

Komputerowe versus papierowe narzędzia oceny umiejętności matematycznych dzieci

Computer-assisted versus paper-pencil methods for assessing children's mathematical skills

Dominika Ciechalska, Małgorzata Gut

Wydział Humanistyczny Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, Polska

Neuropsychiatria i Neuropsychologia 2018; 13, 3: 104–113

Adres do korespondencji:

Małgorzata Gut
Katedra Psychologii
Wydział Humanistyczny
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Gagarina 39, 87-100 Toruń
e-mail: malgorzata.gut@gmail.com

Streszczenie

Tworzenie i stosowanie komputerowych wersji narzędzi do badań psychologicznych staje się w obecnych czasach oczywistym elementem diagnostyki i poradnictwa. Czy programy komputerowe wykorzystywane w tym celu zastąpią wkrótce tradycyjne metody typu papier–ołówek? Jakie zalety tych narzędzi mogą o tym przesądzać? Na czym polega ich przewaga nad metodami tradycyjnymi, a czego takie narzędzia nie zapewnią badaczom? Komputerowe metody pomiaru stosuje się w badaniach szerokiego zakresu funkcji poznawczych i umiejętności, m.in. w ocenie poziomu kompetencji matematycznych i diagnozie zaburzeń umiejętności przetwarzania liczb, takich jak dyskalkulia. Pozwala to na precyzyjny pomiar wskaźników deficytów, który nie jest możliwy przy użyciu testów papierowych lub jest możliwy tylko w ograniczonym stopniu.

Artykuł stanowi próbę krytycznego przeglądu wybranych metod oceny umiejętności matematycznych dzieci, zarówno tradycyjnych (typu papier–ołówek), jak i opracowywanych obecnie metod komputerowych. Opisano w nim narzędzia stworzone i wykorzystywane na świecie, a także stosowane w badaniach naukowych i diagnostyce w Polsce. Celem przeglądu jest porównanie tych narzędzi pod względem ich rzetelności, charakteru i szczegółowości danych uzyskanych za pomocą poszczególnych metod. Przedyskutowano również inne zalety i wady tradycyjnych i komputerowych technik pomiaru wskaźników umiejętności matematycznych lub deficytów w tym zakresie.

Słowa kluczowe: umiejętności matematyczne, dyskalkulia, testy komputerowe.

Abstract

Nowadays the development and use of the computerised variant of methods is an obvious part of research and diagnosis, which is widely used in psychological practice. Will these computer-assisted tools used for this purpose replace the traditional paper-pencil tools? What are their advantages and disadvantages in comparison to traditional methods? What could such tools never provide to psychologists? The computerised tests are commonly used for assessment of a broad range of cognitive functions as well as capacities, among others for measurement of mathematical competencies and for diagnosis of deficiencies observed in the case of number processing. It allows us to measure the disorder's indices in a precise way, which is unobtainable in the case of paper-pencil tools (or it is possible only to a limited extent).

This paper presents the critical review of several selected methods, which are used for assessment of children's mathematical abilities. Here we describe both traditional paper-pencil tasks as well as computer-assisted ones. The aim of this review is to compare these methods in terms of their reliability, advantages and disadvantages, as well as the details of the data provided by both type of tools used for the measurement of mathematical skills in the case of normal development and in the case of cognitive deficits (e.g. dyscalculia).

Key words: mathematical abilities, dyscalculia, computer-assisted methods.

Dyskalkulia i jej neuronalne korelaty

Trudno jest jednoznacznie zdefiniować pojęcie dyskalkulii, gdyż obejmuje ono wiele czynników. Zgodnie z jedną z pierwszych definicji dyskalkulii rozwojowej, sformułowaną przez Košča (1982), jest to strukturalne zaburzenie zdolności matematycznych wynikające z deficytów genetycznych i wrodzonych w odniesieniu do tych części mózgu, które stanowią podłoże anatomiczno-fizjologiczne rozwoju zdolności matematycznych odpowiednio do wieku, bez jednoczesnego zaburzenia ogólnych funkcji umysłowych. W literaturze naukowej natomiast często zamiennie stosuje się takie terminy, jak „zaburzenie zdolności matematycznych” czy „upośledzenie zdolności liczenia” (Landerl i Kaufmann 2013). Wiele definicji skupia się tylko na poszczególnych cechach dyskalkulii, dlatego z powodu wielowymiarowości tego deficytu nie jest łatwo precyzyjnie go opisać, a każdy przypadek należy traktować indywidualnie.

Jedną z definicji dyskalkulii kładzie nacisk przede wszystkim na problemy związane z pamięciowym przetwarzaniem danych arytmetycznych oraz stosowaniem niedojrzałych strategii obliczeniowych (Price i Ansari 2013). Szereg badań z użyciem metod neuroobrazowania, które prowadzono w ciągu ostatniej dekady, pokazuje jednak, że dyskalkulia może się wiązać z zaburzeniami w funkcjonowaniu oraz strukturze neurobiologicznego systemu przetwarzania liczb (Wilson i Dehaene 2007). Dodatkowo cały czas badacze starają się rozstrzygnąć, w jakim stopniu na umiejętności matematyczne wpływa pamięć robocza lub uwaga przestrzenna (Iuculano 2016).

Najczęściej spotykaną cechą u osób z dyskalkulią – w porównaniu z prawidłowo rozwijającymi się rówieśnikami – jest osłabiona zdolność do wydobywania faktów arytmetycznych (Butterworth i wsp. 2011). Dzieci, które rozwijają się prawidłowo, już w pierwszej lub drugiej klasie szkoły podstawowej przechodzą zmiany rozwojowe dotyczące strategii liczenia. Zaczynają od rozwiązywania problemów za pomocą najprostszych metod proceduralnych, takich jak zliczanie elementów. Zazwyczaj w trzeciej klasie mają już w pamięci pewien zasób informacji arytmetycznych, dzięki którym mogą szybko przypomnieć sobie rozwiązanie danego problemu. U dzieci z dyskalkulią powyższe umiejętności pojawiają się dużo później (Shalev i wsp. 1997). W czasie gdy ich rówieśnicy stosują metodę odzyskiwania z pamięci już posiadanych informacji, uczniowie z dyskalkulią nadal posługują się charakterystyczną dla wcześniejszych etapów rozwojowych meto-

dą zliczania elementów, a więc stosują niedojrzałe strategie wykonywania takich zadań. Według badań (Price i Ansari 2013) dzieci z nasilonym deficytem związanym z odzyskiwaniem faktów arytmetycznych przypominają sobie średnio trzy razy mniej takich informacji niż dzieci, które rozwijają się prawidłowo. Następstwem powyższego jest korzystanie z nieefektywnych strategii rozwiązywania problemów matematycznych.

Inną, równie często obserwowaną cechą jest niezdolność do konceptualizacji liczb jako abstrakcyjnych pojęć oraz wykazywanie specyficznych trudności w przetwarzaniu pojęć arytmetycznych (Peard 2010). Dzieci z dyskalkulią mają przede wszystkim zaburzoną umiejętność porównywania wartości liczbowych, co wskazuje na elementarne braki w podstawowym przetwarzaniu poznawczych reprezentacji liczb. Bardzo często można u nich zaobserwować odwrócony kierunek tzw. efektu dystansu numerycznego (Hoffmann i wsp. 2014). Efekt ten polega na tym, że im mniejsza odległość (różnica) między dwiema porównywanymi liczbami, tym dłuższy czas reakcji i większa liczba błędów (Moyer i Landauer 1967). Wynika to ze specyficznej organizacji umysłowej reprezentacji przestrzennego uporządkowania liczb, czyli tzw. mentalnej osi liczbowej (*mental number line* – MNL). U osób z dyskalkulią natomiast efekt ten jest odwrotny – im mniejszy dystans między dwiema liczbami, tym szybsza reakcja (Turconi i wsp. 2006), gdyż przy większym dystansie, a więc wyższych wartościach liczbowych, dzieci te tracą dużo czasu na przeliczenie różnicy.

Dodatkowym problemem może być nazywanie liczb i rozumienie reprezentujących je symboli (Geary i Hoard 2001). Dzieci z dyskalkulią często podają liczebnik, który odpowiada wartości zbliżonej do prawidłowej liczby (np. mówią „dziewięć”, gdy pokazują cyfrę 7). Trudność sprawia im również zrozumienie struktury systemu dziesiętnego (tego, że np. w liczbie 356 cyfra 6 odnosi się do sześciu jednostek, a nie sześciu dziesiątek). Zakłócenia w przetwarzaniu syntaktycznej struktury liczb mogą być odzwierciedlone w błędach podczas transkodowania słownych reprezentacji liczb na symbole arabskie (np. błędne transkodowanie liczby „osiemdziesiąt cztery” na 804).

Kolejną cechą charakteryzującą osoby z dyskalkulią jest problem z szacowaniem liczebności, co wiąże się z systemem przybliżonego szacowania (*approximate number system* – ANS) (Dehaene 1997). Pozwala on na szacowanie wielkości bez opierania się na języku lub symbolach. Wymaga on zatem niesymbolicznej reprezentacji liczb po-

zwalającej np. na określenie, który zbiór elementów jest większy, niezależnie od ich wielkości. Reprezentacje te są aktywne w każdej chwili, gdy ktoś myśli o liczbach lub ich używa. Dzieje się to nie tylko podczas rozwiązywania typowych problemów matematycznych, lecz także przy podejmowaniu codziennych decyzji (np. którą kolejkę do kasy w sklepie wybrać). System ten nie jest precyzyjny, a więc różni się od systemu standardowego przeliczania. Badania dowodzą, że dokładność systemu ANS rośnie z wiekiem w taki sposób, że dorośli w przeciwieństwie do niemowląt mogą rozróżniać liczebności dużych zbiorów (Halberda i Feigenson 2008). Badania wskazują jednak, że niemowlęta posiadają tzw. zmysł numeryczny (*number sense*), zanim jeszcze zaczną mówić. Sprawdzając ich zdolności matematyczne w pierwszym roku życia, można dodatkowo przewidzieć, jak rozwiną się one w wieku przedszkolnym (Starr i wsp. 2013).

Interesujących wyników dotyczących szacowania w dyskalkulii dostarczyły badania z wykorzystaniem metody okulografii (Moeller i wsp. 2009). Celem badaczy było wyjaśnienie, czy deficyt szacowania u dwóch 10-letnich chłopców z dyskalkulią to efekt ogólnego spowolnienia dostępu do reprezentacji wielkości oraz czy dzieci z dyskalkulią uciekają się do strategii liczenia od tyłu nawet w przypadku niewielkiej liczby obiektów. Wyniki chłopców porównano z grupą kontrolną 8 dzieci. Zaobserwowano, że podczas liczenia kropek liczba fiksacji potrzebna do zakodowania liczebności zbioru była większa niż podczas szacowania, ile kropek jest w zbiorze. Co ważne, okazało się, że średni czas trwania fiksacji nie różnił się pomiędzy grupami, ale u dzieci z dyskalkulią liczba fiksacji podczas szacowania wzrastała wraz z liczbą kropek w zbiorze. To sugeruje, że kodowanie niesymbolicznych formatów liczb jest u nich zaburzone w taki sposób, że dzieci z deficytem rzeczywiście muszą liczyć, podczas gdy prawidłowo rozwijające się dzieci są zdolne do określania liczby kropek poprzez szacowanie.

Dzieci z dyskalkulią mają też wiele innych problemów związanych z umiejętnościami matematycznymi (Williams 2013), np. nie są w stanie określić, czy rozwiązanie zadania jest prawidłowe. Mają również trudności z liczeniem od tyłu oraz rozpoznawaniem znaków matematycznych (tj. znaku dodawania, odejmowania, mnożenia, dzielenia, większości, mniejszości czy równości) i częściej liczą na palcach zamiast stosować bardziej efektywne metody. Mają także problem z zarządzaniem pieniędzmi oraz różnymi aspektami dotyczącymi czasu, np. z odczytywaniem

godziny z zegara analogowego czy organizacją czasu w życiu codziennym.

Struktury mózgowe zaangażowane w przetwarzanie materiału numerycznego znajdują się w obszarach ciemieniowych i czołowych (Dehaene i wsp. 2004; Hubbard i wsp. 2005; Butterworth i wsp. 2011). Kluczowy obszar dla podstawowych umiejętności przetwarzania liczb oraz zależności numeryczno-przestrzennych został zlokalizowany w bruzdzie śródcieniowej, która aktywuje się podczas detekcji liczb prezentowanych wzrokowo i słuchowo (Eger i wsp. 2003) oraz porównywania wartości liczbowych (Piazza i wsp. 2007; Cao i wsp. 2010). Region znajdujący się wyżej i bardziej z tyłu względem bruzdy śródcieniowej jest z kolei powiązany z przeliczaniem, ale też z uwagą przestrzenną (Dehaene i wsp. 2003; Hubbard i wsp. 2005). Inny obszar kory ciemieniowej związany z operowaniem liczbami to lewy zakręt kątowy, aktywujący się podczas wykonywania zadań arytmetycznych oraz związany z umiejętnościami matematycznymi zależnymi od języka, np. wydobywaniem faktów arytmetycznych (Delazer i wsp. 2003). Funkcjonalne połączenia między obszarami czołowymi i ciemieniowymi są aktywne podczas wykonywania bardziej złożonych zadań wymagających przetwarzania liczb (np. Nieder i Dehaene 2009).

Jakie są przyczyny dyskalkulii na poziomie organizacji mózgu? Opisane objawy korelują z zaburzeniami o charakterze neuronalnym w obszarach odpowiedzialnych za kształtowanie MNL (Kucian i wsp. 2006; Mussolin i wsp. 2010). Badania z użyciem neuroobrazowania ujawniły u osób z tym deficytem nietypową głębokość bruzdy śródcieniowej (Molko i wsp. 2003), mniejszą ilość substancji szarej w tym obszarze (Isaacs i wsp. 2001; Rotzer i wsp. 2008; Rykhlevskaia i wsp. 2009), anatomiczne deficyty w obszarach wzrokowych wyższego rzędu i redukcję objętości istoty białej w częściach płatów ciemieniowych, skroniowych i czołowych (Ranpura i wsp. 2013). Badania nad połączeniami funkcjonalnymi między obszarami kory ciemieniowej i obszarami potyliczno-skroniowymi zaangażowanymi w przetwarzanie liczb wykazały nieprawidłowo rozwiniętą koordynację między tymi strukturami u dzieci z dyskalkulią (Rykhlevskaia i wsp. 2009). W badaniach Kucian i wsp. (2006) podczas rejestracji aktywacji mózgu w trakcie przybliżonych obliczeń stwierdzono, że zarówno w grupie z dyskalkulią, jak i w grupie kontrolnej aktywowały się te same obszary, jednak aktywacja u dzieci z deficytem była słabsza, a największe różnice dotyczyły

lewej bruzdy śródcieniowej (zob. też Dinkel i wsp. 2013). Również w badaniach Molko i wsp. (2003) obserwowano zredukowaną aktywację sieci ciemieniowo-przedczołowej, szczególnie podczas porównywania liczebności zbiorów, porównywania liczb w postaci symboli arabskich i wykonywania zadań arytmetycznych.

Jak powinna przebiegać prawidłowa diagnoza dyskalkulii?

Prawidłowa diagnoza powinna odbywać się wielotorowo (Oszwa 2005a). Pierwszy poziom to testy osiągnięć i umiejętności szkolnych w zakresie czytania, pisania i liczenia. Drugi poziom obejmuje testy ogólnych zdolności, czyli inteligencji – zarówno płynnej, jak i skryzalizowanej. Trzeci to testy zdolności specyficznych, które są ważne z punktu widzenia opanowania umiejętności czytania, pisania i liczenia. Podczas diagnozy dyskalkulii istotne jest, aby uwzględnić w niej również inne aspekty, nie tylko te ściśle powiązane z matematyką. Diagnoza musi zawierać także szczegółowy wywiad dotyczący funkcjonowania dziecka w rodzinie oraz w szkole. Ponadto powinno się wziąć pod uwagę czynniki społeczne i emocjonalne oraz wyniki badań psychofizjologicznych czy neuropsychologicznych (Kaufmann i von Aster 2012).

W związku z tym, że diagnoza dyskalkulii musi obejmować wiele sfer funkcjonowania dziecka, stworzenie narzędzia, które umożliwiłoby jednoznaczne stwierdzenie tego deficytu, jest bardzo trudne. Istnieją testy, które pozwalają stwierdzić ryzyko dyskalkulii, co jest już dużym ułatwieniem przy diagnozie. Należałoby jednak zastanowić się nad tym, które z nich są najbardziej miarodajne, jakie są ich wady i zalety oraz jaka forma testu może dostarczyć więcej potrzebnych danych.

Testy papier-ołówek jako tradycyjne narzędzia diagnozy dyskalkulii

Obecnie w Polsce jednym z najczęściej stosowanych testów jest test „Kalkulia III” Košča (Košč i Ponczek 1998). Jego celem jest sprawdzanie umiejętności matematycznych i wiedzy szkolnej na temat liczenia (dodawania, odejmowania i mnożenia) w zakresie od 1 do 100. Osoba badana ma za zadanie określić liczbę czarnych kropek rozmieszczonych w symetrycznych układach w obrębie kwadratów względem ich przekątnych lub osi poziomej i pionowej. Wymiary kwadratów to 10×10 kropek. W teście istotna jest strategia przyjęta podczas rozwiązywania

zadania. Dostrzeżenie symetrii ułożenia kropek i wykorzystanie tej wiedzy podczas ich zliczania jest najszybszym sposobem, najmniej efektywnym jest natomiast zliczanie wszystkich kropek po kolei. Czas na wykonanie wszystkich zadań (zestawów kropek) wynosi 35 minut. Oznacza to, że przyjęcie przez badanego nieefektywnej strategii skutkuje wolnym wykonaniem i niewielką liczbą przeliczonych układów kropek w wymaganym czasie. Test pozwala określić matematyczny wiek dziecka oraz obliczyć iloraz matematyczny, który otrzymuje się, dzieląc wiek matematyczny przez wiek metrykalny, a następnie mnożąc wynik przez 100 (analogicznie do obliczania ilorazu inteligencji).

Kolejne narzędzie to Trójkąt Liczbowy Košča (1982). Na początku badany ma za zadanie zapisać kolejno (jedna pod drugą) piętnaście podyktowanych cyfr z zakresu 0–9. Następnie, zaczynając od góry kolumny, dodaje dwie kolejne liczby i zapisuje wynik w drugiej kolumnie po prawej stronie, na wysokości pomiędzy dodawanymi liczbami. Jeśli wynik dodawania jest większy niż 10, zapisuje tylko cyfrę jedności. Po wykonaniu wszystkich obliczeń z pierwszej kolumny badany przechodzi do następnej, którą właśnie utworzył, wykonując poprzednie działania, i robi to samo aż w ostatniej – piętnastej – kolumnie zostanie jedna cyfra.

Nadrzędnym celem badania tym testem jest określenie sprawności w dodawaniu, umiejętności postępowania według instrukcji i poziomu orientacji wzrokowo-przestrzennej w przypadku takiego materiału jak symbole liczbowe. W teście mierzy się liczbę błędów popełnionych w dodawaniu i zapisie oraz czas wykonania. Wynik w Trójkącie Liczbowym może być podstawą do stwierdzenia deficytów umiejętności matematycznych w zakresie dodawania liczb z przedziału 0–20 (Oszwa 2005a).

Testem typu papier-ołówek stosowanym w Polsce jest również *Skala gotowości matematycznej i ryzyka dyskalkulii* (SGMiRD) (Karpińska i wsp. 2014). W pierwszej części pozwala ona na sprawdzenie rozumienia cykliczności i następstw, znajomości pór roku, pór dnia i nazw miesięcy. Druga część umożliwia zweryfikowanie znajomości symboli liczb (0–20) oraz umiejętności związanych z przeliczaniem i szacowaniem. Następną część testu weryfikuje, czy dziecko zna znaki relacji i czy używa ich poprawnie w zadaniach, oraz sprawdza wykonanie prostych zadań arytmetycznych. Czwarta część zawiera zadania na znajomość figur geometrycznych, zaś w ostatniej testowana jest sprawność funkcji wzrokowo-przestrzennych dziecka oraz zdolność

do analizy i syntezy na materiale graficznym, a także umiejętność szeregowania elementów według wielkości fizycznej. W ostatnich zadaniach oprócz poprawności dodatkowo mierzony jest czas wykonania. Narzędzie to umożliwia kompleksową ocenę kompetencji matematycznych u dzieci rozpoczynających edukację szkolną oraz zidentyfikowanie tych uczniów, u których rozwój funkcji poznawczych i umiejętności matematycznych sugeruje możliwość wystąpienia w przyszłości trudności w nauce matematyki.

W krajach anglojęzycznych najczęściej stosowanymi bateriami testów diagnozujących dyskalkulię są *British Ability Scales II* (BAS II) oraz *Wide Range Achievement Test* (WRAT). Pierwsza z nich zawiera wystandaryzowane testy mierzące wiek rozwojowy dziecka na podstawie umiejętności szkolnych, takich jak czytanie, pisanie czy liczenie (Oszwa 2005b). Bateria ta obejmuje kilkanaście podtestów tworzących trzy kategorie. Pierwsza to skale zasadnicze, które oprócz poziomu funkcji werbalnych i przestrzennych mierzą również rozumowanie dotyczące materiału niewerbalnego, tj. definiowanie słów, podobieństwa słowne, matryce, rozumowanie matematyczne, pamięć obiektów i wzory konstrukcji. Druga kategoria obejmuje skale diagnostyczne pozwalające ocenić pamięć cyfr wprost i wspak, werbalne i przestrzenne zapamiętywanie obiektów, rozpoznawanie obrazków oraz szybkość przetwarzania informacji. Natomiast trzecia kategoria to skale osiągnięć służące do pomiaru umiejętności matematycznych, ortograficznych i czytania słów. Zastosowano w nich zadania polegające na wskazywaniu liczb prezentowanych werbalnie, nazywaniu liczb prezentowanych graficznie, wykonywaniu obliczeń z zakresu dodawania, odejmowania, mnożenia, dzielenia, operacji na ułamkach zwykłych i dziesiętnych oraz zadań z treścią. Użycie powyższego zestawu testów daje wiedzę dotyczącą osiągnięć dziecka, a także pozwala określić jego wiek szkolny. Test przeznaczony jest do badania dzieci w bardzo szerokim przedziale wieku, bo od 3 do 17 lat. Bateria testów WRAT jest bardzo podobna do BAS II (Oszwa 2005b). Zawiera podtesty, które pozwalają badać umiejętności czytania, pisanie i dokonywania operacji arytmetycznych.

Jeszcze innym narzędziem jest *The Number Set Tests – Zestaw testów numerycznych* (Geary i wsp. 2009). Jest to zbiór zadań, które mają ułatwić ocenę ryzyka trudności w uczeniu się matematyki. W pierwszej części testu dziecko ma za zadanie jak najszybciej i jak najdokładniej określić, czy w dwóch lub trzech kwadratach ułożonych obok siebie łączna liczba elementów

(w postaci zestawu obiektów, cyfr arabskich albo ich kombinacji) wynosi nie więcej niż 5 (lub 9, w zależności od wariantu zadania). Limit czasu wynosi 60 sekund dla 5 elementów i 90 sekund dla 9. W drugiej części badany wskazuje na osi liczbowej bez podziałki (z punktem początkowym 0 i końcowym 100) miejsce liczby prezentowanej nad osią. W zadaniu tym mierzy się dokładność wskazania pozycji podanej liczby, która jest określana jako bezwzględna różnica między rzeczywistym miejscem liczby na osi a tym zaznaczonym przez dziecko. Następna część testu sprawdza umiejętność poprawnego przeliczania z użyciem żetonów. Badany ma za zadanie kontrolować (i ewentualnie poprawiać), czy liczący posługujący się pacynką przelicza prawidłowo. W ostatniej części natomiast weryfikuje się umiejętność dodawania dwóch liczb, przy czym badacz dodatkowo obserwuje, jaką strategią posługuje się dziecko: oblicza na palcach, na głos czy w pamięci.

Mocne i słabe strony tradycyjnych narzędzi do diagnozy dyskalkulii

Testy papierowe były pierwszymi narzędziami, jakich używano do oceny ryzyka dyskalkulii u dzieci. Te początkowo stosowane skupiały się jedynie na sprawdzaniu umiejętności z zakresu wykonywania podstawowych działań arytmetycznych. Uzyskane w ten sposób dane nie mogą być jednak jedyną przesłanką do stwierdzenia ryzyka dyskalkulii, ponieważ dzieci stosujące niedojrzałe metody obliczania mogą uzyskiwać poprawne wyniki, natomiast wyniki błędne mogą być rezultatem zaniedbań dydaktycznych. Forma tych testów stanowi także przeszkodę dla dzieci, które sprawnie liczą, ale mają trudności natury percepcyjnej (Oszwa 2005a). Bateria testów BAS II skupia się wprawdzie na większej liczbie aspektów dyskalkulii, ale ocenia jedynie stopień odchylenia od wyników przeciętnych dla wieku, co może być dopiero punktem wyjścia do stwierdzenia zaburzeń. Z kolei największą zaletę baterii WRAT stanowi fakt, że jest to narzędzie zweryfikowane i wystandaryzowane. Innym atutem może być krótki czas trwania badania oraz możliwość oceny poziomu umiejętności w różnych obszarach kompetencji szkolnych za pomocą jednej metody. Z drugiej strony metoda ta służy przede wszystkim dokonywaniu pomiaru poziomu umiejętności, nie zaś do identyfikowania dzieci z poważniejszymi problemami (Geary i wsp. 2004). Test SGMiRD weryfikuje umiejętności z kilku obszarów łącznie, co niewątpliwie stanowi jego zaletę. Oprócz tego dzięki

swojej wizualnej atrakcyjności oraz dużej liczbie dodatkowych elementów (np. miś, samochód, kolorowe kartoniki) może zachęcać dziecko do rozwiązywania zadań i nie jest nużący. Jego wadą może być jednak fakt, że w przypadku niektórych zadań, np. dotyczących znajomości znaków relacji i umiejętność posługiwania się nimi, dziecko niemające takich umiejętności ze względu na to, że pojawiają się one później w podstawie programowej, traci punkty, choć nie wynika to z jego dysfunkcji.

Największą wadą testów papierowych jest to, że nie dostarczają one dokładnej informacji na temat czasu czy precyzji udzielanej odpowiedzi, mimo że pomiar wskaźników procesów poznawczych musi być precyzyjny i nierzadko opóźnienie rzędu kilkuset milisekund może świadczyć o zaburzonych zdolnościach. Żaden test typu papier-olówek nie ujawni tak dokładnych i subtelnych różnic. W efekcie sam pomiar liczby poprawnych odpowiedzi (bez kontroli czasu reakcji) nie wykaże deficytu. Kolejną słabością testów tradycyjnych mogą być polecenia (które są np. zbyt złożone) oraz – generalnie – zastosowanie zadań werbalnych, co może skutkować niewłaściwą diagnozą. Błędne odpowiedzi dziecka mogą bowiem nie wynikać z zaburzonego tzw. poczucia liczby (czyli zmysłu numerycznego), lecz z deficytu o charakterze językowym lub z problemów w zakresie pamięci roboczej. Mankamentem testów papierowych jest również to, że składają się z bardzo małej liczby próbek, których kolejność w dodatku nie jest losowa, co z kolei ma wpływ na ich rzetelność.

Wspierane komputerowo metody diagnozy dyskalkulii

Dzięki postępowi technicznemu oprócz tradycyjnych, papierowych testów weryfikujących ryzyko dyskalkulii powstają nowe narzędzia diagnostyczne – komputerowe. Najpopularniejszym z nich, stosowanym na całym świecie, jest test przesiewowy *Dyscalculia Screener* Butterwortha (2003) służący do badań uczniów w wieku 6–14 lat. Mierzy on poprawność oraz czas wykonywania zadań na materiale numerycznym, a wyniki pokazują, czy dziecko wykazuje ryzyko dyskalkulii czy po prostu słabo liczy (co może odzwierciedlać poziom inteligencji lub sugerować obecność innych zaburzeń, takich jak dysleksja, dyspraksja). Narzędzie pozwala badać różne obszary umiejętności matematycznych, m.in. umiejętność zliczania obiektów (kropek). W tym zadaniu krótszy czas reakcji uzyskują dzieci z lepiej rozwiniętym zmysłem numerycznym,

które potrafią podczas liczenia dostrzegać układy kropek i dzięki temu grupować je, zamiast liczyć każdą z nich po kolei. Następny obszar stanowi porównywanie liczb: badany wskazuje, która z dwóch prezentowanych na ekranie liczb jest większa – dodatkowym utrudnieniem jest to, że wyświetlane liczby wizualnie różnią się rozmiarem. W rezultacie przy porównaniu liczb 9 i 3, gdy 3 jest fizycznie większe niż 9, mamy do czynienia z konfliktem poznawczym, ponieważ wielkość numeryczna jest niekongruentna z wielkością fizyczną. Takie zadanie jest nazywane *Stroopem numerycznym* (Heine i wsp. 2010). Ostatni obszar obejmuje działania arytmetyczne – dodawanie i mnożenie, których trudność dostosowana jest do wieku badanego dziecka. Wyniki testu są od razu dostępne w prostym i zrozumiałym formacie (Emerson i Babcie 2013).

Bateria podstawowych testów numerycznych (*Basic Numerical Battery* – BNB; Reigosa-Crespo i wsp. 2011) jest narzędziem bardzo podobnym do testu Butterwortha (2003). Obejmuje trzy obszary ważne dla diagnozy dyskalkulii. Rozpoczyna się pomiarem czasu reakcji prostej (podobnie jak test Butterwortha i inne tego typu narzędzia). Kolejne zadania dotyczą porównywania liczb – dziecko za pomocą klawiatury numerycznej komputera określa liczbę kropek (z zakresu 1–9) oraz porównuje wartości liczb wyświetlanych w postaci cyfr arabskich. Ostatni typ zadań sprawdza umiejętność wykonywania podstawowych działań arytmetycznych. W każdym z wymienionych obszarów mierzony jest czas oraz poprawność wykonania zadań.

Innym, niedawno opisanym komputerowym narzędziem diagnozy dyskalkulii jest *CODY test* (Kuhn i wsp. 2013) polegający na wykrywaniu czterech elementów związanych z dyskalkulią. Są to podstawowe wskaźniki dyskalkulii, tj. czas reakcji prostej, porównywanie liczb, umiejętności w zakresie przeliczania oraz pamięć operacyjna. Test jest przeznaczony dla uczniów pierwszych lat szkoły podstawowej i składa się z zadań z limitem czasowym. Po pomiarze czasu reakcji prostej badany zlicza kropki wyświetlane w białym okręgu, a wynik wpisuje na klawiaturze. Kolejne zadanie polega na porównywaniu liczb (z zakresu 1–9), które prezentowane są w tym samym formacie (cyfra z cyfrą) lub w formacie mieszanym (cyfra i zbiór kropek). W zadaniu czwartym badany zapisuje na klawiaturze liczebники prezentowane słuchowo, a zadanie piąte obejmuje sprawdzanie umiejętności wykonywania operacji arytmetycznych. Następnie dziecku prezentowane są zestawy liczb w dwóch lub trzech kwadratach ułożonych krawędź przy krawędzi. Umieszczone

są w nich liczby lub symbole graficzne, a nad nimi widnieje jedna liczba. Badany decyduje, czy suma liczb w kwadratach jest równa liczbie prezentowanej nad nimi. Następne zadanie pozwala sprawdzić zdolność określania lokalizacji liczb na osi (0–100) bez podziałki. Przedostatnie zadanie weryfikuje, czy badany jest w stanie odtworzyć układ kropek znajdujących się w prostokącie podzielonym na 6 kwadratów, w ostatnim zaś dziecko wykazuje się wiedzą dotyczącą kolejności uszeregowania liczb (od największej do najmniejszej i odwrotnie), uzupełniając wolne miejsca w szeregu za pomocą klawiatury. Dodatkowo autorzy testu opracowali matematyczną grę komputerową, która ma na celu poprawić te umiejętności matematyczne, w których według wyników testu badany wypadł najsłabiej.

Kolejnym narzędziem komputerowym do badania ryzyka dyskalkulii jest test Cangöza i wsp. (2013) przeznaczony dla dzieci w wieku 6–9 lat. W pierwszej części badany wykonuje zadania próbne, które mają na celu przygotowanie go do zadań z części właściwej, w której odpowiedzi są już mierzone i decydują o całościowym wyniku. Zadania obejmują przeliczanie zbiorów kropek, *Stroop numeryczny*, szacowanie liczebności, szacowanie miejsca liczby na osi oraz proste obliczenia arytmetyczne.

W Polsce najnowszym narzędziem komputerowym do badania poziomu podstawowych umiejętności matematycznych i ryzyka dyskalkulii jest *Prokalkulia 6-9* (Gut i wsp. 2016). Test umożliwia ocenę mocnych i słabych stron dziecka w zakresie przetwarzania trzech rodzajów umysłowych reprezentacji liczb i identyfikację problemów sygnalizowanych wynikiem. Pierwsza część (zaraz po pomiarze czasu reakcji prostej) zawiera zadania sprawdzające czas i poprawność reakcji podczas porównywania liczb w formacie symbolicznym (cyfra z cyfrą), niesymbolicznym (dwa zbiory kropek) oraz mieszanym (cyfra z kropkami). Dodatkowo weryfikuje umiejętność szacowania liczebności dużych zbiorów oraz wykonania zadania *Stroop numeryczny*. W drugiej części (bez presji czasu) dziecko za pomocą myszy komputerowej wykonuje zadania oceniające zdolność szacowania miejsca liczby na osi. Po krótkich zadaniach wprowadzających z osią z podziałką (które nie są uwzględniane w obliczaniu wyników) podziałka znika i w tej części testu mierzona jest wielkość błędu odzwierciedlająca precyzję wskazania miejsca liczby na osi. Program dodatkowo oblicza i wyświetla uzyskane przez dziecko wyniki badania w postaci wartości liczbowych, prezentacji graficznych (wykresów ilustrujących czas, poprawność i precyzję od-

powiedzi), szczegółowych statystyk opisowych oraz interpretacji wyników.

Wady i zalety testów komputerowych do diagnozy dyskalkulii

Testy komputerowe pozwalają przede wszystkim na uzyskanie bardziej precyzyjnych wyników niż testy typu papier–ołówki, ponieważ czas reakcji mierzony jest w milisekundach. Ich dużym atutem jest to, że rezultaty poszczególnych zadań są obliczane przez program i przedstawiane w tabelach lub na wykresach wraz z krótką interpretacją. Zapewnia to większą pewność wyników, skraca czas ich obliczeń i sprawia, że rezultat jest obiektywny. Jednocześnie pozwala na uniknięcie ewentualnych błędów w ręcznym obliczaniu wyników. Dodatkowo w przypadku niskiego wyniku w teście Butterwortha (2011) i w *Prokalkulii 6-9* (Gut i wsp. 2016) sugerowane jest podjęcie określonych dalszych działań lub wykorzystanie innych narzędzi.

Testy komputerowe zawierają zadania sprawdzające z punktu widzenia dotychczasowej wiedzy na temat dyskalkulii, które obszary funkcjonowania są najbardziej dysfunkcyjne u badanego. Tym samym, jeśli dziecko ma problem z wykonywaniem zadań w tym zakresie (np. obserwuje się wydłużony czas przeliczania elementów małego zbioru), bardziej prawdopodobne jest, że mamy do czynienia z dyskalkulią niż np. z zaniedbaniami dydaktycznymi. Atutem narzędzi komputerowych jest także możliwość pomiaru wskaźników z dużej liczby próbek (z dużej liczby powtórzeń), co zdecydowanie zwiększa obiektywizm pomiaru i rzetelność testu.

Niewątpliwą zaletą takiej formy diagnozy z perspektywy badanych jest jej atrakcyjność. Test przeprowadzany na komputerze może bowiem kojarzyć się dziecku z zabawą i grą, a zastosowanie elementów interakcji może pozytywnie wpływać na odbiór i dodatkowo angażować. Z drugiej jednak strony zbyt duża stymulacja – nadmiar kolorów, ruchu, dźwięków – może rozpraszać uwagę dziecka i wpływać na wynik testu. W związku z tym w wielu testach komputerowych w warstwie graficznej ograniczono się do dwóch neutralnych kolorów: czarnego, białego lub różnych odcieni szarości.

Testy komputerowe są konstruowane na podstawie zadań stosowanych w badaniach naukowych. Autorzy takich narzędzi wychodzą z założenia, że aby test pozwalał na pomiar zdolności poznawczych istotnych z punktu widzenia przetwarzania liczb (lub deficytów tych zdolności), musi się składać z zadań i bodźców

stosowanych np. w badaniu ich neuronalnych korelatów. Daje to pewność, że diagnosta bada te same procesy, które opisuje literatura naukowa z zakresu poznania matematycznego. Dlatego też komputerowo wspierane metody diagnozowania bazują na zadaniach analogicznych do tych znanych z badań, takich jak porównywanie liczb (Cappelletti i Price 2014), porównywanie liczebności zbiorów (Dinkel i wsp. 2013), szacowanie (Kucian i wsp. 2006) czy operowanie osią liczbową (Kucian i wsp. 2011). Testy komputerowe można zatem wykorzystywać razem z takimi technikami, jak metody neuroobrazowania (których wyniki opisano powyżej) oraz *eye-tracking* (Kmieciak i wsp. 2016).

Badanie procesów poznawczych związanych z przetwarzaniem liczb i ich neuronalnych korelatów nie byłoby w ogóle możliwe z użyciem metod typu papier-ołówek z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze, bodźce w takich badaniach muszą być prezentowane na ekranie lub w słuchawkach, a czas i sposób ich prezentacji (np. losowa kolejność) muszą być sprzężone z jednoczesnym pomiarem aktywności mózgu lub ruchów oczu. Po drugie zaś, aby możliwy był pomiar aktywacji mózgu skorelowany z procesem przetwarzania liczb, bodźce trzeba zaprezentować wielokrotnie (np. kilkadziesiąt próbek w czasie jednego zadania). Trudno sobie wyobrazić sytuację, gdy w teście papierowym diagnosta prezentuje dziecku do każdego zadania np. kilkadziesiąt tablic z parami liczb i ręcznie zapisuje odpowiedzi. Skutkowałoby to bardzo długim czasem wykonania testu, znużeniem badanego i najpewniej błędami. Wielokrotne powtarzanie bodźców w testach komputerowych jest możliwe ze względu na krótki czas prezentacji i udzielania odpowiedzi (np. kilkaset milisekund), co sprawia, że w kilka minut możliwe jest uzyskanie informacji o umiejętności dziecka w zakresie określonej kompetencji przy zastosowaniu licznych próbek. Ponadto testy komputerowe pozwalają łatwo i precyzyjnie mierzyć bardzo podstawowe kompetencje numeryczne bazujące na poczuciu liczby, a to właśnie ono jest zaburzone u osób z dyskalkulią. To ogromny atut narzędzi komputerowych, ponieważ dzięki temu można udoskonalać metody diagnostyczne oraz sprawdzać, które zadania (czas i poprawność ich wykonania) stanowią główne markery tego deficytu. Dodatkowo jednoczesne zastosowanie takiej techniki jak *eye-tracking* pozwala na sprawdzenie strategii wykorzystywanych podczas przetwarzania liczb, co potwierdziły m.in. badania Moellera i wsp. (2009).

Nie mniej istotna jest kwestia przechowywania danych z badań. Aby podjąć się analizy statystycznej testów papierowych, wszystkie surowe dane należy najpierw przepisać do bazy danych w komputerze. Testy komputerowe automatycznie tworzą natomiast bazę wyników, można też szybko i łatwo tworzyć dowolną liczbę kopii plików z danymi, co zdecydowanie ułatwia szukanie wyników konkretnych przypadków oraz wspomnianą analizę statystyczną. Testy komputerowe można ponadto zainstalować na każdym komputerze spełniającym określone (dość podstawowe) parametry techniczne i robi się to zazwyczaj jednorazowo. W przypadku testów papierowych sam zakup narzędzia nie wystarcza. Potrzebne jest posiadanie i uzupełnianie arkuszy testowych oraz protokołów, które są niezbędne do wykonania poszczególnych zadań i zapisywania wyników.

Podkreślaną przez niektórych wadą testów komputerowych jest jednak fakt, że badacz zawsze będzie bardziej kompetentny niż program komputerowy, ponieważ dostrzega to, czego oprogramowanie nie zmierzy. Niektórych elementów zachowania składających się na deficyt nie można też ocenić za pomocą komputera. Prawdopodobnie dlatego wiele testów psychologicznych do dziś nie ma swoich komputerowych wersji.

Dyskusja nad przewagą narzędzi komputerowych nad papierowymi – podsumowanie

Narzędzia do diagnozy dyskalkulii (lub jej ryzyka) cały czas są udoskonalane. Główny nacisk kładzie się na ich skuteczność, trafność i rzetelność, aby uzyskać jak największą pewność właściwej diagnozy. Narzędzia komputerowe coraz bardziej wychodzą naprzeciw oczekiwaniom wobec metod badawczych.

Podsumowując zalety metod wspieranych komputerowo, warto wskazać przede wszystkim obiektywizm i dokładność pomiaru, możliwość zebrania bardzo dużej ilości danych będących wskaźnikami badanych procesów, możliwość stosowania ich z jednoczesnym pomiarem wskaźników psychofizjologicznych oraz ich atrakcyjność (z perspektywy dziecka).

Mimo wszystko należy pamiętać, że tym, co różni oba rodzaje narzędzi, jest dobór zadań. Zadania w testach komputerowych są bardziej skoncentrowane na umiejętnościach przetwarzania materiału numerycznego niż zadania z testów papierowych. Te z kolei częściej pozwalają sprawdzać szeroki zakres zdolności

poznawczych, które mogą się wiązać z ryzykiem dyskalkulii, ale także wskazywać na deficyty uwagowe, występowanie innych zaburzeń, takich jak dysleksja czy dyspraksja, lub sugerować zaniedbania natury dydaktycznej (Oszwa 2005a). Różnice te stanowią jednak zaletę w przypadku wykonywania obu rodzajów testów naraz, ponieważ wzajemnie się one uzupełniają. Dzięki temu można stworzyć pełny obraz umiejętności matematycznych dziecka oraz tego, co stanowi problem, przy okazji wykluczając w diagnozie dyskalkulii inne dysfunkcje badanego.

Piśmiennictwo

1. Butterworth A, Varma S, Laurillard D. Dyscalculia: From Brain to Education. *Science* 2011; 332: 1049-1053.
2. Butterworth B. Dyscalculia Screener. NferNelson Pub, Windsor 2003.
3. Cangöz B, Altun A, Olkun S i wsp. Computer Based Screening Dyscalculia: Cognitive And Neuropsychological Correlates. *TOJET* 2013; 12: 33-38.
4. Cao B, Li F, Li H. Notation-dependent processing of numerical magnitude: electrophysiological evidence from Chinese numerals. *Biol Psych* 2010; 83: 47-55.
5. Cappelletti M, Price C. Residual number processing in dyscalculia. *NeuroImage Clin* 2014; 4: 18-28.
6. Dehaene S, Molko N, Cohen L i wsp. Arithmetic and the brain. *Curr Opin Neurobiol* 2004; 14: 218-224.
7. Dehaene S, Piazza M, Pinel P i wsp. Three parietal circuits for number processing. *Cogn Neurops* 2003; 20: 487-506.
8. Dehaene S. *The Number Sense*. Oxford University Press, New York 1997.
9. Delazer M, Domahs F, Bartha L i wsp. Learning complex arithmetic – An fMRI study. *Brain Res Cogn Brain Res* 2003; 18: 76-88.
10. Dinkel PJ, Willmes K, Krinziger H i wsp. Diagnosing Developmental Dyscalculia on the Basis of Reliable Single Case fMRI Methods: Promises and Limitations. *PLoS ONE* 2013; 8: 1-15.
11. Eger E, Sterzer P, Russ MO i wsp. A supramodal number representation in human intraparietal cortex. *Neuron* 2003; 37: 719-725.
12. Emerson J, Babbie P. *The Dyscalculia Assesment*. Bloomsbury Education, Londyn 2013.
13. Geary DC, Bailey DH, Hoard MK. Predicting Mathematical Achievement and Mathematical Learning Disability With a Simple Screening Tool: The Number Sets Test. *J Psychoeduc Assess* 2009; 27: 265-279.
14. Geary DC, Hoard MK, Byrd-Craven J i wsp. Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *J Exp Child Psychol* 2004; 88: 121-151.
15. Geary DC, Hoard MK. Numerical and arithmetical deficits in learning-disabled children: Relation to dyscalculia and dyslexia. *Aphasiology* 2001; 15: 635-647.
16. Gut M, Matulewski J, Goraczewski Ł. Prokalkulia 6-9: Test oceny behawioralnych wskaźników umysłowych reprezentacji liczb i ryzyka dyskalkulii. *Pomorskie Centrum Diagnozy, Terapii i Edukacji Matematycznej Promathematica*, Gdańsk 2016.
17. Halberda J, Feigenson L. Developmental Change in the Acuity of the “Number Sense”: The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-Year-Olds and Adults. *Dev Psychol* 2008; 44: 1457-1465.
18. Heine A, Tamm S, De Smedt B i wsp. The Numerical stroop effect in primary school children: a comparison of low, normal, and high achievers. *Child Neuropsychol* 2010; 16: 461-477.
19. Hoffmann D, Mussolin C, Martin R i wsp. The impact of mathematical proficiency on the number-space association. *PLoS ONE* 2014; 9: 1-11.
20. Hubbard EM, Piazza M, Pinel P i wsp. Interactions between number and space in parietal cortex. *Nat Rev Neurosci* 2005; 6: 435-448.
21. Isaacs EB, Edmonds CJ, Lucas A i wsp. Calculation difficulties in children of very low birthweight: a neural correlate. *Brain* 2001; 124: 1701-1707.
22. Iuculano T. Neurocognitive accounts of developmental dyscalculia and its remediation. *Prog Brain Res* 2016; 227: 305-322.
23. Karpińska E, Sajewicz-Radtke U, Radtke BM. *Skala Gotowości Matematycznej i Ryzyka Dyskalkulii*. Pracownia Testów Psychologicznych i Pedagogicznych, Gdańsk 2014.
24. Kaufmann L, von Aster M. *The Diagnosis and Management of Dyscalculia*. *Deutsches Ärzteblatt International* 2012; 109: 767-778.
25. Kmieciak M, Gut M, Bataj B i wsp. Ocena poziomu umiejętności matematycznych na podstawie danych okulograficznych. *Lingwistyka Stosowana* 2016; 20: 63-82.
26. Košč L, Ponczek R. *Test Kalkulia III podręcznik*. Centrum Metodyczne Pomocy Psychologiczno-Pedagogicznej Ministerstwa Edukacji Narodowej, Warszawa 1998.
27. Košč L. *Psychologia i patopsychologia zdolności matematycznych*, Wydawnictwo Radia i Telewizji, Gdańsk 1982.
28. Kucian K, Grond U, Rotzer S i wsp. Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *NeuroImage* 2011; 57: 782-795.
29. Kucian K, Loenneker T, Dosh M i wsp. Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children: a functional MRI study. *Behav Brain Funct* 2006; 2: 31.
30. Kuhn J-T, Holling H, Raddatz J i wsp. Meister CODY: Computer-Supported Test and Training for Children with Dyscalculia. Institute of Psychology Chair of Statistics and Methods Westfälischen Wilhelms-Universität Münster 2013; 3-10.
31. Landerl K, Kaufmann L. *Dyskalkulia*. Harmonia Universalis, Gdańsk 2013.
32. Moeller K, Neuburgera S, Kaufmann L i wsp. Basic number processing deficits in developmental dyscalculia: Evidence from eye tracking. *Cogn Dev* 2009; 24: 371-386.
33. Molko N, Cachia A, Riviere D i wsp. Functional and structural alterations of the intraparietal sulcus in a developmental dyscalculia of genetic origin. *Neuron* 2003; 40: 847-858.
34. Moyer RS, Landauer TK. Time required for judgments of numerical inequality. *Nature* 1967; 215: 1519-1520.
35. Mussolin C, Mejias S, Noël MP. Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition* 2010; 115: 10-25.
36. Nieder A, Dehaene S. Representation of Number in the Brain. *Annu Rev Neurosci* 2009; 32: 185-208.
37. Oszwa U. Dziecko z trudnościami w uczeniu się matematyki w perspektywie międzynarodowej – próba syntezy. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska* 2005a; 7: 167-183.
38. Oszwa U. *Zaburzenia rozwoju umiejętności arytmetycznych – Problem diagnozy i terapii*. Oficyna Wydawnicza „Impuls”, Kraków 2005b.

39. Peard R. Dyscalculia: What is its prevalence? Research evidence from case studies. *Procedia Soc Behav Sci* 2010; 8: 106-113.
40. Piazza M, Pinel P, Le Bihan D i wsp. A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron* 2007; 53: 293-305.
41. Price GR, Ansari D. Dyscalculia: Characteristics, Causes, and Treatments. *Scholar Commons* 2013; 6: 1-16.
42. Ranpura A, Isaacs E, Edmonds C i wsp. Developmental trajectories of grey and white matter in dyscalculia. *Trends Neurosci Educ* 2013; 2: 56-64.
43. Reigosa-Crespo V, Valdes-Sosa M, Butterworth B i wsp. Basic Numerical Capacities and Prevalence of Developmental Dyscalculia: The Havana Survey. *Dev Psychol* 2011; 48: 123-135.
44. Rotzer S, Kucian K, Martin E i wsp. Optimized voxel-based morphometry in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage* 2008; 39: 417-422.
45. Rykhlevskaia E, Uddin LQ, Kondos L i wsp. Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: combined evidence from morphometry and tractography. *Front in Hum Neurosci* 2009; 3: 51.
46. Shalev RS, Manor O, Gross-Tsur V. Neuropsychological aspects of developmental dyscalculia. *Mathematical Cognition* 1997; 3: 102-120.
47. Starr A, Libertus ME, Brannon EM. Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood. *PNAS* 2013; 5: 18116-18120.
48. Turconi E, Campbell JID, Seron X. Numerical order and quantity processing in number comparison. *Cognition* 2006; 98: 273-285.
49. Williams A. A teacher's perspective of dyscalculia: Who counts? An interdisciplinary overview. *Aust J Learn Diffic* 2013; 18: 1-16.
50. Wilson AJ, Dehaene S. Number sense and developmental dyscalculia. W: *Human Behaviour, Learning and the Developing Brain: Atypical Development*. Coch D, Dawson G, Fischer K (red.). Guilford, New York 2007; 212-238.