

Tytuł: **Czy iluzje zwodzą jedynie „oko”, ale już nie rękę?**

Autor: Grzegorz Króliczak / gkrolicz@uwo.ca

Źródło: <http://www.kognitywistyka.net> / mjkasperski@kognitywistyka.net


0. Wstęp

Dane neurofizjologiczne oraz neuropsychologiczne wspierają tezę, że w korze mózgowej naczelnych znajdują się dwa pasma projekcji wzrokowych: brzuszny strumień „percepcyjny” oraz grzbietowy strumień „działania”. Zebrano również dane na to, że te dwa strumienie wzrokowe mogą funkcjonować względnie niezależnie od siebie. Jeden z przykładów takiej względnej niezależności systemu percepcyjnego oraz systemu działania pochodzi z eksperymentów, w których uczestniczyły osoby zdrowe, a więc bez urazów i zaburzeń funkcji mózgu. Badani ci wykonywali bezbłędnie czynności sięgania i chwytania, mimo, iż ich raporty percepcyjne wyraźnie wykazywały, że podlegają oni iluzji w trakcie spostrzegania.

W ostatnich latach, w wielu laboratoriach na świecie podjęto ten wątek badań. Testowanym osobom stawiano zadanie polegające na chwytaniu przedmiotów o iluzorycznym kształcie, na wskazywaniu wybranych miejsc zniekształconych figur, oraz na poruszaniu się w specjalnie zaprojektowanych *sytuacjach iluzyjnych*. Wyniki tych eksperymentów zainicjowały debatę na temat trafności samej hipotezy „dwóch mózgów wzrokowych” oraz na temat zakresu, w jakim system kontroli działania niewrażliwy jest na zniekształcenia obecne w percepcji. Jedne laboratoria zdecydowanie potwierdzały niezawodność czynności manualnych, takich jak chwyt, nakierowanych na przedmioty o iluzorycznym kształcie. Inne natomiast informowały, że ich dane temu przeczą (wpływ zniekształceń percepcyjnych wykrywano na przykład w kontroli wskazywania palcem dłoni elementów obecnych na prezentacji, a ujawniało się to głównie w czasie trwania realizacji czynności). Jeszcze inne laboratoria częściowo potwierdzały, że iluzje wprawdzie „zwodzą oko”, ale ręka „zdaje się nie zdrzeć” w trakcie chwytu. Liczba artykułów poświęconych eksperymentom, w których podejmuje się tę problematykę jest ogromna. Dlatego też, skazany na ich wybiórcze omówienie, ograniczę rozważania głównie, choć nie jedynie, do projektów wykorzystujących iluzję Ebbinghausa. Moim celem jest udzielenie przynajmniej próbnych odpowiedzi na następujące pytania: *Czy, w jakich warunkach i dlaczego system kontroli działania jest mniej wrażliwy na spostrzegane zniekształcenia iluzyjne?*

1. Percepcja wzrokowa a wspierane wzrokiem działanie

Dowody na to, że informacja wzrokowa może być inaczej wykorzystywana na użytek percepcji oraz działania pochodziły początkowo głównie z badań neurofizjologicznych oraz



badan neuropsychologicznych nad pacjentami z uszkodzeniami korowymi mózgu (Goodale, Milner 1992). Uwaga badaczy skupiała się przy tym na urazach obejmujących dwa domniemane korowe pasma wzrokowe opisane wcześniej, na podstawie badań nad przetwarzaniem informacji wzrokowej u małp, przez Ungerleider i Mishkina (1982). W ujęciu tych ostatnich, strumień brzuszny, potyliczno-skroniowy odpowiedzialny był za identyfikację przedmiotu, a strumień grzbietowy, potyliczno-ciemieniowy, odpowiedzialny był za lokalizację przedmiotu. Jednakże, taki podział funkcji przypisanych tym pasmom wzrokowym nie do końca potwierdzają wzory zaburzeń, które są wynikiem selektywnych urazów któregoś z tych szlaków nerwowych. Jak referują w swej pracy Milner i Goodale (1995), uszkodzenie pasma projekcji przesyłanych do kory skroniowej dolnej prowadzi do różnych form agnozji wzrokowej (niezdolności do właściwego rozpoznawania określonych cech przedmiotów, np. kształtu), podczas gdy uszkodzenie projekcji biegnących do okolic ciemieniowych tylnych wywołuje charakterystyczne zaburzenia opartych na informacji wzrokowej czynności motorycznych, które określane są jako ataksja wzrokowa (niezdolność do generowania prawidłowych działań, np. czynności manualnych takich jak chwyt, w odpowiedzi na bodźce wzrokowe).

Milner i Goodale (1995), reinterpretując hipotezę Ungerleider i Mishkina (1982), wykazują, że w tych dwóch, względnie niezależnych, pasmach nerwowych dokonuje się przetwarzanie informacji wzrokowej na użytek percepcji (w strumieniu brzuszny) i działania (w strumieniu grzbietowy). Najbardziej przekonującym dowodem na rzecz trafności hipotezy wyróżniającej dwa „mózgi wzrokowe” jest pacjentka DF, która pomimo głębokich zaburzeń percepcji wzrokowej kształtu przedmiotów, potrafi wykorzystywać informację o kształcie w trakcie kontroli chwytu przedmiotów. Tym samym, na podstawie uzyskiwanej, choć często zupełnie nieuświadomianej, informacji wzrokowej, sprawnie wykonuje ona szereg codziennych czynności manualnych (Milner, Goodale 1995).

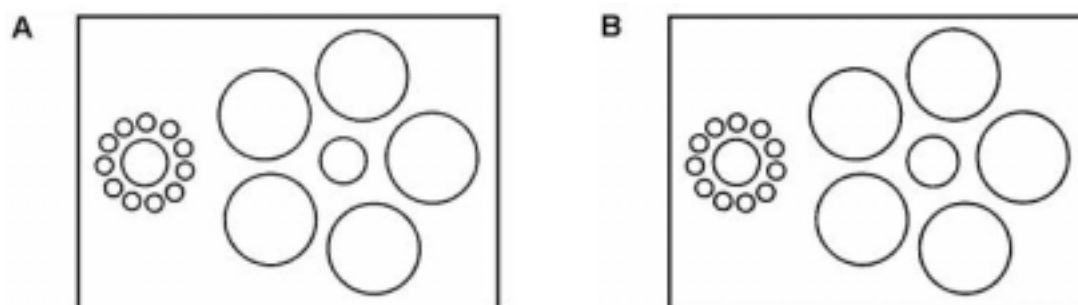
Jeśli powyższa hipoteza o istnieniu wyraźnego rozdzielenia pomiędzy *modułem percepcyjnym* a *modułem działania* jest poprawna, wówczas, powinno być możliwe wykazanie tego, iż również u *osobników normalnych* informacja uzyskiwana w percepcji nie wpływa bezpośrednio na realizowane czynności wzrokowo-motoryczne. Tym samym, nasze raporty percepcyjne dotyczące relacji metrycznych zawartych w przedmiotach nie muszą znajdować bezpośredniego odzwierciedlenia w podejmowanych przez spostrzegającego czynnościach nakierowywanych ku tym przedmiotom. Na przykład, nawet, jeśli percepcyjnie nietrafnie szacujemy wielkość danego przedmiotu, nie powinno to znaleźć odzwierciedlenia w trakcie czynności polegającej na jego chwytaniu.

O podobnym rozdzieleniu pomiędzy percepcją (poznawczym zadaniem wzrokowym) a działaniem (zadaniem wzrokowo-motorycznym) relacjonował wcześniej Bridgeman *et al.* (1979), demonstrując, iż pomimo to, że uczestnicy eksperymentu nie zauważali przesunięcia celu, gdy zsynchronizowane ono było z ruchem sakkadowym oka, nadal potrafili oni poprawnie wskazać gdzie znajduje się ów przedmiot docelowy przy użyciu niewidzianego wskaźnika. Tym nie mniej, największy rozgłos zyskał projekt, jaki zrealizowali Aglioti, DeSouza i Goodale (1995), którzy wykazali, że iluzje percepcyjne będące rezultatem obecnych w spostrzeganiu procesów kontrastowania wielkości przedmiotów (przedmiotu docelowego oraz elementów znajdujących się w jego kontekście) nie zakłócają prawidłowej kalibracji chwytu przedmiotu docelowego.

1.1. Iluzje „zwodzą oko, ale nie rękę”

Jak relacjonuje Angela Haffenden i Melvyn Goodale (1998), w większości tradycyjnych badań udawało się demonstrować oddzielenie pomiędzy informacją wzrokową wykorzystywaną w percepcji oraz informacją, na której opierała się kalibracja oraz kontrola czynności ruchowych poprzez wskazywanie na wyraźne różnice w kodowaniu w tych dwóch systemach danych na temat lokalizacji przestrzennej bodźców. Jak demonstrowano, strumień percepcyjny (brzuszny) wykorzystuje *allocentryczne*, tj. osadzone w świecie zewnętrznym ramy odniesienia. Tymczasem, strumień działania (grzbietowy) dokonuje transformacji danych wzrokowych do współrzędnych *egocentrycznych*; to znaczy, obliczenia służące wyznaczeniu położenia przedmiotu zawsze dokonują się w relacji do tego z systemów efektorowych, który zostanie wykorzystany w działaniu. By ująć to jeszcze inaczej, w celu sprawnej kontroli wzrokowo-ruchowej organizm musi wykorzystywać uzyskiwaną w procesach widzenia informację zupełnie inaczej niż w percepcji; stąd w ramach tych dwóch modułów dokonywane są znacząco różne obliczenia (porównaj Milner, Goodale 1995, bądź opracowanie w języku polskim Króliczak 1999).

Jak się okazuje, percepcja wielkości przedmiotu odbywa się również w relatywnych ramach odniesienia; system percepcyjny wykorzystuje jednak kodowanie allocentryczne – w odniesieniu nie do obserwatora, lecz innych przedmiotów. Pomimo to, że w procesach spostrzegania dokonujemy niekiedy bardzo precyzyjnych odróżnień pomiędzy wielkością przedmiotów, w większości przypadków nie potrafimy określić ich wielkości absolutnej (można by nawet powiedzieć, że system percepcyjny nie został zaprojektowany do tego, by taką funkcję pełnić). Co więcej, w układzie wzrokowym zawsze zdają się być kodowane informacje zaledwie na temat względnych relacji pomiędzy wielkością przedmiotów (Haffenden, Goodale 1998). W rezultacie, umieszczając ten sam przedmiot w innych kontekstach, uzyskujemy od uczestników eksperymentu różne raporty percepcyjne na temat jego wielkości. Szczególnie wyraźnie zjawisko to daje się zaobserwować w iluzji Ebbinghaus'a (znanej także jako iluzja „krążków” Titchenera). Zniekształcenie iluzyjne obecne w figurze Ebbinghaus'a polega na tym, że dwa okręgi o tej samej wielkości otoczone jednolitym szeregiem okręgów dwójakiego rozmiaru, czyli z uwagi na kontekst w jakim się znajdują, spostrzegane są jako różne (porównaj Rys. 1). Bardziej precyzyjnie rzecz ujmując, w swych raportach percepcyjnych uczestnicy eksperymentu wyrażają przekonanie, że okrąg otoczony małymi „krążkami” wygląda na większy, aniżeli tej samej wielkości okrąg, umieszczony w otoczeniu „kółek” o znacznie pokażniejszych od niego rozmiarach.



Rysunek 1. Iluzja Ebbinghaus'a. (A) Wersja standardowa iluzji, w której dwa okręgi centralne, choć fizycznie identyczne, różnią się pod względem spostrzeganej wielkości. (B) Wersja wykorzystywana – na przemian z (A) – w laboratorium Goodale'a; fizycznie różne krążki zdają się być identyczne pod względem rozmiaru.

1.2. Percepcja okręgów a interakcje wzrokowo-ruchowe

Mając na uwadze postulat głoszący niezależność modułu percepcyjnego oraz modułu wzrokowo-ruchowego, Aglioti et al. (1995) wyszli z następującego założenia. Choć system percepcyjny jest wyraźnie wrażliwy na wszelkie manipulacje relacjami pomiędzy przedmiotem docelowym a jego tłem, są dobre powody po temu by wierzyć, że proces kalibracji rozwarcia palca wskazującego oraz kciuka podczas chwytania percepcyjnie różnych, lecz fizycznie identycznych krążków przebiegał będzie w sposób niezakłócony. To znaczy, bez względu na to, co sądzimy na temat wielkości okręgów, skalowanie rozwarcia palców podczas chwytu będzie ściśle dostosowane do ich średnicy.

Ta sama reguła powinna mieć zastosowanie również w drugim z zaprezentowanych powyżej przykładów iluzji, wykorzystywanym w eksperymencie jako warunek kontrolny. Zatem, pomimo to, że „krążki” Titchenera wyglądają na identyczne, proces kalibracji chwytu będzie przebiegał odmiennie, dostosowując się do rzeczywistych rozmiarów przedmiotów.

Wiedząc o tym, że iluzje wzrokowe utrzymują się nawet w przypadku trójwymiarowych prezentacji (Massaro, Anderson 1971) Aglioti, DeSouza i Goodale (1995) przygotowali trójwymiarowe wersje iluzji Ebbinghaus, w których okręgi centralne stanowiły plastikowe dyski – przypominające żetony do pokera – osadzone na drucikach. Wystając nieco ponad prezentację, łatwe były do chwytania. W eksperymencie wykorzystane zostały dwie wersje iluzji, tak jak to pokazano na Rys. 1. W jednej z prób prezentowano fizycznie identyczne, ale percepcyjnie różne dyski; w drugiej, fizycznie odmienne, lecz percepcyjnie takie same. Te dwie wersje iluzji pokazywane były uczestnikom eksperymentu w kolejności przypadkowej, przy czym, żetony percepcyjnie większe oraz żetony spostrzegane jako mniejsze, pojawiały się naprzemiennie po prawej, bądź lewej stronie prezentacji. W zależności od tego, czy okręgi centralne wyglądały na identyczne pod względem wielkości, czy też na różne, zadaniem uczestnika było chwytanie krążka znajdującego się po lewej, bądź po prawej stronie.

Maksymalne rozwarcie palca wskazującego oraz kciuka rejestrowane było w trakcie realizacji chwytu przy pomocy trójwymiarowych kamer systemu OPTOTRAK i zachowywane w postaci cyfrowej na komputerze. Nagrania ujawniły, że choć wybory, jakich dokonywali uczestnicy wyraźnie wskazywały na to, że ulegają oni iluzji, kalibracja rozwarcia palców zawsze wyznaczona była w oparciu o fizyczną wielkość dysku. Innymi słowy, czynność polegająca na chwytaniu żetonów jest w dużej mierze niewrażliwa na wyrażane na podstawie informacji percepcyjnej sądy o ich wielkości, a tym samym na tak zwaną iluzję kontrastu wielkości.

Choć przedstawiony powyżej wniosek wydaje się być trafny w kontekście danych, jakie uzyskane zostały w przeprowadzonym eksperymencie, istnieje kilka wątpliwości natury metodologicznej, które nie pozwalają na dokonanie szerszych uogólnień. Co więcej, może być tak, że rezultaty eksperymentu są niejako artefaktem wykorzystanej metody badawczej.

1.3. Raport percepcyjny a procesy kalibracji chwytu

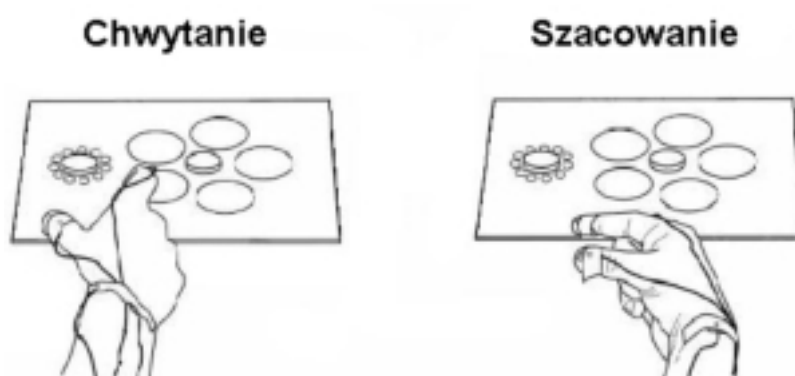
Chociaż, jak wykazali Aglioti *et al.* (1995), iluzje zdają się zwodzić oko, ale nie rękę, sposób realizacji tego eksperymentu dopuszcza również inne hipotezy wyjaśniające brak wpływu zniekształceń percepcyjnych na działanie. Jak przyznają Haffenden i Goodale (1998), słabością tak przeprowadzonych testów było to, że dychotomicznej dyskryminacji percepcyjnej (takie same/różne), przeciwstawia się ciągły proces pomiaru kalibracji palców podczas chwytu.

Ponadto, istnieje możliwość, iż rozwarcie palca wskazującego i kciuka korygowane jest pod wpływem informacji zwrotnej w trakcie realizacji chwytu. Inaczej rzecz ujmując, nawet, jeśli programy motoryczne wyznaczające rozwarcie palców podczas chwytu pozostawały pod wpływem zniekształconej informacji percepcyjnej, oddziaływanie takie można łatwo na bieżąco skorygować.

Haffenden i Goodale (1998) wprowadzili zatem dwie istotne modyfikacje do pierwotnego projektu jaki zrealizowali Aglioti *et al.* (1995). Po pierwsze, testy zostały przeprowadzone w warunkach tak zwanej otwartej pętli – uczestnicy eksperymentu nie widzieli ani ręki, ani celu w trakcie realizacji chwytu. Po drugie, wprowadzono zupełnie nowy element: szacowania percepcyjnego przy użyciu rozwarcia palca wskazującego i kciuka. Wreszcie, jak w wielu innych eksperymentach, wprowadzono również neutralny warunek kontrolny – okrąg bez tła, oraz dodatkowo tła składające się z takich samych okręgów, których średnica wyznaczona była w połowie różnicy wielkości pomiędzy małymi i dużymi okręgami obecnymi w pierwotnej prezentacji.

1.4. Metody pomiaru i warunki realizacji eksperymentu

Ponieważ sam miałem okazję być uczestnikiem, a następnie przyglądać się realizacji jednego z ostatnich eksperymentów Haffenden w tej serii, pozwolę sobie w tym miejscu na wybiórczy opis zarówno metod, jak i uwag dotyczących uzyskanych rezultatów, z perspektywy własnej. Uczestnik eksperymentu ma przymocowane do palca wskazującego, kciuka oraz nadgarstka diody emitujące światło podczerwone. Emisja tego światła rejestrowana jest przez kamery OPTOTRAKA (3020: NDI, Waterloo, ON, CANADA), który sprzężony z komputerem wykorzystywany jest do rekonstrukcji trójwymiarowej reprezentacji trajektorii ruchu dłoni i palców. W ten sposób wyznaczone zostaje zarówno maksymalne rozwarcie palców podczas chwytu, jak i odległość pomiędzy nimi w trakcie szacowania percepcyjnego wielkości krążków (porównaj Rys. 2).



Rysunek 2. Chwywanie oraz szacowanie percepcyjne iluzji Ebbinghause w eksperymencie Haffenden i Goodale'a (1998).

Eksperyment odbywa się w zaciemnionym laboratorium, w którym dostęp światła regulowany jest przez komputer oraz przez samego uczestnika. Aby wykonać zdanie, testowany zwalnia po prostu jeden z przycisków, na którym opierają się jego palce. To powoduje wyłączenie się lampy, która wcześniej była na krótko zapalana w celu umożliwienia zapoznania się z rozkładem bodźca. Taka kontrola zdarzeń wzrokowych

sprawia, że zarówno chwytanie, jak i szacowanie percepcyjne odbywa się bez wzrokowej informacji zwrotnej na temat rozwarcia palców. Tym samym, niemożliwe jest porównanie na bieżąco kalibracji palców podczas chwytu lub szacowania wielkości, oraz spostrzeganej wielkości przedmiotu, co mogłoby prowadzić do korygowania pierwotnych reakcji.

Co ważne, po dokonaniu raportu percepcyjnego, uczestnik proszony jest o to, by chwycił wcześniej szacowany percepcyjnie dysk. W rezultacie, spostrzegający ma mniej więcej tyle samo informacji dotykowej w obydwu warunkach testowania (w trakcie chwytu oraz podczas szacowania percepcyjnego wielkości). Warto przy tym zwrócić uwagę na to, że pomimo informacji zwrotnej na temat fizycznej wielkości dysku, iluzja utrzymuje się nawet po dwóch godzinach testowania. (Nie stoi to jednak w sprzeczności z raportami na temat zaniku zniekształceń iluzyjnych w wyniku długotrwałego wystawienia na bodziec, gdyż czas przyglądania się prezentacji jest zbyt krótki, by mogła dokonać się reorganizacja procesów poznawczych – porównaj Girgus *et al.* 1975).

1.5. Dyskusja wybranych aspektów uzyskanych wyników

Wyniki uzyskane przez Haffenden i Goodale'a (1998) w tak zrealizowanym eksperymencie również potwierdziły to, że istnieje rozdzielenie pomiędzy informacją wzrokową wykorzystywaną w percepcji oraz działaniu. Nie ma wątpliwości co do tego, że informacja niezbędna do procesów kierowania dłonią musi być przynajmniej przeprogramowana (jeśli nie zupełnie inna). Z eksperymentu Haffenden i Goodale'a (1998) wynika, że taka możliwość istnieje. Transmisja oraz przekształcanie danych wzrokowych może odbywać się w sposób nieco bardziej złożony niż można by sądzić na podstawie prostego modelu dwóch strumieni przetwarzania.

Na uwagę zasługuje to, że czynność motoryczna realizowana była dopiero po tym, jak uczestnik zapoznał się z rozkładem bodźca i podjął decyzję, który krążek będzie łapał (co zawsze potwierdzało obecność zniekształcenia iluzyjnego w percepcji). Informacja percepcyjna może tu więc odgrywać pewną rolę modulującą dla pierwotnie zakodowanych już programów motorycznych. Zdają się na to wskazywać zestawione ze sobą dane na temat realizacji chwytu w wykorzystanych w eksperymencie neutralnych warunkach kontrolnych. Poniżej zostanie to omówione wraz z pewną roboczą hipotezą.

Przyjmijmy konfraktycznie, że za powstawanie iluzji Ebbinghausa odpowiedzialne są przede wszystkim (bądź wyłącznie) procesy uwagi wzrokowej. Jest to dość prawdopodobne, gdyż rozkład bodźca w danej figurze sprawia, że w trakcie spostrzegania uwaga wzrokowa musi być inaczej rozłożona niż podczas kontroli czynności manualnych nakierowanych na jeden z jej elementów. W percepcji procesy uważnościowe muszą niejako obejmować lub analizować stosunkowo dużą przestrzeń prezentacji. Sytuacja przedstawia się zupełnie inaczej w przypadku chwytu. Kiedy już podjęliśmy decyzję, który krążek łapiemy, możemy skupić uwagę tylko na nim (przynajmniej tak postępował autor artykułu biorąc udział w szeregu pokrewnych eksperymentów; niektóre z nich były tak pomyślane, że podejmowały problem wyłącznie w kategoriach wpływu spostrzegania na chwyt). Hipoteza ta zdaje się znajdować potwierdzenie w szeregu innych testów wskazujących na to, że jeśli ignorujemy kontekst, iluzja ulega zmniejszeniu. Z kolei jeszcze inne eksperymenty pokazują, że zniekształcenia percepcyjne mogą być generowane pod wpływem tych elementów kontekstu, na które w danym momencie zwracamy uwagę (porównaj Shulman 1992), przy czym w pewnych warunkach testowania iluzja utrzymuje się, ale ulega odwróceniu.

Zastanówmy się zatem, czy rzeczywiście nie jest tak, że w działaniu wykorzystywana jest informacja percepcyjna. Tym razem odwołajmy się jednak do analizy warunków kontrolnych. Przypomnijmy, że w tradycyjnej figurze Ebbinghausa, w tle jednego z krążków znajdują się okręgi bardzo małe, a w otoczeniu drugiego duże – iluzja, jak się sądzi, wynika ze zjawiska kontrastowania wielkości. Jeśli zatem obydwie krążki otoczone są przez jednolite okręgi o tej samej wielkości, tło nie powinno prowadzić do generowania odmiennego typu zniekształceń. Dlatego też niekiedy przyjmuje się, że takie same tła nie powinny wywoływać iluzji. Tymczasem, kiedy sięgamy po któryś z dysków umieszczonych jedynie na czarnym tle, skalujemy palce inaczej niż wówczas, gdy dyski te otoczone są jednolitymi okręgami o średniej wielkości – w ostatnim przypadku rozwarcie palców jest mniejsze. Haffenden i Goodale (1998) sugerują, że jeśli w otoczeniu krążka, po który sięgamy znajdują się inne przedmioty, zachowujemy się tak, jakbyśmy wkładali palce do szczeliny – ich rozwarcie musi być zatem zredukowane. Jeśli tak, byłby to dowód na to, że informacja z kontekstu wpływa jednak na realizowany chwyt (nie pomaga nawet selektywne skupianie uwagi).

Tymczasem, pomimo, że w trakcie realizacji rozważanego powyżej chwytu inaczej skalujemy palce, w raporcie percepcyjnym zawsze przeszacowujemy wielkość takiego okręgu. Okazuje się, że w warunkach neutralnych, gdy obydwie porównywane krążki otoczone są okręgami o tej samej wielkości, również dochodzi do iluzji. Tym razem zniekształcenie nie polega na tym, że dokonujemy „niewłaściwego porównania” jednolitych, bądź odmiennych krążków – trudno tego oczekiwać, gdyż dyski znajdują się w tych samych kontekstach. Ze względu na owo tło, spostrzegana wielkość dysków różni się jednak od ich wielkości fizycznej. Na podobne zjawisko wskazywał wcześniej Jaeger (1978), z tym, że w jego eksperymencie warunki testowania były odmienne od omawianych powyżej, a okręgi były zawsze niedookreślone pod względem wielkości.

Konkluzja jest zatem taka, że informacja wzrokowa wykorzystywana w działaniu jest wprawdzie inna niż dane na użytek percepcji, ale w trakcie realizacji określonych czynności, bez względu na to, jak skupiana byłaby uwaga wzrokowa, kontekst percepcyjny może odgrywać pewną rolę modulującą (korygującą).

2. Dlaczego jedni potwierdzają, inni zaprzeczają (a jeszcze inni jakby potwierdzali) i co z tego wynika dla teorii Milnera-Goodale'a?

Wśród teoretyków zajmujących się problematyką iluzji nie ma powszechnej zgody, co do tego, jakie mechanizmy percepcyjne przyczyniają się do generowania „złudzeń” wzrokowych. Badacze-eksperymentatorzy w swych wyjaśnieniach zniekształceń iluzyjnych nie odwołują się do „hipotezy błędu percepcyjnego” (Gregory 1994 a, b), niemal zawsze bezrefleksyjnie powielanej w podręcznikach akademickich poświęconych percepcji (w pewnej umiarkowanej wersji również Palmer 1999). Przeciwnie, eksperymetatorzy wykazują, że do powstawania iluzji przyczyniają się strategie poznawcze (np. wspomniane już procesy kontrastowania wielkości) wykorzystywane standardowo przez system percepcyjny w trakcie przetwarzania danych z wejścia zmysłowego (np. Coren et al. 1976). Ponadto, wydaje się, że w wyjaśnieniach procesów uwikłanych w generowanie niektórych zniekształceń percepcyjnych konieczne jest także odwołanie się do tzw. mechanizmów strukturalnych, takich jak rozmycie optyczne, hamowanie oboczne, rozmycie informacji w paśmie nerwowym, czy też hamowanie orientacyjne krzyżowe (np. Coren et al. 1978; Jaeger 1978; Glennerster, Rogers 1993; Morgan 1996). Wreszcie, liczne testy wskazują, iż istotnym komponentem prowadzącym do różnego typu zniekształceń mogą być procesy selektywnej

uwagi wzrokowej (Shulman 1992). Powyższe ustalenia dotyczą percepcji iluzyjnej, tj. domniemanego przetwarzania danych wzrokowych w strumieniu brzuszny. Czy podobne mechanizmy mogą odgrywać istotną rolę w programowaniu działania, tj. wpływać na transformacje danych w strumieniu grzbietowym? Wątek ten rozwinę rozpoczynając od procesów uwagi.

2.1. Selekcja przedmiotu docelowego

Jak już zasygnalizowałem wcześniej, skupianie uwagi na wybranym komponencie prezentacji może przyczyniać się do zmniejszenia zakresu zniekształceń obecnych w spostrzeganiu. Niektórzy badacze sądzą, że to właśnie wybiórcza selekcja celu sprawia, iż zniekształcenia iluzyjne nie odgrywają roli w programowaniu chwytu. Argumenty przedstawiane na rzecz tej tezy są dwójakiego rodzaju: (1) jak sugerują Pavani *et al.* (1999), jeśli prezentację ograniczyć do jednego elementu, tj. tylko do małego, bądź dużego okręgu wraz z jego tłem, wówczas wpływ iluzji na spostrzeganie i chwyt jest, przynajmniej w pewnych warunkach, taki sam (porównaj także Franz *et al.* 2000); (2) jak ponadto wykazują Franz *et al.* (2000), zakres zniekształceń generowany w trakcie percepcji osobnych prezentacji nie jest taki sam – po ich zsumowaniu – jak zniekształcenia powstałe podczas percepcji całej figury Ebbinghaus. Te ostatnie dane świadczyć mają m.in. o tym, że o rozdzieleniu pomiędzy informacją percepcyjną oraz informacją wykorzystywaną w działaniu nie można wnioskować na podstawie eksperymentów, jakie przeprowadzili Aglioti *et al.*, oraz Haffenden i Goodale, gdyż zadania, jakie mają do wykonania uczestnicy (percepcja *versus* chwyt) są sobie niewspółmierne.

Pavani *et al.* (1999) szczególnie akcentują hipotezę zależności rozkładu uwagi wzrokowej od rodzaju zadania, przed którym stają testowani, i będącej tego konsekwencją różnicy w jakim iluzja wpływa na percepcję i chwyt. Swych wyników nie interpretują oni jednak odrzucając model Milnera-Goodale'a, lecz wskazując na to, że można je wyjaśnić w kategoriach interakcji pomiędzy strumieniami. Niestety, argument ten ma raczej wąskie zastosowanie (wyjaśnia jedynie wyniki eksperymentu Pavani *et al.* 1999). Problem polega bowiem na tym, że w pierwotnym eksperymencie jaki przeprowadzili Aglioti *et al.* (1995) szanse na interakcje między-strumieniowe były znacznie większe, gdyż uczestnicy podejmowali decyzje co do tego, który krążek chwycą po zapoznaniu się z całością prezentacji (a nie jej połową). W ostatnim czasie zwrócił na to uwagę również Carey (2001).

Franz *et al.* (2000) są bardziej radykalni, gdyż twierdzą, interpretując wyniki swego eksperymentu, że ta sama informacja pośredniczy zarówno percepcji, jak i działaniu. Ponadto, jak wykazują, zniekształcenia percepcyjne generowane podczas porównywania okręgów w całej prezentacji są istotnie większe aniżeli suma zniekształceń pojawiających się podczas oglądania okręgów centralnych tylko w jednym z kontekstów – i właśnie ów brak sumowania się wpływu zniekształceń z obu fragmentów prezentacji miałby być odpowiedzialny za prawidłowe skalowanie chwytu. Jeśli tak, to istnieje również możliwość, że sam zakres zniekształceń wielkości okręgów centralnych w każdej z prezentacji z osobna wziętych, nie byłby istotnie różny od wielkości okręgu kontrolnego (bądź po prostu od faktycznej wielkości zniekształconego okręgu, tzn. zniekształcenie jest na tyle mało istotne, że można je zaniedbać). Wówczas jednak nie można by zasadnie mówić o tym, że gdy okrąg umieszczony jest tylko w jednym z kontekstów, iluzja jednakowo przejawia się w percepcji i w trakcie realizacji chwytu, gdyż takich istotnych oddziaływań iluzyjnych nie byłoby ani w jednym, ani w drugim przypadku. Jacob i Jeannerod (1999), podobnie zauważają, że jeśli bodziec nie

wywołuje u spostrzegającego iluzji, wówczas nie powinno się uzyskanych w takim przypadku rezultatów wykorzystywać w ocenach trafności modelu Milnera-Goodale'a.

2.2. Mechanizmy strukturalne

Wpływ mechanizmów strukturalnych (np. hamowania obocznego) na zakres zniekształceń percepcyjnych obecny jest głównie w prezentacjach zawierających przecinające się linie (Coren *et al.* 1978). Tym samym, można zasadnie przyjąć, że mechanizmy te nie będą odgrywały znaczącej roli w przypadku iluzji Ebbinghausa. Ważne jednak by w tym miejscu zauważyć, że ilekroć mechanizmy strukturalne stanowiłyby istotną przyczynę powstawania iluzji, ich wpływ obecny powinien być zarówno w percepcji, jak i w działaniu. Jest tak dlatego, że są to mechanizmy niskiego rzędu (z poziomu komórek zwojowych siatkówki oka i/lub pierwszorzędowej kory wzrokowej), a podział na dwa strumienie następuje na nieco wyższych etapach przetwarzania informacji wzrokowej. Zwrócili na to uwagę również Dyde i Milner (komunikat osobisty). Niestety, nie wszyscy badacze zdają sobie do końca z tego sprawę.

Na przykład, Glover i Dickson (2001) wykazali, że w przypadku tzw. iluzji nachylenia (o której sądzić można, że generowana jest przede wszystkim na stosunkowo wczesnych etapach przetwarzania danych wzrokowych, pod wpływem mechanizmów hamowania obocznego, bądź hamowania orientacyjnego krzyżowego) efekt zniekształceń iluzyjnych był wyraźnie widoczny w początkowych fazach sięgania w kierunku celu, choć nie w fazie późniejszej, gdy ręka już niemal chwytała przedmiot. Proponują oni nieco inną dystynkcję niż Milner i Goodale, a mianowicie twierdzą, że należy dokonać odróżnienia pomiędzy planowaniem, a kontrolą działania. Ich zdaniem, planowanie odbywa się zawsze na podstawie reprezentacji wzrokowych uwzględniających kontekst spostrzegania, natomiast kontrola jest niezależna od kontekstu.

Przyznać muszę, że jedyne zastrzeżenia jakie mam w związku rezultatami uzyskanymi przez Glovera i Dixona jest ich interpretacja (dodając, że podobne, a nawet jeszcze ciekawsze, wyniki można dość łatwo uzyskać, co niezależnie wykazali Dyde i Milner 2000). Rezultaty tego projektu da się łatwo opisać w oparciu o model Milnera i Goodale'a (biorąc pod uwagę to, że można być niemal pewnym, że zniekształcenia percepcyjne generowane są w tej iluzji głównie na wczesnych etapach przetwarzania).

Dodatkowego argumentu w tym sporze dostarczają wyniki dalszych analiz, jakie przeprowadzono w ostatnim czasie w samym laboratorium Goodale'a. Otóż przeanalizowano tu ponownie trajektorie komponentu transportu dłoni (tj., jakie ruchy ręki i dłoni wykonywali uczestnicy chwytając krążki Titchenera) oraz chwytu (jak skalowane było rozwarcie palców w trakcie realizacji czynności) z wczesnych faz sięgania, jakie realizowali uczestnicy eksperymentu Haffenden i Goodale'a (1998). Nie wykryto najmniejszych śladów wpływu iluzji nawet w początkowych fazach kinematyk działania (komunikat osobisty; omówienie w druku). Wynik ten nie stanowi żadnego zaskoczenia, gdyż strategia polegająca na kontrastowaniu wielkości przedmiotu wykorzystywana może być najprawdopodobniej jedynie w ramach populacji neuronów mających duże pola recepcyjne (a zatem w korze dolnoskroniowej). Nie widać więc powodów, dla których efekt kontrastowania (obecny w iluzji Ebbinghausa) miałby zakłócać choćby wczesne etapy czynności wzrokowo-motorycznych.

3. Pewne elementy działań pozostają pod wpływem spostrzeganej iluzji

Donkelaar (1999) wykazał jednak, że pewne typy działań wrażliwe są na efekty zniekształceń percepcyjnych; nawet tych generowanych w kontekście iluzji Ebbinghause. Zademontrował on, że przeniesienie dłoni w celu wskazania środka okręgu percepcyjnie mniejszego zabiera uczestnikom więcej czasu, aniżeli podobna czynność wymierzona w kierunku okręgu pozornie większego (przy czym różnice w kinematyce elementu transportu były takie same jakie te, które zarejestrowano w trakcie wskazywania na okręgi fizycznie różne, prezentowane bez kontekstu; różnica skorelowana jest z poziomem trudności zadania). Wnioskuje on zatem, że planowanie oraz kontrola przebiegu wskazywania odbywa się w ramach relatywnych ram odniesienia, a nie jest wyznaczona w oparciu o absolutną wielkość przedmiotu.

Rzeczywiście, kontrola wskazywania musi przebiegać inaczej aniżeli kontrola chwytu. Wyegzekwowanie poprawnego chwytu może odbyć się poprzez wyznaczenie zaledwie dwóch miejsc, na których będą mogły spocząć palce. Natomiast, by wskazać gdzie leży środek okręgu, trzeba wykorzystywać informację na sposób całościowy.

Czy wynik ten mógłby stanowić jeden z argumentów przeciwko hipotezie Milnera i Goodale'a? Wydaje się, że nie, bo jak wykazali wcześniej Gentilucci *et al.* (1996), zakres, w jakim wskazywanie pozostaje pod wpływem zniekształceń iluzyjnych, zależy również od warunków testowania (np. pełne widzenie – uczestnik widzi prezentację przed i w trakcie realizacji czynności [warunki tzw. zamkniętej pętli]; brak widzenia, lecz zadanie wykonane bez opóźnienia – jak tylko uczestnik podejmuje realizację czynności gaśnie światło, lub założone przez niego okulary ciekło-krystaliczne zamykają dostęp światła, przesłaniając prezentację [warunki tzw. otwartej pętli]; opóźnienie 5-sec. – światło zapalane jest tylko w celu umożliwienia zapoznania się z bodźcem, po czym gaśnie i uczestnik czeka na stosowny sygnał by rozpocząć realizację zadania – metody i zjawiska standardowo wykorzystywane oraz prezentowane w laboratorium Goodale'a). Sami autorzy eksperymentu interpretują swe wyniki jako dowód na interakcje pomiędzy strumieniami.

By jeszcze wyraźniej pokazać na czym polega specyfika wskazywania, posłużę się tu dodatkowym przykładem. Wyobraźmy sobie, że na ekranie monitora pokazywane są kolumny wyrazów i zadaniem uczestnika eksperymentu jest wskazywanie na konkretny wyraz w reakcji na słowa wypowiedziane przez eksperymentatora. Czy to, że potrafimy poprawnie wykonać takie zadanie oznaczałoby, że strumień grzbietowy musi również posiadać „umiejętność czytania”?

3.1. Czy ręka przesłania prezentację?

We wcześniejszym fragmencie rozważań omówiłem możliwość taką, że weredyczna (tj. dostosowana do faktycznej wielkości przedmiotu) kalibracja rozwarcia palców w trakcie chwytania figur Ebbinghause mogłaby wynikać z tego, iż uczestnik koryguje ustawienie palców na podstawie informacji zwrotnej, w trakcie realizacji czynności. Niektórzy badacze sugerowali również, że wpływ zniekształceń może być zminimalizowany w procesie chwytania z uwagi na to, że dłoń, a następnie również ręka przesłaniać może część zawartych na prezentacji elementów, a te mogą być niezbędne w celu efektywnego generowania zniekształceń (Mon-Williams, Bull 2000). Choć argument ten wydaje się być dość ciekawy, nie ma on zastosowania do eksperymentu Haffenden i Goodale'a (1998) oraz innych testów, w których wykorzystano warunki otwartej pętli, tj. wówczas, gdy chwytanie oraz szacowanie

odbywało się bez informacji zwrotnej (porównaj także znakomity projekt jaki zrealizowali Westwood *et al.* 2000).

4. Wnioski końcowe

W niniejszym artykule przyjąłem niejako rolę adwokata zasadniczej trafności hipotezy Milnera-Goodale'a (1995), dotyczącej podziału funkcjonalnego w przetwarzaniu informacji wzrokowej na użytek percepcji i działania, kodowanej odpowiednio w strumieniu brzuszным i grzbietowym. Rozdział funkcji nie oznacza jednak, że strumienie te się nie komunikują. Wydaje się, że w trakcie wykonywania złożonych codziennych czynności interakcje międzystrumieniowe są warunkiem koniecznym sprawnej ich realizacji. Milner i Goodale (1995) także nie kwestionują tego postulatu. Istnieje jednak dość szeroki zakres działań, w realizacji których „aktor” nie musi się posiłkować informacją przetwarzaną w percepcyjnym strumieniu brzuszным. Tak długo jak do wykonania czynności wystarczą egocentryczne ramy odniesienia, spostrzegana świadomie informacja nie musi modulować transformacji danych wzrokowych na użytek działania. Jednakże, jeśli zadanie wymaga uwzględnienia szerszego kontekstu, tak jak ma to miejsce podczas wskazywania na wybrane elementy prezentacji, informacja percepcyjna zdaje się odgrywać rolę kluczową w sprawnej realizacji czynności ruchowej.

Wpływu zniekształceń iluzyjnych na podejmowane czynności motoryczne nie da się łatwo wyeliminować jeśli do generowania iluzji dochodzi na bardzo wczesnym etapie spostrzegania, gdyż wyraźny podział na dwa pasma przetwarzania informacji wzrokowej następuje poza pierwszorzędną korą wzrokową (V1). Tym nie mniej, byłoby to możliwe, gdyby iluzja generowana była w początkowych stadiach przetwarzania danych, ale nie pod wpływem mechanizmów oddolnych, lecz pod wyraźnym wpływem projekcji zstępujących (tj. informacji odgórnej, oznaczającej oddziaływanie komponentu poznawczego), lub pod wpływem wiedzy zakodowanej już na wstępnych etapach systemu projekcji. Hipotetycznym przykładem zdaje się tu być iluzja „wielkości-ciężaru”, której ulegamy podnosząc przedmioty o różnej wielkości, ale tej samej wadze. Przedmiot większy wydaje się być lżejszy aniżeli przedmiot mały o tym samym ciężarze, który postrzegany jest jako wyraźnie cięższy.

Jak wykazano, system kontroli działania jest również podatny na ten rodzaj iluzji (pozorna łamigłówka dla hipotezy Milnera-Goodale'a), co przejawia się w tym, że podnosząc przedmiot większy wykorzystujemy więcej siły (podobnie postępujemy zresztą w przypadku przedmiotu tylko pozornie większego, np. Brenner i Smeets 1996), oraz sam chwyt jest mocniejszy (Flanagan, Beltzner 2000). Tymczasem, mniej siły wykorzystujemy podnosząc przedmiot mniejszy (przez co ten może się nieznacznie przesunąć pomiędzy palcami) i w rezultacie wydaje się cięższy. Jednakże, jak demonstrują Flanagan i Beltzner (2000), kiedy uczestnicy wielokrotnie powtarzają czynność podnoszenia, w reakcjach motorycznych dochodzi do adaptacji i siła chwytu dostosowywana jest stopniowo do właściwego ciężaru przedmiotów. Do analogicznej adaptacji (skorygowania spostrzeganego ciężaru) nie dochodzi jednak w systemie percepcyjnym (przynajmniej nie uzyskano jej w tak przeprowadzonym eksperymencie – jedną ze słabości testów był brak systematycznych manipulacji na informacji percepcyjnej). Percepcyjnie przedmioty te nadal wydają się być różne pod względem ciężaru.

Poza tym, że z eksperymentu Flanagan i Beltznera (2000) wynika, iż tradycyjne wyjaśnienie dotyczące tego jak może być generowana iluzja „wielkości i ciężaru” jest

najprawdopodobniej niepoprawne (iluzja najwyraźniej nie powstaje jedynie pod wpływem informacji zwrotnej z mięśni palców dłoni i/lub samej ręki), ogólny wniosek jest następujący: system percepcyjny (poznawczy) może funkcjonować względnie niezależnie od systemu działania (systemu wzrokowo-motorycznego). Przypomnijmy w tym miejscu, że Milner i Goodale (1995), podobnie, demonstrowali do jakiego stopnia system kontroli działania może funkcjonować względnie niezależnie od systemu percepcyjnego. Zatem konkluzje Flanagana i Beltznera (2000) są również zgodne z hipotezą Milnera i Goodale'a.

4.1. Doniosłość hipotezy Milnera-Goodale'a

Hipoteza „dwóch mózgow wzrokowych”, jak można zauważyć na podstawie tego omówienia, okazała się niezwykle płodna poznawczo, przyczyniając się do ponownego ożywienia badań nad iluzjami (choć nie tylko iluzjami). W odróżnieniu od testów tradycyjnych, odbywających się jedynie w kontekście spostrzegania iluzji, w eksperymentach tych manipulowano przedmiotami, będącymi źródłem iluzji. Rezultaty niektórych z tych badań zdawały się być niejednoznaczne, ale też różne były owe projekty oraz badano odmienne systemy efektorowe (testowano również poprawność skoków i spacerowania – z zamkniętymi oczyma – na podstawie informacji allocentrycznej oraz egocentrycznej – Creem *et al.* 1998, Wraga *et al.* 2000). Jak starałem się wykazać powyżej, większość znanych mi wyników eksperymentów wykorzystujących paradygmat działania w kontekście spostrzeganej iluzji da się jednak wpasować bądź opisać w terminach modelu przetwarzania danych w systemie wzrokowym jaki zaproponowali Milner i Goodale (1995). Dotyczy to również eksperymentów z okresu, w którym badacze starali się wykazywać nietrafność hipotezy głoszącej rozdzielenie funkcjonalne pomiędzy informacją wykorzystywaną w percepcji oraz działaniu. Dane na to, że określone czynności, w pewnych warunkach testowania, mogą pozostawać pod wpływem iluzji obrazowych nie muszą oznaczać ani tego, że ta sama informacja pośredniczy zarówno w percepcji jak i w działaniu, jak i tego, że zakłócony jest sam proces transformacji danych wzrokowych w strumieniu grzbietowym. Powtórzę raz jeszcze, że bardziej prawdopodobne wydaje się być w tym przypadku to, że do wykonania czynności potrzebna jest informacja allocentryczna i niezbędna jest komunikacja między-strumieniowa w celu jej uzyskania. Alternatywnie, zniekształcenie generowane jest na wstępnych etapach przetwarzania danych i taka informacja podąża następnie wzdłuż obydwu strumieni wzrokowych (a ewentualne korekty działania wprowadzane są w trakcie realizacji czynności, o ile tylko pozwalają na to warunki testowania).

4.2. Perspektywy dla dalszych badań

Bardziej współczesne prace nad iluzjami (w kontekście zadań wzrokowo-motorycznych), których wyniki interpretowane były niekiedy zupełnie odmiennie przez ich autorów oraz recenzentów tych prac, wskazują wyraźnie, iż w zależności od rodzaju zadania, ten sam system efektorowy (np. dłoń i palce) kierowany może być albo w oparciu o świadomie spostrzeganą informację, albo też może wykorzystywać egocentryczne ramy odniesienia. Dlatego też sądzę, że największe znaczenie w najbliższym czasie będą mieć zapewne te prace, w których poszukiwać się będzie nie oddzielenia pomiędzy percepcją a działaniem, ale tego, co je łączy.

Hipoteza Milnera-Goodale'a (1995) zaproponowana została w okresie, kiedy nie potrafiono jeszcze tak manipulować warunkami testowania, by wykazać z całą pewnością, że w określonych sytuacjach system percepcyjny oraz wzrokowo-motoryczny muszą się komunikować. Przyjmowano jednak, że w trakcie realizacji złożonych czynności informacja

percepcyjna wspiera informację egocentryczną wykorzystywaną w działaniu. Znakomite testy przeprowadzili niedawno pod tym kątem Creem i Proffitt (2001), którzy wykazali, że spostrzegana wzrokowo informacja semantyczna istotna jest w trakcie wykonywania działań nakierowanych ku przedmiotom funkcjonalnym. Jeśli strumień percepcyjny obciążony zostanie dodatkowym „zadaniem semantycznym”, strumień działania może nadal dość sprawnie realizować swą rolę, lecz nie zawsze stosownie do funkcji, jaką chwytny przedmiot może pełnić. Tym nie mniej, to Milner i Goodale (1995) potrafili w sposób elegancki wykazać owo oddzielenie pomiędzy kodowaniem informacji na użytek percepcji i działania, oraz, że u ich podłoża leżą odmienne systemy neuronalne. Projekty Creem i Proffitta bazują na zasadniczych ideach Milnera i Goodale’a, wskazując na dalsze przykłady rozdzielenia pomiędzy percepcją i działaniem oraz, co może ważniejsze, niezbędnych interakcji pomiędzy pośredniczącymi im modułami (porównaj także prace poświęcone świadomemu spostrzeganiu nachylenia zbocza gór oraz raportom percepcyjnym na temat nachylenia przy użyciu reakcji motorycznych; Creem i Proffitt 1998).

Niektórzy badacze sądzili, iż, demonstrując, że ta sama informacja może leżeć u podłoża percepcji i działania, przeprowadzili „eksperyment krzyżowy” obalający hipotezę Milnera-Goodale’a. Jednakże, istota działania mózgu polega przecież na tym, że specjalizacji półkul mózgowych, oraz określonych pól korowych, towarzyszą liczne interakcje, które umożliwiają realizację ogromnego repertuaru zachowań. W celu pełnego zrozumienia tego „jak myśli mózg” potrzebne będą testowalne hipotezy dotyczące komunikacji pomiędzy odrębnymi modułami. W nieco mniejszej skali, w celu pogłębienia wiedzy na temat oddzielenia pomiędzy percepcją i działaniem potrzebne będą testowalne hipotezy dotyczące tego, jak i kiedy brzuszny strumień percepcyjny oraz grzbietowy strumień wzrokowo-motoryczny komunikują się. Najciekawsze badania, dotyczące właśnie interakcji pomiędzy pasmami przetwarzania danych wzrokowych, są dopiero przed nami. Iluzje odegrały i jeszcze mogą odegrać w tym nurcie niezmiernie ważną rolę. Oryginalny (mam nadzieję) projekt badań zaproponował na tym polu autor artykułu i niebawem rozpocznie się realizacja eksperymentów.

Zupełnie inną kwestią pozostaje ciągle to, jak bliska jest analogia pomiędzy strumieniem brzuszным i grzbietowym, które zidentyfikowano, opisano i na nowo zinterpretowano w dużej mierze na podstawie badań z wykorzystaniem małp, a ich odpowiednikami u ludzi.

2001/2002

Literatura:

- [1] S. Aglioti, J. F. X. DeSouza, M. A. Goodale, *Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand*, w: "Current Biology", Vol. 5, Nr 6/1995, ss. 679-685.
- [2] E. Brenner, J. B. J. Smeets, *Size illusion influences how we lift but not how we grasp an object*, w: "Experimental Brain Research", Nr 111/1996, ss. 473-476.
- [3] B. Bridgeman, S. Lewis, G. Heit, M. Nagle, *Relation between cognitive and motor-oriented systems of visual position perception*, w: "Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance", Vol. 5, Nr 4/1979, ss. 692-700.

- [4] D. P. Carey, *Do action systems resist visual illusions?*, w: "Trends in Cognitive Sciences", Vol. 5, Nr 3/2001, ss. 109-113.
- [5] S. Coren, J. S. Girgus, H. Erlichman, A. R. Hakstian, *An empirical taxonomy of visual illusions*, w: "Perception & Psychophysics", Nr 20(2)/1976, ss. 129-137.
- [6] S. Coren, L. M. Ward, C. Porac, R. Fraser, *The effect of optical blur on visual-geometric illusions*, w: "Bulletin of Psychonomic Society", Nr 11(6)/1978, ss. 390-392.
- [7] S. H. Creem, D. R. Proffitt, *Two memories for geographical slant: separation and interdependence of action and awareness*, w: "Psychonomic Bulletin & Review", Nr 5(1)/1988, ss. 22-36.
- [8] S. H. Creem, D. R. Proffitt, *Grasping objects by their handles: a necessary interaction between cognition and action*, w: "Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance", Vol. 27, Nr 1/2001.
- [9] S. H. Creem, M. Wraga, D. R. Proffitt, *Perception-action dissociations in a large scale Müller-Lyer figure*. Poster presented at ARVO, Ft. Lauderdale, Fl 1998.
- [10] P. van Donkelaar, *Pointing movements are affected by size-contrast illusions*, w: "Experimental Brain Research", Nr 125/1999, ss. 517-520.
- [11] R. T. Dyde, A. D. Milner, *Two visual illusions of orientation: association and dissociation between perception and visuomotor control in human subjects*, w: "Soc. Neurosci.", Abstract Nr 26/2000, s. 666.
- [12] J. R. Flanagan, M. A. Beltzner, *Independence of perceptual and sensorimotor predictions in the size-weight illusion*, w: "Nature Neuroscience", Vol. 3, Nr 7/2000, ss. 737-741.
- [13] V. H. Franz, K. R. Gegenfurtner, H. H. Bühlhoff, M. Fahle, *Grasping visual illusions: no evidence for a dissociation between perception and action*, w: "Psychological Science", Vol. 11, Nr 1/2000, ss. 20-25.
- [14] M. Gentilucci, S. Chieffi, E. Daprati, M.C. Saetti, I. Toni, *Visual illusion and action*, w: "Neuropsychologia", Vol. 34, Nr 5/1996, ss. 369-376.
- [15] J. S. Girgus, S. Coren, M. Durant, C. Porac, *The assessment of components involved in illusion formation using a long-term decrement procedure*, w: "Perception & Psychophysics", Nr 18(2)/1975, ss. 144-148.
- [16] A. Glennerster, B. J. Rogers, *New depth to the Müller-Lyer illusion*, w: "Perception", Nr 22/1993, ss. 691-704.
- [17] S. R. Glover, P. Dixon, *Dynamic illusion effects in a reaching task: evidence for separate visual representations in the planning and control of reaching*, w: "Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance", Vol. 27, Nr 3/2001, ss. 560-572.
- [18] M. A. Goodale, D. A. Milner, *Separate visual pathways for perception and action*, w: "Trends in Neurosciences", Vol. 15, Nr 1/1992, ss. 20-25.

- [19] R. L. Gregory, *Even Odder Perceptions*. Routledge. London & New York 1994 (a).
- [20] R. L. Gregory, *Seeing intelligence*, w: *What is Intelligence?*, red. J. Khalfa, Cambridge University Press 1994 (b).
- [21] A. M. Haffenden, M.A. Goodale, *The effect of pictorial illusion on prehension and perception*, w: "Journal of Cognitive Neuroscience", Vo. 10, Nr 1/1998, ss. 122-136.
- [22] P. Jacob, M. Jeannerod, *Consciousness and the visuomotor transformation*, w: Working paper 99-13/1999. Institute of Cognitive Science CNRS; <http://www.isc.cnrs.fr/wp/wp99-13.htm>.
- [23] T. Jaeger, *Ebbinghaus illusions: size contrast or contour interaction phenomena?*, w: "Perception & Psychophysics", Nr 24(4)/1978, ss. 337-342.
- [24] G. Króliczak, *Dwa mózgi wzrokowe: percepcja a wzrokowa kontrola działania*, w: "Kognitywistyka i Media w Edukacji", t. 2, Nr 1/1999, ss. 199-224.
- [25] D. W. Massaro, N.H. Anderson, *A test of perspective theory of geometrical illusions*, w: "American Journal of Psychology", Nr 83/1971, ss. 567-575.
- [26] A. D. Milner, M. A. Goodale, *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press 1995.
- [27] M. Mon-Williams, R. Bull, *The Judd illusion: evidence for two visual streams or two experimental conditions?*, w: "Experimental Brain Research", Nr 130/2000, ss. 273-276.
- [28] M. J. Morgan, *Visual Illusions*, w: *Unsolved Mysteries of the Mind*, red. V. Bruce, Erlbaum (UK) Taylor & Francis 1996.
- [29] S. E. Palmer, *Vision Science. Photons to Phenomenology*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1999.
- [30] F. Pavani, I. Boscagli, F. Benvenuti, M. Rabuffetti, A. Farnè, *Are perception and action affected differently by the Titchener circles illusion?*, w: "Experimental Brain Research", Nr 127/1999, ss. 95-101.
- [31] G. L. Shulman, *Attentional modulation of size contrast*, w: "The Quarterly Journal of Experimental Psychology", Nr 45A(4)/1992, ss. 529-546.
- [32] L. G. Ungerleider, M. Mishkin, *Two cortical systems*, w: *Analysis of Visual Behavior*, red. D. A. Ingle, M. A. Goodale, R. J. W. Mansfield, MIT Press: Cambridge 1982, ss. 549-586.
- [33] D. A. Westwood, M. Heath, E. A. Roy, *The effect of a pictorial illusion on closed-loop and open-loop prehension*, w: "Experimental Brain Research", Nr 134/2000, ss. 456-463.
- [34] M. Wraga, S. H. Creem, D. R. Proffitt, *Perception-action dissociations of a walkable Müller-Lyer configuration*, w: "Psychological Science", Vol. 11, Nr 3/2000, ss. 239-243.