

ABSTRACT

Dyslexia is a specific learning disorder characterized by reduced reading fluency, accuracy, and comprehension. It affects approximately 7-12% of the population and is more commonly diagnosed in males than females. While several cognitive and neural factors associated with dyslexia have been identified, the precise causal mechanisms underlying reading difficulties remain unclear. Since reading acquisition relies on integrating auditory and visual stimuli, deficits in low-level multisensory integration may also contribute to dyslexia. Some studies have reported such deficits, but effect sizes varied depending on whether participants were matched for sex. Despite the higher prevalence of dyslexia in males and emerging evidence of sex-based differences in its neural underpinnings, no previous studies have specifically examined sex differences in multisensory integration. Thus, the first aim of this thesis was to address this gap by directly assessing sex-specific effects in low-level multisensory integration in dyslexia.

One of the latest causal theories of dyslexia, the neural noise hypothesis, proposes that reading difficulties stem from increased cortical excitability, leading to cognitive impairments in phonological awareness, rapid automatized naming, and multisensory integration in dyslexia. Non-invasive estimates of excitatory/inhibitory (E/I) balance in the brain can be obtained through various electroencephalography (EEG) power spectrum measures, including aperiodic (exponent, offset) and periodic (beta and gamma power) components. To date, no study has tested the neural noise hypothesis of dyslexia by examining EEG E/I balance biomarkers in relation to proposed cognitive deficits. Thus, the second aim of this thesis was to investigate these relationships.

Regarding the first aim, a study of 88 adolescents and young adults revealed that only males with dyslexia exhibited deficits in multisensory integration of simple, non-linguistic stimuli, as assessed by a simple reaction time task. At the neural level, both males and females with dyslexia showed smaller differences in responses between multisensory and unisensory conditions in the N1 and N2 components (event-related potentials related to sensory processing) compared to controls. However, in a subsample of 80 participants matched for non-verbal IQ, only males with dyslexia exhibited a smaller difference in neural responses to multisensory versus unisensory conditions in the N1 component of the left hemisphere. These findings provide novel insights into sex-specific cognitive processes related to reading difficulties.

Regarding the second aim, results from a sample of 120 participants, analyzed using Bayesian statistics, revealed no evidence of group differences in any EEG E/I balance biomarkers (exponent, offset, beta power) at rest or during a spoken language task. However, a positive indirect relationship between beta power, phonological awareness, and reading speed was found. These findings do not support the prediction that cortical hyperexcitability underlies dyslexia, underscoring the need to explore alternative neural mechanisms associated with reading difficulties. Furthermore, the observed sex-specific effects in multisensory integration highlight the potential for distinct cognitive and neural pathways in males and females with dyslexia, which should be considered in future research frameworks.

STRESZCZENIE

Dysleksja jest specyficznym zaburzeniem uczenia się, charakteryzującym się obniżoną płynnością, dokładnością i rozumieniem w czytaniu. Dotyka około 7-12% populacji i jest częściej diagnozowana u mężczyzn niż u kobiet. Chociaż niektóre mechanizmy poznawcze i neuronalne związane z dysleksją zostały zidentyfikowane, to dokładne relacje przyczynowe leżące u podstaw trudności w czytaniu wciąż pozostają niejasne. Z uwagi na to, że nabywanie umiejętności czytania opiera się na integracji bodźców słuchowych i wzrokowych, deficyty w integracji multisensorycznej prostych bodźców również mogą przyczyniać się do powstawania dysleksji. Chociaż niektóre wcześniejsze badania wykazały takie deficyty, ich wielkość efektu różniła się w zależności od tego, czy uczestnicy byli dopasowani pod względem płci. Pomimo częstszego występowania dysleksji u mężczyzn i pojawiających się dowodów wskazujących na różnice płciowe w jej neuronalnych korelatach, dotychczas w żadnym badaniu nie analizowano potencjalnych różnic międzypłciowych w integracji multisensorycznej. Z tego względu, pierwszym celem niniejszej pracy było wypełnienie tej luki poprzez bezpośrednią ocenę różnic płciowych w integracji multisensorycznej prostych bodźców wzrokowych i słuchowych w dysleksji.

Jedną z najnowszych teorii dysleksji, hipoteza „szumu neuronalnego”, zakłada, że trudności w czytaniu wynikają ze zwiększonej pobudliwości korowej, która na poziomie poznawczym prowadzi do zaburzeń w zakresie świadomości fonologicznej, szybkiego nazywania oraz integracji multisensorycznej u osób z dysleksją. Nieinwazyjnej oceny stosunku aktywności pobudzającej do hamującej w mózgu można dokonać za pomocą różnych miar z widma mocy sygnału elektroencefalograficznego (EEG), w tym z sygnału aperiodycznego (nachylenie widma) oraz periodycznego (moc w pasmach beta i gamma). Do tej pory jednak, żadne badanie nie zweryfikowało hipotezy szumu neuronalnego w dysleksji przy użyciu biomarkerów z sygnału EEG w odniesieniu do proponowanych deficytów poznawczych. Stąd, drugim celem niniejszej pracy było zbadanie tych zależności.

W odniesieniu do pierwszego celu pracy przeprowadzono badanie obejmujące 88 nastolatków i młodych dorosłych. Wykazało ono, że deficyty w integracji multisensorycznej prostych, niejęzykowych bodźców w zadaniu mierzącym czasy reakcji, występowały wyłącznie u mężczyzn z dysleksją. Na poziomie neuronalnym, zarówno mężczyźni, jak i kobiety z dysleksją wykazywali mniejsze różnice w odpowiedziach między warunkami multisensorycznymi i unisensorycznymi w komponentach N1 i N2 (potencjały wywołane związane z przetwarzaniem bodźców zmysłowych) w porównaniu z grupą kontrolną. Z kolei

w podgrupie 80 uczestników dopasowanych pod względem ilorazu inteligencji niewerbalnej, jedynie mężczyźni z dysleksją wykazywali mniejszą różnicę w odpowiedziach neuronalnych na bodźce multisensoryczne i unisensoryczne w komponencie N1 w lewej półkuli. Wyniki te dostarczają nowych danych na specyficzne dla płci procesy poznawcze związane z trudnościami w czytaniu.

W odniesieniu do drugiego celu pracy przeprowadzono analizę na grupie 120 uczestników przy użyciu statystyki Bayesowskiej. Jej wyniki nie dostarczyły dowodów wskazujących na różnice między grupami w żadnym z testowanych biomarkerów EEG (nachylenie widma oraz moc sygnału w paśmie beta) zarówno w stanie spoczynku, jak i podczas słuchowego zadania językowego. Zaobserwowano jednak dodatnią pośrednią zależność między mocą w paśmie beta, świadomością fonologiczną i szybkością czytania. Wyniki te nie potwierdzają hipotezy zakładającej, że dysleksja jest następstwem zwiększonej pobudliwości korowej. Podkreśla to potrzebę poszukiwania alternatywnych mechanizmów neuronalnych związanych z trudnościami w czytaniu. Ponadto zaobserwowane różnice płciowe w integracji multisensorycznej wskazują na możliwość odmiennych mechanizmów poznawczych i neuronalnych u mężczyzn i kobiet z dysleksją, co powinno zostać uwzględnione w przyszłych teoriach dysleksji.