



BEATA PAPUDA-DOLIŃSKA¹

Instytut Badań-Edukacyjnych, Polska

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Polska

ORCID 0000-0002-8872-0357

AGNIESZKA ROSA²

Centrum Orticus w Grodzisku Mazowieckim, Polska

Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Polska

ORCID 0000-0001-7779-9525

ZABURZENIA WYŻSZYCH FUNKCJI WZROKOWYCH U DZIECI – WYZWANIA DIAGNOSTYCZNE

DISORDERS OF HIGHER VISUAL FUNCTIONS IN CHILDREN: DIAGNOSTIC CHALLENGES

Abstract: The article explores the issue of higher visual function disorders in children with disabilities and developmental disorders, emphasizing the importance of reliable and interdisciplinary diagnosis for effective therapy and education. Drawing on recent empirical research, the article characterizes the role of the dorsal and ventral streams – higher structures of the visual pathway – in organizing visual information. The operational mechanism of these streams in specific cognitive tasks challenges the conventional two-path processing model, revealing the interconnected nature of their functioning. The article further highlights the functional consequences of cortical-level visual processing disorders, specifically in relation to the activity and skills required for successful learning in school settings. Additionally, the article provides a review of techniques and tools used to assess visual functions, which are dependent on the proper functioning of the ventral and dorsal streams. In conclusion, the article raises three key challenges in diagnosing higher visual functions in children: the necessity of

- ¹ **Beata Papuda-Dolińska**, dr, tyflopedałóg, od roku 2015 adiunkt w Zakładzie Psychopedagogiki Specjalnej UMCS w Lublinie, od roku 2018 zatrudniona w IBE jako specjalista ds. uczniów ze SPE, autorka wielu publikacji na temat sytuacji szkolnej uczniów z dysfunkcjami wzroku. Zainteresowania naukowo-badawcze koncentrują się na zagadnieniach związanych z edukacją włączającą, diagnozą psychologiczno-pedagogiczną, uniwersalnym projektowaniem, oceną funkcjonalną, tyflopedałogiką. Adres e-mail: b.dolinska@ibe.edu.pl.
- ² **Agnieszka Rosa**, dr n. med., ortoptysta, pedagałóg, terapeuta zajęciowy. Zainteresowania naukowo-badawcze: diagnostyka zaburzeń widzenia dzieci i dorosłych, neurookulistyka, neuro-ortoptyka, konsekwencje wzrokowe uszkodzeń mózgu, korelacje wzrokowo-sensomotoryczne. Adres e-mail: agnieszka.rosa@orticus.com.

interdisciplinary collaboration among specialists for accurate identification of disorders, the potential similarity of symptoms to other clinical conditions leading to misdiagnosis, and the lack of standardized diagnostic tools. The article underscores the importance of a comprehensive and collaborative approach to diagnosing and addressing higher visual function disorders in children, highlighting the need for improved diagnostic tools and interdisciplinary cooperation among professionals in the field.

Keywords: higher order visual functions, ventral stream, dorsal stream, functional diagnosis.

Streszczenie: Artykuł opisuje zagadnienie zaburzeń wyższych funkcji wzrokowych u dzieci z niepełnosprawnościami oraz zaburzeniami rozwojowymi dla potrzeb rzetelnej i interdyscyplinarnej diagnozy dla terapii i edukacji. Na podstawie najnowszej literatury zweryfikowano rolę oraz sposoby oceny funkcjonowania wyższych struktur drogi wzrokowej – strumieni grzbietowego i brzuszego w organizacji informacji wzrokowych. Mechanizm działania strumieni w określonych zadaniach poznawczych pokazuje, że do tej pory uznawany, dwuścieżkowy model przetwarzania może nie odzwierciedlać rzeczywistej, opartej na wzajemnej interakcji pracy strumieni. Konsekwencje funkcjonalne zaburzeń przetwarzania wzrokowego na poziomie korowym przedstawiono w odniesieniu do aktywności i umiejętności niezbędnych dziecku w nauce szkolnej. Dokonano również przeglądu technik i narzędzi badania funkcji wzrokowych, za których prawidłowe funkcjonowanie odpowiadają strumień brzuszny i grzbietowy. W konkluzji zwrócono uwagę na trzy główne problemy w diagnozie wyższych funkcji wzrokowych u dzieci: konieczność współpracy interdyscyplinarnej specjalistów w identyfikowaniu zaburzeń, podobieństwo objawów do innych jednostek klinicznych i mylne diagnozy, niedobór wystandaryzowanych narzędzi diagnostycznych.

Słowa kluczowe: wyższe funkcje wzrokowe, strumień brzuszny, strumień grzbietowy, diagnoza funkcjonalna

Wprowadzenie

Percepcja wzrokowa jako proces poznawczy, kluczowy w kontekście umiejętności rozwijanych na etapie edukacji szkolnej, jak również uwarunkowany dynamiką prawidłowości rozwojowych stanowi przedmiot diagnozy medycznej oraz psychologiczno-pedagogicznej u dzieci ujawniających trudności w aktywnościach opartych na analizie danych wzrokowych. Najczęściej do tej grupy należą dzieci słabowidzące, uczniowie z dysleksją, zaburzeniami ze spektrum autyzmu lub o tzw. neuronietypowym rozwoju. Poszukiwanie etiologii tych problemów nie zawsze sięga odpowiednio głęboko. Albo są traktowane jako konsekwencja uszkodzeń na poziomie struktur oka, albo jako kryterium wykluczające dane zaburzenie albo jako cecha konstytutywna niepełnosprawności (np. niepełnosprawności intelektualnej). Tymczasem zrozumienie patomechanizmów zaburzeń percepcji wzrokowej pozwala właściwie zaprojektować oddziaływania terapeutyczne, jak i przewidzieć konsekwencje funkcjonalne obserwowane np. w aktywnościach

szkolnych (głównie w sferze motorycznej i poznawczej) oraz potencjał możliwości w zakresie funkcjonowania wzrokowego.

Zaburzenia percepcji wzrokowej o etiologii mózgowej/korowej są zagadnieniem stosunkowo nowym w polskiej diagnostyce na potrzeby edukacji, występującym przede wszystkim w postawieniu diagnozy u dzieci słabowidzących, dzieci z mózgowym uszkodzeniem widzenia (CVI) (zob. Walkiewicz-Krutak 2018), choć problem, o mniejszym nasileniu, może dotyczyć szerokiej grupy dzieci z zaburzeniami neurorozwojowymi. W procesy związane z przetwarzaniem i interpretacją informacji wzrokowych zaangażowanych jest wiele obszarów mózgu. Skutki uszkodzeń w tych obszarach można coraz lepiej określić dzięki bogacącemu się instrumentarium metod i technik z zakresu neuropsychologii, okulistyki i odpowiednio na nie zareagować za pomocą środków pedagogicznych i terapeutycznych.

Rola strumieni brzuszno i grzbietowego w organizacji informacji wzrokowych

Odbiór oraz organizacja informacji przez układ wzrokowy jest stosunkowo dobrze rozpoznane przez badaczy, w szczególności anatomia i fizjologia gałki ocznej oraz drogi wzrokowej. Sytuacja staje się mniej oczywista w odniesieniu do wyższych, korowych struktur drogi wzrokowej odpowiedzialnych za przetwarzanie informacji wzrokowych. Wprowadzona w latach 60-tych XX w. (Ingle 1967) oraz kontynuowana przez współczesnych naukowców (Dutton 2006; Milner, Goodale 2008) koncepcja opisuje hierarchiczny, dwuścieżkowy model przetwarzania percepcyjnego informacji wzrokowych. W myśl tej koncepcji, informacje wzrokowe, które dotarły drogą wzrokową do pierwszorzędowej kory wzrokowej, ulegają rozdzielaniu oraz są przekazywane do wyższych struktur korowych dwoma niezależnymi strumieniami (szlakami). Pierwszy z nich to **strumień grzbietowy** (*ang. dorsal stream*), który biegnie od kory potylicznej ku górze, w kierunku kory ciemieniowej, obejmując trzy lokalizacje: tylną część kory ciemieniowej, korę ruchową oraz korę czołową (Dutton 2006, Milner, Goodale 2008). Zważywszy na przebieg i złożoność struktury strumienia grzbietowego, połączenie funkcjonalne z korą somatosensoryczną pozwala na planowanie i wykonywanie czynności motorycznych pod kontrolą wzroku. Odpowiada za percepcję przestrzeni i lokalizację występujących w niej obiektów, pozwalając tym samym na swobodne i bezpieczne poruszanie się, budując jednocześnie świadomość przestrzeni. Ponadto, strumień grzbietowy będąc powiązany funkcjonalnie z korą czołową pomaga w kontroli ruchów oczu i głowy oraz pomaga w podejmowaniu decyzji, który bodziec jest lokalizowany wzrokowo, gdzie przenieść spojrzenie, oraz który bodziec chwycić (Kravitz, i in. 2011; Walkiewicz-Krutak 2018). W nowszych doniesieniach badawczych, jeszcze szerzej prezentuje się rolę strumienia grzbietowego. Uczestniczy on w przetwarzaniu informacji o cechach obiektu, jeśli są one istotne dla potencjalnego działania (choć działanie nie musi być wykonane). Strumień grzbietowy przetwarza więc

informacje o samym przedmiocie, głównie takie cechy jak: głębia, orientacja, forma definiowana ruchem, kształt (narzędzie–nie narzędzie, obiekt nieznan, reprezentacja obiektu 3D) (Freud, Behrmann, Snow 2020). Strumień grzbietowy odpowiada za rozróżnianie obiektów, którymi daje się manipulować od tych, które nie pełnią takiej funkcji (Hebart, Hesselmann 2012). Ponadto w modelu B.R. Sheth i R. Young (2016) strumieniowi grzbietowemu przypisuje się kluczową rolę dla prawidłowego działania uwagi wzrokowej, w szczególności uwagi przestrzennej. Bierze on udział również w rozpoznawaniu obiektów, jeśli obiekty te są nowe, w niekonwencjonalnym układzie lub gdy integracja cech obiektu wymaga eksploracji przestrzeni lub kilku fiksacji wzroku.

Druga wzrokowa droga percepcyjna, to **strumień brzuszny** (ang. *ventral stream*), biegnący od płata potylicznego w dół i kończący się w dolnej korze skroniowej, hipokampie i ciele migdałowatym. Główną jej funkcją jest gromadzenie wiedzy o przedmiotach i ich cechach pozwalającej na ich różnicowanie i rozpoznawanie (Dutton 2006). Odpowiada zatem za identyfikację cech przedmiotów, tj.: kształt, barwa, wyłanianie cech istotnych przedmiotów, różnicowanie i rozpoznawanie twarzy. Detekcja obiektów jest możliwa w dwuwymiarze oraz trójwymiarze, podczas obserwowania bodźca z różnych stron, patrząc na niego pod różnym kątem, ze zmiennej odległości. Odgrywa również rolę w planowaniu ruchu opierając się o pamięć obiektu i jego związek z innymi przedmiotami (Milner, Goodale 2008).

Przez lata, funkcje strumieni rozpatrywano w sposób dychotomiczny – każdemu przypisując inną rolę w percepcji. Niektórzy badacze kwestionowali dwuścieżkowy model „co” i „gdzie” (Rizzolatti, Matelli 2003, Jeannerod, Jacob 2005), proponując inne koncepcje, jednak ogólny model oddzielnych strumieni wzrokowych, zorganizowanych liniowo i hierarchicznie jest nadal powszechnie akceptowany. Część nowych koncepcji, bazując na modelu dwuścieżkowym, dotyczyła wprowadzenia dodatkowych ścieżek wzrokowych (Kravitz i in., 2011), lub kwestionowała liniowy model hierarchiczny, proponując inne alternatywne koncepcje, np. model sieciowy (de Haan, Cowey, 2011). Model sugerujący możliwość niezależnej analizy wzrokowej poszczególnych cech przedmiotów, która zważywszy na złożoność przetwarzania informacji wzrokowych nie może obejmować i skupiać się w obrębie dwóch szlaków wzrokowych. Zmianom też na przełomie lat ulegały funkcje przypisywane poszczególnym strumieniom. Przykładem jest tutaj model (nadal dychotomiczny) – widzenie dla percepcji (*vision for perception*) i widzenie dla działania (*vision for action*) (Goodale, Milner, 1992). W tej koncepcji reaktywność strumieni zależna jest nie tyle od cech bodźca, a samego celu spostrzegania. O ile rola strumienia brzuszego pozostała względnie taka sama (identyfikacja kształtu, barwy, szczegółów obiektów i innych cech przedmiotów istotnych dla jego poznania), o tyle zadaniom strumienia grzbietowego przypisano nową funkcję – przekształcanie przychodzących informacji wizualnych do umiejętnego planowania motorycznego i reakcji motorycznej (adekwatnego działania).

Teorie te w ostatnich latach ewaluowały. Aktualnie bardziej akcentuje się interakcję obydwu strumieni w przetwarzaniu różnych informacji wzrokowych, a nie ich wyizolowane działanie w zależności od cech bodźca. Wciąż jednak ścierają się stanowiska na temat tego, na ile te strumienie są niezależne, a na ile współzależne. Badania z wykorzystaniem funkcjonalnego obrazowania mózgu (fMRI) pokazują, że za reprezentację obiektów odpowiadają pola nie tylko strumienia brzuszne, ale aktywizują się również pola strumienia grzbietowego (Koner, Kastner 2008). W tym kontekście nieco inaczej przedstawia się rolę strumieni w przetwarzaniu informacji wzrokowych. Ich funkcje wynikają nie tylko ze struktury i budowy organicznej obszarów mózgu przyporządkowanych strumieniom (komórki strumienia brzuszne o małych, punktowych polach recepcyjnych oraz komórki strumienia grzbietowego, które mają duże pola recepcyjne), ale również z celu spostrzegania (działanie lub „potencjał” działania aktywizuje strumień grzbietowy). Hipoteza „eksploracji – eksploatacji”, ang. *exploration – exploitation*) opisuje współpracę strumieni w odbiorze i przetwarzaniu informacji wzrokowych (Sheth, Young, 2016). Strumień grzbietowy aktywnie uczestniczący w percepcji wzrokowo-przestrzennej, dostarcza informacji o obecności/nieobecności obiektów i ich lokalizacji istotnych do eksploracji i późniejszej eksploatacji przez strumień brzuszny. Model ten podkreśla dynamiczną interakcję między dwoma strumieniami, która służy jednolitej i płynnej percepcji, a segregacja strumieni ma charakter funkcjonalny, dynamiczny i zależny od sytuacji. W percepcji sceny wizualnej, strumień grzbietowy eksploruje obraz, ośrodek w korze czołowej podejmuje decyzję, który element będzie dalej analizowany. Wówczas uaktywnia się strumień brzuszny i w niektórych sytuacjach (np. potrzeba manipulowania obiektem) częściowo również grzbietowy.

Współpracę strumieni notuje się także przy wielu aktywnościach życia codziennego, w tym szkolnych, np. podczas aktywności motorycznej (np. chwyt) – hipotezę taką przedstawiają V. Polanen i M. Davare (2015). Strumień grzbietowy „wydobywa” szczegółową informację o identyfikacji obiektu zachowaną w obszarach strumienia brzuszne, kiedy właściwości obiektu wymagają dostrojenia chwytu. Z kolei strumień brzuszny może otrzymywać aktualne informacje zdobyte w trakcie chwytania obiektu, z obszarów strumienia grzbietowego w celu udoskonalenia wewnętrznej reprezentacji obiektu. Współpraca strumieni może być obecna również podczas interpretacji ekspresji ludzkiej twarzy, w tym wizualnej percepcji mowy. Przy identyfikacji twarzy (informacja „statyczna”) bierze udział również strumień brzuszny, a przy odbiorze ekspresji emocjonalnej (informacja „dynamiczna”) strumień grzbietowy (Borowiak, Maguinness, Kriegstein 2020). Interakcja strumieni notowana jest także podczas dekodowania wyrazów (Rosazza i in. 2009), czytania tekstu narracyjnego (Zhou i in. 2016), wykonywaniu operacji matematycznych (Castaldi i in. 2022), manipulowania przedmiotami (Evans i in. 2016), rozpoznawania kształtów (Freud, Plaut, Behrmann 2019).

Zaburzenia przetwarzania informacji wzrokowych w obrębie strumieni grzbietowego i brzuszego

Z perspektywy diagnostycznej dzieci można wyróżnić dwa rodzaje zaburzeń percepcji wzrokowej, przy których może być obecne uszkodzenie w obszarze strumieni: u dzieci ze zdiagnozowanym mózgowym uszkodzeniem widzenia (CVI) oraz – co mniej ewidentne i nie zawsze podlegające diagnozie – u dzieci z zaburzeniami rozwojowymi, neurorozwojowymi.

Zaburzenia przetwarzania informacji wzrokowych w obrębie strumieni grzbietowego i brzuszego są najczęściej wynikiem uszkodzeń mózgu obejmujących ten obszar lub obszary wspierające działania percepcyjne w obrębie strumieni. W kontekście dysfunkcji wzroku identyfikuje się je u osób z mózgowym uszkodzeniem widzenia (CVI), u których występują deficyty struktur związanych z korą mózgową (Walkiewicz-Krutak 2018, Goodale 2013, Dutton i in. 2017). W warunkach klinicznych osoby z CVI zwykle wykazują szeroki zakres zaburzeń widzenia, w tym często obniżoną ostrość wzroku, wrażliwość na kontrast, ograniczone pole widzenia oraz zaburzenia percepcji wzrokowej (Philip, Dutton 2014). Obraz takiej dysfunkcji może być bardzo zróżnicowany: całkowity brak reakcji wzrokowych lub wybiórcze występowanie dużych trudności percepcyjnych, rzutuujących na codzienne funkcjonowanie i niezależność, przy zachowaniu prawidłowej ostrości wzroku. Nasilenie zaburzeń widzenia w wyniku CVI jest zależne od lokalizacji, czasu, rozległości uszkodzenia neurologicznego.

Druga grupa zaburzeń przetwarzania wzrokowego wynika nie tyle z uszkodzenia, co swoistej „wrażliwości strumienia grzbietowego” (*dorsal stream vulnerability*) jako przyczyny trudności percepcyjnych ujawniających się u dzieci i młodzieży z różnego rodzaju zaburzeniami neurorozwojowymi oraz u dzieci przedwcześnie urodzonych (Atkinson, 2017). Pomimo ostrości wzroku w normie lub bliskiej normy, u dziecka mogą występować trudności w funkcjonowaniu wzrokowym i poznawczym warunkowane deficytami przetwarzania korowego i podkorowego. Dziecko z tego typu wrażliwością strumienia grzbietowego ma ograniczoną zdolność do jednoczesnego spostrzegania wielu elementów. W konsekwencji często towarzyszy temu trudność w kierowaniu spojrzenia na cel pomimo nienaruszonych funkcji motorycznych oka (Philip, Dutton 2014). Pomimo niestwierdzonej istotnej zależności pomiędzy funkcjonowaniem obszarów percepcyjnych a dysfunkcjami wzroku, niewątpliwe dzieci, u których podejrzewane są zaburzenia percepcyjne wynikające ze specyficznej pracy OUN powinny być objęte szczegółowym wywiadem medycznym, diagnostyką okulistyczną, neurologiczną czy neurookulistyczną. Badania neuroobrazowe mózgu, w tym drogi wzrokowej, elektrofizjologiczne oraz ocena przedniego i tylnego odcinka oka pozwoli na diagnostykę różnicową oraz uzyskanie odpowiedzi dotyczących etiologii zaburzeń percepcyjnych. Ponadto, wiele chorób i zaburzeń współistniejących, np. padaczka, choroby metaboliczne,

w konsekwencji uszkodzeń OUN doprowadzają do nieprawidłowego przetwarzania informacji na poziomie mózgowym (McConnel, Saunders, Little, 2021).

Występowanie wrażliwości strumienia grzbietowego (słabsza pamięć wizualno-przestrzenna, planowanie motoryczne i uwaga wzrokowa) identyfikuje się w przypadku następujących zaburzeń i sytuacji:

- Zespół Williamsa (Attkinson, 2017),
- Hemiplegia (Gunn i in., 2002),
- Zespół łamliwego chromosomu X (Kogan i in., 2004),
- Dysleksja rozwojowa (Gori i in., 2016),
- Wczesniactwo (Leung i in., 2018),
- Spektrum autyzmu (Silva i in., 2022),
- Niedowidzenie (Levi, 2013),
- Syndrom FAS (Gummel i in., 2012),
- Wczesne uszkodzenie mózgu (Zee i in., 2021),
- Rozwojowe zaburzenia koordynacji (DCD) (Micheletti i in. 2021).

Konsekwencje funkcjonalne uszkodzeń w obrębie strumieni brzuszno- i grzbietowego

Strumienie pozostają ze sobą w interakcji podczas percepcji wzrokowej, dlatego uszkodzenie w obszarze jednego strumienia zaburza jednocześnie efektywność działania drugiego. Niemniej jednak, w badaniach naukowych, w których starannie dobiera się grupy badawcze, a działanie strumieni bada w warunkach laboratoryjnych, konsekwencje te nierzadko opisuje się jako zaburzenia wyizolowane i przyporządkowane do jednego ze szlaków. W rzeczywistości jednak percepcja wzrokowa zależna jest także od innych ośrodków z mózgu, wielu obszarów układu nerwowego (Stiers, Fazzi, 2010). Dysfunkcje w obrębie struktur strumieni mogą jednak prowadzić do trudności w wykonywaniu zadań opartych na percepcji wzrokowej, w tym również realizacji złożonych zadań szkolnych.

Uszkodzeniom w obrębie strumienia grzbietowego przypisuje się następujące konsekwencje funkcjonalne:

- trudności w schodzeniu ze schodów (Cowie, Braddick, Atkinson, 2012);
- problemy ze znajdowaniem obiektu w dużej przestrzeni, elementu na złożonym tle (np. odczytanie informacji na mapie, wykresie, znalezienie fragmentu w tekście) (Mandolesi i in., 2009);
- trudności w śledzeniu i przewidywaniu ruchu obiektu (np. podrzuconej piłki przed jej złapaniem lub odbiciem);
- trudności z chwytaniem przedmiotów – układ palców i dłoni nie jest zaplanowany adekwatnie do kształtu i położenia przedmiotu (Philip, Dutton, 2014), co może uwidaczniać się w początkowych etapach nauki pisania;
- trudności w wykonywaniu czynności równoczesnych, np. słuchanie i wykonywanie notatek;

- potrzeba oglądania telewizji z bliskiej odległości np. podchodzenie blisko i skupianie wzroku na jednym elemencie animacji;
- trudności w znalezieniu nieuporządkowanych przedmiotów na stoliku, szczególnie jeśli nakładają się na siebie;
- trudności w czytaniu tekstu skondensowanego na stronie, np. w układzie kolumnowym, drobnego druku o małych odstępach między znakami;
- mylenie cyfr lub znaków matematycznych, jeśli nie są zapisane w arkuszu/zeszytcie w kratkę;
- odczuwanie dyskomfortu i niepokoju w takich sytuacjach, jak zakupy w centrum handlowym, spotkania towarzyskie, imprezy, podróże samochodem (Philip, Dutton, 2014);
- trudności w dostrzeganiu kilku elementów w tym samym czasie, przenoszeniu wzroku z bodźca na bodziec, motorycznej kontroli ruchów w ciemności (Sheth, Young, 2016).

Uszkodzenia w obrębie strumienia brzuszno mogą powodować:

- trudności w zakresie rozpoznawania osób i interpretowania ekspresji twarzy (Bernstein, Yovel, 2015);
- trudności w zakresie rozpoznawania obiektów i kształtów (Karnath i in. 2009), szczególnie w nietypowym rzucie lub nachodzących na siebie (np. tekst napisany inną czcionką) (Nestmann, Karnath, Renning, 2022);
- zaburzenia orientacji wzrokowej w otoczeniu znanym i nieznanym (Dutton i in. 2010), np. problemy w poruszaniu się w pomieszczeniu, dziecko nie wie, którą szafkę ma otworzyć;
- trudności w zakresie wytwarzania reprezentacji mentalnych na temat obiektów (np. rysowanie z pamięci) (Pawletko i in., 2014).

Konsekwencje funkcjonalne w każdym konkretnym przypadku są inne, nie tylko dlatego, że strumienie inaczej współpracują w zależności od charakteru zadania, ale uszkodzenie może być bardziej rozległe i obejmować obszary obydwu strumieni lub innych pól mózgowych (Serino i in., 2015). Ponadto wyniki badań nie są jednoznaczne jeśli chodzi o rolę strumieni w realizacji zadań złożonych, takich jak umiejętności szkolne. W tym przypadku słabszym funkcjom percepcyjnym (tj. uwaga wzrokowa, przeszukiwanie wzrokowe, grupowanie percepcyjne, planowanie motoryczne na podstawie informacji wizualno-przestrzennych, rozpoznawanie obiektów) towarzyszą gorsze wyniki w zakresie czytania i matematyki (Williams, i in. 2011). W przypadku zadań matematycznych dzieci z zaburzeniami wyższych funkcji percepcyjnych mają trudności z liczeniem obiektów (pomijają je lub liczą dwa razy ten sam element), szacowaniem wielkości zbiorów (trudności w jednoczesnej percepcji dwóch zbiorów) (Dehane, Cohen 1994). Trudności w czytaniu obserwowane u dzieci z CVI wynikają np. z zespołu nieuwagi stronnej. Dziecko pomija część tekstu/wyrazu, simultanagnozji i nie potrafi powiązać szeregu liter w jeden wyraz, ma trudności w rozpoznawaniu liter – problemy te występują na etapie wczesnej nauki czytania (Chokron i in., 2021). Pisanie jako czynność

motoryczna wykonywana pod kontrolą wzroku również jest zakłócona – dziecko nie utrzymuje pisma w liniaturze, nie wykorzystuje całej szerokości arkusza, poziom graficzny pisma jest niski.

Konsekwencje te choć obserwowane przez nauczycieli, specjalistów bardzo często są traktowane jako objawy innych zaburzeń, a dzieci te otrzymują mylne diagnozy: dysleksja, dyskalkulia, zaburzenia ze spektrum autyzmu, ADHD (Chockron i in. 2021).

Metody badania działania szlaków wzrokowych

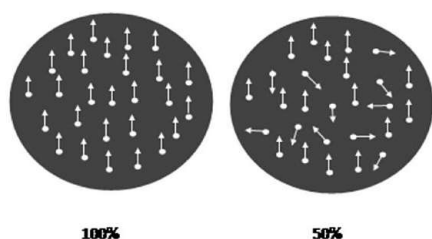
O ile ocena percepcji wzrokowej jako procesu poznawczego jest domeną psychologii, o tyle mechanizmami przetwarzania informacji wzrokowych zajmuje się głównie neuropsychologia. Najdokładniejszy obraz pracy i aktywizacji obszarów mózgu w strumieniach brzusznych i grzbietowych dostarczają metody funkcjonalnego neuroobrazowania rezonansu magnetycznego (fMRI), wykonywanego podczas określonego zadania, np. czytania (Zhou i in. 2016).

Pierwsze symptomy możliwych zaburzeń, kiedy to dziecko przejawia trudności w zakresie np. zadań szkolnych bazujących na percepcji wzrokowej, jest oceniany przez psychologa (np. DTVP-3 Test Rozwoju Percepcji Wzrokowej). Standardowo testy te angażują odpowiedź werbalną lub motoryczną, wymagają spełnienia warunków kwalifikacyjnych do badania, jak np. prawidłowa ostrość wzroku, norma intelektualna. Wynik badania nie charakteryzuje złożoności profilu funkcjonowania, np. osób z CVI. Warto podkreślić, że przed takim badaniem diagnosta powinien posiadać informację o podstawowych parametrach wzrokowych, tj. wada wzroku po cykloplegii, ostrość wzroku osiągnięta w korekcji okularowej do blizy i dali, poziom rozwoju widzenia obuocznego.

Inne metody, niewykorzystywane w Polsce i mające charakter raczej eksperymentalny, to testy neuropsychologiczne oceniające wrażliwość na określony typ ruchu (przepływ, ruch biologiczny, forma określona ruchem). W testach tych wykorzystuje się kinematogramy – wzory złożone z poruszających się kropek (*random dot kinematogram* – RDK). Bodźce te przetwarzane są w pierwszorzędowej korze wzrokowej przez komórki o małych polach recepcyjnych. Ta lokalna informacja o ruchu jest globalnie integrowana w obszarze MT (obszar strumienia grzbietowego) przez komórki o większych polach receptywnych. Komponenty strumienia grzbietowego odgrywają istotną rolę w wykrywaniu ruchu w zadaniach typu RDK, choć zakres, w jakim wynik odzwierciedla funkcjonowanie wyższych obszarów strumienia grzbietowego nie jest jednoznaczny (Braddick i in. 2001, Charkaborty 2015, Chen i in. 2016). Istotne znaczenie dla wniosków diagnostycznych mają również cechy bodźca, które projektowane są różnie w zależności od schematu badawczego oraz grupy badanych (dorośli vs. dzieci), tj.: rozmiar kropek, gęstość, czas ekspozycji, kontrast, szybkość ruchu (Mier, Giaschi 2019). Testy te, również na świecie rzadko wykorzystywane są w diagnozie klinicznej, choć w połączeniu

z informacjami o funkcjonalnych trudnościach dziecka oraz danymi z diagnozy medycznej mają potencjał wskazywać na prawdopodobieństwo deficytów w przetwarzaniu informacji wzrokowych na poziomie strumieni (Zee i in., 2022).

W badaniach z wykorzystaniem tych testów dobór grup służy celom empirycznym. Biorą w nich udział dzieci z określonym zaburzeniem neurorozwojowym, ale bez istotnych zaburzeń widzenia (prawidłowa ostrości wzroku, brak ubytków w polu widzenia).



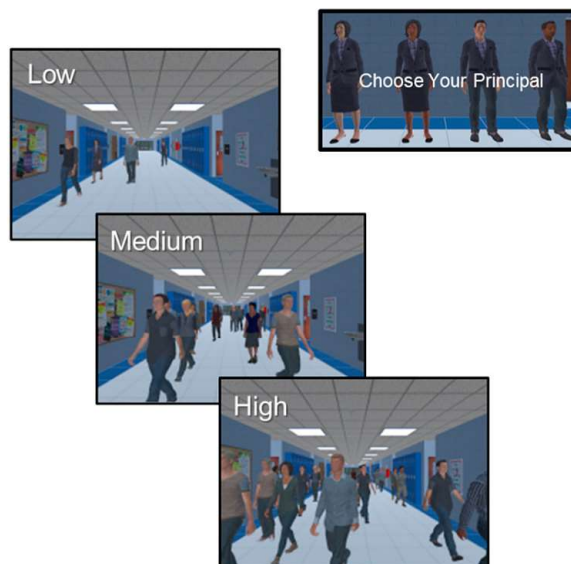
Ryc. 1. Przykład: zadania RDK wykorzystywane do oceny percepcji ruchu globalnego (działania strumienia grzbietowego) w badaniach Alnawmasi i in (2019). Proporcja kropek poruszających się w określonym kierunku względem szumu (kropek poruszających się w innym kierunku) zmienia się w każdej próbie. Badani mają zadane określić kierunek ruchu. Proporcja spójnie poruszających się kropek na tle szumu określa próg koherencji. Im wyższa wartość progu koherencji tym mniejsza wrażliwość na informacje o ruchu

poziomach (łatwy, średni, trudny). Za pomocą okulografu zapisywane są wzory ruchów oczu (przeszukiwanie, lokalizacja, fiksacja). W badaniach (Bennett i in. 2020) porównywano wzory aktywności wzrokowej u osób w normie wzrokowej, z uszkodzeniem wzroku o etiologii ocznej i u osób z uszkodzeniem wzroku o etiologii mózgowej (CVI), gdzie grupa CVI wykazała największą zmianę w jakości przeszukiwania, czasu przeszukiwania wzrokowego wraz ze wzrostem trudności zadania. Badania z 2022 roku potwierdziły występowanie tego deficytu również u osób z CVI zachowaną normą ostrości wzroku, co autorzy tłumaczą uszkodzeniami na poziomie strumieni, głównie grzbietowego. Niemniej jednak zadania tego typu nie mierzą wyizolowanej aktywności strumieni, ponieważ percepcja tak

Testom RDK zarzuca się jednak niską trafność ekologiczną, tzn. nie wyjaśniają one tego, jak osoba z zaburzeniem w obrębie danego strumienia percypuje w sytuacjach naturalnych (Bennett 2020). Jako alternatywę/uzupełnienie proponuje się testy oparte na technologii VR (*virtual reality*), które w połączeniu z danymi z okulografu (urządzenie umożliwiające badanie aktywności wzrokowej) pozwalają wykryć pewne cechy specyficzne dla percepcji u osób z mózgowym uszkodzeniem widzenia, jak np. słabsza organizacja przeszukiwania wzrokowego, obniżona fiksacja (Kooiker i in., 2016). I tak na przykład Bennett z zespołem (2018) opracowali zadanie „wirtualny korytarz” (*virtual hallway*), gdzie badany obserwuje symulację korytarza szkolnego w czasie przerwy. Zadaniem badanego jest zlokalizować a następnie śledzić wskazaną postać w tłumie. W kolejnych próbach zwiększa się ilość osób (dystraktorów) na trzech

skonstruowanych bodźców i złożoność zadania angażują również inne obszary odpowiedzialne za percepcję wzrokową.

Badania wykorzystujące sztuczne bodźce, jak np. obrazki 2D czy też reprezentacje obiektów prezentowane na ekranie mogą w mniejszym stopniu angażować strumień grzbietowy (stąd możliwe niedoreprezentowanie jego roli w percepcji obiektów w badaniach empirycznych). Wartościowych wniosków dostarczyć mogą badania prowadzone w rzeczywistych, naturalnych warunkach percepcyjnych z wykorzystaniem obiektów realnych jako bodźców (Freud, Behrmann, Snow, 2020)



Ryc. 2. Zadanie „wirtualny korytarz” wykorzystane w badaniach Manley, Bennett, Marabet (2022). Narzędzia te zostały skomercjalizowane i stanowią jedną z metod diagnozy funkcjonalnej osób z CVI w Perkins School of the Blind (USA)

W ocenie funkcjonalnej widzenia L. Hyvärinen wnioskuje się o działaniu funkcji strumieni przy wykorzystaniu dwóch zadań: Lea Rectangles Game i Lea Mailbox Game (Hyvärinen, Jacob, 2011). Lea Rectangles Game bada umiejętność oceny długości i rozmiaru obiektów przypisywaną funkcjom strumienia brzuszego. Dziecko określa, który prostokąt jest dłuższy, a który krótszy, a następnie ma za zadanie przyporządkować szare prostokąty do serii czarnych. Obserwacja dziecka podczas wykonywania zadania dostarcza badającemu informacji diagnostycznych: czy dziecko przyporządkowuje figury tylko na podstawie informacji wizualnych, czy najpierw bada je dotykiem? Jak dokładna jest odległość między palcem wskazującym a kciukiem podczas chwytania prostokąta?

Test Lea Mailbox Game wymaga umieszczenia kartki (odpowiedniego jej ułożenia) w otworze przypominającym wlot do listów w skrzynce pocztowej. Zadaniem dziecka jest ułożyć list w takiej orientacji, aby trafił do otworu. Może się zdarzyć tak, że dziecko właściwie wkłada list do szczeliny, ale nie potrafi określić kierunku otworu (pionowy, poziomy, ukośny), na podstawie samej informacji wizualnej. Niektóre dzieci z mózgowym uszkodzeniem widzenia mogą mieć trudności, aby adekwatnie ułożyć dłoń z kartką i skutecznie umieścić ją w szczelinie. Oceniany jest sposób chwytania karty, ułożenia jej, sama czynność wkładania – czy odbywa się



Ryc. 3. Testy Lea: A. Test Lea Mailbox Game, B. Test Lea Rectangles Game (Williams i in. 2015)

pod kontrolą wzroku, czy badany potrzebuje wcześniej dotknąć szczeliny by uzyskać podpowiedź motoryczną. Test zbiera informacje dotyczące ruchów dłoni za co odpowiedzialny jest płat ciemieniowy i percepcja obrazu w dolnym płacie skroniowym (obszary strumienia grzbietowego). Test doczekał się normalizacji na grupie dzieci w normie wzrokowej (Williams i in. 2015).

Kolejna grupa narzędzi pomocnych w ocenie prawidłowego działania percepcji wzrokowej, uwzględniających funkcjonalne konsekwencje zaburzeń na poziomie strumieni to skale obserwacyjne. Ich struktura uwzględnia wskaźniki behawioralne opisujące kluczowe objawy dla poszczególnych typów zaburzeń (m. in. strumieni grzbietowego i brzuszego).

W Polsce arkusze diagnostyczne do funkcjonalnej oceny widzenia dzieci z mózgowym uszkodzeniem widzenia (CVI) stworzyła M. Walkiewicz-Krutak (2018). Ocena obejmuje pięć obszarów: recepcja bodźców wzrokowych, funkcje okołoruchowe, aktywności wzrokowo-motoryczne oraz umiejętności wzrokowo-percepcyjne, zachowania charakterystyczne dla dzieci z CVI. W dwóch ostatnich arkuszach uwzględniono

umiejętności zależne m.in. od działania strumieni, jak np. „Dziecko rozpoznaje na podstawie cech wizualnych rozmaite obiekty codziennego użytku i zabawki”; „Czy na funkcjonowanie wzrokowe dziecka w otoczeniu nieznanym mu ma negatywny wpływ chaos wizualny?” (Walkiewicz-Krutak, 2018 s. 362, 363). Oceny arkuszy diagnostycznych w zakresie zgodności, rzetelności i stabilności pomiaru dokonano u 50 dzieci z mózgowym uszkodzeniem widzenia w wieku 1-5 lat.

Interesujące skale publikowane są w literaturze zagranicznej, jednak nie nadają się one do użytku w Polsce ze względu na brak tłumaczenia i polskiej normalizacji. W tym kontekście warto wspomnieć o inwentarzu HVFQI-51 (*Higher Visual Function Question Inventory*), którego celem jest ocena funkcjonowania wyższych funkcji wzrokowych u dzieci z CVI i prawidłową ostrością wzroku w wieku 5-16 lat. Autorzy proponują kwestionariusz przesiewowy złożony z 11 pytań (*Top-11*), które miały silną moc dyskryminacyjną dla zachowań istotnie różniących od normy grupę CVI. Narzędzie bazuje na 7 kategoriach wyższych funkcji poznawczo-wzrokowych (najbardziej zakłóconych przy CVI) zdefiniowanych przez Dutton i współpracowników (2010b): (C1: Pole widzenia; C2: Percepcja ruchu; C3: Przeszukiwanie wzrokowe; C4: Planowanie ruchu; C5: Uwaga; C6: Złożone obrazy; C7: Orientacja i poruszanie się). Obszary C3, C4 i C5 zostały przypisane do funkcji strumienia grzbietowego, a C7 do funkcji strumienia brzuszego. Przykładowe

itemy brzmią: Czy twoje dziecko ma trudność, by wrócić do zadania, gdy jego uwaga została rozproszona? Czy twoje dziecko ma trudności w schodzeniu ze schodów?”. Rodzic udziela odpowiedzi na skali trzystopniowej: często, czasami, rzadko.

Dyskusja

Diagnoza zaburzeń widzenia o etiologii mózgowej jest zagadnieniem mało poznanym w teorii, jak i niedocenianym w praktyce diagnostycznej, również tej służącej potrzebom edukacji. Na gruncie polskim, w diagnozie wyższych funkcji wzrokowych u dzieci, identyfikuje się szereg wyzwań.

Po pierwsze, w przypadku zaburzeń widzenia poszukuje się głównie przyczyn *stricte* okulistycznych, uszkodzeń określonej struktury oka, drogi wzrokowej czy wzrokowych ośrodków mózgowych. Nawet znalezienie ich w warstwie organicznej nie zawsze powinno być równoznaczne z zakończeniem działań diagnostycznych, szczególnie gdy poziom funkcjonowania wzrokowego jest niższy lub specyficzny – odmienny od spodziewanego a w konsekwencji zidentyfikowanego schorzenia okulistycznego. Pełna diagnostyka trudności wzrokowych u dziecka, w szczególności u dziecka z doświadczeniem urazów okołoporodowych, chorobami współistniejącymi bezpośrednio wpływającymi na funkcjonowanie OUN, powinna obejmować zarówno badania i oddziaływania medyczne, jak również funkcjonalne i mieć charakter interdyscyplinarny. Obie diagnostyki uzupełniają się wzajemnie i dostarczają informacji, dzięki którym specjalista jest w stanie ocenić całokształt trudności, ograniczeń w funkcjonowaniu wzrokowo-percepcyjnym, jak również określić potencjał dziecka. Ma to istotne znaczenie dla projektowania oddziaływań terapeutycznych i edukacyjnych uwzględniających, z jednej strony, dostosowania materiału edukacyjnego do możliwości percepcyjnych i wykonawczych dziecka, z drugiej zaś, pozwala skonstruować plan terapeutyczny z realnymi celami. Zważywszy na nietypową pracę szlaków wzrokowych w przetwarzaniu informacji wzrokowych, często pomimo włożonego wysiłku terapeutycznego ze strony specjalisty, rodzica i samego dziecka, obserwujemy niewspółmierne rezultaty. Może to być przyczyną wielu konsekwencji emocjonalnych oraz edukacyjnych. Poznanie oraz określenie przyczyny ograniczeń rozwojowych dziecka niewątpliwie pozwoli na lepsze zrozumienie trudności, z którymi się mierzy.

Po drugie, konsekwencje funkcjonalne w postaci objawów obserwowanych jako trudności szkolne często przyporządkowywane są innym stanom i zaburzeniom. Mylne diagnozy nie pozwalają właściwie zaprojektować oddziaływań pomocowych. Przeanalizowane w artykule doniesienia badawcze pokazują, że zaburzenia widzenia na poziomie wyższych funkcji wzrokowych (tu zawężonych do działania strumieni grzbietowego i brzuszego) ujawnia się w wielu sytuacjach życia codziennego od samoobsługi po funkcje poznawcze istotne dla realizowania zadań szkolnych, jak np. czytanie, pisanie, liczenie. Metody wspomagania nie powinny zatem ograniczać się tylko do aktywności wzrokowych (np. terapia widzenia) czy

motorycznych (np. terapia ręki) oraz nie wydaje się słuszne, aby działania terapeutyczne u dzieci z zaburzeniami percepcyjnymi w obszarze strumieni wzrokowych były realizowane w sposób niezintegrowany. Ponadto trudności percepcyjnych spodziewać się można u dzieci, których wzrok według parametrów okulistycznych funkcjonuje prawidłowo. Specyficzne zaburzenia percepcji wzrokowej, występujące u tych dzieci (np. dzieci przedwcześnie urodzone, dzieci z zaburzeniami neurorozwojowymi) nierzadko pozostają nierozpoznane.

Utrudnieniem jest także aktualny system orzekania o potrzebach kształcenia specjalnego czy opiniowania w poradniach psychologiczno-pedagogicznych, w którym to spełnienie kryteriów medycznych konkretnej diagnozy nozologicznej staje się podstawą uruchomienia wsparcia (np. dziecko z dużymi trudnościami w zakresie percepcji wzrokowej, ale ostrością wzroku wyższą niż 0.3 nie kwalifikuje się do otrzymania wsparcia w szkole i jest wykluczane z dalszej diagnostyki).

Po trzecie, na gruncie polskim brakuje narzędzia, które uwzględniając najnowszą wiedzę naukową (*evidence – based*) pozwoli ocenić widzenie dziecka w aspekcie funkcjonalnym, również w zakresie działania wyższych funkcji wzrokowych i (zależnych od nich) poznawczych. Niezaprzeczalnie, podstawą wszelkich działań pomocowych, wspierających, terapeutycznych jest rzetelna i trafna diagnoza polegająca nie tylko na identyfikacji trudności, problemów, ale również wskazująca na ich potencjalne źródła, gdyż dopiero wtedy można opracować odpowiedni program wsparcia dziecka w aktywnościach mających bezpośrednie przełożenie na funkcjonowanie szkolne.

Bibliografia

- Alnawmasi M.M., Chakraborty A., Dalton K., Quaid P., Dunkley B.T., Thompson B. (2019). *The effect of mild traumatic brain injury on the visual processing of global form and motion*. „Brain Injury”, 33(10), 1354-1363.
- Atkinson J. (2017). *The Davida Teller Award Lecture, 2016 visual brain development: A review of “Dorsal Stream Vulnerability” – Motion, mathematics, amblyopia, actions, and attention*. „Journal of Vision”, 17(3), Article 26.
- Bennett C.R., Bailin E.S., Gottlieb T.K., Bauer C.M., Bex P.J., Merabet L.B. (2018). *Assessing visual search performance in ocular compared to cerebral visual impairment using a virtual reality simulation of human dynamic movement*. W: TechMindSociety'18: Proceedings of the Technology, Mind, and Society Conference (article 4, pp. 1-6). New York: Association for Computing Machinery.
- Bennett C.R., Bauer C.M., Bailin E.S., Merabet, L.B. (2020). *Neuroplasticity in Cerebral Visual Impairment (CVI): Assessing Functional Vision and the Neurophysiological Correlates of Dorsal Stream Dysfunction*. „Neuroscience and Biobehavioral Reviews”, 108, 171-181.
- Bernstein M., Yovel G. (2015). *Two neural pathways of face processing: A critical evaluation of current models*. „Neuroscience and Biobehavioral Reviews”, 55, 536–546.

- Borowiak K., Maguinness C., Kriegstein, K. (2020). Dorsal-movement and ventral-form regions are functionally connected during visual-speech recognition. „Human Brain Mapping”, 41(4), 952–972.
- Braddick O.J., O'Brien J.M.D., Wattam-Bell J., Atkinson J., Hartley T., Turner R. (2001). *Brain areas sensitive to coherent visual motion*. „Perception”, 30, 61-72.
- Castaldi E., Turi M., Cicchini G.M., Gassama S., Eger E. (2022). *Reduced 2D form coherence and 3D structure from motion sensitivity in developmental dyscalculia*. „Neuropsychologia”, 10;166:108140.
- Chen N., Cai P., Zhou T., Thompson B. (2016). *Perceptual learning modifies the functional specializations of visual cortical areas*. „Proceedings of the National Academy of Sciences”, 113(20):5724-5729.
- Chokron S, Kovarski K, Dutton G.N. (2021). *Cortical Visual Impairments and Learning Disabilities*. „Frontiers in Neuroscience”, 13;15:713316.
- Cowie D., Braddick O., Atkinson J. (2012). *Visually guided step descent in children with Williams syndrome*. „Developmental Science”, 15(1):74-86.
- de Haan, E.H. F., Cowey, A. (2011). On the usefulness of ‘what’ and ‘where’ pathways in vision. *Trends in Cognitive Sciences*, 15 (10):460-466.
- Dehaene S., Cohen, L. (1994). *Dissociable mechanisms of subitizing and counting: Neuropsychological evidence from simultanagnosic patients*. „Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance”, 20(5), 958-975.
- Dutton, G.N. (2006) *Cerebral visual impairment: working within and around the limitations of vision*. W: E. Dennison, A.H. Lueck (red.), *Proceedings of the Summit on Cerebral/ Cortical Visual Impairment: Educational, Family and Medical Perspectives*. New York: AFB Press.
- Dutton G.N., Calvert J., Ibrahim H., Macdonald E., McCulloch D.L., Macintyre-Beon C. (2010b). *Structured clinical history taking for cognitive and perceptual visual dysfunction and for profound visual disabilities due to damage to the brain in children*. W: G.D. Dutton, M. Bax (red.), *Visual Impairment in Children Due to Damage to the Brain*, London: Mac Keith Press.
- Dutton G.N., Chokron S., Little S., McDowell N. (2017). *Posterior parietal visual dysfunction: An exploratory review*. „Vision Development and Rehabilitation”, 3, 10-22.
- Dutton G.N., Cockburn D., McDaid G., Macdonald E. (2010). *Practical approaches for the management of visual problems due to cerebral visual impairment*. W: G.N. Dutton, M. Bax (red.), *Visual Impairment in Children Due to Damage to the Brain* (s. 217-226). London: Mac Keith Press.
- Evans C., Edwards M.G., Taylor L.J., Ietswaart M. (2016). *Impaired communication between the dorsal and ventral stream: Indications from apraxia*. „Frontiers in Human Neuroscience”, 10, Article 8.
- Freud E., Behrmann M., Snow J.C. (2020). *What Does Dorsal Cortex Contribute to Perception?* „Open Mind”, 4, 40–56.

- Freud E., Plaut D.C. and Behrmann M. (2019). *Protracted developmental trajectory of shape processing along the two visual pathways*. „Journal of Cognitive Neuroscience”, 31, 1589-1597.
- Goodale M.A. (2013). *Separate visual systems for perception and action: a framework for understanding cortical visual impairment*. „Developmental Medicine and Child Neurology”, 55(4), 9-12.
- Goodale M.A., Milner A.D. (1992). *Separate visual pathways for perception and action*. „Trends in Neurosciences”, 15(1), 20-5.
- Gori S., Seitz A.R., Ronconi L., Franceschini S., Facoetti A. (2016). *Multiple Causal Links Between Magnocellular-Dorsal Pathway Deficit and Developmental Dyslexia*. „Cerebral Cortex”, 17;26(11):4356-4369.
- Gummel K., Ygge J., Benassi M., Bolzani R. (2012). *Motion perception in children with foetal alcohol syndrome*. „Acta Paediatrica”, 101(8):e327-32.
- Gunn A., Cory E., Atkinson J., Braddick O., Wattam-Bell J., Guzzetta A, Cioni G. (2002). *Dorsal and ventral stream sensitivity in normal development and hemiplegia*. „NeuroReport”, 7;13(6), 843-847.
- Hebart M.N., Hesselmann G. (2012). *What visual information is processed in the human dorsal stream?* „The Journal of Neuroscience”, 32(24), 8107–8109.
- Hyvärinen L., Jacob N. (2011). *What and How Does This Child See? Assessment of Visual Functioning for Development and Learning*. Helsinki 2011: Vistest.
- Ingle D. (1967). *Two visual mechanisms underlying the behaviour of fish*. „Psychologische Forschung”, 31,44-51.
- Jeannerod M., Jacob P. (2005). *Visual cognition: a new look at the two-visual system model*. „Neuropsychologia”, 43(2), 301-312.
- Kogan C.S., Boutet I., Cornish K., Zangenehpour S., Mullen K.T., Holden J.J., Der Kaloustian V.M., Andermann E., Chaudhuri A. (2004). *Differential impact of the fMR1 gene on visual processing in fragile X syndrome*. „Brain” 127, (Pt. 3), 591-601.
- Kooiker M.J., Pel J.J., van der Steen-Kant S.P., van der Steen J. (2016). *A Method to Quantify Visual Information Processing in Children Using Eye Tracking*. „Journal of Visualized Experiments”, 9, 54031.
- Kravitz D.J., Saleem K.S., Baker C.I., Mishkin M. (2011). *A new neural framework for visuospatial processing*. „Nature Reviews Neuroscience”, 12(4), 217-30.
- Leung M.P., Thompson B., Black J., Dai S., Alsweller J.M. (2018). *The effects of preterm birth on visual development*. „Clinical and Experimental Optometry”, 101(1), 4-12.
- Levi D.M. (2013). *Linking assumptions in amblyopia*. „Visual Neuroscience”, 30(5-6):277-87.
- Mandolesi L., Addona F., Foti F., Menghini D., Petrosini L., Vicari S. (2009). *Spatial competences in Williams syndrome: a radial arm maze study*. „International Journal of Developmental Neuroscience”, 27, 205-213.
- Manley C.E., Bennett C.R., Merabet L.B. (2022). *Assessing Higher-Order Visual Processing in Cerebral Visual Impairment Using Naturalistic Virtual-Reality-Based Visual Search Tasks*. „Children (Basel)”, 26;9(8):1114.

- McConnel E.L., Saunders K.J., Little J.A. (2021). *What assessments are currently used to investigate and diagnose cerebral visual impairment (CVI) in children? A systematic review.* „Ophthalmic and Physiological Optics”, 41(2), 224-244.
- Micheletti S., Corbett F., Atkinson J., Braddick O., Mattei P., Galli J., Calza S., Fazzi E. (2021). *Dorsal and Ventral Stream Function in Children With Developmental Coordination Disorder.* „Frontiers in Human Neuroscience”, 24;15:703217.
- Milner A.D., Goodale M.A. (2008). *Mózg wzrokowy w działaniu.* Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Nestmann S., Karnath H.O., Rennig J. (2022). *The role of ventral stream areas for viewpoint-invariant object recognition.* „Neuroimage”, 1;251:119021.
- Pawletko T., Chokron S., Dutton G.N. (2014). Considerations in behavioral diagnoses of CVI: issues, cautions, and potential outcomes. W: A. Hall Lueck, G.N. Dutton *Impairment of vision due to disorders of the visual brain in childhood: a practical approach*, eds A. Hall Lueck and G.N. Dutton (USA: AFB)
- Philip S.S., Dutton G.N. (2014). *Identifying and characterising cerebral visual impairment in children: a review.* „Clinical and Experimental Optometry”, 97(3), 196-208.
- Rizzolatti G., Matelli M. (2003). *Two different streams form the dorsal visual system: Anatomy and functions.* „Experimental Brain Research”, 153,146-157.
- Rosazza C., Cai Q., Minati L., Paulignan Y., Nazir T.A. (2009). *Early involvement of dorsal and ventral pathways in visual word recognition: an ERP study.* „Brain Research”, 26 (1272), 32-44.
- Serino A., Noel J.P., Galli G. (2015). *Body part-centered and full body-centered peripersonal space representations.* „Scientific Reports”, 5, 18603.
- Sheth B.R., Young R. (2016). *Two Visual Pathways in Primates Based on Sampling of Space: Exploitation and Exploration of Visual Information.* „Frontiers in Integrative Neuroscience”, 22, 10-37.
- Silva A.E., Harding J.E., McKinlay Ch., Dai D.W.T., Nivins S., Shah R.K., Thompson B. (2022). *Dorsal and ventral stream associations with autistic traits in children.* „Investigative Ophthalmology & Visual Science”, 63,(7), 4305.
- Stiers P., Fazzi E. (2010). *Psychometric evaluation of higher visual disorders: strategies for clinical settings.* W: G.N. Dutton, M. Bax (red.), *Visual Impairment in Children Due to Damage to the Brain* (s. 149-161). London: Mac Keith Press.
- van der Zee Y.J., Stiers P L.J., Evenhuis H.M. (2022). *Object Recognition and Dorsal Stream Vulnerabilities in Children With Early Brain Damage.* „Frontiers in Human Neuroscience”, 12;16:733055.
- van Polanen V., Davare M. (2015). *Interactions between dorsal and ventral streams for controlling skilled grasp.* „Neuropsychologia”, 79, 186-91.
- Walkiewicz-Krutak M. (2018). *Mózgowe uszkodzenie widzenia u małych dzieci. Studium teoretyczno-empiryczne.* Warszawa: Wydawnictwo Akademii Pedagogiki Specjalnej.
- Williams C., Northstone K., Sabates R., Feinstein L., Emond A., (2011). *Visual Perceptual Difficulties and Under-Achievement at School in a Large Community-Based Sample of Children.* „PLoS ONE” 6(3): e14772.

- Williams C., Gilchrist I.D., Fraser S., McCarthy H.M., Parker J., Warnes P., Young J., Hyvarinen L. (2015). *Normative data for three tests of visuocognitive function in primary school children: cross-sectional study*. „British Journal of Ophthalmology”, 99(6):752-6.
- Young M.P., (1992) *Objective analysis of the topological organization of the primate cortical visual system*. „Nature”, 358, 152-155
- Zhou W., Wang X., Xia Z., Bi Y., Li P., Shu H. (2016). *Neural Mechanisms of Dorsal and Ventral Visual Regions during Text Reading*. „Frontiers in Psychology”, 15:7:1399.