

doi:10.4467/20843895RK.14.010.2696  
www.ejournals.eu/Rocznik-Kognitywistyczny

KINGA WOŁOSZYN, DARIUSZ ASANOWICZ

Instytut Psychologii  
Uniwersytet Jagielloński

# Niezależność czy współpraca? Zagadnienie interakcji wzbudzeniowego i wykonawczego systemu uwagi

## Independence or cooperation? On the issue of interaction between alerting and executive attention systems

**Abstract:** According to Posner and colleagues, mechanism of attention consists of three systems: alerting, orienting and executive. Here, we focus on relationship between two of them, namely, on the interactions between alerting and executive attention in tasks involving cognitive or motor conflicts. Previous studies suggest that the impact of alerting on the efficiency of conflict resolution may depend on various factors, including the presence of established stimulus-response associations, speed of the reaction selection process, characteristics of the allocation of spatial attention, and a stage of processing at which conflict occurs i.e., either perceptual analysis or response selection. However, the available results are to some extent contradictory and no single hypothesis is sufficient to explain all cases of the interactions between alerting and executive attention observed so far. The present paper provides a comprehensive review of these results and hypothetical mechanisms underlying the relationship between alerting and executive attention.

**Key words:** attention, alerting, executive attention, interaction, cognitive conflict

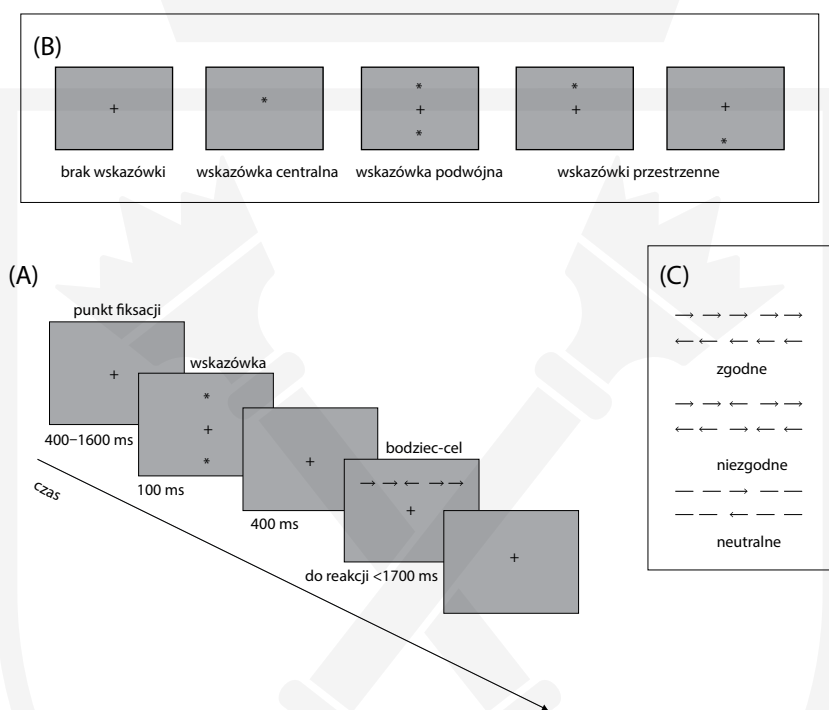
## Trzy systemy uwagi

Według teorii uwagi proponowanej przez Posnera i współpracowników [Posner i Petersen 1990; Posner i Rothbart 2007], mózgowy mechanizm uwagi składa się z trzech systemów: wzbudzeniowego (*alerting*), orientacyjnego (*orienting*) oraz wykonawczego (*executive*). Pełnią one odmienne funkcje, a ich podłożem mózgowym są względnie niezależne od siebie sieci neuronalne [Posner i Petersen 1990; zob. też: Asanowicz, Siedlecka i Michalczyk 2009; Wronka 2004]. System wzbudzeniowy odpowiada za wzbudzenie i utrzymanie określonej wrażliwości systemów sensorycznych na bodźce zewnętrzne. Jest automatycznie angażowany zawsze wtedy, gdy zmysły zarejestrują nowy, zwłaszcza nieoczekiwany bodziec (np. nagły bodziec wizualny lub dźwiękowy). Zaangażowanie systemu wzbudzeniowego stanowi zatem między innymi część reakcji orientacyjnej [Sokolov 1963]. Działanie systemu wzbudzeniowego nie powinno

być jednak utożsamiane z pobudzeniem (*arousal*), gdyż nie wiąże się z pobudzeniem organizmu (np. emocjonalnym lub fizjologicznym), lecz jedynie z uaktywnieniem bądź zwiększeniem gotowości systemów sensorycznych. Neuronalne podłoże systemu wzbudzeniowego jest lokalizowane w obrębie wzgórza oraz płatów czołowych i ciemieniowych [Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum i Posner 2005]. Funkcją systemu orientacyjnego jest selekcja informacji, w tym kierowanie ogniska uwagi w określone miejsce w przestrzeni, np. w kierunku nieoczekiwanego dźwięku lub w miejsce, w którym ma się pojawić oczekiwany bodziec wzrokowy. System orientacyjny jest angażowany w takich zadaniach, jak przeszukiwanie pola wzrokowego (*visual search*) [Treisman 1980] i wskazywanie lokalizacji (*cueing task*) [Posner 1980]. Neuronalnym podłożem orientacji uwagi są między innymi: górna kora ciemieniowa (*superior parietal lobe*), styk skroniowo-ciemieniowy (*temporo-parietal junction*) oraz przednie pole wzrokowe (*frontal eye field*) [Corbetta i Shulman 2002; Fan i in. 2005]. Z kolei system wykonawczy pełni funkcje, które ogólnie można nazwać kontrolą oraz regulacją myśli i działań bądź zarządzaniem szeroko rozumianym zachowaniem [Posner i Fan 2008]. Jest to między innymi: monitorowanie procesu wyboru poprawnej reakcji, detekcja błędu i rozwiązywanie konfliktu pomiędzy niespójnymi, konkurującymi reakcjami lub alternatywnymi decyzjami [por. Norman i Shallice 1986]. Główne ośrodki neuronalne wchodzące w skład sieci uwagi wykonawczej to przednia część zakrętu obręczy (*anterior cingulate cortex*) oraz brzuszno-boczna i grzbietowo-boczna kora przedczołowa (*ventrolateral prefrontal cortex, dorsolateral prefrontal cortex*) [Botvinick, Cohen i Carter 2004; Fan, Hof, Guise, Fossella i Posner 2008; Fan i in. 2005].

Do pomiaru efektywności funkcjonowania systemów uwagi opracowano komputerowy test sieci uwagowych (*Attention Network Test, ANT*) [Fan, McCandliss, Sommer, Raz i Posner 2002]. ANT jest połączeniem dwóch klasycznych zadań eksperymentalnych: zadania flankerów [Eriksen i Eriksen 1974] oraz zadania wskazywania lokalizacji [Posner 1980], co umożliwia pomiar trzech aspektów uwagi w jednym zadaniu. Procedura ANT (zob. Rysunek 1) składa się zwykle z kilkuset prób, w których uczestnicy badania identyfikują kierunek prezentowanej na ekranie komputera strzałki. Na strzałkę wskazującą lewą stronę należy reagować naciśnięciem np. lewego klawisza myszki, a na strzałkę w prawo – klawisza prawego. Mierzone są czas oraz poprawność reakcji. Strzałka-cel jest prezentowana w otoczeniu tzw. flankerów, czyli bodźców otaczających cel. Flankery mogą być spójne z wymaganą reakcją (np. strzałki wskazujące ten sam kierunek, co bodziec-cel), niespójne (np. strzałki wskazujące kierunek odwrotny do wskazywanego przez bodziec-cel) lub neutralne (np. proste linie otaczające strzałkę-cel). Gdy flankery są niespójne z celem, zostają uaktywnione dwa przeciwstawne wzorce reakcji, powodując konflikt. Wykonanie poprawnej reakcji wymaga zatem rozwiązania konfliktu. Miarę efektywności uwagi w rozwiązywaniu konfliktu otrzymujemy przez odjęcie reakcji (czasu lub poprawności) w warunku spójnym od reakcji w warunku niespójnym. Aby zmierzyć zaangażowanie systemów wzbudzeniowego i orientacyjnego, wyświetlenie bodźca docelowego jest poprzedzane prezentacją jednej z kilku możliwych rodzajów wskazówek (*cues*). Wskazówką może być np. znak gwiazdki („\*”) wyświetlony kilkaset milisekund przed bodźcem docelowym. Wskazówka wyświetlona w lokalizacji bodźca docelowego pełni rolę wskazówki orientacyjnej (*orienting cue*). Porównanie czasu reakcji na cel poprzedzany wskazów-

ką orientacyjną z czasem reakcji na cel poprzedzany wskazówką wyświetloną w miejscu fiksacji wzroku (czyli na środku ekranu) informuje nas o tym, ile czasu zajmuje przeniesienie ogniska uwagi ze środka ekranu do lokalizacji, w której wyświetlono cel. Z kolei porównanie reakcji na cel poprzedzany wskazówką wzbudzeniową (*alerting cue*; np. wskazówką centralną wyświetloną w miejscu fiksacji wzroku lub wskazówką podwójną, tj. dwiema gwiazdkami prezentowanymi jednocześnie w miejscach, w których może pojawić się cel) [por. Fan i in. 2005] z reakcją na cel niepoprzedzony żadną wskazówką informuje nas o tym, jak duży jest zysk z zaangażowania uwagi wzbudzeniowej, tj. o ile szybsze lub bardziej poprawne są reakcje na cel poprzedzony wskazówką. Podsumowując, wskazówka wzbudzeniowa sygnalizuje czas prezentacji celu, natomiast wskazówka orientacyjna sygnalizuje zarówno czas, jak i lokalizację celu.



Rysunek 1. Procedura zadania ANT (Attention Network Test) [Fan i in. 2002]: (A) przykład procedury eksperymentalnej ze wskazówką podwójną i flankerami niezgodnymi z bodźcem docelowym (strzałką środkową), (B) rodzaje wskazówek, (C) rodzaje flankerów

Badania z zastosowaniem ANT przynoszą wyniki potwierdzające względną niezależność trzech systemów uwagi zarówno na poziomie behawioralnym [Fan i in. 2002], jak i neuronalnym [Fan i in. 2005]. Nie oznacza to jednak, że należy oczekiwać pełnej niezależności pomiędzy nimi. Skoordynowane działanie systemu poznawczego wymaga skoordynowanego działania systemów uwagowych, które nadzorują i regu-

lują jego pracę. Taką współzależność zaobserwowano w niektórych eksperymentach. Po pierwsze, o ile w części eksperymentów z ANT nie stwierdzono korelacji pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami efektywności systemów uwagowych [np. Fan i in. 2002], o tyle w innych pracach takie korelacje zaobserwowano [Fossella, Sommer, Fan, Wu, Swanson, Pfaff i Posner 2002; MacLeod, Lawrence, McConnell, Eskes, Klein i Shore 2010]. Po drugie, w szeregu badań z zadaniem ANT zaobserwowano związki interakcyjne pomiędzy uwagą orientacyjną i efektem wzbudzenia [Callejas, Lupiáñez i Tudela 2004; Callejas, Lupiáñez, Funes i Tudela 2005; Fuentes i Campoy 2008], uwagą orientacyjną i efektywnością uwagi wykonawczej [Callejas i in. 2004, 2005; Fan, Gu, Guise, Liu, Fossella, Wand i Posner 2009; Fan i in. 2002; Ishigami i Klein 2010; MacLeod i in. 2010] oraz pomiędzy efektem wzbudzenia i efektywnością uwagi wykonawczej [Callejas i in. 2004, 2005; Fan i in. 2009; Fan i in. 2002; Ishigami i Klein 2010]. Zaobserwowano między innymi, że: zaangażowanie systemu wzbudzeniowego przyspiesza proces reorientacji ogniska uwagi [Callejas i in. 2004, 2005], poprawne ukierunkowanie systemu orientacyjnego zwiększa efektywność systemu wykonawczego w rozwiązywaniu konfliktu [Callejas i in. 2004, 2005; Fan i in. 2009], zaangażowanie systemu wzbudzeniowego zmniejsza efektywność systemu wykonawczego w rozwiązywaniu konfliktu [Callejas i in. 2004, 2005; Fan i in. 2002; Fan i in. 2009].

### **Wpływ wzbudzenia na efektywność uwagi wykonawczej**

O ile relacje pomiędzy wzbudzeniem i orientacją uwagi oraz pomiędzy orientacją uwagi i efektywnością rozwiązywania konfliktu są konsekwentnie potwierdzane w kolejnych eksperymentach i teoretycznie zrozumiałe [por. Callejas i in. 2005], o tyle mechanizm wpływu wzbudzenia na uwagę wykonawczą wciąż pozostaje niejasny. Co więcej, nie są znane warunki konieczne i wystarczające do tego, aby taki interakcyjny efekt zaobserwować. Z jednej strony w standardowym zadaniu ANT [Fan i in. 2002] regularnie obserwuje się negatywny wpływ wzbudzenia uwagi na efektywność rozwiązywania konfliktu, tj. obserwowany koszt konfliktu jest większy w próbach ze wskazówką wzbudzeniową niż w próbach bez wskazówki [zob. metaanalizę w: MacLeod i in. 2010]. Efekt ten jest obserwowany zarówno w pomiarze czasu reakcji, jak i poprawności, z tym że pomiar poprawności w zadaniu ANT nie zawsze przynosi wyniki istotne statystycznie, ze względu na bardzo wysoką, przekraczającą 95%, ogólną poprawność wykonania zadania. Podobną zależność pomiędzy efektem wzbudzenia a rozwiązywaniem konfliktu zaobserwowano, używając zmodyfikowanej wersji zadania (tzw. ANTI), w której rolę wskazówki wzbudzeniowej pełnił sygnał dźwiękowy prezentowany w miejsce wskazówki wizualnej [Callejas i in. 2004, 2005; Chica, de Schotten, Toba, Malhotra, Lupiáñez i Bartolomeo 2012]. Jednak z drugiej strony późniejsze prace sugerują, że ten negatywny efekt wzbudzenia może być ograniczony do zadania flankerów, ponieważ wydaje się nie występować w innych zadaniach z konfliktem, takich jak zadanie Stroopa [Weinbach i Henik 2012]. Co więcej, stwierdzono również, że gdy trudność zadania ANT się zwiększa (tzn. ogólna poprawność spada poniżej 90%), to zaangażowanie systemu wzbudzeniowego zwiększa, a nie zmniejsza efektywność rozwiązywania konfliktu w pomiarze poprawności, przy jednocześnie

obserwowanym braku interakcji pomiędzy wzbudzeniem i konfliktem w pomiarze czasu reakcji [Asanowicz, Marzecová, Jaśkowski i Wolski 2012; Marzecová, Asanowicz, Krivá i Wodniecka 2013].

Wzrost kosztu konfliktu wskutek zaangażowania systemu wzbudzeniowego był początkowo wyjaśniany na dwa sposoby (raczej uzupełniające się wzajemnie niż wykluczające). Po pierwsze, wskazywano, że efekt wzbudzenia wiąże się z automatycznym przyspieszeniem procesów przetwarzania informacji i selekcji reakcji, co w sytuacji konfliktu reakcji nie pozostawia wystarczającej ilości czasu na jego efektywne rozwiązanie [Fossella i in. 2002; Posner 2008]. (Skądinąd wiadomo, że błędy w warunkach konfliktu popełniane są głównie wtedy, gdy reakcje są szybkie, czyli gdy aktywizacja błędnego programu motorycznego jest na tyle silna, że jest uruchamiana automatycznie i nie można jej zahamować. Gdy reakcje są wolniejsze, są też na ogół poprawne, pomimo konfliktu, ponieważ dłuższy czas przygotowania reakcji ułatwia uniknięcie błędu; zob. np. Ridderinkhof, van den Wildenberg i Wylie 2012). Po drugie, przywoływano tzw. hipotezę czyszczenia świadomości (*clearing of consciousness*) [Posner 1994]. Zgodnie z tą hipotezą nagłe pojawienie się w otoczeniu niezidentyfikowanego jeszcze bodźca hamuje bieżącą, wewnętrzną aktywność systemu wykonawczego i kieruje „zasoby” uwagi na „zewnątrz” systemu, między innymi poprzez przyspieszenie działania systemu orientacyjnego [por. Callejas i in. 2005]. Innymi słowy, aktualna treść procesów umysłowych zostaje „wyczyszczona”, aby zrobić miejsce informacji o nowym, potencjalnie ważnym bodźcu. Na poziomie neuronalnym efekt ten ma być związany między innymi z obniżeniem aktywności struktur składających się na sieć uwagi wykonawczej, w tym przedniej części zakrętu obręczy i bocznej kory przedczołowej [Posner 1994]. Niemniej na razie brakuje potwierdzonych dowodów wspierających tę predykcję.

Alternatywne wyjaśnienie relacji pomiędzy wzbudzeniem i rozwiązywaniem konfliktu zaproponowali niedawno Fischer, Plessow i Kiesel [2010, 2011]. Badacze do wywołania konfliktu reakcji użyli zadania Simona [Simon 1990], a efekt wzbudzenia był wywoływany prezentacją krótkiego bodźca dźwiękowego. Konflikt w badaniu Simona powstaje na skutek niezgodności przestrzennej pomiędzy bodźcem i reakcją. Przykładowo bodziec prezentowany po lewej stronie wykonującej zadanie osoby badanej automatycznie uaktywnia najbardziej adekwatny program działania, czyli reakcję lewą ręką [zob. np. Hommel 2004]. Jeśli jednak jest to bodziec, na który zgodnie z instrukcją zadania należy zareagować prawą ręką, pojawia się podobny do obserwowanego w zadaniu flankerów konflikt pomiędzy dwoma alternatywnymi planami działania. Fischer i współpracownicy [2010, 2011] w swoich badaniach, podobnie jak inni badacze w standardowym zadaniu ANT, zaobserwowali zwiększenie kosztu konfliktu w próbach angażujących system wzbudzenia. Jednak tłumaczą ten efekt w inny sposób, odwołując się do modelu tzw. podwójnego procesu (*dual-process* lub *dual-route*) [De Jong, Liang i Lauber 1994]. Zgodnie z tym modelem plan działania (reakcji) jest aktywowany na dwa sposoby: automatycznie, drogą oddolną (wstępującą), poprzez automatyczne odczytanie takich cech, jak położenie bodźca lub kierunek strzałki, oraz w sposób kontrolowany, drogą odgórną (zstępującą), poprzez odczytanie zgodnego z instrukcją zadania znaczenia bodźca. W warunkach konfliktowym automatycznie uaktywniony wzorzec jest niezgodny ze wzorcem aktywowanym w sposób

kontrolowany. Fischer i współpracownicy [2010, 2011] dowodzą, że efekt wzbudzenia oddziałuje na oba procesy, przyspieszając tym samym proces selekcji i uruchomienia reakcji (hipoteza *facylitacji aktywacji reakcji*), co w konsekwencji zwiększa zarówno szanse popełnienia błędu, jak i koszt konfliktu w reakcjach poprawnych.

Zgodnie z powyższą hipotezą *facylitacji aktywacji reakcji*, wskazówka wzbudzeniowa zwiększa dostępność lepiej utrwalonych bądź bardziej naturalnych związków bodziec-reakcja (takich jak zgodność przestrzenna bodźca i reakcji w zadaniu Simona lub kierunek strzałki i reakcja w zadaniu flankerów). Są to związki oparte na prostym skojarzeniu reprezentacji bodźca z reakcją motoryczną, z pominięciem głębszego przetwarzania (np. na poziomie semantycznym). W konsekwencji wzbudzenie systemu powinno mieć negatywny wpływ na konflikt jedynie wtedy, gdy takie związki są silne. Przypuszczenia te potwierdzono w badaniu z zastosowaniem zadania kategoryzacji emocjonalnej walencji bodźców z użyciem flankerów werbalnych. Wykorzystano trzy rodzaje flankerów. W wariacie pierwszym flankerami były czasowniki pozytywne lub negatywne, które pojawiały się w innych próbach jako bodźce docelowe. W kolejnym wariacie flankery były nazwami kategorii (pozytywne/negatywne). Natomiast w wersji trzeciej flankerami były słowa należące do tej samej kategorii semantycznej co target, jednakże bodźce użyte jako flankery nigdy nie pojawiały się na pozycji targetu. Mimo że każdy typ flankerów w warunkach niezgodnym doprowadził do powstania podobnej wielkości efektu konfliktu (między dwoma alternatywnymi planami działania), to tylko konflikt powstały na bazie silnych związków reprezentacji wzrokowej bodźca z reakcją motoryczną (wariant pierwszy) został nasilony przez działanie wskazówki wzbudzeniowej. Wydaje się więc, że wpływ wskazówki wzbudzeniowej jedynie na specyficzny rodzaj konfliktu przeczy opisanej wcześniej hipotezie osłabiania kontroli wykonawczej [Callejas 2004, 2005; Posner 1994, 2008], ponieważ w myśl tej ostatniej wywołane prezentacją wskazówki hamowanie uwagi wykonawczej powinno wywierać negatywny wpływ na efektywność rozwiązywania konfliktu niezależnie od jego specyfiki.

Inne wyjaśnienie relacji pomiędzy wzbudzeniem uwagi i rozwiązywaniem konfliktu oferuje model zaproponowany przez Nieuwenhuisa i de Kleijna [2013]. Model ten bazuje na dwóch podstawowych założeniach: 1. wzbudzenie uwagi skraca czas kodowania bodźca, co jest powodem przyspieszenia procesu selekcji reakcji [Seifried, Ulrich, Bausenhardt, Rolke i Osman 2010; por. Posner 2008]; 2. uruchomienie i efektywne wdrożenie procesu kontrolnego wymaga zwykle kilkuset milisekund od momentu prezentacji bodźca [Cohen, Servan-Schreiber i McClelland 1992; Gratton, Coles, Sirevaag, Eriksen i Donchin 1988]. Przyczyną negatywnego wpływu wzbudzenia na efektywność rozwiązywania konfliktu byłoby więc po prostu skrócenie czasu reakcji, co skutkuje skróceniem czasu na korektę błędnej reakcji w warunkach konfliktu. Symulacja komputerowa opisywanego modelu z użyciem zadania flankerów była zgodna z przewidywaniami badaczy, ujawniając dobrze dopasowany do wyników behawioralnych efekt skrócenia czasów reakcji po prezentacji wskazówki wzbudzeniowej, przy jednoczesnym zmniejszeniu ogólnej poprawności i wzroście kosztu konfliktu w próbach poprawnych [Nieuwenhuis i de Kleijn 2013]. Główną różnicą między proponowanym modelem a pozostałymi hipotezami jest to, że w tym modelu wzbudzenie uwagi nie modyfikuje efektywności funkcjonowania kontroli poznaw-

czej bezpośrednio, lecz jedynie prowadzi do wyboru reakcji, zanim procesy kontroli poznawczej zostaną w pełni rozwinięte i wdrożone. A zatem odpowiednie manipulacje strategią podejmowania decyzji, prowadzące do preferowania szybkości reakcji nad jej poprawnością, lub odwrotnie, poprawności reakcji nad jej szybkością, powinny systematycznie modulować efekt interakcyjny pomiędzy wzbudzeniem a rozwiązywaniem konfliktu. Ta hipoteza nie była jednak dotychczas badana empirycznie.

Alternatywne ujęcie mechanizmu leżącego u podłoża interakcji pomiędzy systemami wzbudzeniowym i wykonawczym zaproponowali Weinbach i Henik [2011, 2012, 2013]. Autorzy wysunęli tzw. hipotezę modulacji alokacji uwagi, zgodnie z którą zaangażowanie systemu wzbudzenia priorytetyzuje przetwarzanie informacji przestrzennych w polu widzenia. Jeśli więc bodziec-cel jest otoczony przez aktywujące przeciwny wzór reakcji flankery, pod wpływem wskazówki wzbudzeniowej są one przetwarzane skuteczniej, nasilając tym samym konflikt reakcji. Warunkiem koniecznym do wystąpienia negatywnego efektu wzbudzenia na efektywność rozwiązywania konfliktu jest tutaj przestrzenne rozdzielanie cechy bodźca wywołującej błędną automatyczną reakcję i cechy, zgodnie z którą należy reagować. Hipotezę tę autorzy potwierdzili w szeregu badań, między innymi w eksperymencie z modyfikacją klasycznego zadania Navona [1997], w której wywołany wskazówką wzbudzeniową wzrost konfliktu (efekt podobny jak w standardowym zadaniu ANT) był obserwowany w przypadku konieczności identyfikacji bodźca lokalnego przy jednoczesnym ignorowaniu informacji globalnej, ale już nie w sytuacji odwrotnej, tj. konieczności identyfikacji bodźca globalnego przy ignorowaniu informacji lokalnej [Weinbach i Henik 2011]. Zgodne z tą hipotezą są również wyniki ukazujące brak wpływu wskazówki wzbudzeniowej na wielkość konfliktu w klasycznym zadaniu Stroopa [Weinbach i Henik 2012]. W tym zadaniu cecha wymagająca reakcji (kolor czcionki) oraz aspekt dystrakcyjny bodźca (znaczenie słowa np. „czarny” – warunek zgodny, lub „czerwony” – warunek konfliktowy) są zintegrowane w jeden obiekt, a więc obecność wskazówki mającej modulować przetwarzanie jedynie informacji przestrzennych nie ma tutaj znaczenia. Podobny efekt uzyskano, zastępując słowo pojedynczą kolorową strzałką (będącą swego rodzaju hybrydą zadania Stroopa i zadania flankerów) [Weinbach i Henik 2012]. W tej procedurze instrukcja wymagała reakcji zależnej od koloru bodźca, a kierunek strzałki pełnił funkcję dystraktora. Również tutaj nie zaobserwowano wpływu wskazówki na koszt konfliktu. Wyniki tego eksperymentu nie tylko pozostają w zgodzie z hipotezą modulacji alokacji uwagi [Weinbach i Henik 2011, 2012], ale też przeczą wspomnianej wcześniej koncepcji facylitacji aktywacji reakcji [Fischer i in. 2010, 2011]. Mimo że konflikt wynika z istnienia silnych związków pomiędzy bodźcem i reakcją, zaangażowanie systemu wzbudzenia uwagi nie wywiera wpływu na wielkość kosztu interferencji.

Podsumowując, wyniki badań Weinbacha i Henika [2011, 2012] podkreślają rolę przetwarzania informacji przestrzennych dla powstania interakcji między wzbudzeniowym oraz wykonawczym systemem uwagi, upatrując w przestrzennym rozdzielaniu celu oraz dystraktorów warunku koniecznego i wystarczającego do jej wystąpienia. Stanowią zarazem wyzwanie dla wyjaśnień proponowanych przez Posnera [1994], Callejas i in. [2004] oraz Fischera i in. [2011]. Niestety, żadna z zaproponowanych dotychczas koncepcji teoretycznych nie wyjaśnia odwrócenia efektu interakcyjnego

pomiędzy wzbudzeniem uwagi i rozwiązywaniem konfliktu, obserwowanego przy zwiększonym poziomie trudności zadania ANT [Asanowicz i in. 2012; Marzecová i in. 2013].

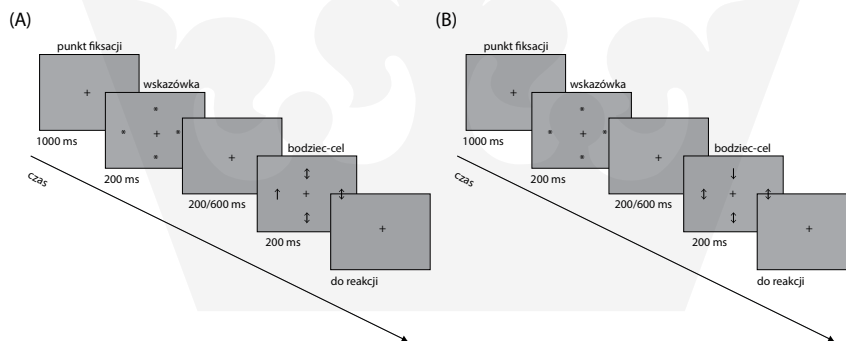
## Poziomy konfliktu a wpływ wzbudzenia na jego rozwiązywanie

Większość dotychczasowych prac dotyczących interakcji pomiędzy wzbudzeniowym i wykonawczym systemem uwagi koncentrowała się na efektach związanych z konfliktem reakcji. Nie jest to jednak jedyny rodzaj konfliktu, którego rozwiązanie wymaga zaangażowania uwagi wykonawczej. Konflikt może być również wywołany przez niespójność w ramach percepcyjnej reprezentacji bodźca, np. wtedy, gdy dwa aspekty bodźca zawierają informacje sugerujące bądź automatycznie aktywujące dwie przeciwstawne reakcje. Taka sytuacja ma miejsce w tzw. przestrzennej wersji zadania Stroopa (*spatial Stroop*) [Liu, Banich, Jacobson i Tanabe 2004]. W tym zadaniu konflikt ma miejsce wtedy, gdy dwa atrybuty tego samego bodźca interferują między sobą. Może to być np. znaczenie słowa lub kierunek strzałki, które interferuje z jej położeniem: słowo „góra” (lub strzałka wskazująca górę) jest umiejscowione u góry (warunek zgodny) lub u dołu (warunek konfliktowy) ekranu monitora. Konflikt na poziomie reakcji, np. w zadaniu Simona, jest często określany jako konflikt S-R (*stimulus-response conflict*), natomiast konflikt na poziomie bodźca – jako konflikt S-S (*stimulus-stimulus conflict*). Neuroobrazowanie czynności mózgu za pomocą fMRI potwierdziło specyfikę konfliktu na poziomie selekcji reakcji oraz konfliktu na poziomie percepcyjnym, pokazując, że te dwa rodzaje konfliktu angażują częściowo inne struktury mózgu [Liu i in. 2004; Schulte, Müller-Oehring, Vinco, Hoeft, Pfefferbaum i Sullivan 2009]. Podczas gdy konflikt reakcji (S-R) angażował głównie przednie części mózgu, między innymi przedni zakręt obręczy i dodatkowe pole ruchowe (*supplementary motor area*), to konflikt S-S angażował także obszary ciemieniowe, w tym okolice dolnej kory ciemieniowej (*inferior parietal cortex*), będące podłożem systemu związanego między innymi z selekcją ważnych aspektów bodźców. Wspólny obszar aktywacji obejmował natomiast regiony klasycznie wiązane z kontrolą uwagową, między innymi grzbietowo-boczną korę przedczołową.

Opierając się na postulowanej specyfice konfliktów na poziomie reakcji i na poziomie percepcyjnym, postanowiliśmy sprawdzić, czy wzbudzenie uwagi wywiera odmienny wpływ na rozwiązanie konfliktu zależnie od jego poziomu. Zgodnie z hipotezą „czyszczenia świadomości” [Posner 1994] nagłe wzbudzenie systemu uwagi ma hamować bieżącą aktywność uwagi wykonawczej w zakresie kontroli reakcji i kierować uwagę na przetwarzanie informacji percepcyjnych. A zatem jeśli konflikt pojawi się w obrębie reprezentacji percepcyjnej, to efekt wzbudzenia uwagi nie powinien już utrudniać jego rozwiązania, a wręcz je ułatwiać. Analogiczny wpływ na te dwa rodzaje konfliktu zaobserwowano wcześniej w zakresie czasowej orientacji uwagi (*temporal orienting*) [Correa i in. 2010]. Powyższą hipotezę testowaliśmy w eksperymencie z połączonymi zadaniami Simona i przestrzennego Stroopa [Correa i in. 2010; Liu i in. 2004]. Aby uzyskać efekt wzbudzenia, w połowie prób



bodźce docelowe poprzedzane były prezentacją wskazówki w postaci gwiazdek (\*) pojawiających się jednocześnie we wszystkich możliwych lokalizacjach bodźca-celu (zob. Rysunek 2).



Rysunek 2. Zadanie do pomiaru konfliktu powstałego na etapie selekcji reakcji (zadanie Simona) i na etapie przetwarzania percepcyjnego (przestrzenny Stroop). Przykłady procedur eksperymentalnych z wizualną wskazówką wzbudzeniową: (A) sekwencja bodźców z zadaniem Simona w warunkach niespójnym (bodziec pojawiający się po lewej stronie wymagający reakcji prawą ręką), (B) sekwencja bodźców w przestrzennym zadaniu Stroopa w warunkach niespójnym (strzałka w dół pojawiająca się powyżej punktu fiksacji)

Wyniki eksperymentu ukazały wyraźny i istotny statystycznie efekt konfliktu w obu zadaniach. Jednakże efektywność rozwiązywania konfliktu była w obu przypadkach niezależna od zaangażowania systemu wzbudzeniowego. Brak interakcji pozostaje w zgodzie z tezą, że interakcje pomiędzy tymi systemami zależą od specyficznych warunków zadania [np. Weinbach i Henik 2012], potwierdza założenie o względnej niezależności systemów uwagi [Posner i Rothbart 2007] i jednocześnie przeczy hipotezie „czyszczenia świadomości” [Callejas 2004, 2005; Posner 1994]. Otrzymane wyniki uzupełniają też wnioski Fischera i współpracowników [2010, 2011], pokazując, że obecność silnych związków bodziec-reakcja, chociaż być może konieczna, nie jest jednak wystarczająca do ujawnienia się negatywnego wpływu wzbudzenia na efektywność rozwiązywania konfliktu. Wyniki są również spójne z hipotezą Weinbacha i Henika [2012], zakładającą konieczność przestrzennego rozdzielania celu i dystraktów do powstania interakcji, ponieważ takie rozdzielanie nie miało miejsca ani w zadaniu Simona, ani w przestrzennym Stroopie. Jednak brak pozytywnych efektów interakcyjnych pomiędzy efektem wzbudzenia i efektem konfliktu ogranicza możliwości interpretacyjne tych badań w kwestii potencjalnego mechanizmu odpowiadającego za obserwowane w innych eksperymentach zarówno negatywne, jak i pozytywne efekty wpływu wzbudzenia uwagi na rozwiązywanie konfliktu.

## Podsumowanie

Badania związków pomiędzy funkcjonowaniem systemu wzbudzenia uwagi oraz systemu uwagi wykonawczej potwierdzają ich względną niezależność, wskazując jednocześnie na możliwość zachodzenia między nimi interakcji i współpracy. Mimo że kolejne badania przynoszą coraz jaśniejszy obraz obserwowanych zależności, czynniki warunkujące pojawienie się interakcji wciąż nie są jasne, co oczywiście utrudnia poznanie jej mechanizmu. Przede wszystkim wciąż nie wiadomo, dlaczego niektóre eksperymenty przynoszą efekt interakcji negatywny, inne zaś pozytywny, a w części prac w ogóle nie obserwuje się takiej interakcji. W dalszych badaniach powinno się zatem podjąć próbę ustalenia warunków koniecznych oraz wystarczających do ujawnienia się efektu wpływu wzbudzenia uwagi na efektywność uwagi wykonawczej.

## BIBLIOGRAFIA

- Asanowicz D., Marzecová A., Jaśkowski P., Wolski P. (2012). *Hemispheric asymmetry in the efficiency of attentional networks*. „Brain and Cognition” 79 (2), s. 117–28.
- Asanowicz D., Siedlecka M., Michalczyk Ł. (2009). *Zintegrowane podejście do badań nad uwagą jako model badawczy dla kognitywistyki* [w:] L. Hess, T. Konik, A. Pohl, M. Siedlecka, J. Sitnicka (red.), *Rocznik Kognitywistyczny*, t. II, s. 9–15.
- Botvinick M.M., Cohen J.D., Carter C.S. (2004). *Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: An update*. „Trends in Cognitive Sciences” 8 (12), s. 539–546.
- Callejas A., Lupiáñez J., Funes M.J., Tudela P. (2005). *Modulations among the alerting, orienting and executive control networks*. „Experimental Brain Research” 167 (1), s. 27–37.
- Callejas A., Lupiáñez J., Tudela P. (2004). *The three attentional networks: on their independence and interactions*. „Brain and Cognition” 54 (3), s. 225–227.
- Chica A.B., Thiebaut de Schotten M., Toba M., Malhotra P., Lupiáñez J., Bartolomeo P. (2012). *Attention networks and their interactions after right-hemisphere damage*. „Cortex. A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior” 48 (6), s. 654–663.
- Cohen J.D., Servan-Schreiber D., McClelland J.L. (1992). *A parallel distributed processing approach to automaticity*. „The American Journal of Psychology” 105 (2), s. 239–269.
- Corbetta M., Shulman G.L. (2002). *Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain*. „Nature Reviews Neuroscience” 3 (3), s. 201–215.
- Correa A., Cappucci P., Nobre A.C., Lupiáñez J. (2010). *The two sides of temporal orienting: facilitating perceptual selection, disrupting response selection*. „Experimental Psychology” 57 (2), s. 142–148.
- Eriksen B., Eriksen C. (1974). *The impact of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task*. „Perception & Psychophysics” 16 (1), s. 143–149.
- Fan J., Gu X., Guise K.G., Liu X., Fossella J., Wang H., Posner M.I. (2009). *Testing the behavioral interaction and integration of attentional networks*. „Brain and Cognition” 70 (2), s. 209–220.
- Fan J., Hof P., Guise K., Fossella J., Posner M. (2008). *The functional integration of the anterior cingulate cortex during conflict processing*. „Cerebral Cortex” 18 (4), s. 796–805.
- Fan J., McCandliss B.D., Fossella J., Flombaum J.I., Posner M.I. (2005). *The activation of attentional networks*. „NeuroImage” 26 (2), s. 471–479.
- Fan J., McCandliss B.D., Sommer T., Raz A., Posner M.I. (2002). *Testing the efficiency and independence of attentional networks*. „Journal of Cognitive Neuroscience” 14 (3), s. 340–347.

- Fischer R., Plessow F., Kiesel A. (2010). *Auditory warning signals affect mechanisms of response selection: evidence from a Simon task*. „Experimental Psychology” 57 (2), s. 89–97.
- Fischer R., Plessow F., Kiesel A. (2011). *The effects of alerting signals in action control: Activation of S-R associations or inhibition of executive control processes?* „Psychological Research” 76 (3), s. 317–328.
- Fossella J., Sommer T., Fan J., Wu Y., Swanson J.M., Pfaff D.W., Posner M.I. (2002). *Assessing the molecular genetics of attention networks*. „BMC Neuroscience” 11, s. 1–12.
- Fuentes L.J., Campoy G. (2008). *The time course of alerting effect over orienting in the attention network test*. „Experimental Brain Research” 185 (4), s. 667–672.
- Gratton G., Coles M.G., Sirevaag E.J., Eriksen C.W., Donchin E. (1988). *Pre- and poststimulus activation of response channels: a psychophysiological analysis*. „Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance” 14 (3), s. 331–344.
- Hommel B. (2004). *Event files: Feature binding in and across perception and action*. „Trends in Cognitive Sciences” 8 (11), s. 494–500.
- Ishigami Y., Klein R.M. (2010). *Repeated measurement of the components of attention using two versions of the Attention Network Test (ANT): stability, isolability, robustness, and reliability*. „Journal of Neuroscience Methods” 190 (1), s. 117–128.
- Jonathan D., Schreiber D.S., McClelland J.L. (1992). *A parallel distributed processing approach to automaticity*. „American Journal of Psychology” 105 (2), s. 239–269.
- Jong, R., De, Liang C., Lauber E. (1994). *Conditional and unconditional automaticity: A dual-process model of effects of spatial stimulus-response correspondence*. „Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance” 20 (4), s. 731–750.
- Liu X., Banich M.T., Jacobson B.L., Tanabe J.L. (2004). *Common and distinct neural substrates of attentional control in an integrated Simon and spatial Stroop task as assessed by event-related fMRI*. „NeuroImage” 22 (3), s. 1097–1106.
- Macleod J.W., Lawrence M. a, McConnell M.M., Eskes G. a, Klein R.M., Shore D.I. (2010). *Appraising the ANT: Psychometric and theoretical considerations of the Attention Network Test*. „Neuropsychology” 24 (5), s. 637–651.
- Marzecová A., Asanowicz D., Krivá L., Wodniecka Z. (2013). *The effects of bilingualism on efficiency and lateralization of attentional networks*. „Bilingualism: Language and Cognition” 16 (3), s. 608–623.
- Navon D. (1977). *Forest before trees: The precedence of global features in visual perception*. „Cognitive Psychology” 9 (3), s. 353–383.
- Nieuwenhuis S., Kleijn R. de (2013). *The impact of alertness on cognitive control*. „Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance” 39 (6), s. 1797–1801.
- Norman D.A., Shallice T. (1986). *Attention to Action* [w:] R.J. Davidson, G.E. Schwartz, D. Shapiro (red.), *Consciousness and Self-Regulation* (s. 1–18). New York: Springer US.
- Posner M. (1994). *Attention: the mechanisms of consciousness*. „Proceedings of the National Academy of Sciences USA” 91 (August), s. 7398–7403.
- Posner M.I. (2008). *Measuring alertness*. „Annals of the New York Academy of Sciences” 1129, s. 193–199.
- Posner M.I., Fan, J. (2008). *Attention as an organ system* [w:] *Topics in Integrative Neuroscience: From Cells to Cognition* (s. 31–61). New York: Cambridge University Press.
- Posner M.I., Petersen S.E. (1990). *The attention system of the human brain*. „Annual Review of Neuroscience” 13, s. 25–42.
- Posner M.I., Rothbart M.K. (2007). *Research on attention networks as a model for the integration of psychological science*. „Annual Review of Psychology” 58, s. 1–23.
- Ridderinkhof R.K., van den Wildenberg W.P.M., Wylie S.A. (2012). *Action control in times of conflict. Analysis of reaction time distributions in healthy and clinical populations* [w:] M.I. Posner (red.), *Cognitive Neuroscience of Attention* (2<sup>nd</sup> ed.) (s. 409–420). New York, London: Guilford Press.

- Schulte T., Müller-Oehring E.M., Vinco S., Hoefft F., Pfefferbaum A., Sullivan E.V. (2009). *Double dissociation between action-driven and perception-driven conflict resolution invoking anterior versus posterior brain systems*. „NeuroImage” 48 (2), s. 381–390.
- Seifried T., Ulrich R., Bausenhart K.M., Rolke B., Osman A. (2010). *Temporal preparation decreases perceptual latency: Evidence from a clock paradigm*. „The Quarterly Journal of Experimental Psychology” 63 (12), s. 2432–2451.
- Simon J.R. (1990). *The effects of an irrelevant directional cue on human information processing* [w:] R.W. Proctor, T.G. Reeve (red.), *Stimulus-response Compatibility* (s. 31–86). Amsterdam: Elsevier.
- Sokolov E.N. (1963). *Higher nervous functions: the orienting reflex*. „Annual Review of Physiology” 25 (1), s. 545–580.
- Spencer K.M., Coles M.G. (1999). *The lateralized readiness potential: relationship between human data and response activation in a connectionist model*. „Psychophysiology” 36 (3), s. 364–370.
- Treisman A.M., Gelade G. (1980). *A feature-integration theory of attention*. „Cognitive Psychology” 12 (1), s. 97–136.
- Weinbach N., Henik A. (2011). *Phasic alertness can modulate executive control by enhancing global processing of visual stimuli*. „Cognition” 121 (3), s. 454–458.
- Weinbach N., Henik A. (2012). *The relationship between alertness and executive control*. „Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance” 38 (6), s. 1530–1540.
- Weinbach N., Henik A. (2013). *The interaction between alerting and executive control: dissociating phasic arousal and temporal expectancy*. „Attention, Perception & Psychophysics” 75 (7), s. 1374–1381.
- Wronka E. (2004). *Uwaga! – mózg w działaniu. O neuronalnych podstawach mechanizmu uwagi*. „Studia Psychologiczne” 4 (1), s. 11–23.