

MAŁGORZATA CHOJAK

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

Katedra Dydaktyki

Instytut Pedagogiki

ORCID – 0000-0002-7558-7630

EDUKACJA OPARTA NA NEUROFAKTACH – WSTĘPNA ANALIZA NOWEGO PROTOKOŁU BADAWCZEGO OPARTEGO NA METODOLOGII PEDAGOGIKI I MEDYCYNY

Streszczenie: Ostatnie lata przyniosły wzrost zainteresowania pedagogów badaniami z zakresu neurobiologii. Wśród publikacji – także naukowych – pojawiły się różnego rodzaju propozycje, które odwoływały się do badań nad mózgiem. Neuropedagogika, neuroedukacja i neurodydaktyka stały się atrakcyjnym polem dyskusji interdyscyplinarnych. Niestety istotny wpływ na ich jakość miał fakt, że edukacja oparta na dowodach jest wciąż podejściem mało znanym wśród pedagogów. Niniejszy artykuł zawiera prezentację procedury opartej na neuroobrazowaniu mózgu oraz metodologii pedagogicznej. Wstępne wyniki analiz wykazały, że uzyskane w ten sposób informacje mogą stanowić podstawę do indywidualizacji edukacji dzieci z zaburzeniami rozwojowymi.

Słowa kluczowe: neuropedagogika, edukacja oparta na dowodach, mózg, NIRS, edukacja wczesnoszkolna

WPROWADZENIE

W ostatnich latach nastąpił intensywny rozwój metod obrazowania mózgu. W wielu dyscyplinach naukowych zaczęły pojawiać się odwołania do neuronalnych uwarunkowań czy to procesów psychicznych, czy fizjologicznych. Nie dziwi zatem fakt, że również pedagodzy zaczęli poszukiwać w badaniach nad mózgiem obiektywnych sposobów na podniesienie jakości edukacji. Na rynku pojawiły się liczne publikacje dotyczące neuroedukacji, neurodydaktyki czy neuropedagogiki (Ansari i in., 2011; Maxwell, Racine, 2012; Shyman, 2017; Sousa, 2019). Niestety, zwłaszcza w Polsce, nie przyniosły one rzetelnej wiedzy, a jedynie dezinformację

i złudne nadzieje (Garstka, 2016; Żylińska, 2013; Sikorski 2015). Można nawet wnioskować, że liczni autorzy, korzystając z faktu, że edukacja jest przestrzenią, w której nie poddaje się wcześniejszym badaniom większości proponowanych interwencji czy innowacji, świadomie podnosili atrakcyjność i skuteczność proponowanych metod pracy, strategii terapeutycznych czy pomocy dydaktycznych, zawierając w ich opisie odniesienia do neurobiologii.

Dopiero kilka lat temu zostały podjęte próby uporządkowania w/w neurobałaganu. Interdyscyplinarne pole dyskusji z zakresu edukacji i jej neurobiologicznych uwarunkowań określono mianem neuropedagogiki, która mogłaby stać się subdyscypliną pedagogiki (Chojak, 2018). Trudność takiego ujęcia polegała jednak na określeniu jej metodologicznych podstaw. W odróżnieniu od neuropsychologów neuropedagodzy nie potrzebują szczegółowej wiedzy o mózgu oraz o neuronalnych uwarunkowaniach różnych zaburzeń rozwojowych czy chorób. Ich zadaniem nie jest bowiem diagnostyka kliniczna. Neuropedagogice bliżej jest w zakresie wiedzy o mózgu nie do biologii, ale raczej do medycyny. W obu dyscyplinach istotne znaczenie ma bowiem interwencja, którą można rozumieć jako podanie leku, zastosowanie procedury terapeutycznej, indywidualizację czy korzystanie z jakiejś pomocy dydaktycznej (Budyńko, Waszak, 2015; Budziński, 2015). Interdyscyplinarne badania, dotyczące powyższego, mogły przyczynić się do szerszej niż dotychczas realizacji założeń „praktyki opartej na faktach”, a w tym przypadku na „neurofaktach” (Mizerek, 2015). Zakłada ona, że specjalista powinien podejmować decyzje o sposobie postępowania z pacjentem/ucznem w konkretnej sytuacji opierając się na:

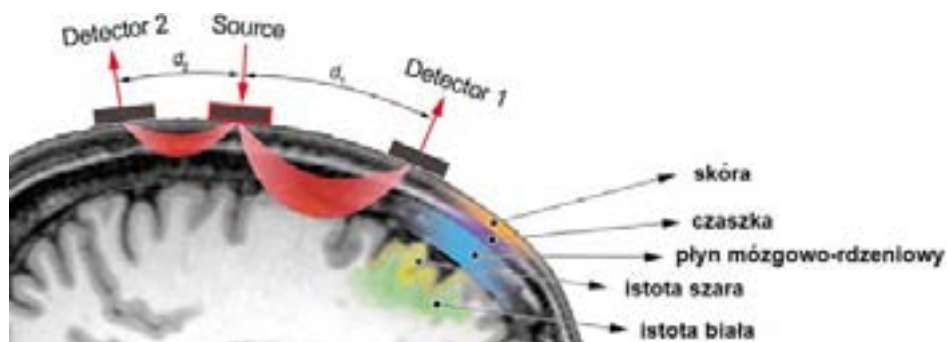
- naukowych dowodach, tj. wynikach badań lub metaanaliz, spełniających określone warunki rzetelności i wiarygodności;
- diagnozie możliwości, ograniczeń i oczekiwań pacjenta/ucznia;
- własnych doświadczeniach klinicznych (zob. Budyńko, Waszak, 2015).

W niniejszym artykule zostaną zaprezentowane możliwości pozyskiwania dowodów poprzez połączenie metodologii pedagogiki i medycyny (z ukierunkowaniem na neurologię oraz radiologię). Realna możliwość realizowania tego założenia pojawiła się wraz nową techniką obrazowania mózgu – spektroskopią w bliskiej podczerwieni. Jest to nieinwazyjna metoda obserwacji aktywności hemodynamicznej mózgu (na podobnych zasadach jak rezonans magnetyczny). Może być stosowana już u małych dzieci, nie wymaga unieruchomienia pacjenta (co pozwala na zapis sygnału podczas różnych zadań edukacyjnych), a sprzęt potrzebny do badań jest łatwy do przeniesienia (umożliwia prowadzenie badań w środowisku przyjaznym dziecku) (zob. Masataka i in., 2015; Liebert, 2013). Ponadto badanie z wykorzystaniem NIRS może być projektowane w dwójaki sposób: albo jako sekwencja czynności (protokół), albo poprzez swobodny

zapis (dokładny opis zob. Tachtsidis i in., 2020). Istotnym ograniczeniem tej metody jest możliwość obserwacji aktywności jedynie do 3 cm w głąb mózgu (zob. rys. 1).

Rysunek 1.

Rożmieszczenie emiterów i detektorów u badanych osób



Źródło: Tachtsidis P.P., Hamilton I., Hirsch A., Aichelburg J., Gilbert C., Burgess S. (2018). The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464(1), 5–29.

W praktyce edukacyjnej oznacza to możliwość obserwacji w czasie rzeczywistym i w warunkach szkolnych czy przedszkolnych (znane otoczenie, znani rówieśnicy i nauczyciel) aktywności neuronalnej mózgu podczas wykonywania różnych czynności. Można takiej obserwacji poddać dwie osoby równocześnie (np. dziecko w normie rozwojowej i dziecko z niepełnosprawnością). Analiza wyników pozwoliłaby ocenić rzeczywisty poziom zaangażowania poznawczego ucznia podczas stosowania konkretnej metody nauczania lub podczas korzystania z jakiejś pomocy dydaktycznej. Proste procedury podstawowej analizy uzyskanych danych pozwalają na relatywnie szybkie konstruowanie wniosków. Proces może zostać jeszcze przyspieszony, ponieważ konstruowane są obecnie przenośne, bezkablone spektroskopy bliskiej podczerwieni pozwalające na szybki feedback.

Opisane możliwości są szczególnie istotne dla dzieci o specjalnych potrzebach edukacyjnych. Niezwykle cenna wydaje się możliwość neuroobrazowania u nich funkcji poznawczych w naturalnym środowisku oraz bez konieczności unieruchamiania. Powstaje zatem sytuacja, w której terapeuta może w czasie rzeczywistym obserwować neuronalną odpowiedź pacjenta na poszczególne zadania. Może również porównywać wyniki badań, wykonywanych w odstępie czasu.

NIRS umożliwia obiektywny pomiar, który może stanowić podstawę lub uzupełnienie procedur interdyscyplinarnej weryfikacji efektywności (oraz jej uwarunkowań) podejmowanych interwencji.

TWORZENIE PROCEDURY BADAŃ NEUROPEDAGOGICZNYCH

Celem prezentowanych w artykule badań było uzyskanie informacji o neuronalnych mechanizmach wykonywania wybranych czynności edukacyjnych przez dzieci o różnym poziomie rozwoju oraz porównanie uzyskanych wyników z dostępnymi w literaturze badaniami. Celem pośrednim było również sprawdzenie trafności i rzetelności nowej, neuropedagogicznej procedury badawczej, opartej na metodologii pedagogicznej (metoda indywidualnych przypadków, technika obserwacji) i medycznej (metoda obserwacyjna, technika opisowo-przesiewowa) (zob. Budyńko, Waszak, 2015; Budziński, 2015).

Najbardziej istotnym elementem procedury było przygotowanie protokołu badań (tj. wybór badanego obszaru mózgu i określenie zadań do wykonania przez badanego). Analiza literatury wykazała, że najlepiej opisanym regionem mózgu jest kora przedczołowa (Kolasa, Rybakowski, 2019). Jest to także obszar o najłatwiejszym dostępie, co wydaje się istotnym atutem w odniesieniu do dzieci z zaburzeniami rozwojowymi (często nadruchliwych oraz z nadwrażliwościami). Emitery i detektory zostały zamontowane na specjalistycznym czepku według schematu, który prezentuje rysunek 2.

Kolejnym etapem było określenie czynności, które miały podczas badania wykonywać dzieci. Ponieważ protokół miał odnosić się do edukacji, zdecydowano się na wybór czynności, które będą łącznie spełniały następujące kryteria:

- występowanie w podstawie programowej na każdym poziomie edukacji,
- możliwość modyfikowania trudności zadania,
- dostępność wyników badań kory przedczołowej z wykorzystaniem metod neuroobrazowania mózgu.

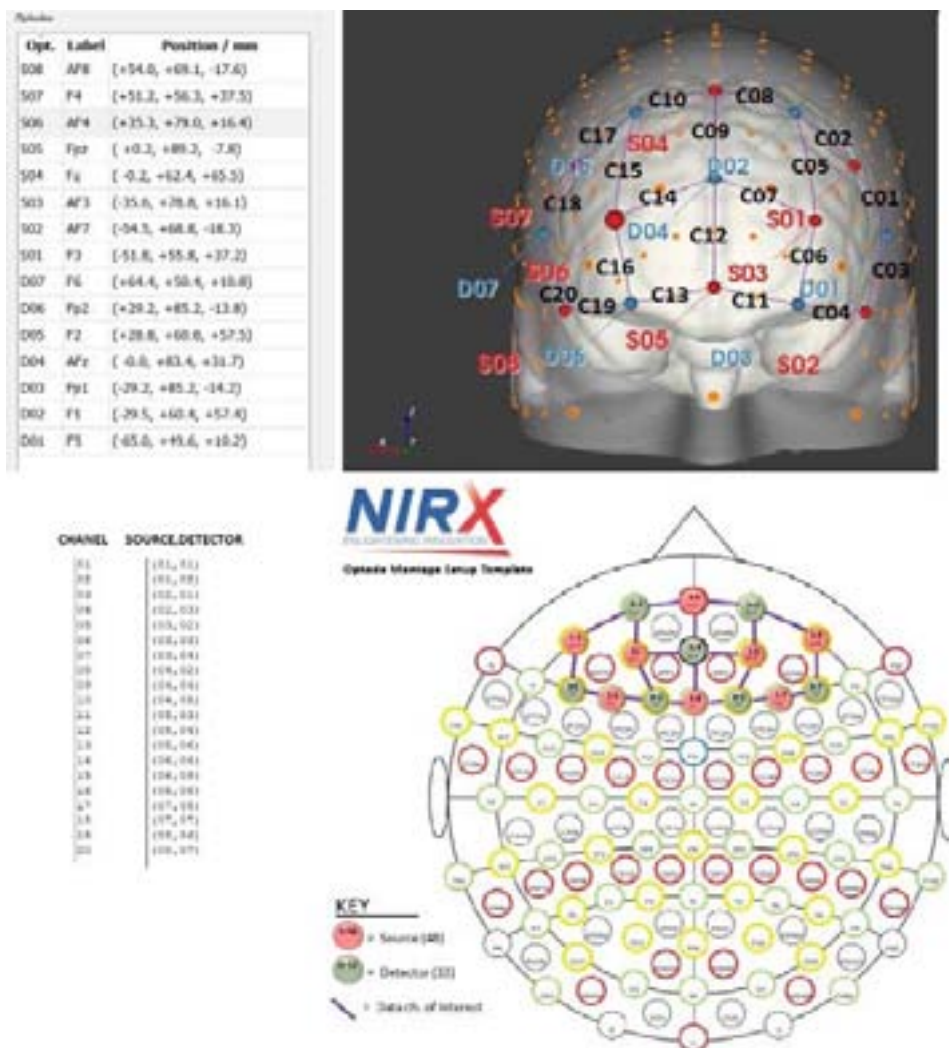
W procesie eliminacji wybrano: głośne czytanie, obliczenia matematyczne oraz poszukiwanie wyjścia z labiryntu (koordynacja wzrokowo-ruchowa, planowanie).

Treść zadań dobrano, opierając się na podstawie programowej oraz wywiadzie z nauczycielami. Obejmowały one: głośne czytanie tekstu (nie było wyznaczonego limitu długości tekstu, a jedynie polecenie, by przeczytać tekst jak najwyraźniej w określonym czasie), wykonywanie działań matematycznych (dodawanie i odejmowanie; nie było wymaganej liczby działań do zrobienia; jeśli dziecko skończyło jeden zestaw mogło zacząć następny) oraz poszukiwanie wyjścia z labiryntu (wcześniej dziecko mogło wybrać trudność zadania, zob. rys. 3). Na wykonanie

każdego zadania dzieci miały dwie minuty (jest to czas wystarczający na zrozumienie przez dziecko polecenia, skupienie uwagi oraz rozwiązanie zadania; jest to również czas zbyt krótki na powstanie u dziecka zniechęcenia czy znużenia).

Rysunek 2.

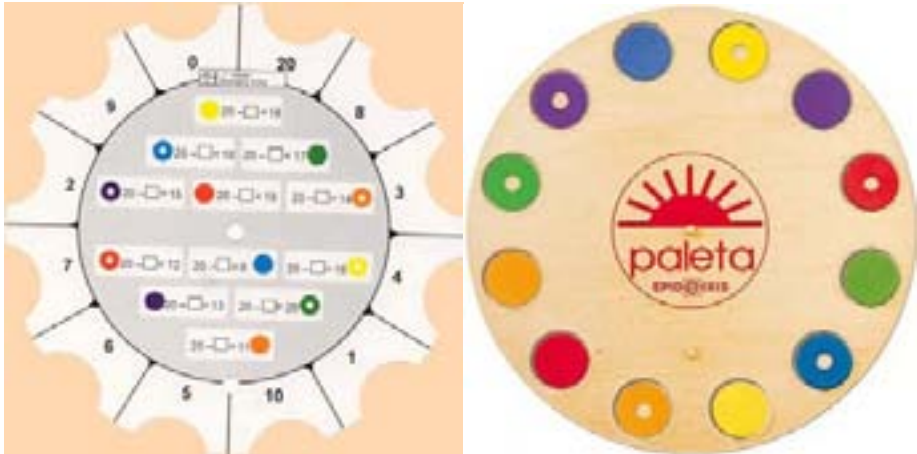
Rożmieszczenie emiterów (kolor zielony) i detektorów (kolor czerwony) u badanych osób



Źródło: opracowanie własne na podstawie www.nirx.eu (14.05.2020).

Rysunek 3.

Przykład pomocy dydaktycznej, na której pracowały dzieci, wykonując zadania matematyczne



Źródło: www.epidexis.pl.

Rysunek 4.

Ostateczny protokół badania

przygotowanie	czynności na papierze lub palecie PUS								
	czytanie			matematyka			labirynt		
	15	120	20	15	120	20	15	120	20
	sek			sek			sek		
	polecenie	wykonanie	przerwa	polecenie	wykonanie	przerwa	polecenie	wykonanie	przerwa

Źródło: opracowanie własne.

Neuralne podłoże głośnego czytania zostało poddane analizie z wykorzystaniem rezonansu magnetycznego w niewielu badaniach ze względu na liczne artefakty ruchowe (Seghier i in., 2008). Więcej możliwości naukowcy uzyskali, rozpoczynając badania z wykorzystaniem NIRS. Niestety i tu dostępnych jest jedynie kilka protokołów (Wan i in., 2017). Dla projektowanej procedury istotne

jest jednak, że badania te nie ujawniały podwyższonej aktywności rejonów przedczołowych przy czytaniu znanych słów, czyli w tzw. leksykalnym przetwarzaniu (Friederici, 2011).

W odróżnieniu od problematyki czytania w literaturze przedmiotu dostępnych jest wiele badań z zakresu działań matematycznych, w tym ich aspektu obliczeniowego. Na potrzeby projektowanej procedury badawczej głębszą analizą objęto doniesienia, dotyczące kory przedczołowej. Można je ująć w kilku wnioskach:

- dzieci do ok. 8. roku życia w trudne do rozwiązania (skomplikowane lub wymagające nowej wiedzy) działania matematyczne włączają intensywnie tzw. sieć czołowo-ciemieniową (obejmującą korę przedczołową) (De Smedt i in., 2011); prawdopodobnie wynika to z konieczności podejmowania decyzji (stosowania strategii), sekwencjonowania, korzystania z pamięci roboczej i utrzymywania uwagi do wyszukiwania poznanych faktów i wykonywania bardziej złożonych obliczeń (Soltanlou i in., 2017; Simon i in., 2002); w/w proces zachodzi zarówno przy wykonywaniu działań dodawania, jak i odejmowania (McCaskey i in., 2018, Peters i in., 2017; Dresler i in., 2009);
- im dzieci są starsze, a ich wiedza większa, tym mniejsza jest aktywność kory przedczołowej, a wzrasta specjalizacja płatów ciemieniowych (Kawashima i in., 2004); dzieje się tak, nawet jeśli badaniem porównawczym obejmiemy dzieci różniące się jedynie rokiem (Rosenberg-Lee i in., 2011); jest to prawdopodobnie spowodowane większą automatyzacją działań i częstszym odwoływaniem się do zasobów pamięci długotrwałej w hipokampie (Prado i in., 2014);
- różnice indywidualne obejmujące np. płynność arytmetyczną nie mają wpływu na aktywność kory przedczołowej (De Smedt i in., 2011; Price i in., 2013).

Podsumowując, można przyjąć, że przy wykonywaniu zadań obliczeniowych (dodawania i odejmowania) na poziomie łatwym lub średnio trudnym (tj. częściowo lub całkowicie zautomatyzowanym), kora przedczołowa nie powinna wykazywać wzmożonej aktywności. Również w odniesieniu do koordynacji wzrokowo-ruchowej dotychczasowe badania wśród aktywnych obszarów nie wskazały grzbietowo-bocznej kory przedczołowej (Balardin i in., 2017).

Na podstawie powyższych danych w planowanych badaniach przyjęto hipotezę, że głośne czytanie tekstu, dokonywanie obliczeń matematycznych z zapisywaniem wyników oraz poszukiwanie wyjścia z mało skomplikowanego labiryntu nie będą istotnie zwiększać aktywności hemodynamicznej grzbietowo-bocznej części kory przedczołowej.

CZYNNOŚCI EDUKACYJNE DZIECI O RÓŻNYM POZIOMIE ROZWOJU – WSTĘPNA ANALIZA WYNIKÓW

Badaniami objęto 15 praworęcznych zdrowych dzieci (w normie intelektualnej, bez urazów neurologicznych, nieprzyjmujących leków) w wieku 7–8 lat (8 dziewczynek i 7 chłopców) oraz 10 dzieci ze zdiagnozowanymi zaburzeniami rozwojowymi (3 dzieci z ASD, 2 dzieci z ADHD, 1 dziecko z zaburzeniami opozycyjno-buntowniczymi, 3 dzieci z dysleksją, 1 dziecko z niepełnosprawnością intelektualną w stopniu lekkim). W tej grupie było 7 chłopców i 3 dziewczynki. Informacje o stanie zdrowia uzyskano z wypełnionych przez rodziców ankiet oraz dokumentacji medycznej. Wybór grupy badawczej był uwarunkowany tym, że są to najmłodsze dzieci, które powinny umieć sprawnie wykonać wybrane czynności edukacyjne, a u których objawy są na tyle nasilone, by można było postawić diagnozę w zakresie zaburzeń rozwojowych. Liczba dzieci została uwarunkowana dostępnością grupy (zgoda rodziców i nauczyciela).

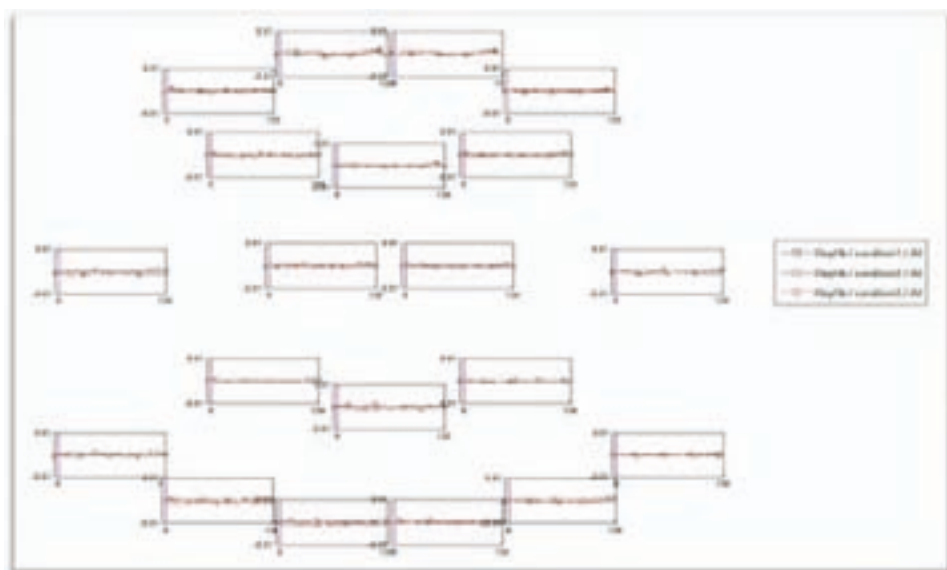
Każde dziecko przed badaniem zostało zapoznane ze sprzętem oraz zadaniami do wykonania (by wyeliminować czynnik emocjonalny). Dzieci były badane w znanym im środowisku szkolnym (zgodnie z sugestiami z badań Dresler i in., 2009), a podczas badania były cały czas obserwowane. W niniejszym artykule zostaną zaprezentowane wyniki pierwszej części protokołu badawczego.

Wyniki uzyskane od 15 dzieci w normie rozwojowej zostały poddane analizie statystycznej w programie NirsLab (2019b). Potwierdziła ona, że wykonywane polecenia nie powodowały u nich istotnej wariacji w zapisie OkxyHb obszarów przedczołowych ($p = 0,05$). Przy granicy skali $-0,01$ do $0,01$ zapis aktywności badanych obszarów był prawie płaski (zob. rys. 4). Oznacza to, że krew w badanym obszarze mózgu nie została zaopatrzona w dodatkowy tlen, konieczny w sytuacji zwiększonej aktywności m.in. kory. Można zatem wnioskować, że głośne czytanie, wykonywanie obliczeń matematycznych oraz poszukiwanie wyjścia z labiryntu u badanej grupy dzieci nie wymagały zwiększenia aktywności kory przedczołowej. Uzyskane wyniki są zgodne z dotychczasowymi badaniami, zaprezentowanymi w poprzednim podrozdziale. Jeden z typowych zapisów prezentuje rysunek 5.

Ten wzorzec zapisu przyjęto jako punkt odniesienia w analizie wyników dzieci z zaburzeniami rozwojowymi. Spośród tej grupy w artykule zostaną zaprezentowane dzieci z ADHD, ASD (zaburzenia ze spektrum autyzmu) oraz ODD (zaburzenia opozycyjno-buntownicze). Wybór jest uzasadniony częstym łączeniem tych zaburzeń w badaniach naukowych z powodu podobieństwa w symptomatologii.

Rysunek 5.

Zapis aktywności oksyhemoglobiny w trakcie czytania na głos (condition 1), działań obliczeniowych (condition 2) oraz poszukiwania wyjścia z labiryntu (condition 3) przez 8-letniego chłopca bez urazów i schorzeń neurologicznych, nieprzyjmującego leków



Analiza zapisów dzieci z ADHD wykazała wzmoczoną i niesymetryczną aktywność badanego obszaru – przy czym większa wariancja HbOxy wystąpiła po lewej stronie w każdym wykonywanym zadaniu. Oznacza to, że dzieci te poza obszarami mózgu, które są aktywowane u typowo rozwijających się uczniów, do wykonania badanych czynności dodatkowo aktywują korę przedczołową. Jest ona odpowiedzialna m.in. za inicjowanie i planowanie działania, hamowanie niewłaściwych zachowań, dostosowywanie rodzaju działań do kontekstu oraz utrzymywanie uwagi dowolnej. Pełni również zadania służące regulacji zachowania i stabilizacji kondycji psychicznej. Jej nadmierna aktywacja w działaniach dzieci z ADHD może wskazywać na konieczność (związaną np. z niską automatyzacją lub jej brakiem) silniejszego kontrolowania zachowania i emocji czy utrzymywania uwagi. U dzieci w normie rozwojowej są to procesy zautomatyzowane, zatem nie wymagają większego wysiłku i co się z tym wiąże większej aktywności badanych regionów mózgu.

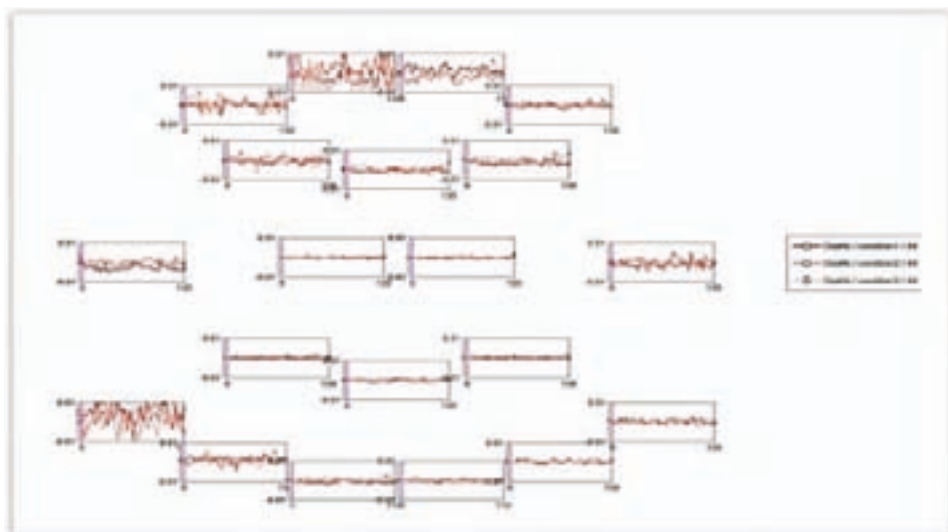
Wyniki dotychczasowych badań w zakresie procesów wykonawczych u dzieci z ADHD wykazały niesymetryczną (z rosnącą z wiekiem przewagą po prawej stronie) hipotonię (osłabiony metabolizm) kory przedczołowej, który utrzymuje się przez całe życie (Doi i in., 2017; Sakihara i in., 2011; Xiao i in., 2012; Schecklmann i in., 2010, Inoue i in., 2012). Z kolei analiza QEEG (ilościowe EEG) uwidoczniała wzmoczoną

aktywność fal wolnych (występujących np. w półśnie czy przy biernym przyswajaniu wiedzy, bez aktywnego zaangażowania), szczególnie po lewej stronie kory przedczołowej (Nuwer i in., 2016). Można zatem wnioskować, że obszar przedczołowy u dzieci z takim zaburzeniem rozwojowym działa w zwolnionym tempie. By uzyskać efekt porównywalny z dziećmi w normie rozwojowej, muszą one włożyć dodatkową energię w celu wyrównania poziomu aktywności obszarów przedczołowych do poziomu koniecznego do efektywnego wykonania zadań. Jest to widoczne w wariancji zapisu.

Poniżej zaprezentowano zapis badań jednego z dzieci.

Rysunek 6.

Aktywność oxyHb kory przedczołowej u 7-letniego chłopca ze zdiagnozowanym ADHD



U dzieci z zaburzeniami ze spektrum autyzmu w znacznej większości badań zaobserwowano trwającą przez całe życie asymetrię w aktywności hemodynamicznej półkul podczas zadań wykonawczych. Niektóre badania wykazały zwiększoną aktywację prawej kory przedczołowej w stanie spoczynkowym (przegląd badań Moriguchi, Hiraki, 2013), inne potwierdziły istotne zmiany w funkcjonowaniu płatów przedczołowych u dzieci z ASD (Kawakubo i in., 2009; Tamura i in., 2012; Xiao i in., 2012; Nakadoi i in., 2012). Analizy QEEG pozwoliły na sformułowanie wniosków, że obszary przedczołowe u dzieci z ASD cechują się zwiększoną aktywnością fal delta i theta, co może wskazywać na obniżony metabolizm w tych regionach, podobnie jak u dzieci z ADHD (Pop-Jordanova i in., 2010).

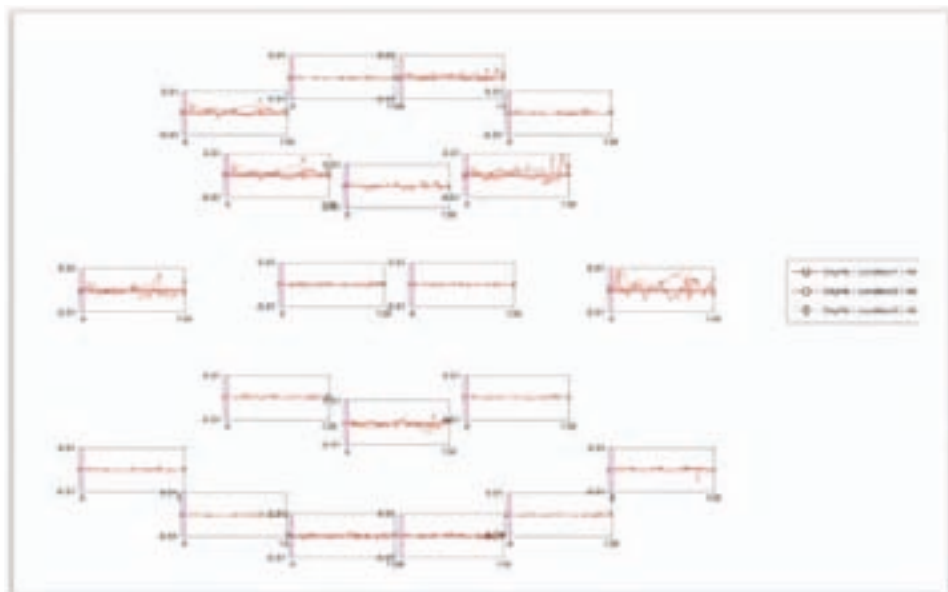
Omawiana procedura badawcza potwierdziła brak symetrii między lewym i prawym obszarem kory przedczołowej u 3 badanych dzieci. Ponadto u dziewczyn-

ki ze zdiagnozowanym Zespołem Aspergera są widoczne duże wariacje zapisu z prawej strony (podczas wykonywania zadań matematycznych oraz szukania wyjścia z labiryntu). Badania QEEG wykazały wzmożoną aktywność fal beta 2 w tym obszarze. Może się to wiązać z wysokim nasileniem emocji, w wyniku trudności w ich regulowaniu (rys. 7). U 8-letniego chłopca z wysoko funkcjonującym autyzmem charakterystyczny jest brak dominacji półkulowej w asymetrii. Może się to wiązać z kilkuletnią intensywną terapią. Wyniki wskazują, że powinna być ona kontynuowana (rys. 8).

Podobnie jak u dzieci z ADHD duże wariacje zapisu wskazują zwiększoną aktywność wybranych obszarów kory przedczołowej. Może to wynikać z tego, że obszary te mają wolniejszy metabolizm. Wykazują również obniżoną koherencję (połączenie) z obszarami tylnymi, które uczestniczą aktywnie w wykonywaniu czynności edukacyjnych. W efekcie przepływ informacji trwa dłużej. Występują również trudności w koncentracji czy panowaniu nad niepotrzebnymi ruchami w zakresie motoryki dużej i małej. By wykonać zadanie, dziecko musi aktywować nie tylko obszary bezpośrednio odpowiedzialne za jego wykonanie, ale również dodatkowo obszary czołowe (by w ten sposób zwiększyć kontrolę nad uwagą celową, emocjami itp.). W efekcie wykonanie zadania wymaga od dziecka więcej czasu i energii.

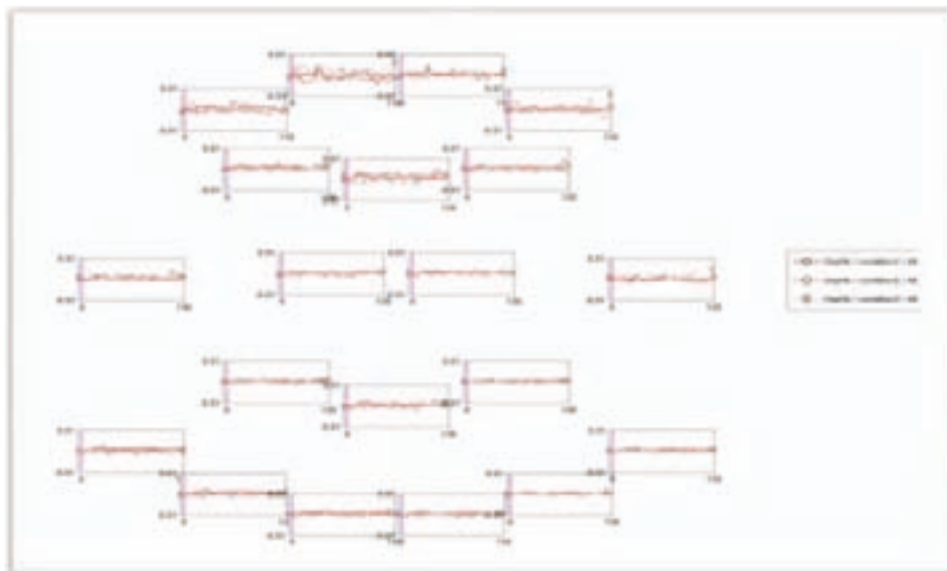
Rysunek 7.

Aktywność hemodynamiczna kory przedczołowej u 8-letniej dziewczynki ze zdiagnozowanym Zespołem Aspergera



Rysunek 8.

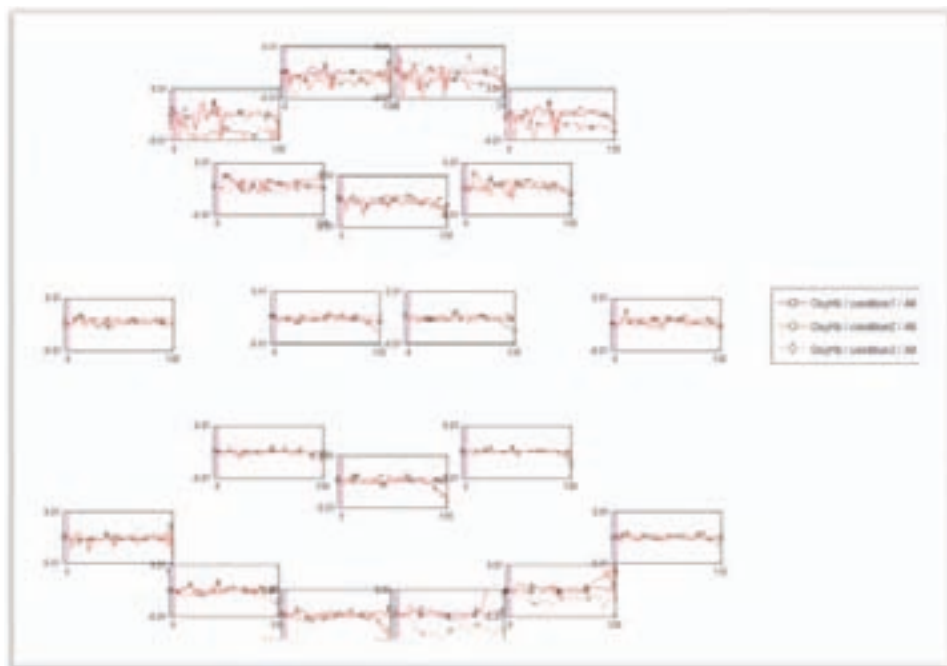
Aktywność hemodynamiczna kory przedczołowej 8-letniego chłopca ze zdiagnozowanymi całościowymi zaburzeniami niesklasyfikowanymi (w wieku 2 lat diagnoza autyzmu wczesnodziecięcego)



W badanej grupie dzieci był również chłopiec z zaburzeniami opozycyjno-buntowniczymi. Badany był w okresie, kiedy nie przyjmował żadnych leków i nastąpiło nasilenie objawów. W odniesieniu do tego zaburzenia dostępne badania pozwoliły wyróżnić tzw. typ gorący (afektywne symptomy drażliwości, napady złości, niechętna nastawienie) i zimny (mściwość i kłótnie). Pierwszy typ jest spowodowany zaburzeniami w ciele migdałowatym, przedniej pokrywie obręczy i korze orbitalno-czołowej, drugi zaś – grzbietowo-bocznej korze przedczołowej i mózdzku (Ghosh i in., 2017; Yokoyama i in., 2015). Badany chłopiec prezentował oba typy. Omawiana procedura pozwoliła zauważyć wysoką, ujemną asymetryczną wariancję zapisu (rys. 9). Może to wskazywać na dezaktywację badanych obszarów (widoczną w obniżeniu poziomu utlenowania krwi). Oznacza to, że w trakcie wykonywanych czynności edukacyjnych uczeń nie starał się aktywować obszarów przedczołowych, które podobnie jak u dzieci z ADHD wykazują obniżony metabolizm. Mogło to wynikać z braku motywacji albo buntu i niechęci wobec wykonywanych zadań (Vetter i in., 2020).

Rysunek 9.

Aktywność hemodynamiczna mózgu 8-letniego chłopca z zaburzeniami opozycyjno-buntowniczymi



PODSUMOWANIE

Celem prowadzonych badań było poznanie neuronalnych mechanizmów wykonywania przez dzieci wybranych czynności edukacyjnych. Wykorzystano w tym celu nowy protokół badań, wykorzystujący intensywnie rozwijającą się metodę neuroobrazowania mózgu – spektroskopię w bliskiej podczerwieni – w obszarze edukacji.

Badanych osób było zbyt mało, by dokonać dokładniejszej analizy statystycznej. Jednak uzyskane wyniki pilotażu są zbieżne z dotychczasowymi badaniami naukowymi.

U dzieci w normie rozwojowej protokół nie wykazał wariacji w zapisie aktywności kory przedczołowej podczas wykonywania zadań. Nie oznacza to, że jest ona nieaktywna. Wyniki wskazują raczej, że nie ma istotnych różnic w stopniu utlenowania krwi między czasem odpoczynku a czasem wykonywania zadań przy wyeliminowaniu czynnika stresowego (zadania dotyczyły czynności znanej dzieciom, poziom trudności był niski lub umiarkowany, uczeń został wcześniej zapoznany ze sprzętem i zadaniami).

Z kolei u dzieci z zaburzeniami, które miały te same warunki badania, procedura uwidoczniła wysoką i asymetryczną wariację w zapisie poziomu utlenowania krwi. Miała ona charakter dodani (świadczący o wzmożonej aktywności obszaru podczas wykonywania zadania) lub ujemny (wskazujący na hipoaktywację). Ukierunkowanie wariacji może wynikać z poziomu motywacji ucznia, natomiast jej nasilenie – z faktu obniżonego metabolizmu tych obszarów i ich opóźnionego rozwoju. Niezależnie od powyższego istotne jest, że autorski protokół badań pozwolił uzyskać zbieżne z dotychczasowymi wynikami markery diagnostyczne opisanych zaburzeń. Tym samym w przyszłości proces diagnostyczny może zostać wzbogacony o protokół krótkiego, dostępnego dla osób w różnym wieku i z różnym poziomem rozwoju, badania, które będzie można przeprowadzić w środowisku naturalnym pacjenta.

Uzyskane wyniki pozwalają również wnioskować o neuronalnych uwarunkowaniach trudności edukacyjnych dzieci. Aktywacja dodatkowych (poza docelowymi) obszarów mózgu dla nauczyciela jest informacją, że dziecko musi włożyć więcej wysiłku w wykonanie nawet łatwego zadania. Wysiłek ten może być ukierunkowany na kontrolę emocji, skupienie uwagi na zadaniu czy na hamowanie nadmiernej ruchliwości i impulsywności. Może to również świadczyć o niskim poziomie automatyzacji czynności. Ważny jest również fakt, że podwyższona wariacja może być widoczna np. jedynie podczas głośnego czytania. Natomiast w trakcie obliczeń matematycznych czy poszukiwania wyjścia z labiryntu zapis aktywność hemodynamicznej może nie różnić się istotnie od przyjętego zapisu wzorcowego. Dla nauczyciela jest to obiektywna, oparta na tzw. twardych danych, informacja, która powinna mieć wpływ na zakres indywidualizacji procesu nauczania; a terapeutę powinna ukierunkować w planowaniu czynności naprawczych.

Artykuł powstał w ramach realizacji projektu: „Wykorzystanie spektroskopii bliskiej podczerwieni (NIRS) w neuropedagogice i neuropsychologii w zakresie profilaktyki i terapii wybranych chorób cywilizacyjnych oraz podniesienia jakości systemu edukacji”, dotowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach grantu na zakup dużej infrastruktury badawczej.

LITERATURA

- Ansari, D., De Smedt, B., Grabner, R.H. (2011). Neuroeducation – A Critical Overview of An Emerging Field. *Neuroethics*, 5 (2), 1–13.
- Arsalidou M., Pawliw-Levac, M., Sadeghi, M., Pascual-Leone, J. (2017). Brain areas associated with numbers and calculations in children: Meta-analyses of fMRI studies. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30, 239–250.

- Balardin, J.B., Zimeo Morais G.A., Furucho, R.A., Trambaioli, L., Vanzella, P., Biazoli, C., Sato, J.R. (2017). Imaging Brain Function with Functional Near-Infrared Spectroscopy in Unconstrained Environments. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 258.
- Budyńko, Ł., Waszak, P. (red.) (2015). Pomysł – badanie – publikacja. Poradnik naukowy dla studentów kierunków medycznych. Gdańsk: GUM.
- Budziński, R. (red.) (2015). Medycyna oparta na dowodach naukowych. Pelplin: Bernardinum.
- Chojak, M. (2018). Neuropedagogy as a Scientific Discipline: Interdisciplinary Description of the Theoretical Basis for the Development of a Research Field. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Educational and Pedagogical Sciences*, 12 (9).
- Christodoulou, J.A., Del Tufo, S.N., Lymberis, J., Saxler, P.K., Ghosh, S.S., Triantafyllou, C., Whitfield-Gabrieli, S., Gabrieli, J.D.E. (2014). Brain Bases of Reading Fluency in Typical Reading and Impaired Fluency in Dyslexia. *PLOS One*, 9 (7). DOI: e100552.
- De Smedt, B., Holloway, D.I., Ansaria, D. (2011). Effects of problem size and arithmetic operation on brain activation during calculation in children with varying levels of arithmetical fluency. *NeuroImage*, 57 (3), 771–781.
- Doi, H., Shinohara, K. (2017). fNIRS Studies on Hemispheric Asymmetry in Atypical Neural Function in Developmental Disorders. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 137.
- Dresler, T., Obersteiner, A., Schecklmann, M., Vogel, A.C., Ehlis, A.C., Richter, M.M., Plichta, M.M., Reiss, K., Pekrun, R., Fallgatter, A.J. (2009). Arithmetic tasks in different formats and their influence on behavior and brain oxygenation as assessed with near-infrared spectroscopy (NIRS): a study involving primary and secondary school children. *Journal of Neural Transmission* (Vienna), 116 (12), 1689–1700.
- Ehlis, A.C., Schneider, S., Dresler, T., Fallgatter, A.J. (2014). Application of functional near-infrared spectroscopy in psychiatry. *NeuroImage Review*, 85 (1), 478–488.
- Friederici, A.D. (2011). The brain basis of language processing: from structure to function. *Physiology Review*, 91 (4), 1357–1392.
- Garstka, T. (2016). Psychopedagogiczne mity. Jak zachować naukowy sceptycyzm w edukacji i wychowaniu. Warszawa: Wolters Kluwer.
- Ghosh, A., Ray, A., Basu, A. (2017). Oppositional defiant disorder: current insight. *Psychology Research and Behavior Management*, 10, 353–367.
- Inoue, Y., Sakihara, K., Gunji, A., Ozawa, H., Kimiya, S., Shinoda, H., Kaga, M., Inagaki, M. (2011). Reduced prefrontal hemodynamic response in children with ADHD during the Go/NoGo task: A NIRS study. *Neuroreport*, 23, 55–60.
- Kawakubo, Y., Kuwabara, H., Watanabe, K., Minowa, M., Someya, T., Minowa, I., Kono, T., Nishida, H., Sugiyama, T., Kato, N., Kasai, K. (2009). Impaired Prefrontal Hemodynamic Maturation in Autism and Unaffected Siblings. *PloS one*, 4. DOI: e6881.

- Kawashima, R., Taira, M., Okita, K., Inoue, K., Tajima, N., Yoshida, H., Fukuda, H. (2004). A functional MRI study of simple arithmetic – A comparison between children and adults. *Cognitive Brain Research*, 18 (3), 225–231.
- Kolasa, G., Rybakowski, F. (2019). Application of functional near-infrared spectroscopy in psychiatry and physical activity studies. *Pharmacotherapy in Psychiatry and Neurology*, 35, 131–145.
- Masataka, N., Perlovsky, L., Hiraki, K. (2015). Near-infrared spectroscopy (NIRS) in functional research of prefrontal cortex. *Frontiers of Human Neuroscience*, 9, 274.
- Safi, D., Lassonde, M., Nguyen, D.K, Vannasing, P., Tremblay, J., Florea, O., Morin-Moncet, O., Lefrançois, M., Béland, R. (2012). Functional near-infrared spectroscopy for the assessment of overt reading. *Brain Behaviour*, 2 (6), 825–837.
- Maxwell, B., Racine, E. (2012). The Ethics of Neuroeducation: Research, Practice and Policy. *Neuroethics*, 5 (2).
- McCaskey, U., von Aster, M., Maurer, U., Martin, E., O’Gorman Tuura, R., Kucian, K. (2018). Longitudinal Brain Development of Numerical Skills in Typically Developing Children and Children with Developmental Dyscalculia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 629.
- Mizerek, H. (2015). Praktyka edukacyjna oparta na dowodach naukowych – założenia, dylematy, perspektywy. *Forum Oświatowe*, 27, 2 (54), 25–40.
- Moriguchi, Y., Hiraki, K. (2013). Prefrontal cortex and executive function in young children: a review of NIRS studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 867.
- Nakadoi, Y., Sumitani, S., Watanabe, Y., Akiyama, M., Yamashita, N., Ohmori, T. (2012). Multi-channel near-infrared spectroscopy shows reduced activation in the prefrontal cortex during facial expression processing in pervasive developmental disorder. *Psychiatry and clinical neurosciences*, 66, 26–33.
- Nuwer, M.C., Buchhalter, J., Shepard, K.M. (2016). Quantitative EEG in attention-deficit/hyperactivity disorder. A companion payment policy review for clinicians and payers. *Neurology in Clinical Practice*, 6 (6), 543–548.
- Peters, L., De Smedt, B. (2017). Arithmetic in the developing brain: A review of brain imaging studies. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30, 265–279.
- Pop-Jordanova, N., Zorcec, T., Demerdzieva, A., Gucev, Z. (2010). QEEG characteristics and spectrum weighted frequency for children diagnosed as autistic spectrum disorder. *Nonlinear Biomedical Physics*, 4, 4.
- Prado, J., Mutreja, R., Booth, J.R. (2014). Developmental dissociation in the neural responses to simple multiplication and subtraction problems. *Developmental Science*, 17 (4), 537–552.
- Prado, J., Mutreja, R., Zhang, H., Mehta, R., Desroches, A.S., Minas, J.E., Booth, J.R. (2011). Distinct representations of subtraction and multiplication in the neural systems for numerosity and language. *Human Brain Mapping*, 32 (11), 1932–1947.

- Price, G.R., Mazocco, M.M.M., Ansari, D. (2013). Why mental arithmetic counts: brain activation during single digit arithmetic predicts high school math scores. *Journal of Neuroscience*, 33 (1), 156–163.
- Rosenberg-Lee, M., Barth, M., Menon, V. (2011). What difference does a year of schooling make? Maturation of brain response and connectivity between 2nd and 3rd grades during arithmetic problem solving. *Neuroimage*, 57 (3), 796–808.
- Safi, D., Lassonde, M., Nguyen, D.K, Vannasing, P., Tremblay, J., Florea, O., Morin-Moncet, O., Lefrançois, M., Béland, R. (2012). Functional near-infrared spectroscopy for the assessment of overt reading. *Brain Behaviour*, 2 (6), 825–837.
- Schecklmann, M., Romanos, M., Bertscher, F., Plichta, M., Warnke, A., Fallgatter, A. (2010). Prefrontal oxygenation during working memory in ADHD. *Journal of Psychiatric Research*, 44, 621–628.
- Seghier, M.L. (2008). Laterality index in functional MRI: methodological issues. *Magnetic Resonance Imaging*, 26 (5), 594–601.
- Shyman, E. (2017). Please Wait, Processing: A Selective Literature Review of the Neurological Understanding of Emotional Processing in ASD and Its Potential Contribution to Neuroeducation. *Brain Science*, 7 (11), 153.
- Siemann, J., Peterman, F. (2018). Evaluation of the Triple Code Model of numerical processing—Reviewing past neuroimaging and clinical findings. *Research in Developmental Disabilities*, 72, 106–117.
- Sikorski, W. (red.) (2015). Neuroedukacja. Jak wykorzystać potencjał mózgu w procesie uczenia się. Słupsk: Dobra Literatura.
- Simon, O., Mangin, J.F., Cohen, L., Le Bihan, D., Dehaene, S. (2002). Topographical layout of hand, eye, calculation, and language-related areas in the human parietal lobe. *Neuron*, 33 (3), 475–487.
- Soltanlou, M., Jung, S., Roesch, S., Ninaus, M., Brandelik, K., Heller, J., Grust, T., Nuerk, H.C., Moeller, K. (2017). Behavioral and Neurocognitive Evaluation of a Web-Platform for Game-Based Learning of Orthography and Numeracy. W: J. Buder, F.W. Hesse (red.). *Informational Environments* (s. 149–176). Cham: Springer.
- Sousa, D. (2019). Mind, Brain, and Education: Neuroscience Implications for the Classroom (The Leading Edge Series).
- Tachtsidis, P.P., Hamilton, I., Hirsch, A., Aichelburg, J., Gilbert, C., Burgess, S. (2020). The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464 (1), 5–29.
- Tamura, R., Kitamura, H., Endo, T., Abe, R., Someya, T. (2012). Decreased leftward bias of prefrontal activity in autism spectrum disorder revealed by functional near-infrared spectroscopy. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 203 (2–3), 237–240.

- Wan, N., Hancock, A.S., Moon, T.K., Gillam, R.B. (2017). A functional near-infrared spectroscopic investigation of speech production during reading. *Human Brain Mapping*, 39 (3), 1428–1437.
- Vetter, N.C., Backhausen, L.L., Buse, J., Roessner, V., Smolka, M.N. (2020). Altered brain morphology in boys with attention deficit hyperactivity disorder with and without comorbid conduct disorder/oppositional defiant disorder. *Human Brain Mapping*, 41 (4), 973–983.
- Xiao, T., Xiao, Z., Ke, X., Hong, S., Yang, H., Su, Y., Chu, K., Xiao, X., Shen, J., Liu, Y. (2012). Response Inhibition Impairment in High Functioning Autism and Attention Deficit Hyperactivity Disorder: Evidence from Near-Infrared Spectroscopy Data. *PLoS One*, 7 (10). DOI: e46569.
- Yokoyama, C.K., Hisanobu, K., Kinou, M., Umekage, T., Yasuda, S., Takei, K., Nishikawa, M., Sasaki, T., Nishimura, Y., Hara, N., Inoue, K., Kaneko, Y., Suzuki, S., Tanii, H., Okada, M., Okazaki, Y. (2015). Dysfunction of ventrolateral prefrontal cortex underlying social anxiety disorder: A multi-channel NIRS study. *NeuroImage: Clinical*, 27.
- Zamarian, L., Ischebeck, A.I., Delazer, M. (2009). Neuroscience of learning arithmetic – Evidence from brain imaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33 (6), 909–925.
- Żylińska, M. (2013). Neurodydaktyka. Nauczanie i uczenie się przyjazne mózgowi. Toruń: Wyd. Naukowe UMK.

NEUROFACTED EDUCATION – INITIAL ANALYSIS OF A NEW RESEARCH PROTOCOL
BASED ON THE METHODOLOGY OF PEDAGOGY AND MEDICINE

Abstract: Recent years have brought with them an increase in the interest of educators in research in the field of neuroscience. Among the publications – including scientific ones – there were various proposals that referred to brain research. Neuropedagogy, neuroeducation and neurodidactics have become an attractive field of interdisciplinary discussions. Unfortunately, a significant impact on their quality was the fact that evidence-based education is still a little-known approach among educators. This article presents the procedure based on brain imaging and pedagogical methodology. Preliminary results of the analysis have shown that the information obtained in this way can be the basis for individualizing the education of children with developmental disorders.

Keywords: neuropedagogy, evidence-based education, brain, NIRS, early school education