

BIBIANNA BAŁAJ

Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II

Instytut Psychologii

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Wydział Humanistyczny

## WPŁYW ZŁOŻONOŚCI OBIEKTU I WIELKOŚCI KĄTA ROTACJI NA RUCHY OCZU PODCZAS WYKONYWANIA ROTACJI UMYSŁOWEJ

Celem naukowym badania było poszukiwanie czynników modyfikujących ruchy oczu obserwowane podczas wykonywania zadania rotacji wyobraźniowej. Z jednej strony poszukiwano różnic we wskaźnikach dotyczących ruchów oczu w fazie percepcji obiektu w pozycji wyjściowej i zrotowanej, z drugiej strony testowano wpływ złożoności obiektów na siłę podobieństwa między percepcją i wyobraźnią w czasach fiksacji wzroku w odpowiadających sobie regionach zainteresowania. Rezultaty pokazały dłuższe średnie czasy trwania, mniejszą liczbę i częstotliwość fiksacji wzroku podczas wyobrażania sobie obiektów w porównaniu z ich oglądaniem. Można zatem stwierdzić, że wyobrażenia wymagały dłuższego, głębszego przetwarzania danych, niż miało to miejsce podczas oglądania obiektu. Podobieństwo percepcji i wyobraźni pod względem czasów fiksacji wzroku w odpowiadających sobie regionach zainteresowania było silniejsze dla obiektów prostych w porównaniu ze złożonymi. Ponadto wykazano, że dla większych kątów rotacji liczba fiksacji była większa, a częstotliwość mniejsza w porównaniu z mniejszymi kątami, co wskazuje na wzrost odczuwanego poziomu trudności zadania i wzrost zaangażowania poznawczego wraz z rosnącym kątem rotacji.

**Słowa kluczowe:** rotacja umysłowa, ruchy oczu, porównywanie ścieżek wzrokowych.

---

Adres do korespondencji: BIBIANNA BAŁAJ – Wydział Humanistyczny, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Fosa Staromiejska 1a, 87-100 Toruń; e-mail: bibianna@umk.pl

Badania były realizowane w ramach grantu MNiSW nr N N106 330734.

Jestem wdzięczna prof. Piotrowi Francuzowi, kierownikowi Laboratorium Psychoneurofizjologicznego KUL, za umożliwienie przeprowadzenia badań i cenne uwagi na temat tez zawartych w artykule, oraz Pawłowi Augustynowiczowi za pomoc w przygotowaniu badań. Dziękuję współpracownikom za wsparcie i uwagi do pierwotnej wersji tekstu, dzięki którym treść jest bardziej zrozumiała.

### ROTACJA WYOBRAŻENIOWA

Przeprowadzanie operacji wyobrażeniowych (np. umysłowego przeszukiwania zapamiętanej sceny, powiększania/pomniejszania obiektu) jest doświadczeniem subiektywnym (Chlewiński, 1997), co stanowi duże utrudnienie prowadzenia badań tego zjawiska. Częściowe przełamanie tego ograniczenia umożliwiły już badania prowadzone przez Sheparda i jego współpracowników (Shepard i Metzler, 1971). W ich eksperymentach nad rotacją wyobrażeniową badanym prezentowano (kolejno lub jednocześnie) dwa bodźce wzrokowe. Pierwszy obiekt (dwuwymiarowa reprezentacja obiektu) stanowił materiał wyjściowy. Natomiast drugi – to bodziec eksperymentalny, czyli obiekt wyjściowy, obrócony wokół osi prostopadłej do płaszczyzny obiektu lub jego zwierciadlane odbicie, również poddane rotacji. Zadaniem badanych było rozpoznanie, czy prezentowany im obiekt to ten sam bodziec, co wyjściowy, czy jego lustrzane odbicie. Czas reakcji badanych wydłużał się wraz ze wzrostem kąta rotacji obiektu, co pokazywało, że wyobrażeniowe rotowanie obiektu przebiega podobnie jak fizyczne jego obracanie.

Dzięki badaniom nad umysłową rotacją złożonych nieregularnych wielokątów jeszcze raz wykazano liniową zależność czasu reakcji od kąta rotacji obiektu (Cooper, 1975). Zaletą zastosowanych w tym badaniu instrukcji wyobrażeniowych jest jasno sprecyzowany związek między uzyskanymi wynikami i wyobrażaniem, gdyż osoby badane tworzyły wyobrażenia w sposób świadomy, celowy. Z drugiej strony, instrukcja wyobrażeniowa wyrażona wprost stwarza trudność w interpretacji rezultatów badań. Osoby badane mogą umyślnie próbować zachowywać się zgodnie z oczekiwaniami eksperymentatorów, niezależnie od tego, jakie procesy poznawcze są faktycznie zaangażowane w wykonanie zadania. Problem dostosowywania się badanych do oczekiwań eksperymentatorów od dawna towarzyszy wielu obszarom badań procesów psychicznych (zob. Orne, 1962). W badaniach wyobraźni jest on jednak szczególnie obecny (zob. Intons-Peterson, 1983), dlatego ważne jest poszukiwanie obiektywnych wskaźników przebiegu procesów poznawczych również w sytuacji braku instrukcji w zadaniu. Wydaje się, że ruchy oczu mogą stanowić taki wskaźnik.

Rejestracja ruchów oczu może rozwiązać również kwestie związane z przebiegiem operacji wyobrażeniowych. Zwykle przyjmuje się, że prędkość wykonywania rotacji wyobrażeniowej jest stała. Jednak de'Sperati (2003) wykazał, że podczas wykonywania zadania wyobrażeniowego początkowo wykonywane są sakkady o większych amplitudach, a pod koniec oszacowania kąta rotacji sakkady są krótsze i bardziej precyzyjne. Choć stosowany przez niego schemat ba-

dawczy wykorzystywał bardzo uproszczoną sytuację (dwa punkty na okręgu tworzące określony kąt), na podstawie rezultatów tych badań można podważyć zwykle przyjmowaną hipotezę stałej prędkości rotacji umysłowej.

### **Czynniki różnicujące wykonanie zadań rotacji wyobrażeniowej**

Wiele czynników, zarówno osobowych, jak i przedmiotowych, różnicuje przebieg wykonania zadań rotacji wyobrażeniowej. Poszukiwano różnic indywidualnych w zakresie umiejętności poprawnego i szybkiego wykonywania rotacji umysłowej, testowano wpływ cech rotowanego bodźca na przebieg tej operacji. Weryfikowano wpływ, np. znajomości obiektów, indukowania kierunku ruchu poprzez percepcję poruszającego się obiektu (Corballis i McLaren, 1982) oraz wpływ treningu (Ehrlich, Levine i Goldin-Meadow, 2006). Wielokrotnie stwierdzano różnice poziomu wykonania rotacji wyobrażeniowej w zależności od płci badanych (np. Alexander i Evardone, 2008; Burton, Henninger i Hafetz, 2005; Rafi i Samsudin, 2009), dlatego zwykle uwzględnia się w badaniach płeć jako zmienną kontrolowaną. Co ciekawe, różnice między kobietami i mężczyznami nie występowały w sytuacji, gdy materiałem rotacji były sylwetki ludzkie (Alexander i Evardone, 2008).

Jednym z dyskusyjnych czynników modyfikujących czas wykonania rotacji wyobrażeniowej jest złożoność bodźca. Wpływ złożoności obiektów na czasy rotacji umysłowej stwierdzono w badaniach Bethell-Fox i Sheparda (1988) oraz Folka i Luce (1987), zaś brak tego wpływu zaobserwowała Cooper (1975) oraz Cooper i Podgorny (1976). Ponadto istnieją różnice w sposobie wyjaśniania przez tych autorów uzyskanych rezultatów w odniesieniu do całościowości/fragmentaryczności. Różnice te mogą być jednak spowodowane odmiennymi interpretacjami relacji pomiędzy złożonością obiektów a fragmentarycznością/całościowością rotacji wyobrażeniowej. Wydaje się, że badacze w odmienny sposób posługują się terminami całościowości/fragmentaryczności. Folk i Luce (1987) mówią raczej o całościowości/fragmentaryczności reprezentacji (czyli raczej poziomie jej skomplikowania, liczbie zapamiętanych elementów obrazu), dlatego przy fragmentarycznej reprezentacji mogłoby nie być różnic pomiędzy obiektami prostymi i złożonymi. Cooper i Podgorny (1976) mówią o operacji rotacji całościowej lub fragmentarycznej. Przy rotacji całego obiektu nie byłoby ważne to, jak on jest złożony, natomiast przy rotacji części po części złożoność mogłaby mieć wpływ. Brak wpływu złożoności świadczyłby o całościowości rotacji umysłowej. Warto zatem poszukiwać metody, która pozwoliłaby zarówno na określe-

nie poziomu złożoności reprezentacji, jak również umożliwiłaby weryfikację sposobu dokonywania przekształceń wyobraźniowych podczas rotacji. Takim narzędziem wydaje się stosowanie pomiaru ruchu gałek ocznych.

### **Wskaźniki okulomotoryczne w rotacji wyobraźniowej**

Z operacją rotacji umysłowej wiąże się kilka kluczowych pytań, na które nie jest łatwo odpowiedzieć tylko na podstawie czasów udzielania odpowiedzi. Zadania rotacji wyobraźniowych zazwyczaj zajmują mniej niż 5 sekund i mogą zostać rozłożone na szereg bardzo szybkich umysłowych operacji, których czas trwania często szacowany jest między 50 a 800 milisekund. W konsekwencji, aby zyskać wgląd w kolejność i czas poszczególnych faz, podjęto badania, które rejestrowały ruchy oczu podczas wykonywania zadania umysłowej rotacji (Just i Carpenter, 1976). Najważniejszy zamysł analizy pozycji oczu jest taki, że fiksacja odzwierciedla to, co w danym momencie jest obiektem zainteresowania. Jeżeli kilka symboli przetwarzanych jest w określonej kolejności, to wzrok powinien być fiksowany na ich desygnatach w tej samej kolejności, a trwanie fiksacji na każdym desygnacie może być powiązane z czasem przetwarzania określonego symbolu (Mariwa, Xu i Pomplun, w druku). W badaniach Justa i Carpenter (1976) udało się podzielić zadanie rotacji wyobraźniowej (przy symultanicznej prezentacji obiektów: w pozycji wyjściowej i zrotowanej) na etapy: poszukiwania, przekształcania i potwierdzania.

Przykładem badania rotacji umysłowej w układzie sekwencyjnym są eksperymenty prowadzone przez Nakatani i Pollatseka (2004). Uczestnicy ich badania patrzyli na scenę złożoną z trzech przedmiotów umieszczonych na blacie biurka, a następnie oglądali scenę porównawczą. Scena porównawcza była taka sama, z wyjątkiem punktu widzenia sceny (obrót dokonywał się wokół jednej z trzech osi rotacji: X – oś pozioma, Y – oś pionowa, Z – oś prostopadła do planu obrazu), lub różna (jeden albo więcej przedmiotów w scenie porównawczej było zamienionych miejscami albo obróconych dookoła własnej osi). Badani mieli za zadanie porównać te sceny. Uzyskano charakterystyczny efekt – czasy reakcji były dłuższe, gdy kąty rotacji sceny porównawczej zwiększały się. Ponadto wielkość efektu rotacji różniła się dla poszczególnych osi obrotu.

Całkowite czasy reakcji zostały podzielone na trzy komponenty: latencja początkowa, czas pierwszego przejścia i czas drugiego przejścia. Czas latencji początkowej to czas pomiędzy pojawieniem się porównywanej sceny a sakkadą inicjującą. Pierwsze przejście definiowane jest jako zakończone, jeśli któryś

z obiektów oglądany był po raz drugi lub jeśli nastąpiło udzielenie odpowiedzi od razu po jednorazowym spojrzeniu na elementy sceny (bez „rewizyt”). Czas drugiego przejścia stanowił sumę czasu trwania fiksacji od pierwszej „rewizyty” do momentu udzielenia odpowiedzi przez badanego. Analogicznie do sposobu analiz zapisu ruchów oczu w badaniach prowadzonych nad czytaniem (zob. Rayner, 1998) autorzy przyjęli, że czas pierwszego przejścia wzroku przez scenę związany jest z początkowym kodowaniem sceny porównawczej, zaś czas drugiego przejścia będzie ujmował przetwarzanie następujące później.

Porównując badania, które przeprowadzili Just i Carpenter (1976) oraz Nakatani i Pollatsek (2004), można stwierdzić pewne różnice i ograniczenia zarówno w procedurze badawczej, jak i w metodach stosowanych analiz. Just i Carpenter (1976) analizowali średnią liczbę i czasy trwania fiksacji, gdy obydwa bodźce prezentowane były jednocześnie, zatem osoby badane, wykonując zadanie, mogły odwoływać się do percepcji (w mniejszym stopniu korzystając z pamięci) i w łatwy sposób porównywać objekty. Nakatani i Pollatsek (2004) prezentowali bodźce sekwencyjnie, ale nie analizowali średnich czasów trwania fiksacji, lecz czasy pierwszego i drugiego „przejścia”. W badaniu tym czasy reakcji podzielono na dwa etapy, a nie analizowano zmian w ogólnych charakterystykach ruchów oczu. Ponadto ich analizy dotyczyły czasu patrzenia na poszczególne elementy sceny, nie obejmowały specyficznego sposobu patrzenia. Warto zatem postawić pytanie o zmiany charakterystyk ruchów oczu w zależności od kąta rotacji podczas sekwencyjnej prezentacji obiektów.

Wydaje się, że w sytuacji percepcyjnej dostępności obydwu obrazów osoby wykonują zadanie jak najmniejszym kosztem poznawczym. Badani zachowują się zgodnie z modelem „adaptacji przełączeń”, czyli wykonują więcej przełączeń (przeniesienia wzroku z jednego bodźca na drugi) między obrazami, celem mniejszego zaangażowania pamięci operacyjnej (Mariwa i in., w druku). Pomimo że Mariwa i współpracownicy (w druku) konkludują, iż zastosowany paradygmat badania rotacji umysłowej metodą prezentacji symultanicznej i wprowadzenia lokalnej zmiany pozwala na ocenę współdziałania uwagi wzrokowej, pamięci operacyjnej i transformacji umysłowej, wiąże się to z pewnym ograniczeniem. Przy takiej procedurze trudno jest odróżnić funkcję i powiązanie ruchów oczu z procesem wyobraźniowym, ponieważ w tym samym czasie dokonuje się proces percepcyjny. Jest to ograniczenie występujące we wszystkich dotychczasowych badaniach nad rotacją umysłową z użyciem pomiaru ruchów oczu.

Wskaźniki ruchów oczu, takie jak liczba fiksacji, czas ich trwania czy rozproszenie, mogą być pośrednim wskaźnikiem procesów poznawczych (np. per-

cepcji czy wyobrażenia obiektów) zachodzących w czasie ich wykonywania. Te ogólne charakterystyki są niezależne od umiejscowienia wzroku, dlatego są pomiarem innym, niezależnym od analiz regionów zainteresowania. Liczba fiksacji świadczy o zainteresowaniu badanych oglądanym obrazem. Czas trwania fiksacji może często interpretowany jest w kategoriach intensywności przetwarzania materiału, na którym jest właśnie fiksowany wzrok. Dzięki tym wskaźnikom możliwe staje się porównanie intensywności przetwarzania materiału właśnie oglądanego z tym wydobywanym z pamięci (wyobrażanym). Zastanawiające jest zatem: Czy pomiędzy percepcją a wizualizacją obiektu występują różnice w ogólnych wskaźnikach dotyczących charakterystyk ruchów oczu?

Ponadto można stwierdzić, że o ile w badaniach nad wyobrażeniami statycznymi faktycznie starano się uchwycić ruchy i lokalizację oczu podczas tworzenia wyobrażeń bez obecności w danym momencie bodźca wzrokowego (np. Brandt i Stark, 1997), o tyle w badaniach nad rotacją umysłową głównym przedmiotem analiz był zapis ruchów oczu podczas patrzenia na obróconą o pewną liczbę stopni scenę albo podczas prezentacji dwóch scen jednocześnie. Prezentacja sekwencyjna obrazu pierwotnego i zrotowanego umożliwia pomiar ruchów oczu oddzielnie dla każdego etapu wykonywania zadania.

W odniesieniu do wpływu złożoności obiektów na rotację umysłową brak jest badań bezpośrednio ujmujących to zjawisko. Na podstawie porównania rezultatów dwóch badań oraz analiz czasów trwania poszczególnych etapów rotacji wyobrażeniowej Carpenter i Just (1978) stwierdzili, że różnica pomiędzy czasami reakcji dla obiektów prostych i złożonych nie wpływa z wolniejszej rotacji obiektów złożonych, ponieważ etap przekształceń dla obydwu bodźców odbywał się podobnie. Różnice występowały na etapie poszukiwania i potwierdzania. Wnioski te wynikają jednak tylko z metaanalizy dwóch badań. Just i Carpenter nie wprowadzali do swoich badań złożoności obiektów jako zmiennej niezależnej, brak jest analiz statystycznych wpływu złożoności na ruchy oczu. Warto zatem podjąć tę kwestię w badaniach. Ponadto sekwencyjna prezentacja obiektów do rotacji może dodatkowo ujawnić wpływ złożoności, kiedy porównywany obiekt musi zostać przywołany z pamięci.

### **ROTACJA WYOBRAŻENIOWA OBIEKTÓW PROSTYCH I ZŁOŻONYCH – BADANIE WŁASNE**

Badanie własne dotyczyło pomiaru ruchów oczu podczas wykonywania zadania rotacji wyobrażeniowej. Podejmuje ono dyskusję z obecnymi w literaturze

przedmiotu badaniami nad rotacją umysłową z zastosowaniem pomiaru ruchów oczu (Just i Carpenter, 1976; Mariwa i in., w druku; Nakatani i Pollatsek, 2004).

Wyniki poprzednich badań (Bałaj i Francuz, 2012) pokazują istnienie i utrzymywanie się podobieństwa między ruchami oczu podczas oglądania i wyobrażania obiektu statycznego w zadaniu skaningu wyobrażeniowego w sytuacji, gdy podaje się badanym instrukcję, że mają starać się wyobrazić zapamiętany obiekt. Można jednak mieć wątpliwości, czy badani, słysząc instrukcję wizualizacji, nie starają się zachować tak, aby spełnić przewidywane oczekiwania badacza podającego instrukcję wizualizacji (por. Intons-Peterson, 1983). Powstaje zatem pytanie, czy badani poruszaliby oczami w sytuacji spontanicznie stworzonych wyobrażeń bez instrukcji wyobrażeniowej.

W obecnym badaniu ruchy oczu mierzone w tzw. przerwie pomiędzy percepcją obiektu w pozycji zerowej i percepcją obiektu w nowej pozycji pozwalają uniknąć wpływu „instrukcji wprost”, aby tworzyć sobie wyobrażenia. Dzięki temu uzyskano pomiar ruchów oczu pod nieobecność fizycznego bodźca bez podawania instrukcji wyobrażeniowej. Pomiar ruchów oczu odbywał się również od momentu prezentacji obróconego obiektu, do momentu udzielenia odpowiedzi co do identyczności widzianego obiektu z tym w pozycji wyjściowej, czyli podczas wykonywania zadania rotacji umysłowej.

### Metoda

Metoda badawcza opierała się na klasycznych badaniach nad rotacją wyobrażeniową, gdzie wskaźnikami była poprawność i czas wykonania zadania rotacji wyobrażeniowej. Dodatkowo mierzono ruchy oczu podczas wykonywania różnych faz tego zadania. Wybrano wersję sekwencyjnej prezentacji obiektu w pozycji wyjściowej i w pozycji zrotowanej. Próba badawcza liczyła 20 osób (w wieku  $M = 23,18$ ;  $SD = 2,4$ ). W analizach uwzględniono wyniki 10 kobiet i 10 mężczyzn. Eksperyment został przeprowadzony w Laboratorium Psychofizjologicznym przy Katedrze Psychologii Eksperymentalnej KUL.

Materiał eksperymentalny prezentowano w losowej kolejności na monitorze LCD o rozdzielczości 1920/1200 pikseli. Bodźce do badań stanowiły dwuwymiarowe figury. Obiekty będące przedmiotem rotacji zostały umieszczone w okręgu. Bodźce eksperymentalne opracowano za pomocą programu Adobe Photoshop CS3. Do napisania aplikacji umożliwiających ich prezentację wykorzystano program e-Prime 2.0, który zapewniał także komunikację z programem rejestrującym ruchy oczu, czyli z iView X. Program BeGaze umożliwił wizualizację oraz obróbkę danych z zapisu ruchów oczu. Dane analizowane były staty-

stycznie za pomocą pakietu STATISTICA 8.0. Aparaturę badawczą stanowił eye-tracker (SMI iView X Hi Speed; częstotliwość pomiaru – 1250 Hz, rozdzielczość pomiaru –  $0,01^\circ$ ), klawiatura ze zmienionym układem przycisków, dwa komputery (do prezentacji bodźców i do pomiaru ruchów oczu), dwa monitory (do prezentacji bodźców oraz do kontroli eksperymentu przez badacza).

Model statystyczny. Przedmiot analizy statystycznej stanowiły wskaźniki zmiennych zależnych, tj. (1) (a) parametry ruchów oczu rejestrowanych podczas percepcji zrotowanego obiektu i wykonywania zadania rotacji wyobraźniowej – ANOVA z powtarzanym pomiarem (dla zmiennej niezależnej – kąt rotacji), (b) podobieństwo percepcji i wyobraźni (zapis ruchów gałek ocznych w postaci czasów fiksacji w określonych regionach zainteresowania, rejestrowany podczas percepcji obiektu w pozycji wyjściowej i podczas wizualizacji) – analiza korelacji i test różnic między korelacjami (zamiana współczynników  $r$  na  $z$ -Fischera oraz porównanie testem  $t$ ), (c) parametry ruchów oczu (liczba fiksacji, częstotliwość fiksacji itp.) rejestrowanych podczas percepcji obiektu w pozycji wyjściowej oraz w czasie wizualizacji – test  $t$  dla danych zależnych; (2) poprawność rotacji wyobraźniowej (odpowiedzi w kategoriach 0-1) – analiza log-liniowa dla wielodzzielczych tabel liczebności (dla zmiennych niezależnych jakościowych) oraz (3) czas wykonania rotacji wyobraźniowej (czas udzielanej odpowiedzi w zadaniu wyobraźniowym po transformacji logarytmicznej) – ANOVA z powtarzanym pomiarem.

#### *Analiza 1a*

Do badania wybrano trzy wielkości kąta rotacji z połowy pełnego obrotu ( $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$ ). Wiele badań wykazywało, że rotacja może odbywać się w obydwu kierunkach i zależność czasu reakcji od kąta rotacji rośnie liniowo aż do kąta  $180^\circ$ , następnie maleje aż do kąta  $360^\circ$ . Zatem celem zmniejszenia liczby prób często w badaniach analizuje się jedynie połowę obrotu. Do tych analiz wykorzystano pomiar ruchów oczu (analizowane wskaźniki: liczba, częstotliwość, czas trwania fiksacji; amplituda, czas trwania sakkad), jakie wykonywane były od momentu pojawienia się obróconego obiektu do momentu podjęcia decyzji w zadaniu rotacji wyobraźniowej, tj. do momentu odpowiedzi, czy oglądany obiekt jest tylko obrócony, czy też obrócony i w lustrzanym odbiciu.

#### *Analiza 1b*

Aby zbadać wpływ złożoności obiektu (według badań Bethell-Fox i Shepar-da, 1988; Bałaj, Francuz, 2012), w badaniu wykorzystano obiekty proste i złożone. Wstępnym etapem operacjonalizacji tej zmiennej było utworzenie wielu



obiektów składających się z takiej samej liczby elementów (szare kwadraty, połączone przynajmniej jednym bokiem), ale o różnej liczbie krawędzi (por. Bałaj, Francuz, 2012). Uzyskano zbiór 61 obiektów. Wybrano 6 obiektów najprostszych i 6 najbardziej złożonych. Obiekty proste miały od 8 do 10 krawędzi, natomiast obiekty złożone – 14-16 krawędzi. Złożoność obiektów była zmienną niezależną wewnątrzobiekтовую, czyli wszystkie osoby wykonywały zadania na obiektach prostych, jak i złożonych.

Stopień podobieństwa między skanowaniem percepcyjnym i wyobraźniowym mierzony był poprzez ustalenie wartości współczynnika korelacji  $r$  Pearsona pomiędzy zapisem czasów fiksacji wzroku w 25 regionach zainteresowania (stanowiących w całości kwadrat opisany na okręgu, w którym znajdował się prezentowany bodziec) podczas oglądania obiektu w pozycji wyjściowej oraz podczas wizualizacji obiektu.

#### *Analiza 1c*

Analiza różnic pomiędzy percepcją a wizualizacją w zakresie wybranych parametrów ruchów oczu. Porównano sytuację oglądania i wyobrażania sobie obiektu pod względem ruchów oczu (liczba, częstotliwość, czas trwania fiksacji; prędkość, amplituda, czas trwania sakkad).

#### *Analiza 2*

Celem wyjaśnienia poprawności wykonania zadania rotacji wyobraźniowej przeprowadzona została analiza log-liniowa. Testowano wpływ czynników: (1) Wielkość kąta rotacji ( $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$ ), (2) Złożoność obiektu (obiekty proste i złożone), (3) Lustrzane odbicie obiektu (zwierciadlane odbicie obiektu lub obiekt właściwy), (4) Płeć (zmienna kontrolowana).

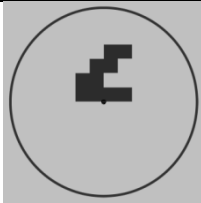
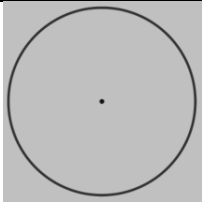
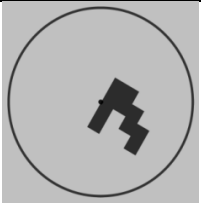
#### *Analiza 3*

Weryfikacja wpływu wyróżnionych zmiennych niezależnych na szybkość wykonania zadania rotacji wyobraźniowej (tj. czasy reakcji). Zmienne niezależne – jak w modelu ze wskaźnikiem poprawności: (1) Kąt rotacji, (2) Złożoność obiektów, (3) Lustrzane odbicie, (4) Płeć. Zmienna zależna: Czas podjęcia decyzji w zadaniu rotacji wyobraźniowej.

### Procedura

Badania prowadzone były indywidualnie. Czas trwania badania jednej osoby wynosił około 30 minut. Na wstępie ustalono oczną preferencję stronną osób badanych. Badanie zasadnicze prowadzone było zgodnie ze standardową procedurą badań nad rotacją wyobrażeniową przy sekwencyjnej prezentacji materiału wizualnego. Badanym prezentowano obiekt, następnie – po chwili odroczenia – prezentowano obiekt w innej pozycji (obrócony o określoną liczbę stopni lub też obrócony i dodatkowo w lustrzanym odbiciu). Zadaniem osób badanych było udzielenie odpowiedzi co do identyczności oglądanego właśnie, obróconego obiektu z widzianym poprzednio obiektem. Procedura opisana została w Tabeli 1.

Tabela 1  
Schemat procedury

Faza	Blok właściwy – powtarzał się 36 razy (12 obiektów x 3 kąty rotacji)		
	Percepcja		Zadanie rotacji wyobrażeniowej
Elementy na ekranie			
Czas	2 sek.	2 sek.	Czas reakcji
Zadanie badanego	Percepcja obiektu		Rozpoznanie zrotowanego obiektu (udzielenie odpowiedzi)
Pomiar	Ruchy oczu	Ruchy oczu	Ruchy oczu Poprawność i czas wykonania zadania

Pomiar ruchów oczu odbywał się podczas oglądania obiektu w pozycji zerowej i w czasie prezentacji pustego okręgu – był to etap wizualizacji bez podawania instrukcji wyobrażeniowej. Te dwa pomiary były korelowane ze sobą pod względem czasu fiksowania wzroku w odpowiadających sobie regionach zainteresowania. Ruchy oczu mierzone były również w fazie oglądania obróconego obiektu i udzielania odpowiedzi. Na tym etapie prowadzono analizy parametrów ruchów oczu w zależności od wielkości kąta rotacji.

## Wyniki

Wyniki badania zostaną przedstawione oddzielnie dla wskaźników dotyczących ruchów oczu (zarówno korelacji, jak i testów różnic), a także poprawności i czasów wykonania zadania rotacji wyobraźniowej.

### Ruchy oczu w zadaniu rotacji wyobraźniowej

*Analiza 1a.* Testowanie różnic pod względem ogólnych wskaźników ruchów oczu mierzonych w fazie percepcji obiektu obróconego o różną liczbę stopni (różne kąty).

Analizując ruchy oczu z ostatniej fazy eksperymentu (percepcji zrotowanego obiektu i udzielania odpowiedzi w zadaniu rotacji wyobraźniowej), można wykazać różnice w wybranych charakterystykach ruchów oczu ze względu na kąt rotacji. Dla mniejszego kąta rotacji obserwowano mniejszą liczbę fiksacji w porównaniu z większym kątem rotacji ( $60^\circ M = 5,03, SD = 3,39$ ;  $120^\circ M = 5,30, SD = 3,61$ ;  $180^\circ M = 5,49, SD = 3,35$ ). Różnice pomiędzy liczbą fiksacji w zależności od kąta rotacji okazały się istotne statystycznie ( $F = 4,14$ ;  $df = 2$ ;  $p = 0,016$ ;  $\eta^2$  cząstkowe = 0,009). Istotność kontrastu liniowego ( $F = 8,03$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0,005$ ;  $\eta^2$  cząstkowe = 0,016) przy braku istotności kontrastu kwadratowego ( $F = 0,08$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0,775$ ;  $\eta^2$  cząstkowe = 0) wskazuje, że obserwowana zależność ma kształt liniowy, tj. im większy kąt rotacji, tym większa liczba fiksacji.

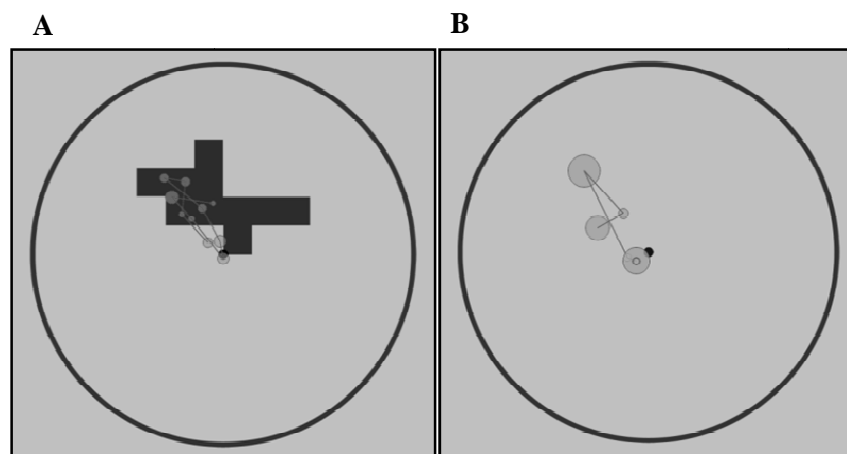
Dla mniejszego kąta rotacji obserwowano większą częstotliwość fiksacji w porównaniu z większym kątem rotacji ( $60^\circ M = 2,76, SD = 0,96$ ;  $120^\circ M = 2,64, SD = 0,89$ ;  $180^\circ M = 2,57, SD = 0,90$ ). Różnice częstotliwości fiksacji w zależności od kąta rotacji okazały się istotne statystycznie ( $F = 9,60$ ,  $df = 1,96$ ,  $p = 0,001$ ;  $\eta^2$  cząstkowe = 0,020). Istotność kontrastu liniowego ( $F = 16,32$ ,  $df = 1,00$ ,  $p = 0,001$ ;  $\eta^2$  cząstkowe = 0,033) wskazuje liniowość obserwowanej zależności pomiędzy kątem rotacji a częstotliwością fiksacji.

Dla pozostałych parametrów ruchów oczu (średni czas trwania fiksacji i sakkad, amplituda sakkad) nie zaobserwowano istotnych różnic ze względu na kąt rotacji.

*Analiza 1b.* Testowanie różnic ze względu na złożoność obiektów w sile podobieństwa czasów fiksowania wzroku w odpowiadających sobie regionach zainteresowania.

Czas przeznaczony na percepcję i wizualizację był taki sam, można zatem zauważyć na przykładzie zobrazowanym na Rysunku 1 pewne podobieństwa, jak

i różnice pomiędzy ruchami oczu w percepcji i w czasie wizualizacji obiektu. Warto podkreślić jest to, że osoby badane nie były instruowane do tworzenia wyobrażenia, jednak spontanicznie ruszały oczami tak, jakby nadal patrzyły na uprzednio widziany obiekt.



Rysunek 1. Przykładowy zapis ruchów oczu podczas oglądania (A) i wizualizacji (B) obiektu.

Policzone zostały korelacje – oddzielnie dla obiektów prostych i złożonych. Następnie doliczono istotność różnicy między tymi korelacjami.

Średni czas fiksacji w regionach zainteresowania wahał się między 641 ms a 735 ms. Obserwowane rozkłady były symetryczne. Zaobserwowano istotne statystycznie ( $p = 0,002$ ) różnice pomiędzy siłą korelacji ruchów oczu w percepcji i wyobraźni dla obiektów prostych ( $r = 0,45$ ,  $p = 0,001$ ) i złożonych ( $r = 0,36$ ,  $p = 0,001$ ). Dla obiektów prostych wykazano silniejsze podobieństwo ruchów oczu w percepcji i wyobraźni w porównaniu z obiektami złożonymi.

*Analiza 1c.* Testowanie różnic pomiędzy percepcją figury w pozycji wyjściowej i jej wizualizacją pod względem ogólnych parametrów trajektorii ruchów oczu.

W czasie percepcji obiektu obserwowano więcej fiksacji, również ich częstotliwość była większa. Średni czas trwania fiksacji w wyobraźni był dłuższy w porównaniu z percepcją (Tabela 2).

Tabela 2  
*Statystyki opisowe i test różnic między średnimi wskaźników dotyczących fiksacji*

	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Liczba fiksacji – percepcja	1440	6,04	1,95	33,45	1439	0,001
Liczba fiksacji – wyobrażenia	1440	4,15	1,83			
Częstotliwość fiksacji [liczba/s] – percepcja	1440	2,96	0,95	34,10	1439	0,001
Częstotliwość fiksacji [liczba/s] – wyobrażenia	1440	2,02	0,89			
Średni czas trwania fiksacji [ms] – percepcja	1440	349	288	-20,21	1439	0,001
Średni czas trwania fiksacji [ms] – wyobrażenia	1440	574	410			

Średni czas trwania sakkad w percepcji ( $M = 36,85$ ,  $SD = 7,12$ ) był dłuższy w porównaniu z wizualizacją ( $M = 35,63$ ,  $SD = 9,4$ ). Różnice te były istotne statystycznie ( $t = 3,91$ ,  $df = 1243$ ,  $p = 0,001$ ). Ruchy oczu w percepcji i wizualizacji nie różniły się co do średniej amplitudy sakkad.

#### *Analiza 2. Poprawność wykonania zadania rotacji wyobrażeniowej*

Analizując poprawność zadań rotacji wyobrażeniowej wykorzystano analizę log-liniową. Zaobserwowano istotny wpływ wielkości kąta rotacji, lustrzanego odbicia oraz płci na poprawność wykonania zadania rotacji wyobrażeniowej (Tabela 3). Stwierdzono również interakcyjny wpływ tych zmiennych.

Tabela 3  
*Testy związku brzegowego i cząstkowego dla poprawności wykonania rotacji umysłowej*

Efekt	<i>df</i>	Zw. cząstkowy $\chi^2$	Z. cząstkowy <i>p</i>	Zw. brzegowy $\chi^2$	Z. brzegowy <i>p</i>
Poprawność	1	591,94	0,001	591,94	0,001
Poprawność x lustro	1	15,64	0,001	15,34	0,001
Poprawność x kąt	2	15,89	0,001	15,59	0,001
Poprawność x złożoność	1	0,37	0,545	0,35	0,551
Poprawność x płeć	1	12,63	0,001	12,36	0,001
Poprawność x lustro x kąt	2	7,04	0,030	7,26	0,027
Poprawność x lustro x płeć	1	5,99	0,014	6,20	0,013

Najlepiej dopasowany model ujmuje zależności: pomiędzy poprawnością i lustrzanym odbiciem, pomiędzy poprawnością i kątem rotacji oraz pomiędzy poprawnością i płcią. Można zatem powiedzieć, że poprawność wykonania zadania rotacji wyobrazeniowej jest najlepiej wyjaśniana przez wpływ wielkości kąta rotacji, lustrzanego odbicia oraz płci. Taki model jest dobrze dopasowany do danych, o czym świadczą wyniki testu chi-kwadrat ( $\chi^2 = 18,05$ ,  $df = 38$ ,  $p = 0,997$ ).

Zadania, które nie wymagały porównania z lustrzanym odbiciem, były wykonywane poprawniej (112 błędów) w porównaniu z zadaniami wymagającymi porównania z lustrzanym odbiciem (171 błędów). W sytuacji wykonywania rotacji wyobrazeniowej wymagającej porównania obiektów obróconych o większe kąty rotacji osoby badane popełniały więcej błędów (przy kącie rotacji  $60^\circ$  – 69 błędów; przy rotacji o  $120^\circ$  – 97 błędów, przy  $180^\circ$  – 117 błędów). W zadaniu rotacji wyobrazeniowej kobiety popełniały więcej błędów (168) w porównaniu z mężczyznami (115). Złożoność obiektów nie wpływa na poprawność wykonania zadania wyobrazeniowego.

### *Analiza 3. Czas wykonania rotacji wyobrazeniowej*

Jeśli chodzi o szybkość wykonania zadania rotacji umysłowej, zaobserwowano istotny wpływ wielkości kąta rotacji ( $F(2) = 16,02$ ,  $p = 0,001$ ;  $\eta^2$  częściowe = 0,47) oraz interakcyjny wpływ złożoności obiektów i płci osób badanych ( $F(1) = 6,96$ ,  $p = 0,017$ ,  $\eta^2$  częściowe = 0,28).

W prezentowanych badaniach uzyskano charakterystyczny efekt wpływu wielkości kąta rotacji na szybkość wykonania zadania rotacji wyobrazeniowej. Dla większych kątów rotacji obserwowano dłuższe czasy reakcji ( $60^\circ$   $M = 7,42$ ;  $120^\circ$   $M = 7,51$ ;  $180^\circ$   $M = 7,63$ ). Istotne wyniki kontrastu liniowego ( $F(1) = 22$ ,  $p = 0,001$ ;  $\eta^2$  częściowe = 0,55) i brak istotności kontrastu kwadratowego ( $F(1) = 0,45$ ,  $p = 0,51$ ;  $\eta^2$  częściowe = 0,02) wskazują, że zależność pomiędzy czasem reakcji a kątem rotacji ma kształt liniowy.

Dla obiektów prostych mężczyźni ( $M = 7,41$ ) wykonują rotację wyobrazeniową szybciej niż kobiety ( $M = 7,6$ ). Zależność ta zanika dla obiektów złożonych (mężczyźni  $M = 7,51$ ; kobiety  $M = 7,55$ ).

## **DYSKUSJA WYNIKÓW**

Dla większych kątów rotacji obserwowano więcej fiksacji i dłuższy średni czas trwania fiksacji. Wykazano zatem zależność liczby, częstotliwości i średnie-

go czasu trwania fiksacji od kąta rotacji. Wyniki te są zgodne z rezultatami uzyskanymi przez Nakatani i Pollatseka (2004). Nie stwierdzono istotnych różnic ze względu na kąt rotacji w odniesieniu do średnich czasów trwania i amplitudy sakkad.

Dłuższy średni czas trwania fiksacji i mniejsza ich częstotliwość sugerują, że przy tej samej jednostce czasu dla większych kątów rotacji wykonywanych jest mniej fiksacji, a czasy ich trwania są dłuższe. Można tę zależność interpretować w kategoriach silniejszego zaangażowania poznawczego w przetwarzanie obserwowanego materiału wzrokowego (por. Rayner, 1998). Co ciekawe, obserwowane zależności układają się podobnie jak charakterystyczne zależności dotyczące rosnącego czasu wykonania zadań rotacji wyobraźniowej wraz ze wzrostem kąta rotacji. Istotne okazały się kontrasty liniowe. Wyniki dotyczące różnic parametrów ruchów oczu ze względu na wielkość kąta rotacji należy traktować bardzo ostrożnie ze względu na małe wartości eta-kwadrat.

W badaniu stwierdzono istotny związek pomiędzy czasem fiksacji wzroku w odpowiadających sobie regionach zainteresowania podczas oglądania i wyobrażania obiektów. Korelacje te są o tyle znaczące, że nie podawano badanym instrukcji wyobraźniowej. Pomimo braku instrukcji, pod nieobecność bodźca osoby poruszały oczami w sposób podobny jak wtedy, gdy patrzyły na ten sam obiekt.

W badaniach spotykanych w literaturze wykazywano podobieństwo między percepcją a wizualizacją obiektu dla różnych obiektów i scen, jednak nie porównywano bezpośrednio siły tego związku w zależności od złożoności obiektów (por. Brandt i Stark, 1997; Laeng i Teodorescu, 2002; Spivey i Geng, 2001). Zgodnie z hipotezą, stwierdzono istotne różnice w sile związku między percepcją a wyobraźnią ze względu na złożoność obiektów. Dla obiektów prostych stwierdzono silniejsze podobieństwo ruchów oczu w percepcji i wyobraźni w porównaniu z obiektami złożonymi. Możliwe, że uzyskany wynik można wyjaśnić, odnosząc się do zaobserwowanego wcześniej zjawiska, że obiekty złożone na ogół wymagają bardziej złożonych ruchów oczu (por. Duchowski, 2007). W przypadku obiektów złożonych występuje również więcej możliwych elementów, na które osoba może zwrócić uwagę, oraz takich, które może pominąć, co w efekcie obniża siłę podobieństwa ruchów oczu.

Podczas percepcji obiektu obserwowano więcej fiksacji niż podczas wizualizacji. Również ich częstotliwość była większa podczas percepcji niż podczas wizualizacji. Można zatem powiedzieć, że skaning percepcyjny był szybszy niż skaning wyobraźniowy obiektu. Średni czas trwania fiksacji w wyobraźni był dłuższy w porównaniu z percepcją. Rezultat ten jest zgodny z wynikami uzyska-

nymi przez Zangemeistera i Limana (2007). Ponieważ w czasie wizualizacji obiekt był niedostępny percepcyjnie, to przetwarzanym materiałem jest reprezentacja obiektu w postaci jego wyobrażenia. Dłuższy czas trwania fiksacji może być interpretowany w kategoriach silniejszego zaangażowania poznawczego w przetwarzanie materiału w czasie skaningu wyobrażeniowego w porównaniu ze skanowaniem percepcyjnym. Tak właśnie interpretowany jest zwykle wzrost czasu trwania fiksacji. Przykładowo, w badaniach nad czytaniem całkowity czas „pierwszego przejścia” traktowany jest jako główny pomiar zainteresowania tekstem (por. Rayner, 1998). Można również poszukiwać wyjaśnienia dłuższych czasów trwania fiksacji większą trudnością konstrukcji obrazu w wyobraźni w porównaniu z percepcją (por. Brandt i Stark, 1997).

W odróżnieniu od badań Brandta i Starka (1997) nie wykazano różnic pomiędzy percepcją a wizualizacją w amplitudzie sakkad. Zauważono różnice w średnim czasie trwania sakkad oraz fiksacji. Potwierdzono zatem hipotezę dotyczącą różnic pomiędzy percepcją a wyobraźnią w zakresie wskaźników: liczba fiksacji, częstotliwość fiksacji, średni czas trwania fiksacji, średni czas trwania sakkad. Rezultaty te wskazują na różnice w głębokości przetwarzania informacji podczas widzenia i wyobrażania sobie obiektów. Należy jednak odrzucić tę hipotezę w odniesieniu do amplitudy sakkad, która jest powiązana z lokalnością/globalnością skaningu wzrokowego.

Poprawność wykonania zadania rotacji wyobrażeniowej jest najlepiej wyjaśniana przez wpływ wielkości kąta rotacji, lustrzanego odbicia oraz płci. Zadania, które nie wymagały porównania z lustrzanym odbiciem, były wykonywane poprawniej w porównaniu z zadaniami wymagającymi porównania z lustrzanym odbiciem. W sytuacji wykonywania rotacji wyobrażeniowej wymagającej porównania obiektów obróconych o większe kąty rotacji osoby badane popełniały więcej błędów.

W badaniach własnych uzyskano charakterystyczny efekt wpływu wielkości kąta rotacji na szybkość wykonania zadania rotacji umysłowej (por. Shepard i Metzler, 1971).

Porównania kobiet i mężczyzn dały ciekawe rezultaty zarówno w odniesieniu do poprawności, jak i czasów wykonywania rotacji umysłowej. Kobiety popełniały więcej błędów w porównaniu z mężczyznami. Dla obiektów prostych mężczyźni wykonują rotację wyobrażeniową szybciej niż kobiety. Zależność ta zanika dla obiektów złożonych. Być może dla kobiet nawet te proste obiekty były odbierane jako bardziej złożone i dlatego wykazywały wolniejsze czasy rotacji w porównaniu z mężczyznami. Jednak równie prawdopodobne jest, że



mężczyźni – w porównaniu z kobietami – potrafili lepiej rozróżnić między sobą obiekty proste, dlatego rotowali je szybciej (por. Folk i Luce, 1987).

Być może w badaniach, w których nie obserwowano istotnych różnic między kobietami i mężczyznami (np. przy rotacji obiektów przedstawiających ludzkie sylwetki, Alexander i Evardone, 2008), można tłumaczyć brak efektu właśnie złożonością obiektów, na których jest wykonywana rotacja wyobrazeniowa. Brak wpływu złożoności na poprawność wykonania zadania rotacji wyobrazeniowej można wyjaśnić zbyt małym stopniem podobieństwa obiektów, gdyż wybór strategii dokonywania rotacji jest zależny od stopnia podobieństwa porównywanych obiektów (np. zamiast lustrzanego odbicia, prezentuje się obiekt tylko nieznacznie różniący się od właściwego bodźca). Jeżeli są one do siebie bardzo podobne, wówczas osoby badane będą je rotować holistycznie. Eksperymenty przeprowadzone przez Folka i Luce'a (1987) pokazały, że porównywanie ze sobą bodźców bardziej złożonych oraz bodźców trudniej rozróżnialnych przebiega wolniej niż w przypadku bodźców prostych, a liczba popełnianych wówczas błędów jest większa.

W badaniach Carpenter i Justa (1978) wykazano, że to nie sama rotacja obiektów złożonych przebiega wolniej. Przyczyną dłuższych czasów dla obiektów bardziej złożonych jest to, że dla bodźców bardziej złożonych trudniej znaleźć odpowiednie elementy do rotacji (etap pierwszy), zwłaszcza przy wzrastającym kącie rotacji. Z tego samego powodu trudniej jest potwierdzić poprawność swoich przypuszczeń na ostatnim etapie. Autorzy sugerują, że w pewnych sytuacjach (gdy nie jest konieczne porównanie szczegółowe) rotowany może być wyłącznie fragment figury i wtedy efekt złożoności może w ogóle nie wystąpić. Taka właśnie sytuacja mogła mieć miejsce w omawianym eksperymencie.

Podsumowując, można powiedzieć, że pomiar ruchów oczu w wyobraźni otwiera wiele możliwości badawczych tego wciąż słabo poznanego procesu.

– Podczas wykonywania zadania rotacji umysłowej liczba fiksacji jest większa, a częstotliwość mniejsza dla większych kątów rotacji w porównaniu z mniejszymi kątami.

– Stwierdzono podobieństwo procesów percepcji i wyobraźni pod względem czasów fiksacji wzroku w odpowiadających sobie regionach zainteresowania w sytuacji, gdy nie podawano instrukcji wyobrazeniowej.

– Wykazano wpływ złożoności na siłę związku percepcja–wyobraźnia. Wyobrażenia obiektów prostych wykazywały silniejsze podobieństwo do percepcji pod względem czasów fiksacji wzroku w odpowiednich regionach zainteresowania w porównaniu z obiektami złożonymi.

– Przeprowadzone badanie pozwala również na stwierdzenie różnic pomiędzy procesami skaningu percepcyjnego i wyobraźniowego pod względem ogólnych charakterystyk dotyczących ruchów oczu. W wyobraźni obserwowano dłuższe średnie czasy trwania fiksacji, zaś ich liczba i częstotliwość była mniejsza. Sugeruje to głębsze przetwarzanie materiału podczas operacji wyobraźniowych w porównaniu z oglądaniem obiektów.

Zastosowanie różnych procedur badań (np. prezentacja symultaniczna lub sekwencyjna figur w zadaniach rotacji umysłowej) powoduje różnice w stopniu zaangażowania procesów poznawczych (np. percepcji, pamięci operacyjnej, uwagi wzrokowej). Porównania ruchów oczu w tych dwóch sytuacjach w jednym eksperymencie mogłyby pozwolić wykryć różnice w przebiegu subprocesów rotacji wyobraźniowej. Ponadto przy prezentacji symultanicznej osoba badana może sama decydować, jak wiele informacji naraz porównywać, czyli to częściowo od niej zależy zakres udziału percepcji w stosunku do pamięci operacyjnej. W sytuacji prezentacji sekwencyjnej zaś osoba badana, mając do dyspozycji tylko obiekt obrócony, jest zmuszona do korzystania z umysłowej reprezentacji figury. Modyfikacja procedury pozwala również na zmianę udziału poszczególnych subprocesów rotacji umysłowej, umożliwia więc ich porównanie.

Prowadzone badania ograniczały się do stosunkowo prostych figur i operacji wyobraźniowych, które w naturalnych warunkach mogłyby być zaledwie fragmentem procesu twórczego (np. tworzenia rzeźby czy obrazu). Zapis ruchów oczu może znaleźć zastosowanie również w badaniach etapów bardziej złożonych procesów poznawczych.

#### LITERATURA CYTOWANA

- Alexander, G. M. i Evardone, M. (2008). Blocks and bodies: Sex differences in a novel version of the Mental Rotations Test. *Hormones and Behavior*, 53(1), 177-184.
- Bałaj, B. i Francuz, P. (2012). Siła podobieństwa w ruchach oczu wykonywanych podczas oglądania i wyobrażania sobie obiektów – czynniki modyfikujące. *Polski Przegląd Medycyny i Psychologii Lotniczej*, 2(18), 63-76.
- Bethell-Fox, C. E. i Shepard, R. N. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(1), 12-23.
- Brandt, S. A. i Stark, L. W. (1997). Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(1), 27-38.
- Burton, L. A., Henninger, D. i Hafetz, J. (2005). Gender differences in relations of mental rotation, verbal fluency, and SAT scores to finger length ratios as hormonal indexes. *Developmental Neuropsychology*, 28(1), 493-505.

- Carpenter, P. A. i Just, M. A. (1978). Eye fixations during mental rotation. W: J. W. Senders, D. F. Fisher i R. A. Monty (red.), *Eye movements and the higher psychological functions* (s. 115-133). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Chlewiński, Z. (1997). Podstawowe problemy teoretyczno-metodologiczne w badaniach nad wyobraźnią. *Kolokwia Psychologiczne*, 6, 27-57.
- Cooper, L. A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20-43.
- Cooper, L. A. i Podgorny, P. (1976). Mental transformations and visual comparison processes: Effects of complexity and similarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 503-514.
- Corballis, M. C. i McLaren, R. (1982). Interaction between perceived and imagined rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(2), 215-224.
- De'Sperati, C. (2003). Precise oculomotor correlates of visuospatial mental rotation and circular motion imagery. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(8), 1244-1259.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice* (wyd. 2). Londyn: Springer-Verlag.
- Ehrlich, S. B., Levine, S. C. i Goldin-Meadow, S. (2006). The importance of gesture in children's spatial reasoning. *Developmental Psychology*, 42(6), 1259-1268.
- Folk, M. D. i Luce, R. D. (1987). Effects of stimulus complexity on mental rotation rate of polygons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(3), 395-404.
- Intons-Peterson, M. J. (1983). Imagery paradigms: How vulnerable are they to experimenters' expectations? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9(3), 394-412.
- Just, M. A. i Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8(4), 441-480.
- Laeng, B. i Teodorescu, D. S. (2002). Eye scanpaths during visual imagery reenact those of perception of the same visual scene. *Cognitive Science*, 26(2), 207-231.
- Mariwa, H. P., Xu, Y. i Pomplun, M. (w druku). Piecewise mental rotation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*.
- Nakatani, C. i Pollatsek, A. (2004). An eye movement analysis of "mental rotation" of simple scenes. *Perception and Psychophysics*, 66(7), 1227-1245.
- Orne, M. T. (1962). On the social psychology of the psychological experiment: With particular reference to demand characteristics and their implications. *American Psychologist*, 17(11), 776-783.
- Rafi, A. i Samsudin, K. (2009). Practising mental rotation using interactive Desktop Mental Rotation Trainer (iDeMRT). *British Journal of Educational Technology*, 40(5), 889-900.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Shepard, R. N. i Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional object. *Science*, 171, 701-703.
- Spivey, M. J. i Geng, J. J. (2001). Oculomotor mechanisms activated by imagery and memory: Eye movements to absent objects. *Psychological Research*, 65(4), 235-241.
- Zangemeister, W. H. i Liman, T. (2007). Foveal versus parafoveal scanpaths of visual imagery in virtual hemianopic subjects. *Computers in Biology and Medicine*, 37(7), 975-982.