

Mateusz Choiński

**Czasowe przetwarzanie informacji jako kluczowy aspekt
językowego i niejęzykowego funkcjonowania poznawczego
osób z afazją**

Praca doktorska
wykonana w Pracowni Neurofizjologii Umysłu
Instytutu Biologii Doświadczalnej
im. M. Nenckiego PAN

PROMOTOR:
dr hab. Aneta Szymaszek

Warszawa, 2024



NARODOWE CENTRUM NAUKI

Badania przedstawione w niniejszej pracy prowadzone były w ramach projektu OPUS 11 UMO-2016/21/B/HS6/03775 „Neuronalne korelaty terapii opartej na czasowym przetwarzaniu informacji u osób z afazją” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Projekt, w ramach którego wykonano poniższe badania, został pozytywnie zaopiniowany przez Komisję ds. Etyki Badań Uniwersytetu SWPS (wniosek nr 35/2017, opinia nr 26/2017).

Spis treści

| | |
|---|-----------|
| Streszczenie | 5 |
| Abstract | 7 |
| Lista artykułów | 9 |
| 1. Wstęp | 11 |
| 1.1. Afazja | 11 |
| 1.1.1. Definicje i epidemiologia | 11 |
| 1.1.2. Modele afazji | 12 |
| 1.1.3. Zaburzenia niejęzykowych funkcji poznawczych w afazji | 17 |
| 1.2. Czasowe przetwarzanie informacji | 20 |
| 1.2.1. Hierarchiczny model czasowego przetwarzania informacji | 20 |
| 1.2.2. Zaburzenia czasowego przetwarzania informacji u osób z afazją | 22 |
| 1.3. Zastosowanie treningów niejęzykowych funkcji poznawczych w terapii afazji | 24 |
| 2. Założenia i cele pracy | 28 |
| 3. Opis badań własnych | 31 |
| 3.1. Związki pomiędzy pamięcią, czasowym przetwarzaniem informacji i deficytami rozumienia mowy u osób z afazją | 31 |
| 3.2. Potencjał P300 jako wskaźnik sprawności poznawczej osób z afazją | 34 |
| 3.3. Skuteczność treningu poznawczego opartego o czasowe przetwarzanie informacji u osób z afazją | 37 |
| 4. Dyskusja | 45 |
| 5. Podsumowanie i wnioski | 53 |
| Bibliografia | 54 |
| Spis publikacji naukowych autora | 64 |
| Artykuł 1 | 66 |
| <i>Oświadczenia współautorów</i> | <i>66</i> |
| <i>Artykuł</i> | <i>70</i> |

| | |
|--|-----|
| Artykuł 2 | 84 |
| <i>Oświadczenia współautorów</i> | 84 |
| <i>Artykuł</i> | 88 |
| Artykuł 3 | 102 |
| <i>Oświadczenia współautorów</i> | 102 |
| <i>Artykuł</i> | 105 |

Streszczenie

Dane epidemiologiczne wskazują na to, że z roku na rok coraz więcej osób doświadcza udaru mózgu. Jedną z najczęstszych konsekwencji udaru jest afazja, definiowana jako zaburzenie funkcji językowych. Obecnie coraz powszechniej zwraca się uwagę na występowanie u osób z afazją deficytów w zakresie niejęzykowych funkcji poznawczych, takich jak pamięć, uwaga, planowanie, czy czasowe przetwarzanie informacji (CzPI). Deficyty te wpływają na głębokość zaburzeń językowych i utrudniają proces terapii. Ze względu na czasową dynamikę produkcji i rozumienia mowy, a także innych operacji poznawczych wspierających procesy językowe, zaburzenia CzPI wydają się mieć szczególne znaczenie dla trudności obserwowanych w afazji.

Przedstawiony cykl badań składa się z trzech artykułów dotyczących powiązań niejęzykowych funkcji poznawczych, ze szczególnym naciskiem na sprawność CzPI, z funkcjami językowymi u osób z afazją.

Badanie pierwsze dotyczy zależności pomiędzy pamięcią krótkotrwałą i operacyjną, CzPI i rozumieniem mowy. Zaobserwowano, że osoby z afazją wykazują większą sprawność pamięci krótkotrwałej, zarówno werbalnej, jak i przestrzennej, niż operacyjnej. Ponadto wyższy poziom werbalnej i przestrzennej pamięci krótkotrwałej oraz werbalnej i przestrzennej pamięci operacyjnej korespondował z lepszym rozumieniem mowy. Dalsze analizy wykazały, że relacja pomiędzy sprawnością pamięci a CzPI zależy od modalności zapamiętywanego materiału. CzPI okazało się ściśle związane z przestrzenną pamięcią operacyjną. Jego znaczenie było jednak mniej istotne dla funkcjonowania pacjentów w zakresie werbalnej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej oraz przestrzennej pamięci krótkotrwałej. W przypadku tych rodzajów pamięci u osób z afazją kluczową rolę okazała się odgrywać głębokość deficytów rozumienia mowy.

Drugie badanie miało na celu określenie powiązań pomiędzy parametrami potencjału P300 a poziomem funkcji poznawczych u osób z afazją. Wykazano, że im krótsza latencja potencjału, tym wyższy poziom CzPI, szybkości psychoruchowej, przestrzennej pamięci krótkotrwałej, planowania, rozumienia słów, globalnego rozumienia mowy, a także fluencji słownej. Wyniki te świadczą o tym, że u osób z afazją latencja potencjału P300 może stanowić trafny wskaźnik poziomu funkcji

poznawczych, w szczególności tych dla sprawności których kluczowe jest tempo przetwarzania informacji.

Badanie trzecie miało na celu weryfikację skuteczności nowej ścieżki terapeutycznej bazującej na programie Dr Neuronowski® opracowanej w ramach niniejszego projektu dla osób z afazją. Trening ten opierał się na kompleksowym usprawnianiu wielu funkcji poznawczych, z głównym naciskiem na CzPI. Wykazano, że przyniósł on poprawę zarówno w zakresie trenowanych niejęzykowych funkcji poznawczych, jak i w zakresie niećwiczonych funkcji językowych. Po treningu z wykorzystaniem nowej ścieżki programu Dr Neuronowski® zaobserwowano poprawę w zakresie CzPI, werbalnej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej, a także słuchu fonemowego, globalnego rozumienia mowy, rozumienia gramatyki, nazywania i fluencji słownej. Z kolei trening kontrolny, oparty wyłącznie na ćwiczeniach językowych, przyniósł poprawę jedynie w zakresie trenowanych funkcji. Wyniki te wskazują na to, że ćwiczenia niejęzykowych funkcji poznawczych, w tym CzPI, przynoszą większe korzyści, niż samo trenowanie funkcji językowych.

Prezentowany cykl badań wskazuje na znaczenie niejęzykowych funkcji poznawczych w kompleksowym rozumieniu, diagnostyce i rehabilitacji afazji. Szczególne znaczenie ma tu CzPI, uważane przez niektórych badaczy za logistyczną podstawę funkcji poznawczych, w tym funkcjonowania językowego. Włączenie ćwiczeń CzPI i innych niejęzykowych funkcji poznawczych w zakres terapii afazji może przynieść znaczące benefity dla pacjentów.

Abstract

Epidemiological data indicates that the number of people suffering a stroke is increasing every year. One of the most common consequences of a stroke is aphasia, defined as an impairment of language functions. Growing attention is being paid to the occurrence of deficits in non-linguistic cognitive functions in individuals with aphasia, such as memory, attention, planning, and temporal information processing (TIP). These deficits intensify the severity of language impairments and hinder the therapy process. Given the temporal dynamics of speech production and comprehension, as well as other cognitive functions supporting language processes, TIP deficits appear to play a particularly significant role in the deficits observed in aphasia.

The present thesis consists of three articles focusing on the relationship between non-linguistic cognitive functions, with a special focus on TIP efficiency, and language functions in individuals with aphasia.

The first study examines the relationship between short-term and working memory, TIP, and speech comprehension. It was observed that individuals with aphasia exhibit greater short-term memory efficiency, both verbal and spatial, compared to working memory. Furthermore, higher levels of verbal and spatial short-term memory, as well as verbal and spatial working memory, were associated with better speech comprehension. Further analyses showed that the relationship between memory performance and TIP depends on the modality of the memorised material. TIP was found to be closely linked to spatial working memory. However, its significance was less pronounced for verbal short-term and working memory, as well as spatial short-term memory. In these types of memory in individuals with aphasia, the severity of speech comprehension deficits played a key role.

The second study aimed to determine the relationship between the parameters of the P300 potential and the efficiency of cognitive functions in individuals with aphasia. It was demonstrated that shorter latency of the potential was associated with better TIP, psychomotor speed, spatial short-term memory, planning, word comprehension, global speech comprehension, and verbal fluency. These results suggest that in individuals with aphasia, the latency of the P300 potential may serve as a reliable indicator of cognitive function efficiency, particularly those functions for which speed of information processing is critical.

The third study evaluated the effectiveness of a new training developed for individuals with aphasia, based on the Dr. Neuronowski[®] program. This training focused on the comprehensive improvement of various cognitive functions with an emphasis on TIP. It was shown to improve both trained non-linguistic cognitive functions and untrained language functions. After training, the improvement was observed in TIP, verbal short-term and working memory, phonemic hearing, global speech comprehension, grammar comprehension, naming, and verbal fluency. In contrast, the control training, which was based solely on language exercises, resulted in improvement only in the directly trained functions. These findings indicate that exercises that target non-linguistic cognitive functions, including TIP, provide greater benefits than training language functions alone.

This presented series of studies highlights the importance of non-linguistic cognitive functions in the comprehensive understanding, diagnosis, and rehabilitation of aphasia. In particular, TIP is considered by some researchers to be a logistical basis of cognitive functions, including language functioning. Incorporating TIP exercises and other non-linguistic cognitive function training into aphasia therapy may have significant benefits for patients.

Lista artykułów

Niniejsza praca doktorska składa się z trzech artykułów naukowych, które zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach:

Artykuł 1:

Choinski, M., Szelag, E., Wolak, T., Szymaszek, A. (2020). Working Memory in Aphasia: The Role of Temporal Information Processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 589802.

Artykuł 2:

Choinski, M., Szelag, E., Wolak, T., Szymaszek, A. (2023). Neuropsychological correlates of P300 parameters in individuals with aphasia. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 58(2), 256–269.

Artykuł 3:

Choinski, M., Stanczyk, M., Szymaszek, A. (2023). Cognitive training incorporating temporal information processing improves linguistic and non-linguistic functions in people with aphasia. *Scientific Reports*, 13(1), 14053.

1. Wstęp

Niniejsza praca doktorska dotyczy związków niejęzykowych funkcji poznawczych z poziomem deficytów językowych u osób z afazją, ze wskazaniem szczególnej roli czasowego przetwarzania informacji (CzPI). We Wstępie przybliżone zostanie zagadnienie afazji - jej definicje, epidemiologia i modele. Następnie scharakteryzowane zostaną deficyty niejęzykowych funkcji poznawczych występujących w tym zaburzeniu. Ze względu na temat pracy i opisanych w niej badań, szczegółowo omówiona zostanie problematyka CzPI i zaburzeń tej funkcji u osób z afazją. W ostatnim rozdziale Wstępu opisane zostaną badania nad skutecznością treningów niejęzykowych funkcji poznawczych, w tym CzPI, w terapii afazji.

1.1. Afazja

1.1.1. Definicje i epidemiologia

Nazwa „afazja” pochodzi od greckiego słowa *αφασία* oznaczającego „brak mowy”. Afazja definiowana jest jako „zaburzenia przetwarzania językowych informacji wynikające z nabytego, ogniskowego uszkodzenia mózgu” (Pąchalska, 2007, s. 96). Podobną definicję zaproponowali Paphathanasiou i Coppens (2011), według których afazja jest „nabytym, selektywnym zaburzeniem modalności językowej i funkcji językowych, powstałym w wyniku uszkodzenia w obrębie dominującej językowo półkuli mózgu (przeważnie lewej - przyp. M. Ch.), wpływającym na możliwości komunikacji, funkcjonowanie społeczne, jakość życia pacjenta oraz jakość życia jego rodziny i opiekunów” (s. XX). Ze względu na temat pracy warto zwrócić uwagę na to, że definicje te ograniczają obraz deficytów występujących w afazji do zaburzeń funkcjonowania językowego.

Afazja jest najczęściej konsekwencją udaru mózgu. Liczba udarów mózgu rośnie z roku na rok. Według danych epidemiologicznych z roku 2021 udar mózgu jest trzecią, po chorobie niedokrwiennej serca i infekcji COVID-19, przyczyną zgonów na świecie (Feigin i in., 2024). Rocznie odnotowuje się około 12,2 miliona nowych przypadków udarów. Oznacza to, że co 3 sekundy ktoś na świecie doznaje udaru mózgu. Według szacunków Światowej Organizacji Udaru co czwarta osoba powyżej 25 roku życia dozna udaru (World Stroke Organization, 2022). Co wydaje się kluczowe, liczba nowych przypadków udaru podwoiła się w ciągu ostatnich 30 lat. Co więcej, szacuje się

że w latach 2015-2035 wzrośnie ona o kolejne 34% (Stevens i in., 2017). Przyczyną tego trendu jest z jednej strony rosnąca liczba osób starszych, stanowiących szczególną grupę ryzyka. Z drugiej strony coraz częściej odnotowywane są przypadki udaru wśród osób młodszych (w grupie wiekowej 30-40 lat; Ramirez i in., 2016). Jest to spowodowane coraz powszechniejszym występowaniem w tej grupie czynników ryzyka udaru, takich jak otyłość, nadciśnienie czy cukrzyca. W ostatnich latach wzrost liczby udarów niedokrwiennych wynikał także z powikłań związanych z infekcją COVID-19 (Beyrouti i in., 2020).

Afazja dotyka około jednej trzeciej pacjentów poudarowych (Enderby i Sutton, 2020). W roku 2022 na świecie żyło około 15 milionów osób z afazją (Ivanova i Dronkers, 2022). Szacuje się, że 61% osób z afazją wciąż doświadcza jej objawów rok po udarze (Pedersen i in., 2004), zaś współczesne metody rehabilitacji pozwalają na pełną restytucję funkcji językowych w przypadku jedynie ok. 25% pacjentów (Flowers i in., 2016). Z tego powodu wielu badaczy próbuje lepiej zrozumieć to zaburzenie i opracować innowacyjne i skuteczne metody jego neurorehabilitacji.

1.1.2. Modele afazji

Historia współczesnej afazjologii sięga dziewiętnastego wieku. Pośmiertne badanie mózgów pacjentów wykazujących za życia deficyty językowe pozwoliło na scharakteryzowanie obszarów odpowiedzialnych za poszczególne funkcje. W ten sposób Paul Broca (1865, za: Tippet i Hillis, 2017) opisał pacjentów z uszkodzeniem w tylnej części lewego płata czołowego, za życia charakteryzujących się niepełną, wysiłkową mową. Obszar uszkodzenia został nazwany na jego cześć polem Broki, a jego lokalizację precyzyjniej określono jako tylną część dolnego zakrętu czołowego. W tym samym okresie Karl Wernicke (1881, za: Tippet i Hillis, 2017) badając mózgi pacjentów charakteryzujących się płynną, ale niezrozumiałą mową i trudnościami z rozumieniem mowy wskazał na uszkodzenia w obrębie tylnego obszaru lewego płata skroniowego, miejsca nazwanego później obszarem Wernickego. Obserwacje mózgów pacjentów pozwoliły na opracowanie modelu mózgowej lokalizacji funkcji językowych, nazwanego Modelem Klasycznym (Tremblay i Dick, 2016) lub modelem Broki-Wernickego-Lichtheima-Geschwinda (Poeppl i Hickok, 2004). Co prawda późniejsze odkrycia nie pozwalają ograniczać lokalizacji funkcji językowych jedynie do obszarów Broki i Wernickego, model ten dał jednak początek klasycznej typologii afazji. Poniżej

krótko scharakteryzowane zostaną najczęściej spotykane rodzaje afazji opisane na podstawie Modelu Klasycznego.

Afazja Broki, zwana także ruchową, charakteryzuje się nie płynną, wysiłkową mową wynikającą z zaburzenia organizacji ruchów mięśni aparatu artykulacyjnego (Jodzio i Nyka, 2008). Pacjenci często posługują się stylem telegraficznym, lub komunikują się przy pomocy pojedynczych słów. W mowie występują agramatyzmy. Zazwyczaj rozumienie mowy jest zachowane, mogą jednak wystąpić trudności z rozumieniem złożonych struktur gramatycznych. Afazja Broki najczęściej występuje na skutek uszkodzeń w tylnej części lewego zakrętu czołowego dolnego, wyspy, wieczka czołowego i okolicy przedruchowej (Potagas i in., 2011a).

Drugim klasycznym rodzajem afazji jest afazja Wernickego, zwana także sensoryczną. Charakteryzuje się ona płynną mową, zawierającą jednak liczne neologizmy, parafazje semantyczne i fonemowe i kontaminacje (zlepki kilku słów), co w przypadku znacznego nasilenia tych objawów określane jest mianem żargonu afatycznego. Ze względu na zaburzenia słuchowej kontroli mowy, pacjenci często nie mają świadomości, że ich mowa jest niezrozumiała. Pacjenci ci wykazują również deficyty w rozumieniu mowy spowodowane zaburzeniem słuchu fonemowego i różnicowania dźwięków mowy. Ten wariant afazji jest najczęściej spowodowany uszkodzeniami w tylnej części lewego zakrętu skroniowego górnego oraz przyległych obszarach potylicznych, ciemieniowych i skroniowych (Jodzio i Nyka, 2008).

Kolejnym rodzajem afazji jest afazja kondukcyjna (przewodzeniowa). Dominującą trudnością są w jej przypadku deficyty w powtarzaniu słyszanej mowy. Pacjenci często mają zachowane zdolności rozumienia mowy oraz cechują się płynną mową (Jodzio i Nyka, 2008). W mowie występują jednak parafazje fonemowe. Pacjenci mają również trudności z nazywaniem. Pierwotnie uważano, że afazja ta jest skutkiem uszkodzenia lewego pęczka łukowatego łączącego okolice Broki i Wernickego (Bernal i Ardila, 2009). Obecnie wskazuje się jednak na uszkodzenia w obrębie lewego styku skroniowo-ciemieniowego, wyspy, pierwotnej kory słuchowej i zakrętu nadbrzeżnego (Potagas i in., 2011a).

Afazja globalna charakteryzuje się głębokim zaburzeniem wszystkich funkcji językowych - pacjenci charakteryzują się zarówno nie płynną mową, jak i wykazują głębokie zaburzenia rozumienia, nazywania i powtarzania (Potagas i in., 2011a). Występuje ona na skutek rozległych uszkodzeń lewej półkuli obejmujących okolice Broki i Wernickego (Mazzocchi i Vignolo, 1979).

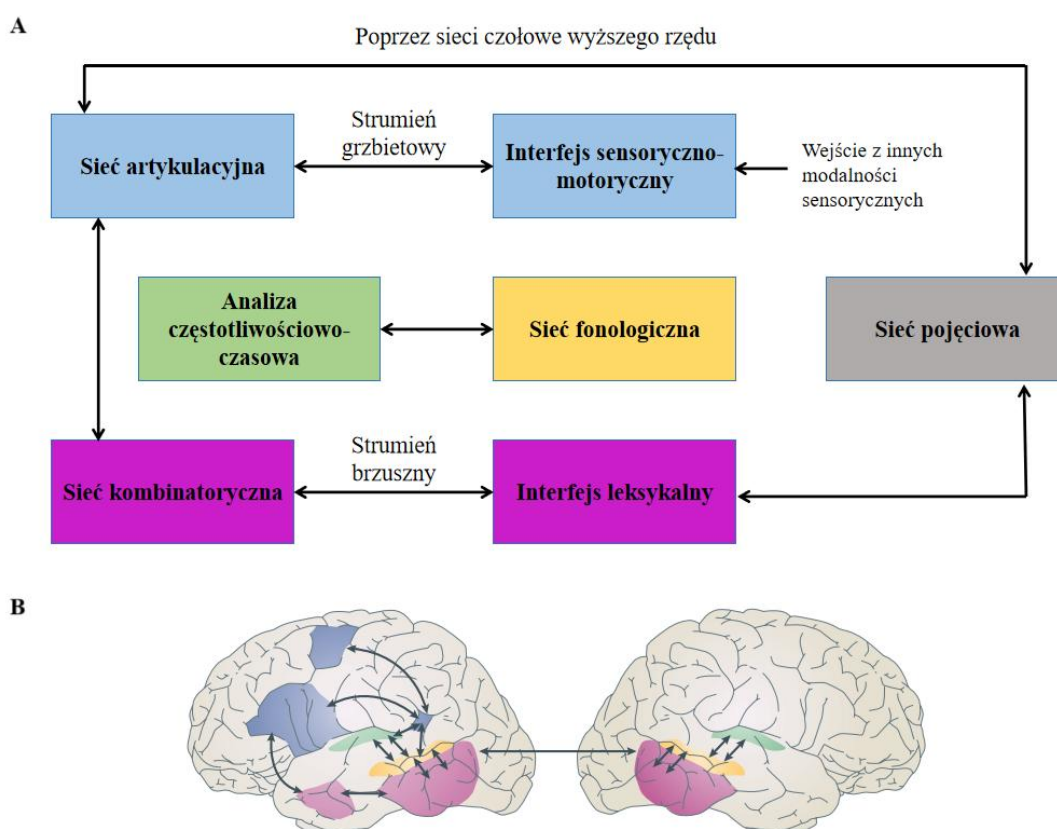
W afazji nominacyjnej dominującym objawem są trudności z nazywaniem. Pacjent mówi w sposób płynny, w jego mowie występuje niewiele parafazji, jednak często pojawiają się przerwy spowodowane trudnościami w wyszukiwaniu odpowiednich słów. Afazja ta może być spowodowana lezjami w różnych obszarach, często wskazuje się jednak na uszkodzenia w tylnej części lewej półkuli, w strukturach takich jak zakręt kątowy lub środkowy zakręt skroniowy (Potagas i in., 2011a).

Kolejnym rodzajem afazji są afazje transkorowe. Można wyróżnić wśród nich transkorową afazję ruchową, transkorową afazję czuciową i transkorową afazję mieszaną. Wszystkie te rodzaje afazji charakteryzują się występowaniem zaburzeń funkcji językowych przy zachowanej zdolności powtarzania. Pacjenci z transkorową afazją ruchową wykazują deficyty w produkcji mowy podobne do występujących w afazji Broki, potrafią jednak powtarzać usłyszane komunikaty w sposób płynny i poprawny gramatycznie, co wiąże się z uszkodzeniami w obszarach z przodu lub powyżej okolicy Broki (Tippet i Hillis, 2017) oraz włókien docierających do okolicy Broki (Jodzio i Nyka, 2008). Transkorowa afazja czuciowa z kolei charakteryzuje się zaburzeniami rozumienia mowy i ekspresji typowymi dla afazji Wernickego, przy zachowanym prawidłowym powtarzaniu. Wiąże się ona z uszkodzeniami w obszarach wokół okolicy Wernickego. Natomiast w transkorowej afazji mieszanej występują zarówno trudności z produkcją mowy, głęboko zaburzone rozumienie, ale zachowane powtarzanie, któremu towarzyszy echolalia. Uszkodzenie w tym przypadku obejmuje rozległe obszary lewej półkuli w okolicy perisyllwiańskiej powodujące odizolowanie okolic Broki i Wernickego od innych obszarów mózgu (Tippet i Hillis, 2017).

O ile omówione powyżej rodzaje afazji wciąż są przytaczane w literaturze, w praktyce rzadko można spotkać pacjentów wykazujących profil objawów charakterystyczny dla konkretnego z tych typów. Współczesne badania wskazują bowiem, że lokalizacja funkcji językowych nie jest ograniczona do konkretnych pojedynczych obszarów mózgu, jak pierwotnie uważano, ale u ich podłoża leży działanie całych sieci obszarów i połączeń między nimi.

Obecnie jednym z najpopularniejszych modeli przetwarzania mowy jest model dwustrumieniowy zaproponowany przez Hickoka i Poeppela (2007). Zgodnie z nim, przetwarzanie informacji językowej odbywa się w dwóch strumieniach: grzbietowym i brzuszny. Schematyczny diagram modelu przedstawiono na Rycinie 1. Pierwszym etapem przetwarzania mowy jest analiza charakterystyki częstotliwościowej i czasowej fali dźwiękowej. Odbywa się ona obupółkulowo w pierwotnej korze słuchowej. Udział

obu półkul został potwierdzony wynikami badań z użyciem neuroobrazowania, wskazującymi na obustronne zwiększenie aktywności w zakręcie skroniowym górnym i bruzdzie skroniowej górnej podczas słuchania dźwięków mowy (Okada i in., 2010; Price, 2012). Uważa się jednak, że pomimo zaangażowania obu półkul w analizę dźwięków mowy, ich rola się różni. Zatorre i współpracownicy (2002) sugerują, że lewa półkula jest odpowiedzialna za analizę szybkich zmian akustycznych (rozdzielczość czasowa), z kolei prawa odpowiada za przetwarzanie częstotliwości dźwięków (rozdzielczość spektralna). Kwestia specjalizacji półkulowej w analizie dźwięków wciąż pozostaje jednak tematem badań. Następnie w bruzdzie skroniowej górnej obupółkulowo, choć z przewagą lewej półkuli, ma miejsce przetwarzanie fonologiczne (Hickok i Poeppel, 2007). W kolejnym etapie przetwarzanie rozdziela się na dwa systemy. Strumień brzuszny odpowiada za przetwarzanie dźwięków mowy na reprezentacje pojęciowe. Angażuje tylne płaty skroniowe, które przechowują informację na temat relacji między informacjami fonologicznymi a reprezentacjami pojęciowymi. Przetwarzanie składniowe ma z kolei miejsce w przednim płacie skroniowym. Drugi z systemów - strumień grzbietowy - ma już silną lewopółkulową dominację. W nim słuchowe reprezentacje mowy są przetwarzane w schematy artykulacyjne. Obejmuje on lewy styk skroniowo-ciemieniowy i tylną część lewego dolnego zakrętu czołowego, korę przedruchową i przednią część wyspy (Hickok i Poeppel, 2007).



Rycina 1. A: Schemat dwustrumieniowego modelu przetwarzania mowy Hickoka i Poeppela. B: Lokalizacja dwóch strumieni przetwarzania mowy w mózgu (opracowanie własne na podstawie: Hickok i Poeppel, 2007).

Fridriksson i współpracownicy (2016, 2018) wykazali użyteczność dwustrumieniowego modelu w diagnostyce afazji, przeprowadzając badania mające powiązać lokalizację lezji z demonstrowanymi przez pacjentów objawami. Zwrócili uwagę na to, że, pomimo że produkcja mowy jest zaburzona przeważnie w wyniku uszkodzenia strumienia grzbietowego, zaś rozumienie - brzuszego, to poszczególne funkcje językowe oceniane przy pomocy testów neuropsychologicznych angażują wiele procesów zachodzących dzięki zaangażowaniu obu strumieni. Pacjenci posiadający lezje w różnych obszarach mogą zatem demonstrować zbliżone objawy, jeśli obszary te były częścią tej samej sieci zaangażowanej w daną funkcję językową. Obecnie odchodzi się zatem od modeli klasyfikacyjnych, przypisujących dany rodzaj deficytu do konkretnej lokalizacji, na rzecz charakterystyki obrazu demonstrowanych przez pacjenta objawów.

1.1.3. Zaburzenia niejęzykowych funkcji poznawczych w afazji

Pomimo, że afazja początkowo rozumiana była jako zaburzenie obejmujące jedynie funkcje językowe, od kilku lat zwraca się uwagę na deficyty niejęzykowych funkcji poznawczych u osób z afazją. Występowanie deficytów w zakresie niejęzykowych funkcji poznawczych okazuje się być w przypadku tych pacjentów zjawiskiem dość powszechnym. Fonseca i współpracownicy (2016) na podstawie systematycznego przeglądu 47 badań uwzględniających w sumie wyniki aż 1710 osób z afazją podają, że w 61% badań osoby z afazją miały niższe wyniki w testach niejęzykowych funkcji poznawczych w porównaniu z osobami zdrowymi. Dane literaturowe donoszą, że osoby z afazją wykazują deficyty w zakresie funkcji wykonawczych (Dutta i in., 2023; Fridriksson i in., 2006; Purdy, 2002), uwagi (Murray, 2012; Varkanitsa i in., 2023; Villard i Kiran, 2018) i pamięci operacyjnej, zarówno werbalnej jak i przestrzennej (Mayer i Murray, 2012; Potagas i in., 2011b; Salmons i in., 2022). Co istotne, wielu badaczy wskazuje, że trudności w niejęzykowych funkcjach poznawczych pogłębiają zaburzenia językowe i co więcej mogą też obniżać skuteczność terapii afazji (np. Fillingham i in., 2006; Fonseca i in., 2016). Tak na przykład, Seniów i współpracownicy (2009) przeprowadzili badanie mające na celu ocenę funkcji wzrokowo-przestrzennej i myślenia abstrakcyjnego i ich wpływu na skuteczność terapii afazji. Wykazali, że osoby z afazją w fazie podostrej (mniej niż 6 miesięcy od udaru) osiągnęły istotnie niższe wyniki w testach pamięci operacyjnej i myślenia abstrakcyjnego od osób zdrowych. Co więcej, okazało się, że poziom przestrzennej pamięci operacyjnej przewidywał wielkość poprawy w zakresie nazywania i rozumienia po trzytygodniowym okresie rehabilitacji logopedycznej.

W wielu badaniach przeprowadzano kompleksową ocenę funkcji poznawczych u osób z afazją. I tak Kalbe i współpracownicy (2005) dokonali oceny zaburzeń językowych i niejęzykowych osób z afazją. Wśród niejęzykowych funkcji poznawczych uwzględnili zadania oceniające poziom niewerbalnej pamięci krótkotrwałej i średnioterminowej, uwagi i rozumowania. Badacze wykazali, że 94% zbadanych przez nich pacjentów wykazywało zaburzenia w co najmniej jednej z domen niejęzykowych. Siedemdziesiąt sześć procent pacjentów wykazywało deficyty w zakresie pamięci krótkotrwałej, 60% - średnioterminowej, 77% w zakresie uwagi i 73% w zakresie rozumowania. Co więcej, poziom tych funkcji związany był z głębokością zaburzeń

językowych, szczególnie rozumieniem tekstu czytanego, rozumieniem słuchowym, rozumieniem złożonych komunikatów i fluencją semantyczną.

Podobnej próby określenia profili zaburzeń poznawczych u osób z afazją podjęli się Marinelli z zespołem (2017). Obok standardowej diagnozy funkcji językowych oceniano uwagę, funkcje wykonawcze, rozumowanie logiczne, pamięć, rozpoznawanie wzrokowo-słuchowe i zdolności wzrokowo-przestrzenne. Na podstawie analizy skupień autorzy wyodrębnili w grupie blisko dwustu osób z afazją trzy podgrupy pacjentów: 1) grupę bez zaburzeń poznawczych, ale w przypadku niektórych pacjentów z występowaniem deficytów w zakresie rozpoznawania wzrokowo-słuchowego (34% badanych), 2) grupę wykazującą średniej głębokości deficyty funkcji poznawczych (40% badanych) i 3) grupę o głębokich zaburzeniach we wszystkich domenach poznawczych (26% badanych). Grupy o niższym poziomie niejęzykowych funkcji poznawczych charakteryzowały się także niższym poziomem funkcji językowych, takich jak rozumienie mowy, czytanie i literowanie.

Schumacher i współpracownicy (2019) postanowili wyodrębnić domeny zaburzeń funkcji uwagowych i wykonawczych w badaniu z udziałem pacjentów z chroniczną afazją i powiązać je z lokalizacją lezji. Przy pomocy analizy głównych składowych przeprowadzonej na wynikach 10 testów funkcji niejęzykowych opisali trzy domeny zaburzeń: 1) przerzutność-aktualizacja (uwzględniające wyniki testów badających podzielność uwagi, uwagę wzrokowo-przestrzenną, planowanie i wykrywanie reguł), 2) hamowanie-generowanie (uwzględniające wyniki zadań badających hamowanie reakcji i tworzenie kategorii) oraz 3) szybkość (uwzględniająca czasy reakcji). Zaburzenia w obrębie domen poznawczych zostały następnie powiązane z lokalizacją lezji. Składowa 'przerzutność-aktualizacja' związana była z tylnymi obszarami skroniowo-potylicznymi lewej półkuli i obupółkulowymi przyśrodkowymi obszarami ciemieniowymi. Składowa 'hamowanie-generowanie' związana była z lewopółkulowymi obszarami czołowymi i obupółkulowymi przyśrodkowymi czołowymi. Z kolei składowa 'szybkość' wiązała się z prawopółkulowymi klastrami czołowo-ciemieniowo-potylicznymi.

Podsumowując, przytoczone badania wskazują na występowanie zaburzeń niejęzykowych w różnych domenach poznawczych u znacznej części osób z afazją. Profil tych zaburzeń jest związany z umiejscowieniem lezji. Omówione prace bazowały na diagnostyce neuropsychologicznej i neuroobrazowej. Warto jednak wspomnieć, że zaburzenia funkcji poznawczych u osób z afazją można monitorować także przy

pomocy metod elektrofizjologicznych. Ocena parametrów potencjałów skorelowanych ze zdarzeniem (ang. *event-related potentials*, ERP) pozwala na wnioskowanie o sprawności poznawczej nawet u osób z głęboką afazją. Najwcześniejszym całkowicie endogennym, a więc związanym z aktywnością poznawczą, potencjałem jest P300. Jest to pozytywny potencjał o wysokiej amplitudzie, związany ze zmianą reprezentacji kontekstu bodźca, pojawiający się w granicach 300-600 ms od prezentacji bodźca (Donchin, 1981; Polich, 2007). Jest on rejestrowany podczas prezentacji bodźców o różnej częstotliwości, w odpowiedzi na pojawienie się oczekiwanego (ze względu na instrukcję zadania) bodźca rzadkiego, na którym osoba badana skupia uwagę. Potencjał P300 najczęściej rejestruje się przy zastosowaniu procedur typu *oddball* polegających na reagowaniu na bodziec rzadki, bądź Go/No-Go - kiedy to należy naciskać przycisk w odpowiedzi na bodźce częste, a w odpowiedzi na bodziec rzadki wyhamować reakcję. Amplituda potencjału P300 jest interpretowana jako wskaźnik aktywacji układu nerwowego podczas przetwarzania informacji. Z kolei latencja świadczy o szybkości klasyfikowania bodźców (Polich, 2007). Ze względu na wysokie korelacje z różnymi zadaniami poznawczymi, wielu badaczy uważa latencję P300 za wskaźnik ogólnej wydolności poznawczej (Emmerson i in., 1989; Polich i Martin, 1992). Wydłużenie latencji i obniżenie amplitudy P300 obserwuje się w przypadku pogorszenia funkcji poznawczych np. w starzeniu (Fjell i Walhovd, 2001). Ponadto, nieprawidłowe parametry P300 obserwuje się również w chorobach układu nerwowego. Badania z udziałem pacjentów z chorobą Alzheimera wykazały obniżenie amplitudy i wydłużenie latencji potencjału w porównaniu z grupą kontrolną osób zdrowych (Lee i in., 2013; Polich i Corey-Bloom, 2005). Wydłużoną latencję i zmniejszoną amplitudę P300 wykazano również u pacjentów z chorobą Parkinsona (Xu i in., 2022). Co więcej, parametry te związane były z głębokością zaburzeń poznawczych w tych grupach.

Potencjał P300 jest wykorzystywany również do monitorowania w czasie zmian poziomu funkcji poznawczych u osób z afazją. Nolfę i współpracownicy (2006) dokonywali oceny P300 rejestrowanego podczas słuchowej procedury *oddball* w grupie pacjentów z afazją bezpośrednio po udarze, a także co miesiąc przez okres sześciu miesięcy. Wykazali oni, że o ile w pierwszym pomiarze, niedługo po wystąpieniu udaru, P300 udało się zarejestrować u mniej niż połowy pacjentów (41%), to w okresie półrocznym odsetek ten wzrósł do 66%. Co więcej, pacjenci u których w pierwszym pomiarze udało się zarejestrować potencjał P300 osiągnęli lepsze wyniki w testach mierzących rozumienie mowy w porównaniu z pozostałymi pacjentami. Nastąpiła

u nich także największa poprawa w zakresie funkcji językowych w okresie sześciu miesięcy. Podobnej próby podjęli się Cocquyt z zespołem (2021) badając osoby z afazją w dwóch punktach czasowych: około tygodnia po udarze (faza podostra) i około 30 tygodni po udarze (faza chroniczna). Wykazali oni, że uczestnicy u których w pierwszym pomiarze zarejestrowano potencjał P300 o parametrach zbliżonych z normatywnymi wykazali większą poprawę w zakresie rozumienia mowy niż ci u których parametry P300 były zaburzone. Badania te wskazują zatem na zasadność tezy, że potencjał P300 może być wiarygodnym wskaźnikiem poziomu funkcjonowania poznawczego również u osób z afazją, co więcej ocena jego parametrów może mieć wartość prognostyczną dla efektów poprawy funkcji językowych.

Kończąc rozdział o niejęzykowych funkcjach poznawczych zaburzonych u osób z afazją, należy wspomnieć, że kolejną taką funkcją jest CzPI. Jednak ze względu na istotną rolę CzPI w tematyce niniejszej pracy, funkcja ta zostanie szerzej omówiona w odrębnym podrozdziale. Wielu autorów wskazuje na kluczowe znaczenie CzPI dla trudności językowych po udarze, jak i szeroko rozumianego funkcjonowania poznawczego (Fink i in., 2006; Szlag i in., 2015, Szymaszek i in., 2009; von Steinbüchel i in., 1999).

1.2. Czasowe przetwarzanie informacji

1.2.1. Hierarchiczny model czasowego przetwarzania informacji

Jednym z pionierów badań nad czasowym przetwarzaniem informacji był Paul Fraisse (1963), który rozumiał to zjawisko jako umiejętność spostrzegania zmian we własnym organizmie i środowisku, w którym się funkcjonuje. Kompleksowy model CzPI, nazywany modelem hierarchicznym, zaproponował Ernst Pöppel (1989; 1997; 2009). Ze względu na jego kluczowe znaczenie dla opisanych w niniejszej pracy badań postaram się przybliżyć go w kolejnym paragrafie.

Zgodnie z teorią Pöppela można wyróżnić czas obiektywny - ujmowany w kategoriach fizycznych, płynący w sposób ciągły i czas subiektywny - odczuwany indywidualnie przez każdą osobę i płynący nierównomiernie. Subiektywne postrzeganie upływu czasu jest związane z działaniem mechanizmów mózgowych. W ramach swojego modelu Pöppel (1997) wyróżnił kilka poziomów przetwarzania czasu subiektywnego o uporządkowanej hierarchii, na których opiera się przetwarzanie bodźców.

Pierwszy, i najbardziej podstawowy poziom operuje w zakresie dziesiątek milisekund. Sprawne przetwarzanie informacji w tym zakresie pozwala na ocenę jednoczesności lub niejednoczesności bodźców, a także postrzegania ich kolejności. Bodźce muszą być oddzielone odpowiednio długą przerwą, żeby zostały odebrane jako niejednoczesne. Długość tej przerwy jest zależna od modalności, tak na przykład w celu odebrania bodźców słuchowych jako niejednoczesne musi je oddzielać przerwa o długości co najmniej 2-5 ms, zaś dla bodźców wzrokowych wynosi ona co najmniej 20-30 ms (Pöppel, 1989).

Z postrzeganiem kolejności wiąże się pojęcie rozdzielczości czasowej, czyli zdolności do postrzegania następstwa czasowego bodźców prezentowanych w szybkiej sekwencji. Wskaźnikiem rozdzielczości czasowej jest Próg Postrzegania Kolejności (PPK; ang. *temporal order threshold*). Oznacza on najkrótszy odstęp pomiędzy dwoma bodźcami potrzebny do podania ich kolejności z co najmniej 75%-ową poprawnością (Fink i in., 2005). Próg ten jest podobny dla bodźców różnych modalności. W przypadku młodych zdrowych osób wynosi około 30-80 ms (Szelaż i in., 2022). Ocena PPK najczęściej odbywa się na podstawie rozróżniania kolejności bodźców słuchowych (Fostick i Babkoff, 2013; 2017; Ulbrich i in., 2009). Powszechnie stosowana jest procedura rozdzielnościowa polegająca na ocenie kolejności bodźców prezentowanych w szybkim następstwie - pierwszy z bodźców prezentowany jest do jednego z uszu osoby badanej, drugi - do drugiego. Zadaniem osoby badanej jest określenie, czy najpierw słyszała dźwięk w uchu prawym, potem - w lewym, czy odwrotnie. Z kolei procedura obuuszna, zwana częstotliwościową polega na prezentowaniu jednocześnie do obu uszu osoby badanej dźwięków o różnej częstotliwości - wysokiego i niskiego z różną przerwą między nimi. W tym przypadku zadanie osoby badanej polega na określeniu, czy najpierw słyszała dźwięk wysoki, potem niski, czy też odwrotnie (Fostick i Babkoff, 2017). Niższe PPK, a więc krótsza przerwa potrzebna do prawidłowej identyfikacji kolejności dźwięków, świadczą o lepszej rozdzielczości czasowej, czyli większej sprawności czasowego przetwarzania informacji na poziomie dziesiątek milisekund.

W późniejszych latach scharakteryzowano również poziom kilkuset milisekund (Wittmann i in., 2001). Jest on związany z funkcjami ruchowymi, takimi jak programowanie sekwencji motorycznych. Najczęściej stosowanym paradygmatem do oceny wydajności tego poziomu jest zadanie synchronizacji naciśnień (ang. *finger tapping task*; Hubel i in., 2013; López i Laje, 2019). Osoby badane proszone są

o zsynchronizowanie tempa naciśnień z tempem prezentowanych dźwięków (naciskanie synchroniczne), lub naciskanie w komfortowym tempie (naciskanie spontaniczne).

Kolejnym poziomem w hierarchicznym modelu czasowego przetwarzania informacji jest poziom kilku sekund. Według Pöppela (1997, 2009) odpowiada on za odczuwanie terażniejszości. Opiera się na mechanizmie integracyjnym, który scala następujące po sobie zdarzenia w większe około 3-sekundowe jednostki. Dowodów na istnienie tego mechanizmu dostarczyły badania nad reprodukcją interwałów czasowych (Kagerer i in., 2002; Kowalska, 2003), w których wykazano, że najbardziej precyzyjnie odtwarzane są odcinki czasu o długości około 3 s. Ponadto, badania wykorzystujące paradygmat subiektywnego akcentowania, w którym osoba badana słucha serii monotonicznych dźwięków i ma za zadanie nadać im subiektywny rytm, również wskazują, że uderzenia te integrowane są w grupy, których długość nie przekracza trzech sekund (Szeląg i in., 1996; Szeląg i in., 2022). Ostatnim poziomem jest tzw. trwanie – poziom, który łączy około trzysekundowe odcinki w dostępne świadomości całości. Według autora, stanowią on podstawę poczucia ciągłości upływającego czasu.

CzPI pełni zdaniem wielu badaczy bardzo ważną rolę w funkcjonowaniu poznawczym człowieka. Zgodnie z klasyfikacją funkcji poznawczych zaproponowaną przez von Steinbüchel i Pöppela (1993) można wyróżnić funkcje kontekstowe (funkcje „co”) odnoszące się do konkretnych modalności i treści, odpowiadających za treść subiektywnego doświadczenia oraz funkcje logistyczne (funkcje „jak”), określające ogólne reguły formalne aktywności umysłowej podczas przetwarzania. Przykładami funkcji kontekstowych są planowanie, pamięć, czy język. Z kolei przykładem funkcji logistycznej jest CzPI. Stanowi on według tych autorów neuronalną matrycę, na której opiera się działanie funkcji kontekstowych, takich jak planowanie (Nowak i in., 2016, Jablonska i in., 2022), pamięć operacyjna (Jablonska i in., 2020), czy język (Szeląg i in., 2015). Ta ostatnia domena - językowa - jest szczególnie ważna ze względu na temat niniejszej pracy.

1.2.2. Zaburzenia czasowego przetwarzania informacji u osób z afazją

Mowa charakteryzuje się specyficzną organizacją czasową. Elementy komunikatu, aby zostać zrozumiane przez odbiorcę, muszą odznaczać się specyficzną dynamiką temporalną, zwykle nadawaną na poziomie nieświadomym (Abrams i in., 2010). Także zrozumienie wypowiedzi zależy od poprawnej identyfikacji wyrazów,

sylab i głosek, które opiera się na identyfikacji i uporządkowaniu szybko następujących po sobie dźwięków. Przetwarzanie informacji na poziomie kilkudziesięciu milisekund związane jest ze słuchem fonemowym, czyli zdolnością rozróżniania głosek. Spółgłoski zwarto-wybuchowe, takie jak b, p, g, k, d, t niezależnie od języka trwają około 30-40 ms, i w naturalnej mowie nie jesteśmy w stanie ich przedłużyć (Szelaǳ i Szymaszek, 2014). Zatem umiejętność analizy krótkich, trwających kilkadziesiąt milisekund, dźwięków pozwala na prawidłową identyfikację fonemów. Kolejnym przykładem na udział milisekundowego CzPI w rozumieniu mowy jest czas rozpoczęcia dźwięczności ǳoski (*Voice-Onset-Time*), definiowany jako czas pomiędzy końcem plosji (otwarcia w narządach artykulacyjnych drogi dla wydychanego powietrza), a początkiem wibracji fałdów ǳosowych (Szelaǳ i Szymaszek, 2014). Czas ten wynosi ok. 40 ms. Percepcja dźwięczności pozwala na rozróżnienie ǳosek dźwięcznych od bezdźwięcznych (jak d od t).

Kolejny poziom CzPI (poziom kilku sekund) zaangażowany jest w produkcję płynnej wypowiedzi, charakteryzującej się wypowiedaniem ok. 3-4 sylab lub dwóch słów w ciągu sekundy i segmentacją na fragmenty w kilkusekundowych przedziałach, pomiędzy którymi następuje krótka pauza. Ponadto, CzPI na poziomie kilku sekund bierze udział w aktualizacji słownictwa oraz produkcji i rozumieniu zdań (Szelaǳ i in., 2015).

Jako pierwsi na zaburzenia CzPI u osób z afazją zwrócili uwagę Efron (1963) i Swisher i Hirsh (1972). W późniejszych latach wykazano, że rodzaj afazji jest związany z zaburzeniem CzPI w konkretnej domenie przetwarzania informacji w czasie. Szelaǳ i współpracownicy (1997) wykazali, że osoby z afazją Broki wykazywali gorsze zdolności integracji bodźców w czasie na poziomie kilku sekund w porównaniu z osobami zdrowymi, pacjentami z afazją Wernickego i pacjentami z uszkodzeniami prawej półkuli. Z kolei pacjenci z afazją Wernickego demonstrowali podwyższony PPK (odnoszący się do poziomu kilkudziesięciu milisekund) w porównaniu z osobami zdrowymi, pacjentami z leżjami lewopółkulowymi nie wykazującymi objawów afazji oraz z leżjami prawopółkulowymi (von Steinbüchel i in., 1999). Umiejscowienie uszkodzenia mózgu jest więc związane ze specyficznym obrazem trudności w zakresie CzPI, co według niektórych autorów przekłada się na występowanie określonego rodzaju deficytów komunikacyjnych w afazji (Szelaǳ i in., 2015). W ostatnich latach Oron i współpracownicy (2015) wykazały, że pacjenci z afazją z dominacją zaburzeń rozumienia mowy charakteryzowali się ponad trzykrotnie wyższym PPK, niż osoby

zdrowe. U pacjentów średni odstęp między dźwiękami potrzebny do prawidłowej oceny ich kolejności wynosił 252 ms, podczas gdy u osób zdrowych był on równy 74 ms. Co więcej, analiza korelacji wykazała, że wysokość progu związana była z trudnościami językowymi. Im wyższy PPK (a więc im dłuższa przerwa potrzebna to prawidłowej oceny kolejności bodźców), tym niższa poprawność w testach mierzących rozumienie złożonych komunikatów, słuch fonemowy i różnicowanie dźwięczności. Badania te wskazują na występowanie zaburzeń w zakresie czasowego opracowywania informacji u osób z afazją, oraz ich związek z deficytami funkcji językowych.

Doniesienia te skłoniły do refleksji, czy poprawa w zakresie CzPI wiązać się może ze zwiększeniem sprawności w zakresie innych funkcji poznawczych (w tym językowych i niejęzykowych). Opierając się na modelu von Steinbüchel i Pöppela (1993) można podejrzewać, że poprawa logistycznej matrycy mózgu poprzez usprawnienie CzPI podniesie poziom funkcji kontekstowych. W kolejnym rozdziale omówione zostaną badania nad skutecznością treningów niejęzykowych funkcji poznawczych, w tym CzPI, w rehabilitacji afazji

1.3. Zastosowanie treningów niejęzykowych funkcji poznawczych w terapii afazji

Tradycyjna terapia afazji opiera się na ćwiczeniu zaburzonych funkcji językowych. Terapia ma charakter ćwiczeń logopedycznych dostosowanych do problemów językowych, z jakimi zmagają się pacjenci. Ponadto, opracowany został szereg programów rehabilitacji opartych o ćwiczenia komunikacji werbalnej, których skuteczność w restytucji języka wykazano empirycznie (np. Doesborgh i in., 2004; Elman i Bernstein-Ellis, 1999; Sparks i in., 1974). Również na polskim rynku dostępny jest szereg multimedialnych narzędzi do ćwiczeń językowych dedykowanych pacjentom z afazją - Afasystem, Afast Powiedz to!, afazja.net. Mimo dostępności wspomnianych wyżej możliwości, ich skuteczność w rehabilitacji afazji wydaje się być ograniczona, dlatego też badacze i klinicyści wciąż pracują nad nowymi metodami terapii. Ważnych wskazówek dostarczają tu omówione w poprzednim rozdziale doniesienia o występowaniu u osób z afazją zaburzeń niejęzykowych funkcji poznawczych i ich wpływie na poziom trudności językowych. Ćwiczenia tych funkcji mogą pomóc pacjentom w komunikacji i przyspieszyć poprawę zaburzonych zdolności językowych. Badacze opierają się tu na zjawisku transferu efektów treningu (Barnett i Ceci, 2002). Transfer bliski odnosi się do uogólnienia efektów treningu na domeny ściśle związane

z ćwiczoną funkcją. Z kolei transfer daleki ma miejsce, gdy poprawa następuje w zakresie domeny niezwiązanej, bądź w niewielkim stopniu związanej z ćwiczoną (Karbach i Kray, 2009; Noack i in., 2009). Badacze oczekują więc, że ćwiczenia w zakresie funkcji niejęzykowych przyniosą poprawę także w zakresie niećwiczonych funkcji językowych.

W literaturze istnieją doniesienia, że ćwiczenie niejęzykowych funkcji poznawczych przez osoby z afazją przynosi poprawę w zakresie funkcji językowych. Tak na przykład Zakarias i współpracownicy (2018a) opracowali trening oparty na ćwiczeniu pamięci operacyjnej i funkcji wykonawczych z wykorzystaniem wzrokowej procedury n-wstecz z literowymi bodźcami. Autorzy chcieli zweryfikować czy nastąpi transfer na niećwiczone w treningu rozumienie zdań. Dwoje z trojga trenowanych pacjentów z afazją wykazało poprawę zarówno w zakresie ćwiczonej funkcji jak i rozumieniu zdań. Badacze wykazali zatem wystąpienie dalekiego transferu z domeny pamięci operacyjnej na zdolność rozumienia zdań. W kolejnym badaniu, Zakarias i współpracownicy (2018b) zastosowali trening w zadaniu n-wstecz: wersją wzrokową z obrazkami i słuchową z wyrazami. Badacze wykazali, że po treningu wszyscy pacjenci osiągnęli poprawę w co najmniej trzech z pięciu miar funkcjonowania językowego. 1, 2 i 3) zdolności rozumienia zdań, badaną trzema testami, 4) komunikacji funkcjonalnej, badanej testem polegającym na próbie wypowiedzenia komunikatu przez pacjenta w scenkach nawiązujących do codziennych sytuacji lub 5) zdolności komunikacji w życiu codziennym na podstawie kwestionariusza wypełnianego przez opiekuna. Co więcej, diagnoza odroczonej wykazała, że u dwojga pacjentów poprawa w zakresie rozumienia zdań utrzymała się również 6 tygodni po zakończeniu treningu. Badaczom udało się zatem zreplikować poprzednio uzyskany przez nich wynik wskazujący na użyteczność zadań ćwiczących pamięć operacyjną w rehabilitacji afazji. Oba badania były jednak przeprowadzone na małych próbach (po 3 pacjentów w każdym), co znacząco ogranicza możliwość wnioskowania.

Skuteczność treningu pamięci operacyjnej była również tematem zainteresowania Nikraves i współpracowników (2021). W ich badaniu wzięło udział 25 pacjentów z afazją Broki w fazie chronicznej, z których trzynaścioro uczestniczyło w treningu eksperymentalnym, a dwanaścioro - kontrolnym. Trening eksperymentalny składał się z szeregu zadań ćwiczących pamięć operacyjną. Trening kontrolny miał z kolei charakter ćwiczeń językowych prowadzonych pod kierunkiem logopedy. Autorzy wykazali wystąpienie w grupie eksperymentalnej bliskiego transferu

przejawiającego się poprawą w zakresie pamięci operacyjnej. Ponadto, grupa ta osiągnęła poprawę w zakresie fluencji słownej, rozumienia słuchowego, nazywania i powtarzania, co świadczy o transferze dalekim. Co ciekawe, w grupie kontrolnej nie wykazano istotnej poprawy ani w zakresie niećwiczonej pamięci operacyjnej, ani w ćwiczonych funkcjach językowych.

Salis (2012) opisał skuteczność treningu pamięci krótkotrwałej na podstawie przypadku 73-letniej kobiety cierpiącej na transkorową afazję ruchową. Ćwiczone zadanie polegało na wskazywaniu, czy dwa ciągi słyszanych słów są identyczne, czy się różnią. Badacz wykazał poprawę w zakresie pamięci krótkotrwałej, a także w rozumieniu zdań. Jego zdaniem poprawa ta nastąpiła na skutek wolniejszego zaniku reprezentacji językowych (słów i fraz) w wyniku poprawy pamięci krótkotrwałej. Warto jednak dodać, że próba replikacji wyniku na większej grupie pacjentów zakończyła się niepowodzeniem (Salis, 2017).

W Instytucie Nenckiego przeprowadzono również badania weryfikujące skuteczność ćwiczeń CzPI w poprawie funkcji językowych u osób z afazją. Autorzy opracowali program treningowy w postaci pojedynczych gier komputerowych mających na celu usprawnianie zdolności rozpoznawania kolejności dwóch dźwięków. W badaniu pierwszym (Szelaż i in., 2014) procedura treningu była adekwatna do paradygmatu rozdzielności, a w drugim (Szymaszek i in., 2017) do obuusznego opisywanych w podrozdziale 1.2.1. Grupa kontrolna ćwiczyła z kolei różnicowanie głośności dwóch dźwięków, co nie wymagało zaangażowania CzPI. Trening rozpisany był na osiem 45-minutowych sesji. W obu badaniach badacze zaobserwowali poprawę sprawności CzPI u pacjentów biorących udział w treningu eksperymentalnym. Co więcej, pacjenci ci wykazali poprawę w zakresie niećwiczonych funkcji językowych, takich jak rozumienie zdań, różnicowanie fonemów i różnicowanie dźwięczności (*Voice-Onset-Time*, Szelaż i in., 2014; Szymaszek i in., 2017). Grupa kontrolna nie osiągnęła poprawy w żadnej z badanych funkcji.

Opisane badania wskazują na przydatność uwzględnienia ćwiczeń niejęzykowych, w tym w zakresie CzPI, w terapii afazji. Poprawa niejęzykowych funkcji poznawczych może się bowiem przyczyniać do złagodzenia deficytów językowych. Warto jednak zauważyć, że wiele z dotychczasowych badań przeprowadzono na niewielkich grupach pacjentów. Badania te nie uwzględniały także kompleksowej diagnostyki poziomu funkcji poznawczych językowych i niejęzykowych przed i po treningu, co utrudnia wnioskowanie o mechanizmach na których opiera się

obserwowana poprawa. W kolejnych częściach pracy zaprezentowałem założenia badań własnych wraz z otrzymanymi wynikami, szczegółowo opisanymi w przedłożonym cyklu artykułów. Wyniki te zostaną poddane merytorycznej analizie w Dyskusji.

2. Założenia i cele pracy

Omówione we Wstępie badania wskazują na występowanie u osób z afazją zaburzeń w zakresie CzPI. Funkcja ta jest często pomijana w badaniach obejmujących kompleksową diagnostykę pacjentów z afazją. Niejasny jest też związek tej funkcji z innymi niejęzykowymi funkcjami poznawczymi zaburzonymi w tej populacji. Zgodnie z modelem von Steinbüchel i Pöppela (1993) oraz bazując na wynikach badań z udziałem osób zdrowych, możemy przypuszczać, że zaburzenia CzPI mogą wpływać na poziom trudności językowych u osób z afazją, ale i na deficyty w zakresie innych funkcji poznawczych, takich jak pamięć operacyjna (Jablonska i in., 2020), czy funkcje wykonawcze (Nowak i in., 2016). Ważne jest zatem przeprowadzanie badań ukazujących powiązanie CzPI z innymi funkcjami poznawczymi, zarówno językowymi jak i niejęzykowymi u osób z afazją.

Celem niniejszej pracy było zbadanie związków pomiędzy CzPI oraz językowymi i niejęzykowymi funkcjami poznawczymi u osób z afazją przy pomocy metod neuropsychologicznych i elektrofizjologicznych. Sprawdzone ponadto, czy usprawnienie CzPI przyniesie w tej populacji poprawę w zakresie innych funkcji poznawczych. Wyniki pilotażowych badań nad skutecznością ćwiczeń CzPI (Szelaąg i in., 2014; Szymaszek i in., 2017) dały podstawy do twierdzenia, że jest to obiecujący kierunek prac. Wykazano, że u osób z afazją usprawnienie w zakresie milisekundowego CzPI przyczyniało się do poprawy w zakresie rozumienia mowy, słuchu fonemowego i różnicowania dźwięczności. W niniejszym projekcie podjęto się kontynuacji tych badań. Weryfikacji poddano skuteczność nowej ścieżki terapeutycznej programu treningowego uwzględniającego ćwiczenia różnych funkcji poznawczych, ze szczególnym naciskiem na usprawnianie CzPI.

Celem badania pierwszego (Choinski i in., 2020) było zbadanie związków pomiędzy pamięcią krótkotrwałą i operacyjną, CzPI, a poziomem rozumienia mowy u osób z afazją. Założono, że poziom pamięci krótkotrwałej i operacyjnej będzie w tej grupie powiązany zarówno ze sprawnością CzPI jak i zdolnością rozumienia mowy.

Celem badania drugiego (Choinski i in., 2023b) było zbadanie związków poziomu funkcji poznawczych u osób z afazją z parametrami potencjału P300. Jak omówiono w Wstępie, amplituda i latencja potencjału jest związana z poziomem funkcji poznawczych zarówno u osób zdrowych, jak i w grupach klinicznych. Nie ma jednak doniesień na temat związków parametrów P300 z poziomem funkcji poznawczych

u osób z afazją. Dlatego też w badaniu tym zweryfikowano zależności między parametrami P300 i poziomem funkcjonowania poznawczego, zarówno niejęzykowego i językowego, w tej grupie pacjentów.

Celem badania trzeciego (Choinski i in., 2023a) była weryfikacja skuteczności wieloaspektowego treningu poznawczego z naciskiem na usprawnianie CzPI u osób z afazją. Trening ten powstał w oparciu o nowatorskie multimedialne narzędzie Dr Neuronowski® (Szelań i Szymaszek, 2016) opracowane w Pracowni Neuropsychologii Instytutu Biologii Doświadczalnej PAN. Do celów niniejszego projektu opracowano nową ścieżkę terapeutyczną Dra Neuronowskiego®, przeznaczoną dla osób z afazją. Efekty treningu z użyciem tego oprogramowania porównano z efektami ćwiczeń językowych opartych o multimedialne programy logopedyczne stosowane obecnie w terapii afazji. Zakładano, że oba treningi przyczynią się do poprawy w zakresie ćwiczonych funkcji, tj. trening eksperymentalny przyniesie poprawę w zakresie funkcji niejęzykowych, takich jak CzPI, uwaga, czy pamięć operacyjna, zaś trening kontrolny - w zakresie funkcji językowych. Oczekiwano jednak, że po treningu eksperymentalnym poprawa nastąpi również w domenie językowej, co będzie świadczyło o dalekim transferze efektów treningu.

Przedstawione w przedłożonych artykułach badania przeprowadzone zostały ramach projektu dotyczącego weryfikacji skuteczności terapii afazji opartej o czasowe przetwarzanie informacji kierowanym przez dr hab. Anetę Szymaszek (Narodowe Centrum Nauki, OPUS 11; UMO-2016/21/B/HS6/03775). Przed przystąpieniem do badań każda osoba z afazją lub, w przypadku osób głębiej zaburzonych, jej opiekun prawny otrzymywali pisemną informację na temat celu i przebiegu badania, a następnie podpisywali świadomą zgodę na udział w badaniu.

Osoby badane były rekrutowane przy wsparciu logopedów i neuropsychologów pracujących na oddziałach neurologicznych i rehabilitacji neurologicznej warszawskich i podwarszawskich klinik, w tym: Wojskowego Instytutu Medycznego, Mazowieckiego Szpitala Bródnowskiego, Centrum Kompleksowej Rehabilitacji w Konstancinie, Szpitala Czerniakowskiego i Szpitala Grochowskiego. Ponadto, badani zgłaszali się również w odpowiedzi na ogłoszenia zamieszczone na grupach internetowych zrzeszających osoby z afazją i ich opiekunów na portalu Facebook (AFATYCY.pl, AFAZJA Pomoc, Udar mózgu – nowe życie) oraz na stronie dedykowanej projektowi (<https://afazja.nencki.edu.pl/>). Rekrutacja miała miejsce od maja 2018 do maja 2021.

Pacjenci badani w ramach niniejszego projektu rekrutowani byli według następujących kryteriów włączenia:

- uszkodzenie mózgu spowodowane pierwszym w życiu lewopółkulowym udarem mózgu niedokrwiennym lub krwotocznym;
- czas od udaru do pierwszego spotkania diagnostycznego wynosił 5 tygodni do 24 miesięcy (ze względu na trudności w rekrutacji, zdecydowano się poszerzyć kryterium dotyczące maksymalnego czasu od wystąpienia udaru do 60 miesięcy);
- afazja;
- język polski - językiem ojczystym pacjenta;
- praworęczność;
- brak dyzartrii;
- prawidłowy słuch - weryfikowany za pomocą przesiewowego badania audiometrycznego (audiometr MAICO MA33) dla częstotliwości wybranych ze względu na bodźce zastosowane w procedurach diagnostycznych i treningowych: 250, 500, 1000, 2000, 3000 Hz;
- wzrok w granicach normy lub skorygowany okularami, brak zaburzeń widzenia związanych z udarem;
- brak innych (poza udarem) chorób neurologicznych lub psychiatrycznych;
- brak urazów głowy z utratą przytomności w ciągu 5 lat poprzedzających badanie.

3. Opis badań własnych

3.1. Związki pomiędzy pamięcią, czasowym przetwarzaniem informacji i deficytami rozumienia mowy u osób z afazją

Jednym z najczęściej badanych, u osób z afazją, obszarów zaburzeń poznawczych są deficyty pamięci, w tym pamięci krótkotrwałej (Harris i in., 2014; Martin i Ayala, 2004; Minkina i in., 2018) i operacyjnej (Kasselimis i in., 2018; Martin i in., 2012; Mayer i Murray, 2012; Wright i Fergadiotis, 2012). Deficyty te nie są ograniczone jedynie do pamięci werbalnej, jako że badania wskazują również na zaburzenia pamięci przestrzennej (Martin i Ayala, 2004). Potagas i współpracownicy (2011b) wykazali, że osoby z afazją osiągają niższe od osób zdrowych wyniki w zakresie zarówno werbalnej, jak i przestrzennej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej. Dodatkowo, głębokość afazji była w ich badaniu związana z miarami wszystkich czterech rodzajów pamięci. Jako, że współczynniki korelacji z głębokością afazji były podobne dla pamięci krótkotrwałej i operacyjnej, autorzy ci sugerują, że podstawowym deficytem u tych pacjentów jest trudność z utrzymywaniem materiału w pamięci, co w następstwie uniemożliwia także efektywne wykonywanie na nim operacji.

Celem prezentowanego badania (Choinski i in., 2020) było sprawdzenie, w jaki sposób werbalna i przestrzenna pamięć krótkotrwała i operacyjna wiąże się z CzPI i poziomem rozumienia mowy u osób z afazją. Jak opisano w podrozdziale 1.2.1, CzPI stanowi logistyczny fundament funkcjonowania umysłowego, umożliwiając sprawne działanie funkcjom kontekstowym, takim jak pamięć, czy język (von Steinbüchel i Pöppel, 1993). Można zatem oczekiwać, że zaburzenia CzPI na poziomie milisekund, dobrze udokumentowane u osób z afazją, będą wiązać się z deficytami w zakresie pamięci i rozumienia mowy.

W pierwszej kolejności porównano u osób z afazją poziom wykonania zadań oceniających poziom pamięci krótkotrwałej z zadaniami mierzącymi pamięć operacyjną. Następnie analizie poddano związki pomiędzy werbalną i przestrzenną pamięcią krótkotrwałą i operacyjną, a poziomem rozumienia mowy. W ostatnim kroku sprawdzono, czy relacje pomiędzy pamięcią a CzPI są zależne od poziomu rozumienia mowy.

Ocena pamięci opierała się na zadaniach badających rozpiętość pamięciową (ang. *memory span*). Z kolei do pomiaru CzPI zastosowano rozdzielniejszą procedurę badania PPK (opisaną w podrozdziale 1.2.1). W celu oceny rozumienia mowy

posłużono się zaś wskaźnikiem skonstruowanym z uśrednionych wyników testów badających globalne rozumienie mowy¹, rozumienie gramatyki, rozumienie słów i słuch fonemowy.

W ramach przeprowadzonych badań wykazano, że osoby z afazją wykazują istotnie wyższy poziom pamięci krótkotrwałej, niż operacyjnej niezależnie od modalności (werbalna vs przestrzenna).

Na podstawie analiz korelacyjnych zanotowano pozytywny związek werbalnej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej oraz przestrzennej pamięci operacyjnej z poziomem rozumienia mowy. Z kolei przestrzenna pamięć krótkotrwała wykazywała słaby związek z poziomem rozumienia mowy jedynie w zakresie jednego ze wskaźników – wyniku punktowego, nie zaś liczby zapamiętanych elementów, czyli rozpiętości (Tabela 1).

Ponadto, wyższy poziom werbalnej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej oraz przestrzennej pamięci krótkotrwałej (wynik punktowy) i operacyjnej towarzyszył niższemu PPK, zatem osoby o lepszej pamięci cechowały się bardziej sprawnym CzPI.

Analiza korelacji cząstkowych ujawniła jednak, że po uwzględnieniu poziomu rozumienia mowy związki werbalnej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej z CzPI stawały się nieistotne statystycznie. Podobny efekt zaobserwowano w przypadku przestrzennej pamięci krótkotrwałej. Z kolei związek przestrzennej pamięci operacyjnej i CzPI pozostawał istotny nawet po uwzględnieniu wpływu poziomu rozumienia mowy. Wyniki analiz korelacyjnych przedstawiono w Tabeli 1.

¹ W niniejszym opracowaniu „globalne rozumienie mowy” oznacza funkcję mierzoną przy pomocy Testu Żetonów z baterii Aachener Aphasia Test (Huber i in., 1983).

Tabela 1. Wyniki analiz korelacyjnych pomiędzy wskaźnikami testów werbalnej i przestrzennej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej (wynik punktowy i rozpiętość) i wskaźnikami rozumienia mowy, CzPI oraz CzPI z kontrolą poziomu rozumienia mowy.

| Pamięć | | Wskaźnik | Rozumienie mowy | CzPI | CZPI z kontrolą rozumienia |
|--------------|--------------|------------|-----------------|-----------|----------------------------|
| Werbalna | Krótkotrwała | Wynik pkt | 0,702*** | -0,462** | -0,128 |
| | | Rozpiętość | 0,734*** | -0,483** | -0,140 |
| | Operacyjna | Wynik pkt | 0,822*** | -0,575*** | -0,258 |
| | | Rozpiętość | 0,764*** | -0,492** | -0,134 |
| Przestrzenna | Krótkotrwała | Wynik pkt | 0,316*** | -0,385* | -0,267 |
| | | Rozpiętość | 0,154 | -0,242 | -0,191 |
| | Operacyjna | Wynik pkt | 0,638*** | -0,661*** | -0,483** |
| | | Rozpiętość | 0,644*** | -0,689*** | -0,524** |

Istotne korelacje rho Spearmana oznaczono gwiazdkami: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Otrzymane wyniki pozwalają lepiej zrozumieć mechanizm zaburzeń pamięci u osób z afazją. W przypadku pamięci werbalnej kluczowym czynnikiem wpływającym na jej poziom wydaje się być deficyt rozumienia mowy. Osoby badane wykazywały istotnie wyższy poziom werbalnej pamięci krótkotrwałej, niż operacyjnej, jednak współczynniki korelacji pomiędzy oboma rodzajami pamięci i poziomem rozumienia mowy nie różniły się istotnie. Sugeruje to, że przyczyną zaburzeń obu rodzajów pamięci może być deficyt w zakresie pętli fonologicznej, utrudniający utrzymanie materiału. Zaburzenia manipulowania nim w pamięci operacyjnej mogą mieć tu charakter wtórny względem deficytu pamięci krótkotrwałej. Również CzPI w przypadku pacjentów z zaburzeniami afatycznymi wydaje się mieć niewielki związek z pamięcią werbalną.

Odmienny obraz pokazują analizy dotyczące pamięci przestrzennej. Przechowywanie materiału w pamięci krótkotrwałej nie było jednoznacznie powiązane z poziomem rozumienia - istotny związek zanotowano jedynie w przypadku jednego wskaźnika. Z kolei korelacja pomiędzy przestrzenną pamięcią operacyjną a rozumieniem mowy była istotna statystycznie w przypadku obu zastosowanych wskaźników. Relacja ta nie wpływała jednak na związek przestrzennej pamięci

operacyjnej z CzPI, który pozostawał istotny nawet przy kontroli funkcji rozumienia mowy. Wydaje się zatem, że to sprawność CzPI ma kluczowe znaczenie w manipulacji materiałem wzrokowo-przestrzennym.

3.2. Potencjał P300 jako wskaźnik sprawności poznawczej osób z afazją

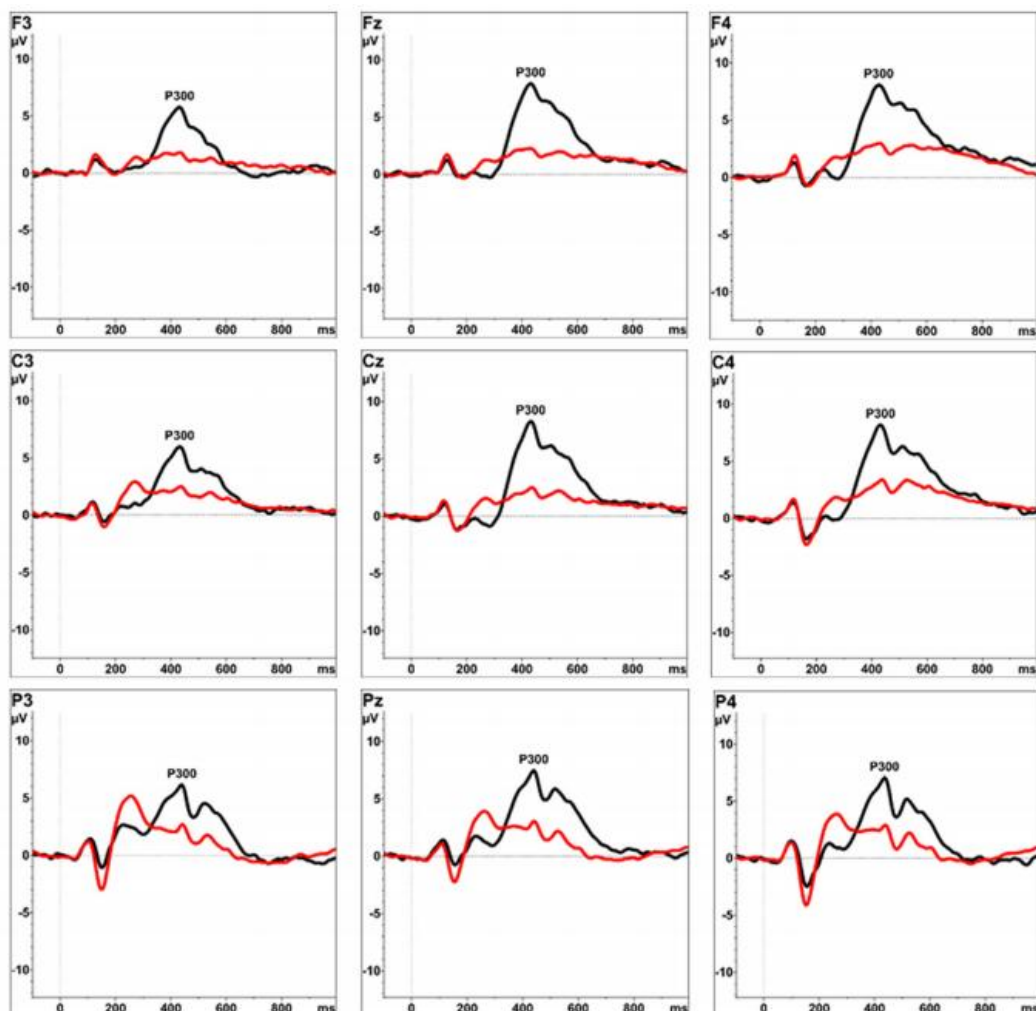
Opisane we Wstępie badania wskazują, że parametry potencjału P300 stanowią trafny wskaźnik zdolności poznawczych zarówno u osób zdrowych (Emmerson i in., 1989; Fjell i Walhovd, 2001), jak i w grupach klinicznych (Lee i in., 2013; Polich i Corey-Bloom, 2005, Xu i in., 2022). Ocena parametrów tego potencjału może również być pomocna w diagnostyce sprawności poznawczej osób z afazją. Przesiewowe testy do badania poziomu funkcjonowania umysłowego stosowane w klinikach często nie dają trafnych wyników w przypadku badania osób z afazją ze względu na konieczność kontaktu werbalnego. Ocena parametrów potencjału P300 stanowi szybką i obiektywną miarę, mogącą znaleźć zastosowanie nawet w przypadku osób z głębokim poziomem zaburzeń językowych. Brakuje jednak badań wykazujących związku parametrów tego potencjału z poziomem funkcji poznawczych w tej grupie pacjentów.

Celem niniejszego badania (Choinski i in., 2023b) była weryfikacja czy latencja P300, stanowiąca miarę szybkości przetwarzania bodźców, będzie związana z funkcjami poznawczymi, dla których kluczowe jest tempo wykonywania procesów umysłowych. Co więcej, podejrzewano, że latencja potencjału będzie wskaźnikiem poziomu funkcji językowych, szczególnie rozumienia mowy, jako że wiąże się z możliwością szybszej analizy napływających bodźców werbalnych. Z kolei literatura dotycząca związków amplitudy potencjału P300 a poziomem funkcji poznawczych nie wskazuje na spójny obraz zależności. Niektórzy badacze (Egan i in., 1994) donoszą, że większej sprawności poznawczej towarzyszy niższa amplituda, z kolei u innych (Lee i in., 2013) relacja ta jest pozytywna. W związku z tym opisane w niniejszej pracy analizy dotyczące amplitudy mają charakter eksploracyjny.

Rejestracji potencjału P300 dokonano podczas wykonywania przez pacjenta wzrokowego zadania Go/No-Go. Zastosowano w nim dwa rodzaje bodźców prezentowanych pojedynczo na środku ekranu - trójkąt (bodziec Go, w odpowiedzi na który należało nacisnąć przycisk) i koło (bodziec No-Go, w odpowiedzi na który należało powstrzymać się od naciśnięcia przycisku). Zadanie składało się z 75% bodźców Go i 25% bodźców No-Go. Czas wyświetlania bodźca wynosił 300 ms.

Kolejne bodźce oddzielone były interwałami o jednej z trzech długości (800, 1000 i 1200 ms).

Wartości amplitudy i latencji potencjału P300 identyfikowano w miejscu najwyższego dodatniego wychylenia sygnału w zakresie od 300 do 600 ms od początku ekspozycji bodźca rzadkiego (No-Go). Analizowano sygnał zarejestrowany na dziewięciu elektrodach - trzech z linii środkowej (Fz, Cz i Pz) najczęściej stosowanych w badaniach potencjału P300 ze względu na maksymalną amplitudę, oraz trzech elektrod nad półkulą lewą (F3, C3, P3) i nad półkulą lewą (F4, C4, P4), co umożliwiło sprawdzenie wpływu lewopółkulowej lezji na lateralizację potencjału. Przebieg potencjałów zilustrowano na Rycinie 2.



Rycina 2. Uśredniony zapis potencjałów w odpowiedzi na rzadkie bodźce No-Go (linie czarne) i częste bodźce Go (linie czerwone).

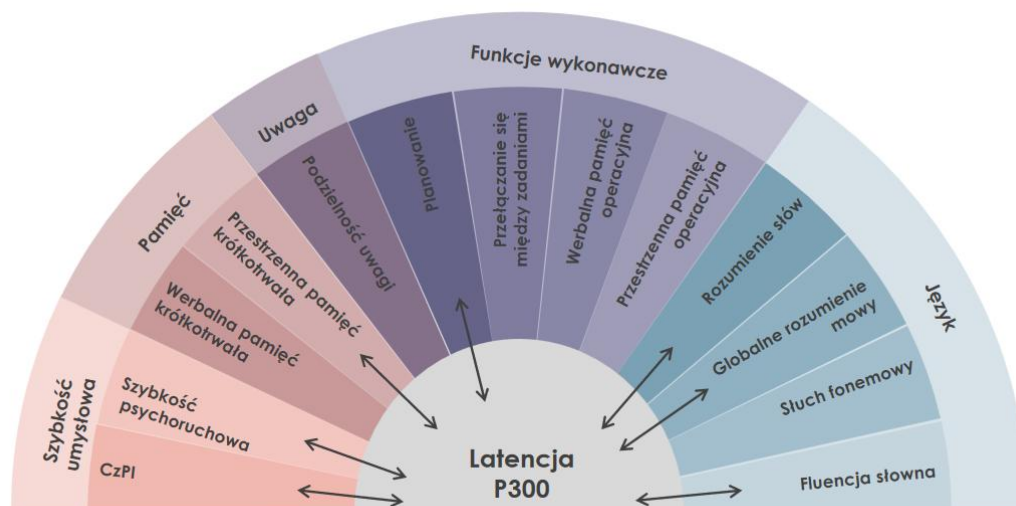
Obok elektrofizjologicznego zadania Go/No-Go pacjenci z afazją wykonywali szereg testów poznawczych oceniających ich: szybkość umysłową (CzPI i szybkość psychoruchową), pamięć (werbalną i przestrzenną pamięć krótkotrwałą), uwagę (podzielność uwagi) i funkcje wykonawcze (planowanie, przełączanie się między zadaniami, werbalną i przestrzenną pamięć operacyjną) oraz funkcje językowe (globalne rozumienie mowy, rozumienie słów, słuch fonemowy, fluencję słowną).

Pierwszy krok analiz stanowiło sprawdzenie lateralizacji potencjału P300. Porównano wskaźniki latencji i amplitudy pomiędzy trzema liniami elektrod - lewą, centralną i prawą. Wyniki wskazały, że latencja nie różni się istotnie pomiędzy trzema liniami. Z kolei amplituda zarejestrowana nad uszkodzoną lewą półkulą była istotnie niższa niż nad linią centralną i półkulą prawą (Rycina 2).

Analiza korelacji pomiędzy długością latencji potencjału P300 a poziomem funkcji poznawczych ujawniła następujące zależności:

- A) **Szybkość umysłowa:** Dłuższa latencja (wszystkie linie elektrod) związana była z niższą sprawnością CzPI oraz mniejszą szybkością psychoruchową.
- B) **Pamięć:** Dłuższa latencja potencjału (wszystkie linie elektrod) związana była z mniejszą rozpiętością przestrzennej pamięci krótkotrwałej. Nie wykazano istotnych związków pomiędzy latencją a krótkotrwałą pamięcią werbalną.
- C) **Uwaga:** Nie zanotowano istotnych statystycznie zależności pomiędzy długością latencji a poziomem podzielności uwagi.
- D) **Funkcje wykonawcze:** Dłuższa latencja (wszystkie linie elektrod) związana była z niższym poziomem planowania. Nie wykazano jednak związku długości latencji z poziomem przełączania się między zadaniami (ang. *task switching*) oraz z werbalną i przestrzenną pamięcią operacyjną.
- E) **Język:** Dłuższa latencja (linia centralna) związana była z niższym poziomem globalnego rozumienia mowy, rozumienia słów i fluencji słownej. Nie wykazano związku pomiędzy długością latencji a słuchem fonemowym.

Istotne zależności pomiędzy długością latencji potencjału P300 a poziomem funkcji poznawczych zilustrowano na Rycinie 3.



Rycina 3. Schemat korelacji pomiędzy długością latencji potencjału P300 a poziomem funkcji poznawczych. Istotne korelacje oznaczono strzałkami.

Analiza powiązań amplitudy z funkcjami poznawczymi wykazała, że niższa amplituda rejestrowana na elektrodach nad prawą półkulą odpowiadała niższej sprawności CzPI. Z kolei wysokość amplitudy rejestrowanej na elektrodach nad półkulą lewą była negatywnie związana z poziomem podzielności uwagi.

Uzyskane wyniki potwierdzają na grupie pacjentów z afazją doniesienia o przydatności analizy parametrów potencjału P300 w ocenie funkcjonowania poznawczego. Dotychczasowe badania skupiały się na osobach zdrowych lub innych grupach klinicznych. W opisanym badaniu po raz pierwszy wskazano, że potencjał P300, a w szczególności jego latencja, może stanowić wskaźnik poziomu funkcjonowania poznawczego również u osób z afazją. Długość latencji okazała się związana przede wszystkim z tymi funkcjami, których sprawność w dużej mierze zależy od szybkości przetwarzania.

3.3. Skuteczność treningu poznawczego opartego o czasowe przetwarzanie informacji u osób z afazją

Trzecie badanie (Choinski i in., 2023a) stanowiło kontynuację pilotażowych prac prowadzonych w Pracowni Neuropsychologii Instytutu Nenckiego dowodzących wpływu usprawnienia CzPI na językowe funkcje u osób z afazją (Szeląg i in., 2014;

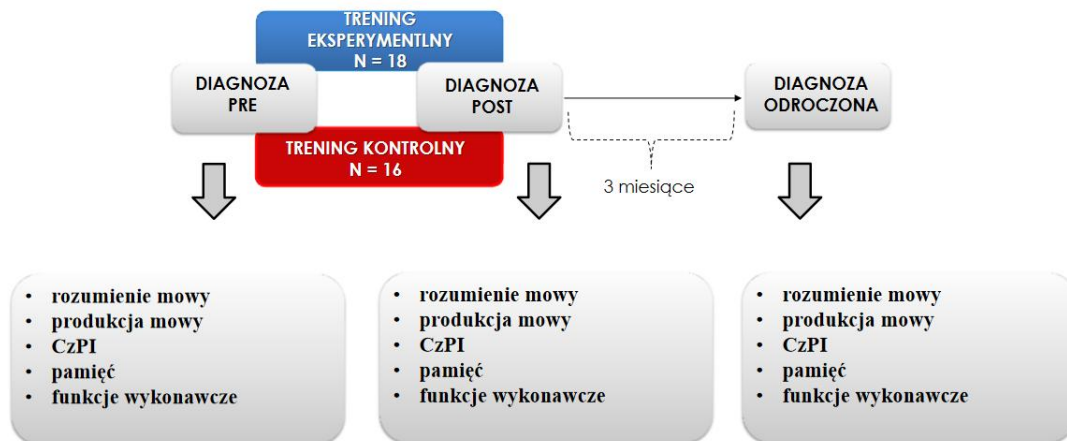
Szymaszek i in., 2017). W cytowanych pracach wykorzystano prototypowy program treningowy, w postaci pojedynczej gry komputerowej koncentrującej się na ćwiczeniu CzPI na poziomie dziesiątek milisekund.

W kolejnych latach w Pracowni opracowano nowatorskie multimedialne narzędzie terapeutyczne Dr Neuronowski® (Szeląg i Szymaszek, 2016; <http://www.neuronowski.com>). Opiera się ono na kompleksowej, wielomodalnej terapii poznawczej, ze szczególnym naciskiem na ćwiczenia CzPI. W obecnie dostępnej na rynku wersji narzędzie przeznaczone jest dla seniorów mających trudności poznawcze i dla dzieci ze specyficznymi zaburzeniami językowymi (ang. *specific language impairment*, SLI). Badania walidacyjne potwierdziły skuteczność oprogramowania u obu wspomnianych grup w zwiększeniu sprawności poznawczej (w tym językowej u dzieci z SLI; Baszuk, 2023; Dacewicz i in., 2018; Szymaszek i in., 2018).

Wyniki pilotażowych badań nad zastosowaniem ćwiczeń CzPI w terapii afazji (Szeląg i in., 2014; Szymaszek i in., 2017) oraz dane literaturowe wskazujące na zaburzenia poznawcze w innych domenach (Fonseca i in., 2016; Marinelli i in., 2017; Schumacher i in., 2019) sugerują, że wieloaspektowa terapia poznawcza, w tym angażująca CzPI w różnych domenach czasowych, może przynieść znaczącą poprawę funkcji poznawczych u osób z afazją, a w dalszym kroku również przełożyć się na złagodzenie objawów afazji. W ramach niniejszego projektu badawczego opracowano nową ścieżkę treningową Dra Neuronowskiego® przeznaczoną dla osób z afazją. Charakteryzuje się ona między innymi dostosowaniem rodzaju zadań do trudności poznawczych pacjentów z afazją i parametrów ćwiczeń (długości dźwięków, tempa ekspozycji bodźców, liczby dyktatorów) do ich możliwości.

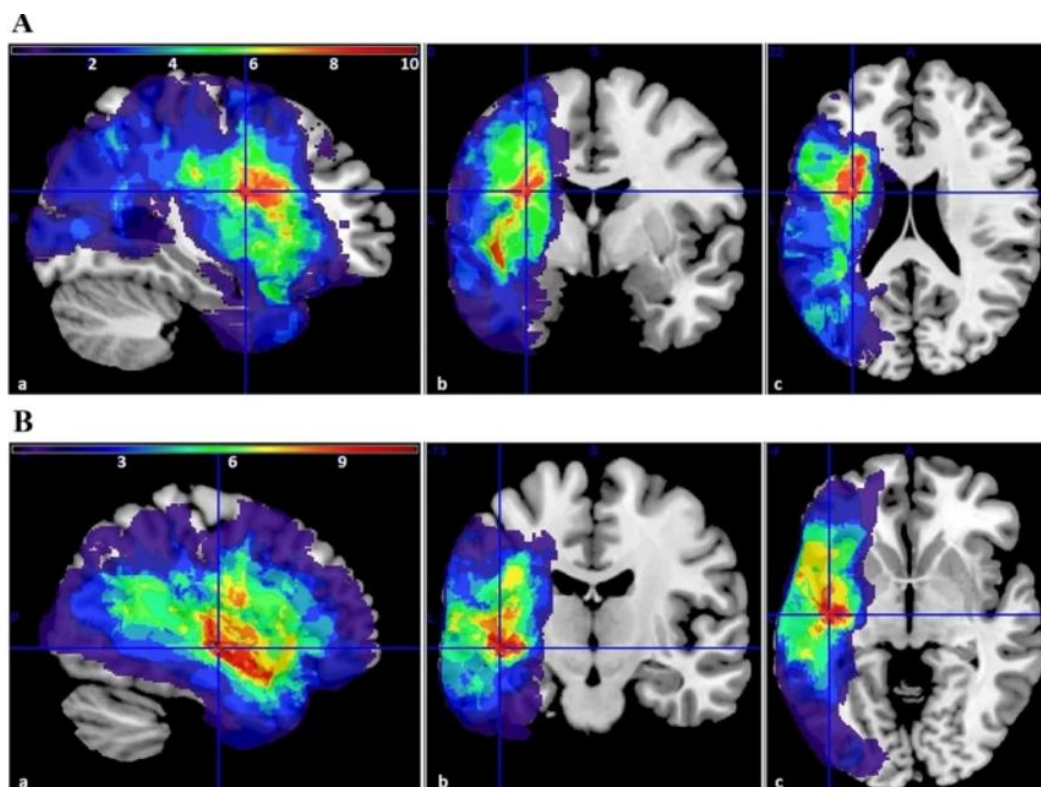
Celem niniejszego badania (Choinski i in., 2023a) była weryfikacja skuteczności nowej ścieżki terapeutycznej (trening eksperymentalny), w porównaniu do treningu językowego bazującego na ćwiczeniach rozumienia i produkcji mowy (trening kontrolny). Badanie miało charakter podłużny i składało się z kilku etapów (Rycina 4), tj. trzykrotnej diagnozy: przed treningiem (diagnoza PRE), bezpośrednio po zakończonym treningu (diagnoza POST) i 3 miesiące po zakończeniu treningów (diagnoza odroczonej mająca dostarczyć informacji o stabilności efektów zastosowanych oddziaływań). Wszystkie trzy diagnozy były analogiczne i obejmowały kompleksową ocenę funkcji poznawczych, w tym: a) językowych: rozumienie mowy (globalne rozumienie mowy, rozumienie gramatyki, rozumienie słów, słuch fonemowy) i produkcję mowy (nazywanie i fluencja słowna), oraz b) niejęzykowych: CzPI

(mierzone wskaźnikiem PPK), pamięć (werbalna i przestrzenna pamięć krótkotrwała) i funkcje wykonawcze (planowanie oraz werbalna i przestrzenna pamięć operacyjna).



Rycina 4. Schemat badania.

Po diagnozie PRE pacjenci przydzielani byli losowo do jednej z grup treningowych: eksperymetalnej (ćwiczącej za pomocą nowo stworzonej ścieżki Dra Neuronowskiego®) lub kontrolnej (ćwiczącej z gramami językowymi). Nie informowano ich do której grupy zostali zakwalifikowani, aby zniwelować wpływ oczekiwań pacjenta na efekty treningu (zgodnie z metodą ślepej próby). Grupy nie różniły się pod kątem czynników kluczowych dla procesu zdrowienia z afazji i mogących wpływać na efekt treningu, takich jak wiek, płeć, czas od udaru, rozległość lezji. Także umiejscowienie lezji było porównywalne w obu grupach (Rycina 5).



Rycina 5. Graficzne zestawienie zbiorcze umiejscowienia lezji mózgu u uczestników z grupy eksperymentalnej (A) i grupy kontrolnej (B). Kolory jaśniejsze (żółty, pomarańczowy i zielony) odpowiadają regionom uszkodzonym u większej liczby osób (zgodnie ze skalą koloru). Kolorami ciemniejszymi (niebieskim i granatowym) oznaczono regiony, w których leżą miało mniej osób. Mapy zaprezentowano w trzech przekrojach: a) strzałkowym, b) czołowym i c) poprzecznym.

Jak wspomniano wyżej, w ramach badania zastosowano dwa rodzaje treningów: trening poznawczy z wykorzystaniem nowo stworzonej ścieżki Dra Neuronowskiego® (trening eksperymentalny) i trening językowy (trening kontrolny).

Trening eksperymentalny obejmował intensywną, stymulację wielu funkcji poznawczych. Składał się z 10 modułów, z których każdy zawierał inny rodzaj gier. Moduł 0 miał na celu zapoznanie pacjenta z obsługą programu oraz bodźcami stosowanymi w kolejnych ćwiczeniach. Następne moduły zawierały gry ćwiczące różne funkcje: pamięć i uwagę słuchową w oparciu o bodźce niewerbalne (Moduł 1), CzPI w zakresie milisekund (Moduł 2), werbalną i niewerbalną pamięć słuchową krótkotrwałą i CzPI w zakresie milisekund (Moduł 3), planowanie i przełączanie się między zadaniami (Moduł 4), uwagę słuchową, porównywanie szybko zmieniających się bodźców werbalnych i CzPI w zakresie milisekund (Moduł 5), werbalną pamięć

słuchową krótkotrwałą (Moduł 6), CzPI w zakresie milisekund i sekund, szacowanie długości interwałów czasowych (Moduł 7), CzPI w zakresie milisekund i sekund, porównywanie długości dźwięków (Moduł 8), słuch fonemowy, różnicowanie głosek dźwięcznych i bezdźwięcznych, CzPI w zakresie milisekund (Moduł 9). Na podkreślenie zasługuje fakt, że większość modułów skoncentrowana była na ćwiczeniu funkcji CzPI.

Trening kontrolny natomiast bazował na multimedialnych oprogramowaniach używanych obecnie w terapii logopedycznej, takich jak: AfaSystem (Harpo), Logopedyczne Zabawy cz. VII – słuch fonemowy (Komlogo) i Trening słuchu – naucz się rozróżniać głoski (PWN). W ramach treningu kontrolnego ćwiczone były następujące funkcje językowe: rozumienie mowy, produkcja mowy, słuch fonetyczny, czytanie i układanie słów z liter.

Oba treningi opracowano tak, aby zagwarantować jak największe formalne podobieństwo, co umożliwiło rzetelne porównanie ich efektów. Zarówno trening eksperymentalny, jak i trening kontrolny składał się z 24 spotkań po 45 minut, 3 razy w tygodniu. Spotkania prowadzone były indywidualnie przez autora niniejszej pracy, wyszkolonych psychologów, logopedów, bądź studentów ostatnich lat studiów psychologicznych, specjalizujących się w rehabilitacji neuropsychologicznej. Zróznicowanie osób prowadzących treningi miało na celu zagwarantowanie jak największej obiektywizacji badań. Oba treningi uruchamiane były na tabletach. Ćwiczenia w obu treningach były w podobnym stopniu angażujące poznawczo i oprawione atrakcyjną szatą graficzną. Jednocześnie zadbano o to, żeby nie sprawiały wrażenia infantylnych. Pacjent wykonywał ćwiczenia samodzielnie pod stałym nadzorem, dostając od osoby prowadzącej jedynie wskazówki i informacje zwrotne. Oba treningi złożone były z określonego zestawu ćwiczeń o adaptacyjnym poziomie trudności, dostosowywanym do głębokości zaburzeń pacjenta.

Porównanie wyników uzyskanych przez pacjentów po treningu (diagnoza POST) z wynikami uzyskanymi przed treningiem (diagnoza PRE) ujawniło następujące zmiany:

Rozumienie mowy:

A) Globalne rozumienie mowy: Osoby z grupy eksperymentalnej uzyskały istotnie wyższą poprawność po treningu niż przed treningiem. W grupie kontrolnej różnica była nieistotna statystycznie.

B) Rozumienie gramatyki: Zanotowano istotną statystycznie poprawę w obu grupach treningowych.

C) Rozumienie słów: Nie wykazano istotnej statystycznie różnicy w żadnej z grup.

D) Słuch fonemowy: Zanotowano istotną statystycznie poprawę u osób z grupy eksperymentalnej. W grupie kontrolnej różnica była nieistotna.

Produkcja mowy:

A) Nazywanie: Zanotowano istotną statystycznie poprawę w obu grupach treningowych.

B) Fluencja słowna: Zanotowano istotną statystycznie poprawę u osób z grupy eksperymentalnej. W grupie kontrolnej różnica była nieistotna.

CzPI:

A) Postrzeganie kolejności dźwięków: Zanotowano istotną statystycznie poprawę u osób z grupy eksperymentalnej. W grupie kontrolnej różnica była nieistotna.

Pamięć:

A) Werbalna pamięć krótkotrwała: Zanotowano istotną statystycznie poprawę u osób z grupy eksperymentalnej. W grupie kontrolnej różnica była nieistotna.

B) Przestrzenna pamięć krótkotrwała: Nie wykazano istotnej statystycznie różnicy w żadnej z grup treningowych.

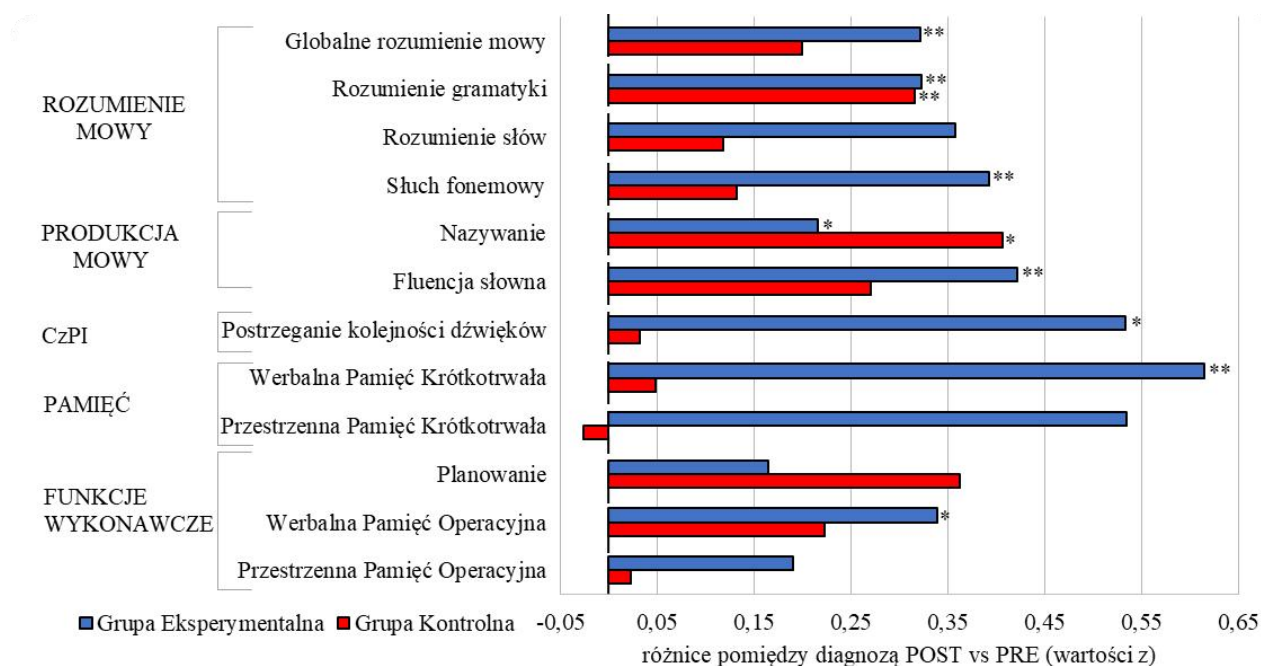
Funkcje wykonawcze:

A) Planowanie: Nie wykazano istotnej statystycznie różnicy w żadnej z grup treningowych

B) Werbalna pamięć operacyjna: Zanotowano istotną statystycznie poprawę u osób z grupy eksperymentalnej. W grupie kontrolnej różnica była nieistotna.

C) Przestrzenna pamięć operacyjna: Nie wykazano istotnej statystycznie różnicy w żadnej z grup treningowych.

Zmiany w zakresie funkcji poznawczych osiągnięte na skutek treningów zwizualizowano na Rycinie 6.



Rycina 6. Zmiana poziomu poszczególnych funkcji wyrażona w wartościach standardowych z (wynik w diagnozie po treningu [POST] - w diagnozie przed treningiem [PRE]) dla grupy eksperymentalnej (niebieskie słupki) i kontrolnej (czerwone słupki). Wartości dodatnie (na prawo od przerywanej linii) wskazują na poprawę; wartości ujemne (na lewo od przerywanej linii) - pogorszenie wykonania. Istotne statystycznie różnice oznaczono gwiazdkami: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Porównanie wyników uzyskanych w diagnozie odroczonej i diagnozie po treningu (diagnoza POST) w grupie eksperymentalnej nie wykazało istotnych statystycznie różnic w obrębie żadnej z badanych funkcji poznawczych, co wskazuje na stabilność w czasie efektów treningu. Z kolei w grupie kontrolnej zanotowano poprawę w zakresie słuchu fonemowego i przestrzennej pamięci krótkotrwałej.

Otrzymane wyniki wskazują na poprawę funkcjonowania poznawczego osób z afazją na skutek obu treningów (Rycina 6). W przypadku treningu eksperymentalnego, angażującego ćwiczenie CzPI, poprawa nastąpiła zarówno w zakresie ćwiczonych funkcji niejęzykowych, takich jak CzPI, werbalna pamięć krótkotrwała i operacyjna, jak i w funkcjach językowych tj. globalnym rozumieniu mowy, rozumieniu gramatyki, fluencji słownej, nazywaniu i słuchu fonemowego. Trening kontrolny bazujący na ćwiczeniach językowych przyniósł natomiast poprawę jedynie w zakresie ćwiczonych funkcji - rozumienia gramatyki i nazywania. Trening z wykorzystaniem nowej ścieżki terapeutycznej Dra Neuronowskiego® (Rycina 6, niebieskie słupki) przyniósł zatem

zdecydowanie większe benefity, zarówno dla funkcjonowania poznawczego, jak i stricte językowego, w porównaniu do metod obecnie stosowanych w praktyce klinicznej (trening kontrolny, czerwone słupki).

4. Dyskusja

Celem prezentowanego cyklu badań było ukazanie powiązań zaburzeń niejęzykowych funkcji poznawczych z deficytami językowymi u osób z afazją ze wskazaniem szczególnej roli CzPI. Wyniki dotychczasowych prac (Fonseca i in., 2016; Seniów i in., 2009) i omówionych badań własnych pokazują, że deficyty te wchodzą we wzajemną interakcję pogłębiając trudności językowe i utrudniając proces terapii. Określenie związku zaburzeń niejęzykowych funkcji poznawczych, w tym CzPI, z funkcjami językowymi i uwzględnienie w terapii ćwiczeń usprawniających ich poziom pozwala adekwatnie poprawiać rozumienie i produkcję mowy.

Jednymi z funkcji, których deficyty najczęściej wskazuje się u osób z afazją są pamięć krótkotrwała i operacyjna (Murray, 2012; Murray i in. 2018; Potagas i in., 2011b). Pierwsze omówione badanie (Choinski i in. 2020) dotyczyło związków werbalnej i przestrzennej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej z poziomem rozumienia mowy i CzPI. Otrzymane wyniki wskazują na to, że osoby z afazją mają istotnie większe trudności w zakresie pamięci operacyjnej niż krótkotrwałej. Co więcej, związek poziomu pamięci ze zdolnością rozumienia mowy jest zależny od modalności zapamiętywanego materiału. Werbalna pamięć zarówno krótkotrwała, jak i operacyjna wykazują silny związek z poziomem rozumienia mowy, co jest spójne z wcześniejszymi doniesieniami (Kasselimis i in., 2018; Murray, 2012; Potagas i in., 2011b; Salis i in., 2015). W niniejszym badaniu wykazano również związek przestrzennej pamięci operacyjnej z rozumieniem mowy. Z kolei związek przestrzennej pamięci krótkotrwałej z rozumieniem okazał się znacznie słabszy (istotność statystyczną zaobserwowano tylko w przypadku jednego wskaźnika testu pamięciowego, przy czym współczynnik korelacji był znacznie niższy niż w przypadku innych rodzajów pamięci). Również w poprzednich badaniach (DeDe i in., 2014; Kasselimis i in., 2018; Martin i Ayala, 2004) wskazywano na występowanie deficytów w zakresie pamięci przestrzennej u osób z afazją i ich związki z głębokością zaburzeń funkcji językowych (Potagas i in., 2011b). Może to budzić zdziwienie, jako że zdolności wzrokowo-przestrzenne są tradycyjnie przypisywane prawej półkuli (De Renzi i in., 1977). Wyniki badań (Paulraj i in., 2018) wskazują jednak na udział także lewej półkuli w przetwarzaniu bodźców wzrokowo-przestrzennych, co wyjaśnia występowanie deficytów w tym zakresie u pacjentów z afazją. Na poziomie przetwarzania informacji, związek deficytów rozumienia z poziomem pamięci przestrzennej tłumaczyć można stosowaniem strategii

werbalnych podczas dokonywania operacji pamięciowych (Martin i Ayala, 2004). Szczególnie zadania wymagające manipulacji materiałem w przestrzennej pamięci operacyjnej mogą wymagać posiłkowania się takimi strategiami. Zgodne z tą argumentacją są wyniki badania z udziałem osób zdrowych, dokumentujące pogorszenie wykonania zadania klocków Corsiego w warunku wstecz podczas tłumienia strategii werbalnej (Vandierendonck i in., 2004). Badania wskazują jednak, że mowa wewnętrzna u osób z afazją może być zachowana (Fama i Turkeltaub, 2020), co powinno im umożliwiać stosowanie strategii werbalnych. Innego wyjaśnienia dostarczyli Kasselimis i współpracownicy (2018). Rozważają oni, że zdolności wzrokowo-przestrzenne pojawiły się w filogenezie człowieka znacznie wcześniej niż zdolności językowe, zatem mogły być kontrolowane mechanizmami mózgowymi obecnie odpowiedzialnymi za język. Dopiero reorganizacja mózgu na skutek językowej specjalizacji obszarów lewopółkulowych spowodowała przejście funkcji wzrokowo-przestrzennych w dużej mierze przez półkulę prawą. Obszary lewopółkulowe wciąż są jednak zaangażowane we wspieranie półkuli prawej w bardziej zaawansowanych operacjach wzrokowo-przestrzennych, takich jak manipulacja materiałem w pamięci operacyjnej. Uszkodzenie lewej półkuli, jak w przypadku uczestników niniejszego projektu, uniemożliwia pełnienie tej funkcji tym obszarom, przyczyniając się jednocześnie do afazji.

Kolejną ważną obserwacją zanotowaną w prezentowanym badaniu (Choinski i in., 2020) są związki pamięci krótkotrwałej i operacyjnej z CzPI. Zgodnie z teorią von Steinbüchel i Pöppela (1993) i wynikami wcześniejszych badań (Jablonska i in., 2020; Üstün i in., 2017), CzPI może stanowić logistyczną bazę do wykonywania operacji pamięciowych. Opisane w niniejszym badaniu analizy wskazują, zgodnie z powyższym założeniem, na istnienie związku pomiędzy werbalną pamięcią krótkotrwałą i operacyjną i przestrzenną pamięcią operacyjną a CzPI. W przypadku przestrzennej pamięci krótkotrwałej związek ten ponownie osiągnął poziom istotności statystycznej tylko dla jednego wskaźnika (Tabela 1). Związki werbalnej pamięci z CzPI mogą być wyjaśnione rolą rozdzielczości czasowej w dekodowaniu odbieranej informacji werbalnej (Fink i in., 2006; Oron i in., 2015), która następnie musi zostać utrzymana w pamięci. Od sprawności CzPI zależy również uszeregowanie w kolejności przechowywanych elementów. Również manipulacja na tym materiale w pamięci operacyjnej, polegająca na odwróceniu kolejności elementów, odbywa się zgodnie z określoną dynamiką czasową. Na każdym z tych etapów zaburzenie CzPI może

przyczynić się do zakłócenia pracy pamięci. Uwzględnienie poziomu rozumienia mowy spowodowało, że ukazane relacje stały się nieistotne statystycznie. Wskazuje to na pośredniczącą rolę deficytu językowego w relacji CzPI-pamięć werbalna. Co prawda prawidłowe rozumienie prezentowanych słów było w badaniu kontrolowane poprzez umożliwienie wykonania testu jedynie pacjentom, którzy pomyślnie wykonali zadanie wstępne (poprawne rozumienie pojedynczych słów), jednak deficyt rozumienia okazał się zakłócać pracę pętli fonologicznej, utrudniając utrzymywanie materiału. W dalszej kolejności uniemożliwiło to efektywną manipulację na werbalnym materiale w pamięci operacyjnej.

Również w przypadku przestrzennej pamięci operacyjnej CzPI okazało się mieć ważne znaczenie. Relacja pomiędzy tymi funkcjami okazała się w tym przypadku niezależna od głębokości deficytów rozumienia. Związek CzPI z przestrzenną pamięcią krótkotrwałą był jednak znacznie słabszy. Jest to zgodne z wynikami badania Jablonskiej i współpracowników (2020), które wskazują, na przykładzie wykonywania zadania n-wstecz przez osoby starsze, że CzPI ma znaczenie dla manipulacji materiałem pamięciowym, nie zaś dla przechowywania materiału w pamięci krótkotrwałej.

W badaniu drugim (Choinski i in., 2023b) analizie poddano związek parametrów potencjału P300 z poziomem funkcji poznawczych u osób z afazją. Dotychczasowe badania przeprowadzone na małolicznych grupach (Cocquyt i in., 2021; Nolfi i in., 2006) wskazują na możliwość przewidywania efektów terapii afazji na podstawie obecności i parametrów potencjału P300 bezpośrednio po udarze. Brakowało jednak danych na temat związków parametrów owego potencjału z poziomem poszczególnych funkcji, zarówno językowych, jak i niejęzykowych. W zaprezentowanym badaniu wykazano związek latencji potencjału z funkcjami takimi jak: CzPI, szybkość psychoruchowa, przestrzenna pamięć krótkotrwała, planowanie, rozumienie słów, globalne rozumienie mowy i fluencja słowna (Rycina 3). Krótsza latencja odpowiadała wyższemu poziomowi tych funkcji. Latencja P300 może być zatem interpretowana jako wskaźnik szybkości procesów mózgowych leżących u podłoża tych funkcji.

CzPI i szybkość psychoruchowa są w sposób ścisły związane z tempem przetwarzania bodźców. Związek szybkości przetwarzania z poziomem przestrzennej pamięci krótkotrwałej i planowania jest mniej jasny. Zapamiętywanie serii elementów prezentowanych z określoną dynamiką czasową wymaga odpowiednio szybkiego przetwarzania. We wcześniejszych pracach (Boucher i in., 2010) wykazano u dzieci związek latencji potencjału P300 z rozpiętością werbalnej pamięci krótkotrwałej.

W obecnym badaniu analogicznej relacji nie zanotowano, co może być spowodowane specyfiką grupy - pacjentów z afazją. Jak wykazano w badaniu pierwszym (Choinski i in., 2020) werbalna pamięć krótkotrwała jest w ich przypadku w dużej mierze uzależniona od głębokości deficytów rozumienia mowy, co modyfikuje prostą relację szybkości przetwarzania z rozpiętością pamięci obserwowaną u osób zdrowych. W obecnym badaniu wykazano jednak, że poziom przestrzennej pamięci krótkotrwałej, w mniejszym stopniu związanej z głębokością afazji, wykazuje zależność z długością latencji P300.

Z kolei zdolność planowania była w opisywanym badaniu mierzona za pomocą testu Wieży Londenkiej (Schuhfried, 2013) wymagającego rozwiązywania problemów w ograniczonym czasie (jedna minuta na każdy przykład). Ostateczny wynik zależał zatem od szybkości przetwarzania, warunkującej tempo planowania i wykonania kolejnych ruchów prowadzących do poprawnego rozwiązania problemu.

W przypadku osób z afazją szybkość przetwarzania ma szczególne znaczenie dla poziomu rozumienia słów i globalnego rozumienia mowy. Większa szybkość przetwarzania umożliwia bowiem bardziej skuteczną analizę jednostek językowych w danym czasie, co przekłada się na wyższy poziom rozumienia mowy. Tempo przetwarzania ma znaczenie także dla poziomu fluencji słownej, która mierzona była przy pomocy zadania polegającego na podaniu w ciągu minuty jak największej liczby słów z określonej kategorii semantycznej. Wynik, tj. liczba poprawnie podanych słów, uzależniony był zatem od dynamiki przeszukiwania zasobów leksykalno-semantycznych.

Latencja potencjału P300 okazała się nie wykazywać związku z funkcjami takimi jak podzielność uwagi, przełączanie się między zadaniami, czy pamięć operacyjna. Funkcje te oparte są na szeregu złożonych operacji, takich jak manipulacja materiałem (pamięć operacyjna), czy wykonywanie dwóch zadań jednocześnie (podzielność uwagi). Można przypuszczać, że szybkość przetwarzania jest wskaźnikiem zbyt podstawowych procesów umysłowych, nie będącym w prostej relacji z poziomem tak złożonych funkcji. Zgodnie z tą argumentacją interpretować można również wspomniany brak zależności latencji P300 i werbalnej pamięci krótkotrwałej, których związek wykazywany u osób zdrowych w przypadku z osób z afazją może być modyfikowany przez głębokość deficytów językowych.

Przeprowadzone eksploracyjne analizy dotyczące związków amplitudy potencjału P300 z poziomem funkcji poznawczych nie dostarczyły jasných wyników.

Jedynie zaobserwowane istotne korelacje dotyczyły pojedynczych funkcji z pojedynczymi liniami elektrod. Wynik ten powieli dotychczasowe doniesienia o niejednoznacznym związku wysokości amplitudy z poziomem funkcji poznawczych (Egan i in., 1994; Lee i in., 2013).

Podsumowując, otrzymane wyniki sugerują, że latencja potencjału P300 może stanowić trafny wskaźnik funkcjonowania poznawczego osób z afazją. Na jego podstawie można wnioskować o poziomie podstawowych funkcji, zależnych od tempa przetwarzania informacji. Warto również podkreślić, że rejestrację potencjału P300 przeprowadzono przy pomocy procedury wzrokowej. Zanotowane związki pomiędzy latencją a poziomem funkcji poznawczych, także językowych, wskazują na kluczową rolę podstawowych procesów neuronalnych (niezależnych od domeny językowej) w operacjach poznawczych, nawet takich jak rozumienie, czy produkcja mowy. Ocena latencji potencjału P300 może zatem stanowić szybką i obiektywną miarę funkcjonowania poznawczego osób z afazją. Ze względu na możliwość zastosowania procedury wzrokowej, badanie takie przeprowadzić można nawet przy diagnostyce pacjentów z głęboką afazją.

Wyniki trzeciego z prezentowanych badań (Choinski i in., 2023a) wykazały skuteczność w rehabilitacji afazji poznawczego treningu z zastosowaniem nowo stworzonej ścieżki terapeutycznej bazującej na programie Dr Neuronowski®. Trening ten składał się z gier ćwiczących różne funkcje, ze szczególnym naciskiem na usprawnianie CzPI na różnych poziomach czasowych (milisekundowym i sekundowym). U uczestników treningu zanotowano poprawę w zakresie szeregu funkcji poznawczych: CzPI, werbalnej pamięci krótkotrwałej i operacyjnej, globalnego rozumienia mowy, rozumienia gramatyki, słuchu fonemowego, nazywania i fluencji słownej (Rycina 6). Część z nich tj., CzPI, werbalna pamięć krótkotrwała oraz słuch fonemowy ćwiczone były bezpośrednio. Poprawie uległy jednak również funkcje niećwiczone podczas treningu, takie jak werbalna pamięć operacyjna oraz szereg funkcji językowych, co świadczy o wystąpieniu dalekiego transferu (Karbach i Kray, 2009). Poprawa werbalnej pamięci operacyjnej może być skutkiem usprawnienia pamięci krótkotrwałej. Jak wykazano w badaniu pierwszym (Choinski i in., 2020) zaburzona pętla fonologiczna i zdolność utrzymywania materiału werbalnego w pamięci może bowiem być przyczyną deficytów werbalnej pamięci operacyjnej u osób z afazją.

Najważniejszą obserwacją jest jednak poprawa w zakresie funkcji językowych, która miała miejsce na skutek treningu z użyciem nowej ścieżki terapeutycznej

programu Dr Neuronowski[®], co potwierdza wyniki badań pilotażowych (Szelaż i in., 2014, Szymaszek i in., 2017). Poprawie uległa zdolność rozumienia mowy, zarówno globalnego, jak i struktur gramatycznych. Jako że rozumienie złożonych jednostek językowych, jakimi są zdania, wymaga sprawnego dekodowania odbieranych w szybkim tempie bodźców werbalnych i utrzymywania ich w pamięci, poprawa ta może być skutkiem większej sprawności w zakresie CzPI i werbalnej pamięci operacyjnej. Ponadto, omawiane badanie jest pierwszym demonstrującym poprawę w zakresie produkcji mowy (nazywanie i fluencja słowna) na skutek usprawnienia CzPI. W tym wypadku poprawa mogła wynikać z również z usprawnienia (obok CzPI) także pamięci operacyjnej, co skutkowało lepszym dostępem do reprezentacji semantyczno-leksykalnych. Uzasadnienie tej hipotezy wymaga jednak dalszych badań.

Uwzględnione w nowej ścieżce terapeutycznej Dra Neuronowskiego[®] gry ćwiczyły różne funkcje poznawcze, jednak w większości modułów zawarte były elementy ćwiczące CzPI. Zaobserwowaną poprawę można zatem w dużej mierze przypisać usprawnieniu CzPI. Stanowiłoby to potwierdzenie teorii von Steinbüchel i Pöppela (1993), wedle której poprawa logistycznej matrycy neuronalnej (CzPI) przyczynia się do usprawnienia funkcji kontekstowych.

Trening kontrolny, złożony z gier językowych, przyniósł poprawę jedynie w zakresie niektórych ćwiczonych funkcji - rozumienia gramatyki i nazywania (Rycina 6). Nie zaobserwowano poprawy w ramach żadnej niećwiczonej funkcji poznawczej. Warto jednak tu zaznaczyć, że trening ten został tak zaprojektowany, by stanowić jak najlepszy odpowiednik treningu eksperymentalnego. Podobnie jak w przypadku treningu eksperymentalnego, udział osoby prowadzącej był minimalny. Ważnym elementem terapii językowej jest z kolei relacja pacjenta z terapeutą i swobodna komunikacja między nimi. Zatem, o ile omawiany trening kontrolny stanowi dobre odniesienie dla ćwiczeń zawartych w treningu eksperymentalnym, jest on procedurą zaprojektowaną dla potrzeb badania i jego skuteczność nie oddaje rzeczywistej skuteczności terapii neuropsychologicznej i logopedycznej.

Warto również zaznaczyć, że badanie to wykazało stabilność efektów obu treningów w okresie trzech miesięcy, co stanowi niewątpliwy wyznacznik jakości oddziaływań (Jaeggi i in. 2011).

Trening poznawczy uwzględniający ćwiczenia CzPI stanowi obiecujący kierunek w rehabilitacji afazji. Testowana nowa ścieżka programu Dr Neuronowski[®] pozwala na skuteczne ćwiczenie szeregu funkcji poznawczych, ale i usprawnienie

niećwiczonych funkcji językowych. Jako, że poprawa dotyczy innego zakresu funkcji, niż kontrolny trening językowy, ćwiczenia CzPI mogą stanowić uzupełnienie dla terapii logopedycznej. Warto również wspomnieć, że niewątpliwą zaletą tego typu ćwiczeń jest ich niejęzykowy charakter. Wykazano bowiem, że konieczność stosowania zaburzonego języka często wiąże się u osób z afazją z silnym stresem (Cahana-Amitay i in., 2011), co dodatkowo utrudnia proces rehabilitacji. Uwzględnienie ćwiczeń niejęzykowych pozwala zredukować ten problem, jednocześnie potencjalnie przyczyniając się do pośredniej poprawy funkcji językowych.

Podsumowując, wyniki uzyskane w opisanym cyklu badań nie tylko pogłębiają wiedzę na temat afazji, ale dostarczają również wskazówek dla postępowania z tym zaburzeniem w praktyce klinicznej. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że w diagnozie trudności poznawczych osób z afazją warto uwzględnić ocenę takich funkcji jak CzPI i pamięć krótkotrwała i operacyjna, które mogą być ściśle związane z deficytami językowymi. Poza miarami neuropsychologicznymi obiektywnej informacji o ogólnym poziomie funkcjonowania poznawczego przynieść może ponadto ocena latencji potencjału P300. Największym atutem prezentowanego cyklu badań jest jednak stworzenie i walidacja nowej ścieżki terapeutycznej programu Dr Neuronowski® przeznaczonej dla osób z afazją. Wykazano, że jej stosowanie przynosi bowiem większe korzyści dla funkcjonowania poznawczego, w tym językowego, niż metody obecnie wykorzystywane w klinikach.

Opisane badania nie są jednak wolne od ograniczeń. W prezentowanym cyklu badań zastosowano bardzo restrykcyjne kryteria włączenia do projektu, co powodowane było dbałością o możliwie najwyższą homogeniczność próby badawczej, ale skutkowało jednocześnie jej stosunkowo niewielką liczebnością. Analiza literatury wskazuje jednak, że jest to dość powszechny problem w badaniach z udziałem pacjentów z afazją poudarową. Co więcej, grupa badawcza w zaprezentowanym badaniu treningowym (Choinski i in., 2023a) jest znacznie wyższa niż w wielu omówionych w podrozdziale 1.3. dotychczasowych pracach dotyczących skuteczności treningów poznawczych u osób z afazją.

Pomimo zastosowania rygorystycznych kryteriów włączenia i ograniczenia obszaru udaru do lewej półkuli, pacjenci różnili się umiejscowieniem uszkodzenia mózgu. Co więcej, różny był czas jaki upłynął od wystąpienia udaru. Ma to znaczenie szczególnie w przypadku badania treningowego, jako że dynamika i zakres poprawy oraz regeneracji mózgu różni w zależności od fazy rekonwalescencji (Kiran, 2012;

Rogała i in., 2024). W badaniu nad skutecznością treningu z użyciem nowej ścieżki Dra Neuronowskiego® zadbano jednak, żeby nie było istotnych różnic w lokalizacji uszkodzenia mózgu (Rycina 5) i czasie od udaru pomiędzy grupami treningowymi, w związku z czym wpływ tych czynników zakłócających powinien być minimalny.

Jako, że badanie trzecie (Choinski i in., 2023a) miało charakter podłużny, kolejnym problemem okazało się utrzymanie osób z afazją w projekcie przez cały czas jego trwania. Czas prowadzenia badań pokrył się częściowo z wybuchem pandemii COVID-19. Z obawy przed zakażeniem, niektórzy pacjenci, stanowiący grupę podwyższonego ryzyka w przebiegu infekcji, zdecydowali się na rezygnację z udziału w projekcie przed przystąpieniem do kolejnych jego etapów (diagnoza POST lub diagnoza odroczone). Z tego powodu, dane z badania elektrofizjologicznego po treningu, okazały się zbyt mało liczne, by przeprowadzić analizy zmian w zakresie parametrów P300 na skutek treningów. Analiza taka dostarczyłaby informacji na temat mózgowego podłoża efektów treningu i stanowiłaby obiektywną miarę uzyskanej poprawy. Jest to z całym przekonaniem temat warty dalszych dociekań w przyszłych badaniach.

Prezentowany cykl badań ukazuje złożoność problemu zaburzeń językowych i niejęzykowych funkcji poznawczych u osób z afazją. Funkcje językowe, deficyty których pierwotnie uważano za podstawowy problem w afazji, okazują się być ściśle związane ze wspierającymi je funkcjami niejęzykowymi, takimi jak pamięć krótkotrwała, operacyjna, czy tempo przetwarzania informacji. Sprawność systemu poznawczego osoby z afazją może zależeć od logistycznego fundamentu przetwarzania, jakim jest CzPI. Optymizmem napawa jednak fakt, że praca nad owym fundamentem może przynieść znaczące korzyści dla osoby z afazją, poprawiając jej możliwości komunikowania się.

5. Podsumowanie i wnioski

Opisane wyniki wskazują na potrzebę oceny niejęzykowych funkcji poznawczych u osób z afazją. Funkcje takie jak CzPI, pamięć krótkotrwała i operacyjna, czy szybkość przetwarzania informacji biorą udział w procesach językowych. Ich zaburzenia u osób z afazją mają ścisły związek z poziomem deficytów językowych. Szczególne znaczenie ma CzPI, które zgodnie z teorią von Steinbüchel i Pöppela (1993), nadaje odpowiednią dynamikę przebiegowi wielu procesów poznawczych, pozwalając na ich prawidłowe działanie. W przypadku osób z afazją deficyty w zakresie CzPI mogą stanowić podłoże występujących u nich trudności poznawczych, w tym językowych.

W niniejszej rozprawie wykazano także, że usprawnienie CzPI pozwala na poprawę wielu aspektów funkcjonowania poznawczego. Trening wykorzystujący nową ścieżkę programu Dr Neuronowski[®], której skuteczność udokumentowano w ramach niniejszych badań, może mieć duże zastosowanie w praktyce klinicznej. Uwzględnienie w rehabilitacji afazji ćwiczeń niejęzykowych funkcji poznawczych, w tym CzPI, obok standardowych ćwiczeń językowych, może przyczynić się do przywrócenia pacjentom optymalnego funkcjonowania poznawczego, w tym możliwości komunikowania się. Prezentowane badania wpisują się w aktualnie dominujący w afazjologii trend, wskazujący na konieczność diagnozy i usprawniania w afazji zarówno funkcji językowych, jak i niejęzykowych funkcji poznawczych.

Podsumowując, u osób z afazją:

- sprawność CzPI jest ściśle związana z przestrzenną pamięcią operacyjną. Kluczowe znaczenie dla poziomu pamięci werbalnej oraz przestrzennej pamięci krótkotrwałej ma natomiast głębokość deficytów rozumienia mowy;
- latencja potencjału P300 jest trafnym wskaźnikiem poziomu funkcji poznawczych, dla których istotne jest tempo przetwarzania informacji;
- trening w zakresie niejęzykowych funkcji poznawczych, w tym CzPI, przynosi poprawę w zakresie niećwiczonej funkcji językowych.

Bibliografia

1. Abrams, D. A., Bhatara, A., Ryali, S., Balaban, E., Levitin, D. J., Menon, V. (2011). Decoding Temporal Structure in Music and Speech Relies on Shared Brain Resources but Elicits Different Fine-Scale Spatial Patterns. *Cerebral Cortex*, 21(7), 1507–1518.
2. Baszuk, M. (2023). *Rola treningu poznawczego w usprawnianiu umysłu seniora : badania neuropsychologiczne i elektrofizjologiczne* [niepublikowana rozprawa doktorska]. Instytut Biologii Doświadczelnej PAN.
3. Barnett, S. M., Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4), 612–637.
4. Bernal, B., Ardila, A. (2009). The role of the arcuate fasciculus in conduction aphasia. *Brain*, 132(9), 2309–2316.
5. Beyrouti, R., Adams, M. E., Benjamin, L., Cohen, H., Farmer, S. F., Goh, Y. Y., Humphries, F., Jäger, H. R., Losseff, N. A., Perry, R. J., Shah, S., Simister, R. J., Turner, D., Chandratheva, A., Werring, D. J. (2020). Characteristics of ischaemic stroke associated with COVID-19. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 91(8), 889–891.
6. Boucher, O., Bastien, C.H., Muckle, G., Saint-Amour, D., Jacobson, S.W., Jacobson, J.L. (2010) Behavioural correlates of the P3b event-related potential in school-age children. *International Journal of Psychophysiology*, 76(3), 148–157.
7. Cahana-Amitay, D., Albert, M. L., Pyun, S. B., Westwood, A., Jenkins, T., Wolford, S., Finley, M. (2011). Language as a stressor in aphasia. *Aphasiology*, 25(5), 593-614.
8. Choinski, M., Stanczyk, M., Szymaszek, A. (2023a). Cognitive training incorporating temporal information processing improves linguistic and non-linguistic functions in people with aphasia. *Scientific Reports*, 13(1), 14053.
9. Choinski, M., Szelag, E., Wolak, T., Szymaszek, A. (2020). Working Memory in Aphasia: The Role of Temporal Information Processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 589802.
10. Choinski, M., Szelag, E., Wolak, T., Szymaszek, A. (2023b). Neuropsychological correlates of P300 parameters in individuals with aphasia. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 58(2), 256–269.

11. Cocquyt, E. M., Knockaert, N., Van Mierlo, P., Szmalec, A., Duyck, W., Santens, P., De Letter, M. (2021). The phonological Mismatch Negativity and P300 as diagnostic tools in stroke-related aphasia recovery: A longitudinal multiple case study. *Aphasiology*, 35(10), 1263–1280.
12. Dacewicz, A., Szymaszek, A., Nowak, K., Szlag, E. (2018). Training-Induced Changes in Rapid Auditory Processing in Children With Specific Language Impairment: Electrophysiological Indicators. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 310.
13. De Renzi, E., Faglioni, P., Previdi, P. (1977). Spatial Memory and Hemispheric Locus of Lesion. *Cortex*, 13(4), 424–433.
14. DeDe, G., Ricca, M., Knilans, J., Trubl, B. (2014). Construct validity and reliability of working memory tasks for people with aphasia. *Aphasiology*, 28(6), 692–712.
15. Doesborgh, S. J. C., Van De Sandt-Koenderman, M. W. E., Dippel, D. W. J., Van Harskamp, F., Koudstaal, P. J., Visch-Brink, E. G. (2004). Effects of Semantic Treatment on Verbal Communication and Linguistic Processing in Aphasia After Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Stroke*, 35(1), 141–146.
16. Donchin, E. (1981). Surprise!... Surprise? *Psychophysiology*, 18(5), 493–513.
17. Dutta, M., Murray, L. L., Stark, B. C. (2023). Assessing the integrity of executive functioning in chronic aphasia. *Aphasiology*, 37(6), 869-906.
18. Efron R. (1963). Temporal perception, aphasia and déjà vu. *Brain*, 86(3), 403–424.
19. Egan, V., Chiswick, A., Santosh, C., Naidu, K., Rimmington, J. E., Best, J. J. K. (1994). Size isn't everything: A study of brain volume, intelligence and auditory evoked potentials. *Personality and Individual Differences*, 17(3), 357–367.
20. Elman, R. J., Bernstein-Ellis, E. (1999). The Efficacy of Group Communication Treatment in Adults With Chronic Aphasia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(2), 411–419.
21. Emmerson, R. Y., Dustman, R. E., Shearer, D. E., Turner, C. W. (1989). P3 latency and symbol digit performance correlations in aging. *Experimental Aging Research*, 15(3), 151–159.
22. Enderby, P., Sutton, L. (2020). Where are we now with aphasia after stroke? *Annals of Indian Academy of Neurology*, 23(8), 57.
23. Fama, M. E., Turkeltaub, P. E. (2020). Inner speech in aphasia: Current evidence, clinical implications, and future directions. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 29(1S), 560-573.

24. Feigin, V. L., Abate, M. D., Abate, Y. H., Abd ElHafeez, S., Abd-Allah, F., Abdelalim, A., Abdelkader, A., Abdelmasseh, M., Abd-Elsalam, S., Abdi, P., Abdollahi, A., Abdoun, M., Abd-Rabu, R., Abdulah, D. M., Abdullahi, A., Abebe, M., Abeldaño Zuñiga, R. A., Abhilash, E. S., Abiodun, O. O., ... Murray, C. J. L. (2024). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2021: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Neurology*, 23(10), 973–1003.
25. Fillingham, J. K., Sage, K., Lambon Ralph, M. A. (2006). The treatment of anomia using errorless learning. *Neuropsychological Rehabilitation*, 16(2), 129–154.
26. Fink, M., Churan, J., Wittmann, M. (2005). Assessment of auditory temporal-order thresholds – A comparison of different measurement procedures and the influences of age and gender. *Restorative neurology and neuroscience*, 23(5-6), 281-296
27. Fink, M., Churan, J., Wittmann, M. (2006). Temporal processing and context dependency of phoneme discrimination in patients with aphasia. *Brain and Language*, 98(1), 1–11.
28. Fjell, A. M., & Walhovd, K. B. (2001). P300 and Neuropsychological Tests as Measures of Aging: Scalp Topography and Cognitive Changes. *Brain Topography*, 14(1), 25–40.
29. Flowers, H. L., Skoretz, S. A., Silver, F. L., Rochon, E., Fang, J., Flamand-Roze, C., Martino, R. (2016). Poststroke Aphasia Frequency, Recovery, and Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97(12), 2188-2201.e8.
30. Fonseca, J., Ferreira, J. J., Pavão Martins, I. (2017). Cognitive performance in aphasia due to stroke: A systematic review. *International Journal on Disability and Human Development*, 16(2).
31. Fostick, L., Babkoff, H. (2013). Different Response Patterns Between Auditory Spectral and Spatial Temporal Order Judgment (TOJ). *Experimental Psychology*, 60(6), 432–443.
32. Fostick, L., Babkoff, H. (2017). Auditory spectral versus spatial temporal order judgment: Threshold distribution analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(5), 1002–1012.
33. Fraisse, P. (1963). *The psychology of time*. Harper & Row.

34. Fridriksson, J., Den Ouden, D.-B., Hillis, A. E., Hickok, G., Rorden, C., Basilakos, A., Yourganov, G., Bonilha, L. (2018). Anatomy of aphasia revisited. *Brain*, *141*(3), 848–862.
35. Fridriksson, J., Nettles, C., Davis, M., Morrow, L., Montgomery, A. (2006). Functional communication and executive function in aphasia. *Clinical Linguistics & Phonetics*, *20*(6), 401–410.
36. Fridriksson, J., Yourganov, G., Bonilha, L., Basilakos, A., Den Ouden, D.-B., Rorden, C. (2016). Revealing the dual streams of speech processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(52), 15108–15113.
37. Harris, L., Olson, A., Humphreys, G. (2014). The link between STM and sentence comprehension: A neuropsychological rehabilitation study. *Neuropsychological Rehabilitation*, *24*(5), 678–720.
38. Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *8*(5), 393–402.
39. Hubel, K. A., Yund, E. W., Herron, T. J., Woods, D. L. (2013). Computerized measures of finger tapping: Reliability, malingering and traumatic brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *35*(7), 745–758.
40. Huber, W., Poeck, K., Weniger, D., Willmes, K. (1983). *Aachener aphasia test*. Hogrefe.
41. Ivanova, M. V., Dronkers, N. F. (2022). Aphasia: How Our Language System Can “Break”. *Frontiers for Young Minds*, *10*, 626477.
42. Jablonska, K., Piotrowska, M., Bednarek, H., Szymaszek, A., Marchewka, A., Wypych, M., Szlag, E. (2020). Maintenance vs. Manipulation in Auditory Verbal Working Memory in the Elderly: New Insights Based on Temporal Dynamics of Information Processing in the Millisecond Time Range. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *12*, 194.
43. Jablonska, K., Stanczyk, M., Piotrowska, M., Szymaszek, A., Lukomska, B., Bednarek, H., Szlag, E. (2022). Age as a moderator of the relationship between planning and temporal information processing. *Scientific Reports*, *12*(1), 1548.
44. Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., Shah, P. (2011). Short-and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(25), 10081-10086.
45. Jodzio, K., Nyka, W. M. (2008). Zaburzenia językowe oraz mowy w praktyce ogólnolekarskiej. *Forum Medycyny Rodzinnej*, *2*(1), 14-22.

46. Kagerer, F. A., Wittmann, M., Szélag, E., von Steinbüchel, N. (2002). Cortical involvement in temporal reproduction: Evidence for differential roles of the hemispheres. *Neuropsychologia*, 40(3), 357–366.
47. Kalbe, E., Reinhold, N., Brand, M., Markowitsch, H. J., Kessler, J. (2005). A New Test Battery to Assess Aphasic Disturbances and Associated Cognitive Dysfunctions—German Normative Data on the Aphasia Check List. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 27(7), 779–794.
48. Karbach, J., Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science*, 12(6), 978–990.
49. Kasselimis, D., Angelopoulou, G., Simos, P., Petrides, M., Peppas, C., Velonakis, G., Tavernarakis, A., Evdokimidis, I., Potagas, C. (2018). Working memory impairment in aphasia: The issue of stimulus modality. *Journal of Neurolinguistics*, 48, 104–116.
50. Kiran, S. (2012). What is the nature of poststroke language recovery and reorganization? *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 786872.
51. Kowalska, J. (2003). *Percepcja czasu u osób głuchych i u słyszących* [niepublikowana rozprawa doktorska]. Instytut Biologii Doświadczelnej PAN.
52. Lee, M.-S., Lee, S.-H., Moon, E.-O., Moon, Y.-J., Kim, S., Kim, S.-H., Jung, I.-K. (2013). Neuropsychological correlates of the P300 in patients with Alzheimer's disease. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 40, 62–69.
53. López, S. L., Laje, R. (2019). Spatiotemporal perturbations in paced finger tapping suggest a common mechanism for the processing of time errors. *Scientific Reports*, 9(1), 17814.
54. Marinelli, C. V., Spaccavento, S., Craca, A., Marangolo, P., Angelelli, P. (2017). Different Cognitive Profiles of Patients with Severe Aphasia. *Behavioural Neurology*, 2017, 1–15.
55. Martin, N., Ayala, J. (2004). Measurements of auditory-verbal STM span in aphasia: Effects of item, task, and lexical impairment. *Brain and Language*, 89(3), 464–483.
56. Martin, N., Kohen, F., Kalinyak-Fliszar, M., Soveri, A., Laine, M. (2012). Effects of working memory load on processing of sounds and meanings of words in aphasia. *Aphasiology*, 26(3–4), 462–493.

57. Mayer, J. F., Murray, L. L. (2012). Measuring working memory deficits in aphasia. *Journal of Communication Disorders*, 45(5), 325–339.
58. Mazzocchi, F., Vignolo, L. A. (1979). Localisation of Lesions in Aphasia: Clinical-CT Scan Correlations in Stroke Patients. *Cortex*, 15(4), 627–653.
59. Minkina, I., Martin, N., Spencer, K. A., Kendall, D. L. (2018). Links Between Short-Term Memory and Word Retrieval in Aphasia. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 27(1S), 379–391.
60. Murray, L. L. (2012). Attention and Other Cognitive Deficits in Aphasia: Presence and Relation to Language and Communication Measures. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 21(2).
61. Murray, L., Salis, C., Martin, N., Dralle, J. (2018). The use of standardised short-term and working memory tests in aphasia research: a systematic review. *Neuropsychological rehabilitation*, 28(3), 309-351.
62. Nikraves, M., Aghajanzadeh, M., Maroufizadeh, S., Saffarian, A., Jafari, Z. (2021). Working memory training in post-stroke aphasia: Near and far transfer effects. *Journal of Communication Disorders*, 89, 106077.
63. Noack, H., Lövdén, M., Schmiedek, F., Lindenberger, U. (2009). Cognitive plasticity in adulthood and old age: Gauging the generality of cognitive intervention effects. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27(5), 435–453.
64. Nolfé, G., Cobiañchi, A., Mossuto-Agatiello, L., & Giaquinto, S. (2006). The role of P300 in the recovery of post-stroke global aphasia. *European journal of neurology*, 13(4), 377-384.
65. Nowak, K., Dacewicz, A., Broczek, K., Kupisz-Urbanska, M., Galkowski, T., Szlag, E. (2016). Temporal Information Processing and its Relation to Executive Functions in Elderly Individuals. *Frontiers in Psychology*, 7, 216977.
66. Okada, K., Rong, F., Venezia, J., Matchin, W., Hsieh, I.-H., Saberi, K., Serences, J. T., Hickok, G. (2010). Hierarchical Organization of Human Auditory Cortex: Evidence from Acoustic Invariance in the Response to Intelligible Speech. *Cerebral Cortex*, 20(10), 2486–2495.
67. Oron, A., Szymaszek, A., Szlag, E. (2015). Temporal information processing as a basis for auditory comprehension: Clinical evidence from aphasic patients: Temporal information processing and auditory comprehension in aphasic patients. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 50(5), 604–615.

68. Papathanasiou, I., Coppens, P. (2011). Aphasia and Related Neurogenic Communication Disorders: Basic Concepts and Operational Definitions. W: I. Papathanasiou, P. Coppens i Potagas (red.). *Aphasia and Related Neurogenic Communication Disorders* (ss. XIX-XXIII). Jones & Bartlett Learning.
69. Paulraj, S. R., Schendel, K., Curran, B., Dronkers, N. F., Baldo, J. V. (2018). Role of the left hemisphere in visuospatial working memory. *Journal of Neurolinguistics*, 48, 133–141.
70. Pačalska, M. (2007). *Neuropsychologia kliniczna. Urazy mózgu*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
71. Pedersen, P. M., Vinter, K., Olsen, T. S. (2004). Aphasia after Stroke: Type, Severity and Prognosis. *Cerebrovascular Diseases*, 17(1), 35–43.
72. Poeppel, D., & Hickok, G. (2004). Towards a new functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1–2), 1–12.
73. Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128–2148.
74. Polich, J., Corey-Bloom, J. (2005). Alzheimer's disease and P300: review and evaluation of task and modality. *Current Alzheimer Research*, 2(5), 515-525.
75. Polich, J., Martin, S. (1992). P300, cognitive capability, and personality: A correlational study of university undergraduates. *Personality and Individual Differences*, 13(5), 533–543.
76. Pöppel, E. (1989). *Granice świadomości*. Państwowy Instytut Wydawniczy.
77. Pöppel, E. (1997). A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(2), 56–61.
78. Pöppel, E. (2009). Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1887–1896.
79. Potagas, C., Kasselimis, D. S., Evdokimidis, I. (2011a). Elements of Neurology Essential for Understanding the Aphasias. W: I. Papathanasiou, P. Coppens i Potagas (red.). *Aphasia and Related Neurogenic Communication Disorders*. Jones & Bartlett Learning (ss. 23-47).
80. Potagas, C., Kasselimis, D., Evdokimidis, I. (2011b). Short-term and working memory impairments in aphasia. *Neuropsychologia*, 49(10), 2874–2878.
81. Price, C. J. (2012). A review and synthesis of the first 20years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, 62(2), 816–847.

82. Purdy, M. (2002). Executive function ability in persons with aphasia. *Aphasiology*, 16(4–6), 549–557.
83. Ramirez, L., Kim-Tenser, M. A., Sanossian, N., Cen, S., Wen, G., He, S., Mack, W. J., Towfighi, A. (2016). Trends in Acute Ischemic Stroke Hospitalizations in the United States. *Journal of the American Heart Association*, 5(5), e003233.
84. Rogala, J., Choinski, M., Szymaszek, A. (2024). EEG synchronization patterns during a Go/No-Go task in individuals with aphasia in subacute and chronic phases of stroke. *Scientific Reports*, 14(1), 23774.
85. Salis, C. (2012). Short-term memory treatment: Patterns of learning and generalisation to sentence comprehension in a person with aphasia. *Neuropsychological Rehabilitation*, 22(3), 428–448.
86. Salis, C., Hwang, F., Howard, D., & Lallini, N. (2017). Short-Term and Working Memory Treatments for Improving Sentence Comprehension in Aphasia: A Review and a Replication Study. *Seminars in Speech and Language*, 38(01), 029–039.
87. Salmons, I., Muntané-Sánchez, H., Gavarró, A. (2022). Short-term memory and sentence comprehension in Catalan aphasia. *Frontiers in Psychology*, 13, 880398.
88. Schuhfried, G. (2013). *Vienna test system: psychological assessment*. Schuhfried.
89. Schumacher, R., Halai, A. D., Lambon Ralph, M. A. (2019). Assessing and mapping language, attention and executive multidimensional deficits in stroke aphasia. *Brain*, 142(10), 3202–3216.
90. Seniów, J., Litwin, M., Leśniak, M. (2009). The relationship between non-linguistic cognitive deficits and language recovery in patients with aphasia. *Journal of the Neurological Sciences*, 283(1–2), 91–94.
91. Sparks, R., Helm, N., Albert, M. (1974). Aphasia Rehabilitation Resulting from Melodic Intonation Therapy. *Cortex*, 10(4), 303–316.
92. Stevens, E., Emmett, E., Wang, Y., McKeivitt, C., Wolfe, C. (2017). *The Burden of Stroke in Europe: The challenge for policy makers*. https://kclpure.kcl.ac.uk/ws/portalfiles/portal/86248389/The_Burden_of_Stroke_in_Europe_Challenges_for_policy_makers.pdf
93. Swisher, L., Hirsh, I. J. (1972). Brain damage and the ordering of two temporally successive stimuli. *Neuropsychologia*, 10(2), 137–152.
94. Szelag, E., Lewandowska, M., Wolak, T., Seniow, J., Poniowska, R., Pöppel, E., Szymaszek, A. (2014). Training in rapid auditory processing ameliorates auditory

- comprehension in aphasic patients: A randomized controlled pilot study. *Journal of the Neurological Sciences*, 338(1–2), 77–86.
95. Szelaĝ, E., Reiser, M., Langen, E., & Pöppel, E. (1996). Temporal constraints in processing of nonverbal rhythmic patterns. *Acta neurobiologiae experimentalis*, 56(1), 215-225.
96. Szelaĝ, E., Stanczyk, M., Szymaszek, A. (2022). Sub- and Supra-Second Timing in Auditory Perception: Evidence for Cross-Domain Relationships. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 812533.
97. Szelaĝ E., Szymaszek A. (2014). *Test do badania rozumienia mowy u dzieci i dorosłych. Nowe spojrzenie na zegar mózgowy*. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
98. Szelaĝ E., Szymaszek A. (2016). *Dr Neuronowski – pomysł na bystry umysł i płynną mowę. Usprawnianie zegara neuronalnego wspomaga moc naszego umysłu*. Harpo.
99. Szelaĝ, E., Szymaszek, A., Oron, A. (2015). Aphasia as a Temporal Information Processing Disorder. W: A. Vatakis, M. Allman (red.), *Time Distortions in Mind* (s. 328–355). Brill.
100. Szelaĝ, E., von Steinbüchel, N., & Pöppel, E. (1997). Temporal processing disorders in patients with Broca’s aphasia. *Neuroscience Letters*, 235(1–2), 33–36.
101. Szymaszek, A., Dacewicz, A., Urban, P., Szelaĝ, E. (2018). Training in Temporal Information Processing Ameliorates Phonetic Identification. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 213.
102. Szymaszek, A., Sereda, M., Pöppel, E., Szelaĝ, E. (2009). Individual differences in the perception of temporal order: The effect of age and cognition. *Cognitive Neuropsychology*, 26(2), 135–147.
103. Szymaszek, A., Wolak, T., Szelaĝ, E. (2017). The Treatment Based on Temporal Information Processing Reduces Speech Comprehension Deficits in Aphasic Subjects. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9.
104. Tippet, D. C., Hillis, A. E. (2017). Vascular Aphasia Syndromes. W: G. Hickok, S. L, Small (red.). *Neurobiology of Language* (s. 913-922). Academic Press.
105. Tremblay, P., Dick, A. S. (2016). Broca and Wernicke are dead, or moving past the classic model of language neurobiology. *Brain and Language*, 162, 60–71.
106. Ulbrich, P., Churan, J., Fink, M., Wittmann, M. (2009). Perception of Temporal Order: The Effects of Age, Sex, and Cognitive Factors. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 16(2), 183–202.

107. Vandierendonck, A., Kemps, E., Fastame, M. C., Szmalec, A. (2004). Working memory components of the Corsi blocks task. *British Journal of Psychology*, *95*(1), 57–79.
108. Varkanitsa, M., Godecke, E., Kiran, S. (2023). How Much Attention Do We Pay to Attention Deficits in Poststroke Aphasia? *Stroke*, *54*(1), 55–66.
109. Villard, S., Kiran, S. (2018). Between-session and within-session intra-individual variability in attention in aphasia. *Neuropsychologia*, *109*, 95–106.
110. von Steinbüchel, N., Pöppel, E. (1993). Domains of rehabilitation: A theoretical perspective. *Behavioural Brain Research*, *56*(1), 1–10.
111. von Steinbüchel, N., Wittmann, M., Strasburger, H., Szelag, E. (1999). Auditory temporal-order judgement is impaired in patients with cortical lesions in posterior regions of the left hemisphere. *Neuroscience Letters*, *264*(1–3), 168–171.
112. Wittmann, M. (2011). Moments in Time. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *5*, 66.
113. Wittmann, M., von Steinbüchel, N., Szelag, E. (2001). Hemispheric specialisation for self-paced motor sequences. *Cognitive Brain Research*, *10*(3), 341–344.
114. World Stroke Organization. (2022). *Global Stroke Fact Sheet 2022*. https://www.world-stroke.org/assets/downloads/WSO_Global_Stroke_Fact_Sheet.pdf
115. Wright, H. H., Fergadiotis, G. (2012). Conceptualising and measuring working memory and its relationship to aphasia. *Aphasiology*, *26*(3–4), 258–278.
116. Xu, H., Gu, L., Zhang, S., Wu, Y., Wei, X., Wang, C., Xu, Y., Guo, Y. (2022). N200 and P300 component changes in Parkinson’s disease: A meta-analysis. *Neurological Sciences*, *43*(12), 6719–6730.
117. Zakariás, L., Keresztes, A., Marton, K., Wartenburger, I. (2018a). Positive effects of a computerised working memory and executive function training on sentence comprehension in aphasia. *Neuropsychological Rehabilitation*, *28*(3), 369–386.
118. Zakariás, L., Salis, C., Wartenburger, I. (2018b). Transfer effects on spoken sentence comprehension and functional communication after working memory training in stroke aphasia. *Journal of Neurolinguistics*, *48*, 47–63.
119. Zatorre, R. J., Belin, P., Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: Music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*(1), 37–46.

Spis publikacji naukowych autora

1. **Choiński, M.**, Łojek, E. (2018). Zdolności węchowe - nowy obszar badań klinicznych w infekcji HIV. W: A. Pluta, E. Łojek, B. Habrat i A. Horban (red.). *Życie i starzenie się z wirusem HIV. Podejście interdyscyplinarne*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, 263-278.
2. Gawron, N., **Choiński, M.**, Szymańska-Kotwica, B., Pluta, A., Sobańska, M., Egbert, A.R., Desowska, A., Wolak, T., Horban, A., Firląg-Burkacka, E., Bieńkowski, P., Sienkiewicz-Jarosz, H., Ścińska-Bieńkowska, A., Biswal, B., Rao, S.M., Bornstein, R., Łojek, E. (2019). Effects of age, HIV, and HIV-associated clinical factors on neuropsychological functioning and brain regional volume in HIV+ patients on effective treatment. *Journal of Neurovirology*, 25, 9–21.
3. **Choiński, M.**, Gawron, N., Pluta, A., Sobańska, M., Egbert, A.R., Bieńkowski, P., Sienkiewicz-Jarosz, H., Ścińska-Bieńkowska, A., Szymańska, B., Horban, A., Firląg-Burkacka, E., Wolak, T., Rusiniak, M., Bornstein, R., Zhao, K., Łojek, E. (2020). On the relationship between olfactory sensitivity and personality in HIV-seropositive and healthy men. *Current Psychology*, 39, 1063–1071. **Choiński, M.**, Szlag, E., Wolak, T., Szymaszek, A. (2020). Working Memory in Aphasia: The Role of Temporal Information Processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 589802.
4. **Choiński, M.**, Łojek, E. (2021). Zdolności węchowe a stan mózgu i funkcje neuropsychologiczne osób zakażonych. W: E. Łojek (red.) *Funkcje neuropsychologiczne oraz stan mózgu osób zakażonych HIV w dobie wysoce skutecznej terapii antyretrowirusowej. Doniesienia z badań projektu Harmonia*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, 181-196.
5. Maciantowicz, O., **Choiński, M.** (2022). Postawy wobec pandemii COVID-19 w Polsce: powiązania z klarownością Ja, poczuciem sensu życia oraz religijnością. W: M. Gambin, B. Zawadzki, (red.). *Pandemia COVID-19 w Polsce i na świecie. Perspektywa psychologiczna*. Wydawnictwo Liberi Libri, 183-205.
6. **Choiński, M.**, Szlag, E., Wolak, T., Szymaszek, A. (2023). Neuropsychological correlates of P300 parameters in individuals with aphasia. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 58(2), 256–269.

7. **Choinski, M.**, Stanczyk, M., Szymaszek, A. (2023). Cognitive training incorporating temporal information processing improves linguistic and non-linguistic functions in people with aphasia. *Scientific Reports*, 13(1), 14053.
8. Rogala, J., **Choinski, M.**, Szymaszek, A. (2024). EEG synchronization patterns during a Go/No-Go task in post-stroke aphasia: comparison between subacute and chronic stroke phases. *Scientific Reports*, 14, 23774.
9. Krystecka, K., Stanczyk, M, **Choinski, M.**, Szelał, E., Szymaszek, A. (artykuł zaakceptowany do druku 18.12.2024). Time to Inhibit: P300 amplitude differences in individuals with high and low temporal efficiency. *Cerebral Cortex*.