



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autorka: Nastaran Hamedisheihani

Tytuł: *Tytuł: Identifying objective EEG and eye-tracking biomarkers for modulation of cognitive functions* (Identyfikacja obiektywnych biomarkerów opartych na EEG i śledzeniu wzroku, służących modulacji funkcji poznawczych)

Promotor: dr hab. inż. Michał T. Kucewicz

Dyscyplina: informatyka techniczna i telekomunikacja

Recenzent: dr hab. Jakub Szewczyk, prof. UJ

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

Rozprawa ma formę pracy opartej na cyklu publikacji i liczy 111 stron. Składa się z pięciu rozdziałów tworzących część ramową (wprowadzenie, tło poznawcze, techniki pomiarowe, rozdział metodologiczny oraz dyskusja) oraz dwóch publikacji, których pierwszą autorką jest Doktorantka: Hamedi i in., *Epilepsia* 66:1274–1287 (2025) oraz Hamedi i in., *Scientific Reports* (2026, w druku). Obie prace są dostępne w otwartym dostępie, w obu wkład Doktorantki jako pierwszej autorki został jasno określony, a dane z obu badań publicznie zarchiwizowano. Pod względem formalnym jest to wyjątkowo klarowna sytuacja, co podkreślić, zanim przejdę do kwestii, które potencjalnie rozwiązałbym inaczej.

Chciałbym również od razu przedstawić końcową ocenę, aby objętość rozdziału 7 nie została niewłaściwie zinterpretowana: uważam tę rozprawę za solidną i użyteczną pracę, która jednoznacznie zasługuje na nadanie stopnia doktora. Moje zastrzeżenia dotyczą przede wszystkim tego, jak daleko idą interpretacje wyników, oraz rozwiązań praktyk statystycznych, nie zaś jakości danych, kompetencji Doktorantki ani rzetelności przeprowadzonych badań. Ponieważ rozprawy nie można już zmienić, większość uwag traktuję jako materiał do dyskusji podczas obrony oraz wskazówki dla dalszych badań.

1. Problem naukowy rozprawy i to, czy został jasno sformułowany

Główna teza głosi, że sygnały fizjologiczne rejestrowane za pomocą EEG, iEEG i pupilometrii mogą zostać przekształcone — poprzez przetwarzanie sygnałów, analizę statystyczną i uczenie maszynowe — w ilościowe biomarkery umożliwiające obiektywny pomiar sprawności poznawczej oraz zmienności związanej z pamięcią, zarówno pomiędzy osobami, jak i pomiędzy próbami. Z tezy wynikają cztery hipotezy, a praca jest zorganizowana wokół dwóch poziomów zmienności: międzyosobowego (Badanie I) i międzypróbowego w obrębie jednej osoby (Badanie II).

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Problem jest jasno sformułowany, a podział na dwa poziomy zmienności jest moim zdaniem najlepszym pomysłem organizującym rozprawę. To użyteczny sposób uporządkowania programu badań nad biomarkerami, a Doktorantka konsekwentnie odwołuje się do tego podziału aż po końcowe wnioski.

Mam trzy zastrzeżenia dotyczące samego sformułowania.

Tytuł obiecuje więcej, niż uzasadniają dane. Sformułowanie „...biomarkery służące modulacji funkcji poznawczych” sugeruje, że w pracy podjęto próbę modulacji (interwencji) albo przynajmniej wykazano, że opisane markery mogą stanowić cele modulacji. Tymczasem w żadnym z badań nie przeprowadzono modulacji; neurofeedback i stymulacja pojawiają się wyłącznie jako pomysły na przyszłe badania. Tytuł „Biomarkery sprawności poznawczej” opisywałby zawartość rozprawy znacznie precyzyjniej. Podobny problem dotyczy określenia „biomarkery oparte na śledzeniu wzroku”: wykorzystano jedynie powierzchnię zrenicy, natomiast punktu fiksacji w ogóle nie analizowano.

Faculty of Philosophy

Niektóre hipotezy w obecnym sformułowaniu są trudne do sfalsyfikowania.

H1 („spektralne cechy EEG różnią się systematycznie między grupami charakteryzującymi się różnym poziomem sprawności poznawczej”) jest niemal gwarantowana przy 31 elektrodach, siedmiu pasmach i czterech miarach; równie trudno wyobrazić sobie wynik, który rzeczywiście obaliłby H3 („cechy fizjologiczne [...] zawierają informację o sprawności poznawczej i pamięciowej, którą można wyodrębnić metodami statystycznymi i obliczeniowymi”). Najciekawsza jest H4, ponieważ definiuje konkretne porównanie i punkt odniesienia — i to wokół niej zbudowałbym rozprawę. Podczas obrony chętnie usłyszałbym, jak Doktorantka sformułowałaby bardziej precyzyjne i rzeczywiście falsyfikowalne wersje H1–H3.

Institute of Psychology

Słowo „obiektywny” wydaje się wiele obiecywać, ale nigdzie nie jest zdefiniowane. Argument przedstawiony zarówno w rozprawie, jak i w Badaniu I jest taki, że na zachowanie wpływają leki, sen, nastrój i poziom czujności, a zatem miary fizjologiczne są bardziej obiektywne. Nie jestem przekonany, że drugi wniosek wynika z pierwszego. Czołowa aktywność theta jest co najmniej równie wrażliwa na te same czynniki, a być może nawet bardziej: zmęczony uczestnik może częściowo skompensować gorszą dyspozycję w zadaniu behawioralnym większym wysiłkiem, dokładniejszym sprawdzaniem odpowiedzi i wolniejszym reagowaniem; sygnał theta nie ma takiej możliwości. Zastanawiam się więc, czy „obiektywny” oznacza tutaj „wolny od wpływu czynników zakłócających”, czy po prostu „niewymagający świadomej odpowiedzi uczestnika”.

Powiązany problem dotyczy konstruktów, który ma być mierzony. „Funkcja poznawcza” nie jest jednorodnym konstruktem, co dobrze pokazuje Tabela 1 w Badaniu I: cztery miary CANTAB dzielą jedynie 9–45% wariancji, a więc w dużej mierze odnoszą się do odmiennych aspektów funkcjonowania. W praktyce marker z Badania I jest markerem tego, co mierzy CANTAB, a jednocześnie CANTAB służy jako kryterium odniesienia, względem którego ocenia się ten marker. Taki sposób rozumowania jest częściowo **cyrkularny**: jeśli EEG ma być lepszą miarą, potrzebne byłoby niezależne, trzecie kryterium, względem którego można porównać EEG i CANTAB. Mam wrażenie, że rzeczywistym celem

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl

Doktorantki było raczej wykazanie związku między EEG a wynikami CANTAB — celu równie interesującego, a znacznie łatwiejszego do obrony.

Odpowiedź na pytanie 1: tak, problem jest jasno i zasadnie sformułowany, choć ujęty bardziej stanowczo — a w tytule szerzej — niż na to pozwalają dowody.

2. Czy Autorka rozwiązała problem, przy użyciu odpowiednich metod, wykazując opanowanie metodologii badawczej

Oba badania zostały zaprojektowane, przeprowadzone, przeanalizowane i opublikowane w czasopiśmie recenzowanych, w tym jedno w wiodącym czasopiśmie klinicznym w tej dziedzinie. W tym podstawowym sensie problem został podjęty i odpowiedź jest twierdząca.

Jeśli chodzi o metodologię, zakres zastosowanych narzędzi jest szeroki i wyraźnie opanowany przez Doktorantkę: wstępne przetwarzanie EEG z usuwaniem artefaktów przy użyciu ICA, automatycznego klasyfikatora i kontroli wzrokowej; dekompozycja spektralna sygnałów EEG ze skóry głowy i sygnałów wewnątrzczaszkowych; selekcja elektrod za pomocą nienadzorowanego modelu mieszanin Gaussowskich, prowadzona bez dostępu do etykiet poziomu wykonania; ANOVA z testami post hoc Tukeya-Kramera; liniowe modele mieszane na poziomie prób; klastrowe testy permutacyjne na poziomie osób badanych; dokładny test permutacyjny z odwracaniem znaków i statystyką $\max|t|$ w przesuwanych oknach czasowych; analiza wrażliwości typu *leave-one-subject-out*; klasyfikacja SVM z walidacją krzyżową na pacjentach niewykorzystanych podczas uczenia; oraz walidacja całej procedury klasyfikacyjnej przez permutację etykiet z użyciem statystyki maksymalnej. Hiperparametry dostrajano wyłącznie w częściach treningowych. To rzeczywisty, szeroki warsztat metodologiczny, stosowany z zamysłem, a nie na pokaz.

Szczególnie chciałbym podkreślić przeskok metodologiczny między Badaniem I a Badaniem II. Jest on znaczny i zdecydowanie idzie we właściwym kierunku. Kilka problemów widocznych w Badaniu I — łączenie obserwacji bez uwzględnienia ich zależności, traktowanie prób jako niezależnych oraz wybór okna czasowego, a następnie testowanie efektu w tym samym oknie — zostało w Badaniu II rozwiązanych wprost: osobę badaną przyjęto jako jednostkę wnioskowania, procedurę wyboru okna powtarzano wewnątrz każdej permutacji, a maksimum skuteczności klasyfikacji oceniano względem permutacyjnego rozkładu zerowego. Badanie II otwarcie raportuje również wyniki niepotwierdzające hipotez. Dla mnie jest to najmocniejszy dowód, że Doktorantka osiągnęła dojrzałość metodologiczną, którą stopień doktora powinien poświadczać, co warto podkreślić.

Odpowiedź na pytanie 2: tak — postawiony problem został rozwiązany metodami odpowiednimi dla dziedziny, a Doktorantka wykazała opanowanie metodologii badawczej, z zastrzeżeniami wymienionymi w rozdziale 7 i przy znacznej poprawie między pierwszym a drugim badaniem.



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl

3. Czy tematyka jest aktualna lub dostatecznie ważna

Tak, pod oboma względami.

Zaburzenia poznawcze współwystępujące z padaczką należą do problemów, które pacjenci konsekwentnie uznają za najbardziej obciążające, a zarówno diagnostyka, jak i terapia nadal odpowiadają na nie w niewystarczającym stopniu. Jednocześnie dziedzina szybko zmierza w stronę neuromodulacji w zamkniętej pętli i neuromodulacji celowanej, które wymagają wiarygodnej miary stanu podlegającego modulacji. Istnieje więc realne zapotrzebowanie na obiektywne, tanie i wiarygodne wskaźniki stanu poznawczego — i nie jest to zapotrzebowanie wyłącznie akademickie.

Konkretny wkład pracy jest aktualny także w węższym sensie. Niełatwo zgromadzić kohortę 86 pacjentów z oddziału monitorowania padaczki (EMU), zbadanych za pomocą klinicznie walidowanej baterii w standaryzowanym protokole podczas monitorowania wideo-EEG. Jeszcze rzadsze są jednocześnie rejestracje pupilometryczne o wysokiej rozdzielczości i sygnałów wewnętrzzaszkowych u ludzi podczas swobodnego odtwarzania. Bezpośrednie porównanie miary obwodowej z inwazyjnym pomiarem elektrofizjologicznym jest pytaniem, na które można odpowiedzieć właściwie tylko przy użyciu takiego zbioru danych. Fakt, że Badanie I stało się przedmiotem niezależnego komentarza w *Epilepsy Currents* (Zawar, 2025), jest zewnętrznym sygnałem, że środowisko kliniczne uznało ten problem za istotny.

Odpowiedź na pytanie 3: tak, temat jest aktualny i ważny.

4. Oryginalny wkład Autorki oraz jego znaczenie poznawcze lub użyteczność praktyczna

Widzę pięć konkretnych elementów wkładu.

(a) Wynik dotyczący aktywności theta w elektrodach przedczołowym (frontal pole) (Badanie I). Moc theta rejestrowana w czterech elektrodach przedczołowych współmienia się z wynikami CANTAB dotyczącymi pamięci i funkcji wykonawczych; zależność ta jest spójna w trzech podzadaniach i czterech miarach w dużej kohorcie klinicznej. Podkreślam właśnie tę spójność: nie jest to pojedynczy efekt w jednym warunku i na jednej elektrodzie, a stopniowe uporządkowanie od osób uzyskujących słabe wyniki, przez przeciętne, po osoby uzyskujące dobre wyniki jest widoczne dla każdej miary. Wynik negatywny — brak skutecznej klasyfikacji na podstawie markera — został również jawnie przedstawiony, co bardzo doceniam.

(b) Wynik dotyczący wielkości źrenicy przed prezentacją bodźca (Badanie II). Kluczowa obserwacja jest bardzo interesująca: stan fizjologiczny przed zdarzeniem niesie informację o późniejszym wyniku tego zdarzenia. Jest to więc twierdzenie o stanie poprzedzającym zdarzenie, a nie o samym pomiarze pamięci — i właśnie to stanowi element nowatorski.



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

(c) Porównanie miary obwodowej z inwazyjną (Badanie II). Wynik pokazujący, że nieinwazyjna miara dorównuje większości uproszczonych wewnątrzczaszkowych cech mocy pasmowej lub je przewyższa pod względem lokalizacji czasowej i zdolności dyskryminacyjnej, jest wartościowy — pod warunkiem uczciwego opisu punktu odniesienia, co sekcja ograniczeń artykułu rzeczywiście robi.

(d) Schemat wnioskowania statystycznego dla małych prób (Badanie II). Obejmuje on wnioskowanie na poziomie osób badanych, dokładny test z odwracaniem znaków dla całego zbioru analizowanych okien czasowych z powtarzaniem selekcji w każdej permutacji, analizę wrażliwości *leave-one-subject-out* oraz permutację etykiet z użyciem statystyki maksymalnej dla całej procedury klasyfikacyjnej. Moim zdaniem jest to najbardziej uniwersalny element wkładu i ten, który najnaturalniej wpisuje się w dyscyplinę informatyki technicznej i telekomunikacji: stanowi praktyczny schemat analizy małych wewnątrzczaszkowych zbiorów danych obejmujących np. siedmiu pacjentów, a więc sytuacji typowej dla znacznej części tej dziedziny.

(e) Dwa publicznie zarchiwizowane zbiory danych. Dane z obu badań zostały zdeponowane w publicznych repozytoriach. W dłuższej perspektywie może mieć to większą wartość niż większość pojedynczych wyników.

Jeśli chodzi o znaczenie poznawcze, praca dostarcza zestawu dobrze scharakteryzowanych potencjalnych korelatów oraz pokazuje, że zwykły sygnał obwodowy niesie informację o stanie częściowo zbieżną z informacją zawartą w pomiarach inwazyjnych. Użyteczność praktyczna pozostaje na razie potencjalna: żaden z markerów nie wykazał jeszcze skuteczności na nowych, niezależnych danych wystarczającej do zastosowania klinicznego, co sama rozprawa przyznaje w sekcji 6.3, określając je jako „potencjalne markery wymagające walidacji krzyżowej i badań prospektywnych”. Uważam to za uczciwy i adekwatny opis; wyniki są na tyle interesujące, że nie potrzebują mocniejszych określeń.

Zastrzeżenia budzą trzy miejsca, w których wkład opisano mocniej, niż wynika to z przedstawionych danych: użycie słowa „biomarker” w tytułach obu artykułów i rozprawy; sformułowanie „służące modulacji”, choć żadnej modulacji nie przeprowadzono; oraz zawarte w sekcji 4.9 twierdzenie o „ujednoliconych i odtwarzalnych ramach obliczeniowych”. Oba badania korzystają z różnych języków programowania, odmiennych procedur analitycznych, innych definicji pasm i różnych podejść statystycznych. Określenie „komplementarne” byłoby trafne; „zunifikowane” — już nie. Nie udało mi się znaleźć repozytorium kodu. Jeśli istnieje, powinno być wyraźnie wskazane, ponieważ udostępnienie kodu jest istotnym elementem odtwarzalności pracy obliczeniowej.

Odpowiedź na pytanie 4: oryginalny wkład jest rzeczywisty i obejmuje punkty a–e powyżej, z autentycznym znaczeniem poznawczym i jasno zarysowaną przyszłą użytecznością praktyczną.

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

5. Czy rozprawa wykazuje dostateczną wiedzę zaawansowaną — zarówno o charakterze podstawowym dla nauk technicznych, jak i szczegółowym, odpowiadającym obszarowi badań

Tak. Doktorantka kompetentnie porusza się między neuropsychologią kliniczną, neurofizjologią poznawczą, cyfrowym przetwarzaniem sygnałów i uczeniem maszynowym, a rozdziały ramowe pokazują, że potrafi osadzić własną pracę w odpowiedniej literaturze. Sama publikacja jako pierwsza autorka w takim czasopiśmie klinicznym jak *Epilepsia* i pomyślnie przejście procesu recenzyjnego są dowodem szczegółowej znajomości problematyki.

Niektóre kwestie podstawowe zostały jednak potraktowane nierówno; są one wymienione w rozdziale 7, więc nie będę ich tu powtarzał.

Rozdziały 2 i 3 są poprawne i dobrze zorganizowane, ale mają nieco podręcznikowy charakter: przedstawiają przede wszystkim stanowiska powszechnie przyjmowane, bez ich krytycznej oceny. Chętnie zobaczyłbym gdzieś akapit stawiający pytanie, jakie wyniki przemawiałyby przeciwko interpretacji opartej na czołowej aktywności theta, ponieważ odpowiedź na to pytanie ma znaczenie dla całej dalszej argumentacji.

Odpowiedź na pytanie 5: tak, rozprawa wykazuje wiedzę zaawansowaną zarówno o charakterze podstawowym, jak i szczegółowym, z lukami wskazanymi powyżej.

6. Czy rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia i wykazuje znajomość współczesnej literatury

Ogólnie tak. Bibliografia rozprawy liczy 115 pozycji, a dodatkowe odwołania znajdują się w obu artykułach. Dominują prace z ostatniej dekady; uwzględniono także publikacje z lat 2023–2025 dotyczące pupilometrii, wewnątrzczaszkowej fizjologii pamięci i badań nad biomarkerami. Badanie II korzysta z wyraźnie bardziej współczesnego warsztatu metodologicznego niż Badanie I.

Istnieją jednak dające się wskazać luki, z których część identyfikuję w rozdziale 7. Ponadto uwaga drobna: bibliografia zawiera kilka zduplikowanych pozycji.

Odpowiedź na pytanie 6: tak, rozprawa wykazuje znajomość współczesnej literatury i najnowszych osiągnięć w dziedzinie, z lukami wskazanymi powyżej — dotyczącymi przede wszystkim **wykorzystania literatury metodologicznej**.

7. Słabości i braki

7.0 Zagadnienia przekrojowe

Ponieważ problemy te powtarzają się w obu artykułach i w rozdziałach ramowych, omawiam je zbiorczo w tym miejscu.

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

7.0.1 Ciągłe predyktory są dzielone na kategorie. W Badaniu I wyniki z CANTAB są zmiennymi ciągłymi i obejmują szeroki zakres (około $z = -8$ do $+4$), lecz dzieli się je według progów ± 1 SD. W Badaniu II liczbę odtworzonych słów dychotomizuje się na $z = 0$. W obu przypadkach tracona jest informacja, powstają nie zrównoważone grupy i tworzy się wrażenie istnienia progów, których dane nie wykazują. Taka procedura prowadzi do zauważalnej utraty mocy statystycznej, czyli zmniejsza prawdopodobieństwo wykrycia efektu, jeśli rzeczywiście on istnieje (Altman i Royston, 2006; Cohen, 1983; MacCallum i in., 2002). Cohen (1983) pokazuje, że podział zmiennej ciągłej na dwie grupy może być porównywalny z odrzuceniem około jednej trzeciej danych. Paradoksalnie dychotomizacja może jednocześnie zwiększać ryzyko wyników fałszywie dodatnich (Maxwell i Delaney, 1993) — jest to więc podwójny koszt statystyczny. Co więcej, dyskretyzacja wprowadza sztuczne granice między kategoriami i może sugerować istnienie punktów odcięcia lub efektów progowych tam, gdzie ich nie ma (np. Altman i Royston, 2006). W sekcji 4.3 przedstawiono to jako wybór służący zwiększeniu porównywalności, co jest zrozumiałe, ale statystycznie kosztowne. Regresja lub model mieszany wykorzystujące wynik jako zmienną ciągłą pozwoliłyby zachować informacje od każdego pacjenta i z każdej próby.

7.0.2 Zależności wynikające z grupowania obserwacji nie są w pełni uwzględnione w modelach. W Badaniu I od każdego pacjenta pochodzą cztery miary, z których dwie (pamięć robocza i funkcje wykonawcze) uzyskano w tym samym zadaniu SWM. Są więc powiązane z identycznymi wartościami EEG, a jednocześnie korelują na poziomie $r = 0,67$. Mimo to analiza łączna wydaje się traktować około 344 obserwacji pochodzących od 86 osób jako wymienne (interchangeable). W Badaniu II model zawiera jedynie losowy wyraz wolny dla osoby badanej, a raportowane $df = 453$ sugeruje, że jednostką analizy są słowa, a nie listy, wbrew opisowi metody. Zależności na poziomie list pozostają więc nieuwzględnione w modelu. W obu przypadkach efektywna liczebność próby jest mniejsza, niż sugeruje liczba obserwacji.

7.0.3 Selekcja i testowanie nie zawsze są od siebie niezależne. W Badaniu I elektrody i pasma wybiera się na podstawie istotności, następnie ponownie je testuje i uśrednia, a później wyodrębnia elektrodę Nz do głównych analiz. Test Tukeya-Kramera kontroluje wielokrotność porównań w obrębie pojedynczej ANOVA, ale nie ma korekty obejmującej pełny zbiór $31 \text{ elektrod} \times 7 \text{ pasm} \times 4$ miary, z którego powstała Rycina 2. Jest to klasyczny przykład **cyrkularnej analizy („double dipping”)** opisaney przez Kriegeskorte i in. (2009): dane są wybierane do dalszego testowania na podstawie tej samej zmiennej wynikowej, co zwiększa ryzyko wyników fałszywie dodatnich. Badanie II — co należy podkreślić — bezpośrednio rozwiązuje ten problem w poprawny sposób.

7.0.4 Wnioski stają się mocniejsze w bardziej eksponowanych częściach tekstu. W obu artykułach dyskusja jest odpowiednio ostrożna, natomiast streszczenia formułują twierdzenia dalej idące. Dyskusja Badania I stwierdza, że wyniki są „jeszcze niewystarczające do zastosowania klinicznego”, po czym kończy się określeniem theta przedczołowej jako „dostępnego, wszechstronnego i odpornego biomarkera”. W Badaniu II dyskusja jasno mówi, że efekt w fazie kodowania nie przetrwał korekty, podczas gdy streszczenie podaje różnicowanie „600 ms przed prezentacją słowa i 200 ms przed wypowiedzeniem słowa podczas odtwarzania” — twierdzenie, którego analizy nie uzasadniają. Angielskie streszczenie rozprawy powtarza mocniejszą wersję („analizy przebiegu

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl

czasowego wielkości źrenicy różnicowały dobrą i słabą sprawność pamięciową podczas kodowania i odtwarzania”). W samej rozprawie są już ostrożne i trafne opisy wyników; należałoby jedynie zachować je konsekwentnie także w streszczeniach i innych eksponowanych miejscach.

7.1 Rozdział 5.1 — Badanie I

Ten rozdział czytałem z przyjemnością. Zbiór danych jest naprawdę interesujący, między innymi dzięki zastosowaniu klinicznie walidowanej baterii; główny efekt wykazano w trzech zadaniach i czterech miarach, a nie tylko w pojedynczym warunku; nieudana próba klasyfikacji również została przedstawiona; a dane są publicznie dostępne. Sekcja ograniczeń jest bardziej uczciwa niż zwykle spotykane w tej literaturze. Poniższe uwagi traktuję więc jako kwestie, o których chciałbym usłyszeć refleksję Doktorantki podczas obrony, a nie jako zarzuty podważające wartość pracy.

7.1.1 Czego właściwie jest to biomarkerem? Zob. rozdział 1 w sprawie rozumienia „obiektywności”, nieostrości mierzonego konstruktów oraz cyrkularności związanej z użyciem CANTAB. Kolejny przykład tej cyrkularności pojawia się w dyskusji, gdzie stwierdzenie, że pacjenci uzyskują niskie wyniki pamięciowe, ma „wspierać stosowanie CANTAB”. Tymczasem nasza wiedza o tym, że padaczka wiąże się z zaburzeniami pamięci, pochodzi w dużej mierze właśnie z badań wykorzystujących tego typu baterie. Ponowne wykazanie tej zależności świadczy więc raczej o zgodności wyników niż o walidacji samego CANTAB. Ponadto odsetek około jednej trzeciej pacjentów z obniżonymi wynikami stanowi dość skromną podstawę dla takiego wniosku.

7.1.2 Na ile swoista jest czołowa aktywność theta? Swoistość jest jedną z cech odróżniających użyteczny biomarker od zwykłego korelatu. Środkowoczołową (mid-frontal) aktywność theta wiązano z kontrolą poznawczą (Cavanagh i Frank, 2014), obciążeniem poznawczym (Hamann i Carstengerdes, 2022), kodowaniem i odtwarzaniem pamięciowym oraz homeostatyczną presją snu (Snipes i in., 2022), a ponadto wydaje się ona pochodzić z kilku niezależnych generatorów (Zuure i in., 2020). Sygnał zależny od wielu źródeł trudno uznać jako swoisty marker mózgowy (Woo i in., 2017). Nie chodzi o to, że theta jest pozbawiona znaczenia, lecz o to, że może odzwierciedlać pobudzenie, zaangażowanie lub wysiłek w dniu badania — czynniki, które same wpływają na wykonanie zadania. W takim przypadku byłaby raczej markerem bieżącego stanu niż trwałej zdolności poznawczej. Senność działa w kierunku przeciwnym do obserwowanego efektu, więc nie może go wyjaśnić, ale zwiększa błąd pomiaru i pokazuje, że sam sygnał theta nie mówi jeszcze, jaki proces za nim stoi. Ponieważ podczas monitorowania padaczki pacjentom rutynowo ogranicza się sen, jest to w tym badaniu szczególnie istotne.

Taką interpretację mocno wspiera również warunek kontrolny zastosowany przez Doktorantkę. Motoryczne zadanie przesiewowe nie angażuje ani pamięci, ani funkcji wykonawczych, a mimo to już w nim grupy do pewnego stopnia się różnią. Jeśli wskaźnik interpretowany jako marker pamięci różnicuje grupy także w zadaniu bez komponentu pamięciowego, bardziej prawdopodobne staje się, że odzwierciedla ogólny stan uczestnika, a nie konkretny proces poznawczy. Bardzo chciałbym usłyszeć, jak Doktorantka interpretuje ten wynik.



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

7.1.3 Czy za część obserwowanych efektów mogą odpowiadać ruchy oczu?

Ten problem szczególnie zwrócił moją uwagę. Badani wykonywali zadania wyszukiwania wzrokowego i dopasowywania na ekranie dotykowym bez kontroli fiksacji. Efekt pojawia się na elektrodach Nz, Fp1, Fp2 i Fp2 — czterech elektrodach czołowo-biegunowych położonych najbliżej oczu; Nz znajduje się w punkcie *nasion*, u nasady nosa, dokładnie między nimi — a podobny wzorzec czołowy występuje zarówno w paśmie delta, jak i theta (Rycina 2A). Jest to zarazem topografia typowa dla rezydualnych artefaktów okoruchowych, dlatego trudno oprzeć się wrażeniu, że część obserwowanego sygnału może pochodzić od aktywności oczu.

ICA nie daje tu pełnej gwarancji. Dimigen (2020) ocenił korekcję artefaktów okoruchowych opartą na ICA w warunkach swobodnego oglądania i zwrócił uwagę, że 1) skuteczność takiej korekcji nie była wcześniej systematycznie oceniana oraz 2) wiele stosowanych procedur pozostawia rezydualne artefakty. Artefakty okoruchowe są zazwyczaj znacznie większe od interesujących nas sygnałów neuronalnych i często systematycznie zależą od warunku eksperymentalnego, ponieważ warunki różnią się amplitudą i kierunkiem sakad oraz czasem fiksacji. Osoby dobrze i słabo wykonujące zadanie wyszukiwania wzrokowego mogą różnić się właśnie pod tymi względami. Pozostałości artefaktów nie byłyby więc neutralnym szumem, lecz mogłyby współzmieniać się z wynikiem zadania. Niestety projekt badania pozbawia nas naturalnego testu kontrolnego: u części pacjentów rejestrowano EOG, lecz kanały te wyłączono „w celu utrzymania standaryzowanej procedury”. To właśnie one pozwoliłyby ocenić skuteczność korekcji. W tej podgrupie prosty test pozostałej zależności między EOG i EEG, analiza theta po statystycznym usunięciu wpływu EOG albo wykresy efektów w kanałach EOG mogłyby szybko rozstrzygnąć tę kwestię.

7.1.4 Referencja, normalizacja i „trend tła”.

Przy elektrodzie referencyjnej położonej w okolicy CPz moc musi wzrastać wraz z odległością od referencji. Jest to konsekwencja geometrii pomiaru, nie fizjologii, jednak w rozdziale traktuje się ten wzorzec jako wynik, a twierdzenie, że wartości dla elektrod czołowo-biegunowych wykraczają ponad ten trend, opiera się jedynie na ocenie wzrokowej, bez dopasowania jakiegokolwiek modelu. Taka lokalizacja elektrody referencyjnej jest również nietypowa zarówno w badaniach EEG ogólnie, jak i w badaniach nad środkowoczołową theta. Trudno więc rozstrzygnąć, czy różnica między typową topografią środkowoczołową a obserwowanym tutaj maksimum czołowo-biegunowym wynika z lokalizacji elektrody referencyjnej, czy z rezydualnych artefaktów okoruchowych. Zmiana elektrody referencyjnej danych do wyrostków sutkowatych (mastoids) lub do średniej z elektrod znacznie wzmocniłoby argumentację.

Nie jestem pewien, jak dokładnie przeprowadzono normalizację względem normy L1, i chciałbym, aby Doktorantka wyjaśniła to podczas obrony. Niejasne są dwie kwestie. Po pierwsze, co dokładnie dzielono przez co. Wartości na wykresie (około 0,02–0,16 dla 31 elektrod) najbardziej przypominają normalizację prowadzoną osobno w każdym paśmie względem sumy po wszystkich elektrodach, tak aby wartość dla danej elektrody oznaczała jej udział w łącznej mocy tego pasma na całej głowie. Jeśli tak, nie ma tu poziomu bazowego ani znaczącego zera, wartości są proporcjami, a nie mocą, i muszą sumować się do jedności. Wówczas stwierdzenia „osoby z dobrymi wynikami mają więcej theta przedczołowej” oraz „osoby z dobrymi wynikami mają mniej

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl

theta w pozostałych lokalizacjach” są matematycznie równoważne, co istotnie zmienia sposób opisu i interpretacji wyniku. Po drugie, praca cytowana w tym miejscu (Markopoulos i in., 2017) wydaje się dotyczyć zupełnie innego zagadnienia. Albo więc zastosowano inną metodę, niż sądzę, albo odwołanie bibliograficzne znalazło się w niewłaściwym miejscu.

Aktywność periodyczna i aperiodyczna nie zostały rozdzielone. Ponieważ theta jest tu definiowana jako znormalizowana surowa moc w zakresie 4–8 Hz, różnice między pacjentami w nachyleniu lub poziomie składowej aperiodycznej $1/f$ — zależne m.in. od leków, pobudzenia i wieku — mogą pozornie ujawniać się jako różnice w paśmie theta (Donoghue i in., 2020; Gerster i in., 2022). Skoro cały wniosek opiera się na jednym paśmie i jednej lokalizacji, parametryzacja widma (np. z użyciem pakietów *specparam/FOOOF*) byłaby ważnym testem kontrolnym i zdecydowanie zalecałbym ją w dalszych pracach. Rozdzielanie aktywności periodycznej i aperiodycznej jest obecnie standardem w tej literaturze.

7.1.5 Rozwiązania statystyczne. Zob. 7.0.1–7.0.3 w sprawie dychotomizacji, zależności między obserwacjami i cyrkularnej selekcji — wszystkie te problemy występują również tutaj. Klastrowy test permutacyjny w przestrzeni elektroda $\times$ pasmo pozwoliłby jednocześnie rozwiązać problem selekcji i wielokrotnych porównań. Jest też dodatkowa kwestia specyficzna dla tego projektu: czas trwania zadania jest systematycznie powiązany z wynikiem. Czasy są raportowane, a ich zmienność jest duża (sięga połowy średniej); w CANTAB czas trwania jest częściowo konsekwencją poziomu wykonania zadania, ponieważ słabszy wynik prowadzi do większej liczby powtórzeń i dłuższego wyszukiwania. W rezultacie ilość danych dostępnych dla każdego pacjenta, narastające zmęczenie i nasilenie artefaktów ruchowych również systematycznie współzmienniają się ze zmienną wynikową.

7.1.6 Od elektrod do obszarów mózgu oraz użycie słowa „biomarker”. W rozprawie lokalizację elektrod interpretuje się bezpośrednio jako lokalizację obszarów mózgu: elektrody czołowo-biegunowe zostają utożsamione z „przednią korą przedczołową, znaną również jako biegun czołowy”, a następnie wynik zestawia się z badaniami wykorzystującymi lokalizację źródeł. Jako stwierdzenie dotyczące elektrod czołowo-biegunowych byłoby to w pełni uzasadnione; jako stwierdzenie dotyczące aktywności kory bieguna czołowego wymaga to modelu przewodnictwa objętościowego i estymacji źródeł mózgowych sygnału. Ciekaw jestem, na ile Doktorantka jest przekonana do takiego przypisania anatomicznego. Być może własne rejestracje wewnątrzczaszkowe w porównywalnych kohortach mogłyby posłużyć do bezpośredniego sprawdzenia hipotezy o źródle w biegunie czołowym, a także do rozdzielenia theta związanej z zadaniem od theta związanej z sennością.

7.2 Rozdział 5.2 — Badanie II

Kluczową obserwację uważam za naprawdę interesującą: stan fizjologiczny przed zdarzeniem niesie informację o jego późniejszym wyniku, a miara obwodowa przewiduje ten wynik co najmniej równie dobrze jak proste cechy wyprowadzone z iEEG. Zbiór danych łączący jednoczesną pupilometrię i wewnątrzczaszkowe rejestracje u ludzi jest rzadki i cenny, a zastosowany schemat wnioskowania statystycznego stanowi, jak wspomniałem wyżej,



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl

wyraźny krok naprzód. Moje uwagi dotyczą ponownie sposobu ujęcia problemu i wnioskowania, a nie wartości samej pracy.



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

7.2.1 Co właściwie ma być mierzone? Deklarowanym celem jest zbadanie pupilometrii „jako użytecznej nieinwazyjnej alternatywy dla iEEG w śledzeniu sprawności pamięciowej na poziomie pojedynczych prób”. Zwróciłem jednak uwagę, że jeśli sprawność pamięciową definiujemy przez zachowanie w teście pamięci, to sam wynik tego testu jest jej bezpośrednią miarą; nie ma sensu próbować go „przewyższyć” jako miary tego samego zachowania. Naprawdę nowatorskie twierdzenie jest inne i moim zdaniem ciekawsze: stan pobudzenia poprzedzający zdarzenie przewiduje późniejsze wykonanie, zanim zostanie ono ujawnione w zachowaniu. Z tym wiąże się kolejna różnica w sile sformułowań: tytuł obiecuje biomarker, natomiast dyskusja — słusznie — mówi jedynie o potencjalnym korelacie.

7.2.2 Wnioski dotyczące lokalizacji czasowej efektu. Skorygowany test z przesuwanymi oknami wskazuje, że efekt występuje gdzieś w ciągu sekundy poprzedzającej zdarzenie. Nie pozwala jednak określić jego dokładnego momentu, a żaden z klastrowych testów permutacyjnych nie osiągnął istotności. Podawanie w streszczeniu konkretnych wartości „600 ms” i „200 ms” wykracza więc poza to, co można wywnioskować z analiz; ponadto efekt w fazie kodowania w ogóle nie przetrwał korekty. Dyskusja mówi o tym jasno i streszczenie powinno być z nią zgodne.

7.2.3 Dychotomizacja wyników pamięciowych. Podział list w punkcie $z = 0$ (≥ 5 vs ≤ 4 słowa) usuwa użyteczną informację zawartą w ciągłej zmienności wyników, a jednocześnie prowadzi do niezrównoważenia klas. Ponieważ wartość z obliczono łącznie dla wszystkich uczestników, etykieta „słaba próba” częściowo odzwierciedla po prostu to, że dana osoba ogólnie uzyskuje słabsze wyniki — czyli zawiera dokładnie tę wariancję międzyosobową, którą projekt próbował ominąć. Liczba odtworzonych słów potraktowana jako zmienna ciągła zapewniłaby większą moc i czystsza interpretację. Chciałbym również, aby kryteria wyłączeń zostały uzasadnione wprost, a nie tylko mimochodem: próby eksperymentalne w których nie odtworzono żadnego słowa usuwa się jako „chwile nieuwagi”, a osoby uzyskujące słabe wyniki we wszystkich próbach wyklucza całkowicie. Jest to decyzja możliwa do obrony, ale zmienia populację, do której odnoszą się wnioski. Warto też wyjaśnić drobną kwestię liczbową: artykuł podaje proporcję prób dobrych do słabych jako około 2:1, co trudno mi pogodzić zarówno z podziałem względem średniej obliczonej łącznie dla uczestników, jak i z rozkładem na Rycinie 1d, gdzie większość obserwacji wydaje się znajdować po stronie słabych wyników. Być może błędnie odczytuję rycinę, ale warto dopisać jedno zdanie wyjaśnienia.

7.2.4 Kierunek modelowania jest odwrócony względem pytania badawczego. Jeśli chcemy wyjaśniać sprawność pamięciową, to ona powinna być zmienną zależną. W obecnych modelach zmienną wynikową jest wielkość żrenicy, a sprawność pamięciowa predyktorem, co odpowiada na inne pytanie i uniemożliwia bezpośrednie sprawdzenie, czy żrenica wnosi dodatkową informację predykcyjną. Pojedynczy model mieszany ze sprawnością pamięciową jako zmienną wynikową oraz wielkością żrenicy i cechami mocy pasmowej jako predyktorami, w interakcji z czynnikiem okna czasowego, pozwoliłby jednocześnie odpowiedzieć na pytanie o lokalizację czasową efektu, dodatkową wartość predykcyjną żrenicy oraz wspólną wariancję obu rodzajów

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl

sygnału. Mogłby też zastąpić znaczną część obecnej mozaiki testów, z których każdy ma własne mocne i słabe strony oraz w praktyce odpowiada na nieco inne pytanie.

7.2.5 Efekty losowe. Model jako zmienną losową traktuje tylko osobę badaną. Przy $N = 7$ oszacowanie losowych nachyleń (random slopes) jest oczywiście trudne, jednak ich pominięcie dla kluczowego predyktora jest znanym źródłem zbyt optymistycznych wartości p (Barr, 2013). Warto byłoby przynajmniej podać, czy próbowano dopasować model z losowym nachyleniem i czy był on estymowalny. Zob. też 7.0.2 w sprawie jednostki analizy sugerowanej przez $df = 453$.

7.2.6 „Poziom bazowy”. Zmienna określona jako *baseline* nie została w metodach zdefiniowana, co jest istotnym pominięciem, skoro w modelu odtwarzania stanowi silny predyktor ($p < 0,001$). Pojawia się też potencjalny problem pojęciowy. Jeśli wielkość źrenicy ma odzwierciedlać toniczne pobudzenie, a poziom bazowy wyznacza się bezpośrednio przed analizowanym oknem poprzedzającym zdarzenie, to uwzględnienie tego poziomu w modelu usuwa właśnie wolnozmienną, toniczną część wariancji pobudzenia, której dotyczy hipoteza. Pozostaje wtedy miara bliższa krótkotrwałej zmianie przypominającej odpowiedź wywołaną, co trudno pogodzić z interpretacją efektu jako stanu poprzedzającego zdarzenie.

7.2.7 Klasyfikator. SVM z jednym predyktorem i jądrem RBF dopuszcza nieliniową, a nawet niemonotoniczną regułę decyzyjną. Wydaje się to nieproporcjonalnie złożonym narzędziem dla efektu, który powinien być prosty i monotoniczny. Ponieważ wyuczonej funkcji nie pokazano, nie wiadomo, czy klasyfikator rzeczywiście wykorzystuje nieliniowość. Liniowy SVM albo regresja logistyczna z jednym predyktorem mogłyby osiągnąć podobny cel przy znacznie większej interpretowalności; samo porównanie byłoby informatywne. Warto też zauważyć, że cechy standaryzowano w obrębie osoby przed agregacją danych. Marker przeznaczony do zastosowania w urządzeniu noszonym przez użytkownika nie może być standaryzowany z wykorzystaniem jego przyszłych danych, dlatego należałoby wykazać, że efekt utrzymuje się również bez standaryzacji wewnątrzosobowej.

7.2.8 Porównanie jest uczciwe, ale mało wymagające. To, że wielkość źrenicy przewyższa 92% cech mocy sygnału w pojedynczym paśmie częstotliwości, uśrednionych w obrębie płatów mózgowych, pokazuje przewagę nad celowo uproszczonym punktem odniesienia. Niewiele mówi natomiast o maksymalnej możliwej skuteczności predykcji na podstawie iEEG. Sekcja ograniczeń opisuje to jasno i trafnie — właśnie dlatego sformułowanie ze streszczenia „porównywalne z iEEG” należałoby złagodzić.

7.2.9 Postępowanie z mrugnięciami oczu. Fragmenty zapisu, w których utrata sygnału trwa dłużej niż 90 ms, są odrzucane. Ponieważ zamykanie oczu i częstość mrugnięć są związane z sennością, usuwanie takich odcinków najprawdopodobniej nie jest losowe względem badanego stanu. Pomocna byłaby analiza wrażliwości pokazująca, ile odcinków usunięto w każdym warunku.

7.2.10 Niewykorzystana szansa. Jednoczesna pupilometria i wewnątrzczaszkowe rejestracje z wielu obszarów mózgu u ludzi pozwalają stawiać pytania mechanistyczne, na które praktycznie żaden inny zbiór danych



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

nie może odpowiedzieć: jaka aktywność neuronalna wyjaśnia związek między wielkością źrenicy a pamięcią; czy stan odzwierciedlany przez źrenicę przewiduje pamięć także po uwzględnieniu stanu neuronalnego; jaki rozproszony wzorzec elektrofizjologiczny współmienia się z pobudzeniem związanym ze źrenicą. Sprowadzenie iEEG do tabeli pojedynczych wskaźników referencyjnych, uszeregowanych według statystyki t i wyniku F_1 , nie wykorzystuje głównej przewagi tego zbioru danych. Nawet analiza na poziomie pojedynczych słów — czy stan przed tym słowem przewiduje późniejsze odtworzenie właśnie tego słowa — wykorzystałaby rozdzielczość, którą te dane już oferują. Wskazuję to jako kierunek do dyskusji ogólnej i przyszłych badań, a nie jako wymóg wobec rozprawy.

7.2.11 Drobna kwestia cytowania. Twierdzenie, że „zaburzenia pamięci raportowano u około jednej trzeciej pacjentów z padaczką lekooporną w większych kohortach”, poparto odwołaniem do Badania I. Tymczasem Badanie I obejmuje 86 pacjentów z oddziału monitorowania padaczki, z których jedna trzecia uzyskała wyniki poniżej -1 SD w CANTAB. Nie jest to epidemiologiczna estymata pochodząca z odpowiednio zaprojektowanej dużej kohorty, a przedstawianie jej w ten sposób tworzy **kolejny drobny przykład cyrkularnego rozumowania**.

7.3 Rozdziały spajające (1–4 i 6)

Rozdziały 2 i 3 są napisane z dużą dozą kompetencji, ale są w znacznym stopniu opisowe i obszerniejsze, niż to potrzebne do osadzenia dwóch przedstawionych badań. Rozdział 4 w znacznej mierze powtarza metody z artykułów, zamiast rozwijać je o dodatkową warstwę metodologiczną; sekcja 4.9 deklaruje wkład obliczeniowy, którego treść rozdziału nie uzasadnia, zwłaszcza że nie udostępniono kodu, nie przeprowadzono testów porównawczych i nie pokazano, że procedura działa poza tymi dwoma zbiorami danych. Schemat wnioskowania dla małych prób zastosowany w Badaniu II jest natomiast rzeczywistym wkładem istotnym dla dyscypliny informatyki technicznej i telekomunikacji i mógłby zostać tutaj rozwinięty, np. za pomocą symulacji pokazujących jego przewagę nad prostszymi, naiwnymi alternatywami.

Rozdział 6 jest dobrze napisany i odpowiednio ostrożny w omawianiu ograniczeń. Jego słabością jest jednak to, że opisuje integrację, której w rzeczywistości nie przeprowadzono, oraz częściej powtarza wyniki obu badań, niż poddaje je krytycznej analizie. W idealnym świecie dobrze byłoby zobaczyć sekcję, która wprost mierzy się z interpretacją odwołującą się do pobudzenia, a najlepiej również tabelę oceniającą oba potencjalne markery według jasno określonych kryteriów biomarkera.

8. Kategoria, do której recenzent przypisuje rozprawę

Przypisuję rozprawę do kategorii (c): **spełniającej wymagania w stopniu zadowalającym**.

Rozważałem kategorię (d). Od strony formalnej wiele przemawia za taką oceną: dwa artykuły z pierwszym autorstwem w renomowanych czasopismach międzynarodowych, z których jeden doczekał się niezależnego komentarza; dwa

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl

publicznie zarchiwizowane zbiory danych; duża kohorta kliniczna w jednym badaniu i rzadki multimodalny zbiór danych w drugim; a także wyraźny postęp metodologiczny między obiema pracami. O pozostaniu przy kategorii (c) decyduje jednak zestaw problemów omówionych w rozdziale 7. Żaden z nich z osobna nie jest dyskwalifikujący, ale łącznie sprawiają, że wnioski rozprawy są formułowane z większą pewnością, niż uzasadniają analizy, a deklarowane w sekcji 4.9 i rozdziale 6 wkłady — integracyjny i obliczeniowy — nie zostały w pełni zrealizowane.

Chcę jednoznacznie wyjaśnić, co oznacza w tym przypadku kategoria (c): rozprawa potwierdza dobrą wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie, jej zdolność do samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wniesienie niewątpliwie oryginalnego wkładu do wiedzy. Spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i **wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony**.

Towarzyszący kwestionariusz składałam odrębnie.

Jakub Szewczyk

19 sierpnia 2026



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl

Bibliografia

- Altman, D.G. & Royston, P. (2006). The cost of dichotomising continuous variables. *BMJ*, 332, 1080.
- Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of Memory and Language*, 68(3), 255–278.
- Cavanagh, J.F. & Frank, M.J. (2014). Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends Cogn Sci*, 18, 414–421.
- Cohen, J. (1983). The cost of dichotomization. *Appl Psychol Meas*, 7, 249–253.
- Dimigen, O. (2020). Optimizing the ICA-based removal of ocular EEG artifacts from free viewing experiments. *NeuroImage*, 207, 116117.
- Donoghue, T. i in. (2020). Parameterizing neural power spectra into periodic and aperiodic components. *Nat Neurosci*, 23, 1655–1665.
- Gerster, M. i in. (2022). Separating neural oscillations from aperiodic 1/f activity. *Neuroinformatics*, 20, 991–1012.
- Hamann, A. & Carstengerdes, N. (2022). Investigating mental workload-induced changes in cortical oxygenation and frontal theta activity. *Sci Rep*, 12, 6449.
- Kriegeskorte, N. i in. (2009). Circular analysis in systems neuroscience. *Nat Neurosci*, 12, 535–540.
- MacCallum, R.C. i in. (2002). On the practice of dichotomization of quantitative variables. *Psychol Methods*, 7, 19–40.
- Maris, E. & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *J Neurosci Methods*, 164, 177–190.
- Markopoulos, P.P. i in. (2017). Efficient L1-norm principal-component analysis via bit flipping. *IEEE Trans Signal Process*, 65, 4252–4264.
- Maxwell, S.E. & Delaney, H.D. (1993). Bivariate median splits and spurious statistical significance. *Psychol Bull*, 113, 181–190.
- McLoughlin, G. i in. (2022). Midfrontal theta activity in psychiatric illness. *Biol Psychiatry*, 91, 173–182.
- Plöchl, M., Ossandón, J.P. & König, P. (2012). Combining EEG and eye tracking. *Front Hum Neurosci*, 6, 278.
- Snipes, S. i in. (2022). The theta paradox: 4-8 Hz EEG oscillations reflect both sleep pressure and cognitive control. *J Neurosci*, 42, 8569–8586.
- Woo, C.-W., Chang, L.J., Lindquist, M.A. & Wager, T.D. (2017). Building better biomarkers: brain models in translational neuroimaging. *Nat Neurosci*, 20, 365–377.
- Zavar, I. (2025). An EEG in time saves nine: predicting cognitive decline in epilepsy. *Epilepsy Curr*, 25, 277–279.
- Zuure, M.B. i in. (2020). Multiple midfrontal thetas revealed by source separation of simultaneous MEG and EEG. *J Neurosci*, 40, 7702–7713.
- Zob. także: VanHove, J. (2015), *Looking at nonlinear relationships*, <https://janhove.github.io/posts/2015-10-16-nonlinear-relationships/> (o artefaktach wprowadzanych przez kategoryzowanie zmiennych ciągłych).



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKÓW

Faculty of Philosophy

Institute of Psychology

ul. Romana Ingardena 6

30-060 Kraków

tel. +48 12 663 24 15

www.psychologia.uj.edu.pl