

Warszawa, 22. 10. 2016.

dr hab. Anna Nowicka, prof. nadzw.

Pracownia Psychofizjologii

Zakład Neurofizjologii

Instytut Biologii Doświadczalnej

im. M. Nenckiego, PAN

Wpłynęło do Dziekanatu WZiKS
Dnia 26. 10. 2016
Podpis J. Jankowski

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Magdy Gawłowskiej, zatytułowanej

'Behavioral and neural indicators of deterministic learning dynamics'

Zagadnienie wpływu motywacji na procesy efektywnego uczenia się budzi w ostatnich latach ogromne zainteresowanie wielu grup badawczych. W rezultacie opublikowano dużą liczbę prac, które dostarczają wiele dowodów wskazujących na istotny wpływ manipulacji poziomem motywacji na badane procesy uczenia się, zarówno w grupach osób zdrowych, jak i w różnych grupach klinicznych. Tematyka przedłożonej mi do oceny rozprawy mgr Magdy Gawłowskiej wpisuje się w nurt tych badań. Chciałabym podkreślić, że znaczenie takich badań jest ogromne, gdyż ich wyniki mogą w sposób oczywisty znajdować zastosowanie w praktyce.

Mając pełną świadomość tego, że recenzowanie rozprawy doktorskiej powinno dotyczyć przede wszystkim spraw czysto merytorycznych, nie mogę się jednak powstrzymać przed skomentowaniem tego, że rozprawa jest przepiękna od strony czysto wizualnej. Czysty, klarowny układ, piękne grafy i ilustracje, pięknie skonstruowana wielkość czcionki użytej w tekście, tytułach rozdziałów, użycie kreski na górze strony z informacją o tym, w jakim czytelnik jest rozdziale, wszystko to świadczy o wielkiej staranności mgr Gawłowskiej i o ogromie pracy, który włożyła w to, żeby rozprawa prezentowała się w ten sposób. W pełni to doceniam i uważam, że rozprawa mgr Gawłowskiej może służyć jako wzorzec rozprawy doktorskiej. Rozprawa została napisana w języku angielskim i jasno widać biegłość mgr Gawłowskiej w posługiwaniu się tym językiem.

Cześć wstępna składa się z trzech rozdziałów: *'Learning'*, *'Error-monitoring system'*, *'Dynamics of learning and error-monitoring'*. To naprawdę rzadki przypadek, że wstęp rozprawy doktorskiej czyta się z tak dużym zainteresowaniem. Pani Magda Gawłowska z ogromną swobodą

porusza się po różnych dziedzinach – od teorii psychologicznych poczynając, poprzez badania elektrofizjologiczne i fMRI, opis roli komponent potencjałów wywołanych ERN i FN oraz ich możliwych generatorów, rolę poszczególnych struktur mózgu w omawianych procesach, na modelach kończąc. To co wzbudziło moje uznanie, to fakt, że nie są to odrębne tematy zaprezentowane w poszczególnych rozdziałach wstępu, lecz w sposób bardzo logiczny wątki te łączą się ze sobą, tworząc przekonujące tło badań, przeprowadzonych przez Doktorantkę i opisanych w kolejnych częściach rozprawy. Na uznanie zasługuje też dbałość mgr Gawłowskiej o egzemplifikację różnych konceptów teoretycznych; proste przykłady zawsze umożliwiają lepsze zrozumienie prezentowanych teorii.

Część wstępną zamyka rozdział '*Research objectives*', w którym Doktorantka formułuje cele swoich badań oraz hipotezy badawcze. Pozwolę sobie zauważyć, że mgr Magda Gawłowska liczy w tym miejscu albo na to, że lektura części wstępnej jej rozprawy była na tyle uważna, a czytelnik obdarzony jest dobrą pamięć i sam sobie dopowie, jakich różnic w amplitudach ERN i FN, związanych z procesem uczenia się, można oczekiwać (wzrost amplitudy ERN, spadek amplitudy FN; Rycina 11, str. 43), albo na to, że określenie 'dynamika zmian' jest na tyle ogólne, że obejmuje wszystkie zaobserwowane efekty (zarówno ewentualne spadki, jak i wzrosty amplitud badanych komponent potencjałów wywołanych).

W rozdziale opisującym zastosowane bodźce i metody, bardzo doceniam pomysł opisania drogi dojścia do ostatecznej wersji procedury eksperymentalnej, użytej w badaniu Doktorantki. Omówione zostały testowane w badaniach pilotażowych różne jej warianty i uzasadnione zostało, dlaczego wybrana została ta procedura, która była następnie zastosowana. Zabrakło jednak informacji o tym, czy – na poziomie grupy – zbalansowane było wykorzystanie zestawów par bodźców, to znaczy nie wiadomo, czy w blokach typu *GOOD*, *WIN*, *BAD*, *LOSE* zawsze użyte były te same zestawy, czy też były one rotowane pomiędzy typami bloków (taka procedura balansowania gwarantuje, że uzyskiwane wyniki nie mają związku z danymi, konkretnymi bodźcami, tylko odzwierciedlają zjawiska ogólne). W badaniu wzięła udział liczna (62) grupa osób. Przebadanie takiej liczby osób świadczy o dużym zaangażowaniu doktorantki i w pełni zdaje sobie sprawę z ogromu pracy, który był konieczny do przeprowadzenia takiej liczby doświadczeń.

Doceniając wiele aspektów tej rozprawy - w tym dogłębną dyskusję uzyskanych wyników - chciałabym teraz poruszyć kwestie, które wzbudziły moje wątpliwości. W podrozdziałach z opisem metod analizy danych behawioralnych oraz danych elektrofizjologicznych, mgr Gawłowska wymienia czynniki zastosowanych analiz wariancji z powtórzeniami. Są nimi 'informacja zwrotna' (pozytywna vs. negatywna) oraz 'nagroda' (pieniądze vs. brak pieniędzy). Choć oczywiście od strony czysto formalnej jest to całkowicie poprawne, to intuicyjnie nie jest to tak oczywiste i zastanawiam się, czy analizy z czynnikiem 'typ bloku' (*GOOD*, *WIN*, *BAD*, *LOSE*) nie byłyby bardziej adekwatne.

W zastosowanych analizach warunek 'pieniądze' (jeden z dwóch poziomów czynnika 'nagroda') dotyczy tak naprawdę dwóch odmiennych sytuacji: albo możliwość uzyskania pieniędzy, albo ich utraty. Mgr Gawłowska sama przyznaje we wstępie (str. 38), że ludzie są bardziej czuli na możliwość utraty pieniędzy czy innych dóbr w porównaniu do możliwości ich uzyskania. W związku z tym bezpośrednie porównanie warunków WIN i LOSE byłoby bardzo interesujące. Ponadto w przypadku analiz dotyczących dynamiki procesu uczenia się, które w przypadku danych behawioralnych są 3-czynnikowe, a w przypadku danych elektrofizjologicznych 4-czynnikowe, oznaczałoby to zredukowanie liczby czynników do 2 i 3, odpowiednio. Redukcja liczby czynników w analizach wydaje się być o tyle istotna, że wieloczynnikowa ANOVA może nie być dość czuła, by wykazać istotność statystyczną pewnych efektów.

Ponadto, w podrozdziale 'EEG data analysis' wyjaśnienia wymaga kwestia wyboru elektrod do analizy (rejestracje EEG prowadzone były z wykorzystaniem 256 elektrod). Zasadniczo taki wybór powinien wynikać z rozkładu topograficznego aktywności w przedziale czasowym, odpowiadającym danej fali; elektrody, których lokalizacja mieści się w obrębie maksimum takiego rozkładu, powinny być następnie wzięte do analizy. Ponadto, w celu uniknięcia tzw. *double-dipping problem* (Kriegeskorte N, Simmons WK, Bellgowan PSF, Baker CI. *Circular analysis in systems neuroscience – the dangers of double dipping*. *Nat Neurosci.*, 2009;12:535–540), czyli sytuacji, w której analizowany jest sygnał dla tych elektrod, dla których widzimy, że różnice pomiędzy warunkami są największe, wybór elektrod powinien opierać się o topografię aktywności, uśrednioną przez wszystkie warunki. Autorka rozprawy wybrała wyjście alternatywne w stosunku do zaprezentowanego powyżej, którym jest powołanie się na poprzednie prace z podobnym paradygmatem doświadczalnym i wybór elektrod, dla których inni badacze raportowali swoje wyniki. Ponieważ zastosowany przez mgr Gawłowską paradygmat jest nowy, autorski, wybór pierwszego podejścia uważam za właściwszy. Ponadto z zamieszczonych w rozprawie topografii (rycina 17 i 20) wynika, że elektroda FCz, dla której przeprowadzone były wszystkie analizy danych elektrofizjologicznych, mieści na granicy maksimum zaprezentowanych zmian aktywności.

W części rozprawy, poświęconej opisowi uzyskanych wyników, również parę kwestii wymaga wyjaśnienia. Zgodnie z powszechnie przyjętymi zasadami w dziedzinie badań elektrofizjologicznych, prezentując wyniki badania, zarejestrowane dane należy pokazać w wymiarze zarówno czasowym, jak i przestrzennym (Picton TW et al., (2000). *Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria*. *Psychophysiology*, 37, 127–152). Zmiany aktywności mózgu w funkcji czasu odzwierciedlone są w zapisie potencjałów wywołanych, zaś zmiany aktywności w funkcji przestrzeni uwidocznione są w topograficznych mapach aktywności. Mapy aktywności, zaprezentowane w rozprawie mgr Gawłowskiej, sporządzone są jednak tylko dla

różnic pomiędzy aktywnością mózgu w dwóch różnych warunkach eksperymentalnych (rycina 17 – *error vs. correct*, rycina 20 – *error vs. correct*), a nie dla każdego warunku osobno.

Ponadto zastanawia mnie zastosowana metoda wyznaczania wielkości amplitud ERN, CRN i FN. W przypadku komponent ERN i CRN, amplitudy określano jako *'base-to-peak difference in voltage between the most negative peak from 0 to 150 ms after response onset and the preceding mean amplitude from -100 to 0 ms before response onset'* (str. 55). Chciałabym się dowiedzieć, czym Doktorantka kierowała się przy wyborze takiej właśnie metody i dlaczego amplituda ERN i CRN nie była określana np. jako wartość minimalna w oknie czasowym 0-150 ms. Czy dobrze wydaje mi się, że wynikało to z tego, iż nie była dokonywana tzw. *base-line correction*?

Rycina 17 prezentuje zapis potencjałów wywołanych dla prób poprawnych i błędnych, z zaznaczeniem komponent ERN i CR. Z kolei część A ryciny 18 ilustruje średnie wartości ERN i CR. Wydaje się, że te wartości (ok. 3.5 μV i 1.5 μV) nie przystają do tego, co widać na rycinie 17, gdzie amplitudy ERN i CR wynoszą ok. 1.5 i 0.5 μV , odpowiednio. Ponadto przyglądając się potencjałom różnicowym na rycinie 22 zastanawiałam się, czy wyznaczenie potencjałów różnicowych: 4 punkt czasowy vs. 1 punkt czasowy dla warunków MONEY i NO MONEY, policzenie średniej amplitudy w oknie czasowym odpowiadającym ERN (czyli 0-150 ms) i policzenie statystyki nie dałoby istotnych efektów.

Z kolei w przypadku FN amplitudę wyznaczano jako *'the difference in voltage between the most negative peak from 250 to 350 ms after negative feedback onset and the preceding positive peak from 150 to 250 ms after negative feedback onset'* (str. 55). W tym przypadku zastosowano więc metodę *peak-to-peak*. Inspekcja wzrokowa rycin 23 i 24 sugeruje, że: (1) FN jest zdecydowanie bardziej widoczne dla warunków GOOD i WIN niż dla warunków BAD i LOSE, chociaż spodziewać by się można, że będzie odwrotnie; jak pisze Doktorantka na str. 29, *'Feedback-related negativity (FN/FRN, later on: FN) is a negative-going ERP component, which appears in the EEG recording after presenting participant with an external feedback informing about errors or losses.'*; (2) być może lepiej w tym wypadku byłoby wyznaczyć średnie amplitudy FN dla warunków BAD, LOSE, GOOD i WIN (dla większego okna czasowego, np. 200-400 ms). Natomiast porównanie rycin 23 i 24 z rycinami 25 i 26 skłania mnie do zadania pytania, jak możliwe jest uzyskanie wartości amplitud ok. 4-6 μV dla pozytywnej i negatywnej informacji zwrotnej oraz dla warunku 'MONEY' i 'NO MONEY' (rycina 25 i 26), skoro na rycinach 23 i 24 największe zmiany (wyznaczone w sposób zastosowany przez Doktorantkę) zdają się nie przekraczać 2 μV .

Poza tym nie znalazłam informacji o liczbie segmentów EEG, które wchodziły do uśrednienia w celu uzyskania potencjałów wywołanych dla 1, 2, 3 i 4 punktu czasowego. Ponieważ w miarę postępów w uczeniu się, liczba prób z poprawną odpowiedzią wzrasta, a z odpowiedzią niepoprawną – maleje, zmienia się też stosunek sygnału EEG do szumu w kolejnych punktach czasowych (im więcej

prób wchodzi do uśrednienia, tym niższy stosunek sygnału do szumu, i na odwrót). Prosiłabym o komentarz dotyczący tej kwestii.

Inne (drobne) niedopatrzienia to – na przykład – pojawiające się tekście rozprawy:

- *fig. 1, 2, ...* itd. zamiast *Fig. 1, 2, ...* itd.

- *chapter 1, 2, ...* itd. zamiast *Chapter 1, 2, ...* itd.

- *Every subsequent presentation of the stimuli was faster* (str. 48) – użycie słowa *shorter* wydaje się być bardziej zasadne; to np. odpowiedzi mogą być szybsze, a czas prezentacji bodźców jest raczej krótszy niż szybszy

- Interesująca 3-czynnikowa interakcja (str. 66, *RESPONSE CORRECTNESS x MONETARY INCENTIVE x LEARNING TIME-POINT*) nie jest istotna, a mimo to jest szczegółowo omówiona przez Doktorantkę

- w przypadku uśrednionych dla grupy potencjałów wywołanych używane jest określenie *mean ERP* zamiast *grand-average ERP*, które jest powszechnie stosowane (np. str. 62, podpis do ryciny 17; str. 68, podpisy do ryciny 23, 24)

- na str. 66 Doktorantka dwukrotnie zamiast na rycinę 22 powołuje się na rycinę 20.

Wymienione powyżej uwagi polemiczne i krytyczne nie powinny jednakże przesłaniać faktu, że przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska stanowi prezentację wartościowego materiału. Mgr Gawłowska wykazała, że zarówno typ prezentowanej informacji zwrotnej, jak i wprowadzenie gratyfikacji finansowej, wpływają na proces uczenia się na poziomie behawioralnym i neuronalnym. Ponadto, w przeciwieństwie do wcześniejszych badań, które odnosiły się do środowiska probabilistycznego, jej badania dotyczyły dynamiki aktywności systemu monitorowania błędnych reakcji w procesie uczenia się w środowisku deterministycznym. W toku realizacji projektu doktorskiego mgr Gawłowska opracowała autorski paradygmat doświadczalny, z powodzeniem zastosowała go w swoich badaniach, potwierdziła postawione hipotezy, w części wstępnej rozprawy i w dyskusji wykazała się ogromną wiedzą i znajomością literatury. Wszystko to świadczy o jej dojrzałości i dobrze rokuje na przyszłość. Z całym przekonaniem stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Magdy Gawłowskiej spełnia warunki określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.), w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie mgr Magdy Gawłowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego i stawiam wniosek o wyróżnienie.

Anne Nowila