
Neuronalne korelaty świadomego uczenia się bodźców słuchowych w paradygmacie różnicowania bodźca odstającego

REMIGIUSZ SZCZEPANOWSKI¹, MICHAŁ FOLWARCZNY¹, ROBERT KOZŁOWSKI²

¹ Wyższa Szkoła Psychologii Społecznej, Wydział Zamiejscowy we Wrocławiu,

² Biomed Neurotechnologie, ul. Braniborska 38-40, Wrocław

Streszczenie. W pracy badano wpływ świadomości na uczenie się różnicowania bodźców słuchowych w kontekście aktywności ludzkiego mózgu. Przyjmując założenia teorii radykalnej plastyczności oczekiwano, że rezultaty 4-tygodniowego treningu uczenia się różnicowania bodźców będą skorelowane ze zwiększoną aktywnością korową reprezentacji bodźców wskutek działania mechanizmów świadomości dostępu. Pomiary aktywności mózgu za pomocą techniki potencjałów wywołanych ERP w paradygmacie bodźców odstających wykazały, że trening uczenia się prowadził do wzrostu amplitudy fali niezgodności MMN (ang. mismatch negativity). Wyniki sugerują, że świadome uczenie się prowadzi do zwiększenia aktywności neuronalnej reprezentacji bodźców w mózgu, jednakże trwałe polepszenie zdolności różnicowania wymaga głównie mechanizmów świadomości dostępu potencjalnego.

Słowa kluczowe: świadomość, uczenie się, teoria radykalnej plastyczności, fala niezgodności MMN

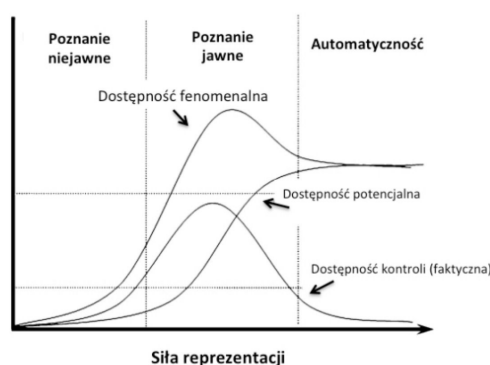
1. Wprowadzenie

Świadome uczenie się wiąże się zasadniczo z sytuacjami, w których zachodzi akwizycja nowych informacji oraz nabywanie nowych umiejętności i zachowań (Tulving 1985). Szereg dotychczasowych badań eksperymentalnych z użyciem technik neuroobrazowania, pokazuje, że świadomość umożliwia proces uczenia się w oparciu rozmaite mechanizmy neuronalne w mózgu (Baars 2002). Zgodnie z teorią radykalnej plastyczności według Cleeremansa (2007) w wyniku świadomego uczenia się powstaje reprezentacja neuronalna bodźca, która kodowana jest w taki sposób, że świadoma wiedza o bodźcu dostępna jest w sposób bezpośredni, nie wymagając dalszej obróbki neuronalnej przez mózg. Dlatego w sytuacji laboratoryjnej podczas dyskryminacji bodźców badany będzie za każdym razem świadomie sprawozdawał obecność lub brak bodźca prezentowanego na ekranie (Cleeremans 2007).

W teorii radykalnej plastyczności podkreśla się, że w toku świadomego uczenia się reprezentacje bodźców stają się automatyczne, prowadząc do optymalnych odpowie-

Kontakt z autorami: dr hab. Remigiusz Szczepanowski, ul. Ostrowskiego 30b, 53-238, Wrocław rszczepanowski@swps.edu.pl

dzi, równocześnie angażując odpowiedni system uwagi w stosunku do przetwarzanych treści świadomych (Cleeremans 2007; 2011). Co więcej, zgodnie z tą teorią zakłada się, że reprezentacje różnego typu nieprzerwanie oddziałują na zachowanie, ale to właśnie reprezentacja automatyczna ma „wyższą jakość”, co oznacza, że z większym prawdopodobieństwem prowadzi do określonego zachowania. Na rys.1 poglądowo przedstawiono zależności między mechanizmami świadomości dostępu a siłą reprezentacji bodźca, która osiąga swoje maksimum w obszarze reprezentacji automatycznych, tj. takich które są na tyle silne, że oddziałują na zachowanie i nie muszą być dalej intencjonalnie kontrolowane. Ponieważ w obszarze reprezentacji automatycznych postuluje się aktywność dostępu potencjalnego oraz dostępności kontroli jako krytycznych dla świadomości powstaje pytanie, który z tych procesów będzie efektywnie wspierać nabywanie nowych zachowań.



RYS. 1. Zależności między świadomością a siłą reprezentacji bodźców. [Z: Cleeremans 2007, s. 26]

Aby zweryfikować powyższy problem na poziomie empirycznym, przyjrzyjmy się obydwu mechanizmom dostępowym od strony funkcjonalnej, jak również ich możliwym korelatom neuronalnym w mózgu. W teorii radykalnej plastyczności (Cleeremans 2007) zakłada się, że świadomą kontrolę nad zachowaniem sprawuje mechanizm dostępu faktycznego (dostępność kontroli) w taki sposób, że reprezentacja bodźców jest bezpośrednio osiągalna dla procesów świadomego przetwarzania. Według Posnera (1994) świadoma kontrola wprost wiąże się z zaangażowaniem selekcji informacji, które angażuje systemy uwagi i mechanizm świadomego dostrzegania (ang. *focal awareness*) (Posner 1994). Świadome dostrzeganie angażuje wysiłek (kontrolę) w rozpoznawaniu bodźca, obejmując lokalizację oraz konstelacje wszelkich cech i orientacji, które taki bodziec zawiera (Posner 1994). Iwasaki (1993) sugeruje, że świadome dostrzeganie to forma świadomości, która wiąże się z akwizycją szczegółowej wiedzy w zakresie danej modalności sensorycznej. W dodatku mechanizm ten może być przełączany wolicjonalnie w kierunku informacji docelowych. Liczne badania neuroobrazowania pokazują, że materiał bodźcowy świadomie dostrzegany dostaje się do pamięci epizodycznej (Baars 2002). Przykładowo badania z użyciem techniki neuroobrazowania PET pokazują, że obszary hipokampa oraz kory przedczołowej zaangażowane są podczas przywoływania i rozpoznawania zdarzeń powiązanych osobistym doświadczeniem (Wheeler, Stuss, Tulving, 1997). Świadome dostrzeganie zaangażowane jest między innymi w nabywanie nowych informacji podczas czynności czytania (Shmidt 1990) i stanowi podstawę rozumienia, aktywizując właściwy

system uwagi w mózgu (Posner 1994). Dlatego podczas czynności czytania świadome dostrzeganie kierowane jest na treść tego, co jest czytane, natomiast wszelkie bodźce rywalizujące, np. związane z syntaktyką, stylem zapisu, czcionką są ignorowane, niemniej pozostając przedświadome mogą być zawsze przedmiotem kontroli (Shmidt 1990). Okazuje się, że uszkodzenie obszarów w płacie ciemieniowych oraz powiązanych z nimi struktur wzgórzowych powodują utratę świadomego dostrzegania i w sytuacji skrajnej pomijania stronnego prowadzi do utraty połowy nadchodzących informacji ze świata zewnętrznego (Posner 1994).

Według Cleeremansa (2007) mechanizm świadomości dostępu potencjalnego również wpływa na zachowanie, ale treści przetwarzane przez ten mechanizm nie są osiągalne w bieżącym procesie przetwarzania. Przykładowo odbierane przez nas dźwięki dochodzące z otoczenia częstokroć przekraczają próg słyszalności, ale nie są uświadamiane w danym momencie. Okazuje się, że liczne badania empiryczne dostarczają przekonujących dowodów neuronalnych na zdolność różnicowania bodźców bez udziału świadomej kontroli. Przykładowo badania elektrofizjologiczne pojedynczych neuronów u pacjentów z epilepsją wykazały zwiększone wyładowania w przyśrodkowych strukturach płata skroniowego przy prezentacji bodźców, które badani uprzednio widzieli, ale świadomie sprawozdawali jako niewidoczne (Fried i in. 2004). Allen i współpracownicy (1998), wykorzystując zadania różnicowania bodźców fonemicznych i technikę EEG, pokazali, że przedświadome mechanizmy uczenia się mogą prowadzić do identycznych odpowiedzi MMN jak w warunkach świadomego uczenia się bodźców fonemicznych. Cleeremans (2007; 2011) postuluje, że dla reprezentacji automatycznych prawdopodobieństwo zaangażowania procesów dostępności potencjalnej jest na tyle wysokie, że świadoma kontrola (dostępność faktyczna) w niewielkim stopniu będzie wpływać na zachowanie (patrz rys.1). W niniejszym badaniu postaramy się pokazać, że efekty działania mechanizmów dostępowych postulowane w teorii radykalnej plastyczności (Cleeremans 2007) będzie można zaobserwować na poziomie aktywności ludzkiego mózgu, manipulując efektami długotrwałego wyuczania się bodźców słuchowych.

Przyjmując perspektywę teorii plastyczności uczenia się i świadomości możemy przede wszystkim zakładać, że w serii prób, wymagających dyskryminacji bodźca, rezultaty poznawcze będą skorelowane z obszarem bardziej rozległą aktywnością neuronalną w mózgu. Badania uczenia się i nabywania umiejętności z użyciem techniki neuroobrazowania PET i fMRI potwierdzają takie stanowisko, że świadome uczenie się może wiązać się z intensywniejszym wykorzystaniem obszarów mózgu (Petersen i in. 1998), które związane są głównie z wykonaniem czynności poznawczych, angażujących struktury korowe przedczołowe oraz ciemieniowe (Tsuchiya, Adolphs 2007). Co więcej, okazuje się, że aktywizacja obszarów jest niezbędna do wyzwolenia określonej strategii radzenia sobie z nowymi wymaganiami zadania, jak również organizacja funkcjonalna takiej aktywności ściśle zależy od rodzaju nowego zadania (Pettersen i in. 1998). Nowo nabyte umiejętności są siłą rzeczy bardziej świadome i zazwyczaj angażują rozleglejsze obszary kory, ale skutek procesu automatyzacji zaczyna się ograniczać się tylko do specyficznych obszarów neuronalnych (Baars 2002). Badania świadomości z użyciem fali niezgodności MMN (ang. *mismatch negativity*) (Jääskeläinen i in. 2004) wykazały, że w przypadku bodźców dźwiękowych świadome uczenie się może właśnie przebiegać według takiego schematu. Badacze ci wykazali, że do wytworzenia świadomej odpowiedzi mogą być zaangażowane mechanizmy przeduwagowe, bazujące na zebranych informacjach o różnicach fizycznych dla napływających informacji sensorycznych związanych z bodźcem słuchowym. Co więcej, badacze wskazali, że podłożem przeduwagowych me-

chanizmów różnicowania są specyficzne zespoły neuronów tylnej części kory słuchowej, adaptujących się do cech nadchodzących bodźców słuchowych. Zaprezentowane powyżej dane empiryczne sugerują, że procesy świadomego dostępu aktywizowane podczas nabywania nowych umiejętności mogą mieć określoną bazę neuronalną, funkcjonalnie powiązaną z specyficznymi obszarami mózgu i wzorcami aktywności neuronalnej.

W naszym badaniu sprawdzaliśmy wpływ świadomości dostępu potencjalnego i dostępu faktycznego (świadoma kontrola) na uczenie się różnicowania bodźców słuchowych mózgu, manipulując stopniem wyuczalności reprezentacji bodźców słuchowych (trening regularny vs. brak treningu). Założono, że w grupie eksperymentalnej codzienny trening uczenia się różnicowania bodźców słuchowych uaktywni procesy dostępu potencjalnego, istotnie zwiększając aktywność korową reprezentacji bodźców w mózgu, mierzoną za pomocą fali niezgodności MMN. Näätänen i Winkler (1999) wykazali, że wytwarzanie fali MMN przez mózg pozwala rejestrować informacje pochodzące z przeduwagowej analizy sensorycznej bodźca słuchowego, włączając w to zarówno czasową charakterystykę bodźca, jak i inne cechy bodźca. Ponadto okazuje się, że sygnał MMN odzwierciedla w sposób stopniowalny jakość reprezentacji bodźca słuchowego i zdolność do różnicowania dźwięków na poziomie behawioralnym (Näätänen, Winkler 1999). Co więcej, niektórzy badacze utrzymują, że sygnał MMN udostępniany jest również do dalszej obróbki poznawczej (Näätänen, Winkler 1999), która na późniejszych etapach może angażować dalszą interpretację, intencjonalność działań, subiektywną ocenę bodźca itp.. Co ciekawe, Koelsch i współpracownicy (1999) wykazali, że długotrwały trening powoduje zmiany w przeduwagowej dyskryminacji bodźców odstających obserwowany na właśnie na poziomie zmian fal MMN. Okazało się, że w badaniu, w którym prezentowano odcinki utworów muzycznych w paradygmacie bodźca odstającego, komponenty MMN u doświadczonych muzyków w warunkach pojawienia się bodźca odstającego wykazywały istotne zmiany, których nie zaobserwowano u laików.

Wobec powyższych danych empirycznych należało oczekiwać, że różnicowanie bodźców odstających może wywołać zmiany w obrębie fali niezgodności MMN wskutek świadomości dostępu potencjalnego. Jednocześnie należałoby również oczekiwać, że trening różnicowania bodźców wpłynie na aktywność mechanizmów świadomego dostrzegania. W naszym eksperymencie do pomiaru świadomej kontroli wykorzystaliśmy komponent nowościowy P3 o umiarkowanie średniej latencji, który uważany jest za wskaźnik uwagowego orientowania korowego (Debener i in. 2005). Przykładowo badania z użyciem fali P3 u osób w stanie czuwania pokazują również, że komponent ten jest prawie zawsze powiązany z odpowiedzią świadomą na bodziec w zadaniach dyskryminowania, o ile wykonanie zadania jest właściwie realizowane i właściwie rejestrowane (Plourde, Picton 1991). Do pomiaru komponentów ERP użyliśmy paradygmatu różnicowania bodźców odstających (ang. *odball paradigm*), w których pojawiały się zarówno bodźce odstające o tej samej częstotliwości (odpowiedź neuronalna MMN), jak i dodatkowo bodźce nowościowe (odpowiedź neuronalna P3). W badaniu postanowiliśmy wykorzystać pasywny wariant paradygmatu bodźca odstającego, w którym uwaga badanych angażowana jest w czynności poznawcze takie jak czytanie książki, a nie bezpośrednio na różnicowanie bodźców dźwiękowych (Friedman, Cycowicz, Gaeta 2001). Dlatego w paradygmacie tym poprzez zaangażowanie badanych w zadanie główne (oglądanie filmu lub czytanie książki) uwaga odrywana jest od pojawiających się w tle bodźców dźwiękowych. Założyliśmy, że taka manipulacja eksperymentalna pozwoli nam efektywniej kontrolować aktywność procesów uwagowych. Podsumowując, oczekiwaliśmy, że regularny trening różnicowania bodźców będzie skutkował trwałymi rezultatami uczenia

się i zwiększeniem odpowiedzi korowych MMN oraz P3, w przeciwieństwie do warunków braku treningu, dla których aktywność neuronalna MMN i P3 nie zmienia się.

2. Metoda

2.1. Osoby badane

W badaniu udział wzięło czternastu studentów Uniwersytetu SWPS, Wydział Zamiejscowy Wrocław, o średnim wieku 26 lat (9 kobiet i 5 mężczyzn). Badanie przeprowadzono w siedzibie firmy Biomed Neurotechnologie we Wrocławiu. Uzyskano zgodę komisji etyki Szkoły Wyższej Psychologii Społecznej na przeprowadzenie badania. Osoby badane przydzielono w sposób losowy do dwóch równolicznych grup, tj. eksperymentalnej (7 osób) i kontrolnej (7 osób). Grupa eksperymentalna odbyła 4-tygodniowy trening różnicowania bodźców dźwiękowych. Grupa kontrolna nie wykonywała żadnego treningu.

2.2. Procedura badawcza

Badanie podzielono na trzy etapy. W pierwszym etapie (warunek pre-test) przeprowadzono pomiar fali niezgodności MMN i fali nowości P3 w trakcie pasywnego zadania różnicowania dźwięków oraz równoczesnej czynności czytania. W szczególności podczas pomiaru aktywności EEG osoba badana, znajdując się w pozycji siedzącej, czytała nieznaną jej tekst o neutralnej tematyce, podczas gdy z głośników umieszczonych przed nią (w odległości 1,5 m) dobiegały sekwencje bodźców dźwiękowych. Poziom natężenia dźwięku dla bodźców słuchowych ustalono na poziomie 70 dB. Zadanie czytania miało na celu angażować uwagę badanego, tak aby w największym stopniu zwiększyć zaangażowanie przeduwagowych mechanizmów uczenia się w modalność słuchową. Dźwięki generowane były zgodnie z paradygmatem bodźca odstającego do pomiaru fali MMN, w którym w sekwencji regularnych, powtarzających dźwięków o tej samej częstotliwości pojawiał się losowo dźwięk o innej stałej częstotliwości (ang. *deviant oddball paradigm*) oraz sekwencji bodźców nowościowych (ang. *novelty oddball paradigm*) do rejestracji fali P3. W paradygmacie bodźca odstającego, sekwencję regularnych bodźców generowano z częstotliwością 1 kHz i w odstępie 100 ms w każdym fragmencie o długości 850 ms. Drugi dźwięk o wyższej częstotliwości 1300 Hz pojawiał się losowo w sekwencji 10 kolejnych bodźców. Dodatkowo w sekwencji generowano losowo trzeci dźwięk, czyli bodziec nowościowy, składający się z pięciu 20-ms fragmentów o zróżnicowanym układzie tonów o częstotliwości .5, 1.0, 1.5, 2.0 i 2.5 kHz. Każdorazowo zestaw (20 różnych kombinacji) tonów pojawiał się w nowym układzie. Łącznie wygenerowano 2000 prób w tym 200 prób z bodźcem odstającym o stałej częstotliwości oraz 200 prób z odstającym bodźcem nowościowym. Całkowity czas badania wyniósł około 30 min. W drugiej fazie badania w grupie eksperymentalnej przeprowadzono 4-tygodniowy trening różnicowania bodźców z użyciem przenośnego treningowego urządzenia BrainBoy Universal Professional firmy MediTECH. W trzeciej fazie procedura badawcza obejmowała ponowny pomiar potencjałów skorelowanych ze zdarzeniem MMN i P3 do oceny efektywności treningu (post-test) w warunkach pasywnego śledzenia dźwięków z równoczesnym czytaniem tekstu o nieangażującej tematyce.

2.3. Trening uczenia się

W grupie eksperymentalnej 4-tygodniowy trening odbywał się codziennie przez ok. 10 minut – każda osoba z tej grupy otrzymała urządzenie BrainBoy do treningów do własnej dyspozycji. Cały cykl treningowy zaprogramowany w urządzeniu składał się z kolejno po sobie następujących faz treningu z podpowiedzią (pierwsze 5 minut) i bez podpowiedzi (kolejne 5 minut). W trybie pracy z podpowiedzią sygnał świetlny poprzedzał właściwą odpowiedź, wskazując mrugnięciem przycisk zgodny z prawidłową odpowiedzią. Dlatego jeśli pierwszy z dwóch tonów w parze był niższy, zapalała się dioda nad lewym przyciskiem. Jeśli drugi ton był niższy, dioda zapalała się nad prawym przyciskiem. W trybie bez podpowiedzi badany odpowiadał samodzielnie. Parametry dźwiękowe, w tym częstotliwość, oraz zmiany procentowe wysokości tonu dźwięku były takie same jak w teście różnicowania (faza pierwsza i trzecia eksperymentu). Poziomy trudności treningu zwiększano, programując odpowiednio różnice między częstotliwościami dźwięków na poziomie odpowiednio 10%, 20% i 40%. Kolejność poziomów podczas treningu była losowa.

2.4. Pomiar potencjałów wywołanych ERP

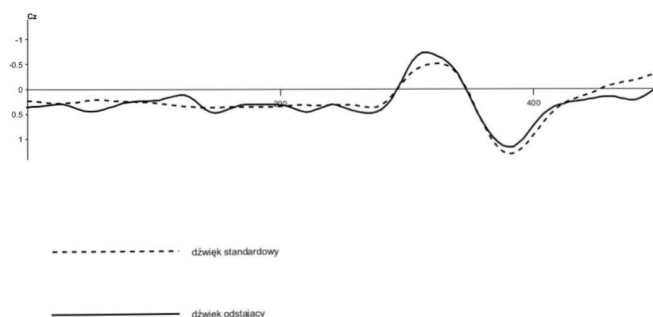
Rejestrację aktywności mózgu przeprowadzono z użyciem 19-kanalowej głowicy EEG (Mitsar EEG-201). Przed rozpoczęciem badania impedancję elektrod ustalono do poziomu 5 kOhm. Elektrody rozmieszczono zgodnie z Międzynarodowym Systemem 10-20 przy użyciu czepka ElectroCap. Pomiar wykonano w pozycji siedzącej przy oczach otwartych, uwzględniając następujące elektrody: Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 i O2 i elektrodę referencyjną. Sygnał był próbkowany z częstotliwością 250 Hz. Pomiar aktywności mózgu przeprowadzono przy użyciu metody potencjałów skojarzonych ze zdarzeniem ERP (ang. *event related potentials*), wykorzystując falę niezgodności MMN (Näätänen i in. 1978), którą rejestrowano w paradygmacie bodźca odstającego o regularnej częstotliwości. Falę MMN uzyskuje się poprzez odjęcie komponentu ERP dla regularnego bodźca słuchowego od komponentu ERP dla bodźca odstającego (Koelsch i in. 1999). Liczne badania pokazują, że za wytwarzanie fali niezgodności dla bodźców słuchowych odpowiada zarówno kora słuchowa, jak również fale te wytwarzane są przez obszary kory czołowej (Winkler 2007). Maksimum fali obserwuje się zazwyczaj w zakresie od 100 do 400 ms po wystąpieniu bodźca odstającego (Qin i in. 2008). Komponent P3 uważa się natomiast za korelat neuronalny korowego odruchu orientacyjnego (Debener i in. 2004) i uzyskuje się go podczas prezentacji bodźców nowościowych w sekwencji bodźców standardowych i bodźców docelowych, przy czym częstotliwość bodźców nowościowych zmienia się każdorazowo na inną i nie ulega powtórzeniu. Bodziec nowościowy częstokroć traktuje się jako bodziec niezwiązany z zadaniem, ponadto cechuje go wysoka kontekstualna wyrazistość (Debener i in. 2004).

W naszym badaniu w celu uzyskania fal ERP dane surowe EEG poddano obróbce za pomocą środowiska EEGLAB (Delorme, Makeig 2004). Na początku przeprowadzono procedurę segmentacji danych w okien czasowym (-200 ms; +600 ms) z uwzględnieniem każdego bodźca. Następnie sygnał odfiltrowano filtrem górnoprzepustowym o częstotliwości granicznej 0,5 Hz i dolnoprzepustowym o częstotliwości granicznej 30,0 Hz. W kolejnym kroku przeprowadzono wzrokową inspekcję jakości sygnału i w sposób ręczny odrzucono wyraźne zakłócenia w sygnale. W dalszej kolejności wydzielono artefakty z sygnału (mrugnięcia oczne, artefakty sercowe, itp.), posługując się analizą składowych niezależnych ICA (ang. *Independent Component Analysis*).

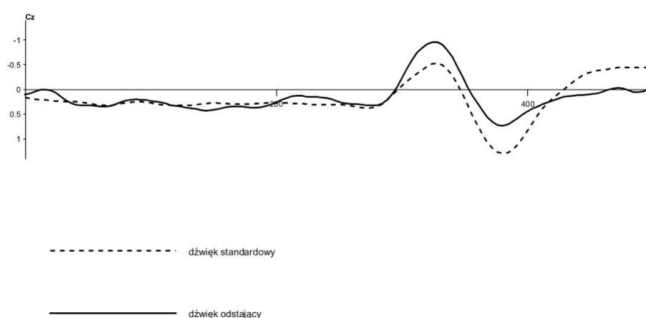
Do oceny wpływu uczenia się na korelaty neuronalne porównano uśrednione komponenty niezgodności MMN oraz komponenty nowościowe P3 zarejestrowane przed i po treningu dla elektrod Fz i Cz. W eksperymencie identyfikację komponentów MMN przeprowadzono posługując się oknem czasowym w zakresie od 275- 385 ms, zbliżonym do warunków pomiarowych przyjętych przez Koelscha i współpracowników (1999). W przypadku fali P3 ustalono typowe okno czasowe od 250 do 500 ms (patrz np.: Laz-zaro i in. 1997).

3. Wyniki

Na rys. 2 i 3 przedstawiono fale ERP dla bodźców regularnych oraz odstających w warunkach post-testu, odpowiednio dla grupy kontrolnej i eksperymentalnej.

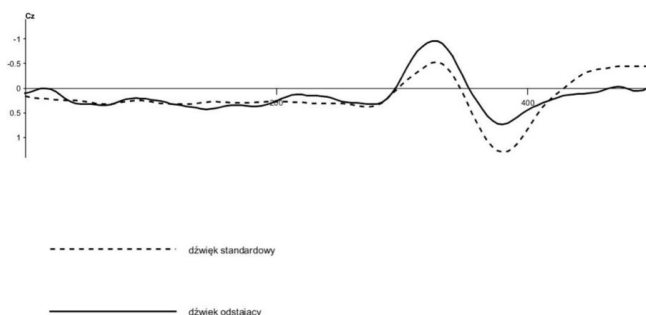


RYS. 2. Fala ERP podczas detekcji bodźców regularnych oraz bodźców odstających dla grupy kontrolnej w warunku post-test.



RYS. 3. Fala ERP podczas detekcji bodźców standardowych oraz bodźców odstających dla grupy eksperymentalnej w warunku post-test.

Na rys.4 przedstawiono falę niezgodności MMN uzyskaną w warunkach post-testu dla grupy eksperymentalnej i kontrolnej. Można dostrzec, że amplitudy fali MMN w grupie eksperymentalnej dla elektrody Cz w przedziale od 275 do 385 ms są wyższe.



RYS. 4. Fala MMN w warunkach post-test dla grupy eksperymentalnej i kontrolnej.

Na początku analizy przystąpiono do oceny efektów uczenia się przeduwagowego, porównując komponenty ERP przed i po treningu dla grupy eksperymentalnej i grupy kontrolnej, osobno dla elektrod Fz i Cz. W tym celu wykonano dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA z pomiarem powtarzanym (uczenie się, typ bodźca) w schemacie mieszczonym. W przypadku elektrody Fz nie stwierdzono efektu uczenia się przeduwagowego, $F(1,12) = 2,34$; $p > 0,05$, mimo to wystąpiła interakcja czynników grupa i uczenie się, $F(1,12) = 6,72$; $p < 0,05$. Jednakże dalsza analiza z użyciem testu t-Studenta nie wykazała różnic dla tej elektrody w różnicowaniu dźwięków między grupami (test t-studenta, $p > 0,05$), zarówno w warunkach pre- jak i post-testu. Kolejna analiza ANOVA korelatów różnicowania dźwięków dla lokalizacji Cz wykazała efekt przeduwagowego uczenia się, $F(1,12) = 6,07$; $p < 0,05$; interakcję dla grupy i uczenia się, $F(1,12) = 8,35$; $p < 0,05$, oraz trójczynnikową interakcję między grupą, uczeniem się, a typem bodźca, $F(1,12) = 7,96$; $p < 0,05$. Dalsza analiza interakcji trójczynnikowej z użyciem dwukierunkowego testu t-Studenta wykazała, że w warunkach post-testu grupa eksperymentalna znacznie lepiej różnicowała dźwięki, $t(12) = 2,97$; $p < 0,05$. W przypadku dwuczynnikowej interakcji nie pojawiły się istotne różnice. Mieszana analiza wariancji dla komponentu P3 dla elektrody Fz wykazała brak istotności dla interakcji między grupą i czynnikiem uczenia się, $F(1,12) = 4,00$; $p > 0,05$. W żadnym z pozostałych warunków pomiarowych nie stwierdzono istotnych efektów dla komponentu P3.

4. Dyskusja

W niniejszej pracy próbowano odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób przebiega czynność świadomego uczenia się w kontekście aktywności ludzkiego mózgu. W tym celu przyjęto założenia teorii radykalnej plastyczności (Cleeremans 2007), według której świadome uczenie się wymaga zaangażowania mechanizmów przeduwagowych o charakterze dostępu potencjalnego oraz świadomego dostrzegania, umożliwiających świadomą kontrolę dostępu do reprezentacji bodźca. Analiza aktywności mózgu za pomocą techniki ERP wykazała, że regularny trening uczenia się prowadzi do zwiększenia zdolności różnicowania bodźców słuchowych na poziomie neuronalnym. Okazało się bowiem, że wskutek regularnego treningu amplituda MMN, mierząca aktywność neuronalną dostępności potencjalnej, istotnie wzrosła. W przypadku świadomości dostrzegania nie stwierdzono wzrostu aktywności korowej, mierzonej za pomocą komponentu P3, co su-

gerowało, że ten typ świadomości w mniejszym stopniu okazał się podatny na trening uczenia się. Wyniki badania sugerują, że trening uczenia się może prowadzić do powiększenia neuronalnych reprezentacji bodźca, jednakże nabycie umiejętności różnicowania bodźców wymaga przede wszystkim aktywności mechanizmów świadomości dostępu potencjalnego.

Wyniki naszych badań dostarczają przekonujących danych empirycznych na rzecz trafności teorii świadomego uczenia się według Cleeremansa (2007), w której zakłada się, że świadomość w zadaniach dyskryminacji bodźca odwołuje się do jego wewnętrznej reprezentacji, która z kolei odnosi się do aktywności neuronalnej struktur odpowiedzialnych za odbiór bodźca. Nasze wyniki potwierdzają również, że świadome uczenie się może zachodzić dzięki zaangażowaniu neuronalnych reprezentacji bodźców słuchowych w mózgu. W szczególności pomiary aktywności ERP wykazały, że świadome uczenie się prowadzi do nabywania umiejętności różnicowania głównie w wyniku przeduwagowych mechanizmów dostępowych, nie wymagających bezpośrednio świadomej kontroli. W kontekście naszych rezultatów wydaje się, że świadome dostrzeganie nie prowadzi wprost do nabywania umiejętności, a co za tym idzie trwałości zachowania. Potwierdza to zatem przewidywania teorii radykalnej plastyczności (Cleeremans 2007; 2011), w której przyjmuje się, że większa liczba jednostek informacji dla procesów dostępności potencjalnej (liczba i/lub ich częstość) będzie uruchamiania dla reprezentacji o wyższej automatyczności, natomiast aktywność neuronalna dla procesów kontroli może pozostać bez zmian, nie angażując większej liczby tych jednostek informacji (patrz rys.1). Wyniki badania korespondują również z hipotezą dostępu świadomego według Baarsa (2002), w której podkreśla się, że nawet w zadaniach mimowolnego uczenia się (np. zadania uczenia się sztucznych gramatyk (patrz: Popławska, Wierzchoń 2008)), zawsze wymagane jest zaangażowanie świadomości. Zgodnie z tym stanowiskiem, w procesie świadomego uczenia się uwaga jest kierowana na zestaw bodźców, natomiast to co jest nieświadome nie jest bodźcem, ale jest powiązane z regularnościami, które wydają się interferować z bodźcem (Baars 2002). Tutaj zakładamy, że mechanizmem pośredniczącym w nabywaniu informacji o regularnościach bodźca jest dostępność potencjalna, która zapewnia, że informacje bez udziału uwagi mogą efektywnie oddziaływać na zachowanie.

Trzeba podkreślić, że nasze badanie napotkało na pewne trudności metodologiczne. Po pierwsze wyniki wykazują, że próba badawcza obejmowała niewielką liczbę badanych (14 osób), dlatego w kolejnych badaniach wymagana byłaby większa próba badawcza, aby osiągnąć wyższą istotność statystyczną uzyskanych wyników. Po drugie, problemy metodologiczne mogły wiązać się z eksperymentalną kontrolą procesów uwagi. Nie można wykluczyć, że podczas eksperymentu uwaga badanego kierowana była na bodźce innych modalność aniżeli słuchowa, dlatego brak wzrostu amplitudy komponentu P3 nie musiał oznaczać, że badany nie aktywizował świadomości dostrzegania. Ten problem próbowano rozwiązać w eksperymencie, wykorzystując pasywny wariant paradygmatu bodźca odstającego (Friedman, Cycowicz, Gaeta 2001) i przez to angażując modalność wzrokową badanego w czynność czytania. Uwzględniając jednak pilotażowy charakter naszych badań, uważamy, że prezentowane tu wyniki dostarczają wiarygodnych argumentów na zaangażowanie świadomości w nabywanie nowych umiejętności. Pokazują one, że proces świadomego uczenia się w nabywaniu umiejętności może przebiegać dwutorowo, angażując mechanizmy dostępowe o innej organizacji funkcjonalnej, tj. mechanizm świadomości potencjalnej o charakterze przeduwagowym oraz inny funkcjonalnie mechanizm świadomego dostrzegania, wymagający bezpośrednio systemów uwagi.

Literatura

- Allen, J., Kraus, N., Bradlow, A. (2000). Neural representation of consciously imperceptible speech sound differences. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 62 (7), 1383–1393.
- Baars, B. J. (2002). The conscious access hypothesis: origins and recent evidence. *Trends in Cognitive Sciences*, 6 (1), 47–52.
- Cleeremans, A. (2007). Consciousness: The radical plasticity thesis. *Progress in brain research*, 168, 19–33.
- Cleeremans, A. (2011). The radical plasticity thesis: how the brain learns to be conscious. *Frontiers in psychology*, vol.2, 86.
- Debener, S., Makeig, S., Delorme, A., Engel, A. K. (2005). What is novel in the novelty oddball paradigm? Functional significance of the novelty P3 event-related potential as revealed by independent component analysis. *Cognitive Brain Research*, 22 (3), 309–321.
- Delorme, A., i Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134 (1), 9–21.
- Friedman, D., Cycowicz, Y., M., Gaeta, H. (2001). The novelty P3: an event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 25, 355–373.
- Lazzaro, I., Anderson, J., Gordon, E., Clarke, S., Leong, J., Meares, R. (1997). Single trial variability within the P300 (250–500 ms) processing window in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry research*, 73 (1), 91–101.
- Koelsch, S., Schröger, E., Tervaniemi, M. (1999). Superior pre-attentive auditory processing in musicians. *NeuroReport*, 10, 1309–1313.
- Näätänen, R., Winkler, I. (1999). The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. *Psychological bulletin*, 125 (6), 826.
- Petersen, S. E., Van Mier, H., Fiez, J. A., Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95 (3), 853–860.
- Popławska A. i Wierzchoń M. (2008). Rola świadomości percepcyjnej i świadomości introspekcyjnej w procesie nabywania wiedzy ukrytej: wpływ czasu ekspozycji bodźca, *Studia Psychologiczne*, XLVI (1), 37–48.
- Posner, M. I. (1994). Attention: the mechanisms of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91 (16), 7398–7403.
- Plourde i Picton (1991). Long-Latency Auditory Evoked Potentials During General Anesthesia N1 and P3 Components. *Anesthesia & Analgesia*, 72 (3), 342–350.
- Qin, P., Di, H., Yan, X., Yu, S., Yu, D., Laureys, S., Weng, X. (2008). Mismatch negativity to the patient's own name in chronic disorders of consciousness. *Neuroscience letters*, 448 (1), 24–28.
- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 26 (1), 1.
- Tsuchiya N., Adolphs R. (2007), Emotion and Consciousness, *Trends in Cognitive Sciences* 11 (4), 158–167.
- Wheeler, M. A., Stuss, D. T., Tulving, E. (1997). Toward a theory of episodic memory: the frontal lobes and autonoetic consciousness. *Psychological bulletin*, 121 (3), 331.
- Winkler, I. (2007). Interpreting the mismatch negativity. *Journal of Psychophysiology*, 21 (3), 147–163.

Neuronal Correlates of Conscious Learning Under Auditory Oddball Task

REMIGIUSZ SZCZEPANOWSKI¹, MICHAŁ FOLWARCZNY¹, ROBERT KOZŁOWSKI²

¹ Wyższa Szkoła Psychologii Społecznej, Wydział Zamiejscowy we Wrocławiu,

² Biomed Neurotechnologie, ul. Braniborska 38-40, Wrocław

Abstract. *This paper explores the problem of conscious learning under discrimination of auditory stimulation in the human brain. In accordance with the radical plasticity theory of consciousness it was expected that the 4-week cognitive training increases neuronal representations of auditory stimuli due to conscious access mechanisms. The event-related potential measures (ERP) of the brain activity using the oddball paradigm demonstrated that auditory discrimination training increased amplitudes of mismatch negativity waves (MMN). Our results suggest that conscious learning increases neuronal representation of auditory stimuli in the brain, although effective skill acquisition for auditory stimuli discrimination mainly requires the mechanism of potential access' consciousness.*

Keywords: *consciousness, learning, theory of radical plasticity, mismatch negativity MMN*