NAUKA 1/2005 • 87-99

PIOTR JAŚKOWSKI[1], MARTA KURCZEWSKA[2]

Zastosowanie zlateralizowanego potencjału gotowości w psychologii eksperymentalnej

Wprowadzenie

Potencjały wywołane (ang. *evoked potential*), inaczej zwane potencjałami skorelowanymi ze zdarzeniami (ang. *event-related potential*) są zmianami w zapisie EEG, związanymi z pewnymi zewnętrznymi zdarzeniami. Zdarzenia te muszą być ściśle określone w czasie, zwykle są to więc chwile, w których pojawił się bodziec, lub chwile, w których uczestnik badania wykonał jakieś działanie, np. ruch palcem.

EEG odzwierciedla wypadkową aktywność elektryczną mózgu (a w szczególności kory mózgowej) w danym momencie. Jest ona związana ze wszystkimi procesami, w których zaangażowany jest mózg. Jednocześnie odbywać się mogą procesy planowania, myślenia, przypominania sobie lub uczenia się, odbioru bodźców, ich analizy, podejmowania decyzji o reakcji czy kierowanie uwagi. Nieustanna jest też aktywność kory związana z procesami, które rzadko sobie uświadamiamy, a nawet nie potrafimy ich sobie uświadomić, jak np. kierowanie funkcjonowaniem układu pokarmowego, koordynacja ruchów złożonych, oddychanie. Neurony wyładowują się również spontanicznie, tzn. nawet gdy nie są pobudzane przez inne neurony i taka aktywność też jest odzwierciedlona w EEG.

Tak więc aktywność neuronalna, skorelowana z określonym wydarzeniem, ginie w „szumie". Aby ją z niego wydobyć, wprowadzono w latach 60. metodę uśredniania (Dawson,1954). Polega ona na wielokrotnym powtarzaniu interesującego nas zdarzenia (np. bodźca wzrokowego) i nakładaniu na siebie fragmentów EEG, zarejestrowanych zawsze w określonym odcinku czasu po takim zdarzeniu (lub przed nim). Dzięki takiemu zabiegowi rejestrowane zmiany pola elektrycznego niezwiązane ze zdarzeniami znoszą się wzajemnie. W efekcie średnia z wielu zapisów daje tylko zapis zmian pola elektrycznego skorelowanego z danym zdarzeniem, np. z zewnętrznym bodźcem. Taki zapis charakteryzuje się pewnym ustalonym kształtem – zwykle jest to ciąg dodatnich

[1] Prof. dr hab. Piotr Jaśkowski, Katedra Psychologii Poznawczej, Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Warszawie

[2] Mgr Marta Kurczewska, Studium Doktoranckie, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

i ujemnych fal zwanych załamkami – który zależy od warunków stymulacji i zadania, jakie osoba musi wykonać.

Potencjały wywołane są stosowane w psychologii od momentu ich wynalezienia i ich wkład w zrozumienie procesów mózgowych towarzyszących procesom poznawczym jest trudny do przecenienia. W tej pracy chcielibyśmy omówić jedną z mniej znanych i rzadziej stosowanych metod uzyskiwania wglądu w pewne procesy mentalne za pomocą analizy potencjałów wywołanych. Chodzi o badania przygotowania działania za pomocą *zlateralizowanego potencjału gotowości* (ang. *lateralized readiness potential* – LRP).

Potencjał gotowości i zlateralizowany potencjał gotowości

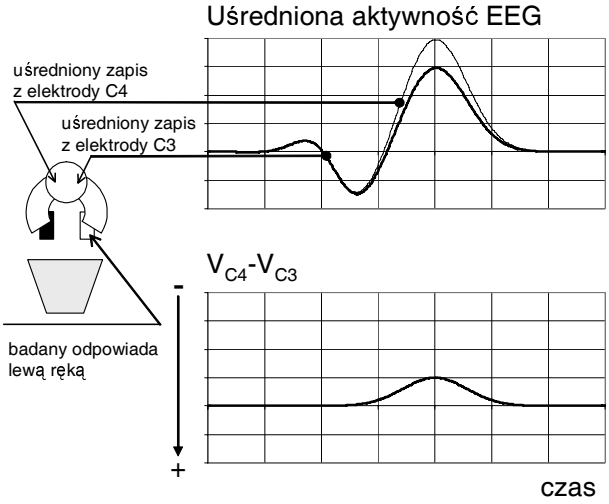
Kornhuber i Deecke (1965) odkryli już w latach 60., że dowolny ruch kończyną poprzedza powolnie narastająca ujemna fala, która została nazwana *potencjałem gotowości* (ang. *readiness potential*, RP). Pojawia się ona symetrycznie po obu stronach głowy nad dużym obszarem mózgu, niezależnie od strony, po której znajduje się ręka wykonująca ruch, przy czym maksimum tej fali przypada na odprowadzenia czołowe (C3, C4), sugerując, że jej generator znajduje się w płatach czołowych. Początkowa symetria aktywności z czasem zostaje zachwiana, zmierzając do większej amplitudy fali po stronie kontralateralnej do ręki wykonującej ruch. Zaobserwowana asymetria przebiegu RP nasunęła myśl o wprowadzeniu zlateralizowanego potencjału gotowości, czyli określenia różnicy potencjałów między kontra- i ipsilateralną stroną głowy. Aby w LRP nie było żadnych asymetrii półkulowych, zadanie badanego musi być tak skonstruowane, aby równie często musiał odpowiadać lewą, jak i prawą ręką. W ten sposób do uśrednionej wartości LRP wchodzą tylko różnice związane z kontralateralną nadwyżką. Uzyskiwanie LRP z zapisów EEG wyjaśnia rycina 1.

Jakie procesy odzwierciedla LRP?

Mimo że LRP jest obliczany z RP, odzwierciedla funkcjonalnie inne procesy niż reprezentowane przez potencjał gotowości (Kornhuber i Deecke,1965). Na przykład amplituda RP jest proporcjonalna do siły reakcji (Becker i Kristeva,1980; Wilke i Lansing,1973). Relacja taka nie jest zachowana w przypadku LRP.

Anatomiczne i neurofizjologiczne dane sugerują, że źródło przynajmniej wczesnej fazy potencjału gotowości, a tym samym elektrofizjologicznej reprezentacji chęci wykonania ruchu leży w dodatkowym polu ruchowym (Shibasaki, Barrett, Halliday i Halliday,1980). Potwierdzają to np. niezwykłe wyniki Frieda i wsp. (Fried, Katz, McCarthy, Sass, Williamson, Spencer i Spencer,1991; Fried, 1996) W swoich doświadczeniach stymulował różne obszary kory ruchowej. Jeśli drażnił dodatkowe pole ruchowe niewielkim prądem elektrycznym, badany odczuwał silną chęć wykonania ruchu. Silniejsza stymulacja tego samego obszaru prowadziła do wykonania specyficznego ruchu. Późna

faza RP obejmująca lateralizację (czyli LRP), jest generowana przez pierwszorzędową korę ruchową. Wskazują na to następujące fakty. Maksymalna amplituda LRP rejestrowana jest z odprowadzeń C3/C4, które leżą mniej więcej ponad korą ruchową.



Ryc. 1. Uzyskiwanie zlateralizowanego potencjału gotowości. Badany siedzi przed ekranem monitora, na którym wyświetlane są bodźce wymagające reakcji lewą lub prawą ręką. Zapisy EEG z poszczególnych reakcji są uśredniane osobno dla próbek, w których badany miał odpowiadać prawą ręką i lewą ręką. Następnie odejmuje się od zapisu uzyskanego dla elektrody, umieszczonej nad korą ruchową po stronie kontralateralej (wykres górny, cienka linia) do ręki mającej wykonać odpowiedź, zapis dla elektrody po stronie ipsilateralnej (wykres górny, gruba linia). Różnicę tę reprezentującą LRP przedstawio na dolnym wykresie. Zwróćmy uwagę, że taki sposób odejmowania powoduje, że wychylenia ku górze odzwierciedlają przygotowywanie prawidłowej ręki, natomiast ku dołowi – nieprawidłowej. (Na obu wykresach, zgodnie z konwencją przyjętą w psychofizjologii, wartości ujemne są u góry, a dodatnie u dołu wykresu.)

Wykazano również, że LRP rejestrowane, gdy ruch wykonywany był za pomocą dolnych kończyn, nie wykazuje nadwyżki aktywacji po stronie kontralateralnej, lecz po stronie ipsilateralnej (Hackley i Miller, 1995). Ten paradoksalny wynik można jednak łatwo wyjaśnić faktem, że kończyny dolne są reprezentowane na mapie somatotopowej kory MI w ten sposób, że kontralateralny dipol jest skierowany w stronę ipsilateralnej półkuli. Dane wspierające ideę lokalizacji „generatora" LRP w MI pochodzą m.in. z wewnątrzkorowego zapisu aktywności mózgu (Miller, Riehle i Requin, 1992), badań aktywności neuromagnetycznej i elektrofizjologicznej (Ball, Schreiber, Feige, Wagner, Lucking i Kristeva-Feige, 1999; Kristeva, Cheyne i Deecke, 1991; Okada, Williamson i Kaufman, 1982), ostatnio także z badań stosujących skorelowane ze zdarzeniami sygnały optyczne (*event-related optical signals*) (DeSoto, Fabiani, Geary i Gratton, 2001).

Chronopsychofizjologia

Niezależne stadia Dondersa i Sternberga

Problem ten sięga XIX wieku i pomysłu Dondersa (1868), który założył, że czas trwania procesów umysłowych możemy mierzyć przez systematyczne zwiększanie złożoności zadania, które ma wykonać uczestnik doświadczenia. Najprostszym zadaniem percepcyjno-ruchowym jest detekcja bodźca. Jeśli badany musi zareagować na szczególny bodziec, a inne ignorować, zadanie oprócz detekcji wymaga procesu rozpoznawania. Zatem czas reakcji w takiej sytuacji jest dłuższy od czasu detekcji (tzw. czasu reakcji prostej) o czas trwania procesu identyfikacji. Jakkolwiek metoda Dondersa została prawie natychmiast wyśmiana (van der Molen, Bashore, Halliday & Callaway, 1991), odżyła dokładnie 100 lat później za sprawą Saula Sternberga (1969). Podobnie jak Donders, założył, że przetwarzanie informacji u człowieka od bodźca do reakcji przebiega w szeregu nienakładających się na siebie stadiów. Czas trwania przetwarzania w każdym stadium jest niezależny od czasu trwania innego stadium. W przeciwieństwie jednak do Dondersa, Sternberg przyjmował, że nie trzeba zakładać z góry, z jakich stadiów składa się łańcuch procesów, lecz można wywnioskować istnienie jakiegoś stadium przez umiejętne manipulowanie czynnikami: jeśli dwa czynniki wpływają niezależnie na czas reakcji, wówczas należy sądzić, że działają na dwa niezależne stadia, jeśli natomiast wpływ jednego zależy od poziomu drugiego, oznacza to wpływ na ten sam etap.

W latach 70. i 80. ubiegłego wieku, posługując się tą metodą, ustalono łańcuch stadiów przetwarzania dla reakcji z wyborem (Sanders, 1980; 1990; 1998). Sanders zaproponował istnienie trzech stadiów percepcyjnych (wstępne przetwarzania, ekstrakcja cech i identyfikacja bodźca) oraz co najmniej trzy stadia związane z odpowiedzią (selekcja odpowiedzi, programowanie ruchu oraz dopasowanie ruchu). Ten obraz jednak komplikował szereg wcześniej uzyskanych wyników. Na przykład, Miller i Pashler (1973) pokazali, że natężenie bodźca, uznawane za zmienną oddziałującą tylko na przetwarzanie wstępne informacji, pozostaje w interakcji z prawdopodobieństwem pojawienia się bodźca, które powinno oddziaływać na późne stadium dopasowania ruchu. Co gorsza, pokazano, że w innych zadaniach te dwa czynniki są addytywne. (Pachella i Miller, 1976; Miller i Pachella, 1976). Z kolei Stanovich i Pachella (1977) znaleźli interakcję między kompatybilnością między bodziec-reakcja a natężeniem bodźca, co według metody Sternberga powinno oznaczać, że oddziaływają na te same stadia, podczas gdy inne badania sugerowały, iż kompatybilność powinna wpływać na późniejsze stadium wyboru odpowiedzi.

LRP w chronopsychofizjologii

W pewnym uproszczeniu można rzec, że LRP stanowi indeks czasowy ostatniego etapu korowego przygotowania reakcji ruchowej. Po jego zakończeniu zaczynają się

procesy ruchowe. Tak więc LRP dzieli czas reakcji ruchowej na dwa odcinki: część przedmotoryczną (S-LRP), obejmującą procesy poznawcze i podejmowanie decyzji, oraz część motoryczną (LRP-R). W którym miejscu jest ów punkt demarkacyjny? Z pewnością część motoryczna nie obejmuje wyłącznie czasu potrzebnego na uruchomienie odpowiednich mięśni, którego długość jest stała i niezależna od warunków doświadczalnych. Miller i Hackley (1992) dowiedli tego, pokazując, że badany jest w stanie powstrzymać swoją reakcję już po pojawieniu się początkowej fazy LRP. Jednak nawet ścisłe neuroanatomiczne umiejscowienie generatora LRP nie pozwala, niestety, na jednoznaczne określenie jego lokalizacji funkcjonalnej, tzn. na określenie, gdzie w łańcuchu zdarzeń między pojawieniem się bodźca a reakcją na niego generuje się ta fala. Jak zauważyli Masaki i in. (Masaki, Wild-Wall, Sangals i Sommer, 2004), fakt, że LRP jest generowany w pierwszorzędowej korze ruchowej nie rozwiązuje sprawy, ponieważ rola tego obszaru kory jest wciąż przedmiotem debaty (Graziano, Taylor, Moore i Cooke, 2002). Najnowsze badania Masaki i wsp. (2004) zdają się wskazywać, że LRP zaczyna narastać po zakończeniu etapu selekcji ręki, która ma wykonać reakcję, i równocześnie z rozpoczęciem etapu programowania ruchu[*].

Mimo niepewności co do funkcjonalnej lokalizacji LRP w ostatnim czasie ukazało się wiele prac, w których wykorzystuje się LRP jako dodatkowy marker czasowy, umożliwiający określenie, na jaki etap przetwarzania informacji wpływa określony czynnik. Posługując się tą metodą, ustalono, że wyłącznie na część przedmotoryczną wpływają następujące czynniki: natężenie bodźca (Jaśkowski, Nowik, Kurczewska, Van der Lubbe i Verleger, złożona do druku; Miller, Ulrich i Rinkenauer, 1999), tzw. koszty mieszania (ang. *mixing costs*) bodźców o różnych natężeniach (Kurczewska & Jaśkowski, w przygotowaniu), jakości bodźca (Smulders, Kok, Kenemans i Bashore, 1995), kompatybilność między bodźcem a reakcją (Masaki, Takasawa i Yamazaki, 2000) oraz czas trwania okresu wstępnego (ang. *foreperiod duration*) (Müller-Gethmann, Ulrich i Rinkenauer, 2003). Szczególnie ten ostatni wynik jest interesujący, ponieważ czas trwania okresu wstępnego, czyli interwału między prezentacją bodźca ostrzegawczego a bodźca zasadniczego, uważany był za zmienną, która wpływa wyłącznie na późne procesy przygotowania ruchowego. Wynik Müller-Gethmann i wsp. (2003) podważa ten pogląd.

Wyłącznie na część motoryczną wpływa złożoność odpowiedzi (pojedyncze stuknięcie w klawisz vs potrójne stuknięcie w klawisz) (Smulders i in.,1995). Natomiast zarówno na część premotoryczną, jak i motoryczną działa presja czasowa, a dokładniej tzw.

[*] Patrząc krytycznie na badania Masaki i wsp. (2004), trzeba zauważyć, że stosują oni logikę metody Sternberga do wnioskowania na temat funkcjonalnego umiejscowienia LRP, natomiast wielu innych cytowanych w dalszej części pracy używa LRP do wnioskowania na temat słuszności metody Sternberga. Prowadzi to rzecz jasna do błędnego koła.

wymiana prędkości i dokładności (Rinkenauer, Osman, Ulrich i Mattes, 2004). Jest to również bardzo interesujący wynik, biorąc pod uwagę fakt, że wszystkie modele tego efektu sugerują jego przedmotoryczną lokalizację.

Modele przetwarzania ciągłego

Stanovich i Pachella (1977) odrzucili model szeregowego przetwarzania, sugerując, że w sytuacji, kiedy kontrast (jasność bodźca w stosunku do jasności tła) jest zredukowany, informacja o bodźcu jest przekazywana do stadium wyboru odpowiedzi, zanim proces wstępnego rozpoznania bodźca zostanie ukończony. Oznaczałoby to, że procesy mogą zachodzić na siebie w czasie, tzn. z rozpoczęciem kolejnego procesu niekoniecznie trzeba czekać do ukończenia pierwszego. Podobne modele przetwarzania były od tego czasu proponowane wielokrotnie. Zakładają one, że informacje z jednego stadium do drugiego przeciekają, zanim poprzedni proces zostanie ostatecznie zakończony: częściowe, jeszcze niepełne wnioski z analizy przeprowadzonej na danym poziomie przetwarzania są transmitowane do następnego stadium w nadziei, że już na ich podstawie da się podjąć działania, które w rezultacie skrócą czas przetwarzania na tym poziomie.

Doświadczenia Millera (1982)

Aby wykazać, że takie przetwarzanie jest możliwe, Jeff Miller (1982) przeprowadził serię pomysłowych doświadczeń. W jednym z nich prezentował literę, na którą, w zależności od jej tożsamości, badany miał odpowiadać palcem środkowym lub wskazującym lewej lub prawej ręki. Miller skonstruował zbiór bodźców, który składał się z liter różniących się kształtem i wielkością: S, s, T, т. Wstępne wyniki pokazały, że badany ma większe problemy w różnicowaniu wielkości liter niż w ustalaniu ich kształtu: czasy reakcji okazały się krótsze, jeśli zadaniem badanego było określenie, czy bodziec jest literą S czy T, niż wtedy gdy musiał określić, czy jest to duża, czy mała litera. Z tego Miller wyciągnął wniosek, że szybciej przetwarzany jest kształt.

Skoro informacja o kształcie liter jest szybciej rozpoznana, czy wystarczy ona, aby zapoczątkować przygotowanie reakcji ruchowej, zanim jeszcze bodziec zostanie w pełni rozpoznany? Odpowiedź na to pytanie ułatwił fakt ustalony wcześniej i następnie replikowany przez Millera (1982), że jeśli badany posiada wstępną informację na temat tego, którą ręką odpowiedzieć, ale nie wie, którym palcem (wskazującym czy środkowym), przygotowanie będzie bardziej efektywne niż wtedy, gdy badany wie, którym palcem będzie odpowiadał, ale nie wie, którą ręką.

W głównym doświadczeniu Miller porównał czasy reakcji uzyskane w dwóch warunkach eksperymentalnych. W każdym prezentowano jedną literę z ustalonego zbioru (SsTт). W jednym („ta sama ręka") rękę odpowiedzi determinował kształt liter, natomiast którym palcem należało odpowiedzieć, zależało od wielkości prezentowanej litery. Na przykład przypisanie palców do odpowiedzi było następujące: środkowy lewej ręki

– S, wskazujący lewej ręki – s, wskazujący prawej ręki – T, środkowy prawej ręki – t. W drugim warunku („różne ręce") wielkość litery wyznaczała rękę, natomiast jej kształt – palec.

W modelu dyskretnych stadiów decyzja o odpowiedzi może być podjęta dopiero, gdy zakończony zostanie proces rozpoznawania bodźca, czyli gdy zostanie ustalony zarówno kształt litery, jak i jej wielkość. Czyli czasy reakcji powinny być jednakowe w obu warunkach eksperymentalnych. Jeśli jednak możliwy jest transfer wcześniej ustalonych cech bodźca do następnych stadiów, wówczas wyniki powinny się różnić. Skoro kształt jest przetwarzany szybciej, informacja na jego temat mogłaby być przesyłana, zanim zostanie rozpoznana wielkość litery. A zatem w warunku „ta sama ręka", zanim zostanie rozpoznana wielkość, znana byłaby już ręka odpowiedzi. Natomiast w warunku „różne ręce" znany byłby palec, którym należy odpowiedzieć (ale nieznana ręka). Ponieważ wstępny wynik uzyskany przez Millera wskazywał, że przygotowywanie jest efektywniejsze, gdy z góry znana jest ręka odpowiedzi, więc w warunku „ta sama ręka" należało się spodziewać szybszych reakcji. Wyniki potwierdziły takie właśnie przewidywania.

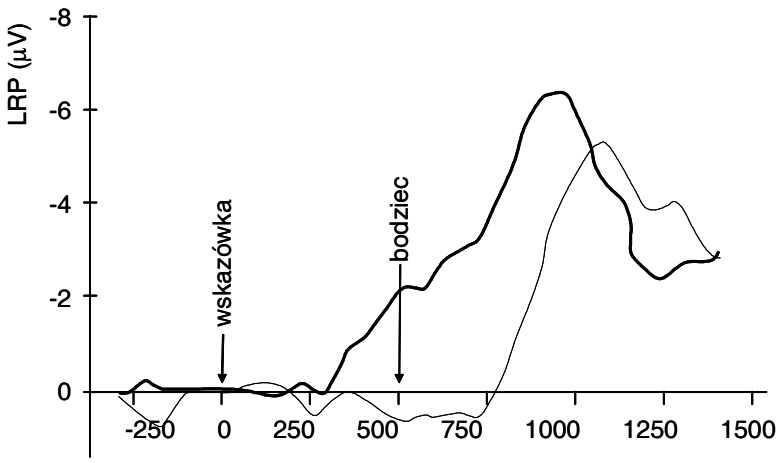
Jakkolwiek doświadczeń Millera nie uznano za konkluzywne i poddano je bardzo ostrej krytyce (np. Reeve & Proctor, 1984), wywarły znaczny wpływ rozwój badań w tej dziedzinie i uznawane są dzisiaj za klasykę badań eksperymentalnych w psychologii.

Zastosowanie LRP do doświadczenia Millera (1982)

Zlateralizowany potencjał gotowości został również zastosowany do doświadczenia Millera (1982), aby uzyskać nieco więcej informacji na temat tego, jak działają niepełne informacje na temat przygotowań odpowiedzi. De Jong i wsp. (de Jong, Wierda, Mulder i Mulder,1988) prezentowali najpierw bodziec-wskazówkę w postaci liter L, R lub U. Litery L i R informowały badanego, że reakcja ma być dokonana lewą/prawą ręką. Natomiast litera U nie wskazywała na żadną rękę. 500 ms później pojawiał się bodziec imperatywny w postaci dwóch liter, z których jedna wskazywała, której ręki należy użyć (L lub R), a druga, którego palca u ręki (M – środkowy, I – wskazujący). Na przykład, jeśli bodziec miał postać „L M", należało odpowiedzieć palcem środkowym lewej ręki.

Podobnie jak w przypadku doświadczenia Millera (1982), stwierdzono, że czasy reakcji są krótsze, kiedy wskazówka prawidłowo podpowiada, której ręki należy użyć, niż wówczas, gdy podpowiedzi nie było. Ciekawsze jednak okazało się to, że LRP w obu tych sytuacjach zdecydowanie się różniło (rys. 2). Mianowicie, LRP zaczynał się wyraźnie wcześniej, gdy bodziec-wskazówka podpowiadała, którą ręką należy odpowiadać, niż wtedy, gdy podpowiedzi nie było (litera U). Ten wynik dowodzi, że aktywacja stosownej reakcji może się już pojawiać, kiedy dostępna jest jedynie w formie wskazówki.

Uzyskane wyniki sugestywnie wskazują na to, że model szeregowego przetwarzania, w którym każdy następny etap zaczyna się dopiero, gdy skończy się poprzedni, jest mało prawdopodobny.



Ryc. 2. Wynik doświadczenia de Jonga i wsp. Linia gruba pokazuje przebieg LRP w sytuacji, gdy wskazówka poprzedzająca bodziec prawidłowo podpowiadała, którą ręką należy odpowiedzieć; natomiast cienka dotyczy sytuacji, gdy wskazówka nie niosła żadnych informacji na temat właściwej reakcji – badany musiał czekać na bodziec imperatywny, aby przygotować reakcję

LRP i przygotowanie reakcji

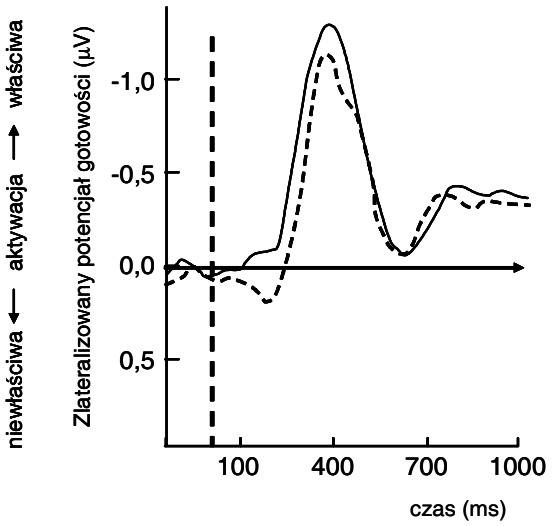
Innym, bardzo ważnym zagadnieniem, którego badanie wzbogacone zostało dzięki zastosowaniu LRP, jest przygotowywanie odpowiedzi ruchowej na podstawie niekompletnych informacji dostarczanych przez bodźce poprzedzające (prymy) lub dystraktory prezentowane równocześnie z bodźcem zasadniczym.

Jednym z takich układów badawczych jest paradygmat zaproponowany przez C. W. Eriksena. (Eriksen i Eriksen, 1974; Eriksen i Schultz, 1979). Prezentowane bodźce miały postać łańcucha 7 liter. Zadaniem badanego była identyfikacja środkowej litery i reakcja ręką przypisaną do tej litery. Na przykład, figurą środkową (celem) mogła być tylko litera *S, C, H* lub *K*. Na *S* i *C* należało odpowiadać lewą ręką, a na *H* i *K* – prawą. Litery znajdujące się po lewej i prawej strony były dystraktorami. Podstawowym efektem uzyskanym po zastosowaniu takiego paradygmatu badawczego było stwierdzenie, że litery dystraktory torują lub hamują reakcję na literę-cel w zależności od tego, jak są podobne do celu związanego z daną odpowiedzią. Na przykład, jeśli środkową literą była litera *H*, a dystraktorami litery *S*, czas reakcji był najdłuższy. Natomiast, gdy wszystkie litery były takie same, czas reakcji był najkrótszy. W pierwszym przypadku mówimy, że dystraktory były niekongruentne z celem, natomiast w drugim – kongruentne. Co ciekawe, czasy reakcji były równie krótkie, jak w sytuacji kongruentnej, kiedy dystraktory nie były wprawdzie identyczne z celem, ale „pasowały" do tej samej ręki, czyli np., gdy ciąg liter był następujący *KKKHKKK*.

Ten wynik wskazywał na to, że po pierwsze, uwaga nie może być zogniskowana wyłącznie na literze-celu, lecz przetwarzane są automatycznie również litery-dystraktory. Po drugie, przetwarzanie dystraktorów trwa aż do stadium, w którym rozpoczyna się aktywacja odpowiedzi. Z tego powodu właśnie dystraktory, które są przypisane do tej samej ręki co litera-cel, wzmacniają niejako przygotowanie odpowiedzi, co prowadzi do przyspieszenia reakcji, natomiast jeśli przypisane są do drugiej ręki, aktywują konkurencyjnie drugą rękę; ten konflikt opóźnia reakcję osoby badanej.

Zastosowanie LRP do zadania Eriksena

Uzyskane wyniki można było interpretować, zakładając, że dystraktory sterują przygotowaniem reakcji zgodnie z tym, do jakiej zostały przypisane odpowiedzi, oraz że kształt jest przetwarzany szybciej niż położenie. Jeśli zatem na literę S badany miał reagować lewą ręką, a na literę H prawą, to litery S jako dystraktory uruchamiały przygotowanie lewej ręki, czyli błędnej odpowiedzi. To przygotowanie musiało zostać odwołane w momencie, w którym ustalone zostało, która z liter jest celem.



Ryc. 3. Zapis LRP uzyskany w badaniu z zastosowaniem zadania Eriksena. Linia ciągła pokazuje zapis, gdy cel i dystraktory były kongruentne, linia przerywana, gdy były niekongruentne

Gratton i wsp. (Gratton, Coles, Sirevaag, Eriksen i Donchin, 1988) założyli, że te błędne przygotowania powinny mieć swoje odzwierciedlenie w LRP. Skoro informacje o kształcie przetwarzane są wcześniej i mogą inicjować reakcję niezależnie od położenia w łańcuchu liter, wówczas początkowa faza LRP powinna pokazywać aktywację po niewłaściwej stronie w przypadku, gdy dystraktory są niekongruentne z celem. Innymi

słowy, jeśli litery S są dystraktorami, a H celem, wówczas przetworzenie kształtu szybsze niż pozycji spowoduje, iż rozpocznie się przygotowanie lewej ręki, a zatem LRP zacznie się wychylać w kierunku dodatnim. Dopiero gdy zostanie rozpoznana pozycja celu, przewagę uzyska przygotowanie właściwej ręki, co w LRP uwidoczni się w postaci wychylenia w kierunku ujemnym. Jeśli natomiast cel i dystraktory są kongruentne, przygotowanie właściwej ręki powinno się zacząć, skoro tylko rozpoznany będzie kształt.

Uzyskane wyniki były zgodne z przewidywaniami. W zapisie LRP dla niekongruentnych próbek już po ok. 150 ms widoczne jest wychylenie w kierunku dodatnim, które przechodzi „na właściwą stronę" po około 200 ms po pojawieniu się bodźca (ryc. 3).

Wynik Grattona i wsp. (1988) został rozszerzony przez Waschera i wsp. (Wascher, Reinhard, Wauschkuhn i Verleger, 1999), którzy pokazali, że największy efekt uzyskuje się, gdy dystraktory są prezentowane 100 ms wcześniej niż litera-cel.

Prymowanie podprogowe

Wyniki badań behawioralnych pokazują, że poprzedzenie bodźca zasadniczego dodatkowym bodźcem, który „podpowiada" błędną reakcję (tak jak w wyżej cytowanym doświadczeniu Waschera i wsp. (1999)), prowadzi do wydłużenia czasu reakcji, w stosunku do sytuacji, gdy pryma jest neutralna. Natomiast prawidłowa podpowiedź przyspiesza reakcję. Tak więc, wynik taki można interpretować jako wstępne przygotowanie odpowiedzi ruchowej, mimo że bodziec zasadniczy jeszcze się nie pojawił. Nowsze badania pokazują, że nawet jeśli pryma jest maskowana tak skutecznie, że osoba badana nie jest jej w stanie zidentyfikować, w sytuacji nieprawidłowej podpowiedzi pojawia się niewielka dodatnia fala LRP, wskazująca na to, że pryma zostaje prawidłowo rozpoznana i rozpoczyna się automatyczne przygotowanie odpowiedzi ruchowej, zgodnej z tożsamością prymy (Jaśkowski & Skalska, 2002; Jaśkowski, Skalska i Verleger, 2003; Leuthold i Kopp, 1998). Wyniki te prowadzą do interesującego wniosku, że zarówno rozpoznawanie bodźca, jak i przygotowywanie przypisanej mu reakcji może przebiegać poza świadomością osoby badanej.

Podsumowanie

Zlateralizowany potencjał wywołany (LRP) stanowi aktywność elektryczną mózgu, odzwierciedlającą proces przygotowania ruchu kończyną w odpowiedzi na zewnętrzny bodziec lub na skutek aktu woli. Z tego powodu jego badania stały się cennym narzędziem w rękach psychologów eksperymentalnych. Staraliśmy się pokazać w tej pracy możliwości jego zastosowania do niektórych zagadnień psychologicznych obecnych w tej dziedzinie niemal od jej zarania. Wyniki uzyskane za pomocą LRP w wielu przypadkach potwierdziły wcześniejsze wnioski, wyprowadzone z wyników badań behawioralnych, w innych jednak zmusiły badaczy do rewizji ich poglądów.

Literatura

Ball, T., Schreiber, A., Feige, B., Wagner, M., Lucking, C. H. & Kristeva-Feige, R. (1999). *The role of higher-order motor areas in voluntary movement as releted by high-resolution EEG and fMRI.* Neuroimage 10, 682-694.

Becker W. i Kristeva R. (1980). *Cerebral potentials prior to various force deployments.* Progress in Brain Research, 54, 189-194.

Dawson G.D. (1954). *A summation technique for the detection of small evoked potentials.* Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 6, 65-84.

de Jong R., Wierda M., Mulder G. i Mulder L.J.M. (1988). *Use of partial stimulus information in response processing.* Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 14, 682-692.

DeSoto, M. C., Fabiani, M., Geary, D. C. & Gratton, G. (2001). *When is doubt, do it both ways: Brain evidence of the simultaneous activation of conflicting motor responses in a spatial Stroop task.* Journal of Neuroscience 21, 2919-2928.

Donders F.C. (1868). *Die Schnelligkeit Psychischer Prozesse.* Archive für Anatomie und Physiologie und wissenschaftliche Medizin, 657-681.

Eriksen B.A. i Eriksen C.W. (1974). *Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task.* Perception & Psychophysics, 14, 155-160.

Eriksen C.W. i Schultz D.W. (1979). *Information processing in visual search: a continous flow conception and experimental results.* Perception & Psychophysics, 25, 249-263.

Fried I. (1996). *Electrical stimulation of the supplementary sensorimotor area.* Advances of Neurology, 70, 177-185.

Fried I., Katz A., McCarthy G., Sass K.J., Williamson P., Spencer S.S. i Spencer D.D. (1991). *Functional organisation of human supplementary motor cortex studied by electrical-stimulation.* Journal of Neroscience, 11, 3656-3666.

Gratton G., Coles M.G.H., Sirevaag E.J., Eriksen C.W. i Donchin E. (1988). *Pre- and poststimulus activation of response channels: a psychophysiological analysis.* Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 14, 331-344.

Graziano M.S., Taylor C.S., Moore T. i Cooke D.F. (2002). *The cortical control of movement revisited.* Neuron, 36, 349-362.

Hackley S.A. i Miller J.O. (1995). *Response complexity and precue interval effects on the lateralized readiness potential.* Psychophysiology, 32, 230-241.

Jaśkowski P., Nowik, A., Kurczewska, M., Van der Lubbe, R. i Verleger, R. *Locus of the intensity effect in simple reaction time tasks* (praca złożona do druku).

Jaśkowski P., Skalska B. (2002). *Intencjonalna korekta zachowania wywołanego nieświadomymi procesami poznawczymi,* [w:] Ohme R.K. i Jarymowicz M., *Natura automatyzmów* (s. 37-40). Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Psychologii PAN.

Jaśkowski P., Skalska B. i Verleger R. (2003). *How the self controls its "automatic pilot" when processing subliminal information.* Journal of Cognitive Neuroscience, 15, 911-920.

Kornhuber H.H. i Deecke L. (1965). *Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen des Menschen: Bereitschaftpotential und reaferente Potentiale.* Pflügers Archiv für die Gesamte Psychologie des Menschen und der Tier, 47, 229-238.

Kristeva, R., Cheyne, D. & Deecke, L. (1991). *Neuromagnetic fields accompaning unilateral and bilateral voluntary movements: topography and analysis of cortical sources.* Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 81, 284-298.

Leuthold H. i Kopp B. (1998). *Mechanisms of priming by masked stimuli: Inferences from event-related brain potentials*. Psychological Science, *9,* 263-269.

Masaki H., Takasawa N. i Yamazaki K. (2000). *An electrophysiological study of the locus of the interference effect in a stimulus-response compatibility paradigm*. Psychophysiology, 37, 464-472.

Masaki H., Wild-Wall N., Sangals J. i Sommer W. (2004). *The functional locus of the lateralized readiness potential*. Psychophysiology, 41, 220-230.

Miller J. i Hackley S. (1992). *Electrophysiological evidence for temporal overlap among contingent mental processes*. Journal of Experimental Psychology: General, 121, 195-209.

Miller, J., Riehle, A. & Requin, J. (1992). *Effects of preliminary perceptual output on neuronal activity of the primary motor cortex*. Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance 18, 1121-1138.

Miller J., Ulrich R. i Rinkenauer G. (1999). *Effects of stimulus intensity on the lateralized readiness potential*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 25, 1454-1471.

Miller J.O. (1982). *Divided attention: Evidence for coactivation with redundant signals*. Cognitive Psychology, 14, 247-279.

Miller J.O. i Pachella R.G. (1973). *Locus of stimulus probability effect*. Journal of Experimental Psychology, 101, 227-231.

Miller J.O. i Pachella R.G. (1976). *Encoding proceses in memory scanning tasks*. Memory & Cognition, 501-506.

Müller-Gethmann H., Ulrich R. i Rinkenauer G. (2003). *Locus of the effect of temporal preparation: Evidence from the lateralized readiness potential*. Psychophysiology, 40, 597-611.

Okada, Y. C., Williamson, S. J. & Kaufman, L. (1982). Magnatic field of human sensorimotor cortex. *International Journal of Neuroscience* 17, 33-38.

Pachella R.G. i Miller J.O. (1976). *Stimulus probability and same-different clasification* . Perception & Psychophysics, 19, 29-34.

Rinkenauer G., Osman A., Ulrich R. i Mattes S. (2004). *On the locus of speed-accuracy tradeoff in reaction time: Inferences from the lateralized readiness potential*. Journal of Experimental Psychology: General, 133, 261-282.

Sanders A.F. (1980). *Stage analysis of reaction processes.,* [w:] Stelmach G.E. i Requin J., *Tutorials in motor behavior* (s. 331-354). Amsterdam: North-Holland.

Sanders A.F. (1990). *Issues and trends in the debate on discrete vs. continuous processing of information*. Acta Psychologica, 74, 123-167.

Sanders A.F. (1998). *Elements of human performance: Reaction processes and attention in human skill*. Hillsdale, N.J, Erlbaum.

Shibasaki H., Barrett G., Halliday E. i Halliday A.M. (1980). *Components of the movement-related cortical potential and their scalp topography*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 50, 1184-1191.

Smulders F.T.Y., Kok A., Kenemans J.L. i Bashore T.R. (1995). *The temporal selectivity of additive factor effects on the reaction process revealed in ERP component latencies*. Acta Psychologica, 90, 97-109.

Stanovitch K.E. i Pachella R.G. (1977). *Encoding, stimulus-response compatibility, and stages of processing*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 3, 411-421.

Sternberg S. (1969). *The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method.* Acta Psychologica, 30, 276-315.

van der Molen M.W., Bashore T.R., Halliday R. i Callaway E. (1991). *Chronopsychophysiology: Mental chronometry augmented by psychophysiological time markers,* [w:] Jennings J.R. i Coles M.G.H., *Handbook of Cognitive Psychophysiology. Central and autonomic nervous system approaches* (s. 10-178). Chichester, New York: John Wiley & Sons.

Wascher E., Reinhard M., Wauschkuhn B. i Verleger R. (1999). *Spatial S-R compatibity with centrally presented stimuli: An event-related asymmetry study on dimensional overlap.* Journal of Cognitive Neuroscience, 11, 214-229.

Wilke J.T. i Lansing R.W. (1973). *Variations in the motor potential with force exerted during voluntary arm movements in man.* Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 35, 259-265.

Application of the lateralized readiness potential to experimental psychology

Reaction time (RT) is the most popular method of experimental psychology. Unfortunately, it measures merely the total time from stimulus to response and gives no insight into intermediate stages of cognitive processes. Recently, event-related potentials are very often used to supplement RT measurements. They represent electrical brain activity triggered by external events like stimuli. For example, the lateralized readiness potential (LRP) reflects brain activity registered over motor cortex contralateral to the responding hand giving insight into response preparation timing. In this paper, we presented basic information on LRP and reviewed some examples of its application in the chronopsychology.

Key words: event-related potentials, lateralized readiness potential, chronopsychology, experimental psychology