

PEDAGOGIKA SPECJALNA — SPECIAL NEEDS EDUCATION

Jolanta Zielińska

UNIWERSYTET PEDAGOGICZNY IM. KEN W KRAKOWIE

ORCID: 0000-0002-6810-6077

WYKORZYSTANIE METOD NEUROOBRAZOWANIA PRACY MÓZGU W PEDAGOGICE — INSPIRACJE POZNAWCZE I BADAWCZE

THE USE OF BRAIN ACTIVITY NEUROIMAGING IN PEDAGOGY — COGNITIVE AND RESEARCH INFLUENCES

Abstract

The complexity of the phenomena associated with the course of the cognitive processes that determine an efficient learning, excludes the possibility of collecting knowledge in other ways than neuronal-information. It excludes also possibilities of interpreting it, in other ways than with use of respectively formalized cognitive models. The presented paper is a kind of summary of the latest achievements in this field.

Key words: modeling, cognitive processes, learning, brain activity, neuroscience

Słowa kluczowe: modelowanie, procesy kognitywne, uczenie się, aktywność mózgu, neuronauka

WPROWADZENIE: ROLA OSIĄGNIĘĆ NEUROSCIENCE (NEURONAUKI) W PEDAGOGICE

Wpływ tzw. nauk i ideologii pomocniczych na badania pedagogiczne miał miejsce od dawna, historycznie wykazując różny zasięg, przebieg i charakter. Aktualnie stał się on elementem korzystnym dla rozwoju pedagogiki zarówno w sensie naukowym, poznawczym, jak i aplikacyjnym. Pozwala bowiem na szerokie i wielostronne spojrzenie oraz ogłęd 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 (J. Zielińska, 2015, s. 11).

Korzystanie w badaniach pedagogicznych 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 zgłębienia zjawisk oraz zagadnień, jakich dotyczą te badania. Nauki współdziałające od bardzo dawna z pedagogiką wnoszą swój wkład wiedzy zarówno do rozwiązań teoretycznych, jak i zastosowań praktycznych.

To co łączy pedagogikę i nauki pomocnicze to wspólny przedmiot badań: człowiek oraz to co wyróżnia go spośród innych żywych istot: umiejętność uczenia się i to przez całe życie. Proces uczenia się jest zdeterminowany przez świat, w którym zachodzi oraz narząd który go umożliwia — mózg (M. Spitzer, 2007, s. 13). Obecny stan wiedzy na temat mózgu, realizowane w ostatnim czasie badania dynamicznie rozwijającej się dziedziny naukowej jaką jest neurobiologia, dają podstawę do stwierdzenia, że w ramach badań pedagogicznych powinno, wręcz musi, nastąpić przeniesienie wiedzy z badań nad mózgiem na badania nad edukacją, w tym aktualnie opracowywane zmiany w polskim systemie kształcenia. W obliczu konieczności podjęcia tych zmian uwzględnienie neurobiologicznych podstaw uczenia się daje bowiem realną szansę na uchronienie się przed popełnieniem błędów podczas podejmowania tak bardzo istotnych dla systemu kształcenia decyzji (M. Spitzer, 2007, s. 12).

Oceniając aktualny stan polskiej (i nie tylko polskiej) szkoły można przytoczyć opinię Manfreda Spitzera zamieszczoną w książce *Jak uczy się mózg*. Píše on: „Uczniowie nie są głupi, nauczyciele nie są leniwi, a nasze szkoły nie są do niczego. Ale od jakiegoś czasu wszyscy podejrzewamy, że coś jest nie tak” (M. Spitzer, 2007, s. 12).

Opinię tę niezbitnie potwierdzają wyniki badań PISA¹. Ogólny wniosek wynikający z badań to stwierdzenie, iż powinno się dogłębnie przemyśleć proces uczenia się w powołanych w tym celu instytucjach, czyli szkołach. W ramach tych przemyśleń Centrum Badań i Innowacji Edukacyjnych przy OECD (Centre for Educational Research and Innovation; CERI) w roku 1999 zaproponowało projekt (w tłumaczeniu): „Pedagogika i badania nad mózgiem: potencjalne implikacje dla polityki i praktyki edukacyjnej”. W jego ramach ma mieć miejsce współpraca polityków, pedagogów i badaczy mózgu w celu uzyskania wydajnych systemów kształcenia (M. Spitzer, 2007, s. 275).

Badania nad mózgiem trwają już jakiś czas i charakteryzują się dużą dynamiką wzrostową. Przykład reprezentowanego obecnie podejścia naukowego stanowi wydana w lutym 2011 roku książka Jerzego Vetulaniego *Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice*. Píše on „Neurobiologia jest dziś jedną z najważniejszych i najbardziej wszechstronnych nauk. Odpowiada lub pomaga odpowiedzieć na wielkie pytania, z którymi od dawien dawna mierzyła się filozofia, teologia, psychologia i nauki społeczne, a także małe pytania, które zadajemy sobie na co dzień” (J. Vetulani, 2011, s. 43). Kolejne przykłady zawiera książka *Jak uczy się mózg*. Autorki — Sarah-Jayne Blakemore i Uta Frith — będące pracownikami naukowymi Institute of Cognitive Neuroscience w londyńskim University College, od lat zajmują się problemami dysleksji, autyzmu i zespołu Aspergera. Przykładowo zadawane przez nie pytania to: „W jaki sposób mózg ludzi głuchych przetwarza język migowy?”, „Czy naśladowanie jest czymś dobrym, czy tłumi ono zdolności twórcze?” Autorki nie udzielają odpowiedzi na postawione pytania, gdyż — jak same

¹ Program, w którym uczestniczy również Polska o nazwie *Międzynarodowa Ocena Umiejętności Uczniów OECD PISA (Programme for International Student Assessment)*, szczegóły: www.pisa.oecd.org.

stwierdzają — nie mają stosownej wiedzy pedagogicznej. Piszą „jest obecnie bardzo niewiele materiałów na temat znaczenia badań nad mózgiem dla edukacji, które byłyby przystępne dla niespecjalistów [...] powstała luka między nauką o mózgu a pedagogiką” (S.J. Blakemore, U. Frith, 2008, s. 3).

Podstawą postulowanej do realizacji w pedagogice tematyki badawczej wykorzystania osiągnięć neurobiologii, szerzej neuroscience, w pedagogice jest użycie takich metod i takiego sprzętu do neuroobrazowania pracy mózgu, aby uzyskane wyniki mógł interpretować humanista, pedagog, terapeuta, praktycznie każda osoba zajmująca się edukacją i rozwojem człowieka. Jako pierwsza zostanie omówiona problematyka modelowania procesów poznawczych, w którym metody obrazowania pracy mózgu mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w ramach tworzenia modeli poznawczych procesu skutecznego uczenia się.

MODELOWANIE PROCESÓW POZNAWCZYCH SZANSĄ NA NAUKĘ SKUTECZNEGO UCZENIA SIĘ

Modelowanie procesów poznawczych wpisuje się w teorię rozwoju poznawczego zapisu i przetwarzania informacji. Nawiązuje ona do teorii rozwoju poznawczego Piageta w podejściu do procesu rozwoju, traktuje 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 (R. Vasta, M.M. Haith, S.A. Miller, 2001, s. 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 zyskały jednak pełnej akceptacji naukowej, gdyż były zbyt uproszczone i niekiedy sprzeczne z empirycznymi danymi (R. Vasta, M.M. Haith, S.A. Miller, 2001, s. 315).

Badania realizowane na gruncie eksperymentalnej psychologii poznawczej i informatyki traktują człowieka jako użytkownika języka symboli, o ograniczonej pojemności

ich przetwarzania i koncentrują się na analizie drogi informacji po postawieniu mu konkretnego zadania. Poznanie przebiega również 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 (R. Vasta, M.M. Haith, S.A. Miller, 2001, s. 313). Istotą teorii zapisu i przetwarzania informacji pokazuje wielomagazynowy model pamięci, służący badaczom do opisu sekwencyjnego przetwarzania informacji. W modelu tym pomiędzy bodźcem zewnętrznym, czyli wejściem danych ze środowiska, a reakcją, czyli wyjściem zachodzi szereg procesów poznawczych. Przykładowo, jeśli bodźcem będzie nieznanne słowo, to poprzez rejestr słuchowy, w którym jest utrzymywane bardzo krótko — około 1 sekundy — 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 danego osobnika (R. Vasta, M.M. Haith, S.A. Miller, 2001, s. 313).

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 możliwego do powtórzenia schematu. Sformułowany algorytm musi mieć jasną strukturę, a tworzące go zadania poznawcze muszą być przejrzyste 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.

Opisane zmiany poznawcze towarzyszą skutecznemu przebiegowi procesu uczenia się. W swojej istocie proces uczenia się polega na wykonaniu konkretnego, postawionego przed uczącym się zadania. 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, przykładowo poprzez zastosowanie określonego algorytmem działania, wymuszając niejako przebieg procesów poznawczych. 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. Do uczenia się jako narząd służy mózg. Stąd w celu tworzenia modeli procesów poznawczych należy oprzeć się na osiągnięciach takich nauk, jak neurobiolo-

gia, neurocybernetyka, ogólnie neuroscience (neuronauki) w zakresie dostępu do wiedzy o jego pracy. Reasumując należy oprzeć naukę skutecznego uczenia się, poprzez wykorzystanie do tego celu modeli poznawczych, na podstawach neuronalnych.

W dalszej kolejności zostaną krótko zaprezentowane (zasada działania) i ocenione według kryteriów: łatwości użycia, prostoty uzyskania i interpretacji wyników, a także ilości obszarów praktycznych aplikacji, podstawowe metody obrazowania pracy mózgu, ze wskazaniem najbardziej pożądaney w użyciu do tworzenia modeli poznawczych.

ZASADA DZIAŁANIA I OCENA PRZYDATNOŚCI W MODELOWANIU PROCESÓW POZNAWCZYCH METOD OBRAZOWANIA PRACY MÓZGU

METODY BADANIA PRACY MÓZGU — OCENA WSTĘPNA

Przedstawiony podział metod pozwoli wskazać metody badania pracy mózgu, które można potencjalnie zastosować do uzyskiwania danych o przebiegu procesów poznawczych i które można użyć bez problemów natury etycznej, czyli charakteryzujące się całkowitą bezinwazyjnością. Metody badania ośrodkowego układu nerwowego dzieli się na strukturalne lub funkcjonalne. Metody strukturalne pokazują struktury mózgowie, natomiast metody funkcjonalne dostarczają danych o metabolizmie tkanki mózgowej. Do metod strukturalnych zaliczana jest tomografia komputerowa, nuklearny rezonans magnetyczny oraz angiografia. Do metod funkcjonalnych należy funkcjonalny rezonans magnetyczny, tomografia emisyjna pojedynczego fotonu, pozytronowa emisyjna tomografia, metoda elektroencefalografii EEG oraz metoda potencjałów wywołanych. Kolejny podział metod dotyczy stopnia ich inwazyjności, czyli bezpieczeństwa osób badanych. Metody inwazyjne to tomografia komputerowa, angiografia oraz metody scyntygraficzne. Metody nieinwazyjne to metody rezonansowe oraz metoda EEG.

Do wykorzystania oceny pracy mózgu osób podczas wykonywania konkretnych zadań poznawczych w trakcie rozwiązywania zadań związanych z procesem uczenia się przydatne są jedynie metody bezinwazyjne. 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, uzyskania w określonym przedziale czasowym porównywalnych ze sobą danych. Całkowitą nieinwazyjnością i najwyższą rozdzielczością czasową, a więc bardzo dokładnymi pomiarami cechuje się magnetoencefalografia MEG. Oparta jest ona na zapisie pól magnetycznych generowanych przez płynące w mózgu prądy. Zapis pracy mózgu tą metodą wymaga stosowania bardzo drogiej i nieprzenośnej aparatury (P. Durka, 2009, s. 235). Metoda MEG może więc służyć do celów diagnostycznych. Osoba badana siedzi wygodnie w fotelu skanera, bez dodatkowych elektrod na głowie, które stanowią ujemny aspekt badań metodą elektroencefalografii EEG. Badania metodą magnetoencefalografii MEG wykonywane są na nielicznych i niereprezentatywnych grupach, stąd w zastosowaniach edukacyjnych, których innowa-

cyjność powinna polegać na możliwości stosowania wyników badań na szeroką skalę, nie są przydatne.

Reasumując, jedynie dwie metody badania pracy mózgu: elektroencefalografii EEG oraz potencjałów wywołanych spełniają przyjęte kryteria oceny: bezinwazyjności i mobilności.

METODA ENCEFALOGRAFICZNA EEG BADANIA PRACY MÓZGU

Metoda encefalografii wyróżnia się spośród wszystkich technik badania pracy mózgu najdłuższą historią zastosowań klinicznych, najniższym kosztem, całkowitą nieinwazyjnością oraz najwyższą rozdzielczością. Dwie ostatnie cechy ma opisana wcześniej metoda magnetoencefalografii (P. Durka, 2009, s. 235). Badanie EEG polega na rejestracji, przy pomocy elektrod umieszczonych na skórze głowy ze specjalnym żelem (co stanowi dużą niedogodność), czynnościowych prądów mózgu człowieka, które charakteryzują się niewielkim napięciem (od kilku do kilkuset mikrowoltów). Częstotliwość tych prądów waha się od 0,5 Hz do 50 Hz. Technologia zapisu EEG wykorzystuje obecnie wysokiej klasy, wyspecjalizowane urządzenia zapewniające próbkowanie badanych sygnałów w czasie i przestrzeni z częstotliwością tysięcy Hz oraz do 130 par elektrod używanych jako detektory wejściowe.

Aktualny stan badań nad mózgiem realizowany przez neurobiologów z jednej strony, z drugiej informatyczne narzędzia opracowane przez inżynierów, umożliwiające przedstawienie wyników badań na ekranie komputera, spowodowały dynamiczny rozwój stosowania tej metody w praktyce. Wynikiem tej współpracy jest metoda QEEG (ang. Quantitative EEG) służąca do badania funkcji i dysfunkcji mózgu, a także planowania sesji biofeedback. Aktualnie jest ona stosowana w badaniach z zakresu psychologii i psychiatrii do diagnozy ADHD, depresji, dysleksji, schizofrenii oraz zaburzeń lękowych. Metoda QEEG umożliwia nie tylko zapis sygnału EEG, ale w oparciu o specjalny program komputerowy jego ilościową analizę. Analiza ta jest realizowana w postaci widma amplitudy względem częstotliwości, opisanego stabelaryzowanymi wartościami liczbowymi oraz jako mapa topograficzna pokazująca rozkład czynności EEG w różnych miejscach na powierzchni skóry głowy.

Słabym punktem metody elektroencefalografii jest analiza i interpretacja danych. Pomimo dynamicznego rozwoju matematyki i informatyki, podstawową metodą jest nadal analiza wzrokowa, tyle że dokonywana na ekranie komputera (P. Durka, 2009, s. 237). Przeprowadzający badania musi samodzielnie zdecydować jakie części sygnału wycina z uzyskanego obrazu, traktując je przykładowo jako artefakty, wynikające z otwarcia oczu i mrugania nimi osoby badanej. Problemów jest więcej, związane są one z wpływem na uzyskiwane wyniki badań obecności innych pól, a nawet diety pacjenta, czy stosowania przed badaniem używek.

Reasumując, metoda encefalografii EEG jest możliwym do użycia w badaniach edukacyjnych rozwiązaniem, niemniej wymaga doświadczenia w interpretacji widocznych na ekranie komputera przebiegów sygnału pracy mózgu i posiada głównie zastosowanie

monitorująco-diagnostyczne (J. Zielinska, 2016, s. 98). Do modelowania procesów poznawczych znacząco lepszym rozwiązaniem jest metoda potencjałów wywołanych.

METODA POTENCJAŁÓW WYWOŁANYCH BADANIA PRACY MÓZGU

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 mała i w zapisie pojedynczej realizacji reakcji na bodziec najczęściej niewidoczna wśród czynności pochodzącej 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, odpowiednie oprogramowanie pozwala w chwili obecnej na cyfrowe uśrednianie kolejnych fragmentów EEG, zsynchronizowanych według momentu wystąpienia bodźca (P. Durka, 2009, s. 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 wydarzenia zewnętrznego, które służą jako punkt odniesienia. Potencjały elektryczne są rejestrowane z powierzchni głowy po zadziałaniu bodźca wzrokowego, słuchowego lub czuciowego. Stąd wyróżnia się wzrokowe, słuchowe lub somatosensoryczne potencjały wywołane. 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 (P. Durka, 2009, s. 239). Stąd z prezentowanych dotychczas metod badania pracy mózgu stanowi ona najlepszą, możliwą do użycia technikę służącą do uzyskania wiedzy pozwalającej na tworzenie modeli procesów poznawczych. Kolejna z prezentowanych metod jest kontrowersyjna, niemniej wydaje się być wysoce przydatna w omawianej problematyce badawczej.

METODA EYETRACKINGU BADANIA PRACY MÓZGU

Metoda eyetrackingu badania pracy mózgu stosowana jest aktualnie jako narzędzie w obszarze informatycznym do śledzenia aktywności poznawczej osób oglądających strony internetowe. Metoda ta nie jest w badaniach naukowych traktowana jako równorzędne do wcześniej opisanych metod badania pracy mózgu rozwiązanie. Jest faktem, iż nie dostarcza podobnych jakościowo i ilościowo informacji, a jedynie pokazuje aktywność poznawczą mózgu na podstawie śledzenia ruchu gałek ocznych. Niemniej jest ona prosta w użyciu, a uzyskiwane wyniki są opracowywane komputerowo przez specjalny program i reprezentowane w formach łatwych do interpretacji.

Wskazując tę metodę jako potencjalnie najlepszą do użycia w zastosowaniach edukacyjnych, w tym do tworzenia modeli procesów poznawczych należy odnieść się do podstaw teoretycznych jej zastosowania. We współczesnych badaniach realizowanych zarówno na gruncie psychologii, jak i biologii funkcjonuje pojęcie „mózgu wzrokowego”. Istnieje koncepcja naukowa dwóch mózgów wzrokowych, czyli dwóch niezależnych systemów przetwarzania informacji wzrokowej. Pierwszy jest odpowiedzialny za świadome widzenie, natomiast drugi zapewnia sprawność działania (A.D. Milner, M.A. Goodale, 2008, s. 10). Teoria dwóch mózgów wzrokowych, jako nowa teoria widzenia, zakłada istnienie dwóch systemów: brzuszego, wyspecjalizowanego w percepcji wzrokowej i grzbietowego, wyspecjalizowanego we wzrokowej kontroli działania. Zapoczątkowała ona wiele badań przeprowadzanych nowoczesnymi metodami obrazowania funkcjonalnego mózgu fMRI oraz zrodziła nowe hipotezy filozoficzne na temat relacji umysł-ciało (A.D. Milner, M.A. Goodale, 2008, s. 10). Badanie te wskazują na możliwość nowego systemu organizacji wiedzy i projektowania eksperymentów, które w inny sposób nie mogłyby być zrealizowane. Do nich można zaliczyć modelowanie procesów poznawczych, pozwalające na nauczanie skutecznego uczenia się. W oparciu o ocenę aktywności mózgu poprzez spostrzeganie wzrokowe może mieć miejsce wypracowanie algorytmów konkretnego działania, prowadzącego do zmiany poznawczej (J. Zielińska, 2016, s. 169).

Metoda eyetrackingu polega na wideorejestracji aktywności wzrokowej. Jest to możliwe podczas przemieszczania się osoby badanej za pomocą urządzeń zamontowanych na głowie (eyetracking mobilny) lub w sposób zdalny (*remote eyetracking*). Urządzenie może być przykładowo zintegrowane z monitorem komputera. Prezentowany badanemu materiał jest używany w późniejszej analizie zapisu aktywności wzrokowej i łączony z tymi wynikami jako „tło”. Aktualnie, w metodzie tej najczęściej stosuje się kamery podczerwone, ułatwiające identyfikację źrenicy oraz lokalizację odbicia rogówkowego, co pozwala na określenie wektora patrzenia. Uzyskane metodą eyetrackingu wyniki są prezentowane w trzech formach: filmu z markerem oznaczającym aktualne skupienie wzroku, mapy cieplnej i mapy fiksacji. Głównymi miarami, używanymi w badaniach eyetrackingu, są fiksacje, czyli skupienie wzroku na danym elemencie oraz sakkady, szybkie ruchy oka zachodzące pomiędzy kolejnymi fiksacjami.

Wbrew subiektywnym odczuciom, oczy nie widzą otoczenia w sposób ciągły. Oko zatrzymuje się na wybranym, obserwowanym fragmencie obrazu na ok. 200 ms. Takie zdarzenie nazywamy fiksacją (ang. *fixation*). Potem skokowo wzrok przenoszony jest na inne miejsca z częstotliwością 4 do 5 razy na sekundę. Długość oraz liczba fiksacji określa jak badany element skupia uwagę. Im niższy czas do pierwszej fiksacji, tym wyższa zdolność badanego elementu do skupiania uwagi. Liczba fiksacji na danym elemencie określa jego istotność dla badanej osoby i zauważalności w procesie skanowania wzrokiem. Można wyznaczać obszary fiksacji oczu badanych osób, czasy tych fiksacji (całkowite oraz średnie), szybkości sakkad oraz czasy reakcji oczu na prezentowane bodźce (*saccade latency*). Uzyskane metodą eyetrackingu wyniki prezentowane są za pomocą heatmap. Heatmapa to rozkład cieplny uwagi kierowanej na badany element, który wyodrębnia elementy zauważone i pominięte podczas skanowania wzrokiem, w tym ich ko-

lejność. Tym samym pomaga zrozumieć, dlaczego dany element jest postrzegany w taki, a nie inny sposób (J. Zielińska, 2015, s. 85).

Funkcjonują heatmapy czarno-białe, na których poziom transparentności świadczy o natężeniu uwagi kierowanej na dany element oraz klasyczne heatmapy kolorowe. Obydwa rodzaje map pokazują 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, jaki jest model i kierunek kolejności skanowania przestrzeni, czy wykonuje ona zadanie planowo, ze zrozumieniem, czy jest zagubiona w działaniu. Bardziej przydatne w ocenie przebiegu aktywności mózgu podczas aktywności poznawczej są realizowane na podstawie heatmap ścieżki skanowania wzrokiem (*gaze plots*). Przedstawiają one bowiem kierunek skanowania wzrokiem, a dokładniej ścieżkę, jaką pokonały oczy dokonując kolejnych fiksacji. Zaznaczone kolorem czerwonym koła obrazują fiksacje — im większa średnica, tym dłuższa fiksacja. Natomiast linie pomiędzy kołami pokazują kierunek skanowania wzrokiem, czyli ruch sakkadyczny oka.

Metodą eyetrackingu można mierzyć w sposób nieinwazyjny wiele istotnych parametrów związanych z aktywnością mózgu w trakcie rozwiązywania różnych zadań poznawczych. Pozwala ona na pokazanie jak na podstawie analizy aktywności oczu (map koncentracji uwagi) badać różne strategie rozwiązywania problemów. Uzyskane metodą eyetrackingu wyniki badań wykonywanych na dużych, statystycznie istotnych grupach badawczych, odpowiednio zebrane i zinterpretowane, mogą być niezwykle cennym źródłem informacji ułatwiającym zrozumienie mechanizmów poznawczych występujących podczas procesu uczenia się, w tym określenia 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 tym w diagnozowaniu deficytów prowadzących do trudności w uczeniu się i opracowywaniu modeli strategii skutecznego nauczania.

PODSUMOWANIE: PEDAGOGIKA MIĘDZY INŻYNIERIĄ A HUMANIZMEM

Jeden z wybitnych polskich fizyków, specjalista z zakresu miękkiej i żywej materii w wywiadzie udzielonym w roku 2011 stwierdził, że 30 lat przyszej nauki zostanie poświęcone badaniom pracy mózgu. Podsumowując rozwój nauki i świata powiedział, że w pewnym momencie rozwoju zadano pytanie: Czym jest wszechświat? Odpowiedzią na nie była rewolucja przemysłowa. Potem postawiono pytanie: Czym jest życie? Odpowiedzią jest aktualnie trwająca rewolucja medyczno-biologiczna. Teraz kolej na pytanie: Czym jest świadomość? Odpowiedzią na nie będzie rewolucja gospodarczo-społeczna. W niej aktywnie uczestniczyć będzie informatyka i neurobiologia, a wynikiem będzie człowiek kreujący swoje otoczenie, a nie będący jedynie jego użytkownikiem i konsumentem. Lepsze zrozumienie funkcjonowania aparatu genetycznego, systemu immunologicznego, mechanizmów oddziaływania jest możliwe wyłącznie pod warunkiem włączenia w proces badawczy metod i technik biocybernetycznych i bioinformatycznych, w tym osiągnięć neuronauki.

Stopień złożoności zjawisk związanych z edukacją wyklucza obecnie możliwości zbierania wiedzy w sposób inny, niż neuronalno-informatyczny oraz jej interpretowania w sposób inny, niż za pomocą odpowiednio sformalizowanych modeli poznawczych. Pedagogika zajmująca się rozwojem człowieka przez całe życie musi więc oscylować pomiędzy inżynierią a humanizmem. Prezentowane opracowanie stanowi pewnego rodzaju podsumowanie najnowszych osiągnięć w tym zakresie.

BIBLIOGRAFIA

- Blakemore Sarah-Jayne, Frith Uta (2008), *Jak uczy się mózg*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Durka Paweł (2009), *Badanie funkcji mózgu z wykorzystaniem encefalografii*, pod red. naukową Ryszarda Tadeusiewicza, *Neurocybernetyka teoretyczna*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Milner A. David, Goodale Melvyn A. (2008), *Mózg wzrokowy w działaniu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Spitzer Manfred (2007), *Jak uczy się mózg*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Vasta Ross, Haith Marshall M., Miller Scott A. (2001), *Psychologia dziecka*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Vetulani Jerzy (2011), *Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice*, Znak, Kraków.
- Zielińska Jolanta (2015), *Metody obrazowania pracy mózgu w perspektywie pedagogiki specjalnej. Wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego, Kraków.
- Zielińska Jolanta (2016), *Wybrane techniki obrazowania sygnałów w perspektywie pedagogiki specjalnej. Przykładowe zastosowania w praktyce diagnostyczno-terapeutycznej*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego, Kraków.

Jolanta Zielińska

THE USE OF BRAIN ACTIVITY NEUROIMAGING IN PEDAGOGY — COGNITIVE AND RESEARCH INFLUENCES

Summary

The complexity of the phenomena associated with the course of the cognitive processes that determine an efficient learning, excludes the possibility of collecting knowledge in other ways than neuronal-information. It excludes also possibilities of interpreting it, in other ways than with use of respectively formalized cognitive models. The presented paper is a kind of summary of the latest achievements in this field. In the paper issues connected with modeling of cognitive processes and applicability of various brain research methods in this area were described. 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 pedagogy: non-invasiveness mobility of the conducted studies. But they require a high class equipment and properly planned research process. None of the methods fulfil the criterion of non-artificial surroundings of the studied person. It is worth to pay attention to the proposed use of eyetracking methods in educational research, so far applied only in the area of information technology.