

Poznań, dnia 27 marca 2025

Dr hab. Jarosław Michałowski, prof. Uniwersytetu SWPS
Laboratorium Neuronauki Emocji
Wydział Psychologii i Prawa w Poznaniu
Uniwersytet SWPS

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Emilii Kolady-Nowak pt. *Funkcjonalna organizacja ciała migdałowatego podczas asocjacyjnego uczenia się u ludzi*

Promotor: dr hab. Iwona Szatkowska

Badania dotyczące asocjacyjnego uczenia się mają długoletnią historię. Badacze tego zagadnienia koncentrowali się dotychczas przede wszystkim na określeniu czynników warunkujących efektywność tego procesu. Doświadczenia behawioralne oraz analizy aktywności mózgu przeprowadzone na zwierzętach stanowiły bazę dla badań nad zjawiskiem asocjacyjnego uczenia się w naukach społecznych. Znajomość czynników podmiotowych i sytuacyjnych, a także neuronalnych mechanizmów asocjacyjnego uczenia się (oraz oduczania) ma niebagatelne znaczenie nie tylko dla badaczy z obszaru nauk biologicznych ale także społecznych. Asocjacyjne uczenie się jest podstawą kształtowania się ludzkich emocji, motywacji i zachowań, a także treści poznawczych. Asocjacyjne uczenie się jest również silnie zaangażowane w powstawanie i utrzymywanie się zaburzeń psychicznych, począwszy od uzależnień i zaburzeń lękowych, a skończywszy na zaburzeniach osobowości. Ze względu na ograniczenia o charakterze metodologicznym i etycznym badaczom w obszarze nauk społecznych trudno było dotychczas sprawdzić czy zdobyta w naukach biologicznych wiedza o neuronalnych mechanizmach asocjacyjnego uczenia się ma zastosowanie w przypadku człowieka. Rozprawa doktorska przygotowana przez Panią mgr Emilię Koladę-Nowak wypełnia tę lukę. Jej celem było określenie poziomu zaangażowania środkowo-przyśrodkowej i podstawno-bocznej części ciała migdałowatego w procesie powstawania asocjacji pomiędzy wskazówką wizualną a awersyjnym lub apetytywnym wzmocnieniem o charakterze pokarmowo-społecznym w drodze warunkowania klasycznego i instrumentalnego. W swoich badaniach doktorantka koncentrowała się głównie na zaangażowaniu wspomnianych części ciała migdałowatego w przetwarzanie błędu predykcji ale próbowała również odpowiedzieć na pytanie o to jakie znaczenie dla aktywności poszczególnych obszarów ciała migdałowatego ma masa ciała oraz takie zmienne

psychologiczne jako ekstrawersja i neurotyczność. W efekcie powstała kompletna rozprawa doktorska, która cechuje się bardzo wysokim poziomem naukowym.

Ocena formalnej strony pracy

Dysertacja Pani mgr Emilii Kolady-Nowak została napisana w języku polskim. Zaczyna się od wstępu teoretycznego, na który składa się osiem podrozdziałów, w których autorka definiuje podstawowe pojęcia i omawia zagadnienia teoretyczne oraz wyniki badań empirycznych dotyczących uczenia się klasycznego i instrumentalnego, a także struktur mózgowych zaangażowanych w te procesy, ze szczególnym uwzględnieniem błędu predykcji i obszarów ciała migdałowatego. Na zakończenie części teoretycznej doktorantka w zwięzły sposób prezentuje założenia i cele przeprowadzonych przez siebie dwóch kolejnych badań własnych, które opisuje następnie w części empirycznej, składającej się z 2 rozdziałów. Każdy z nich rozpoczyna się od opisu zastosowanych metod badawczych, a następnie prezentacji wyników. Na koniec rozprawy autorka podsumowuje wyniki przedstawionych badań, podejmuje się ich interpretacji oraz opisuje dalsze perspektywy badawcze i ograniczenia swoich badań. W spisie piśmiennictwa autorka dysertacji zawarła 223 pozycje. W całej pracy można znaleźć jedynie kilka drobnych niespójności, np. ryc. 10 wydaje się nie korespondować z wynikami opisanymi w punkcie 4.4.1 (str. 65), podobnie panel A ryciny 12 wydaje się nie korespondować z wynikami opisanymi w punkcie 4.4.3 (str. 67). Generalnie czytelnik odnosi jednak wrażenie, iż poszczególne części rozprawy doktorskiej opracowano bardzo starannie, łącznie z klarownie napisanym streszczeniem (w języku polskim i angielskim), w którym autorka opisuje problem badawczy oraz podsumowuje metodologię i wyniki swoich badań.

Merytoryczna ocena pracy

Teoretyczna część pracy stanowi adekwatną prezentację najważniejszych zagadnień związanych z tematyką pracy. W sposób systematyczny autorka opisuje w niej rodzaje asocjacyjnego uczenia się oraz czynniki warunkujące jego efektywność. Znaczącą część teoretycznego wprowadzenia stanowi omówienie roli błędu predykcji oraz modeli służących do określania predykcji w procesie uczenia się, a także anatomii, funkcji i sposobów parcelacji ciała migdałowatego. Część teoretyczną kończy prezentacja wyników dotyczących moderacyjnej roli ekstrawersji i neurotyczności w procesie asocjacyjnego uczenia się, po

którym następuje omówienie celów i pytań badawczych, jakie postawiła sobie doktorantka. Ogólnie trudno doszukać się w tej części pracy istotnie słabych stron, ponieważ całość opracowano wyczerpująco i niezwykle starannie. Szczególnie ważne wydaje się, iż autorka nie poprzestaje na klasycznych teoriach i badaniach nad warunkowaniem lecz omawia także te aspekty uczenia się, które są ważne dla badaczy z obszaru nauk społecznych, tj. uczenie się zorientowane na cel czy też proces powstawania pożądanego wzmocnienia w odpowiedzi na skojarzone z nim wskazówki w procesie instrumentalnego uczenia się, szczególnie istotny w kształtowaniu i utrzymywaniu się problemów psychicznych.

W kolejnej części swojej rozprawy doktorskiej mgr Emilia Kolada-Nowak przedstawia metodę i wyniki dwóch badań własnych. Część tę również oceniam pozytywnie, odnajdując w niej wiele istotnych walorów pracy. Przede wszystkim, autorka jednoznacznie udowodniła w tej części pracy, że posiada najważniejsze cechy dobrego badacza – umiejętność opracowania i wytrwałość w realizacji logicznej strategii badawczej, a także krytycznej interpretacji wyników. W tym przypadku pierwszym krokiem na drodze realizacji strategii badawczej było określenie, które obszary ciała migdałowatego aktywują się w odpowiedzi na błędną predykcję wzmocnień o charakterze apetytywnym i awersyjnym w paradygmacie warunkowania klasycznego. Krokiem drugim zaś była weryfikacja tych samych pytań badawczych przy zastosowaniu uczenia się instrumentalnego. W obu badaniach autorka pracy weryfikowała moderacyjny wpływ masy ciała oraz dwóch cech osobowości z modelu Wielkiej Piątki (tj. neurotyczności i ekstrawersji) na reakcję poszczególnych obszarów ciała migdałowatego na błąd predykcji. W tej części pracy zwraca uwagę staranne przygotowanie procedury badawczej. Na docenienie zasługuje procedura kontroli poziomu sytości uczestników badania, naprzemienna prezentacja sesji apetytywnych i awersyjnych z uwzględnieniem zbalansowania rodzaju sesji rozpoczynającej badanie, wprowadzenie oceny walencji emocjonalnych użytych bodźców po badaniu, dobrze przemyślana procedura przeuczania, czy też zbalansowanie lokalizacji i zmiany koloru wskazówek. Bardzo dobrze oceniam staranność dostosowania procedury badawczej do wymogów funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI), np. uwzględnienie odpowiedniej liczby prób czy też stosownych odstępów czasowych między poszczególnymi zdarzeniami. Magister Emilia Kolada-Nowak wykazała ponadto szeroką wiedzę w zakresie metod parcelacji ciała migdałowatego oraz wysokie umiejętności analizy danych fMRI, a także prezentacji i interpretacji uzyskanych wyników. Na dojrzałość naukową doktorantki wskazuje również

ogólnie dobrze przemyślany schemat badawczy zakładający kontrolę rodzaju błędu predykcji (negatywny vs pozytywny) i emocjonalnej wartości wzmocnień (awersyjnej vs apetycyjnej), a to wszystko elegancko powtórzone dla dwóch typów uczenia się (klasycznego i instrumentalnego). Choć można domniemywać dlaczego oba typy uczenia się były wykonywane w schemacie międzygrupowym, to zabrakło mi szerszej dyskusji na ten temat.

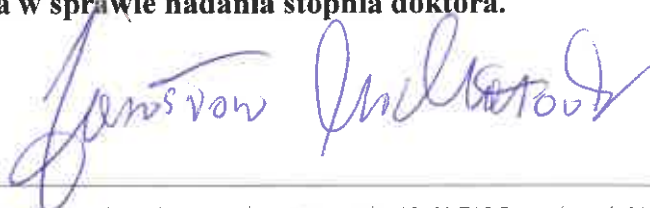
Co istotne i zasługujące na duże uznanie, to sposób w jaki doktorantka opracowała kolejny rozdział, w którym omawia całość wyników badań własnych w świetle badań innych autorów. Wywody i wnioski zaprezentowane przez mgr Koladę-Nowak są przemyślane i zaprezentowane w uporządkowany sposób. Konkluzje podzielono na podrozdziały: dwa pierwsze odnoszą się do każdego z dwóch przeprowadzonych przez Doktorantkę badań, a ostatni przedstawia interpretację tych badań w kontekście koncepcji Aktor-Krytyk, Pawlovian-to-instrumental transfer oraz mechanizmów powstawania i utrzymywania się zaburzeń odżywiania. Na koniec czytelnik ma możliwość zapoznać się ze zwięzłym podsumowaniem przedstawiającym najważniejsze wnioski wypływające z przedstawionych badań, a także z refleksjami autorki dotyczącymi ich ograniczeń.

Przedstawione powyżej liczne atuty dysertacji dominują nad następującymi niejasnościami. Po pierwsze, silniejsze afektywne nacechowanie płynu apetytywnego niż awersyjnego, które ujawniło się i w badaniu 2 mogło być m.in. wynikiem zastosowanej procedury, zgodnie z którą w eksperymencie zastosowano bodźce apetytywne wybrane przez uczestnika z spośród pięciu słodkich smaków, podczas gdy bodźcem awersyjnym był słony roztwór narzucony przez eksperymentatorów. Różnice w poziomie afektywnego nacechowania obu bodźców oraz podanie większej ilości próbek słodkich niż słonych przed eksperymentem mogły mieć wpływ na znaczenie obu rodzajów bodźców w trakcie eksperymentu. Co prawda autorka świadoma jest potencjalnego wpływu różnic w nasileniu walencji (patrz dyskusja) ale nie znalazłem w pracy refleksji dotyczących wielokrotnego użycia bodźców apetytywnych przed badaniem oraz propozycji zminimalizowania wskazanych problemów. W dyskusji wyników zabrakło również szerszej dyskusji dotyczącej różnic w poprawności wykonania pomiędzy sesjami apetytywnymi a awersyjnymi w badaniu 2. Po drugie, choć zaprezentowane w pracy wyniki korelacji aktywacji w ciele migdałowatym z poziomem masy ciała, neurotycznością i ekstrawersją wydają się bardzo ciekawe, to ich dyskusja pozostawia pewien niedosyt. Autorka podaje ciekawą interpretację korelacji BMI z aktywnością ciała migdałowatego w badaniu 2, ale nie dyskutuje braku takiego samego efektu w badaniu pierwszym. Ponadto

dyskusja dotycząca tego efektu w kontekście mechanizmów powstawania i utrzymywania się zaburzeń odżywiania wymagałaby pewnego zniuansowania: znaczenie bodźców smakowych będzie różne dla różnych rodzajów zaburzeń odżywiania. Można się spodziewać różnic w reakcji na błąd predykcji w sesjach apetytywnych u osób z bulimią w porównaniu do osób z anoreksją, nie wspominając o tym, że dyskutowana przez autorkę otyłość nie jest klasyfikowana jako zaburzenie odżywiania. Ponadto interpretacja relacji pomiędzy BMI a odpowiedzią neuronalną na błąd predykcji byłaby bardziej wiarygodna, gdyby zamiast BMI zastosować pomiaru pozwalające na ocenę składu ciała. Również interpretacja związku neurotyczności z aktywacją ciała migdałowatego w odpowiedzi na błąd predykcji pozostawia pewne wątpliwości. Badania wskazują, iż neurotyczność może wpływać na przetwarzanie bodźców. Jeśli dobrze zrozumiałem procedurę i modelowanie danych fMRI to negatywny błąd predykcji w sesjach awersyjnych i apetytywnych oznaczał pojawienie się neutralnego smaku i twarzy. Jeśli przyjąć, że osoby w podwyższonym poziomie neurotyczności silniej reagują na bodźce emocjonalne to nie dziwi słabsza reakcja tych osób na pojawienie się bodźców neutralnych (zwłaszcza twarzy) przy negatywnym błędzie predykcji. Generalnie uważam, że dyskusja na temat potencjalnego wpływu rodzaju ekspresji prezentowanych twarzy na wyniki omawianych badań wymagałaby pogłębienia.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Do obowiązków recenzenta rozprawy doktorskiej należy stwierdzenie, czy rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz czy autor rozprawy wykazał się dostateczną ogólną wiedzą teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zarówno część teoretyczną, jak i część empiryczną rozprawy mgr Emilii Kolady-Nowak oceniam bardzo pozytywnie. Niezależnie od przytoczonych przez mnie uwag doktorantka udowodniła, iż posiada kompetencje badawcze, jakich oczekuje się od osób ubiegających się o tytuł doktora. **Stwierdzam więc, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska spełnia warunki określone art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478, 619, 1630).** W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr Emilii Kolady-Nowak do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.





INSTYTUT PSYCHOLOGII UKSW

ul. Wóycickiego 1/3 bud. 14 | 01-938 Warszawa; telefon: 22 569 96 02 fax: 22 569 96
k.kucharska@uksw.edu.pl

Prof. dr. hab. n.med. Katarzyna Kucharska

Instytut Psychologii Uniwersytetu im. Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Warszawa, 12.04.2025

Recenzja pracy doktorskiej mgr Emilii Kolada-Nowak

pt. Funkcjonalna organizacja ciała migdałowatego podczas asocjacyjnego uczenia się u ludzi

Rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem Pani promotor dr hab. Iwony Szatkowskiej

Wprowadzenie do problematyki badawczej

Asocjacyjne uczenie się polega na wytwarzaniu skojarzeń między bodźcem neutralnym a wzmocnieniem (uczenie się klasyczne) lub między zachowaniem a wzmocnieniem jako skutku tego zachowania (uczenie się instrumentalne).

Asocjacyjne uczenie się jako proces tworzenia skojarzeń między bodźcem a wzmocnieniem, opiera się na mechanizmie błędu predykcji (PE) rozumianego jako różnica pomiędzy

wzmocnieniem otrzymanym a oczekiwanym. Kluczowe badania dotyczące kompleksów środkowo-przyśrodkowego (CMA) i podstawno-bocznego (BLA) ciała migdałowego koncentrują się na ich roli w procesach asocjacyjnego uczenia się oraz sygnalizowania błędów predykcji. Badania przeprowadzone na zwierzętach wykazały, że CMA i BLA pełnią różne funkcje w kodowaniu emocji i uczeniu się. CMA jest często związany z reakcjami behawioralnymi, podczas gdy BLA odgrywa kluczową rolę w przetwarzaniu emocjonalnym i integracji informacji sensorycznych. Przeprowadzone badania miały na celu szczegółowe określenie funkcjonalnej organizacji ciała migdałowego, w szczególności kompleksów CMA i BLA, podczas apetytywnego i awersyjnego uczenia się klasycznego oraz instrumentalnego u ludzi. Wykorzystując metody fMRI oraz złożone wzmocnienia o charakterze pokarmowo-społecznym, badano różnice między lewą a prawą półkulą mózgu oraz specyficzne role kompleksów CMA i BLA. Wyniki projektu doktorskiego dostarczyły cennych informacji na temat różnic funkcjonalnych tych struktur w kontekście kodowania błędów predykcji oraz ich potencjalnego znaczenia w zaburzeniach związanych z odżywianiem oraz otyłości w konsekwencji deficytów w uczeniu się spowodowanych błędami predykcji w kontekście pokarmowo-społecznym.

Konstrukcja pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska została przygotowana w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki OPUS 2014/15/B/HS6/03658 kierowanym przez Panią promotor dr hab. Iwonę Szatkowską.

Procedura badawcza omówiona w niniejszej rozprawie została zatwierdzona przez Komisję ds. Etyki Badań Naukowych Wydziału Psychologii Uniwersytetu SWPS w Warszawie (numer wniosku 17/2015).

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska liczy 110 stron wraz z piśmiennictwem, streszczeniem w języku polskim i języku angielskim, wykazem skrótów oraz dołączoną listą publikacji Pani doktorantki.

Wstęp jest wprowadzeniem w objętości 23 stron w omawiane zagadnienia badawcze. Celem wstępu było uporządkowanie wiedzy teoretycznej w logiczny ciąg tematyczny. Przedstawiono w nim w formie opisowej i graficznej złożone procedury eksperymentalne badania w paradygmacie uczenia się klasycznego oraz uczenia się instrumentalnego. Część teoretyczna zawiera bogaty i szczegółowy przegląd literatury przedmiotu.

Celem niniejszej pracy było określenie roli kompleksów CMA i BLA w lewej i prawej półkuli mózgu w różnych aspektach asocjacyjnego uczenia się u ludzi. W badaniach uwzględniono reakcje CMA i BLA na błąd predykcji popełniany podczas: (1) klasycznego uczenia się opartego na wzmocnieniu apetytywnym i awersyjnym oraz (2) instrumentalnego uczenia się opartego na wzmocnieniu apetytywnym i awersyjnym.

Do parcelacji ciała migdałowatego zastosowano metodę RQA. W analizach uwzględniono nasilenie wybranych cech osobowości (ekstrawersji i neurotyczności), ponieważ badania w liczbie 38 nad przetwarzaniem nagród i błędów predykcji (Klucken i in., 2019; Smillie i in., 2019) wykazały, że te cechy mogą modulować aktywność ciała migdałowatego. Ze względu na zastosowanie wzmocnień pokarmowych oraz wyniki badań sugerujące wpływ nadwagi na wrażliwość na nagrodę (Davis i Fox, 2008; Stice i Yokum, 2016) i efektywność uczenia się asocjacyjnego wzmacnianego nagrodą pokarmową (Zhang i in. 2014), w analizach uwzględniono też wielkość wskaźnika masy ciała (ang. body mass index; BMI).

W badaniach wykorzystano wzmocnienia o charakterze pokarmowo-społecznym i uwzględniono apetytywne i awersyjne uczenie się klasyczne oraz apetytywne i awersyjne uczenie się instrumentalne. Aktywność kompleksów CMA i BLA w lewej i prawej półkuli mózgu była analizowana podczas przetwarzania pozytywnych i negatywnych błędów predykcji (PE). Uzyskane wyniki wykazały, iż aktywność kompleksu CMA w lewej półkuli mózgu, związana z sygnalizowaniem PE, obserwowano we wszystkich warunkach, w których w ogóle zarejestrowano aktywność w ciele migdałowatym (podczas klasycznego uczenia się: sygnalizowanie negatywnego PE w apetytywnym i awersyjnym uczeniu się; podczas instrumentalnego uczenia się: sygnalizowanie negatywnego i pozytywnego PE w apetytywnym uczeniu się). Oznacza to, że CMA w lewej półkuli pełni ważną rolę w procesach uczenia się na podstawie błędów predykcji. Wynik ten potwierdza udział CMA w dostosowywaniu zachowania do zmieniających się warunków otoczenia, ale dodatkowo sugeruje, że u ludzi kluczową rolę w tym procesie pełni CMA w lewej półkuli mózgu. Interesujące okazały się wyniki, iż kompleks CMA w lewej półkuli mózgu był tą częścią ciała migdałowatego, której aktywność związana z sygnalizowaniem PE korelowała z cechami osobowości (ekstrawersją i neurotycznością) oraz wskaźnikiem BMI. Ponieważ te czynniki mogą modulować motywacyjne znaczenie bodźców, uzyskane wyniki wskazują na szczególną wrażliwość lewego CMA na zmiany w stanach motywacyjnych, co potwierdza kluczową rolę tej struktury w asocjacyjnym uczeniu się. Wynik ten jest zgodny z wcześniejszymi danymi sugerującymi związek między aktywnością ciała migdałowatego

a nasileniem ekstrawersji i neurotyczności oraz wielkością wskaźnika BMI, jednak dodatkowo wskazuje na kluczową rolę aktywności lewego CMA w tych relacjach. W przypadku sygnalizowania negatywnego PE podczas klasycznego, apetytywnego uczenia się, aktywności CMA w lewej półkuli mózgu towarzyszyła aktywność CMA w prawej półkuli. Oznacza to, że CMA w obu półkulach reagują wtedy, gdy osoba badana oczekuje apetytywnego wzmocnienia i jest zaskoczona pojawieniem się bodźca neutralnego. Aktywność BLA w lewej półkuli obserwowano tylko w przypadku sygnalizowania pozytywnego PE podczas instrumentalnego, apetytywnego uczenia się. Oznacza to, że ta struktura reaguje tylko wtedy, gdy osoba badana nie spodziewa się bodźca apetytywnego (nagrody za swoją reakcję), a go otrzymuje. Aktywność lewego BLA może odzwierciedlać rolę tej struktury w podejmowaniu decyzji w obliczu otrzymania niespodziewanej nagrody. Uzyskane wyniki wskazują na bardziej uniwersalną rolę kompleksu CMA w lewej półkuli mózgu w kodowaniu błędów predykcji w toku uczenia się asocjacji, podczas gdy prawy kompleks CMA i lewy kompleks BLA zdają się pełnić bardziej unikatowe role. Rozdział piąty dyskusji został przeprowadzony dojrzałe w oparciu o adekwatnie dobrane najnowsze pozycje piśmiennictwa prezentujące wyniki innych autorów. W rozdziale 6 - podsumowanie i wnioski, Autorka w sposób opisowy przedstawiła wnioski, które wypunktowane odzwierciedlają uzyskane wyniki. Rozdział 7 zawiera opis ograniczeń badania, który wskazuje na dojrzałość badawczą Doktorantki i zdolność do krytycznego spojrzenia na własny projekt.

Cytowana literatura jest bogata, liczy aż 223 pozycje, w tym pięć polskich prac. Świadczy o gruntownym przeszukaniu baz danych i dużej znajomości literatury dotyczącej podjętego tematu.

3. Ocena merytoryczna pracy

Rozprawa doktorska, której przedmiotem jest funkcjonalna organizacja ciała migdałowatego w asocjacyjnym uczeniu się u ludzi, reprezentuje ambitne i pionierskie podejście badawcze w dziedzinie neuronauki. Uwzględnienie zarówno uczenia apetytywnego, jak i awersyjnego, zarówno w paradygmatach klasycznym, jak i instrumentalnym, pozwoliło na szeroką analizę procesów uczenia się.

Doktorantka jasno określiła kluczowe pytania dotyczące roli kompleksów CMA i BLA w kodowaniu apetytywnych i awersyjnych błędów predykcji. Strukturę pracy wyróżnia przejrzystość i logiczna sekwencja działań badawczych. Oryginalność badania polega na

wprowadzeniu bodźców pokarmowo-społecznych, co dodaje nowy wymiar do analizy procesów uczenia się. Korelacja aktywności mózgowej z cechami osobowości (ekstrawersją i neurotycznością) oraz wskaźnikiem BMI wnosi ważne spostrzeżenia dotyczące motywacyjnej regulacji procesów uczenia się. Przedstawione badania w sposób przekonujący pokazują znaczenie błędów predykcji w procesach uczenia się oraz ich korelację z aktywnością w określonych kompleksach ciała migdałowatego (CMA i BLA).

Do pracy nie mam większych uwag merytorycznych poza pewnymi uchybieniami natury formalnej.

W rozprawie doktorskiej Doktorantka przedstawiła krytyczną analizę ograniczeń pracy, która pozostaje spójna z moimi spostrzeżeniami poniżej.

Relatywnie nieduża liczba uczestników w obu eksperymentach ($N=37$ oraz $N=33$) może wpływać na możliwość generalizacji wyników. W obu eksperymentach uczestniczyły różne grupy osób badanych, ale wykorzystano ten sam zestaw bodźców, a procedury badawcze zastosowane w obu eksperymentach zostały maksymalnie ujednolicone. W związku z tym można sądzić, że otrzymane wyniki odzwierciedlają różnice w zaangażowaniu CMA i BLA w klasyczne i instrumentalne uczenie się, mimo że te różnice nie zostały potwierdzone statystycznie.

Badania koncentrowały się jedynie na zdrowych uczestnikach, co ogranicza ich zastosowanie w analizie mechanizmów patologicznych.

Stosowanie bodźców pokarmowo-społecznych mogło też wpłynąć na jednolitość wyników, szczególnie w kontekście kulturowym lub indywidualnych preferencji smakowych.

Doktorantka w opisie ograniczeń pracy słusznie zauważyła potrzebę zastosowania różnych stężeń roztworu NaCl, dopasowanych do preferencji poszczególnych osób badanych w przyszłych badaniach. Wykluczy to problem zbyt małej intensywności bodźca i jednocześnie pomoże w udzieleniu odpowiedzi na pytanie o aktywność ciała migdałowatego podczas nabywania asocjacji między zachowaniem a jego nieprzyjemną konsekwencją.

Biorąc pod uwagę uczestników badania, jednym z kryteriów włączających do badania był - brak rozpoznania zaburzeń psychicznych w przeszłości lub aktualnie. Biorąc pod uwagę, iż w populacji ogólnej poziom depresyjności i lękowości często jest zaskakująco wysoki warto byłoby w przyszłych badaniach wprowadzić skale kliniczne do oceny depresji, lęku) np. HADS i skalę zaburzeń odżywiania, np. EAT-26.

W opisie procedury badawczej- w rozdziale przygotowanie do badania, w dniu eksperymentu osoby badane poddane zostały ocenie psychologicznej, która nie została opisana w tekście dysertacji.

Przekrojowy charakter badania uniemożliwia ocenę związków przyczynowo skutkowych.

W dysertacji zabrakło oddzielnych rozdziałów ukierunkowanych na opis korzyści wynikających z badania oraz praktycznych implikacji. Ponadto doktorantka nie przedstawiła kierunków przyszłych badań. Szczególnie interesującym kierunkiem dalszych badań byłoby wprowadzenie grup klinicznych (np. z chorobą otyłościową lub kompulsywnym objadaniem się), co mogłoby znacząco poszerzyć potencjalne aplikacje wyników.

Opinia końcowa

Podsumowując, oceniany projekt pracy doktorskiej jest ambitnym przedsięwzięciem badawczym. Zwraca uwagę innowacyjność realizowanej problematyki badawczej, głębia konceptualizacji oraz nowatorska metoda w nauce polskiej jak również światowej. Sposób realizacji pracy pomimo powyższych zastrzeżeń dowodzi na posiadanie wiedzy teoretycznej, wskazuje na umiejętność konceptualizacji Doktorantki, tworzenia warsztatu badawczego oraz dyskusji uzyskanych wyników.

Rozprawa doktorska stanowi wybitny wkład w badania nad asocjacyjnym uczeniem się u ludzi, podkreślając kluczową rolę błędów predykcji w procesach poznawczych oraz ich neuronalne podstawy. Mimo pewnych ograniczeń, praca stanowi wyjątkowy wkład w naukę polską i światową, otwierając nowe kierunki badań nad rolą ciała migdałowatego w regulacji procesów uczenia się i motywacji jasnym ukierunkowaniem na praktyczne zastosowania wyników

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Wyniki badania mają istotne implikacje dla zrozumienia mechanizmów zaburzeń, takich jak otyłość czy zaburzenia odżywiania, co otwiera możliwości dalszych badań.

W końcowej ocenie stwierdzam, iż praca doktorska spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku. Prawo o szkolnictwie wyższymi nauce (Dz.U. z 2023r. poz.742 z późn.zm.).

Mam zatem zaszczyt wnioskować do Rady Naukowej Instytutu Biologii Doświadczalnej o dopuszczenie mgr Emilii Kolady-Nowak do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora. Jednocześnie wnoszę o wyróżnienie pracy, z uwagi na jej wysokie walory metodologiczne, poznawcze i aplikacyjne oraz dorobek naukowy Pani doktorantki (wskaźnik Hirscha bez autocytowań $h=3$).

Prof. dr hab. n. med. Katarzyna Kucharska

18.05.2025

Dr hab. Szymon Wichary, prof. UJ
Instytut Psychologii, Wydział Filozoficzny
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

Funkcjonalna organizacja ciała migdałowatego podczas asocjacyjnego uczenia się u ludzi

Autor: Mgr Emilia Kolada-Nowak

Promotor: Dr hab. Iwona Szatkowska

Tematyka neuronalnych mechanizmów uczenia się jest centralnym tematem psychologii i neuronauki od wielu lat, czego konsekwencją są wyniki badań fundamentalne dla naszego zrozumienia jednej z najważniejszych cech ludzkiego umysłu i układu nerwowego. Niemniej jednak w tej dziedzinie cały czas są obszary słabo zbadane oraz takie, które otwierają się dla eksploracji dzięki rozwojowi nowoczesnych metod badawczych. Jednym z takich obszarów jest rola ciała migdałowatego w procesie uczenia, a dokładnie specyficzny udział jego poszczególnych części w tym procesie. Praca doktorska mgr Emilii Kolady-Nowak wpisuje się w ten nowoczesny nurt badawczy, dotyczy ona bowiem badań z wykorzystaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego nad neuronalnymi mechanizmami uczenia, co stanowi ważny krok w kierunku udzielenia precyzyjnej, wyczerpującej odpowiedzi na to pytanie.

Autorka pracy do zbadania interesujących jej zagadnień użyła nowatorskich metod eksperymentalnych opartych na klasycznych, ugruntowanych paradygmatach badawczych z psychologii uczenia się, połączonych z obrazowaniem funkcji poszczególnych części ciała migdałowatego, co z kolei opiera się na rozwoju metod parcelacji ciała migdałowatego na podstawie obrazowania struktury i aktywności mózgu przy pomocy rezonansu magnetycznego. Te badania i analizy zostały poprzedzone szczegółowym wstępem teoretycznym w oparciu o aktualną literaturę przedmiotu, która wskazała kierunki poszczególnych badań.

Formalny opis rozprawy

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska jest napisana w języku polskim, jest ona oparta na dwóch kompleksowych eksperymentach z użyciem rezonansu magnetycznego,

wprowadzonych, opisanych i przedyskutowanych w siedmiu rozdziałach, uzupełnionych bibliografią i spisem publikacji, przedstawiających wyniki omawianych w pracy badań. Łącznie, praca mieści się na stu dziesięciu stronach, zawiera streszczenia po polsku i angielsku, wykaz stosowanych skrótów, wstęp teoretyczny oraz założenia i cel pracy, opis eksperymentu pierwszego, opis eksperymentu drugiego, dyskusję, podsumowanie i wnioski oraz omówienie ograniczeń przedstawionych badań.

Ocena merytoryczna

We **wstępie teoretycznym** (Rozdział 1.) Autorka omawia tematykę badań nad procesami asocjacyjnego uczenia się i ich neuronalnymi mechanizmami. Co ważne, szczegółowo omawia błąd predykcji – centralne pojęcie we współczesnych badaniach nad uczeniem, umożliwiające łączenie koncepcji czysto psychologicznych z badaniami mechanizmów neuronalnych. Następnie omawia szczegółowo modele asocjacyjnego uczenia się, poczynawszy od modeli klasycznych do bardziej współczesnych.

W kolejnych podrozdziałach wstępu teoretycznego Autorka omawia strukturę i funkcje ciała migdałowatego oraz rolę czynników modulujących aktywność tej struktury, po czym przechodzi do szczegółowego omówienia aktualnej wiedzy nt. roli ciała migdałowatego w procesie uczenia się sterowanego błędami predykcji.

Kolejny podrozdział jest poświęcony przeglądowi współcześnie dostępnych metod parcelacji ciała migdałowatego. Autorka omawia w nim dostępne w literaturze metody oraz, na tym tle, omawia metodę, którą współtworzyła, opartą na rekurencyjnej analizie ilościowej. Metoda ta posłużyła później Autorce do analizy danych i uzyskania własnych wyników. Takie zestawienie wyników w zakresie metod analitycznych z wynikami własnych badań empirycznych to ważne osiągnięcie, pokazujące dojrzałość Autorki i jej zespołu badawczego.

Ostatnie podrozdziały wstępu są poświęcone związkom aktywności ciała migdałowatego w kontekście uczenia się z różnicami indywidualnymi w zakresie takich cech osobowości, jak neurotyczność i ekstrawersja. Ta część wstępu jest, a przynajmniej powinna być, bardzo interesująca dla psychologów zajmujących się badaniem różnic indywidualnych, ponieważ, mimo, że jest dość krótka, uzmysławia, ile już zdążyliśmy się dowiedzieć na temat neuronalnych podstaw takich fundamentalnych cech osobowości, jak neurotyczność czy ekstrawersja. Dlatego uważam te podrozdziały za ważne, pozostając jednak z pewnym niedosytem, dlatego, że są one takie krótkie. Proszę Autorkę o odniesienie się do tej uwagi w trakcie obrony.

Ogólnie, wstęp teoretyczny jest napisany bardzo elegancko i przejrzysto i odwołuje się do szerokiej, aktualnej literatury przedmiotu – Autorka korzysta z literatury dotyczącej zarówno badań na zwierzętach, badań z użyciem modeli obliczeniowych procesu uczenia się, jak i badań nad ludźmi, zarówno czysto behawioralnych, jak i z użyciem metod neuroobrazowania oraz badań neuroanatomicznych. Z tych powodów, wstęp łącznie z rozdziałem omawiającym

założenia i cel pracy (Rozdział 2.), stanowi bardzo solidne wprowadzenie do prezentowanych następnie badań.

W **Rozdziale 3.** Autorka przedstawia **pierwsze badanie eksperymentalne** nad rolą ciała migdałowatego w uczeniu się klasycznym.

Metoda. Centralną częścią każdego eksperymentu jest procedura eksperymentalna, łącznie z planem eksperymentalnym. Autorka w podrozdziale 3.1. Materiały i metody omawia szczegółowo, na czterech stronach, przygotowanie i plan pierwszego badania. Badanie pierwsze jest oparte na paradygmacie uczenia klasycznego, pawłowskiego, z wykorzystaniem bodźców apetytywnych, neutralnych i awersyjnych. Bodźcami tymi były porcje płynów o smaku smacznym, neutralnym i niesmacznym, podawane przy pomocy pomp i strzykawek do ust osoby badanej znajdującej się w skanerze rezonansu magnetycznego.

Przy dokładnym czytaniu tego opisu uderza ilość pracy włożonej w zaprojektowanie, przygotowanie i przeprowadzenie tego badania oraz pomysłowość procedury badawczej. Badana próba ($n=38$) jest duża jak na standardy badań fMRI i idealnie zbalansowana pod względem płci – co wcale nie jest oczywiste w tego rodzaju badaniach. W ramach przygotowań do badania przeprowadzono procedurę oceny bodźców oraz ocenę cech osobowości przy pomocy uznanego kwestionariusza NEO-FFI.

Sam plan eksperymentalny dobrze odpowiada na postawione pytanie badawcze – w trakcie czterech sesji eksperymentalnych badani uczyli się związków między wskazówkami a bodźcami apetytywnymi vs. neutralnymi i awersyjnymi vs. neutralnymi. Plan jest opisany przejrzysto, w czym wydatnie pomaga Rycina 4. Należy tu podkreślić, że znakomita większość psychologicznych badań z użyciem fMRI opiera się na użyciu bodźców wzrokowych, więc zastosowanie naturalistycznych bodźców smakowych (płyny smaczny, niesmaczny i neutralny), przygotowanych z dużą dbałością o ich skuteczność, należy uznać za bardzo oryginalny wkład do takich badań. Dodatkowo, oprócz tych bodźców smakowych, dodatkowymi bodźcami były krótkie filmy przedstawiające ekspresję mimiczną osoby pijącej napój smaczny, niesmaczny lub neutralny – użycie klipów video zamiast statycznych zdjęć jest również bardzo pomysłowe i wydaje się sensowne z punktu widzenia badań nad emocjami.

Analizy statystyczne, modelowanie, analiza danych fMRI, Wyniki. Analiza zebranych danych składała się z kilku etapów. Na początku Autorka przedstawia analizę danych deklaratywnych i behawioralnych. W kwestii analizy danych deklaratywnych trochę mnie dziwi rezygnacja z użycia testów parametrycznych, które pozwalają na dużo więcej analiz niż testy nieparametryczne, np. na analizę interakcji czynników. Rozumiem oczywiście argument nt. rozbieżności rozkładów zmiennych od rozkładu normalnego, ale może dało się ten problem rozwiązać przy pomocy przekształcania zmiennych?

Analiza danych behawioralnych jest bardzo zaawansowana, ponieważ opiera się na modelowaniu procesów uczenia się, przy pomocy opisanych w literaturze i omówionych przez

Autorkę we wstępie modeli obliczeniowych. Ta część (podrozdział 3.2.3) jest dość krótka – zawiera opis modelu najlepiej dopasowanego do danych (model Rescorli-Wagnera) oraz wyniki porównania modeli przy pomocy współczynnika AIC, mimo to, ww. informacje są wystarczające, żeby zrozumieć istotę tej analizy. Jednak wydaje mi się, że bardziej szczegółowe przedstawienie tych analiz powinno się znaleźć w załączniku. Inna wątpliwość jaką tutaj mam, to fakt porównywania uśrednionych współczynników AIC przy pomocy nieparametrycznego testu statystycznego. Przecież współczynnik AIC można również obliczyć na danych zagregowanych i nie trzeba wtedy obliczać średnich i wykonywać zbędnych testów istotności różnic między tymi średnimi. Proszę Autorkę o szczegółowe omówienie procesu modelowania danych behawioralnych w trakcie obrony.

Przetwarzanie i analiza danych fMRI została przeprowadzona znanych reguł i opisana przejrzysto. Modele statystyczne w analizie fMRI uwzględniały szczegóły planu eksperymentalnego. Ogólnie, podoba mi się podejście zastosowane w pracy skoncentrowane na obszarze zainteresowania, bez raportowania danych z analizy aktywności całego mózgu, ponieważ przesłanki, żeby się skupić na ciele migdałowatym jako obszarze zainteresowania w kontekście uczenia się, są silne. Podobnie dobrze uzasadnione przez Autorkę jest analizowanie aktywności ciała migdałowatego i jego części osobno dla każdej półkuli.

Wyniki eksperymentu pierwszego są zaprezentowane bardzo przejrzysto. Przy całej złożoności analizy danych behawioralnych i fMRI, Autorka przedstawiła ich wyniki w przekonujący sposób. W tym kontekście, szczególnie podoba mi się z raportowania wyników analiz z użyciem alternatywnych metod, które prowadziły do tych samych wniosków. Takie spojrzenie z różnych perspektyw, prowadzące do spójnych wniosków, zawsze pomagają przekonać czytelnika, co do słuszności wniosków. Ciekawe wyniki dały analizy korelacji odpowiedzi BOLD z cechami osobowości, bo pozwoliły zawęzić obszar zainteresowania do lewego kompleksu CMA podłoża anatomicznego różnic w zakresie tych cech, w kontekście uczenia się.

W **Rozdziale 4.** Autorka opisuje swój drugi eksperyment, którego celem było zbadanie roli ciała migdałowatego w uczeniu się instrumentalnym.

Metoda. Eksperyment 2. Został przeprowadzony według tego samego schematu (łącznie z wielkością próby) co Eksperyment 1., z uwzględnieniem jedynie niewielkich różnic w paradygmacie behawioralnym wynikających z różnic między uczeniem się klasycznym a instrumentalnym.

Analizy statystyczne, modelowanie, analiza danych fMRI, Wyniki. Również przetwarzanie i analizy danych zostały wykonane wg tych samych schematów, co w Eksperymentie 1. Wyniki zostały przedstawione równie przejrzysto jak w E1. Analizy danych deklaracyjnych i behawioralnych przyniosły wyniki bardzo podobne do pierwszego badania. Co do wyników fMRI, to różniły się one od wyników w E1, czego można było oczekiwać, ze względu na inny proces uczenia się analizowany w E2. Ogólnie, wyniki te można uznać za bardziej

zróznicowane niż w przypadku E1, a co za tym idzie, ich obraz, mimo przejrzystości prezentacji, jest nieco mniej spójny niż w przypadku E1.

W Rozdziale 5. Dyskusja Autorka omawia wyniki obydwu eksperymentów łącznie. Ze względu na rygor eksperymentalny i zastosowaną metodę obrazowania pracy mózgu Autorka w Dyskusji jest w stanie wyciągnąć wyraźne, jednoznaczne wnioski na temat roli poszczególnych części ciała migdałowatego w dwóch typach uczenia się u ludzi. Należy to podkreślić – precyzja w sformułowaniu pytań badawczych i planów eksperymentalnych pozwala Autorce na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków – jest to niewątpliwie zasługa Autorki i dowód na jej dojrzałość jako badaczki.

Autorka odnosi uzyskane wyniki do szerokiej literatury przedmiotu, włączając w dyskusję wyniki badań na ludziach i innych zwierzętach, z użyciem metod neurofizjologicznych i molekularnych. Bardzo podoba mi się struktura Dyskusji, gdzie Autorka omawia rolę poszczególnych części amygdali, osobno dla lewej i prawej półkuli, osobno dla każdego typu uczenia się. Należy docenić fakt, że Autorka jest w stanie odnieść swoje wyniki do tak szerokiej gamy badań. Również bardzo cenne jest odniesienie się w dyskusji do dominującej w tym obszarze badań teorii Aktor-Krytyk, który pozwala na uzyskanie spójności w interpretacji własnych różnorodnych wyników. W dwóch ostatnich rozdziałach, 6. i 7. Autorka omawia syntetycznie wnioski płynące ze swoich badań oraz ograniczenia tych badań. Łącznie z Dyskusją, te rozdziały stanowią wyraźny dowód na dojrzałość Autorki, która potrafiła uzyskać istotny wgląd w badane przez siebie zjawiska i zaprezentować go czytelnikom pracy.

Podsumowując, mgr Kolada-Nowak przedstawiła spójną, niezwykle wartościową pracę omawiającą zaawansowane metodologicznie i oryginalne badania, poparte wyrafinowanymi analizami danych i dogłębną dyskusją uzyskanych wyników. Łącznie, praca wykonana przez Autorkę w kwestii przygotowania teoretycznego, przygotowania i wykonania badań, jak i analizy danych i dyskusji wyników stanowi solidny i ważny wkład do nauki.

Konkluzja

Na podstawie powyższych uwag konkluduję więc, że Doktorantka w wysokim stopniu posiada kompetencje badawcze, jakich oczekuje się od kandydatów na stopień naukowy doktora oraz od naukowców na dalszych etapach kariery. **Stwierdzam zatem, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.). W związku z powyższym, wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Biologii Doświadczalnej o dopuszczenie mgr Emilii Kolady-Nowak do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.**

Z poważaniem

Szymon Wichary