

Lozanna, 19 czerwiec 2025

Recenzja rozprawdy doktorskiej mgr Agnieszki Glicy pt. "Rethinking the neural noise hypothesis of dyslexia: from multisensory integration to excitation/inhibition imbalance"

Promotor: Prof. Katarzyna Jednoróg

Recenzent: Dr. Pawel Matusz, Institute of Health, School of Health, HES-SO Valais-Wallis & The SENSE Research & Innovation Center, University of Lausanne & HES-SO Valais-Wallis

Ocena ogólna pracy doktorskiej

Praca doktorska mgr Agnieszki Glicy skupia się na analizie biologicznych podstaw dysleksji związanych z płcią i fundamentalnymi mechanizmami neuronalnymi. W pracy wykorzystano komputerowe i papierowe testy funkcji (wielo)sensorycznych i poznawczych, a także rejestrację elektrofizjologicznej aktywności mózgu za pomocą elektroencefalografu (EEG), u nastolatków i młodych dorosłych z dysleksją. Przeprowadzono dogłębną analizę aktywności EEG związanej z bodźcami (technika ERP), a także aktywności oscylacyjnej i aperiodycznej, aby uzyskać korelaty mózgowe reakcji sensorycznych i integracji wielozmysłowej, oraz markery równowagi pobudzenia i hamowania neuronalnego. Chociaż doktorantka otrzymała wsparcie w przeprowadzaniu eksperymentów laboratoryjnych, samodzielnie wykonała szczegółowe i zaawansowane analizy psychofizyczne, neurobiologiczne, modelowania i statystyczne. Rozprawa doktorska, napisana w języku angielskim, w jasny i przejrzysty sposób przedstawia pytania badawcze oraz systematycznie opisuje przeprowadzone kompleksowe analizy. Rozprawa opiera się na nagromadzających się aktualnych dowodach naukowych, które pomogły zinterpretować uzyskane wyniki behawioralne i EEG. W trakcie studiów doktoranckich kandydatka opublikowała wyniki związane z badaniami przeprowadzonymi w ramach pracy doktorskiej w formie dwóch artykułów naukowych w renomowanych międzynarodowych czasopismach jako pierwsza autorka; opublikowała ona także wiele dodatkowych artykułów w innej dziedzinie psychologii i neuronauki, co podkreśla jej szeroką wiedzę i zaawansowane umiejętności techniczne niezbędne do prowadzenia badań naukowych na poziomie międzynarodowym.

Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

Doktorantka wykazuje bardzo dobrą znajomość biologicznych i psychologicznych podstaw dysleksji. We wstępie rozprawy kandydatka w sposób szczegółowy przedstawia deficyty poznawcze i (multi)sensoryczne w dysleksji, a także jej neuronalne podstawy oraz powiązane biologiczne czynniki, ze szczególnym uwzględnieniem heterogeniczności - zarówno pomiędzy różnymi badaniami i używanymi metodami, rodzajami języków, jak i deficytami prezentowanymi przez pacjentów, nawet tych mówiących tym samym językiem. Praca zyskałaby jeszcze więcej na wartości, gdyby dysleksja była bardziej szczegółowo przedstawiona w ramach bardziej ogólnych ram rozwoju mózgu oraz zaburzeń rozwoju i uczenia się, co mogłoby pomóc w interpretacji uzyskanych obszernych i złożonych danych behawioralnych i EEG.

Dogłębną wiedzę kandydatki z zakresu biologicznych i psychicznych podstaw dysleksji znajduje odzwierciedlenie w dobrze zorganizowanym i precyzyjnym opisie analiz umiejętności językowych i czytania, uwagi i integracji multisensorycznej, jak i analiz EEG typu ERP, aktywności oscylacyjnej i aperiodycznej. Kandydatka skutecznie wykorzystała tę wiedzę w analizie i interpretacji danych badawczych, prezentując wysoki poziom merytoryczny. Co istotne, rozprawa nie ogranicza się jedynie do opisu różnic behawioralnych i neuronalnych pomiędzy

zidentyfikowanymi podgrupami, lecz podejmuje próbę spójnej interpretacji rozbudowanego zestawu złożonych wyników. Ponadto kandydatka wykazała się bardzo dobrą znajomością istniejących modeli dysleksji oraz biegłością w zakresie modelowania behawioralnego oraz analiz statystycznych.

Ocena samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Kandydatka zaprezentowała szeroki zakres umiejętności, świadczący o wysokim poziomie samodzielności w prowadzeniu badań naukowych. Praca oparta jest na zastosowaniu różnorodnych analiz funkcji psychicznych na podstawie danych psychofizycznych i typu „kartka i ołówki”, oraz analiz mechanizmów i korelatów neuronalnych. W sposób rygorystyczny i zgodny z obecną wiedzą, tradycyjne analizy tych danych zostały połączone z zaawansowanymi, nowoczesnymi analizami. Na szczególne uznanie zasługuje samodzielnie przeprowadzona, dogłębna analiza relacji pomiędzy specyficznymi funkcjami psychicznymi i różnorodnymi mechanizmami neuronalnymi - od wstępnego przetwarzania danych, przez kompletne tradycyjne analizy danych behawioralnych i EEG, oraz zaawansowane analizy aktywności EEG związanej z wydarzeniami, periodycznej i aperiodycznej, interakcje między tymi dwoma poziomami danych, aż po analizy bayesowskich użyte do wnioskowania statystycznego.

Rozprawa mogłaby zyskać na bardziej szczegółowym przedstawieniu szczegółowych hipotez dla każdej z przeprowadzonych analiz, zwłaszcza w kontekście użycia specyficznych typów pomiarów i względnej siły dowodów na kierunek oczekiwanych porównań. Głębsza analiza najbardziej odpowiednich typów pomiarów mogłaby uprościć analizy i interpretacje, podczas gdy analiza siły dowodów mogłaby pozwolić na ich integrację w, więc i wzmocnienie, bayesowskich analiz statystycznych.

Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego

Praca mgr Agnieszki Glicy dostarcza nowatorskiej analizy podstaw biologicznych dysleksji związanych z czynnikiem płci oraz fundamentalnymi mechanizmami neuronalnymi. Potwierdza ona model wielokrotnych deficytów dysleksji, poprzez przedstawienie nowych, rygorystycznych dowodów behawioralnych i neuronalnych na ważną rolę procesów integracji multisensorycznej w dysleksji, oraz wzbogacenie dyskusji w tym kontekście poprzez wykazanie po raz pierwszy ważnej roli płci w zredukowanym w dysleksji poziomie tych procesów. Co istotne, praca wnosi nową jakość dzięki obszernej i pogłębionej analizie relacji pomiędzy procesami związanymi z czytaniem i neuronalnymi mechanizmami periodycznymi i aperiodycznymi, oferując nowe (negatywne) dowody dla zasadności hipotezy neuronalnego szumu w kontekście dysleksji.

Rozprawa wnosi również nowe rozumienie dotyczące roli w dysleksji oscylacyjnych mechanizmów neuronalnych i mechanizmów neuronalnych szerokiego pasma, wskazując na potencjalnie przecenioną rolę w tym kontekście obu mechanizmów. Szczególnie istotne jest podkreślenie znaczenia odseparowania odpowiedzi neuronalnych typu oscylacyjnego od aktywności aperiodycznej oraz odpowiedniej wielkości testowanej próby, które - w przeciwieństwie do istniejących obecnie, notabene rzadkich, przykładów badań - wykazały ograniczoną rolę hipotezy szumu neuronalnego w wytłumaczeniu deficytów czytania, definiujących dysleksję. Zwrócono także słusznie uwagę na rolę używania analiz frekwencyjnych w porównaniu do bayesowskich w ocenie dowodów statystycznych względem roli różnych procesów psychicznych i mechanizmów neuronalnych w dysleksji.

Ze względu na trudność w zintegrowaniu bardzo heterogenicznych i sprzecznych wyników dotyczących teoretycznych zależności pomiędzy badanymi konstruktami, oraz odpowiednich typów pomiarów do użycia do badania tych zależności, bazowanie na istniejących modelach teoretycznych w przypadku hipotezy szumu neuronalnego stanowi cenną charakterystykę obecnej pracy. Co mogłoby wzmocnić identyfikację mechanizmów zależności, to

próba szczegółowych propozycji odnośnie sposobów w jaki podstawowe mechanizmy szumu neuronalnego doprowadzają do deficytów w integracji multisensorycznej lub świadomości fonologicznej, i jakby się to przejawiało w wyselekcjonowanych typach pomiarów neuronalnych i ich wynikach. Próba zbudowania podobnych modeli na podstawie istniejących badań dla roli różnic płciowych w przetwarzaniu multisensorycznym także byłaby atutem. Istotną wartością pracy jest mimo to próba rozwiązania niejasności dotyczących stosunków pomiędzy różnymi konstruktami i poziomami wyjaśnienia poprzez obszerne analizy powiązanych typów pomiarów, wsparte użyciem zaawansowanych nowoczesnych podejść analitycznych, modelowych oraz statystycznych. Interesujące by było w tym kontekście przeprowadzenie zintegrowanych badań wszystkich czynników i zmiennych przy użyciu tych samych zadań i podejść (tzn. zintegrowanie części I i II pracy).

Perspektywa dalszych badań została poprawnie przedstawiona, w szczególności jej powiązanie z dobrym zrozumieniem siły przedstawionych w pracy dowodów oraz potencjalnych ograniczeń przeprowadzonych badań. Kandydatka słusznie wskazała, że wyniki badań dotyczących roli płci w deficytach integracji wielozmysłowej w dysleksji są pierwszymi tego typu badaniami i jako takie powinny zostać zreplikowane. Słuszna jest także obserwacja, że chociaż przeprowadzone analizy obejmowały dużą próbę, jej wielkość nadal mogła być zbyt mała by wykryć pewne efekty (to mogłoby być wzmocnione także poprzez próbę przedstawienia bardziej szczegółowych hipotez). Wreszcie, pomysł integracji w przedstawionych badaniach nowych modeli dotyczących roli synchronizacji korowej w dysleksji świadczy o tym, że kandydatka nie przestaje aktualizować swojej wiedzy w jej dziedzinie.

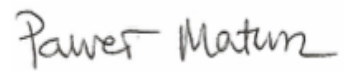
Podsumowanie

Rozprawa doktorska mgr Agnieszki Glicy stanowi doskonały przykład pionierskiego zintegrowania czynników biologicznych, procesów multisensorycznych (wpływających na uczenie się i zachowanie w naturalnych środowiskach, ale które są tradycyjnie niebadane w badaniach problemów czytania), modeli fundamentalnych mechanizmów neuronalnych oraz zaawansowanych metod analiz danych behawioralnych i neuronalnych w celu pogłębienia wiedzy z zakresu biologii dysleksji. Innowacyjne techniki analizy specyficznych typów aktywności EEG w połączeniu z obszerną analizą ich powiązań z konstruktami poznawczymi, i biologicznymi typu płeć, podkreślają światowy poziom badań prowadzonych w laboratorium. Pomimo pewnych ograniczeń wynikających z różnorodności przeprowadzonych testów, praca przedstawia solidne i przekonujące wyniki, stanowiąc istotną podstawę do dalszych badań nad mechanizmami dysleksji. Szczególnie istotne jest, że tworzenie i testowanie wielopoziomowych modeli zaburzeń uczenia się i rozwoju ma duży potencjał by dostarczyć nowych odkryć, również pod względem projektowania nowych, spersonalizowanych terapii, dostosowanych do fenotypu zaburzeń pacjenta. Rozprawa zasługuje na wyróżnienie nie tylko ze względu na zastosowanie nowoczesnych modeli biologicznych i zaawansowanych narzędzi analitycznych w odpowiedzi na klinicznie istotne pytania, lecz także dzięki wysokiemu poziomowi interpretacji uzyskanych złożonych danych. Podczas gdy wiele współczesnych prac w tym kontekście koncentruje się głównie na identyfikacji nowych markerów specyficznych deficytów, praca mgr Agnieszki Glicy wykracza poza takie podejście, oferując pogłębione i naukowo poprawne badanie interakcji pomiędzy różnymi poziomami wyjaśnienia w tworzeniu deficytów czytania w dysleksji.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr Agnieszki Glicy pt. " Rethinking the neural noise hypothesis of dyslexia: from multisensory integration to excitation/inhibition imbalance " 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 Agnieszki Glicy do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Paweł Matusz, PhD

A handwritten signature in black ink that reads "Paweł Matusz". The script is cursive and fluid, with the first name and last name clearly distinguishable.



**Uniwersytet
SWPS**

Ustanów, dnia 30 czerwca 2025 roku

dr hab. Aneta Brzezicka, prof. Uniwersytetu SWPS

Wydział Psychologii

Instytut Psychologii

SWPS Uniwersytet Humanistycznospołeczny

Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

**“Rethinking the neural noise hypothesis of dyslexia:
from multisensory integration to excitation/inhibition imbalance.”**

Autorka: mgr Agnieszka Glica

Promotorka: Prof. dr hab. Katarzyna Jednoróg

Omówienie rozprawy

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska składa się z 11 części, streszczeń (po polsku i angielsku), wykazu stosowanych skrótów, spisu publikacji, wykazu literatury i materiałów dodatkowych. Całość zawiera się w 140 stronach i została (poza jednym ze streszczeń) napisana w języku angielskim. Praca została przygotowana w tradycyjnej formie (mamy część teoretyczną, wprowadzającą do hipotez, po których następuje opis badań dotyczących integracji multisensorycznej oraz szumu neuronalnego, przeprowadzonych analiz i uzyskanych wyników, praca kończy się dyskusją); spełnia wymogi formalne rozprawy doktorskiej. Realizacja badań przedstawionych w pracy przeprowadzona została w ramach grantu OPUS, którego kierownikiem jest promotorka pracy.

Praca porusza zagadnienie różnic płciowych w integracji multisensorycznej u osób z dysleksją oraz weryfikuje hipotezę szumu neuronalnego w oparciu o psychofizjologiczne markery tego zjawiska. Doktorantka wykonała badanie na dużej, starannie dobranej próbie dorosłych osób dyslektycznych i nie dyslektycznych, wykonała prerejestrację badania, zastosowała bardzo nowoczesne podejście do analizy danych, co w połączeniu z bardzo dobrym stylem pisania przełożyło się na merytorycznie wartościową i przy okazji niezwykle przyjemną w odbiorze całość. Moja ogólna ocena przedstawionej mi do recenzji pracy jest bardzo pozytywna, poniżej przedstawiam krótka charakterystykę i ocenę każdej części pracy oraz całociowego dorobku doktorantki.



Streszczenia, spis treści i wykaz skrótów. Streszczenia jasno przedstawiają cel pracy, problem badawczy oraz główne wyniki. Spis treści jest dobrze zorganizowany i pokazuje klarownie strukturę pracy. Wprowadzenie, cele, metody, wyniki, dyskusja, bibliografia, publikacje doktoranta i materiały uzupełniające. Użyte w pracy skróty objaśnione prawidłowo.

Rozdział pierwszy (Introduction). Rozdział pierwszy pokazuje szerokie tło dysleksji: od definicji klinicznej i jej rozpowszechnienie, przez główne koncepcje poznawcze aż po propozycję, że istotnym, niedostatecznie zbadanym, czynnikiem ryzyka są zaburzenia niskopoziomowej integracji wielozmysłowej. Autorka omawia także różnice płci w dysleksji i wskazuje, że dotychczas pomijano je w badaniach nad integracją sensoryczną. Dalej opisuje neuronalną sieć zaangażowaną w proces czytania wraz z opisem badań wskazujących na jej hipoaktywację w dysleksji, pokazując jednocześnie rozbieżności wyników i możliwą moderującą rolę płci. Zaprezentowana została także hipoteza „szumu neuronalnego”, która wiąże nadmierną pobudliwość korową (E/I) – mierzoną biomarkerami EEG 1/f, beta i gamma – z deficytami charakterystycznymi dla dysleksji, autorka wskazuje przy tym, że dotąd brak rozstrzygających badań w tym zakresie. Tak zarysowany przegląd teoretyczny jasno prowadzi do sformułowania celów pracy. Całość spełnia wysokie standardy przeglądu literatury, jasno uzasadnia cele doktoratu i stanowi solidną podstawę do dalszych rozdziałów.

Rozdział drugi (Original study). Sekcja metodologiczna jest rzetelnie zaprojektowana i transparentna: jasno powiązuje hipotezy z procedurami pomiaru, opisuje zestaw kryteriów włączenia. Układ rozdziału jest klasyczny; logicznie prowadzi od hipotez do opisu grupy i metod pomiaru zmiennych. Rozbudowana sekcja 2.2 pokazuje dbałość o transparentność (pełne kryteria, analiza mocy, szczegóły EEG), co wzmacnia wiarygodność procedury zbierania danych. Ogółem struktura spełnia podręcznikowe standardy raportu badań eksperymentalnych na poziomie doktoratu.

Rozdział trzeci i czwarty (Multisensory integration – materials & methods/ results). Rozdział, w którym Doktorantka opisuje zastosowaną metodologię badawczą jest napisany rzetelnie, zgodnie z aktualnymi standardami w badaniach neuroobrazowych i psychologicznych. Projekt badania, łączący dane samoopisowe, behawioralne i EEG podczas wykonywania zadania jak i podczas *resting-state*, jest bardzo dobrze zaplanowany. Opis procedur (m.in. preprocessing, zaplanowane analizy) jest kompletny i zapewnia replikowalność badania. Klarownie podano liczebność próby (44 + 44), kryteria włączenia/wyłączenia, informację o dodatkowej analizie na podpróbie 80 osób w celu wykluczenia wpływu nierównego IQ. Ogólnie część metodologiczna pokazuje wysokie kompetencje autorki w zakresie projektowania badań. Rozdział poświęcony analizom danych jest także bardzo dobry i odzwierciedla strukturę hipotez badawczych.

Rozdział piąty (Multisensory integration – discussion). W tej sekcji Doktorantka omawia wyniki dotyczące pierwszego celu rozprawy – oceny, czy deficyty niskopoziomowej integracji audiowizualnej w dysleksji różnią się między kobietami i mężczyznami. Na poziomie behawioralnym – choć czasy reakcji (RT) były klasycznie krótsze



w warunku audiowizualnym, tylko mężczyźni z dysleksją wykazali istotnie mniejszą korzyść z bodźców audiowizualnych (AV) niż pozostali badani. Efekt utrzymał się po kontroli wieku oraz w podpróbie wyrównanej pod względem IQ niewerbalnego. Również w zapisie EEG dyslektycy – zarówno kobiety, jak i mężczyźni – mieli słabszą odpowiedź AV w komponentach N1 i N2 oraz opóźnioną latencję N2, co potwierdza, że integracja wzrok-słuch zachodzi u nich mniej efektywnie. Podsumowując, w tej pracy reakcja audiowizualna jest rzeczywiście słabsza u osób z dysleksją, przy czym najsilniej widać to u mężczyzn. Bardzo mi się podoba jak Doktorantka konfrontuje uzyskane wyniki z literaturą i pokazuje dlaczego prace z nadreprezentacją chłopców (lub bez raportu płci) notowały większe deficyty, a badania z parytetem – mniejsze lub zerowe. Podoba mi się także umieszczenie tego wątku w szerszej perspektywie i nawiązanie do spektrum autyzmu i sugestii, że deficyt AV to dodatkowy czynnik ryzyka specyficzny dla mężczyzn, niezależny od deficytów fonologicznych. Dyskusja spełnia standardy pracy doktorskiej: prezentuje wyniki w kontekście teorii, krytycznie je analizuje, wskazuje ograniczenia i przyszłe kierunki. Choć badanie dotyczyło dorosłych, wskazuje konkretne, mierzalne ogniwo (niskopoziomową integrację wzrokowo-słuchową), które można włączać do diagnostyki i treningu – szczególnie u mężczyzn.

Rozdział szósty i siódmy (Neural noise – materials & methods/results). Rozdziały dotyczące weryfikacji hipotezy szumu neuronalnego zostały opracowane z dużą dbałością o szczegóły metodologiczne i transparentność raportowania. Doktorantka umiejscawia badanie w modelu Hancock et al. (2017) i prawidłowo dobiera parametry EEG (aperiodyczne: exponent, offset; periodyczne: moc w poszczególnych pasmach) jako nieinwazyjne wskaźniki równowagi E/I. Brakuje mi uzasadnienia o tym dlaczego tylko pasmo beta było analizowane, podczas gdy na wykresach widma mocy widoczne są różnice w pasmie alfa między grupą dyslektyczną i kontrolną i przesunięte do suplementu. Wydaje się to ciekawym wątkiem, wartym zaraportowania i namysłu. Liczebność próby w tym badaniu ($N = 120$) jest bardziej niż przyzwoita, brakuje mi natomiast uwzględnienia zmiennej IQ w analizach, podobnie do analiz ERP.

Rozdział ósmy (Neural noise – discussion). Rozdział ten podsumowuje wyniki testujące hipotezę szumu neuronalnego zakładającą nadmierne pobudzenie korowe u osób z dysleksją jako wyjaśnienie ich trudności w czytaniu. Wbrew przewidywaniom Doktorantka nie stwierdziła różnic między dyslektykami a grupą kontrolną ani w parametrach $1/f$, ani w mocy beta; także eksploracyjne wyniki dla alfa i pozostałych wskaźników nie przynoszą efektów grupowych, przynajmniej w analizie Bayesowskiej. Jedyne statystycznie istotny wynik pojawia się w korelacjach: wyższa moc beta w lewym zakręcie skroniowym górnym łączy się (słabo, ale konsekwentnie) z lepszą świadomością fonemiczną, a analiza mediacyjna sugeruje, iż właśnie przez fonologię beta może pośrednio wspierać płynność czytania. Całość prowadzi Doktorantkę do wniosku, że u adolescentów i młodych dorosłych dysleksja nie wiąże się z globalnie podwyższonym „szumem neuronalnym” indeksowanym wskaźnikami z EEG w związku z czym postuluje ona, aby przyszłe prace sięgnęły po bardziej bezpośrednie miary (np. MRS), młodsze populacje oraz skupiły się na innych mechanizmach – takich jak precyzja czasowa czy zwiększona zmienność odpowiedzi neuronalnych. Brakuje mi także tutaj refleksji nad rolą pasma alfa, komentarz



Doktorantki ogranicza się do stwierdzenia braku efektu (w analizie Bayesowskiej) i przytoczenia kilku sprzecznych wyników z literatury; brakuje mi dyskusji możliwej roli rytmu alfa w mechanizmach uwagi i hamowania (top-down inhibition vs. cortical idling). Rozdział zyskałby na wyraźniejszym podsumowaniu ograniczeń EEG jako biomarkera E/I (porównanie z MRS, TMS-SI) oraz na wyraźniejszych sugestjach dalszych badań.

Rozdział ósmy (Neural noise – discussion). W podsumowaniu Doktorantka wraca do dwóch głównych osi rozprawy: prób wyodrębnienia specyficznych, zależnych od płci deficytów integracji wielozmysłowej oraz falsyfikacji hipotezy szumu neuronalnego jako przyczyny problemów poznawczych w dysleksji. Dyskusja scala rezultaty behawioralne z neurofizjologicznymi: potwierdza klasyczne dla dysleksji braki w fonologii, RAN i pamięci roboczej, lecz pokazuje, że osłabiona integracja audiowizualna – mierzona zadaniem RTE – dotyczy przede wszystkim mężczyzn z dysleksją, co otwiera nową perspektywę badawczą i wskazuje na płęć męską jako czynnik ryzyka dysleksji a także innych zaburzeń neurorozwojowych. W warstwie neuronalnej Doktorantka referuje brak różnic międzygrupowych w najważniejszych markerach równowagi pobudzenie–hamowanie (exponent, offset, beta-power) zarówno w spoczynku, jak i w zadaniu językowym, a po podobne analizy dla fal alfa i pozostałych wskaźników z pasma beta odsyła do suplementu. Zabrakło mi jednak refleksji nad wynikami raportowanymi w suplementach. Zaproponowany model mediacyjny (beta STS → fonologia → czytanie) wskazuje na to, że aktywność periodyczna może pośrednio wspierać sprawność czytania. Autorka uczciwie omawia ograniczenia metody (niewielka rozdzielczość przestrzenna EEG, brak MRS) i rozbieżności z literaturą, sugerując inflację efektów w małych próbach. Całość tworzy spójną narrację, w której Doktorantka zwraca uwagę na brak uniwersalności hipotezy szumu neuronalnego w wyjaśnianiu deficytów osób dyslektycznych.

Konkludując, całość przedstawionej mi do oceny pracy oceniam bardzo wysoko, uważam, że praca doktorska pani Agnieszki Glicy może być modelowym manuskrytem. Wszystkie części pracy, zarówno przegląd literatury, opis metodologii, użytych technik statystycznych, rezultatów i następnie ich interpretacja, są napisane nie tylko merytorycznie poprawnie, ale także w sposób dbający o czytelnika. Jeśli dodamy do tego fakt, że wyniki opisane w dysertacji zostały już opublikowane, znakomitych współautorów z którymi współpracuje Doktorantka, to nie mam wątpliwości, że pani Agnieszka jest u progu wspaniałej zapowiadającej się kariery naukowej.

Omówienie dorobku Doktorantki

Dorobek naukowy Agnieszki Glicy, który został zaprezentowany na końcu dysertacji, ale także jest publicznie dostępny w jej profilu Google Scholar, świadczy o jej dużej aktywności i zaangażowaniu w badania z zakresu neuronauki, nie tylko w obrębie dysleksji, ale także uzależnień behawioralnych. Występowanie jako współautorka z różnymi zestawami badaczy świadczy o tym, że potrafi nawiązywać skuteczne kontakty naukowe.



**Uniwersytet
SWPS**

Wskaźniki bibliometryczne Doktorantki, jak na tak wczesny etap kariery naukowej, są znakomite (indeks H-5, cytacji 294 wg Google Scholar).

Konkluzja

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska prezentuje wysoki poziom wiedzy teoretycznej kandydatki do stopnia doktora, umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i oryginalnego rozwiązania problemu naukowego. W dysertacji nie zauważam uchybień. Uważam, że Doktorantka posiada kompetencje badawcze, jakich oczekuje się od kandydatów na stopień naukowy doktora. Jest współautorką [w tym także pierwszą autorką] kilku artykułów naukowych, co potwierdza opanowanie warsztatu badawczego, sprawne poruszanie się w literaturze, umiejętne stawianie i testowanie hipotez a także wartościowe dyskusowanie uzyskanych wyników.

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. Agnieszki Glicy do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora. Ze względu na bardzo wysoki poziom ocenianej pracy wnioskuję do Rady Naukowej o jej wyróżnienie.

Kraków, 7 lipca 2025

dr hab. Magdalena Senderecka, prof. UJ
Katedra Kognitywistyki
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Recenzja pracy doktorskiej mgr Agnieszki Glicy,
pt. *Rethinking the neural noise hypothesis of dyslexia:*
from multisensory integration to excitation/inhibition imbalance,
Promotor: prof. dr. hab. Katarzyna Jednoróg

Wydział Filozoficzny

Cechy formalne i wskaźniki ilościowe

Praca doktorska mgr Agnieszki Glicy ma postać klasycznej rozprawy w formie manuskryptu. Obejmuje on: abstrakt w dwóch wersjach językowych, 10 rozdziałów stanowiących główny trzon pracy, suplement z wynikami dodatkowych analiz, bibliografię oraz listę publikacji, których Doktorantka jest współautorką. Pracę otwiera „Wprowadzenie” o charakterze przeglądowo-teoretycznym, które stanowi cenne źródło informacji o aktualnych trendach w badaniach nad dysleksją. Następnie Doktorantka przedstawia cele, hipotezy i metodologię dwóch badań empirycznych, zrealizowanych w ramach pracy doktorskiej. W dalszej kolejności sukcesywnie prezentuje uzyskane wyniki, każdorazowo poddając je częściowej dyskusji. Pracę zamyka ogólna dyskusja rezultatów obu badań zwieńczona konkluzjami.

Przedstawione w rozprawie badania zostały zrealizowane w ramach grantu Opus, kierowanego przez Promotora pracy, prof. dr hab. Katarzynę Jednoróg. Warto zauważyć, że choć rozprawa nie ma formy zbioru opublikowanych artykułów, to wyniki przedstawionych w niej badań ukazały się już drukiem w dwóch renomowanych czasopismach indeksowanych w bazie *Web of Science*. Pierwszy artykuł został opublikowany w 2024 roku w neurobiologicznym piśmie *Journal of Neuroscience*, drugi w 2025 w przyrodniczym *eLife*. W obu przypadkach Doktorantka pełni rolę pierwszego autora publikacji. Zakres wyników opisanych w artykułach i przedłożonej rozprawie nieco się różni – w artykułach jest on trochę szerszy, niemniej oznacza to, że opisane w rozprawie badania z powodzeniem przeszły już proces recenzji i spotkały się z pozytywną oceną międzynarodowego środowiska naukowego. Doczekały się już również pierwszych cytowań.

Praca została sporządzona w języku angielskim i cechuje się bardzo wysokim poziomem językowym. Styl wypowiedzi jest dojrzały i precyzyjny, a argumentacja klarowna i dobrze ugruntowana w literaturze. Struktura pracy jest logicznie uporządkowana. Rozprawa bez wątpienia spełnia zatem pod względem formalnym i ilościowym wymagania ustawowe stawiane pracom doktorskim.

Katedra Kognitywistyki

ul. Ingardena 3

30-060 Kraków

tel. +48 (12) 663 17 99

kognitywistyka@uj.edu.pl

<https://kognitywistyka.uj.edu.pl/pl>

Przedmiot badań, uzyskane wyniki i ich ocena

Praca doktorska mgr Agnieszki Glicy koncentruje się na poszukiwaniu mózgowych mechanizmów leżących u podstaw dysleksji, podejmuje zatem aktualny i istotny problem z zakresu neuronauki poznawczej i neuropsychologii rozwojowej. W szczególności skupia się na obserwowanych u dyslektyków deficytach w integracji multisensorycznej oraz na hipotezie szumu neuronalnego. Hipoteza ta wskazuje na zwiększoną pobudliwość korową w dysleksji, tj. na dominację aktywności pobudzającej nad hamującą. Realizacji badań przyświecały zasadniczo dwa cele: (1) określenie wpływu różnic płciowych na przebieg integracji multisensorycznej podczas przetwarzania prostych bodźców wzrokowych i słuchowych u osób z dysleksją (w zestawieniu z grupą kontrolną), oraz (2) empiryczna weryfikacja hipotezy szumu neuronalnego w dysleksji. Narzędziem do osiągnięcia obu celów była zaawansowana analiza wskaźników pozyskanych z sygnału elektroencefalograficznego (EEG) przy uwzględnieniu zmiennych behawioralnych i demograficznych.

W badaniu pierwszym początkowo przeanalizowano dane z 88 osób (nastolatków i młodych dorosłych), podzielonych na grupę kliniczną i kontrolną, a następnie analizy te powtórzono na zawężonej próbie, po dopasowaniu grup pod względem niewerbalnego ilorazu inteligencji. Grupy te były także zrównoważone pod względem płci, wieku i statusu socjoekonomicznego. Analizy wskaźników behawioralnych (obejmujące modelowanie czasów reakcji na bodźce uni- i multimodalne zgodnie z *race model inequality*, RMI) wskazały na osłabioną integrację multisensoryczną u dyslektycznych mężczyzn – prezentacja multimodalna wywoływała u nich relatywnie mniejszą facylitację odpowiedzi niż u osób z grupy kontrolnej. Z kolei analizy wskaźników neurofizjologicznych (parametrów komponentów N1 i N2, zarejestrowanych w odpowiedzi na bodźce uni- i multimodalne) wskazały na osłabioną integrację multisensoryczną u dyslektyków ogółem, niezależnie od płci. Dodatkowe analizy przeprowadzone na zawężonej próbie osób dopasowanych pod względem ilorazu inteligencji niewerbalnej ujawniły, iż jedynie mężczyźni z dysleksją wykazywali mniejszą facylitację odpowiedzi na poziomie mózgowym na bodźce multimodalne, przy czym efekt ten dotyczył wyłącznie parametrów komponentu N1 w półkuli lewej. Oznacza to, że deficyty integracji multisensorycznej mogą być bardziej nasilone u dyslektycznych mężczyzn niż u kobiet. W konsekwencji badanie to rzuca nowe światło na powiązane z płcią uwarunkowania, które mogą stać za trudnościami w czytaniu u osób dyslektycznych.

Z kolei w badaniu drugim, poświęconym weryfikacji hipotezy szumu neuronalnego w dysleksji, w analizach uwzględniono dane ze 120 osób, podzielonych na grupę kliniczną i kontrolną (88 osób z pierwszego badania było podzbiorem tej próby). W analizach uwzględniono zarówno wskaźniki dotyczące sygnału aperiodycznego, tj. nachylenia widma,

jak i periodycznego, a konkretnie mocy sygnału w paśmie beta (uwzględniona w hipotezach moc sygnału w paśmie gamma nie została finalnie przeanalizowana z względu na brak możliwości oddzielenia aktywności oscylacyjnej w paśmie gamma od aperiodycznej aktywności tła). Wyniki analiz nie wykazały różnic międzygrupowych w żadnym z przeanalizowanych wskaźników równowagi pobudzenia/hamowania (E/I) w aktywności korowej. Dotyczyło to zarówno sygnału EEG zarejestrowanego w czasie spoczynku, jak i podczas zadania językowego. Dodatkowe analizy mediacyjne wykazały, iż moc pasma beta (w sygnale zebranym z elektrod położonych nad lewym górnym zakrętem skroniowym) była pozytywnie skorelowana ze świadomością fonologiczną, a ta z kolei z szybkością czytania, (przy braku bezpośredniego związku między mocą sygnału w paśmie beta i szybkością czytania). Wyniki badania nie potwierdziły zatem hipotezy szumu neuronalnego w dysleksji, wykazały jednak, że różnice indywidualne w mocy pasma beta mogą być funkcjonalnie istotne dla procesów językowych, gdyż w sposób pośredni (poprzez świadomość fonologiczną) mogą wpływać na umiejętność czytania.

Moja ogólna ocena pracy doktorskiej mgr Agnieszki Glicy jest jednoznacznie pozytywna. Doktorantka połączyła dwa istotne kierunki badań nad dysleksją – (1) dotyczący funkcjonowania systemu integracji sensorycznej oraz (2) skoncentrowany na neurofizjologicznych markerach szumu neuronalnego – w spójną i nowatorską koncepcję badawczą. Dokonała rzetelnego przeglądu wyników wcześniejszych badań oraz teorii, w ramach których były one dyskutowane. Szczegółowo sformułowała i uzasadniła stojące za badaniami hipotezy, a następnie w ich świetle wyczerpująco przedyskutowała uzyskane wyniki. Omówiła także ograniczenia przeprowadzonych badań i wskazała na możliwość ich dalszego, wielotorowego rozwinięcia. **Przedłożona rozprawa doktorska bez wątpienia świadczy zatem o ugruntowanej i szerokiej wiedzy teoretycznej Doktorantki.**

Od strony metodologicznej Doktorantka podjęła się przeprowadzenia złożonych badań behawioralnych i neurofizjologicznych na próbie, której liczebność znacząco wykracza poza standardy typowe dla nurtu badań nad dysleksją. Liczba osób badanych została uzasadniona odpowiednio dobranymi analizami mocy. Zadania badawcze (multisensoryczne i językowe) oraz narzędzia do oceny zdolności czytania i procesów z nim powiązanych zostały dobrane w staranny i przemyślany sposób, podobnie jak uwzględnione w analizach kowarianty (typu wiek) i zmienne kontrolowane. Doktorantka odwołała się do zaawansowanych metod analizy sygnału EEG, uwzględniając zarówno wskaźniki powiązane z potencjałami związanymi ze zdarzeniem, jak i miary wywodzące się z analiz częstotliwościowych. W kontekście tych drugich, nie ograniczyła się do analizy widma mocy sygnału periodycznego (oscylacji mieszczących się w różnych zakresach pasm), ale odwołała się także do wskaźników

aktywności aperiodycznej (tj. aktywności tła). Analizy statystyczne przeprowadziła przy użyciu odpowiednio dobranych narzędzi, uwzględniając poprawki na wielokrotne porównania oraz stosując testy permutacyjne i analizy Bayesowskie. Opis wyników, jak i ich prezentacja wizualna zostały opracowane z dużą dbałością o ich czytelność. Jak już wspomniano, badania zostały przeprowadzone w ramach projektu Opus, kierowanego przez prof. dr hab. Katarzynę Jednoróg, zatem ich realizacja jest z pewnością wypadkową zaangażowania Doktorantki i wsparcia ze strony całego zespołu, w szczególności Promotora. Nie mam jednak wątpliwości, że **rozprawa świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę.**

W mojej ocenie do najbardziej wartościowych wyników, przedstawionych w rozprawie, należy zaliczyć:

(1) Zidentyfikowanie różnic płciowych w integracji multisensorycznej u dyslektyków. Analizy wykazały, iż deficyty w integracji prostych bodźców audiowizualnych mogą występować wyłącznie u dyslektycznych mężczyzn, o czym świadczą zarówno wskaźniki behawioralne, jak i mózgowe. Warto podkreślić, że różnice płciowe stanowią obszar rzadko analizowany w kontekście dysleksji, mimo występowania znacznej asymetrii w liczbie diagnoz u mężczyzn i kobiet.

(2) Krytyczna weryfikacja hipotezy szumu neuronalnego w dysleksji, przeprowadzona z wykorzystaniem nowoczesnych metod analizy periodycznego i aperiodycznego sygnału EEG, co stanowi bardzo ważne uzupełnienie dotychczasowej literatury przedmiotu.

(3) Zidentyfikowanie pośrednich relacji między markerami szumu neuronalnego (mocą sygnału w paśmie beta) a zdolnością czytania.

Praca wnosi istotny wkład do wiedzy na temat neurobiologicznych podstaw dysleksji, wspiera wieloczynnikowy model tego zaburzenia, wskazuje na potrzebę personalizacji diagnozy oraz interwencji terapeutycznych. Otwiera także nowe kierunki badań, uwzględniających możliwość istnienia odmiennych ścieżek rozwoju trudności w czytaniu u kobiet i mężczyzn. Nie mam wątpliwości, że tym samym **rozprawa mgr Agnieszki Glicy stanowi też oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.**

Uwagi, stanowiące punkt wyjścia do dalszych przemyśleń i dyskusji

Z recenzenckiego obowiązku poniżej zamieszczam kilka bardziej szczegółowych uwag, które w moim odczuciu mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych przemyśleń czy dyskusji. Nie obniżają one pozytywnej oceny dzieła mgr Agnieszki Glicy. Stanowią raczej wskazówki do ewentualnego uwzględnienia w przyszłych pracach badawczych.

(1) W pracy doktorskiej komponent N2 został zaliczony do kategorii komponentów sensorycznych. Komponent ten pojawia się relatywnie wcześnie (z reguły między 200 a 300 ms po prezentacji bodźca) i bywa analizowany w kontekście integracji multisensorycznej, natomiast funkcjonalnie związany jest raczej z kategoryzacją bodźców na mniej lub bardziej istotne i ich analizą uwagową. Wcześniejsze komponenty, takie jak P1 i N1, są bardziej jednoznacznie powiązane z analizą sensoryczną. Dodatkowo – jak zauważa sama Doktorantka – w przypadku prób z szybkim czasem reakcji komponent N2 może być zaszumiony aktywnością związaną z ruchem (jego przygotowaniem lub inicjacją). Wyniki analiz dotyczące N2 w kontekście integracji multisensorycznej powinno się zatem interpretować z pewną ostrożnością.

(2) W badaniu drugim zastosowano podejście oparte na analizie sygnału, pochodzącego z trójelektrodowych klastrów, a same klastry przypisano do określonych rejonów kory mózgowej. W tym kontekście warto z kolei zaznaczyć, że każda elektroda zbiera uśrednioną aktywność z rozległego obszaru kory, stąd rozdzielczość przestrzenna sygnału EEG jest ogółem niska. W konsekwencji przypisywanie konkretnych klastrów elektrod do ściśle określonych zakrętów czy bruzd kory (np. zestawu T7/TP7/FT7 do górnej bruzdy skroniowej) należy traktować jako mocno niepewne przybliżenie topograficzne. W kontekście analiz tak czułych na zakłócenia jak biomarkery E/I warto zachować zatem pewną powściągliwość w przypisywaniu zmian w nachyleniu widma do konkretnych struktur.

(3) W badaniu drugim Doktorantka zastosowała metodę parametryzacji widma mocy z użyciem algorytmu FOOOF, dopuszczając modelowanie pików oscylacyjnych. Było to oczywiście uzasadnione przyjętymi celami badawczymi, zwłaszcza analizą aktywności periodycznej (np. mocy sygnału w zakresie pasma beta) po odjęciu sygnału aperiodycznego. Potencjalnie mogło to jednak wywołać pewne negatywne konsekwencje, gdyż pozwolenie algorytmowi FOOOF na wykrywanie zmiennej liczby pików (np. nieskończonej: `max_n_peaks = infinite`, na co wskazują informacje z artykułu z *eLife*) może prowadzić do spadku rzetelności estymacji parametrów aperiodycznych (nachylenia widma i przesunięcia), szczególnie gdy liczba prób jest ograniczona. Wynika to z faktu, że zmienna liczba wykrywanych pików między próbami wprowadza niekontrolowaną zmienność w zakresie punktów widma, które służą do estymacji sygnału aperiodycznego. Ta zmienność wprowadzana jest też między elektrodami, warunkami rejestracji, osobami badanymi itd. W konsekwencji przyjęta konfiguracja mogła (choć nie musiała) ograniczać rzetelność uzyskanych miar aperiodycznych. W związku z tym warto rozważyć przeprowadzenie dodatkowych analiz sygnału aperiodycznego przy użyciu algorytmu FOOOF bez dopuszczenia modelowania pików (`foof-0peak`). Takie podejście

oczywiście nie pozwoli na ocenę aktywności periodycznej, może jednak posłużyć jako walidacja stabilności oszacowań dotyczących sygnału aperiodycznego.

(4) Warto rozważyć także przeprowadzenie analizy rzetelności miar aperiodycznych (nachylenia widma i przesunięcia), np. poprzez określenie zgodności między próbami parzystymi i nieparzystymi (ang. *odd-even split reliability*). Analiza taka pozwoliłaby ocenić stabilność miar aperiodycznych w obrębie danej osoby i warunku rejestracji (stan spoczynku vs zadanie językowe). Określenie rzetelności pomiaru jest szczególnie istotne w badaniach dotyczących różnic indywidualnych oraz przy interpretacji wyników negatywnych. Uwzględnienie takiej analizy mogłoby dodatkowo potwierdzić trafność psychometryczną użytych wskaźników.

Uwagi podsumowujące

Zmierzając do finalnej konkluzji warto podkreślić, że rozprawa oraz powiązane z nią dwa artykuły stanowią jedynie część dorobku naukowego mgr Agnieszki Glicy. Doktorantka jest także współautorką siedmiu kolejnych artykułów anglojęzycznych, opublikowanych w uznanych międzynarodowych czasopismach, a ponadto dwóch prac polskojęzycznych. Publikacje te stanowią doniesienia z badań realizowanych w ramach projektów kierowanych m.in. przez dra hab. Karola Lewczuka i prof. dra hab. Mateusza Gołę. Oznacza to, że mgr Agnieszka Glica doskonale odnajduje się w różnych kontekstach badawczych i jest cenionym członkiem zespołów.

W ramach finalnej konkluzji, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Agnieszki Glicy zasługuje na jednoznacznie pozytywną ocenę. Przedstawione w pracy badania empiryczne wskazują na wysokie kompetencje Doktorantki w zakresie planowania i prowadzenia badań behawioralnych i neurofizjologicznych, a także w zakresie analizy i interpretacji uzyskanych wyników. Doktorantka posiada także obszerną wiedzę teoretyczną dotyczącą interesującego ją przedmiotu i bardzo dobrze orientuje się w związanej z nim literaturze. Przygotowana przez nią praca doktorska świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy badawczej i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Rozprawa bez wątplenia spełnia zatem 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 Agnieszki Glicy do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora. Zgłaszam również wniosek o wyróżnienie przygotowanej przez nią rozprawy doktorskiej.