

Magdalena Stańczyk

**Efektywność percepcji czasu i jej związek
z funkcjonowaniem poznawczym u młodych dorosłych
– wskaźniki behawioralne i neuroobrazowe**

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

PROMOTOR:
dr hab. Aneta Szymaszek

Warszawa, 2024

PODZIĘKOWANIA

Pragnę wyrazić podziękowania mojej promotorki dr hab. Anecie Szymaszek,
prof. Elżbiecie Szelaǳ oraz całemu Zespołowi ówczesnej Pracowni Neuropsychologii
Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN

SPIS TREŚCI

SPIS SKRÓTÓW	7
STRESZCZENIE	9
ABSTRACT	11
1. WSTĘP	13
1.1. Percepcja czasu – terminologia i problematyka.....	13
1.2. Związek percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym	26
1.3. Neuronalne podstawy percepcji czasu	29
2. CELE I HIPOTEZY BADAŃ WŁASNYCH	33
2.1. Cele badań własnych.....	33
2.2. Hipotezy badań własnych	34
3. METODA	36
3.1. Osoby badane.....	36
3.2. Procedura	38
4. WYNIKI.....	71
4.1. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością w domenie sekundowej	71
4.2. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością funkcjonowania poznawczego.....	79
4.3. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze wzorcem struktur mózgowych zaangażowanych w zadanie percepcji czasu	91
5. DYSKUSJA.....	107
5.1. Podsumowanie wykonanych badań	107

5.2.	Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością funkcjonowania w domenie sekundowej.....	110
5.3.	Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością funkcjonowania poznawczego.....	114
5.4.	Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze wzorcem struktur mózgowych zaangażowanych w zadanie percepcji czasu	120
5.5.	Ograniczenia przeprowadzonych badań i dalsze kierunki prac badawczych ..	128
5.6.	Podsumowanie i wnioski	130
6.	BIBLIOGRAFIA.....	133
7.	SPIS RYCIN	143
8.	SPIS TABEL	145
9.	SPIS PUBLIKACJI NAUKOWYCH.....	147

SPIS SKRÓTÓW

WEpc – grupa charakteryzująca się Wysoką Efektywnością percepcji czasu w domenie milisekundowej;

MEpc – grupa charakteryzująca się Mieszaną Efektywnością percepcji czasu w domenie milisekundowej;

NEpc – grupa charakteryzująca się Niską Efektywnością percepcji czasu w domenie milisekundowej;

TOL-F – Test Wieży Londyńskiej (ang. *Tower of London – Freiburg version*);

TAP – ang. *Test of Attentional Performance*;

PPK – Próg Postrzegania Kolejności (ang. *Temporal Order Threshold*);

ISI – przerwa między dźwiękami (ang. *Inter-Stimulus Interval*);

OCI – Okno Czasowej Integracji;

ISSS – ang. *Interleaved Silent Steady State*

STRESZCZENIE

Percepcja czasu jest złożonym procesem stanowiącym podstawę naszego funkcjonowania. Proces ten odbywa się na różnych – hierarchicznie ułożonych – poziomach czasowych m.in. na *milisekundowym* i *sekundowym*. Dane literaturowe wskazują, że poziom *milisekundowy* może być kluczowy dla efektywności naszego funkcjonowania na wyższych poziomach czasowych oraz koresponduje ze sprawnością naszego funkcjonowania poznawczego.

Weryfikacja powyższych założeń wraz ze zbadaniem neuronalnych korelatów percepcji czasu, stanowiła cele niniejszej rozprawy.

W badaniach wzięło udział 109 młodych dorosłych. W pierwszej części projektu (badanie behawioralne) wyodrębniono dwie grupy osób, tj. charakteryzujące się wysoką (WEpc) oraz niską (NEpc) efektywnością percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*. Następnie dokonano porównań międzygrupowych efektywności percepcji czasu na poziomie *sekundowym* oraz sprawności funkcjonowania poznawczego w zakresie: planowania, pamięci roboczej i funkcji uwagowych. W drugiej części projektu (badanie neuroobrazowe) zbadano wzorzec struktur mózgowych zaangażowanych w percepcję czasu na różnych poziomach trudności zadania (warunek *trudny*, *średni*, *łatwy*) i aktywnych zarówno niezależnie (struktury kluczowe), jak i z uwzględnieniem różnic (obszary dodatkowe) w efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*.

Wyniki otrzymane w ramach niniejszej rozprawy dowodzą, że osoby o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*, przejawiały odpowiednio wyższą lub niższą efektywność w domenie *sekundowej*. Co więcej, osoby z grupy WEpc wykazały się lepszą zdolnością planowania, wydajniejszą pamięcią roboczą oraz charakteryzowały się sprawniejszą uwagą w porównaniu do osób z grupy NEpc. Wyodrębniono również struktury kluczowe w percepcji czasu w okolicach czołowych

i wyspy. Natomiast nie udało się wyszczególnić obszarów dodatkowych związanych z efektywnością percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*. Wraz ze zmieniającą się trudnością zadania wzorzec struktur kluczowych w percepcji czasu zmieniał się, tj. w warunku *trudnym* i *średnim* obserwowano aktywacje w okolicach czołowych, natomiast w warunku *łatwym* uwidoczniły się również aktywacje w okolicach ciemieniowych, zakrętu obręczy i wyspy.

Podsumowując uzyskane w ramach niniejszej rozprawy zależności, należy zauważyć, iż efektywność percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* może mieć kluczowe znaczenie dla naszego funkcjonowania zarówno na wyższych poziomach czasowych, jak i dla sprawności funkcjonowania poznawczego jednostki. Wyszczególniono struktury mózgowe kluczowe w percepcji czasu, natomiast wzorzec ten nie różnił się w zależności od indywidualnej efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*.

ABSTRACT

Time perception is a complex process which constitutes a base of our functioning. This process operates on different temporal levels, hierarchically ordered i.a., on *milliseconds* and *seconds* levels. The literature data indicate that the *milliseconds* level, may be crucial for the effectiveness of our functioning at higher temporal levels and corresponds with efficiency of our cognitive functioning.

The aim of this study was to verify above-mentioned assumptions and to examine the neural correlates of time perception.

In this study 109 young adults were tested. In the first part of the project (behavioural one) two groups of participants were selected, i.e., characterised by either high (WEpc) or low (NEpc) efficiency of time perception on the *milliseconds* level. Then, the between-groups comparisons in the efficiency of time perception on the *seconds* level and cognitive ability such as planning, working memory and attention were performed. In the second part of the study (neuroimaging one), the pattern of the brains structures engaged in time perception on different levels of difficulty (condition: *hard, medium, easy*), activated independently (the crucial areas) and dependently on individual differences in efficiency of time perception (additional areas) on the *milliseconds* level, were determined.

The obtained results evidenced that group characterised by a high or low efficiency of time perception on the *milliseconds* level, showed a high or low efficiency of time perception on the *seconds* level, respectively. Moreover, WEpc group showed better planning, working memory and attention compared to NEpc group. Next, the frontal cortex, as well as insula were revealed as crucial areas for time perception. No additional areas related to efficiency of time perception on the *milliseconds* level, were determined. As the difficulty of the task was modified, the pattern of the crucial areas also was changing, i.e., in the *hard* and *medium* conditions activations in frontal areas appeared, whereas during

the *easy* condition, we observed activations in frontal and parietal cortices as well as in cingulate cortex and insula.

To sum up, the efficiency of the time perception on the *milliseconds* level seems to be crucial for both efficient functioning on the higher temporal levels and for our cognitive functioning. The crucial areas of the brain associated with time perception were identified; however, the activation patterns of these areas did not differ in terms of individual efficiency of time perception at the *milliseconds* level.

1. WSTĘP

1.1. Percepcja czasu – terminologia i problematyka

C Z A S

Czym jest? Czy da się go doświadczyć? Czy wpływa na nasze życie?

Te i inne pytania służące próbie zdefiniowania pojęcia *czasu* nieustająco towarzyszą luminarzom różnych dziedzin naukowych. Święty Augustyn pisał:

” W naszych rozmowach nic nie jest tak częste i pospolite jak mówienie o czasie (...) Czymże więc jest czas? Jeśli nikt mnie o to nie pyta, wiem. Jeśli pytającemu usiłuję wytłumaczyć, nie wiem.

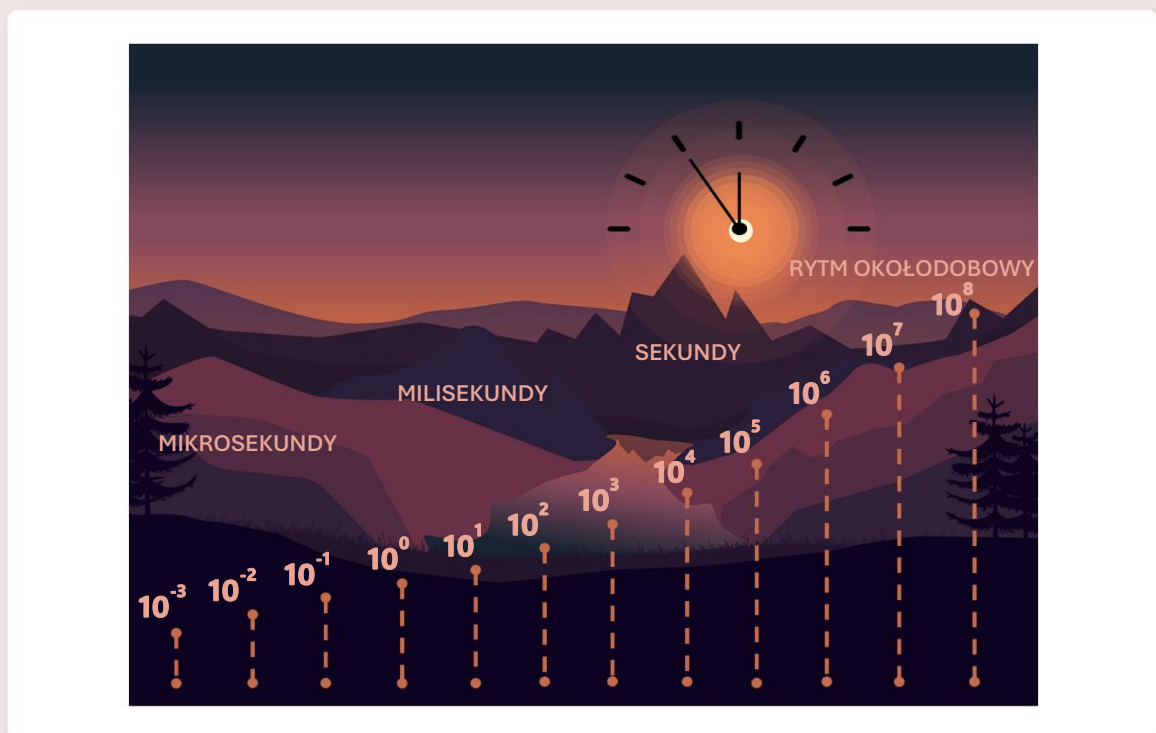
Augustyn, Wyznania, XI, 14

Święty Augustyn w swoich rozważaniach porusza kwestię powszechności występowania zagadnienia *czasu* w codziennych rozmowach. Tę szczególną rolę *czasu* w refleksji lingwistycznej podkreśla także w swojej pracy Czachorowska (2022). Autorka analizując polskie przysłowia wskazuje, że *czas* postrzegany jest jako m.in. wszechmocny i nieubłagalny (*czas jest panem świata*), personifikowany na postaci sprawiedliwych sędziów (*czas ojcem prawdy*) i lekarzy (*czas leczy rany*) oraz warunkujący przemijalność zjawisk (*czas ucieka, śmierć goni, wieczność czeka*). Wielorakość ról, jakie odgrywa *czas* w naszym języku, a w efekcie w codziennym życiu, podkreśla jego ważność. Tym bardziej, poruszający jest fakt, że to jakże fundamentalne pytanie „*czymże więc jest czas?*” zadane prawie 1600 lat temu, wciąż pozostaje bez odpowiedzi. Według słowników języka polskiego *czas* określany może być jako m.in. „nieprzerwany ciąg chwil”. Trudniej o bardziej lakoniczną definicję tego terminu. Wszak *czas* stanowi immanentną podstawę życia. Problemy z dokładniejszą i jednoznaczną eksplikacją pojęcia *czasu* wynikają z tego, iż *czas* nie jest zjawiskiem jednorodnym oraz nie możemy go bezpośrednio zobaczyć,

niemniej jednak doświadczamy jego skutków, kształtuje on nasze zachowania oraz wpływa na wszystkie dziedziny naszego życia (Grondin, 2010; Wittmann, 2009).

Wśród przykładów zachowań, u podstaw których stoją skomplikowane procesy neuronalne charakteryzujące się określoną *dynamiką w czasie*, wymienić możemy m.in.: zdolność poruszania się, kontrolę motoryczną, podejmowanie decyzji oraz komunikację językową, pamięć, uwagę (Grondin, 2010; Kok, 2019; Szelaąg, 2010). Szczególnej roli *czasu* w naszym życiu doświadczamy także poprzez subiektywne odczuwanie jego upływu, co jak podaje Wittmann (2009), może znacząco różnić się od pomiaru czasu rozważanego w kontekście jego fizycznej wielkości. Dodatkowo subiektywne odczuwanie czasu podlega wpływom wielu czynników, takich jak np. emocje. Z pewnością Czytelnik nie raz doświadczył sytuacji, w której czas wydawał się płynąć szybko podczas dobrej zabawy, a dłużył się w nieskończoność w oczekiwaniu na nieprzyjemną sytuację. Wittmann (2009) przywołuje w swojej pracy badania, które uprawomocniają te obserwacje empiryczne. Zgodnie z wynikami, w momencie doświadczania nieprzyjemnych lub wysoce stresowych sytuacji, mijający czas odczuwany jest jako znacznie dłuższy w stosunku do jego obiektywnej fizycznej miary (tzw. zjawisko przeszacowania czasu). Co więcej, zjawisko przeszacowania czasu pojawia się również w sytuacji biernego przyglądania się obrazom o wysokim wskaźniku pobudzenia emocjonalnego (np. przedstawiającym wypadki). Zjawisko to doświadczane jest także przez osoby znajdujące się w różnych stanach klinicznych (np. osoby z depresją doświadczają spowolnienia upływającego czasu; Szelaąg i in., 2010; Wittmann, 2009). *Czas* w naszym życiu odpowiada także za procesy uczenia się i przewidywania (antycypacji), co jak podkreślają badacze, od zarania dziejów stanowi podstawę sprawnego funkcjonowania w zmieniającym się środowisku (Zhou i Buonomano, 2022).

Według Zhoë i Buonomano (2022) proces związany z przetwarzaniem i implikowaniem czasowych informacji jest wysoce skomplikowany i może odbywać się nawet na 12 skalach czasowych: od poziomu mikrosekund aż do poziomu rytmu dobowego (rycina 1), przy czym każda ze skal związana jest w głównej mierze z dedykowanymi jej procesami. Dla przykładu: funkcjonowanie na poziomie *milisekundowym* odgrywa istotną rolę w produkcji, rozumieniu mowy i kontroli motorycznej, a skale od sekund do minut są istotne dla produkowania sekwencji czynności. Natomiast rytm okołodobowy związany jest z cyklem snu-czuwania i procesami metabolicznymi (Basgol i in., 2021).



Rycina 1. Ilustracja 12 skal czasowych zaangażowanych w mechanizm przetwarzania, przewidywania i stosowania informacji czasowych.

Niniejsza rozprawa doktorska dotyka psychologicznego aspektu *czasu*, jakim jest jego związek z funkcjonowaniem jednostki. Niemniej jednak zawężenie przedmiotu badań, nie przekłada się znacznie na ograniczenie liczebności pojęć istniejących w tym obszarze. Pojęcie *czasu* możemy rozważyć, jak wspomniałam powyżej, w kontekście m.in. jego doświadczania czy subiektywnego odczuwania. W związku z powyższym, na potrzeby tej pracy, zdecydowałam się na zastosowanie pojęcia *percepcji czasu* (ang. *time perception*) w ogólnym kontekście jako „*wieloaspektowego procesu dotyczącego percepcji, pamięci, świadomości oraz angażującego układu motoryczny*” (Kok, 2019) w odniesieniu do wszelkich procesów angażujących aspekt czasowy w funkcjonowanie człowieka.

Celem niniejszej rozprawy jest określenie związku percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym jednostki oraz określenie podłoża mózgowego percepcji czasu. W części teoretycznej rozprawy przybliżę perspektywy badawcze wraz z popularnymi modelami teoretycznymi dotyczącymi percepcji czasu. Następnie przedstawię aktualny stan wiedzy dotyczący związku percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym jednostki oraz zaprezentuję dotychczasowe badania na temat neuronalnych korelatów percepcji czasu. W części metodologicznej wskażę złożenia badań własnych wraz z zastosowanymi procedurami i otrzymanymi wynikami, które kolejno zostaną poddane merytorycznej analizie w *Dyskusji*.

1.1.1. Badania nad percepcją czasu - wielowymiarowość perspektyw badawczych

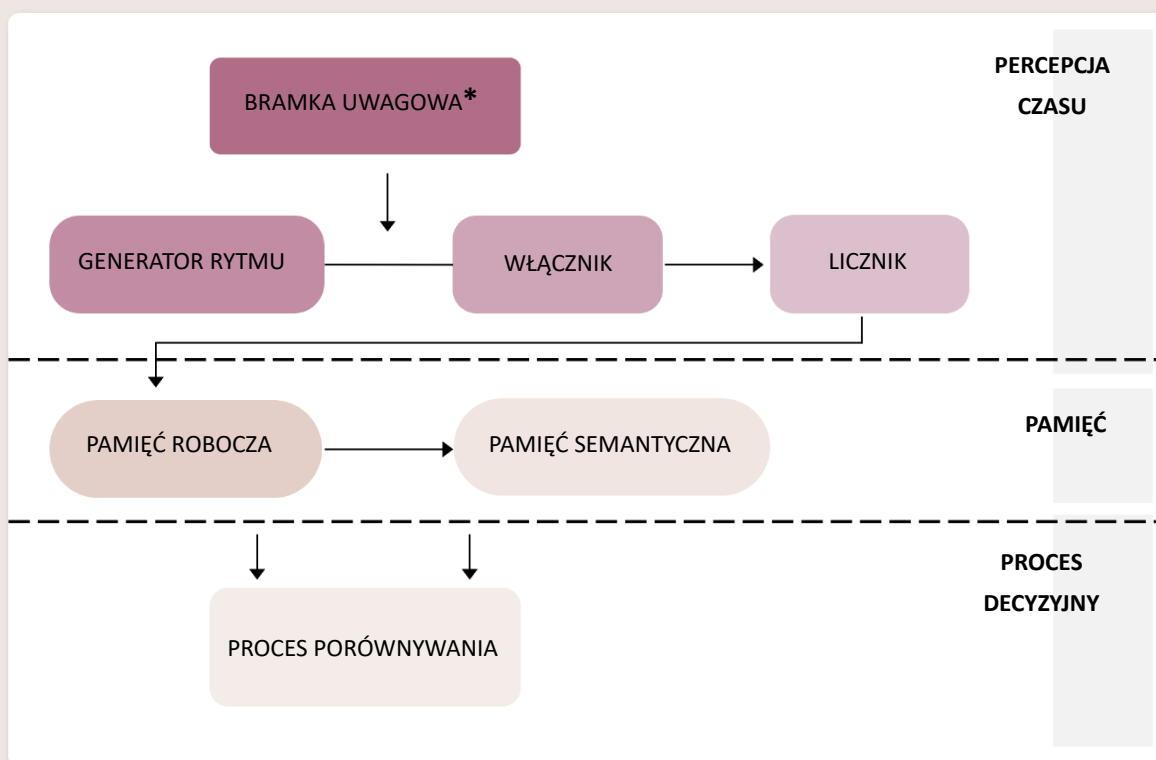
Zainteresowanie percepcją czasu w środowisku naukowym przez specjalistów różnych dziedzin skutkowało powstaniem licznych *modeli teoretycznych* i *paradygmatów badawczych*. Celem było usystematyzowanie możliwych mechanizmów stojących za skomplikowanym procesem percepcji czasu. Niniejszy rozdział podejmuje próbę ich zaprezentowania.

1.1.1.1. Modele teoretyczne dotyczące percepcji czasu

Popularne modele teoretyczne dotyczące percepcji czasu uwzględniają m.in. *modele zegarowe* (ang. *with-a-timer models*) oraz *hierarchiczny model percepcji czasu*.

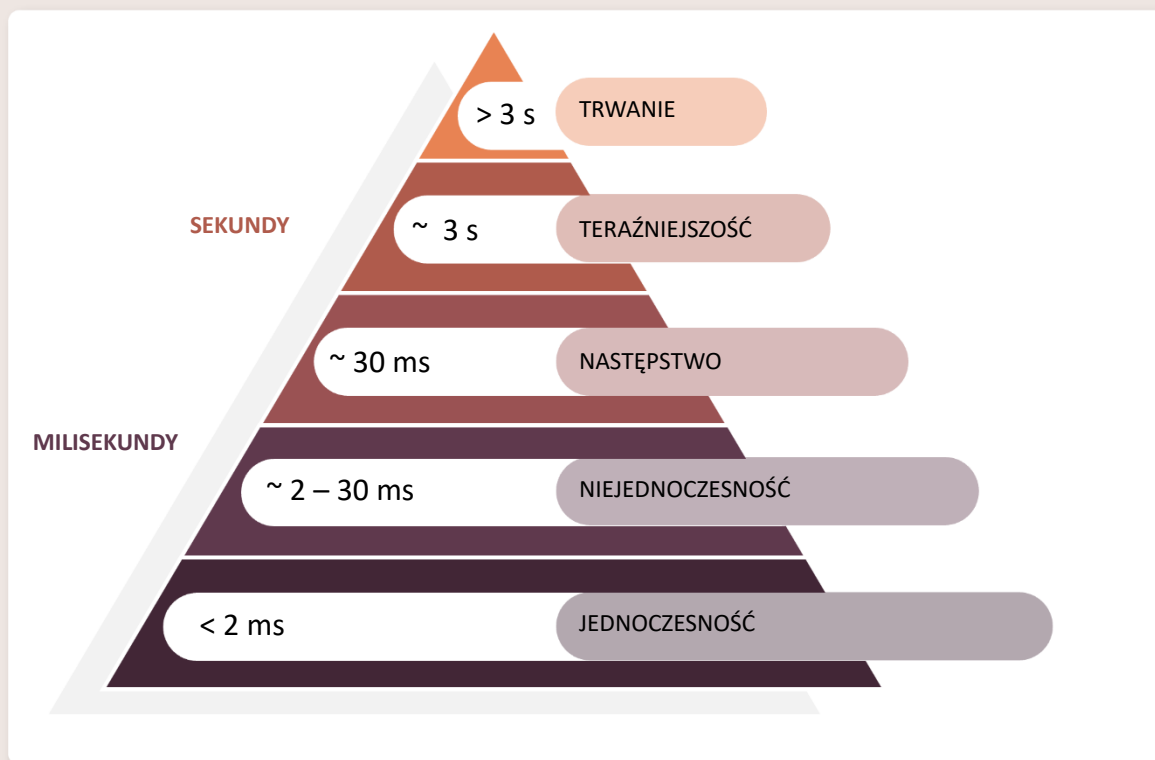
U podstaw *modeli zegarowych* znajduje się założenie, iż za proces opracowywania czasowych aspektów informacji odpowiada „zegar wewnętrzny”. Powstały w latach 60. XX wieku model Treismana (1963) jako podstawowe elementy „zegara wewnętrznego” wymienia generator rytmu (ang. *pacemaker*) oraz licznik (ang. *counter*). Generator rytmu emituje w określonym tempie (zależnym od pobudzenia organizmu) wewnętrzne jednostki czasu, tzw. pulsy. Licznik natomiast je zlicza, aby następnie poprzez porównanie z konwencjonalnymi jednostkami dokonać oceny długości upływającego czasu. Lata 80. XX zaowocowały kolejnym modelem, tym razem zaproponowanym przez Churcha i Gibbona (Church, 1984; Gibbon i in., 1984; rycina 2). Oprócz wymienionego wyżej generatora rytmu oraz licznika, autorzy wzbogacili model o znajdujący się pomiędzy nimi element włącznika (ang. *switch*). Włącznik uruchamia się na początku interwału, bodźca lub wydarzenia, którego długość ma zostać określona, co pozwala na dokładniejsze zliczanie pulsów. Informacja o liczbie zliczonych pulsów, trafia do pamięci roboczej, w której następnie porównywana jest z danymi zawartymi w pamięci semantycznej na temat czasu trwania. Ostatni model zegarowy, który cieszy się dużą popularnością, został

zaproprowany przez Blocka i Zakaya (1996) w latach 90. XX wieku. W tym modelu, w porównaniu do poprzedniego, dodano element bramki uwagowej (ang. *attentional gate*; rycina 2) znajdującej się pomiędzy generatorem rytmu a włącznikiem. Bramka uwagowa reguluje przepływ pulsów w zależności od ukierunkowania uwagi danej osoby. W tym miejscu warto wspomnieć o zjawisku *paradoksu czasu*, możliwego do wyjaśnienia w ramach tego modelu. W sytuacji, gdy znajdujemy się w mało stymulującym środowisku, charakteryzuje nas brak motywacji i niski poziom pobudzenia, słowem – towarzyszy nam nuda, nasza uwaga skierowana zostaje na wolno płynący czas, powodując, że bramka uwagowa pozostaje szeroko otwarta. Tym samym, więcej pulsów zostaje zliczone przez licznik. W przeciwnej sytuacji, gdy jesteśmy zajęci ciekawą czynnością, nasza uwaga nie jest skierowana na upływający czas, bramka uwagowa zostaje przymknięta, a w efekcie liczba pulsów, które zostają zliczone, jest mniejsza. Ów paradoks czasu polega na tym, iż retrospektywna ocena czasu trwania w tych dwóch sytuacjach będzie zgoła inna. W sytuacji nudy czas wydaje się mijać bardzo wolno, natomiast z perspektywy oceniamy, że upłynął szybciej niż w rzeczywistości. Za to w sytuacji interesującego wydarzenia czas trwania oceniamy na krótszy w porównaniu do oceny retrospektywnej, kiedy przeszacowujemy długość trwania zdarzenia (Grondin, 2010; Szelał, 2010).



Rycina 2. Schemat zegarowych modeli percepcji czasu zaproponowany przez Churcha i Gibbona wraz z * elementem bramki uwagowej (model Blocka i Zakaya).

Obok modeli zegarowych opisanych wyżej, neuropsycholog z Uniwersytetu Monachijskiego – Ernst Pöppel, zaproponował *hierarchiczny model percepcji czasu* (Pöppel; 1997). Zgodnie z nim percepcję czasu kształtuje 5 elementarnych i hierarchicznie ułożonych zjawisk, takich jak: jednoczesność, niejednoczesność, następstwo, teraźniejszość, trwanie. Stosownie do założeń hierarchiczności model ten możemy przedstawić w formie piramidy (rycina 3). Zjawiska znajdujące się niżej stanowią podstawę do zaistnienia zjawisk znajdujących się wyżej. Poniżej przedstawiono opis każdego z poziomów:



Rycina 3. Hierarchiczny model percepcji czasu zaproponowany przez Pöppela (1997).

1. **Jednoczesność** – elementarne zjawisko odnoszące się do poczucia jednoczesności dwóch prezentowanych bodźców. Zachodzi w sytuacji, gdy przerwa między bodźcami jest zbyt krótka, by móc postrzegać je jako dwa oddzielne bodźce.
2. **Niejednoczesność** – odnosi się do sytuacji, gdy przerwa między dwoma bodźcami jest wystarczająco długa, by móc postrzegać dane bodźce jako osobne. Przejście pomiędzy poziomem jednoczesności i niejednoczesności określa się mianem progu fuzji (ang. *fusion threshold*), którego wartość zależna jest od modalności zmysłowej dotyczącej bodźców (dla bodźców słuchowych: 2 – 5 ms; dotykowych: 10 ms; wzrokowych: 20 – 30 ms; Szeląg i Kowalska, 1998).
3. **Następstwo** – po osiągnięciu progu fuzji możliwe jest postrzeganie dwóch bodźców jako dwa odrębne zjawiska, natomiast do prawidłowego określenia ich następstwa potrzebny jest odpowiednio dłuższy interwał czasowy pomiędzy

dwoma bodźcami określanymi jako *Próg Postrzegania Kolejności* (PPK; ang. *Temporal Order Threshhold*). Wartość PPK jest niezależna od modalności prezentowanych bodźców, co może świadczyć o istnieniu wspólnego, centralnego mechanizmu związanego z percepcją czasu w tym zakresie. PPK może przyjmować różne wartości w zależności od różnic indywidualnych, takich jak wiek, sprawność poznawcza, czy zastosowany paradygmat badawczy, natomiast minimalny zakres PPK zazwyczaj oscyluje w okolicy 30 ms (Szymaszek i in., 2006; 2009). Jednym z popularnych paradygmatów służących do badania PPK jest *Zadanie Oceny Kolejności Bodźców* (ang. *Temporal Order Judgement Task*; Szeląg i in., 2018). Osobom badanym prezentowane są dwa dźwięki w szybkim następstwie. Następnie badani proszeni są o podanie ich kolejności (tabela 1).

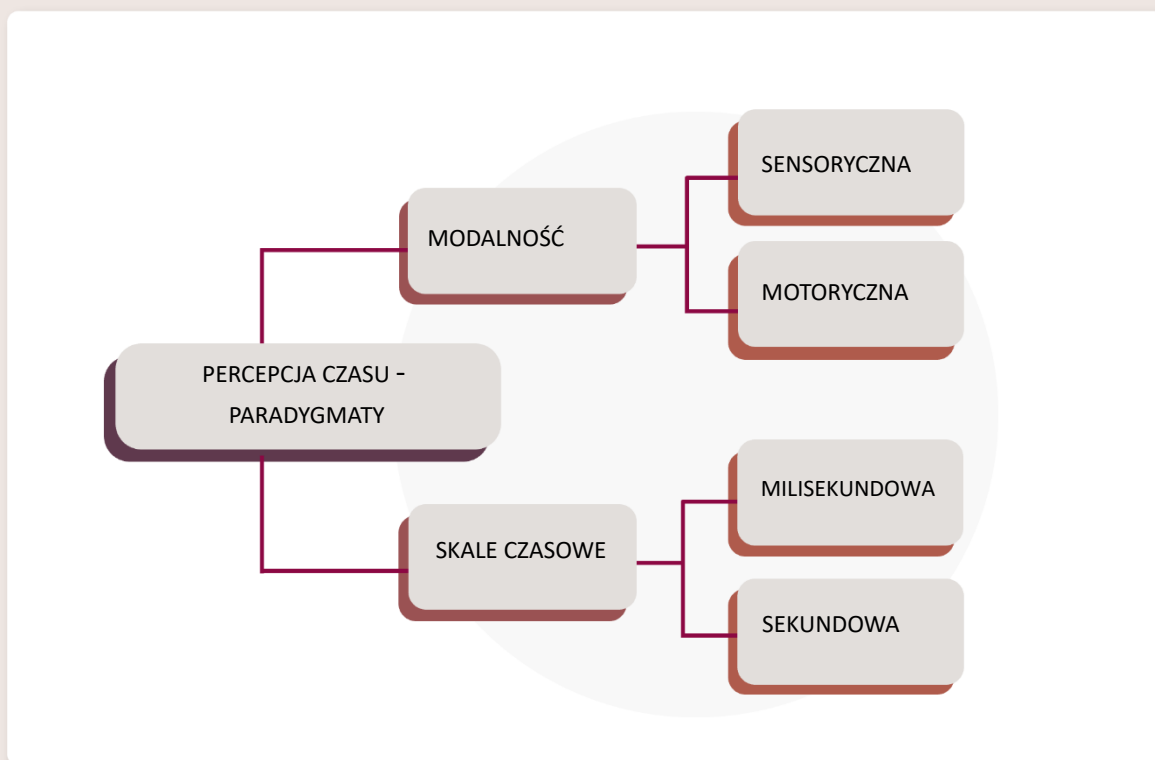
- 4. Teraźniejszość** – ten przedział czasowy wynoszący około 3 sekundy związany jest z działaniem mechanizmu integracyjnego, który scala następujące po sobie zdarzenia w większe jednostki czasowe. Zgodnie z teorią postulowaną przez Pöppela ten przedział czasowy odpowiada za poczucie „teraz” i jest związany ze zdolnością integrowania informacji ograniczonych w czasie do zwykle kilku sekund. Jednym z paradygmatów stosowanych do badania tego zakresu czasowego jest *Zadanie Subiektywnej Akcentuacji* (ang. *Subjective Accentuation Task*; Szeląg, 1997; zob. Linares Gutierrez i in., 2019). Osobom badanym prezentowane są serie monotonicznych dźwięków, a zadanie polega na doszukaniu się subiektywnego rytmu (tabela 1). Preferencji do integracji około 3-sekundowej możemy doszukiwać się w automatycznych czynnościach ruchowych. Czynności, takie jak machanie, pukanie do drzwi, uścisk dłoni, trwają około 3 sekundy, a co więcej, te uwarunkowania występują niezależnie od grup etnicznych, wśród których

prowadzono obserwacje. Tę dynamikę czasową można odnaleźć także w dziełach muzyki klasycznej i literaturze (Szeląg, 2016).

- 5. Trwanie** – ten przedział nie posiada wyraźnego limitu czasowego. Łączy około 3-sekundowe odcinki w całość, by zapewnić poczucie ciągłości upływającego czasu. W powiązanie tych mniejszych jednostek czasowych zaangażowane są procesy pamięciowe (Pöppel, 1997; Szeląg, 2010).

1.1.1.2. Paradygmaty stosowane do badania percepcji czasu

Badania dotyczące percepcji czasu charakteryzują się nie tylko mnogością stosowanych podejść teoretycznych, ale również paradygmatów badawczych, których rozróżnienia dokonać można uwzględniając m.in. *modalność*, jakiej dotyczy zadanie oraz stosowane *przedziały skali czasowych* (Lad i in., 2020; rycina 4).



Rycina 4. Najczęściej stosowane kryteria przy rozróżnianiu paradygmatów badawczych dotyczących percepcji czasu.

Do najczęściej badanych modalności w paradygmatach badań nad czasem, zakwalifikować można modalność sensoryczną (ang. *perceptual timing*) oraz motoryczną (ang. *motor timing*). Przykładem zadania w paradygmacie modalności sensorycznej jest *Zadanie Różnicowania Długości Bodźców* (ang. *Temporal Discrimination Task*; tabela 1), podczas którego uczestnik dokonuje oceny długości prezentowanego bodźca w porównaniu do drugiego. Natomiast w zadaniu w paradygmacie modalności motorycznej wymaga się od osoby badanej wykonania aktu motorycznego, np. poprzez zsynchronizowanie tempa naciśnień z tempem prezentowanych dźwięków w *Zadaniu Synchronizacji Naciśnień* (ang. *Finger Tapping Task*; tabela 1; Lad i in., 2020).

Kolejne kryterium przy rozróżnianiu paradygmatów badań nad czasem dotyczy czasu trwania bodźców. Jak zostało już wspomniane procesy angażujące aspekty czasowe odbywają się nawet na 12 skalach czasowych (Zhou i Buonomano, 2022; rycina 1), odpowiedzialnych w głównej mierze za dedykowane im procesy. Choć w literaturze przedmiotu istnieją różne sposoby klasyfikacji skal czasowych jednym z najbardziej popularnych, szczególnie w dziedzinie badań neuronaukowych, jest rozróżnienie interwałów na: *milisekundowe* (ang. *sub-second timing*) – trwające poniżej sekundy oraz *sekundowe* (ang. *supra-second timing*) – trwające powyżej sekundy. To rozróżnienie znalazło zastosowanie również w moich badaniach. Procesowanie interwałów *milisekundowych* jest w większym stopniu automatyczne oraz opiera się na procesach zmysłowych, w przeciwieństwie do interwałów *sekundowych*, kiedy to przetwarzanie ich wymaga zaangażowania funkcji poznawczych (Grondin, 2010). Rozróżnienia interwałów na *milisekundowe* i *sekundowe* można dopatrzeć się również w *hierarchicznym modelu percepcji czasu* (rycina 3). Popularne paradygmaty badawcze do oceny efektywności percepcji czasu na różnych poziomach czasowych przedstawiono w tabeli 1. Zadania od 1 do 2 najczęściej stosowane są do badania efektywności percepcji czasu na poziomie

milisekundowym; od 3 do 6 na poziomie *sekundowym*, a zadanie 7 może być stosowane do oceny obydwu poziomów (*milisekundowego* lub *sekundowego*) w zależności od zastosowanych w nim długości bodźców.

Na tym etapie warto wspomnieć, że badacze zwracają uwagę na fakt, iż stosowana metodologia badawcza dedykowana określonemu poziomowi (*milisekundowemu* lub *sekundowemu*) może prowadzić do pewnych rozbieżności w pomiarach percepcji czasu nawet wśród populacji osób młodych i zdrowych (Fostick i in., 2019). Mając to na uwadze i odnosząc się do badań prowadzonych w Pracowni Neuropsychologii Instytutu Nenckiego (Szymaszek i in., 2006; 2009), w niniejszej pracy zastosowałam dwa warunki *Zadania Oceny Kolejności Bodźców – rozdzielnouszny* i *obuuszny* (zob. 3.2. *Procedura*) w celu podniesienia rzetelności badania percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*. W obu warunkach posługuję się miarą PPK, tj. oszacowuję najkrótszy interwał czasowy między bodźcami pozwalający na prawidłowe określenie ich kolejności (tabela 1). Niższy próg PPK koresponduje z wyższą efektywnością percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*, niemniej jednak może on się różnić w zależności od warunków zadania. Wynikać to może nie tylko z różnic w efektywności percepcji czasu, ale ze stosowania pomocniczych strategii poznawczych wspierających wykonywanie zadania i wpływających na uzyskany wynik. Dla przykładu, jedną z takich strategii jest tzw. strategia integracji percepcyjnej polegająca na tym, że dwa krótkie dźwięki o różnej częstotliwości prezentowane w szybkim następstwie (warunek *obuuszny*) nie są przetwarzane osobno, ale jako jeden dźwięk o wznoszącej się lub opadającej charakterystyce. Osoby posługujące się tą strategią uzyskują niższy PPK (Szymaszek i in., 2009). Ze względu na to, że percepcja czasu na poziomie *milisekundowym* jest kluczową miarą w moim badaniu, istotne było zmaksymalizowanie rzetelności pomiaru i zminimalizowanie wpływu strategii poznawczych, które mogą stosować osoby badane.

Tabela 1

Przykładowe zadania stosowane w badaniu percepcji czasu

1	<i>Zadanie Oceny Kolejności Bodźców</i> (ang. <i>Temporal Order Judgement Task</i>)	Badany określa kolejność bodźców zaprezentowanych w szybkim następstwie.
2	<i>Zadanie Synchronizacji Naciśnięć</i> (ang. <i>Finger Tapping Task</i>)	Uczestnikowi prezentowana jest seria bodźców dźwiękowych, a jego zadanie polega na zsynchronizowaniu z dźwiękami tempa naciśnięć.
3	<i>Zadanie Produkcji Interwału Czasowego</i> (ang. <i>Time Production Task</i>)	Osoba badana rozpoczyna próbę poprzez naciśnięcie przycisku. Po upływie zadanego interwału czasowego do wyprodukowania (np. po 5 s), ponownie naciska przycisk, kończąc próbę.
4	<i>Zadanie Reprodukcji Interwału Czasowego</i> (ang. <i>Time Reproduction Task</i>)	Uczestnikowi prezentowany jest interwał o określonej długości. Następnym zadaniem osoby jest odtworzenie czasu trwania tego interwału w taki sam sposób, jak w <i>Zadaniu Produkcji Interwału Czasowego</i> .
5	<i>Zadanie Szacowania Czasu Trwania</i> (ang. <i>Time Estimation Task</i>)	Osoba określa długość zaprezentowanego interwału czasowego w odniesieniu do konwencjonalnych jednostek miar (np. sekund).
6	<i>Zadanie Subiektywnej Akcentuacji</i> (ang. <i>Subjective Accentuation Task</i>)	Uczestnikowi prezentowana jest seria monotonicznych dźwięków. Zadaniem badanego jest określenie subiektywnego rytmu powstałego podczas słuchania serii.
7	<i>Zadanie Różnicowania Długości Bodźców</i> (ang. <i>Temporal Discrimination Task</i>)	Osobie badanej prezentowane są dwa bodźce różniące się długością trwania, a zadanie polega na określeniu, który z nich był dłuższy.

Podsumowując, zgodnie z przedstawionymi modelami percepcji czasu, należy zauważyć, iż proces ten odbywa się na wielu poziomach. Natomiast odnosząc się do założenia hierarchiczności w *hierarchicznym modelu percepcji czasu*, przyjęć można, że na procesy wyższego rzędu wpływ mają procesy bazowe, z czego najważniejszą rolę zdają się odgrywać te na poziomie *milisekundowym* (Pöppel, 1997).

Niemniej jednak to założenie teoretyczne, iż efektywność funkcjonowania jednostki na bazowym poziomie *milisekundowym* warunkuje sprawność jej funkcjonowania na poziomach wyższych percepcji czasu, ze względu na brak dotychczasowych badań – wymaga empirycznej weryfikacji, co stanowi jeden z celów niniejszej rozprawy.

1.2. Związek percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym

Istnieje szereg danych literaturowych wskazujących na związek percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym jednostki, na przykład z uwagą, pamięcią roboczą i pamięcią długotrwałą (Grondin, 2010; Jablonska i in., 2020; Szymaszek i in., 2009). Opracowania naukowe odnoszące się do *hierarchicznego modelu percepcji czasu* łączą poszczególne jego poziomy z np. naszym funkcjonowaniem językowym (Szelağ, 1999). Mianowicie domena *milisekundowa* tworzy ramę czasową dla głosek, w szczególności zwartowybuchowych, takich jak: t, d, k, g, p, b, które trwają około 40 ms. W naturalnej mowie nie ma możliwości, by wydłużyć ich czas trwania. Dlatego też sprawne działanie na poziomie *milisekundowym* jest kluczowe dla rozróżnienia dwóch głosek np. T vs D, a w konsekwencji dla rozróżnienia słów: TOMEK vs DOMEK. Poziom *milisekundowy* (kilkaset milisekund) odpowiada również długości trwania np. spółgłosek szczelinowych (s, z, w, f), samogłosek oraz sylab. Natomiast domena *sekundowa* koresponduje z czasem

trwania fraz, za pomocą których tworzymy logicznie spójne ciągi słowne – nasze wypowiedzi (Szelaąg, 2013).

Szczegółowej analizy związku percepcji czasu na różnych jej poziomach czasowych z innymi niż językowe funkcjami poznawczymi podjęli się Bartholomew i in. (2015). Autorzy zastosowali dwa zadania: (1) *Zadanie Różnicowania Długości Bodźców* (ang. *Duration Discrimination Task*; tabela 1) – do oceny efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* oraz (2) *Zadanie Produkcji Interwału Czasowego* (ang. *Time Production Task*; tabela 1) – do oceny efektywności percepcji czasu na poziomie *sekundowym*. Bartholomew i in. (2015) wykazali związek percepcji czasu na obu poziomach *milisekundowym* i *sekundowym* z uwagą, szybkością przetwarzania informacji, kontrolą wykonawczą, werbalną pamięcią epizodyczną, fluencją semantyczną i werbalną oraz z pamięcią roboczą. Badacze zaobserwowali silniejszą korelację percepcji czasu z funkcjami wykonawczymi (kontrolą poznawczą) niż dla przykładu z pamięcią roboczą, co wskazywałoby na potencjalnie kluczową rolę funkcji wykonawczych w percepcji czasu. Związek pomiędzy sprawnością funkcji wykonawczych a efektywnością percepcji czasu w domenie *milisekundowej* dowiedziono także w badaniu Nowak i in. (2016).

Inni badacze (Pütz i in., 2012) wykazali, że czujność uwagi w istotnym stopniu przewidywała dokładność wykonania zadania na poziomie *milisekundowym* (*Zadanie Różnicowania Długości Bodźców*; tabela 1), bez względu na modalność bodźców (wzrokowa vs słuchowa). Natomiast zależność ta nie była obserwowana dla zadania na poziomie *sekundowym*, co skłoniło autorów do wysnucia wniosków, że do wykonania zadania mierzącego percepcję czasu na poziomie *milisekundowym*, kluczowa jest sprawność uwagi, która pozwala na postrzeganie tak krótkich bodźców.

Ulbrich i in. (2009) dowiedli związek inteligencji płynnej z percepcją czasu na poziomie *milisekundowym* (*Zadanie Oceny Kolejności Bodźców*; tabela 1). Autorzy

sugerują, że osoby o wyższej inteligencji mogą częściej stosować wspomnianą wcześniej pomocniczą strategię poznawczą, tzw. integracji percepcyjnej, która przyczynia się do efektywniejszego wykonania *Zadania Oceny Kolejności Bodźców*. Ponadto Ulbrich i in. (2009) wykazali również związek *percepcji czasu* z rozpiętością pamięci krótkotrwałej oraz potwierdzili doniesienia cytowane wyżej (Pütz i in., 2012), że postrzeganie szybko zmieniających się bodźców wymaga wysokiego poziomu uwagi.

Wnioski z badań Bartholomew i in. (2015) oraz Pütz i in. (2012) rzucają nowe światło na związek funkcji poznawczych z percepcją czasu na poziomie *milisekundowym* w kontekście wcześniejszych badań, które sugerowały, iż percepcja czasu na poziomie *milisekundowym* opiera się głównie na procesach sensorycznych (zob. *1.1. Percepcja czasu – terminologia i problematyka*).

Szereg badań prowadzonych dotychczas wskazuje, że percepcja czasu na poziomie *milisekundowym* tworzy matrycę czasową dla funkcjonowania poznawczego (Jablonska i in., 2022; Nowak i in., 2016; Szelağ i Skolimowska, 2012; Szelağ i Szymaszek, 2016; Pöppel, 1997). Te badania odwołują się w swoich założeniach do taksonomii funkcji poznawczych zaproponowanej przez von Steinbüchel i Pöppela (1993), która umożliwiła ich podział na dwie podstawowe kategorie, tj. funkcji kontekstowych oraz logistycznych. Do funkcji kontekstowych zaliczyć należy kontekst subiektywnych doświadczeń. Z tego też względu funkcje te opisuje się także jako funkcje typu „CO” (ang. „*WHAT*” *functions*). Za funkcje kontekstowe uznaje się procesy percepcji i przetwarzania bodźców, spostrzeganie, procesy pamięciowe, uczenie się, mowę. Według powyższej taksonomii funkcje logistyczne stanowią matrycę dla funkcji kontekstowych, a więc są swoistą bazą neuronalną i są systemem odpowiedzialnym za logistykę wszelkich operacji umysłowych, dlatego zyskały miano funkcji typu „JAK” („*HOW*” *functions*). Percepcja czasu stanowi

właśnie jedną z funkcji logistycznych odpowiedzialną za kształtowanie procesów związanych z funkcjami kontekstowymi (Szeląg i Szymaszek, 2016).

Mając na uwadze powyższą taksonomię, w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej, chciałam zweryfikować, czy będąca matrycą czasową dla funkcji poznawczych efektywność percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* będzie korespondowała ze sprawnością funkcjonowania poznawczego jednostki.

1.3. Neuronalne podstawy percepcji czasu

Dotychczasowe doniesienia literaturowe dotyczące neuronalnych korelatów percepcji czasu pozostają niejednoznaczne. Wynika to prawdopodobnie z różnorodności stosowanych podejść teoretycznych i paradygmatów badawczych (zob. *1.1. Percepcja czasu – terminologia i problematyka*). Niemniej jednak, na podstawie prowadzonych badań możliwe jest wyszczególnienie potencjalnych struktur mózgowych zaangażowanych w percepcję czasu. Wskazuje ono na aktywację sieci struktur korowych i podkorowych. Lad i in. (2020) wśród najczęściej wymienianych struktur korowych zaangażowanych w percepcję czasu wskazują: dodatkową korę ruchową (ang. *supplementary motor area*), korę przedruchową (ang. *premotor cortex*), dolny zakręt czołowy (ang. *inferior frontal gyrus*), przednią część wyspy (ang. *anterior insula*), dolną korę ciemieniową (ang. *inferior parietal cortex*) oraz tylny-górny zakręt skroniowy (ang. *posteriori superior temporal gyrus*). Natomiast wśród obszarów podkorowych: jądra podstawne (ang. *basal ganglia*), wzgórze (ang. *thalamus*) oraz mózdzek (ang. *cerebellum*; Lad i in., 2020).

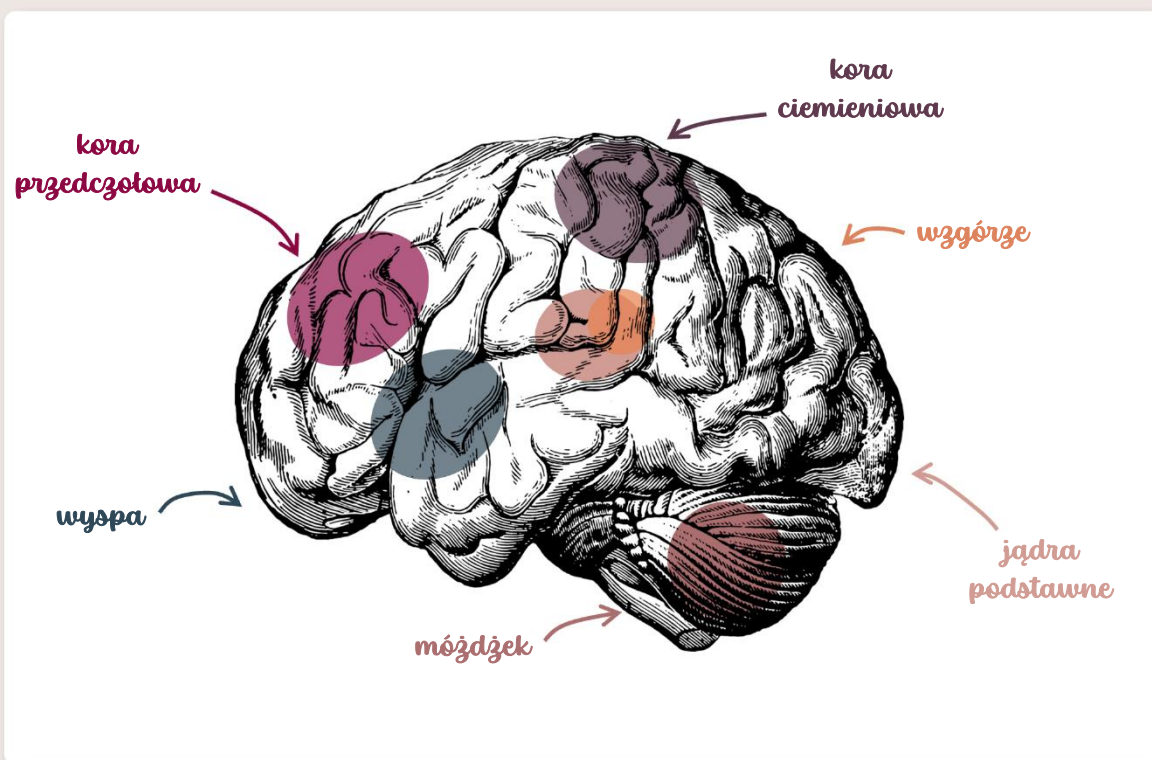
Próbując usystematyzować wiedzę na temat neuronalnego podłoża percepcji czasu Merchant i in. (2013) zaproponowali trzy modele: (1) „wspólnej reprezentacji neuroanatomicznej” (ang. *common timing mechanism*); (2) „rozproszonej reprezentacji

neuroanatomicznej” (ang. *ubiquitous timing mechanism*) oraz (3) „częściowo rozproszonej reprezentacji neuroanatomicznej” (ang. *partially shared timing mechanism*). W ramach pierwszego modelu – „wspólnej reprezentacji neuroanatomicznej” – za percepcję czasu odpowiedzialna jest sieć mózgową, w skład której wchodzi: jądra podstawne, mózdzek, dodatkowa kora ruchowa oraz ciemieniowa i przedczołowa kora mózgową (ang. *parietal and prefrontal cortices*). Drugi model – „rozproszonej reprezentacji neuroanatomicznej” – staje w opozycji do wyżej wymienionego modelu, podkreślając, że nie istnieją wyspecjalizowane struktury odpowiedzialne za percepcję czasu. Zgodnie z tym podejściem przetwarzanie czasu jest stałą właściwością dynamiki sieci korowych. Zgodnie z trzecim modelem – „częściowo rozproszonej reprezentacji neuroanatomicznej” – w procesie percepcji czasu uczestniczą struktury zaangażowane w przetwarzanie czasu (jądra podstawne wraz z systemem dopaminergicznym i dodatkową korą ruchową), jak i struktury zaangażowane w procesy zależne od innych aspektów zadania (np. związanych z utrzymaniem materiału w pamięci). Model „częściowo rozproszonej reprezentacji neuroanatomicznej” wydaje się być najczęściej stosowanym podejściem w badaniach nad neuronalnymi korelatami percepcji czasu. Do zasadności jego stosowania odnoszą się także Fontes i in. (2016) podkreślając, że percepcja czasu zależy od interakcji pomiędzy strukturami związanymi z percepcją czasu i obszarami odpowiedzialnymi za wykonywanie samego zadania.

Na tym etapie warto wspomnieć, że w badaniach nad neuronalnymi korelatami percepcji czasu uwzględnia się również wspomniane wcześniej kryterium czasu trwania bodźców – poniżej lub powyżej sekundy – (odpowiednio poziom *milisekundowy* i *sekundowy*) wskazując na zaangażowanie odrębnych struktur mózgowych w zależności od długości interwału czasowego (Wittmann, 2009). Wiener i in. (2010) uwzględniając wspomniany wyżej podział, wykazali w domenie *milisekundowej* obustronne aktywacje

w dodatkowej korze ruchowej, środkowym zakręcie czołowym (ang. *middle frontal gyrus*), dolnym płaciku ciemieniowym (ang. *inferior parietal lobule*), dolnym zakręcie czołowym, w tylnej części mózdzku (ang. *posteriori cerebellum*) oraz prawostronne aktywacje w okolicy jądra ogoniastego (ang. *caudate*), skorupy (ang. *putamen*) i wyspy. Natomiast w domenie *sekundowej* zaobserwowali obustronne aktywacje również w dodatkowej korze ruchowej i wyspie oraz prawostronne w zakręcie obręczy (ang. *cingulate gyrus*) i dolnym zakręcie czołowym, jak i lewostronne w zakręcie przedśrodkowym (ang. *precentral gyrus*). Autorzy wyróżnili również struktury zaangażowane w zadania o modalności motorycznej, które obejmowały obustronne aktywacje dodatkowej kory ruchowej, prawostronne aktywacje dolnego zakrętu czołowego oraz dolnego płacika ciemieniowego, jak i lewostronne w okolicy wyspy i środkowego zakrętu czołowego. Natomiast dla zadań o modalności sensorycznej wykazano obustronne aktywacje również w dodatkowej korze ruchowej, a także prawostronne aktywacje w okolicy wyspy i dolnego zakrętu czołowego i lewostronne w okolicach skorupy. Analiza łączna dla wszystkich czterech warunków (domena *milisekundowa* i *sekundowa* oraz modalność motoryczna i sensoryczna) wykazała aktywacje tylko w dwóch obszarach: obustronnie w obszarze dodatkowej kory ruchowej oraz w prawostronnym dolnym zakręcie czołowym.

Wnioski z badań nad neuronalnymi podstawami percepcji czasu wciąż pozostają niejednoznaczne, choć pozwalają na wytypowanie szeregu struktur, takich jak kora czołowa, w tym dodatkowa kora ruchowa, kora ciemieniowa, wyspa, jądra podstawne, wzgórze, mózdzek jako potencjalnie odpowiedzialnych za percepcję czasu (rycina 5).



Rycina 5. Najczęściej wymieniane struktury mózgowe zaangażowane w proces percepcji czasu. Adnotacja: opracowanie własne.

W tym kontekście, celem niniejszej pracy było: (1) wyznaczenie neuroanatomicznego podłoża odpowiedzialnego za percepcję czasu niezależnie od poziomu sprawności na poziomie *milisekundowym* oraz (2) weryfikacja czy sprawność percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* (bazowym dla naszego funkcjonowania) wyznacza wzorec struktur mózgowych zaangażowanych podczas wykonywania zadań z zakresu percepcji czasu.

2. CELE I HIPOTEZY BADAŃ WŁASNYCH

2.1. Cele badań własnych

Zaprezentowany we *Wstępie* aktualny stan wiedzy wskazuje na istotność percepcji czasu w różnych aspektach funkcjonowania jednostki. Warto wspomnieć, iż aberracje lub obniżenie efektywności percepcji czasu obserwowane są w szeregu zaburzeń, takich jak np.: zaburzenia ze spektrum autyzmu, zespół nadpobudliwości psychoruchowej, dysleksja, specyficzne zaburzenia językowe, schizofrenia, depresja, zaburzenia lękowe, choroba Parkinsona czy afazja (Allman i Meck, 2012; Dacewicz i in., 2016; Szelağ i in., 2010; Teixeira i in., 2013). Natomiast stosunkowo mniejsza liczba badań odnosi się do populacji osób zdrowych i młodych. Z naszych obserwacji wynika, że osoby młode również znacznie różnią się efektywnością percepcji czasu, co może przekładać się na ich funkcjonowanie poznawcze. Co więcej, wśród licznych modeli teoretycznych jedynie *hierarchiczny model percepcji czasu* zaproponowany przez Pöppela (1997) nawiązuje w swoich założeniach do związku między różnymi poziomami percepcji czasu. **Identyfikując wspomniane powyżej luki w przeprowadzonych do tej pory pracach badawczych, celem niniejszej rozprawy było zbadanie, czy efektywność percepcji czasu w domenie milisekundowej koresponduje z (1) efektywnością percepcji czasu w domenie sekundowej i (2) funkcjonowaniem poznawczym jednostki oraz (3) poznanie neuronalnych korelatów percepcji czasu.** Według mojej wiedzy jest to pierwsza praca empiryczna weryfikująca założenia teoretyczne *hierarchicznego modelu percepcji czasu* w kontekście związku efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* z efektywnością na poziomie *sekundowym* i sprawnością funkcjonowania poznawczego u osób zdrowych i młodych oraz z uwzględnieniem neuronalnego podłoża. Eksploracja tego zagadnienia, bez wątpienia, przyczyni się do poszerzenia wiedzy na temat wzajemnych relacji pomiędzy poziomami percepcji czasu i funkcjonowaniem jednostki w szerszym kontekście.

2.2. Hipotezy badań własnych

Na podstawie przedstawionego celu badań sformułowano hipotezy odnoszące się do trzech obszarów:

związku efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością funkcjonowania w domenie sekundowej:

Hipoteza 1. Większa efektywność percepcji czasu w domenie milisekundowej będzie związana z większą efektywnością percepcji czasu w domenie sekundowej.

Zasadność testowania powyższej hipotezy odnosi się do podstaw teoretycznych zastosowanego podejścia opierającego się na *hierarchicznym modelu percepcji czasu* (Pöppel, 1997). Zgodnie z nim efektywność percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* wpływa na efektywność percepcji czasu na poziomie *sekundowym* (zob. 1.1. *Percepcja czasu – terminologia i problematyka*).

związku efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością funkcjonowania poznawczego jednostki:

Hipoteza 2. Większa efektywność percepcji czasu w domenie milisekundowej będzie związana ze sprawniejszym funkcjonowaniem poznawczym w zakresie: (1) planowania; (2) pamięci roboczej; (3) funkcji uwagowych.

U podstaw testowania tej hipotezy znajduje się szereg obserwacji wskazujących na to, iż percepcja czasu na poziomie *milisekundowym* tworzy matrycę czasową dla funkcjonowania poznawczego, tj. sprawność na poziomie *milisekundowym* wiąże się ze sprawnością funkcji poznawczych w różnych jej aspektach (zob. 1.2. *Związek percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym*).

związku efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze wzorcem struktur mózgowych zaangażowanych w zadanie percepcji czasu:

Hipoteza 3. Wzorzec pobudzenia neuronalnego obejmuje **struktury mózgowie kluczowe** w percepcji czasu – stanowiące rdzeń odpowiedzialny za percepcję czasu – oraz **obszary dodatkowe** – aktywne w zależności od indywidualnej efektywności percepcji czasu. Wzór aktywacji będzie różny w zależności od trudności zadania.

Hipoteza ta dotyczy podłoża neuronalnego percepcji czasu. Przewiduje wyznaczenie struktur mózgowych kluczowych w percepcji czasu – aktywnych niezależnie od efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*. Co więcej, spodziewam się aktywacji obszarów dodatkowych aktywnych w zależności od efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*. Zakładam również, że wzorzec struktur będzie różny w zależności od poziomu trudności odzwierciedlonego w przedziałach czasowych zadania. Ze względu na brak konsensusu płynącego z przeprowadzonych do tej pory badań neuroobrazowych dotyczących percepcji czasu (zob. 1.3. *Neuronalne podstawy percepcji czasu*), ta część projektu ma charakter eksploracyjny.

3. METODA

3.1. Osoby badane

Rekrutacja osób badanych odbywała się za pomocą portalu społecznościowego Facebook oraz metodą śnieżnej kuli. Grupa uczestników włączona do badań przedstawionych w niniejszej rozprawie składała się z 109 osób (60 kobiet) w wieku od 20 do 27 lat ($M \pm SD = 23 \pm 2$ lat). Badania zostały przeprowadzone w okresie od października 2019 r. do lutego 2022 r. Przed przystąpieniem do badań wszystkim uczestnikom przedstawiono cel badań oraz zarys procedur i metod stosowanych w projekcie, a także poinformowano o możliwości rezygnacji z uczestnictwa w dowolnym momencie. Następnie każda z osób wyraziła pisemną świadomą i dobrowolną zgodę na udział w badaniach. W celu rekrutacji homogenicznej grupy badawczej zastosowano szereg kryteriów kwalifikujących. Zastosowane kryteria oraz metody ich weryfikacji zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2

Kryteria kwalifikujące do udziału w projekcie i metody ich weryfikacji

Kryteria kwalifikujące do udziału w projekcie	Metody weryfikacji kryteriów
– wiek w granicach 20 – 27 lat;	ankieta dotycząca danych o osobie
– język polski jako język ojczysty;	badanej
– praworęczność;	
– brak formalnego wykształcenia muzycznego;	
– prawidłowy słuch	weryfikacja na podstawie przesiewowego badania słuchu (audiometr MA33, MAICO) na wybranych częstotliwościach

od 250 do 3000 Hz z zastosowaniem kryterium *Pure Tone Average* ≤ 25 dB dla częstotliwości: 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz

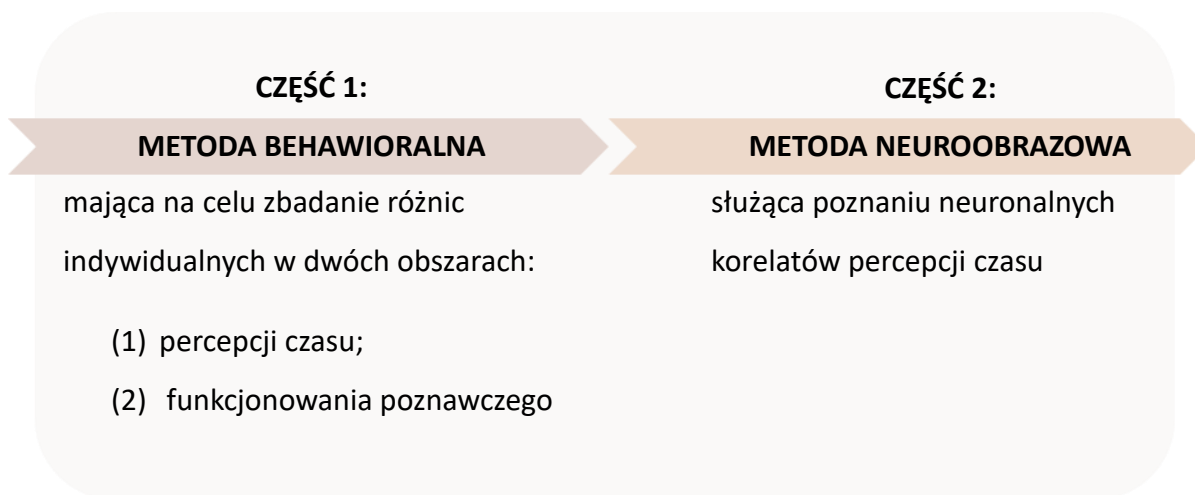
- norma intelektualna wynik Test Matryc Ravena ≥ 5 stena
(Jaworska, Szustrowa; 2000)

 - ogólny dobry stan zdrowia; ankieta dotycząca stanu zdrowia osoby
- brak trudności w zakresie sprawności badanej
 kończyn górnych;
 - nieprzyjmowanie substancji mogących znacząco wpływać na funkcjonowanie
 ośrodkowego układu nerwowego

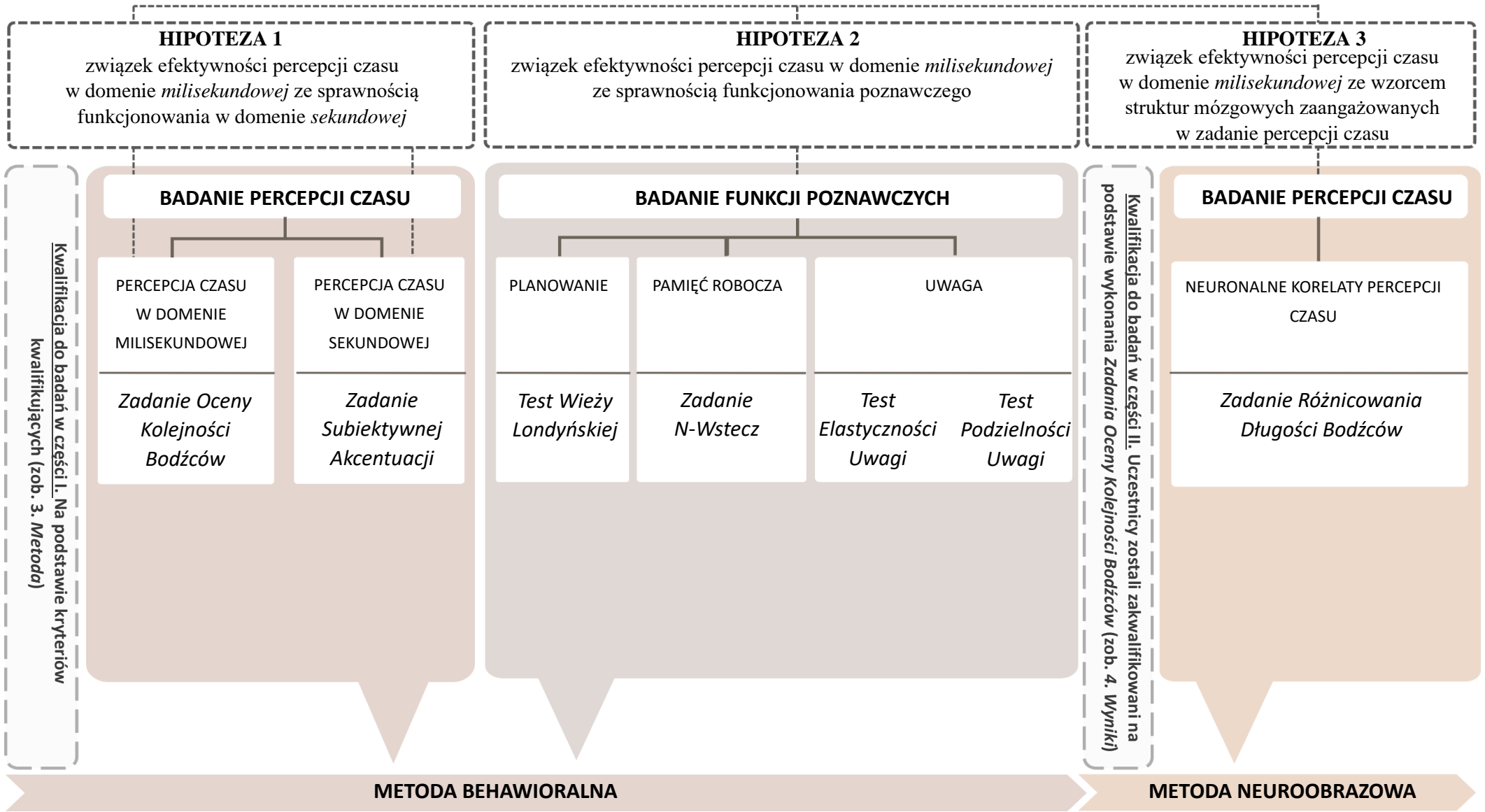
 - brak przeciwwskazań do uczestnictwa ankieta bezpieczeństwa przed badaniem
 w badaniach przeprowadzanych z zastosowaniem rezonansu
 w skanerze rezonansu magnetycznego magnetycznego (Pracownia
 Obrazowania Mózgu IN PAN)
-

3.2. Procedura

Badania prezentowane w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej stanowią część projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (OPUS 15; „*Różnice indywidualne w subiektywnym przeżywaniu czasu: wskaźniki neuropsychologiczne, EEG i fMRI*”; UMO-2018/29/B/HS6/02038). Projekt został pozytywnie zaopiniowany przez Komisję Bioetyczną Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu przy Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy (zgoda nr KB 289/2019; aneksowana dnia 16.11.2021). Ze względu na pandemię COVID-19 spotkania z osobami przeprowadzono z zastosowaniem wydawanych przez Dyrektora Instytutu zasad oraz regulacji epidemiologicznych, obowiązujących podczas prowadzenia badań z udziałem ludzi jako osób badanych. Projekt składał się z dwóch części, w których zastosowano dwie metody badawcze:



PROCEDURA BADAWCZA



3.2.1. Metoda behawioralna

Spotkania odbywały się z każdą osobą indywidualnie w cichym i odizolowanym od dźwięków z zewnątrz pomieszczeniu w Instytucie Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN w Warszawie.

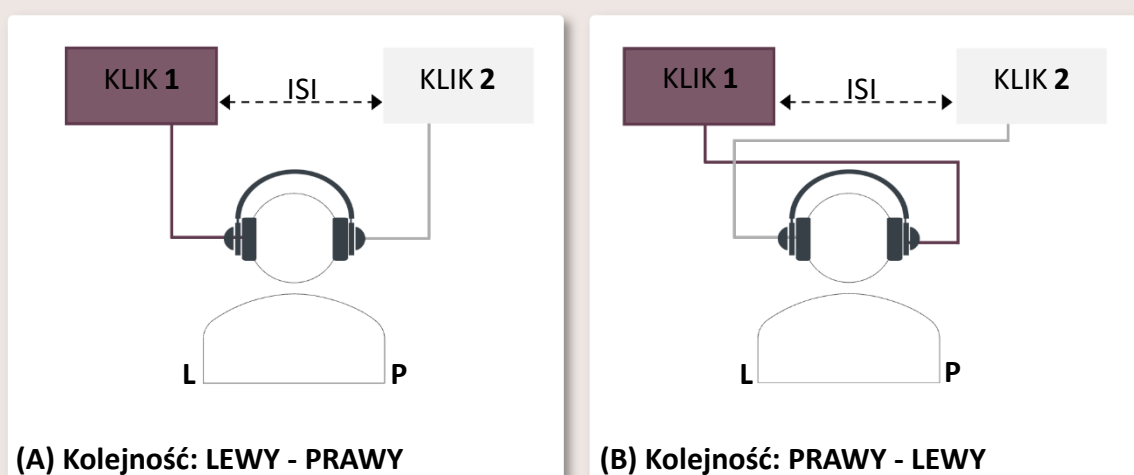
3.2.1.1. Badanie percepcji czasu

Percepcja czasu w domenie milisekundowej

W celu oceny efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* osoby badane wykonały *Zadanie Oceny Kolejności Bodźców* (ang. *Temporal Order Judgement Task*) w dwóch warunkach (1) *rozdzielności* oraz (2) *obuusznym*. **Nadrzędnym celem zastosowania tego zadania była możliwość wyodrębnienia dwóch grup osób charakteryzujących się wysoką i niską efektywnością percepcji czasu w domenie *milisekundowej*** (zob. 2. *Cele i hipotezy badań własnych*). Natomiast zastosowanie tych dwóch warunków jednego zadania wynikało z wcześniejszych badań prowadzonych nad tym paradygmatem (Szeląg i in., 2018; Szymaszek i in., 2009). Miało ono na celu zwiększenie rzetelności pomiaru efektywności percepcji czasu poprzez zminimalizowanie wpływów, specyficznych dla każdego warunku, strategii poznawczych, którymi mogły posługiwać się osoby badane. W obu warunkach prezentowano pary dźwięków oddzielone zmieniającą się w kolejnych próbach przerwą (ang. *Inter-Stimulus Interval*, ISI) i proszono osoby o określanie kolejności prezentowanych bodźców. Celem zadania było określenie najkrótszej przerwy między dwoma dźwiękami potrzebnej do prawidłowego zidentyfikowania ich kolejności. W celu skupienia uwagi osób badanych każdą parę dźwięków poprzedzał sygnał ostrzegawczy.

Zadanie Oceny Kolejności Bodźców - warunek *rozdzielności*.

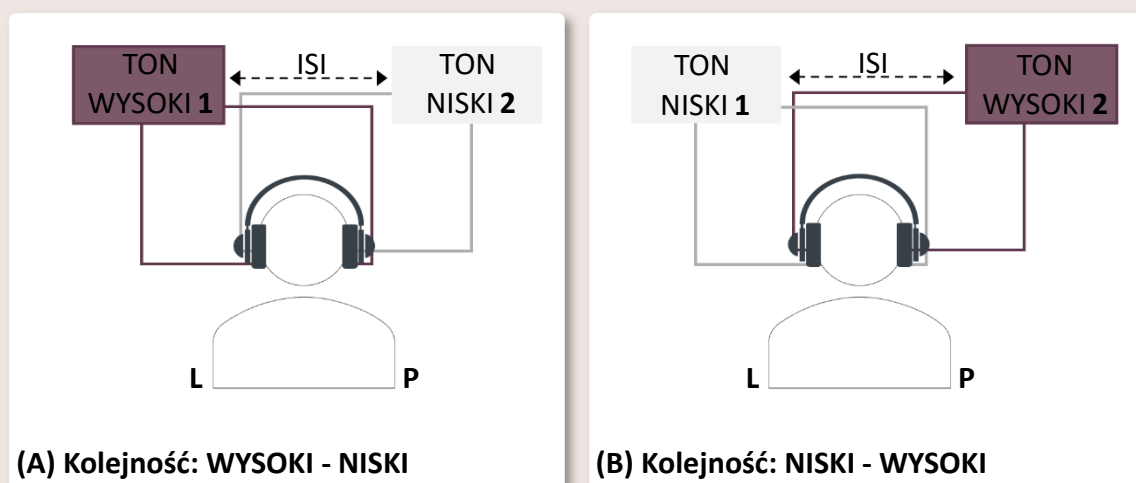
W warunku *rozdzielności* (rycina 6) bodźcami były pary 1-milisekundowych dźwięków (tzw. kliki) o prostokątnej charakterystyce fali. *Rozdzielności* prezentacja bodźców polegała na tym, że pierwszy z dźwięków prezentowany był do jednego ucha (prawego lub lewego), a drugi do drugiego (odpowiednio prawego lub lewego). Jak wspomniano powyżej długość przerwy oddzielającej bodźce zmieniała się w kolejnych próbach. Osoba badana określała ustnie kolejność dźwięków w parze, udzielając jednej z możliwych odpowiedzi: *lewy – prawy* (rycina 6A) lub *prawy – lewy* (rycina 6B).



Rycina 6. Schemat Zadania Oceny Kolejności Bodźców – warunek *rozdzielności*.
(A) Kolejność LEWY-PRAWY: pierwszy dźwięk został zaprezentowany do lewego ucha (kolor fioletowy), drugi do prawego (kolor szary); (B) Kolejność PRAWY-LEWY: pierwszy dźwięk został zaprezentowany do prawego ucha (kolor fioletowy), drugi do lewego (kolor szary). Adnotacja: ISI – przerwa między dźwiękami; L – strona lewa; P – strona prawa.

Zadanie Oceny Kolejności Bodźców - warunek obuuszny.

W warunku *obuuszny* (rycina 7) bodźcami była para dwóch 10-milisekundowych sinusoidalnych tonów o częstotliwości: 400 Hz (ton niski) lub 3000 Hz (ton wysoki). W tym warunku każdy ton prezentowany był jednocześnie do obu uszu. Jak poprzednio długość przerwy oddzielającej bodźce zmieniała się w kolejnych próbach. Osoba badana określała ustnie ich kolejność, udzielając jednej z możliwych odpowiedzi: *wysoki – niski* (rycina 7A) lub *niski – wysoki* (rycina 7B).



Rycina 7. Schemat Zadania Oceny Kolejności Bodźców – warunek obuuszny. (A) Kolejność WYSOKI-NISKI: pierwszy został zaprezentowany dźwięk wysoki (kolor fioletowy), następnie dźwięk niski (kolor szary); (B) Kolejność NISKI-WYSOKI: pierwszy został zaprezentowany dźwięk niski (kolor szary), a następnie wysoki (kolor fioletowy). Adnotacja: ISI – przerwa między dźwiękami; L – strona lewa; P – strona prawa.

Oprogramowanie służące do przeprowadzenia tych procedur zostało stworzone w Pracowni Neuropsychologii IN PAN. Bodźce prezentowano przy użyciu słuchawek Panasonic RP-HT161.

Obydwa warunki przeprowadzane były w tym samym schemacie: osobom badanym prezentowano instrukcję do zadania z demonstracją przykładowych par dźwięków. Następnie ustalano indywidualny poziom głośności komfortowy dla danego uczestnika. Kolejno w ramach treningu, przed rozpoczęciem właściwego zadania, prezentowano pary bodźców oddzielonych stosunkowo długimi przerwami (ISI = 160 ms w warunku *rozdzielnościowym* oraz ISI = 240 ms w warunku *obuuznym*), a badany określał ich kolejność. Aby przejść do właściwego zadania, osoba badana musiała sześć razy z rzędu prawidłowo określić kolejność prezentowanych bodźców. W trakcie zadania właściwego osoby badane nie otrzymywały informacji zwrotnej o poprawności wykonania.

Właściwe zadanie składało się z dwóch części: (1) podczas pierwszej części najpierw prezentowano 10 par bodźców ze skracającym się ISI (odpowiednio o 18 i 27 ms w warunku *rozdzielnościowym* oraz *obuuznym*). Następnie prezentowano kolejne 10 par bodźców ze wzrastającym ISI (odpowiednio o 18 i 27 ms w warunku *rozdzielnościowym* oraz *obuuznym*). W części pierwszej przerwy pomiędzy bodźcami mieściły się w zakresie od 1 do 160 ms dla warunku *rozdzielnościowego* oraz od 1 do 240 ms dla warunku *obuuznego*; (2) w drugiej części długość przerwy zmieniała się adaptacyjnie w zależności od poprawności odpowiedzi. Jeśli osoba badana udzieliła poprawnej odpowiedzi, to długość przerwy skracala się o wartość z przedziału od 0,5% do 5% w stosunku do poprzedniej próby. Natomiast, gdy osoba badana popełniła błąd, długość przerwy wydłużala się o wartość z przedziału od 10 do 20% w porównaniu do poprzedniej próby.

Dla każdego z warunków oszacowano *Próg Postrzegania Kolejności* (PPK), tj. najkrótszą przerwę potrzebną do prawidłowego określenia kolejności zaprezentowanych

bodźców z 75% prawdopodobieństwem poprawności. Im mniejsza wartość PPK, tym bardziej efektywna percepcja czasu na poziomie *milisekundowym*. Pomiary zostały przeprowadzone dwukrotnie oraz uśrednione dla każdego z warunków.

WSKAŹNIKI

Percepcja czasu w domenie milisekundowej

Zadanie Oceny Kolejności Bodźców

Próg Postrzegania Kolejności (PPK)

- Warunek *rozdzielności*
- Warunek *obuuszny*

- najkrótsza przerwa potrzebna do prawidłowego określenia kolejności prezentowanych dźwięków, powstała poprzez uśrednienie wartości z dwóch pomiarów;
 - odzwierciedla efektywność percepcji czasu w domenie milisekundowej;
 - im mniejsza wartość PPK, tym efektywniejsza percepcja czasu.

Percepcja czasu w domenie sekundowej

Zadanie Subiektywnej Akcentuacji.

W celu zbadania efektywności percepcji czasu w domenie *sekundowej* osoby badane wykonały *Zadanie Subiektywnej Akcentuacji* (ang. *Subjective Accentuation Task*). Uczestnikom demonstrowano 1-minutowe serie 1-milisekundowych dźwięków emitowanych z 9 różnymi częstotliwościami. Dla przykładu jedna z serii w zadaniu miała częstotliwość 4 Hz. Oznacza to, że na 1 sekundę przypadały 4 bodźce dźwiękowe, a odstęp pomiędzy nimi wynosił 250 ms (rycina 8). W tabeli 3 zamieszczono szczegółową charakterystykę wszystkich 9 częstotliwości zastosowanych w tym zadaniu.



Rycina 8. Schemat Zadania Subiektywnej Akcentuacji – seria o częstotliwości 4 Hz.

Tabela 3

Charakterystyka serii bodźców dźwiękowych prezentowanych z 9 różnymi częstotliwościami

	Poszczególne serie bodźców dźwiękowych								
Częstotliwość (Hz)	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
ISI (ms)	1000	667	500	400	333	286	250	222	200

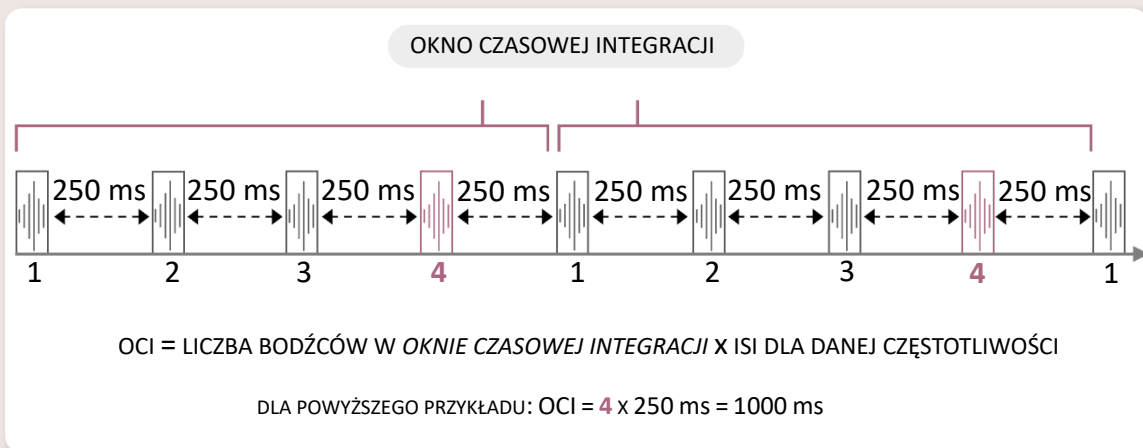
Adnotacja: częstotliwości zostały wybrane na podstawie badań pilotażowych; ISI – przerwa między dźwiękami.

Zadaniem osoby badanej było wsłuchiwanie się w serie dźwięków i określenie, który z nich w serii, subiektywnie odbiera jako głośniejszy/dystynktywny (np. co drugi, trzeci, czwarty). By lepiej zrozumieć to zadanie, Czytelnik może wyobrazić sobie dźwięk, który słyhać podczas pracy zegara mechanicznego, tzw. tykanie. Choć każdy dźwięk jest taki sam, niektóre z nich możemy postrzegać jako dystynktywne (np. głośniejsze). Takie określenie n-tego dźwięku w danej serii postrzeganego jako głośniejszy/dystynktywny, pozwala stworzyć indywidualny wzór rytmiczny. Oczywiście ten subiektywny rytm istnieje jedynie w umyśle uczestnika, gdyż prezentowane sekwencje miały, jak wspomniano wyżej, charakter jednostajny i pozbawiony jakiegokolwiek faktycznego

rytmu. Oprogramowanie służące do przeprowadzenia *Zadania Subiektywnej Akcentuacji* zostało stworzone w Pracowni Neuropsychologii IN PAN. Dźwięki zostały wygenerowane w programie Adobe Audition 3.0 i prezentowane obuusznie poprzez słuchawki Panasonic RP-HT161.

Zadanie przeprowadzono w następującym schemacie: każdy uczestnik został zapoznany z instrukcją oraz ustalono indywidualny poziom głośności komfortowy dla danej osoby. Następnie przed rozpoczęciem zadania właściwego zaprezentowano 10 serii dźwięków o losowo wybranych częstotliwościach. Uczestnik w dowolnej chwili trwania danej serii mógł udzielić odpowiedzi ustnie, określając który z bodźców dźwiękowych postrzega jako głośniejszy/dystynktywny, co skutkowało zakończeniem prezentacji danej serii i przejściem do kolejnej. Podczas właściwego zadania prezentowano w quasi-randomizowanej kolejności 90 serii dźwięków, tzn. 9 częstotliwości powtórzonych 10 razy każda (tabela 3).

Na podstawie tego zadania oszacowywano średnią długość *Okna Czasowej Integracji* (OCI), uzyskaną poprzez pomnożenie liczby określającej, co który bodziec osoba postrzega jako głośniejszy/dystynktywny przez długość przerwy między bodźcami odpowiadającej danej częstotliwości (rycina 9). OCI określa maksymalny czas, w którym osoba postrzega bodźce jako niewyróżniające się – integruje je. Im wyższy limit integracji, tym bardziej efektywna percepcja czasu w domenie *sekundowej*.



Rycina 9. Schemat przykładowego wykonywania *Zadania Subiektywnej Akcentuacji*. Przykład serii o częstotliwości 4 Hz, podczas której uczestnik co 4 dźwięk w serii postrzega jako głośniejszy (kolor fioletowy).

WSKAŹNIKI

Percepcja czasu w domenie sekundowej

Zadanie Subiektywnej Akcentuacji

Okno Czasowej Integracji (OCI)

- częstotliwość 1 Hz
- częstotliwość 1,5 Hz
- częstotliwość 2 Hz
- częstotliwość 2,5 Hz
- częstotliwość 3 Hz
- częstotliwość 3,5 Hz
- częstotliwość 4 Hz
- częstotliwość 4,5 Hz
- częstotliwość 5 Hz
- średnia wartość OCI dla wszystkich powyższych częstotliwości

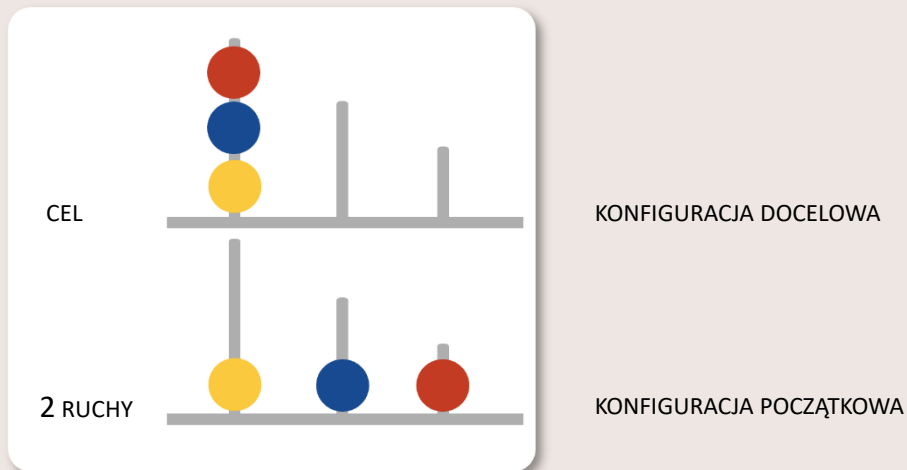
- średnia wartość OCI z 10 serii dla każdej częstotliwości;
- odzwierciedla maksymalny czas integracji dla danej osoby;
- im dłuższy czas integracji, tym efektywniejsza percepcja czasu w domenie sekundowej.

3.2.1.2. Badanie funkcji poznawczych

Planowanie

Test Wieży Londyńskiej.

Pomiar planowania przeprowadzono z wykorzystaniem *Testu Wieży Londyńskiej* (ang. *Tower of London – Freiburg version*) pochodzącego z Wiedeńskiego Systemu Testów (Schuhfried, 2013). Na ekranie komputera wyświetlane były 2 obrazki przedstawiające 3 drążki o różnej wysokości i 3 kulki w różnych kolorach (rycina 10).



Rycina 10. Ilustracja schematu próby treningowej w *Teście Wieży Londyńskiej*.

Zadaniem osoby badanej było przełożenie kulek z *konfiguracji początkowej* (dolna część ekranu), tak żeby odzwierciedlały wzorec z *konfiguracji docelowej* (górna część ekranu) przy zachowaniu najmniejszej liczby ruchów, określonej po lewej stronie ekranu, w której możliwe jest wykonanie tego zadania. Zadanie składało się z 24 prób o wzrastającym poziomie trudności odzwierciedlonym w najmniejszej liczbie ruchów (odpowiednio 4, 5, 6 dla warunku łatwego, średniego i trudnego).

Schemat badania był następujący: przed wykonaniem właściwego zadania osoba badana zapoznawała się z instrukcją oraz wykonywała trening. Zadanie właściwe składało się z 8 prób z łatwym, 8 ze średnim oraz 8 z trudnym poziomem wykonania. Na wykonanie każdej próby przypadał limit czasu wynoszący 1 minutę. Po tym czasie dana próba ulegała zakończeniu, a program automatycznie rozpoczynał kolejną próbę. Przy wykonywaniu testu obowiązywały następujące reguły: (1) każdy z drążków może pomieścić określoną liczbę kulek – najwyższy trzy, średni dwie, a najniższy jedną; (2) jednym ruchem można przenieść tylko jedną kulkę; (3) nie jest możliwe użycie kulki, jeżeli znajduje się ona pod inną; (4) żadna z kulek nie może zostać ułożona poza drążkami. Dodatkowo każda z osób proszona była, by (5) przed wykonaniem pierwszego ruchu zaplanować poszczególne kroki wykonania zadania; (6) zadanie zrealizować najszybciej jak to możliwe oraz (7) stosować się do zasady minimalnej liczby ruchów, która wyświetlana były w każdej próbie.

WSKAŹNIKI

Funkcje poznawcze - Planowanie

Test Wieży Londyńskiej

Zdolność planowania	liczba prób wykonanych poprawnie w minimalnej liczbie ruchów.
Liczba poprawnych rozwiązań	liczba prób wykonanych poprawnie zarówno przy zachowaniu i przekroczeniu minimalnej liczby ruchów.
Liczba błędów	łączna liczba błędów popełnionych w całym teście.
Czas planowania	średni czas wszystkich poprawnie wykonanych prób liczony od wyświetlenia próby do wykonania pierwszego ruchu.
Czas wykonania	średni czas wszystkich poprawnie wykonanych prób liczony od wykonania pierwszego ruchu do rozwiązania zadania.

Pamięć robocza

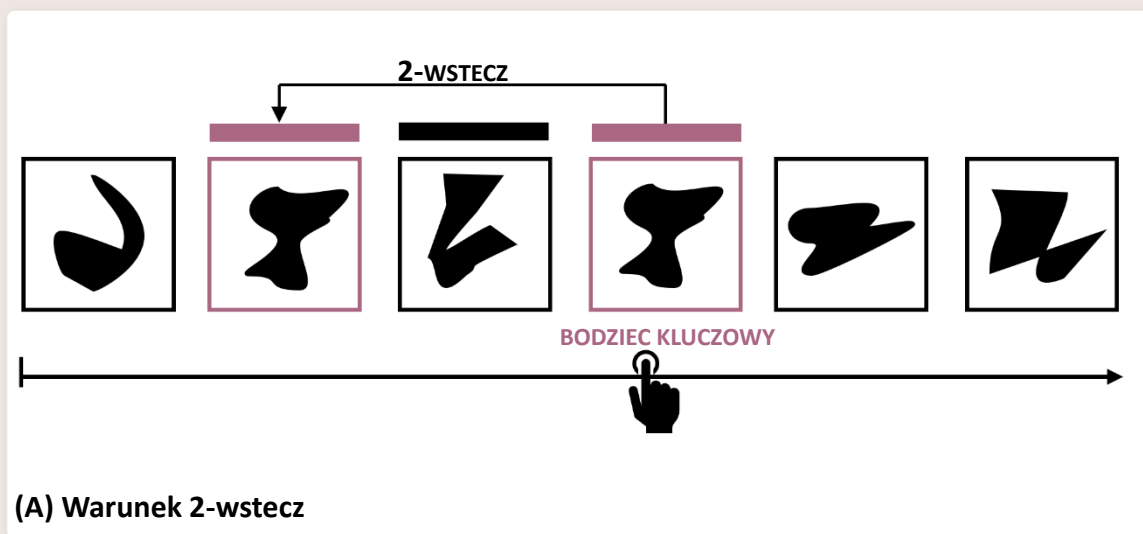
Zadanie N-Wstecz.

Pomiar pamięci roboczej przeprowadzono z wykorzystaniem *Zadania N-Wstecz* (ang. *N-Back Task*) pochodzącego z Wiedeńskiego Systemu Testów (Schuhfried, 2013) w dwóch warunkach: (1) *2-wstecz* oraz (2) *3-wstecz*. W obu warunkach na ekranie komputera wyświetlana była sekwencja abstrakcyjnych figur (rycina 11).

Zadaniem osoby badanej było naciśnięcie przycisku w momencie, gdy uzna, że obecnie prezentowana na ekranie figura jest *bodźcem kluczowym*, czyli jest identyczna, jak ta, która pojawiła się 2 figury temu (warunek *2-wstecz*; rycina 11A) lub 3 figury temu (warunek *3-wstecz*; rycina 11B).

W warunku *2-wstecz* oraz *3-wstecz* prezentowano odpowiednio 100 i 140 abstrakcyjnych figur, z czego 14 należało oznaczyć jako kluczowe. Warto podkreślić, iż figury abstrakcyjne zostały stworzone w ten sposób, żeby były trudne do werbalizacji.

Schemat badania był następujący: osoba badana po zapoznaniu się z instrukcją zadania oraz wykonaniu treningu, przystępowała do zadania właściwego rozpoczynając od warunku *2-wstecz*, następnie wykonując warunek *3-wstecz*.



Rycina 11. Schemat Zadania N-Wstecz. (A) warunek 2-wstecz i (B) warunek 3-wstecz. Adnotacja: przedstawione figury abstrakcyjne nie pochodzą z zastosowanego testu, a zostały jedynie stworzone w celu zilustrowania zadania.

<p>D-prime (d')</p> <ul style="list-style-type: none"> • Warunek 2-wstecz • Warunek 3-wstecz 	<p>wskaźnik wrażliwości d' obliczony wg wzoru: $d' = z(H) - z(FA)$</p> <p>z(H) – standaryzowana liczba poprawnych naciśnień; z(FA) – standaryzowana liczba błędów.</p> <p>Wyższy wskaźnik oznacza większą liczbę poprawnych naciśnień w stosunku do niewielkiej liczby błędów.</p>
<p>Czas poprawnych naciśnień</p> <ul style="list-style-type: none"> • Warunek 2-wstecz • Warunek 3-wstecz 	<p>średni czas detekcji bodźców kluczowych.</p>

Uwaga

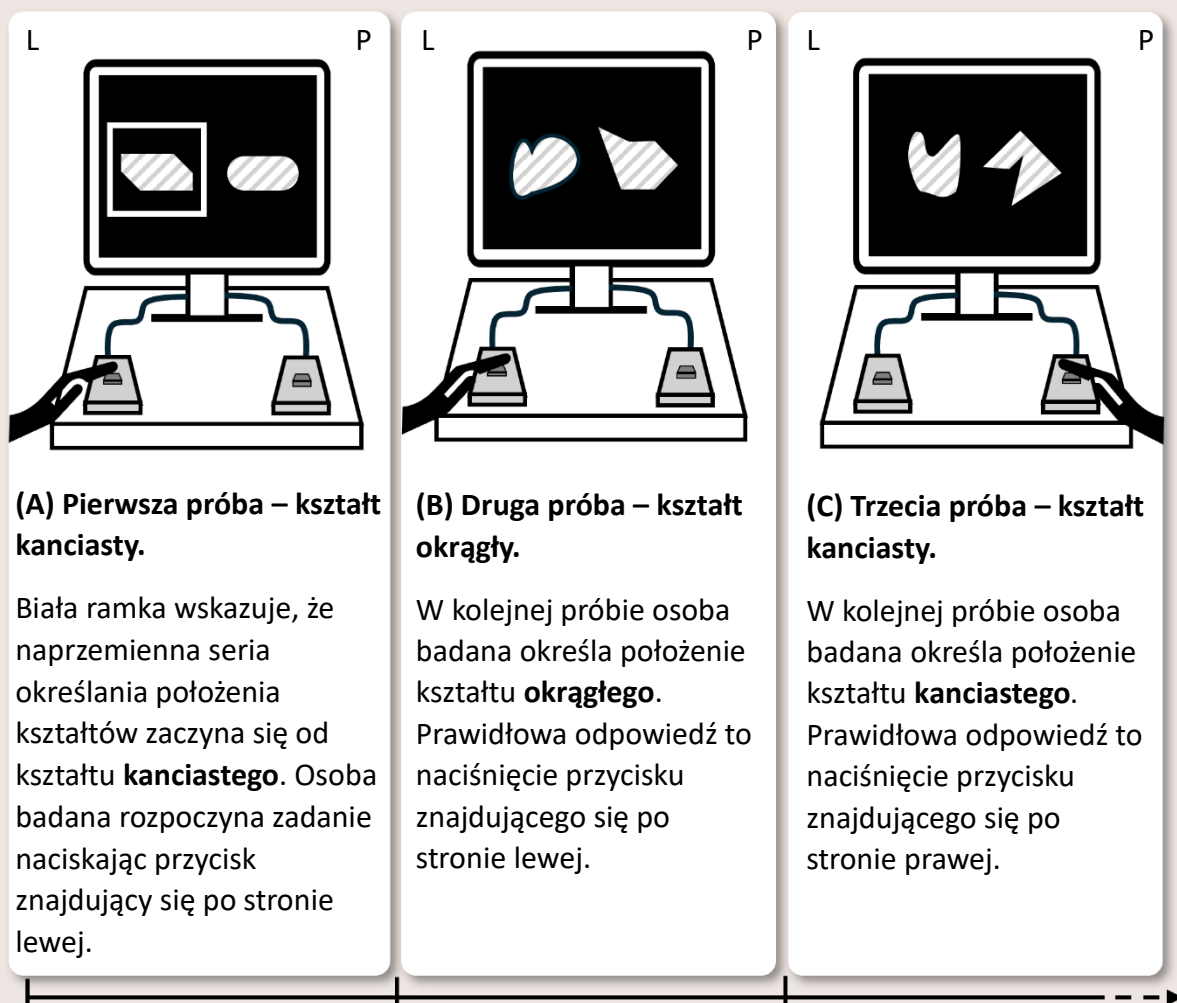
W celu pomiaru elastyczności i podzielności uwagi zastosowano odpowiednio: (1) *Test Elastyczności Uwagi* (ang. *Flexibility Task*) oraz (2) *Test Podzielności Uwagi* (ang. *Divided Attention Task*) z baterii Testów Uwagowych TAP (Zimmermann i Fimm, 2007). Osoby badane wykonywały zadania przy użyciu dedykowanych przycisków z baterii testów TAP.

Test Elastyczności Uwagi.

Na ekranie komputera prezentowane były równocześnie 2 kształty: kanciasty i okrągły. Jeden z nich znajdował się po stronie lewej, drugi po stronie prawej ekranu (rycina 12). W trakcie zadania kształty zmieniały stronę swojego położenia.

Zadaniem osoby badanej było określanie położenia danego kształtu (naprzemiennie kanciastego i okrągłego) poprzez naciśnięcie przycisku: *lewego* – jeśli dany kształt znajdował się po lewej stronie lub *prawego* – jeśli po stronie prawej. Nadrzędną zasadą było naprzemiennie określanie strony położenia raz jednego kształtu, raz drugiego, zaczynając od kształtu kanciastego.

Rozpoczęcie zadania poprzedzone było zapoznaniem osoby badanej z instrukcją. Całe zadanie składało się z 100 prób. Jeśli osoba badana popełniła błąd, to w kolejnej próbie kształt, od którego należy kontynuować zadanie zaznaczony był ramką.



Rycina 12. Schemat Testu Elastyczności Uwagi przedstawiający 3 przykładowe próby.
Adnotacja: przedstawione kształty nie pochodzą z zastosowanego testu, a zostały stworzone w celu zilustrowania zadania; L – strona lewa; P – strona prawa.

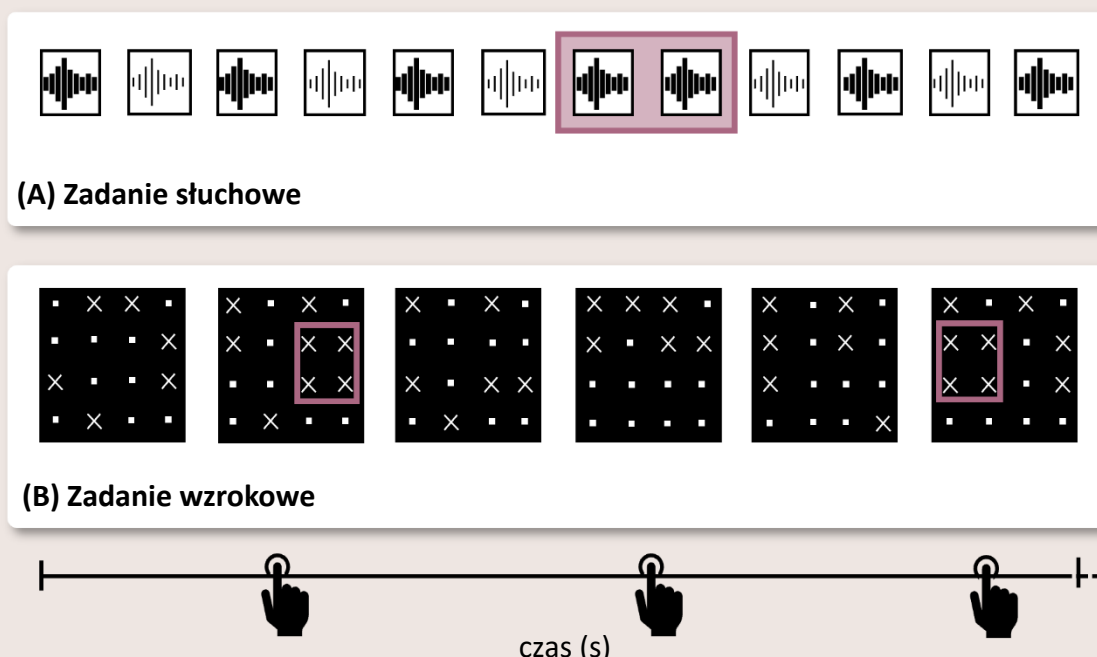
Test Elastyczności Uwagi

Liczba poprawnych naciśnieć	liczba prób z poprawnie określonym położeniem kształtu.
Liczba błędów	liczba prób z błędnie określonym położeniem kształtu.
Czas poprawnych naciśnieć	średni czas reakcji w próbach z poprawnie określonym położeniem kształtu.

Test Podzielności Uwagi

Podczas *Testu Podzielności Uwagi* osoba badana wykonywała równoległe dwa zadania: *zadanie słuchowe* i *zadanie wzrokowe* (rycina 13). W *zadaniu słuchowym*, uczestnikowi prezentowano przez słuchawki naprzemiennie dwa tony: niski oraz wysoki. Zadaniem osoby badanej było naciśnięcie dedykowanego przycisku w momencie, w którym usłyszy dwa takie same tony jeden po drugim (*zadanie słuchowe*; rycina 13A). W tym samym czasie na ekranie wyświetlano plansze z matrycą kropek (4 x 4). Podczas zadania zamiast kropek losowo pojawiały się krzyżyki. Zadaniem osoby badanej było naciśnięcie przycisku w momencie, w którym cztery krzyżyki utworzą kwadrat (*zadanie wzrokowe*; rycina 13B).

W całym zadaniu zaprezentowanych było 200 bodźców słuchowych, z czego 16 razy należało zareagować, tj. wystąpiły te same tony, jeden po drugim. Zaprezentowano także 100 bodźców wzrokowych, z czego 17 razy utworzyły one kwadrat, na pojawienie się, którego także należało zareagować. Rozpoczęcie testu poprzedzone było zapoznaniem osoby badanej z instrukcją.



Rycina 13. Schemat Testu Podzielności Uwagi. (A) zadanie słuchowe i (B) zadanie wzrokowe – ramką oznaczono sytuacje, na które należało zareagować naciskając przycisk, tj. wystąpiły dwa takie same tony zaprezentowane jeden po drugim lub krzyżyki utworzyły kwadrat.

WSKAŹNIKI

Funkcje poznawcze - Uwaga

Test Podzielności Uwagi

Liczba poprawnych naciśnieć

liczba detekcji odpowiednich bodźców.

Liczba błędów

liczba błędnych detekcji.

Czas poprawnych naciśnieć

średni czas detekcji bodźców.

3.2.1.3. Analiza danych behawioralnych

Analizy statystyczne zostały wykonane przy użyciu programu IBM SPSS Statistic 26. Wykonano szereg analiz zarówno parametrycznych (test t-studenta dla prób niezależnych), jak i ich nieparametrycznych odpowiedników (test U Manna-Whitney'a), w zależności od rozkładu danych, weryfikowanych przy użyciu testu Shapiro-Wilka. Ze względu na wysokie znaczenie dla dalszych analiz wyników z *Zadania Oceny Kolejności Bodźców* zostały one poddane procedurze usuwania wartości odstających (ang. *outliers*) za pomocą standaryzacji.

Podsumowanie zastosowanych procedur badawczych wraz ze wskaźnikami behawioralnymi i przeprowadzonymi analizami statystycznymi przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Przeprowadzone analizy statystyczne (część 1 – metoda behawioralna)

ZADANIE	WSKAŹNIKI	ANALIZY STATYSTYCZNE
BADANIE PERCEPCJI CZASU		
Percepcja czasu w domenie milisekundowej		
<i>Zadanie Oceny Kolejności Bodźców</i>	Próg Postrzegania Kolejności (PPK): warunek <i>rozdzielności</i> warunek <i>obuuszny</i>	Na podstawie wyników z <i>Zadania Oceny Kolejności Bodźców</i> dokonano podziału uczestników na 3 grupy (zob. 4. <i>Wyniki</i>). Do dalszych analiz włączono 2 skrajne grupy o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej.
Percepcja czasu w domenie sekundowej		
<i>Zadanie Subiektywnej Akcentuacji</i>	Okno Czasowej Integracji (OCI): 1 Hz 1,5 Hz 2 Hz 2,5 HZ 3 Hz 3,5 Hz 4 Hz 4,5 Hz 5 Hz Średnia wartość OCI dla wszystkich powyższych częstotliwości	Test U Manna-Whitney'a Test U Manna-Whitney'a Test U Manna-Whitney'a Test U Manna-Whitney'a Test U Manna-Whitney'a Test U Manna-Whitney'a Test U Manna-Whitney'a Test U Manna-Whitney'a Test U Manna-Whitney'a Test t-studenta dla prób niezależnych

BADANIE FUNKCJI POZNAWCZYCH

Planowanie*Test Wieży Londyńskiej*

Zdolność planowania

Test t-studenta dla prób niezależnych

Liczba poprawnych rozwiązań

Test U Manna-Whitney'a

Liczba błędów

Test U Manna-Whitney'a

Czas planowania

Test t-studenta dla prób niezależnych

Czas wykonania

Test U Manna-Whitney'a

Pamięć Robocza*Zadanie N-Wstecz*D-prime (d')

Analiza wariancji w schemacie mieszanym

Warunek 2-wstecz

Warunek 3-wstecz

Czas poprawnych naciśnień

Analiza wariancji w schemacie mieszanym

Warunek 2-wstecz

Warunek 3-wstecz

Uwaga*Test Elastyczności Uwagi*

Liczba poprawnych naciśnień

Test U Manna-Whitney'a

Liczba błędów

Test U Manna-Whitney'a

Czas poprawnych naciśnień

Test U Manna-Whitney'a

Test Podzielności Uwagi

Liczba poprawnych naciśnień

Test U Manna-Whitney'a

Liczba błędów

Test U Manna-Whitney'a

Czas poprawnych naciśnień

Test U Manna-Whitney'a

3.2.2. Metoda neuroobrazowa

Badania zostały przeprowadzone w skanerze rezonansu magnetycznego w Pracowni Obrazowania Mózgu Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN w Warszawie.

3.2.2.1. Badanie percepcji czasu

Neuronalne korelaty percepcji czasu

W celu określenia neuronalnych korelatów percepcji czasu osoby badane wykonały *Zadanie Różnicowania Długości Bodźców* w skanerze rezonansu magnetycznego. Do udziału w badaniu zaproszono 2 grupy osób charakteryzujące się skrajnym poziomem wykonania *Zadania Oceny Kolejności Bodźców* (zob. 4. Wyniki), tj. wysoką oraz niską efektywnością percepcji czasu w domenie *milisekundowej*.

Przed rozpoczęciem badania w skanerze rezonansu magnetycznego badani uzupełniali ankietę bezpieczeństwa. Następnie każdej z osób zaprezentowano krótki film przedstawiający badanie w skanerze w celu zapoznania uczestników z jego przebiegiem, a w konsekwencji zminimalizowania ewentualnego stresu. Kolejno uczestników zapoznano z instrukcją zadania oraz przeprowadzono trening. Osobom noszącym okulary dobrano odpowiednie okulary przystosowane do badań w rezonansie magnetycznym.

Badanie rozpoczynało się od skanowania lokalizacyjnego, a następnie strukturalnego w celu pozyskania obrazów T1-zależnych. Po skanowaniu strukturalnym eksperymentator weryfikował samopoczucie osoby badanej i informował o przejściu do zadania.

Zadanie Różnicowania Długości Bodźców

Zadanie Różnicowania Długości Bodźców składało się z trzech warunków: *trudnego*, *średniego* i *łatwego*. W każdym z warunków prezentowano 4 pary bodźców. Dźwięki w parze miały różne długości (jeden dźwięk był *dłuższy*, drugi *krótszy*) oraz częstotliwości (jeden dźwięk miał częstotliwość 800 Hz, drugi 1200 Hz; tabela 5).

Tabela 5

Bodźce w trzech warunkach Zadania Różnicowania Długości Bodźców

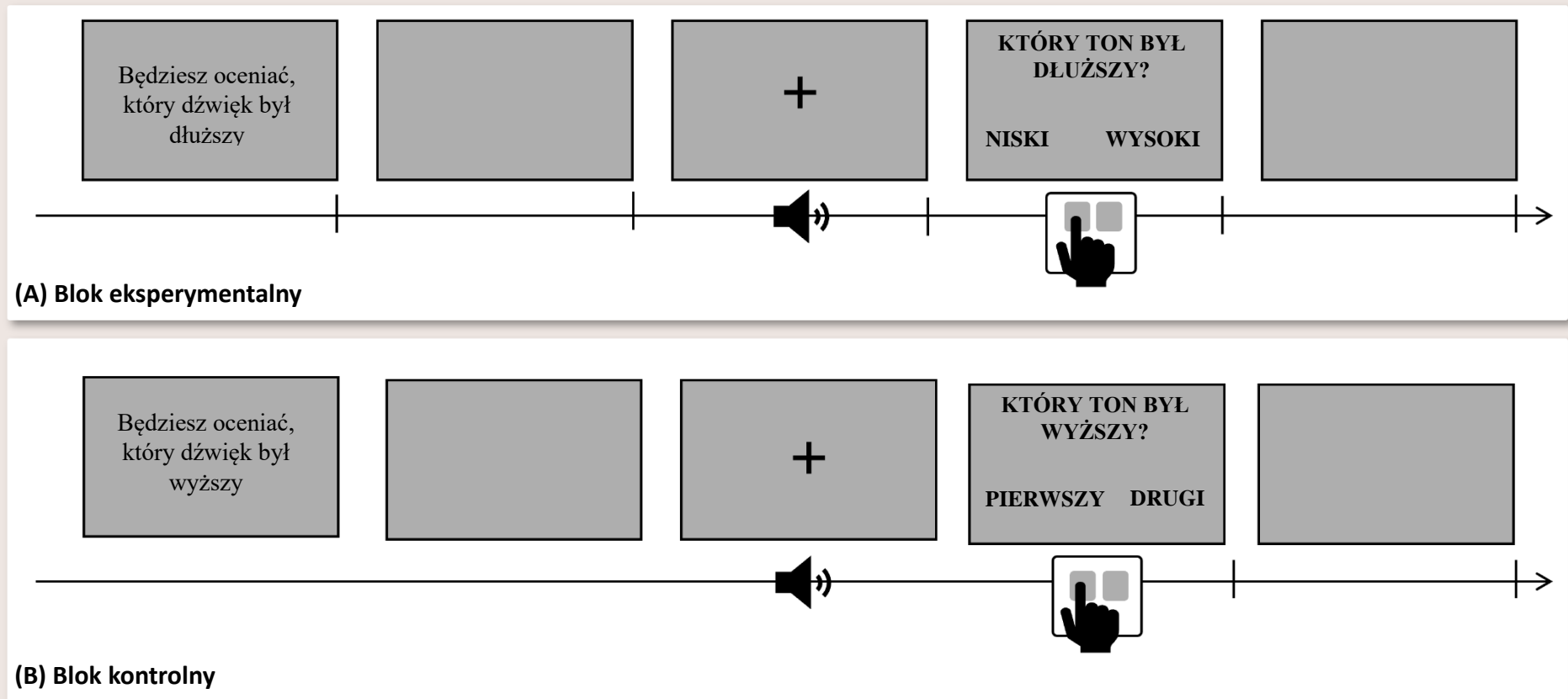
Warunek	Dźwięk krótszy (800 lub 1200 Hz)	Dźwięk dłuższy (800 lub 1200 Hz)
Trudny	100 ms	150 ms
Średni	600 ms	720 ms
Łatwy	1350 ms	1620 ms

Adnotacja: przerwa między dźwiękami w parach był stała i wynosiła 600 ms.

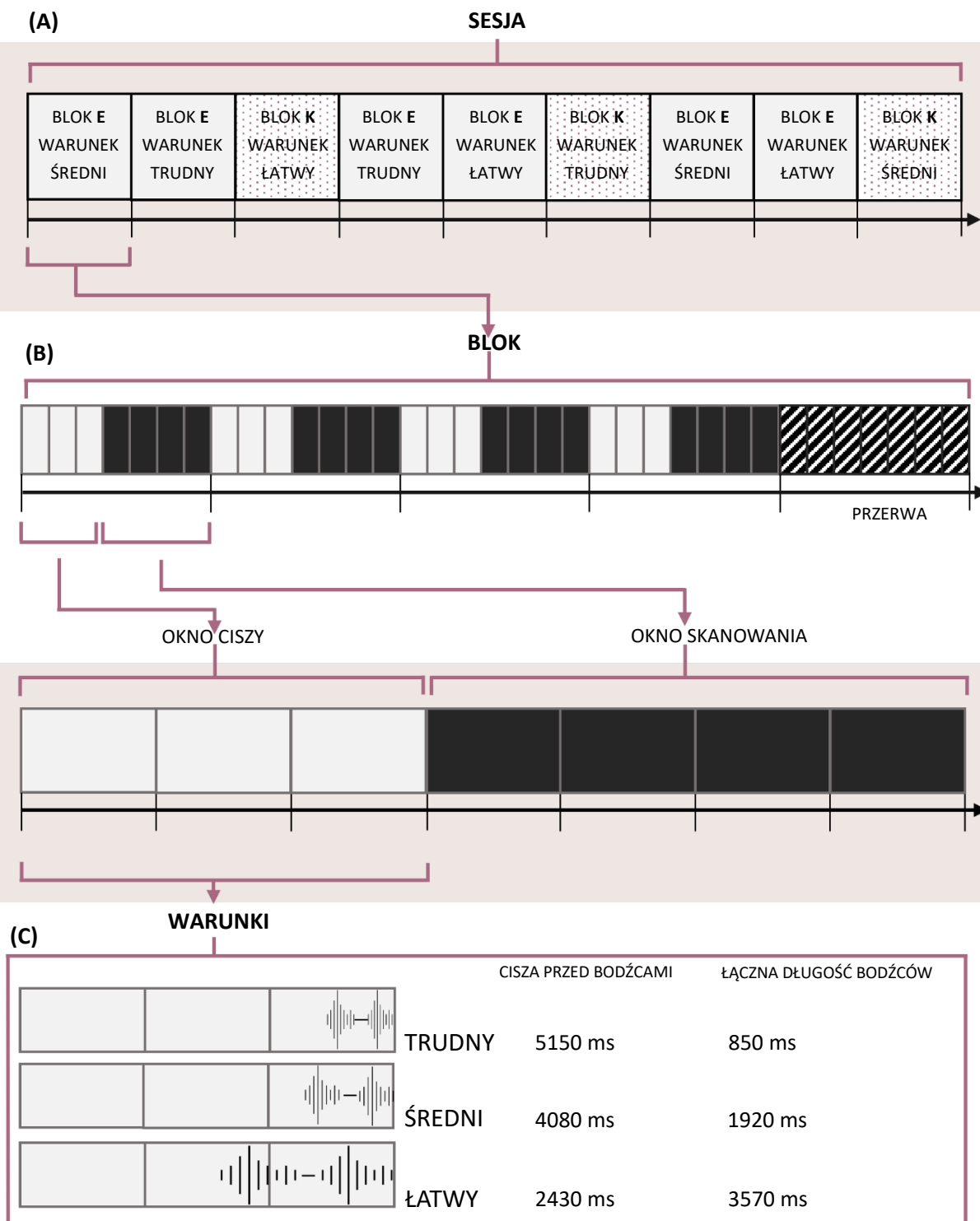
Zadanie składało się z bloku *eksperymentalnego* i *kontrolnego* (rycina 14). W bloku *eksperymentalnym* zadaniem osoby badanej było określenie, który z dźwięków z pary był *dłuższy*, poprzez udzielenie jednej z możliwych odpowiedzi: *niski* lub *wysoki* (rycina 14A). W bloku *kontrolnym* zadaniem osoby badanej było określenie, który z dźwięków z pary był *wyższy*, poprzez udzielenie jednej z możliwych odpowiedzi: *pierwszy* lub *drugi* (rycina 14B).

Zadanie przeprowadzono w 4 sesjach (rycina 15). Każda z sesji składała się z 6 bloków eksperymentalnych oraz 3 kontrolnych o 3 poziomach trudności (tabela 5; rycina 15A; C). W celu zminimalizowania wpływu szumu powstającego podczas pracy skanera, a w szczególności podczas akwizycji danych na jakość prezentacji bodźców dźwiękowych,

zastosowano technikę *Interleaved Silent Steady State (ISSS)*. Oznacza to, że każdy z bloków składał się z na przemian występujących okresów względnej ciszy (*okno ciszy*), w której prezentowano bodźce dźwiękowe oraz okresów akwizycji danych związanych z podniesionym poziomem głośności (*okno skanowania*; rycina 15B).



Rycina 14. Schemat Zadania Różnicowania Długości Bodźców. **(A)** zadanie w bloku *eksperymentalnym* i **(B)** zadanie w bloku *kontrolnym*. Każdy z bloków rozpoczynał się od planszy z informacją jakie będzie zadanie i jakim aspektem podlegała będzie ocena bodźców. Następnie po prezentacji pary dźwięków, wyświetlano plansze z pytaniem oraz dwoma możliwymi odpowiedziami. Osoba udzielała odpowiedzi poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku. Na udzielenie odpowiedzi uczestnicy mieli 2,5 sekundy.



Rycina 15. Schemat badania w skanerze rezonansu magnetycznego. **(A)** Przeprowadzono 4 sesje, na które składało się 9 bloków (6 *eksperymentalnych* oraz 3 *kontrolne*); **(B)** W każdym z bloków zaprezentowano 4 pary dźwięków w losowej kolejności. Czas trwania okna ciszy oraz okna skanowania był stały i wynosił odpowiednio 6 i 8 sekund; **(C)** W zależności od warunku łączna długość bodźców różniła się (tabela 5). *Adnotacja:* BLOK E – blok *eksperymentalny*; BLOK K – blok *kontrolny*.

3.2.2.2. Akwizycja danych neuroobrazowych

Badanie neuroobrazowe odbywało się w skanerze Siemens Magnetom Tim Trio o indukcji pola magnetycznego 3T z wykorzystaniem 12-kanalowej cewki nadawczo-odbiorczej. Każda z osób badanych uczestniczyła w skanowaniu lokalizacyjnym, strukturalnym oraz funkcjonalnym. Skanowanie anatomiczne przeprowadzono na początku sesji za pomocą sekwencji MPRAGE w celu pozyskania obrazów T1-zależnych o następujących parametrach: TR = 2530 ms; TE = 3,32 ms; woksele o wymiarach: 1 x 1 x 1 mm; FoV = 256 x 256 mm; FA = 7°; liczba przekrojów = 176. Skanowanie funkcjonalne przeprowadzono za pomocą sekwencji obrazowania echa planarnego (echoplanar imaging - EPI) o parametrach: TR = 2000 ms; TE = 30 ms; woksele o wymiarach: 3 x 3 x 3 mm; FoV = 216 mm; rozmiar macierzy = 72 x 72 punktów; FA = 90°; liczba przekrojów = 36. Liczba przekrojów pozwoliła na zarejestrowanie aktywności mózgu z częściowym wyłączeniem okolic mózdzku, a w niektórych przypadkach również z ograniczeniem możliwości skanowania okolic czołowo-ciemieniowych, co skutkowało wyłączeniem z analiz 6 osób (zob. 4. Wyniki).

3.2.2.3. Analiza danych neuroobrazowych

W celu wyznaczenia neuronalnych korelatów percepcji czasu, przeprowadzono 2 rodzaje analiz dotyczące określenia aktywacji:

- 1) **struktur kluczowych** w percepcji czasu, tj. łącznie dla obu grup osób o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* dla wszystkich warunków łącznie i każdego z warunków osobno (*trudny, średni, łatwy*);
- 2) **obszarów dodatkowych** w percepcji czasu, tj. porównując grupy osób o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* dla wszystkich warunków łącznie i każdego z warunków osobno (*trudny, średni, łatwy*);

Analiza danych neuroobrazowych została przeprowadzona z użyciem oprogramowania SPM 12 działającego w środowisku MATLAB 2022b. Wizualizacji danych dokonano za pomocą programu BrainNet Viewer (Xia i in., 2013).

Wstępne przetworzenie danych neuroobrazowych (ang. *pre-processing*).

Dane neuroobrazowe w pierwszej kolejności poddano wstępnemu przetworzeniu w celu przygotowania ich do dalszych kroków analizy. Proces ten obejmował: (1) korekcję ruchów głowy badanego (ang. *realignment*); (2) korejstrację, czyli dopasowanie obrazu anatomicznego do średniego obrazu z sekwencji skanowania funkcjonalnego (ang. *coregistration*); (3) segmentację obrazu anatomicznego na różne rodzaje tkanek (ang. *segmentation*); (4) normalizację do standardowej przestrzeni MNI (ang. *normalization*); (5) wygładzenie przestrzenne o wartości 8 mm FWHM (ang. *Full-Width Half-Maximum; smoothing*). Ze względu na problemy techniczne u 4 osób do obliczeń włączono tylko 3 sesje.

Model pierwszego poziomu (ang. *first level model*).

Za pomocą ogólnego modelu liniowego (ang. *general linear model*) zamodelowano odpowiedź hemodynamiczną dla pojedynczych osób poprzez splecenie kanonicznej funkcji odpowiedzi hemodynamicznej (ang. *hemodynamic response function*) z charakterystyką przebiegu eksperymentu. Do modelu pierwszego poziomu włączono: (1) regresory bloków *eksperymentalnych* i *kontrolnych*, osobno dla każdego z warunków (*trudny, średni, łatwy*) oraz (2) 6 regresorów ruchów głowy. Dodatkowo odnosząc się do danych literaturowych dotyczących techniki ISSS (Pellee, 2014; Schwarzbauer i in., 2006), w modelu pierwszego poziomu, *okna ciszy* zostały sztucznie uzupełnione o skany (w tym

przypadku użyto średniego skanu; tzw. *dummy scan*). W konsekwencji włączono również (3) dodatkowy regresor określający, które skany stanowią te fikcyjne (sztucznie dodane). Następnie stworzono kontrasty, które zastosowano w późniejszych analizach w celu określenia neuronalnego zaangażowania w zadanie z bloku *eksperymentalnego* w stosunku do *kontrolnego*: (1) dla wszystkich warunków łącznie; (2) osobno dla każdego z warunków (*trudny, średni, łatwy*; tabela 6).

Tabela 6

Kontrasty stworzone w modelu pierwszego poziomu w celu określenia neuronalnego zaangażowania w zadania z bloku eksperymentalnego w stosunku do kontrolnego

Efekty	Kontrasty stworzone w modelu pierwszego poziomu
Efekt zadania percepcji czasu	blok <i>eksperymentalny</i> > blok <i>kontrolny</i>
Efekt warunku trudnego	blok <i>eksperymentalny</i> warunek <i>trudny</i> > blok <i>kontrolny</i> warunek <i>trudny</i>
Efekt warunku średniego	blok <i>eksperymentalny</i> warunek <i>średni</i> > blok <i>kontrolny</i> warunek <i>średni</i>
Efekt warunku łatwego	blok <i>eksperymentalny</i> warunek <i>łatwy</i> > blok <i>kontrolny</i> warunek <i>łatwy</i>

Model drugiego poziomu (ang. *group analysis model*).

W celu identyfikacji obszarów aktywności neuronalnej podczas percepcji czasu na trzech poziomach trudności (*trudny, średni, łatwy*) wykonano szereg t-testów z użyciem kontrastów stworzonych w modelu pierwszym. Zastosowano również maskę istoty szarej z prawdopodobieństwem 0.20. Schemat wykonanych analiz przedstawiono w tabeli 7.

Aktywności przedstawiono przy zachowanym progu istotności na poziomie wokseli $p < 0,001$ (nieskorygowany) w połączeniu z progiem istotności na poziomie klastrów $p < 0,05$ z poprawką FWE oraz liczbą wokseli przekraczającą próg ustalony na podstawie wartości FWEc. Do identyfikacji obszarów anatomicznych użyto atlasu *Automated Anatomical Labeling* (AAL3; Rolls i in., 2020).

Tabela 7

Przeprowadzone analizy statystyczne w modelu drugiego poziomu (część 2 – metoda neuroobrazowa)

EFEKTY	ANALIZY STATYSTYCZNE
BADANIE PERCEPCJI CZASU	
Zadanie Różnicowania Długości Bodźców	
<i>Struktury mózgowie kluczowe w percepcji czasu – aktywacje łącznie dla obu grup osób, tj. o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej</i>	
Efekt zadania percepcji czasu	t-test dla jednej próby
Efekt warunku trudnego	t-test dla jednej próby
Efekt warunku średniego	t-test dla jednej próby
Efekt warunku łatwego	t-test dla jednej próby
<i>Obszary dodatkowe w percepcji czasu – aktywacje dla porównań grup osób, tj. o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej</i>	
Efekt zadania percepcji czasu	t-test dla dwóch prób
Efekt warunku trudnego	t-test dla dwóch prób
Efekt warunku średniego	t-test dla dwóch prób
Efekt warunku łatwego	t-test dla dwóch prób

EFEKTY

Neuronalne korelaty percepcji czasu

*Zadanie Różnicowania Długości Bodźców***Struktury kluczowe w percepcji czasu**

- aktywacje łącznie dla obu grup osób

Obszary dodatkowe w percepcji czasu

- aktywacje dla porównań grup osób

Efekt zadania percepcji czasu

(blok *eksperymentalny* > blok *kontrolny*)

Efekt warunku trudnego

(blok *eksperymentalny* warunek trudny > blok *kontrolny* warunek trudny)

Efekt warunku średniego

(blok *eksperymentalny* warunek średni > blok *kontrolny* warunek średni)

Efekt warunku łatwego

(blok *eksperymentalny* warunek łatwy > blok *kontrolny* warunek łatwy)

Efekt zadania percepcji czasu

(blok *eksperymentalny* > blok *kontrolny*)

Efekt warunku trudnego

(blok *eksperymentalny* warunek trudny > blok *kontrolny* warunek trudny)

Efekt warunku średniego

(blok *eksperymentalny* warunek średni > blok *kontrolny* warunek średni)

Efekt warunku łatwego

(blok *eksperymentalny* warunek łatwy > blok *kontrolny* warunek łatwy)

4. WYNIKI

4.1. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością w domenie sekundowej

Efektywność percepcji czasu w domenie milisekundowej

Zadanie Oceny Kolejności Bodźców

Próg Postrzegania Kolejności (PPK)

W celu wyodrębnienia reprezentatywnych grup uczestników charakteryzujących się wysoką oraz niską efektywnością percepcji czasu w domenie *milisekundowej*, zdecydowano się na zastosowanie dwóch warunków *Zadania Oceny Kolejności Bodźców*: *rozdzielności* oraz *obuuszności*. Takie podejście ma swoje uzasadnienie teoretyczne, a mianowicie zastosowanie tych dwóch warunków zadania, pozwala na zminimalizowanie wpływu strategii poznawczych, które stosują osoby badane, na rzecz zwiększenia rzetelności pomiaru procesów związanych wyłącznie z percepcją czasu (zob. 3.2. *Procedura*). Zbadanie 109 osób pozwoliło na wyselekcjonowanie 3 grup uczestników charakteryzujących się różnym wzorcem wykonania zadania. Selekcji dokonano z zastosowaniem wartości median pochodzących z tego zadania: $Me = 38$ ms w warunku *rozdzielności* oraz $Me = 62$ ms w warunku *obuuszności*. Na tej podstawie wyodrębniono następujące grupy:

1) **WEpc** – grupa osób charakteryzująca się *Wysoką Efektywnością percepcji czasu* w domenie *milisekundowej*. Do grupy WEpc zostały włączone osoby, które w *Zadaniu Oceny Kolejności Bodźców* w dwóch warunkach osiągnęły wyniki niższe lub równe medianom;

2) **MEpc** – grupa osób charakteryzująca się *Mieszaną Efektywnością percepcji czasu* w domenie *milisekundowej*. Do grupy MEpc zakwalifikowane zostały osoby, które

w *Zadaniu Oceny Kolejności Bodźców* osiągnęły wyniki poniżej mediany w jednym warunku, ale powyżej w drugim (*rozdzielności* lub *obuuszny*). Grupa MEpc została wykluczona z dalszych analiz. U podstaw tej decyzji stoją założenia teoretyczne, które wskazują, iż te osoby mogły stosować strategie poznawcze, pomagające im wykonać to zadanie efektywniej w jednym z warunków. Zatem, wyłącznie spójne wykonanie obu warunków świadczy o określonej efektywności percepcji czasu (tabela 8; rycina 16).

3) NEpc – grupa osób charakteryzująca się *Niską Efektywnością percepcji czasu* w domenie *milisekundowej*. Do grupy NEpc zostały włączone osoby, które w *Zadaniu Oceny Kolejności Bodźców* w dwóch warunkach osiągnęły wyniki wyższe lub równe medianom.

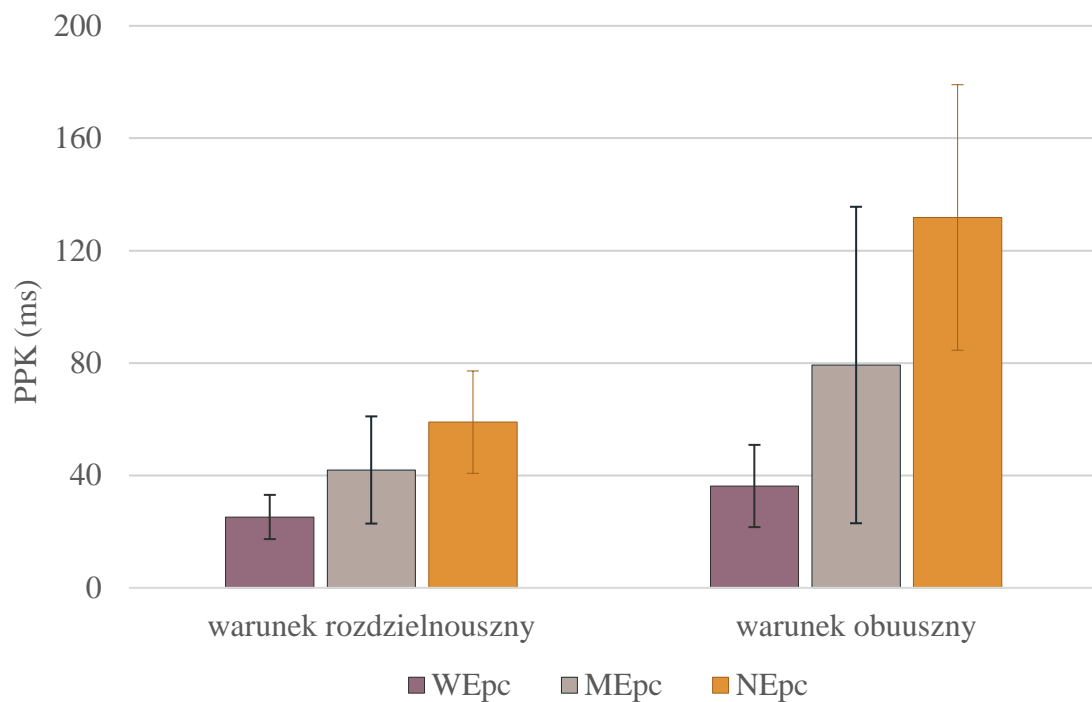
Tabela 8

Charakterystyka grup wyodrębnionych na podstawie Zadania Oceny Kolejności Bodźców

Grupa	N	Wiek M ± SD	Płeć (K/M)	Próg Postrzegania Kolejności (ms)	
				M ± SD ¹	
				Warunek <i>rozdzielności</i>	Warunek <i>obuuszny</i>
WEpc	37		13/24	25 ± 8	36 ± 15
MEpc	34	23 ± 2	24/10	42 ± 19	79 ± 56
NEpc	38		23/15	59 ± 18	132 ± 47

Adnotacja: M – średnia; SD – odchylenie standardowe. Do dalszych analiz włączono tylko grupy charakteryzujące się wysoką oraz niską efektywnością percepcji czasu w domenie milisekundowej (odpowiednio WEpc oraz NEpc).

¹ W niniejszym rozdziale zdecydowano się na podawanie zapisu średniej wraz z odchyleniem standardowym w formie M ± SD. Miary te (M ± SD) zostały również zaprezentowane na zamieszczonych wykresach.



Rycina 16. Średni PPK w Zadaniu Oceny Kolejności Bodźców w dwóch warunkach: rozdzielności i obuśnym dla grup: WEpc, MEpc i NEpc. Adnotacja: PPK – Próg Postrzegania Kolejności.

Zadanie Oceny Kolejności Bodźców

Próg Postrzegania Kolejności (PPK)

- Warunek *rozdzielności*
- Warunek *obuuszny*

Na podstawie wykonania *Zadania Oceny Kolejności Bodźców*, wyodrębniono 3 grupy osób

charakteryzujące się:

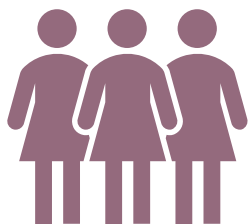
Niską Efektywnością percepcji czasu (NEpc);

Mieszaną Efektywnością percepcji czasu (MEpc);

Wysoką Efektywnością percepcji czasu (WEpc)

w domenie milisekundowej.

Do dalszych analiz włączono tylko **2 grupy osób** charakteryzujące się skrajnym wzorcem wykonania zadania:

**WEpc**

Grupa charakteryzująca się
Wysoką Efektywnością percepcji czasu
w domenie milisekundowej

**NEpc**

Grupa charakteryzująca się
Niską Efektywnością percepcji czasu
w domenie milisekundowej

Efektywność percepcji czasu w domenie sekundowej

Zadanie Subiektywnej Akcentuacji

Okno Czasowej Integracji (OCI)

Analiza parametrycznym testem *t-studenta dla prób niezależnych* wykazała istotną statystycznie różnicę między grupami WEpc i NEpc w OCI uśrednionej dla wszystkich częstotliwości, $t(72) = 1,912$, $p = 0,03$; $d = 0,445$. Oznacza to, że grupa WEpc osiągnęła dłuższy czas integracji (1766 ± 592 ms) niż grupa NEpc (1503 ± 589 ms).

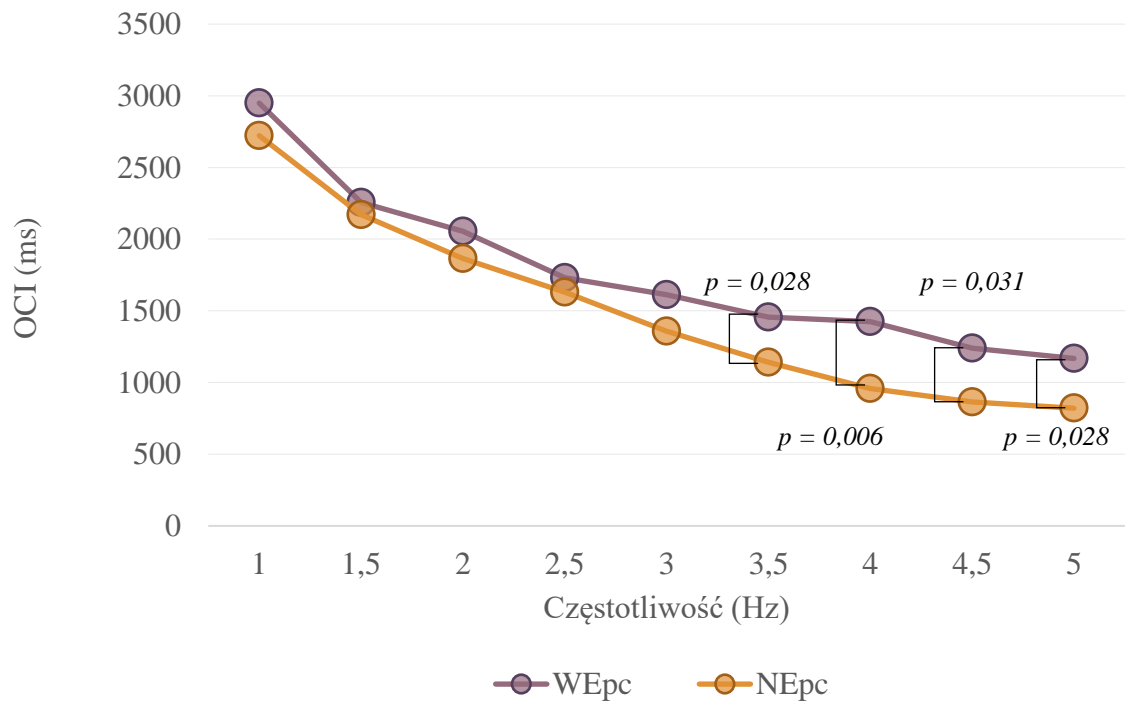
Następnie przeprowadzono szereg analiz nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a*, osobno dla poszczególnych częstotliwości (1 Hz, 1,5 Hz, 2 Hz, 2,5 Hz, 3 Hz, 3,5 Hz, 4 Hz, 5 Hz; rycina 17; tabela 9). Analizy wykazały, że grupy WEpc i NEpc nie różniły się czasem integracji dla częstotliwości: 1 Hz, 1,5 Hz, 2 Hz, 2,5 Hz i 3 Hz. Istotne statystycznie różnice między grupami zaobserwowano natomiast dla częstotliwości: 3,5 Hz, 4 Hz, 4,5 Hz i 5 Hz (rycina 17; tabela 9).

Tabela 9

Wyniki Zadania Subiektywnej Akcentuacji – porównania międzygrupowe

Częstotliwość (Hz)	Statystyka	Wartość OCI (ms)	
		M ± SD	
		WEpc	NEpc
1	$U = 567, z = -1,272, p = 0,203,$ $r = 0,148$	2949 ± 1037	2722 ± 1236
1,5	$U = 673, z = -0,124, p = 0,901,$ $r = 0,014$	2256 ± 874	2171 ± 873
2	$U = 631,5, z = -0,573, p = 0,566,$ $r = 0,067$	2054 ± 875	1864 ± 663
2,5	$U = 606, z = -0,849, p = 0,396,$ $r = 0,099$	1731 ± 665	1631 ± 728
3	$U = 551, z = -1,444, p = 0,149,$ $r = 0,168$	1613 ± 723	1358 ± 588
3,5	$U = 481,5, z = -2,195, p = 0,028,$ $r = 0,255$	1457 ± 693	1141 ± 609
4	$U = 430,5, z = -2,747, p = 0,006,$ $r = 0,319$	1426 ± 710	958 ± 645
4,5	$U = 484,5, z = -2,163, p = 0,031,$ $r = 0,251$	1240 ± 697	864 ± 607
5	$U = 481,5, z = -2,196, p = 0,028,$ $r = 0,255$	1168 ± 641	821 ± 567

Adnotacja: szarym kolorem oznaczono istotne statystycznie różnice międzygrupowe.



Rycina 17. Zadanie Subiektywnej Akcentuacji – średnia wartość OCI dla każdej z 9 częstotliwości dla grup WEpc i NEpc. Adnotacja: OCI – Okno Czasowej Integracji.

Okno Czasowej Integracji (OCI)

- częstotliwość 1 Hz
- częstotliwość 1,5 Hz
- częstotliwość 2 Hz
- częstotliwość 2,5 Hz
- częstotliwość 3 Hz
- częstotliwość 3,5 Hz
- częstotliwość 4 Hz
- częstotliwość 4,5 Hz
- częstotliwość 5 Hz
- średnia wartość OCI dla wszystkich powyższych częstotliwości

Brak istotnych różnic międzygrupowych.

Grupa WEpc osiągnęła wyższy limit integracji w porównaniu do grupy NEpc.

4.2. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością funkcjonowania poznawczego

Planowanie

Test Wieży Londyńskiej

Zdolność planowania

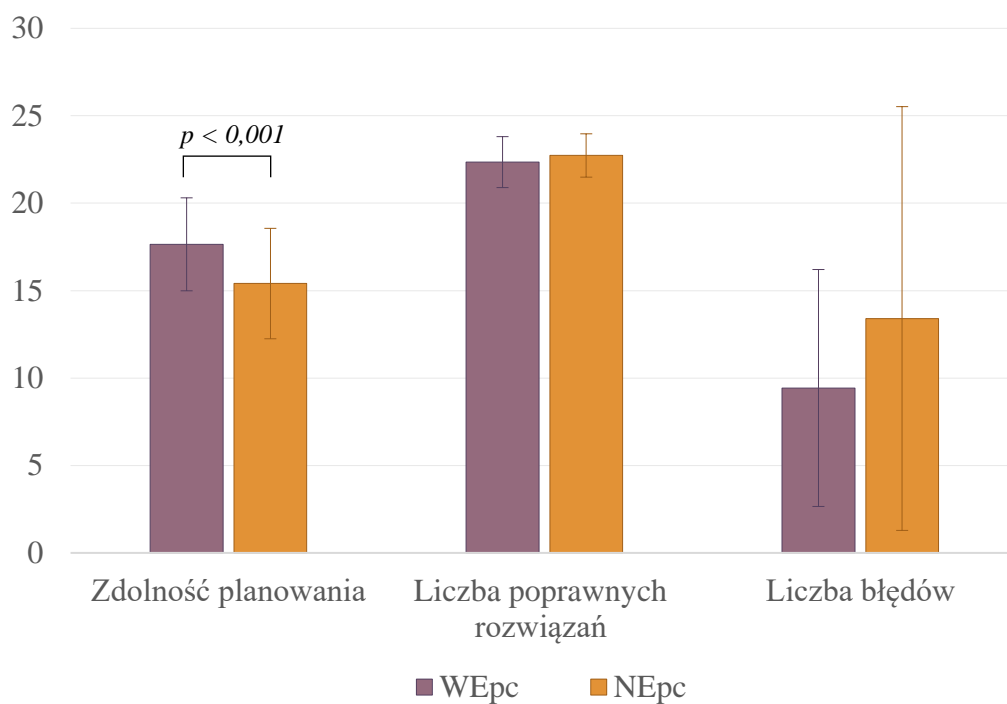
Analiza parametrycznym testem *t-studenta dla prób niezależnych* wykazała istotną statystycznie różnicę między grupami WEpc i NEpc w zdolności planowania, $t(72) = 3,306$, $p < 0,001$, $d = 0,769$. Oznacza to, że średnia liczba prób wykonanych poprawnie w minimalnej liczbie ruchów w grupie WEpc była wyższa (18 ± 3) niż w grupie NEpc (15 ± 3 ; rycina 18).

Liczba poprawnych rozwiązań

Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* nie wykazała istotnej statystycznie różnicy między grupami WEpc i NEpc w liczbie poprawnych rozwiązań, $U = 588$, $z = -1,077$, $p = 0,281$, $r = 0,125$, tj. średnia liczba prób wykonanych poprawnie zarówno przy zachowaniu i przekroczeniu minimalnej liczby ruchów wynosiła 22 ± 1 w grupie WEpc oraz 23 ± 1 w grupie NEpc (rycina 18).

Liczba błędów

Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* nie wykazała istotnej statystycznie różnicy między grupami WEpc i NEpc w liczbie błędów, $U = 564$, $z = -1,306$, $p = 0,192$, $r = 0,152$, tj. średnia łączna liczba błędów wynosiła 9 ± 7 w grupie WEpc oraz 13 ± 12 w grupie NEpc (rycina 18).



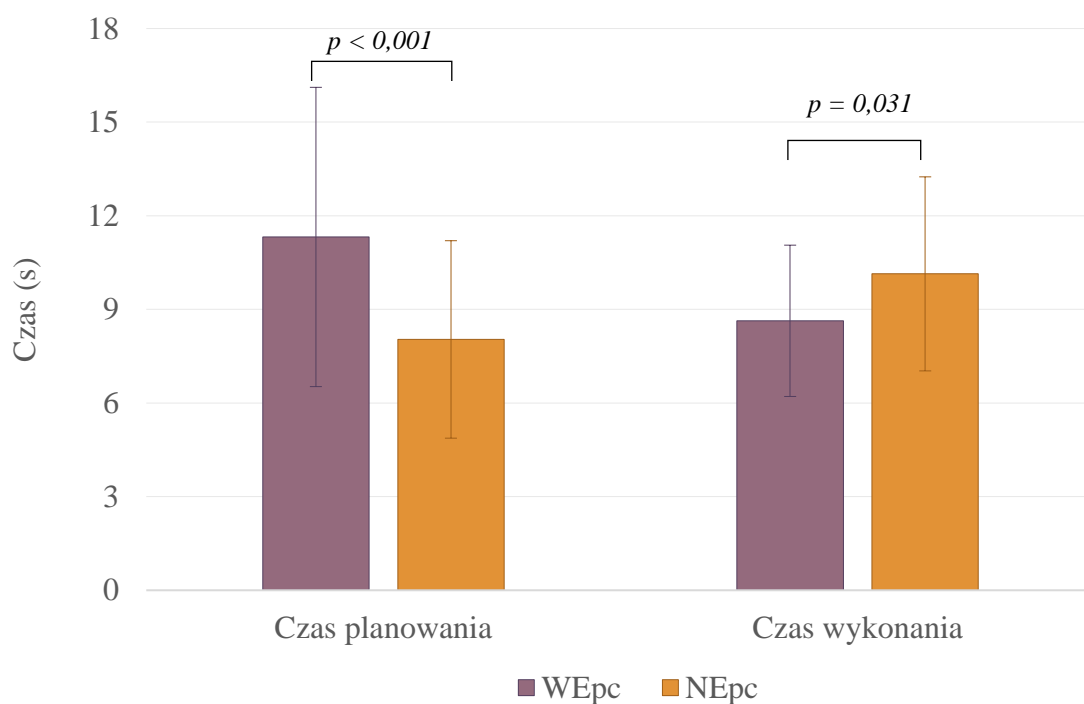
Rycina 18. Test Wieży Londyńskiej – zdolność planowania, liczba poprawnych rozwiązań i liczba błędów dla grup WEpc i NEpc.

Czas planowania

Analiza parametrycznym testem *t-studenta dla prób niezależnych* wykazała istotną statystycznie różnicę między grupami WEpc i NEpc w czasie planowania, $t(62,351) = 3,477$, $p < 0,001$; $d = 0,808$. Oznacza to, że średni czas ze wszystkich poprawnie wykonanych prób, od momentu wyświetlenia próby do pierwszego ruchu, był wyższy w grupie WEpc (11 ± 5 s) w porównaniu do grupy NEpc (8 ± 3 s; rycina 19).

Czas wykonania

Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* wykazała istotną statystycznie różnicę między grupami WEpc i NEpc w czasie wykonania, $U = 484,5$, $z = -2,162$, $p = 0,031$, $r = 0,251$. Oznacza to, że średni czas ze wszystkich poprawnie wykonanych prób, liczony od wykonania pierwszego ruchu do rozwiązania zadania, był niższy w grupie WEpc (9 ± 2) w porównaniu do grupy NEpc (10 ± 3 s; rycina 19).



Rycina 19. Test Wieży Londyńskiej – czas planowania i czas wykonania dla grup WEpc i NEpc.

Test Wieży Londenkiej

Zdolność planowania	Grupa WEpc osiągnęła wyższą liczbę prób wykonanych poprawnie w minimalnej liczbie ruchów niż grupa NEpc.
Liczba poprawnych rozwiązań	<i>Brak istotnej różnicy międzygrupowej.</i>
Liczba błędów	<i>Brak istotnej różnicy międzygrupowej.</i>
Czas planowania	Grupa WEpc osiągnęła dłuższy średni czas wszystkich poprawnie wykonanych prób liczony od wyświetlenia próby do wykonania pierwszego ruchu niż grupa NEpc.
Czas wykonania	Grupa WEpc osiągnęła krótszy średni czas wszystkich poprawnie wykonanych prób liczony od wykonania pierwszego ruchu do rozwiązania zadania niż grupa NEpc.

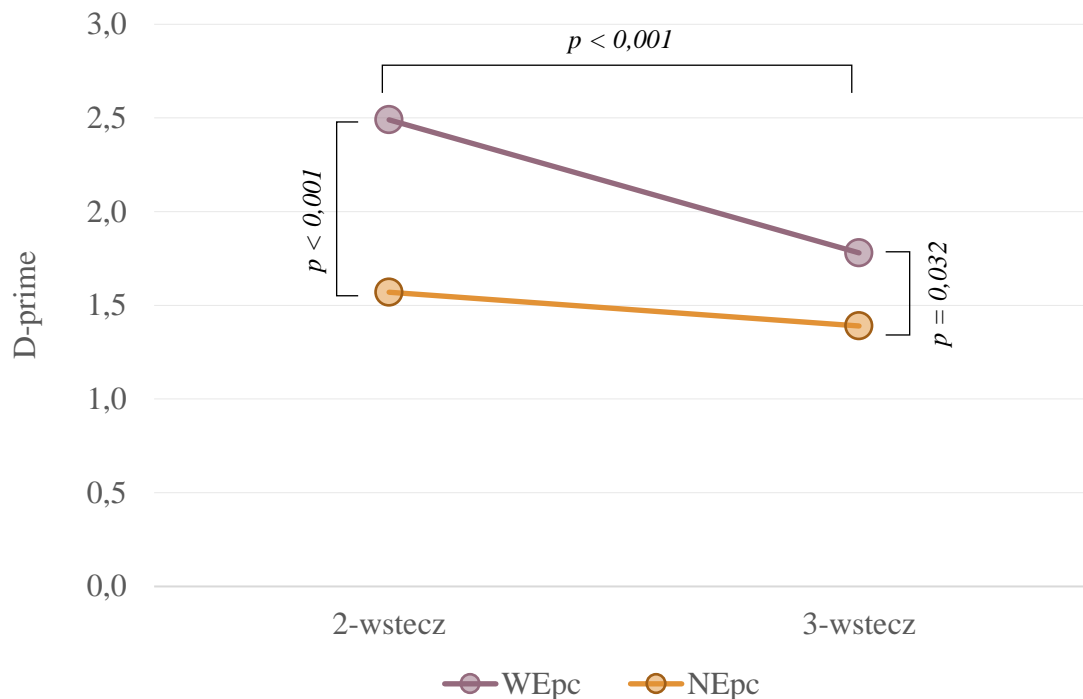
Pamięć robocza**Zadanie N-Wstecz****D-prime**

Przeprowadzono *analizę wariancji w schemacie mieszanym* z czynnikiem wewnątrzobiektywnym – *poziom trudności* zadania (odpowiadający warunkom: 2- i 3-wstecz) oraz czynnikiem międzyobiektywnym – *grupa* (WEpc i NEpc). Uzyskano istotny statystycznie efekt *grupy*: $F(1, 72) = 17,408$ $p < 0,001$; $\eta = 0,195$; i *poziomu trudności*: $F(1, 72) = 14,689$, $p < 0,001$; $\eta = 0,169$; oraz interakcji: *grupa x poziom trudności*: $F(1, 72) = 4,842$, $p = 0,031$; $\eta = 0,063$.

Grupa WEpc uzyskała wyższy wskaźnik d' ($2,14 \pm 1,04$), czyli osiągnęła większą liczbę poprawnych naciśnięć przy niewielkiej liczbie błędów, w stosunku do grupy NEpc

($1,48 \pm 0,69$). Wyższy wskaźnik d' odnotowano również w warunku *2-wstecz* ($2,03 \pm 1$) w stosunku do warunku *3-wstecz* ($1,58 \pm 0,8$) dla obu grup.

Analizy post-hoc przeprowadzone z poprawką Bonferroniego dla porównań wielokrotnych wykazały istotną statystycznie różnicę między grupami w warunku *2-wstecz* ($p < 0,001$). Grupa WEpc w warunku *2-wstecz* osiągnęła wyższy wskaźnik d' ($2,49 \pm 1,08$) w porównaniu do grupy NEpc ($1,57 \pm 0,68$). Uzyskano również istotną statystycznie różnicę między grupami w warunku *3-wstecz* ($p = 0,032$; WEpc: $1,78 \pm 0,88$; NEpc: $1,38 \pm 0,69$). Ponadto w grupie WEpc zanotowano istotną statystycznie różnicę pomiędzy warunkami *2-* i *3-wstecz* ($p < 0,001$), tj. wyższy poziom wskaźnika d' odnotowano w warunku *2-wstecz* w porównaniu do warunku *3-wstecz*. Natomiast w grupie NEpc nie uzyskano istotnej statystycznie różnicy pomiędzy warunkami ($p = 0,246$; rycina 20).



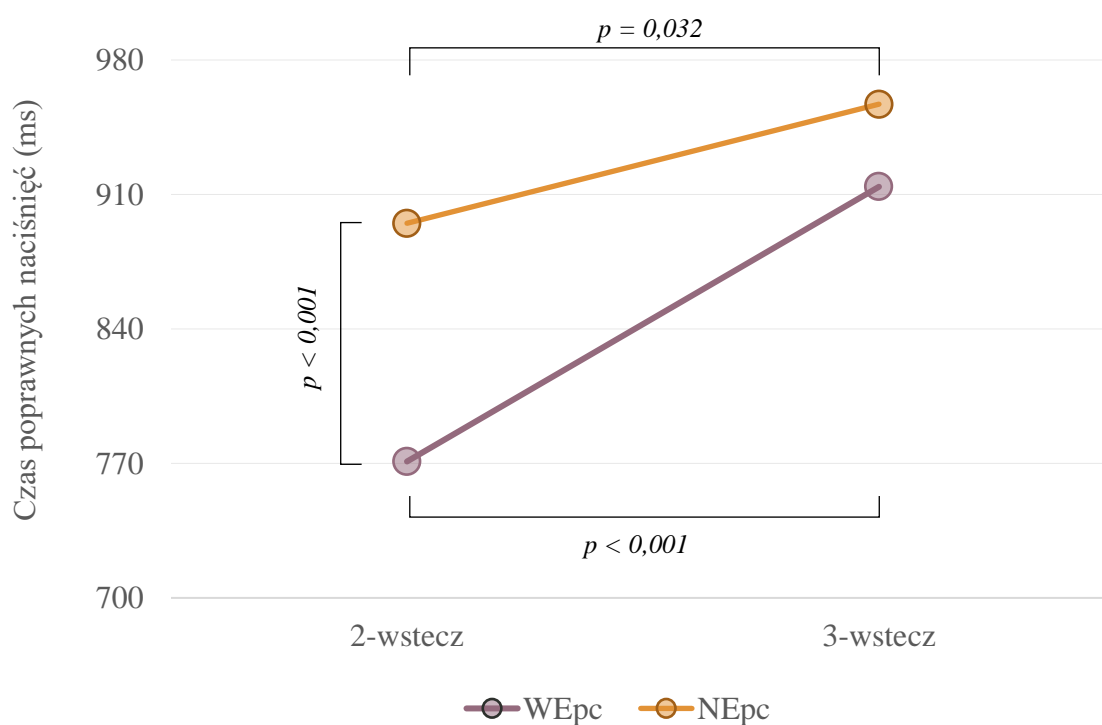
Rycina 20. Zadanie N-Wstecz – wartości wskaźnika d' dla grup WEpc i NEpc oraz warunków 2- i 3-wstecz.

Czas poprawnych naciśnień

Przeprowadzono *analizę wariancji w schemacie mieszanym* z czynnikiem wewnątrzobiektywnym – *poziom trudności zadania* (odpowiadający warunkom: 2- i 3-wstecz) oraz czynnikiem międzyobiektywnym – *grupa* (WEpc i NEpc). Uzyskano istotny statystycznie efekt *grupy*: $F(1,72) = 6,205$, $p = 0,015$, $\eta = 0,079$; i *poziomu trudności*: $F(1, 72) = 25,465$, $p < 0,001$, $\eta = 0,261$; oraz interakcji: *grupa x poziom trudności*: $F(1, 72) = 3,979$, $p = 0,05$, $\eta = 0,052$.

Grupa WEpc uzyskała krótszy średni czas detekcji bodźców kluczowych (842 ± 161 ms) w stosunku do grupy NEpc (926 ± 191 ms). Krótszy czas detekcji bodźców kluczowych odnotowano również w warunku 2-wstecz (833 ± 166 ms) w stosunku do warunku 3-wstecz (936 ± 182) dla obu grup.

Analizy post-hoc przeprowadzone z poprawką Bonferroniego dla porównań wielokrotnych wykazały istotną statystycznie różnicę w warunku 2-wstecz między grupami ($p < 0,001$). Grupa WEpc osiągnęła krótszy czas detekcji bodźców kluczowych (771 ± 147 ms) w porównaniu do grupy NEpc (895 ± 162 ms) w warunku 2-wstecz. Nie zaobserwowano istotnej statystycznie różnicy między grupami w warunku 3-wstecz ($p = 0,312$; WEpc: 914 ± 142 ms; NEpc: 957 ± 213 ms). Co więcej, w obu grupach zanotowano istotną różnicę pomiędzy warunkami 2- i 3-wstecz ($p < 0,001$ i $p = 0,032$, odpowiednio dla grupy WEpc i NEpc). Obie grupy osiągnęły krótszy czas detekcji bodźców kluczowych w warunku 2-wstecz w stosunku do warunku 3-wstecz (rycina 21).



Rycina 21. Zadanie N-Wstecz – średni czas detekcji bodźców kluczowych dla grup WEpc i NEpc oraz warunków 2- i 3-wstecz.

Zadanie N-Wstecz

<p>D-prime (d')</p> <ul style="list-style-type: none"> • Warunek 2-wstecz • Warunek 3-wstecz <p>Czas poprawnych naciśnień</p> <ul style="list-style-type: none"> • Warunek 2-wstecz • Warunek 3-wstecz 	<p>Grupa WEpc osiągnęła wyższy wskaźnik d', tj. większą liczbę poprawnych naciśnień w stosunku do niewielkiej liczby błędów w porównaniu do grupy NEpc.</p> <p>Grupa WEpc osiągnęła krótszy czas detekcji bodźców kluczowych niż grupa NEpc.</p> <p><i>Brak istotnej różnicy międzygrupowej.</i></p>
--	--

Uwaga**Elastyczność Uwagi**Liczba poprawnych naciśnień

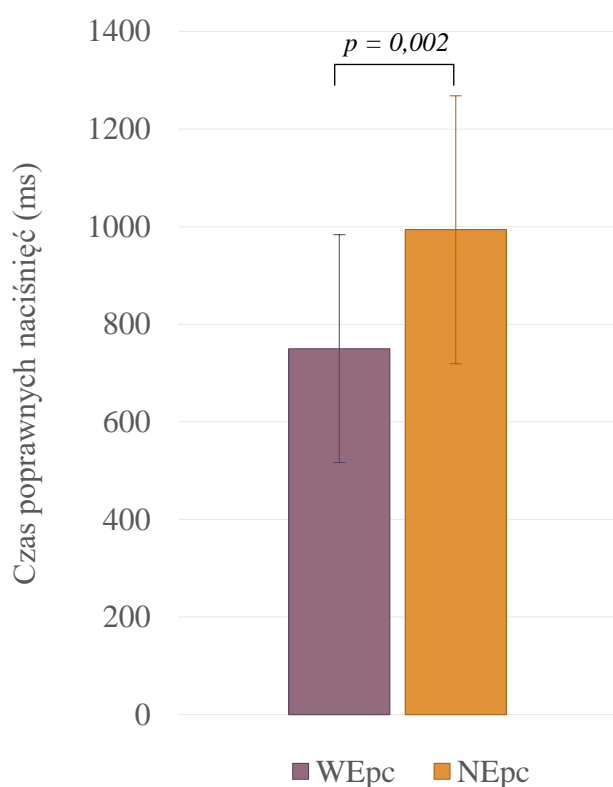
Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* nie wykazała istotnej statystycznie różnicy między grupami WEpc i NEpc w liczbie poprawnych naciśnień, $U = 246$, $z = -0,384$, $p = 0,701$, $r = 0,057$, tj. liczba prób z poprawnie określonym położeniem kształtu wynosiła 96 ± 7 w grupie WEpc oraz 96 ± 8 w grupie NEpc.

Liczba błędów

Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* nie wykazała istotnej statystycznie różnicy między grupami WEpc i NEpc w liczbie błędów, $U = 245$, $z = -0,408$, $p = 0,683$, $r = 0,06$, tj. liczba prób z błędnie określonym położeniem kształtu wynosiła 2 ± 3 w grupie WEpc oraz 2 ± 4 w grupie NEpc.

Czas poprawnych naciśnień

Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* wykazała istotną statystycznie różnicę między grupami WEpc i NEpc w czasie poprawnych naciśnień, $U = 122$, $z = -3,098$, $p = 0,002$, $r = 0,457$. Oznacza to, że średni czas reakcji w próbach z poprawnie określonym położeniem kształtu był krótszy w grupie WEpc (750 ± 233 ms) w porównaniu do grupy NEpc (994 ± 274 ms; rycina 22).



Rycina 22. Test Elastyczności Uwagi – średni czas naciśnień w próbach z poprawnie określonym położeniem kształtu dla grup WEpc i NEpc.

WYNIKI - podsumowanie

Funkcje poznawcze - Uwaga

Test Elastyczności Uwagi

Liczba poprawnych naciśnień	<i>Brak istotnej różnicy międzygrupowej.</i>
Liczba błędów	<i>Brak istotnej różnicy międzygrupowej.</i>
Czas poprawnych naciśnień	Grupa WEpc osiągnęła krótszy średni czas reakcji w próbach z poprawnie określonym położeniem kształtu niż grupa NEpc.

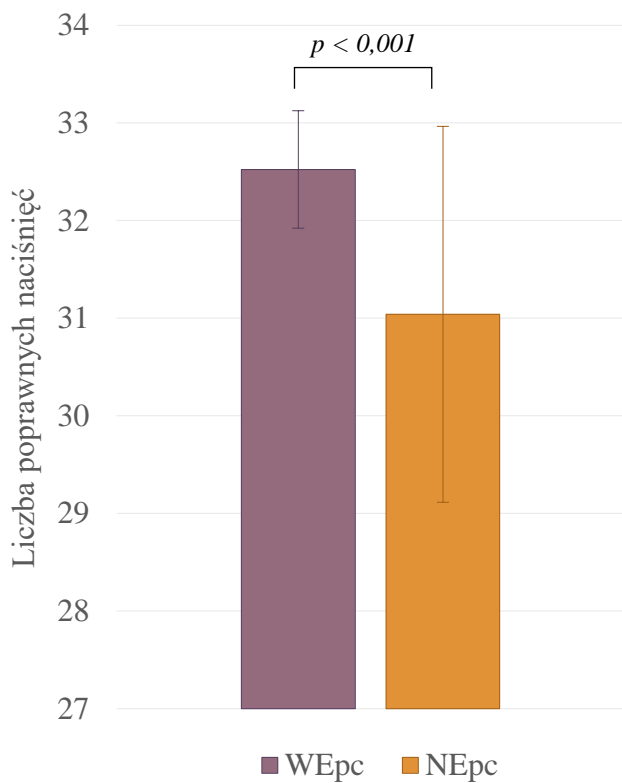
Podzielność Uwagi

Liczba poprawnych naciśnień

Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* wykazała istotną statystycznie różnicę między grupami WEpc i NEpc w liczbie poprawnych naciśnień, $U = 118$, $z = -3,351$, $p < 0,001$, $r = 0,494$. Oznacza to, że liczba detekcji odpowiednich bodźców była wyższa w grupie WEpc (33 ± 1) w porównaniu do grupy NEpc (31 ± 2 ; rycina 23).

Liczba błędów

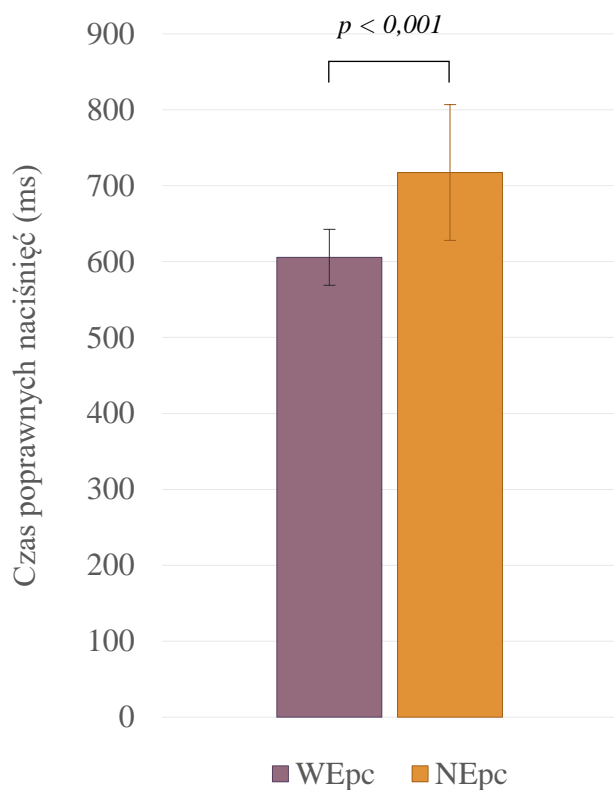
Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* nie wykazała istotnej statystycznie różnicy między grupami WEpc i NEpc w liczbie błędów, $U = 225,5$, $z = -0,889$, $p = 0,374$, $r = 0,131$, tj. liczba błędnych detekcji wynosiła 1 ± 1 w grupie WEpc oraz 1 ± 1 w grupie NEpc.



Rycina 23. Test Podzielności Uwagi – średnia liczba detekcji odpowiednich bodźców dla grup WEpc i NEpc.

Czas poprawnych naciśnień

Analiza nieparametrycznym testem *U Manna-Whitney'a* wykazała istotną statystycznie różnicę między grupami WEpc i NEpc w czasie poprawnych naciśnień, $U = 42,5$, $z = -4,855$, $p < 0,001$, $r = 0,716$. Oznacza to, że średni czas detekcji bodźców był krótszy w grupie WEpc (606 ± 37 ms) w porównaniu do grupy NEpc (717 ± 89 ms; rycina 24).



Rycina 24. Test Podzielności Uwagi – średni czas detekcji bodźców dla grup WEpc i NEpc.

WYNIKI - podsumowanie

Funkcje poznawcze - Uwaga

Test Podzielności Uwagi

Liczba poprawnych naciśnień

Grupa WEpc osiągnęła wyższą liczbę detekcji odpowiednich bodźców niż grupa NEpc.

Liczba błędów

Brak istotnej różnicy międzygrupowej.

Czas poprawnych naciśnień

Grupa WEpc osiągnęła krótszy średni czas detekcji bodźców niż grupa NEpc.

4.3. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze wzorcem struktur mózgowych zaangażowanych w zadanie percepcji czasu

Neuronalne korelaty percepcji czasu

Zadanie Różnicowania Długości Bodźców

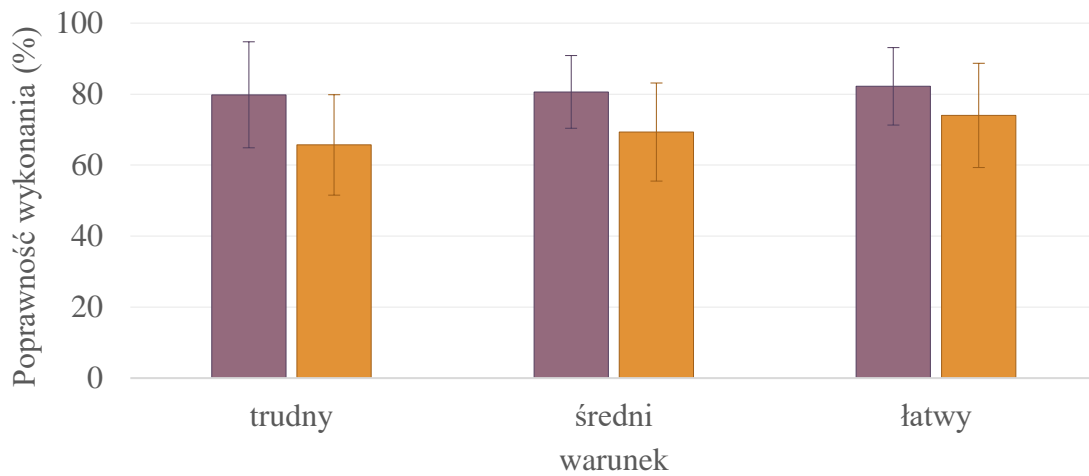
Celem badania w rezonansie magnetycznym było eksploracyjne określenie struktur zaangażowanych w percepcję czasu. Do analiz włączono 47 osób. Jedna osoba została wykluczona z analiz ze względu na niski poziom poprawności w warunku kontrolnym, tj. < 50% poprawności. Wykluczono również 6 osób ze względu na znaczne pominięcie fragmentu mózdzku, jak i okolicy ciemieniowej podczas skanowania. Ostatecznie do analiz włączono 21 osób (8 kobiet) z grupy WEpc oraz 19 osób (13 kobiet) z grupy NEpc.

Procent poprawności wykonania zadania eksperymentalnego wahał się od 80% do 82% w grupie WEpc oraz od 66% do 74% w grupie NEpc. Obie grupy osiągnęły wysoki poziom poprawności wykonania zadania kontrolnego (tabela 10; rycina 25).

Tabela 10

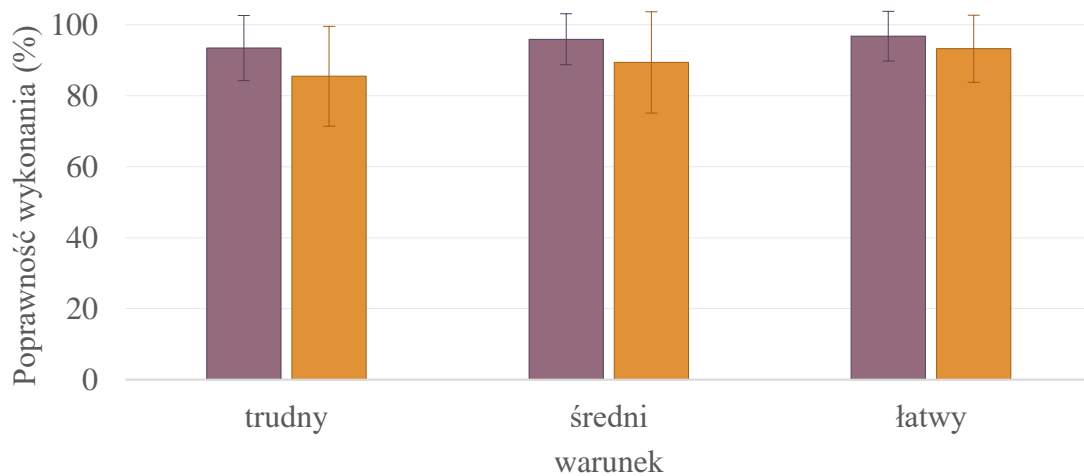
Poprawność wykonania Zadania Różnicowania Długości Bodźców dla WEpc i NEpc

Warunek	Poprawność (%)			
	M ± SD			
	Blok eksperymentalny		Blok kontrolny	
	WEpc	NEpc	WEpc	NEpc
Trudny	80 ± 15	66 ± 14	93 ± 9	85 ± 14
Średni	81 ± 10	69 ± 14	96 ± 7	89 ± 14
Łatwy	82 ± 11	74 ± 15	97 ± 7	93 ± 9



(A) Blok eksperymentalny

■ WEpc ■ NEpc



■ WEpc ■ NEpc

(B) Blok kontrolny

Rycina 25. Zadanie Różnicowania Długości Bodźców – poprawności wykonania (%) dla grup WEpc i NEpc. **(A)** blok eksperymentalny i **(B)** blok kontrolny.

Przeprowadzono 2 rodzaje analiz danych neuroobrazowych w celu określenia aktywacji (rycina 26):

- 1) **struktur kluczowych** w percepcji czasu, tj. łącznie dla obu grup osób o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* dla wszystkich warunków łącznie i każdego z warunków osobno (*trudny, średni, łatwy*) – [WEpc + NEpc];
- 2) **obszarów dodatkowych** w percepcji czasu, tj. porównując grupy osób o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* dla wszystkich warunków łącznie i każdego z warunków osobno (*trudny, średni, łatwy*) – [WEpc vs NEpc];



Rycina 26. Schemat analiz danych neuroobrazowych.

[WEpc + NEpc] - aktywacje łącznie dla obu grup osób o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej

W celu określenia aktywacji łącznie dla obu grup (WEpc i NEpc) przeprowadzono osobno dla każdego z efektów (efekt *zadania percepcji czasu; warunku trudnego, średniego i łatwego*) 4 *t-testy dla jednej próby*.

[WEpc + NEpc] EFEKT ZADANIA PERCEPCJI CZASU

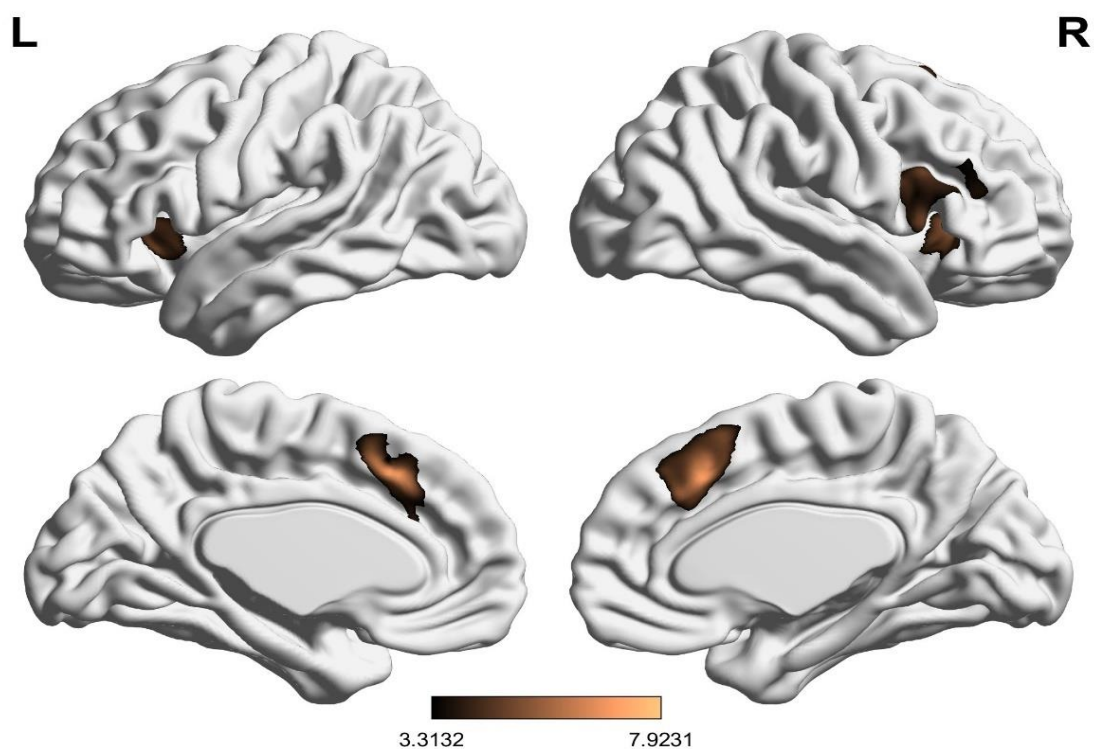
Analiza efektu *zadania percepcji czasu* wykazała aktywacje w 3 klastrach. Istotne klastry wraz z maksymalnie trzema centrami zlokalizowane były w obszarach czołowych (lewy i prawy górny zakręt czołowy, lewa dodatkowa kora ruchowa i prawy dolny zakręt czołowy) oraz okolicy lewej i prawej wyspy (tabela 11; rycina 27).

Tabela 11

Aktywacje w Zadaniu Różnicowania Długości Bodźców dla efektu zadania percepcji czasu dla WEpc + NEpc

Lp.	Nazwa obszaru, w którym znajduje się centrum klastra	H	Liczba wokseli	Wartość statystyki t	Koordynaty centrum w przestrzeni MNI		
					x	y	z
1	Górny zakręt czołowy, część przyśrodkowa (ang. <i>superior frontal gyrus, medial</i>)	L	1512	7,92	-8	24	40
	Dodatkowa kora ruchowa (ang. <i>supplementary motor area</i>)	L		7,40	2	22	44
	Górny zakręt czołowy, część przyśrodkowa (ang. <i>superior frontal gyrus, medial</i>)	P		5,44	6	34	44
2	Dolny zakręt czołowy, część wieczkowa (ang. <i>inferior frontal gyrus, opercular part</i>)	P	1594	6,29	54	16	6
	Obszar niezakwalifikowany			5,75	30	28	2
	Wyspa (ang. <i>insula</i>)	P		5,45	38	22	-6
3	Wyspa (ang. <i>insula</i>)	L	373	5,82	-30	20	-6

Adnotacja: zaprezentowano istotne klastry (pogrubiona czcionka) wraz z maksymalnie trzema centrami oddzielonymi o 8 mm. Próg istotności na poziomie wokseli $p < 0,001$ (nieskorygowany) w połączeniu z progiem istotności na poziomie klastrów $p < 0,05$ i minimalną wielkością klastra wynoszącą 373 wokseli; H – *półkula*; L – *strona lewa*; P – *strona prawa*.



Rycina 27. Efekt zadania percepcji czasu dla [WEpc + NEpc].
 Adnotacja: aktywacje przedstawiono w płaszczyźnie bocznej i przyśrodkowej; kolory klastrów odzwierciedlają wartość statystyki t zgodnie ze skalą koloru; L – strona lewa; P – strona prawa.

[WEpc + NEpc] EFEKT WARUNKU TRUDNEGO

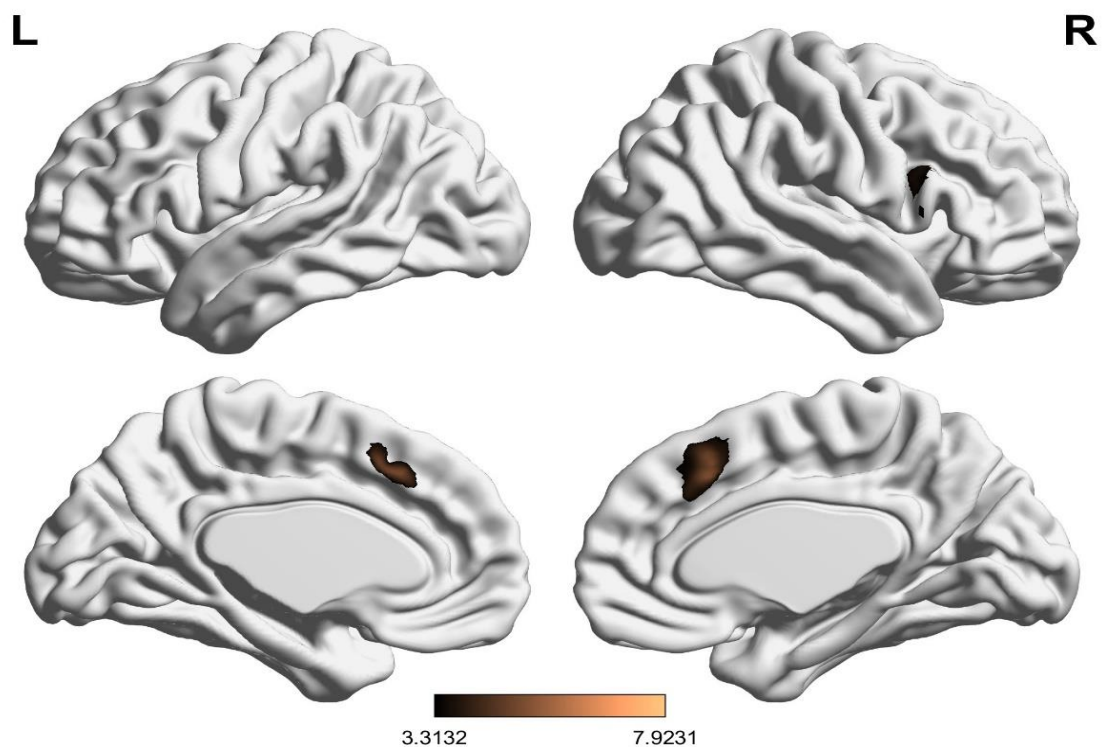
Analiza efektu warunku *trudnego* wykazała aktywacje w 2 klastrach. Istotne klastry wraz z maksymalnie trzema centrami zlokalizowane były w okolicach czołowych (lewy i prawy górny zakręt czołowy, prawa dodatkowa kora ruchowa oraz dolny zakręt czołowy; tabela 12; rycina 28).

Tabela 12

Aktywacje w Zadaniu Różnicowania Długości Bodźców dla efektu warunku trudnego dla WEpc + NEpc

Lp.	Nazwa obszaru, w którym znajduje się centrum klastra	H	Liczba wokseli	Wartość statystyki t	Koordynaty centrum w przestrzeni MNI		
					x	y	z
1	Górny zakręt czołowy, część przyśrodkowa (ang. <i>superior frontal gyrus, medial</i>)	L	746	5,60	-2	22	42
	Dodatkowa kora ruchowa (ang. <i>supplementary motor area</i>)	P		5,21	6	20	48
	Górny zakręt czołowy, część przyśrodkowa (ang. <i>superior frontal gyrus, medial</i>)	P		3,71	6	34	44
2	Dolny zakręt czołowy, część trójkątna (ang. <i>inferior frontal gyrus, triangular part</i>)	P	271	4,22	50	14	22
	Dolny zakręt czołowy, część wieczkowa (ang. <i>inferior frontal gyrus, opercular part</i>)	P		4,05	52	14	10
	Dolny zakręt czołowy, część trójkątna (ang. <i>inferior frontal gyrus, triangular part</i>)	P		3,75	48	32	20

Adnotacja: zaprezentowano istotne klastry (pogrubiona czcionka) wraz z maksymalnie trzema centrami oddzielonymi o 8 mm. Próg istotności na poziomie wokseli $p < 0,001$ (nieskorygowany) w połączeniu z progiem istotności na poziomie klastrów $p < 0,05$ i minimalną wielkością klastra wynoszącą 271 wokseli; H – półkula; L – strona lewa; P – strona prawa.



Rycina 28. Efekt warunku *trudnego* dla [WEpc + NEpc].
Adnotacja: aktywacje przedstawiono w płaszczyźnie bocznej i przyśrodkowej; kolory klastrów odzwierciedlają wartość statystyki *t* zgodnie ze skalą koloru; L – strona lewa; P – strona prawa.

[WEpc + NEpc] EFEKT WARUNKU ŚREDNIEGO

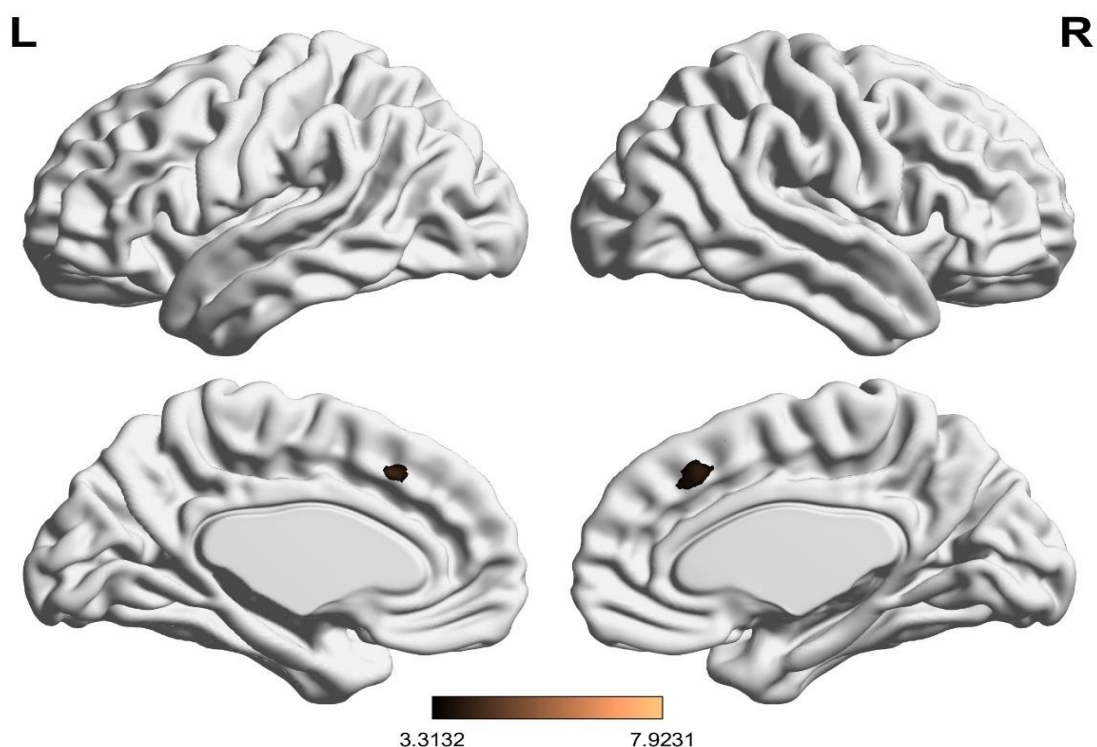
Analiza efektu warunku *średniego* wykazała aktywacje w 1 klastrze. Istotny klaster wraz z maksymalnie trzema centrami zlokalizowany był w okolicy czołowej (lewy i prawy górny zakręt czołowy oraz prawa dodatkowa kora ruchowa (tabela 13; rycina 29).

Tabela 13

Aktywacje w Zadaniu Różnicowania Długości Bodźców dla efektu warunku średniego dla WEpc + NEpc

Lp.	Nazwa obszaru, w którym znajduje się centrum klastra	H	Liczba wokseli	Wartość statystyki t	Koordynaty centrum w przestrzeni MNI		
					x	y	z
1	Górny zakręt czołowy, część przyśrodkowa (ang. <i>superior frontal gyrus, medial</i>)	L	337	4,48	-6	22	42
	Dodatkowa kora ruchowa (ang. <i>supplementary motor area</i>)	P		4,20	4	20	46
	Górny zakręt czołowy, część przyśrodkowa (ang. <i>superior frontal gyrus, medial</i>)	P		4,03	6	28	40

Adnotacja: zaprezentowano istotne klastry (pogrubiona czcionka) wraz z maksymalnie trzema centrami oddzielonymi o 8 mm. Próg istotności na poziomie wokseli $p < 0,001$ (nieskorygowany) w połączeniu z progiem istotności na poziomie klastrów $p < 0,05$ i minimalną wielkością klastra wynoszącą 337 wokseli; H – *półkula*; L – *strona lewa*; P – *strona prawa*.



Rycina 29. Efekt warunku *średniego* dla [WEpc + NEpc].
Adnotacja: aktywacje przedstawiono w płaszczyźnie bocznej i przyśrodkowej; kolory klastrów odzwierciedlają wartość statystyki *t* zgodnie ze skalą koloru; L – *strona lewa*; P – *strona prawa*.

[WEpc + NEpc] EFEKT WARUNKU ŁATWEGO

Analiza efektu warunku *łatwego* wykazała aktywacje w 4 klastrach. Istotne klastry wraz z maksymalnie trzema centrami zlokalizowane były w okolicach czołowych (lewy górny zakręt czołowy, prawy dolny zakręt czołowy, prawa dodatkowa kora ruchowa), ciemieniowych (prawy dolny zakręt ciemieniowy i zakręt nadbrzeżny), lewego zakrętu obręczy oraz lewej i prawej wyspy (tabela 14; rycina 30).

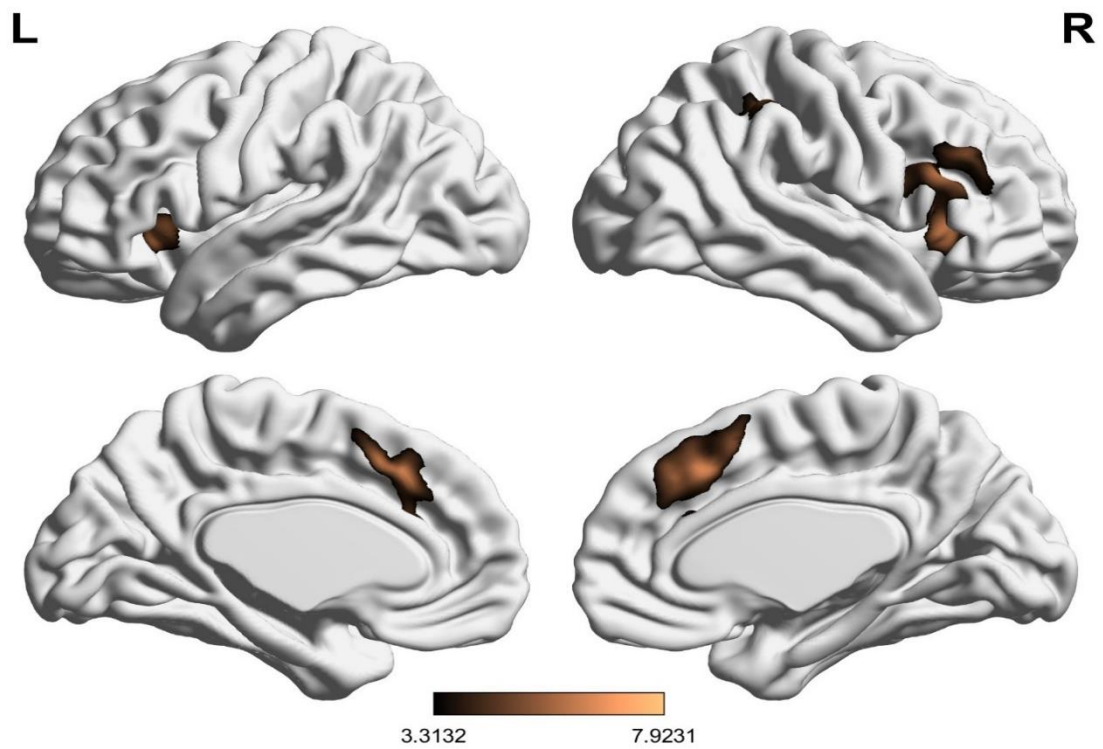
Tabela 14

Aktywacje w Zadaniu Różnicowania Długości Bodźców dla efektu warunku łatwego dla WEpc + NEpc

Lp.	Nazwa obszaru, w którym znajduje się centrum klastra	H	Liczba wokseli	Wartość statystyki t	Koordynaty centrum w przestrzeni MNI		
					x	y	z
1	Górny zakręt czołowy, część przyśrodkowa (ang. <i>superior frontal gyrus, medial</i>)	L	1636	6,94	-2	24	44
	Dodatkowa kora ruchowa (ang. <i>supplementary motor area</i>)	P		5,94	6	14	52
	Przednia część zakrętu obręczy, część nadspoidłowa (ang. <i>anterior cingulate cortex, supracallosal</i>)	L		4,61	-8	28	28
2	Wyspa (ang. <i>insula</i>)	P	2061	6,45	32	24	-2
	Dolny zakręt czołowy, część trójkątna (ang. <i>inferior frontal gyrus, triangular part</i>)	P		6,25	46	20	6
	Dolny zakręt czołowy, część trójkątna (ang. <i>inferior frontal gyrus, triangular part</i>)	P		6,12	54	22	22
3	Wyspa (ang. <i>insula</i>)	L	367	6,27	-32	22	-2
	Dolny zakręt ciemieniowy, wyłączając zakręt nadbrzeżny i zakręt obręczy (ang. <i>inferior parietal gyrus, excluding supramarginal and angular gyri</i>)	P	722	5,67	54	-40	52

Dolny zakręt ciemieniowy, wyłączając zakręt nadbrzeżny i zakręt obręczy (ang. <i>inferior parietal gyrus, excluding supramarginal and angular gyri</i>)	P	5,33	40	-42	44
Zakręt nadbrzeżny (ang. <i>supramarginal gyrus</i>)	P	4,86	44	-36	38

Adnotacja: zaprezentowano istotne klastry (pogrubiona czcionka) wraz z maksymalnie trzema centrami oddzielonymi o 8 mm. Próg istotności na poziomie wokseli $p < 0,001$ (nieskorygowany) w połączeniu z progiem istotności na poziomie klastrów $p < 0,05$ i minimalną wielkością klastra wynoszącą 367 wokseli; H – półkula; L – strona lewa; P – strona prawa.



Rycina 30. Efekt warunku *łatwego* dla [WEpc + NEpc].
Adnotacja: aktywacje przedstawiono w płaszczyźnie bocznej i przyśrodkowej; kolory klastrów odzwierciedlają wartość statystyki t zgodnie ze skalą koloru; L – *strona lewa*; P – *strona prawa*.

[WEpc vs NEpc] – aktywacje dla porównań grup osób o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej

W celu porównania aktywacji między grupami WEpc i NEpc przeprowadzono osobno dla każdego z efektów (efekt zadania percepcji czasu; warunku trudnego, średniego i łatwego) 4 *t*-testy dla dwóch prób.

[WEpc vs NEpc] EFEKT ZADANIA PERCEPCJI CZASU

Zastosowane kontrasty WEpc > NEpc oraz NEpc > WEpc nie ujawniły istotnych klastrów aktywacji.

[WEpc vs NEpc] EFEKT WARUNKU TRUDNEGO

Zastosowane kontrasty WEpc > NEpc oraz NEpc > WEpc nie ujawniły istotnych klastrów aktywacji.

[WEpc vs NEpc] EFEKT WARUNKU ŚREDNIEGO

Zastosowane kontrasty WEpc > NEpc oraz NEpc > WEpc nie ujawniły istotnych klastrów aktywacji.

[WEpc vs NEpc] EFEKT WARUNKU ŁATWEGO

Zastosowane kontrasty WEpc > NEpc oraz NEpc > WEpc nie ujawniły istotnych klastrów aktywacji.

WYNIKI - podsumowanie aktywacji

Zadanie Różnicowania Długości Bodźców



Adnotacja: kropkami oznaczono uwidocznione aktywacje; L – strona lewa; P – strona prawa.

5. DYSKUSJA

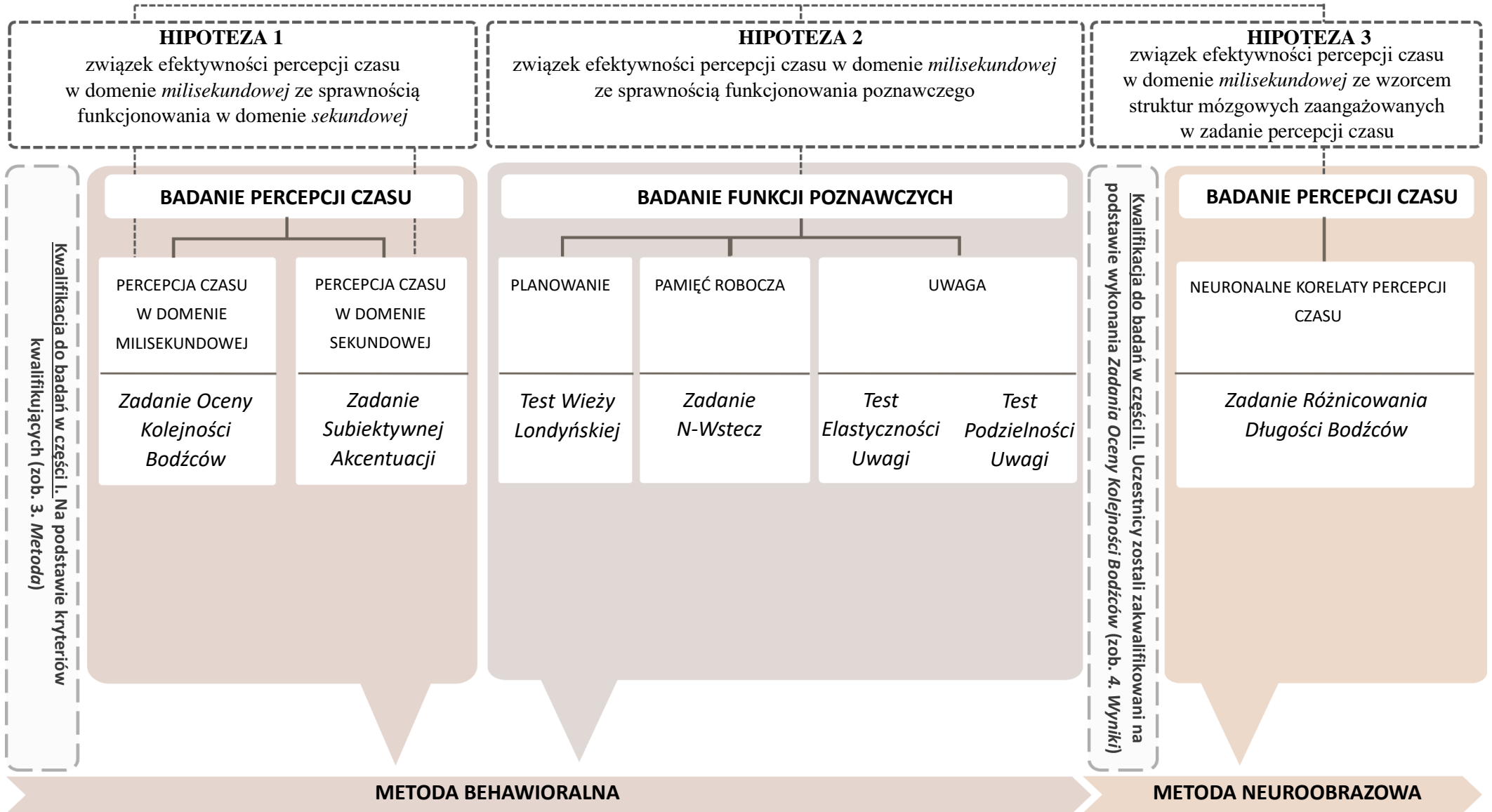
5.1. Podsumowanie wykonanych badań

Badania będące tematem niniejszej rozprawy składały się z dwóch części: behawioralnej i neuroobrazowej. W części behawioralnej miałam na celu zbadanie, czy efektywność percepcji czasu w domenie *milisekundowej* koresponduje z efektywnością percepcji czasu domenie *sekundowej* i funkcjonowaniem poznawczym jednostki. Celem części neuroobrazowej było poznanie neuronalnych korelatów percepcji czasu.

Graficzne przedstawienie założeń badań przeprowadzonych w ramach niniejszej rozprawy, zastosowanych metod wraz z podsumowaniem uzyskanych wyników² zamieszczono na stronach 108-109.

² Nieistotne wyniki zostały zaprezentowane szarą czcionką. Natomiast obok wyników istotnych zaprezentowano kierunek zależności za pomocą strzałek odpowiadających kolorom grup (grupa WEpc – kolor fioletowy; grupa NEpc – kolor pomarańczowy).

PROCEDURA BADAWCZA



WYNIKI BEHAVIORALNE

WYNIKI NEUROOBRAZOWE

Próg Postrzegania Kolejności:

warunek *rozdzielności*

warunek *obuuszny*

Na podstawie powyższych wskaźników wyodrębniono 3 grupy osób, z czego do analiz włączono 2 grupy charakteryzujące się skrajnym wykonaniem zadania:



WEpc

NEpc

Okno Czasowej Integracji:

1 Hz

1,5 Hz

2 Hz

2,5 Hz

3 Hz

3,5 Hz



4 Hz



4,5 Hz



5 Hz



średnia wartość OCI dla wszystkich powyższych częstotliwości



BADANIE PERCEPCJI CZASU

Zdolność planowania



Liczba poprawnych rozwiązań

Czas planowania



Czas wykonania



Liczba błędów

D-prime:

warunek 2-wstecz



warunek 3-wstecz



Czas poprawnych naciśnięć:

warunek 2-wstecz



warunek 3-wstecz

BADANIE FUNKCJI POZNAWCZYCH

Liczba poprawnych naciśnięć

Liczba błędów

Czas poprawnych naciśnięć

Liczba poprawnych naciśnięć

Liczba błędów

Czas poprawnych naciśnięć



Analizy obejmowały określenie: **struktur kluczowych** – stanowiących rdzeń odpowiedzialny za percepcję czasu [WEpc + NEpc] i **obszarów dodatkowych** – w zależności od indywidualnej efektywności na poziomie *milisekundowym* [WEpc vs NEpc].

[WEpc + NEpc] – ujawniono aktywacje kluczowe dla efektu:
 - *zdania percepcji czasu* w okolicach czołowych i wyspy;
 - *warunku trudnego i średniego* w okolicach czołowych;
 - *warunku łatwego* w okolicach czołowych, ciemieniowych, zakrętu obręczy i wyspy;

[WEpc vs NEpc] - nie zaobserwowano aktywacji obszarów dodatkowych.

BADANIE PERCEPCJI CZASU

5.2. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością funkcjonowania w domenie sekundowej

5.2.1. Efektywność percepcji czasu w domenie milisekundowej

W celu oceny efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* zastosowano *Zadanie Oceny Kolejności Bodźców*. Zadanie polegało na określeniu kolejności czasowej zaprezentowanych bodźców (zob. 3.2. *Procedura*). Na tej podstawie wyselekcjonowano dwie grupy osób badanych o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu (WEpc i NEpc; tabela 8).

Jak zostało wspomniane we *Wstępie* (zob. 1.1. *Percepcja czasu – terminologia i problematyka*) efektywność percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* – mierzona wskaźnikiem *Progu Postrzegania Kolejności* (PPK) różni się wśród populacji. Wyższy PPK zaobserwować można wśród osób z zaburzeniami ze spektrum autyzmu, dysleksją, specyficznymi zaburzeniami językowymi, depresją, afazją i u osób starszych (Dacewicz i in., 2016; Kolodziejczyk i Szeląg, 2008; Szeląg i in., 2010). Rozbieżności w uzyskiwanych wynikach dotyczą także osób zdrowych i młodych. Obserwowane różnice w efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* w populacji osób młodych, wynikać mogą z różnic indywidualnych w efektywności percepcji czasu, co chciałam zbadać w niniejszej pracy, ale także z wpływu innych „*nie-czasowych*” czynników. Okazuje się bowiem, że również strategie poznawcze stosowane podczas wykonywania *Zadania Oceny Kolejności Bodźców* mogą mieć wpływ na otrzymane wyniki (Szymaszek i in., 2009). Jedną z takich strategii jest wspomniana we *Wstępie* – strategia integracji percepcyjnej (zob. 1.1. *Percepcja czasu – terminologia i problematyka*). Według Ulbrich i in. (2009) stosowanie tej strategii znacznie ułatwia rozwiązanie zadania, niemniej jednak zastosowanie jej możliwe jest wyłącznie w warunkach *obuusznych* przy określaniu kolejności dwóch bodźców różniących się częstotliwością (niski i wysoki ton). Inni badacze również zwracają uwagę, że metodologia

badawcza może mieć znaczący wpływ na oszacowanie efektywności percepcji czasu (Fostick i in., 2019). W związku z tym w celu zwiększenia rzetelności pomiaru efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*, zdecydowano się na uwzględnienie dwóch warunków *Zadania Oceny Kolejności Bodźców*. Następnie z dalszych analiz wykluczone zostały osoby charakteryzujące się mieszaną efektywnością percepcji czasu, tj. wyższą efektywnością w jednym warunku, ale niższą w drugim (grupa MEpc). Możemy przypuszczać, że osoby z grupy MEpc stosowały różne strategie poznawcze, które przesądziły o niższym PPK w jednym z warunków. Wykluczenie z analiz osób z grupy MEpc pozwoliło na uwzględnienie w dalszych badaniach wyłącznie osób wykazujących tylko spójne wykonanie obu warunków *Zadania Oceny Kolejności Bodźców*, a tym samym wyeliminowanie rozbieżności mogących wynikać z „*nie-czasowych*” czynników. Należy wspomnieć, że zastosowane warunki zadania: *rozdzielnościowy* i *obuuszny* są jednymi z powszechnie stosowanych do oceny efektywności przetwarzania czasu na poziomie *milisekundowym* (Fostick i in., 2011). W badaniach przeprowadzonych w ramach tej rozprawy zauważono, że wartość PPK w warunku *obuuszny* była wyższa niż w warunku *rozdzielnościowym* (tabela 8). Warto podkreślić, że mimo możliwości zastosowania strategii integracji percepcyjnej ułatwiającej wykonanie zadania, to jednak warunek ten był określany przez uczestników jako trudniejszy. Dla niektórych z nich określanie dźwięku jako niski lub wysoki wiązało się z dużym wysiłkiem poznawczym i obciążeniem pamięci roboczej, pomimo zastosowania treningu przed przystąpieniem do wykonywania zadania (zob. 3.2. *Procedura*). Przedstawione powyżej wnioski sugerują, że *Zadanie Oceny Kolejności Bodźców* dostarczać może informacji nie tylko na temat efektywności percepcji czasu, lecz również innych mechanizmów uwikłanych w proces wykonywania samego zadania. Zastosowanie dwóch warunków i spójne ich wykonanie, może być uznane za rzetelną metodę oceny efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*.

5.2.2. Efektywność percepcji czasu w domenie sekundowej

W celu oceny efektywności percepcji czasu na poziomie *sekundowym* zastosowano *Zadanie Subiektywnej Akcentuacji*. Zadanie polegało na nadawaniu subiektywnego rytmu prezentowanym dźwiękom. Na podstawie tego zadania określono maksymalne okno (limit czasowy), w którym możliwa jest integracja bodźców (Szelag, 1996; zob. 3.2. *Procedura*). Grupa WEpc cechowała się ogólną wyższą efektywnością percepcji czasu w domenie *sekundowej*, tj. osiągnęła wyższy limit czasowy integracji bodźców w porównaniu do grupy NEpc (WEpc: 1766 ms; NEpc: 1503 ms). Natomiast warto zauważyć, że górny limit integracji w obu grupach wyniósł około 3 sekundy (WEpc: 2949 ms; NEpc: 2722 ms) – co zgodne jest z założeniami *hierarchicznego modelu percepcji czasu*, według których mechanizm integracji czasowej ogranicza się właśnie do 3 sekund (Pöppel, 2009). Limit 3-sekundowego okna czasowego obserwowany był również w innych badaniach, w których stosowano *Zadanie Różnicowania Długości Bodźców* oraz *Zadanie Reprodukacji Interwału Czasowego*. Okazuje się, że wraz z przekroczeniem 3-sekundowej granicy zmniejsza się dokładność wykonania tych zadań (Wittmann, 2013). Jak zostało wspomniane we *Wstępie* (zob. 1.1. *Percepcja czasu – terminologia i problematyka*) około 3-sekundowe okno czasowe wydaje się być obserwowane także w innych dziedzinach życia, na przykład w wykonywanych gestach (machanie, pukanie do drzwi) czy w komunikacji językowej. Ponadto mechanizm integracyjny leży u podłoża płynnej mowy, a badania wykazały tę zależność dla języka polskiego, angielskiego, niemieckiego, a nawet chińskiego (Bao i in., 2013). Pöppel (1997) uważa, że około 3-sekundowe okno odpowiada za subiektywne przeżywanie teraźniejszości oraz określa limit zdolności integrowania informacji.

Szczegółowa analiza w podziale na prezentowane częstotliwości wykazała, że wydłużenie limitu czasowego w grupie WEpc w porównaniu do grupy NEpc, zaobserwować można w częstotliwościach wyższych, tj. 3,5 Hz, 4 Hz, 4,5 Hz, 5 Hz (tabela 9; rycina 17).

W tym miejscu warto przytoczyć badania przeprowadzone przez Szela \acute{g} i in. (1997), podczas których badane były osoby z jednostronnym ogniskowym uszkodzeniem mózgu. Według autorów podczas wykonywania *Zadania Subiektywnej Akcentuacji*, uczestnicy mogli stosować dwie strategie: pierwsza polegała na stosowaniu strategii *stałego czasu*, zaś druga na stosowaniu strategii *stałej liczby* (Szela \acute{g} i in., 1997). Pierwsza – *stałego czasu* – opiera się na działaniu mechanizmu integracyjnego. Podczas prezentacji różnych częstotliwości uderzeń metronomu, osoby zgodnie z tą strategią, integrują uderzenia w podobnym przedziale czasowym. Oznacza to, że dla częstotliwości szybkich podają większą liczbę zintegrowanych uderzeń niż dla częstotliwości wolniejszych. Natomiast osoby stosujące drugą strategię – *stałej liczby* – integrują zawsze taką samą liczbę uderzeń, bez znaczenia dla prezentowanej częstotliwości. Wybieraną przez osoby badane strategię można zaobserwować przyglądając się, jak przebiega linia łącząca wartości Okna Czasowej Integracji dla poszczególnych częstotliwości od 1 do 5 Hz (rycina 17). W grupie osób stosujących strategię *stałego czasu* linia będzie bardziej pionowa w przeciwieństwie do linii w grupie osób stosujących strategię *stałej liczby*, która będzie bardziej pozioma (Szela \acute{g} , 1997). Badania Szela \acute{g} i in. (1997) pokazują, że osoby z afazją ruchową opierały się na strategii *stałej liczby* co, jak argumentują autorzy badania, przekłada się na obserwowane trudności w mowie w tej grupie osób (zredukowana długość frazy). Jak się okazuje, za tworzenie fraz odpowiada mechanizm okna około 3-sekundowego (Szela \acute{g} i in., 1997). Wyniki z badań zaprezentowanych w niniejszej rozprawie mogłyby sugerować stosowanie bardziej efektywnej strategii – opartej na mechanizmie *stałego czasu* przez osoby z grupy WEpc w porównaniu do grupy NEpc (rycina 17).

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że grupa WEpc charakteryzowała się wyższym limitem integrowania bodźców w *Zadaniu Subiektywnej Akcentuacji*, tym samym osiągając większą efektywność percepcji czasu w domenie *sekundowej* w porównaniu do grupy NEpc.

Przedstawione powyżej wyniki potwierdzają hipotezę mówiącą o związku efektywność percepcji czasu w domenie *milisekundowej* z efektywnością percepcji czasu w domenie *sekundowej*.

5.3. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze sprawnością funkcjonowania poznawczego

Ze względu na obserwacje, które dowodzą, że percepcja czasu na poziomie *milisekundowym* tworzy matrycę czasową dla funkcjonowania poznawczego założono, iż efektywność percepcji czasu w domenie *milisekundowej* będzie związana ze sprawniejszym funkcjonowaniem poznawczym w zakresie: (1) planowania; (2) pamięci roboczej; (3) funkcji uwagowych.

Oceny planowania jako jednej z funkcji wykonawczych dokonano dzięki zastosowaniu *Testu Wieży Londyńskiej*, polegającego na zaplanowaniu, a następnie wykonaniu sekwencji ruchów w celu rozwiązania zadania (zob. 3.2. *Procedura*). Uzyskane wyniki wskazują, że grupa WEpc wykazała się lepszą zdolnością planowania, tj. wykonała większą liczbę prób w minimalnej liczbie ruchów w porównaniu do grupy NEpc. Nie zaobserwowano natomiast różnicy w ogólnej poprawności wykonania testu, tj. liczbie prób wykonanych poprawnie zarówno przy zachowaniu i przekroczeniu minimalnej liczby ruchów – obydwie grupy osiągnęły tu podobny wynik (rycina 18). Oznacza to, że grupy różniły się zastosowaniem optymalnej strategii, jaką było wykonanie zadania w minimalnej liczbie ruchów, co świadczy o efektywniejszej zdolności zaplanowania poszczególnych kroków z zastosowaniem się do istniejących reguł w grupie WEpc (Kaller i in., 2012). Dodatkowo grupa WEpc osiągnęła dłuższy czas planowania i krótszy czas wykonywania prób niż grupa NEpc (rycina 19). Dowodzi to, że osoby z grupy WEpc dłużej planowały poszczególne kroki zadania, a w efekcie krócej je wykonywały, co przełożyło się na ich lepszą zdolność planowania. Natomiast osoby

z grupy NEpc prezentowały krótszy czas planowania i dłuższy czas wykonywania samego zadania. Przypuszczalnie osoby z grupy NEpc zastosowały strategię planowania „on-line”, czyli podczas wykonywania zadania. Strategia ta wydaje się być mniej skuteczna, biorąc pod uwagę mniejszą liczbę prób z zastosowaniem optymalnych rozwiązań w grupie NEpc w porównaniu do WEpc. Grupy natomiast nie różniły się liczbą błędów popełnionych w całym teście. Warto wspomnieć, że do kategorii błędów zaliczały się ruchy, takie jak próba wyciągnięcia kulki spod innej czy próba nałożenia kulki na zajęty drążek. Prawdopodobnie reguły te są intuicyjne i łatwe do przestrzegania przez osoby młode, co tłumaczy niski poziom popełnianych błędów w obu grupach.

Oceny pamięci roboczej dokonano z zastosowaniem niewerbalnego *Zadania N-Wstecz*. Osoby badane oceniały, czy prezentowana figura pojawiła się 2 lub 3 figury wstecz (odpowiednio dla warunków *2-wstecz* i *3-wstecz*; zob. 3.2. *Procedura*). Grupa WEpc osiągnęła większą liczbę poprawnych detekcji bodźców w stosunku do niewielkiej liczby błędów oraz krótszy czas ich detekcji, co tym samym wskazuje na większą sprawność pamięci roboczej. Szczegółowe analizy w podziale na warunki wykazały, że grupa WEpc osiągnęła większą liczbę poprawnych detekcji bodźców w stosunku do niewielkiej liczby błędów w porównaniu do grupy NEpc, zarówno w warunku z mniejszym obciążeniem pamięci roboczej (*2-wstecz*), jak i w warunku z większym obciążeniem pamięci roboczej (*3-wstecz*; rycina 20). Czas detekcji w warunku *3-wstecz* uległ wydłużeniu obu grupach (rycina 21).

Do oceny funkcji uwagowych zastosowano *Test Elastyczności Uwagi* polegający na naprzemiennym określaniu położenia kształtu – okrągłego lub kanciastego oraz *Test Podzielności Uwagi* polegający na jednoczesnym rozwiązywaniu dwóch zadań – wzrokowego i słuchowego (zob. 3.2. *Procedura*). W *Teście Elastyczności Uwagi* grupa WEpc szybciej wykonywała naprzemienne określanie położenia kształtu niż grupa NEpc (rycina 22). Nie zaobserwowano natomiast różnic między grupami w liczbie prób zarówno z poprawnie, jak

i błędnie określonym położeniem kształtu. Prawdopodobnie wynika to z dużej łatwości samego zadania (tzw. efekt sufitowy). Dodatkowo grupa WEpc w *Teście Podzielności Uwagi* osiągnęła wyższą liczbę detekcji odpowiednich bodźców (wzrokowych i słuchowych) oraz krótszy czas ich detekcji niż grupa NEpc (rycina 23; 24). Grupy nie różniły się liczbą błędów.

Podsumowując uzyskane wyżej wyniki wykazano, że grupa o wysokiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* cechuje się sprawniejszym funkcjonowaniem poznawczym odzwierciedlonym w lepszym planowaniu jako jednej z wyższych funkcji poznawczych. Złożoność tego procesu polega na tym, że efektywne planowanie wymaga sprawnego działania innych funkcji poznawczych, takich jak np. uwaga, pamięć robocza. Plan przechowywany jest w pamięci roboczej, od której efektywności również zależy sukces wykonywanej czynności (Diamond, 2013). Podobną zależność raportują autorzy *Testu Wieży Londyńskiej* – Kaller i in. (2012) – zauważając równocześnie, że wstępne planowanie przekłada się na lepsze wykonanie zadania. Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze doniesienia na temat związku efektywności percepcji czasu z funkcjami wykonawczymi. Nowak i in. (2016) prowadząc badania na grupie seniorów zauważyli, że efektywność percepcji czasu mierzona *Zadaniem Oceny Kolejności Bodźców* korelowała z wykonaniem *Testu Wieży Londyńskiej*. Dłuższy czas planowania i krótszy wykonywania zadania, jak w grupie WEpc w przeprowadzonym przeze mnie badaniu, jest również zgodny z obserwacjami przeprowadzonymi przez Jablonska i in. (2022) wśród seniorów i osób młodych. Badacze dowiedli, że lepsza percepcja czasu w domenie *milisekundowej*, związana była z dłuższym czasem planowania, co skutkowało lepszym wykonaniem samego testu (Jablonska i in., 2022).

Sprawniejsze funkcjonowanie poznawcze w grupie o wysokiej efektywności percepcji czasu zostało udokumentowane również poprzez ocenę pamięci roboczej. Grupa WEpc cechowała się wydajniejszą pamięcią roboczą. Twórcy testu odwołują się do modelu pamięci roboczej zaproponowanego przez Baddeleya i Hitcha (Schellig i in., 2011). Model ten wyróżnia

4 komponenty: pętlę fonologiczną, szkicownik wzrokowo-przestrzenny, bufor epizodyczny i centralny system wykonawczy. Wykonywanie *Zadania N-Wstecz* w wersji niewerbalnej, związane jest z zaangażowaniem szkicownika wzrokowo-przestrzennego, który odpowiada za przechowywanie materiału niewerbalnego, w postaci figur abstrakcyjnych, podlegającego ciągłym aktualizacjom podczas wykonywania zadania. Osoby z grupy WEpc osiągnęły lepszy wynik niż osoby z grupy NEpc. Być może wykonywanie zadania pamięci roboczej uwarunkowane jest efektywnością percepcji czasu. Wynik wskazujący na związek percepcji czasu z pamięcią roboczą jest zgodny z modelem teoretycznym (rycina 2), gdzie pamięć robocza wraz z pamięcią semantyczną zajmują kluczowe miejsce. Zaangażowanie pamięci roboczej w zadania z zakresu percepcji czasu podkreślają także Üstün i in. (2017). Równocześnie przedstawione we *Wstępie* (zob. 1.2. *Związek percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym*) wyniki badań Bartholomew i in. (2015) podkreślają korelację percepcji czasu z pamięcią roboczą. Warto jednak nadmienić, że w opinii autorów związek ten był słabszy w porównaniu do relacji pomiędzy percepcją czasu a kontrolą wykonawczą.

Efektywniejsze funkcjonowanie poznawcze w grupie o wysokiej efektywności percepcji czasu zostało udokumentowane również poprzez ocenę elastyczności i podzielności uwagi. Grupa WEpc szybciej dokonywała oceny położenia bodźców, czyli zgodnie z definicją elastyczności uwagi, szybciej dostosowywała się do zmieniającej się sytuacji lub jej warunków, poprzez zmianę sposobu myślenia i postępowania (Zimmermann i Fimm, 2007). Osoby z grupy WEpc cechowała również efektywniejsza podzielność uwagi. Odwołując się do jednej z teorii prezentowanej przez autorów testu, osoby te efektywniej wykonywały równoległe dwie czynności wymagające relokacji zasobów uwagowych, a wykonanie każdej z nich ograniczane było limitem czasu (Zimmermann i Fimm, 2007). Dodatkowo grupa WEpc znacznie szybciej wykonywała test w porównaniu do grupy NEpc. Związek efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* z funkcjami uwagowymi (głównie czujnością uwagi) jest szeroko

dyskutowany w świetle badań nad percepcją czasu (zob. 1.2. *Związek percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym*), wskazując tym samym na ich istotną współzależność. Natomiast sam związek elastyczności uwagi z percepcją czasu pozostawał do tej pory niezbadany. Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić, że osoby o wyższej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* charakteryzują się większą sprawnością także w tym aspekcie uwagi. Natomiast związek percepcji czasu z podzielnością uwagi posiada swoje uzasadnienie w modelach teoretycznych, gdzie bramka uwagowa, znajdująca się pomiędzy generatorem rytmu a włącznikiem, reguluje przepływ pulsów w zależności od ukierunkowania uwagi danej osoby. Dla przykładu: gdy nasza uwaga nie jest skierowana na upływający czas, bramka uwagowa zostaje przymknięta a liczba zliczonych pulsów jest mniejsza (zob. 1.1. *Percepcja czasu – terminologia i problematyka*). Mioni i in. (2020a) również udokumentowali związek podzielności uwagi z efektywnością percepcji czasu.

W kontekście związku percepcji czasu z funkcjami poznawczymi dominują dwa podejścia. Pierwsze z nich traktuje percepcję czasu jako część towarzyszącą funkcjonowaniu poznawczemu (Turgeon i in., 2016). Drugie zakłada, że efektywna percepcja czasu stanowi podstawę funkcjonowania poznawczego. W tym miejscu warto powołać się na podejście zaproponowane przez von Steinbüchel i Pöppela (1993; zob. 1.2. *Związek percepcji czasu z funkcjonowaniem poznawczym*), w którym badacze wyróżnili dwie kategorie funkcji: kontekstowe i logistyczne. W tym rozumieniu, percepcja czasu będąca funkcją logistyczną jest odpowiedzialna za kształtowanie funkcji kontekstowych (pamięci, mowy, etc., Szelaąg i Szymaszek, 2016). Mając na uwadze powyższą taksonomię można zastanawiać się, czy usprawnianie percepcji czasu jako funkcji logistycznej przyczyni się do poprawy w zakresie nietrenowanych funkcji kontekstowych. W tym celu w Instytucie Nenckiego stworzono nowatorski program komputerowy Dr Neuronowski[®] wspomagający rehabilitację zaburzeń

mowy oraz innych zaburzeń poznawczych u osób z deficytami neurorozwojowymi lub neurodegeneracyjnymi. Oprogramowanie w dużej mierze skupia się na usprawnianiu percepcji czasu. Zostało ono zastosowane u dzieci z niespecyficznymi zaburzeniami językowymi (nieopublikowana praca doktorska Dacewicz, 2018; Szelaż i in., 2015), seniorów (nieopublikowana praca doktorska Baszuk, 2024) oraz w zmodyfikowanej wersji u pacjentów z afazją (Choinski i in., 2023). W ramach prowadzonych badań wykazano poprawę w każdej z grup w zakresie percepcji czasu, która skutkowała polepszeniem innych funkcji poznawczych. Dla przykładu: w grupie seniorów wykazano, że trening za pomocą programu Dr Neuronowski® usprawnił pamięć krótkotrwałą, pamięć werbalną i przestrzenną, zdolność planowania oraz kontrolę hamowania (Baszuk, 2024). Natomiast u pacjentów z afazją, po zastosowanym treningu, zauważono poprawę werbalnej pamięci krótkotrwałej i pamięci roboczej oraz funkcji językowych (Choinski i in., 2023). Prezentowane badania dostarczają dowodów, że usprawnienie percepcji czasu jako funkcji logistycznej umożliwia transferowalność benefitów treningu na funkcje niepoddane bezpośrednim ćwiczeniom, tzw. transfer daleki (Noack i in., 2009).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że grupa WEpc w porównaniu do grupy NEpc wykazała się lepszą zdolnością planowania, wydajniejszą pamięcią roboczą oraz efektywniejszą uwagą.

Możemy zatem wnioskować, że osoby o wyższej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* charakteryzują się ogólnie sprawniejszym funkcjonowaniem poznawczym.

5.4. Związek efektywności percepcji czasu w domenie milisekundowej ze wzorcem struktur mózgowych zaangażowanych w zadanie percepcji czasu

Założenie, iż za percepcję czasu odpowiedzialne są struktury kluczowe w percepcji czasu – *niezależne od efektywności percepcji czasu na poziomie milisekundowym* – oraz dodatkowe obszary – *aktywne w zależności od efektywności percepcji czasu na poziomie milisekundowym* – weryfikowano z zastosowaniem *Zadania Różnicowania Długości Bodźców*. Podczas prezentacji dwóch dźwięków różniących się częstotliwością oraz długością osoby badane oceniały, który z usłyszanych dźwięków jest dłuższy (blok *eksperymentalny*) lub wyższy (blok *kontrolny*). Zadanie składało się z trzech poziomów trudności (*trudny, średni, łatwy*).

Na podstawie niniejszych badań wykazano następujące **struktury mózgowie kluczowe w percepcji czasu**: *obszary czołowe* (lewy i prawy górny zakręt czołowy – część przyśrodkowa, lewa dodatkowa kora ruchowa, prawy dolny zakręt czołowy – część wieczkowa) oraz lewa i prawa *wyspa*. Aktywacje powyższych struktur zaobserwowano w analizie przeprowadzonej niezależnie od indywidualnej efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* [WEpc + NEpc] oraz niezależnie od trudności zadania (tabela 11). Natomiast analizy porównujące grupy o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* [WEpc vs NEpc] nie wykryły różnic w aktywacjach. Oznacza to, że wyżej wymienione struktury wydają się być kluczowe w percepcji czasu niezależnie od sprawności na poziomie bazowym dla naszego funkcjonowania – *milisekundowym*.

Pozostałe przeprowadzone analizy pozwoliły na określenie struktur zaangażowanych w percepcję czasu osobno dla każdego z poziomów trudności zadania niezależnie od indywidualnej efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* [WEpc + NEpc]. Mianowicie w warunku *trudnym* i *średnim* wykazano aktywacje obejmujące tylko obszary *czołowe* (dla warunku *trudnego*: lewy i prawy górny zakręt czołowy – część przyśrodkowa, prawa dodatkowa kora ruchowa, prawy dolny zakręt czołowy – część trójkątna i wieczkowa,

tabela 12; dla warunku *średniego*: lewy i prawy górny zakręt czołowy – część przyśrodkowa, prawa dodatkowa kora ruchowa, tabela 13). W warunku *łatwym* zaobserwowano aktywacje *czołowe* (lewy górny zakręt czołowy – część przyśrodkowa, prawa dodatkowa kora ruchowa, prawy dolny zakręt czołowy – część trójkątna); *ciemieniowe* (prawy dolny zakręt ciemieniowy i zakręt nadbrzeżny) w okolicach *zakrętu obręczy* (lewa przednia część zakrętu obręczy – część nadspoidłowa) oraz w lewej i prawej *wyspie* (tabela 14).

Analizy dla porównań grup osób o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* [WEpc vs NEpc] przeprowadzone osobno dla każdego z poziomów trudności zadania, nie wykazały istotnych różnic w aktywacjach.

Na zaangażowanie czołowych obszarów w percepcję czasu wskazują liczne badania. Natomiast niektórzy badacze podkreślają, że ich rola może wynikać z poznawczych aspektów, takich jak np. uwaga i pamięć, zaangażowanych podczas wykonywania zadania percepcji czasu (Fontes i in., 2016). Jednakże, Livesey i in. (2007) przeprowadzili badanie, podczas którego manipulując trudnością zadania kontrolnego, jednoznacznie wykazali aktywacje m.in. obszarów czołowych, takich jak dolny zakręt czołowy (ang. *inferior frontal gyrus*) podczas wykonywania zadania percepcji czasu. Należy podkreślić, że w badaniu neuroobrazowym prezentowanym w ramach niniejszej rozprawy również uwzględniono zadanie kontrolne, w celu wyeliminowania aktywacji związanych z innymi aspektami poznawczymi, takimi jak wspomniane powyżej pamięć czy uwaga. W związku z tym wynik uzyskany w przeprowadzonym przeze mnie badaniu, może potwierdzać kluczową rolę obszarów czołowych w percepcji czasu. Warto również wspomnieć o metaanalizie przeprowadzonej przez Nani i in. (2019), która prezentuje podłoże neuronalne percepcji czasu w zależności od typu badanej modalności (sensoryczna i motoryczna) oraz czasu trwania bodźców (poziom *milisekundowy* i *sekundowy*; zob. 1.3. *Neuronalne podstawy percepcji czasu*). Na podstawie metaanalizy wyszczególniono obszary, które odpowiadały wzorcowi pobudzenia w każdej ze

wspomnianych konfiguracji (Nani i in., 2019). Tym samym autorzy obok struktur, takich jak: wyspa (ang. *insula*) zakręt obręczy (ang. *cingulate gyrus*), górny zakręt skroniowy (ang. *superior temporal gyrus*), przedmurze (ang. *claustrum*), skorupa (ang. *putamen*), trzon jądra ogoniastego (ang. *caudate body*), wskazali na szczególne zaangażowanie w przetwarzanie czasu właśnie górnych, przysrodkowych i dolnych zakrętów czołowych (ang. *superior, medial, inferior frontal gyri*) oraz zakrętu przedśrodkowego (ang. *precentral gyrus*). Co więcej, aktywacja dodatkowej kory ruchowej zaobserwowana w przeprowadzonych przeze mnie badaniach, także znajduje uzasadnienie w danych literaturowych. Jak wspomniano we *Wstępie* (zob. 1.3. *Neuronalne podstawy percepcji czasu*), autorzy (Wiener i in., 2010; Nani i in., 2019) również wskazali na aktywacje dodatkowej kory ruchowej. Badania przeprowadzone przez Schwartze i in. (2012), nie tylko potwierdzają zaangażowanie dodatkowej kory ruchowej w percepcję czasu, ale również dokonują rozróżnienia topograficznego, ukazując dziobowo-ogonowy (ang. *rostro-caudal*) gradient w zależności od długości przetwarzanego interwału czasowego. Schwartze i in. (2012) wykazali, że dziobowa (ang. *rostral*) część dodatkowej kory ruchowej związana była m.in. z przetwarzaniem czasu na poziomie *sekundowym* w przeciwieństwie do części ogonowej (ang. *caudal*), która to uczestniczyła w procesach przetwarzania czasu na poziomie *milisekundowym*. Na zaangażowanie lewostronnej dodatkowej kory ruchowej wskazuje także Mondok i Wiener (2023). Według badaczy dodatkowa kora ruchowa jest kluczowym komponentem sieci neuronalnej w procesie przetwarzania czasu, pomimo iż jego istotną rolę również dokumentuje się w procesach poznawczych, na przykład planowaniu sekwencji ruchów. Kontrargumentów na rolę dodatkowej kory ruchowej w percepcji czasu dostarczają Mioni i in. (2020b), którzy dokonali przeglądu badań w tym zakresie z użyciem nieinwazyjnych metod stymulacji. Okazało się, że raportowane badania nie dokumentują wpływu stymulacji dodatkowej kory ruchowej na percepcję czasu. Niemniej jednak, w badaniach przeprowadzonych w ramach

niniejszej rozprawy, aktywność dodatkowej kory ruchowej ujawniła się w każdym z analizowanych warunków (*trudny, średni, łatwy*), tym samym podkreślając jej istotną rolę w percepcji czasu niezależnie od efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* i trudności zadania.

Uzyskane przez mnie wyniki wykazały również obustronną aktywację wyspy, co wpisuje się w dotychczasowe badania. Badacze (Kosillo i Smith, 2010) zwracają uwagę na to, że kora wyspy aktywuje się podczas zadań percepcji czasu na poziomie zarówno *milisekundowym*, jak i *sekundowym*, a jej zaangażowanie zmienia się wraz z trudnością zadania. Pomimo, iż najczęściej obserwuje się obustronną aktywację wyspy, to w niektórych badaniach widać jej prawostronną lateralizację. Hinton i in. (2004) podkreślają, że lateralizacja wyspy podczas zadania percepcji czasu, wynikać może np. ze stosowanych przez osoby badane strategii pomocniczych. Mianowicie zaangażowanie lewostronnej kory wyspy może być konsekwencją zastosowania strategii językowych (np. liczenie). Natomiast, co zaskakujące, Kosillo i Smith (2010) wysnuli tezę, że być może aktywacja wyspy odzwierciedla tak naprawdę jej zaangażowanie w proces rozróżniania bodźców – niezależnie czy jest to zadanie z zakresu rozróżniania długości bodźców czy intensywności koloru. Natomiast wyniki otrzymane w ramach niniejszej pracy wskazują, że aktywacja wyspy została zaobserwowana pomimo porównania aktywacji w stosunku do zadania *kontrolnego*, które również dotyczyło procesów rozróżniania (pytanie w bloku *kontrolnym: który bodziec był wyższy?*). Dodatkowo na związek percepcji czasu z aktywacją wyspy wskazuje praca zaprezentowana przez Vicario i in. (2020). Badacze odwołują się do danych, z których wynika, że w stanach klinicznych z zaburzeniami interocepcji, za którą odpowiada wyspa (np. schizofrenii, depresji, ADHD), obserwuje się również zaburzenia percepcji czasu. Dodatkowo zauważyli, że obniżona aktywność wyspy związana była z przeszacowywaniem interwałów czasowych, natomiast zwiększona aktywność wyspy z ich niedoszacowaniem. Reasumując, aktywności obserwowane w wynikach badań

przeprowadzonych w ramach niniejszej rozprawy, podkreślają zaangażowanie wyspy w percepcję czasu.

Uzyskane przeze mnie wyniki wskazują na zaangażowanie obszarów ciemieniowych i kory obręczy w percepcję czasu. Obserwacja ta jest również zgodna z danymi literaturowymi. Poutas i in. (2005) ujawnili większą aktywność w warunku *sekundowym* w porównaniu do *milisekundowego* m.in. w przedniej części kory obręczy (ang. *anterior cingulate cortex*). Również Lewis i Miall (2003) wskazali na aktywacje lewego płacika ciemieniowego dolnego (ang. *inferior parietal lobule*) i lewej tylnej bruzdy obręczy (ang. *posteriori cingulate sulcus*) w porównaniu warunku *sekundowego* do *milisekundowego*. Natomiast Lewis i Miall (2003) podkreślają, że aktywacje te wynikać mogły z dłuższego zaangażowania uwagi podczas wykonywania warunku *sekundowego*. W badaniach przeprowadzonych w ramach niniejszej rozprawy, zaobserwowano aktywacje kory ciemieniowej i zakrętu obręczy tylko w warunku *łatwym*, co istotnie mogłoby wskazywać na zaangażowanie tych struktur w procesy poznawcze ze względu na wzrost obciążenia pamięci roboczej podczas wykonywania tego zadania. Mając na uwadze, iż przeprowadzone analizy uwzględniały zadanie kontrolne, można domniemywać, że aktywacja tych obszarów związana jest bardziej z percepcją czasu.

Warto wspomnieć, że stosowana trudność zadania związana była z różną długością użytych bodźców, które odzwierciedlały poziom *milisekundowy* (warunek *trudny*) oraz *sekundowy* (warunek *średni* i *łatwy*). Jak zostało wspomniane we *Wstępie* (zob. *1.1. Percepcja czasu – terminologia i problematyka*) rozróżnienie interwałów czasowych ma przełożenie na obserwowane aktywacje mózgowie, ponieważ wcześniejsze prace sugerowały, że percepcja czasu na poziomie *milisekundowym* i *sekundowym* może być związana z odmiennymi strukturami (Lewis i Miall, 2003). Wspomniana metaanaliza przeprowadzona przez Nani i in. (2019), dostarcza nowych danych, które uprawomocniają otrzymane w ramach niniejszej pracy wyniki. Nani i in. (2019) wśród struktur odpowiedzialnych za percepcję czasu na poziomie

milisekundowym (modalność sensoryczna) wymieniają struktury podkorowe (lewa skorupa; prawy trzon jądra ogoniastego; prawa gałka błada – ang. *globus pallidus*; lewe przedmurze), obustronną wyspę, okolice lewego zakrętu obręczy, prawego górnego zakrętu skroniowego i okolice czołowe (lewy środkowy, przyśrodkowy i dolny zakręt czołowy, prawy górny zakręt czołowy, lewy zakręt przedśrodkowy). Natomiast na poziomie *sekundowym* (modalność sensoryczna) wyodrębnili tylko dwie struktury podkorowe, takie jak lewe przedmurze oraz skorupa i pozostałe, tj. prawą wyspę, okolice prawego zakrętu obręczy, okolice ciemieniowe (prawy płacik ciemieniowy dolny), prawy górny zakręt skroniowy (ang. *superior temporal gyrus*), okolice czołowe (prawy górny, środkowy, przyśrodkowy, dolny zakręt czołowy; lewy środkowy, przyśrodkowy i dolny zakręt czołowy oraz obustronny zakręt przedśrodkowy). Jak można zauważyć, na poziomie *milisekundowym* więcej aktywacji pojawiło się w obszarach podkorowych. Natomiast w warunku *sekundowym* pojawiła się aktywacja obszarów ciemieniowych. W badaniach przeprowadzonych w ramach niniejszej rozprawy, także zostały zaobserwowane aktywacje obszarów ciemieniowych w warunku *sekundowym* (warunek *średni i łatwy*). Natomiast w odniesieniu do aktywacji obszarów podkorowych nie zauważono istotnych aktywacji w tych rejonach. Potencjalne wytłumaczenia zaobserwowanego zjawiska mogą odnosić się do tego, iż pobudzenie obszarów podkorowych częściej raportowane jest w zadaniach na poziomie *milisekundowym*. Pomimo tego, iż w przeprowadzonych przeze mnie badaniach warunek *trudny* odnosi się do poziomu *milisekundowego*, być może zastosowana skala czasowa (łączna długość bodźców wynosiła 850 ms) jest zbyt bliska poziomowi *sekundowemu*. Drugie potencjalne wytłumaczenie znajduje potwierdzenie w badaniach przeprowadzonych przez Üstün i in. (2017). Ich celem było rozróżnienie struktur skojarzonych z percepcją czasu i tych związanych z pamięcią roboczą. W zadaniu percepcji czasu badacze odkryli pobudzenie w obszarach: czołowo-ciemieniowych, dodatkowej kory ruchowej, przedniej części wyspy i jąder podstawnych. Natomiast podczas zadań na pamięć roboczą

zanotowano aktywacje w obszarach czołowo-ciemieniowych, przedniej części kory obręczy, mózdzku (ang. *cerebellum*) i również w obszarach jąder podstawnych. Jak można zauważyć w cytowanych badaniach, aktywacja jąder podstawnych ujawniła się zarówno w zadaniu mierzącym percepcję czasu, jak i w zadaniu pamięci roboczej. Być może w przeprowadzonym przeze mnie badaniu, również pojawiła się aktywacja zarówno w zadaniu *eksperymentalnym* mierzącym percepcję czasu, jak i w zadaniu *kontrolnym* służącym wyeliminowaniu aktywacji związanych z procesowaniem samego zadania. W takiej sytuacji zastosowane kontrasty (blok *eksperymentalny* > blok *kontrolny*) spowodowałyby zniesienie się aktywacji jąder podstawnych.

Odnosząc się do różnic międzygrupowych [WEpc vs NEpc], nie wykazano wzorca struktur zaangażowanych w percepcję czasu w zależności od jej efektywności na poziomie *milisekundowym*. Przyczyn takiego wyniku można upatrywać w samej charakterystyce zastosowanego *Zadania Różnicowania Długości Bodźców*. Na podstawie statystyk opisowych (tabela 10; rycina 25) możemy zauważyć, że wykonanie zadania nie było znacząco różne wśród osób z grupy WEpc i NEpc, co istotnie mogło wpłynąć na obserwowany brak różnic międzygrupowych w aktywowanych obszarach.

Reasumując otrzymane wyniki – wzorec struktur mózgowych zaangażowanych w percepcję czasu obejmuje struktury kluczowe w percepcji czasu – aktywne niezależnie od efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*, takie jak: okolice czołowe i wyspy (dla wszystkich warunków). Ponadto niniejsze badania wskazały, że wraz ze zmieniającą się trudnością zadania wzorec struktur kluczowych zaangażowanych w percepcję czasu zmieniał się. W warunku *trudnym* i *średnim* pojawiły się aktywacje w okolicach czołowych, natomiast w warunku *łatwym*, obok aktywacji w okolicach czołowych, zaobserwowano również aktywacje w okolicach ciemieniowych, zakrętu obręczy i wyspy. Nie udało się określić wzorca

struktur zaangażowanych w zadanie percepcji czasu w zależności od efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*.

Oznacza to, że jedynie częściowo potwierdzono założenia postawionej hipotezy, określając tylko struktury kluczowe w percepcji czasu, których wzór zaangażowania różnił się w zależności od trudności zadania, odzwierciedlonego w zastosowanych poziomach czasowych.

5.5. Ograniczenia przeprowadzonych badań i dalsze kierunki prac badawczych

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy obciążone są również pewnymi ograniczeniami, które mogą mieć wpływ na otrzymane zależności i sposób ich interpretacji. Świadomość ich może przyczynić się do zwiększenia rzetelności i trafności podczas projektowania przyszłych badań z zakresu percepcji czasu, a tym samym znacząco wpłynąć na rozwój nauki w tym zakresie.

Prowadzone badania miały charakter podłużny – składały się z części behawioralnej i neuroobrazowej oddzielonej kilkumiesięczną przerwą. Czas trwania projektu zbiegł się z czasem pojawienia się pandemii COVID-19, co wymusiło dwukrotne wstrzymanie badań. Dodatkowo prowadzenie badań z zastosowaniem zasad sanitarno-epidemiologicznych, znacząco wydłużyło ich trwanie. W konsekwencji zaproszenie osób badanych do udziału w drugiej, neuroobrazowej części projektu, po upływie tak długiego czasu wiązało się ze znacznym zmniejszeniem liczby osób w grupach (np. ze względu na pojawienie się przeciwwskazań medycznych lub zmianę miejsca zamieszkania).

Warto także wspomnieć, że pomimo kontroli formalnego wykształcenia muzycznego, nie uwzględniano indywidualnych umiejętności w tym zakresie. Oznacza to, że wśród badanych pojawiły się osoby, które posiadały umiejętność gry na instrumencie muzycznym oraz pobierały lekcje doskonalące je w tym zakresie. Zgodnie z literaturą jest to czynnik, który może wpłynąć na lepsze zdolności z zakresu szeroko rozumianej percepcji czasu (Rammsayer i in., 2012). Dlatego też podczas projektowania przyszłych badań dotyczących tego zagadnienia, warto uwzględnić czynnik treningu muzycznego.

W kontekście zastosowanych procedur behawioralnych należy mieć na uwadze monomodalność stosowanych bodźców (słuchowych) w zadaniach przeznaczonych do oceny efektywności percepcji czasu (w części behawioralnej). Pomimo tego, że literatura dostarcza danych na temat braku różnic pomiędzy modalnościami w zakresie efektywności percepcji

czasu w domenie *milisekundowej*, ciekawym byłoby zbadanie zależności pomiędzy poziomami czasowymi z wykorzystaniem bodźców różnych modalności.

Odnosząc się do części neuroobrazowej projektu warto wspomnieć o małej liczebności grup. Wynikało to ze wspomnianych wyżej trudności (pojawienie się przeciwwskazań medycznych czy zmiana miejsca zamieszkania). Ponadto zastosowane okno akwizycji (liczba przekrojów = 36) spowodowało konieczność wyłączenia z badań aż 6 osób z powodu znacząco pominiętych fragmentów mózgu podczas skanowania. Dodatkowo spodziewano się wykazać różnice w aktywacjach między grupami. Braku istotnych różnic można upatrywać m.in. w charakterystyce zastosowanego zadania w skanerze rezonansu magnetycznego (zob. 3.2. *Procedura*). W dalszych badaniach warto byłoby wykorzystać zadanie, którego wykonanie między grupami byłoby bardziej zróżnicowane.

Podsumowując, pomimo wymienionych wyżej ograniczeń, otrzymane wyniki z powodzeniem dostarczają wniosków podkreślających istotną rolę efektywności percepcji czasu w funkcjonowaniu jednostki. W związku z tym uważam, że dalsze kierunki badań powinny podejmować próbę sprawdzenia tych zależności w szerszym kontekście funkcjonowania poznawczego.

5.6. Podsumowanie i wnioski

W ramach niniejszej rozprawy wyselekcjonowano dwie grupy osób charakteryzujące się wysoką oraz niską efektywnością percepcji czasu w domenie *milisekundowej* – bazowej dla funkcjonowania człowieka. Zgodnie z założeniami *hierarchicznego modelu percepcji czasu* spodziewano się uzyskać analogiczną zależność w kontekście efektywności percepcji czasu w domenie *sekundowej*. Wykazano, że osoby o wysokiej i niskiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* przejawiały odpowiednio wysoką lub niską efektywność w domenie *sekundowej*. Tym samym potwierdzono związek między domenami percepcji czasu.

Kolejno porównano sprawność funkcjonowania poznawczego pomiędzy dwoma grupami. Osoby z grupy o wysokiej efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej* wykazały się lepszą zdolnością planowania, wydajniejszą pamięcią roboczą oraz sprawniejszą uwagą w porównaniu do osób z grupy o niskiej efektywności. Wyniki te pozwoliły na potwierdzenie związku pomiędzy efektywnością percepcji czasu w domenie *milisekundowej* a funkcjonowaniem poznawczym.

Ponadto w badaniu neuroobrazowym wyszczególniono struktury kluczowe w percepcji czasu, czyli aktywne niezależnie od efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*, w okolicach czołowych i wyspy (dla wszystkich warunków). Dodatkowo wraz ze zmieniającą się trudnością zadania, zmieniał się wzorzec struktur mózgowych zaangażowanych w zadanie percepcji czasu. W warunku *trudnym* i *średnim* pojawiły się aktywacje w okolicach czołowych, natomiast w warunku *łatwym*, obok aktywacji w okolicach czołowych, zaobserwowano również aktywacje w okolicach ciemieniowych, zakrętu obręczy i wyspy. Natomiast nie zaobserwowano aktywacji struktur dodatkowych, czyli aktywnych w zależności od efektywności percepcji czasu na poziomie *milisekundowym*. Ta obserwacja nie była zgodna z przyjętym założeniem. Tym samym tylko częściowo udało potwierdzić się postawioną hipotezę na temat neuronalnych podstaw percepcji czasu.

Podsumowując, wnioski płynące z przeprowadzonych badań są następujące:

- efektywność percepcji czasu na poziomie *milisekundowym* stanowi bazę dla:
 - efektywności percepcji czasu na poziomie *sekundowym*;
 - sprawności funkcjonowania poznawczego (planowanie, pamięć robocza, uwaga);
- wśród struktur mózgowych kluczowych w percepcji czasu wymienić należy obszary czołowe, ciemieniowe, wyspy i zakrętu obręczy (w zależności od trudności procesów związanych z percepcją czasu);
- nie wykazano różnic w podłożu neuronalnym wynikających z efektywności percepcji czasu w domenie *milisekundowej*

6. BIBLIOGRAFIA

1. Allman, M. J., & Meck, W. H. (2012). Pathophysiological distortions in time perception and timed performance. *Brain*, *135*(3), 656–677.
2. Bao, Y., Szymaszek, A., Wang, X., Oron, A., Pöppel, E., & Szelag, E. (2013). Temporal order perception of auditory stimuli is selectively modified by tonal and non-tonal language environments. *Cognition*, *129*(3), 579-585.
3. Bartholomew, A. J., Meck, W. H., & Cirulli, E. T. (2015). Analysis of Genetic and Non-Genetic Factors Influencing Timing and Time Perception. *PLOS ONE*, *10*(12), e0143873.
4. Basgol, H., Ayhan, I., & Ugur, E. (2021). Time perception: A review on psychological, computational, and robotic models. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, *14*(2), 301-315.
5. Baszuk, M. (2023). *Rola treningu poznawczego w usprawnianiu umysłu seniora - badania neuropsychologiczne i elektrofizjologiczne*. Nieopublikowana rozprawa doktorska, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
6. Block, R. A., & Zakay, D. (1996). Models of psychological time revisited. *Time and mind*, *33*(9), 171-195.
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. Church, R. M. (1984). Properties of the internal clock. *Annals of the New York Academy of sciences*, *423*, 566-582.
9. Czachorowska, M. (2022). Time and Other Temporal Terms in Polish Proverbs. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio FF – Philologiae*, *40*(1), 187–204.

10. Dacewicz, A. (2018). *Zastosowanie treningu czasowego opracowywania informacji w rehabilitacji dzieci ze specyficznym zaburzeniem rozwoju mowy i języka (SLI)*. Nieopublikowana rozprawa doktorska, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
11. Dacewicz, A., Nowak, K., & Szelag, E. (2016). Temporal Information Processing and Language Skills in Children with Specific Language Impairment. *Recent Advances in Nonlinear Speech Processing*, 45-52.
12. Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64(1), 135-168.
13. Fontes, R., Ribeiro, J., Gupta, D. S., Machado, D., Lopes-Júnior, F., Magalhães, F., Bastos, V. H., Rocha, K., Marinho, V., Lima, G., Velasques, B., Ribeiro, P., Orsini, M., Pessoa, B., Araujo Leite, M. A., & Teixeira, S. (2016). Time perception mechanisms at central nervous system. *Neurology International*, 8(1), 5939.
14. Fostick, L., Ben-Artzi, E., & Babkoff, H. (2011). Stimulus-Onset-Asynchrony as the Main Cue in Temporal Order Judgment. *Audiology Research*, 1(1), e5.
15. Fostick, L., Lifshitz-Ben-Basat, A., & Babkoff, H. (2019). The effect of stimulus frequency, spectrum, duration, and location on temporal order judgment thresholds: Distribution analysis. *Psychological Research*, 83(5), 968–976.
16. Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of sciences*, 423(1), 52-77.
17. Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(3), 561–582.

18. Hinton, S. C., Harrington, D. L., Binder, J.R., Durgerian, S., & Rao S.M. (2004) Neural systems supporting timing and chronometric counting: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 21(2), 183–192.
19. Jablonska, K., Piotrowska, M., Bednarek, H., Szymaszek, A., Marchewka, A., Wypych, M., & Szelag, 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.
20. Jablonska, K., Stanczyk, M., Piotrowska, M., Szymaszek, A., Lukomska, B., Bednarek, H., & Szelag, E. (2022). Age as a moderator of the relationship between planning and temporal information processing. *Scientific Reports*, 12(1), 1548.
21. Kaller, C. P., Unterrainer, J. M., Kaiser, S., Weisbrod, M. & Aschenbrenner, S. Tower of London—Freiburg Version (Schuhfried, 2012).
22. Kok, A. (2019). Perception and action. W: A. Kok (red.), *Functions of the brain: A conceptual approach to cognitive neuroscience* (s. 213-220). Routledge.
23. Kolodziejczyk, I., & Szelag, E. (2008). Auditory perception of temporal order in centenarians in comparison with young and elderly subjects. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 68(3), 373-381.
24. Kosillo, Á., & Smith, A. T. (2010). The role of the human anterior insular cortex in time processing. *Brain Structure and Function*, 214, 623-628.
25. Lad, S. S., Hurley, R. A., & Taber, K. H. (2020). Temporal Processing: Neural Correlates and Clinical Relevance. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 32(2), A6-108.
26. Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003). Brain activation patterns during measurement of sub-and supra-second intervals. *Neuropsychologia*, 41(12), 1583-1592.

27. Linares Gutierrez, D., Kübel, S., Giersch, A., Schmidt, S., Meissner, K., & Wittmann, M. (2019). Meditation-induced states, vagal tone, and breathing activity are related to changes in auditory temporal integration. *Behavioral Sciences*, 9(5), 51.
28. Livesey, A. C., Wall, M. B., & Smith, A. T. (2007). Time perception: Manipulation of task difficulty dissociates clock functions from other cognitive demands. *Neuropsychologia*, 45(2), 321–331.
29. Merchant, H., Harrington, D. L., & Meck, W. H. (2013). Neural Basis of the Perception and Estimation of Time. *Annual Review of Neuroscience*, 36(1), 313–336.
30. Mioni, G., Capizzi, M., & Stablum, F. (2020a). Age-related changes in time production and reproduction tasks: Involvement of attention and working memory processes. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 27(3), 412–429.
31. Mioni, G., Grondin, S., Bardi, L., & Stablum, F. (2020b). Understanding time perception through non-invasive brain stimulation techniques: A review of studies. *Behavioural Brain Research*, 377, 112232.
32. Mondok, C., & Wiener, M. (2023). Selectivity of timing: A meta-analysis of temporal processing in neuroimaging studies using activation likelihood estimation and reverse inference. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 1000995.
33. Nani, A., Manuello, J., Liloia, D., Duca, S., Costa, T., & Cauda, F. (2019). The Neural Correlates of Time: A Meta-analysis of Neuroimaging Studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(12), 1796–1826.
34. 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.

35. Nowak, K., Dacewicz, A., Broczek, K., Kupisz-Urbanska, M., Galkowski, T., & Szelag, E. (2016). Temporal information processing and its relation to executive functions in elderly individuals. *Frontiers in Psychology, 7*, 216977.
36. Peelle, J. E. (2014). Methodological challenges and solutions in auditory functional magnetic resonance imaging. *Frontiers in neuroscience, 8*, 253.
37. Pöppel, E. (1997). A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences, 1*(2), 56–61.
38. Pöppel, E. (2009). Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364*(1525), 1887–1896.
39. Pouthas, V., George, N., Poline, J.-B., Pfeuty, M., VandeMoortele, P.-F., Hugueville, L., Ferrandez, A.-M., Lehericy, S., LeBihan, D., & Renault, B. (2005). Neural network involved in time perception: An fMRI study comparing long and short interval estimation. *Human Brain Mapping, 25*(4), 433–441.
40. Pütz, P., Ulbrich, P., Churan, J., Fink, M., & Wittmann, M. (2012). Duration discrimination in the context of age, sex, and cognition. *Journal of Cognitive Psychology, 24*(8), 893–900.
41. Rammsayer, T. H., Buttkus, F., & Altenmüller, E. (2012). Musicians do better than nonmusicians in both auditory and visual timing tasks. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal, 30*(1), 85-96.
42. Rolls, E. T., Huang, C. C., Lin, C. P., Feng, J., & Joliot, M. (2020). Automated anatomical labelling atlas 3. *Neuroimage, 206*, 116189.
43. Schellig, D., Schuri, U. & Arendasy, M. N-Back Non-Verbal (Schuhfried, 2011)
44. Schuhfried, G. *Vienna Test System: Psychological Assessment* (Schuhfried, 2013).

45. Schwartze, M., Rothermich, K., & Kotz, S. A. (2012). Functional dissociation of pre-SMA and SMA-proper in temporal processing. *NeuroImage*, 60(1), 290–298.
46. Schwarzbauer, C., Davis, M. H., Rodd, J. M., & Johnsrude, I. (2006). Interleaved silent steady state (ISSS) imaging: a new sparse imaging method applied to auditory fMRI. *Neuroimage*, 29(3), 774-782.
47. Steinbüchel, von N., i Pöppel, E. (1993). Domains of rehabilitation: a theoretical perspective. *Behavioural brain research*, 56(1), 1-10.
48. Szelaĝ, E., Dacewicz, A., Szymaszek, A., Wolak, T., Senderski, A., Domitrz, I., & Oron, A. (2015). The application of timing in therapy of children and adults with language disorders. *Frontiers in Psychology*, 6, 1714.
49. Szelaĝ, E. & Skolimowska, J. (2012). Cognitive function in elderly can be ameliorated by training in temporal information processing. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 30(5), 419-343.
50. Szelaĝ, E. & Szymaszek, A. (2016). *Dr Neuronowski – Pomysł na bystry umysł i płynną mowę. Usprawnianie zegara neuronalnego wspomaga moc naszego umysłu*. Harpo, Poznań.
51. Szelaĝ, E. (1997). Temporal integration of the brain as studied with the metronome paradigm. W: H. Atmanspacher, E. Ruhnau (red.), *Time, Temporality, Now* (s. 121-131). Springer Verlag.
52. Szelaĝ, E. (1999). „Zegar mózgowy” a procesy mowy w normie i patologii. *Przegląd Psychologiczny*, 42(1-2), 167-182.
53. Szelaĝ, E. (2010). Czy mózg potrzebuje „zegara”? Mechanizmy przeżywania czasu podstawą naszej świadomości. W: G. Sędek G i S. Bedyńska (red.), *Życie na czas. Perspektywy badawcze postrzegania czasu* (s. 189-230). PWN.

54. Szelaĝ, E. (2013). Zegarmistrzowie języczna. *ACADEMIA. Magazyn Polskiej Akademii Nauk*, 30-33.
55. Szelaĝ, E. (2016). Wspomaganie mocy umysłu – fakty, mity i perspektywy. *Wszechświat*, 117(1-3), 12-19.
56. Szelaĝ, E., & Kowalska, J. (1998). "Zegar" naszego mózgu a kształtowanie percepcji słuchowej. *Kosmos*, 47(3), 277–287.
57. Szelaĝ, E., Jablonska, K., Piotrowska, M., Szymaszek, A., & Bednarek, H. (2018). Spatial and Spectral Auditory Temporal-Order Judgment (TOJ) Tasks in Elderly People Are Performed Using Different Perceptual Strategies. *Frontiers in Psychology*, 9, 2557.
58. Szelaĝ, E., Reiser, M., Langen, E., & Pöppel, E. (1996). Temporal constraints in processing of nonverbal rhythmic patterns. *Acta neurobiologiae experimentalis*, 56(1), 215-225.
59. Szelaĝ, E., Szymaszek, A., Mędygrał, J., Dreszer, J., Lewandowska, M., Bednarek, D., Trzęsowska-Greszta, E., Osiński, G. (2010). Czy zegar mózgowy zawsze tyka w jednakowym rytmie: rola różnic indywidualnych w przeżywaniu czasu. W: G. Sędek i S. Bedyńska (red.), *Życie na czas. Perspektywy badawcze postrzegania czasu* (s. 331-362), PWN.
60. Szelaĝ, E., von Steinbüchel, N., & Pöppel, E. (1997). Temporal processing disorders in patients with Broca's aphasia. *Neuroscience letters*, 235(1-2), 33–36.
61. 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.
62. Szymaszek, A., Szelaĝ, E., & Sliwowska, M. (2006). Auditory perception of temporal order in humans: The effect of age, gender, listener practice and stimulus presentation mode. *Neuroscience Letters*, 403(1-2), 190-194.

63. Teixeira, S., Machado, S., Paes, F., Velasques, B., Silva, J., Sanfim, A., Minc, D., Anghinah, R., Menegaldo, L., Salama, M., Cagy, M., Nardi, A., Poppel, E., Bao, Y., Szelag, E., Ribeiro, P., & Arias-Carrion, O. (2013). Time Perception Distortion in Neuropsychiatric and Neurological Disorders. *CNS & Neurological Disorders - Drug Targets, 12*(5), 567–582.
64. Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs: General and Applied, 77*(13), 1.
65. Turgeon, M., Lustig, C., & Meck, W. H. (2016). Cognitive aging and time perception: Roles of Bayesian optimization and degeneracy. *Frontiers in aging neuroscience, 8*, 102.
66. 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.
67. Üstün, S., Kale, E. H., & Çiçek, M. (2017). Neural Networks for Time Perception and Working Memory. *Frontiers in Human Neuroscience, 11*, 83.
68. Vicario, C. M., Nitsche, M. A., Salehinejad, M. A., Avanzino, L., & Martino, G. (2020). Time Processing, Interoception, and Insula Activation: A Mini-Review on Clinical Disorders. *Frontiers in psychology, 11*, 1893.
69. Wiener, M., Turkeltaub, P., & Coslett, H. B. (2010). The image of time: A voxel-wise meta-analysis. *NeuroImage, 49*(2), 1728–1740.
70. Wittmann, M. (2009). The inner experience of time. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364*(1525), 1955–1967.
71. Wittmann, M. (2013). The inner sense of time: How the brain creates a representation of duration. *Nature Reviews Neuroscience, 14*(3), 217–223.

72. Xia, M., Wang, J., & He, Y. (2013). BrainNet Viewer: a network visualization tool for human brain connectomics. *PloS one*, 8(7), e68910.
73. Zhou, S., & Buonomano, D. V. (2022). Neural population clocks: Encoding time in dynamic patterns of neural activity. *Behavioral Neuroscience*, 136(5), 374–382.
74. Zimmermann, P., & Fimm, B. (2007). Test for Attentional Performance (TAP), Version 2.1, Operating Manual. *Herzogenrath: PsyTest*.

7. SPIS RYCIN

<i>Rycina 1.</i> Ilustracja 12 skal czasowych zaangażowanych w mechanizm przetwarzania, przewidywania i stosowania informacji czasowych	15
<i>Rycina 2.</i> Schemat zegarowych modeli percepcji czasu zaproponowany przez Churcha i Gibbona wraz z * elementem bramki uwagowej (model Blocka i Zakaya)	19
<i>Rycina 3.</i> Hierarchiczny model percepcji czasu zaproponowany przez Pöppela (1997)	20
<i>Rycina 4.</i> Najczęściej stosowane kryteria przy rozróżnianiu paradygmatów badawczych dotyczących percepcji czasu	22
<i>Rycina 5.</i> Najczęściej wymieniane struktury mózgowie zaangażowane w proces percepcji czasu	32
<i>Rycina 6.</i> Schemat Zadania Oceny Kolejności Bodźców – warunek rozdzielności	41
<i>Rycina 7.</i> Schemat Zadania Oceny Kolejności Bodźców – warunek obuusznego	42
<i>Rycina 8.</i> Schemat Zadania Subiektywnej Akcentuacji – seria o częstotliwości 4 Hz	45
<i>Rycina 9.</i> Schemat przykładowego wykonywania Zadania Subiektywnej Akcentuacji	47
<i>Rycina 10.</i> Ilustracja schematu próby treningowej w <i>Teście Wieży Londyńskiej</i>	48
<i>Rycina 11.</i> Schemat Zadania N-Wstecz	51
<i>Rycina 12.</i> Schemat Testu Elastyczności Uwagi przedstawiający 3 przykładowe próby	54
<i>Rycina 13.</i> Schemat Testu Podzielności Uwagi	56
<i>Rycina 14.</i> Schemat Zadania Różnicowania Długości Bodźców	63
<i>Rycina 15.</i> Schemat badania w skanerze rezonansu magnetycznego	64
<i>Rycina 16.</i> Średni PPK w Zadaniu Oceny Kolejności Bodźców w dwóch warunkach: rozdzielności i obuusznym dla grup: WEpc, MEpc i NEpc	73
<i>Rycina 17.</i> Zadanie Subiektywnej Akcentuacji – średnia wartość OCI dla każdej z 9 częstotliwości dla grup WEpc i NEpc	77
<i>Rycina 18.</i> Test <i>Wieży Londyńskiej</i> – zdolność planowania, liczba poprawnych rozwiązań i liczba błędów dla grup WEpc i NEpc.	80

<i>Rycina 19. Test Wieży Londyńskiej – czas planowania i czas wykonania dla grup WEpc i NEpc.....</i>	81
<i>Rycina 20. Zadanie N-Wstecz – wartości wskaźnika d' dla grup WEpc i NEpc oraz warunków 2- i 3-wstecz.....</i>	84
<i>Rycina 21. Zadanie N-Wstecz – średni czas detekcji bodźców kluczowych dla grup WEpc i NEpc oraz warunków 2- i 3-wstecz.....</i>	85
<i>Rycina 22. Test Elastyczności Uwagi – średni czas naciśnięć w próbach z poprawnie określonym położeniem kształtu dla grup WEpc i NEpc.....</i>	87
<i>Rycina 23. Test Podzielności Uwagi – średnia liczba detekcji odpowiednich bodźców dla grup WEpc i NEpc.....</i>	89
<i>Rycina 24. Test Podzielności Uwagi – średni czas detekcji bodźców dla grup WEpc i NEpc.</i>	90
<i>Rycina 25. Zadanie Różnicowania Długości Bodźców –poprawność wykonania (%) dla grup WEpc i NEpc.....</i>	92
<i>Rycina 26. Schemat analiz danych neuroobrazowych</i>	93
<i>Rycina 27. Efekt zadania percepcji czasu dla [WEpc + NEpc]</i>	96
<i>Rycina 28. Efekt warunku trudnego dla [WEpc + NEpc].....</i>	98
<i>Rycina 29. Efekt warunku średniego dla [WEpc + NEpc].....</i>	100
<i>Rycina 30. Efekt warunku łatwego dla [WEpc + NEpc].....</i>	103

8. SPIS TABEL

Tabela 1. <i>Przykładowe zadania stosowane w badaniu percepcji czasu</i>	25
Tabela 2. <i>Kryteria kwalifikujące do udziału w projekcie i metody ich weryfikacji</i>	36
Tabela 3. <i>Charakterystyka serii bodźców dźwiękowych prezentowanych z 9 różnymi częstotliwościami</i>	45
Tabela 4. <i>Przeprowadzone analizy statystyczne (część 1 – metoda behawioralna)</i>	58
Tabela 5. <i>Bodźce w trzech warunkach Zadania Różnicowania Długości Bodźców</i>	61
Tabela 6. <i>Kontrasty stworzone w modelu pierwszego poziomu w celu określenia neuronalnego zaangażowania w zadania z bloku eksperymentalnego w stosunku do kontrolnego</i>	67
Tabela 7. <i>Przeprowadzone analizy statystyczne w modelu drugiego poziomu (część 2 – metoda neuroobrazowa)</i>	69
Tabela 8. <i>Charakterystyka grup wyodrębnionych na podstawie Zadania Oceny Kolejności Bodźców</i>	72
Tabela 9. <i>Wyniki Zadania Subiektywnej Akcentuacji – porównania międzygrupowe</i>	76
Tabela 10. <i>Poprawność wykonania Zadania Różnicowania Długości Bodźców dla WEpc i NEpc</i>	91
Tabela 11. <i>Aktywacje w Zadaniu Różnicowania Długości Bodźców dla efektu zadania percepcji czasu dla WEpc + NEpc</i>	95
Tabela 12. <i>Aktywacje w Zadaniu Różnicowania Długości Bodźców dla efektu warunku trudnego dla WEpc + NEpc</i>	97
Tabela 13. <i>Aktywacje w Zadaniu Różnicowania Długości Bodźców dla efektu warunku średniego dla WEpc + NEpc</i>	99
Tabela 14. <i>Aktywacje w Zadaniu Różnicowania Długości Bodźców dla efektu warunku łatwego dla WEpc + NEpc</i>	101

9. SPIS PUBLIKACJI NAUKOWYCH

1. Jablonska, K., **Stanczyk, M.**, Piotrowska, M., Szymaszek, A., Lukomska, B., Bednarek, H. & Szelag, E. (2022). Age as a moderator of the relationship between planning and temporal information processing. *Scientific Reports*, *12*, 1548;
2. Szelag, E., **Stanczyk, M.**, & Szymaszek, A. (2022). Sub- and supra-second timing in auditory perception: evidence for cross-domain relationships. *Frontiers in Neuroscience*, *15*, 812533;
3. **Stanczyk, M.**, Szelag, E., Krystecka, K., & Szymaszek, A. (2023). A common timing mechanism across different millisecond domains: evidence from perceptual and motor tasks. *Scientific Reports*, *13*, 21052;
4. 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*, 14053;
5. Krystecka, K., **Stanczyk, M.**, Magnuski, M., Szelag, E., & Szymaszek, A. (2024). Aperiodic activity differences in individuals with high and low temporal processing efficiency. *Brain Research Bulletin*, *215*, 111010;
6. Krystecka, K., **Stanczyk, M.**, Choinski, M., Szelag, E., Szymaszek, A. (2025) Time to inhibit: P300 amplitude differences in individuals with high and low temporal efficiency. *Cerebral Cortex* – praca zaakceptowana do druku.