

## Percepcja krosmodalna

### Cross-modal perception

Agnieszka Zydlewska<sup>1</sup>, Anna Grabowska<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Szkoła Wyższa Psychologii Społecznej w Warszawie

<sup>2</sup>Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, Polska Akademia Nauk w Warszawie

Neuropsychiatria i Neuropsychologia 2011; 6, 2: 60–70

#### Adres do korespondencji:

mgr Agnieszka Zydlewska  
Interdyscyplinarne Studia Doktoranckie  
Szkoła Wyższa Psychologii Społecznej  
ul. Chodakowska 19/31  
03-815 Warszawa  
e-mail: azydlewska@swps.edu.pl

#### Streszczenie

Percepcję krosmodalną definiuje się jako „zdolność do abstrahowania i wymiany informacji pomiędzy różnymi modalnościami zmysłowymi” (Davenport i wsp. 1973). Jednym z przejawów krosmodalności percepcji jest występowanie wśród ludzi pewnych naturalnych i powszechnych skojarzeń określonych cech bodźców w jednej modalności z pewnymi cechami bodźców w innej modalności (np. dźwięk o wysokiej częstotliwości jest kojarzony ze światłem o dużej jasności, a także z obiektem o kanciastym kształcie; słowa zawierające samogłoskę *a* łączone są z większymi obiektami, a samogłoskę *i* – z mniejszymi). Szczególnym przypadkiem percepcji krosmodalnej jest synestezja – zjawisko polegające na tym, że stymulacja jednej modalności zmysłowej wywołuje również doznania w innej modalności lub doznania w tej samej modalności, ale dotyczące innych cech bodźca (Sagiv 2005). Istnieją dwie główne teorie wyjaśniające przyczyny synestezji: 1) występowanie nadmiarowych połączeń pomiędzy obszarami mózgu, które normalnie nie są ze sobą ściśle połączone, oraz 2) osłabione hamowanie sygnałów zakłócających przetwarzanie informacji danego rodzaju.

**Słowa kluczowe:** percepcja krosmodalna, krosmodalne dopasowywanie bodźców, synestezja.

#### Percepcja krosmodalna

Od stuleci uczeni interesowali się tematyką postrzegania świata i próbowali zrozumieć, w jaki sposób są przetwarzane informacje docierające z otoczenia do naszego umysłu. Znakoμίta większość badań dotyczyła (i dotyczy) procesów percepcyjnych zachodzących w pojedynczych modalnościach zmysłowych, analizowanych na różnych poziomach abstrakcji. Badania te koncentrują się jednak na funkcjonalnych właściwościach poszczególnych zmysłów, pod-

#### Abstract

Cross-modal perception is “the capacity to abstract and exchange information between different sensory modalities” (Davenport *et al.* 1973). One aspect of the cross-modality of perception is the occurrence among people of certain natural and universal mappings of certain stimulus features in one modality into stimulus features in another modality (e.g. high-pitched sounds are associated with bright light, as well as with jagged shapes; words containing the vowel *a* are connected with bigger objects, those containing *i* with smaller ones). Synaesthesia is a special case of cross-modal perception. It is a condition in which stimulation in one sensory modality gives rise to a sensation in a different modality, or in the same modality but involving different qualities of the stimulus (Sagiv 2005). Two major theories have been proposed to explain synaesthesia: 1) failure of neural pruning resulting in cross-activation between some brain regions which in a non-synaesthetic brain are not strongly connected, and 2) weakened inhibition of feedback from certain brain regions, which interferes with the processing of information of a particular kind.

**Key words:** cross-modal perception, cross-modal matching, synaesthesia.

czas gdy percepcja ma przecież charakter multimodalny – aby zwiększyć prawdopodobieństwo szybkiego spostrzeżenia obiektu, jego prawidłowego zidentyfikowania i właściwego na niego zareagowania, nasze zmysły współdziałają, a mózg wykorzystuje informacje z wielu kanałów zmysłowych. Dlatego też doświadczenia, które początkowo mogą się wydawać modalnie specyficzne, najprawdopodobniej podlegają wpływom zjawisk występujących w innych modalnościach, niezależnie od tego, czy jesteśmy tych interakcji świadomi. Dla pełnego zro-

zumienia procesów percepcji zmysłowej, niezbędne wydaje się zatem zrozumienie nie tylko procesów przetwarzania informacji w obrębie jednej modalności zmysłowej, lecz także tego, w jaki sposób informacje te są modulowane przez zjawiska zachodzące w innych modalnościach (Calvert i wsp. 2004).

Termin „krosmodalny” odnosi się do sytuacji, w których prezentacja bodźca do jednej modalności zmysłowej może wpływać na percepcję bodźców prezentowanych do innej modalności lub też na zdolność reagowania na te drugie (Spence i wsp. 2009). Davenport i wsp. (1973, s. 21) definiują percepcję krosmodalną jako „zdolność do abstrahowania i wymiany informacji pomiędzy różnymi modalnościami zmysłowymi”.

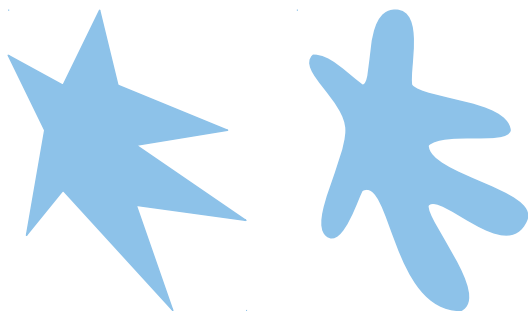
Jeden z wątków w badaniach nad przetwarzaniem krosmodalnym informacji zmysłowych dotyczy pewnych naturalnych i powszechnych wśród ludzi skojarzeń określonych cech bodźców w jednej modalności z pewnymi cechami bodźców w innej modalności (np. dźwięk o wysokiej częstotliwości może być kojarzony ze światłem o dużej jasności). Pod koniec lat 50. ubiegłego wieku Stevens (1959) udowodnił, że osoby badane są w stanie bez trudu powiązać ze sobą parametry intensywności bodźców przetwarzanych w różnych modalnościach zmysłowych. Uczestnicy jego eksperymentów oceniali głośność dźwięku, siłę wibracji mechanicznych oraz natężenie impulsu elektrycznego. Opracowaną przez Stevensa technikę (*cross-modality matching*) do dziś z powodzeniem stosuje się w badaniach nad krosmodalnością zmysłów. Wykazano na przykład, że już czterolatki łączą określoną głośność dźwięku z określoną długością odcinka i odwrotnie (Teghtsoonian 1980), a dzieci w wieku 2,5–3 lat obserwujące skaczące piłki, którym towarzyszą dźwięki o różnej wysokości, wyższe dźwięki łączą z mniejszymi i jaśniejszymi piłkami, natomiast niższe – z piłkami większymi i ciemniejszymi (Mondloch i Maurer 2004). W szeregu eksperymentów dowiedziono podobieństw w postrzeganiu intensywności bodźców wzrokowych, słuchowych i dotykowych (Marks i wsp. 1986; Stevens i Marks 1980). Zauważono, że istnieje swoiste mapowanie natężenia barw na wysokość i głośność dźwięku: dźwięki głośne i wysokie odpowiadają jasnym barwom, a ciche i niskie – barwom ciemnym (Marks 1989).

W literaturze przedmiotu opisano zjawiska modyfikujące percepcję bodźców akustycznych przez bodźce wzrokowe. Jednym z najbardziej znanych jest tzw. efekt McGurka, polegający

na tym, że doznania wzrokowe zmieniają percepcję mowy. Na przykład, występuje tendencja do odbioru sylaby *ba* jako *da* w sytuacji, gdy osoba słuchająca dźwięku jednocześnie widzi ruch warg przy wymawianiu sylaby *ga* (Shams i wsp. 2004). Innym przykładem jest tzw. efekt brzuchomówcy, występujący wtedy, gdy jednocześnie prezentowany jest bodziec wzrokowy i słuchowy, jednakże źródła każdego z nich mają nieco inną lokalizację przestrzenną. Wówczas bodźce te postrzegane są tak, jakby były generowane w miejscu, z którego pochodzi bodziec wzrokowy (Woods i Recanzone 2004). Na przestrzenną lokalizację źródła dźwięku bardzo silnie wpływają zatem docierające do odbiorcy sygnały wzrokowe, dokładnie tak jak w przypadku ruchu ust lalki animowanej przez brzuchomówcę. Oba opisane efekty świadczą o dominacji bodźców wzrokowych nad słuchowymi w przypadku ich jednoczesnej ekspozycji. Te i inne złudzenia, w które zaangażowany jest wzrok i słuch, dowodzą, iż obie te modalności są w mózgu ściśle powiązane i wpływają na siebie wzajemnie już na wczesnych etapach procesu percepcji (Cytowic i Eagleman 2009).

Jousmäki i Hari (1998) odkryli tzw. efekt pergaminowej skóry (*parchment-skin illusion*). Złudzenie to polega na tym, że doznania słuchowe mogą zmieniać percepcję bodźców dotykowych. Uczestnicy eksperymentu szybko pocierali o siebie dłonie, a towarzyszące tej czynności dźwięki były nagrywane, po czym odtwarzane badanym przez słuchawki. Na podstawie nagrania mieli oni ocenić stan skóry dłoni (na przeciwnych biegunach skali znalazły się wartości odpowiadające skórze szorstkiej lub wilgotnej *vs* gładkiej lub suchej). Nagrania były odtwarzane na trzech poziomach głośności: zgodnie z oryginałem, ciszej i głośniejsze. Wyniki eksperymentu pokazały, że wzrostowi głośności odtwarzanego nagrania towarzyszyło zwiększenie odczuwania stopnia gładkości lub suchości skóry dłoni.

Arieh i Marks (2008) odnotowali skrócenie czasu reakcji na bodziec wzrokowy, gdy jego ekspozycji towarzyszy dźwięk. Jedną z hipotez próbujących wyjaśnić to zjawisko mówi o sumowaniu energii bodźca akustycznego i wzrokowego na wczesnym etapie procesu przetwarzania informacji, co powoduje wzrost intensywności bodźca wzrokowego. Zgodnie z drugą hipotezą, odnoszącą się do przetwarzania informacji na wyższym (decyzyjnym) poziomie, bodziec dźwiękowy pełni funkcję sygnału ostrzegawczego zmuszającego osobę badaną do szybszej reakcji.



Ryc. 1. Figury wykorzystane w badaniu Ramachandrana i Hubbarda (*kiki* czy *bouba*?)

W badaniach nad percepcją krosmodalną sporo miejsca poświęcono współdziałaniu zmysłu wzroku i słuchu. Postawiono nawet hipotezy, że to właśnie owo współdziałanie umożliwiło ewolucję języka oraz myślenia abstrakcyjnego (Maurer i wsp. 2006; Ramachandran i Hubbard 2005). O krosmodalnych zależnościach pomiędzy wymienionymi zmysłami świadczą wyniki badań dotyczących mapowania bodźców dźwiękowych i wzrokowych.

Od kilkudziesięciu lat za jedną z uniwersalnych zasad w językoznawstwie uznawana jest zasada dowolności znaku językowego, mówiąca o tym, że związek między pojęciem (*signifié*) a obrazem akustycznym (*signifiant*) lub inaczej: między elementem oznaczanym i oznaczającym, nie jest naturalny i konieczny (de Saussure 2002). Uważa się zatem, że przyporządkowywanie dźwięków obiektom jest dowolne i różni się w zależności od języka. Znane są jednak przykłady świadczące o istnieniu pewnych naturalnych wzorców odzwierciedlenia fonologicznych właściwości nazw i percepcyjnych właściwości obiektów, których te nazwy dotyczą (Maurer i wsp. 2006).

Wytłumaczenia tego zjawiska dostarcza wynik eksperymentu przeprowadzonego przez Ramachandrana i Hubbarda (2005), w którym prosili oni badanych o nazwanie dwóch figur. Jedna z nich była kanciasta, druga przypominała atramentowy kleks o łagodnych brzegach (ryc. 1.). Badani mieli do wyboru dwie nazwy: *kiki* oraz *bouba*. Niemal wszyscy respondenci (98%) nazwę *kiki* przyporządkowali kanciastej figurze, a *bouba* – opływowej. Niewykluczone, że na wyniki miał wpływ kształt liter występujących w obu nazwach. Jednakże klasyczny eksperyment, na którym Ramachandran i Hubbard wzorowali swój, został przeprowadzony wśród ludzi, którzy nie znali angielskiego i nie posługiwali się pismem. Jego autorem był Köhler, który poprosił mieszkańców Teneryfy o nazwanie podobnych figur (tj. kanciastej

i zaokrąglonej). Do wyboru były słowa *takete* i *baluma*, zastąpione w późniejszym eksperymencie słowami *tatoe* i *maluma* (Köhler 1929, 1947, za: Ramachandran i Hubbard 2005). Wyniki nie pozostawiają wątpliwości: kanciastym kształtom przyporządkowano nazwy *take-te* i *tatoe*, kształtom opływowym zaś – *baluma* i *maluma*. W każdym przypadku wystąpiła więc bardzo wyraźna zależność pomiędzy percepcją bodźców wzrokowych i słuchowych.

Maurer i wsp. (2006) wykazały, że regularności przyporządkowania nonsensownych nazw do określonych kształtów występują już u 2,5-letnich dzieci, co może być dowodem na to, iż takie wrodzone regularności wpływają na rozwój języka. Podobnie jak w eksperymentach Köhlera oraz Ramachandrana i Hubbarda, badani łączyli nazwy zawierające tzw. samogłoski zaokrąglone (*o*, *u*) z opływowymi kształtami, a nazwy, w których występowały samogłoski niezaokrąglone – z kształtami kanciastymi. Ramachandran i Hubbard (2005) przypuszczają, że za zjawisko to odpowiada zakręt kątowy (pole 39 na mapie Brodmanna), gdzie zbiegają się i są integrowane informacje o bodźcach wzrokowych, słuchowych i dotykowych. Łagodne kształty opływowych figur są niejako odpowiednikiem łagodnych dźwięków słowa *bouba* i łagodnych zmian ruchów warg oraz języka przy ich wypowiedzianiu, podczas gdy kontur kanciastej figury zmienia się gwałtownie, co koresponduje z gwałtowną artykulacją przy wymawianiu słowa *kiki*. Dla wzmocnienia swojej hipotezy autorzy odwołują się do wyników badania efektu *bouba-kiki* wśród pacjentów z uszkodzonym zakrętem kątowym. Efekt ten w ich przypadku nie wystąpił – pacjenci dopasowywali dźwięki do kształtów w sposób losowy.

Według Sapira (1929), elementy fonetyczne niosą pewne konotacje symboliczne. W serii eksperymentów pokazał on, że istnieje wyraźna preferencja łączenia słów zawierających samogłoskę *a* z większymi obiektami, a samogłoskę *i* – z mniejszymi. Podobne eksperymenty wykonał kilka lat później Newman (1933), który pary nonsensownych wyrazów, różniących się tylko jedną samogłoską, łączył z dowolnym znaczeniem (obiektem). Zadanie badanych polegało na podaniu, który z elementów pary wyrazów określa coś większego (mniejszego), a także ciemniejszego (jaśniejszego). I tak, słowa zawierające samogłoskę *a* badani łączyli z obiektami większymi i ciemniejszymi niż słowa zawierające samogłoskę *i*. Podobną zależność dało się zauważyć przy spółgłoskach dźwięcznych (*g*)

i bezdźwięcznych (*k*). Według Newmana przypisywanie danemu dźwiękowi wartości na skali wielkości bądź jasności koreluje z jego częstotliwością, a także pozycją języka oraz szerokością otwarcia ust podczas artykulacji.

O tym, że istnieją pewne naturalne prawidłowości przy mapowaniu cech bodźców dźwiękowych i wzrokowych, przekonują również eksperymenty Kovica i wsp. (2010). Autorzy zaprojektowali zestaw obiektów, po czym nauczyli osoby badane klasyfikować obiekty o zaokrąglonych kształtach jako *moty*, a obiekty o kształtach kanciastych jako *riffy*. Druga grupa nauczyła się klasyfikować te same zaokrąglone obiekty jako *riffy*, natomiast kanciaste jako *moty* (reguła ta jest sprzeczna z naturalną tendencją przyporządkowywania kanciastym kształtom nazw zawierających niezaokrąglone głoski). W kolejnej fazie eksperymentu uczestnikom zaprezentowano obiekty z przypisanymi nazwami, przy czym połowa par obiekt–nazwa była zgodna z wcześniej wyuczoną zasadą klasyfikacji, a połowa nie. Zadanie osób badanych polegało na wykryciu, czy nazwa pasuje do obiektu, zgodnie z wyuczoną regułą. Okazało się, że czas reakcji badanych, którzy nauczyli się przypisywać nazwy obiektom według zgodności cech bodźców dźwiękowych i wzrokowych (tj. *riff* – kanciasty, *mot* – zaokrąglony), był krótszy.

Kolejnych dowodów na istnienie wspomnianych naturalnych wzorców mapowania dostarczają badania nad zgadywaniem znaczenia wyrazów w nieznanym dla badanych językach. Przykładowo, anglojęzyczni badani byli w stanie prawidłowo zaklasyfikować słowa będące nazwami różnych gatunków ptaków i ryb w języku huambisa<sup>1</sup> właśnie jako nazwy ptaków i ryb z prawdopodobieństwem wyższym niż losowe (Berlin 1994, za: Maurer i wsp. 2006).

Ciekawe eksperymenty dotyczyły tzw. synestezyjnych metafor. Mianem tym określa się wyrażenia, w których słowa opisujące doświadczenia typowe dla jednej modalności zmysłowej przenoszą ich znaczenie do innej modalności. Marks (1982) przeprowadził serię eksperymentów, w których badani oceniali stopień głośności, wysokości dźwięku i jasności charakteryzujących sytuacje opisane zarówno pojedynczymi wyrazami lub wyrażeniami odnoszącymi się do jednej modalności zmysłowej (np. *cichy dźwięk fortepianu*, *szary zmierzch*), jak i metaforami łączącymi wyrażenia typowe dla modalności słuchowej i wzrokowej (np. *jasny dźwięk fortepianu*, *słoneczne szepty*). Przykładowo, biorąc pod uwagę dosłowne znaczenie wyrazów badani uznali, że *dźwięk trąbki* jest głośniejszy niż *dźwięk fortepiana*,

a dodanie przymiotnika *cichy* (*głośny*) odpowiadało oczywiście zmniejszeniu (zwiększeniu) głośności wspomnianych dźwięków, przy jednoczesnym zachowaniu różnic pomiędzy głośnością dźwięków obu instrumentów (tj. *cichy dźwięk trąbki* został uznany za głośniejszy niż *cichy dźwięk fortepianu*). Głośność dźwięku określona metaforami zawierającymi sformułowania odnoszące się do doznań słuchowych, które to doznania określono dodatkowo przymiotnikiem *jasny* (np. *jasny dźwięk fortepianu*) była postrzegana jako wyższa, niż gdy użyto przymiotnika *ciemny* (np. *ciemny dźwięk fortepianu*). Podsumowując – *jasne* doznania słuchowe uznawane były za głośniejsze niż *ciemne* (co oczywiście, były one również uznawane za jaśniejsze). Marks po raz kolejny wykazał więc, że głośność i wysokość bodźców dźwiękowych są odpowiednikami jasności bodźców wzrokowych. Zwrócił przy tym uwagę na fakt, że sposób, w jaki ludzie oceniają synestezyjne metafory, przypomina percepcję synestezyjną, z tym że u synestetyków doznania krosmodalne są znacznie bardziej intensywne, pojawiają się automatycznie i nie zmieniają się w czasie.

Nie mniej interesujących informacji na temat współdziałania zmysłów dostarczają badania nad percepcją faktury.

Pojęcie „faktura” odnosi się do mikrostruktury powierzchni materiału. Opisuując tę właściwość przedmiotu, mówimy, że jest on szorstki, gładki, mechaty, miły w dotyku lub chropowaty. Warto zwrócić uwagę, że percepcja faktury ma charakter wielomodalny<sup>2</sup> – w jej postrzeganiu zaangażowane mogą być wzrok, dotyk i słuch. Fakturę można postrzegać za pomocą każdego z tych zmysłów osobno bądź przy jednoczesnym współdziałaniu dwóch, a nawet trzech z nich. Korzystanie z więcej niż jednego kanału percepcyjnego może powodować dostarczanie nadmiarowych wskazówek o tej samej właściwości powierzchni obiektu. Informacje odbierane przez jeden z układów sensorycznych mogą być ponadto przetwarzane dokładniej czy szybciej od informacji odbieranych przez inny układ, a różne modalności sensoryczne mogą dostarczać informacji rozbieżnych albo też informacji jakościowo różnych, lecz komplementarnych (Lederman i Klatzky 2004).

Skoro informacje na temat faktury dostarczane są przez różne modalności zmysłowe, niezbędna staje się ich integracja przez odbiorcę. Badania nad integracją informacji prowadzone są w paradygmacie konfliktu modalności zmysłowych oraz dominacji jednej z nich. W sytuacjach konfliktowych, tj. gdy poprzez różne



modalności docierają do odbiorcy niespójne informacje dotyczące tej samej sytuacji, „wygrywa” modalność dostarczająca bardziej precyzyjnych informacji (np. w zadaniach związanych z przetwarzaniem informacji przestrzennych dominuje wzrok, podczas gdy w zadaniach wymagających przetwarzania informacji czasowych – słuch) lub modalność, której przypisana zostanie relatywnie wyższa pula zasobów uwagi (zwykle jest to wzrok, gdyż bodźce wzrokowe przyciągają więcej uwagi) (Welch i Warren 1980).

Lederman i Klatzky (2004) dokonały przeglądu badań nad percepcją faktury dotyczących integracji informacji pochodzących z różnych modalności zmysłowych. Wynika z niego, że w percepcji faktury nie ma stałej przewagi żadnej z modalności (wzrok *vs* dotyk).

Przykładowo, Klatzky i wsp. (1987) przeprowadziły serię eksperymentów polegających na sortowaniu obiektów, z których każdy można było opisać za pomocą trzystopniowej skali odnoszącej się do czterech cech: faktury, twardości, kształtu i wielkości. Osoby badane poproszone o grupowanie obiektów pod względem podobieństwa dotykowego preferowały sortowanie obiektów pod względem właściwości materiału, z którego zostały wykonane (faktura, twardość), w przeciwieństwie do ich cech geometrycznych (wielkość, kształt). Natomiast sortując obiekty według ich podobieństwa wizualnego, w pierwszej kolejności kierowali się kształtem, w drugiej – fakturą.

Interesujące badania były prowadzone nad dźwiękami generowanymi przy dotykaniu powierzchni przedmiotów. Okazało się, że kiedy informacje na temat chropowatości powierzchni docierają zarówno przez dotyk, jak i słuch (dźwięki powstające przy pocieraniu powierzchni), badani ignorują te z modalności słuchowej, polegając głównie na informacjach dotykowych (Lederman 1979), chociaż – jak wykazały późniejsze badania – potrafią z łatwością rozpoznawać materiał na podstawie odgłosów wytwarzanych przy jego dotykaniu (Katz 1989, za: Lederman i Klatzky 2004).

Badania Hellera (1982) polegały na porównywaniu gładkości trzech powierzchni w trzech warunkach eksperymentalnych: bodźce były prezentowane wzrokowo, dotykowo oraz w tych dwóch modalnościach jednocześnie. Przy prezentacji do jednej modalności osiągnięto podobne wyniki, natomiast przy prezentacji bimodalnej trafność ocen okazała się wyższa. Nastąpiło tu więc pewne wspomaganie percepcji dotykowej przez wzrokową.

Odmienne wyniki uzyskali Jones i O’Neil (1985). W przeprowadzonym przez nich eksperymencie studenci porównywali szorstkość papieru ściernego. Bodźce były prezentowane w modalności wzrokowej, dotykowej lub jednocześnie wzrokowej i dotykowej. Mierzono zarówno trafność oceny, jak i jej szybkość. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic dotyczących trafności w zależności od rodzaju modalności, stwierdzono natomiast różnice w czasie reakcji. Najszybsze reakcje wystąpiły przy prezentacji wzrokowej, wolniejsze przy bimodalnej, a najwolniejsze przy dotykowej.

Wyniki Jonesa i O’Neila są spójne z wynikami większości badań, w których porównywano percepcję jedno- (wzrok lub dotyk oddzielnie) i dwumodalną (wzrok plus dotyk jednocześnie): trafność ocen we wszystkich przypadkach jest zbliżona, ale przetwarzanie informacji wzrokowych jest szybsze niż przetwarzanie informacji dotykowych (Lederman i Klatzky 2004). Oznacza to, że korzyści, jakie można odnieść, włączając w proces percepcji dodatkową modalność, sprowadzają się najwyżej do szybszego dokonania oceny bodźca, nie wpływają natomiast na jej trafność.

W badaniu wykorzystującym fakturę jako bodźce wzrokowe i dotykowe wykazano także, iż istnieją naturalne relacje pomiędzy cechami artykulacyjnymi głosek a rodzajem faktury. Innymi słowy, głoski o określonych cechach artykulacyjnych są w sposób automatyczny kojarzone z określonym rodzajem faktury. I tak, spółgłoski przedniojęzykowe, dźwiękowe, twarde, szczelinowe lub zwarto-szczelinowe są w naturalny sposób kojarzone z fakturą mechatą, natomiast spółgłoski przedniojęzykowe, zębowe, twarde, szczelinowe lub zwarto-szczelinowe – z fakturą gładką. Wzorce mapowania cech artykulacyjnych na rodzaj faktury są podobne dla modalności wzrokowej i dotykowej; prezentacja bimodalna (angażująca jednocześnie wzrok i dotyk) nie wzmacnia efektu mapowania (Zydlewska 2010).

#### Synestezja – szczególny przypadek percepcji krosmodalnej

Synestezja (gr. *synaísthesis*; od *syn* – razem, *aísthesis* – poznanie poprzez zmysły) oznacza zjawisko polegające na tym, że stymulacja jednej modalności zmysłowej wywołuje również doznania w innej modalności (modalnościach) lub doznania w tej samej modalności, ale dotyczące innych wymiarów (cech) bodźca<sup>3</sup> (Sagiv 2005). Synestezja jest więc swoistym współ-

działaniem zmysłów, polegającym na łączeniu wrażeń odbieranych przez jeden ze zmysłów z doznaniem związanym z innym zmysłem (zmysłami). Dlatego można ją uznać za szczególny przypadek percepcji krosmodalnej.

Najstarsze wzmianki o synestezji pochodzą z VI w. p.n.e. (Pitagoras, *Muzyka sfer*). Jednak prawdziwy rozkwit zainteresowania tym zjawiskiem nastąpił pod koniec XIX w., kiedy to cieszyło się ono taką popularnością, że podczas Międzynarodowego Kongresu Psychologii Fizjologicznej w 1890 r. powołano komitet mający się zająć standaryzacją terminologii dotyczącej synestezji oraz wytyczyć kierunki badań z nią związanych (Marks 1975, s. 304-306). W artykułach na temat synestezji podkreśla się rolę Francisa Galtona, który zapoczątkował badania naukowe nad tym zjawiskiem (Galton 1880a, 1880b, za: Hubbard i Ramachandran 2005, s. 509).

W ciągu ostatnich kilkunastu lat nastąpił niezwykle rozwój badań nad synestezją. Z 977 prac opublikowanych w recenzowanych czasopiśmie zawierających słowo *synestezja*, wyszukanych w bazie PsycINFO, aż 747 ukazało się w roku 2001 lub później. Przyczyniło się do tego opracowanie i udoskonalenie metod neuroobrazowania, które pozwalają zobaczyć, jak funkcjonuje żywy mózg. To, że mózg synestetyka musi funkcjonować czy być zbudowany nieco inaczej niż mózg „normalnego” człowieka, nie budzi już wątpliwości. Według najczęściej przytaczanych danych doznania synestetyczne występują u jednej na 2000 osób. Nie ma jednak zgodności co do częstości występowania synestezji – dane wahają się od jednej na 20 do jednej na 25 000 osób, w zależności od rodzaju synestezji i przyjętej metody szacowania tego wskaźnika (Hubbard i Ramachandran 2005, s. 509).

Badania klasyczne pozwoliły przede wszystkim udowodnić, że synestezja istnieje naprawdę<sup>4</sup> i jest związana z różnymi poziomami przetwarzania informacji<sup>5</sup> w procesie percepcji. Pozwoliły więc one określić – przynajmniej częściowo – naturę tego zjawiska. Jednak dopiero metody neuroobrazowania dostarczyły mocniejszych argumentów na rzecz wcześniejszych hipotez. W dalszej części pracy przedstawione zostaną najbardziej znane rodzaje eksperymentów nad synestezją oraz hipotezy wyjaśniające jej przyczyny, które sformułowano w dużej mierze na podstawie badań neuroobrazowania.

Wiele badań nad synestezją przeprowadzono, korzystając ze schematu eksperymentu zaproponowanego przez Stroopa (1935)<sup>6</sup>.

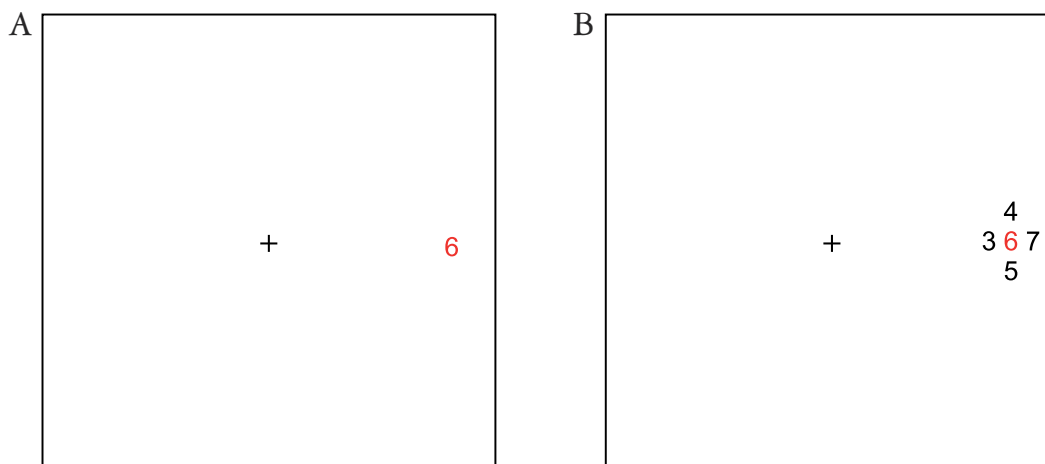
Wykazano w nich m.in., że szybkość reakcji synestetyka na prezentowane bodźce zależy od spójności tych bodźców z indywidualnymi cechami jego synestetycznej percepcji. Przykładowo, w eksperymencie przeprowadzonym przez zespół Dixona na monitorze komputera wyświetlane były losowo wybrane liczby – w kolorach zgodnych bądź niezgodnych z kolorami, jakie przypisywał im badany. Zadanie polegało na jak najszybszym określeniu koloru prezentowanej liczby. Jak oczekiwano, czas reakcji był istotnie krótszy w przypadku zgodności koloru bodźca z przypisywanym mu kolorem synestetycznym (Dixon i wsp. 2000). Prawidłowości tej nie zaobserwowano u niesynestetyków.

Inni badacze wykazali, że synestetycy mają większe trudności ze zidentyfikowaniem i zlokalizowaniem liczby, jeżeli jest ona prezentowana na tle zgodnym z jej synestetyczną barwą (Smilek i wsp. 2001), za to szybciej wynajdują znaki graficzne wśród dystraktorów, o ile wiążą się z nimi synestetyczne kolory pozwalające na ich wyróżnienie (Palmeri i wsp. 2002). Synestezja pomaga też w rozwiązywaniu zadań dotyczących efektu stłoczenia (ryc. 2.) (Ramachandran i Hubbard 2003), a także w grupowaniu obiektów (ryc. 3.), jako że synestetycy są w stanie przypisać tym obiektom dodatkowy, niedostępny innym osobom wymiar, np. barwę (Ramachandran i Hubbard 2001).

Badania nad naturą synestezji doprowadziły do wniosku (Cytowic 2002), iż jest to zjawisko o charakterze przymusowym (niezależnym od woli osoby) i automatycznym, które nie poddaje się kontroli, a związek pomiędzy bodźcami i synestetycznymi doznaniem nie zmienia się w czasie.

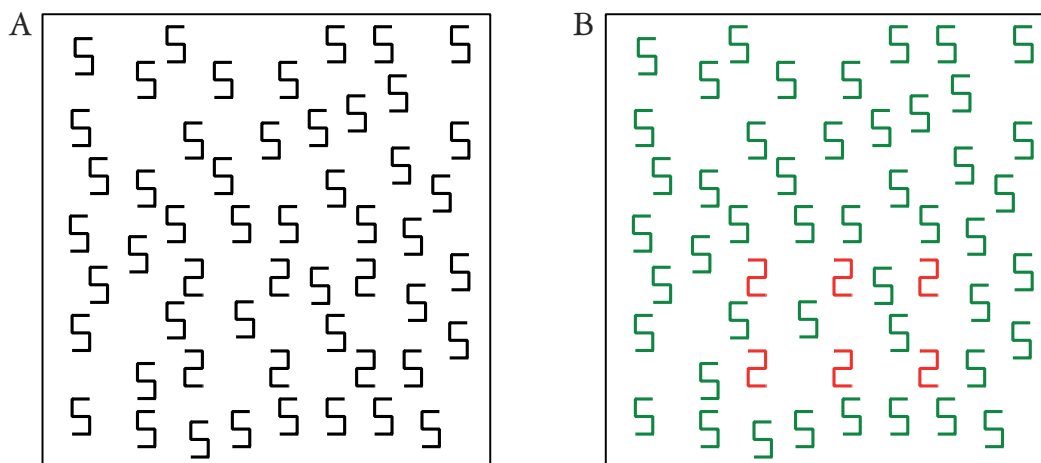
Warto zwrócić uwagę, że wyniki badań nad synestezją nie są jednoznaczne. Hubbard i Ramachandran (2005, s. 512) piszą, iż „prawie dla każdego opublikowanego badania można wskazać kontrbadanie, prowadzące do zupełnie odmiennych wniosków po przeprowadzeniu go na innej grupie synestetyków i w innym paradygmacie badawczym”. Na podstawie badań klasycznych można było wysnuć hipotezy dotyczące aktywacji różnych obszarów mózgu odpowiedzialnych za przetwarzanie różnego rodzaju bodźców. Dzięki metodom neuroobrazowania potwierdzono to, co stwierdzono wcześniej.

Pierwsze badanie synestetycznego mózgu zostało przeprowadzone przez Cytowica i Wooda w 1982 r. (Cytowic i Wood 1982), jednak z powodu dodatkowych anomalii



Ryc. 2. Efekt słóczenia

Skupiając wzrok na krzyżyku, stosunkowo łatwo można dostrzec cyfrę 6, gdy występuje ona pojedynczo (A). Dostrzeżenie jej w otoczeniu innych cyfr jest jednak znacznie utrudnione (B). Synestetyk, u którego percepcja cyfry 6 wywołuje doznanie konkretnego koloru, ma większe szanse prawidłowego jej rozpoznania „w tłoku”.



Ryc. 3. Grupowanie percepcyjne obiektów

Znalezienie wzoru utworzonego z dwójek wymaga przeszukania całego pola i jest dość czasochłonne (A). Synestetyk, u którego percepcja cyfry 2 wywołuje doznanie czerwieni, a cyfry 5 – zieleni, z łatwością odnajdzie ukryty wśród zielonych piątek prostokąt utworzony z czerwonych dwójek (B).

w funkcjonowaniu kory mózgowej u jednego wówczas badanego nie można było zinterpretować wyników. Kolejne badanie (pozytonowa tomografia emisyjna; *positron emission tomography* – PET) zakończyło się sukcesem: pokazało, że w czasie, kiedy badane kobiety, doświadczające synestezji typu kolor–słowo, słyszały słowa, obserwowano u nich aktywność w strukturach mózgu odpowiedzialnych za przetwarzanie języka oraz w korze wzrokowej. U osób z grupy kontrolnej odnotowano tylko aktywność w strukturach związanych z przetwarzaniem języka (Paulesu i wsp. 1995). W badaniu przeprowadzonym za pomocą funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (*functional magnetic reso-*

*nance imaging* – fMRI) synestetykom, u których prezentacja liczb i liter wywoływała doznania kolorystyczne, zaprezentowano białe litery i liczby na szarym tle, jak również symbole, które nie wywoływały u tych osób doznań kolorów. Podczas prezentacji liczb i liter zarówno u synestetyków, jak i u osób z grupy kontrolnej zaobserwowano aktywność struktur mózgowych odpowiedzialnych za przetwarzanie graficznej postaci liczb i liter (dolna kora skroniowo-potyliczna). U synestetyków – ale nie u osób z grupy kontrolnej – odnotowano dodatkowo aktywność obszarów odpowiedzialnych za przetwarzanie kolorów (hV4 w zakręcie wrzecionowatym). Badania te dostarczyły dowodów na

to, że funkcjonowanie synestezyjnego mózgu jest niewątpliwie odmienne niż mózgu normalnego (Hubbard i wsp. 2005).

Do zrozumienia zjawiska synestezji niezbędna jest podstawowa wiedza na temat mózgowego przetwarzania informacji związanych z danym rodzajem bodźców. I tak, aby zrozumieć, co powoduje jedną z najczęściej występujących odmian synestezji, polegającą na doświadczaniu kolorów przy ekspozycji liczb (por. np. Day 2005), należy pamiętać, że po dotarciu impulsów nerwowych z siatkówki do położonego w korze potylicznej pola 17 są one tam dzielone na podstawowe elementy obrazu: barwę, ruch, głębię i kształt (Grabowska i wsp. 2008). Informacje dotyczące barw „wędrują” następnie do pola V4, zlokalizowanego bardzo blisko struktur odpowiedzialnych za analizę graficznej postaci liczb. Jest to zatem miejsce, gdzie docierają informacje dotyczące zarówno analizy kolorów, jak i liczb. Informacje o kolorach docierają następnie do obszaru położonego na styku płatów skroniowego, ciemieniowego i potylicznego, tzw. styku TPO (*temporo-parieto-occipital junction*), w którym odbywa się zaawansowana analiza kolorów. Z kolei do zaawansowanej analizy informacji o liczbach dochodzi w zakręcie kątowym (pole 39), będącym częścią obszaru TPO. Badanie mózgu za pomocą fMRI wskazuje na wysoką aktywność rejonu V4, odpowiedzialnego za analizę kolorów, występującą u synestetyków podczas oglądania przez nich cyfr. Dotyczy to synestetyków, u których percepcja liczb lub liter prowadzi do powstawania doznań kolorów (synestezja typu grafem–kolor). U niesynestetyków nie notuje się takiej aktywacji podczas wykonywania identycznego zadania (Ramachandran i Hubbard 2003).

Wyniki badań, w których wykorzystano neuroobrazowanie, pozwoliły skonstruować neurokognitywne modele wyjaśniające przyczyny synestezji (Hochel i Milán 2008; Hubbard i Ramachandran 2005). U ich podstaw leży założenie, iż synestezja jest spowodowana pewną nietypową komunikacją w mózgu.

Według Hubbarda i Ramachandrana (2005; Ramachandran i Hubbard 2003) przyczyn synestezji należy upatrywać w nietypowych połączeniach pomiędzy obszarami mózgu odpowiedzialnymi za przetwarzanie informacji pochodzących z różnych zmysłów. Autorzy ci stoją na stanowisku, że nadmiarowe połączenia mogą być skutkiem genetycznej mutacji powodującej tworzenie się połączeń pomiędzy rejonami mózgu, które w normalnym mózgu nie są

ze sobą ściśle połączone. Mogą być one także efektem tego, że – również prawdopodobnie dzięki czynnikom genetycznym – część połączeń, która normalnie zanika w toku rozwoju osobniczego, nadal się utrzymuje. Wydaje się zatem, że prawdopodobieństwo występowania doznań synestezyjnych powinno być wyższe w grupie małych dzieci niż wśród dorosłych. Przyjmuje się, że synestezja występuje blisko 3 razy częściej u dzieci niż u dorosłych (Cytowic i Eagleman 2009; Marks 1975).

W latach 80. XX w. sformułowano hipotezę, według której wszystkie noworodki są synestetykami. Według Maurer i Maurera „noworodek żyje w zagmatwanym świecie synestezji. Widok głosu matki, dźwięk jej twarzy, zapach jej ciepła – wszystko to miesza się, tworząc zawiłą rzeczywistość” (1994, s. 211). Zgodnie z „mocną” wersją tej hipotezy, u noworodka stymulacja w jednej modalności wywołuje doznania nie tylko w tej modalności, lecz także w innej (lub doznania występują w tej samej modalności, ale dotyczą innego wymiaru bodźca), a niemowlę nie jest w stanie odróżnić rzeczywistych doznań od tych wzbudzonych synestetycznie. Kiedy więc, przykładowo, niemowlę zostaje poddane jednostajnemu działaniu kilkudziesięciu bodźców dźwiękowych – co prowadzi do habituacji na nie – jednocześnie postrzega bodźce wzrokowe, co automatycznie prowadzi do habituacji również na ten drugi rodzaj bodźców (Maurer i Mondloch 2005). Bardzo dobrze ilustrują to eksperymenty przeprowadzone przez Lewkowicza i Turkewitza (1980), w których 3–4-tygodniowym niemowlętom prezentowano serię jednosekundowych impulsów świetlnych (białe światło) o stałym natężeniu (co prowadziło do habituacji na ten bodziec). Następnie, co 6. błysk zastąpiono jednosekundowym dźwiękiem (biały szum). Dźwięki użyte w tej fazie eksperymentu miały różne natężenie; natężenie jednego z nich zostało ocenione przez dorosłych jako odpowiednik natężenia impulsów świetlnych z poprzedniej serii. Miarą reakcji dziecka była szybkość jego tętna. Okazało się, że najmniejsze zmiany tętna towarzyszyły ekspozycji na dźwiękowy ekwiwalent impulsu świetlnego, natomiast dźwięki cichsze i głośniejsze od niego wywoływały przyspieszenie tętna, tym większe, im bardziej głośność danego dźwięku różniła się od głośności dźwięku będącego ekwiwalentem błysku światła. Podobną prawidłowość zaobserwowano w innej grupie eksperymentalnej, w której niemowlęta przyzwyczajono do jaśniejszych impulsów świetlnych. Ekwiwalentem akustycznym okazał się dźwięk głośniejszy niż w poprzednim ekspery-



mencie. Autorzy wysnuli więc wniosek, że niemowlęta dokonują spontanicznego, krosmodalnego dopasowania intensywności bodźców.

Zgodnie ze „słabą” wersją hipotezy, niedojrzałość kory mózgowej niemowląt powoduje, że dziecko nie odróżnia od siebie bodźców płynących z różnych modalności zmysłowych, w związku z czym reaguje nie na pojedyncze doznania powstające w poszczególnych modalnościach, lecz na całkowitą sumę energii wszystkich bodźców we wszystkich modalnościach. Dokładniej, dziecko odnotowuje zmiany w modulacji docierającej energii i rozpoznaje pewne ich regularności, o ile doświadczyło ich wcześniej, ale nie rozpoznaje, w której modalności te zmiany zaszły. Przypuszcza się, że może ono doświadczać tylko jednego doznania odpowiadającego zmianie energii, które to doznanie jest takie samo, niezależnie od tego, czy owa zmiana energii dotyczy bodźca słuchowego, wzrokowego czy dotykowego. Dziecko może również doświadczać odmiennych doznań wywoływanych przez bodźce docierające do różnych modalności, ale może być mniej świadome niż osoby dorosłe, do której modalności bodziec dociera, a jednocześnie bardziej niż dorośli wrażliwe na podobieństwa modulacji energii występujące w różnych modalnościach (Maurer i Mondloch 2005).

Udowodnienie, że niemowlęta rzeczywiście są synestetykami, jest bardzo trudne. Według Barona-Cohena (1996) silnym dowodem na występowanie niemowlęcej synestezji byłoby wykazanie, że podczas prezentacji bodźców dźwiękowych następuje podwyższona aktywacja zarówno w korze słuchowej, jak i wzrokowej noworodków, przy jednoczesnym braku takiego samego schematu aktywacji na późniejszym etapie rozwoju dziecka (wówczas prezentacja bodźców dźwiękowych powinna wywoływać tylko podwyższoną aktywację kory słuchowej). Dodatkowym argumentem potwierdzającym tę tezę mogłoby być wykazanie, że osoby, u których nie nastąpiła wspomniana zmiana schematu aktywacji, są synestetykami w życiu dorosłym.

Ciekawą próbę dostarczenia dowodu na występowanie niemowlęcej formy synestezji podjęły Wagner i Dobkins (2011), które pokazały, że – podobnie jak w przypadku synestezji typu grafem-kolor u dorosłych – prezentacja określonych kształtów (trójkątów lub kół) powodowała określone preferencje w wyborze koloru przez dzieci w wieku 2 i 3 miesięcy, ale już nie przez dzieci w wieku 8 miesięcy (u których część połączeń neuronalnych, obecnych

u młodszych niemowląt, zanikła) (przegląd literatury dot. nadmiarowych połączeń: np. Innocenti i Price 2005).

Istnieją też inne hipotezy na temat przyczyn synestezji. Na przykład Grossenbacher i Lovelace (2001) uważają, że synestezja może być spowodowana osłabionym hamowaniem sygnałów, które zakłócają przetwarzanie informacji danego rodzaju. Wskutek tego osłabionego hamowania niepożądanych sygnałów może dojść do aktywacji połączeń, które powodują powstanie synestezyjnych wrażeń. Jeszcze inni badacze (np. Smilek i wsp. 2001) są zwolennikami modeli hybrydowych, łączących cechy obu wymienionych powyżej.

O ile doznania synestezyjne mają unikatowy, zindywidualizowany charakter (każdy synestetyk ma własną paletę doznań, np. u jednego dźwięk C może wywoływać doznania koloru granatowego, u innego – zielonego), o tyle w przypadku „normalnej” percepcji krosmodalnej obserwuje się jedynie prawidłowości statystyczne w całej populacji w odbiorze cech bodźców trafiających do różnych modalności zmysłowych. Zarówno synestetycy, jak i niesynestetycy dopasowują do siebie wymiary sensoryczne bodźców (wysokość dźwięku, głośność, jasność, wielkość, kształt) w uporządkowany i zgodny z pewnymi zasadami sposób. Przykładowo, obie grupy uważają, że głośne dźwięki są jaśniejsze niż ciche, wysokie – głośniejsze, jaśniejsze i mniejsze niż niskie dźwięki, a te ostatnie z kolei są zarówno większe, jak i ciemniejsze od tonów wysokich. Warto zaznaczyć, że doznania synestetyków są zdecydowanie bardziej precyzyjne niż dopasowywania wspomnianych wymiarów czynione przez niesynestetyków. Synestetyk poproszony o podanie kolorów, jakie wywołują u niego kolejne dźwięki gamy, wskaże konkretne odcienie barw (np. iskrzący się seledyn lekko wpadający w zamglony fiolet), przy czym jest bardziej prawdopodobne, że – podobnie jak u niesynestetyków – najniższemu dźwiękowi będzie odpowiadał kolor ciemniejszy niż dźwiękowi najwyższemu.

Wyniki te potwierdziły eksperymenty zespołu Warda (Ward i wsp. 2006), w których poproszono grupę synestetyków i niesynestetyków o dopasowanie wysokości dźwięków do kolorów. Zgodnie z oczekiwaniami, badani w obu grupach łączyli niskie dźwięki z ciemnymi kolorami, wysokie zaś z jasnymi. Jednakże odpowiedzi synestetyków były o wiele bardziej spójne (nie zmieniały się w czasie) i szybsze (automatyczne) niż odpowiedzi niesynestetyków.

Wyniki te zdają się potwierdzać teorię, że synestezja jest szczególnym przypadkiem per-

cepcji krosmodalnej. Różnica polega głównie na stopniu natężenia doznań, ich stałości w czasie i szybkości występowania. Ponadto w przypadku synestezji mamy do czynienia z niezwykle bogactwem doznań (Tyler 2005), podczas gdy w przypadku percepcji krosmodalnej różnorodność tych doznań jest uboższa, a przynajmniej jeszcze nie została zbadana w wystarczającym stopniu.

Chociaż mechanizmy leżące u podłoża percepcji krosmodalnej (której skrajnym przejawem jest synestezja) nie są do końca wyjaśnione, samo występowanie krosmodalności pozwala wysnuć przypuszczenia co do organizacji mózgu: jego struktury wyspecjalizowane w przetwarzaniu bodźców konkretnego rodzaju wchodzą ze sobą w nieustanne interakcje.

<sup>1</sup>Językiem tym posługuje się ok. 30 tys. ludzi w północnej części Peru.

<sup>2</sup>Zgodnie z definicją Davenporta i wsp. (1973, s. 21), percepcja faktury ma charakter krosmodalny.

<sup>3</sup>Na przykład, zobaczenie cyfry może wywoływać wrażenie dźwięku (w tę percepcję zaangażowane są dwie modalności: wzrok i słuch) albo wrażenie koloru (kształt i kolor to domena tej samej modalności).

<sup>4</sup>Bardzo długo traktowano synestezję raczej jako ciekawostkę niż zjawisko godne zainteresowania naukowców. Zdarzały się nawet przypadki diagnozowania synestetyków jako osoby chore na schizofrenię (Day 2005).

<sup>5</sup>W zależności od poziomu przetwarzania informacji Hubbard i Ramachandran (2005) proponują wyróżnienie dwóch grup synestetyków: niższego i wyższego rzędu. W pierwszej grupie synestetyczne wrażenia są wywołane specyficznymi percepcyjnymi właściwościami bodźca (np. kształtem cyfry) i powstają we wczesnych etapach procesu percepcji. W drugiej grupie wrażenia te powstają w odpowiedzi na bardziej abstrakcyjne właściwości bodźca (np. znaczenie cyfry).

<sup>6</sup>Efekt Stroopa polega na wydłużeniu czasu przetwarzania bodźców niespójnych w porównaniu z czasem przetwarzania bodźców spójnych. W oryginalnym eksperymencie Stroop (1935) prosił badanych o określanie kolorów atramentu, jakim były napisane nazwy kolorów (były to bodźce niespójne, np. słowo *zielony* było napisane czerwonym atramentem), a także o określanie kolorów prostokątów. Podawanie nazw kolorów w pierwszym przypadku zajmowało istotnie więcej czasu niż w drugim przypadku. Efekt Stroopa tłumaczy się występowaniem zjawiska interferencji podczas przetwarzania niespójnych informacji.

## Piśmiennictwo

- Arieh Y, Marks LE. Cross-modal interaction between vision and hearing: a speed-accuracy analysis. *Percept Psychophys* 2008; 70: 412-421.
- Baron-Cohen S. Is there a normal phase of synaesthesia in development? *Psyche* 1996; 27.
- Berlin B. Evidence for pervasive synesthetic sound symbolism in ethnozoological nomenclature. W: *Sound symbolism*. Hinton L, Nichols J, Ohala J (red.). Cambridge University Press, New York 1994; 76-93.
- Calvert GA, Spence C, Stein BE. *The handbook of multisensory processes*. MIT Press, Cambridge 2004.
- Cytowic RE. Touching tastes, seeing smells and shaking up brain science. *Cerebrum* 2002; 4: 7-26.
- Cytowic RE, Eagleman DM. Wednesday is indigo blue. *Discovering the brain of synesthesia*. The MIT Press, Cambridge 2009.
- Cytowic RE, Wood FB. Synesthesia. I. A review of major theories and their brain basis. *Brain Cogn* 1982; 1: 23-35.
- Davenport RK, Rogers CM, Russell IS. Cross modal perception in apes. *Neuropsychologia* 1973; 11: 21-28.
- Day S. Some demographic and socio-cultural aspects of synesthesia. W: *Synesthesia: perspectives from cognitive neuroscience*. Robertson LC, Sagiv N (red.). Oxford University Press, New York 2005; 11-33.
- de Saussure F. *Kurs językoznawstwa ogólnego*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- Dixon MJ, Smilek D, Cudahy C, Merikle PM. Five plus two equals yellow. *Nature* 2000; 406: 365.
- Galton F. Visualised numerals. *Nature* 1880a; 21: 252-256.
- Galton F. Visualised numerals. *Nature* 1880b; 22: 494-495.
- Grabowska A, Jaśkowski P, Seniów J. Mózgowe mechanizmy funkcji psychicznych i ich zaburzeń z perspektywy neuropsychologii i neuronauki. W: *Psychologia*. Podręcznik akademicki. Strelau J, Doliński D (red.). GWP, Gdańsk 2008; 581-642.
- Grossenbacher PG, Lovelace CT. Mechanisms of synesthesia: cognitive and physiological constraints. *Trends Cogn Sci* 2001; 5: 36-41.
- Heller MA. Visual and tactual texture perception: intersensory cooperation. *Percept Psychophys* 1982; 31: 339-344.
- Hochel M, Milán EG. Synaesthesia: the existing state of affairs. *Cogn Neuropsychol* 2008; 25: 93-117.
- Hubbard EM, Ramachandran VS. Neurocognitive mechanisms of synesthesia. *Neuron* 2005; 48: 509-520.
- Hubbard EM, Arman AC, Ramachandran VS, Boynton GM. Individual differences among grapheme-color synesthetes: brain-behavior correlations. *Neuron* 2005; 45: 975-985.
- Innocenti GM, Price DJ. Exuberance in the development of cortical networks. *Nat Rev Neurosci* 2005; 6: 955-965.
- Jones B, O'Neil S. Combining vision and touch in texture perception. *Percept Psychophys* 1985; 37: 66-72.
- Jousmäki V, Hari R. Parchment-skin illusion: sound-biased touch. *Curr Biol* 1998; 8: R190.
- Katz D. *The world of touch*. Erlbaum, Hillsdale, New Jersey 1989.
- Klatzky RL, Lederman SJ, Reed C. There's more to touch than meets the eye: the salience of object attributes for haptics with and without vision. *J Exp Psychol* 1987; 116: 356-369.
- Köhler W. *Gestalt psychology*. Liveright, New York 1929.
- Köhler W. *Gestalt psychology* (wyd. 2.). Liveright, New York 1947.
- Kovic V, Plunkett K, Westermann G. The shape of words in the brain. *Cognition* 2010; 114: 19-28.
- Lederman SJ. Auditory texture perception. *Perception* 1979; 8: 93-103.
- Lederman SJ, Klatzky RL. Multisensory texture perception. W: *The handbook of multisensory processes*. Calvert GA, Spence C, Stein BE (red.). MIT Press, Cambridge 2004; 107-122.
- Lewkowicz DJ, Turkewitz G. Cross-modal equivalence in early infancy: auditory-visual intensity matching. *Dev Psychol* 1980; 16: 597-607.
- Marks LE. On colored-hearing synesthesia: cross-modal translations of sensory dimensions. *Psychol Bull* 1975; 82: 303-331.

32. Marks LE. Bright sneezes and dark coughs, loud sunlight and soft moonlight. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1982; 8: 177-193.
33. Marks LE, Szczesiul R, Ohlott P. On the cross-modal perception of intensity. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1986; 12: 517-534.
34. Marks LE. On cross-modal similarity: the perceptual structure of pitch, loudness, and brightness. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1989; 15: 586-602.
35. Maurer D, Maurer C. Świat noworodka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
36. Maurer D, Mondloch CJ. Neonatal synesthesia: a reevaluation. W: *Synesthesia: Perspectives from cognitive neuroscience*. Robertson LC, Sagiv N (red.). Oxford University Press, New York 2005; 209-228.
37. Maurer D, Pathman T, Mondloch CJ. The shape of boubas: sound-shape correspondences in toddlers and adults. *Dev Sci* 2006; 9: 316-322.
38. Mondloch CJ, Maurer D. Do small white balls squick? Pitch-object correspondences in young children. *Cogn Affect Behav Neurosci* 2004; 4: 133-136.
39. Newman SS. Further experiments in phonetic symbolism. *Am J Psychol* 1933; 45: 53-75.
40. Palmeri TJ, Blake R, Marois R, et al. The perceptual reality of synesthetic colors. *Proc Natl Acad Sci USA* 2002; 99: 4127-4131.
41. Paulesu E, Harrison J, Baron-Cohen S, et al. The physiology of coloured hearing: A PET activation study of colour word synesthesia. *Brain* 1995; 118: 661-676.
42. Ramachandran VS, Hubbard EM. The emergence of the human mind: some clues from synesthesia. W: *Synesthesia: perspectives from cognitive neuroscience*. Robertson LC, Sagiv N (red.). Oxford University Press, New York 2005; 147-190.
43. Ramachandran VS, Hubbard EM. Psychophysical investigations into the neural basis of synaesthesia. *Proc Biol Sci* 2001; 268: 979-983.
44. Ramachandran VS, Hubbard EM. Brzmienie barw, smak kształtów. *Świat Nauki* 2003; 6: 37-43.
45. Sagiv N. Synesthesia in perspective. W: *Synesthesia: Perspectives from cognitive neuroscience*. Robertson LC, Sagiv N (red.). Oxford University Press, New York 2005; 3-10.
46. Sapir E. A study in phonetic symbolism. *J Exp Psychol* 1929; 12: 225-239.
47. Shams L, Kamitani Y, Shimojo S. Modulations of visual perception by sound. W: *The handbook of multisensory processes*. Calvert GA, Spence C, Stein BE (red.). MIT Press, Cambridge 2004; 27-33.
48. Smilek D, Dixon MJ, Cudahy C, Merikle PM. Synaesthetic photisms influence visual perception. *J Cogn Neurosci* 2001; 13: 930-936.
49. Spector F, Maurer D. Synesthesia: a new approach to understanding the development of perception. *Dev Psychol* 2009; 45: 175-189.
50. Spence C, Senkowski D, Röder B. Crossmodal processing. *Exp Brain Res* 2009; 198: 107-111.
51. Stevens JC, Marks LE. Cross-modality matching functions generated by magnitude estimation. *Percept Psychophys* 1980; 27: 379-389.
52. Stevens SS. Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration, and electric shock. *J Exp Psychol* 1959; 57: 201-209.
53. Stroop JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *J Exp Psychol* 1935; 18: 643-662.
54. Teghtsoonian M. Children's scales of length and loudness: a developmental application of cross-modal matching. *J Exp Child Psychol* 1980; 30: 290-307.
55. Tyler CW. Varieties of synesthetic experience. W: *Synesthesia: perspectives from cognitive neuroscience*. Robertson LC, Sagiv N (red.). Oxford University Press, New York 2005; 34-44.
56. Wagner K, Dobkins KR. Synaesthetic associations decrease during infancy. *Psychol Sci* 2011; 22: 1067-1072.
57. Ward J, Huckstep B, Tsakanikos E. Sound-colour synaesthesia: to what extent does it use cross-modal mechanisms common to us all? *Cortex* 2006; 42: 264-280.
58. Welch RB, Warren DH. Immediate perceptual response to intersensory discrepancy. *Psychol Bull* 1980; 88: 638-667.
59. Woods TM, Recanzone GH. Cross-modal interactions evidenced by the ventriloquism effect in humans and monkeys. W: *The handbook of multisensory processes*. Calvert GA, Spence C, Stein BE (red.). MIT Press, Cambridge 2004; 35-48.
60. Zydlewska A. Synestezja: badanie naturalnych relacji pomiędzy artykulacyjnymi cechami głosek a fakturą bodźców wzrokowych i dotykowych. SWPS, Warszawa 2010 (niepublikowana praca magisterska, dostępna w bibliotece SWPS).