

Przemysław TUŻNIK, Piotr FRANCUZ

WPLYW ZŁOŻONOŚCI I WYMIAROWOŚCI OBIEKTÓW NA EFEKTYWNOŚĆ WYKONANIA ROTACJI UMYSŁOWEJ

THE INFLUENCE OF OBJECTS COMPLEXITY AND DIMENSIONALITY ON PERFORMANCE MENTAL ROTATION TASK

Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Lublin
Katedra Psychologii Eksperymentalnej

John Paul II Catholic University of Lublin, Lublin
Department of Experimental Psychology

STRESZCZENIE: *Celem prezentowanych tu badań było sprawdzenie w jaki sposób złożoność i przestrzenna organizacja obiektu wpływają na czas i poprawność wykonania jego rotacji umysłowej. Wzięliśmy pod uwagę dwa typy złożoności. Pierwsza z nich to złożoność konturowa, która przejawia się w różnej liczbie załamania linii tworzącej obrys obiektu. Drugi typ to złożoność strukturalna definiowana różną liczbą elementów wewnątrz obiektu przy niezmiennym konturze. Każdy z typów przyjmował dwa poziomy: mała lub duża złożoność. Wymiarowość obiektów przyjmowała z kolei trzy poziomy: obiekty 2D prezentowane na monitorze komputera, obiekty Quasi 3D prezentowane na ekranie komputera oraz obiekty Stereo 3D wyświetlane stereoskopowo. W badaniach analizowana była także trajektoria ruchu gałek ocznych. Okazało się, że obiekty Stereo 3D są rotowane poprawniej niż obiekty 2D i Quasi 3D. Badani częściej fiksowali na nich wzrok i wykonywali krótsze sakkady. Obiekty Stereo 3D charakteryzują się także większym dopasowaniem trajektorii pomiędzy obiektem zrotowanym a niezrotowanym. Przestrzenna organizacja obiektu nie wpływa na czas potrzebny do wykonania rotacji umysłowej. W przypadku*

Adres do korespondencji: Piotr Francuz, Katedra Psychologii Eksperymentalnej KUL, Instytut Psychologii, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Al. Raclawickie 14, 20-950 Lublin, email francuz@kul.pl

bodźców trójwymiarowych obecność binokularnej wskazówki głębi wynikającej z rozbieżności dwuocznnej sprawia, że zadanie polegające na umysłowej rotacji obiektów Stereo 3D jest wykonywane poprawniej niż rotacja obiektów Quasi 3D. Obecność bądź brak tej wskazówki nie wpływa na szybkość wykonania rotacji. Ani poziom złożoności strukturalnej bodźca, ani poziom komplikacji jego konturu, nie wpływają na efektywność przeprowadzenia rotacji wyobraźniowej wyrażoną stopniem poprawności wykonania zadania i czasem potrzebnym do jego wykonania

SŁOWA KLUCZOWE: rotacja umysłowa, złożoność i wymiarowość bodźca wzrokowego, stereoskopia

ABSTRACT: *The goal of the present research was to verify how objects complexity and dimensionality influence the time and the accuracy of mental rotation. Two types of complexity were taken into account. The first is the complexity of outline of the object, which manifests itself in a different number of angles constituting shape of the object. The second type is the structural complexity defined by the different number of separated internal parts. Each type assumed two levels: low or high complexity. Dimensionality of objects assumed three levels: 2D objects presented on a computer screen, quasi-3D objects presented on a flat computer screen and full-3D objects displayed stereoscopically. Our study examined also eye movement trajectory. It was found that full-3D objects are rotated more correctly than 2D and quasi-3D objects. The number of fixation was higher and the amplitude of eye movement was lower for stereoscopic than 2D and quasi-3D viewing modes. Full-3D objects are also characterized by a higher match trajectories of eye movements between rotated and non-rotated objects. Dimensionality does not influence the reaction time. Binocular disparity makes the mental rotation task of full-3D objects is performed more correctly than rotation of quasi-3D objects. Binocular disparity does not affect the speed of mental rotation. Neither the level of structural complexity and the level of outline complexity do not affect performance mental rotation task*

KEY WORDS: *mental rotation, imagery, shape complexity, depth perception, eye movements, binocular disparity*

Na początku lat 70. XX wieku Shepard i jego współpracownicy wprowadzili do badań nad wyobraźnią paradygmat rotacji mentalnych [Cooper, Shepard, 1973; Shepard, Feng, 1972; Shepard, Metzler, 1971]. Od tamtego czasu przeprowadzono wiele eksperymentów, w których próbowano ustalić wpływ różnych zmiennych na wykonanie zadania rotacji umysłowej. Wśród nich można wyróżnić: płeć osób badanych [Neubauer, Bergner, Schatz, 2010; Robert, Chevrier, 2003], oś rotacji obiektu [Kozhevnikov i in., 2008], modalność zmysłową, w jakiej osoba badana poznaje rotowany obiekt, np. za pomocą wzroku lub dotyku [Lawson,

2009; Wohlschläger, Wohlschläger, 1998], a także złożoność bodźca [Cooper, 1975; Folk, Luce, 1987], i jego wymiarowość [Bauer, Jolicoeur, 1996; Jolicoeur i in., 1985; Shepard, Metzler, 1988]. Zwłaszcza badania nad wpływem złożoności i wymiarowości obiektów na czas i poprawność wykonania ich rotacji umysłowej dostarczają sprzecznych wyników.

Badania przedstawione w niniejszym artykule miały dwa cele. Pierwszy z nich to próba rozstrzygnięcia, w jaki sposób złożoność i wymiarowość obiektu wpływają na proces jego rotacji umysłowej. Podstawowe pytania w tym zakresie to: Czy złożoność obiektu różnicuje czas i poprawność wykonania jego rotacji umysłowej? Czy różne aspekty złożoności kształtu obiektu wizualnego mają różny wpływ na efektywność wykonania rotacji umysłowej? Czy przestrzenna organizacja obiektu (2D, Quasi 3D, Stereo 3D) modyfikuje poziom poprawności wykonania rotacji i czas potrzebny do jej przeprowadzenia? Jak sprawnie przebiega proces rotacji wyobrażeniowej w zależności od tego czy dostępna jest binokularna wskazówka głębi wynikająca z rozbieżności dwuocznnej? Drugim celem badań była weryfikacja hipotezy, że złożoność i wymiarowość obiektu wizualnego modyfikują przebieg i trajektorię ruchu gałek ocznych podczas wykonywania zdania rotacji obiektu. Pytania, jakie można postawić w tym obszarze to: Jakimi cechami charakteryzuje się przebieg trajektorii ruchu gałek ocznych w zależności od przestrzennej organizacji obserwowanego obiektu (2D, Quasi 3D, Stereo 3D)? W jaki sposób oczy skanują obiekty o różnym poziomie złożoności konturu oraz obiekty, które zawierają lub nie, pewne elementy wewnątrz konturu?

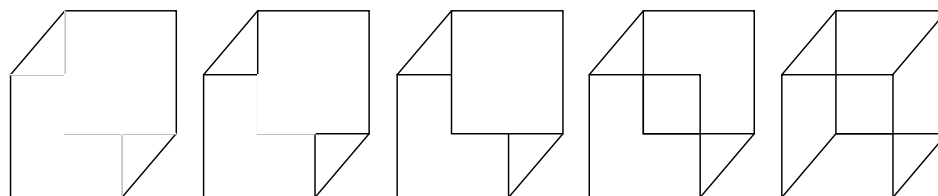
Złożoność rotowanego obiektu

Złożoność obiektu jest zmienną, której badacze zajmujący się zagadnieniem rotacji umysłowych poświęcili najwięcej uwagi. Badania nad wpływem złożoności obiektów wizualnych na przebieg rotacji umysłowej trwają od połowy lat 70. XX wieku do chwili obecnej. Niestety jest to właściwość, którą niełatwo jest zdefiniować [Attneave, 1957; Fetterman, 1996]. Trudność wynika m.in. z multidyscyplinarności badań nad złożonością (Sukumar i in., 2008), która znajduje się w polu zainteresowania takich dziedzin nauki, jak psychologia, statystyka [Cover, Gacs, Gray, 1989; Rissanen, 1986] czy informatyka (computer science) [Rossignac, 2005]. Chen i Sundaram [2005] przeprowadzili badania nad złożonością integrując te trzy podejścia. Efektem ich pracy było wyodrębnienie trzech miar złożoności kształtu obiektów 2D: entropii globalnego dystansu poszczególnych punktów leżących na obwodzie figury od jej środka, entropii dystrybucji lokalnych kątów decydującej o regularności kształtu oraz losowości kształtu, wynikającej z tego, że łatwiej jest uzyskać unikatowy kontur dla figury prostej niż dla złożonej. Ocena złożoności figur płaskich z wykorzystaniem algorytmu opartego na wskaźnikach wyodrębnionych przez Chena i Sundarama jest silnie skorelowana z ocenami złożoności dokonanymi przez osoby badane, które porównywały obiekty parami.

Niewątpliwie złożoność jest zjawiskiem wielowymiarowym [por. np. Attneave, Arnoult, 1956; Fetterman, 1992; Graham, 1992; Oliva i in., 2004; Snodgrass, Vanderwart, 1980]. Attneave [1957] bazując na teorii informacji Shannona uznał, że tym bardziej złożony jest obiekt im więcej zawiera on punktów, w których

załamuje się linia tworząca jego kontur. Arnoult [1960] twierdził, że miarami złożoności wielokątów są: liczba boków, stopień symetrii i spoistość (compactness), czyli stosunek kwadratu obwodu do pola powierzchni. Spoistość była uznawana za miarę złożoności obiektu także przez innych badaczy [Bethell-Fox, Shepard, 1988; Cooper, Podgorny, 1976; Podgorny, Shepard, 1983; Shepard, Podgorny, 1986; Smith, Dror, 2001]. Thomas [1968] definiował złożoność płaskich figur przez liczbę zawartych w niej kątów. Podobne kryterium złożoności przyjęli Cooper i Podgorny [1976] w badaniach nad rotacjami umysłowymi.

Przedstawione wskaźniki złożoności odnosiły się do obiektów 2D. Część z tych miar dotyczy także obiektów 3D, np. liczba punktów, w których zmienia się kierunek krzywizny figury lub bryły [Attneave, 1957; Gero, Kazakov, 2003; Sukumar i in., 2008]. Niejasne są jednak wzajemne relacje pomiędzy złożonością a wymiarowością obiektu. Hochberg i Brooks [1960] wykazali, że pewne cechy płaskiej figury, które są uznawane za wskaźniki jej złożoności mogą sprawić, że zmieni się jej organizacja przestrzenna. Zwiększenie liczby kątów, ich zróżnicowania oraz liczby linii tworzących figurę płaską może doprowadzić do tego, że większe będzie prawdopodobieństwo spostrzeżenia jej jako obiektu trójwymiarowego (ryc. 1).



Ryc 1. Wzrost złożoności figury dwuwymiarowej może sprawić, że zaczyna ona być spostrzegana jako obiekt trójwymiarowy.

Fig. 1. Increasing complexity of 2D object may be perceived as increase in three-dimensionality of this object.

Można więc zadać pytanie: Czy złożoność i wymiarowość to dwie odrębne cechy obiektów wizualnych, czy też wymiarowość jest jednym z wyznaczników złożoności? Na ten problem zwracają uwagę także Shepard i Metzler [1988] oraz Bauer i Jolicoeur [1996].

Podsumowując, nie istnieje obecnie taka definicja złożoności, na którą zgodziliby się wszyscy badacze zajmujący się tym zagadnieniem. Być może nie dysponujemy nawet jeszcze pełną listą cech, które ją warunkują. Podobnie zbyt mało wiemy na temat interakcji, w jakie wchodzi ze sobą te cechy i jaki to ma wpływ na poziom złożoności obiektu.

Taki stan rzeczy powoduje, że dotychczasowe badania dotyczące wpływu złożoności na przebieg rotacji umysłowych dostarczają niejednoznacznych wyników. Rezultaty wielu z nich wskazują na to, że złożoność kształtu obiektów wizualnych nie ma wpływu na przebieg rotacji umysłowych [Cooper, 1975; Cooper, Podgorny, 1976; Francuz, Oleś, Chumak, 2008; Gaggioli, Breining, 2001; Robertson, Palmer, 1983]. Innymi słowy, nie ma różnic między obiektami prostymi i obiektami złożonymi, co do czasu i/lub poprawności wykonania rotacji wyobraźniowej. Cooper [1975] twierdziła, że uczestnicy jej badań mogli zwracać uwagę na jakiś

jeden wyróżniający się element obiektu, nieistotne, prostego czy złożonego, i na tej podstawie dokonywali oceny rotacji. Przypuszczenia te znajdują potwierdzenie w wynikach badań Hochberga i Gellmana [1977], w których wykazano, że spośród obiektów o porównywalnym poziomie złożoności szybciej rotowane są te, które posiadają jakiś wyodrębniający się fragment. Cooper [1975] sugerowała także, że reprezentacja umysłowa obiektu jest uproszczonym obrazem jego rzeczywistej formy. Rotacje nie dokonują się na rzeczywistych obiektach, lecz na ich syntetycznych reprezentacjach umysłowych, stąd brak wpływu złożoności na ich przebieg. Jest to zgodne z założeniami teorii Biedermanna [1987], zgodnie z którą reprezentacja umysłowa każdego obiektu jest zbudowana z prostych geometrycznych brył (geonów). Dodatkowo Robertson i Palmer [1983] stwierdzili, że rotacja umysłowa jest jednolitym procesem, który przebiega holistycznie. Zgodnie z tym założeniem obiekty są rotowane w całości a stopień ich złożoności nie powinien mieć wpływu na efektywność przebiegu tego procesu.

Jest jednak wiele wyników badań, które wskazują na istnienie zależności między poziomem złożoności obiektu a czasem i/lub poprawnością jego rotacji umysłowej. Zakłada się tu, że obiekty nie są rotowane holistycznie lecz fragmentarycznie, kawałek po kawałku. Z tego punktu widzenia obiekty złożone powinny być rotowane wolniej niż obiekty proste [Bethell-Fox, Shepard, 1988; Folk, Luce, 1987; Smith, Dror, 2001; Yuille, Steiger, 1982. Smith i Dror [2001] trafnie zauważyli, że nawet przy założeniu o fragmentarycznym przebiegu rotacji poszczególne elementy obiektu mogą być rotowane sekwencyjnie albo symultanicznie. Analizując tylko czasy reakcji nie można wnioskować czy ewentualny bark różnic przemawia za rotacją holistyczną czy też za symultaniczną rotacją poszczególnych fragmentów. Smith i Dror wzięli więc pod uwagę także poprawność wykonania rotacji wyobraźniowej i wykazali, że wzrost złożoności obiektu wiąże się z jej spadkiem. Z kolei Folk i Luce [1987] wykazali, że złożoność obiektu wpływa na przebieg rotacji, gdy osoba badana jest zmuszona do utworzenia jego dokładnej reprezentacji umysłowej. Dzieje się tak, gdy zmiany w porównywanych obiektach są bardzo subtelne, w przeciwieństwie do stosowanych zazwyczaj całościowych transformacji bodźców w postaci lustrzanych odbić. Podobne wyniki uzyskał wcześniej Schwartz [1979] z zastrzeżeniem, że złożoność obiektu przestaje mieć znaczenie dla czasu wykonania zadania przy większych kątach rotacji.

Warto zauważyć, że niektóre zmienne przyjmują rolę moderatorów efektu złożoności. Bethell-Fox i Shepard [1988] stwierdzili, że zostaje on zniesiony dzięki treningowi, który prowadzi do wzrostu znajomości złożonych bodźców. Jak wykazali Hochberg i Gellman [1977] efekt złożoności jest też moderowany obecnością lub brakiem landmarków, czyli elementów w strukturze obiektu, które łatwo jest wyodrębnić abstrahując od jego całościowej złożoności.

Złożoność obiektu wpływa także na przebieg innych procesów poznawczych. Łatwiej jest nauczyć się obiektów prostych niż złożonych [Ellis, Muller, Tosti, 1966]. Wzrost złożoności bodźca wiąże się ze spadkiem jego rozpoznawalności [Ellis, Muller, Tosti, 1966; Price, 1968]. Różnicowanie przebiega lepiej w przypadku bodźców prostych niż złożonych zarówno wtedy, gdy decyzja jest podejmowana w trakcie prezentacji obiektów [Pellegrino i in., 1991], jak i wtedy gdy jest ona odroczone [Kayaert, Wagemans, 2009].

W badaniach własnych prezentowanych w niniejszym artykule przyjęliśmy założenie, że traktowanie złożoności kształtu obiektów wizualnych jako jednowymiarowego kontinuum jest dużym uproszczeniem. Podobnego zdania są także inni badacze [np. Fetterman, 1996; Oliva i in., 2004]. Złożoność w naszych badaniach nie była więc różnicowana jedynie na podstawie aspektu ilościowego (mała - duża). Uwzględniliśmy także jej aspekt jakościowy, przyjmując rozróżnienie na dwa typy złożoności: konturową i strukturalną. Nie oznacza to bynajmniej, że przyjęta przez nas typologia jest wyczerpująca. Na złożoność obiektu składa się zapewne wiele różnych cech, które mogą różnie wpływać na przebieg rotacji umysłowej.

Opierając się na wynikach badań, które wykazały istnienie zależności pomiędzy złożonością obiektu a przebiegiem rotacji umysłowej [por. np. Bethell-Fox, Shepard, 1988; Dror, Kosslyn, Waag, 1993; Dror, Ivey, Rogus, 1997; Folk, Luce, 1987; Pylyshyn, 1979, Smith, Dror, 2001; Yuille, Steiger, 1982] postawiliśmy dwie następujące hipotezy:

1. Obiekty o prostym konturze będą rotowane szybciej i poprawniej niż obiekty o złożonym konturze
2. Obiekty pozbawione odrębnych elementów wewnątrz konturu będą rotowane szybciej i bardziej poprawnie niż obiekty, które takie elementy posiadają.

W przypadku trajektorii ruchu gałek ocznych można oczekiwać, że obiekty o wyższym stopniu złożoności konturowej i strukturalnej będą pobudzały osoby badane do dokładniejszej eksploracji ich zawartości wizualnej niż obiekty proste. Powinno się to przejawiać m.in. większą liczbą punktów fiksacji i dłuższym czasem ich trwania na obiekcie złożonym oraz mniejszą amplitudą sakkad. Założenie to pociąga za sobą następujące hipotezy:

1. Osoby badane będą częściej fiksowały wzrok na obiektach o złożonym konturze niż na obiektach prostych.
2. Osoby badane będą częściej fiksowały wzrok na obiektach o dużej liczbie elementów wewnętrznych niż na obiektach, które takich elementów nie posiadają.
3. Osoby badane będą dłużej fiksowały wzrok na obiektach o złożonym konturze niż na obiektach prostych.
4. Osoby badane będą dłużej fiksowały wzrok na obiektach o dużej liczbie elementów wewnętrznych niż na obiektach, które takich elementów nie posiadają.
5. Amplituda sakkad będzie mniejsza w przypadku obiektów o złożonym konturze niż dla obiektów prostych.
6. Amplituda sakkad będzie mniejsza w przypadku obiektów o dużej liczbie elementów wewnętrznych niż w przypadku obiektów, które takich elementów nie posiadają.

Dwu- vs. trójwymiarowość rotowanego obiektu

Inną cechą obiektu często rozpatrywaną w kontekście rotacji umysłowych jest jego wymiarowość. W dotychczasowych badaniach nad tym zagadnieniem dość arbitralnie podchodzono do kwestii podziału bodźców na dwuwymiarowe i trójwymiarowe. Wystarczy zwrócić uwagę na fakt, że rzuty brył na płaszczyznę w jednych badaniach były traktowane jako obiekty trójwymiarowe [por. Jolicoeur i in., 1985; Shepard, Metzler, 1988] a w innych jako dwuwymiarowe [por. McWilliams, Hamilton, Muncer,

1997; Neubauer, Bergner, Schatz, 2010; Parsons, 1995; Robert, Chevrier, 2003]. Nieścisłości w interpretacji materiału bodźcowego są zapewne główną przyczyną rozbieżności wniosków dotyczących wpływu przestrzennej organizacji obiektu na efektywność wykonania rotacji umysłowej. W dotychczasowych eksperymentach wykorzystywano rozmaite typy obiektów. Oprócz dwóch skrajnych przypadków (figury płaskie vs. realne obiekty 3D) były to: wspomniane wcześniej rzuty brył 3D na płaszczyźnie, czyli obiekty quasi-trójwymiarowe (Quasi 3D) tworzone za pomocą grafiki komputerowej, obiekty prezentowane za pomocą różnych technik tworzenia iluzji trzeciego wymiaru: stereoskopu, anaglifów, rzutników i wyświetlaczy 3D (Stereo 3D). We wczesnych badaniach dotyczących wpływu wymiarowości na przebieg rotacji umysłowej jako bodźce 3D wykorzystywano rzuty przestrzennych brył na płaszczyźnie. Jolicoeur i inni [1985] wykazali, że dla kątów rotacji z przedziału 60° - 180° takie obiekty są rotowane znacznie wolniej niż figury dwuwymiarowe. Podobną, choć słabszą zależność uzyskali w swoich badaniach Shepard i Metzler (1988) - obiekty 3D rotowane są minimalnie wolniej niezależnie od wielkości kąta obrotu. Także Bauer i Jolicoeur [1996] stwierdzili, że obiekty dwuwymiarowe są rotowane szybciej i poprawniej niż trójwymiarowe. Złudzenie głębi zoperacjonalizowali oni w oparciu o wskazówki monokularne. W rzeczywistości spostrzeganie przestrzeni trójwymiarowej jest możliwe dzięki widzeniu dwuocznemu a oprócz jednoocznych wskazówek głębi wykorzystujemy też wskazówki binokularne. Badania, w których wykorzystano dwuoczne wskazówki głębi prowadzą do całkowicie odmiennych wniosków dotyczących wpływu wymiarowości obiektu na czas i/lub poprawność wykonania rotacji wyobraźniowej. Gaggioli i Breining [2001] stwierdzili, że obiekty prezentowane stereoskopowo są rotowane poprawniej niż ich płaskie odpowiedniki. Dodatkowo badania te wykazały, że rozumiana w ten sposób wymiarowość nie wpływa na czas rotacji. Potwierdzają to także eksperymenty Aitsiselmi'ego i Hollimana [2009]. Większą poprawność rotacji obiektów trójwymiarowych osiągnięto również w innych badaniach [McWilliams, Hamilton, Muncer, 1997; Neubauer, Bergner, Schatz, 2010; Parsons, 1995; Robert, Chevrier, 2003; Robert i Chevrier 2003] stwierdzili, że rotacja umysłowa prowadzona na bazie danych wzrokowych jest zarówno szybsza jak i bardziej poprawna w przypadku rzeczywistych obiektów trójwymiarowych niż w przypadku ich płaskich przedstawień. Istnieją także badania, na podstawie których można wykazać, że obiekty 2D są rotowane szybciej od obiektów 3D, ale te drugie są z kolei rotowane z większą poprawnością [Lawson, 2004; Lawson, 2009; Lawson, Bühlhoff, 2008].

Podsumowując, w badaniach, w których obiekty 3D były prezentowane stereoskopowo wykazano, że są one rotowane poprawniej niż odpowiadające im obiekty Quasi 3D prezentowane na płaszczyźnie (interpretowane tu jako obiekty dwuwymiarowe). Z tych samych badań wynika, że oba typy bodźców nie wpływają w odmienny sposób na czas potrzebny do wykonania rotacji umysłowej. Brak różnic w czasach reakcji próbowano tłumaczyć tym, że dostateczna ilość wskazówek monokularnych może być wystarczająca do przeprowadzenia rotacji obiektu trójwymiarowego. Dopiero w przypadku ich braku lub niejednoznaczności osoby badane odwołują się do dwuocznych wskazówek głębi [Brown, Gallimore, 1995]. Pizlo, Li i Steinman [2008] uważają, że rozbieżność dwuoczna (binocular disparity) nie ma istotnego znaczenia dla spostrzegania kształtu trójwymiarowych obiektów.

Wskazówka ta jest potrzebna do ustalania relacji pomiędzy obiektami znajdującymi się w przestrzeni trójwymiarowej [Pizlo, Li, Francis, 2005].

Dotychczasowe rezultaty badań nad związkami wymiarowości z efektywnością wykonania rotacji umysłowej prowadzą do następujących wniosków:

- Bodźce 3D prezentowane stereoskopowo i bodźce Quasi 3D są rotowane w podobnym tempie [Aitsiselmi, Holliman, 2009; Gaggioli, Breining, 2001].
- Obiekty 2D są rotowane szybciej niż obiekty Quasi 3D [Jolicoeur i in., 1985; Shepard, Metzler, 1988].
- Poprawność wykonania rotacji jest wyższa dla obiektów 3D prezentowanych stereoskopowo niż dla obiektów Quasi 3D [McWilliams, Hamilton, Muncer, 1997; Neubauer, Bergner, Schatz, 2010; Parsons, 1995; Robert, Chevrier, 2003].
- W eksperymentach wykorzystujących obiekty 2D nie analizowano poprawności wykonania rotacji umysłowej.

Biorąc pod uwagę przedstawione wyniki badań postawiliśmy następujące hipotezy odnośnie do wpływu przestrzennej organizacji bodźca na efektywność wykonania rotacji wyobraźniowej:

1. Obiekty Quasi 3D będą rotowane mniej poprawnie niż obiekty 2D i Stereo 3D, w przypadku których poprawność wykonania zadania jest podobna.

Hipoteza ta opiera się częściowo na wnioskach płynących z badań nad związkami wymiarowości obiektu z przebiegiem rotacji wyobraźniowej. Dotyczy to obiektów Stereo 3D i Quasi 3D. W odniesieniu do bodźców dwuwymiarowych przypuszczaliśmy, że będą one rotowane z taką samą poprawnością jak obiekty trójwymiarowe. Większa liczba błędów w ocenie rotacji obiektów Quasi 3D może wiązać się z koniecznością zrekonstruowania w umyśle reprezentacji obiektu trójwymiarowego na podstawie jego dwuwymiarowego przedstawienia. W przypadku obiektów 2D i prezentowanych stereoskopowo obiektów 3D liczba wymiarów w reprezentacji umysłowej i materiale bodźcowym jest tożsama.

2. Obiekty 2D będą rotowane szybciej niż obiekty Quasi 3D i Stereo 3D, w przypadku których czas wykonania zadania będzie porównywalny.

Hipoteza ta została postawiona na podstawie uzyskanych dotychczas wyników badań dotyczących poszukiwania zależności pomiędzy przestrzenną organizacją obiektu a efektywnością wykonania rotacji umysłowej.

Metoda

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 90 osób (49 kobiet i 41 mężczyzn). Byli to studenci lubelskich uczelni z kierunków o profilu humanistycznym lub społecznym. Wiek osób badanych mieścił się w granicach 18-30 lat ($M = 22$, $SD = 2,3$). Każda z osób została losowo przydzielona do jednej z dziewięciu niezależnych grup eksperymentalnych.

Materiały

W trzech grupach, w których prezentowane były obiekty 2D eksperyment wyświetlano na 20" monitorze LCD o rozdzielczości 1900 x 1200 pikseli. Dystans między oczyma osoby badanej a monitorem wynosił 65 cm. W trzech grupach, w których prezentowane były obiekty Quasi3D, bodźce wyświetlano na monitorze LCD o rozdzielczości 1680 x 1050 pikseli. Twarz osoby badanej znajdowała się w takiej samej odległości od monitora jak poprzednio. Dla pozostałych trzech grup (obiekty Stereo 3D) bodźce prezentowano na ekranie do projekcji o wymiarach 3,5m x 2,3m i rozdzielczości 1400 x 1050 pikseli za pomocą rzutnika multimedialnego do prezentacji obrazu stereoskopowego (system Inition, model Duality). Dystans między głową osoby badanej a ekranem wynosił 4,75m. Bodźce trójwymiarowe wykorzystane w sześciu ostatnich grupach zostały stworzone w programie 3ds MAX 2009 64-bit. We wszystkich przypadkach rotowane obiekty mieściły się w okręgu o średnicy odpowiadającej kąтови pola widzenia o szerokości około 24,6°.

W badaniu wykorzystany został okulograf SMI iView X Hi Speed (częstotliwość odświeżania: 1250 Hz, latencja: 0,5ms, rozdzielczość pomiaru: 0,01°), który w grupach ze stereoskopową prezentacją obrazu został wyposażony w dodatkową szybkę polaryzacyjną. Była ona przymocowana do okulografu za pomocą metalowych klipsów tak aby nie ograniczały pola widzenia osobie badanej. W każdej grupie, kolumna okulografu, była ustawiona dokładnie na przeciwko osi wertykalnej ekranu co jest szczególnie ważne podczas prezentacji stereoskopowej (zapobieganie zniekształceniu efektu 3D). Osoby badane udzielały odpowiedzi za pomocą przycisków na klawiaturze Ergodex DX1 o zmiennym układzie klawiszy. Klawiatura użyta w badaniach posiadała trzy przyciski. Dolny przycisk służył do przechodzenia przez kolejne plansze instrukcji. Przyciski w górnej części klawiatury służyły do podejmowania decyzji przez osoby badane w trakcie właściwego eksperymentu.

Eksperyment został napisany w programie E-Prime, w którym prowadzony był także pomiar czasu i poprawności wykonania zadań przez osoby badane.

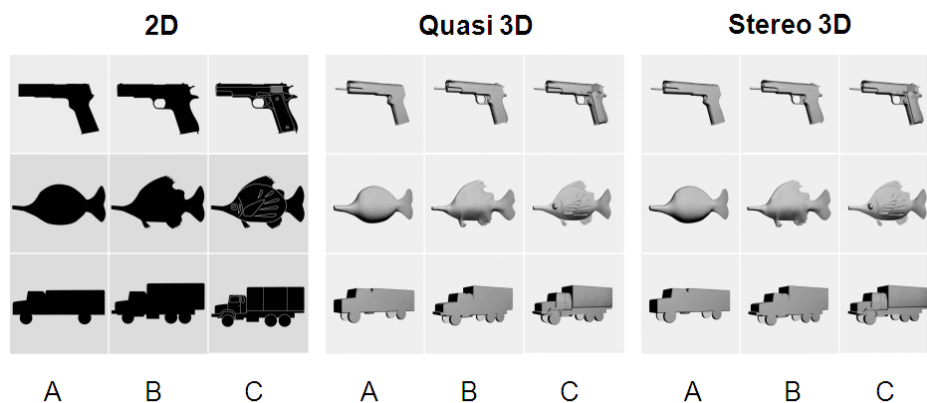
Program IDF Converter pozwolił na przetworzenie plików utworzonych w programie iView X (szczegółowe informacje dotyczące trajektorii ruchu gałek ocznych: kolejność, liczba, położenie i czas trwania fiksacji). Informacje z tych plików zostały połączone z informacjami zapisanymi w E-Prime a następnie odpowiednio posegregowane za pomocą programu PNP-Gaze.

Bodźce

W eksperymencie wykorzystano 18 obiektów (9 w kategorii 2D i 9 w kategorii 3D), które zostały wybrane na podstawie wyników badań pilotażowych. Bodźce z kategorii 3D zostały wykorzystane zarówno w warunkach prezentacji stereoskopowej (Stereo 3D), jaki i na płaskim ekranie (Quasi 3D). W każdej z kategorii obiekty różniły się ze względu na dwie zmienne niezależne: (1) rodzaj złożoności oraz (2) poziom złożoności. Uwzględnione zostały dwa rodzaje złożoności: (1a) konturowa, mierzona za pomocą liczby punktów, w których dochodzi do zmiany kierunku linii znajdującej się na obwodzie obiektu oraz (1b) strukturalna, przejawiająca się w liczbie odrębnych elementów zawartych w granicach konturu obiektu. W przypadku złożoności konturowej jej poziom przybierał jedną z dwóch wartości: (a) mała albo (b) duża liczba punktów, w których dochodzi do zmiany kierunku linii konturu. Poziom

złożoności strukturalnej także przyjmował jedną z dwóch wartości: (a) posiadanie bądź (b) brak wewnętrznych elementów (ryc. 2).

PRZESTRZENNA ORGANIZACJA OBIEKTU



A-B – różny poziom złożoności konturowej, ten sam poziom złożoności strukturalnej

B-C – ten sam poziom złożoności konturowej, różny poziom złożoności strukturalnej

Ryc. 2. Bodźce użyte w badaniach.

Fig. 2. Stimuli presented in experiment.

Procedura

Procedura badania została skonstruowana na bazie paradygmatu rotacji umysłowych Sheparda i Metzler [1971]. Badanie miało charakter indywidualny. Zostało ono przeprowadzone w Laboratorium Psychoneurofizjologicznym przy Katedrze Psychologii Eksperymentalnej Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II. Osoby badane wyraziły zgodę na udział w eksperymencie.

W badaniu wprowadzono 9 warunków eksperymentalnych różniących się (1) sposobem wyświetlania bodźców: (1a) obiekty 2D, prezentowane na płaskim ekranie komputera, (1b) obiekty Quasi 3D, czyli obiekty 3D prezentowane na płaskim ekranie komputera, (1c) obiekty Stereo 3D, prezentowane stereoskopowo oraz (2) poziomem i rodzajem złożoności bodźców: (2a) obiekty o prostym konturze i pozbawione elementów wewnątrz, (2b) obiekty o złożonym konturze i pozbawione elementów wewnątrz, (2c) obiekty o złożonym konturze i posiadające elementy wewnątrz.

Na początku badania każda osoba zapoznawała się z klawiaturą, za pomocą której miała udzielać odpowiedzi. W trakcie badania klawiatura była umieszczona za kolumną okulografu.

Po tym etapie osoby badane zapoznawały się z instrukcją a następnie przechodziły krótką sesję treningową skonstruowaną według schematu, który występował też we właściwym eksperymencie. Trening składał się z 4 zadań. Aby przejść do eksperymentu należało udzielić przynajmniej 3 poprawnych odpowiedzi; w przeciwnym razie trening był powtarzany. W tej części po każdej próbie osoba

badana otrzymywała informację zwrotną na temat poprawności podjętej decyzji. Kolejnym etapem była kalibracja okulo grafu, po której rozpoczynała się właściwa część badania. Eksperyment składał się z 30 zadań. Schemat przebiegu pojedynczej próby eksperymentalnej wyglądał następująco. Przez 1 sekundę na monitorze była wyświetlana szara plansza z napisem „UWAGA”. Następnie przez 2 sekundy prezentowana była szara plansza z zaznaczonym punktem fiksacji. Po niej przez 2 sekundy wyświetlany był obiekt wzorcowy a następnie zastępowała go ponownie plansza z punktem fiksacji (2s). W dalszej kolejności wyświetlany był losowo ten sam obiekt co wcześniej, ale tym razem był on albo tylko zrotowany o 60°, 120°, 180°, 240°, 300°, albo jednocześnie zrotowany i przedstawiony w lustrzanym odbiciu. Zadaniem osoby badanej polegało na stwierdzeniu jakiego przekształcenia dokonano na prezentowanym obiekcie poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku na klawiaturze. We właściwej części eksperymentu badani nie dostawali informacji zwrotnej na temat poprawności udzielanych odpowiedzi. Po naciśnięciu lewego bądź prawego przycisku automatycznie pojawiała się plansza z napisem „UWAGA” a następnie cały cykl powtarzał się 30 razy.

Czas wyświetlania drugiego obiektu w parze nie był ograniczony. Osoba badana mogła mu się przyglądać tak długo, jak chciała. Bodźce były wyświetlane w kolejności losowej.

W trakcie badania mierzona była poprawność i czas udzielania odpowiedzi. Rejestrowana była także trajektoria ruchu gałek ocznych z uwzględnieniem takich parametrów jak czas, kolejność, liczba i położenie punktów fiksacji wzroku na obiektach. Czas reakcji mierzono od momentu wyświetlenia drugiego bodźca z pary do momentu przyciśnięcia jednego z dwóch klawiszy.

W badaniach kontrolowano płeć osób badanych. Ustawienie aparatury i przeprowadzenie eksperymentu z udziałem jednej osoby badanej zajmowało ok. 20 min.

Analiza danych

Na uzyskanych danych została przeprowadzona analiza wariancji dla grup niezależnych ANOVA (3x3), w której czynnikami grupującymi były: wymiarowość obiektu (2D, Quasi 3D, Stereo 3D) oraz jego złożoność (prosty kontur + brak elementów wewnętrznych, złożony kontur + brak elementów wewnętrznych, złożony kontur + elementy wewnętrzne). Wzięliśmy pod uwagę następujące zmienne zależne:

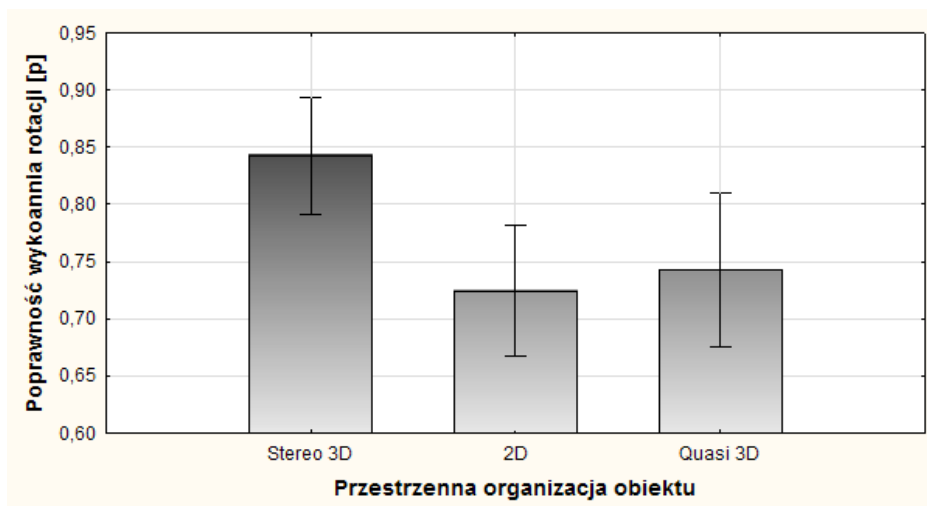
- Poprawność wykonania rotacji - poszczególne decyzje osób badanych dotyczące tego czy obiekt jest tylko zrotowany czy też zrotowane jest jego lustrzane odbicie były porównywane z faktyczną transformacją dokonaną na bodźcu. Jeśli decyzja była prawidłowa wskaźnik poprawności wykonania zadania przyjmował wartość 1. W przypadku błędnej odpowiedzi jego wartość wynosiła 0. Analizy dotyczyły częstości podejmowania prawidłowych decyzji.
- Czas wykonania rotacji - czas mierzony od momentu pojawienia się obiektu zrotowanego do momentu naciśnięcia odpowiedniego przycisku na klawiaturze, co jest równoznaczne z podjęciem określonej decyzji. Zmienna ta została poddana transformacji logarytmicznej aby zapewnić normalność rozkładu danych.
- Liczbę fiksacji - analizy prowadzone były na sumie oraz na średniej liczbie punktów fiksacji na obiekcie zrotowanym dla każdej osoby badanej.

- Średni czas trwania fiksacji - analizie poddano średnie czasy fiksacji wzroku na obiekcie zrotowanym dla każdej z osób.
- Średnia i sumaryczna długość sakkad - średnia długość sakkad i suma długości sakkad na obiekcie zrotowanym dla każdej z osób badanych.
- Wskaźnik dopasowania trajektorii ruchu gałek ocznych uzyskany za pomocą wskaźnika ScanMatch [Cristino i in., 2010] - wielkość dopasowania pomiędzy trajektorią ruchu gałek ocznych na obiekcie niezrotowanym a trajektorią dla obiektu zrotowanego. Uwzględnia ona położenie i kolejność punktów fiksacji. Analizie poddana została średnia wartość wskaźnika dla każdej z osób.

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono kilka interesujących zależności.

Przestrzenna organizacja obiektu istotnie różnicuje poprawność wykonania rotacji umysłowej – $F(2,81) = 5,447$; $p < 0,006$; $\eta^2 = 0,12$. Analiza post-hoc wykonana testem NIR wskazuje, że obiekty Stereo 3D są rotowane poprawniej niż obiekty 2D i Quasi 3D. Postawiona przez nas hipoteza dotycząca zależności pomiędzy wymiarowością bodźca a poprawnością jego rotacji umysłowej potwierdziła się tylko częściowo. Osoby badane mają większy problem z rotacją obiektów Quasi 3D niż Stereo 3D. Poprawność wykonania rotacji dla figur płaskich jest podobna do poprawności dla obiektów Quasi 3D, a nie do bodźców Stereo 3D, jak to wyraziliśmy w hipotezie (ryc. 3).

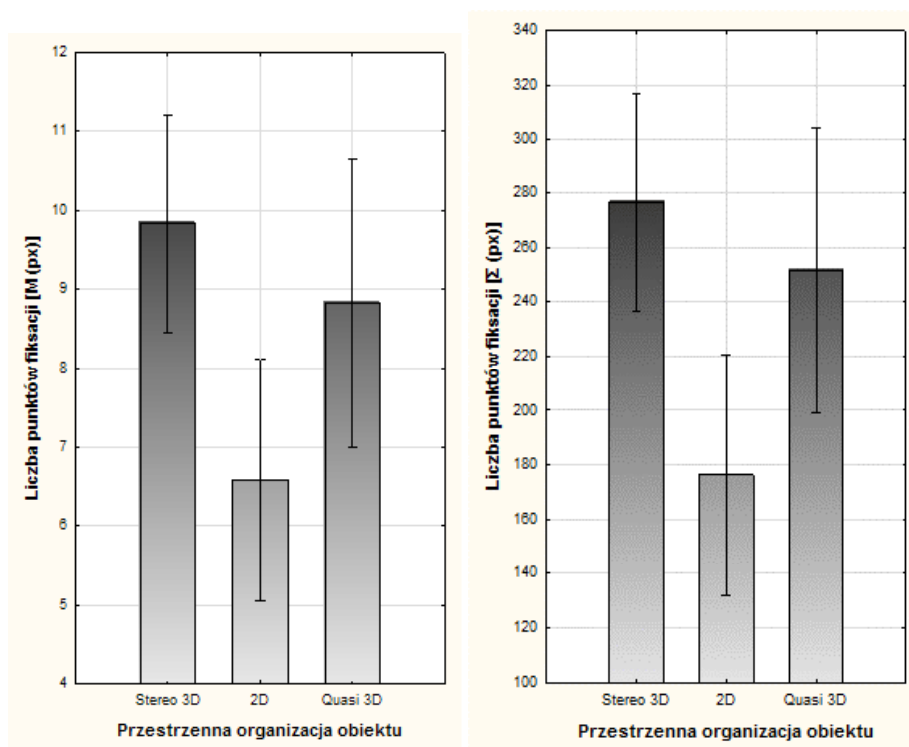


Ryc. 3. Związek poprawności wykonania rotacji z wymiarowością obiektu.

Fig. 3. Relationship between the accuracy of mental rotation and dimensionality of objects.

Nie potwierdziła się hipoteza dotycząca związku wymiarowości bodźca z czasem wykonania rotacji umysłowej. Okazało się, że zależność pomiędzy obiema zmiennymi jest nieistotna statystycznie.

W przypadku analiz dotyczących trajektorii ruchu gałek ocznych okazało się, że przestrzenna organizacja bodźca ma istotny statystycznie wpływ na średnią liczbę punktów fiksacji na obiekcie zrotowanym - $F(2,81) = 5,045$; $p < 0,009$; $\eta^2 = 0,11$ – oraz na łączną liczbę punktów fiksacji na wszystkich obiektach zrotowanych - $F(2,81) = 5,824$; $p < 0,004$; $\eta^2 = 0,13$. Osoby badane częściej fiksowały wzrok na obiektach Stereo 3D niż na obiektach 2D. Obiekty Quasi 3D nie różnią się pod tym względem od pozostałych typów bodźców (zob. ryc. 4).



Ryc. 4. Związek pomiędzy liczbą punktów fiksacji na obiekcie zrotowanym a wymiarowością bodźca.

Fig. 4. Relationship between the number of fixation points on the rotated object and dimensionality of object.

Wymiarowość wpływa na stopień dopasowania trajektorii ruchu gałek ocznych pomiędzy obiektem niezrotowanym, a obiektem zrotowanym - $F(2,81) = 7,539$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,16$. Większe dopasowanie trajektorii charakteryzuje obiekty Stereo 3D w porównaniu do pozostałych typów bodźców (ryc. 5).



Ryc. 5. Związek pomiędzy podobieństwem trajektorii na obiektach niezrotowanych i zrotowanych a wymiarowością obiektów.

Fig. 5. Relationship between match trajectories of eye movements on rotated and non-rotated objects and dimensionality of objects.

Przestrzenna organizacja bodźca nie różnicuje średnich czasów trwania fiksacji na obiekcie zrotowanym.

Wymiarowość wpływa istotnie na średnią długość sakkad na obiekcie zrotowanym - $F(2,81) = 6,933$; $p < 0,002$; $\eta^2 = 0,15$ - ale nie ma związku z ich sumą. Średnia długość sakkad jest większa w przypadku obiektów dwuwymiarowych niż dla obiektów Stereo 3D i Quasi 3D (zob. ryc. 6).



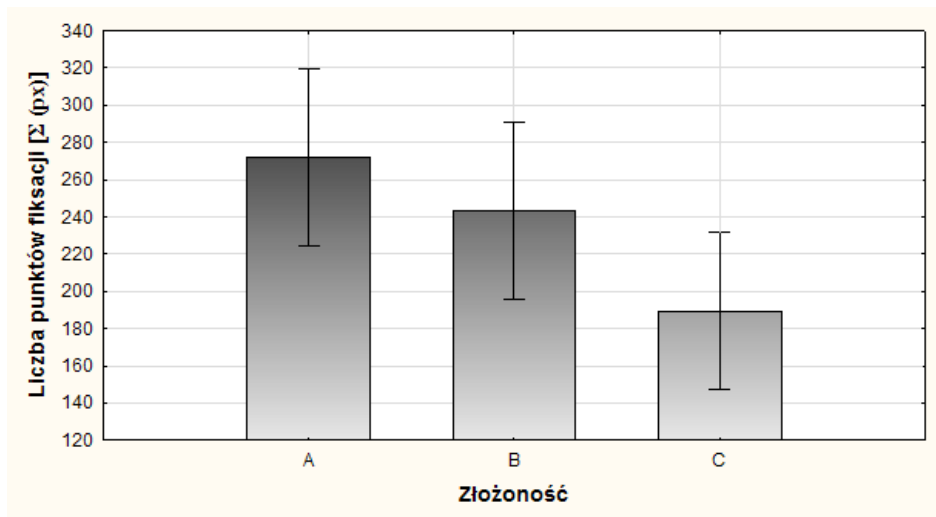
Ryc. 6. Związek pomiędzy długością sakkad a wymiarowością obiektu.

Fig. 6. Relationship between the amplitude of eye movement and dimensionality of object.

Nie potwierdziła się żadna z hipotez dotyczących związku pomiędzy złożonością obiektu a efektywnością wykonania rotacji wyobraźniowej. Stopień komplikacji konturu i liczba elementów w jego wnętrzu nie wpływa ani na czas, ani na poprawność wykonania rotacji umysłowej. Brak jest także interakcji złożoności z wymiarowością

w tym zakresie.

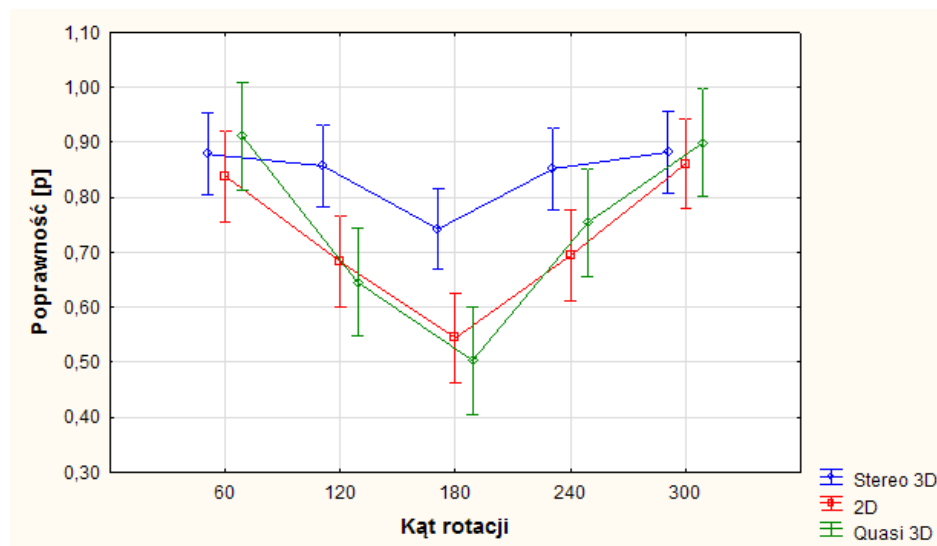
Złożoność obiektu istotnie różnicuje łączną liczbę punktów fiksacji wykonanych na obiektach poddanych rotacji - $F(2,81) = 3,512$; $p < 0,034$; $\eta^2 = 0,08$. Osoby badane rzadziej fiksowały wzrok na obiektach o dużej złożoności strukturalnej niż na obiektach o małym poziomie tego rodzaju złożoności (ryc. 7). Różnica w liczbie punktów fiksacji pomiędzy obiektami o odmiennym poziomie złożoności konturu jest nieistotna statystycznie. Złożoność nie ma także wpływu na pozostałe, analizowane tutaj parametry trajektorii ruchu gałek ocznych: średnią liczbę punktów fiksacji na obiekcie zrotowanym, sumę i średni czas trwania fiksacji, sumę i średnią długość sakkad, wskaźnik dopasowania trajektorii ScanMatch. Nie wykryto także efektu interakcji pomiędzy złożonością a wymiarowością w odniesieniu do wspomnianych wyżej zmiennych zależnych.



Ryc. 7. Związek pomiędzy liczbą punktów fiksacji na obiekcie zrotowanym a złożonością bodźca.

Fig. 7. Relationship between the number of fixation points on the rotated object and complexity of object.

Uzyskana w badaniach Sheparda i Metzler [1971] zależność pomiędzy kątem rotacji obiektu a poprawnością wykonania jego rotacji umysłowej jest bardziej typowa dla obiektów 2D i Quasi 3D niż dla obiektów Stereo 3D - $F(8,405) = 2,323$; $p < 0,019$; $\eta^2 = 0,04$. W przypadku obiektów 2D i Quasi 3D im większy jest kąt rotacji w przedziale $0^\circ - 180^\circ$ oraz im mniejszy kąt rotacji od 360° do 180° tym więcej błędów w wykonaniu rotacji umysłowej. Dla obiektów Stereo 3D linia przedstawiająca zależność pomiędzy kątem rotacji a poprawnością wykonania rotacji umysłowej jest bardziej spłaszczona. W przypadku tego typu bodźców poprawność przeprowadzenia rotacji przyjmuje wysokie wartości dla wszystkich kątów rotacji. Bodźce Stereo 3D odróżniają się od pozostałych typów obiektów szczególnie przy wielkości kąta rotacji zbliżonej do 180° . Przy skrajnych kątach rotacji (tutaj 60° i 300°) różnice w poprawności rotacji obiektów zanikają (ryc. 8).



Ryc. 8. Zależność pomiędzy wielkością kąta rotacji a poprawnością wykonania rotacji umysłowej dla obiektów 2D, Quasi 3D i Stereo 3D.

Fig. 8. Relationship between the angle of rotation and the accuracy of the mental rotation for 2D, quasi-3D and full-3D objects.

Dyskusja

Wyniki badań prezentowanych w niniejszym artykule ujawniają, że obecność wskazówek binokularnych ma istotne znaczenie dla poprawności wykonania zadania opartego na paradygmacie rotacji mentalnych. Obiekty Stereo 3D są rotowane poprawniej niż obiekty 2D i Quasi 3D. Ta własność obiektów Stereo 3D sprawia, że typowa zależność pomiędzy wielkością kąta rotacji a poprawnością wykonania rotacji mentalnej jest w ich wypadku mniej wyraźna niż dla obiektów 2D i Quasi 3D. Większa poprawność wiąże się tu z liczbą fiksacji wykonanych na obiekcie zrotowanym, która także jest istotnie większa w przypadku obiektów Stereo 3D niż dla pozostałych typów bodźców. Biorąc pod uwagę, że przestrzenna organizacja bodźca nie różnicuje, ani czasu potrzebnego do wykonania rotacji umysłowej, ani czasu trwania fiksacji można stwierdzić, że osoby badane znacznie efektywniej skanowały obiekty Stereo 3D niż pozostałe. Osoby badane, w porównywalnym czasie częściej fiksowały na nich wzrok i wykonywały krótsze ruchy skokowe niż ci uczestnicy badania, którzy operowali obiektami 2D i Quasi 3D. Większa liczba fiksacji pozwala na zdobycie większej porcji informacji na temat kształtu obiektów, co przekłada się na lepszą trafność ich różnicowania. Z kolei krótsze sakkady pozwalają na ograniczenie negatywnych skutków procesu supresji rotacji wyobraźniowej [Irwin, Brockmole, 2000].

Z poprawnością wykonania rotacji umysłowej koresponduje także stopień dopasowania trajektorii ruchu gałek ocznych pomiędzy obiektem niezrotowanym a zrotowanym. Jest on istotnym predyktorem poprawności wykonania rotacji umy-

słowej i przyjmuje wyższe wartości dla obiektów Stereo 3D niż pozostałych. Nadal jednak nie wiadomo dlaczego przestrzenna organizacja bodźca jest związana z ze specyficzną charakterystyką trajektorii ruchu gałek ocznych? Możliwe, że sposób prezentacji obiektów (za pomocą rzutnika obrazu stereoskopowego) spowodował, iż osoby badane były bardziej zaangażowane percepcyjnie w tych warunkach niż w pozostałych. Jednak wówczas można by się spodziewać, że osoby badane oprócz częstszego fiksowania wzroku na obiekcie będą się charakteryzowały także dłuższymi czasami trwania fiksacji a co za tym idzie dłuższymi czasami reakcji podczas wykonywania rotacji. Brak różnic w czasach rotacji dla obiektów Stereo 3D i Quasi 3D jest zgodny z wcześniejszymi doniesieniami na ten temat [Aitsiselmi, Holliman, 2009; Gaggioli, Breining, 2001].

W badaniach nie potwierdziły się hipotezy dotyczące związku złożoności obiektów z efektywnością wykonania rotacji wyobrażeniowej. Zgodnie z rezultatami wielu badań, które wykazały wpływ złożoności bodźca na czas i/lub poprawność wykonania rotacji umysłowej [Bethell-Fox, Shepard, 1988; Dror, Ivey, Rogus, 1997; Folk, Luce, 1987; Pylyshyn, 1979, Smith, Dror, 2001] przypuszczaliśmy, że zarówno wzrost złożoności konturowej jak i strukturalnej powinien przejawiać się w spadku poprawności wykonania rotacji i jednocześnie w wydłużeniu się czasu potrzebnego do jej wykonania. Uwzględnienie właśnie tych rodzajów złożoności ma swoje korzenie w eksperymentach dotyczących poszukiwania cech, które składają się na złożoność obiektu. Wśród nich wyróżniono poziom komplikacji konturu [Attneave, 1954; Sukumar i in., 2008], jak i liczbę elementów w jego obrębie [Oliva i in., 2004; Sukumar i in., 2008]. Okazało się, że poziom złożoności, niezależnie od jej rodzaju, nie wpływa istotnie na żaden ze wskaźników efektywności wykonania zadania. Rezultaty naszego eksperymentu są analogiczne do tych jakie uzyskali Cooper [1975] oraz Cooper i Podgorny [1976] a także później Gaggioli i Breining [2001] oraz Francuz, Oleś i Chumak (2008).

Brak wpływu złożoności obiektu na czas i poprawność przeprowadzenia rotacji umysłowej przemawia za tym, że jest ona procesem holistycznym. Szczególne znaczenie ma tutaj brak różnic w poprawności wykonania zadania opartego na tym paradygmacie, co zaznaczyli Smith i Dror [2001]. To, że złożoność obiektu nie ma wpływu na czas wykonania rotacji umysłowej wyklucza możliwość, że jest ona fragmentaryczna i przebiega sekwencyjnie, kawałek po kawałku. W tym wypadku im bardziej złożony jest bodziec, tym więcej elementów musiałoby być rotowanych jeden po drugim. To spowodowałoby, że rotacja obiektów złożonych byłaby bardziej czasochłonna niż w przypadku prostych bodźców a tak nie jest.

Brak różnic w poprawności wykonania zadania rotacji pozwala z kolei odrzucić hipotezę o fragmentarycznej naturze rotacji umysłowej, która prowadzona byłaby symultanicznie, czyli na wszystkich elementach jednocześnie. Zgodnie z tym założeniem jednoczesne prowadzenie w umyśle takich operacji powinno się przejawiać większą liczbą błędów w przypadku rotacji obiektów złożonych. Jedynie rotacja wyobrażeniowa prowadzona na uproszczonej reprezentacji umysłowej bodźca może wyjaśnić wyniki uzyskane w prezentowanym tutaj eksperymencie. Reprezentacja umysłowa bodźca nie odzwierciedla wszystkich cech obiektu wizualnego lecz tylko te, które z punktu widzenia osób badanych są najważniejsze dla poprawnego wykonania zadania. Znajduje to potwierdzenie w fakcie, że złożoność obiektu nie ma

związku z większością składowych trajektorii ruchu gałek ocznych ani z poziomem dopasowania trajektorii dla obiektów zrotowanych i niezrotowanych. Reprezentacja umysłowa jest schematycznym ujęciem bodźca i redukuje jego złożoność, co postulują także Biederman [1987] w swojej teorii rozpoznawania obiektów na podstawie komponentów strukturalnych. Dzięki temu zarówno obiekty proste, jak i złożone mogą być rotowane z porównywalną poprawnością. Podobnie twierdzili także Cooper [1975] oraz Cooper i Podgorny [1976].

Brak elementów w obrębie konturu obiektu pobudza osoby badane do częstszego fikowania wzroku. Ta zależność nie jest w pełni zrozumiała i wymaga dalszych badań. Bardziej logiczne wydawałoby się, że to właśnie obecność dodatkowych elementów powinna przyciągać wzrok osób badanych.

Badania nad rotacjami umysłowymi są prowadzone od lat 70. ubiegłego wieku. Mimo to nadal jest wiele niejasności co do ich natury i mechanizmu, na którym się opierają. W naszych badaniach staraliśmy się określić relacje pomiędzy złożonością i przestrzenną organizacją bodźca a efektywnością wykonania rotacji umysłowej. Okazało się, że uwzględnione przez nas rodzaje złożoności nie mają związku z rotacją umysłową. Złożoność jest wielowymiarowym konglomeratem różnych cech. Poza tym złożoność kształtu nie jest jednoznaczna z całościową złożonością obiektu. Można tu jeszcze uwzględnić: złożoność funkcjonalną, złożoność wizualną związaną z kolorystyką obiektu, itp.

Wykazaliśmy, że rotacja umysłowa obiektów Stereo 3D charakteryzuje się większą poprawnością niż rotacja bodźców 2D i Quasi 3D. Pełny obraz tego, jak przestrzenna organizacja bodźca wpływa na efektywność wykonania rotacji umysłowej wymaga prowadzenia dalszych badań. W przypadku obiektów Stereo 3D ciekawe jest także to, w jakich warunkach jednooczne wskazówki głębi są wystarczające do przeprowadzenia rotacji umysłowej a kiedy konieczne staje się odwołanie do wskazówek dwuocznych. W tym celu należy przeprowadzić kompleksowe badania, w których porównana zostanie efektywność wykonania rotacji wyobrazeniowej na: obiektach 2D, dwuwymiarowych ilustracjach obiektów 3D, wirtualnych obiektach 3D z małą liczbą wskazówek głębi, wirtualnych obiektach 3D z dużą liczbą wskazówek głębi, obiektach prezentowanych stereoskopowo, obiektach wirtualnych prezentowanych w technologii 3D oraz rzeczywistych obiektach trójwymiarowych.

Pismiennictwo

1. Aitsiselmi, Y., Holliman, N.S. (2009). Using mental rotation to evaluate the benefits of stereoscopic displays. *Stereoscopic Displays and Applications XX Proceedings of the SPIE*, 7237.
2. Arnoult, M.D. (1960). Prediction of perceptual responses from structural characteristics of the stimulus. *Perceptual and Motor Skills*, 11, 261-268.
3. Attneave, F. (1957). Physical determinants of the judged complexity of shapes. *Journal of Experimental Psychology*, 53, 221-227.
4. Attneave, F., Arnoult, M.D. (1956). The quantitative study of shape and pattern perception. *Psychological Bulletin*, 53, 452-471.

5. Bauer, B., Jolicoeur, P. (1996). Stimulus dimensionality effects in mental rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 82-94.
6. Bethell-Fox, C.E., Shepard, R. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 12-23.
7. Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115-147.
8. Brown, M.E., Gallimore, J.J. (1995). Visualization of three-dimensional structure during computer-aided design, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7, 37-56.
9. Chen, Y., Sundaram, H. (2005). Estimating complexity of 2D shapes. Artykuł zaprezentowany podczas IEEE. 7th Workshop on Multimedia Signal Processing, Shanghai, China.
10. Cooper, L.A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20-43.
11. 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.
12. Cooper, L.A., Shepard, R.N. (1973). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory and Cognition*, 1, 246-250.
13. Cover, T.M., Gacs, P., Gray, R.M. (1989). Kolmogorov's contributions to information theory and algorithmic complexity. *Annals of Probability*, 17, 840-865.
14. Cristino, F., Mathôt, S., Theeuwes, J., Gilchrist, I. D. (2010). ScanMatch: A novel method for comparing fixation sequences. *Behavior Research Methods*, 42, 692-700.
15. Dror, I.E., Ivey, C., Rogus, C. (1997). Visual mental rotation of possible and impossible objects. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4, 242-247.
16. Dror, I.E., Kosslyn, S.M., Waag, W.L. (1993). Visual-spatial abilities of pilots. *Journal of Applied Psychology*, 78, 763-773.
17. Ellis, H.C., Muller, D.G., Tosti, D.T. (1966). Stimulus meaning and complexity as factors in the transfer of stimulus predifferentiation. *Journal of Experimental Psychology*, 71, 629-633.
18. Fetterman, J.G. (1996). Dimensions of stimulus complexity. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22, 3-18.
19. 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.

20. Francuz, P., Oleś, M., Chumak, M. (2008). Umysłowa rotacja obiektów semantycznych i asemantycznych umieszczonych w naturalnym kontekście. *Przegląd Psychologiczny*, 51, 235-260.
21. Gaggioli, A., Breining, R. (2001). Perception and cognition in immersive Virtual Reality. [W:] G. Riva, F. Davide (red.), *Communications through virtual technologies: identity, community and technology in the communication age*. Amsterdam: IOS Press, 71-86.
22. Gero, J., Kazakov, V. (2004). On measuring the visual complexity of 3D objects. *Journal of Design Sciences and Technology*, 12, 35-44.
23. Graham, N. (1992). Breaking the visual stimulus into parts. *Current Directions in Psychological Science*, 1, 55-61.
24. Hochberg, J.H., Brooks, V. (1960). The psychophysics of form: Reversible perspective drawings of spatial objects. *American Journal of Psychology*, 73, 337-354.
25. Hochberg, J.H., Gellman, L. (1977). The effect of landmark features on „mental rotation” times. *Memory and Cognition*, 5, 23-26.
26. Irwin, D.E., Brockmole, J.R. (2000). Mental rotation is suppressed during saccadic eye movements. *Psychonomic Bulletin and Review*, 7, 654-661.
27. Jolicoeur, P., Regehr, S., Smith, L., Smith, G. (1985). Mental rotation of representations of two-dimensional and three-dimensional objects. *Canadian Journal of Psychology*, 39, 100-129.
28. Kayaert, G., Wagemans, J. (2009). Delayed shape matching benefits from simplicity and symmetry. *Vision Research*, 49, 708-717.
29. Kozhevnikov, M., Royan, J., Blazhenkova, O., Gorbunov, A. (2008). The role of immersivity in three-dimensional mental rotation. [W:] J. S. Gero, A. K. Goel (red.), *Design computing and cognition: Proceedings of the Third Conference on Design Computing and Cognition*. Springer, 143-157.
30. Lawson, R. (2004). View sensitivity increases for same-shape matches if mismatches show pairs of more similar shapes. *Psychonomic Bulletin and Review*, 11, 896-902.
31. Lawson, R. (2009). A comparison of the effects of depths rotation on visual and haptic three-dimensional object recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 911-930.
32. Lawson, R., Bühlhoff, H.H. (2008). Using morphs of familiar objects to examine how shape discriminability influences view sensitivity. *Perception and Psychophysics*, 70, 853-877.
33. McWilliams, W., Hamilton, C.J., Muncer, S.J. (1997). On mental rotation in three dimensions. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 297-298.

34. Neubauer, A.C., Bergner, S., Schatz, M. (2010). Two- vs. three-dimensional presentation of mental rotation task: Sex differences and effects of training on performance and brain activation. *Intelligence*, 38, 529-539.
35. Oliva, A., Mack, M.L., Shrestha, M., Peeper, A. (2004). Identifying the perceptual dimensions of visual complexity of scenes. Paper presented at the 26th annual meeting of the Cognitive Science Society, Chicago, IL.
36. Parsons, L.M. (1995). Inability to reason an object's orientation using an axis and angle of rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 1259-1277.
37. Pellegrino, J.W., Fischer, S.C., Doane, S.M., 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.
38. Pizlo, Z., Li, Y., Francis, G. (2005). A new look on binocular stereopsis. *Vision Research*, 45, 2244-2255.
39. Pizlo, Z., Li, Y., Steinman, R.M. (2008). Binocular disparity only comes into play when everything else fails; a finding with broader implications than one might suppose. *Spatial Vision*, 21, 495-508.
40. Podgorny, P., Shepard, R.N. (1983). Distribution of visual attention over space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 380-393.
41. Price, R. (1968). Effects of complexity, association value, and learning on the recognition of random shapes. *Canadian Journal of Psychology*, 22, 338-398.
42. Pylyshyn, Z.W. (1979). The rate of mental rotation of images: A test of a holistic analogue hypothesis. *Memory and Cognition*, 7, 19-28.
43. Rissanen, J. (1986). Stochastic complexity and modeling. *Annals of Statistics*, 14, 1080-1100.
44. Robert, M., Chevrier, E. (2003). Does men's advantage in mental rotation persist when real three-dimensional objects are either felt or seen? *Memory and Cognition*, 31, 1136-1145.
45. Robertson, L.C., Palmer, S.E. (1983). Holistic processes in the perception and transformation of disoriented figures. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 203-214.
46. Rossignac, J. (2005). Shape complexity. *Visual Comput*, 21, 985-996.
47. Schwartz, S.P. (1979). Studies of mental image rotation: Implications for a computer simulation of visual imagery (Rozprawa doktorska, The Johns Hopkins University). Dissertation Abstracts International, 40, 2413B. (University Microfilms No. 79-74, 639)

48. Shepard, R.N., Feng, C.A. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology*, 3, 228-243.
49. Shepard, R.N., Metzler, J. (1971). Mental rotation of representations of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
50. Shepard, R.N., Podgorny, P. (1986). Spatial factors in Visual attention: A reply to Crassini. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 383-387.
51. Shepard, S., Metzler, D. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 3-11.
52. Smith, W., Dror, I.E. (2001). The role of meaning and familiarity in mental transformations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 732-741.
53. Snodgrass, J.G., Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures. Norms for name agreement, image agreement, familiarity and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology. Human Learning and Memory*, 6, 174-215.
54. Sukumar, S.R., Page, D. L., Koschan, A.F., Abidi, M.A. (2008). Towards understanding what makes 3D objects appear simple or complex. Paper presented at the 2008 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops.
55. Thomas, H. (1968). Spatial models and multidimensional scaling of random shapes. *American Journal of Psychology*, 81, 551-558.
56. Wohlschläger, A., Wohlschläger, A. (1998). Mental and manual rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 397-412.
57. Yuille, J.C., Steiger, J.H. (1982). Nonholistic processing in mental rotation: Some suggestive evidence. *Perception and Psychophysics*, 31, 201-209.