

Umysłowa rotacja obiektów semantycznych i asemantycznych umieszczonych w naturalnym kontekście

Piotr Francuz*, Maria Anna Oleś, Mykola Chumak

Katedra Psychologii Eksperymentalnej KUL

MENTAL ROTATION OF SEMANTIC AND ASEMANIC OBJECTS PRESENTED IN NATURAL CONTEXT

Abstract. The question underlying research presented here was: to what extent does the natural context that accompanies the exposition of semantic and asemantic objects modify the course of their mental rotation? This question entails the following issues: are big and small objects equally effective in rotation? In what way does the morphology (texture) of the objects under consideration (their material and, consequently, weight) affect the speed and accuracy of their rotation? Does the process of mental rotation of semantic objects have the same pace and is equally accurate as the process of rotating asemantic objects? What is the role of (canonical vs. non-canonical) perspective (from which to look at the object in its non-rotated position) in the task of mental rotation? The above questions outlined the scope of research whose essence was to reveal some aspects of processing the images of semantic and asemantic objects placed in nearly natural conditions. The following relations have been noticed: the tasks that consisted in rotating semantic and asemantic objects, simple and complex objects, were performed equally fast and accurately. The objects exposed in the canonical perspec-

Adres do korespondencji: Piotr Francuz (francuz@kul.pl), Maria Anna Oleś (marceline@op.pl), Mykola Chumak (mykolajc@yahoo.com), Katedra Psychologii Eksperymentalnej, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Al. Raclawickie 14, 20-950 Lublin.

Badania zostały zrealizowane w ramach grantu MNiSW nr N106 024 32/1777. Dziękujemy dr Annie Szalkowskiej i dr Magdalenie Szubińskiej za cenne uwagi do niniejszego tekstu, a także Pawłowi Augustynowiczowi za graficzne opracowanie materiału bodźcowego oraz Zbigniewowi Sienkiewiczowi za napisanie programów komputerowych niezbędnych do przeprowadzenia eksperymentów.

tive were rotated with better accuracy, but considerably more slowly than the objects exposed in the non-canonical perspective. Heavier objects (made of marble) were rotated with equal accuracy in imagination as light (wooden) objects but much more slowly. This tendency was particularly pronounced in women. Small and big objects were rotated equally fast and accurately.

Poczynając od klasycznych eksperymentów zaprojektowanych przez Sheparda i jego współpracowników w latach siedemdziesiątych XX wieku (zob. Cooper, 1976; Cooper, Shepard 1973; Robins, Shepard, 1977; Shepard, Judd, 1976; Shepard, Metzler, 1971), do dzisiaj w badaniach nad rotacjami umysłowymi najczęściej stosuje się dwu- lub quasi-trójwymiarowe obiekty wizualne. Najczęściej przedstawiają one asemantyczne figury lub bryły geometryczne bądź też schematyczne rysunki obiektów naturalnych. Niemal we wszystkich eksperymentach, w których osobom badanym prezentuje się takie przedmioty, jak krzesła, lampy czy domy, pomija się naturalny kontekst, w jakim najczęściej one występują. Nawet wtedy, gdy rotowanymi obiektami są rysunki ludzi (np. Zacks i in., 2002) czy zdjęcia twarzy ludzkich (np. Marotta, McKeeff, Behrmann, 2002), umieszcza się je na jednobarwnym tle, pozbawionym jakichkolwiek kontekstowych wskazówek semantycznych. Najczęściej kontekst semantyczny traktuje się w tych eksperymentach jako źródło niekontrolowanej zmienności zakłócającej. Ignoruje się przy tym fakt, że poprawne wykonanie zadania umysłowej rotacji jest możliwe tylko wtedy, gdy wizualne parametry obiektu przed i po jego rotacji zostaną odniesione do jakiegoś zewnętrznego punktu. Tak rozumiany kontekst może być wyznaczony przez położenie własnego ciała względem obiektu lub przez krawędzie kartki papieru czy ekranu, na którym jest on przedstawiony. Ponadto w nielicznych tylko eksperymentach uwzględnia się takie cechy naturalnych obiektów wizualnych, jak ich złożoność, morfologia (tekstura), wielkość lub perspektywa, z jakiej są obserwowane, a także to, czy są one rozpoznawane jako obiekty semantyczne czy asemantyczne.

Podstawowe pytanie leżące u podłoża badań prezentowanych w niniejszym artykule brzmi: W jakim zakresie naturalny kontekst towarzyszący ekspozycji obiektów semantycznych i asemantycznych modyfikuje przebieg ich umysłowej rotacji? Pytanie to obejmuje m.in. następujące kwestie: Czy obiekty małe i duże są równie sprawnie rotowane? W jaki sposób morfologia branych pod uwagę obiektów, która wskazuje na materiał, z jakiego są zbudowane, a w konsekwencji ich ciężar, wpływa na szybkość i poprawność ich rotacji? Czy proces umysłowej rotacji przedmiotów semantycznych przebiega w takim samym tempie i jest równie trafny, jak proces rotowania obiektów asemantycznych? Jaką rolę w wykonaniu zadania rotacji umysłowej odgrywa perspektywa (kanoniczna vs niekanoniczna), z której oglądany jest obiekt w pozycji niezrotowanej? Postawione pytania wskazują na zakres badań, których istotą jest ujawnienie niektórych aspektów przetwarzania wyobrażeń obiektów semantycznych i asemantycznych, umieszczonych w warunkach zbliżonych do naturalnych.

EKSPERYMENT 1

Jedną z najczęściej branych pod uwagę cech obiektów wizualnych w badaniach nad rotacjami umysłowymi jest ich złożoność. Jak zauważa Attneave (1957), złożoność obiektu percepcyjnego jest kategorią intuicyjnie oczywistą, choć niezwykle trudną do zdefiniowania (*ill-defined*). Bethell-Fox i Shepard (1988) określali złożoność obiektu dwuwymiarowego przez liczbę jego części i relacji zachodzących między nimi. Smith i Dror (2001) podobnie twierdzili, że obiekty złożone różnią się od obiektów prostych ze względu na liczbę możliwych do wyodrębnienia części i spistość (*compactness*). Cooper i Podgorny (1976) za bardziej złożone uznawali te obiekty, które zawierały więcej kątów, zaś Attneave (1957), a za nim Folk i Luce (1987) definiowali ją za pomocą liczby punktów, które wyznaczają kształt rotowanego obiektu, np. poligonu.

W większości badań, których celem była próba ustalenia, w jakim stopniu złożoność obiektu wizualnego wpływa na czas i poprawność jego umysłowej rotacji, stwierdzano względnie stałą tendencję: im bardziej złożony jest obiekt, tym dłuższy jest czas jego rotacji i większa liczba błędów związanych z odpowiedzią na pytanie, czy jest on tylko zrotowany, czy też jednocześnie zrotowany i w zwierciadlanym odbiciu (zob. np. Bethell-Fox, Shepard, 1988; Cooper, Podgorny, 1976; Folk, Luce 1987; Pellegrino i in., 1991; Yuille, Steiger, 1982). Zgodnie z najczęściej formułowaną interpretacją tych wyników, reprezentacje złożonych obiektów składają się z oddzielnych części. Podczas wykonywania umysłowej rotacji przedmiotu w istocie rotowany jest nie cały obiekt, ale kolejno poszczególne jego części (por. np. Carpenter, Just, 1978; Presson, 1982; Pylyshyn, 1979; Shepard, Feng, 1972; Yuille, Steiger, 1982). Jak sugerują Bethell-Fox i Shepard (1988), w przypadku obiektów bardziej złożonych znacznie więcej czasu potrzeba na rozpoznanie ich istotnych części, następnie wyobraźniową rotację tych części oraz porównanie całego zrotowanego obiektu ze wzorem, niż w przypadku obiektów prostszych. Większe jest także prawdopodobieństwo popełnienia błędu na którymś z etapów procesu transformacji danych wizualnych.

Dłuższe rotacje obiektów złożonych i większą liczbę błędów przewidyje także model wyobraźni Kosslyna (1980, 2005). Wyobrażenie obiektu, będącego przedmiotem umysłowej rotacji, jest konstruowane w umyśle na podstawie danych zawartych w pamięci długotrwałej. Im bardziej złożony jest obiekt, z tym większej liczby części i relacji między nimi się składa. W rezultacie jego umysłowa reprezentacja może nie być tak spójna, jak reprezentacja obiektów prostych, które są znacznie łatwiejsze do umysłowego zrekonstruowania. Czas wyobraźniowej rotacji obiektów złożonych wydłuża się również wtedy, gdy badani stosują werbalne, a nie wizualne strategie operowania obiektem w wyobraźni (Bethell-Fox, Shepard, 1988).

Warto jeszcze zwrócić uwagę na to, że wyobrażenia przedmiotów na ogół nie są tak wyraziste, jak ich przedstawienia dostępne podczas widzenia (Finke, 1985). Im bardziej złożony jest obiekt, tym mniej jego części jest równie

wyraźnych w wyobrażeniu, a to z pewnością nie sprzyja trafności wykonania zadania polegającego na jego umysłowej rotacji.

Przytoczone wyniki badań i ich interpretacje budzą jednak pewne wątpliwości. Jest kilka powodów, ze względu na które warto raz jeszcze sprawdzić zależność między czasem i poprawnością rotacji umysłowej a złożonością obiektów eksponowanych, np. w naturalnym kontekście. Przede wszystkim jest wiele wyników badań, w których nie stwierdzono efektu złożoności. Już Cooper (1975) oraz Cooper i Podgorny (1976) sugerowali, że niezależnie od tego, jak bardzo skomplikowany wizualnie jest dany obiekt, umysł tworzy możliwie najprostszą, syntetyczną jego reprezentację. Oznaczałoby to, że złożoność percepcyjna widzianego obiektu nie jest równoznaczna ze złożonością jego umysłowej reprezentacji. Obiekty, które na pierwszy rzut oka wydają się bardziej złożone, mogą mieć znacznie prostszą reprezentację umysłową niż niejeden tzw. obiekt prosty. Do podobnych wniosków doszedł również Biedermann (1987). Twierdzi on, że podczas rozpoznawania obiektów wizualnych umysł buduje ich modele, które składają się z prostych brył geometrycznych, takich jak np. kostki, cylindry lub stożki.

Bethell-Fox i Shepard (1988) zauważyli również, że wielokrotne wykonywanie operacji na tym samym obiekcie, niezależnie od tego, jak bardzo jest on skomplikowany, znosi efekt złożoności. Ich zdaniem w wyniku praktyki reprezentacja umysłowa tego obiektu może osiągnąć taki poziom integracji, że staje się spójną całością i może być rotowana tak samo szybko jak reprezentacja obiektu prostego. Hochberg i Gellman (1977) zwracają jeszcze uwagę na to, że obiekty z wyraźnie wydzieloną, charakterystyczną częścią są rotowane znacznie szybciej niż równie złożone, ale nie mające takich części. Z kolei Klopfer (1985) zauważyła, że wielkość efektu złożoności jest uzależniona od sposobu, w jaki trójwymiarowy obiekt wizualny jest poznawany: całościowo, w określonej perspektywie czy też sukcesywnie, płaszczyzna po płaszczyźnie.

Drugą, obok złożoności, ważną cechą obiektów wizualnych jest to, czy ich umysłowa reprezentacja zawiera dane dotyczące znaczenia. Innymi słowy, czy dla widzianego lub wyobrażanego obiektu istnieje w umyśle jego językowa etykieta. Wizualny obiekt semantyczny oznacza rozpoznawalny przedmiot, o typowym kształcie i morfologii, egzemplarz znanej kategorii semantycznej, desygnowany w języku etnicznym przez określoną nazwę. Z kolei obiekt asemantyczny także posiada strukturę i morfologię, ale nie jest mu przypisana żadna nazwa w języku. Najczęściej jest przedstawiany w formie abstrakcyjnej grafiki lub bryły geometrycznej.

Poprawniejsze i szybsze operowanie wyobrażeniami obiektów semantycznych przewidują obydwa czołowe modele wyobraźni: obrazowy (Kosslyn i in., 2006) i abstrakcyjny (Pylyshyn, 2006). Według Kosslyna wyobrażenia mają postać umysłowych obrazów i dla obiektów znanych są one przywoływane jako całości. Zgodnie ze stanowiskiem Pylyshyna obiekty semantyczne są umysłowo reprezentowane za pomocą sądów i związanych z nimi etykiet językowych. Z kolei reprezentacje obiektów nieznanymi najczęściej nie zawierają odniesień do określonych nazw w języku. Nie są też wystarczająco zintegrowane, by

mogły być przetwarzane całościowo. Najprawdopodobniej są one przetwarzane sekwencyjnie i właśnie dlatego wymagają więcej czasu (por. Bethell-Fox, Shepard, 1988).

Biedermann (1987), Biedermann i Gerhardstein (1993) oraz Cave i Koslyn (1993) zwracają również uwagę na to, że reprezentacje obiektów semantycznych są tak skonstruowane, by można się było nimi posługiwać w celu rozpoznawania obiektów naturalnych, niezależnie od ich położenia w przestrzeni i perspektywy, z jakiej są widziane lub wyobrażane. Obiekty semantyczne są łatwo identyfikowane, a to pozwala na sprawniejsze operowanie ich umysłowymi reprezentacjami.

Warto zwrócić uwagę na to, że interpretacje dotyczące efektu złożoności oraz wydłużonego czasu i mniejszej poprawności w odniesieniu do obiektów asemantycznych przynajmniej częściowo się pokrywają. Obie interpretacje odwołują się do mechanizmu sekwencyjnego przetwarzania wielu części spostrzeganego obiektu, w odróżnieniu od holistycznego sposobu przetwarzania obiektów prostych i semantycznych. Zgodnie z tym rozumowaniem można oczekiwać, że również w warunkach zbliżonych do naturalnych czas rotacji umysłowej powinien być krótszy w odniesieniu do obiektów semantycznych i prostszych niż asemantycznych i złożonych. Podobnie liczba poprawnych odpowiedzi powinna być wyższa w odniesieniu do obiektów semantycznych i prostszych niż asemantycznych i złożonych.

Podsumowując, celem eksperymentu 1 jest ustalenie, w jakim zakresie znaczenie (semantyczność vs asemantyczność) prostych i złożonych obiektów eksponowanych w naturalnym kontekście przestrzennym wpływa na czas i poprawność rotowania ich w wyobraźni. W eksperymencie weryfikowano dwie hipotezy:

H. 1: Zadanie polegające na umysłowym rotowaniu figur semantycznych będzie szybciej i poprawniej wykonywane niż zadanie rotowania figur asemantycznych.






H. 2: Zadanie polegające na umysłowym rotowaniu figur prostych będzie szybciej i poprawniej wykonywane niż zadanie rotowania figur złożonych.

Eksperyment 1 poprzedzono badaniem wstępnym, którego celem było wyselekcjonowanie materiału bodźcowego. Przede wszystkim chodziło o dobór obiektów semantycznych i asemantycznych, które w ramach swoich kategorii różniłyby się stopniem złożoności. Zastosowano empiryczną metodę operacjonalizacji złożoności obiektów wizualnych. W ten sposób starano się uniknąć trudności związanych z analitycznym definiowaniem ich złożoności za pomocą liczby części, kątów lub punktów, które operacyjnie definiują ich kształty. O ile w przypadku dwuwymiarowych figur lub brył geometrycznych procedura analityczna jest możliwa do przeprowadzenia, o tyle w przypadku trójwymiarowych obiektów naturalnych okazuje się ona zbyt skomplikowana. Odwołano się zatem do ocen osób badanych w zakresie odczuwanego przez nich poziomu złożoności porównywanych obiektów.

Metoda

Osoby badane we wstępnej części eksperymentu 1. W badaniu wstępnym wzięło udział 100 studentów (50 kobiet i 50 mężczyzn) Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II, w wieku 18-32 lata ($M = 22$; $SD = 2,19$); 90% osób badanych było praworęcznych, a 10% - leworęcznych.

Materiały. Do badania wykorzystano zbiór 81 quasi-trójwymiarowych obiektów (40 semantycznych, 40 asemantycznych i 1 porównawczy). Zostały one opracowane graficznie na komputerze za pomocą programu 3D Studio Max. Wszystkim obiektom przypisano taką samą, jednolitą teksturę. Obiekty były prezentowane na ekranie komputera na jasnym tle. W ramach każdej kategorii obiekty semantyczne i asemantyczne różniły się stopniem złożoności (zob. rysunek 1).

OBIEKTY 3D				
Semantyczne		Asemantyczne		Obiekt porównawczy
Proste	Złożone	Proste	Złożone	
				

Rysunek 1. Przykłady obiektów semantycznych i asemantycznych, prostych i złożonych oraz obiektu porównawczego, które były stosowane w badaniach

Zbiór przedmiotów semantycznych dobrano w taki sposób, aby ich kształty i sposób prezentacji nie budziły wątpliwości odnośnie do tego, jak się one nazywają, np. statek, kubek, lokomotywa itp. Z kolei obiekty asemantyczne powstawały w wyniku swobodnego składania i zniekształcania różnych brył. Dbano o to, aby obiekty należące do kategorii asemantycznych w jak najmniejszym stopniu kojarzyły się z jakimikolwiek przedmiotami należącymi do naturalnego środowiska człowieka. Ostateczny zbiór 40 obiektów semantycznych i 40 asemantycznych został ustalony przez sędziów kompetentnych na podstawie analizy kilkuset propozycji przedstawionych przez grafika. Z kolei obiekt porównawczy (wzorzec) charakteryzował się zarówno pewną niejednoznacznością semantyczną, jak i przeciętnym stopniem złożoności (zob. rys. 1).

Procedura. Badanie składało się z dwóch części. W części pierwszej na ekranie komputera prezentowano osobom badanym serię 80 par obiektów. W każdej parze znajdował się obiekt porównawczy i jeden ze zbioru osiemdziesięciu obiektów semantycznych i asemantycznych. Kolejność prezentacji oraz poło-

zenie obiektów na ekranie (z prawej vs z lewej strony) dla każdej osoby badanej były losowe. Pod obiektem z lewej strony ekranu zawsze znajdowała się litera A, natomiast pod obiektem z prawej — litera B. Zadaniem osób badanych było udzielenie odpowiedzi na pytanie „Który obiekt jest bardziej złożony: A czy B?” Po podjęciu decyzji badany naciskał jeden z dwóch klawiszy, oznaczonych na klawiaturze komputera takimi samymi literami, jak obiekty na ekranie, czyli A i B. Naciśnięcie określonego klawisza oznaczało, że obiekt oznaczony tą literą jest spostrzegany jako bardziej złożony.













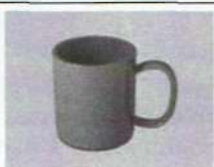



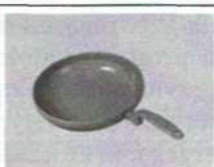







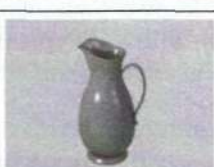

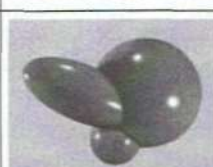

W drugiej części badania zastosowano identyczną procedurę i ten sam zbiór bodźców, jak w pierwszej części, ale tym razem osoby badane odpowiadały na pytanie „Który obiekt jest mniej złożony?” Zebranie danych z obu części eksperymentu umożliwiło kontrolę stopnia zgodności reakcji osób badanych, która była brana pod uwagę podczas ustalania ostatecznego zbioru bodźców do eksperymentu. W czasie badania rejestrowano rodzaj decyzji podjętych przez osoby badane i czas reakcji. Dłuższy czas reakcji interpretowano jako wskaźnik większego podobieństwa pod względem złożoności obu porównywanych obiektów.

Wyniki badania wstępnego. Do analizy danych wzięto pod uwagę trzy wskaźniki: rodzaj i czas decyzji oraz stopień zgodności oceny złożoności obiektów w odpowiedzi na pytania: który obiekt jest bardziej vs mniej złożony. Stwierdzono wysoką zgodność osób badanych w zakresie ocen stopnia złożoności obiektów. Odpowiedzi na pytanie o to, który obiekt jest bardziej złożony, były symetryczne do odpowiedzi na pytanie, który jest mniej złożony.

Na podstawie rodzaju decyzji (A lub B) obiekty semantyczne i asemantyczne podzielono na bardziej i mniej złożone od obiektu porównawczego. W odniesieniu do każdego obiektu oszacowano wskaźnik jego przynależności do jednej z czterech kategorii obiektów: semantycznych prostych i złożonych oraz asemantycznych prostych i złożonych. Wskaźnik przynależności kategoryjnej został wyznaczony na podstawie proporcji osób, które uznały dany obiekt za bardziej/mniej złożony od obiektu porównawczego, oraz czas, jaki badani potrzebowali na podjęcie tej decyzji. Ostatecznie wyselekcjonowano 28 obiektów, po 7 do każdej kategorii (zob. rys. 2).

Osoby badane w eksperymencie 1. W eksperymencie wzięło udział 82 studentów (41 kobiet i 41 mężczyzn) Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II, w wieku 19-25 lat ($M = 21$; $SD = 1,71$); 90% osób badanych było praworęcznych, a 10% — leworęcznych. Osoby badane losowo podzielono na cztery grupy (dwie grupy po 20 osób i dwie po 21 osób), które przypisano do jednej z czterech kategorii obiektów semantycznych lub asemantycznych, prostych lub złożonych.

Materiały. Zasadniczym celem eksperymentu 1 było uzyskanie odpowiedzi na pytanie, w jakim zakresie znaczenie (semantyczność vs asemantyczność) prostych i złożonych obiektów eksponowanych w realnej przestrzeni wpływa na

OBIEKTY 3D	Semantyczne		Asemantyczne	
	proste	złożone	proste	złożone
				
				
				
				
				
				
				

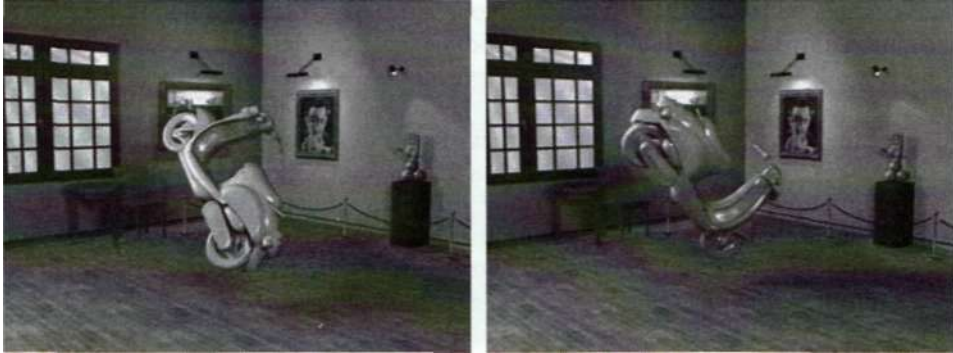
Rysunek 2. Semantyczne i asemantyczne obiekty o różnym stopniu złożoności, wyselekcjonowane ze zbioru 80 i podzielone na cztery kategorie

czas i poprawność rotowania ich w wyobraźni. Wzięto zatem pod uwagę dwie dwupoziomowe zmienne niezależne, odnoszące się do cech prezentowanych obiektów: ZNACZENIE (obiekty semantyczne vs asemantyczne) i ZŁOŻONOŚĆ (obiekty proste vs złożone) (zob. rys. 2). W eksperymencie wykorzystano obiekty wyselekcjonowane w badaniu wstępnym i umieszczono je w przestrzeni sali wystawowej muzeum sztuki współczesnej. Realistyczny kontekst, w jakim na stalowych linkach zawieszono odlane z jednolitego, lekko połyskującego materiału różne obiekty o kształtach znanych przedmiotów semantycznych lub abstrakcyjnych brył, miał stwarzać wrażenie naturalnej sytuacji ekspozycji rzeźb w muzeum. Dzięki temu, że obiekt był zawieszony na linkach, można było swobodnie manipulować jego położeniem w przestrzeni (zob. rys. 3).



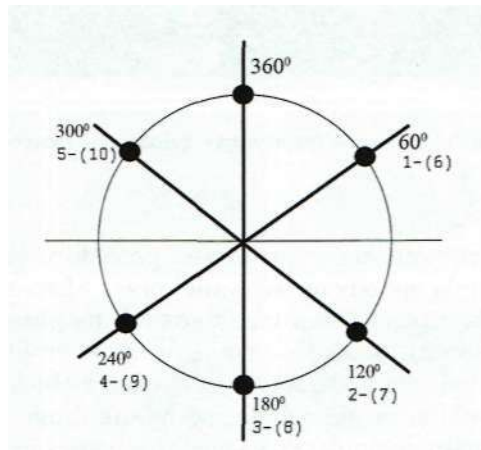
Rysunek 3. Przykładowy obiekt semantyczny (złożony), eksponowany sali muzeum sztuki współczesnej

Procedura. W eksperymencie zastosowano procedurę badania rotacji umysłowych, analogiczną do metody opracowanej przez Sheparda i Metzler (1971). Po instrukcji i krótkiej serii zadań treningowych na ekranie komputera eksponowano przez 1 s szarą maskę z zaznaczonym w środku punktem fiksacji wzroku, a następnie zdjęcie przedstawiające jeden z obiektów, taki jak np. na rysunku 3. Osoba badana mogła oglądać scenę tak długo jak chciała (w praktyce kilka do kilkunastu sekund). Po zasygnalizowaniu przez nią gotowości do dalszej części eksperymentu, na ekranie ponownie prezentowano szarą maskę. Jej ekspozycja służyła zniesieniu efektu powidoku, który mógł powstać podczas oglądania poprzedniej sceny. Po 3 s ekspozycji maski prezentowano zdjęcie przedstawiające widziany wcześniej obiekt w sali muzealnej, ale tym razem albo zrotowany, albo zrotowany i zarazem w lustrzanym odbiciu. Wszystkie obiekty były rotowane w płaszczyźnie równoległej do pola widzenia. Oś rotacji znajdowała się w punkcie środka ciężkości obiektu (zob. rys. 4).



Rysunek 4. Dwa przykładowe położenia obiektu podczas drugiej ekspozycji: tylko zrotowany o kąt 60° zgodnie z ruchem wskazówek zegara (z lewej) oraz zrotowany o ten sam kąt i jednocześnie w lustrzanym odbiciu (z prawej)

Zadaniem osoby badanej było udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy widziany właśnie obiekt jest tylko zrotowany czy też jednocześnie zrotowany i w lustrzanym odbiciu w porównaniu z obiektem widzianym na poprzednim zdjęciu. Badany udzielał odpowiedzi, naciskając jeden z dwóch oznaczonych klawiszy. Rejestrowano rodzaj i czas podejmowania decyzji.



Rysunek 5. Pięć kątów rotacji każdego obiektu. Cyframi 1-5 oznaczono kąty obiektów tylko rotowanych, a (6)-(10) - kąty obiektów prezentowanych w lustrzanym odbiciu; kąt 360° oznacza położenie obiektu niezrotowanego.

W czasie całego eksperymentu każda osoba badana podejmowała 70 decyzji dotyczących położenia różnych obiektów. Każdy z siedmiu obiektów należa-

cych do jednej kategorii mógł przyjąć pięć pozycji różniących się ze względu na kąt rotacji: 60, 120, 180, 240 lub 360° (zob. rys. 5). Ponadto każdy obiekt mógł być albo tylko zrotowany o określony kąt (pozycje 1-5), albo zarówno zrotowany, jak i w lustrzanym odbiciu (pozycje 6-10). Kolejność prezentacji poszczególnych obiektów oraz ich położenie podczas drugiej ekspozycji dla każdej osoby badanej były losowe.

Wyniki

Dane uzyskane w eksperymencie 1 poddano analizie wariancji ANOVA (2 x 2) dla grup kompletnie zrandomizowanych. Wzięto pod uwagę dwie zmienne zależne: poprawność i czas wykonania zadania wyobrazeniowego. Każdą odpowiedź osoby badanej na pytanie, czy obiekt jest tylko zrotowany, czy zrotowany i w lustrzanym odbiciu, porównano z jego faktycznym położeniem. Wskaźnik poprawności danej odpowiedzi, czyli *de facto* wykonania zadania wyobrazeniowego, przyjmował wartość 1, gdy osoba badana prawidłowo odpowiadała na pytanie dotyczące położenia obiektu, i 0 - gdy odpowiadała nieprawidłowo. W analizie porównywano prawdopodobieństwa poprawnych odpowiedzi w różnych warunkach eksperymentalnych. Czas odpowiedzi (reakcji) był mierzony od momentu pojawienia się na ekranie zdjęcia zrotowanego obiektu do chwili podjęcia przez osobę badaną decyzji dotyczącej jego położenia. W celu normalizacji rozkładu tej zmiennej czasu reakcji poddano transformacji logarytmicznej.

W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że znaczenie obiektów, czyli to, czy mają one znajome kształty i nazwy własne w języku naturalnym (obiekty semantyczne), czy też są to abstrakcyjne bryły (obiekty asemantyczne), nie wpływa ani na poprawność wykonania zadania wymagającego rotacji umysłowej - $F(1,74) = 0,002$; $p < 0,997$ - ani na czas jego przeprowadzenia - $F(1,74) = 0,482$; $p < 0,490$. Podobnie złożoność obiektów nie ma wpływu ani na poprawność wykonania zadania wyobrazeniowego - $F(1,74) = 0,115$; $p < 0,735$ - ani na czas jego wykonania - $F(1,74) = 1,657$; $p < 0,202$.

Przedstawione wyniki analizy zmuszają do odrzucenia hipotez sugerujących, że czas i poprawność rotacji umysłowej zależą od tego, czy brany pod uwagę obiekt wizualny jest semantyczny czy asemantyczny, a także czy jest prosty czy złożony. Nie stwierdzono również żadnych statystycznie istotnych interakcji między obiema zmiennymi niezależnymi w stosunku do obu zmiennych zależnych. Potwierdziły się natomiast wszystkie zależności rejestrowane m.in. w badaniach Sheparda i Metzler (1971), dotyczące relacji między kątem rotacji a czasem wykonania zadania wyobrazeniowego. Im większy kąt rotacji od 0 do 180 oraz im mniejszy kąt rotacji od 360 do 180°, tym dłuższy czas reakcji i większa liczba błędnych odpowiedzi.

Dyskusja

Podstawę hipotezy, zgodnie z którą obiekty semantyczne powinny być szybciej i poprawniej rotowane w wyobraźni niż obiekty asemantyczne, stanowiło zało-

żenie dotyczące specyfiki przebiegu operacji wyobraźniowych na reprezentacjach różnych obiektów. Zgodnie z tym założeniem umysłowe rotowanie obiektów asemantycznych, które nie mają utrwalonej w pamięci poznawczej reprezentacji, powinno wydłużyć się m.in. o czas potrzebny na jej skonstruowanie, a także powinno być narażone na większą liczbę błędów niż rotowanie obiektów, które mają taką reprezentację (por. Bethell-Fox, Shepard, 1988; Biedermann, 1987; Biedermann, Gerhardstein, 1993; Cave, Kosslyn, 1993; Kosslyn, 2006; Pylyshyn, 2006). Bethell-Fox i Shepard (1988) podkreślali, że obiekty asemantyczne nie są wystarczająco zintegrowane, by mogły być przetwarzane całościowo. W odróżnieniu od obiektów semantycznych są rotowane raczej sekwencyjnie, z uwzględnieniem zidentyfikowanych części składowych.

Okazało się jednak, że do wykonania umysłowej rotacji na obiektach prezentowanych w niniejszych badaniach nie jest konieczne, aby były one znane osobie badanej lub miały nazwę w języku naturalnym. Wskazuje to na potrzebę rewizji poglądów, zgodnie z którymi podczas rotacji obiektu wizualnego w wyobraźni konieczne jest aktywizowanie jego semantycznej reprezentacji zakodowanej w pamięci długotrwałej w postaci sądu (por. np. Pylyshyn, 1979, 2006). Uzyskane wyniki sugerują, że rotacja przebiega w kodzie wizualnym, niezależnym od semantyki. Świadczyłoby to raczej na korzyść obrazowej koncepcji wyobraźni zaproponowanej przez Kosslyna (2006). Rotowanie obiektu w umyśle można porównać do czynności manipulowania, np. kamieniem. Niezależnie od tego, czy kształt kamienia przypomina jakiś znany przedmiot czy nie, szybkość, z jaką jest on rotowany w realnej sytuacji, powinna być podobna. Jeśli ta analogia jest trafna, to rezultat eksperymentu 1 wydaje się bardziej zrozumiały.

W kontekście uzyskanych wyników warto również raz jeszcze rozważyć trafność interpretacji odwołującej się do holistycznego vs sekwencyjnego rotowania w wyobraźni obiektu lub jego części (por. Carpenter, Just, 1978; Presson, 1982; Shepard, Feng, 1972; Yuille, Steiger, 1982). Uzyskane przez nas wyniki mogą świadczyć o tym, że umysł buduje zintegrowane, schematyczne reprezentacje wszystkich obiektów wizualnych - zarówno semantycznych, jak asemantycznych - i operuje na nich całościowo. Weryfikacja tej hipotezy wymaga jednak dalszych badań.

Podobnie można wytłumaczyć nieistotne efekty związane ze złożonością rotowanych obiektów. W wyniku przeprowadzonych badań okazało się, że obiekty proste i złożone są umysłowo rotowane w podobnym tempie i z porównywalną dokładnością. Odwołując się raz jeszcze do przykładu manipulowania kamieniem w realnej sytuacji, możemy zauważyć, że niezależnie od tego, ile kątów lub płaszczyzn będą miały wzięte do ręki kamienie, czas i poprawność obracania nimi w ręku nie powinny się zasadniczo różnić. Nie oznacza to jednak, że kształt obiektu zupełnie nie ma znaczenia dla przebiegu czynności manipulowania nim. Na przykład, ze względu na bezpieczeństwo obracanie w ręku przedmiotu o ostrych krawędziach najprawdopodobniej będzie przebiegać wolniej niż obracanie obiektu o kształtach obłych.

Z drugiej jednak strony, obie wymienione cechy kształtu niekoniecznie muszą oznaczać ich różną złożoność wizualną. Obiekt o ostrych krawędziach może sprawiać wrażenie bardziej złożonego niż obły, ale równie dobrze może być odwrotnie. Poza tym doświadczenie manipulowania różnymi obiektami w rękę wskazuje na to, że do sprawnego wykonywania tej czynności niezbędne jest wycucie dłonią zaledwie kilku istotnych punktów charakteryzujących ich kształt. Pozostałe można po prostu pominąć — jako nieistotne dla wykonania zadania. Gdyby zastosować tę analogię do przebiegu operacji rotowania obiektów w wyobraźni, wówczas można by przyjąć, że i ona nie musi być przeprowadzana na szczegółowych reprezentacjach branych pod uwagę obiektów. Przeciwnie, byłoby znacznie bardziej ekonomiczne poznawczo, gdyby przebiegała na uproszczonych, syntetycznych modelach opisanych za pomocą kilku charakterystycznych cech (por. Biedermann, 1987; Cooper, 1975; Cooper, Podgorny, 1976). To, które cechy kształtu zostaną wzięte pod uwagę i włączone do jego umysłowego modelu, może zależeć od: charakteru części obiektu (por. Hochberg, Gellman, 1977), praktyki w przeprowadzaniu podobnych operacji (por. Bethell-Fox, Shepard, 1988) lub też sposobu sformułowania zadania osobom badanym (por. Didday, Arbie, 1975; Kosslyn i in., 1990; Noton, Stark, 1971; Rybak i in., 1998, 2005; Yarus, 1967).

Na podstawie danych przedstawionych w eksperymencie 1 nie można rozstrzygnąć, które z podanych interpretacji są trafniejsze. W badaniu 2 podjęto jednak próbę odpowiedzi na pytanie, czy takie cechy obiektów wizualnych, jak wielkość, morfologia i perspektywa, z jakiej są one widziane, może znacząco wpłynąć na czas i dokładność wykonania zadania polegającego na ich umysłowej rotacji.

EKSPERYMENT 2

Każdy przedmiot wizualny może być obserwowany z dowolnego punktu widzenia. Niektóre z punktów obserwacji są bardziej uprzywilejowane niż inne. Obraz obiektu z najbardziej typowego punktu widzenia odpowiada jego kanonicznej perspektywie. Z tej perspektywy określone przedmioty są widziane najczęściej, są też najszybciej rozpoznawane, a jeśli są użytkowe, wówczas perspektywa kanoniczna jest wyznaczona przez najdogodniejszy sposób dostępu do nich w celu użycia. Z kolei obraz obiektu z nietypowego punktu widzenia wyznacza jego niekanoniczną perspektywę (por. Biederman, 1987; Blanz, Tarr, Bulthoff, 1999; Eldeman, Bulthoff, 1992; Palmer, Rosch, Chase, 1981; Tarr i in., 1998; Verfaillie, Boustien, 1995).

Ponieważ obiekty spostrzegane z perspektywy kanonicznej są najszybciej rozpoznawane, to znaczy, że ich umysłowa reprezentacja ma jakieś szczególne własności, które pozwalają na sprawne operowanie nimi. Najprawdopodobniej nie obciążają one nadmiernie pamięci operacyjnej, która jest aktywizowana podczas wykonywania niemal wszystkich czynności poznawczych. Oznaczałoby to również, że wykonanie np. rotacji umysłowej obiektu widzianego z perspektywy kanonicznej powinno przebiegać szybciej i z mniejszą liczbą błędów

niż w przypadku obiektów widzianych lub wyobrażanych z perspektywy niekanonicznej. Obiekty niekanoniczne wymagają więcej czasu na rozpoznanie i większego wysiłku do utrzymania ich reprezentacji w pamięci operacyjnej, a to z kolei powinno przełożyć się na dłuższy czas ich umysłowej rotacji. Wzrost czasu potrzebnego na rozpoznanie obiektu prezentowanego z perspektywy niekanonicznej jest wynikiem bardziej skomplikowanego sposobu opracowywania jego właściwości orientacyjno-przestrzennych (por. Blanz, Tarr, Bulthoff, 1999; Palmer, Rosch, Chase, 1981).

Wyniki eksperymentu przeprowadzonego przez Sugio, Inui i Matsuzawę (1999) wskazują na to, że podczas rozpoznawania obiektów prezentowanych w perspektywie kanonicznej i niekanonicznej zmienia się poziom zaangażowania różnych części mózgu. Analiza danych przeprowadzona za pomocą metody SPM96 (*statistical parametric mapping*) ujawniła statystycznie istotne różnice w poziomie pobudzenia trzech obszarów mózgu podczas rozpoznawania obiektów prezentowanych w perspektywie kanonicznej i niekanonicznej. Gdy obiekt był prezentowany w perspektywie niekanonicznej, wówczas stwierdzono znacznie wyższą aktywność obustronną w tylnych częściach kory ciemieniowej (*bilateral posterior parietal cortex*), obszarach przedczołowych (*bilateral prefrontal cortex*) oraz w dodatkowej okolicy motorycznej (*supplementary motor area*) niż podczas rozpoznawania tych samych obiektów prezentowanych w perspektywie kanonicznej. Wynik ten sugeruje, że zadanie polegające na przetwarzaniu danych wizualnych dotyczących obiektu przedstawionego w perspektywie niekanonicznej jest znacznie trudniejsze (wymaga więcej czasu) i najprawdopodobniej jest również narażone na znacznie więcej błędów niż przeprowadzenie analogicznych operacji umysłowych na obiekcie prezentowanym w perspektywie kanonicznej.

Pomimo że wyniki badań wskazują na to, iż przetwarzanie danych wizualnych na obiektach eksponowanych w perspektywie kanonicznej jest łatwiejsze (tzn. szybsze i trafniejsze) niż na obiektach eksponowanych w perspektywie niekanonicznej, empirycznie wykazano również, że optymalna perspektywa przyjmowana podczas wyobrażania sobie obiektu jest inna niż podczas jego widzenia. Perrett, Harries i Looker (1992) stwierdzili, że podczas wyobrażania sobie różnych obiektów znacznie częściej wykorzystywana jest perspektywa prostopadła do ich przodu lub boku, natomiast podczas widzenia optymalny kąt perspektywy kanonicznej najczęściej jest inny od kąta prostego. Oznaczałoby to, że perspektywa kanoniczna dla danego obiektu podczas widzenia i wyobrażania go sobie nie musi być taka sama. Czy ta różnica w sposobie ujęcia najdogodniejszej perspektywy podczas widzenia i podczas wyobrażania sobie tego samego przedmiotu ma istotny wpływ na wykonanie zadania rotacji umysłowej?

Wszystkie obiekty naturalne są nie tylko spostrzegane z jakiegoś punktu widzenia, lecz także mają określoną wielkość i morfologię. Prawidłowa ocena wielkości przedmiotu ma duże znaczenie dla oceny jego ciężaru. Oczywiście nie zawsze duże przedmioty muszą być cięższe niż małe. Paczka styropianu o objętości 1 m³ może ważyć znacznie mniej niż kawałek żeliwa o objętości

10 cm³. Choć na ogół przedmioty większe są również cięższe niż małe, to jednak bardzo duży wpływ na ich wagę ma materiał, z jakiego zostały one wykonane. Obiekty wizualne o takich samych kształtach i wielkości mogą bowiem różnić się od siebie ze względu na cechy morfologiczne (zjawiskowe, powierzchniowe), czyli tzw. teksturę, która wskazuje na to, z czego są zrobione. Wyrazista morfologia przedmiotu wraz z oceną jego wielkości stanowią ważne czynniki, które odpowiadają za ocenę jego ciężaru.

W naturalnych warunkach ciężar w zasadniczym stopniu decyduje o szybkości manipulowania obiektem, w tym również szybkości, z jaką może on być obrócony. Chcąc wykonać dowolną czynność motoryczną lub manualną na obiekcie, korzystamy z tzw. wyobraźni motorycznej. Pozwala ona przewidywać, które części ciała i w jakim zakresie powinny być zaangażowane w wykonanie planowanego ruchu (zob. np. Grush, 2004).

Jednym z dobrze opisanych zjawisk charakterystycznych dla funkcjonowania wyobraźni motorycznej jest efekt dłuższego „wykonywania” czynności ruchowej w wyobraźni niż w rzeczywistości. Jeśli chcemy przeprowadzić na danym przedmiocie jakąś operację manualną lub motoryczną musimy odpowiednio nastawić system szkieletowo-mięśniowy na przewyciężenie oporu wywołanego jego ciężarem. Oznacza to, że zanim rozpoczniemy czynność, musimy ocenić ciężar obiektu na podstawie dostępnych wskazówek, m.in. jego wielkości i morfologii. Rozpoczynając czynność, na ogół przykładamy nieco więcej siły, niż jest to konieczne, ale już po chwili jest ona korygowana. W sytuacji, gdy zadanie wykonania określonej operacji manualnej lub motorycznej jest przeprowadzane tylko w wyobraźni, brakuje sprzężenia zwrotnego dotyczącego wagi obiektu. Brak sprzężenia zwrotnego powoduje z kolei niewłaściwe dopasowanie „wyobrażonego wysiłku” do przeprowadzenia danej czynności. Wykonując zadanie w wyobraźni, jesteśmy bardziej skłonni uznać, że obiekt jest cięższy niż w rzeczywistości. Z kolei zakładając większy opór dla obiektów cięższych oczekujemy, że na wykonanie z nimi jakiejś czynności potrzebujemy więcej czasu niż w przypadku obiektów lżejszych (por. np. Decety, Jeannerod, 1989; Decety, Jeannerod, Germain, 1991; Cerritelli i in., 2000).

Wychodząc z powyższych obserwacji możemy przypuszczać, że w przypadku wyobrażeniowej rotacji obiektów o większym ciężarze, sugerowanym poprzez ich morfologię, a także obiektów o większych rozmiarach, czas ich rotacji będzie wolniejszy niż czas wyobrażeniowej rotacji obiektów lżejszych, których ciężar jest sugerowany zarówno za pomocą morfologii, jak i ich wielkości.

Richter i współautorzy (2000) wykazali, że podczas wykonywania zadania umysłowej rotacji przestrzennych obiektów oprócz aktywności obszarów okolic wizualnych aktywne są również obszary odpowiedzialne za planowanie i dokonywanie ruchów. Oznacza to, że u podłoża czynności motorycznych oraz wyobraźni motorycznej i wizualnej, które pozwalają na przeprowadzenie operacji rotacji umysłowej, stoją te same mechanizmy neuronalne. Z kolei Bode, Koeneke i Jancke (2007) ustalili, że aktywność pierwotnej kory motorycznej przy wykonaniu rotacji wyobrażeniowej jest podobna zarówno wtedy, gdy osoby badane korzystają z „wewnętrznej”, jak i „zewnętrznej” strategii rotacji

obiektów (podział strategii został wprowadzony przez Kosslyna i in., 1998, 2001). Oznacza to, że pierwotna kora ruchowa funkcjonalnie wykazuje taką samą aktywność wtedy, gdy badany posługuje się czuciem własnej ręki dla wykonywania zadania rotacji obiektów manipulacyjnych (strategia wewnętrzna), jak i wtedy, gdy rotuje w wyobraźni duże obiekty trójwymiarowe, np. dom (strategia zewnętrzna).

Podsumowując, celem eksperymentu 2 jest ustalenie, w jakim stopniu perspektywa (kanoniczna vs niekanoniczna) oraz ciężar i wielkość, sugerowane przez morfologię i kontekst prezentacji obiektów semantycznych eksponowanych w naturalnej przestrzeni, wpływają na czas i poprawność rotowania ich w wyobraźni. W eksperymencie weryfikowano trzy hipotezy:

H 1: Zadanie polegające na rotowaniu obiektów eksponowanych w perspektywie kanonicznej będzie szybciej i poprawniej wykonywane niż zadanie rotowania obiektów eksponowanych w perspektywie niekanonicznej.

H 2: Zadanie polegające na rotowaniu obiektów zbudowanych z materiałów cięższych (marmur) będzie wolniej wykonywane niż zadanie rotowania obiektów wykonanych z materiałów lżejszych (drewno).

H 3: Zadanie polegające na rotowaniu obiektów większych będzie wolniej wykonywane niż zadanie rotowania obiektów mniejszych.

Nie przewidujemy natomiast statystycznie istotnych różnic w zakresie poprawności wykonania zadań — zarówno z obiektami o różnym ciężarze, jak i o różnej wielkości.

Metoda

Osoby badane. W eksperymencie wzięło udział 165 studentów (86 kobiet i 79 mężczyzn) Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II, w wieku 18-30 lat ($M = 22,1$; $SD = 2,25$); 92% osób badanych było praworęcznych, a 8% - leworęcznych. Osoby badane losowo podzielono na osiem grup, które zostały wyznaczone przez poziomy zmiennej niezależnych (zob. tab. 1).

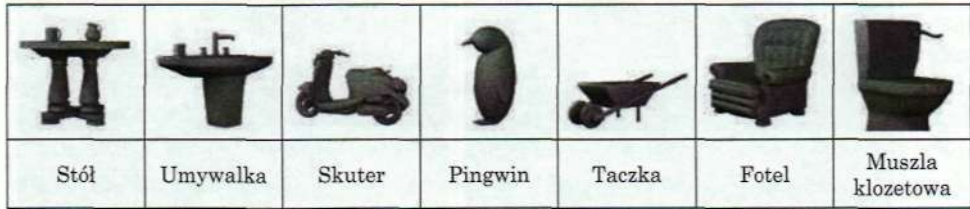
Tabela 1.

Podział osób badanych na osiem niezależnych grup eksperymentalnych

Zmienna niezależna*	Poziomy zmiennej							
	kanoniczna				niekanoniczna			
Perspektywa								
Morfologia	marmur		drewno		marmur		drewno	
Wielkość	mały	duży	mały	duży	mały	duży	mały	duży
Grupa	1	2	3	4	5	6	7	8

* Operacjonalizacja zmiennych niezależnych została przedstawiona w następnym paragrafie

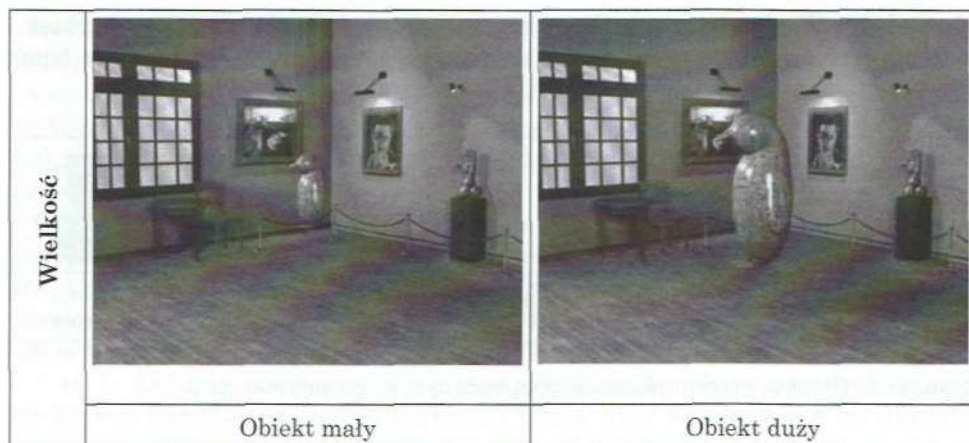
Materiały. W eksperymentach wykorzystano siedem semantycznych obiektów, opracowanych na komputerze za pomocą programu 3 Studio Max (zob. rys. 6).



Rysunek 6. Obiekty prezentowane osobom badanym w eksperymencie 2

Wszystkie obiekty różniły się ze względu na trzy dwupoziomowe zmienne niezależne: PERSPEKTYWĘ (kanoniczna vs niekanoniczna), MORFOLOGIĘ (obiekty marmurowe vs drewniane) i WIELKOŚĆ (obiekty małe, o wysokości ok. 0,5 m, vs duże, o wysokości ok. 2 m; podany wymiar rotowanych obiektów jest zrelatywizowany do wymiarów przedmiotów znajdujących się w przestrzeni sali muzealnej) (zob. rys. 7).





Rysunek 7. Przykładowe obiekty, zróżnicowane ze względu na trzy cechy: perspektywę, z jakiej są one spostrzegane, morfologię, która sugeruje ich ciężar, i wielkość

Wszystkie obiekty były prezentowane w kontekście tej samej przestrzeni sali wystawowej muzeum sztuki współczesnej (jak w eksperymencie 1).

Procedura. W eksperymencie 2 zastosowano taką samą procedurę, jak w eksperymencie 1: (a) instrukcja i seria zadań treningowych; (b) 1-sekundowa ekspozycja szarej maski z zaznaczonym w środku punktem fiksacji wzroku; (c) prezentacja obiektu w położeniu niezrotowanym (kąt rotacji = 0°); (d) 3-sekundowa ekspozycja maski; (e) prezentacja obiektu zrotowanego lub zrotowanego i jednocześnie w lustrzanym odbiciu oraz (f) podjęcie przez osobę badaną decyzji dotyczącej położenia obiektu w czasie drugiej prezentacji. Podczas eksperymentu rejestrowano rodzaj i czas decyzji. Podobnie jak w eksperymencie 1, każda osoba badana podejmowała 70 decyzji dotyczących położenia każdego z siedmiu obiektów w pięciu warunkach kątowych z odbiciem lustrzanym i w pięciu warunkach kątowych bez odbicia lustrzanego. Kolejność prezentacji poszczególnych obiektów oraz ich położenie podczas drugiej ekspozycji dla każdej osoby badanej były losowe.

Wyniki

Dane uzyskane w eksperymencie 2 poddano analizie wariancji ANOVA ($2 \times 2 \times 2$) dla grup kompletnie zrandomizowanych. Podobnie jak w eksperymencie 1, analizowano dwie zmienne zależne: poprawność i czas wykonania zadania wyobrazeniowego. Wskaźnik poprawności wykonania zadania wyobrazeniowego przyjmował wartość 1, gdy osoba badana prawidłowo odpowiadała na pytanie dotyczące położenia obiektu, i 0 - gdy odpowiadała nieprawidłowo. Czasy decyzji, mierzone od momentu pojawienia się na ekranie zdjęcia zrotowanego obiektu do podjęcia przez osobę badaną decyzji dotyczącej jego

położenia, zostały poddane transformacji logarytmicznej w celu normalizacji ich rozkładu.

W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdzono następujące zależności:

1. Perspektywa, z jakiej prezentowany jest obiekt semantyczny podczas niezrotowanej ekspozycji, statystycznie istotnie wpływa na poprawność wykonania rotacji umysłowej. Osoby badane, które rotowały obiekty prezentowane w perspektywie kanonicznej, popełniały znacznie mniej błędów, niż badani, którzy wykonywali zadanie na obiektach prezentowanych w perspektywie niekanonicznej — $F(1,157) = 44,055$; $p < 0,01$; $\eta^2 = 0,22$. Początkowa perspektywa, z której oglądany jest dany obiekt, ma również istotny wpływ na czas jego rotowania w wyobraźni. W przeciwieństwie do oczekiwań wynikających z hipotezy, czas rotacji obiektów prezentowanych w perspektywie kanonicznej okazał się statystycznie istotnie dłuższy niż czas rotacji obiektów prezentowanych w perspektywie niekanonicznej - $F(1,157) = 4,846$; $p < 0,029$; $\eta^2 = 0,03$.

2. Rodzaj morfologii obiektu, sugerujący jego ciężar, modyfikuje czas, w jakim wykonywana jest rotacja umysłowa - $F(1,157) = 5,157$; $p < 0,024$; $\eta^2 = 0,03$. Obiekty zrobione z lżejszego materiału (drewna) są statystycznie istotnie szybciej rotowane niż obiekty marmurowe. Morfologia nie wpływa natomiast na poprawność wykonania rotacji umysłowej.

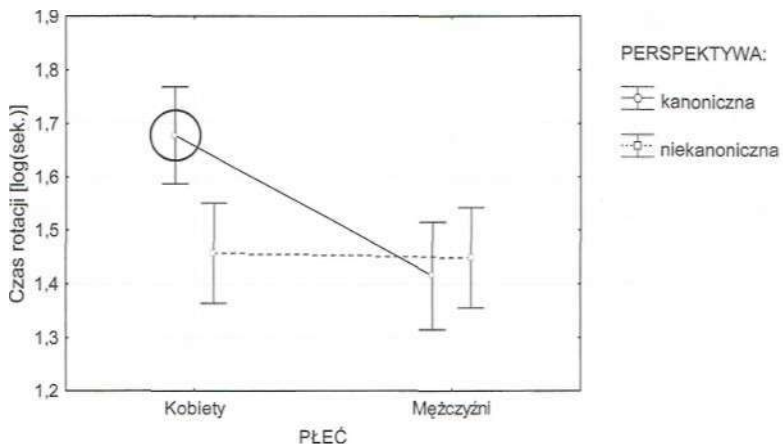
3. Wielkość obiektów nie ma wpływu na czas oraz poprawność wykonania zadania wyobrażeniowego.

Wyniki analizy efektów głównych potwierdzają hipotezę, zgodnie z którą ekspozycja obiektu w kanonicznej perspektywie jest źródłem mniejszej liczby błędów podczas wykonywania zadania umysłowej rotacji niż perspektywa niekanoniczna. W odniesieniu do tej zmiennej niezależnej szczególnie interesujący okazał się wynik analizy czasów umysłowej rotacji obiektów ekspozycyjnych w różnych perspektywach. Przeciwnie do przewidywań, obiekty widziane w perspektywie kanonicznej były rotowane w wyobraźni znacznie dłużej, niż obiekty widziane początkowo w perspektywie niekanonicznej. Z jednej więc strony perspektywa kanoniczna toruje poprawność wykonania zadania wyobrażeniowego, a z drugiej hamuje czas jego wykonania.

Potwierdziła się także hipoteza, zgodnie z którą obiekty zbudowane z lżejszego materiału (np. drewniane) są szybciej rotowane w umyśle niż obiekty zbudowane z cięższego materiału (np. marmurowe). Nie potwierdziła się natomiast hipoteza dotycząca wpływu wielkości rotowanych w wyobraźni obiektów na czas wykonania tego zadania. Obiekty duże i małe były rotowane w wyobraźni w podobnym czasie. Zgodnie z przypuszczeniem, poprawność wykonania zadania rotacji umysłowej obiektów o różnej morfologii i wielkości była podobna.

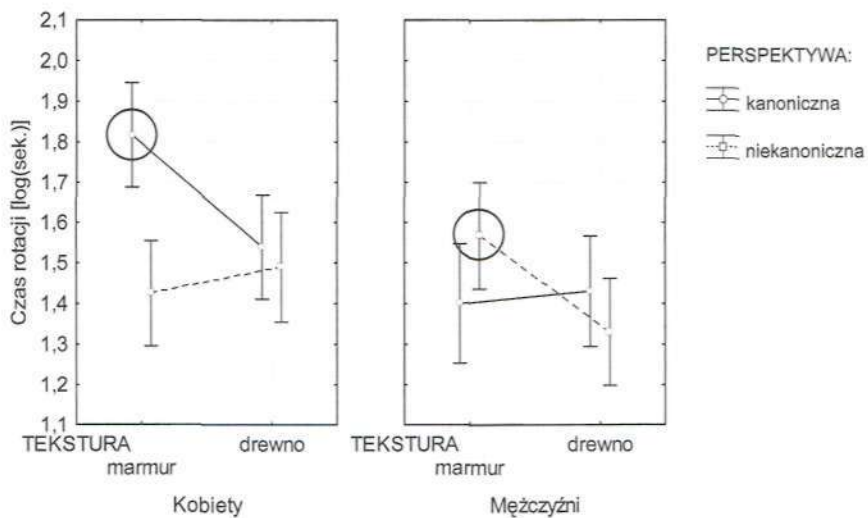
W wyniku analizy wariancji stwierdzono również następujące efekty interakcji zmiennych niezależnych z płcią osób badanych:

4. Kobiety potrzebowały znacznie więcej czasu na umysłowe rotowanie obiektów niż mężczyźni - $F(1,149) = 7,087$; $p < 0,009$; $\eta^2 = 0,05$; zob. rys. 8 - ale tylko tych przedmiotów, które były prezentowane w perspektywie kanonicznej.



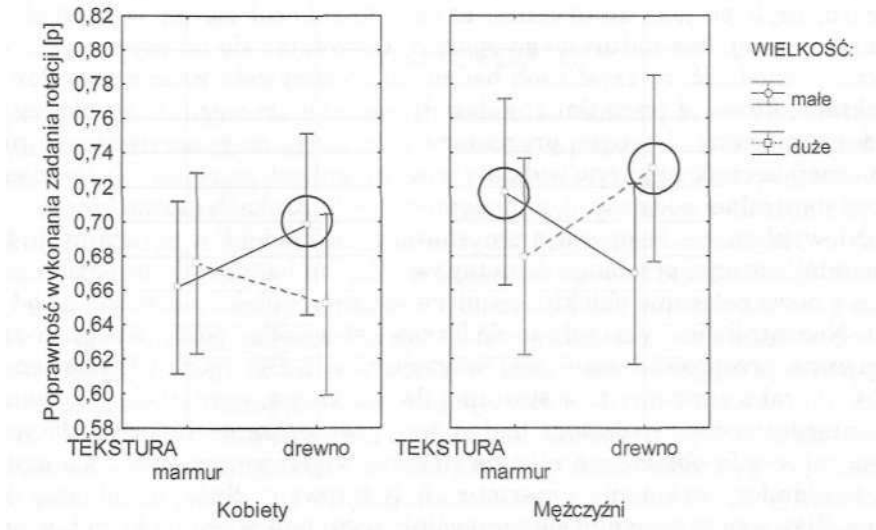
Rysunek 8. Interakcja Perspektywa x Płeć w odniesieniu do zmiennej czasu wykonania zadania wyobraźniowego

5. Prawidłowość, zgodnie z którą kobiety potrzebują więcej czasu na rotowanie obiektów eksponowanych w perspektywie kanonicznej niż mężczyźni, w szczególności odnosiła się do obiektów cięższych (marmurowych). Mężczyźni potrzebowali natomiast więcej czasu na rotowanie marmurowych obiektów eksponowanych w perspektywie niekanonicznej niż kanonicznej - $F(1,149) = 10,207$; $p < 0,002$; $m = 0,06$; zob. rys. 9.



Rysunek 9. Interakcja Perspektywa x Ciężar x Płeć w odniesieniu do zmiennej czasu wykonania zadania wyobraźniowego

5. Kobiety popełniały najmniej błędów, rotując w wyobraźni małe i lekkie obiekty, natomiast mężczyźni najlepiej radzili sobie z obiektami dużymi i lekkimi oraz z małymi i ciężkimi $-F(1, 149) = 4,371; p < 0,038; \eta^2 = 0,03$; zob. rys. 10.



Rysunek 10. Interakcja wielkość x ciężar x płeć w odniesieniu do zmiennej poprawności wykonania zadania wyobrażeniowego

Dyskusja

Dla poprawności wykonania zadania wyobrażeniowego polegającego na rotowaniu obiektu wizualnego szczególnie istotna okazała się jego perspektywa wyznaczona przez punkt widzenia, z którego jest spostrzegany w pozycji niezrotowanej. Zgodnie z przewidywaniem, umysłowa operacja rotowania obiektów prezentowanych w perspektywie kanonicznej przebiegała poprawniej niż obiektów prezentowanych w perspektywie niekanonicznej. W świetle danych dotyczących wpływu kanoniczności na rozpoznawanie obiektów wynik ten jest zrozumiały (por. Biederman, 1987; Blanz, Tarr, Bulthoff, 1999; Eldeman, Biilthoff, 1992; Palmer, Rosch, Chase, 1981; Tarr i in., 1998; Verfaillie, Boustien, 1995). Dlaczego jednak czas wykonania rotacji okazał się istotnie dłuższy w odniesieniu do obiektów prezentowanych w perspektywie kanonicznej niż niekanonicznej? Najwyraźniej operacja na danych wizualnych ekspozowanych w perspektywie kanonicznej wymagała wzięcia pod uwagę dodatkowych zmiennych.

Niewykluczone, że stwierdzony efekt wiąże się ze spostrzeganym poziomem stabilności obiektu wizualnego. Większość znanych nam przedmiotów ma płaszczyznę, którą najczęściej przylega do podłoża. Ustawienie ich na tej płaszczyźnie gwarantuje im największą stabilność. W tym też położeniu najczęściej je widzimy.

W eksperymencie 2 część osób badanych najpierw oglądała niezrotowany obiekt w perspektywie kanonicznej, a zarazem ustawiony na swojej naturalnej podstawie, a część — w perspektywie niekanonicznej i jednocześnie w położeniu pozbawionym naturalnego oparcia. Z kolei podczas drugiej prezentacji obiektu, czyli po jego zrotowaniu, zawsze znajdował się on w perspektywie niekanonicznej, bez naturalnego oparcia. Odwołując się do pojęcia grawitacji można powiedzieć, że część osób badanych wykonywała rotację umysłową na obiektach, które od początku znajdowały się jakby w warunkach nieważkości (podczas pierwszej i drugiej prezentacji były widziane w perspektywie niekanonicznej), a część najpierw widziała je w warunkach grawitacji (ustawione na swojej naturalnej podstawie), a następnie - w warunkach nieważkości.

Niewykluczone, że operacja umysłowej rotacji obiektów naturalnych, które są ustabilizowane, przebiega dwuetapowo. Zanim badani odpowiedzieli na pytanie o nowe położenie obiektu, najpierw musieli niejako „oderwać” go od podłoża. Niewątpliwie wymagało to dodatkowego wysiłku poznawczego, a zatem i czasu na przeprowadzenie całej operacji rotacji. Być może właśnie ten czas zadecydował o odwrotnym, w stosunku do oczekiwań, wyniku eksperymentu.

Interesującym rezultatem badań jest potwierdzenie hipotezy dotyczącej czasu rotowania obiektów o różnym ciężarze sugerowanym przez ich morfologię. Przedmioty wykonane z marmuru były rotowane dłużej niż obiekty drewniane. Zjawisko to ujawniło się szczególnie wyraźnie w grupie kobiet, w odniesieniu do obiektów eksponowanych w perspektywie kanonicznej. Zarówno efekt główny, jak i efekty interakcji wyraźnie nawiązują do podstawowych założeń koncepcji izomorfizmu funkcjonalnego (por. Shepard, Chipman, 1970). Czas przebiegu procesów wyobrażeniowych na przedmiotach semantycznych odzwierciedla czas procesów percepcyjnych i czynności ruchowych wykonywanych na obiektach w świecie rzeczywistym.

Nieoczekiwane okazało się jednak, że wielkość eksponowanych obiektów nie wpływa na czas ich umysłowego rotowania. Hipotezy dotyczące wpływu wielkości i morfologii obiektu na czas jego umysłowej rotacji zostały sformułowane na podobnych przesłankach. Zgodnie z nimi obiekty wykonane z gęstszego materiału (np. kamienia) oraz obiekty większe są zarazem cięższe, a przez to mniej podatne na manipulację. Ponadto większe przedmioty są mniej poręczne niż mniejsze i dlatego czas wykonania na nich jakiejś operacji, np. rotacji, powinien być dłuższy niż czas rotacji obiektów mniejszych. Okazało się jednak, że ten sposób rozumowania jest błędny.

Nieistotny wpływ wielkości obiektów wizualnych na czas ich umysłowej rotacji można wyjaśnić podobnie jak wyniki eksperymentu 1. Zgodnie z interpretacją ani semantyka, ani złożoność wziętych pod uwagę obiektów nie wpływają na czas i poprawność rotacji umysłowych, ponieważ operacja umysłowa jest wykonywana nie tyle na szczegółowych obrazach tych obiektów, ile na ich syntetycznych modelach wizualnych (por. Biedermann, 1987; Cooper, 1975; Cooper, Podgorny, 1976). Umysłowy model obiektu wizualnego może nie tylko nie uwzględniać wszystkich szczegółów konstrukcyjnych rotowanego obiektu, ale i wskazówek kontekstowych, które w naturalnej sytuacji stanowią pod-

stawę oceny jego wielkości. Innymi słowy, w udzieleniu poprawnej odpowiedzi na pytanie o położenie obiektu po jego rotacji, znacznie mniejsze znaczenie może mieć to, czy jest to obiekt duży, czy mały, niż to, jakie są charakterystyczne cechy kształtu reprezentującego go w umyśle modelu.

DYSKUSJA OGÓLNA

Wyniki prezentowanych w niniejszym artykule badań prowokują do postawienia nowych pytań i hipotez dotyczących wpływu cech spostrzeganych obiektów na czas i poprawność wykonania zadania ich umysłowej rotacji. Niepotwierdzone hipotezy odnoszące się do przebiegu operacji wyobrazeniowej na obiektach semantycznych i asemantycznych, prostych i złożonych, a także małych i dużych skłaniają do pytań o formę umysłowej reprezentacji ratowanych przedmiotów. Czy spostrzegane obiekty są zapamiętywane w postaci analogowych obrazów przypominających fotografie, czy też raczej w postaci syntetycznych modeli? W świetle wyników badań nad uwagą wzrokową podczas rozpoznawania obiektów (por. Didday, Arbie, 1975; Kosslyn i in., 1990; Noton, Stark, 1971; Rybak i in., 1998; 2005; Yarbus, 1967), a także badań prezentowanych w niniejszym artykule jesteśmy raczej skłonni przypuszczać, że przedmiotem szybkiej i trafnej rotacji wyobrazeniowej są syntetycznie opracowane umysłowe modele obiektów wizualnych. Ale jeśli tak jest, to nadal otwarte pozostają pytania, na podstawie jakich wskaźników wizualnych są one budowane oraz jaką rolę w ich konstruowaniu odgrywa sformułowanie instrukcji do zadania rotacji wyobrazeniowej.

Odrębną kwestią pozostaje zagadnienie morfologii rotowanego w wyobraźni przedmiotu. Czy jest ona stałą własnością jego umysłowego modelu? A jeśli nie, to w jakich okolicznościach jest ona brana pod uwagę podczas rotacji, a w jakich jest ignorowana? Jakkolwiek wyniki badań potwierdziły przypuszczenia dotyczące wpływu morfologii na czas wykonania rotacji wyobrazeniowej, to jednak poziom istotności różnic nie jest zadowalający. Być może na ocenę ciężaru określonych przedmiotów wizualnych na podstawie ich morfologii ma wpływ uprzednie doświadczenie związane z wykonywaniem na tych obiektach jakichś czynności?

I wreszcie otwarte pozostają kwestie dotyczące różnych perspektyw kanoicznych dla tego samego obiektu widzianego i wyobrażanego sobie oraz roli, jaką dla czasu wykonania rotacji odgrywa stabilizacja obiektu na naturalnej podstawie. Czy wyizolowanie wpływu tych czynników na czas i poprawność umysłowej rotacji pozytywnie wpłynie na szacowane wielkości efektów eksperymentalnych?

Zasygnalizowane pytania są bowiem uzasadnione zwłaszcza w świetle niskich wskaźników wielkości efektu eksperymentalnego, rejestrowanych w odniesieniu do niemal wszystkich statystycznie istotnych różnic stwierdzonych w badaniach za pomocą analizy wariancji. Z jednej strony statystyczna istotność różnic stanowi ważną przesłankę uzasadniającą trafność wziętych pod uwagę w prezentowanych badaniach zmiennych niezależnych. Z drugiej jed-

nak strony niewielkie wartości efektów eksperymentalnych wskazują na to, że zmienne te wyjaśniają niewielki procent zmienności.

Badania nad rotacjami obiektów wizualnych w wyobraźni trwają już niepełna 40 lat, ale działanie leżące u ich podstaw umysłowego mechanizmu nadal nie jest w pełni zrozumiałe i bez wątplenia wymaga prowadzenia dalszych prac eksperymentalnych. Sugestie wynikające z prezentowanych w niniejszym artykule wyników wyraźnie wskazują na kierunki, w jakich powinny podążać następne badania.

BIBLIOGRAFIA

- Attneave, F. (1957). Physical determinants of the judged complexity of shapes. *Journal of Experimental Psychology*, 53, 221-227.
- Bethell-Fox, C. E., Shepard, R. N. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 12-23.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115-147.
- Biederman, I., Gerhardstein, P. C. (1993). Recognizing depth-rotated objects: Evidence and conditions for three-dimensional viewpoint invariance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1162-1182.
- Blanz, V., Tarr, M. J., Bülthoff, H. H. (1999). What object attributes determine canonical views? *Perception*, 28, 575-599.
- Bode, S., Koeneke, S., Jancke, L. (2007). Different strategies do not moderate primary motor cortex involvement in mental rotation: A TMS study. *Behavioral and Brain Functions*, 38, 1-9.
- Carpenter, P. A., Just, M. A. (1978). Eye fixations during mental rotation. [W:] J. W. Senders, D. F. Fisher, R. A. Monty (red.), *Eye movements and the higher psychological functions* (s. 115-133). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cave, C. B., Kosslyn, S. M. (1993). The role of parts and spatial relations in objects identification. *Perception*, 22, 229-248.
- Cerritelli, B., Maruff, P., Wilson, P., Currie, J. (2000). The effect of an external load on the force and timing components of mentally represented actions. *Behavioural Brain Research*, 108, 1, 91-96.
- Cooper, L. A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20-43.
- Cooper, L. A. (1976). Demonstration of a mental analog of an external rotation. *Perception & Psychophysics*, 19, 296-302.
- Cooper, L. A., 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.
- Cooper, L. A., Shepard, R. N. (1973). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory and Cognition*, 1, 246-50.

- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M. (1991). *Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. Behavioural Brain Research, 42, 1-5.*
- Decety, J., Jeannerod, M., Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural Brain Research, 34, 35-42.*
- Didday, R. L., Arbib, M. A. (1975). Eye movements and visual perception: A two visual system model. *International Journal of Man-Machine Studies, 7, 547-569.*
- Edelman, S., Bulthoff, H. H. (1992). *Orientation dependence* in the recognition of familiar and novel views of three-dimensional objects. *Vision Research, 32, 2385-2400.*
- Finke, R. A. (1985). Theories relating mental imagery to perception. *Psychological Bulletin, 98, 236-259.*
- Folk, M. D., Luce, R. D. (1987). Effects of stimulus complexity on mental rotation rate of polygons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 13, 395-404.*
- Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and Brain Sciences, 27, 377-442.*
- Hochberg, J. H., Gellman, L. (1977). The effects of landmark features on "mental rotation" times. *Memory and Cognition, 5, 23-26.*
- Klopfer, D. S. (1985). Constructing mental representations of objects from successive views. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 11, 566-582.*
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind.* Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M. (2005). Mental images and the brain. *Cognitive Neuropsychology, 22, 333-347.*
- Kosslyn, S. M., DiGirolamo, G., Thompson, W. L., Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: Neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology, 35, 151-161*
- Kosslyn, S. M., Flynn, R. A., Amsterdam, J. B., Wang, G. (1990). Components of high-level, vision: A cognitive neuroscience analysis and account of neurological syndromes. *Cognition, 34, 203-277.*
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Ganis, G. (2006). *The case for mental imagery.* New York: Oxford University Press.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Wraga, M. J., Alpert, N. M. (2001). Imagining rotation by endogenous and exogenous forces: Distinct neural mechanisms for different strategies. *Neuroreport, 12, 2519-2525.*
- Marotta, J. J., McKeef, T. J., Behrmann, M. (2002). The effects of rotation and inversion on face processing in prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology, 19, 31-47.*
- Noton, D., Stark, L. (1971). Scanpaths in eye movements during pattern recognition. *Science, 171, 72-75.*
- Palmer, S. E., Rosch, E., Chase, P. (1981). Canonical perspective and the perception of objects. [W:] J. Long, A. Baddeley (red.), *Attention and performance IX* (s. 135-151). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Pellegrino, J. W., Doane, S. M., Fischer, S. C., Alderton, D. (1991). Stimulus complexity effects in visual comparisons: The effects of practice and learning context. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 17, 781-791.*

- Perrett, D. I., Harries, M. H., Looker, S. (1992). Use of preferential inspection to define the viewing sphere and characteristic views of an arbitrary machined tool part. *Perception*, 21, 497-515.
- Presson, C. C. (1982). Strategies in spatial reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8, 243-251.
- Pylyshyn, Z. W. (1979). The rate of "mental rotation" of images: A test of a holistic analog hypothesis. *Memory & Cognition*, 7, 19-28.
- Pylyshyn, Z. W. (2006). *Seeing and visualizing: It's not what you think*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Richter, W., Somorjai, R., Summers, R., Jarmasz, M., Menon, R. S., Gati, J. S., Georgopoulos, A. P., Tegeler, C., Ugurbil, K., Kim, S.-G. (2000). Motor area activity during mental rotation studied by time-resolved single-trial fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 310-320.
- Robins, C., Shepard, R. N. (1977). Spatio-temporal probing of apparent rotational movement. *Perception & Psychophysics*, 22, 12-18.
- Rybak, I. A., Gusakova, V. L., Golovan, A. V., Podladchikova, L. N., Shevtsova, N. A. (1998). A model of attention-guided visual perception and recognition. *Vision Research*, 38, 2387-2400.
- Rybak, I. A., Gusakova, V. L., Golovan, A. V., Podladchikova, L. N., Shevtsova, N. A. (2005). Attention-guided recognition based on "what" and "where" representations: A behavioral model. [W:] L. Itti, G. Rees, J. Tsotsos (red.), *Neurobiology of attention* (s. 663-670). Burlington, MA: Elsevier Academic Press.
- Shepard, R. N., Chipman, S. (1970). Second-order isomorphism of internal representations: Shapes of states. *Cognitive Psychology*, 1, 1-17.
- Shepard, R. N., Feng, C. A. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology*, 3, 228-243.
- Shepard, R. N., Judd, S. A. (1976). Perceptual illusion of rotation of three-dimensional objects. *Science*, 191, 952-954.
- Shepard, R. N., Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Smith, W. Dror, I. E. (2001). The role of meaning and familiarity in mental transformations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 732-741.
- Sugio, T., Inui, T., Matsuo, K., Matsuzawa, M., Glover, G. H., Nakai, T. (1999). The role of the posterior parietal cortex in human object recognition: A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, 276, 45-48.
- Tarr, M. J., Williams, P., Hayward, W. G., Gauthier, I. (1998). Three-dimensional object recognition is viewpoint dependent. *Nature Neuroscience*, 1, 1-9.
- Verfaillie, K., Boustsen, L. (1995). A corpus of 714 full-color images of depth-rotated objects. *Perception and Psychophysics*, 57, 925-961.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum.
- Yuille, J. C., Steiger, J. H. (1982). Nonholistic processing in mental rotation: Some suggestive evidence. *Perception & Psychophysics*, 31, 201-209.
- Zacks, J. M., Mires, J., Tversky, B., Hazeltine, E. (2002). Mental spatial transformations of objects and perspective. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 315-332.