

## U źródeł synestezji: podstawy fizjologiczne i funkcjonalne

Aleksandra Rogowska<sup>1</sup>

Instytut Psychologii, Uniwersytetu Jagiellońskiego

### ON THE SOURCE OF SYNESTHESIA PHYSIOLOGICAL AND FUNCTIONAL BASE

**Abstract.** Synesthesia occurs when stimulation of one sensory modality triggers an experience of a few sensory modalities. The most frequent form of synesthesia is colored- hearing, which occurs when sound induction causes color vision. A psychological base of synesthesia has been an examination using modern brain imagination techniques during synesthesia experience. The results of these tests is to ascertain real synesthesia occurring, although there are divergent results of sensory integration in synesthesia. Possible mechanisms of synesthesia origination are considered upon the current knowledge base of human mind processing. Neonatal Synesthesia hypothesis can have fundamental input in contributing to the development knowledge of general synesthesia as well as in the field of neurobiology and developmental psychology. Synesthesia seems to be an important component in the understanding of human mind functioning rules.

### OPIS ZJAWISKA SYNESTEZJI

Słowo „synestezja” oznacza jedność wrażeń (z gr. *syn* – razem, *aisthesis* – czucie). Zjawisko synestezji występuje wtedy, gdy jednomodalny bodziec zmysłowy wywołuje mimowolnie jednoczesne wrażenie w dwu lub więcej modalnościach zmysłowych, np. słysząc dźwięk, osoba z synestezją widzi kolor.

Synestezyjna percepcja jest wyzwalana automatycznie bez udziału woli czy kontroli świadomości, co potwierdziły badania eksperymentalne (Mills, Boteler, Oliver, 1999; Dixon i in., 2000; Mattingley i in., 2001; Smilek i in., 2001; Smilek, Dixon, 2002; Palmeri i in., 2002).

Skojarzenia synestezyjne są stałe, tzn. niezmiennie w ciągu życia, np. konkretne tonacje muzyczne wywołują u osób z synestezją zawsze te same, określone kolory.

Synestezja występuje najczęściej w formie jednokierunkowej (np. bodźce dźwiękowe wywołują synestezyjne wrażenia wzrokowe, ale bodźce wzrokowe nie wywołują wrażeń słuchowych), bardzo rzadko objawia się w formie obukierunkowej. Zazwyczaj synestezja łączy dwa zmysły, choć zdarzają się przypadki synestezji trzy- lub cztero-zmysłowej (Łuria, 1970).

Najbardziej powszechną formą jednokierunkowej synestezji jest synestezja kolorowego słyszenia (ang. *coloured – hearing synaesthesia*; am. ang. *colored – hearing synesthesia*; franc. *audition colorée*; niem. *Farbenhören*), zwana również chromostezją lub synopsją, w której dźwięki wywołują wrażenie koloru. Synestezje wzrokowe (fotyzmy) nie są obrazem konkretnych, rzeczywistych zjawisk otaczającego nas świata (jak np. krajobraz), lecz abstrakcyjnym odczuciem kolorów, figur czy brył geometrycznych. W zależności od rodzaju bodźca dźwiękowego rozróżnia się synestezję muzyczną (bodźcem może być określona wysokość dźwięku, tonacja muzyczna, barwa instrumentu muzycznego) oraz synestezję językową fonetyczną (bodźcem może być barwa głosu, głoska, sylaba, słowo) i graficzną (bodźcem jest litera alfabetu lub cyfra). Istnieje 20 potencjalnych form jednokierunkowej synestezji, stanowiących kombinację różnych zmysłów, jak np. synestezja dotykowo-smakowa, kolorowo-zapachowa czy dotykowo-słuchowa. W nazwie formy synestezji drugi człon odnosi się do rodzaju zmysłowej stymulacji, natomiast pierwszy człon określa wyzwolone tym bodźcem współodczucie.

Synestezja jest zjawiskiem jednostkowym i indywidualnym. Nie ma dwóch ludzi, którzy by mieli dokładnie takie same skojarzenia, jakkolwiek poszczególne elementy czy ogólne sposoby kojarzenia mogą być podobne, np. u niektórych osób pierwsza litera słyszanego słowa wywołuje kolor, choć każdy synestetyk ma własny „alfabet kolorów”.

### FIZJOLOGICZNA PODSTAWA SYNESTEZJI

Synestezja cieszy się obecnie dużym zainteresowaniem w kręgach naukowych. Współczesna psychologia zdobyła

---

<sup>1</sup> Adres do korespondencji: Instytut Psychologii, Uniwersytet Jagielloński, al. Mickiewicza 3/213a, 31-120 Kraków, e-mail: rogowska@apple.phils.uj.edu.pl

obiektywne metody nieinwazyjnego testowania fizjologicznych komponentów procesów umysłowych, które przyczyniły się do rozwoju wiedzy o złożonych zjawiskach mentalnych. Również synestezja została poddana badaniom przy pomocy tych nowoczesnych technik. Zasadnicze pytania, które stawiano koncentrowały się wokół zagadnień: czy synestezyjna percepcja rzeczywiście ma miejsce; czy istnieją różnice w percepcji osób z synestezją i nie-synestetyków; jakie są mechanizmy funkcjonowania synestezji; oraz w jakich obszarach mózgowych dokonuje się synestezyjna integracja zmysłów? Niniejszy przegląd aktualnych badań w tym zakresie stanowi próbę odpowiedzi na te pytania.

R. E. Cytowic i F. B. Wood (1982a; 1982b) poddali Michaela Watsona, osobę z synestezją dotykowo-smakową (smaki wywołują odczucia dotykowe – gładkość, chropowatość, chłód itp.) badaniu z zastosowaniem techniki obrazowania mózgu podczas inhalacji radioaktywnym xenonem, podając mu bodźce smakowe. Odkryto całkowite, niezwykle zahamowanie aktywności kory mózgowej podczas synestetycznego przeżycia. Nasunęło to wniosek, iż kojarzenie synestezyjne odbywa się na poziomie układu limbicznego (ze szczególną rolą hipokampa) i ma charakter wysoce emocjonalny, nie zaś racjonalny (Cytowic, 1995, 1993).

Paulesu i współautorzy (1995) zastosowali jedną z technik obrazowania mózgu, jaką jest emisyjna tomografia pozytronowa (PET) do badania sześciu kobiet z synestezją językową kolorowego słyszenia (słowa wywołują odczucia kolorów), oraz sześciu osób nie objawiających synestezji, jako grupy kontrolnej. Osobom badanym podawano przez słuchawki bodźce słuchowe w postaci słów i pojedynczych dźwięków muzycznych. Badanie to wykazało różnice, w przepływie krwi w różnych strukturach mózgowych, między grupą synestetyków a grupą kontrolną. Zwiększoną aktywację odkryto u synestetyków w obszarach kojarzeniowych kory mózgowej, odpowiedzialnych za percepcję koloru i kształtu, położonych na granicy między systemem językowym a wzrokowym: tylna dolna kora skroniowa PIT i złącze potylicy z ciemieniową korą mózgową. Nie stwierdzono aktywacji w pierwszorzędowej korze wzrokowej (V1), jak również wystąpiła nie istotna statystycznie różnica w obszarze V4. Odkryto jednocześnie istotną statystycznie różnicę w deaktywacji lewostronnego zakrętu językowego i wyspy u synestetyków. Na podstawie badania stwierdzono, iż kolorowo-słuchowa synestezja została wywołana przez interakcję między mózgowymi obszarami językowymi a wyższymi wzrokowymi. Implikuje to, iż świadoma percepcja koloru jest możliwa przy braku bezpośredniej stymulacji wzrokowej, sugerując niezwykle związki anatomiczne między językiem a obszarami wzrokowymi u synestetyków (Frith i Paulesu, 1997). Świadoma percepcja wzrokowa może występować przy nieobecności aktywacji w pierwszorzędowej korze wzrokowej, dając wniosek, że wysoki poziom kojarzeniowych obszarów wzrokowych może przyczyniać się do świadomej percepcji wzrokowej. Do integracji zmysłów dochodzi w obszarze kory asocjacyjnej mózgu, gdzie droga słuchowa i wzrokowa znajdują się w anatomicznej bliskości. Prezentowany w niniejszym badaniu wzór aktywacji kory mózgowej synestetyków z kolorowym-słyszeniem słów może stanowić neuropsychologiczny odpowiednik synestezyjnej percepcji.

Rizzo i Eslinger (1989) zastosowali metodę potencjałów wywołanych do badania siedemnastoletniego chłopca z synestezją muzyczną kolorowego-słyszenia (w której dźwięki muzyczne wywołują wrażenie kolorów) oraz osoby bez synestezji, w podobnym wieku. Spodziewano się odkryć na poziomie kory mózgowej abnormalną transmisję neuronalną na drodze kolaterali kanałów słuchowych i wzrokowych u osoby z synestezją podczas synestetycznego doznania. Bodźcami były trzaski o głośności 40 dB, podawane w 500 próbach, które wywoływały u badanego synestetyka wrażenie ciemnej purpury w kształcie trójkąta. Rezultatem badania było stwierdzenie braku kolateralnej aktywacji na poziomie pierwszorzędowej kory wzrokowej, jak również kory wzrokowej skojarzeniowej w płacie potylicznym. Nasunęło to wnioski, iż proces międzymodalnego kojarzenia synestezyjnego następuje bez udziału świadomości, przy aktywności wczesnych filogenetycznie struktur mózgowych, z kluczową rolą systemu limbicznego. Pamięć eidetyczna, słuch absolutny i zainteresowanie emocjonalną zawartością utworów muzycznych, które to cechy charakteryzowały badanego synestetyka, zdają się potwierdzać tą hipotezę. Badanie metodą ERP (Event-related potentials) siedemnastu osób z językową synestezją graficzną (w której litery alfabetu i cyfry wywołują wrażenia kolorów) i porównanie z grupą kontrolną wykazało znaczące różnice kształtu fal mózgowych w obszarach kory czołowej i przedczołowej podczas prezentowania bodźców wzrokowych w formie liter i cyfr, wskazujące na zahamowanie tych regionów mózgu (Schiltz i in., 1999). W interpretacji wyniku badania autorzy eksperymentu wskazują na możliwość wystąpienia interferencji synestetycznych wrażeń z normalną percepcją. Wysiłek systemu nerwowego w utrzymywaniu synestetycznej percepcji na minimalnym poziomie może się objawiać zahamowaniem przednich regionów mózgowych. Jednocześnie ukazuje się możliwość, iż obszary przedczołowe, związane z wielozmysłowymi neuronami, stanowią anatomiczną podstawę, w której dokonuje się synestezyjna integracja zmysłów.

Prezentowane powyżej eksperymenty przyniosły zaskakujące dla badaczy i rozbieżne wyniki. Synestezja językowa fonetyczna i graficzna okazała się mieć swą fizjologiczną podstawę w obszarach kory kojarzeniowej mózgu, natomiast synestezja dotykowo-smakowa i synestezja muzyczna zdaje się występować przy zahamowanej czynności kory mózgowej, wskazując na integrację zmysłów w strukturach mózgu limbicznego. Być może forma synestezji determinuje jej neurologiczną lokalizację w postaci specyficznego wzoru aktywacji

## U ŹRÓDEŁ SYNESTEZJI: PODSTAWY FIZJOLOGICZNE I FUNKCJONALNE

badź dezaktywacji struktur mózgowych. Jakkolwiek, niniejsze badania wskazują, iż synestetyczna percepcja różni się od percepcji osób nie objawiających tego stanu, i stanowią dowód na rzeczywiste istnienie synestezji.

## PRAWDOPODOBNE MECHANIZMY POWSTAWANIA SYNESTEZJI

**Wzajemne oddziaływanie pamięci, myślenia i emocji** (Critchley, 1997). Wzajemne oddziaływanie między wyższymi ośrodkami nerwowymi stanowi możliwą przyczynę powstawania wrażeń synestetycznych. Synestezja byłaby w tym wypadku rezultatem współoddziaływania pamięci, myślenia i emocjonalnego nastroju, prowadzącego do wzmocnienia efektu doznawanych wrażeń zmysłowych. Do synestetycznego wrażenia dochodziłoby na wyższym mentalnym poziomie niż proste rozpoznawanie bodźca, w wyniku połączenia danych pochodzących z pierwszorzędowej kory sensorycznej, obszarów kojarzeniowych, pamięci i systemu limbicznego. Każdy proces myślowy harmonizuje ze sobą informacje zmysłowe i emocjonalne, doświadczenia z przeszłości i skojarzenia, co może wystąpić w stanie świadomości, jak i podświadomie – na granicy rozpoznania i percepcji w zjawisku synestezji.

**Rozhamowane sprzężenie zwrotne** (Grossenbacher, 1997; Grossenbacher, Lovelace, 2001). Hipoteza opiera się na założeniu, iż mózg obejmuje hierarchię zmysłowych modalności, posegregowanych od niskiego i pośredniego poziomu i złożonych w wielomodalne reprezentacje na wyższym poziomie poznawczego przetwarzania informacji. Model sprzężenia zwrotnego (*feedback*) zakłada, iż mózgową hierarchię dróg zmysłowych przenikają impulsy sprzężeń zwrotnych (Grossenbacher, 1997). Wstępująca projekcja nerwowa przenosi sygnały z niższych poziomów do wyższych, działając w obie strony i przenosząc sygnały również do niższych poziomów reprezentacji zmysłowej podczas procesu przetwarzania informacji. Sprzężenie zwrotne przyczynia się do rozmaitych funkcji poznawczych, włączając zmysłową uwagę, wyobraźnię i pamięć. W synestezji kolorowego słyszenia, na wyższym poziomie wielomodalnych obszarów mózgu kory asocjacyjnej, zaktywizowanych przez słuchowy impuls, dochodzi do konwergencji i połączenia między drogą słuchową i wzrokową, skąd sprzężone zwrotnie sygnały przenoszą dalej informacje, aktywując pola percepcyjne w dwu modalnościach zmysłowych. Synestetyczna indukcja rozpoczyna się w sprzężonych zwrotnie sygnałach, biegnących od reprezentacji stymulowanego bodźca słuchowego, a kończy się aktywacją reprezentacji synestetycznego współodczucia. Jeśli synestezja jest pośrednikiem w połączeniach sprzężenia zwrotnego, wtedy możliwe są podobne połączenia u niesynestetyków. Synestetycy mogą się różnić od niesynestetyków mniejszym nerwowym zahamowaniem lub większą wrażliwością najniższego, percepcyjnego poziomu odbioru informacji. W neurobiologicznej hipotezie rozhamowanego sprzężenia zwrotnego (*disinhibited feedback*) synestezja jest całkowicie pośredniczona przez nerwowe połączenia, które istnieją we wszystkich normalnych ludzkich mózgach (Grossenbacher, Lovelace, 2001). U większości ludzi sygnały sprzężonych zwrotnie połączeń mogą być wystarczająco zahamowane, aby uniknąć synestetycznej indukcji. U synestetyków może występować rozhamowanie sprzężonych zwrotnie sygnałów, prowadzące do synestetycznej percepcji.

**Neuronalne kodowanie.** Liczne badania nad skojarzeniami międzymodalnymi i synestezją wykazały, iż u wszystkich ludzi istnieją powszechne zasady przyporządkowywania danych, pochodzących z różnych zmysłów (Marks, 1975, 1989; Marks, Hammeal, Bornstein, 1987; Martino, Marks, 2001). Zasady te występują zarówno w synestezji, jak i wśród osób nie ujawniających tego zjawiska. Skojarzenia synestetyczne, podobnie jak powszechne skojarzenia międzymodalne, są możliwe dzięki jednakowej dla wszystkich zmysłów transmisji neuronalnej, kodującej informacje zmysłowe w postaci impulsów nerwowych w podstawowych trzech wymiarach: intensywności, wielkości i odległości (Martino, Marks, 2001). Informacje pochodzące z różnych zmysłów są przyrównywane odpowiednio w obrębie tych wymiarów, np. jasność przyrównywana jest do wysokich i głośnych dźwięków, natomiast ciemność do dźwięków niskich i cichych, podobnie jak ostry i intensywny zapach odpowiada skojarzeniu z intensywnym i jasnym kolorem. Zjawisko synestezji widziane jest w tym kontekście jako silna forma powszechnych skojarzeń międzymodalnych, podlegających percepcyjnym mechanizmom neuronalnego kodowania informacji zmysłowych na niższym poziomie poznawczym.

**Skrzyżowane wrażenia** (Critchley, 1997; Grossenbacher, 1997). W hipotezie skrzyżowanych wrażeń (*cross-talk*) – zakłada się istnienie nienaturalnych połączeń nerwowych, co powoduje bezpośredni przepływ informacji ze zmysłu stymulowanego do niespecyficznej modalności. Jednym z czynników prowadzących do skrzyżowanych wrażeń może być według Critchleya (1997) utrata dużych lub małych włókien nerwowych w obrębie układu obwodowego bądź miejscowe uszkodzenie tego układu. Może to powodować efekt, w którym wiele bodźców nie dotrze do miejsca przeznaczenia lub zostaną one mylnie odczytane. Uszkodzenie nerwów obwodowych może zapoczątkować wiele drobnych zmian anatomicznych i neurochemicznych. Również substancje neurochemiczne

ALEKSANDRA ROGOWSKA

mogą odśrodkowo (w drogach zstępujących z wyższych ośrodków mózgowych) powodować zmiany w pobudzeniu i zahamowaniu obwodowych włókien nerwowych, prowadząc do powstania mylnie identyfikowanego źródła bólu. Synestezja anatomiczna lub rdzeniowa, powstała na skutek urazu kręgosłupa bądź amputacji kończyn, wywołuje lustrzane wrażenia dotykowe (np. jednostronna stymulacja zdrowej czy uszkodzonej części ciała powoduje dwa odczucia – po obu stronach lub tylko w przeciwległej części ciała). Niedojrzałość układu nerwowego w dzieciństwie czy też opóźniona mielinizacja (prowadząca do dysleksji) mogą równie dobrze wyjaśniać częstsze występowanie synestezji wśród dzieci, jak i synestezję u dorosłych. W dzieciństwie wstępujące zahamowania z pnia mózgu nie funkcjonują tak dobrze, jak po osiągnięciu dojrzałości, co powoduje większą podatność dzieci na epilepsję oraz większą skłonność do marzeń i mniejszą zdolność odróżniania rzeczywistości od fikcji. Synestezja mogłaby występować na skutek nieumiejętności różnicowania i konkretyzowania spostrzeżeń na prymitywnym poziomie poznawczym; u dorosłych byłaby pozostałością tych niedojrzałych, dziecięcych współodczuć.

**Skrzyżowane przewodzenie** (Ramachandran, Hubbard, 2001b). Mechanizm skrzyżowanego przewodzenia (*cross-wiring*) opiera się na założeniu, iż w synestezji lingwistycznej graficznej istnieją stałe połączenia neuronalne między sąsiadującymi strukturami mózgu, w obrębie zakrętu wrzecionowatego i kątownego kory mózgowej; te obszary są odpowiedzialne za percepcję koloru i liczb. Podczas synestezji, w której cyfry wywołują wrażenie koloru, informacja słuchowa bezpośrednio trafia do obszarów skroniowej kory kojarzeniowej, gdzie reprezentowana jest w formie wzrokowej. Powodem istnienia takich połączeń międzymodalnych może być genetyczna mutacja, w wyniku której nie dochodzi do eliminacji tych połączeń podczas dojrzewania kory mózgowej w pierwszych miesiącach życia. Synestezja jest w tym wypadku widziana jako ewolucyjna pozostałość po procesie rozwoju i specjalizacji kory mózgowej.

**Zjawisko wyładowania** (Critchley, 1997). Zjawisko wyładowania (*release phenomena*) może wystąpić w wyniku pobudzenia synchronicznego zespołów neuronów na skutek uszkodzenia połączeń synaptycznych. Zespoły komórek nerwowych niejednokrotnie są odpowiedzialne za fałszywe pobudzenie, docierające do wyższych ośrodków mózgowych, wywołując na poziomie świadomości bóle neurologiczne, uczucie strachu lub przyjemności podczas epilepsji. Zjawisko wyładowania występuje podczas marzeń sennych i w stanach hipnagogicznych – powodując powstawanie halucynacji wzrokowych – jak również w starości, towarzysząc nierzadko chorobom wzroku. W podobny sposób mogą się pojawiać wizje lilipucie, halucynacje muzyczne czy zjawiska autokopijne. Zjawisko wyładowania może być również odpowiedzialne za powstawanie synestezji w wyniku patologicznego pobudzenia korowego lub aktywności podkorowej.

## HIPOTEZA SYNESTEZJI NIEMOWLĘCEJ

Podstawę do zrozumienia postawionej przez Dafne Maurer (1993) hipotezy niemowlęcej synestezji (Neonatal Synaesthesia – NS) stanowi hipoteza transferu międzymodalnego (Cross-Modal Transfer – CMT). Hipoteza NS utrzymuje, że we wczesnym niemowlęctwie, do 3 miesiąca życia, wszystkie dzieci doświadczają synestezyjnej percepcji. Zamiast percepcji konkretnych przedmiotów, odczuwają jedynie zmiany energii (ciągłą lub przerywaną), niezależnie od tego, którym zmysłowym receptorem informacja trafia do mózgu.

Nad zachowaniem noworodka panują dwie zasady: 1) utrzymywania sumy energii wchodzącej wszystkimi kanałami zmysłowymi na optymalnym poziomie; 2) gdy jest zachowany optymalny poziom stymulacji, a schemat znanego wzoru energii jest dobrze ukształtowany niezależnie od początkowej modalności, poszukiwany jest nowy wzór energii.

W momencie urodzenia kora mózgowa jest jeszcze bardzo niedojrzała. Pod względem anatomicznym wiele komórek nie zakończyło jeszcze migracji do odpowiedniej okolicy kory; połączeń między komórkami jest mało, a wiele zachowań noworodka jest kontrolowanych przez śródmózgowie. Gdy mózg się rozwija powstaje nadmiar połączeń, które przestają funkcjonować w wyniku zdobywania doświadczeń. Te chwilowe połączenia istnieją nie tylko pod względem anatomicznym, ale mogą też funkcjonować. W pierwszych dwóch miesiącach życia w reakcji na bodziec słuchowy zostaje pobudzona nie tylko kora słuchowa (okolice skroniowe), ale również wzrokowa (okolice potyliczne). Wczesna kora mózgowa nie jest więc tak dobrze wyspecjalizowana jak w późniejszym okresie życia.

Hipoteza NS znajduje potwierdzenie wśród przedstawicieli innego gatunku niż ludzki. Tak np. noworodek chomika posiada przejściowe związki między zmysłem wzroku, słuchu i dotyku, zaś kota – podobne przejściowe powiązanie między widzeniem, słyszeniem i zmysłem dotyku a korą motoryczną (Kennedy i in., 1997; Maurer 1993).

Szeroko obecnie akceptowana hipoteza CMT obala myśl Piageta (1952, za: Maurer, 1993), że różne systemy

## U ŹRÓDEŁ SYNESTEZJI: PODSTAWY FIZJOLOGICZNE I FUNKCJONALNE

zmysłów są niezależne od urodzenia. Hipoteza CMT podtrzymuje tezę, że międzyzmysłowy transfer istnieje od urodzenia, a rozwój percepcji charakteryzuje stopniowe różnicowanie.

Jeśli ta hipoteza jest słuszna, prawdopodobnie z ewolucyjnego punktu widzenia zróżnicowanie modalności daje lepsze, szybsze i bardziej efektywne przetwarzanie informacji i dlatego też stanowi wyższą formę przystosowania. Synestezja u dorosłych byłaby więc wynikiem genetycznego zaburzenia procesu eliminacji nadmiaru połączeń między modalnościami podczas rozwoju kory w okresie niemowlęctwa. Jak sugeruje Baron-Cohen (1996), synestezja może wprowadzać dezorientację i zaburzenie zwykłej percepcji, kiedy synestetyk nie jest pewien np., czy to, co widzi, jest tym, co słyszy – jak w przypadku osoby z obukierunkową synestezją kolorowego słyszenia, u której synestezyjne wrażenia wchodziły w interferencję z rzeczywistą percepcją słuchową i wzrokową. Taka forma synestezji pogarszałaby adaptację do otoczenia. Jakkolwiek większość synestetyków ma emocjonalnie pozytywny stosunek do swojej zdolności, a nawet potrafi ją wykorzystywać w codziennym życiu w zapamiętywaniu jak i w twórczości.

## WNIOSKI KOŃCOWE

Obiektywne metody obrazowania mózgu podczas synestezyjnych doznań potwierdziły rzeczywiste występowanie synestezji, co stanowi krok milowy w badaniach. Jednakże wciąż istnieją niejasności co do lokalizacji integracji zmysłów. Prawdopodobnie rodzaj synestezji i sposób przetwarzania informacji determinuje miejsce aktywacji mózgowej. Integracja w synestezji smakowej, dotykowej czy muzycznej, o pierwotnych atrybutach i komponencji emocjonalnym, prawdopodobnie dokonuje się we wczesnych filogenetycznie strukturach mózgu limbicznego, natomiast synestezja językowa – na poziomie kory mózgowej. Różne formy synestezji aktywizują różne struktury mózgowe, w zależności od rodzaju stymulacji i synestezyjnego współodczucia, wymagają więc odmiennych wyjaśnień.

Prezentowane próby wyjaśnienia poznawczych i fizjologicznych komponentów mechanizmu powstawania synestezji, choć niezwykle interesujące i oparte na aktualnej wiedzy psychologicznej dotyczącej funkcjonowania ludzkiego umysłu, stanowią jedynie hipotetyczne i alternatywne modele synestezji. Wybór jednej z hipotez jest aktualnie niemożliwy przy obecnym stanie wiedzy.

Hipoteza Synestezji Niemowlęcej stanowi ważną implikację nie tylko do wiedzy o naturze synestezji, ale może mieć istotny wkład do psychologii rozwojowej i neurofizjologii. Synestezja zdaje się stanowić ważkie ogniwo w historii rozwoju ludzkiego mózgu. Dlatego też niezbędne są dalsze badania, prowadzące do weryfikacji hipotezy SN.

Enigmatyczne zjawisko synestezji, o jakże wielu różnorodnych formach i kombinacjach zmysłów, wymyka się naukowym teoriom. Największa ilość badań dotyczy jednej z form synestezji – kolorowego słyszenia. Konieczne są badania skoncentrowane na innych formach synestezyjnych. Nieodzowny wydaje się rozwój metodologii badań nad synestezją, który stanowiłby konieczny element postępu w tej dziedzinie. Odkrycie źródeł synestezyjnego przeżycia przyczynić się może do rozwiązania wielu zagadek ludzkiego umysłu we wszystkich dziedzinach psychologicznego poznania.

## BIBLIOGRAFIA

- Baron-Cohen, S. (1996). Is there a normal phase of synaesthesia in development? *Psyche. An Interdisciplinary Journal of Research on Consciousness*, 2, (27); <http://psyche.cs.monash.edu.au/volume2-1/>.
- Baron-Cohen, S., Harrison, J., Goldstein, L., Wyke, M. (1993). Coloured speech perception. *Perception*, 22, 419-426.
- Baron-Cohen, S., Wyke, M., Binnie, C. (1987). Hearing words and seeing colours. An experimental investigation of synaesthesia. *Perception*, 16, 761-767.
- Critchley, E. M. R. (1997). Synaesthesia: Possible mechanisms. W: S. Baron-Cohen, J. Harrison (red.), *Synaesthesia. Classic and contemporary readings* (s. 259-268). Oxford: Blackwell Publishers.
- Cytowic, R. E. (1995). Synesthesia: Phenomenology and neuropsychology. A review of current knowledge. *Psyche. An Interdisciplinary Journal of Research on Consciousness*, 2, (10); <http://psyche.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-10-cytowic.html>.
- Cytowic, R. E. (1993). *The man who tasted shapes*. London: Abacus.
- Cytowic, R. E., Wood, F. B. (1982a). Synesthesia I: A review of major theories and their brain basis. *Brain and Cognition*, 1, 23-35.
- Cytowic, R. E., Wood, F. B. (1982b). Synesthesia II: Psychophysical relationships in the synesthesia of geometrically shaped teste and colored hearing. *Brain and Cognition*, 1, 36-49.
- Dixon, M. J., Smilek, D., Cudahy, C., Merikle, P. M. (2000). Five plus two equals yellow. *Nature*, 406, 365.
- Frith, Ch. D., Paulesu, E. (1997). The physiological basis of synaesthesia. W: S. Baron-Cohen, J. Harrison (red.), *Synaesthesia. Classic and contemporary readings* (s. 123-147). Oxford: Blackwell Publishers.

ALEKSANDRA ROGOWSKA

- Grossenbacher, P. G. (1997). Perception and sensory information in synaesthetic experience. W: S. Baron-Cohen, J. Harrison (red.), *Synaesthesia. Classic and Contemporary Readings* (s. 148-172). Oxford: Blackwell Publishers.
- Grossenbacher, P. G., Lovelace, Ch. T. (2001). Mechanisms of synesthesia: Cognitive and physiological constraints. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, (1), 36-41.
- Kennedy, H., Batardiere, A., Dehay, C., Barone, P. (1997). Synaesthesia: Implications for developmental neurobiology. W: S. Baron-Cohen, J. Harrison (red.), *Synaesthesia. Classic and contemporary readings* (s. 243-258). Oxford: Blackwell Publishers.
- Luria, A. (1970). *O pamięci, która nie miała granic*. Warszawa: PWN.
- Marks, L. E. (1975). On colored-hearing synesthesia: Cross-modal translations of sensory dimensions. *Psychological Bulletin*, 82, (3), 303-331.
- Marks, L. E. (1989). On cross-modal similarity. The perceptual structure of pitch, loudness, and brightness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, (3), 589-602.
- Marks, L. E., Hammeal, R. J., Bornstein, M. H. (1987). Perceiving similarity and comprehending metaphor. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 212, (52), 1.
- Martino, G., Marks, L. E. (2001). Synesthesia: Strong and weak. *Current Directions in Psychological Science*, 10, (2), 61-65.
- Mattingley, J. B., Rich, A. N., Yelland, G., Bradshaw, J. L. (2001). Unconscious priming eliminates automatic binding of colour and alphanumeric form in synaesthesia. *Nature*, 410, 580-582.
- Maurer, D. (1993). Neonatal synaesthesia: Implications for the processing of speech and faces. W: S. Baron-Cohen, Harrison (red.), *Synaesthesia. Classic and contemporary readings* (s. 224-242). Oxford: Blackwell Publishers.
- Mills, C. B., Boteler, E. H., Oliver, G. K. (1999). Digit Synaesthesia: A case study using a stroop-type test. *Cognitive Neuropsychology*, 16, (2), 181-191.
- Palmeri, T. J., Blake, R., Marois, R., Flanery, M., Whetsell, W. Jr. (2002). The perceptual reality of synesthetic colors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, (6), 4127-4131.
- Paulesu, E., Harrison, J., Baron-Cohen, S., Watson, J. D. G., Golstein, L., Heather, J., Frakowiak, R. S. J., Frith, C. D. (1995). The physiology of coloured hearing synaesthesia: A PET activation study of colour-word synaesthesia. *Brain*, 118, 661-676.
- Ramachandran, V. S., Hubbard, E. M. (2001a). Psychophysical investigations into the neural basis of synaesthesia. *Proceedings of the Royal Society of London*, B, 268, 979-983.
- Ramachandran, V. S., Hubbard, E. M. (2001b). Synaesthesia – a window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*, 8, (12), 2-34.
- Rizzo, M., Eslinger, P. I. (1989). Colored hearing synesthesia: An investigation of neural factors. *Neurology*, 39, 781-784.
- Schiltz, K., Trocha, K., Wieringa, B. M., Emrich, H. M., Johannes, S., Münte, T. F. (1999). Neurophysiological aspects of synesthetic experience. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 11, (1), 58-65.
- Smilek, D., Dixon, M. J., Cudahy, C., Merikle, P. M. (2001). Synaesthetic photisms influence visual perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, (7), 930-936.
- Smilek, D., Dixon, M. J. (2002). Towards a synergistic understanding of synaesthesia. Combining current experimental findings with synaesthetes' subjective descriptions. *Psyche. An Interdisciplinary Journal of Research on Consciousness*, 8, (1); <http://psyche.cs.monash.edu.au/v8/psyche-8-01-smilek.html>.