedmiotem otwartej dyskusji naukowej, z której wynika, że jest to doskonałe rozwiązanie dla zastosowań w zakresie zaawansowanych metod modelowania oraz analizy sygnałów (Durka 2009: 239). Stąd z prezentowanych dotychczas 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 więc być zastosowana zarówno w obszarze diagnozy, jak i rehabilitacji, również w obiektywnej ocenie dotychczas

stosowanych i tworzenia nowych, skutecznych programów rehabilitacyjnych. Metoda potencjałów wywołanych jest wskazywana przez psychologów poznawczych jako najbardziej przydatna w prowadzonych przez nich badaniach relacji mózg–umysł, głównie dotyczących pamięci. Z uwagi na inspiracje badawcze dla pedagogiki specjalnej zostanie teraz scharakteryzowane krótko podejście psychologii poznawczej do badań procesów poznawczych z wykorzystaniem do tego celu metod obrazowania pracy mózgu.

#### 4.7. Ocena przydatności metod obrazowania pracy mózgu w psychologii poznawczej – wybrane zagadnienia

Wykorzystanie technik obrazowania pracy mózgu w badaniach prowadzonych na gruncie psychologii poznawczej spowodowało ogromny postęp w tej dziedzinie, zwłaszcza w poznaniu neurobiologicznego podłoża pamięci. Pozwalają one na obserwację, co dzieje się w mózgu podczas wykonywania zadań poznawczych, który z jego obszarów aktywizuje się, a który dezaktywuje podczas wykonywania kolejnych etapów zadania. W badaniach psychologii poznawczej przydatne są techniki obrazowania czynnościowego, gdyż dostarczają one wiedzy o mózgowych mechanizmach pamięci. Techniki te pozwalają na śledzenie funkcjonowania pamięci, dając obraz aktywności mózgu podczas wykonywania określonych zadań. Tym samym umożliwiają określenie dokładnego miejsca uszkodzenia, jeśli takie istnieje. Są to metody nieinwazyjne. Techniki obrazowania strukturalnego, takie jak: tomografia komputerowa czy rezonans magnetyczny, pozwalają zobaczyć jedynie poszczególne struktury anatomiczne mózgu i na tej podstawie określić miejsce uszkodzenia. Stąd nie są one w kręgu zainteresowania psychologów poznawczych (Jagodzińska 2008: 89).

Reasumując: badania w obszarze psychologii poznawczej prowadzone są technikami obrazowania czynnościowego pracy mózgu. Należy do nich obrazowanie elektrofizjologiczne, które rejestruje

zmiany w aktywności elektrycznej mózgu, oraz obrazowanie metaboliczne, rejestrujące lokalne zmiany w przepływie krwi. Najczęściej stosuje się techniki elektrofizjologiczne, postulowane w niniejszej pracy do wykorzystania w badaniach pedagogiki specjalnej. Należy do nich opisana wcześniej metoda elektroencefalografii EEG oraz potencjałów wywołanych ERP. Metoda elektroencefalografii bazuje na sumowaniu potencjałów postsynaptycznych powstających w korze mózgowej. Tym samym pozwala ona na wyróżnienie kilku rytmów pracy mózgu, podczas na przykład odpoczynku, snu czy wykonywania zadania poznawczego (Sosnowski 2000: 131–178).

Szczególnie użyteczna zarówno w badaniach psychologii poznawczej, jak i pedagogiki specjalnej jest metoda potencjałów wywołanych, która pozwala na bezpośredni pomiar aktywności neuronalnej. Wszystkie inne metody mają charakter pośredni. W tym przypadku chwilowa zmiana aktywności mózgu związana z wystąpieniem określonego zdarzenia pojawia się i jest wyróżniona na tle ogólnej aktywności mózgu. Zalety tej metody to wysoka rozdzielczość czasowa, niskie koszty stosowania oraz całkowita nieinwazyjność. Przy jej użyciu można wykonywać analizę wyników typu off-line, czyli ze względu na określone kryterium na posortowanych próbach badawczych, oraz porównywać zapisy aktywności mózgu związane z różnymi rodzajami reakcji na te same lub różne bodźce. Wadą metody jest niska rozdzielczość przestrzenna. Powoduje to problemy z dokładną lokalizacją źródła sygnału w mózgu (Rugg, Allan 2000: 521–537), na którą pozwala metoda magnetoencefalografii (MEG), oparta na rejestrowaniu pola magnetycznego przez aktywne neurony. Jak zostało wcześniej wspomniane, jej wady to skomplikowana i nieprzenośna aparatura oraz wysokie koszty użycia. Podobne wady mają dwie metaboliczne metody obrazowania pracy mózgu. Należą do nich pozytonowa tomografia emisyjna (PET), rejestrująca lokalne zmiany w przepływie krwi przez mózg podczas wykonywania określonych zadań pamięciowych, oraz czynnościowy rezonans magnetyczny (fMRI), bazujący na zmianach w poziomie tlenu we krwi. Metody te, zwłaszcza ostatnia, znalazły zastosowanie w badaniach naukowych w obszarze psychologii poznawczej. Obrazowaniem czynnościowym metodą PET badano

neuronalne korelaty pamięci semantycznej, operacyjnej, proceduralnej i epizodycznej (Buckner, Logan 2001: 27–48). Metodą fMRI, w coraz większym zakresie od 1995 roku, wykonywane są badania naukowe dotyczące wszystkich rodzajów i procesów pamięci (Buckner, Logan 2001: 27–48; Dudai 2002: 347–432). Opisane metody stosowane w badaniach pamięci porównano za pomocą charakteryzujących je danych w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Porównanie metod obrazowania czynnościowego mózgu: ERP, PET, fMRI stosowanych w badaniach psychologii poznawczej

<b>Charakterystyka</b>	<b>ERP</b>	<b>PET</b>	<b>fMRI</b>
Rozdzielczość czasowa	milisekundy	minuty	sekundy
Rozdzielczość przestrzenna	centymetry	milimetry	milimetry
Inwazyjność	nieinwazyjna	umiarkowanie nieinwazyjna	inwazyjna
Koszty	stosunkowo niskie	stosunkowo duże	stosunkowo niskie
Zniekształcenia	podczas przechodzenia sygnału przez inne tkanki	niewielkie	związane z ruchem głowy
Zastosowania w badaniach pamięci	kodowanie i wydobywanie	wszystkie rodzaje i procesy pamięci	wszystkie rodzaje i procesy pamięci

Źródło: Jagodzińska (2008: 90)

Na podstawie zaprezentowanych rozważań można w sposób jednoznaczny stwierdzić, że jedynie dwie metody badania pracy mózgu: elektroencefalografia EEG oraz metoda potencjałów wywołanych ERP spełniają przyjęte dla badań pedagogiki specjalnej kryteria oceny: nieinwazyjności i mobilności. Potrzebny jest jednak do tego celu wysokiej klasy sprzęt i odpowiednio zaplanowany proces badawczy. Kryterium braku sztuczności warunków otoczenia osoby badanej nie spełnia żadna z prezentowanych w tym rozdziale metod. Środowisko jest bardzo istotnym czynnikiem determinującym prawidłowość przebiegu procesów poznawczych (Bleszyński 2014: 87). Stąd pod-

jęta w rozdziale piątym próba wskazania metody innej niż zaprezentowane. Metoda ta bazuje na osiągnięciach okulografii. Jest ona w pewnym sensie kontrowersyjna, ale wydaje się skutecznym i prostym w zastosowaniu rozwiązaniem praktycznym w badaniach pedagogiki specjalnej. Jej zalety to: prostota i łatwość opanowania sposobu użycia i uwzględnianie kontekstu społecznego badanej osoby. Do wad metody należy zaliczyć fakt, iż uzyskiwane z jej wykorzystaniem wyniki są zarówno ilościowo, jak i jakościowo nieporównywalnie uboższe aniżeli wyniki dostarczane z wykorzystaniem metod obrazowania pracy mózgu scharakteryzowane w niniejszym rozdziale.

## ROZDZIAŁ 5

# Ogólna charakterystyka i ocena przydatności metody okulografii obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej

### 5.1. Wprowadzenie

Metoda okulografii znana jest od bardzo dawna. W aktualnym kształcie określana jest ona jako metoda eye-trackingu – nazwa ta jest używana od zaledwie paru lat. Pionierem tej dziedziny był Francuz Louir Javal. Odkrył on zadziwiającą właściwość ludzkiego oka. Okazało się, że mózg człowieka nie koncentruje się na całym dostępnym fizycznie polu widzenia, ale wybiera tylko te jego fragmenty, których obraz powstaje w najlepiej zaopatrzonej w fotoreceptory obszarze siatkówki, zwanym „żółtą plamką”. Tam bowiem zagęszczenie czopków dochodzi do około 170 tysięcy na milimetr kwadratowy i obraz jest najbardziej ostry (Lindsay, Norman 1991: 48). W miarę oddalania się od żółtej plamki koncentracja komórek czułych na barwy obniża się gwałtownie, np. w odległości 10 stopni jest kilkanaście razy mniejsza. Louir Javal w 1879 roku po raz pierwszy zmierzył ruch oka za pomocą zewnętrznego urządzenia. Zastosował on metodę inwazyjną. Osoba badana zakładała na oczy soczewki, które były wyposażone w specjalny otwór na źrenicę. W 1948 roku Hertridge i Thompson opracowali prototyp obecnego eye-trackera (okulografu). Na początku urządzenie podczas badania nakładano na głowę osoby badanej. Kolejny krok wykonano 10 lat później. W 1958 roku Mackworth po raz pierwszy zastosował metodę rejestracji informacji o ruchach oka jako reakcji na zmieniający się obraz sceny oglądanej przez badane-

go. W latach pięćdziesiątych–siedemdziesiątych XX wieku metodą okulografii badano głównie reakcje organizmu i możliwości intelektualne człowieka w trudnych sytuacjach, przykładowo w symulatorach lotów oraz urządzeniach treningowych. Metoda okulografii stosowana była w badaniach z obszaru medycyny lotniczej i kosmicznej ([www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554](http://www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554), dostęp 31.12.2013).

W chwili obecnej eye-tracking wykorzystywany jest w medycynie, a także w zastosowaniach komercyjnych. Eye-trackery stosuje się jako narzędzia badawcze w informatyce do śledzenia aktywności poznawczej osób oglądających strony internetowe. Uzyskane dane pozwalają analizować zachowania użytkowników podczas obserwacji ekranu monitora komputera. W tym czasie nie mogą oni wykonywać ruchów myszką ani pisać na klawiaturze.

Głównym celem takiego badania jest zrozumienie zachowań percepcyjnych osoby na podstawie analizy tego, w jaki sposób obserwuje ona określone obiekty na ekranie monitora. Najczęściej w zastosowaniach komercyjnych są to powierzchnie reklamowe. Przeprowadzone badanie pozwala również na stwierdzenie, czy i w jakim stopniu przyczyną błędów popełnianych przez daną osobę są niedoskonałości w zakresie graficznego interfejsu oraz określenie zalecanych zmian projektowych w zakresie rozmieszczenia elementów na ekranie. Służy to najczęściej zwiększeniu łatwości obsługi oraz użyteczności ocenianego systemu.

W badaniach prowadzonych metodą eye-trackingu przewidziane do realizacji zadania są najczęściej stosunkowo krótkie i polegają na znalezieniu określonego obiektu na obserwowanym ekranie. Obecność prowadzącego badanie, czyli moderatora, powinna być możliwie niezauważalna dla badanej osoby. Nie jest wskazana obecność osób postronnych czy prowadzenie rozmów. Wcześniej należy wyjaśnić osobie badanej, na czym badanie będzie polegało, a planowane do rozwiązania zadania powinny być dla niej zrozumiałe i dostosowane do jej możliwości (<http://hci.pjwstk.edu.pl/index.php?page=eye-tracking>, dostęp 06.01.2014).



Metoda eye-trackingu nie jest w badaniach naukowych traktowana jako rozwiązanie równorzędne względem opisanych w poprzednim rozdziale metod badania pracy mózgu. Rzeczywiście, nie dostarcza ona podobnych jakościowo czy ilościowo informacji, a jedynie pokazuje aktywność poznawczą mózgu na podstawie śledzenia ruchu gałek ocznych. Jest ona stosunkowo prosta w użyciu, a uzyskiwane wyniki są opracowywane komputerowo przez specjalny program i prezentowane w formach łatwych do analizy, nawet dla niespecjalisty. Wymaga jednak, poza koniecznością posiadania dość kosztownego sprzętu, wiedzy niezbędnej do zaplanowania i realizacji badania oraz do interpretacji uzyskanych wyników.

## 5.2. Zasada działania i realizacja praktyczna metody eye-trackingu

Metoda eye-trackingu polega na rejestracji wideo aktywności wzrokowej. Wbrew subiektywnym odczuciom, oczy nie widzą otoczenia w sposób ciągły. Oko zatrzymuje się na wybranym, obserwowanym fragmencie obrazu na około 200 ms. Potem skokowo wzrok przenoszony jest na inne miejsca z częstotliwością 4–5 razy na sekundę (Błasiak i in. 2012: 565–657). Świadome przetwarzanie informacji potrzebnej do analizy przeczytanego tekstu zachodzi w czasie 50–120 ms od początku fiksacji dla słowa, w zależności od jego długości. Natomiast w przypadku obrazu jest to czas 45–75 ms dla elementu badanej sceny. Głównymi miarami używanymi w badaniach eye-trackingu są fiksacje oraz sakkady. Fiksacjom (ang. *fixation*) odpowiada relatywnie stała pozycja gałki ocznej i bardzo niewielkie drgania. Stąd można je określić jako skupienie wzroku na danym elemencie. Sakkady to szybkie ruchy oka zachodzące pomiędzy kolejnymi fiksacjami, czyli intensywne ruchy gałki ocznej polegające na bardzo szybkim przemieszczaniu się punktu koncentracji wzroku z jednego miejsca na inne. Tak zdefiniowane pojęcia pozwalają na założenie, że podczas fiksacji informacje docierające do mózgu są przez

niego świadomie zapisywane i przetwarzane. Podobne założenia ma teoria poznawcza zapisu i przetwarzania informacji przedstawiona w rozdziale trzecim. Natomiast podczas trwania sakkad nie zachodzi proces poznawczy analizy informacji docierających do mózgu ([www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554](http://www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554), dostęp 14.02.2013).

Długość oraz liczba fiksacji określają, jak badany element skupia uwagę osoby patrzącej. Liczba fiksacji, czyli momentów skupienia uwagi wzrokowej na danym elemencie, określa jego istotność dla badanej osoby i zauważalność w procesie skanowania wzrokiem obrazu. Przeprowadzone badania pozwalają wyznaczać obszary fiksacji oczu badanych osób, czasy tych fiksacji (całkowite oraz średnie), szybkości sakkad oraz czasy reakcji oczu na prezentowane bodźce (*saccade latency*) (Błasiak i in. 2012: 565–657). Uzyskane metodą eye-trackingu wyniki mogą być prezentowane w trzech formach: filmu z markerem oznaczającym aktualne skupienie wzroku, mapy cieplnej lub mapy fiksacji.

Najczęściej wykonywaną formą prezentacji wyników badań jest heatmapa. Jest to rozkład cieplny uwagi kierowanej na badany element, który wyodrębnia elementy zauważone i pominięte podczas skanowania wzrokiem. Tym samym pomaga ona zrozumieć, jak dany element jest postrzegany i w ograniczonym zakresie wyprowadzić wnioski co do sposobu skanowania wzrokiem oglądanego obrazu. Nie pozwala ona na uzyskanie bardzo istotnej w ocenie przebiegu procesu poznawczego informacji na temat kolejności postrzegania elementów widocznych na ekranie komputera czy w oglądanej przestrzeni. Heatmapa nie umożliwia również uzyskania odpowiedzi na pytanie, jak zwiększyć postrzegalność poszczególnych elementów oglądanego obrazu czy jak spowodować, aby niezauważane elementy stały się dla oglądającego bardziej istotne. Heatmapa w swojej istocie pokazuje, w jaki sposób osoba badana przetwarza informacje, na które patrzy, które elementy przyciągają jej uwagę, skupiają ją najdłużej, do jakich elementów powraca, jakich nie zauważa. W pewnym sensie pozwala ona na określenie indywidualnego modelu skanowania przestrzeni, charakterystycznego dla badanej osoby.

Umożliwia również (w ograniczonym zakresie) uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy badana metodą eye-trackingu osoba wykonuje przewidziane do realizacji zadanie planowo, ze zrozumieniem, czy też jest zagubiona w działaniu? Podczas analizy wyników badań należy być bardzo ostrożnym w wyciąganiu wniosków. Ten sam wynik badania może być skrajnie różnie interpretowany. Przykładowo, duża liczba fiksacji może oznaczać zarówno duże zainteresowanie oglądanym obiektem, jak i trudność w jego zrozumieniu lub wręcz całkowity brak tego zrozumienia. Stąd obecność osoby badającej – moderatora – jest podczas wykonywania badania nie tylko wskazana, ale wręcz konieczna. Przebieg badań prowadzonych metodą eye-trackingu nie pozwala na uzyskanie jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, czy badana osoba rozumie treść zadania, na które patrzy. Uzyskane wyniki pokazują jedynie, w jaki sposób przetwarza zawarte w treści zadania informacje. Wskazaniem rozwiązaniem w badaniach pedagogiki specjalnej jest łączenie metody eye-trackingu z innymi metodami, przykładowo obserwacji czy testów. I dopiero na tej podstawie wyciąganie uprawnionych wniosków.

Heatmapy, będące jedną z form interpretacji uzyskanych metodą eye-trackingu wyników badań, występują w dwóch rodzajach. Funkcjonują heatmapy czarno-białe, na których poziom transparentności świadczy o natężeniu uwagi kierowanej na dany element, oraz klasyczne heatmapy kolorowe. Z użyciem wysokiej klasy sprzętu można uzyskać nawet sześć różnych heatmap, w postaci różnych rozkładów cieplnych uwagi dla badanego elementu. Przykładowe, najczęściej stosowane kryteria, możliwe do przyjęcia podczas wykonywania map interpretujących uzyskane wyniki, to całkowita liczba fiksacji, absolutny czas fiksacji lub ich relatywny czas. Przykładową heatmapę pokazującą skupienie uwagi osoby badanej przy przyjętym kryterium czasu obserwacji obrazu (w tym przypadku 5 sek.) prezentuje rycina 5.1.

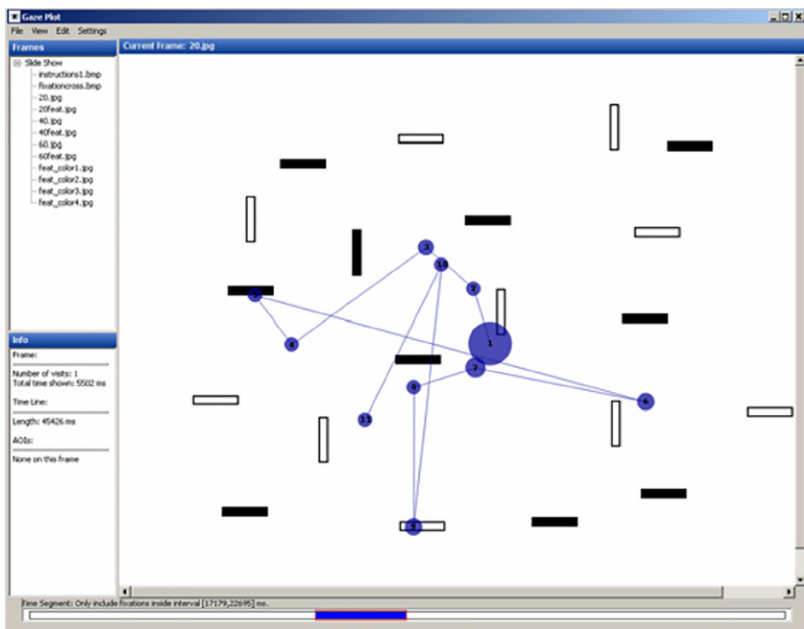


Ryc. 5.1. Heatmapa ukazująca skupienie uwagi osoby badanej dla czasu obserwacji obrazu wynoszącej 5 sekund

Źródło: [http://www.hum.uu.nl/uilots/lab/resources/User\\_manual\\_ClearView\\_2.7.pdf](http://www.hum.uu.nl/uilots/lab/resources/User_manual_ClearView_2.7.pdf), dostęp 09.09.2014

W zależności od potrzeb interpretacyjnych stosowane są różne kryteria tworzenia heatmap. Jeśli z punktu widzenia wykonanych badań istotna jest łączna liczba fiksacji, mapa może pokazywać łączną liczbę fiksacji wszystkich badanych w danym obszarze. Im bardziej „cieple”, czyli czerwone miejsce, tym więcej było w nim fiksacji. Jeśli dla interpretacji wyników badań istotny jest procent badanych – odpowiednia mapa pokazuje sumaryczną zauważalność danego obszaru. Im bardziej zaczerwienione miejsce, tym więcej osób zwróciło na nie uwagę. W końcu mapa może pokazywać łączny absolutny czas

postrzegania, prezentując wówczas łączny czas, jaki badani poświęcili, przyglądając się danemu miejscu. Im bardziej zaczerwienione miejsce, tym czas jego obserwacji był dłuższy. Inny od opisanego sposób przedstawienia wyników badań uzyskanych metodą eye-trackingu nosi nazwę Focus Map. Jest on podobny do heatmapy, jednak w tym przypadku wyróżnione są tylko obszary, na które osoba badana patrzyła, pozostałe są zaciemnione. Kolejną możliwością opracowania wyników badań to film z ruchem gałki ocznej (ang. *gaze replay*), na którym jest naniesiona ścieżka wędrówki wzroku osoby badanej. Dzięki temu osoba prowadząca pracę badawczą w sposób ciągły może analizować, jakie elementy i jak długo w kolejnych momentach badania były oglądane przez osobę badaną.



Ryc. 5.2. Przykładowa ścieżka skanowania wzrokiem (*gaze plot*) uzyskana metodą eye-trackingu

Źródło: [http://www.hum.uu.nl/uilots/lab/resources/User\\_manual\\_ClearView\\_2.7.pdf](http://www.hum.uu.nl/uilots/lab/resources/User_manual_ClearView_2.7.pdf), dostęp 09.09.2014

Praktyka wskazuje, że najbardziej przydatne w ocenie przebiegu aktywności mózgu podczas aktywności poznawczej są realizowane na podstawie heatmap ścieżki skanowania wzrokiem (*gaze plots*). Przedstawiają one kierunek skanowania wzrokiem, a dokładniej ścieżki, jakie pokonały oczy, dokonując kolejnych fiksacji. Przykładową ścieżkę skanowania przedstawia rycina 5.2. Zaznaczone kolorem niebieskim koła obrazują fiksacje. Im większa średnica koła, tym dłuższa fiksacja. Linie pomiędzy kołami pokazują kierunek skanowania wzrokiem, czyli ruch sakkadyczny oka.

Podczas planowania badań należy wziąć pod uwagę, że metoda eye-trackingu w wielu przypadkach nie może być wykorzystywana do badania przebiegu procesów poznawczych mających miejsce podczas oglądania gier lub filmów. Decydują o tym względy techniczne konkretnego urządzenia. W większości z nich analizowany obraz musi być nieruchomy. W przypadku obserwacji obrazu ruchomego nie ma bowiem możliwości opracowania wyników badania, czyli wygenerowania map termicznych czy ścieżek wędrówki wzroku (<http://hci.pjwstk.edu.pl/index.php?page=eye-tracking>, dostęp 08.01.2014). Jednak najnowsze rozwiązania umożliwiają śledzenie również obrazu ruchomego. Przykładowo oprogramowanie o nazwie Experiment Suite™, służące do projektowania i realizacji eksperymentów metodą eye-trackingu, umożliwia użycie takich bodźców jak teksty, zdjęcia, pliki wideo, PDF, strony internetowe. Dodatkowo ma ono funkcje nagrywania pulpitu komputera i osoby badanej ([www.smivision.com](http://www.smivision.com), dostęp 26.07.2014).

### 5.3. Budowa i działanie eye-trackerów (okulografów)

Urządzenia wykorzystywane do badań prowadzonych metodą eye-trackingu noszą nazwę eye-trackerów, inaczej okulografów. Są one w użyciu od ponad 40 lat, czyli nowością nie są. Niemniej jednak dynamiczny postęp technologii inżynierskich spowodował, że

w chwili obecnej prowadzone są intensywne prace nad ich unowocześnianiem. Dotyczą one dwóch obszarów: rozszerzenia możliwości badawczych urządzeń oraz redukcji ich kosztów. Stanowisko do badań metodą eye-trackingu składa się z eye-trackera, czyli urządzenia rejestrującego ruchy gałki ocznej osoby badanej, oraz oprogramowania przeznaczonego do analizy i obróbki zarejestrowanych danych. Stąd również w obszarze informatyki prowadzone są intensywne prace nad prostym w użyciu oprogramowaniem, jednocześnie dającym duże możliwości analizy wyników. W dalszej kolejności zostaną opisane dostępne aktualnie na rynku eye-trackery oraz scharakteryzowane zostanie ich oprogramowanie.

Aktualnie na rynku dostępnych jest co najmniej kilka rodzajów eye-trackersów. Zasadniczym kryterium ich podziału jest mobilność. Dostępne są eye-trackery stacjonarne lub umożliwiające swobodne ruchy głowy podczas badania. W pierwszym przypadku urządzenie może być przykładowo zintegrowane z monitorem komputera. Prezentowany osobie badanej materiał jest używany w późniejszej analizie zapisu aktywności wzrokowej i łączony z uzyskanymi wynikami jako „tło”. W metodzie tej najczęściej stosuje się kamery podczerwone, ułatwiające identyfikację źrenicy oraz lokalizację odbicia rogówkowego, co pozwala na określenie wektora patrzenia. W drugim przypadku badanie metodą eye-trackingu jest możliwe również podczas przemieszczania się osoby badanej. Jest ono realizowane za pomocą urządzeń zamontowanych na głowie (eye-tracking mobilny) lub w sposób zdalny (remote eye-tracking). Przykładowy eye-tracker mobilny w formie zakładanego na głowę, niewielkiego urządzenia, umożliwiającego swobodne ruchy podczas badania, prezentuje rycina 5.3.

Eye-tracker w tej wersji ma zastosowanie głównie komercyjne. Wykorzystywany jest przykładowo do badania pilotów samolotów, kierowców, klientów w sklepach czy postrzegania reklam outdoorowych.

Kolejne urządzenie o charakterze mobilnym możliwe do wykorzystania w badaniach prowadzonych metodą eye-trackingu to system o nazwie HED (*Head Eyetracking Device*). Składa się on z dwóch

części: zamontowanego na głowie interfejsu (ryc. 5.4) i lekkiego, przenośnego komputera.



Ryc. 5.3. Przykładowy eye-tracker mobilny w formie zakładanego na głowę, niewielkiego urządzenia umożliwiającego swobodne ruchy podczas badania

Źródło: <http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi/118-smi-head-eyetracking-device-mobile>, dostęp 12.01.2014



Ryc. 5.4. Interfejs mobilnego eye-trackera nagłownego iViewX™ HED

Źródło: <http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi>, dostęp 12.01.2014

Interfejs eye-trackera iViewX™ HED, rejestrujący ruchy jednej gałki ocznej, jak pokazano na rycinie 5.4, zamocowany może być na czapce, kasku lub do zestawu słuchawkowego. Urządzenie jest bardzo łatwe do kalibracji. Poprzedzająca badanie kalibracja, czyli przygotowanie urządzenia do pracy z konkretną osobą, jest w tym przypadku szybka i bezproblemowa. Stąd możliwość swobodnego przemieszczania się osoby badanej podczas planowanego eksperymentu



badawczego. Może on mieć miejsce zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz budynków, zarówno w dzień, jak i w nocy. Eye-tacker posiada system czujników i kamer umożliwiający prowadzenie badania praktycznie w każdych warunkach. Rejestruje on wszystkie istotne dla badania dane, pozwala na szybkie i efektywne ich kontrolowanie oraz analizę. Może rejestrować ruch gałki ocznej, informacje z urządzeń peryferyjnych, nagrywać obiekty, na które patrzy osoba badana, tworzyć obrazy wideo, czyli obrazy oglądanych scen. Konfigurowany przez użytkownika obraz wideo zawiera na przykład ścieżki wzroku, czas oraz informacje o przebiegu badania.

Eye-tracker iViewX™ HED wykorzystywany jest najczęściej do badań zachowań ludzkich w przestrzeni. W zastosowaniach komercyjnych służy między innymi do badania reakcji człowieka na docierające do niego bodźce. Stosuje się go również w celach naukowych – do badań czynnika ludzkiego w interakcji człowiek–maszyna. Każdy eye-tracker jako urządzenie techniczne posiada charakterystyczne cechy. Eye-tracker iViewX™ HED standardowo pracuje z częstotliwością 50 Hz, którą opcjonalnie można rozszerzyć nawet do 200 Hz. Oprogramowanie, z którym współpracuje, to zainstalowana na komputerze typu laptop specjalna wersja oprogramowania SMI BeGaze™.

Analizując informacje producenta urządzenia iViewX™ HED, można stwierdzić, że cechują je:

- pełna mobilność,
- osoba badana może nosić okulary lub szkła kontaktowe,
- wysoka rozdzielczość czasowa do 200 Hz,
- szybka i łatwa obsługa – przygotowanie do pomiaru w kilka minut, praca systemu w pełni zautomatyzowana, działanie w różnych warunkach oświetlenia,
- kilka wariantów interfejsu z możliwością montowania na czapkach, kaskach, słuchawkach,
- dostępna opcja rejestracji ruchów głowy i uzyskanie ilościowego zapisu wektora ruchów głowy w 3D,
- obraz scen przesyłany przez sieć bezprzewodową lub stałe łącze do urządzeń sterujących (<http://www.neurodevice.pl/pl/produk>

ty/eyetracking-smi/118-smi-head-eyetracking-device-mobile, dostęp 14.01.2014).

W kontekście diagnozy i rehabilitacji szczególnie przydatnym rozwiązaniem wydaje się w pełni mobilny eye-tracker o nazwie SMI EyeTracking Glasses, przedstawiony na rycinie 5.5.



Ryc. 5.5. Przykładowy w pełni mobilny SMI EyeTracking Glasses

Źródło: [www.eyetracking-glasses.com](http://www.eyetracking-glasses.com), dostęp 14.01.2014

Eye-tracker SMI EyeTracking Glasses stosowany jest do analizy percepcji wzrokowej w rzeczywistym oraz wirtualnym środowisku zewnętrznym. Jest on lekkim, ważącym około 75 g, dyskretnym systemem zbudowanym w formie okularów, o rozmiarach  $173 \times 58 \times 168$  mm. Prowadzona przed badaniem kalibracja jest bardzo szybka, praktycznie natychmiastowa, jedno-, dwu- lub trypunktowa. Co ważniejsze, jest ona możliwa do ponownego przeprowadzenia po badaniu, czyli na poziomie wyników. Śledzenie obojga oczu (*binokular tracking*) zwiększa znacząco rzetelność uzyskiwanych wyników badań. Do zalet urządzenia należy zaliczyć również automatyczną kompensację błędu paralaksy, która zapewnia bardzo dokładne wyniki w każdej odległości od przedmiotu, bez potrzeby ręcznej regulacji. Okulary SMI posiadają możliwość wymiany szkieł na korekcyjne, w związku z czym mogą być używane również do badania zachowania osób z wadą wzroku. Urządzenie zaopatrzone jest w kamerę o bardzo wysokiej rozdzielczości ( $1280 \times 960$ ). Umożliwia to dokładny i szczegółowy zapis pozycji oka w relacji do obiektów rozmieszczonych w bardzo różnych odległościach. SMI pozwala na dostęp do uzyskiwanych danych i wyników w czasie rzeczywistym,

komunikację on-line, a także łatwą integrację z innymi urządzeniami mobilnymi i czujnikami, takimi jak EEG czy GPS. Aktualnie urządzenie ma zastosowanie głównie komercyjne. Służy do prowadzenia badań na zewnątrz budynków, na przykład do badania kierowców, w sklepach (do wykonywania realnych shelf-testów), do badań ergonomii urządzeń mobilnych, konsol sterowniczych czy analizy metod szkolenia w sportach zawodowych ([www.eyetracking-glasses.com](http://www.eyetracking-glasses.com), dostęp 14.01.2014).

Producent urządzenia SMI EyeTracking Glasses informuje, że do jego cech należą:

- szybka i intuicyjna konfiguracja,
- automatyczna kompensacja błędu paralaksy,
- kamera sceny o jakości HD,
- dostęp do wyników w czasie rzeczywistym (obserwacja na żywo),
- zbieranie danych bez aktywnych markerów i agregacja wyników,
- półautomatyczna analiza dynamicznych rejonów zainteresowania (AOI) ([www.eyetracking-glasses.com](http://www.eyetracking-glasses.com), dostęp 14.01.2014).

Najmniejszym i najnowszym okulografem przenośnym jest SMI RED-m. Przedstawia go rycina 5.6.



Ryc. 5.6. Najmniejszy i najnowszy przenośny okulograf SMI RED-m

Źródło: [www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 02.02.2014

Okulograf SMI RED-m ze względu na swoje niewielkie rozmiary umożliwia stworzenie w pełni przenośnego laboratorium eye-trackingowego. Cechują go przy tym wysokiej klasy parametry techniczne. Należą do nich: wysoka wydajność, częstotliwość do 120 Hz, dokładność poniżej 0,5 stopnia, śledzenie binokularne oraz redukcja wpływu ruchów głowy.

Problem z ruchami głowy osoby badanej i ich wpływem na dokładność wykonywanych pomiarów z użyciem eye-trackera dotyczy drugiego zasadniczego rodzaju okulografów, czyli urządzeń stacjonarnych. Czujniki rejestrujące ruchy gałki ocznej są w nich wbudowane w obramowanie monitora komputera. Rozwiązanie to zwiększa dokładność wykonywanych pomiarów oraz komfort osoby badanej, gdyż na czas badań nie zakłada ona na głowę żadnych urządzeń. Niemniej jednak podczas badania musi pozostawać we względnie stałej pozycji, co zapewnia odpowiednio skonstruowane stanowisko eye-trackerowe. Przykładowe rozwiązanie – wysokiej klasy eye-trackera stacjonarnego niemieckiej firmy SensoMotoric Instruments, wykorzystywanego w badaniach naukowych prowadzonych w Zakładzie Neurodydaktyki Instytutu Fizyki Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie – ukazuje rycina 5.7.



Ryc. 5.7. Eye-tracker stacjonarny niemieckiej firmy SensoMotoric Instruments, wykorzystywany w badaniach naukowych prowadzonych w Zakładzie Neurodydaktyki Instytutu Fizyki Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie

Źródło: opracowanie własne

Przedstawiony na rycinie okulograf o nazwie iViewX™ Hi-Speed 1250 określany jest przez producenta jako ultraszybki, nieinwazyjny, oparty na technologii wideo. Umożliwia on częstotliwość pomiarów do 1250 Hz przy latencji mniejszej niż 0,5 ms. Urządzenie oparte jest na technologii jedno- i obuocznej rejestracji typu *dark-pupile* (źrenica – odbicie rowkowe). Producent informuje, że system cechują:

- praktycznie niezawodność (prędkość 1250 Hz),
- dostosowanie algorytmów z funkcją weryfikującą i auto-setup,
- wysoka tolerancja na okulary i szkła kontaktowe,
- wygodna konstrukcja z ergonomicznym podbródkiem i szerokim polem widzenia,
- możliwość ekspozycji bodźców oraz analizy wyników (w opisanym wcześniej pakiecie Experiment Suite),
- możliwość integracji z innymi programami użytecznymi w badaniach eksperymentalnych, przykładowo NBS Presentation, PST E-Prime czy SuperLab,
- umożliwiał eksportowanie danych do zewnętrznych programów statystycznych,
- jest kompatybilny z systemami EEG ([www.smivision.com](http://www.smivision.com), dostęp 26.07.2014).

Przed badaniem z użyciem stacjonarnego eye-trackera należy przeprowadzić kalibrację przyrządu, dostosowując go do indywidualnych cech badanej osoby. Wynika to z faktu, iż stacjonarne okulografy charakteryzuje ograniczony zakres przechwytywania wzroku i należy mieć pewność, że podczas badania ruch gałek ocznych zostanie nagrany prawidłowo. Poprawną kalibrację zapewnia odpowiednie oprogramowanie. Podczas badania ruch gałek ocznych jest zapisywany w postaci surowych danych ilościowych. Można je w dalszej kolejności analizować statystycznie i tworzyć różnego rodzaju miary, które pozwalają na interpretację sposobu postrzegania przez badaną osobę. Przykładową miarą może być liczba fiksacji w określonym obszarze. Interpretacja wyników, jak zostało opisane wcześniej, wymaga od prowadzącego badania stosownej wiedzy. Przykładowo, duża liczba fiksacji o krótkim okresie ich trwania może oznaczać problem ze zrozumieniem treści oglądanego obszaru na ekranie kom-

putera ([www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 2.02.2014).

Każdy eye-tracker wyposażony jest w stosowne oprogramowanie pozwalające wykonać kalibrację, przeprowadzić badania oraz opracować wyniki. Istnieje tzw. wersja standardowa oprogramowania, która umożliwia:

- nagrywanie ruchu gałek ocznych,
  - prezentację wyników badań w postaci wykresów ścieżek wzroku i map termicznych oraz ich analizę,
  - odtwarzanie filmu z nałożeniem na jego obraz ruchu gałki ocznej.
- W rozbudowanych wersjach oprogramowania dodatkowo dostępne moduły umożliwiają między innymi:

- wielowymiarową analizę statystyczną wyników badań,
- konstrukcję ścieżek przejścia,
- jednoczesne nakładanie ruchów gałek ocznych kilku osób badanych,
- samodzielne programowanie potrzebnych aplikacji ([www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 02.02.2014).

System iViewX™Hi-Speed EyeTracking, w który wyposażone jest urządzenie przedstawione na rycinie 5.7, umożliwia prowadzenie badań naukowych na bardzo wysokim poziomie. Charakteryzuje go wysoka częstotliwość próbkowania, z zaawansowanymi algorytmami przetwarzania, co umożliwia wykonanie pomiaru z częstotliwością nawet do 1250 Hz (1250 fps), przy latencji mniejszej niż 0,5 ms.

Kolejny, zaprezentowany na rycinie 5.8 eye-tracker o nazwie Systemy RED (*Remote Eyetracking Device*) został skonstruowany w celu uproszczenia oraz skrócenia czasu badania. Jest to bardzo istotne podczas badania dzieci czy osób z niepełnosprawnością.

Zaprezentowane rozwiązanie posiada modułową konstrukcję o nazwie iViewX™ RED. Pozwala ona na prowadzenie badań w kilku konfiguracjach eye-trackera. Może być on, zależnie od przebiegu planowanego badania, zintegrowany z monitorem komputera, ustawiony przy telewizorze lub przy ekranie projekcyjnym. Oprogramowanie urządzenia zapewnia stałą i automatyczną lokalizację położenia oczu i dzięki temu kompensuje potencjalny ruch głowy osoby bada-

nej. System iViewX™ RED (*Remote Eyetracking Device*) jest więc alternatywą dla przedstawionego wcześniej (na ryc. 5.7) systemu Hi-Speed, w którym wymagana jest stabilizacja głowy. Wysokiej jakości sensory podczerwieni oraz zastosowane algorytmy obliczeniowe pozwalają badanemu na swobodne ruchy głowy, przy pomiarze o częstotliwości nawet do 500 Hz. System RED może bowiem działać w czterech rozdzielczościach czasowych. Są to częstotliwości: 60 Hz, 120 Hz, 250 Hz oraz 500 Hz. Producent reklamuje go jako aktualnie najszybszy na świecie ([www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 02.02.2014).



Ryc. 5.8. Systemy RED (*Remote Eyetracking Device*)

Źródło: [www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 2.02.2014

Istotne dla osoby prowadzącej badania jest to, że prezentowane urządzenie ma w pełni automatyczną kalibrację, trwającą jedynie kilka sekund i utrzymującą się w trakcie całego badania. Dodatkowo system charakteryzuje się kilkoma wariantami kalibracji do prowadzenia badań w specyficznych, trudnych grupach, na przykład dzieci. Dla nich przeznaczona jest kalibracja dwupunktowa. Oprogramowanie SMI iViewX™ Software Development Kit umożliwia integrację z różnymi urządzeniami zewnętrznymi, takimi jak np. EEG. Możliwa jest też współpraca z kamerą do monitorowania osoby badanej.

Analiza danych może być prowadzona przy użyciu oprogramowania SMI BeGaze™ lub po eksporcie do formatu ASCII, w standardowych programach statystycznych, jak np. MATLAB czy SPSS. Systemy firmy SensoMotoric Instruments mają kompatybilność okulistyczną, działają bowiem z większością okularów i szkieł kontaktowych. Co najważniejsze, dla osób spoza obszaru nauk technicznych, przykładowo pedagogów specjalnych, obsługa eye-trackera ma charakter intuicyjny, nie sprawia więc trudności nawet niedoświadczonemu operatorowi ([www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 02.02.2014).



Ryc. 5.9. Przykładowe wyniki badań eye-trackingowych uzyskane z użyciem oprogramowania Experiment Center™

Źródło: [www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 02.02.2014

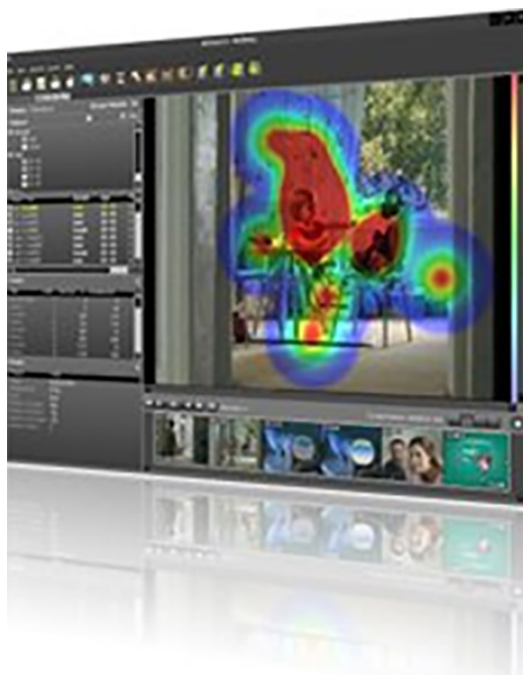


W kontekście planowania przebiegu badań eksperymentalnych z użyciem eye-trackerów dość istotnym elementem są ich możliwości programowe, omówione szerzej poniżej. Rycina 5.9 prezentuje przykładowe wyniki badań eye-trackingowych uzyskane z użyciem oprogramowania Experiment Center™, przeznaczonego do prowadzenia badań eksperymentalnych.

Oprogramowanie Experiment Center™ posiada łatwy w obsłudze, intuicyjny edytor i może być wykorzystywane do projektowania i przeprowadzania eksperymentów eye-trackingowych z użyciem wcześniej opisanych narzędzi, takich jak RED lub Hi-Speed. Oprogramowanie umożliwia zastosowanie wizualnej metody budowania scenariusza badania, podczas którego bodźce można prezentować w dowolnej kolejności, również z użyciem automatycznego sortowania. Dobór bodźców jest bardzo zróżnicowany. Mogą to być teksty, obrazy, nagrania wideo, strony www, dokumenty pdf, gry konsolowe oraz inne, dowolne bodźce zaprogramowane w języku Java lub C++. Prowadzący badanie może grupować bodźce lub osoby badane według dowolnego kryterium, na przykład płci czy wykształcenia. Podczas przeprowadzania badania uzyskiwane wyniki mogą być oglądane w czasie rzeczywistym, czyli on-line. Istnieje również możliwość dodawania do nich komentarzy. Po zakończeniu badania uzyskiwany jest zbiorczy protokół wyników, z dodatkowymi informacjami charakteryzującymi przeprowadzony eksperyment, przykładowo czasem trwania badania. Interfejs oprogramowania Experiment Center™ podzielony jest na kilka obszarów. Należy do nich scenariusz badania, parametry bodźca, podgląd twarzy osoby badanej i wyniki przedstawiane w czasie rzeczywistym.

Drugi poziom to oprogramowanie o nazwie BeGaze™. Przeznaczone jest ono do zarządzania wynikami badań oraz do ich analizy. Przykładowe wyniki badań eye-trackingowych uzyskanych z użyciem oprogramowania BeGaze™ prezentuje rycina 5.10.

Oprogramowanie BeGaze™ posiada specjalnie zaprojektowane opcje pozwalające przedstawiać wyniki badań w postaci map ciepła, map skupienia, roju pszczół, obszarów zainteresowania, w tym dynamicznych AOI, kluczowych wyników AOI, macierzy, wykresów li-



Ryc. 5.10. Przykładowe wyniki badań eye-trackindowych uzyskane z użyciem oprogramowania BeGaze™

Źródło: [www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 02.02.2014

niowych, rozkładu procentowego danych i innych, ponad 100 zmien-  
 nych statystycznych. Oprogramowanie ma funkcję filtrowania, gru-  
 powania i randomizacji bodźców lub osób badanych, analogiczne do  
 możliwości wcześniej opisanego oprogramowania Experiment Cen-  
 ter™. Umożliwia ono eksport wyników do pliku odczytywanego przez  
 programy statystyczne, przykładowo MATLAB czy SPSS. Wpływa to  
 znacząco na jakość opracowania wyników. Wyniki badań analizowa-  
 ne z użyciem oprogramowania BeGaze™ mogą być przedstawiane  
 w dwóch uzupełniających się formach: tekstowej i graficznej (wykre-  
 sów, obrazów statycznych lub dynamicznych obrazów). Z punktu wi-  
 dzenia badań eksperymentalnych, prowadzonych na grupach dzieci  
 czy osób z niepełnosprawnością, bardzo istotny jest bezpłatny dostęp

do oprogramowania Software Development Kit. Może być ono wykorzystywane do integracji systemów eye-trackingowych z niestandardowymi aplikacjami, w tym popularnymi programami do przeprowadzania eksperymentów, na przykład PST E-Prime®, NBS czy Presentation®. Dodatkowo system pozwala na sterowanie eye-trackerem oraz odbieranie danych w czasie rzeczywistym za pomocą sieciowego interfejsu komunikacyjnego.

Opisywane oprogramowanie było dotychczas stosowane w badaniach procesów czytania, analizie bodźców wideo, obserwowaniu i rejestracji zachowania osób badanych, wykonywaniu badań użyteczności (*usability*) stron internetowych czy gier na konsolach ([www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi](http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi), dostęp 02.02.2014).

#### 5.4. Ocena przydatności metody eye-trackingu w pedagogice specjalnej

Reasumując dotychczasowe rozważania pod kątem przydatności metody eye-trackingu w badaniach pedagogiki specjalnej, należy podkreślić, że wyniki badań pozwalają na uzyskanie odpowiedzi, jak badana osoba skanuje wzrokiem oglądany obraz, pośrednio również – jak szybko przetwarza informacje. Tym samym metoda eye-trackingu nie pozwala na uzyskanie odpowiedzi na pytanie, dlaczego pewne elementy przyciągają uwagę osoby badanej, a inne nie. Tego rodzaju informacje daje bardziej wnikliwa analiza ekspercka lub analiza emocji i afektywnych aspektów postrzegania, przykładowo z użyciem oprogramowania o nazwie iMotions ([www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554](http://www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554), dostęp 14.02.2014).

Wyniki badania prowadzonego metodą eye-trackingu umożliwiają uzyskanie odpowiedzi między innymi na następujące pytania:

- Jakie elementy przyciągają uwagę badanej osoby oraz po jakim czasie?
- Jakie elementy najdłużej skupiają uwagę badanej osoby?
- Jaki jest poziom zainteresowania konkretnym elementem?

- Do jakich elementów osoba badana powraca?
- Jaki jest model i kierunek skanowania przestrzeni?
- Czy badana osoba podczas oglądania obrazu jest zagubiona, czy działa planowo?
- Jaka jest kolejność fiksacji badanego?
- Czy wystąpił efekt pendulum – tzn. czy jeden z elementów skupił znaczącą część uwagi podczas badania?

Odpowiedzi te, uzupełnione obserwacją oraz stosowną, potrzebną do interpretacji wyników wiedzą z zakresu pedagogiki specjalnej, pozwalają na uzyskanie wielu informacji o działaniach poznawczych osoby badanej, co inną drogą byłoby niemożliwe. W tym kontekście na podkreślenie zasługuje całkowita nieinwazyjność badań, możliwość ich realizacji w znanym osobie badanej środowisku. Niekoniecznie miejscem badania musi być laboratorium, z jego sztucznymi warunkami, ponieważ sprzęt jest mobilny.

Bardzo istotnym elementem badań, uprawniającym do wyprowadzenia na ich podstawie możliwych do uogólnienia wniosków, jest liczebność grupy badawczej. W przypadku prowadzenia badań jakościowych metodą eye-trackingu grupa ta powinna liczyć 7–8 osób. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że w badaniach ilościowych reprezentatywna grupa to minimum 30 osób. Obiektywne i rzetelne wyniki, umożliwiające statystyczne ich opracowanie, uzyskiwane są na grupach liczących przynajmniej 30 osób ([www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554](http://www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554), dostęp 12.01.2014).

W podsumowaniu należy podkreślić, że metoda eye-trackingu umożliwia mierzenie w sposób nieinwazyjny wielu istotnych parametrów związanych z aktywnością mózgu osoby badanej w trakcie rozwiązywania przez nią różnych zadań poznawczych. Pozwala ona na pokazanie, jak na podstawie analizy aktywności oczu (map koncentracji uwagi) należy badać różne strategie rozwiązywania problemów. Uzyskane metodą eye-trackingu wyniki badań wykonywanych na dużych, statystycznie istotnych grupach, odpowiednio zebrane i zinterpretowane, mogą być niezwykle cennym źródłem informacji ułatwiającym zrozumienie mechanizmów poznawczych występują-

cych podczas procesu uczenia się, w tym przy określaniu strategii postępowania podczas rozwiązywania problemów o bardzo różnym stopniu trudności. Metoda ta może znaleźć zastosowanie w obszarze pracy wyrównawczej z dziećmi o specjalnych potrzebach edukacyjnych, w diagnozowaniu deficytów, prowadzących na przykład do trudności w uczeniu się, i w opracowywaniu modeli strategii skutecznego nauczania.

Zastosowanie metody okulografii w badaniach z zakresu pedagogiki specjalnej ma charakter interdyscyplinarny. Dotyka bowiem kwestii z obszaru nauk technicznych, poprzez techniki eye-trackingowe i przetwarzanie danych cyfrowych, nauki kognitywistyczne, modelowanie mechanizmów neurokognitywistycznych i nauki społeczne, aż po kwestie życiowe – przykładowo dotyczące rehabilitacji dzieci z niepełnosprawnością. Na podstawie oceny aktywności mózgu poprzez spostrzeganie wzrokowe może mieć miejsce wypracowanie algorytmów konkretnego działania, prowadzącego do zmiany poznawczej. Stąd metoda eye-trackingu może służyć do projektowania eksperymentów, które w inny sposób nie mogłyby być zrealizowane.

Zmieniające się w sposób skokowy, uzyskiwane za pomocą oczu obrazy są analizowane w ośrodkowym układzie nerwowym. Ponad 50% neuronów kory wzrokowej zajmuje się analizą oraz scalaniem obrazów uzyskiwanych w trakcie fiksacji oka (Lindsay, Norman 1991: 48). Wiedza o tych procesach, a w szczególności informacje uzyskane podczas badania osób obarczonych niepełnosprawnością w zakresie czasów fiksacji, prędkości, liczby oraz częstotliwości ruchów sakkadycznych, może być niezwykle cennym materiałem ułatwiającym zrozumienie mechanizmów charakterystycznych dla przebiegu procesów poznawczych, opartych na percepcji wzrokowej. W przypadku wielu niepełnosprawności ma to decydujący wpływ na skuteczność podejmowanych działań rehabilitacyjnych, opartych na mechanizmach kompensacyjnych. Uzyskane metodą eye-trackingu i uogólnione wyniki badań, w tym opracowany na ich podstawie model postępowania diagnostyczno-rehabilitacyjnego, oparty na śledzeniu sposobu myślenia podczas przebiegu procesu poznawczego na podstawie aktywności oczu, może być bardzo pomocny w bada-

niu różnorodnych dysfunkcji spowalniających procesy poznawcze osób z niepełnosprawnością. Może to stanowić przełom w obiektywnej i rzetelnej ocenie skuteczności stosowanych metod rewalidacyjnych, pozwalając na uzyskanie odpowiedzi, dlaczego u jednych osób ma miejsce postęp, a u innych nie, i pokazując, od czego on zależy. A tym samym pomoże odpowiedzieć w sposób obiektywny i rzetelny na wiele pytań stawianych przez pedagogów specjalnych, ale nie tylko – również przez rodziców dzieci z niepełnosprawnością.

## ROZDZIAŁ 6

# Interfejs mózg–komputer i ocena jego przydatności w pedagogice specjalnej

### 6.1. Wprowadzenie

W ramach prac badawczych dotyczących konstrukcji sztucznego umysłu, prowadzonych w neurocybernetyce, realizowane są architektury noszące nazwę kognitywnych. Są one podstawą rozwoju informatyki neurokognitywnej, której podstawowym celem jest konstrukcja systemów mogących osiągać poziom kompetencji przekraczający możliwości człowieka. Konstrukty te zostały oparte na wielkoskalowej architekturze mózgu oraz tworzeniu modeli funkcji jego wyspecjalizowanych obszarów. Sukces został osiągnięty jedynie w obszarze rozpoznawania przez komputery specyficznych wzorców w sygnałach oraz grach planszowych. Trwają intensywne prace nad stworzeniem komputera efektywniejszego od człowieka w zakresie tzw. niższych funkcji poznawczych (na razie bez sukcesu). Należą do nich między innymi: percepcja, rozpoznawanie obiektów oraz analiza relacji (Duch 2009: 271).

W ramach informatyki kognitywnej prowadzone są również prace nad pamięcią. Dotyczą one wspierania przez sieci neuronowe o specyficznej architekturze, dostosowanej do funkcji, takich rodzajów pamięci, jak: rozpoznawcza, robocza, skojarzeniowa, proceduralna i semantyczna. Istnieje obawa, że praktyczne architektury obliczeniowe o ograniczonych możliwościach przetwarzania informacji nie osiągną podobnych do mózgu biologicznego człowieka możliwości w ramach zarówno niższych, jak i wyższych czynności poznawczych.

Ograniczenia te wynikają między innymi z możliwości technicznych komputerów (Duch 2009: 272). Badania informatyki kognitywnej przydatne w pedagogice specjalnej dotyczą prac – zwłaszcza w aspekcie ich zastosowań praktycznych – nad rozwijaniem i unowocześnianiem interfejsu mózg–komputer (ang. *Brain-Computer Interface*, BCI). Stąd zostanie on scharakteryzowany w dalszej kolejności, po przedstawieniu ogólnej charakterystyki metod badania pracy mózgu, będących podstawą jego działania.

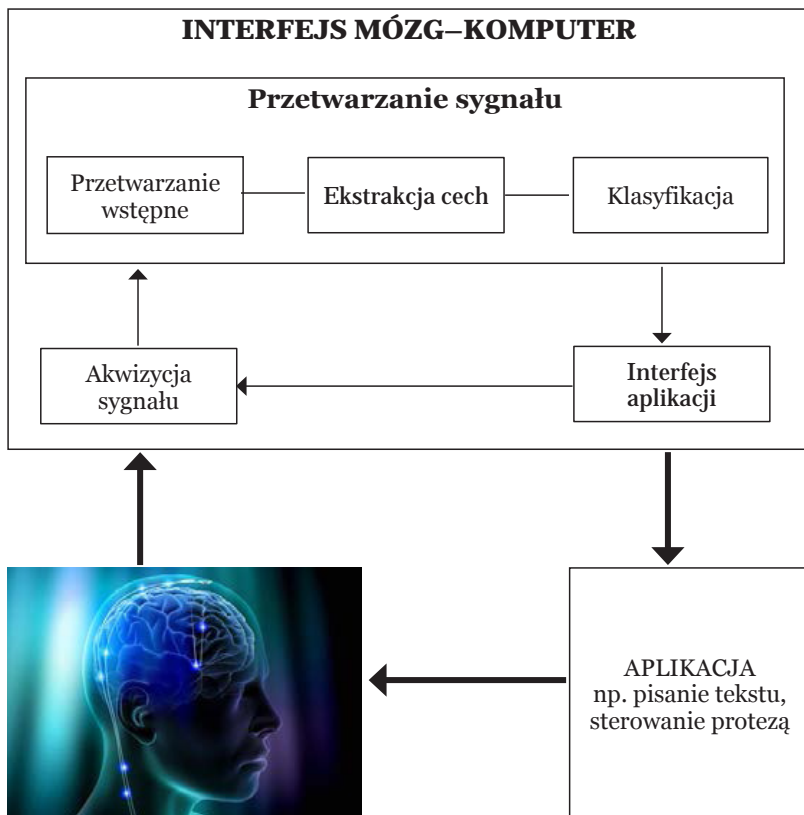
## 6.2. Charakterystyka budowy i działania interfejsu mózg–komputer

Interfejs mózg–komputer jest rozwiązaniem technicznym, którego zasadniczą cechą stanowi możliwość uzyskania bezpośredniej komunikacji pomiędzy mózgiem a urządzeniem zewnętrznym. Obecnie obszary jego zastosowań praktycznych to usprawnienie i (lub) naprawa działania zmysłów oraz czynności ruchowych ([http://www.ele.uri.edu/courses/bme281/F12/JamesB\\_1.pdf](http://www.ele.uri.edu/courses/bme281/F12/JamesB_1.pdf), dostęp 21.06.2013).

Badania w tym zakresie prowadzone są od wielu lat. Rozpoczęto je w latach siedemdziesiątych XX wieku w University of California, Los Angeles (UCLA) i wtedy właśnie po raz pierwszy wprowadzono termin interfejs mózg–komputer. Dziedzina zastosowań BCI rozwijała się głównie w kierunku neuroprotetyki, w obszarze przywrócenia uszkodzonego słuchu, wzroku i czynności ruchowych. Pierwsze neuroprotezy zastosowano w połowie lat dziewięćdziesiątych XX wieku ([http://www.ele.uri.edu/courses/bme281/F12/JamesB\\_1.pdf](http://www.ele.uri.edu/courses/bme281/F12/JamesB_1.pdf), dostęp 21.06.2013). Ostatnio, na skutek postępu w zakresie przetwarzania sygnałów w czasie rzeczywistym i konstrukcji bardzo szybkich komputerów, nastąpiła intensyfikacja prac badawczych i wynikających z nich praktycznych rozwiązań. Aktualne systemy BCI mają dwie formy, zróżnicowane pod względem inwazyjności. Jedne bazują na odczytaniu wybranych sygnałów bioelektrycznej aktywności mózgu, zebranych bezpośrednio z mózgu, są więc inwazyjnie. Inne,



opisane tutaj szerzej, są bezinwazyjne, gdyż uzyskują badany sygnał z powierzchni skóry czaszki. W każdym z przypadków po odczycie sygnału ma miejsce jego przetworzenie, wydobycie, czyli ekstrakcja cech, ich selekcja oraz wykorzystanie w procesie klasyfikacji. Działanie interfejsu mózg–komputer prezentuje (w pewnym przybliżeniu) rycina 6.1.



Ryc. 6.1. Poglądowe działanie interfejsu mózg–komputer

Źródło: opracowanie własne

Bezinwazyjne metody badania aktywności mózgu, wykorzystywane w realizacji interfejsu mózg–komputer, oparte na encefalografii EEG, można podzielić na trzy rodzaje. Należą do nich:

- P300 – oparta na detekcji potencjałów wywołanych przez podświetlenie, przykładowo oczekiwanej litery (podświetlane wiersze i kolumny macierzy liter),
- SSVEP – oparta na koncentrowaniu uwagi na migającym symbolu z częstością odzwierciedlaną w EEG (matryca cyfr, w której każda klatka miga z inną częstością, o wymiarze  $3 \times 3$ ),
- ERD/ERS – oparta na odczycie intencji ruchu prawą lub lewą ręką i (lub) stopą (odróżnienie intencji ruchu jest możliwe dzięki lateralizacji funkcji mózgu, wymaga więc użycia w badaniu stosunkowo wielu elektrod) (<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1840314>, dostęp 21.06.2013).

Przypomnijmy (co zostało dokładniej opisane w rozdziale czwartym), że badanie aktywności mózgu metodą encefalografii EEG polega na rozmieszczeniu na głowie elektrod. Rejestrują one zmiany potencjału elektrycznego na powierzchni skóry czaszki, mające źródło w aktywności neuronów kory mózgowej. Następnie, po ich odpowiednim wzmocnieniu, tworzony jest zapis pracy mózgu w postaci elektroencefalogramu. W standardowej wersji, przydatnej w realizacji interfejsu mózg–komputer, wykonywane jest badanie oparte na zbieranych sygnałach z 19 elektrod należących do systemu 10–20, zalecanego przez Międzynarodową Federację Neurofizjologii Klinicznej IFCN. Rozmieszczenie elektrod jest również standardowe: po 8 elektrod umieszcza się nad każdą półkulą mózgu, 3 elektrody w linii pośrodkowej. Aktywność mózgu określoną na podstawie takiego badania charakteryzują fale o określonych częstotliwościach, wskazujące na stan osoby badanej. Należą do nich:

- Fale delta ( $\delta$ ) – o częstotliwości do 4 Hz, charakterystyczne dla trzeciego i czwartego stadium snu (NREM).
- Fale theta ( $\theta$ ) – o częstotliwości 4–8 Hz, charakterystyczne dla stanów hipnotycznych: transu, hipnozy, lekkiego snu (powiązane z pierwszym i drugim stadium snu NREM). Rytm FM $\theta$  (*frontal midline theta*) fal theta jest charakterystyczny dla przebiegu takich aktywności poznawczych jak uwaga oraz procesy pamięciowe.
- Fale alfa ( $\alpha$ ) – o częstotliwości 8–13 Hz i amplitudzie około 30–100  $\mu\text{V}$ , charakterystyczne dla braku bodźców wzrokowych

(zamknięte oczy osoby badanej). Podczas percepcji wzrokowej są one tłumione (otwarte oczy osoby badanej). Fale alfa są charakterystyczne dla stanu relaksu oraz obniżonego poziomu aktywności poznawczej.

- Fale beta ( $\beta$ ) – o częstotliwości od 12 do około 30 Hz i amplitudzie poniżej 30  $\mu$ V, charakterystyczne dla stanu zaangażowania kory mózgowej w aktywność poznawczą. Mogą one świadczyć o koncentracji uwagi osoby badanej. Mogą być również wywołane przez różnego rodzaju patologie, a także substancje chemiczne, przykładowo benzodiazepiny.

Druga grupa metod badania aktywności mózgu, wykorzystywanych w realizacji praktycznej interfejsu mózg–komputer, traktowana jest jako metody inwazyjne. Należą do nich:

- implantowane elektrody domózgowe,
- systemy oparte na fMRI,
- systemy oparte na NIRS (*Near Infrared Spectroscopy*) (<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1840314>, dostęp 21.06.2013).

W największym skrócie: implantowane elektrody domózgowe wszczepiane są w celu połączenia ich z określonym urządzeniem elektronicznym. Rejestrują potencjał elektryczny mózgu lub stymulują neurony impulsami elektrycznymi pochodzącymi ze źródła zewnętrznego. Systemy oparte na fMRI, czyli funkcjonalny magnetyczny rezonans jądrowy, stanowią wyspecjalizowaną odmianę obrazowania rezonansu magnetycznego (traktowaną w badaniach mózgu jako metodę nieinwazyjną – zależnie od interpretacji). Ich działanie oparte jest na pomiarze hemodynamicznej odpowiedzi ośrodkowego układu nerwowego. Od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku metoda ta stała się dominującą metodą obrazowania mózgu z uwagi na niską inwazyjność, brak promieniowania jonizującego oraz stosunkowo dużą dostępność do sprzętu. Systemy oparte na NIRS obejmują technikę wizualizacji aktywności mózgu, polegającą na przepuszczeniu promieni lasera przez czaszkę osoby badanej. Wykorzystywane do tego celu lasery są bardzo słabe i pracują z częstotliwością fali świetlnej (bliskiej podczerwieni), dla której czas-

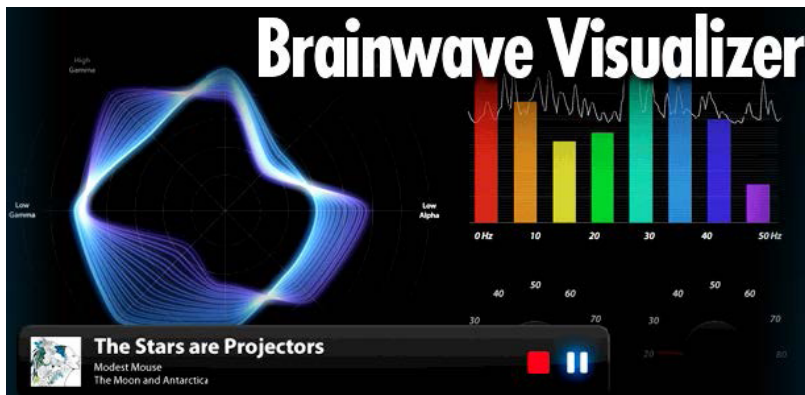
ka jest przezroczysta. Ich działanie opiera się na właściwości krwi, która, gdy zawiera tlen, absorbuje inne częstotliwości fal świetlnych niż krew, z której tlen został pochłonięty. Obserwacja ilości światła o różnych częstotliwościach, odbijającego się od mózgu, pozwala na śledzenie przepływu krwi. Jeśli w wyniku badań tworzone są mapy aktywacji, technika nosi nazwę tomografii optycznej światła rozproszonego (DOT). Jeśli rejestrowanie rozproszenia światła ma miejsce na skutek zmian dokonujących się w komórkach podczas pobudzenia neuronów, oznacza to, że sygnał optyczny związany jest z konkretnym zdarzeniem (EROS) (<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1840314>, dostęp 21.06.2013).

W dalszej kolejności zostaną przedstawione praktyczne zastosowania interfejsu mózg–komputer bazujące na wymienionych metodach.

### 6.3. Zastosowania praktyczne interfejsu mózg–komputer

Aktualnie głównym zastosowaniem interfejsu mózg–komputer jest medycyna. System ten umożliwia bowiem komunikację pacjentom będącym w ciężkich stadiach takich chorób jak: stwardnienie zanikowe boczne, udar mózgowy podkorowy, zespół Guillaina-Barrégo, mózgowy porażenie dziecięce, stwardnienie rozsiane. W tych przypadkach najczęściej stosowany jest generator mowy sterowany ruchami gałek ocznych. Jest to praktyczny przykład tak zwanego zależnego interfejsu mózg–komputer (ang. *dependent BCI*). Kolejnym obszarem zastosowania interfejsu mózg–komputer jest wojsko. Z uwagi na szczególny charakter tego zakresu badań, jest on reprezentowany w publikacjach w ograniczonym zakresie (O’Shea 2012: 151).

W dalszej kolejności zostanie przedstawionych kilka rozwiązań komercyjnych, z których najbardziej popularne jest NeuroSky. Składa się ono z dwóch gier. Gra Visualizer pozwala obserwować reakcję mózgu na słuchaną muzykę (<http://company.neurosky.com>, dostęp 21.06.2013) – por. rycina 6.2.



## MindSet

**\$199.00**

Ryc. 6.2. Zestaw NeuroSky: gra Visualizer, która pozwala obserwować reakcję mózgu na muzykę

Źródło: <http://company.neurosky.com>, dostęp 21.06.2013

Druga gra z zestawu NeuroSky, nosząca nazwę NeuroBoy, umożliwia przemieszczanie obrazów przedmiotów na ekranie komputera za pomocą fal mózgowych – por. rycina 6.3.



Ryc. 6.3. Zestaw NeuroSky: gra NeuroBoy, która pozwala na przemieszczanie obrazów przedmiotów na ekranie komputera za pomocą fal mózgowych

Źródło: <http://company.neurosky.com>, dostęp 21.06.2013

NeuroSky przewiduje również zestaw umożliwiający tworzenie własnych aplikacji. Funkcjonuje także wiele gier i aplikacji współpracujących z tym zestawem – przykłady prezentuje rycina 6.4.



**The "Mindy" Ant**  
\$10.00  
[More info >](#)



**Zombie POP!**  
\$10.00  
[More info >](#)



**Jack's Adventure**  
\$5.00  
[More info >](#)



**Broodin' Bash**  
\$10.00  
[More info >](#)

Ryc. 6.4. Zestaw NeuroSky – gry i aplikacje

Źródło: <http://company.neurosky.com>, dostęp 21.06.2013

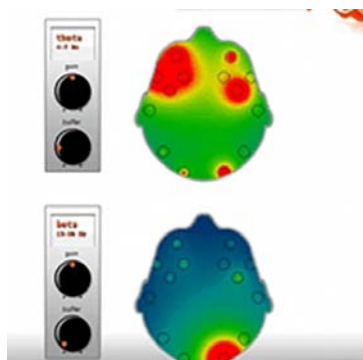
Inny zestaw komercyjny, składający się z kilku gier i aplikacji, nosi nazwę Emotiv 1/2. Oparty jest na metodzie EEG neuroobrazowania pracy mózgu, z uzyskiwaniem danych za pomocą 14 elektrod. Prezentuje go rycina 6.5 (<http://www.emotiv.com>, dostęp 21.06.2013).



Ryc. 6.5. Urządzenie do zbierania danych o pracy mózgu w zestawie Emotiv 1/2

Źródło: <http://www.emotiv.com>, dostęp 21.06.2013

Kolejne ryciny 6.6 i 6.7 przedstawiają przykładowe gry i aplikacje dostępne w zestawie Emotiv 1/2.



Ryc. 6.6. Aplikacja Brain Activity Map z zestawu Emotiv 1/2 umożliwiająca obrazowanie aktywności poszczególnych obszarów mózgu

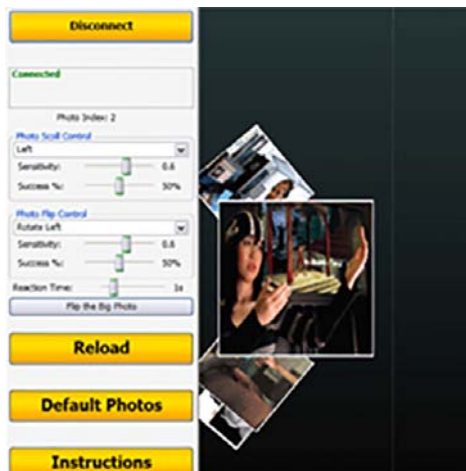
Źródło: <http://www.emotiv.com>, dostęp 21.06.2013



Ryc. 6.7. Urządzenie Neuro Key z zestawu Emotiv 1/2 – klawiatura obsługiwana za pomocą fal mózgowych

Źródło: <http://www.emotiv.com>, dostęp 21.06.2013

Kolejne rozwiązanie komercyjne nosi nazwę Emotiv 2/2. Przykładowe aplikacje i gry dostępne w ramach tego systemu prezentują ryciny 6.8 i 6.9.



Ryc. 6.8. Aplikacja Mind Photo Viewer z zestawu Emotiv 2/2 pozwala przeglądać zdjęcia za pomocą fal mózgowych

Źródło: <http://www.emotiv.com>, dostęp 21.06.2013





Ryc. 6.9. Gra przygodowo-fantastyczna Brain Activity Map Spirit Mountain z zestawu Emotiv 2/2, sterowana za pomocą fal mózgowych

Źródło: <http://www.emotiv.com>, dostęp 21.06.2013

Problematyka naukowo-badawcza dotycząca opisanego w tym rozdziale interfejsu mózg–komputer jest przykładem prowadzonych z sukcesem badań interdyscyplinarnych w obszarze nauk zarówno technicznych, jak i społecznych. Z pewnością mają one swoje praktyczne zastosowanie we wspomaganiu funkcjonowania osób ze specyficznymi deficytami rozwojowymi, co zostanie wykazane w dalszej kolejności.

#### 6.4. Ocena przydatności interfejsu mózg–komputer w pedagogice specjalnej

Interfejs mózg–komputer w obszarze pedagogiki specjalnej jest aktualnie stosowany głównie w celu osiągnięcia założonych, konkretnych efektów terapeutycznych. Wykorzystuje się go na dwa sposoby, które charakteryzuje specyfika połączenia mózgu z zewnętrznymi urządzeniami. Jeden sposób to zastąpienie utraconej funkcji sensorycznej poprzez implant elektrycznie stymulujący neurony (O’Shea

2012: 146). Praktyczne zastosowania w tym obszarze mają urządzenia protetyczne – implanty ślimakowe, przywracające osobom z uszkodzonym słuchem funkcjonalne słyszenie, oraz implanty wzrokowe, przynajmniej częściowo przywracające, co dużo trudniejsze, wzrok osobom z uszkodzonym narządem wzroku. Przykłady w tym zakresie, z uwagi na ich przydatność praktyczną dla osób będących podmiotem zainteresowania pedagogiki specjalnej, zostaną przedstawione w podrozdziale 6.5.

Drugi sposób interakcji mózgu z maszyną służy w pewnym stopniu zamianie myśli w technologię i polega na umieszczeniu w pobliżu mózgu urządzenia używanego do rozpoznawania elektrycznych sygnałów pochodzących z neuronów. Następnie są one wzmacniane i przetwarzane przez komputer w celu sterowania urządzeniami elektrycznymi lub mechanicznymi wspomagającymi funkcjonowanie osób ze specyficznymi deficytami rozwojowymi. Komputer staje się tym samym pewnego rodzaju substytutem uszkodzonej tkanki mózgowej. Końcowym celem działań jest przywrócenie utraconej funkcji mózgu w określonym zakresie. Sposób ten jest stosowany aktualnie zwłaszcza w obszarze kontroli ruchu. Stymulacja neuronów ma miejsce poprzez elektrody wszczepione w jądra podstawy mózgu. Pozwala to na uzyskanie poprawy w zakresie utraconych funkcji regulujących, charakterystycznych dla takich zaburzeń neuronalnych jak choroba Parkinsona czy chroniczny ból (O'Shea 2012: 148). Inne stosowane rozwiązanie to mechanizmy stymulujące drogi neuronalne, redukujące korową aktywność epileptyczną podczas napadu padaczkowego lub aktywujące wewnętrzny system aplikacji leków (O'Shea 2012: 149). Wszystkie te rozwiązania mają wprawdzie zastosowanie medyczne, niemniej poprawiając znacznie jakość życia osób dotkniętych chorobą, pozostają również w kręgu zainteresowania pedagogiki specjalnej. Wynika to również z faktu, iż wiele niepełnosprawności ma charakter sprzężony, a model medyczny i społeczny podejścia do deficytów rozwojowych są ze sobą nieodłącznie powiązane.

Przedstawiona technika HBMI (*Hybrid Brain-Machine Interface*), polegająca na sterowaniu robotem za pomocą myśli, a więc na dysponowaniu – dzięki zaawansowanej technologii – dwoma

mózgami: mózgiem naturalnym i odpowiednio zaprogramowanym komputerem kontrolującym mózg biologiczny, ma bardzo istotny dla pedagoga specjalnego aspekt etyczny. Z jednej strony w odniesieniu do osób z uszkodzonym mózgiem pozwala na uzyskanie skutecznych technik terapeutycznych, z drugiej zaś strony może prowadzić do nadużyć, na przykład poprzez zastosowanie w celu poprawy działania mózgu zdrowego, technologicznie poszerzając jego możliwości. Prowadzi to do wniosku, że w przypadku zastosowania w obszarze pedagogiki specjalnej osiągnięć neuronauki należy starannie opracować obowiązujące procedury, w tym wymogi etyczne, dopuszczające do realizacji badań, podobnie jak ma to miejsce w naukach medycznych.

Podsumowując problematykę przydatności zastosowań technologii do tworzenia ścieżki połączeń nerwowych w mózgu, należy podkreślić, że rozwiązania te charakteryzuje stosunkowo wysoka inwazyjność, połączona z koniecznością przeprowadzania zabiegów chirurgicznych, oraz wysokie koszty realizacji praktycznej. Inny aspekt to komfort ich użycia, powiązany z technologią urządzeń rozszyfrowujących informację płynącą z mózgu. Obecnie prowadzone są prace nad miniaturyzacją urządzeń oraz bezprzewodową łącznością. Niemniej zawsze istnieć będzie bariera sztucznego odtwarzania funkcji wykonywanych przez uszkodzone lub wręcz zniszczone ścieżki połączeń nerwowych w mózgu. Stąd pomysł nie omijania, ale odtwarzania uszkodzonych struktur i ścieżek mózgowych. Problem polega na tym, iż centralne ścieżki neuronalne człowieka nie posiadają własności samonaprawiania się, regeneracji i odtwarzania oryginalnych połączeń (tak jak ma to miejsce na poziomie obwodowych, sensorycznych ścieżek neuronalnych, na przykład po przebytych urazie). Aktualnie prowadzone są badania mające wyjaśnić te różnice na poziomie cząsteczkowym i komórkowym. Dla pedagogiki specjalnej są to o tyle istotne badania, iż mogą doprowadzić do powstania terapii pozwalających na regenerację uszkodzonych neuronów, a tym samym zastępowanie martwych komórek nowymi (O'Shea 2012: 154). Kwestie związane z naprawianiem „uszkodzonego” mózgu i metody jego naprawy zostaną przedstawione w rozdziale siódmym.

## 6.5. Zastosowanie interfejsu mózg–komputer u osób z niepełnosprawnością – wybrane przykłady

Praktyczne zastosowania interfejsu mózg–komputer u osób z niepełnosprawnością dotyczą zastępowania utraconej funkcji sensorycznej przez implant elektrycznie stymulujący neurony. Są to urządzenia protetyczne – jak wspomniane już implanty ślimakowe przywracające osobom z uszkodzonym słuchem funkcjonalne słyszenie oraz implanty wzrokowe, przywracające, przynajmniej częściowo, wzrok osobom z uszkodzonym narządem wzroku (O’Shea 2012: 146). Przykładem najprostszego stosowanego u ludzi rozwiązania stymulującego jest właśnie implant ślimakowy – zaawansowane urządzenie elektroniczne, wszczepiane podczas operacji chirurgicznej osobom obustronnie niesłyszącym lub z obustronnym głębokim niedosłuchem zmysłowo-nerwowym. Składa się on z dwóch części: wewnętrznej, wszczepianej pod skórę i umieszczonej w łożu kostnej w zagłębieniu kości czaszki, oraz części zewnętrznej, przetwarzającej sygnały akustyczne w sygnały elektryczne, przekazywane do części wewnętrznej. Umieszczona w ślimaku elektroda części wewnętrznej bezpośrednio pobudza nerw słuchowy, wywołując wrażenia słuchowe. W Polsce stosowane są implanty firm: Advanced Bionics Ear, Cochlear oraz Medel ([http://www.uslysz.pl/implanty\\_nucleus/implant\\_slimakowy.html](http://www.uslysz.pl/implanty_nucleus/implant_slimakowy.html), dostęp 26.02.2014).

Rozwój technik chirurgicznych, technologii elektronicznej, miniaturyzacja oraz nowe możliwości elektrycznej stymulacji nerwu słuchowego spowodowały w ostatnim czasie zmianę kryteriów kwalifikacji do stosowania systemu implantu ślimakowego. Nowe kryteria pozwalają na wszczepianie implantów pacjentom posiadającym pewien stopień rozumienia mowy w aparatach słuchowych. Obniżono dolną granicę wieku osoby kwalifikowanej do operacji (18. miesięcy). Wybrane ośrodki podejmują się zabiegu nawet poniżej pierwszego roku życia. Procedura przedoperacyjna realizowana jest w trybie hospitalizacji i opiera się na ocenie audiologicznej,

klinicznej, logopedyczno-pedagogiczno-psychologicznej, w tym na wykonaniu testu elektrostymulacji. Ocena kliniczna uwzględnia poradnictwo genetyczne. Istotne są również dane dotyczące czasu i przyczyny wystąpienia wady słuchu, czasu diagnozy i zaaparowania, a także przebiegu dotychczasowej rehabilitacji słuchu (<http://slimaczek.ifps.org.pl/index.php?link=wartowiedziec&linkW=kwalifikacja>, dostęp 26.02.2014).

Kolejne praktyczne zastosowanie interfejsu mózg–komputer to urządzenie protetyczne o nazwie BrainPort przeznaczone dla osób z wadą wzroku. Rozwiązanie polega na tym, że kamera osadzona na okularach pobiera informacje o charakterze wizualnym, następnie zarejestrowany obraz jest przetwarzany przez zainstalowany na smartfonie program i przesyłany na matrycę umieszczoną na języku. Kilkusetpikselowa matryca wyposażona jest w 400 elektrod stymulujących język impulsami elektromagnetycznymi o różnym nasileniu. Transformacja obrazu na sygnał dotykowy odbywa się według pewnych reguł. Kolorowi białemu odpowiada stymulacja mocna, szaremu słaba, natomiast podczas braku stymulacji pojawia się kolor czarny. Istotną cechą urządzenia jest rozkład elektrod, który odpowiada przestrzennemu obrazowi uzyskiwanemu z kamery. Urządzenie działa w różnych warunkach oświetleniowych, ma regulowane pole widzenia (zoom) oraz rozdzielczość pozwalającą na uzyskanie orientacji przestrzennej oraz na czytanie dużych liter (<http://www.futureblog.pl/index.php/2009/11/technologie-dla-niewidomych/>, dostęp 26.02.2014).

Inne praktyczne zastosowania interfejsu mózg–komputer, przeznaczone dla osób z wadą wzroku, to urządzenie protetyczne o nazwie Bionic Eye. Składa się ono z okularów z osadzoną na nich kamerą służącą do widzenia kontrastów oraz wszczepionego w oko procesora z odbiornikiem sygnału. Działanie Bionic Eye polega na wysyłaniu przez kamerę obrazu do urządzenia przypiętego do paska, gdzie ma miejsce konwersja sygnału na format obsługiwany przez implant w oku. Implant otrzymuje sygnał drogą radiową, a następnie przesyła go do nerwu wzrokowego. Zaletą rozwiązania jest jego modułowa budowa. Jakość widzenia z użyciem Bionic Eye nie jest

najlepsza. Użytkownik widzi jedynie kontury i zmiany oświetlenia. Najnowsze rozwiązania techniczne umożliwiają poprawę jakości – ich działanie polega na wszczepieniu do wnętrza oka mikroskopijnych elektrod, które przekazują impulsy do mózgu. System składa się z trzech elementów: okularów z wbudowaną kamerą, jednostki centralnej oraz elektrody. Okulary przechwytyują obraz w zasięgu obiektywu w rozdzielczości 5 megapikseli. Jednostka centralna przekształca obraz przy pomocy 100 jednobarwnych kropek, natomiast elektrody stymulują nerwy w taki sposób, aby w mózgu powstał obraz znajdujący się w zasięgu okularów. Prowadzone są intensywne prace nad uzyskaniem takiego systemu aplikacji, który jest w stanie na bieżąco przetwarzać informacje i przesyłać je bezprzewodowo do odpowiednich elektrod. Pierwsza wersja urządzenia działa w oparciu o 100 kropek i pozwala na widzenie ogólnych zarysów środowiska. Aktualnie testowana jest druga generacja urządzenia, oparta na działaniu 1000 elektrod i pozwalająca na czytanie dużych czcionek (<http://www.futureblog.pl/index.php/2009/11/technologie-dla-niewidomych/>, dostęp 26.02.2014).

Przykładowe rozwiązania dotyczące bionicznego oka to implant Argus II Retinal Prosthesis, przeznaczony dla osób z uszkodzonymi fotoreceptorami w siatkówce oka. Implant składa się z 60 elektrod wszczepionych w siatkówkę. Ich uzupełnienie stanowi przechwytyująca obraz miniaturowa kamera. Przekształca ona światło w impulsy elektrochemiczne skierowane do mózgu przez nerw optyczny. Testy kliniczne, potwierdzające skuteczność urządzenia, przeprowadzone zostały na osobach niewidomych w wieku 28–77 lat. Otrzymane rezultaty były różne, w zależności od indywidualnych cech badanych: od uzyskania podstawowych umiejętności rozpoznawania kształtów, przez rozpoznawanie liter i cyfr, po nawet płynne czytanie (<http://nt.interia.pl/raport-medycyna-przyszlosci/medycyna/news-pierwsze-bioniczne-oko-w-europie-za-73-tys-euro,nId,931652>, dostęp 26.02.2014). Najnowsze rozwiązanie nosi nazwę Bio-Retina i zostało skonstruowane przez firmę Nano Retina. Jest ono znacząco tańsze od poprzedniego oraz ma lepsze parametry techniczne w postaci wyższej rozdzielczości (nawet do 576 pikseli) niż Argus II.

Innowacyjność rozwiązania polega na umieszczeniu w szklach okularów źródła słabego promieniowania w bliskiej podczerwieni. Dzięki temu system nigdy nie będzie wymagał ani wymiany zasilania, ani modyfikacji (<http://www.rp.pl/artukul/984461.html?p=1>, dostęp 26.02.2014).

Polskim odpowiednikiem opisywanych rozwiązań wykorzystujących praktyczne zastosowania interfejsu mózg–komputer w odniesieniu do osób o specjalnych potrzebach jest Cyber-oko. System został zrealizowany przez zespół prof. Andrzeja Czyżewskiego z Politechniki Gdańskiej we współpracy z zakładem opiekuńczo-leczniczym fundacji „Światło” w Toruniu, a opracowano go w ramach projektu „Typoszereg interfejsów multimedialnych”. Zwyciężył w konkursie „Polski Wynalazca 2013” oraz zdobył specjalne wyróżnienie „Złoty Skalpel” dla wybitnego innowatora w polskiej ochronie zdrowia (<http://www.multimed.org/>, dostęp 12.08.2014). Cyber-oko to zintegrowany system komputerowy służący do diagnozy stanu świadomości i terapii osób w stanie wegetatywnym. Zastosowano w nim dwie aplikacje: pierwsza, o nazwie Cyber-oko, pozwala na śledzenie w komputerze punktu podczas fiksacji wzroku; druga związana jest z technikami EEG. System umożliwia pobudzanie funkcji poznawczych poprzez aktywizację zmysłów: wzroku, słuchu oraz powonienia. W połączeniu z synteizatorem mowy pozwala komunikować się z innymi osobami. Zawiera dodatkowo zestaw programów komputerowych przeznaczonych dla pacjentów, którzy nie odzyskali pełnej świadomości po wybudzeniu ze śpiączki (<http://www.tvp.pl/wiedza/nauka-i-technika/polski-wynalazek-2013/galeria-wynalazkow/cyberoko/10215954>, dostęp 12.08.2014).

System Cyber-oko umożliwia przykładowo integrację techniki śledzenia wzroku, analizy fal mózgowych EEG oraz modułu emitującego różne bodźce zapachowe (terapeutyczny interfejs aromatowy). Dzięki specjalnemu oprogramowaniu możliwe jest precyzyjne dawkowanie zapachów w ściśle określonych momentach. Polisensoryczny odbiór informacji wspomaga w znaczącym zakresie koncentrację oraz proces zapamiętywania (Bleszyński 2014: 98). Interfejs komunikuje się z komputerem za pomocą bezprzewodowego interfejsu

bluetooth. Urządzenie posiada również funkcję umożliwiającą komunikację alternatywną. Poprzez wybór gotowych poleceń wyświetlanych na ekranie komputera oraz obsługę wirtualnej klawiatury istnieje możliwość komunikowania się z otoczeniem przez osoby po wypadkach bądź urazach. Kolejne rozwiązanie zastosowane w systemie to przenośne urządzenie do badania aktywności elektrycznej mózgu – kask elektroencefalograficzny. Analizowana za jego pośrednictwem aktywność elektryczna mózgu służy do komunikacji z otoczeniem za pomocą myśli. Dzięki temu urządzeniu można określić przeżywane aktualnie emocje, na przykład radość, złość czy smutek ([http://tech.wp.pl/kat,1009779,title,Cyber-Oko-najlepszy-polski-wynalazek,wid,15425633,wiadomosc.html?ticaid=1120f9&\\_ti-crsn=3](http://tech.wp.pl/kat,1009779,title,Cyber-Oko-najlepszy-polski-wynalazek,wid,15425633,wiadomosc.html?ticaid=1120f9&_ti-crsn=3), dostęp 08.12.2014).

System musi spełniać wymogi techniczne i zawierać następujące główne elementy sprzętowe modułu śledzenia wzroku:

- komputer PC i monitor z zamocowanymi w rogach ekranu czterema diodami podczerwieni,
- zmodyfikowana kamerka USB, wrażliwa na pasma podczerwieni,
- piąta sekcja diod podczerwieni znajdująca się wokół obiektywu kamery, umieszczonej pod monitorem i skierowanej na twarz osoby znajdującej się przed ekranem.

Do oprogramowania należą dodatkowo cztery programy komputerowe:

- trening multimedialny – umożliwia przygotowywanie slajdów zawierających treści multimedialne, tj. grafikę i pliki dźwiękowe,
- test do badania świadomości – zestaw 12 zadań zawierający jedno ćwiczenie badające pole widzenia i ogólną sprawność wzroku oraz 11 zadań badających funkcje poznawcze, takie jak rozumienie, zapamiętywanie, przypominanie i logiczne myślenie,
- piktogramy – program umożliwiający wybieranie wzrokiem zwrotów, sformułowań lub zdań, które może chcieć wypowiedzieć pacjent,
- wirtualna klawiatura – program umożliwiający pisanie tekstu za pomocą wzroku: wybór liter odbywa się poprzez skupienie wzroku na obiekcie; istnieje też możliwość odczytywania wprowadzo-



nych w polu edycji tekstów dzięki synteze mowy ([http://tech.wp.pl/kat,1009779,title,Cyber-Oko-najlepszy-polski-wynalazek,wid,15425633,wiadomosc.html?ticaid=1120f9&\\_tictsrn=3](http://tech.wp.pl/kat,1009779,title,Cyber-Oko-najlepszy-polski-wynalazek,wid,15425633,wiadomosc.html?ticaid=1120f9&_tictsrn=3), dostęp 08.12.2014).

Cyber-oko można stosować nie tylko we wspomaganie terapii pacjentów w stanie wegetatywnym, ale również w wielu innych grupach docelowych osób z takimi zaburzeniami rozwojowymi jak: autyzm, niepełnosprawność intelektualna, deficyty sensoryczne, zaburzenia integracji sensorycznej oraz w pracy z dziećmi i młodzieżą pełnosprawną (<http://www.tvp.pl/wiedza/nauka-i-technika/polski-wynalazek-2013/galeriawynalazkow/cyberoko/10215954>, dostęp 08.12.2014). Cyber-oko jest rozwiązaniem technicznym służącym naprawie pewnych funkcji uszkodzonego mózgu. Problem ten z uwagi na duże znaczenie dla pedagogiki specjalnej zostanie szczegółowo omówiony w kolejnym rozdziale.

## ROZDZIAŁ 7

# Wybrane aspekty funkcjonowania mózgu osób z niepełnosprawnością

### 7.1. Wprowadzenie

Badania nad mózgiem wskazują w sposób jednoznaczny, iż w interdyscyplinarnym obszarze neuronauki można operować pojęciem uszkodzonego mózgu, chociaż jest ono bardzo trudne do zdefiniowania i wysoce niejednoznaczne. Powodem jest chociażby fakt, że nie da się stworzyć w pełni schematycznie uporządkowanego modelu rozwoju ludzkiego mózgu w całym cyklu życia. Przedstawione w rozdziale rozważania ograniczają się jedynie do zasygnalizowania problemu, bardzo istotnego dla pedagogów specjalnych. Wybór oraz sposób prezentowanej treści wynikają ze skorelowania funkcjonalnej aktywności mózgu z niepełnosprawnością osób, którymi zajmuje się pedagogika specjalna.

Jak to zostało już wspomniane, trajektoria rozwoju mózgu jest uwarunkowana genetycznie i przebiega w porządku hierarchicznym w dwóch stadiach: prenatalnym i postnatalnym. Każde stadium dzieli się na wiele okresów rozwojowych, według określonej prawidłowości. Polega ona na tym, że rozwój poszczególnych struktur i funkcji mózgu nie kończy się w danym okresie, ale trwa w następnych, zwiększając zakres i złożoność. Dotyczy to szczególnie wczesnie rozwijających się ośrodków nerwów przedsińkowych, węchu, słuchu i wzroku. Stąd uszkodzenia mózgu we wczesnych okresach powodują strukturalno-funkcjonalne zmiany praktycznie niemożliwe do usunięcia i skutkujące zaburzeniami przebiegu kolejnych etapów rozwo-

ju mózgu. Stosunkowo późno rozwijają się takie struktury mózgu jak: kora mózgowa, hipokamp oraz pewne okolice mózdzku. Stąd w ich obrębie mają miejsce zmiany funkcjonalne, które są bardziej podatne na oddziaływania o charakterze adaptacyjno-terapeutycznym (Rostowski 2012: 12). Zastanawiając się nad skutecznością oddziaływań terapeutycznych, należy więc wziąć pod uwagę wiele czynników, w tym wiek oraz czas i miejsce uszkodzenia układu nerwowego.

W rozdziale tym zostaną przedstawione podstawowe zagadnienia dotyczące neurologicznych i biochemicznych uszkodzeń mózgu oraz na tym tle charakterystyka działania mózgu u osób z autyzmem, wadą wzroku, wadą słuchu, dysleksją oraz afazją. Tych obszarów dotyczą dostępne wyniki badań przeprowadzonych przez neurobiologów, głównie z zastosowaniem metody fMRI obrazowania pracy mózgu. Zaprezentowane zostaną również aktualnie stosowane rozwiązania prowadzące do naprawy, a dokładniej: poprawy uszkodzonych funkcji mózgu. Z uwagi na złożoność problemu zaprezentowane zostaną jedynie wybrane zagadnienia. Kryterium wyboru stanowi przydatność omawianych wątków dla osób zajmujących się naukowo i praktycznie osobami z niepełnosprawnością.

## 7.2. Uszkodzony mózg – ogólna charakterystyka problemu

Jak to zostało już opisane w rozdziale drugim, w kontekście omawiania budowy i działania mózgu, uszkodzenia układu nerwowego człowieka skutkują poważnymi problemami w jego funkcjonowaniu. Przykładowo uszkodzenie płata czołowego może wywoływać niedowład, porażenia kończyn, a także zaburzenia cech osobowości. Następstwem uszkodzenia płata ciemieniowego może być przeciwstronna niedoczulica. W płacie potylicznym znajdują się ośrodki wzrokowe, co skutkuje w przypadku jego uszkodzenia występowaniem zaburzeń w polu widzenia. Uszkodzenie w płacie skroniowym może być przyczyną problemów ze słuchem, a uraz kory mózgowej

może prowadzić do zaburzeń funkcji związanej z konkretnym, uszkodzonym obszarem, na przykład niedowładów, zaburzeń mowy czy niedowidzenia. Może też, wyzwalając nadmierną aktywność komórek leżących w sąsiedztwie uszkodzonej strefy, spowodować nadpobudliwość, a w konsekwencji wystąpienie napadów padaczkowych. Zwoje podstawy regulują napięcie mięśniowe i zapewniają kontrolę ruchów zautomatyzowanych. Ich uszkodzenie skutkuje zaburzeniami ruchu i postawy ciała. Pień mózgu odpowiada za funkcjonowanie najważniejszych czynności życiowych, takich jak oddychanie, praca serca, przemiana materii i regulacja temperatury. Z kolei mózdzek moduluje napięcie mięśni i wpływa na utrzymanie prawidłowej postawy ciała. Jego uszkodzenie skutkuje zaburzeniami wykonywania ruchów precyzyjnych i powoduje trudności w utrzymywaniu równowagi ciała. Głównym skutkiem uszkodzenia rdzenia kręgowego jest trwałe kalectwo lub utrata czucia i możliwości wykonywania ruchu poniżej miejsca urazu. Stopień niepełnosprawności zależy od miejsca i wielkości uszkodzenia (Nyka 1996: 262–267).

Osoby dorosłe mające uszkodzone płaty czołowe są funkcjonalnie podobne do małych dzieci. Podobieństwo dotyczy takich zachowań jak: słabe poczucie czasu, krótki okres skupienia uwagi, brak samokontroli, hamowanie zachowań oraz obniżona samoświadomość. Ten rodzaj uszkodzenia neurologicznego mózgu opóźnia i bardzo mocno ogranicza rozwój zdolności poznawczych. Problem polega dodatkowo na tym, iż płaty czołowe dojrzewają najwolniej i od początku nie nadążają pod względem rozwojowym za innymi obszarami mózgu. W okresie prenatalnym jest to ostatni rozwijający się rejon mózgu. Po urodzeniu problem nie znika. Synapsy w płatach czołowych tworzą się i przerzedzają wolniej niż w innych częściach mózgu. Osiągają one odpowiednio wysoką gęstość dopiero około siódmego roku życia. Przykładowo w korze wzrokowej proces ten zachodzi już w pierwszym roku życia (Eliot 2010: 553).

Czynnikiem biochemicznym ograniczającym postęp poznawczy osoby z uszkodzonymi płatami czołowymi jest, podobnie jak u małego dziecka, neuroprzebieg o nazwie dopamina. Jego poziom rośnie stosunkowo wolno, a niestety oddziałuje on na wiele obwodów

nerwowych w mózgu. Mielinizacja włókien w płatach czołowych trwa dwadzieścia kilka lat (Diamond 1996: 1483–1494). Badania aktywności elektrycznej i metabolicznej wykazały, iż niedojrzałość płatów czołowych u małych dzieci, podobnie jak ich uszkodzenie u dorosłych, powoduje znaczne ograniczenie zdolności umysłowych. Osoby takie nie są zdolne na przykład do samokontroli czy elastycznego myślenia (Eliot 2010: 553).

Kolejne interesujące dla pedagoga specjalnego kwestie to: W jaki sposób mózg tworzy inteligencję? Jakiego rodzaju uszkodzenia mózgu mogą zakłócać tworzenie się inteligencji? Odpowiedź wiąże się z odmiennością funkcji dwóch półkul mózgowych i przebiegiem rozwoju mózgu w pierwszych latach życia. Dziecko rodzi się z przewagą prawej półkuli nad lewą, gdyż szczególnie istotne dla jego rozwoju są zdolności wzrokowo-przestrzenne, za które ona dopowiada. W drugim roku życia – kiedy zaczyna mówić, staje się bardziej świadome siebie i swoich motywów – rozwój półkuli lewej i prawej ulega wyrównaniu. Około czwartego roku życia w sposób istotny poprawia się komunikacja pomiędzy półkulami, co prowadzi do pełnego rozwoju świadomości (Gazzaniga 1995: 1391–1400). Wtedy ma miejsce integracja strony analitycznej i intuicyjnej mózgu. Półkula lewa odpowiada bowiem za sekwencyjne przetwarzanie informacji i operowanie symbolami, a więc za rozwój języka i racjonalne myślenie. Półkula prawa przetwarza informacje bardziej całościowo i równocześnie, ma więc większy udział w emocjach. U większości ludzi półkula lewa dominuje nad prawą (Eliot 1995: 554).

### 7.3. Przykładowe możliwości poprawy funkcjonowania uszkodzonego mózgu

Znaczenie technik neuroobrazowania pracy mózgu w diagnozie funkcji poznawczych jest niezaprzeczalne. Mapowanie mózgu prowadzi do przydzielania określonych funkcji jego odpowiednim obszarom i pozwala wyprowadzić wnioski, jak uszkodzenie mózgu

w obrębie jego konkretnego obszaru zaburza, lub wręcz wyłącza daną funkcję. Powstaje pytanie: jak wykorzystać tę wiedzę? Można przewidywać skutki funkcjonowania poznawczego, znając lokalizację uszkodzenia w mózgu, można kontrolować zmiany poznawcze i kierunek rehabilitacji. W końcu można spróbować opracować nowe narzędzia terapeutyczne oddziałujące na dany obszar mózgu, stymulujące jego funkcjonowanie.

W tym miejscu należałoby bardzo wyraźnie podkreślić, że na podstawie doniesień literaturowych uprawnione jest stwierdzenie (co znajdzie odzwierciedlenie w kolejnym podrozdziale), iż metoda rezonansu magnetycznego jest wiodącą metodą stosowaną we wszystkich badaniach empirycznych prowadzących do mapowania mózgu i na tej podstawie służącą wyprowadzaniu wniosków o jego funkcjonowaniu (Blakemore, Frith 2005: 57, 83, 107, 118; Spitzer 2007: 141; Ramachandran 2012: 159 i in.). Problem, o którym piszą autorzy badań, to małe grupy badawcze (często są to jedynie 3 lub 4 osoby), sztuczne warunki: stacjonarna, nieprzyjazna osobie badanej, wręcz stresująca ją aparatura badawcza i w końcu problem samej osoby badanej, związany z koniecznością utrzymania stałej postawy podczas badania. Jest to praktycznie nie do osiągnięcia w przypadku małych dzieci, a tym bardziej dzieci z niepełnosprawnością.

Poprawa funkcjonowania uszkodzonego mózgu jest możliwa poprzez wykorzystanie jego neuroplastyczności. W tym rozumieniu chodzi o jego zdolność do powracania do normy, przykładowo dzięki zastępowaniu utraconych lub uszkodzonych systemów aktywności neuronalnej poprzez reorganizację tych, które pozostały zachowane. Bardzo podobnie do tak rozumianej plastyczności mózgu funkcjonuje odporność o podłożu genetyczno-neuronalnym (ang. *resilience*). Jest to rozwojowy, dynamiczny proces pozytywnej adaptacji i kompetentnego funkcjonowania pomimo niekorzystnych okoliczności, przykładowo urazu (Cicchetti, Blender 2006: 249). Taka neuronalna plastyczność stanowi podstawę dla zdolności do zmian właściwości ośrodkowego układu nerwowego, w tym procesów umysłowych, przykładowo uczenia się i pamięci. Rozróżnia się także neuronalną plastyczność poznawczą. Polega ona na stosowaniu twórczych stra-

tegi do polepszenia funkcjonowania w sferze intelektualnej, emocjonalnej oraz społecznej (Rostowski 2012: 57). Mózg reagując na bodźce, dzięki swojej plastyczności tworzy nowe ślady pamięciowe, buduje nowe białka i nowe połączenia synaptyczne. Plastyczność mózgu, dostarczanie odpowiednich bodźców dla jego rozwoju (zwłaszcza w okresach wrażliwych opisanych w rozdziale trzecim) oraz ćwiczenia umysłowe to podstawa jego prawidłowego funkcjonowania. Jednocześnie jest to szansa dla osób, których mózg nie funkcjonuje do końca prawidłowo. Michael O'Shea w książce pt. *Mózg pisze*: „Warto więc pamiętać o tym, że mózgu trzeba używać, aby go nie stracić” (O'Shea 2012: 134). To, jak będą go używać osoby z niepełnosprawnością, zależy w dużej mierze od odpowiednio zaplanowanej i indywidualnie dobranej terapii uwzględniającej aktualne osiągnięcia neuronauki.

Plastyczność neuronalna jest największa w okresie neurogenezy obejmującej okres tworzenia się mózgu. Rozwój neuronów we wczesnych okresach życia jest bardzo podatny na działanie czynników zewnętrznych, o czym była mowa w rozdziale drugim. Bardzo istotna dla planowania pracy pedagoga specjalnego jest świadomość, że jeśli w okresach krytycznych, w których plastyczność neuronalna jest największa, zabraknie odpowiednich bodźców, neurony rozwiną się nieprawidłowo i mózg w przyszłości będzie wykazywał poważne problemy z przetwarzaniem informacji charakterystycznych dla tych bodźców (Vetulani 2011: 89). Czas na odpowiednio dobraną terapię zostanie bezpowrotnie stracony. Mózg będzie w obszarze sensorycznym, odpowiedzialnym za przetwarzanie tych bodźców, wręcz uszkodzony. Przykładowe badania w tym zakresie, potwierdzające tę teorię, przeprowadzono u osób niewidomych od urodzenia. Miały one problemy ze wzrokiem, wynikające z wrodzonej katarakty. Jeśli w wyniku operacji chirurgicznej odzyskiwały funkcjonalnie wzrok w wieku 10 lat lub powyżej tej granicy, ich mózg nie był w stanie prawidłowo przetwarzać bodźców wzrokowych, były dla niego niezrozumiałe (Vetulani 2011: 90). Pedagogika specjalna, wprowadzając pojęcie wczesnego wspomaganie rozwoju dziecka, uwzględniła te prawidłowości. Mózg dziecka o specjalnych potrzebach rozwojowych

musi być bombardowany nowymi bodźcami, wrażeniami, które sprowokują odpowiedzi i zmuszą mózg do pracy. Okres krytyczny, uzależniony od doświadczenia, z uwagi na swoje podłoże neuronalne, może stanowić istotne źródło zaburzeń zachowania, zwłaszcza w okresie od niemowlęctwa do wczesnej młodości lub z odroczeniem w dorosłości. Te same bodźce działające w różnych okresach krytycznych mogą wywoływać znacząco inne skutki rozwojowe. Duża plastyczność mózgu to wzbogacony rozwój, ale również zwiększona podatność dziecka na możliwe zaburzenia (Rostowski 2012: 61–63).

Biologia współdziała z pracą terapeutyczną. W późniejszym niż opisany okresie optymalny rozwój mózgu zapewnia rywalizacja nazywana „darwinizmem neuronalnym”, prowadząca do wymierania pomiędzy 8. a 15. rokiem życia dużej liczby neuronów. Mózg decyduje, kiedy i co uznaje za przydatne dla swojego rozwoju. Wzbogacone, zróżnicowane, atrakcyjne środowisko, w tym wysiłek intelektualny, powoduje, że staje się on bardziej inteligentny. Neurogeneza ma również miejsce w mózgu osób dojrzałych. Wykazywanie plastyczności przez mózg przez całe życie to szansa na lepsze funkcjonowanie. Jerzy Vetulani pisze: „jesteśmy tak młodzi, jak młody i plastyczny jest nasz mózg, powinniśmy dbać o to, aby plastyczność mózgu utrzymywać” (Vetulani 2011: 91).

Plastyczność mózgu dla działań terapeutycznych jest bardzo cenna, stanowi wręcz szansę na sukces w tym zakresie. Może ona jednak stać się pułapką dla poprzedzającej terapię obiektywnej i rzetelnej diagnozy. Neurony wykazują bowiem, oprócz zdolności plastycznych, również zdolności kompensacyjne. Podczas gwałtownego i niekorzystnego, bo o podłożu chorobowym, wymierania ich, pozostałe neurony przejmują funkcje i zwiększają swój wysiłek. Jest to charakterystyczne dla chorób neurodegeneracyjnych, takich jak parkinson czy alzheimer. Pierwsze widoczne objawy choroby mają miejsce po wymarciu od 70% do 80% zniszczonych przez chorobę neuronów. Późne rozpoznanie choroby wyklucza skuteczną terapię (Vetulani 2011: 89). Problem kompensacyjnych zdolności neuronów jest aktualnie słabo rozpoznany. Zainteresowanie neurobiologów dotyczy głównie plastyczności neuronalnej mózgu. Dla pedagogów



specjalnych zdolność kompensacji neuronalnej stanowi bardzo ciekawy i obiecujący obszar badawczy. Wykorzystanie podczas odpowiednio zaplanowanej terapii zdolności kompensacji neuronalnej może stanowić podstawę poprawy funkcjonowania osób z niepełnosprawnością.

Kolejny obszar badań interdyscyplinarnych wnoszących istotny wkład w problematykę naprawy uszkodzonego mózgu obejmuje współdziałanie neuronauk z naukami technicznymi, w tym inżynierią, informatyką i robotyką. Zakłada on możliwość tworzenia hybryd składających się z mózgu i maszyny (O’Shea 2012: 135). Problematyka ta w kontekście przywracania funkcji słuchu lub wzroku została opisana i zilustrowana praktycznymi przykładami w rozdziale szóstym (omawia on możliwości przywracania funkcji sensorycznych za pomocą interfejsu mózg–komputer). Inny, nowy i bardzo obiecujący obszar badawczy to próba skonstruowania organicznych komputerów, wyposażonych w sztuczną inteligencję, która byłaby w stanie naśladować nieliniarny i charakterystyczny dla ludzkiego mózgu sposób przetwarzania informacji. W ramach prac nad modelem ludzkiego mózgu tworzone są sztuczne sieci neuronowe (ang. *artificial neural networks*, ANN), tak skonfigurowane, aby rozpoznawać skomplikowane wzorce bodźców oraz reagować na nie i ewoluować, czyli zmieniać się według algorytmów genetycznych. Prowadzi to do konstrukcji sztucznych układów nerwowych dla autonomicznych, mobilnych robotów i pozwala na prowadzenie zaawansowanych badań nad mózgiem bez ingerencji (nawet diagnostycznej) w mózg człowieka. W ten sposób sztuczne mózgi robotów radzą sobie z rzeczywistymi problemami. Zadaniem do rozwiązania jest relacja mózg–umysł opisana w rozdziale drugim, a konkretnie zjawisko ludzkiego myślenia. Ostatecznym celem jest konstrukcja z żywych komórek neuronowych komunikujących się z elektronicznym medium organicznego komputera będącego protezą ludzkiego mózgu, o umiejętności myślenia podobnej do ludzkiej (O’Shea 2012: 144).

Prototypem tego urządzenia, działającym w oparciu o stymulację neuronów, są aktualnie konstruowane maszyny przeznaczone do naprawiania uszkodzonego mózgu, działające w dwóch obszarach.

Pierwszy typ to implant elektrycznie stymulujący neurony i tym samym zastępujący uszkodzoną funkcję sensoryczną. Najprostsze urządzenia działające w ten sposób to implant ślimakowy oraz implant wzrokowy, opisane w rozdziale szóstym. W drugim przypadku urządzenie umieszczane w pobliżu mózgu używane jest do rozpoznawania sygnałów pochodzących z neuronów. Sygnały te są odpowiednio przetwarzane i wzmacniane w komputerze, a następnie wykorzystywane do kontroli działania urządzeń elektronicznych lub mechanicznych, zastępujących uszkodzone funkcje człowieka. W ten sposób technologia umożliwia zamianę ludzkiej myśli w działanie. Urządzenia tego rodzaju wykorzystywane są aktualnie głównie do kontroli ruchu, przykładowo w ramach komunikacji alternatywnej.

Mechanizm stymulowania dróg neuronalnych z wykorzystaniem nowoczesnych technologii jest stosowany w medycynie. Przykładowo ma miejsce w leczeniu chronicznego bólu lub przy wykorzystaniu stymulujących elektrod wszczepionych w jądra podstawy mózgu, poprawiających jakość życia osób z chorobą Parkinsona. Aktualnie prowadzone są prace nad współdziałaniem ze sobą dwóch mózgów: naturalnego ze sztucznym, kontrolującym mózg biologiczny i powstrzymującym go od możliwych, szkodliwych działań lub dawkującym leki. Przykładowo dotyczy to pacjentów cierpiących na napady epileptyczne (O'Shea 2012: 148–149).

Wszystkie zaprezentowane rozwiązania techniczne mają jedną zasadniczą wadę. Ich działanie oparte jest na sztucznym odtwarzaniu uszkodzonych lub zniszczonych ścieżek neuronalnych, a tym samym omijaniu uszkodzonych obszarów i połączeń w mózgu. Radykalnie ingerują w organizm człowieka i jego zachowanie techniki psychochirurgiczne, których stosowanie w chwili obecnej jest prawnie ograniczone, gdyż polegają one na bezpośrednim ingerowaniu w czynności mózgu przy nieprzewidywalnych i często szkodliwych efektach ubocznych. Ich jedyną zaletą to etycznie dyskusyjna droga uzyskiwania wiedzy o kompleksowej pracy mózgu (Eysenck 2003: 161). Są one wykorzystywane głównie w celu polepszenia stanu zdrowia osób z epilepsją.

Stąd dużo bardziej interesującym problemem badawczym, dotyczącym naprawiania uszkodzonego mózgu, jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy i jak uszkodzony mózg może ulec samonaprawie? Odpowiedź została w pewnym sensie udzielona już w ramach wcześniej prezentowanych rozważań na temat plastyczności neuronalnej. W tym przypadku ma miejsce odtwarzanie, a nie omijanie uszkodzonych lub zniszczonych ścieżek neuronalnych. Centralne ścieżki neuronalne w mózgu, w przeciwieństwie do obwodowych sensorycznych, nie posiadają zdolności regeneracji. Stąd aktualnie prowadzone badania dotyczą odpowiedzi na pytanie: Dlaczego centralny system nerwowy nie może się samodzielnie zregenerować? Istnieją podstawy, by sądzić, że w dojrzałym centralnym układzie nerwowym produkowane są inhibitory hamujące odrastanie aksonów w miejscu uszkodzenia mózgu. Proces ten nie zachodzi w obwodowym systemie nerwowym i, co najważniejsze, w młodym mózgu. W młodym, rozwijającym się mózgu osłonka mielinowa wzmacnia wzrost młodych aksonów i to stanowi szansę na jego samonaprawę. W mózgu osoby dorosłej problem można rozwiązać (jeśli w ogóle jest to realne) jedynie na drodze farmakologicznej (O'Shea 2012: 154–156).

W ramach prac nad problemem samonaprawy uszkodzonego mózgu badacze dostrzegli możliwości w stymulacji procesu neurogenezy przez komórki macierzyste układu nerwowego. Mogą być one źródłem nowych neuronów, dzieląc się okresowo w dwóch rejonach mózgu: komorach zawierających płyn mózgowo-rdzeniowy, który odżywia ośrodkowy układ nerwowy, oraz w hipokampie – strukturze mózgu odpowiadającej za procesy nauki i zapamiętywania, głównie przyswajania nowych informacji. W mózgach dorosłych osób nowe neurony znajdowano podczas badań w dwóch miejscach: właśnie w hipokampie oraz opuszkach węchowych, służących do analizy zapachów. Mechanizm powstawania nowych neuronów w mózgu, których źródłem są komórki macierzyste, polega na ich okresowym podziale prowadzącym do powstawania kolejnych komórek macierzystych oraz komórek prekursorowych. Z nich rozwijają się neurony lub komórki pomocnicze, czyli glejowe. Komórki prekursorowe oddalają się od źródła, czyli migrują i różnicują. Około połowa z nich

ginie, pozostałe odnawiają układ nerwowy. Tłumaczy to zjawisko, iż u dorosłych ludzi po uszkodzeniu mózgu ma miejsce poprawa jego stanu, ale nigdy całkowita. Badania prowadzone w ramach neuro nauki postawiły sobie za cel opracowanie metod skłaniania komórek macierzystych lub prekursorów do podziałów i różnicowania się wtedy, gdy zaistnieje taka potrzeba. To zjawisko umożliwiłoby samonaprawę uszkodzonego mózgu – wyleczyłby się on sam (Alvarez-Buylla, Garcia-Verdugo 2002: 629–634).

Ostatni problem to sytuacja, w której mózg nie jest fizycznie uszkodzony, ale pomimo to działa w sposób nieprawidłowy. Ma to miejsce w takich chorobach jak depresja czy schizofrenia, kiedy nie są uszkodzone ścieżki nerwowe, ale komunikacja chemiczna. W mózgu istnieją dwa typy neurotransmiterów, które tworzą sieć połączeń hamujących lub przyspieszających połączenia pomiędzy neuronami. Zakłócenie w zakresie ich działania skutkuje nieprawidłową pracą mózgu. Problem dotyka 20%–40% dorosłych osób, jest znany od ponad pół wieku. Niestety wciąż niewiele wiadomo na temat jego neurobiologicznych podstaw (O’Shea 2012: 158). Zainteresowanie tą problematyką ze strony pedagogiki specjalnej obejmuje jedynie spektrum autyzmu. Istnieją bowiem podejrzenia, formułowane obecnie na etapie prac badawczych, że niektóre objawy spektrum autyzmu, podobnie jak choroba dwubiegunowa, mają podłoże w biochemicznym uszkodzeniu pracy mózgu.

Uszkodzony mózg to niestety również uszkodzony umysł. O ile badania mózgu, zwłaszcza na skutek rozwiniętych metod jego neuroobrazowania, są możliwe, o tyle badanie umysłu stanowi bardzo duże wyzwanie. Uszkodzony mózg nie tylko uniemożliwia w dużym stopniu poznawanie otaczającej rzeczywistości, ale skutkuje tworzeniem się w umyśle jej fałszywego obrazu. Problem w tym, iż tworząc nieprawdziwe, ale sugestywne doświadczenia, człowiek jest przekonany o ich prawdziwości. Stąd często mówi się, że żyje on we własnym świecie. W przypadku osoby z niepełnosprawnością pedagog specjalny czy terapeuta powinni ten świat nie tylko zdiagnozować, rozpoznać, ale również zrozumieć i kształtować. Jest to dużo trudniejsze niż stwierdzenie, jak pracuje mózg. W tym procesie, jak zostało wy-

kazane w niniejszej pracy, pomaga technika. Nawet prawidłowo działający mózg może nie mówić prawdy o otaczającym świecie (Frith 2011: 51). Dlatego problem dotyczący tego, jak powstaje wewnętrzny świat człowieka, w tym również osoby z niepełnosprawnością, daleko wykracza poza ramy tego opracowania. O tym, co na podstawie aktualnie przeprowadzonych badań wiadomo na temat uszkodzenia mózgu osób z wybranym rodzajem niepełnosprawności, będzie mowa w podrozdziale 7.4.

#### 7.4. Co wiadomo o uszkodzeniu mózgu u osób z niepełnosprawnością – wybrane przykłady

Najlepiej poznany układem zmysłowym w mózgu jest układ wzrokowy, dlatego też zostanie on omówiony w pierwszej kolejności. Uszkodzenie obszarów mózgu odpowiedzialnych za kolejno następujące po sobie etapy przetwarzania informacji wzrokowej powoduje bardzo konkretne problemy ze wzrokiem i zakłóca przekazywanie informacji ze świata zewnętrznego. Uzyskiwana wiedza zależy od etapu transmisji, na którym ma miejsce uszkodzenie, i ma bardzo konkretną nazwę medyczną. Pierwsza reprezentacja widzianego obrazu występuje w neuronach z tyłu siatkówki. Wysyła ona sygnał przez wzgórze położone w centralnej części mózgu, służące do przekazywania sygnałów zmysłowych do pierwszorzędnej kory wzrokowej znajdującej się w tylnej części mózgu. Obraz, który tam powstaje, ma charakter fotograficzny. Neurony znajdujące się w lewym górnym obszarze kory reprezentują prawą dolną część obserwowanej rzeczywistości. Uszkodzenia w pierwszorzędnej korze wzrokowej, w zależności od ich lokalizacji, skutkują różnymi problemami ze wzrokiem, między innymi ślepowidzeniem. Na przykład zaburzenie w lewym górnym obszarze powoduje uszkodzenie widzenia prawej dolnej części obrazu, nazywane hemianopsją. Przed przejściem do kolejnego etapu przetwarzania informacji wzrokowej ma miejsce rozłożenie sceny

wzrokowej na takie cechy jak: kształt, kolor i ruch. Następnie są one przekazywane do różnych obszarów mózgu. Uszkodzenie obszaru odpowiedzialnego za daną cechę skutkuje zaburzeniem tej funkcji widzenia. I tak uszkodzenie obszaru odpowiedzialnego za kolor skutkuje czarno-białym widzeniem i nazywane jest achromatopsją, a akinotopsja to efekt uszkodzenia obszaru odpowiadającego za widzenie ruchu. Na kolejnym etapie przetwarzania informacji wzrokowej następuje łączenie takich cech jak kształt i kolor, prowadzące do identyfikacji oglądanego obiektu. Uszkodzenie tego obszaru mózgu powoduje, że informacja wzrokowa jest dostępna, ale nie jest zrozumiała. Ma miejsce tzw. brak wiedzy na jej temat nazywany agnozją. Wiele badań dowodzi, że mózg może tworzyć fałszywą wiedzę o świecie zewnętrznym – przykładem są napady padaczkowe. Niekontrolowana aktywność elektryczna rozpoczyna się w niewielkim uszkodzonym obszarze mózgu i rozprzestrzenia na pozostałe. Efekt funkcjonalny zależy od tego, za co ten obszar mózgu jest odpowiedzialny. U 5% pacjentów ma on miejsce w korze wzrokowej i skutkuje widzeniem nieistniejących obrazów (Frith 2011: 36–42).

Jako kolejny zostanie omówiony problem działania mózgu osoby z uszkodzonym słuchem. Działanie układu słuchowego człowieka stanowi szeroko omówiony w literaturze problem (por. Moore 1999; Hamill, Price 2008). Układ ten (ujmując rzecz w największym skrócie) podzielony jest na dwie części: centralną i obwodową. Po przejściu przez ucho zewnętrzne, małżowinę uszną, zewnętrzny przewód słuchowy i błonę bębenkową oraz ucho środkowe dźwięk zostaje ponad 20-krotnie wzmocniony. Energia akustyczna przekazywana jest następnie do ucha wewnętrznego, gdzie znajduje się błona podstawowa i właściwe organy zmysłowe słuchu, czyli komórki rzęsaty. Tu rozpoczynają pracę neurony. Neurony eferentne dochodzą do komórek zewnętrznych, a aferentne działają w wewnętrznych. Cechy dźwięku są zapamiętywane w postaci wzorca wyładowań neuronalnych, który w wyniku zjawisk o charakterze elektryczno-chemicznym przekazywany jest przez nerw słuchowy do kolejnych struktur centralnego układu słuchowego. Najbardziej złożony proces analizy akustycznej ma miejsce w korze mózgowej, w dwustronnych płatach

skroniowych. Regiony te są powiązane z obszarem Wernickiego, odpowiadającym za rozumienie mowy, oraz obszarem Brocka, odpowiadającym za jej tworzenie. Dokładne opisanie sieci funkcjonalnej mózgu odpowiedzialnej za analizę bodźców słuchowych pozostaje poza zakresem niniejszego opracowania. Istotne jest tutaj przybliżenie problemu plastyczności układu słuchowego. Najnowsze badania wskazują, że zmiany plastyczne mają miejsce na każdym poziomie drogi słuchowej. W większości przypadków polegają one na modyfikacji zachodzącej na poziomie reprezentacji synaptycznych. Jej mechanizm polega na zmianie siły odpowiedzi neuronalnych lub liczby komórek nerwowych. Zmieniona stymulacja zmysłowa może powodować takie modyfikacje strukturalne układu słuchowego jak zmiany położenia aksonów oraz zasięgu dendrytów (por. Norena 2011; Clapp i in. 2012). Rozwijające się techniki neuroobrazowania, głównie techniki EEG oraz fMRI, pozwoliły na przeprowadzenie odpowiednich badań, które wskazały na zakres i mechanizm funkcjonalnych zmian plastycznych zachodzących w obrębie układu słuchowego w okresie rehabilitacji z użyciem wspomagających urządzeń specjalistycznych oraz treningu. Badaniami objęto osoby z jednostronną głuchotą, obustronnie głuche z jednostronnym aparatem słuchowym, implantami ślimakowymi i szumami usznymi. Przykładowe wyniki to wskazanie za pomocą badań metodą fMRI u osób z głuchotą jednostronną na symetryczne aktywacje obu półkul mózgu w odpowiedzi na jednostronną stymulację. U osób normalnie słyszących odpowiedź ma miejsce w półkuli kontrlateralnej do stymulacji (Cieśla 2013: 16–23).

Pozostając w kręgu zainteresowań pedagogiki specjalnej, w dalszej kolejności przedstawić należy problem afazji w kontekście działania mózgu osoby z wadą słuchu. W literaturze afazja definiowana jest bardzo różnie. Tutaj przyjęta zostanie definicja Maruszewskiego (1970), według której afazja to częściowe lub całkowite zaburzenie mechanizmów programujących czynność nadawania i odbioru mowy występujące u człowieka, który wcześniej je opanował. Zaburzenie to jest spowodowane uszkodzeniem odpowiedzialnych za te czynności struktur mózgowych. W rozpatrywaniu problemu występujących po uszkodzeniach mózgu zaburzeń językowych u osób głuchych rozróż-

nia się dwa rodzaje afazji: afazję języka oralnego oraz afazję języka migowego (Poizner, Klima, Bellugi 1987: 32–58). Postawiono pytanie: Czy i jakie skutki mogą wystąpić u osoby głuchej posługującej się językiem migowym, jeśli do uszkodzenia mózgu dojdzie u niej w obszarze, który uszkodzony u osoby słyszającej powoduje afazję oralną? Badania prowadzone za pomocą obserwacji klinicznych wykazały, że za sprawność językową osoby głuchej, posługującej się językiem migowym, odpowiada – podobnie jak u osoby słyszającej – lewa półkula mózgu, a nie prawa, związana ze wzrokowo-przestrzennym charakterem przekazu. Kontroluje ona aspekt fonetyczny, semantyczny i syntaktyczny języka, niezależnie od formy jego przekazu, realizowany poprzez kanał głosowo-słuchowy czy wzrokowy. Stanowi to dowód uniwersalnej specjalizacji lewej półkuli. Interesujący wniosek dotyczy konsekwencji uszkodzenia prawej półkuli u osób głuchych i braku w tym przypadku deficytów w zakresie porozumiewania się językiem migowym (Emmorey, Lane 2000: 56–83). Deficyty, podobnie jak u osób słyszających, dotyczyły problemów z orientacją w przestrzeni, rozpoznawaniem kształtów i figur geometrycznych, projektowaniem, percepcją twarzy. Kolejne badania wykazały, że analogii w rozpatrywanym obszarze tematycznym jest więcej. Przykładowo afazję języka migowego może charakteryzować forma ekspresyjna, czyli motoryczna. Polega ona na zaburzeniu ekspresji znaków języka migowego pomimo braku niedowładu rąk. Odpowiada ona afazji Brocka u osób słyszających w zakresie języka oralnego i ma miejsce na skutek uszkodzenia w mózgu tzw. przedniego obszaru mowy. Druga forma afazji języka migowego nazywana jest odbiorczą, czyli recepcyjną. Polega ona na zaburzeniu rozumienia migów realizowanych przez inne osoby. Stanowi analogię do afazji Wernickiego u osób słyszających i wynika z uszkodzenia tzw. tylnego obszaru mowy w mózgu (Szeląg 2005: 109).

Najważniejszy wniosek wynikający z prezentowanych badań to stwierdzenie, że neuroanatomiczne podłoża języka oralnego i migowego są podobne i stanowią domenę lewej półkuli mózgu. Niezależnie od narządu zmysłu biorącego udział w przetwarzaniu informacji językowej porozumiewanie się jest kontrolowane przez lewą półkulę.



Badania prowadzone w omawianym zakresie problemowym z wykorzystaniem nowoczesnych metod neuroobrazowania mózgu z jednej strony potwierdziły, z drugiej zaś w pewnym stopniu podważyły zaprezentowane wcześniej opinie. Analiza porównawcza struktur mózgu zaangażowanych w czynność rozumienia mowy wykazała, że w obu sytuacjach, czyli słuchania treści przez osobę słyszącą i odbioru wzrokowego przez głuchą, miała miejsce analogiczna aktywacja w asocjacyjnej korze słuchowej, w obrębie okolicy Wernickiego oraz w płaszczyźnie skroniowej, która do niej przylega. Badania wykonane metodami neuroobrazowania pracy mózgu potwierdziły udział lewej półkuli w procesie recepcji mowy, niezależnie od modalności przekazu, tzn. czy miał on charakter oralny czy migowy. Dokładniejsze badania eksperymentalne wskazały jednak na pewien udział w analizie werbalnej u osób głuchych także półkuli prawej. Przedstawiony mechanizm zależał w dużej mierze od indywidualnych różnic badanych osób (Szelaż 2005: 108–111). Temat jest naukowo otwarty. Można przypuszczać, że rozwój techniki w zakresie metod neuroobrazowania pracy mózgu pomoże w lepszym poznaniu przedstawionego obszaru badawczego. Nie ulega najmniejszej wątpliwości, że w badaniach tych powinni czynnie uczestniczyć surdopedagodzy.

Kolejny obszar badawczy, który zostanie tu omówiony, dotyczy badań nad mózgiem osób z autyzmem. Autorem pionierskich prac dotyczących badań obrazowych mózgu u dzieci dotkniętych autyzmem jest Eric Courchesne. Prac badawczych w tym zakresie przeprowadzono bardzo wiele, praktycznie wszystkie z użyciem metody rezonansu magnetycznego. Na podstawie eksperymentów wykazano, że jeśli dziecko rozwija się prawidłowo, to w bardzo szybkim tempie nabywa ono zdolność mentalizacji. Około 5. roku życia potrafi zrozumieć złożone skrypty, czyli scenariusze społeczne. Dzieci autystyczne nie rozwijają takiej zdolności. Stąd hipoteza wadliwego modułu mentalizacji jako podstawy etiologii autyzmu. Potwierdziły ją badania oparte na wykorzystaniu metod neuroobrazowania mózgu. Zadania wymagające wnioskowania aktywują trzy kluczowe okolice mózgu społecznego. Należą do nich: przyśrodkowa kora przedczołowa (odpowiadająca za monitorowanie wewnętrznych stanów psychicznych

u siebie i innych), bruźda skroniowa górna (odpowiedzialna za rozpoznawanie oraz analizowanie ruchów i działań ludzi), a także biegunki skroniowe, które przylegają do ciała migdałowatego i są zaangażowane w przetwarzanie emocji.

U osób z zespołem Aspergera wymienione okolice mózgu wykazują słabsze połączenia i są tym samym mniej aktywne. Można więc przypuszczać, że istnieją specyficzne okolice mózgu, które u osób z autyzmem rozwijają się nieprawidłowo. Badania wskazują na płaty skroniowe, płaty czołowe i mózdzek, chociaż objawy nie są charakterystyczne dla jego uszkodzenia. U dzieci autystycznych nie obserwuje się typowego dla uszkodzenia mózdzku oczopląsu, drżenia zamiarowego czy ataksji. Prawdopodobnie zmiany w obrębie mózdzku u dzieci z autyzmem są spowodowane działaniem zmutowanych genów, czyli objawem ubocznym (Ramachandran 2011: 159). Wykazano również, że po pierwszym roku życia mózg dziecka z autyzmem staje się większy i cięższy. Ma on większe komory, czyli przestrzenie zawierające płyn mózgowo-rdzeniowy, niż mózg prawidłowo rozwijającego się dziecka. Może to wskazywać na nieprawidłowości w przebiegu procesu przycinania synaptycznego (Blakemore, Frith 2008: 103–104). Przedstawione wyniki badań dowodzą przydatności metod neuroobrazowania mózgu w badaniach etiologii autyzmu. Jednocześnie stanowią szansę na lepsze zrozumienie autyzmu i planowanie skutecznego postępowania terapeutycznego.

Poszukując neuronalnego mechanizmu autyzmu, pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX wieku zadano sobie pytanie: jakie są struktury w mózgu, których specyficzne funkcje odpowiadają objawom autyzmu? Odpowiedzi dostarczyły neurony lustrzane, które tworzą układ zajmujący się „czytaniem myśli” i odpowiadają za empatię, naśladownictwo mimiki, uczenie się języka (przynajmniej w początkowej jego fazie), zabawy w udawanie. Kliniczne objawy autyzmu i znane własności neuronów lustrzanych łączą uderzające podobieństwa. Prowadzi to do hipotezy, że zasadniczą przyczyną autyzmu jest zaburzenie układu neuronów lustrzanych (Ramachandran 2011: 160). Neurony lustrzane odgrywają również swoistą rolę w relacji mózg–umysł. Ewolucja układu neuronów lustrzanych doprowadziła do

wytworzenia wewnętrznych modeli zachowań i intencji innych, ale idąc dalej, można przypuszczać, że ich układ pozwala człowiekowi na reprezentację samemu sobie swojego własnego umysłu. Układ neuronów lustrzanych może stanowić fundament teorii umysłu i tłumaczyć, dlaczego wśród osób autystycznych są takie, które pomimo funkcjonowania na wysokim poziomie mają problem z odróżnianiem pojęć litości, współczucia czy poczucia własnej wartości (Ramachandran 2011: 164). Leczenie autyzmu jest bardzo trudne. Z reguły diagnoza ma miejsce stosunkowo późno, bo w 2., 3. roku życia dziecka. Odkrycie dysfunkcji neuronów lustrzanych stanowi szansę dla wczesnej diagnozy i skutecznej terapii, w tym wcześniejszego wprowadzania metod behawioralnych. Aktywność neuronów lustrzanych można obserwować w możliwie nieinwazyjny sposób przy zastosowaniu metody elektroencefalografii EEG. Przykładowo brak tłumienia rytmu „mi” może stanowić podstawę dla diagnozy autyzmu u niemowląt, nawet o charakterze przesiewowym. Inną szansą dla osób z autyzmem jest zastosowanie terapii biofeedback w leczeniu tego zaburzenia, podczas której zmienną kontrolowaną jest sygnał z mózgu. Istnieje też możliwość ingerencji farmakologicznej w działanie mózgu i w ten sposób podniesienia empatiogennych neuroprzekazników (Ramachandran 2011: 166).

Z tematyką przydatności metody encefalografii EEG oraz terapii biofeedback wiąże się przykład badań dotyczących oceny wpływu metody biofeedback na obraz EEG pracy mózgu oraz funkcje poznawcze dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym. Wykonano je ponad 10 lat temu w Klinice Neurologii i Rehabilitacji Dziecięcej Akademii Medycznej w Białymstoku. Badania przeprowadzono na niereprezentatywnej grupie 10 osób, z których każda poddana została 40 sesjom terapii metodą biofeedback. Analiza wpływu terapii metodą biofeedback na rehabilitację poznawczą dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym polegała między innymi na ocenie zmian amplitudy poszczególnych fal EEG, w szczególności fal theta, beta oraz fal SMR. Jednym z celów terapii była próba zredukowania amplitudy fal theta oraz wzmocnienie amplitudy fal beta i SMR. W ocenie zapisu jakościowego EEG, wykonanym przed rozpoczęciem oraz po zakończe-

niu cyklu treningów, nie nastąpiły istotne zmiany. Analiza ilościowa EEG (QEEG) wskazała, że w odczycie wykonanym na początku oraz w końcowym etapie rehabilitacji metodą EEG biofeedback występują dość znaczące różnice. W zakresie fali delta nastąpiło zmniejszenie jej amplitudy, co wskazuje na pozytywny wpływ oddziaływania użytej metody terapii na funkcje poznawcze. Podobne rezultaty dotyczyły fali theta. Amplituda fali alfa nie uległa zmianie. Natomiast w zakresie fal beta nastąpiła jedynie nieznaczna poprawa. Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowanie metody EEG biofeedback ma wpływ na zapis ilościowy EEG i poprawia go. W zakresie parametrów neurofizjologicznych mózgu w zapisie EEG w trakcie terapii biofeedback także zarejestrowano zmiany. Ocena stosunku fal theta do beta wykazała poprawę u 6 z 10 dzieci z porażeniem mózgowym poddawanych terapii. Redukcji uległa amplituda fali theta, natomiast wzmocnieniu amplituda fali beta. Ogólny stosunek fal theta do beta zmniejszył się. Gorsze wyniki otrzymano dla stosunku fal theta do SMR. Poprawa miała miejsce u 4 z 10 dzieci. Amplituda fal theta uległa u nich redukcji, natomiast amplituda fal SMR wzrosła. Ogólny stosunek fal theta do SMR wskazał u tych dzieci na poprawę. Zmiany w zakresie amplitudy dla poszczególnych fal w analizie ilościowej wykazały podobną do opisaną tendencję. Miała miejsce redukcja amplitudy fali theta oraz wzrost amplitudy fali beta, a także fali SMR, co wskazywało na poprawę pracy mózgu. Można przypuszczać, że poprawa zapisu EEG w trakcie terapii biofeedback w odniesieniu do amplitudy fal beta, SMR oraz theta, a także oceny ilościowej EEG, ma pozytywny wpływ na funkcje poznawcze dzieci.

Ocena zmian funkcji poznawczych przeprowadzona została również w badaniach metodą testów. Ocenione zostały takie funkcje poznawcze jak: pamięć, koncentracja, szybkość uczenia się wzrokowego i słuchowego oraz zakres stosowanego słownictwa. U większości badanych nastąpiła w tych obszarach poprawa funkcjonowania poznawczego. Najsilniejszy dodatni wpływ terapii metodą biofeedback miał miejsce w zakresie koncentracji uwagi. Korzystny wpływ terapii metodą EEG biofeedback na funkcje poznawcze dzieci z porażeniem mózgowym został wskazany również w badaniach ankietowych wy-

konanych w grupie rodziców. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na stwierdzenie, że neuroterapia prowadzona metodą EEG biofeedback wpływa korzystnie na obraz EEG, parametry neurofizjologiczne mózgu w zapisie EEG oraz funkcje poznawcze dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym. Można przypuszczać, że metoda okaże się również skuteczna w rehabilitacji poznawczej dzieci z autyzmem oraz u osób po urazach czaszkowo-mózgowych. Wykonane badania, z uwagi na niereprezentatywną grupę 10 dzieci, nie pozwoliły na uogólnienie uzyskanych wniosków. Pokazały one jednak pewną tendencję w podejściu do rehabilitacji poznawczej dzieci z porażeniem mózgowym i wskazały drogę możliwego postępowania terapeutycznego, opartą na wykorzystaniu neurotechnologii (<http://neurorehabilitacja.com/?file=faq/czy-neurofeedback-jest-skuteczny-w-mozgowym-porazeniu-dzieciecym>, dostęp 18.08.2014).

Następny przykład badań przeprowadzonych metodą elektroencefalografii będzie dotyczył odmiennego wzorca bioelektrycznej aktywności mózgu dzieci z dysleksją. Badania nad dysleksją i jej etiologią prowadzone są od kilkudziesięciu lat. Do tej pory nie sformułowano spójnej teorii wyjaśniającej to zjawisko. Wielu autorów uważa, że podłoże dysleksji ma charakter genetyczny. Inni twierdzą, że przyczyn należy poszukiwać w strukturze mózgu, w tym mikrouszkodzeniach jego okolic, funkcjonowaniu układu odpornościowego oraz gospodarki hormonalnej. Podłoża specyficznych trudności z czytaniem i pisaniem doszukano się między innymi w zjawisku nadprodukcji testosteronu w okresie prenatalnym, skutkującego zablokowaniem rozwoju lewej półkuli mózgu i kompensacyjnym rozwojem prawej (Behan i in. 1985: 13–18). Jednym z najbardziej zgodnych odkryć dokonanych w badaniach neuroobrazowych mózgu osób z dysleksją było stwierdzenie, że warstwa istoty białej leżąca pod powierzchnią mózgu jest cieńsza w ich mózgowym obszarze czytania niż u osób niewykazujących tego zaburzenia (Blakemore, Frith 2008: 91). Podczas czytania u dyslektyków mniej aktywne są główne składniki przetwarzania mowy i układu czytania w lewej półkuli mózgu (dowodzą tego badania realizowane w Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych). Koncepcji jest wiele, najbardziej rozpowszechniona zakłada deficyty

fonologiczne. Inne opowiadają się za tezą o uszkodzeniu wzrokowego systemu wielokomórkowego lub tłumaczą dysleksję zaburzeniami funkcji mózdzka, odpowiedzialnego za procesy uczenia się zautomatyzowanych czynności (Nicolson i in. 1999: 508–511).

Badania dotyczące wzorca bioelektrycznej aktywności mózgu dzieci z dysleksją zostały przeprowadzone w roku 2013 w Instytucie Fizjologii i Patologii Słuchu w Naukowym Centrum Obrazowania Biomedycznego. Grupa badawcza była reprezentatywna; stanowiła ją 36 dzieci z dysleksją oraz 27 bez zaburzeń (dobranych pod względem płci i wieku). Badania wstępne polegały na wykonaniu testów czytania sensownych i sztucznych wyrazów. Następnie dokonano rejestracji sygnału EEG mózgu każdego dziecka w dwóch sesjach: z oczami otwartymi oraz zamkniętymi. Uzyskane wyniki opracowano ilościowo metodą QEEG (możliwości metody QEEG opisane zostały w rozdziale czwartym niniejszej pracy). Pozwoliły one na wyprowadzenie wniosków dotyczących specyficznego wzorca spoczynkowej czynności elektrofizjologicznej mózgu dzieci z dysleksją. Wykazano, że istnieje związek fal delta, theta i beta (18–35 Hz) z procesem czytania. Zmiany rejestrowane były szczególnie w okolicach skroniowych. Przeprowadzone badania wskazują na przydatność nowoczesnych technik obrazowania pracy mózgu w procesie diagnozy i terapii zaburzeń językowych (Lewandowska i in. 2013: 36–43).

Podobne do zaprezentowanych badania mogą i powinny być prowadzone w odniesieniu do dzieci z niepełnosprawnością. Aktualnie są one realizowane w Katedrze Zastosowań Techniki w Diagnostyce i Rehabilitacji Osób z Niepełnosprawnością Instytutu Pedagogiki Specjalnej na Uniwersytecie Pedagogicznym w Krakowie i będą stanowić temat osobnych publikacji.

## Podsumowanie

Obecny stan wiedzy na temat mózgu, w tym realizowane w ostatnim czasie badania wykorzystujące techniki neuroobrazowania jego pracy, dają podstawę do stwierdzenia, że w ramach badań pedagogicznych powinno, a wręcz musi nastąpić przeniesienie wiedzy z badań nad mózgiem na badania nad rehabilitacją i edukacją osób ze specjalnymi potrzebami. W obliczu konieczności określenia kierunku tych zmian uwzględnienie neurobiologicznych podstaw diagnozy, rehabilitacji i edukacji daje realną szansę na uchronienie się przed popełnieniem błędów podczas podejmowania tak bardzo istotnych dla systemu kształcenia specjalnego decyzji. Osobom niepełnosprawnym daje zaś szansę na efektywną, trafną i rzetelną rehabilitację. Działania w tym zakresie są od lat intensywnie prowadzone w dwóch obszarach naukowych: neuropsychologii i neurolingwistyki (np. Szełąg 2005; Pąchalska 2009 i in.)

Zastosowanie metod obrazowania mózgu w pedagogice specjalnej wspomże weryfikację empiryczną prowadzonych obecnie badań w zakresie funkcjonowania mózgu i różnic indywidualnych, ujmowanych z perspektywy poznawczej i neurokognitywistycznej w ich aspekcie pedagogicznym. Celem tych badań są próby identyfikowania mechanizmów wybranych funkcji mózgu i cech indywidualnych poprzez poszukiwanie elementarnych procesów przetwarzania informacji i zmiennych neurobiologicznych leżących u ich podstaw. Prowadzone badania obejmują takie obszary funkcji poznawczych mózgu jak: pamięć robocza, kontrola poznawcza, nabywanie wiedzy, podejmowanie decyzji, regulacja emocji, regulacja poziomu stymulacji i poziomu aktywacji, samoregulacja, automatyczne i nieświadome procesy poznawcze oraz różnice indywidualne w zakresie funkcjonowania mózgu osób z różnym typem niepełnosprawności. W badaniach uwzględnione są także zagadnienia neuropsychologii klinicznej

dotyczące zmian funkcjonowania mózgu u osób z niepełnosprawnością intelektualną. Zamierzonym efektem badań wykorzystujących metody obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej jest stworzenie teoretycznych i empirycznych podstaw do opracowania modeli funkcjonalnej architektury mózgu osoby z konkretnym rodzajem niepełnosprawności, uwzględniających jej indywidualne możliwości, potrzeby, a nawet zainteresowania. Badania dotyczą aplikacyjnych zastosowań w zakresie diagnozy, treningu i rehabilitacji funkcji poznawczych mózgu u osób ze specjalnymi potrzebami. W tym celu, dzięki istniejącemu na uczelni zespołowi badawczemu i jego wynikom naukowym oraz współpracy międzynarodowej, przy Wydziale Pedagogicznym Uniwersytetu Pedagogicznego zostało w kwietniu 2015 roku powołane Centrum „Pro Futuro” Wsparcia Osób ze Specjalnymi Potrzebami Rozwojowymi i Edukacyjnymi z Wykorzystaniem Nowoczesnych Technologii.

Planowane i aktualnie realizowane przez pracowników Centrum zadania naukowo-badawcze są na gruncie pedagogiki specjalnej innowacyjne. Stało się to możliwe poprzez podjęcie współpracy w jednym zespole naukowym przez osoby posiadające wiedzę z zakresu pedagogiki specjalnej, neuroterapii poznawczej oraz techniki. Niniejsza książka pokazuje myśl przewodnią tych badań, jest bowiem próbą uzyskania odpowiedzi na fundamentalne pytanie zadane przez biologa Lisę Eliot w tytule książki *Co tam się dzieje? Jak rozwija się mózg i umysł w pierwszych pięciu latach życia*. Autorka pisze: „Nie zdołamy zrozumieć umysłu dziecka, dopóki nie zrozumiemy struktury i fizjologii jego mózgu. [...] Od pierwszego podziału komórki rozwój mózgu jest subtelnym ciągiem wzajemnych oddziaływań genów i środowiska” (Eliot 2010: 15). Jako przykład podejścia badawczego wykorzystującego nowoczesne techniki badawcze autorka wskazuje, iż opracowano już nieinwazyjne metody badania niemowląt oparte na metodzie obrazowania mózgu EEG, niemniej odbiegające od klasycznej encefalografii. Ilustrację stanowi obraz uśmiechniętego, trzymiesięcznego niemowlęcia, badanego za pomocą czepka zawierającego 60 elektrod, w ramach studium percepcji języka we wczes-



nym okresie życia, prowadzonego przez Ghislaine Dehaene-Lambertz i Stanisława Dehaene (Eliot 2010: 16).

Problem z małymi dziećmi oraz dziećmi z niepełnosprawnością polega na częstym i niezamierzonym braku ochoty do współpracy, nagłych, nieoczekiwanych ruchach, kręceniu się, wierceniu, płaczu czy zapadaniu w sen podczas badania. Badanie takie powinno być prowadzone przez pedagoga specjalnego ze stosownym przygotowaniem technicznym, umiejącego kalibrować działanie sprzętu, dostosowywać go do możliwości osoby badanej. Podejmując to wyzwanie, w Instytucie Pedagogiki Specjalnej Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie powołano kilka lat temu Katedrę Zastosowań Techniki w Diagnostyce i Rehabilitacji Osób z Niepełnosprawnością. Jej pracownicy prowadzą od kilku lat badania nad głosem i mową dźwiękową osób z problemami komunikacyjnymi z wykorzystaniem komputerowych technik wizualizacji sygnału, a aktualnie podejmowane są pierwsze prace polegające na zastosowaniu metod elektroencefalografii QEEG oraz potencjałów wywołanych ERP do badania pracy mózgu osób z niepełnosprawnością podczas ich aktywności poznawczej. Pierwszą grupę badawczą stanowią dzieci z zespołem Downa. Wyniki tych i innych badań osób z niepełnosprawnością, prowadzonych z wykorzystaniem neurotechnologii, zostaną przedstawione w formie osobnych publikacji. Niniejsze opracowanie stanowi wstęp do tych badań za sprawą próby udzielenia odpowiedzi na pytanie: Jak aktualne osiągnięcia obrazowania pracy mózgu zmieniają lub mogą zmienić podejście do diagnozy i terapii osób z niepełnosprawnością?

Zmiana społeczna i kulturowa spowodowała pewne zagrożenia dla wychowania człowieka i dziecka z niepełnosprawnością. Stąd potrzeba, a nawet konieczność prowadzenia badań interdyscyplinarnych. Paradygmat humanistyczny czyni z niepełnosprawności zagadnienie wieloaspektowe i indywidualne. Propozycje zawarte w poszczególnych rozdziałach tej książki stanowią głos w dyskusji nad teoretycznym rozwojem nowych dyscyplin naukowych przydatnych w pedagogice specjalnej. Istnieje pilna potrzeba wykorzystania potencjału intelektualnego osób z niepełnosprawnością poprzez dobór odpowiednio prowadzonej diagnozy i rehabilitacji, zgodnie z ich

możliwościami, potrzebami i zainteresowaniami. Książka stanowi wprowadzenie do tego tematu. Jej kontynuacja będzie obejmowała prezentację wyników badań własnych wykonanych z wykorzystaniem nowoczesnych metod diagnozy i terapii w surdopedagogice. Postuluje ona tworzenie indywidualnej, spersonalizowanej ścieżki rozwojowej i (lub) edukacyjnej dla osób zagrożonych wykluczeniem społecznym, a więc również niepełnosprawnych, z wykorzystaniem do tego celu możliwości nowoczesnych technologii.

## Streszczenie

Książka jest próbą wskazania osobom zajmującym się pedagogiką specjalną drogi umiejętnego czerpania z dorobku innych nauk w aspekcie zastosowań praktycznych. Dotyczy to dwóch zakresów: poznawczego i badawczego. Wybrane zostały w tym celu dwa obszary. Obszar „informatyczny”, przedstawiony zwięźle i krótko, gdyż z nim związane były dotychczasowe prace badawcze autorki zakończone opublikowaniem monografii (Zielińska 2004; Zielińska 2005b), oraz niezupełnie nowy, ale w perspektywie praktyki pedagogiki specjalnej przyszłościowy i dynamicznie rozwijający się obszar „neuralny”. Opracowanie ukazuje, jak aktualne osiągnięcia obrazowania pracy mózgu zmieniają, a dokładniej: wspomagają proces diagnozy i terapii osób z niepełnosprawnością. Stąd dokonany przez autorkę wybór spośród skomplikowanej i obszernej wiedzy o mózgu pewnych zagadnień mogących zainteresować pedagogów specjalnych, wzbogacić ich warsztat pracy, pobudzić zainteresowanie nowymi, opartymi na osiągnięciach obrazowania pracy mózgu metodami diagnozy i rehabilitacji.

W rozdziale pierwszym omówiony został interdyscyplinarny charakter pedagogiki specjalnej. Wprowadzeniem do zagadnień praktycznych jest rozdział drugi i trzeci. W rozdziale drugim przedstawiona została ogólna wiedza na temat mózgu, jego budowy i funkcji. Pomaga ona uzyskać wyobrażenie o stopniu skomplikowania zagadnienia i trudnościach stojących nie tylko przed jego badaczami, ale również osobami usiłującymi wykorzystać wyniki ich badań. Rozdział trzeci prezentuje wybrane zagadnienia z zakresu modelowania mechanizmów neurokognitywnych. Do tego celu zostały wybrane dwie koncepcje naukowe, przydatne z punktu widzenia omawianej problematyki. Ogólną charakterystykę i ocenę przydatności metod obrazowania pracy mózgu w pedagogice specjalnej zawiera rozdział

czwarty. Wykazane w nim zostało, że jedynie dwie metody badania pracy mózgu: metoda elektroencefalografii EEG oraz metoda potencjałów wywołanych ERP spełniają przyjęte dla badań pedagogiki specjalnej kryteria: nieinwazyjności i mobilności. Potrzebny jest jednak do tego celu wysokiej klasy sprzęt i odpowiednio zaplanowany proces badawczy. Kryterium braku sztuczności warunków otoczenia osoby badanej nie spełniła żadna z zaprezentowanych w rozdziale czwartym metod. Stąd podjęta w rozdziale piątym próba wskazania innej metody niż wymienione, która bazuje na osiągnięciach okulografii. Rozdział szósty stanowi „techniczne” uzupełnienie rozdziału trzeciego i dotyczy interfejsu mózg–komputer. Wpisuje się on w prace nad zbudowaniem sztucznego umysłu, stanowiące podstawę koncepcji informatyki neurokognitywnej. Jej celem jest stworzenie systemów osiągających poziom kompetencji przekraczający możliwości człowieka, opartych na wielkoskalowej architekturze mózgu i modelach funkcji jego wyspecjalizowanych obszarów. Całość pracy domyka rozdział siódmy, nawiązujący bezpośrednio do funkcjonowania mózgu osób z niepełnosprawnością. Zostały w nim przedstawione podstawowe zagadnienia dotyczące neurologicznych oraz biochemicznych uszkodzeń mózgu oraz na tym tle charakterystyka działania mózgu u osób z autyzmem, wadą wzroku, wadą słuchu, dysleksją oraz afazją. Z uwagi na złożoność problemu zostały tu wybrane do realizacji założonego celu niektóre tylko zagadnienia i uwaga ta dotyczy całego opracowania. Podstawowe kryterium wyboru treści wszystkich rozdziałów książki stanowiła przydatność omawianej tematyki dla osób zajmujących się w ramach pedagogiki specjalnej, zarówno naukowo, jak i w praktyce – osobami z niepełnosprawnością.

# Brain function imaging methods in the special pedagogy perspective. Selected issues

## Summary

This book is an attempt to introduce the people dealing with special pedagogy to the way of skilful use of the output of other branches of science in the area of practical use. This refers to two aspects: the cognitive and the exploratory one. Two areas have been chosen for this. The “information” area, showed briefly because the earlier research works of the author have been realised in it, ending with the previous published monograph, and the not entirely new, but futuristic in the practical pedagogy perspective and dynamically developing presently, “neuronal” area. It has been shown how the current brain work imaging change, and to be more precise: **support the diagnostic process and therapy of the people with disabilities.** Hence the choice made by the author, among the complicated and vast knowledge sources on the brain, of the works on some issues which could be of interest to some special pedagogues, add to their workshop, and arise the interest about new, brain imaging-based **methods of diagnosis and rehabilitation.**

The first chapter of the book describes the interdisciplinary character of the special pedagogy. The second and third chapters serve as an introduction to the practical issues. The second chapter presents the general knowledge on the brain, its structure and function. It is useful for imagining the level of complexity of the issue and of the difficulties faced by not only its researchers, but also people trying to make use of the research results. The third chapter presents the selected problems from the field of neurocognitive mechanisms modelling. For this purpose, two scientific useful concepts from

the point of view of the discussed problem have been chosen. The general characteristic and usefulness evaluation of the brain-function imaging in special pedagogy is included in chapter four. There it has been shown that only two of the methods of brain-function examinations: electroencephalography EEG and event-related potentials ERP, fulfil the criteria accepted for special pedagogy: non-invasiveness and mobility of the conducted studies. But they require a high class equipment and properly planned research process. None of the methods presented in chapter four fulfil the criterion of non-artificial surroundings of the studied person. Hence the attempt to present a different (than the aforementioned) method in chapter five, a method based on the achievements of eye-tracking. Chapter six is a “technical” supplementation of chapter three and concerns the brain-computer interface. It is compatible with research works on creating the artificial mind, a basis of neurocognitive IT studies. Its purpose is to create systems which will achieve a level of competence exceeding human abilities, based on the large-scale architecture of the brain and models of functioning of its specialised areas. The work finds its conclusion in chapter seven, directly referring to the brain functioning of people with disabilities. It presents the basic concepts of the neurological and biochemical brain damages and, on this background, the characteristic of brain functions of people with autism, sight defect, hearing defect, dyslexia and aphasia. Due to the complexity of the problem, only some issues have been chosen to be presented here, as they have been in the entire work. The basic criterion of the contents choice for all chapters of the book has been the usefulness of the described topic to people dealing with people with disabilities, both scientifically and practically, within special pedagogy.

## Bibliografia

- 50-lecie Państwowego Instytutu Pedagogiki Specjalnej 1922–1972 (1972).  
Warszawa: Wyd. PIPS.
- Alvarez-Buylla A., Garcia-Verdugo J. M. (2002). Neurogenesis in Adult Subventricular Zone. „Journal of Neuroscience” 22(3), s. 629–634.
- Behan P., Geschwind N. (1985). Dyslexia. Congenital Anomalies and Immune Disorders. The Role of the Fetal Environment. „Ann NY Acad Sci” 457(1), s. 13–18.
- Birren J. E., Fischer L. M. (1995). Aging and speed of behavior. Possible consequences for psychological functioning. „Annual Review of Psychology” 56, s. 329–353.
- Blakemore S. J., Frith U. (2008). Jak uczy się mózg. Kraków: Wyd. UJ.
- Błasiak W., Godlewska M., Rosiek R., Wcisło D. (2012): Spectrum of physics comprehension, „European Journal of Physics” 33(3), s. 565–657.
- Błasiak W. (2011). Rozważania o nauczaniu przyrody. Kraków: Wyd. Naukowe UP.
- Błeszyński J. (2013). Język osób z lekką niepełnosprawnością intelektualną – badania nad samodzielnym podejmowaniem wypowiedzi pisemnych. W: D. Baczała, J. Błeszyński (red.), *Rozwój społeczny osób z niepełnosprawnością intelektualną. Ograniczenia i możliwości w zakresie kompetencji społecznych*. Toruń: Wyd. Adam Marszałek, s. 139–159.
- Błeszyński J. (2014). Rozwój komunikacji – mowy i języka – w różnych ujęciach teoretycznych. W: D. Baczała, J. Błeszyński (red.), *Metody komunikacji alternatywnych i wspomagających*. Toruń: Wyd. Naukowe UMK, s. 11–28.
- Błeszyński J. (2014). Przykładowe metody wykorzystywane w komunikacji alternatywnej i wspomagającej. W: D. Baczała, J. Błeszyński (red.), *Metody komunikacji alternatywnych i wspomagających*. Toruń: Wyd. Naukowe UMK, s. 76–94.
- Boyd D., Bee H. (2007). *Psychologia rozwoju człowieka*. Poznań: Zysk i S-ka.
- Bragon A. D., Gamon D. (2003). *Kiedy mózg pracuje inaczej*. Gdańsk: Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.

- Buckner R. L., Logan J. M. (2001). Functional neuroimaging methods: PET nad firm. W: R. Cabeza, A. Kongstone (red.), Handbook of functional neuroimaging of cognition. Cambridge: A. Bradford Book, s. 27–48.
- Cao L., Iao X., Zuzga D. S., Liu Y., Fong D. M. (2004). VEGF links hippocampal activity with neurogenesis learning and memory. „Nature Genetics” 36, s. 827–835.
- Chrzanowska I. (2009). Zaniedbane obszary edukacji – pomiędzy pedagogiką a pedagogiką specjalną. Wybrane zagadnienia. Kraków: Impuls.
- Cicchetti D., Blender J. (2006). A multiple-levels-of-analysis perspective on resilience. Implications for the developing brain, neural plasticity, and preventive interventions. „Annales of New York Academy of Sciences” 11, s. 248–258.
- Cieśla K. (2013). Plastyczność układu słuchowego – badania z zastosowaniem metod neuroobrazowania. „Nowa Audiofonologia” 2(3), s. 16–23.
- Clapp W. C., Hamm J. P., Kirk I. J., Teyler T. J. (2012). Translating long-term potentiation from animals to humans: a novel method for noninvasive assessment of cortical plasticity. „Biol Psychiatry” 71(6), s. 496–502.
- Czyżewski A., Kostek B., Skarżyski H. (2002). Technika komputerowa w audiologii, foniatrii i logopedii. Warszawa: ELIT.
- Davidson R. J., Lutz A. (2008). Buddha’s Brain: Neuroplasticity and Meditation. „IEEE Signal Process Mag” 25(1), s. 174–176.
- Davies P., Rose J. (1999). Assessment of cognitive development in adolescents by means of neuropsychological tasks. „Developmental Neuropsychology” 15, s. 227–248.
- Diamond A. (1996). Evidence for the importance of dopamine for prefrontal cortex functions Elary in live. „Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B” 353, s. 1483–1494.
- Dryden G., Vos J. (2014). Rewolucja w uczeniu się. Warszawa: Wyd. Zysk i S-ka.
- Duch W. (2009). Architektury kognitywne, czyli jak zbudować sztuczny umysł. W: R. Tadeusiewicz (red.), Neurocybernetyka teoretyczna. Warszawa: Wyd. UW, s. 271–301.
- Dudai D. R. (2002). Memory from A to Z. Keywords, concepts, and Beyond. Oxford: Oxford University Press.
- Durka P. (2009). Badanie funkcji mózgu z wykorzystaniem encefalografii. W: R. Tadeusiewicz (red.), Neurocybernetyka teoretyczna. Warszawa: Wyd. UW, s. 271–301.



- Dykcik W. (2001). Wprowadzenie w przedmiot pedagogiki specjalnej jako nauki. W: W. Dykcik (red.), *Pedagogika specjalna*. Poznań: Wyd. UAM.
- Eliot L. (2010). Co tam się dzieje. Jak rozwija się mózg i umysł w pierwszych pięciu latach życia. Poznań: Wyd. Media Rodzina Sp. z.o.o.
- Emmorey K., Lane H. (red.) (2000). *The sings of language revisited*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Eysenck H.M. (2003). *Podpatrywanie umysłu*. Gdańsk: Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
- Fischer K., Rose S. (1994). Dynamic development of coordination of components in brain and behavior. W: K. Fischer, G. Mawson (red.), *Human behavior and the developing brain*. New York: Guilford Press, s. 3–66.
- Frith Ch. (2011). *Od mózgu do umysłu. Jak powstaje nasz wewnętrzny świat*. Warszawa: Wyd. UW.
- Frost S. B., Barbay S., Friel K. M., Plautz E. J., Nudo R. J. (2003). Reorganization of remote cortical regions after ischemic brain injury: a potential substrate for stroke recovery. „*J Neurophysiol*” 89(6), s. 3205–3214.
- Gajdzica Z. (2011). *Sytuacje trudne w opinii nauczycieli klas integracyjnych*. Kraków: Impuls.
- Gałkowski T., Szelaż E., Jastrzębowska G. (red.) (2005). *Podstawy neurologopedii*. Opole: Wyd. UO.
- Gambin M., Łukowska E. (2009). *Wspomaganie rozwoju dzieci z autyzmem*. Warszawa: Wyd. UW.
- Gardner H., Korhaber M. L., Wake W. K. (2001). *Inteligencja. Wielorakie perspektywy*. Warszawa: WSiP.
- Gazzaniga M. S. (1995). Consciousness and cerebral hemispheres. W: M. S. Gazzaniga (red.), *The Cognitive Neurosciences*, Cambridge MIT Press, s. 1391–1400.
- Gnitecki J. (1994). *Zarys pedagogiki ogólnej*. Poznań: Wyd. Zysk i S-ka.
- Gould E. i in. (1999). Neurogenesis in the neocortex of adult primates. „*Science*” 286, s. 548–552.
- Grzegorzewska M. (1989). *Wybór pism*. Warszawa: Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych.
- Hamill T., Price L. (2008). *The Hearing Sciences*. San Diego: Plural Publishing.
- Hawkins J., Blakeslee S. (2006). *Istota inteligencji*. Gliwice: Wyd. Helion.
- Hetmański M. (2009). *Umysł w świecie i społeczeństwie*. W: M. Urbański, P. Przybysz (red.), *Funkcje umysłu*. Poznań: Wyd. Zysk i S-ka, s. 9–12.

- Jagodzińska M. (2008). *Psychologia pamięci. Badania, teorie, zastosowania*. Gliwice: Wyd. Helion.
- Javal E. (1879). *Essai sur la physiologie de la lecture*. „*Annales d’Oculométrie*” 82, s. 242–253.
- Jensen A., Whang P. (1994). Speed of accessing arithmetic facts in long-term memory. „*Contemporary Educational Psychology*” 19, s. 1–12.
- Kasperski M. J. (2003). *Sztuczna inteligencja. Droga do myślących maszyn*. Gliwice: Wyd. Helion.
- Kempermann G., Gast D., Gage F. H. (2001). Neuroplasticity in old age: sustained fivefold induction of hippocampal neurogenesis by long-term environmental enrichment. „*Ann Neurol*” 52(2), s. 135–143.
- Klahr D. (1992). *Information-processing approaches to cognitive development*. W: M. H. Berstein, M. E. Lamb (red.), *Developmental psychology: An advanced textbook*, wyd. 3, Hillsdale, NJ: Erlbaum, s. 273–335.
- Krause A. (2010). *Współczesne paradygmaty pedagogiki specjalnej*. Kraków: Impuls.
- Kropotov J. (2009). Quantitative EEG, Event-Related Potentials and Neurotherapy. „*Journal of Neurotherapy*” 16, s. 127–130
- Lewandowska M., Milner R., Ganc M., Włodarczyk E., Pluta A., Skarżyński H. (2013). Odmienny wzorec bioelektrycznej aktywności spoczynkowej mózgu u dzieci z dysleksją. „*Nowa Audiofonologia*” 2(4), s. 36–43.
- 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. Kraków: Wyd. Naukowe UP, s. 112–157.
- Lindsay P. H., Norman D. A. (1991). *Procesy przetwarzania informacji u człowieka*. Warszawa: PWN.
- Liu Y. F., Chen H. I., Wu C. L., Kuo Y. M., Yu L., Huang A. M., Wu F. S., Chuang J. I., Jen C. J., (2009). Differential effects of treadmill running and wheel running on spatial or aversive learning and memory: roles of amygdala brain-derived neurotrophic factor and synaptotagmin I. „*J Physiol*” 587(13), s. 3221–3231.
- Madsen A., Larson A., Loschky L., Rebello S. (2012). Differences in visual attention between those who correctly and incorrectly answer physics problems. „*Physical Review ST. Physics Education Research*” 8, 010122, s. 1–13.
- Markiewiczowa H., Poznański K., Kulbaka J. (red.) (2012). *Sami tworzyliśmy tę historię. Księga pamiątkowa z okazji 90. rocznicy powstania Akademii Pedagogiki Specjalnej im. M. Grzegorzewskiej*. Warszawa: Wyd. APS.

- Maruszewski M. (1970). *Mowa a mózg. Zagadnienia neuropsychologiczne*. Warszawa: PWN.
- Milner A. D., Goodale M. A. (2008). *Mózg wzrokowy w działaniu*. Warszawa: PWN.
- Molen M. van der, Molenaar P. (1994). *Cognitive psychophysiology a window to cognitive development and brain maturation*. W: G. Dawson, K. Fischer (red.), *Human behavior and the developing brain*. New York: Guilford Press, s. 456–492.
- Molfese D. L., Molfese V. J. (1997). Discrimination of language skills at five years of age using event-related potentials recorded at birth. *„Developmental Neuropsychology”* 13(2), s. 135–156.
- Moore B. C. J. (1999). *Wprowadzenie do psychologii słyszenia*. Warszawa–Poznań: PWN.
- Nęcka E. (1992). Poziomy przetwarzania informacji a pojęcie inteligencji. W: J. Strelau, W. Ciarkowska, E. Nęcka (red.), *Różnice indywidualne: możliwości i preferencje*. Warszawa: WSiP.
- Nęcka E. (2003). *Inteligencja. Geneza, struktura, funkcje*. Gdańsk: Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
- Nicolson R. I., Fawcett A. J., Dean D. (2001). Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *„Trends Neurosci”* 24(9), s. 508–511.
- Norena A. J. (2011). An integrative model of tinnitus based on a central gain controlling neural sensitivity. *„Neurosci Biobehav Rev”* 35(5), s. 1089–1109.
- Nyka W. (1996). *Badania w chorobach układu nerwowego*. W: L. Kalinowski (red.), *Encyklopedia Badań Medycznych*. Gdańsk: Wyd. MAKMED.
- Ober J., Dylak J., Gryncewicz W., Przedpelska-Ober E. (2009). Sakkadometria – nowe możliwości oceny stanu czynnościowego ośrodkowego układu nerwowego. *„Nauka”* 4, s. 109–135.
- O’Shea M. (2012). *Mózg*. Gdańsk: Gdańskie Wyd. Psychologiczne.
- Palka S. (2004). *Pogranicza pedagogiki i nauk pomocniczych*. Kraków: Wyd. UJ.
- Pańczyk J. (1998). System biofeedback w praktyce dydaktyczno-pedagogicznej. *„Roczniki Pedagogiki Specjalnej”* 9, s. 43–72.
- Pąchalska M. (2009). *Rehabilitacja neuropsychologiczna*. Lublin: Wyd. UMCS.
- Pecyna M. B. (2001). *Psychologia kliniczna w praktyce pedagogicznej*. Warszawa: Wyd. Akademickie Żak.

- Pennock K. (1994). *Ratowanie dzieci z uszkodzeniem mózgu*. Bookinista-Graffiti BBC.
- Poizner H., Klima E., Bellugi U. (1987). *What the hands reveal about the brain*. The MIT Press.
- Prigatano G. (2009). *Rehabilitacja neuropsychologiczna*. Warszawa: PWN.
- Ramachandran V. S. (2012). *Neuronauka o podstawach człowieczeństwa*. O czym mówi mózg. Warszawa: Wyd. UW.
- Rostowski J. (2012). *Rozwój mózgu człowieka w cyklu życia*. Aspekty bio-neuropsychologiczne. Warszawa: Wyd. Difin SA.
- Rugg M. D., Allan K. (2000). Event-related potential studies of memory. W: E. Tulving, F. I. M. Craik (red.), *The Oxford handbook of memory*. New York: Oxford University Press, s. 521–537.
- Sadowski B. (2005). *Rola mózgu w procesach nadawania i odbioru mowy*. W: T. Gałkowski, E. Szelaǳ, G. Jastrzębowska (red.), *Podstawy neurologopedii*. Opole: Wyd. UO.
- Siegiel D. J. (2011). *Psychowzroczność*. Poznań: Wyd. Harbor Point Media Rodzina.
- Siemieniecki B. (1997). *Komputer w diagnostyce i terapii pedagogicznej*. Toruń: Wyd. Adam Marszałek.
- Siemieniecki B., Buczyńska J. (2001). *Komputer w rewalidacji*. Toruń: Wyd. Adam Marszałek.
- Siemieniecki B. (2002). *Komputer w edukacji*. Toruń: Wyd. Adam Marszałek.
- Sjoberg S., Schreiner C. (2007). Young learners' attitudes and interest: Results and perspectives from the project ROSE (The Relevance of Science Education), *International Newsletter on Physics Education*. October.
- Sosnowski T. (2000). *Psychofizjologia*. W: J. Strelau (red.), *Psychologia*. Podręcznik akademicki, t. 1. Gdańsk: GWP, s. 131–178.
- Spitzer M. (2007). *Jak uczy się mózg*. Warszawa: PWN.
- Szelaǳ E. (2005). *Mózg a mowa*. W: T. Gałkowski, E. Szelaǳ, G. Jastrzębowska (red.), *Podstawy neurologopedii*. Opole: Wyd. UO, s. 98–151.
- Szelenberger W. (2000). *Potencjały wywołane*. Warszawa: Wydawnictwo Elmiko.
- Śliwerski B. (1998). *Współczesne teorie i nurty wychowania*. Kraków: Wyd. Impuls.
- Thaler L., Arnott S. R., Goodale M. A. (2010). Human Echolocation I. „*Journal of Vision*” 10(7), s. 1050–1056.

- Thompson M., Thompson L. (2012). Neurofeedback. Wprowadzenie do podstawowych koncepcji psychofizjologii stosowanej. Wrocław: Wyd. Biomed Neurotechnologie.
- Underwood G. (2004). Utajone poznanie. Poznawcza psychologia nieświadomości. Gdańsk: Gdańskie Wyd. Psychologiczne.
- Urbański M., Przybysz P. (red.) (2009). Funkcje umysłu. Poznań: Zysk i S-ka.
- Vasta R., Haiti M. M., Miller S. A. (2001). Psychologia dziecka. Warszawa: WSiP.
- Vetulani J. (2011). Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice. Kraków: Homini.
- Yeung N., Bogacz R., Holroyd C. B. i Cohen J. D. (2004). Detection of synchronized oscillations in the electroencephalogram: An evaluation of methods. „Psychophysiology” 41, s. 822–832.
- Zielińska J. (2004). Diagnostyka i terapia sprawności ortofonicznej dzieci z uszkodzeniem słuchu wspomaganie techniką komputerową. Kraków: Wyd. Naukowe UP.
- Zielińska J. (2005a). Edukacja dzieci z uszkodzeniem słuchu w społeczeństwie informacyjnym. Toruń: Wyd. Adam Marszałek.
- Zielińska J. (2005b). Komputer w rozwoju sprawności komunikacyjnej dzieci niesłyszących. Toruń: Wyd. Adam Marszałek.
- Zielińska J. (2011). Internet jako medium wspierające rodzinę dziecka niepełnosprawnego. W: E. Musiał, I. Pulak (red.), Człowiek – Media – Edukacja. Kraków: Wyd. Naukowe UP.
- Zielińska J. (2013a). Interfejs mózg–komputer w teorii i praktyce. W: J. Morbitzer, E. Musiał (red.), Człowiek – Media – Edukacja. Kraków: Wyd. Naukowe UP, s. 482–492.
- Zielińska J. (2013b). Wykorzystanie metod badania pracy mózgu w ocenie skuteczności działań diagnostycznych i rehabilitacyjnych. „Niepełnosprawność. Dyskursy pedagogiki specjalnej. Drogi terapii” 11. Gdańsk: Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, s. 23–34.
- Zielińska J. (2014). Maria Grzegorzewska i jej interdyscyplinarna wizja Pedagogiki Specjalnej a czasy współczesne. W: E. Dyduch, A. Mikrut, J. Zielińska (red.), Idee Marii Grzegorzewskiej jako inspiracje rozwoju współczesnej pedagogiki specjalnej. Kraków: Wyd. Naukowe UP, s. 193–202.
- Żylińska M. (2013). Neurodydaktyka. Nauczanie i uczenie przyjazne mózgowi. Toruń: Wyd. Naukowe UMK.

## Netografia

- [http://www.ele.uri.edu/courses/bme281/F12/JamesB\\_1.pdf](http://www.ele.uri.edu/courses/bme281/F12/JamesB_1.pdf) (dostęp 21.06.2013)
- <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1840314> (dostęp 21.06.2013)
- <http://company.neurosky.com> (dostęp 21.06.2013)
- <http://wikipedia.pl/> (dostęp 21.06.2013)
- <http://www.emotiv.com> (dostęp 21.06.2013)
- <http://www.treco.pl/upload/rte/images/biofeedback> (dostęp 31.12.2013)
- <http://hci.pjwstk.edu.pl/index.php?page=eye-tracking> (dostęp 06.01.2014)
- <http://www.eyetrackin-glasses.com> (dostęp 14.01.2014)
- <http://www.neurodevice.pl/pl/produkty/eyetracking-smi> (dostęp 02.02.2014)
- [http://www.uslysz.pl/implanty\\_nucleus/implant\\_slimakowy.html](http://www.uslysz.pl/implanty_nucleus/implant_slimakowy.html) (dostęp 26.02.2014)
- <http://slimaczek.ifps.org.pl/index.php?link=wartowiedziec&linkW=kwalifikacja> (dostęp 26.02.2014)
- <http://www.futureblog.pl/index.php/2009/11/technologia-dla-niewidomych/> (dostęp 26.02.2014)
- <http://nt.interia.pl/raport-medycyna-przyszlosci/medycyna/news-pierwsze-bioniczne-okno-w-europie-za-73-tys-euro,nId,931652> (dostęp 26.02.2014)
- <http://www.rp.pl/artykul/984461.html?p=1> (dostęp 26.02.2014)
- <http://www.interaktywnie.com/biznes/artykuly/usability/tajniki-eyetrackingu-4554> (dostęp 31.12.2013, 12.01.2014, 14.02.2014)
- <http://www.konsultacje-medyczne.pl/10,230,0,0,Tomografia-komputero-wa.html> (dostęp 21.06.2014)
- <http://portalwiedzy.onet.pl/52262,,,pozyton,haslo.html> (dostęp 26.07.2014)
- <http://www.szare-komorki.pl/?p=222> (dostęp 26.07.2014)
- <http://www.konsultacje-medyczne.pl/10,174,0,0,Tomografia-Rezonansu-Magnetycznego-Obrazowanie-rezonansu-magnetycznego.html> (dostęp 26.07.2014)
- [http://www.ptbun.org.pl/archiv/nmwno4\\_gut.pdf](http://www.ptbun.org.pl/archiv/nmwno4_gut.pdf) (dostęp 26.07.2014)
- [http://www.ptbun.org.pl/archiv/nmwno4\\_gut.pdf](http://www.ptbun.org.pl/archiv/nmwno4_gut.pdf) (dostęp 26.07.2014)
- <http://www.smivision.com> (dostęp 26.07.2014)

[http://www.fundacjarozejunauki.pl/res/Tom1/Nauka%20oswiatowa%20i%20polska\[1\].Rozdzial%2009.pdf](http://www.fundacjarozejunauki.pl/res/Tom1/Nauka%20oswiatowa%20i%20polska[1].Rozdzial%2009.pdf) (dostęp 06.08.2014)

<http://www.multimed.org/> (dostęp 12.08.2014)

<http://www.tvp.pl/wiedza/nauka-i-technika/polski-wynalazek-2013/galeria-wynalazkow/cyberoko/10215954> (dostęp 12.08.2014)

<http://tech.wp.pl/kat,1009779,title,Cyber-Oko-najlepszy-polski-wynalazek,wid,15425633,wiadomosc.html?ticaid=1120f9&ticsrn=3> (dostęp 12.08.2014)

<http://www.tvp.pl/wiedza/nauka-i-technika/polski-wynalazek-2013/galeriawynalazkow/cyberoko/10215954> (dostęp 12.08.2014)

<http://www.biofeedback-eeg.pl/> (dostęp 12.08.2014)

<http://www.biofeedback-torun.pl> (dostęp 12.08.2014)

<http://www.neurobiofeedback.pl> (dostęp 12.08.2014)

<http://www.openmedical.pl/biofeedback.php> (dostęp 12.08.2014)

<http://neurorehabilitacja.com/?file=faq/czy-neurofeedback-jest-skuteczny-w-mozgowym-porazeniu-dzieciwym> (dostęp 18.08.2014)

[http://www.hum.uu.nl/uilots/lab/resources/User\\_manual\\_ClearView\\_2.7.pdf](http://www.hum.uu.nl/uilots/lab/resources/User_manual_ClearView_2.7.pdf) (dostęp 09.09.2014)

[http://www.apk\\_poczatkowe2.republika.pl/pawlikowska1.doc](http://www.apk_poczatkowe2.republika.pl/pawlikowska1.doc) (dostęp 18.10.2014)





Paradygmat humanistyczny czyni z niepełnosprawności zagadnienie wieloaspektowe i indywidualne. Propozycje Autorki traktuję jako głos w dyskusji nad teoretycznym rozwojem nowych dyscyplin naukowych przydatnych w pedagogice specjalnej. Istnieje pilna potrzeba wykorzystania potencjału intelektualnego osób niepełnosprawnych poprzez dobór odpowiednio prowadzonej diagnozy i rehabilitacji. [...]

Książkę uważam za niezmiernie wartościowe źródło interdyscyplinarnej wizji pedagogiki specjalnej.

*Janina Wyczęsany*



**Dr hab. inż. Jolanta Zielińska, prof. UP** prowadzi badania z zakresu pedagogiki specjalnej i pedagogiki medialnej. Jest dyrektorem Centrum „Pro Futuro” Wsparcia Osób ze Specjalnymi Potrzebami Rozwojowymi i Edukacyjnymi z Wykorzystaniem Nowoczesnych Technologii, kierownikiem Katedry Zastosowań Techniki w Diagnostyce i Rehabilitacji Osób z Niepełnosprawnością w Instytucie Pedagogiki Specjalnej Uniwersytetu Pedagogicznego.

Autorka książek: *Diagnoza i terapia sprawności ortofonicznej dzieci z uszkodzeniem słuchu wspomagane techniką komputerową* (2004), *Edukacja dzieci z uszkodzeniem słuchu w społeczeństwie informacyjnym* (2005), *Komputer w rozwoju sprawności komunikacyjnej dzieci niesłyszących* (2005) oraz licznych artykułów w czasopismach specjalistycznych.



Uniwersytet Pedagogiczny  
im. Komisji Edukacji Narodowej  
w Krakowie  
Prace Monograficzne 739

ISSN 0239-6025  
ISBN 978-83-7271-951-5