

Przegląd badań nad związkami zdolności przestrzennych z kompetencjami z nauk ścisłych uczniów i studentów

DARIUSZ DRĄŻKOWSKI, KRZYSZTOF PIĄTKOWSKI, JAKUB SZWEDO, MARCIN JADWIŻYC

Instytut Psychologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza*

Zdolności przestrzenne są jednymi z najsilniejszych determinant wyników w naukach ścisłych. Celem artykułu jest przedstawienie i usystematyzowanie najnowszych wyników badań na temat związków między poziomem zdolności przestrzennych a wynikami z nauk ścisłych. W pierwszej części artykułu zdefiniowano rodzaje zdolności przestrzennych, następnie przedstawiono ich uwarunkowania. W kolejnych częściach omówiono wyniki badań pokazujące związki między poziomem zdolności przestrzennych a kompetencjami z nauk ścisłych. Artykuł kończy się przedstawieniem sprawdzonych empirycznie możliwości rozwijania poziomu zdolności przestrzennych u uczniów. Opisane badania pokazują, jak poprzez rozwój zdolności przestrzennych można poprawić wyniki uczniów w naukach ścisłych.

SŁOWA KLUCZOWE: zdolności poznawcze, trening zdolności przestrzennych, umiejętności w zakresie nauk ścisłych, zdolności przestrzenne.

Zdolności przestrzenne obejmują wiele typów zdolności mniejszego zakresu (Iachini, Sergi, Ruggiero i Gnisci, 2005). Na podstawowym poziomie łączy je to, że angażują procesy kodowania, przechowywania w pamięci, transformowania i dopasowywania obiektów przestrzennych (Lohman, 1996). Dotychczasowe próby kategoryzacji typów zdolności przestrzennych opierały się głównie na analizie psychometrycznej i nie doprowadziły do konsensusu. Przykładowo John Carroll (1993) na podstawie eksploracyjnej analizy czynnikowej wyodrębnił: wizualizację, relacje przestrzenne, szybkość domknięcia, elastyczność domknięcia, szybkość percepcyjną i pamięć wizualną. Najczęściej przytaczana jest kategoryzacja

zdolności przestrzennych opracowana przez Marcię Linn i Anne Petersen (1985). Badaczki te, opierając się na analizie psychometrycznej i perspektywie poznawczej, wyróżniły trzy odrębne typy tych zdolności: rotację mentalną, percepcję oraz wizualizację przestrzenną.

Zdaniem Linn i Petersen (1985) rotacja mentalna to zdolność do obracania figur na płaszczyźnie lub w trójwymiarze. Do badań nad rotacją mentalną najczęściej wykorzystuje się dwu- lub quasi-trójwymiarowe bryły geometryczne, na których osoba badana ma dokonać rotacji o określoną liczbę stopni. Przykładowe testy mierzące zdolność do rotacji mentalnej to Test rotacji mentalnej (Vandenberg i Kuse, 1978) czy Test rotacji kart (Ekstrom, French, Harman i Dermen,

* Adres: ul. Szamarzewskiego 89/AB, 60-568 Poznań.
E-mail: dardra@amu.edu.pl

© Instytut Badań Edukacyjnych

1976). Poziom poprawnego wykonania rotacji mentalnych w tych testach jest bardzo wysoki, a czas, w jakim ludzie radzą sobie z obracaniem figur, określa poziom zdolności rotacji mentalnej.

Percepcja przestrzenna jest zdolnością do kinestetycznego postrzegania pionu i poziomu własnego ciała w przestrzeni pomimo zakłócających czynników, takich jak np. brak światła (Linn i Petersen, 1985). Wyniki badań sugerują, że poszukiwanie pionu i poziomu przedstawionych figur angażuje procesy ich częściowej rotacji (np. rotację wizualną poprzez przechylenie głowy) lub procesy wykorzystujące wskazówki kinestetyczne (Linn i Kyllonen, 1981). Przykładem testu z tej kategorii jest Test pręta i ramy (Oltman, 1968), którego wykonanie polega na ustawieniu pręta w pozycji pionowej, niezależnie od ramy zmieniającej położenie względem pionu.

Wizualizacja przestrzenna może wykorzystywać zarówno rotację mentalną, jak i percepcję przestrzenną (Linn i Petersen, 1985). Zdolność do wizualizacji przestrzennej angażuje procesy analizowania materiału przestrzennego oraz dobierania odpowiedniej strategii do rozwiązania problemu (Drażkowski i Cierpiałkowska, 2013). Powodzenie w testach badających wizualizację przestrzenną wymaga giętkości w doborze optymalnej strategii dla każdej części zadania. Cechami wyróżniającymi wizualizację przestrzenną od innych typów zdolności przestrzennych są procesy adaptacji repertuaru rozwiązań do wymagań danego zadania. Przykładem testu z tej kategorii jest Test ukrytych figur (Witkin, Oltman, Raskin i Karp, 1971).

Od lat 90. XX w. rośnie liczba badań nad mechanizmami poznawczymi (Hegarty i Waller, 2005) oraz ośrodkami mózgu (np. Chatterjee, 2008; Ohnishi, Matsuda, Hirakata i Ugawa, 2006) odpowiedzialnymi za umiejętności wchodzące w zakres zdolności przestrzennych. Badania nad

mechanizmami poznawczymi pokazały, że poziom wykonania testów dokonujących pomiaru zdolności przestrzennych jest zależny od realizacji podstawowych procesów poznawczych, takich jak: dekodowanie wizualne obiektu, konstruowanie wzrokowego obrazu, utrzymywanie obrazu w pamięci roboczej, przetwarzanie obrazu oraz porównywanie w pamięci roboczej obiektu z obrazem (Hegarty i Waller, 2005). Natomiast badania nad mózgowymi podstawami poznania przestrzennego pokazały, że płat ciemieniowy jest głównym ośrodkiem aktywowanym podczas operacji na małych przestrzeniach (Chatterjee, 2008; Kosslyn i Thompson, 2003). Zaś przy zapamiętywaniu i uczeniu się większych układów przestrzennych oraz nawigowaniu główną rolę odgrywa hipokamp i przyległe obszary środkowego płatu skroniowego (Morris i Parslow, 2004; Ohnishi i in., 2006).

W przyszłości opracowanie wyczerpującej listy procesów poznawczych oraz powiązanych z nimi ośrodków mózgu, odpowiedzialnych za specyficzne zdolności przestrzenne, umożliwi bardziej precyzyjne zdefiniowanie tych zdolności. Próbę stworzenia nowej, innej niż klasyfikacja Linn i Petersen (1985) typologii zdolności przestrzennych opartej o wyniki badań z zakresu nauk poznawczych, neurologicznych i lingwistyki, podjął David Uttal wraz ze współpracownikami (Uttal i in., 2013). Wyodrębnili oni dwa wymiary klasyfikujące zdolności przestrzenne. Pierwszy wymiar opiera się na wyróżnieniu informacji wewnętrznych i zewnętrznych (por. Kozhevnikov, Motes, Rasch i Błajenkova, 2006). Informacje wewnętrzne pozwalają na definiowanie obiektów, dotyczą części danego obiektu i relacji pomiędzy nimi. Informacje zewnętrzne odnoszą się do relacji przestrzennych między obiektami w danej grupie obiektów. Drugi wymiar opiera się na wyróżnieniu procesów statycznych i dynamicznych (por. Kozhevnikov,

Kosslyn i Shephard, 2005). Procesy statyczne dotyczą obiektów nieporuszających się w przestrzeni. Natomiast procesy dynamiczne dotyczą obiektów zmieniających położenie względem innych obiektów lub ogólnego układu odniesienia. Na podstawie obu wymiarów zespół Uttala (2013) wyróżnił cztery typy zdolności przestrzennych: zewnętrzno-statyczne (np. czytanie map, postrzeganie obiektów i konfiguracji przestrzennych wśród dystraktorów), zewnętrzno-dynamiczne (np. nawigowanie w przestrzeni rzeczywistej, wizualizacja przestrzeni z innej pozycji przestrzennej), wewnętrzno-statyczne (np. rozpoznawanie i klasyfikacja obiektów, rozumienie pionowości i horyzontalności) wewnętrzno-dynamiczne (np. transformacje obiektów z dwuwymiarowych do trójwymiarowych i odwrotnie, łączenie obiektów w złożone konfiguracje). Autorzy modelu odnieśli się też do klasyfikacji Linn i Petersen (1985), proponując zaklasyfikowanie rotacji mentalnej do wewnętrzno-dynamicznego typu zdolności przestrzennych, wizualizację przestrzenną zarówno do wewnętrzno-statycznego, jak i wewnętrzno-dynamicznego typu, a percepcję przestrzenną do zewnętrzno-statycznego typu tych zdolności.

Zakres omawianych w artykule zdolności przestrzennych reprezentuje każdy z czterech typów zaproponowanych przez Uttala i współpracowników (2013), ale z pewnością nie jest to przegląd kompletny. W artykule skupiono się na typach wewnętrzno-statycznym i wewnętrzno-dynamicznym, reprezentowanych przez zdolności rotacji mentalnej i wizualizacji przestrzennej – najczęściej testowanych w kontekście dziedzin z obszaru STEM i rozwoju zdolności przestrzennych. Tam gdzie konieczne było podsumowanie lub uporządkowanie materiału, odwołano się do klasyfikacji zdolności przestrzennych zespołu Uttala. W innych przypadkach korzystano z bardziej precyzyjnej i powszechnej klasyfikacji Linn i Petersen.

Związek zdolności przestrzennych z naukami ścisłymi

Badania zdolności przestrzennych mają duże znaczenie aplikacyjne, ponieważ ich poziom jest istotnym predyktorem sukcesu w dziedzinach z obszaru STEM (*science* – nauki przyrodnicze; *technology* – technologia; *engineering* – inżynieria; *maths* – matematyka) i determinuje osiągnięcia w edukacji i karierze zawodowej osób pracujących w tych dziedzinach (Wai, Lubinski i Benbow, 2009). W tej części artykułu zostanie przedstawiony przegląd badań na temat zależności między zdolnościami przestrzennymi a wynikami w dziedzinach z obszaru STEM, który z uwagi na ogrom materiału empirycznego odnoszącego się do tego tematu, będzie siłą rzeczy ograniczony.

Wyniki badań Daniela Shea, Davida Lubinskiego i Camilli Benbow (2001), którzy przez 20 lat śledzili losy 563 intelektualnie utalentowanych trzynastolatków, dostarczyły argumentów na rzecz związków między zdolnościami przestrzennymi a poziomem umiejętności w zakresie nauk ścisłych. Osoby objęte programem badawczym, które skończyły studia związane z dziedzinami STEM oraz wybrały tę ścieżkę kariery, posiadały istotnie wyższy poziom zdolności do wizualizacji przestrzennej w wieku 13 lat niż te osoby, które realizowały się w obszarze humanistyki i innych dyscyplin. Poziom zdolności przestrzennych u trzynastolatków wyjaśniał różnice w przebiegu ich kariery niezależnie od poziomu zdolności matematycznych czy werbalnych. Wyniki innego badania podłużnego (Webb, Lubinski i Benbow, 2007) przeprowadzonego w grupie 1060 uczniów, potwierdziły te zależności oraz wykazały, że zdolności przestrzenne wyjaśniają dodatkowo 3% wariacji przyszłych wyborów edukacyjnych związanych z dziedzinami STEM ponad wariację wyjaśnianą przez poziom zdolności werbalnych i matematycznych oraz przez wyniki kwestionariusza mierzącego

preferencje edukacyjno-zawodowe. Przekonujących argumentów na rzecz wpływu zdolności przestrzennych na powodzenie w dziedzinach z obszaru STEM dostarczył Jonathan Wai ze współpracownikami (2009), którzy wykorzystali podłużne dane zebrane w grupie prawie 400 000 osób. Badacze testowali relację między zdolnościami przestrzennymi (głównie wizualizacją przestrzenną) ocenianymi w szkole średniej a realizowaną ścieżką kariery zawodowej 11 lat później. Wyniki ich badań pokazały, że niemal połowa osób, które obroniły doktorat w naukach z obszaru STEM, znajdowała się w górnych 4% osób o najwyższym poziomie zdolności przestrzennych w szkole średniej. Osoby o wysokim poziomie zdolności przestrzennych najlepiej radziły sobie w trzech dziedzinach: (a) matematyce i informatyce, (b) inżynierii, (c) w naukach przyrodniczych (np. chemii, fizyce i astronomii, geografii, geologii). Wymienione dziedziny zostaną kolejno omówione w kontekście związków ze zdolnościami przestrzennymi¹.

Największą liczbę badań przeprowadzono w celu wyjaśnienia zależności między zdolnościami przestrzennymi a matematycznymi. Zdolności matematyczne są umiarkowanie pozytywnie skorelowane ze zdolnościami przestrzennymi (rotacją mentalną i wizualizacją przestrzenną; Hegarty i Kozhevnikov, 1999). Dane pochodzące z technik neuroobrazowania i elektrofizjologii sugerują, że związki między zdolnościami matematycznymi a przestrzennymi mogą wynikać z osadzenia w tych samych układach płata ciemieniowego (najprawdopodobniej w regionach bruzdy śródcieniowej; Hubbard, Piazza, Pinel i Dehaene, 2009). Między innymi z tego powodu przy wyjaśnianiu poziomu zdolności matematycznych za pomocą zdolności przestrzennych należy

rozważyć rolę trzeciego czynnika, jakim jest poziom inteligencji (Uttal i Cohen, 2012). Można założyć, że inteligencja jest podstawowym czynnikiem wyjaśniającym poziom zdolności matematycznych i zarazem zdolności przestrzennych. Jednakże wyniki badań pokazują, że zdolności przestrzenne determinują wyniki w testach matematycznych nawet po kontroli ogólnego poziomu inteligencji czy innych potencjalnych zmiennych latentnych, takich jak szybkość przetwarzania informacji czy wielkość pamięci roboczej (Rohde i Thompson, 2007). Najbardziej popularny model pamięci roboczej autorstwa Alana Baddeleya (2012) zakłada, że jest ona wielokomponentowym systemem, odpowiedzialnym za przechowywanie i kontrolę przetwarzania informacji. Model składa się z czterech podsystemów: centralnego systemu wykonawczego, któremu podlegają trzy następne – pętla fonologiczna, bufor epizodyczny i szkicownik wzrokowo-przestrzenny. Ostatni z wymienionych podsystemów wykazuje tak silne powiązanie ze zdolnościami przestrzennymi, że jest traktowany (wraz ze zdolnościami przestrzennymi) jako przejaw jednego konstruktów psychologicznego (np. Miyake, Friedman, Rettinger, Shah i Hegarty, 2001). Dlatego uprawomocnione i interesujące w kontekście tematu artykułu jest przywołanie wyników badań na temat związków między szkicownikiem wzrokowo-przestrzennym a zdolnościami matematycznymi. Wyniki metaanalizy zespołu Ilony Friso-van den Bos (Friso-van den Bos, van der Ven, Kroesbergen i van Luit, 2013) wykazały związki zdolności matematycznych z różnymi komponentami pamięci roboczej, w tym przede wszystkim ze szkicownikiem wzrokowo-przestrzennym. Co ciekawe, związek między pojemnością szkicownika wzrokowo-przestrzennego a poziomem zdolności matematycznych maleje wraz z wiekiem dzieci. Podobny układ wyników otrzymała Sanne van der Ven i współpracownicy (van der Ven, van der Maas, Straatmeier

¹ Dziedzina technologii została pominięta w badaniach zespołu Waia (2009), pomimo że przynależy do obszaru STEM. Wielu badaczy nie odróżnia technologii od inżynierii. Podobnie w tym artykule potraktowano te dziedziny łącznie.

i Jansen, 2013), którzy zaproponowali trzy niewykluczające się wyjaśnienia osłabienia wraz z wiekiem siły związku między wielkością pamięci wzrokowo-przestrzennej a poziomem zdolności matematycznych. Po pierwsze, młodsze dzieci częściej używają wzrokowo-przestrzennych strategii (np. liczenie za pomocą palców) oraz w większym stopniu operują na wzrokowo-przestrzennych reprezentacjach (np. osie liczbowe), niż robią to starsze dzieci (np. De Smedt i in., 2009). Po drugie, pamięć wzrokowo-przestrzenna może w większym stopniu determinować poziom rozwiązywania nowych problemów matematycznych niż tych znanych. Wraz z nauką rozwiązywania zadań matematycznych coraz większego znaczenia nabierają strategie związane z pamięcią werbalną (np. Tronsky, 2005). Po trzecie, prostsze zadania matematyczne (dodawanie i odejmowanie) w większym stopniu są rozwiązywane za pomocą manipulacji obiektami (np. liczenie patyczkami) lub wizualizacji takiej manipulacji, podczas gdy trudniejsze zadania matematyczne (mnożenie i dzielenie) w większym stopniu są rozwiązywane za pomocą przywoływania werbalnie zapamiętanych faktów. Wyniki badania Evy Van de Weijer-Bergsmy, Evelyn Kroesbergen i Johannesesa van Luita (2015) przeprowadzonego w grupie 4337 dzieci wsparły pierwsze oraz częściowo drugie wyjaśnienie spadku wraz z wiekiem siły związku między pamięcią wzrokowo-przestrzenną a zdolnościami matematycznymi, ale odrzuciły trzecie wyjaśnienie.

Wyniki badań wskazują na udział zdolności przestrzennych w rozumieniu przekroju struktur materiałowych, co ma fundamentalne znaczenie dla osiągnięć w inżynierii i technologii (Lajoie, 2003). Ponadto wyniki pokazują, że studenci inżynierii mają wyższy poziom zdolności rotacji mentalnej niż studenci innych kierunków (Bednarek i Olszewska, 2004; Peters, Chisholm i Laeng, 1995),

oraz że poziom zdolności przestrzennych w istotnym stopniu determinuje osiągnięcia na studiach z zakresu inżynierii (Hsi, Linn i Bell, 1997). W sześcioletnim podłużnym badaniu Sheryl Sorby i Beverly Baartmans (2000) poziom zdolności do rotacji mentalnej okazał się najlepszym predyktorem osiągnięć w trakcie kursu grafiki na pierwszym roku studiów. Zdolności przestrzenne pełniły ważną rolę w wykonywaniu rysunku inżynierskiego, który wymaga przenoszenia obrazów trójwymiarowych na dwuwymiarowy rysunek. Od lat 80., gdy programy komputerowe zaczęły zastępować rysunek inżynierski, zdolności do wizualizacji przestrzennej i rotacji mentalnej stają się jeszcze bardziej istotne dla efektywnej pracy inżynierów (Contero, Naya, Company i Saorín, 2007).

Myślenie przestrzenne jest istotne dla wielu dziedzin nauk przyrodniczych, ponieważ jest wykorzystywane do reprezentowania, wyobrażania i manipulowania informacjami (Uttal i Cohen, 2012). Zdolności przestrzenne są szczególnie istotne dla takich dziedzin nauki, jak chemia, fizyka czy geologia. W chemii zdolność do wizualizacji złożonych struktur cząsteczek chemicznych może wspierać rozumienie ich budowy oraz wiązań łączących poszczególne atomy (Carter, Larussa i Bodner, 1987). W fizyce poziom zdolności do wizualizacji przestrzennej determinuje wykonanie takich zadań fizycznych z kinematyki, jak przewidywanie dwuwymiarowego ruchu obiektów czy rozumienie i interpretacja wykresów kinematycznych oraz różnych układów odniesienia (Kozhevnikov, Motes i Hegarty, 2007). W geografii wyobrażenie sobie transformacji w czasie i w przestrzeni struktur geologicznych wymaga udziału zdolności przestrzennych (Kali i Orion, 1996). Rozumienie map konturowych i topograficznych, map frontów atmosferycznych, zdjęć satelitarnych czy proporcji układu słonecznego także wiąże się z poziomem zdolności przestrzennych, a zwłaszcza z poziomem zdolności do rotacji mentalnej (Black, 2005).

Wyniki badań nad związkiem poziomu zdolności przestrzennych z osiągnięciami w dziedzinach z obszaru STEM doprowadziły badaczy zagadnienia do wielu istotnych wniosków dla edukacji. Zespół Waia (2009) postuluje zwrócenie uwagi w procesie edukacji na osoby, które mają zarazem wysoki poziom zdolności przestrzennych oraz niski poziom zdolności werbalnych i matematycznych. Takie osoby gorzej radzą sobie w typowych testach i egzaminach ukierunkowanych na pomiar tych zdolności, a ignorujących zadania przestrzenne. Tymczasem ważne jest zidentyfikowanie osób utalentowanych w zakresie zdolności przestrzennych z uwagi na ich duży potencjał do osiągania sukcesów w dziedzinach STEM, które są kluczowe dla współczesnej gospodarki. Dlatego badacze na podstawie wyników swoich badań zachęcają do dokonywania pomiaru zdolności przestrzennych u uczniów w celu wyłonienia tych najbardziej utalentowanych. Umożliwi to precyzyjne dopasowanie szans edukacyjnych do specyfiki zdolności tych uczniów (np. Lubinski i Benbow, 2006). Pomiar może też służyć do identyfikowania niskiego poziomu zdolności przestrzennych u uczniów, którzy wymagają interwencji ukierunkowanych na ich rozwój (Wai i in., 2009).

Uwarunkowania zdolności przestrzennych

Z uwagi na obserwowany niższy poziom zdolności przestrzennych u kobiet, który częściowo wyjaśnia mniejszy ich udział w dziedzinach z obszaru STEM (np. Uttal i Cohen, 2012), w literaturze przedmiotu najwięcej uwagi poświęca się płci jako czynnikowi determinującemu. Wyrazem tego jest bardzo duża liczba badań empirycznych zmierzających do wyjaśnienia uwarunkowań różnic międzypłciowych w poziomie tych zdolności (Ciarkowska, 2003), których wyniki w sposób najbardziej komplementarny przedstawiają ogólne uwarunkowania zdolności przestrzennych.

Wspomniana wcześniej metaanaliza Linn i Petersen (1985) wykazała duże różnice międzypłciowe na korzyść mężczyzn w poziomie zdolności do rotacji mentalnej, średnie w percepcji przestrzennej oraz małe w wizualizacji przestrzennej (por. Bednarek, 2004). W zależności od rodzaju użytego testu różnice międzypłciowe w wynikach testów mierzących rotację mentalną wahały się między jedną czwartą odchylenia standardowego a całym odchyleniem standardowym. Podobny układ wyników otrzymał również zespół Daniela Voyera w późniejszej metaanalizie różnic międzypłciowych w poziomie zdolności przestrzennych (Voyer, Voyer i Bryden, 1995). Autorzy zwrócili uwagę na spójność wyników badań w zakresie wyższego poziomu zdolności do rotacji mentalnej mężczyzn. Korespondują one z wynikami badania Irwina Silvermana, Jeana Choi i Michaela Petersa (2007), w którym mężczyźni uzyskali lepsze wyniki w testach zdolności przestrzennych w każdym z 40 krajów, z których pochodziły osoby badane. Wyjątkiem była umiejętność przywoływania w pamięci umiejscowienia obiektu – tym wypadku lepsze były kobiety.

Najnowsza metaanaliza różnic międzypłciowych w poziomie zdolności przestrzennych, która obejmowała wyłącznie rotację mentalną, ponownie wskazała na prymat mężczyzn (Maeda i Yoon, 2013). Jej autorzy wyodrębnili pięć czynników (por. Herman-Jeglińska, 1999), które mogą wyjaśniać pochodzenie różnic międzypłciowych w zakresie zdolności przestrzennych, i które stanowią najbardziej komplementarną próbę uporządkowania ogólnych uwarunkowań zdolności przestrzennych. Są to: (a) różnice biologiczne w funkcjonowaniu i morfologii mózgow kobiet i mężczyzn (Koscik, O'Leary, Moser, Andreasen i Nopoulos, 2009) oraz różnice hormonalne (Hausmann, Slabbekoorn, Van Goozen, Cohen-Kettenis i Güntürkün 2000) i genetyczne (Goednough i in., 1977); (b) nieodpowiednia

administracja testów (Drażkowski i in., w druku) i procedura badań (McCallin, 2006), które prowadzą do artefaktów metodologicznych; (c) odmienne strategie kobiet i mężczyzn w rozwiązywaniu zadań przestrzennych (Geiser, Lehmann i Eid, 2006); (d) stan emocjonalny osób badanych (np. Wraga, Helt, Jacobs i Sullivan, 2007), na który często mają wpływ powszechne przekonania dotyczące płci (Moè, 2009) lub stereotypy płci (Ortner i Sieverding, 2008); (e) zakres wcześniejszych doświadczeń stymulujących rozwój zdolności przestrzennych (Feng, Spence i Pratt, 2007), np. bawienie się klockami w dzieciństwie lub granie w gry wideo. Te czynniki zostaną omówione na kolejnych stronach.

Jennifer Vogel, Clint Bowers i David Vogel (2003) dokonali metaanalizy badań testujących związki lateralizacji mózgu ze zdolnościami przestrzennymi. Wyniki wykazały udział aktywności prawej półkuli w rozwiązywaniu zadań przestrzennych. Jednak u osób o wysokim poziomie zdolności przestrzennych lewa półkula również brała czynny udział w rozwiązywaniu zadań przestrzennych. Może to wynikać z faktu, że osoby uzdolnione przestrzennie używają operacji werbalnych, by rozwiązać zadania przestrzenne. Badacze ostrożnie sugerują, że im wyższy poziom zdolności przestrzennych, tym większe wsparcie lewej półkuli mózgu w rozwiązywaniu zadań przestrzennych. Gdy badacze przeanalizowali wyniki badań pod kątem płci, to okazało się, że u kobiet nie występowała lateralizacja zdolności przestrzennych, podczas gdy u mężczyzn zdecydowanie dominowała prawa półkula w zakresie rozwiązywania problemów przestrzennych. Potwierdzają to wyniki badania zespołu Tormoda Thomsena (2000), który wykazał większą aktywność prawego płata ciemieniowego w trakcie rozwiązywania problemów przestrzennych u mężczyzn. Z kolei Tim Kosciak z współpracownikami (2009) badali wpływ różnic w proporcjach

istoty szarej i białej u kobiet i mężczyzn na zdolność rotacji mentalnej. Badacze zasugerowali, że u mężczyzn prawy płat ciemieniowy jest wyspecjalizowany w przetwarzaniu obiektu docelowego, podczas gdy lewy płat czołowy jest wyspecjalizowany w manipulowaniu obiektem porównywania – dzięki czemu proces ten może zachodzić równolegle. U kobiet tak silna specjalizacja może nie występować, co znaczyłoby, że oba płaty muszą wówczas jednocześnie manipulować obiektami docelowym i porównywanym, przez co każdy z nich wymaga większego nakładu zasobów.

W związku z zaobserwowaniem różnic międzypłciowych w poziomie zdolności przestrzennych przeprowadzono wiele badań nad wpływem hormonów na to zjawisko. Wyniki dowiodły, że estrogeny mają negatywny wpływ na poziom zdolności przestrzennych, podczas gdy wpływ testosteronu jest nieliniowy (Kimura, 1996; Moffat i Hampson, 1996). Związek tego ostatniego hormonu z poziomem zdolności przestrzennych jest złożony. Markus Hausmann i współpracownicy (2000) wykazali silny związek poziomu testosteronu z wynikami w teście rotacji mentalnych. Jednak Silverman i współpracownicy (Silverman, Kastuk, Choi i Phillips, 1999) zasugerowali, że wyższy poziom testosteronu może sprzyjać wykonywaniu trudnych zadań przestrzennych, a utrudniać wykonanie zadań łatwych. Scott Moffat i Elizabeth Hampson (1996) wykazali, że poziom zdolności przestrzennych u mężczyzn zmienia się w zależności od pory dnia, co ma związek z naturalną zmiennością poziomu testosteronu w ciągu doby. Gdy poziom testosteronu był niższy, mężczyźni osiągnęli słabsze wyniki w zadaniach.

Trwa także dyskusja na temat tego, czy hormony mają wpływ na „wyłanianie się” różnic międzypłciowych w funkcjach poznawczych, czy jest to raczej wpływ ich działania w czasie rzeczywistym. Wyniki badań (np. Hier i Crowley, 1982) wskazały na ważną

rolę androgenów w kształtowaniu zdolności przestrzennych przed lub podczas pokwitania (po tym okresie ich obecność w organizmie traci wpływ na zdolności przestrzenne). Sheri Berenbaum, Kristina Korman Bryk i Adriene Beltz (2012) zasugerowały, że duża ilość androgenów w dzieciństwie może mieć pośredni wpływ na wybieranie aktywności typowo męskich, co skutkuje rozwijaniem się zdolności przestrzennych. W badaniu Sari Anders i Elizabeth Hampson (2005) u kobiet heteroseksualnych z niewielkimi skłonnościami homoseksualnymi zauważono wyższy poziom zdolności przestrzennych niż u kobiet wyłącznie heteroseksualnych. Zaobserwowaną zależność może wyjaśnić wyższy poziom androgenów w okresie prenatalnym u kobiet ze skłonnościami homoseksualnymi. Z kolei w badaniu zespołu Stephanie Van Goozen (Van Goozen, Cohen-Kettenis, Gooren, Frijda i Van de Poll, 1995) kobiety, którym podano androgeny, gorzej wykonywały zadania werbalne, a lepiej zadania przestrzenne w porównaniu do kobiet, którym nie podano androgenów.

W 1961 r. Richard Stafford zaproponował teorię wiążącą zdolności przestrzenne z hipotetycznym genem recesywnym występującym w chromosomie X, co tłumaczyłoby wyższy poziom tych zdolności u mężczyzn. Wyniki badań prowadzonych w kolejnych dziesięcioleciach (np. Goode-nough i in., 1977) w dużej mierze potwierdziły zaproponowany przez Stafforda model. Jednakże David Boles (1980) poddał krytyce większość z nich, wskazując na wady metodologiczne, zbyt małe próby lub nieistotne statystycznie wyniki. Mark McGee (1979) również krytycznie odniósł się do teorii recesywnego genu chromosomu X. Jednocześnie podkreślił, że w przeprowadzonych badaniach nie wzięto pod uwagę, że poszczególne typy zdolności przestrzennych mogą mieć różne podłoże genetyczne.

Poza biologicznymi uwarunkowaniami istotne znaczenie dla wyników w testach

zdolności przestrzennych mają artefakty metodologiczne, które mogą powstawać przy nieodpowiedniej administracji testów lub złej procedurze badań (Maeda i Yoon, 2013; Voyer i in., 1995). W badaniu zespołu Davida Goldsteina (Goldstein, Haldane i Mitchell, 1990) nie występowały różnice między kobietami a mężczyznami w wynikach w teście rotacji mentalnej wówczas, gdy nie nakładano na badanych limitu czasowego. John Monahan i współpracownicy (Monahan, Halke i Shelley, 2008) zauważyli natomiast, że różnica między wynikami kobiet i mężczyzn zmniejszyła się, gdy test zdolności przestrzennych został wykonany na komputerze, a nie na arkuszu. Najnowsze badanie (Drażkowski i in., w druku) wykazało, że określenie swojej płci na początku badania prowadzi do otrzymywania niższych wyników w teście wizualizacji przestrzennej przez kobiety. Co więcej, męska płeć eksperymentatora również miała negatywny wpływ na wyniki kobiet. Przeprowadzone badanie nie wykazało różnic w zakresie zdolności do wizualizacji przestrzennej u kobiet i mężczyzn, gdy wspomniane czynniki były kontrolowane.

Odmienne strategie rozwiązywania zadań przestrzennych przez kobiety i mężczyzn to kolejny czynnik wyjaśniający różnice międzypłciowe w tym obszarze. Wyniki badań pokazują, że mężczyźni częściej korzystają ze strategii holistycznych (np. obracają całe obiekty w umyśle), podczas gdy kobiety preferują strategie analityczno-werbalne (np. porównywanie konkretnych cech różnych figur; Geiser i in., 2006). Stosowanie strategii analityczno-werbalnych jest bardziej czasochłonne, co prowadzi do otrzymywania słabszych wyników w testach ograniczonych czasowo. Ponadto mężczyźni mają większą tendencję do „strzelania” przy wyborze prawidłowej odpowiedzi w teście, co lepiej sprawdza się podczas presji czasowej (Voyer i Saunders, 2004). Elizabeth Pezaris i Beth Casey (1991) wykazały, że dziewczynki, które stosowały typowo męskie

strategię w rozwiązywaniu zadań wymagających rotacji mentalnej, osiągały średnio takie same wyniki jak chłopcy oraz wyższe wyniki niż dziewczynki, które korzystały głównie ze strategii werbalnych.

Także stan emocjonalny osób badanych może wpływać na rozwiązywanie testów zdolności przestrzennych. Wyniki badań dowiodły, że aktywizacja stereotypów płci wpływa na zwiększenie aktywności obszarów mózgowych związanych z doświadczaniem emocji, co z kolei ma wpływ na słabsze wyniki kobiet w testach rotacji mentalnej (Wraga i in., 2007). Na stany emocjonalne badanych kobiet miały więc wpływ stereotypy płci. Kobiety, które są przekonane o możliwości dorównania mężczyznom w zadaniach typowo męskich, dopasowują bardziej efektywne strategie do zadań wymagających dokonania rotacji mentalnej (Moè, 2009). Z kolei w badaniu Tuulii Ortner i Moniki Sieverding (2008), kiedy torowano studentom przekonanie, że mężczyźni są lepsi w tym zadaniu niż kobiety, to różnice międzypłciowe obserwowane w wynikach testu rotacji mentalnej zwiększały się.

Ostatnim czynnikiem wyjaśniającym pochodzenie różnic międzypłciowych w zakresie zdolności przestrzennych wymienionym przez Yukiko Maedę i So Yoon Yoon (2013) jest zakres wcześniejszych doświadczeń stymulujących rozwój tych zdolności. W literaturze aktywność przestrzenną definiuje się jako czynności odbywające się w przestrzeni o jasno zdefiniowanych granicach, wymagające wiedzy o relacjach przestrzennych lub o podstawowych prawach fizyki (np. grawitacji; Voyer, Nolan i Voyer, 2000). Metaanaliza Maryann Baenninger i Nory Newcombe (1989) wykazała pozytywny związek między poziomem zdolności przestrzennych a udziałem w aktywnościach przestrzennych. Badania wykazały, że wśród chłopięcych zabaw dominują aktywności przestrzenne (m.in. zabawa klockami i samochodzikami, gra w piłkę nożną lub w koszykówkę). Natomiast

aktywności podejmowane przez dziewczynki są dużo uboższe w treść przestrzenną (m.in. zabawa lalkami i domkami dla lalek, rysowanie, lepienie z plasteliny; Cherney i Voyer, 2010). Aktywności stereotypowo żeńskie promują inne, głównie społeczne umiejętności. Kobiety czują się źle, gdy wykonują aktywności stereotypowo męskie – wyniki badań wykazały, że w sytuacji wykonywania zadań kojarzonych z przeciwną płcią, kobiety przejawiały obniżoną samoocenę i przekonania na temat własnej skuteczności (Pajares i Miller, 1997). Wyniki badań pokazały ponadto wyraźne związki między poziomem zdolności przestrzennych w dorosłości a deklarowanym typem zabawek, jakimi bawiono się w dzieciństwie (Doyle, Voyer i Cherney, 2012). Wybór zabawek może być podyktowany biologiczną preferencją chłopców do uczestniczenia w aktywnościach bogatych w treść przestrzenną (Baron-Cohen, 2005). Potwierdzają to wyniki badania Theodore'a Kopcha, Beryl Otumfuor i Lu Wang (2015), którzy zauważyli, że chłopcy czerpią większą satysfakcję z wymagającego procesu uczenia się w wirtualnym, trójwymiarowym środowisku niż dziewczynki. Jednak wyboru zabawek we wczesnym dzieciństwie dokonują przede wszystkim rodzice, którzy mają tendencję do zachęcania swoich dzieci do zachowań stereotypowych płciowo (Lytton i Romney, 1991).

Trening zdolności przestrzennych

Omawiane badania nad wpływem wcześniejszych doświadczeń sugerują, że zdolności przestrzenne można wytrenować poprzez angażowanie osoby w stymulujące rozwojowo aktywności przestrzenne. Tworzenie programów treningowych ma duże znaczenie praktyczne z uwagi na wiele omówionych zależności między zdolnościami przestrzennymi a wynikami w dziedzinach STEM. Metaanaliza badań testujących skuteczność treningów zdolności przestrzennych (Uttal

i in., 2013) pokazała, że są one plastyczne, w związku z czym możliwe jest ich skuteczne wytrenowanie. Wyniki wykazały, że efekty treningu zdolności przestrzennych są trwałe i mogą przenosić się na zadania niepodlegające bezpośrednio treningowi, co oznacza, że mogą kształtować zdolności bardziej podstawowe niż tylko umiejętność rozwiązywania konkretnego zadania. Wszystkie cztery typy zdolności przestrzennych przeanalizowane przez zespół Uttala pozytywnie reagowały na trening. Najlepsze efekty zaobserwowano dla zdolności zewnętrzno-statycznych (np. wizualizacja przestrzenna mierzona Piagetowskim testem poziomu wody), a najmniejsze dla wewnętrzno-statycznych (np. niezależność od pola mierzona testem ukrytych figur Witkina). Autorzy twierdzą, że różnica między efektywnością treningu tych dwóch typów zdolności może wynikać z faktu, że w przypadku zdolności zewnętrzno-statycznych badani mogą podczas treningu przyswoić werbalnie przekazane zasady rozwiązywania zadań. Podczas gdy w przypadku zdolności wewnętrzno-statycznych nie sposób wyartykułować jasnych reguł rozwiązywania zadań. Uttal i współpracownicy (2013) wyodrębnili trzy rodzaje treningów zdolności przestrzennych: treningi grami wideo; treningi rozwijające zdolności przestrzenne poprzez praktykę lub poprzez strategiczne instrukcje; oraz semestralne lub instruktażowe kursy. Wyniki metaanalizy nie wykazały różnic między ich efektywnością. Zostaną one omówione na kolejnych stronach.

Wiele wyników badań wskazuje, że gry wideo są skuteczną formą treningu wewnętrzno-dynamicznego typu zdolności przestrzennych: uwagi przestrzennej (np. Feng i in., 2007; Spence, Yu, Feng i Marshman, 2009) oraz zdolności do rotacji mentalnej (np. Sims i Mayer, 2002; Terlecki, Newcombe i Little, 2008). Do niedawna najpopularniejszą grą używaną do badań skuteczności treningu zdolności przestrzennych był Tetris. Zdaniem Valerie Sims i Richarda Mayera (2002)

trening grą Tetris jest skuteczny tylko dla specyficznych zadań – rotacji mentalnych figur pojawiających się w grze – a więc jego efekty nie transferują się na inne, niepoddawane treningowi zadania. Z drugiej strony Melissa Terlecki i współpracownicy (2008) na podstawie wyników swojego badania dowiedli, że trening grą Tetris prowadzi do transferu zdolności przestrzennych na zadania niespecyficzne, ale nadal reprezentujące tylko typ wewnątrzno-dynamiczny, w porównaniu do formy treningu opartej na wielokrotnym rozwiązywaniu testu rotacji mentalnej. Jednak, ich zdaniem, przy interpretacji tych wyników należy uwzględnić to, że uczestnicy treningu grą Tetris, poprzez wykonanie testu rotacji mentalnej w trakcie pretestu, w pewnym zakresie przeszli trening wielokrotnego wykonania tego testu. Może to sugerować, że transfer zdolności przestrzennych był efektem połączenia dwóch form treningu, a nie wynikiem samego treningu grą Tetris.

Obiecujące są wyniki badań nad grami akcji, zwłaszcza tymi z perspektywą pierwszoosobową (*first person shooter*, FPS). C. Shawn Green i Daphne Bavelier (2003) wykazali, że trening grami FPS daje dużo lepsze efekty w postaci wzrostu uwagi przestrzennej niż trening grą Tetris. Część badaczy twierdzi, że trening grami FPS może zredukować różnice międzypłciowe w poziomie zdolności przestrzennych (Feng i in., 2007; Spence i in., 2009). Ograniczeniem użyteczności tej metody treningu dla wyrównywania różnic międzypłciowych może być niższe zainteresowanie grami wideo wśród dziewczynek (Hyde, 2013). Wśród pierwszoosobowych gier akcji większość to gry wojenne. Tymczasem dziewczynki preferują gry logiczne (Quaiser-Pohl, Geiser i Lehmann, 2006). Rynek oferuje gry FPS nastawione na rozwiązywanie zagadek (np. popularna seria gier Portal), które wydają się bardziej dopasowane do zainteresowań dziewczynek. Green i Bavelier (2003) stwierdzili, że przewaga gier FPS nad Tetrisem w kształtowaniu

uwagi przestrzennej polega na tym, że w tych pierwszych gracz musi objąć uwagą większe pole widzenia oraz musi przełączać uwagę między elementami tego pola, podczas gdy gra w Tetrisa wymaga koncentracji tylko na jednym obiekcie.

Aż dwie trzecie z badań uwzględnionych w metaanalizie zespołu Uttala (2013) dotyczyła treningów rozwijających zdolności przestrzenne poprzez praktykę lub poprzez strategiczne instrukcje. Obie formy treningu łączy skupianie się na wielokrotnym rozwiązywaniu zadań przestrzennych oraz wspieraniu tego procesu poprzez instruktora. Treningi tego typu z reguły polegają na wielokrotnym wykonywaniu rotacji mentalnych obiektów (np. Lohman i Nichols, 1990) lub wielokrotnym wyszukiwaniu ukrytych figur (np. Schaefer i Thomas, 1998), co skutecznie zwiększa kolejno poziom zdolności rotacji mentalnej (wewnętrzno-dynamiczny typ zdolności przestrzennych) i wizualizacji przestrzennej (typ wewnętrzno-statyczny). Także ćwiczenie manualnej rotacji obiektów może rozwijać zdolność rotacji mentalnej (Wiedenbauer i Jansen-Osmann, 2008).

Zecydowanie mniej badań testowało wpływ treningu zdolności przestrzennych na zmiany w poziomie tych zdolności, na podstawie zewnętrznych informacjach, które odnoszą się do relacji przestrzennych między obiektami w danej grupie obiektów (Uttal i in., 2013). W jednym z badań studenci wydziału sztuk pięknych, dzięki tworzeniu dzieł umożliwiających ćwiczenie zdolności do przetwarzania obrazu, doświadczyli wzrostu poziomu zdolności przestrzennych typu zewnętrzno-dynamicznego (Pérez-Fabello i Campos, 2007). Z kolei Michele Robert i Helene Chaperon (1989) wykazały, że samo oglądanie innej osoby wykonującej Piagetowski test poziomu wody, mierzący poziom zewnętrzno-statycznych zdolności przestrzennych, może poprawiać późniejsze wykonanie tego testu. Tego typu modelowanie jest nieskuteczne w przypadku dzieci

będących w wieku wczesnoszkolnym, które nie potrafią korzystać z wykładanych im explicite informacji, kiedy mają do czynienia ze środowiskiem trójwymiarowym, o ile nie będą miały one okazji w praktyce przetestować swoich umiejętności (Kopcha i in., 2015). Toru Ishikawa i Kim Kastens (2005) stwierdzili, że w przypadku zdolności przestrzennych uczący się czerpią mniej korzyści z pasywnych form treningu (np. obserwowania) w porównaniu do aktywnych form.

Ostatnią kategorią treningów zdolności przestrzennych wyróżnioną przez zespół Uttala (2013) są semestralne lub instruktażowe kursy, które charakteryzuje cykliczność zajęć prowadzonych w szkołach lub na uniwersytetach. Bezpośrednim celem tych kursów nie musi być rozwój zdolności przestrzennych, ale nauka określonych umiejętności, której skutkiem ubocznym jest rozwój tych zdolności. Przykładem może być roczny kurs programowania w języku Logo dla uczniów klas 5 i 6, który wpłynął na poprawę rozumienia relacji przestrzennych zaliczanych do kategorii wewnętrzno-dynamicznej (Miller, Kelly i Kelly, 1988). Wyniki innego badania wykazały, że u uczniów, którzy wzięli udział w czternastotygodniowym kursie wykorzystującym naukę programowania w języku Logo, wzrósł poziom wewnętrzno-statycznych zdolności przestrzennych (Cathcart, 1990). Kolejnym przykładem niespecyficznego kursu może być nauka opisowej geometrii, która poprawiła u uczestników kursu ich zdolność do rotowania kwadratu w trójwymiarze (Gittler i Gluck, 1998), a więc wewnętrzno-dynamiczny typ zdolności przestrzennych. Ten sam typ zdolności uległ poprawie u studentek uczestniczących w zajęciach z projektowania ubrań i wzornictwa (Workman, Caldwell i Kallal, 1999).

Istnieją także kursy, które są ściśle ukierunkowane na rozwój zdolności przestrzennych. Najbardziej rozbudowany i zróżnicowany program, którego celem jest rozwój zdolności przestrzennych, opracowała dla

studentów inżynierii Sheryl Sorby. Efektem jej wieloletnich badań była książka opisująca program dziesięcioletniego kursu zawierającego zestawy ćwiczeń rozwijających zdolności do rotacji mentalnej, wizualizacji przestrzennej i umiejętności przyjmowania perspektywy (Sorby, 2012). Program kursu uwzględnia ćwiczenia polegające m.in. na tworzeniu nowych obiektów poprzez przecinanie jednego obiektu lub połączenie dwóch innych; na transformowaniu obiektów dwuwymiarowych do postaci trójwymiarowej poprzez stworzenie płaskich wzorów, które są potem składane; na odzwierciedlaniu obiektów trójwymiarowych na płaszczyźnie; na rotacji obiektów o jednej, dwóch lub większej liczbie osi; na wyobrażaniu przekroju obiektów. Efektywność kursu dla wzrostu poziomu zdolności przestrzennych została potwierdzona w wielu badaniach (np. dla zdolności typu wewnętrzno-statycznego; zob. Gerosn, Sorby, Wysocki i Baartmans, 2001). Na podstawie programu opracowanego przez Sorby przeprowadzono badanie weryfikujące jego wpływ na wzrost osiągnięć w naukach z obszaru STEM. Jest to o tyle ważne, że wszystkie opisane wcześniej wyniki badań testowały efekty treningu zdolności przestrzennych dla rozwoju zdolności przestrzennych, ale nie dla poprawy osiągnięć w dziedzinach STEM.

Wyniki jednego z wielu badań Sorby (2009) dowiodły, że u studentów inżynierii, którzy zrealizowali autorski program kursu, wzrósł poziom zdolności do rotacji mentalnej, co pośrednio wpłynęło na otrzymywanie lepszych ocen z przedmiotów z obszaru STEM (matematyki, inżynierii i informatyki), a także na otrzymywanie lepszych ogólnych ocen na koniec semestru. W innym badaniu 84 studentów pierwszego roku inżynierii, którzy osiągnęli najsłabsze wyniki w teście rotacji mentalnej z pośród 675 studentów, zostało obowiązkowo skierowanych na kurs Sorby (Sorby, Casey, Veurink i Dulaney, 2013). W efekcie poziom zdolności

rotacji mentalnej znacząco wzrósł, a oszacowany wpływ na polepszenie ocen z matematyki (z rachunku) na koniec semestru wyniósł 1%. Program kursu stworzony przez Sorby wykorzystali także David Miller i Diane Halpern (2013). Studentom fizyki zaproponowali uczestniczenie w dwunastogodzinnym kursie w trakcie semestru. Efektem był wzrost poziomu zdolności do rotacji mentalnej i do wizualizacji przekrojów poprzecznych obiektów trójwymiarowych, a także lepsze oceny na studiach z przedmiotów związanych z mechaniką Newtonowską. Jednak po ośmiu miesiącach od zakończenia treningu różnice w poziomie zdolności przestrzennych między studentami, którzy wzięli udział w treningu, a pozostalymi, stały się niezauważalne.

Przy ocenie programu kursu Sorby należy uwzględnić, że pozytywne efekty zaobserwowano w przywołanych badaniach wyłącznie dla zdolności typu wewnętrzno-dynamicznego, ale już nie dla zdolności innych typów, które również były mierzone. Analizując wyniki przytoczonych badań, Mike Stieff i David Uttal (2015) doszli do wniosku, że należy doskonalić metody treningu zdolności przestrzennych i przeprowadzać kolejne badania sprawdzające ich efektywność. Jak trafnie zauważyli, w kontekście ogólnej niskiej efektywności innych interwencji edukacyjnych, nawet niska skuteczność treningów zdolności przestrzennych, dzięki powszechnemu zastosowaniu, może pomóc dużej liczbie uczniów i studentów w edukacji i karierze w dziedzinach STEM.

Z uwagi na zaobserwowane znaczące różnice w poziomie zdolności przestrzennych między kobietami a mężczyznami, istotną kwestią jest omówienie sposobów reagowania na trening. W literaturze przedmiotu występują pojedyncze badania, których wyniki pokazują, że trening zdolności przestrzennych daje lepsze efekty u kobiet (Feng i in., 2007) i może redukować różnice międzypłciowe w zakresie tych zdolności (np. Kass, Ahlers i Dugger, 1998). Przytaczane wcześniej wyniki

badań Sorby (2009) oraz Millera i Halpern (2013) prowadzą do podobnych wniosków w przypadku przedmiotów z obszaru STEM. Jednak metaanaliza zespołu Uttala (2013) wykazała, że mężczyźni i kobiety reagują na trening równie dobrze, ale jest on bardziej efektywny u osób o niskim poziomie zdolności przestrzennych. Na tej podstawie można uznać, że w przypadku kobiet treningi mogą być bardziej skuteczne nie tyle ze względu na płeć, ile na przeciętnie niższy poziom tych zdolności (por. Ciarkowska, 2003).

Inną dyskusyjną kwestią są trajektorie uczenia się mężczyzn i kobiet. Zespół Iana Spence'a (2009) stwierdził, że krzywe uczenia się dla obu płci są takie same, ale mężczyźni zaczynają naukę z wyższym poziomem zdolności (zapewne ze względu na wcześniejsze doświadczenia wpływające na ich rozwój). Oznacza to, że kobiety powinny uzyskiwać wyższe wyniki na początku treningu, a z czasem jego efektywność powinna się wyrównywać u obu płci. Jednak Terlecki i współpracownicy (2008) zauważyli, że to mężczyźni początkowo lepiej reagują na trening, a rozwój zdolności przestrzennych kobiet przyspiesza w dłuższej perspektywie. Oznacza to, że zbyt krótki okres treningu może nie przynosić oczekiwanych rezultatów, zwłaszcza w wypadku kobiet. Początkowa słabsza reakcja kobiet na trening może wpływać na spadek motywacji do angażowania się w tego typu interwencji edukacyjne. Różnice we wnioskach z badań zespołów Spence'a (2009) i Terlecki (2008) mogą być spowodowane różnymi typami wykorzystanych procedur treningowych (różnych typów gier wideo), co z kolei sugeruje znaczenie dopasowania typu materiału treningowego do płci uczestników (Uttal i in., 2013). Wspomniane badania dotyczą także różnych aspektów zdolności przestrzennych. Terlecki ze współpracownikami używała narzędzi mierzących zdolność rotacji, a zespół Spence'a badał selektywną uwagę przestrzenną.

Analiza wpływu treningu na zmniejszenie się różnic międzypłciowych w zakresie zdolności przestrzennych wymaga uwzględnienia szerszego kontekstu, jakim są stereotypy płci przyczyniające się do powstawania tych różnic. Praca nad zmianą tych stereotypów może przyczynić się do zmniejszenia obserwowanych różnic w zakresie zdolności przestrzennych między kobietami a mężczyznami. Stereotypy płci odnoszące się do różnic w zakresie funkcjonowania poznawczego mogą prowadzić do pogorszenia wyników w wielu testach poznawczych (Drażkowski, 2013). Istnieje wiele sprawdzonych empirycznie metod zapobiegania negatywnemu wpływowi stereotypów płci na wyniki w testach poznawczych czy na wyniki w nauce (Drażkowski, 2014), które pośrednio mogą przyczynić się także do wzrostu poziomu zdolności przestrzennych. Przykładowo, kobiety znające inne kobiety, które osiągnęły sukces w naukach ścisłych, mają większe aspiracje do realizowania kariery w tych obszarach (Nauta, Epperson i Kahn, 1998).

Podsumowanie

Istnieje kilka powodów, dla których warto podejmować problematykę zdolności przestrzennych w kontekście edukacji. Po pierwsze, poziom zdolności przestrzennych w sposób istotny warunkuje powodzenie w wielu dziedzinach, przede wszystkim w naukach ścisłych. Po drugie, różnice międzypłciowe w poziomie zdolności przestrzennych stanowią jeden z czynników wpływających na mniejszą reprezentację kobiet w naukach ścisłych. Po trzecie, system edukacji jest w zdecydowanie mniejszym stopniu ukierunkowany na rozwijanie i weryfikowanie zdolności przestrzennych niż zdolności werbalnych i matematycznych.

W artykule starano się przedstawić wagę badań nad zdolnościami przestrzennymi. Omówiono ich typy, uwarunkowania oraz opisano powiązania z wieloma dziedzinami

nauki. Przedstawiono także potwierdzone empirycznie metody treningu zdolności przestrzennych, które nie tylko prowadzą do wzrostu ich poziomu i zmniejszenia różnic międzypłciowych w tym zakresie, lecz także mogą przyczynić się do poprawy osiągnięć uczniów i studentów w przedmiotach ścisłych. Przyszłe badania powinny skupić się na doskonaleniu metod treningu zdolności przestrzennych oraz na sprawdzaniu ich długoterminowego wpływu na osiągnięcia w karierach zawodowych związanych z naukami ścisłymi, a zwłaszcza na zmniejszaniu różnic międzypłciowych w zakresie tych osiągnięć.

Literatura

- Anders, S. M. van i Hampson, E. (2005). Testing the prenatal androgen hypothesis: measuring digit ratios, sexual orientation, and spatial abilities in adults. *Hormones and Behavior*, 47(1), 92–98.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29.
- Baenninger, M. i Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: a meta-analysis. *Sex Roles*, 20(5), 327–344.
- Baron-Cohen, S. (2005). The essential difference: the male and female brain. *Phi Kappa Phi Forum*, 85(1), 23–26.
- Bednarek, H. (2004). Zróżnicowanie funkcji wzrokowo-przestrzennych u kierowców ze względu na płeć. *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Psychologica*, 8, 147–156.
- Bednarek, H. i Olszewska, J. (2004). Sprawność przestrzennych operacji umysłowych a poprawność wnioskowania dedukcyjnego. *Roczniki Psychologiczne*, 7(2), 63–79.
- Berenbaum, S. A., Korman Bryk, K. L. i Beltz, A. M. (2012). Early androgen effects on spatial and mechanical abilities: evidence from congenital adrenal hyperplasia. *Behavioral Neuroscience*, 126(1), 86–96.
- Black, A. A. (2005). Spatial ability and earth science conceptual understanding. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 402–414.
- Boles, D. B. (1980). X-linkage of spatial ability: a critical review. *Child Development*, 51(3), 625–635.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: a survey of factor-analytic studies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Carter, C. S., Larussa, M. A. i Bodner, G. M. (1987). A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels of general chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(7), 645–657.
- Cathcart, W. G. (1990). Effects of Logo instruction on cognitive style. *Journal of Educational Computing Research*, 6(2), 231–242.
- Chatterjee, A. (2008). The neural organization of spatial thought and language. *Seminars in Speech and Language*, 29(3), 226–238.
- Cherney, I. i Voyer, D. (2010). Development of a Spatial Activity Questionnaire I: items identification. *Sex Roles*, 62(1), 89–99.
- Ciarkowska, W. (2003). Różnice między kobietami i mężczyznami w zdolnościach przestrzennych. *Kosmos*, 52(1), 49–57.
- Contero, M., Naya, F., Company, P. i Saorín, J. L. (2007). Learning support tools for developing spatial abilities in engineering design. *International Journal of Engineering Education*, 22(3), 470–477.
- De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B. i Ghesquière, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: a longitudinal study from first to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 186–201.
- Doyle, R. A., Voyer, D. i Cherney, I. D. (2012). The relation between childhood spatial activities and spatial abilities in adulthood. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 33(2), 112–120.
- Drażkowski, D. (2013). *Poznawcze uwarunkowania zagrożenia stereotypem*. Referat wygłoszony podczas 8. Poznańskiego Forum Kognitywistycznego, Poznań.
- Drażkowski, D. (2014a). *Sposoby redukcji zagrożenia stereotypem w badaniu zdolności poznawczych*. Referat wygłoszony podczas 9. Poznańskiego Forum Kognitywistycznego, Poznań.
- Drażkowski, D. (2014b). Interwencje redukujące zagrożenie stereotypem w środowisku edukacyjnym. *Edukacja*, 128(3), 45–60.
- Drażkowski, D. i Cierpiałkowska, L. (2013). Zależność/niezależność od pola a wsparcie społeczne w kontekście stresu. *Psychologia Jakości Życia*, 12(1), 29–41.
- Drażkowski, D., Szewdo, J., Krajczewska, A., Adamczuk, A., Piątkowski, K., Jadwiżyc, M. i Rakowski, A (w druku). Women are not less field independent than men – the role of stereotype threat. *International Journal of Psychology*. doi: 10.1002/ijop.12238

- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H. i Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor referenced cognitive tests*. Princeton: Educational Testing Service.
- Feng, J., Spence, I. i Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science*, 18(10), 850–855.
- Friso-van den Bos, I., Ven, S. H. van der, Kroesbergen, E. H. i Luit, J. E. van (2013). Working memory and mathematics in primary school children: a meta-analysis. *Educational Research Review*, 10, 29–44.
- Geiser, C., Lehmann, W. i Eid, M. (2006). Separating “rotators” from “non-rotators” in the Mental Rotations Test: a multigroup latent class analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 41(3), 261–293.
- Gerson, H. B. P., Sorby, S. A., Wysocki, A. i Baartmans, B. J. (2001). The development and assessment of multimedia software for improving 3-D spatial visualization skills. *Computer Applications in Engineering Education*, 9(2), 105–113.
- Gittler, G. i Gluck, J. (1998). Differential transfer of learning: effects of instruction in descriptive geometry on spatial test performance. *Journal for Geometry and Graphics*, 2(1), 71–84.
- Goldstein, D., Haldane, D. i Mitchell, C. (1990). Sex differences in visual-spatial ability: the role of performance factors. *Memory & Cognition*, 18(5), 546–550.
- Goodenough, D. R., Gandini, E., Olkin, I., Pizzamiglio, L., Thayer, D. i Witkin, H. A. (1977). A study of X chromosome linkage with field dependence and spatial visualization. *Behavior Genetics*, 7(5), 373–387.
- Green, S. C. i Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534–537.
- Hausmann, M., Slabbekoorn, D., Van Goozen, S. H. M., Cohen-Kettenis, P. T. i Güntürkün, O. (2000). Sex hormones affect spatial abilities during the menstrual cycle. *Behavioral Neuroscience*, 114(6), 1245–1250.
- Hegarty, M. i Kozhevnikov, M. (1999). Types of visual-spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 91(4), 684–689.
- Hegarty, M. i Waller, D. A. (2005). Individual differences in spatial abilities. W: P. Shah i A. Miyake (red.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (s. 121–169). New York: Cambridge University Press.
- Herman-Jeglińska, A. (1999). Różnice między kobietami a mężczyznami w zdolnościach poznawczych i organizacji funkcjonalnej mózgu: wpływ płci psychicznej. *Przeгляд Psychologiczny*, 42(1–2), 73–99.
- Hier, D. B. i Crowley, W. F. Jr. (1982). Spatial ability in androgen-deficient men. *New England Journal of Medicine*, 306(20), 1202–1205.
- Hsi, S., Linn, M. C. i Bell, J. E. (1997). The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 151–158.
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P. i Dehaene, S. (2009). Numerical and spatial intuitions: a role for posterior parietal cortex? W: L. Tommasi, L. Nadel i M. A. Peterson, (red.), *Cognitive biology: evolutionary and developmental perspectives on mind, brain and behavior* (s. 221–246). Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.
- Hyde, J. S. (2013). Gender similarities and differences. *Annual Review of Psychology*, 65(1), 373–398.
- Iachini, T., Sergi, I., Ruggiero, G. i Gnisci, A. (2005). Gender differences in object location memory in a real three-dimensional environment. *Brain and Cognition*, 59(1), 52–59.
- Ishikawa, T. i Kastens, K. A. (2005). Why some students have trouble with maps and other spatial representations. *Journal of Geoscience Education*, 53(2), 184–197.
- Kali, Y. i Orion, N. (1996). Spatial abilities of high-school students in the perception of geologic structures. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(4), 369–391.
- Kass, S., Ahlers, R. i Dugger, M. (1998). Eliminating gender differences through practice in an applied visual spatial task. *Human Performance*, 11(4), 337–349.
- Kimura, D. (1996). Sex, sexual orientation and sex hormones influence human cognitive function. *Current Opinion in Neurobiology*, 6(2), 259–263.
- Kopcha, T. J., Otumfuor, B. A. i Wang, L. (2015). Effects of spatial ability, gender differences, and pictorial training on children using 2-D and 3-D environments to recall landmark locations from memory. *Journal of Research on Technology in Education*, 47(1), 1–20.
- Koscik, T., O’Leary, D., Moser, D. J., Andreasen, N. C. i Nopoulos, P. (2009). Sex differences in parietal lobe morphology: relationship to mental rotation performance. *Brain and Cognition*, 69(3), 451–459.
- Kosslyn, S. M. i Thompson, W. L. (2003). When is early visual cortex activated during visual mental imagery? *Psychological Bulletin*, 129(5), 723–746.
- Kozhevnikov, M., Kosslyn, S. i Shephard, J. (2005). Spatial versus object visualizers: a new characterization of visual cognitive style. *Memory & Cognition*, 33(4), 710–726.

- Kozhevnikov, M., Motes, M. A. i Hegarty, M. (2007). Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, 31(4), 549–579.
- Kozhevnikov, M., Motes, M. A., Rasch, B. i Blajenkova, O. (2006). Perspective-taking vs mental rotation transformations and how they predict spatial navigation performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 397–417.
- Lajoie, S. P. (2003). Individual differences in spatial ability: developing technologies to increase strategy awareness and skills. *Educational Psychologist*, 38(2), 115–125.
- Linn, M. C. i Kyllonen, P. (1981). The field dependence–independence construct: some, one, or none. *Journal of Educational Psychology*, 73(2), 261–273.
- Linn, M. C. i Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479–1498.
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and g. W: I. Dennis i P. Tapsfield (red.), *Human abilities: their nature and measurement* (s. 97–116). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Lohman, D. F. i Nichols, P. D. (1990). Training spatial abilities: effects of practice on rotation and synthesis tasks. *Learning and Individual Differences*, 2(1), 67–93.
- Lubinski, D. i Benbow, C. P. (2006). Study of mathematically precocious youth after 35 years: uncovering antecedents for the development of math-science expertise. *Perspectives on Psychological Science*, 4(1), 316–345.
- Lytton, H. i Romney, D. M. (1991). Parents' differential socialization of boys and girls: a meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 109(2), 267–275.
- Maeda, Y. i Yoon, S. Y. (2013). A meta-analysis on gender differences in mental rotation ability measured by the Purdue spatial visualization tests: visualization of rotations (PSVT: R). *Educational Psychology Review*, 25(1), 69–94.
- McCallin, R. C. (2006). Test administration. W: S. M. Downing i T. M. Haladyna (red.), *Handbook of test development* (s. 625–652). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889–911.
- Miller, D. I. i Halpern, D. F. (2013). Can spatial training improve long-term outcomes for gifted STEM undergraduates? *Learning and Individual Differences*, 26, 141–152.
- Miller, R. B., Kelly, G. N. i Kelly, J. T. (1988). Effects of Logo computer programming experience on problem solving and spatial relations ability. *Contemporary Educational Psychology*, 13(4), 348–357.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P. i Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 621–640.
- Moè, A. (2009). Are males always better than females in mental rotation? Exploring a gender belief explanation. *Learning and Individual Differences*, 19(1), 21–27.
- Moffat, S. D. i Hampson, E. (1996). A curvilinear relationship between testosterone and spatial cognition in humans: possible influence of hand preference. *Psychoneuroendocrinology*, 21(3), 323–337.
- Monahan, J. S., Harke, M. A. i Shelley, J. R. (2008). Computerizing the mental rotations test: are gender differences maintained? *Behavior Research Methods*, 40(2), 422–427.
- Morris, R. G. i Parslow, D. (2004). Neurocognitive components of spatial memory. W: G. L. Allen i D. Haun (red.), *Remembering where: advances in understanding spatial memory* (s. 217–247). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Nauta, M. M., Epperson, D. L. i Kahn, J. H. (1998). A multiple-groups analysis of predictors of higher level career aspirations among women in mathematics, science, and engineering majors. *Journal of Counseling Psychology*, 45(4), 483–496.
- Ohnishi, T., Matsuda, H., Hirakata, M. i Ugawa Y. (2006). Navigation ability dependent neural activation in the human brain: an fMRI study. *Neuroscience research*, 55(4), 361–369.
- Oltman, P. K. (1968). A portable rod-and-frame apparatus. *Perceptual and Motor Skills*, 26(2), 503–506.
- Ortner, T. M. i Sieverding, M. (2008). Where are the gender differences? Male priming boosts spatial skills in women. *Sex Roles*, 59(3–4), 274–281.
- Pajares, F. i Miller, M. D. (1997). Mathematics self-efficacy and mathematical problem solving: implications of using different forms of assessment. *The Journal of Experimental Education*, 65(3), 213–228.
- Pérez-Fabello, M. i Campos, A. (2007). Influence of training in artistic skills on mental imaging capacity. *Creativity Research Journal*, 19(2–3), 227–232.
- Peters, M., Chisholm, P. i Laeng, B. (1995). Spatial ability, student gender, and academic performance. *Journal of Engineering Education*, 84(1), 69–73.

- Pezaris, E. i Casey, M. B. (1991). Girls who use "masculine" problem-solving strategies on a spatial task: proposed genetic and environmental factors. *Brain and Cognition*, 17(1), 1–22.
- Quaiser-Pohl, C., Geiser, C. i Lehmann, W. (2006). The relationship between computer-game preference, gender, and mental-rotation ability. *Personality and Individual Differences*, 40(3), 609–619.
- Robert, M. i Chaperon, H. (1989). Cognitive and exemplary modelling of horizontality representation on the Piagetian water-level task. *International Journal of Behavioral Development*, 12(4), 453–472.
- Rohde, T. E. i Thompson, L. A. (2007). Predicting academic achievement with cognitive ability. *Intelligence*, 35(1), 83–92.
- Schaefer, P. D. i Thomas, J. (1998). Difficulty of a spatial task and sex difference in gains from practice. *Perceptual and Motor Skills*, 87(1), 56–58.
- Shea, D. L., Lubinski, D. i Benbow, C. P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: a 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 604–614.
- Silverman, I., Choi, J. i Peters, M. (2007). The hunter-gatherer theory of sex differences in spatial abilities: data from 40 countries. *Archives of Sexual Behavior*, 36(2), 261–268.
- Silverman, I., Kastuk, D., Choi, J. i Phillips, K. (1999). Testosterone levels and spatial ability in men. *Psychoneuroendocrinology*, 24(8), 813–822.
- Sims, V. K. i Mayer, R. E. (2002). Domain specificity of spatial expertise: the case of video game players. *Applied Cognitive Psychology*, 16(1), 97–115.
- Sorby, S. A. (2009). Education research in developing 3-D spatial skills for engineering students. *International Journal of Science Education*, 31(3), 459–480.
- Sorby, S. A. (2012). *Developing spatial thinking*. Clifton Park: Delmar Cengage Learning.
- Sorby, S. A. i Baartmans, B. J. (2000). The development and assessment of a course for enhancing the 3-D spatial visualization skills of first year engineering students. *Journal of Engineering Education*, 89(3), 301–307.
- Sorby, S. A., Casey, B., Veurink, N. i Dulaney, A. (2013). The role of spatial training in improving spatial and calculus performance in engineering students. *Learning and Individual Differences*, 26, 20–29.
- Spence, I., Yu, J. J., Feng, J. i Marshman, J. (2009). Women match men when learning a spatial skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(4), 1097–1103.
- Stafford, R. E. (1961). Sex differences in spatial visualization as evidence of sex-linked inheritance. *Perceptual and Motor Skills*, 13(3), 428–428.
- Stieff, M. i Uttal, D. (2015). How much can spatial training improve STEM achievement? *Educational Psychology Review*, 27(4), 607–615.
- Terlecki, M. S., Newcombe, N. S. i Little, M. (2008). Durable and generalized effects of spatial experience on mental rotation: gender differences in growth patterns. *Applied Cognitive Psychology*, 22(7), 996–1013.
- Thomsen, T., Hugdahl, K., Ersland, L., Barndon, R., Lundervold, A., Smievoll, A. I., Roscher, B. E. i Sundberg, H. (2000). Functional magnetic resonance imaging (fMRI) study of sex differences in a mental rotation task. *Medical Science Monitor*, 6(6), 1186–1196.
- Tronsky, L. N. (2005). Strategy use, the development of automaticity, and working memory involvement in complex multiplication. *Memory & Cognition*, 33(5), 927–940.
- Uttal, D. H. i Cohen, C. A. (2012). Spatial thinking and STEM education: when, why and how. *Psychology of Learning and Motivation*, 57(2), 147–181.
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C. i Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352–402.
- Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E. H. i Luit, J. E. van (2015). Verbal and visual-spatial working memory and mathematical ability in different domains throughout primary school. *Memory & Cognition*, 43(3), 367–378.
- Van Goozen, S. H., Cohen-Kettenis, P. T., Gooren, L. J., Frijda, N. H. i Van de Poll, N. E. (1995). Gender differences in behaviour: activating effects of cross-sex hormones. *Psychoneuroendocrinology*, 20(4), 343–363.
- Vandenberg, S. G. i Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599–604.
- Ven, S. H. van der, Maas, H. L. van der, Straatemeier, M. i Jansen, B. R. (2013). Visuospatial working memory and mathematical ability at different ages throughout primary school. *Learning and Individual Differences*, 27, 182–192.
- Vogel, J. J., Bowers, C. A. i Vogel, D. S. (2003). Cerebral lateralization of spatial abilities: a meta-analysis. *Brain and Cognition*, 52(2), 197–204.
- Voyer, D. i Saunders, K. A. (2004). Gender differences on the mental rotations test: a factor analysis. *Acta Psychologica*, 117(1), 79–94.

- Voyer, D., Nolan, C. i Voyer, S. (2000). The relation between experience and spatial performance in men and women. *Sex Roles*, 43(11), 891–915.
- Voyer, D., Voyer, S. i Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117(2), 250–270.
- Wai, J., Lubinski, D. i Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817–835.
- Webb, R. M., Lubinski, D. i Benbow, C. P. (2007). Spatial ability: a neglected dimension in talent searches for intellectually precocious youth. *Journal of Educational Psychology*, 99(2), 397–420.
- Wiedenbauer, G. i Jansen-Osmann, P. (2008). Manual training of mental rotation in children. *Learning and Instruction*, 18(1), 30–41.
- Witkin, H. A., Oltman, P. K., Raskin, E. i Karp, S. A. (1971). A manual for the embedded figures tests. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Workman, J. E., Caldwell, L. F. i Kallal, M. J. (1999). Development of a test to measure spatial abilities associated with apparel design and product development. *Clothing & Textiles Research Journal*, 17(3), 128–133.
- Wraga, M., Helt, M., Jacobs, E. i Sullivan, K. (2007). Neural basis of stereotype-induced shifts in women's mental rotation performance. *Social Cognition and Affective Neuroscience*, 2(1), 12–19.

Tekst złożony 7 lipca 2016 r., zrecenzowany 4 listopada 2017 r., przyjęty do druku 10 marca 2017 r.

**An overview of research testing relationships between spatial abilities
of pupils' and students' competencies of exact sciences**

Spatial abilities are one of the strongest determinants of achievement in the exact sciences. The aim of the article is to present and systematise the most recent research on the links between the level of spatial abilities and performance in science. In the first part of the article, we define the types of spatial abilities. Then we present the determinants of spatial abilities. In the following parts of the article, we discuss the results of the research showing the relationship between the level of spatial abilities and competences in the exact sciences. At the end of the article, we present empirically verified methods for developing spatial abilities among students. The results of the studies described in the article show how to improve the achievements of students in the exact sciences through the development of spatial abilities.

KEYWORDS: cognitive abilities, training of spatial abilities, abilities in the exact sciences, spatial abilities.