

MARIA KIELAR-TURSKA, MAGDALENA KOSNO

Institut Psychologii, Uniwersytet Jagielloński, Kraków
Institute of Psychology, Jagiellonian University, Kraków
e-mail: maria.kielar-turska@uj.edu.pl
kosno.magdalena@gmail.com

Natura, mechanizmy neurofizjologiczne i zmiany rozwojowe funkcji zarządzających

Nature, neurophysiological mechanisms and developmental changes of executive functions

Abstract. The paper presents an overview of basic issues related to executive functions, the phenomenon being the center of interest to psychologists at the turn of the 20th and 21st centuries, discussed from the historical, neurophysiological and ontogenetic perspectives. It gives basic information about the history of research on the executive functions and their neurophysiological correlates. At first, the research focused on the function of the frontal cortex, which was thought to organize intellectual activity in adults with damage to that part of the brain. Studies in the ontogenetic paradigm have helped to explain the genesis of the executive functions, their complex nature, developmental changes and critical periods. They have also contributed to determining the relationship between the executive functions and other cognitive processes, such as theories of mind, or emotional processes, and to revealing the environmental conditions. The paper describes the complex nature of the executive functions, indicating the fixed components: inhibition, flexibility, working memory and planning, and presents psychological testing methods, pointing out the most commonly used techniques. The authors refer both to foreign and Polish authors studying groups of participants developing normally or with disorders in different periods of development, and they note the cognitive and the practical aspects of research on the executive functions.

Key words: development, executive functions, flexibility, inhibition, neurophysiological correlates, planning, working memory

Słowa kluczowe: rozwój, funkcje zarządzające, elastyczność poznawcza, hamowanie, neurofizjologiczne korelaty, planowanie, pamięć robocza

WPROWADZENIE – ROZWAŻANIA TERMINOLOGICZNE

Kiedy w nauce zostaje podjęty nowy temat, jednocześnie powstają terminy pozwalające badane zjawisko wyodrębnić, umieścić w obrazie świata nauki. Niekiedy początkowo badane zjawisko nie jest wystarczająco wyraźnie, specyficznie zdefiniowane. Dopiero kolejne badania, teoretyczne koncepcje, przy-

czyniając się do precyzowania istoty zjawiska i wskazania obszaru badań z nim związanych, proponują nowe, bardziej odpowiednie określenia. Niekiedy przyjęty termin okazuje się bardzo szeroki znaczeniowo, nadając się do opisanego powiązanych z sobą, choć różnych zjawisk. Wydaje się, że tak jest właśnie w przypadku frazy *executive function*. Zdaniem Sama Gilberta i Paula Burgessa (2008), jest to termin parasol, obejmujący te procesy

wyższego poziomu, które kontrolują i organizują inne procesy mentalne.

Informacje o powstawaniu w rozwoju człowieka wyższych funkcji psychicznych służących organizowaniu aktywności intelektualnej znajdujemy w koncepcjach i badaniach Aleksandra Łurii i Lwa S. Wygotskiego z lat 20. XX wieku. Zaawansowanie psychologicznych i neurologicznych koncepcji teoretycznych oraz empirycznych poszukiwań zmierzających do wyjaśniania złożonych procesów poznawczych, zaznaczające się w drugiej połowie XX wieku, znalazło wyraz w przyjętej terminologii. Powszechnie używanym stał się anglojęzyczny termin *executive functions*. Jego liczba mnoga wskazuje na złożoność zjawiska, wyrażaną w określaniu wielu składowych, wśród których najczęściej wymieniane są: *shifting/flexibility* (elastyczność/giętkość poznawcza), *working memory* (pamięć robocza), *inhibition* (hamowanie), *planning* (planowanie). Ponadto poszczególni badacze wymieniają jeszcze inne procesy, takie jak: *anticipating* (antycypowanie), *initiating* (inicjowanie), *monitoring* (monitorowanie) (Gioia, Isquit, Guy, Kenworthy, 2000), *organizing* (organizowanie), *self-monitoring* (samokontrola) (Ferrer-Caja, Crawford, Bryan, 2002).

Korzystanie z dorobku psychologów z kręgu języka angielskiego wymaga znalezienia odpowiedników w językach lokalnych, między innymi w języku polskim. O ile terminy odnoszące się do składowych zjawiska określanego mianem *executive functions* nie nastroją problemów, mają bowiem swoje dobrze dobrane i już utrwalone odpowiedniki w języku polskim, to ciągle nie ma dobrego terminu odpowiadającego znaczeniowo nazwie nadrzędnej. W wielu polskich pracach, w których pisano o tym zjawisku (Putko, 2004; Jodzio, 2008; Putko, 2008), używano sformułowania „funkcje wykonawcze”, stanowiącego proste przełożenie na język rodzimy¹. Poszukując odpowiednika danego terminu w języku rodzimym, należy zadbać o jego równoznaczność semantyczną, a zatem wybrać taki termin, który oddawałby istotę jego znaczenia wyrażanego w określeniach definicyjnych. W przypadku wyrażenia *executive*

functions chodzi mianowicie o świadomą kontrolę myśli i działań, o procesy odpowiedzialne za zachowania celowe. Naszym zdaniem, w języku polskim oczekiwania te spełnia termin „funkcje zarządzające”; „zarządzać” oznacza bowiem dawać polecenie wykonania czegoś, administrować, zawiadywać, menadżerować. W takim znaczeniu używa terminu *executive functions* Elkhonon Goldberg (2009), wyjaśniając rolę tego fenomenu w kategoriach „*leadership*”. Ponadto należałoby zanalizować znaczenie słowa „wykonawczy” w języku polskim; dotyczy ono samego wykonania czegoś (Szymczak, 1978). Zjawiska obejmowane wyrażeniem *executive functions* służą planowaniu, monitorowaniu i kontrolowaniu przebiegu procesów mentalnych i działań przez daną jednostkę, a więc ich organizowaniu, zarządzaniu. Termin „zarządzający” zwraca uwagę na to, jak coś się robi (np. elastycznie, hamując rutynowe reakcje, po kolei, przewidując), zaś sformułowanie „wykonawczy” odnosi się do tego, co się robi (np. szybko naciska, wybiera, pomija). Proponujemy zatem stosowanie terminu *funkcje zarządzające* jako polskiego odpowiednika angielskiej frazy *executive functions* i w niniejszym tekście będziemy tym terminem posługiwać się².

HISTORIA BADAŃ NAD FUNKCJAMI ZARZĄDZAJĄCYMI

Za początek badań nad funkcjami zarządzającymi można uznać lata 40. XIX wieku, kiedy to podjęto neurologiczne badania nad funkcjami kory czołowej, a szczególnie kory przedczołowej. Badania te wyprzedzają jednak moment pojawienia się terminu *executive functions* o ponad 120 lat. Termin ten definiowano najpierw domyślnie jako „funkcje płatów czołowych”, co wiązało się z wprowadzonym przez Karla Pribrama (1973) kategorii *executive brain* na określenie neuropsychologicznych funkcji, które związane są z aktywnością kory przedczołowej („*what the prefrontal lobes do*”). Jednakże w świetle współczesnych badań utożsamianie funkcji zarządzających z aktywnością płatów przedczołowych nie jest

adekwatne. Przede wszystkim dlatego, że różne komponenty i aspekty funkcji zarządzających wiążą się z aktywnością także w innych obszarach mózgu, takich jak na przykład zakręt obręczy, układ limbiczny. Ponadto aktywność płatów przedczołowych dotyczy również kontroli innych funkcji, nie tylko zarządzających (m.in. Berkley, 2012; Walsh, 1985).

A. Łuria (Luria, 1973) opisywał płaty czołowe w kategoriach „niezbędnego urządzenia do organizowania aktywności intelektualnej jako całości, w tym programowania intelektualnego aktu oraz kontroli jego wykonania” (s. 340). Jego zasługą jest konceptualizacja tego, co obecnie rozumiane jest jako funkcje zarządzające, a jego raporty dotyczące pacjentów z uszkodzeniami kory przedczołowej stanowiły podstawę neuropsychologicznych badań funkcji zarządzających (Stuss, Benson, 1986; Jodzio, 2008).

Za autorów pierwszej definicji funkcji zarządzających uznaje się Butterfielda i Belmonta (1977, za: Jodzio, 2008), według których funkcje zarządzające to „zdolność spontanicznego wyboru i zmiany sposobu sprawowania kontroli nad zmianą strategii rozwiązywania zadań, czyli przebiegiem przetwarzania informacji”.

Jednymi z pierwszych koncepcji opisujących funkcje zarządzające były: model pamięci roboczej i „centralnego wykonawcy” Alana Baddeleya i Grahama Hitcha (1974) oraz koncepcja Muriel Lezak (1983), która ujmuje funkcje zarządzające jako wymiar ludzkiego zachowania dotyczący tego, *jak* zachowanie jest wyrażone. Zdaniem M. Lezak (1993) funkcje zarządzające to zdolności pozwalające osobie angażować się z powodzeniem w niezależne, celowe, ukierunkowane zachowania, na które składają się takie komponenty, jak: wola, planowanie, przyjmowanie celu działania oraz skuteczna realizacja. M. Lezak rozróżnia zdolności poznawcze, które mogą dotyczyć konkretnej dziedziny, oraz zdolności zarządzające, które mają globalny charakter i wpływają na wszystkie aspekty zachowań; integralność tych zdolności jest konieczna dla właściwego, społecznie odpowiedzialnego postępowania.

Badania nad funkcjami zarządzającymi rozpoczęto pod wpływem obserwacji pacjen-

tów, którzy nie wykazywali zaburzeń w zakresie widzenia, słyszenia, czucia dotykowego, poruszania się, mówienia czy pamiętania, ale mieli trudności z planowaniem, hamowaniem czy przełączaniem z jednego działania na inne. Można powiedzieć, że ich podstawowe procesy poznawcze przebiegały normalnie, prawidłowo, natomiast złożone procesy poznawcze były zaburzone.

Początkowo prowadzono badania nad osobami dorosłymi, co było związane z łączeniem funkcji zarządzających z funkcjonowaniem kory przedczołowej, która to część mózgu dojrzewa bardzo późno (w okresie adolescencji; Golden, 1981). We wcześniejszych okresach rozwojowych obrazowe efekty funkcjonowania kory przedczołowej uważane były za niewidoczne (tzw. *Kennard effect*³). Ponadto w badaniach dorosłych stosowano wieloskładnikowe zadania, które były za trudne dla dzieci, co nie pozwalało na poznanie efektów funkcjonowania kory przedczołowej w okresie dzieciństwa.

Badania nad funkcjami zarządzającymi w rozwoju rozwinęły się w ostatniej dekadzie XX wieku, wywołując zainteresowanie specjalistów nie tylko z zakresu psychologii rozwoju, ale także neuropsychologii i psychopatologii. Okazało się, że stosowane w badaniach nad rozwojem testy funkcji zarządzających nastawione na pojedyncze komponenty pozwalają w pewnej mierze wyjaśniać zarówno zaburzenia rozwoju (takie jak ADHD, autyzm), jak i złożone zaburzenia u dorosłych, a także mogą być wykorzystywane do badań eksperymentalnych nad związkiem poszczególnych komponentów z funkcjonowaniem określonych obszarów mózgu (Spencer-Smith, Anderson, 2009).

NATURA PROCESU

Termin „funkcje zarządzające” odnosi się do złożonego konstruktu poznawczego, obejmującego zestaw procesów, które leżą u podstaw ukierunkowanego na cel zachowania (Hughes, 2002). Procesy te stanowią warunek wstępny inteligentnego, świadomego i plano-

wego działania. Są to wyżej zorganizowane funkcje poznawcze, które stanowią najwyższe osiągnięcie zarówno w rozwoju ewolucyjnym, jak i mentalnym (Aron, 2008). Powodują one modulowanie procesów niższego rzędu. Funkcje te umożliwiają formułowanie celów, planowanie, utrzymywanie celów i dążenie do nich, wybór działań sprzyjających osiągnięciu celów, kontrolowanie działań prowadzących do osiągnięcia celu. Istotą tych procesów jest różnicowanie między rutynowym, wyuczonym (automatycznym) a nierutynowym (kontrolowanym) przetwarzaniem. Ujawniają się wyraźnie w sytuacjach: uczenia się nowych sprawności, korygowania błędów, inicjowania nowej sekwencji czynności, przewycięzania nawykowych odpowiedzi, świadomego kontrolowania działania. Pozwalają na elastyczne zachowanie, adaptowanie się do nowych czy zmiennych sytuacji. Jak podkreśla Krzysztof Jodzio (2008), funkcje zarządzające umożliwiają celowe, dowolne, zaplanowane, kontrolowane i selektywne działanie człowieka.

W rozważaniach nad naturą funkcji zarządzających zarysowują się dwa podejścia. Jedno z nich sugeruje, że jest to konstrukt jednolity (Duncan i in., 1996). Zdaniem Johna Duncana i wsp. (1996), nieumiejętność podjęcia celowego działania charakteryzująca pacjentów z dysfunkcjami w obszarze płatów czołowych jest silnie związana z czynnikiem *g* Spearmana, tj. centralnym czynnikiem ogólnej inteligencji, podstawowym dla funkcji zarządzających, w tym dla organizowania zachowań ukierunkowanych na cel (m.in. Duncan i in., 1996; de Frias i in., 2006).

Zwolennicy drugiego stanowiska opowiadają się za zróżnicowanym charakterem struktury funkcji zarządzających (Godefroy i in., 1999). Kwestionują oni istnienie rdzennego czynnika związanego ze wszystkimi miarami funkcji zarządzających. Fakt ten potwierdzają dane neurofizjologiczne: uszkodzenia w różnych regionach kory czołowej przynoszą odmienne skutki w stosowanych rodzajach testów badających poszczególne składowe funkcje zarządzających (Gilbert, Burgess, 2008). Badania tych autorów dostarczają potwierdzenia dla tezy, że na funkcje zarządzają-

ce składają się różne, rozłączne procesy. Hipoteza ta poparta jest również przez powtarzający się w wielu badaniach wynik, wskazujący na niską ($r = 0,40$ lub mniej) lub nieistotną statystycznie korelację różnych zadań służących do pomiaru funkcji zarządzających (Lehto, 1996; Miyake i in., 2000; Salthouse i in., 2003).

Rozstrzygnięcie tego sporu przyniosły badania Akiry Miyake i wsp. (2000), w których użycie konfirmacyjnej analizy czynnikowej (*confirmatory factorial analysis*, CFA) pozwoliło wykazać „jedność i zróżnicowanie” w strukturze funkcji zarządzających u dorosłych. Udowodniono, że można wyróżnić trzy ich składowe: przerzutność uwagi (*set shifting*), hamowanie (*inhibition*) oraz aktualizowanie informacji w pamięci operacyjnej (*updating*). Składowe te są wyraźnie odrębne, jednakże korelacja między nimi, pomimo iż jest niska, może wskazywać na istnienie wspólnego, bazowego czynnika. A. Miyake i wsp. (2000) na podstawie wyników swoich badań stwierdzili, że funkcje zarządzające stanowią „rozdzielne, ale umiarkowanie skorelowane konstrukty” (s. 87).

Istotny wkład w dyskusję o strukturze funkcji zarządzających wniosły badania rozwojowe prowadzone w okresie dzieciństwa. W badaniach Claire Hughes (1998) u dzieci 3.3–4.7 lat udało się wyodrębnić takie same czynniki, jakie ustalono w badaniach A. Miyake i wsp. (2000). Jednakże w podłużnych badaniach tej autorki (Hughes, Ensor, 2007) wykazano, że w trzech fazach pomiaru (2.5, 3.6 i 4.3) tylko jeden ogólny czynnik wyjaśniał wariancję wyników w zadaniach mierzących funkcje zarządzające. Takie same czynniki w strukturze funkcji zarządzających, a mianowicie: pamięć operacyjną, hamowanie i przełączanie, wykazano u dzieci starszych (8–13 lat) w badaniach z użyciem testów CANTAB (Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery) oraz NEPSY (A Developmental Neuropsychological Assessment) (Lehto i in., 2003).

Jednakże badania struktury funkcji zarządzających u dzieci starszych nie dają jasnych wyników co do wyróżnianych czynników. W różnych badaniach stosowane są odmienne

zadania do pomiaru funkcji zarządzających: albo bardzo proste, mierzące jeden komponent funkcji zarządzających (np. zadanie świateł Łurii, powtarzanie cyfr), albo zadania złożone, mierzące różne komponenty (np. WSCT). W badaniach Marylin Welsh, Bruce'a Penningtona i Deny Groisser (1991) obserwowano wykonanie różnych zadań mierzących funkcje zarządzające (płynność słowna, Wieża z Hanoi, WCST, Test Dopasowywania Znanych Figur [Matching Familiar Figures Test]) przez 100 dzieci 3–12-letnich. Okazało się, że u dzieci powyżej 8 roku życia można wyróżnić 3 czynniki w strukturze funkcji zarządzających, a mianowicie: szybkość odpowiadania (*speed responding*), przełączanie oraz planowanie. Liisa Klenberg, Marit Krokman i Pekka Lahti-Nuutila (2001) zbadali 400 fińskich dzieci od 7 do 12 lat i wykazali istnienie czterech czynników w strukturze funkcji zarządzających, a mianowicie: płynność, uwaga wzrokowa, uwaga słuchowa, hamowanie. Mariëtte Huizinga, Conor V. Dolan, Maurits W. van der Molen (2006) użyli podobnych zadań jak A. Miyake i wsp. (2000) w badaniach dzieci 7-, 11-, 15-letnich oraz osób 21-letnich i udowodnili niezależność takich czynników, jak: pamięć operacyjna i przełączanie, ale nie hamowanie. Z kolei Helen St Clair-Thompson i Susan Gathercole (2006) udowodnili istnienie odrębnych czynników hamowania i pamięci operacyjnej, jednak nie przełączania.

W badaniach, w których wyniki analizowano z wykorzystaniem confirmacyjnej analizy czynnikowej (CFA), wykazano, że funkcje zarządzające w wieku przedszkolnym mają raczej prostą, jednolitą strukturę (np. Hughes i in., 2010; Wiebe, Espy, Charak, 2008), ale w wieku szkolnym można już wyodrębnić strukturalne komponenty, pomimo że ich zestaw w zależności od wieku badanych i stosowanych zadań może być różny (Huizinga, Dolan, van der Molen, 2006; Lehto i in., 2003).

Przegląd koncepcji i badań empirycznych pozwolił w strukturze funkcji zarządzających wydzielić trzy podstawowe procesy: giętkość/przerzutność (*flexibility/shifting*), rozumianą jako umiejętność szybkiego reagowania na zmieniające się warunki bodźcowe, hamowanie

(*inhibitory*) jako zdolność do przewycięzania silnych tendencji do reagowania w określony sposób i generowania reakcji odmiennych od nawykowych, oraz pamięć operacyjna (*working memory*) jako podstawowy system poznawczy, przechowujący informacje na użytek teraźniejszości oraz manipulujący nimi w celu ich wykorzystania do bieżących zadań. Część badaczy (Hughes i in., 2004; Jodzio, 2008) wskazuje również zdolność do planowania (*planning*) jako komponent funkcji zarządzających dotyczący układania pewnych schematów, reprezentujących cechy stereotypowych zachowań pojawiających się w określonych sytuacjach bodźcowych.

Kolejne analizy funkcji zarządzających przyniosły wyróżnienie dwu ich aspektów: gorącego i zimnego. Gorący aspekt funkcji zarządzających odnosi się do procesów kontrolnych uruchamianych przy wykonywaniu zadań angażujących procesy emocjonalne i motywacyjne działającej jednostki. Z kolei zimny aspekt funkcji zarządzających odgrywa istotną rolę w koordynacji zachowań związanych z rozwiązywaniem problemów abstrakcyjnych, pozbawionych osobistego znaczenia dla osoby je rozwiązującej (Zelazo, Qu, Müller, 2005). W badaniach Donnaya Hongwanishkul i in. (2005) wykazano, że pomiędzy 3 a 5 rokiem życia wzrasta poziom wykonania zadań mierzących zarówno zimny (DCCS, Wzrokowa pamięć robocza), jak i gorący aspekt funkcji zarządzających (Hazard, Odraczenie gratyfikacji). Na ewolucyjne źródła rozwoju aspektów funkcji zarządzających zwrócił uwagę Alfredo Ardila (2008). Według niego, u innych naczelnych, pomimo podobnej budowy płatów przedczołowych, można zaobserwować jedynie gorący aspekt funkcji zarządzających (o charakterze emocjonalno-motywacyjnym). Brak zimnego (metapoznawczego) aspektu sugeruje znaczenie społeczno-kulturowych uwarunkowań związanych z użyciem kulturowych narzędzi, zwłaszcza języka.

Podsumowując, zdaniem Sama Gilberta i Paula Burgessa (2008), rola funkcji zarządzających jest rozpatrywana w kategoriach interakcji między procesami wyższego i niż-

szego poziomu. Według nich zachowanie nie jest zwykle kierowane przez bezpośrednie oddziaływanie otoczenia, ale procesy niższego poziomu są modulowane przez procesy wyższego poziomu, odpowiednio do aktualnych wymagań zadania. W modelu Donalda Normana i Tima Shallice (Shallice, 1988) funkcje zarządzające stanowią system superwizji, który jest włączany w sytuacjach, gdy wyuczone odpowiedzi na bodźce środowiskowe muszą być powstrzymane.

NEUROFIZJOLOGICZNE PODSTAWY FUNKCJI ZARZĄDZAJĄCYCH

W badaniach stwierdzono, że uszkodzenia różnych regionów płatów czołowych powodują zaburzenia zachowania przejawiające się między innymi w rozwiązywaniu testów służących do badania funkcji zarządzających, wymagających przewycięzania nawykowych reakcji. Jeszcze pod koniec XX wieku wzorzec tych powiązań był niespójny (Aron, 2008).

Badania zarówno ludzi, jak i zwierząt pozwoliły na przypisanie poszczególnych komponentów funkcji zarządzających do określonych sektorów kory czołowej i przedczołowej (Casey i in., 1997; Robbins, 1996). Uszkodzenie płatów czołowych może przejawiać się w zachowaniu nadmierną sztywnością lub rozproszeniem, co sygnalizuje niewydolność systemu superwizji tj. funkcji zarządzających (Gilbert, Burgess, 2008). Podkreśla się, że kora czołowa wykazuje nadzwyczajną zdolność do adaptacji swoich funkcji do aktualnego zadania (Duncan, 2001). Kora przedczołowa (*prefrontal cortex*, PFC) jest bardzo rozległym regionem i bardzo zróżnicowanym strukturalnie i funkcjonalnie; dzielona jest na środkową (traktowaną jako pojedyncze pole, *medial surface*, MPFC) oraz boczną, w której wyróżnia się część brzusznią (*ventrolateral*, VLPFC), grzbietową (*dorsolateral*, DLPFC) i przednią (*rostral region*, RPF). Kora przedczołowa powiązana z ośrodkami podkorowymi integruje różnorodne reprezentacje wysokiego poziomu i ma kontrolujący wpływ na różne systemy mózgu (Gilbert, Burgess,

2008). I tak na przykład odkryto, że dla procesu hamowania krytyczna jest środkowa część kory przedczołowej prawej półkuli (MPFC), a także że istnieje sieć powiązań tego regionu kory z innymi ośrodkami: jądrem niskowzgórzowym (*subthalamic nucleus*, STN) czy częścią przednią i grzbietową płata czołowego w prawej półkuli (Wiecki, Frank, 2013). Za monitorowanie i rozwiązywanie konfliktu odpowiedzi natomiast odpowiedzialna jest kora przedruchowa (*pre supplementary motor area*, pre SMA) oraz przednia część kory obręczy (*anterior cingulate cortex*, ACC) (Nachev i in., 2007).

Donald Royall i in. (2002) zwrócili uwagę na znaczenie obwodów nerwowych obejmujących płaty czołowe, jądra podstawy i wzgórza dla wykonania poszczególnych typów zadań mierzących funkcje zarządzające. I tak grzbietowo-boczny obszar kory przedczołowej (DLPFC) zaangażowany jest w funkcje planowania, wybór celu, przerzutność, pamięć operacyjną i samokontrolę, obszar boczny kory okołoczołowej (*lateral orbitofrontal cortex*, *lateral OFC*) zaangażowany jest natomiast w ocenę ryzyka, hamowanie nieodpowiednich reakcji behawioralnych.

Aktywację określonych części kory przy rozwiązywaniu zadań mierzących funkcje zarządzające wykazano w wielu badaniach wykorzystujących nowoczesne sposoby zapisu pracy mózgu, takie jak fMRI (funkcjonalny rezonans magnetyczny) czy PET (tomografia pozytonowa). B.J. Casey i wsp. (1997) udowodnili przy użyciu fMRI, że zarówno u dorosłych (21–24 lata), jak i u dzieci (2–12 lat) podczas wykonywania zadań typu: reaguj/nie reaguj (*go/no go*) pobudzone zostają te same obszary mózgu zlokalizowane w korze przedczołowej. Tym, co różniło dorosłych i dzieci, była siła pobudzenia, znacznie większa u dzieci. Uzyskany rezultat można wyjaśniać zależnością między trudnością zadania a zaangażowaniem kory przedczołowej: im trudniejsze zadanie (a takim było dla dzieci), tym pobudzenie kory jest większe.

Lisa Jonkman (2006) stwierdziła liniowy wzrost amplitudy P300 (P3) (dodatnia amplituda potencjału wywołanego pojawia-

jąca się 300–500 ms po prezentacji bodźca) dla warunku „nie reaguj” w zadaniu *go/no go* w różnych, kolejnych grupach wieku: u dzieci 6–7-letnich nie wykazano efektu P3, u dzieci 9–10-letnich zauważono ograniczony efekt P3 dotyczący jedynie elektrody ułożonej w linii środkowej centralnej części płata czołowego (centralna elektroda czołowa), u młodych dorosłych wyraźny efekt P3 obserwowany był w szerokim zestawie elektrod w płacie czołowym. Efekt P3 został zinterpretowany jako wskaźnik przydzielenia zasobów uwagi podczas prezentacji bodźców: większy efekt odpowiada większemu przydzieleniu zasobów uwagi (Polich, 1987). W longitudinalnych badaniach obrazowania (Durston i in., 2006) wykazano, że między 9 a 11 rokiem życia aktywacja w korze przedczołowej wzrasta w specyficznych regionach, a mianowicie w części brzusznej (VPFC), skorelowanej z wykonaniem zadania *go/no go*. Z drugiej strony aktywność przedczołowych obszarów nieskorelowanych z wykonywaniem zadań, a mianowicie grzbietowo-bocznym (DLPFC), obniżała się wraz z wiekiem. Podobne wyjaśnienia proponowane przez innych badaczy (Casey i in. 1997; Lamm i in., 2006) sugerują, że za wzmożoną aktywność u dzieci może odpowiadać nieefektywny jeszcze mechanizm hamowania, a rozwój charakteryzować się będzie zwiększającą się lokalizacją aktywności w obszarach mózgu bezpośrednio związanych z reakcjami behawioralnymi i zmniejszającą się aktywnością we wspomagających obszarach mózgu.

Przy użyciu pozytonowej tomografii (PET) stwierdzono (Colette i in., 2005), że można wyróżnić obszary mózgu, które są aktywowane podczas rozwiązywania zadań mierzących trzy różne komponenty funkcji zarządzających: pamięć roboczą (aktualizacja/odświeżanie – *updating*), przerzutność uwagi i hamowanie. Aktywowane są wówczas następujące regiony kory: tylny obszar lewego górnego zakrętu ciemieniowego i prawa bruzda międzyciemieniowa, a w mniejszym stopniu lewy środkowy i dolny zakręt czołowy. W tym samym czasie poszczególne komponenty funkcji zarządzających aktywują odręb-

ne obszary mózgu. I tak procesy pamięci operacyjnej okazały się związane z dwustronną aktywacją obszarów przednich i tylnych kory czołowej, a przerzutność uwagi z aktywnością płata ciemieniowego oraz lewego środkowego i dolnego zakrętu czołowego. Hamowanie związane było natomiast z prawym zakrętem kory okołoczołowej. Aktywacja połączona z hamowaniem była jednak słabsza niż ta warunkowana dwoma innymi składowymi funkcjami zarządzających: przerzutnością czy pamięcią roboczą.

Ze względu na wyróżnienie zimnych i gorących funkcji zarządzających należy zwrócić uwagę na ich specyficzne podłoże neurobiologiczne. I tak zimne funkcje zarządzające związane są z aktywnością grzbietowo-bocznej kory przedczołowej (DLPFC), aktywność natomiast części brzuszno-środkowej kory przedczołowej (VMPFC) oraz przedniej części kory obręczy (ACC) stanowi podstawę gorących funkcji zarządzających (Hongwanishkul i in., 2005; Putko, 2008).

W innych badaniach z zastosowaniem fMRI (Tau, Peterson, 2010) potwierdzono, że rozwojowa poprawa w wykonywaniu zadań mierzących funkcje zarządzające pokrywa się ze związanym z wiekiem wzrostem aktywacji dopaminergicznych obszarów czołowych kory oraz struktur prążkowiec.

W najnowszych badaniach (Diamond i in., 2004; Pozuelos, 2013) udowodniono, że funkcje zarządzające łączą się również z ekspresją genów. Wskazano na trzy geny: katechol-O-metylotransferaza (COMT, związany z degradacją dopaminy w PFC; co wiąże się z lepszym wykonaniem zadań mierzących pamięć roboczą i hamowanie), DRD4 (warunkowany regulacją wychwytu dopaminy w PFC i powiązany z ADHD, zaburzeniami zachowania, trudnościami w spostrzeganiu nowości) oraz DAT1 (związany z regulacją wychwytu dopaminy i powiązany z trudnościami w odpamiętywaniu, kontroli zachowania i pamięci roboczej). Badania (Pozuelos, 2013) potwierdziły, że wyniki treningu pamięci roboczej i hamowania u poszczególnych osób badanych są zapośredniczone w ekspresji genów COMT i DAT1.

METODY BADANIA

Znaczący rozwój badań nad funkcjami zarządzającymi, jaki zaznaczył się na początku XXI wieku, był uwarunkowany dwoma przyczynami. Po pierwsze opracowaniem przez psychologię eksperymentalną wielu różnych zadań do pomiaru składowych funkcji zarządzających, które to zadania okazały się wrażliwe na skutki uszkodzenia mózgu. Po drugie wykorzystaniem nowych technik neuronauki, takich jak na przykład PET, fMRI.

Opracowano różne typy zadań do badania poszczególnych składowych funkcji zarządzających. Wiele takich zadań przygotowano do badania hamowania, co było uwarunkowane potrzebami diagnozy neuropsychologicznej oraz zainteresowaniem wyjaśnianiem codziennych zachowań związanych z zatrzymaniem już zainicjowanych czynności (np. zatrzymanie ruchu ręki w kierunku przedmiotu). Skonstruowanie odpowiednich narzędzi do badania hamowania poskutkowało wykonaniem wielu studiów nad tą składową funkcją zarządzających. Wykorzystano w tym celu takie rodzaje zadań, jak: Test Wieży, Test Sortowania Kart z Wisconsin, Test Stroopa, Test *go/no go*, mierząc czas reakcji między bodźcem wyzwalającym reakcję i nakazem zahamowania. Okazało się, że dłuższe odroczenie nie wyzwała reakcji nawykowej i umożliwia właściwe zareagowanie, natomiast krótkie odroczenie skłania do reakcji nawykowej (Logan, Cowan, 1984). Aron zauważa, że rzetelność wymienionych powyżej narzędzi pomiaru okazała się wysoka; zadania są wrażliwe między innymi na wiek, uszkodzenia mózgu, a także efekty farmakologicznej manipulacji (Aron i in., 2007).

Wymienione powyżej zadania należą do najbardziej znanych i najczęściej stosowanych. Stały się także podstawą do opracowania prostszych wersji dla dzieci. Test Wieży Londyńskiej polega na przekładaniu krążków ułożonych na trzech patyczkach z pozycji wyjściowej do pozycji docelowej. Osoba badana musi tak zaplanować własne działanie, by w jak najkrótszym czasie, zgodnie z podanymi regułami, ułożyć wzór, wykonując przy

tym jak najmniej ruchów (Shallice, 1988). Test Sortowania Kart z Wisconsin wymaga od badanych przewycięzania tendencji do stosowania poprzednio podanej zasady sortowania i przełączenia się na działanie według innej zasady. Zadaniem badanego w Teście Stroopa jest przewycięzanie tendencji do czytania nazw kolorów zgodnie z nazwą barwy, w której słowo jest napisane. Z kolei w Teście Reaguj/Nie Reaguj (*go/no go*; Luria, 1966) zadaniem osoby badanej jest podanie motorycznej odpowiedzi, na przykład w formie wciśnięcia klawisza na klawiaturze na jeden sygnał (*go*) i powstrzymanie się od tej reakcji na inny sygnał (*no go*). Sygnałem może być zmieniający się kolor ekranu, zapalenie się lampki itp.

Stosowane w badaniach nad rozwojem zadania do pomiaru funkcji zarządzających zwykle dotyczą jednego składnika. Są to zadania proste, dostosowane do możliwości dzieci. Zazwyczaj nawiązują do podstawowej formy aktywności, jaką jest zabawa dziecka; nierzadko przyjmują postać komputerowej gry. Pozwalają na ilościowe ujmowanie kompetencji badanych za pomocą takich parametrów, jak: czas reakcji, liczba poprawnych odpowiedzi czy proporcja poprawnych i błędnych odpowiedzi. Zadania te umożliwiają również eksperymentalne manipulowanie dymensjami poszczególnych zadań oraz ustalanie relacji między składowymi (np. pamięcią roboczą i kontrolą hamowania), co stwarza możliwości pogłębionego wyjaśniania złożonego zjawiska, jakim są funkcje zarządzające.

Ponadto w wielu badaniach stosuje się oprócz wskaźników ilościowych także jakościową analizę zachowania badanych, wyróżniając kategorie zachowań i wiążąc je z wskaźnikami ilościowymi. Wielu badaczy (np. Brophy, Tylor, Huges, 2002; Perner, Lang, 1999) używa wyszukanych zadań komputerowych, uzupełniając je obserwacyjnymi skalami kategoryzacji. Zastosowanie skal obserwacyjnych dostarcza danych jakościowych, które służą do wyjaśniania odkrytych różnic międzyosobniczych i międzygrupowych.

Opracowano wiele zadań spełniających postulat bycia przyjaznym dzieciom. Należą do nich następujące zadania: Dwuwymiaro-

wy Test Sortowania Kart (DCCS, Dimensional Change Card Sort, Frye, Zelazo, Palfai, 1995), Zadanie Stroopa – wersja „kształty” (Shape Stroop, Kochanska i in., 2000), Dzień–Noc (Day–Night Stroop, Gerstadt, Hong, Diamond, 1994); Miś–Smok (Bear–Dragon Task, Reed, Pien, Rothbart, 1984), Trawa–śnieg (Grass–Snow, Carlson, Moses, 2001), Odroczony prezent (Gift Delay, Kochanska i in., 2000). Liczne zadania do pomiaru funkcji zarządzających w okresie wczesnego i średniego dzieciństwa opisuje Stephanie Carlson (2005), poddając ocenie ich adekwatność w różnych grupach wiekowych.

Jednakże Nancy Garon, Susan Bryson i Isabel Smith (2008) zauważają, że upraszczanie zadań przeznaczonych dla dorosłych, aby były odpowiednie do wieku małych dzieci, niesie ze sobą niebezpieczeństwo utraty krytycznego składnika funkcji zarządzających. Innym jeszcze problemem jest wzięcie pod uwagę dziecięcych ograniczeń poznawczych, które mają znaczenie dla zrozumienia niekiedy złożonej instrukcji zadania. Nie mniej ważne są dziecięce możliwości w zakresie produkcji językowej; stąd niekiedy proponuje się równorzędne werbalne i niewerbalne wersje zadań (np. Kielar-Turska i in., 2006).

Gerard Gioia, Peter Isquith, Steven Guy i Lauren Kenworthy (2000) stworzyli kwestionariusz BRIEF (The Behavior Rating Inventory of Executive Function) obejmujący osiem aspektów funkcji zarządzających, takich jak: hamowanie, monitorowanie, elastyczność, kontrola emocji, inicjowanie, pamięć robocza, planowanie i organizowanie. Kwestionariusz jest wypełniany przez rodziców lub nauczycieli i dotyczy dzieci w wieku przedszkolnym oraz szkolnym. Na rynku zagranicznym dostępne są również różne baterie testów do badania funkcji zarządzających między innymi CANTAB (Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery, Luciana, 2003) dla osób 4–90 lat, NEPSY-II (A Developmental Neuropsychological Assessment, wyd. II) dla dzieci od 3 do 16 roku życia, D-KEFSTTM (Delis-Kaplan Executive Function SystemTM) dla osób od 8 do 89 roku życia, D-REF (Delis-Ra-

ting of Executive Function) dla dzieci i młodzieży między 5 a 18 rokiem życia.

Owocne okazały się badania funkcji zarządzających metodą mikrogenetyczną⁴, pozwalające na pokazanie zarówno interindywidualnych różnic, jak i na poznanie przebiegu procesu zdobywania kompetencji w tym zakresie. Badania Magdaleny Kosno (2010) z wykorzystaniem metody mikrogenetycznej potwierdziły różnorodność trajektorii rozwoju teorii umysłu u dzieci na przełomie 3 i 4 roku życia, w zależności od poziomu rozwoju funkcji zarządzających. U dzieci o wysokim poziomie rozwoju funkcji zarządzających nabywanie kompetencji w zakresie rozumienia fałszywych przekonań i metafor stale i szybko wzrasta między poszczególnymi okresami pomiaru, niekiedy pojawiają się okresy stabilizacji poziomu wykonania. U dzieci o niskim poziomie rozwoju funkcji zarządzających obserwuje się natomiast wzrost poziomu wykonania zadań mierzących teorię umysłu, nie jest on jednak tak znaczny, jak w pierwszej grupie dzieci i często przedzielony jest momentami ustabilizowania poziomu wykonania lub jego spadku między poszczególnymi pomiarami.

ZMIANY ROZWOJOWE FUNKCJI ZARZĄDZAJĄCYCH W OKRESIE DZIECIŃSTWA I DORASTANIA

Funkcje zarządzające jako wyższe funkcje poznawcze niewątpliwie pojawiają się w późniejszych, zaawansowanych rozwojowo okresach. Stąd badania nad ich rolą w działaniach człowieka obejmowały najpierw okres dorosłości, a obserwacje i analizy rozwiązywania zadań wymagających zaangażowania wyższych funkcji poznawczych przez osoby w wieku senioralnym pomogły w określeniu ich istoty i wyjaśnieniu sposobu działania.

Mariëtte Huizinga i wsp. (2006) oraz Paul Anderson (2002) zwracają uwagę na nieharmonijny rozwój poszczególnych komponentów funkcji zarządzających. W licznych badaniach dotyczących rozwiązywania różnych zadań mierzących funkcje zarządzające odkryto sekwencję rozwojową związaną z rozwo-

jem kory przedczołowej w okresie dzieciństwa i adolescencji (Anderson i in., 2001; Levin i in., 1991; Rubia i in., 2006; Welsh, Pennington, 1988). Rozwój funkcji zarządzających jest powolny w okresie wczesnego dzieciństwa (Diamond, Golman-Rakic, 1989; Diamond, 2006), intensywny rozwój przypada natomiast na okres od średniego dzieciństwa do dorastania i może trwać aż do wczesnej dorosłości (Anderson, 2002; Davidson i in., 2006; Garon i in., 2008; Welsh i in., 1991). Wyróżniono trzy okresy wyraźnych zmian w rozwoju funkcji zarządzających, które wiążą się z etapami rozwoju połączeń synaptycznych i mielinizacją kory przedczołowej, a mianowicie: I – od urodzenia do 5 roku życia, II – między 7 a 9 rokiem życia oraz III – między 10 a 12 rokiem życia (Anderson i in., 2001). Początkowo uważano, że kora przedczołowa jest „funkcjonalnie cicha” (*functionally silent*) w okresie dzieciństwa, jednakże dzięki neuroobrazowaniu udało się zaobserwować aktywność w tej części kory już u 6-miesięcznych niemowląt (Chugani i in., 1987).

Najwcześniej pojawiającym się komponentem funkcji zarządzających jest hamowanie. Już u dzieci 9–10-miesięcznych można zaobserwować pewne oznaki hamowania podczas wykonywania zadania wyszukiwania przedmiotu w pudełku (Diamond, 2002). Badania z udziałem dzieci poniżej 2 roku życia, wykorzystujące piagetowskie zadanie *A nie B* (Piaget, 2005; Luria, 1967) wykazały, że tak małe dzieci są w stanie wyhamować narzucającą się reakcję szukania przedmiotu w miejscu A i szukać go w miejscu B, co może świadczyć o umiejętności zahamowania wyuczonej reakcji, utrzymaniu w pamięci nowego miejsca ukrycia obiektu oraz umiejętności przełączania się pomiędzy różnymi miejscami w celu odnalezienia przedmiotu. Umiejętność hamowania narzucającej się reakcji rozwija się w okresie średniego dzieciństwa. Dzieci 4-letnie w porównaniu z 3-letnimi potrafią być bardziej poprawne w reagowaniu i powstrzymaniu się od reakcji w zadaniach typu *go/no go*. Poprawność i szybkość reagowania w tego typu zadaniach stale rośnie w wieku przedszkolnym (Mahone i in., 2001).

W badaniach dzieci średniego dzieciństwa zaobserwowano (Hudson i in., 1995), że już 3-letnie dzieci są zdolne konstruować różne rodzaje werbalnych planów, na przykład planowanie znanych czynności. Dzieci między 3 a 5 rokiem życia potrafią rozwiązać proste zadanie przełączania (*switching task*) (Espy, 1997), co wskazuje na ich giętkość poznawczą.

M. Welsh, B. Pennington i D. Groisser (1991) na podstawie badań dzieci od 3 do 12 lat przy użyciu serii zadań do pomiaru funkcji zarządzających sugerują, że odporność na rozproszenie pojawia się około 6 roku życia; organizowane przeszukiwanie, testowanie hipotez i kontrola impulsów występują około 10 roku życia, a werbalna płynność, motoryczne sekwencje i planowanie około 12 roku życia. Zdaniem tych badaczy można zatem wyróżnić trzy etapy w rozwoju komponentów funkcji zarządzających: pierwszy, rozpoczynający się około 6 lat, związany z odpornością na rozproszenie, drugi, około 10 lat, cechujący się zdolnością kontrolowania bodźców i trzeci na początku okresu dojrzewania, w którym dochodzi do osiągnięcia zdolności do planowania.

W późnym dzieciństwie, dzieci między 7 a 11 rokiem życia, używają strategii oraz rozumowania do tworzenia bardziej zorganizowanych i skutecznych planów (Levin i in., 1991). Metaanaliza wykazała, że planowanie intensywnie rozwija się między 5 a 8 rokiem życia i dalej aż do wczesnej dorosłości (Romine, Reynolds, 2005). Anderson i wsp. (1996) w badaniu z użyciem Londyńskiej Wieży wykazali, że między 9 a 13 rokiem życia dzieci zaczynają wykonywać to zadanie na takim samym poziomie jak osoby dorosłe.

Siedmiolatki radzą sobie dobrze w zadaniach sortowania kart, w których stosuje się dwie reguły sortowania, ale ciągle mają trudności z wykonaniem zadania sortowania z użyciem wielu kryteriów, pomiędzy którymi należy się przełączać (Anderson i in., 2001). Umiejętność ta stale wzrasta pomiędzy 7 a 9 rokiem życia do adolescencji (Anderson, 2002; Zelazo, Frye, 1998).

Na podstawie dotychczasowych badań można powiedzieć, że intensywny rozwój funkcji zarządzających zachodzi między 5

a 10 rokiem życia (Chelune, Baer, 1986; Levin i in., 1991; Welsh i in., 1991), a szczytowy okres osiągnięć rozwojowych w tym zakresie przypada między 6 a 8 rokiem życia (Rueda i in., 2005). W wieku przedszkolnym rozwój funkcji zarządzających obserwuje się w zakresie: hamowania, przekierowywania uwagi (Epsy, 1997) oraz elastyczności poznawczej (Smidts, Jacobs, Anderson, 2004). Wraz z rozwojem funkcji zarządzających wzrastają zdolności dzieci do uczenia się, co znajduje wyraz w umiejętności planowania, organizowania i strategicznego działania.

OSIĄGNIĘCIA W BADANIACH NAD ROZWOJEM FUNKCJI ZARZĄDZAJĄCYCH

Przegląd dwu dekad badań nad rozwojem funkcji zarządzających dokonany przez Claire Hughes (2011) ujawnia zakresy i kierunki dotychczasowych badań. Przede wszystkim przeprowadzono wiele badań nad grupami osób z różnych okresów rozwojowych, od niemowlęstwa do dorastania, co było możliwe dzięki rozwojowi metodologii badań. Opracowano wiele adekwatnych dla dzieci zadań mierzących wyższe procesy poznawcze (np. Carlson, 2005; Diamond i in., 1997). Zastosowanie w badaniach przyjaznych dzieciom zadań, wprowadzenie zadań komputerowych oraz zadań wrażliwych ekologicznie przyczyniło się do lepszego rozumienia zmian rozwojowych w zakresie funkcji zarządzających.

Badaniami obejmowano zarówno osoby rozwijające się prawidłowo, jak i z różnymi zaburzeniami rozwoju. Badania prowadzono w różnych krajach, w odmiennych kulturach, w tym także w Polsce (Byczewska, Kielar-Turska, 2011; Jodzio, 2008; Kielar-Turska i in., 2006; Kosno, 2010; Putko, 2008). W grupie dzieci z zaburzeniami rozwoju najczęściej badania dotyczyły dzieci z zaburzeniami ADHD oraz z autyzmem (Happe i in., 2006; Ozonoff, 1997). Prowadzone były także badania nad znaczeniem deficytów w zakresie funkcji zarządzających u dzieci z zaburzeniami genetycznymi (np. Zespół Williamsa; Hen-

ry, 2012), ze specyficznymi zaburzeniami językowymi (Specific Language Imperment, SLI, Henry i in., 2012) czy dysleksją (Reiter i in., 2005).

Opisano i wyjaśniano powiązania między funkcjami zarządzającymi a innymi procesami poznawczymi. Najczęściej badano powiązania z teoriami umysłu, wykazując bezpośredni ich związek w przypadku dzieci w wieku przedszkolnym (m.in. Carlson, Moses, 2001; Flynn i in., 2004; Kosno, 2010; Perner, Lang, 1999; 2000; Putko, 2004; 2008). W poszukiwaniu wyjaśnień przyjmowano trzy hipotetyczne rozwiązania. Jedni uważali, że to teorie umysłu zapewniają zdolność do samokontroli, warunkując zatem skuteczność hamowania (np. Perner, Lang, 2000). Zdaniem innych, potrzebny jest pewien poziom funkcji zarządzających do rozwiązywania testów fałszywych przekonań, a deficyt w zakresie tych pierwszych powoduje deficyt w teorii umysłu (Moses, 2001). Badania rozwojowe prowadzone przy użyciu metody mikrogenetycznej (Flynn i in., 2004) wykazały, że większość dzieci dobrze rozwiązuje zadania testujące funkcje zarządzające, zanim potrafi rozwiązywać testy fałszywych przekonań. Warto zaznaczyć, że pogląd ten dominuje. Są też i tacy badacze, którzy uważają, że u podłoża zarówno funkcji zarządzających, jak i teorii umysłu leży wspólny czynnik; oba te zjawiska angażują te same regiony kory przedczołowej (Frith, Frith, 2000). Badania (Lough, Gregory, Hodges, 2001) wskazują jednakże na dysocjację między tymi procesami; a zatem podzielają one podobne, a nie tożsame podłoże neuronalne, a co za tym idzie – mogą ulegać wybiórczo zaburzeniom. Niemniej jednak wyniki badań potwierdzają silne powiązanie między funkcjami zarządzającymi i teoriami umysłu, niezależnie od wieku. Jeszcze inni badacze (Carlson, Moses, 2001; Hughes, 1998) wskazują na wspólny czynnik funkcjonalny: zadania stosowane do pomiaru teorii umysłu i funkcji zarządzających łączy struktura zagnieżdżonych relacji warunkowych. Uważa się, że w relacji między rozważanymi zjawiskami może pośredniczyć język. Ponadto badacze zwracają uwagę, że testy służące badaniu teorii umysłu zawierają

komponent funkcji zarządzających (Carlson, Moses, Claxton, 2004).

Wyjaśnień dotyczących powiązań między funkcjami zarządzającymi a teorią umysłu dostarczają szczegółowe badania pokazujące relacje między składowymi funkcjami zarządzających a rozumieniem fałszywych przekonań. Wykazują one, że najwyraźniej związki teorii umysłu zaznaczają się z hamowaniem; stwierdza się także powiązania z pamięcią roboczą i planowaniem, a najsłabsze związki z elastycznością poznawczą. Ten wzór powiązań ujawniony w wielu badaniach (Davis, Pratt, 1995; Flynn i in., 2004; Hughes, 1998) został także potwierdzony w polskich badaniach dzieci w wieku przedszkolnym (Kielar-Turska, Bialecka-Pikul, Skórska, 2006; Kosno, 2010). Okazało się, że osiągnięcia w zakresie funkcji zarządzających stanowią dobry predyktor rozwiązywania zadań fałszywych przekonań (Flynn i in., 2004; Hughes, Ensor, 2007; Kosno, 2010).

Dobrze został udokumentowany związek teorii umysłu z zimnymi funkcjami zarządzającymi, co wykazano w szczegółowym przeglądzie badań wykonanym przez Adama Putko (2008). Związek teorii umysłu z gorącymi funkcjami zarządzającymi jest natomiast bardziej skomplikowany i mniej zbadany. Zwraca się uwagę, że we wczesnym okresie ontogenezy zachodzi silny związek między teorią umysłu i raczej gorącymi niż zimnymi funkcjami zarządzającymi (Carlson i in., 2004; Putko, 2011). Efekt ten może wyjaśniać powiązanie aktywności małych dzieci z bezpośrednią realizacją potrzeb i oczekiwań, bez względu na okoliczności (charakterystyczny jest brak analizowania środków przy skupieniu się na osiągnięciu celu). We wczesnym dzieciństwie silnie zarysowuje się w rozwoju *Ja* kategoria autonomii oraz odniesienia do innych, co znajduje nierzadko wyraz w przeciwstawianiu się i dążeniu za wszelką cenę do osiągnięcia celu dostrzeganego „tu i teraz”. Badania dzieci trzyletnich wykazały, że wymienione kategorie *Ja* korelują z wykonaniem testów fałszywych przekonań (Cichorz-Sadowska, 2012). Rozwój procesów poznawczych, zaznaczający się w kolejnych okresach rozwojowych, daje podstawę anali-

zowania warunków osiągnięcia celu, co znajduje wyraz w korelacji teorii umysłu z wynikami zadań badających pamięć operacyjną, elastyczność poznawczą, hamowanie, a więc z zimnymi funkcjami zarządzającymi. Badania A. Putko (2011) wykazały słaby związek teorii umysłu jedynie z gorącymi funkcjami zarządzającymi u trzylatków, a silny związek z zimnymi i dość wysoki z gorącymi funkcjami zarządzającymi w grupie czterolatek. Okazało się również, że zimne i gorące funkcje zarządzające nie korelują ze sobą u dzieci trzyletnich, są natomiast wyraźnie powiązane u dzieci czteroletnich.

W badaniach nad funkcjami zarządzającymi coraz wyraźniej zaznacza się powiązanie perspektywy poznawczej i perspektywy *neuroscience*, co znajduje wyraz przede wszystkim w łączeniu technik służących badaniu aktywności mózgu z zadaniami mierzącymi różne składowe funkcje zarządzających. Widoczne są oczekiwania adresowane do badaczy funkcjonowania mózgu; rezultaty tych badań traktowane są jako silne wyjaśnienia efektów pomiarów psychologicznych. Warto jednakże zwrócić uwagę na potrzebę wyjaśniania ludzkich zachowań nie tylko w kategoriach neurobiologicznych.

Prowadzono badania nad środowiskowymi czynnikami, które mają zarówno pozytywny (np. posiadanie rodzeństwa, programy interwencyjne, wspomaganie rodzicielskie), jak i negatywny (np. uszkodzenia mózgu, maltretowanie) wpływ na funkcje zarządzające. Nacisk na znaczenie czynników społecznych w rozwoju wyższych funkcji poznawczych jest widoczny zarówno w klasycznych koncepcjach teoretycznych (Luria, 1966; Wygotski, 1978), jak i współczesnych (Lewis, Carpendale, 2009).

Ustalono wiele prawidłowości rozwojowych. Stwierdzono, że funkcje zarządzające pojawiają się już w pierwszych latach życia (Diamond, 1988; 1990) i rozwijają się aż do dorosłości (Huizinga i in., 2006). Stanowią jednolity konstrukt z częściowo odrębnymi komponentami (Garon, Bryson, Smith, 2008). Funkcje zarządzające są silnie powiązane z warunkami życia rodzinnego, takimi jak SES (*social economical system* – Hughes, Ensor, 2005;

Mezzacappa, 2004). W różnym stopniu łączą się z takimi komponentami poznawczymi, jak rozumienie fałszywych przekonań czy sprawności językowe (Hughes, 1998). Na podstawie poziomu rozwoju funkcji zarządzających można przewidzieć gotowość do nauki szkolnej (Blair, Peters, 2003) oraz sukces w rozwoju umiejętności liczenia, czytania i pisanie (Blair, Razza, 2007). Zastosowanie programów interwencyjnych może spowodować polepszenie poziomu funkcji zarządzających u dzieci z grup ryzyka rozwojowego (Diamond, Burnett, Thomas, Munro, 2007).

Można powiedzieć, że dotychczasowe osiągnięcia badań nad rozwojem funkcji zarządzających są ogromne pod względem ilościowym (co roku ukazują się setki artykułów), a przede wszystkim bogate merytorycznie, dostarczają bowiem tysiące danych oraz wiele modeli i koncepcji wyjaśniających. Przykładem niech będzie model zależności między funkcjami zarządzającymi a zdolnościami składającymi się na teorię umysłu Adama Putko (2008). Zgodnie z tym modelem wpływ funkcji zarządzających nie ma jedynie charakteru emergencyjnego (warunkuje powstawanie konceptualnej wiedzy na temat stanów umysłu), ale jest również ekspresywny (funkcje zarządzające przejawiają się w rozwiązywaniu zadań do pomiaru teorii umysłu).

Niebagatelne jest zaznaczanie praktycznego aspektu badań nad rozwojem funkcji zarządzających. Badania te dostarczają danych, które mogą być wykorzystywane do organizowania procesu uczenia, treningów wspomagających rozwój oraz działań reedukacyjnych i terapeutycznych (Espy, 1997; Henry, 2012; Hughes, Ensor, 2009).

PERSPEKTYWY DALSZYCH BADAŃ

Badania nad funkcjami zarządzającymi dotychczas przeszły drogę od poznawania tych procesów u dorosłych z uszkodzeniami mózgu (płaty czołowe) do poznania początków ich kształtowania się i zmian rozwojowych. Opracowywano powiązania między takimi zachowaniami, jak planowanie, przełączanie, hamowanie, utrzymywanie celu a poszczególnymi

obszarami mózgu, dochodząc do zarysowania sieci powiązań między określonym zachowaniem a różnymi polami kory mózgowej.

John R. Best i Patricia H. Miller (2010) podkreślają, że istotne jest przejście od opisywania do wyjaśniania rozwoju funkcji zarządzających. Poznanie mechanizmów rozwoju może być możliwe dzięki: a) dokonywaniu metaanaliz, b) prowadzeniu badań longitudinalnych, c) prowadzeniu badań z użyciem metody mikrogenetycznej, d) prowadzeniu badań w paradygmacie *cognitive neuroscience*, e) poszukiwaniu zarówno biologicznych, jak i społeczno-kulturowych uwarunkowań.

Badacze funkcji zarządzających (m.in. Aron, 2008; Gilbert, Burges, 2008) przewidują znaczące postępy w zakresie współpracy między psychologią poznawczą i neuro nauką. Zwiększa się bowiem zainteresowanie powiązaniem między poznaniem społecznym a funkcjami kory przedczołowej. Eksplorowania wymagają powiązania efektów dojrzewania kory przedczołowej oraz osiągnięć edukacyjnych dzieci, dorastających i osób dorosłych. Warto zaznaczyć, że postępy badań w tym zakresie zależą między innymi od dobrze opracowanych zadań poznawczych służących do badania funkcji zarządzających.

Rezultaty badań dotyczących ustalenia trendu rozwojowego funkcji zarządzających oraz ich powiązań z innymi procesami poznawczymi, jak rozumienie fałszywych przekonań (m.in. Putko, 2008), sprawności językowe i komunikacyjne, oraz interakcjami społecznymi (m.in. Hughes, Ensor, 2007) czy osiągnięciami szkolnymi pozwalają lepiej rozumieć działania funkcji zarządzających, a także ich oddziaływanie na różne sfery zachowania. Przegląd prac prezentujących zarówno koncepcje teoretyczne, jak i wyniki empirycznych badań pozwala ustalić zakres zagadnień wielokrotnie badanych (np. powiązania z rozumieniem fałszywych przekonań), zagadnienia podejmowane, choć nie do końca wyjaśnione (np. związek funkcji zarządzających z zaburzeniami rozwoju), a także zakres zagadnień stanowiących nowe pola poszukiwań, takie jak związek funkcji zarządzających z cechami osobowości.

PRZYPISY

¹ Podobne rozwiązanie znajdziemy w języku rosyjskim – *исполнительные функции*. W językach francuskim (*fonctions executives*), hiszpańskim (*funciones ejecutivas*), niemieckim (*exekutiver funktionen*) i słowackim (*exekutívne funkcie*) mamy natomiast do czynienia z kalką językową.

² Termin ten był już wcześniej stosowany, porównaj: Kielar-Turska (2005); Kielar-Turska i in. (2006). Edward Nęcka (1994) używa tego terminu w innej formie gramatycznej „funkcje zarządcze”.

³ Margaret Kennard prowadziła badania nad relacją między wiekiem lezji mózgu i oczekiwanego skutku, stwierdzając negatywne powiązanie. Młody mózg reorganizuje się sam bardziej skutecznie niż dorosły. S. Finger, C. Wolf (1998), The „Kennard effect” before Kennard. The early history of age and brain lesions. *Arch. Neurology*, 45 (10), 1136–1142.

⁴ Metoda mikrogenetyczna jest metodą zbierania danych dotyczących rozwoju danej sprawności, która charakteryzuje się tym, że: 1. okres obserwacji zmiany powinien rozpoczynać się w momencie zachodzenia szybkich zmian w zakresie określonej sprawności i trwać do chwili, gdy dziecko w pełni opanuje daną umiejętność; 2. w tym czasie należy bardzo często dokonywać obserwacji w zależności od tempa zmian; 3. intensywne obserwacje i oszacowanie zachodzącej zmiany w kolejnych próbach powinny mieć charakter zarówno ilościowy, jak i jakościowy (Rzechowska, 2004).

BIBLIOGRAFIA

- Anderson P. (2002), Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8, 71–82.
- Anderson P., Anderson V., Lajoie G. (1996), The Tower of London Test: Validation and standardization for pediatric populations. *The Clinical Neuropsychologist*, 10, 54–65.
- Anderson V., Anderson P., Northam E., Jacobs R., Catroppa C. (2001), Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology*, 20, 385–406.
- Ardila A. (2008), On the evolutionary origins of executive functions. *Brain Cognition*, 68(1), 92–99.
- Aron A.R. (2008), Progress in executive function research. From task to functions to regions to networks. *Current Directions in Psychological Science*, 17, 2, 124–129.
- Aron A.R., Durston S., Eagle D.M., Logan G.D., Stinear C.M., Stuphorn V. (2007), Converging evidence for fronto-basal-ganglia network for inhibitory control of action and cognition. *Journal of Neuroscience*, 27, 11860–11864.
- Baddeley A.D., Hitch G. (1974), Working memory [w:] G. Bower (ed.), *The psychology of learning and motivation*, vol. 8, 47–90. New York: Academic Press.
- Berkley R.A. (2012), *Executive functions: What they are, how they work, and why they evolved*. London: The Guilford Press.
- Best J.R., Miller P.H. (2010), A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81(6), 1641–1660.
- Blair C., Peters R. (2003), Physiological and neurocognitive correlates of adaptive behavior in preschool among children in Head Start. *Developmental Neuropsychology*, 24(1), 479–497.
- Blair C., Razza R.P. (2007), Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647–663.
- Brophy M., Taylor E., Hughes C. (2002), To go or not to go: Inhibitory control in ‘hard to manage’ children. *Infant and Child Development*, 11, 2, 125–140.
- Butterfield E.C., Belmont J.M. (1977), Assessing and improving executive cognitive functions of mentally retarded people [w:] I. Bialar, M. Sternlicht (ed.), *Psychological issues in mental retardation*, 277–318, New York: Psychological Dimensions.
- Byczewska K., Kielar-Turska M. (2011), Funkcje zarządzające u osób w wieku senioralnym o różnym poziomie potrzeb edukacyjnych. *Psychologia Rozwojowa*, 16, 1, 85–99.

- Carlson S.M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 28, 595–616.
- Carlson S.M., Moses L.J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development*, 72, 1032–1053.
- Carlson S.M., Moses L.J., Claxton L.J. (2004). Individual differences in executive functioning and theory of mind: An investigation of inhibitory control and planning ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 299–319.
- Casey B.J., Trainor R.J., Orendi J.L., Schubert A.B., Nystrom L.E., Giedd J.N. i in. (1997), A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 835–847.
- Chelune G.J., Baer R.A. (1986), Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 8, 219–228.
- Chugani H.T., Phelps M.E., Mazziotta J.C. (1987), Positron emission tomography study of human brain functional development. *Annals of Neurology*, 22, 487–497.
- Cichorz-Sadowska J. (2012), *Teoria umysłu i koncepcja siebie w średnim dzieciństwie*. Praca doktorska przygotowana pod kierunkiem M. Kielar-Turskiej. Kraków: Uniwersytet Jagielloński.
- Collette F., Van der Linden M., Laureys S., Delfiore G., Degueldre C., Luxen A., Salmon E. (2005), Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping*, 25(4) 409–423.
- Davidson M.C., Amso D., Anderson L.C., Diamond A. (2006), Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44, 2037–2078.
- Davis H.L., Pratt C. (1995), The development of children's theory of mind: The working memory explanation. *Australian Journal of Psychology*, 47, 422–433.
- de Frias C.M., Dixon R.A., Strauss E. (2006), Structure of four executive functioning tests in healthy older adults, *Neuropsychology*, 20, 206–214.
- Diamond A. (1988), Abilities and neural mechanisms underlying A not B performance. *Child Development*, 59, 523–527.
- Diamond A. (1990), The development and neural bases of memory functions as indexed by the AB and delayed response tasks in human infants and infant monkeys. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 608, 267–317.
- Diamond A. (2002), Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry [w:] D. Stuss, R. Knight (eds.), *Principles of frontal lobe function*, 466–503. London, UK: Oxford University Press.
- Diamond A. (2006), The early development of executive functions [w:] E. Bialystock, F.I.M. Craik (eds.), *The early development of executive functions. Lifespan cognition: Mechanisms of change*, 70–95. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Diamond A., Barnett W., Thomas J., Munro S. (2007), Preschool program improves cognitive control. *Science*, 318, 1387–1388.
- Diamond A., Briand L., Fossella J., Gehlbach L. (2004), Genetic and neurochemical modulation of prefrontal cognitive functions in children. *American Journal of Psychiatry*, 161(1), 125–132.
- Diamond A., Goldman-Rakic P. (1989), Comparison of human infants and rhesus monkeys on Piaget's A-not-B task: Evidence for dependence on dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, 74, 24–40.
- Diamond A., Prevor M., Callender G., Druin D. (1997), Prefrontal cortex cognitive deficits in children treated early and continuously for PKU. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 62, 4, Serial 252.
- Duncan J. (2001), An adaptive coding model of neural function in prefrontal cortex. *Nat. Rev. Neurosci*, 2(11), 820–829.
- Duncan J., Emslie H., Williams P., Johnson R., Freer C. (1996), Intelligence and the frontal lobes: The organization of goal-directed behavior. *Cognitive Psychology*, 30, 257–303.

- Durstun S., Davidson M.C., Tottenham N., Galvan A., Spicer J., Fossella J.A., Casey B.J. (2006), A shift from diffuse to focal cortical activity with development. *Developmental Science*, 9(1), 1–8.
- Espy K.A. (1997), The Shape School: Assessing executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 13, 495–499.
- Ferrer-Caja E., Crawford J.R., Bryan J. (2002), A structural modeling examination of the executive decline hypothesis of cognitive aging through reanalysis of Crawford et al. (2000) data. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 9, 231–249.
- Finger S., Wolf C. (1998), The „Kennard effect” before Kennard. The early history of age and brain lesions. *Arch. Neurology*, 45(10), 1136–1142.
- Flynn E., O'Malley C., Wood D. (2004), A longitudinal, microgenetic study of the emergence of false belief understanding and inhibition skills. *Developmental Science*, 7, 103–115.
- Frith C., Frith U. (2000), The psychological basis of theory of mind: functional neuroimaging studies [w:] S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg, D. Cohen (eds.), *Understanding other minds. II: Perspectives from cognitive neuroscience*, 334–356. Oxford: OUP.
- Frye D., Zelazo P.D., Palfai T. (1995), Theory of mind and rule-based reasoning. *Cognitive Development*, 10, 483–527.
- Garon N., Bryson S., Smith I. (2008), Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134, 31–60.
- Gerstadt C.L., Hong Y.J., Diamond A. (1994), The relationship between cognition and action: Performance of children 3½–7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53, (2), 129–153.
- Gilbert S.J., Burgess P.W. (2008), Executive functions. *Current Biology*, 18, 3, 110–114.
- Gioia G.A., Isquith P.K., Guy S.C., Kenworthy L. (2000), *Behavior rating inventory of executive function: Professional manual*. Lutz, FL: Psychological Assessment.
- Godefroy O., Cabaret M., Petit-Chenal V., Pruvo J.-P., Rousseaux M. (1999), Control functions of the frontal lobe: Modularity of the central-supervisory system. *Cortex*, 35, 1–20.
- Goldberg E. (2009), *The new executive brain: Frontal lobes in a complex world*. Oxford: Oxford University Press.
- Golden C.J. (1981), The Luria-Nebraska children's battery: Theory and formulation [w:] G.W. Hynd, G.E. Obrzut (eds.), *Neuropsychological assessment and the school-aged child*, 277–302. New York: Grune Stratton.
- Happe F., Hughes C., Booth R., Charlton R. (2006), Executive dysfunction in autism spectrum disorders and attention deficit/hyperactivity disorder: Developmental profiles (Special issue on Asperger's syndrome). *Brain and Cognition*, 61, 25–39.
- Henry L. (2012), *The development of working memory in children*. London: SAGE Publications Ltd.
- Henry L.A., Messer D.J., Nash G. (2012), Executive functioning in children with specific language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(1), 37–45, doi: 10.1111/j.1469-7610.2011.02430.
- Hongwanishkul D., Happaney K.R., Lee W.S.C., Zelazo P.D. (2005), Assessment of hot and cool executive function in young children: Age-related changes and individual differences. *Developmental Neuropsychology*, 28, 2, 617–644.
- Hudson J.A., Shapiro L.R., Sosa B.B. (1995), Planning in the real world: Preschool children's scripts and plans for familiar events. *Child Development*, 66, 984–998.
- Hughes C. (1998), Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16, 233–253.
- Hughes C. (2002), Executive functions and development: Why the interest? *Infant and Child Development*, 11, 69–71.
- Hughes C. (2011), Changes and challenges in 20 years of research into the development of executive functions. *Infant and Child Development*, 20(3), 251–271.
- Hughes C., Ensor R. (2005), Theory of mind and executive function in 2-year-olds: A family affair? *Developmental Neuropsychology*, 28, 645–668.
- Hughes C., Ensor R. (2007), Executive function and theory of mind: Predictive relations from ages 2 to 4. *Developmental Psychology*, 43, 1447–1459.

- Hughes C.H., Ensor R.A. (2009), How do families help or hinder the emergence of early executive function? [w:] C. Lewis, J.I.M. Carpendale (eds.), *Social interaction and the development of executive function. New Directions in Child and Adolescent Development*, 123, 35–50.
- Hughes C., Ensor R., Wilson A., Graham A. (2010), Tracking executive function across the transition to school: A latent variable approach. *Developmental Neuropsychology*, 35, 20–36.
- Hughes C., Graham A., Grayson A. (2004), Executive function in childhood: development and disorder [w:] J. Oates, A. Grayson (eds.), *Cognitive and language development in children*, 205–230. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Huizinga M., Dolan C.V., Van der Molen M.W. (2006), Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017–2036.
- Jodzio K. (2008), *Neuropsychologia intencjonalnego działania. Koncepcje funkcji wykonawczych*. Warszawa: Wyd. Scholar.
- Jonkman L.M. (2006), The development of preparation, conflict monitoring and inhibition from early childhood to young adulthood: A go/no go ERP study. *Brain Research*, 1097, 181–193.
- Kielar-Turska M. (2005), Wprowadzenie do Ogólnopolskiej Konferencji Psychologii Rozwojowej pt. Psychologia rozwojowa wobec wyzwań współczesnego świata, Warszawa, 23–26 czerwca 2005.
- Kielar-Turska M., Białecka-Pikul M., Skórska A. (2006), Rozwój zdolności mentalizacji. Z badań nad związkiem teorii umysłu, sprawności językowych i funkcji zarządzających. *Psychologia Rozwojowa*, 11, 2, 35–47.
- Klenberg L., Korkman M., Lahti-Nuutila P. (2001), Differential development of attention and executive functions in 3- to 12-year-old Finnish children. *Developmental Neuropsychology*, 20, 407–428.
- Kochanska G., Murray K.T., Harlan E. (2000), Effortful control in early childhood: Continuity and change, antecedents, and implications for social development. *Developmental Psychology*, 36, 220–232.
- Kosno M. (2010), O powiązaniach funkcji zarządzających i dziecięcych teorii umysłu: wnioski z badań metodą mikrogenetyczną. *Psychologia Rozwojowa*, 15, 1, 61–75.
- Lamm C., Zelazo P.D., Lewis M.D. (2006), Neural correlates of cognitive control in childhood and adolescence: Disentangling the contributions of age and executive function. *Neuropsychologia*, 44, 2139–2148.
- Lehto J. (1996), Are executive function tests dependent on working memory capacity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 29–50.
- Lehto J.E., Juujärvi P., Kooistra L., Pulkkinen L. (2003), Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59–80.
- Levin H.S., Culhane K.A., Hartmann J., Evankovich K., Mattson A.J., Harward H., Ringholz G., Ewing-Cobbs L., Fletcher J.M. (1991), Developmental changes in performance on tests of purported frontal lobe functioning. *Developmental Neuropsychology*, 7, 377–395.
- Levine B., Robertson I.H., Clare L., Carter G., Hong J., Wilson B.A. i in. (2000), Rehabilitation of executive functioning: An experimental-clinical validation of goal management training. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6, 299–312.
- Lewis C., Carpendale J. (2009), Introduction: Links between social interaction and executive function (Special issue on social interaction and the development of executive function). *New Directions in Child and Adolescent Psychiatry*, 123, 1–16.
- Lewis C., Koyasu M., Oh S., Ogawa A., Short B., Huang Z. (2009), Culture, executive function, and social understanding. *New Directions for Child and Adolescent Development*, 69–85, doi: 10.1002/cd.236.
- Lezak M. (1993), *Neuropsychological assessment*. New York: Oxford.
- Logan G.D., Cowan W.B. (1984), On the ability to inhibit thought and action. A theory of an act of control. *Psychological Review*, 91, 295–327.
- Lough S., Gregory C., Hodges J. (2001), Dissociation of social cognition and executive functions in frontal variant frontotemporal dementia. *Neurocase*, 7, 123–130.
- Luciana M. (2003), Practitioner review: Computerized assessment of neuropsychological function in children: Clinical and research applications of the Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery (CANTAB). *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 649–663.
- Luria A.R. (1966), *Human brain and psychological processes*. New York: Harper and Row.

- Luria A.R. (1973), *The working brain: An introduction to neuropsychology*. New York: Basic Books.
- Luria A. (1967), *Zaburzenia wyższych czynności korowych wskutek ogniskowych uszkodzeń mózgu. Wprowadzenie do neuropsychologii*, Warszawa: PWN.
- Mahone E., Pillion J., Hiemenz J. (2001), Initial development of an auditory continuous performance test for preschoolers. *Journal of Attention Disorders*, 5, 93–106.
- Mezzacappa E. (2004), Alerting, orienting, and executive attention: Developmental properties and sociodemographic correlates in an epidemiological sample of young, urban children. *Child Development*, 75(5), 1373–1386.
- Miyake A., Friedman N.P., Emerson M.J., Witzki A.H., Howerter A., Wager T.D. (2000), The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex ‘frontal lobe’ tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Moses J.L. (2001), Executive accounts of theory-of-mind development. *Child Development*, 72, 688–690.
- Nachev P., Wydell H., O’Neill K., Husain M., Kennard C. (2007), The role of the pre-supplementary motor area in the control of action. *Neuroimage*, 36, 155–163.
- Nęcka E., (1994), *Inteligencja i procesy poznawcze*. Kraków: Impuls.
- Norman D.A., Shallice T. (1986), Attention to action: Willed and automatic control of behavior [w:] R.J. Davidson i in. (eds.), *Consciousness and self-regulation*, vol. 4, 1–18. New York: Plenum.
- Ozonoff S. (1997), Components of executive function in autism and other disorders [w:] J. Russell (ed.), *Autism as an executive disorder*, 179–211. Oxford: Oxford University Press.
- Perner J., Lang B. (1999), Development of theory of mind and executive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 337–344.
- Perner J., Lang B. (2000), Theory of mind and executive function: Is there a developmental relationship? [w:] S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg, D.J. Cohen (eds.), *Understanding other minds: Perspectives from developmental cognitive neuroscience*, 2nd ed., 150–181. New York: Oxford University Press.
- Piaget J. (2005), *Mowa i myślenie dziecka*, Warszawa: PWN.
- Polich J. (1987), Task difficulty, probability and interstimulus interval as determinants of P300 from auditory stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 63, 251–259.
- Pozuelos J.P. (2013), *Genetic modulation of cognitive training in preschool-aged children*, Referat wygłoszony na 16th European Conference on Developmental Psychology, Lausanne 3–7 września, 2013.
- Pribram K.H. (1973), The primate frontal cortex – executive of the brain [w:] K.H. Pribram, A.R. Luria (eds.), *Psychophysiology of the frontal lobes*. New York: Academic Press.
- Putko A. (2004), Teoria umysłu a rozwój funkcji wykonawczych u dzieci w wieku przedszkolnym. *Psychologia Rozwojowa*, 9, 5, 83–98.
- Putko A. (2008), *Dziecięca teoria umysłu w fazie jawnej i utajonej a funkcje wykonawcze*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Putko A. (2011), Teoria umysłu a zimne versus gorące funkcje zarządzające u dzieci w wieku przedszkolnym. *Psychologia Rozwojowa*, 1, 73–84.
- Reed M., Pien D.L., Rothbart M.K. (1984), Inhibitory self-control in preschool children. *Merrill-Palmer Quarterly*, 30, 131–147.
- Reiter A., Tucha O., Lange K.W. (2005), Executive functions in children with dyslexia. *Dyslexia*, 11 (2), 116–131.
- Robbins T. (1996), Dissociating executive functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London – B. Biological Science*, 351, 1463–1471.
- Romine C.B., Reynolds C.R. (2005), A model of the development of frontal lobe function: Findings from a meta-analysis. *Applied Neuropsychology*, 12, 190–201.
- Royall D.R., Lauterbach E.C., Cummings J.L., Reeve A., Rummans T.A., Kaufer D.I. i in. (2002), Executive control function: A review of its promise and challenges for clinical research. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 14, 377–405.
- Rubia K., Smith A.B., Woolley J., Nosarti C., Heyman I., Taylor E. i in. (2006), Progressive increase of frontostriatal brain activation from childhood to adulthood during event-related tasks of cognitive control. *Human Brain Mapping*, 27, 973–993.

- Rueda M.R., Rothbart M.K., McCandliss B.D., Saccomanno L., Posner M.I. (2005), Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 14931–14936.
- Rzechowska E. (2004), *Potencjalność w procesie rozwoju: mikroanaliza konstruowania wiedzy w dziecięcych interakcjach rówieśniczych*. Lublin: Wyd. KUL.
- Salthouse T., Atkinson T., Berish D. (2003), Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 566–594.
- Shallice T. (1988), *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Smids D.P., Jacobs R., Anderson V. (2004), The object classification task for children (OCTC): A measure of concept generation and mental flexibility in early childhood. *Developmental Neuropsychology*, 26, 385–401.
- Spencer-Smith M., Anderson V. (2009), Healthy and abnormal development of the prefrontal cortex. *Developmental Neurorehabilitation*, 12(5), 279–297.
- St Clair-Thompson H.L., Gathercole S.E. (2006), Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 745–759.
- Stuss D.T., Alexander M.P., Floden D., Binns M.A., Levine B., McIntosh A.R. i in. (2002), Fractionation and localization of distinct frontal lobe processes: Evidence from focal lesions in humans [w:] D.T. Stuss, R.T. Knight (eds.), *Principles of frontal lobe function*, 392–407. New York, NY: Oxford University Press.
- Stuss D.T., Benson D.F. (1986), *The frontal lobes*. New York: Raven.
- Szymczak M. (red.) (1978), *Słownik języka polskiego*, t. 1–3. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Tau G., Peterson B. (2010), Normal development of brain circuits. *Neuropsychopharmacology*, 35, 147–168.
- Walsh K.W. (1985), *Understanding brain damage: A primer of neuropsychological evaluation*. New York: Churchill Livingstone.
- Welsh M.C., Pennington B.F. (1988), Assessing frontal lobe functioning in children: Views from developmental psychology. *Developmental Neuropsychology*, 4, 199–230.
- Welsh M.C., Pennington B.F., Groisser D.B. (1991), A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7, 131–149.
- Wiebe S., Espy K., Charak D. (2008), Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Psychology*, 44, 575–587.
- Wiecki T.V., Frank M.J. (2013), A computational model of inhibitory control in frontal cortex and basal ganglia. *Psychological Review*, 120, 329–355.
- Wygotski L.S. (1978), *Narzędzie i znak w rozwoju dziecka*. Warszawa: PWN.
- Zelazo P.D. (2006), The Dimensional Change Card Sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, 1, 297–301.
- Zelazo P.D., Frye D. (1998), II. Cognitive complexity and control: the development of executive function. *Current Directions in Psychological Science*, 7, 121–126.
- Zelazo P.D., Qu L., Müller U. (2005), Hot and cool aspects of executive function: Relations in early development [w:] W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler, B. Sodian (eds.), *Young children's cognitive development: Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind*, 71–93. Mahwah, NJ: Erlbaum.