

Ocena zdolności do analizowania zdarzeń akustycznych w czasie (podstawy teoretyczne, dostępne testy)

The evaluation of the ability to process the temporal aspects of auditory stimuli: theoretical framework and methods of assessment

Wkład autorów:
A Projekt badania
B Gromadzenie danych
C Analiza danych
D Interpretacja danych
E Przygotowanie pracy
F Przegląd literatury
G Gromadzenie funduszy

Monika Lewandowska^{DEF}, Agnieszka Pluta^{DEF}, Agata Szkiełkowska^E,
Henryk Skarżyński^G

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Warszawa/Kajetany

Streszczenie

Pojęcie czasu znajduje się w kręgu zainteresowań zarówno humanistów (poetów, filozofów), jak i badaczy reprezentujących nauki matematyczno-przyrodnicze (lekarze, fizycy, psychologowie). Coraz więcej klinicystów jest również świadomych, że nieprawidłowa percepcja czasu nie tylko obniża jakość życia pacjentów, lecz także może być symptomem chorób neurologicznych lub psychiatrycznych. Zaburzenia w zakresie percepcji zdarzeń akustycznych w czasie współwystępują m.in. z ośrodkowymi zaburzeniami przetwarzania słuchowego, chorobą Parkinsona, ADHD, autyzmem, schizofrenią. Ze względu na stosunkowo częste występowanie zaburzeń w zakresie percepcji zdarzeń akustycznych w czasie, diagnoza w tym zakresie może mieć dużą wartość kliniczną.

W prezentowanym artykule opisano zarówno najważniejsze paradygmaty badawcze i testy służące do oceny zdolności do analizowania zdarzeń akustycznych w czasie, jak i modele neuropsychologiczne percepcji czasu, niezbędne do zrozumienia zasad tworzenia testów.

Słowa kluczowe: percepcja czasu • CAPD • testy do oceny zdarzeń akustycznych w czasie

Abstract

The notion of time is of interest of humanists (poets, philosophers) as well as of researchers in the field of mathematical and natural sciences (medical practitioners, psychologists, physicists). A growing number of clinicians become aware that temporal processing impairments not only result in the reduced quality of life but may also occur as symptoms of severe neurological or psychiatric conditions. Temporal processing impairments show comorbidity with e.g. CAPD, Parkinson's Disease, ADHD, autism and schizophrenia, and occur relatively frequently, hence their diagnosis may be of considerable clinical significance. The following paper outlines the most significant, theoretical frameworks and temporal processing assessment tests, as well as neuropsychological models relevant to proper understanding of the guidelines for preparing such tests.

Key words: time perception • CAPD • temporal processing assessment

Wprowadzenie

Pojęcie czasu znajduje się w kręgu zainteresowań zarówno humanistów, jak i badaczy reprezentujących nauki matematyczno-przyrodnicze. Intensywne badania tej problematyki zaowocowały opracowaniem wielu modeli teoretycznych percepcji czasu. Do najważniejszych z nich należą: model Fraisse'a, modele zegarowe, modele dynamicznych sieci neuronalnych oraz hierarchiczne modele czasowego

opracowywania informacji stanowiące rozwinięcie teorii Freisse'a [1]. Omawianie koncepcji teoretycznych percepcji czasu nie jest celem poniższego artykułu, ale warto wspomnieć, że spośród wymienionych modeli, hierarchiczny model czasowego opracowywania informacji cieszy się dużą popularnością wśród badaczy ze względu na możliwość operacjonalizacji.

Adres autora: Monika Lewandowska, Światowe Centrum Słuchu, Naukowe Centrum Obrazowania Biomedycznego, ul. Mokra 17, Kajetany, 05-830 Nadarzyn, e-mail: m.lewandowska@ifps.org.pl

Zgłoszono: 05.09.2016
Zaakceptowano: 01.03.2017
Opublikowano: 31.03.2017

Coraz więcej badaczy oraz klinicystów podkreśla również, że nieprawidłowa percepcja czasu wpływa negatywnie na wiele procesów poznawczych wyższego rzędu [2], a nawet może być symptomem chorób neurologicznych lub psychiatrycznych. Zaburzenia w zakresie percepcji zdarzeń akustycznych w czasie współwystępują m.in. z ośrodkowymi zaburzeniami przetwarzania słuchowego (ang. *Central Auditory Processing Disorders*, CAPD). Ośrodkowe zaburzenia przetwarzania słuchowego są zespołem objawów, a etiologia CAPD nie została jak dotąd dobrze poznana. CAPD mogą towarzyszyć zaburzenia strukturalne lub funkcjonalne mózgu [3–5].

Ze względu na stosunkowo częste występowanie zaburzeń percepcji zdarzeń akustycznych w czasie, diagnoza w tym zakresie może mieć dużą wartość kliniczną. Testy mierzące zdolność do analizy zdarzeń akustycznych w czasie wchodzi w skład większości baterii przesiewowych stosowanych w diagnostyce CAPD. Znajduje to swoje uzasadnienie we wspomnianych powyżej hierarchicznych modelach czasowego opracowywania informacji [6–9]. W ramach tego modelu zostały wyróżnione dwa odmienne zjawiska czasowe: czas obiektywny, pojmowany w sensie fizycznym, i czas subiektywny, odbierany przez narządy zmysłów. Pierwszy z nich płynie równomiernie, niezależnie od zachodzących zdarzeń. Czas subiektywny ma charakter nieciągły i jest wyznaczany przez mechanizmy neuronalne funkcjonujące w mózgu. Model ten zakłada istnienie 4 następujących zjawisk czasowych, które mają również odmienną reprezentację mózgową [9]: jednoczesność vs. niejednoczesność, następstwo, łańcuchowość i trwanie.

Dystynkcja „jednoczesność vs. niejednoczesność” odnosi się do obserwacji, że dwa bodźce oddzielone przerwą poniżej kilku milisekund wydają się nam jednoczesne. Spostrzeżenie ich jako dwóch odrębnych zdarzeń staje się możliwe dopiero wówczas, gdy odstęp między nimi wydłuża się. Długość minimalnej przerwy między dwoma bodźcami potrzebnej do spostrzeżenia ich jako niejednoczesnych zależy od modalności prezentowanych bodźców (dla słuchu wynosi 2–5 ms).

Wrażenie niejednoczesności bodźców słuchowych, wzrokowych czy dotykowych jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym do określenia ich kolejności w czasie. Wykazują to wyniki wielu badań eksperymentalnych [10–13], w których prezentowano kolejno, jeden po drugim, dwa bodźce i wyznaczano najkrótszą przerwę między nimi potrzebną, aby poprawnie rozpoznać ich kolejność. Przerwa ta, nazwana progiem postrzegania kolejności (ang. *Temporal Order Threshold*, PPK), była dłuższa niż ok. 30 ms [14]. Ponadto PPK był niezależny od modalności zmysłowej. Istnieje wiele dowodów potwierdzających, że 30-milisekundowy odcinek czasu jest kluczowy nie tylko dla rozpoznawania kolejności, lecz także dla innych aspektów opracowywania informacji.

Kolejna zasada związana z percepcją czasu odnosi się do łańcuchowości. Według teorii Pöppela ‘teraz’ trwa ok. 2–3 sekundy. Kolejny odcinek czasu trwający 2–3 sekundy jest odbierany jako nowa łańcuchowość. Informacje docierające do nas w ramach tych kilkusekundowych odcinków stanowią pewną całość, a nie sekwencję pojedynczych zdarzeń, co stanowi przejaw działania tzw. mechanizmu

integracyjnego. Istnienie mechanizmu integracyjnego potwierdzają zarówno sytuacje życia codziennego, jak i wyniki badań eksperymentalnych. Na przykład w płynnej mowie po 2–3 s mówienia następuje krótka pauza. Podobna rytmizacja występuje także w języku migowym czy w muzyce klasycznej. Niektóre czynności, które zazwyczaj wykonujemy automatycznie, np. podawanie ręki na przywitanie, pukanie do drzwi itp., zazwyczaj trwają kilka sekund, niezależnie od kultur i grup etnicznych [15].

Jednym z modeli eksperymentalnych mechanizmu integracyjnego jest tzw. subiektywna akcentuacja. Polega ona na nadawaniu własnego rytmu niektórym uderzeniom metronomu poprzez łączenie w myślach kilku uderzeń. Okazuje się, że integracja ta odbywa się zazwyczaj w czasie krótszym niż 3 s, co oznacza, że osoba badana w przypadku tempa 1 uderzenie na sekundę może scalić ok. 3 dźwięki.

Innym modelem eksperymentalnym do badania mechanizmu integracji informacji jest reprodukcja (odtworzenie) interwałów czasowych. Osoba badana proszona o odtworzenie zaprezentowanego jej uprzednio odcinka czasu, najdokładniej reprodukuje wzorzec trwający właśnie ok. 2–3 s [8]. Przypuszcza się, że jest to efektem dokładniejszej reprodukcji wzorców o czasie trwania preferowanym przez nasz mózg, wyznaczonym przez działanie mechanizmu integracji informacji. Stąd 3-sekundowe odcinki są odtwarzane najdokładniej, podczas gdy krótsze są często przeceniane, a dłuższe niedoceniane. Mechanizm integracyjny daje nam poczucie przeżywania łańcuchowości i pozwala utrzymać określoną informację przez kilka sekund. Po upływie tego czasu w miejsce starej informacji pojawia się nowa i następuje kolejne subiektywne ‘teraz’.

Pomimo opisanej wyżej segmentacji zdarzeń, mamy subiektywne poczucie, że czas płynie w sposób ciągły. Prawdopodobnie jest to efekt działania mechanizmu mózgowego wiążącego kolejne odcinki czasu w pewien łańcuch myślowy. Mechanizm ten związany jest prawdopodobnie z udziałem procesów pamięciowych.

Poznanie mechanizmów leżących u podstaw percepcji czasu umożliwiło opracowanie testów oraz prób klinicznych służących do diagnozy różnych aspektów przetwarzania słuchowego.

Testy oceniające czasowe aspekty przetwarzania słuchowego

Wśród testów oceniających zdolność do analizowania bodźców akustycznych w czasie można odnaleźć te, które odnoszą się do ww. zjawisk czasowych. Poniżej zostaną opisane testy odpowiadające poszczególnym poziomom opracowywania informacji czasowej (kilka milisekund, kilkadziesiąt milisekund i kilka sekund).

Testy mierzące opracowywanie informacji czasowej na poziomie kilku milisekund

Sprawność w zakresie opracowywania informacji czasowej na poziomie kilku milisekund mierzą zadania polegające na wykrywaniu przerw w krótkich bodźcach, przeważnie słuchowych lub wzrokowych (ang. *Gap Detection Tests*). Test wykrywania przerw w dźwiękach wchodzi

Tabela 1. Bodźce w RGDT
Table 1. Stimuli used in RGDT

| Podtest | Rodzaj bodźca | Czas trwania bodźców | Kolejność prezentacji przerw |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|
| Trening/badanie przesiewowe | 500 Hz, pary tonów | 15 ms | rosnąco |
| Bodźce tonalne 1 | 500 Hz, pary tonów | 15 ms | losowo |
| Bodźce tonalne 2 | 1 kHz, pary tonów | 15 ms | losowo |
| Bodźce tonalne 3 | 2 kHz, pary tonów | 15 ms | losowo |
| Bodźce tonalne 4 | 4 kHz, pary tonów | 15 ms | losowo |
| Trening/badanie przesiewowe | pary klików | 1 ms | rosnąco |
| Kliki | pary klików | 1 ms | losowo |

w skład wielu baterii przesiewowych do oceny CAPD (np. MAPY; Schow i wsp. 2007), które zostały wystandaryzowane i znormalizowane w poszczególnych krajach [16,17].

Test wykrywania przerw w bodźcach słuchowych funkcjonuje w wielu wersjach. Różnice dotyczą rodzaju dźwięku, w którym występują przerwy (biały szum, tony), sposobu prezentacji stymulacji, procedury przeprowadzania badania, algorytmu obliczania wyników. Poniżej opisano 4 komercyjnie dostępne testy wykrywania przerw, stosowane do oceny ośrodkowych procesów słuchowych.

Testy wykrywania przerw można podzielić na 'wewnętrzne' i 'międzykanałowe' [18]. W testach 'wewnętrznych' dźwięk poprzedzający przerwę jest identyczny jak dźwięk następujący po niej, czyli przerwa pojawia się w środku bodźca słuchowego. Najkrótsza przerwa, którą osoba badana potrafi wykryć, tj. próg wykrywania przerw, wynosi wówczas ok. 2 ms. Z kolei w testach 'międzykanałowych' bodźce słuchowe prezentowane przed przerwą i po niej są inne. W tej sytuacji próg wykrywania przerw jest znacznie dłuższy (ok. 35 ms). Przykładowy test zostanie dokładniej opisany w części poświęconej zjawisku terazniejszości.

A) Test wykrywania losowych przerw (ang. *Random Gap Detection Test*, RGDT; Keith 2000, 2002)

Test polega na prezentacji tonów lub klików w parach. Odstęp między dźwiękami w parach są stałe i wynoszą: 0, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 lub 40 ms. W sesji treningowej przerwy prezentowane są w kolejności rosnącej, a we właściwym zadaniu – losowo. Bodźce prezentuje się na poziomie 55 dB SL w pomieszczeniu izolowanym akustycznie. RGDT jest dostępne na CD (AudiTec Ltd, St Louis) i składa się z 7 części (tabela 1). Oblicza się najkrótszą przerwę, przy której osoba badana raportuje, że słyszy dwa oddzielne dźwięki.

B) Test wykrywania przerw w szumie (ang. *Gaps-In-Noise*, GIN)

Materiał testowy stanowi seria 6-sekundowych segmentów szumu szerokopasmowego zawierająca od 0 do 3 przerw w każdym z segmentów i prezentowanego jednoczesnie na poziomie 50 dB SL. Przerwa między kolejnymi segmentami wynosi 5 s, a odstępy między przerwami: 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, lub 20 ms. Najmniejszy odstęp między kolejnymi przerwami wnosi 500 ms. Zarówno długość trwania

przerw, ich rozmieszczenie, jak i liczba w segmentach jest losowa (żeby maksymalnie zredukować prawdopodobieństwo odgadywania odpowiedzi). Łącznie prezentuje się 6 segmentów zawierających przerwę o określonej długości w ramach danej listy bodźców (a w sumie było 6 takich list). Zadanie polega na naciśnięciu przycisku w momencie, gdy pojawi się przerwa w szumie (zgodnie z teorią detekcji sygnału każde nienaciśnięcie przycisku w odpowiedzi na przerwę w szumie jest traktowane jako błąd, a każde naciśnięcie, gdy przerwy nie było, jako fałszywy alarm). Właściwe zadanie poprzedzone jest sesją treningową. Najkrótsza przerwa, która jest prawidłowo wykrywana w 4 z 6 powtórzeń, stanowi wynik testu. Test zawiera 60 prób [19].

C) Test Fuzji Słuchowej (Auditory Fusion Test-Revised (AFT-R))

Test wchodzi w skład baterii MAPA i jest dostępny na płycie CD. Materiał testowy stanowią bodźce (tony) prezentowane obustronnie na poziomie 50 dB SL. Odstępy między kolejno następującymi po sobie tonami wydłużają się lub skracają (w zakresie od 2 do 300 ms w 2-ms krokach), a zadaniem osoby badanej jest określić (werbalnie), czy słyszy dwa czy jeden ton. Najkrótszy interwał, przy którym osoba badana słyszy dwa tony, oraz interwał, przy którym słyszy jeden ton, są uśredniane, a wartość ta stanowi słuchowy próg fuzji (ang. *Auditory Fusion Threshold*). Test składa się z 3 podtestów: przesiewowego, standardowego i rozszerzonego. Test przesiewowy zaczyna się od prezentacji 500-Hz tonu kalibracyjnego. Następnie podawane jest 18 par 500-Hz tonów oddzielonych przerwą od 0 do 300 ms. Test standardowy zawiera interwały od 0 do 40 ms. Interwał najpierw wydłuża się od 0 do 40 ms (w 20-ms krokach), następnie 40-ms przerwę powtarza się i z powrotem zmniejsza do 0 ms. Test standardowy zaczyna się i kończy prezentacją serii 500-Hz dźwięków. Wyniki z pierwszej serii nie są analizowane (stanowią tylko trening przed rozpoczęciem właściwego zadania). Test rozszerzony stosuje się w przypadku osób, które w teście przesiewowym potrzebują co najmniej 60-ms przerwy, żeby wskazać, że słyszą dwa oddzielne dźwięki. Test posiada normy amerykańskie. Średni próg fuzji wynosi 8–9 ms.

D) Adaptacyjny test rozdzielczości czasowej (ang. *Adaptive Test of Temporal Resolution*, ATTR) [20]

Zawiera dwa testy wykrywania przerw wewnątrz kanału, które wykorzystują odpowiednio: 1) szumy

Tabela 2. Porównanie testów wykrywania przerw (Chermak i Lee, 2005)
Table 2. The comparison of gap detection tests (Chermak and Lee, 2005)

| | RGDT | GIN | AFT-R | ATTR |
|--------------------------------|--|--|---|---|
| Co mierzy? | wykrywanie przerw | wykrywanie przerw | fuzję | wykrywanie przerw |
| Prezentacja bodźców | obuusznie | jednusznie | obuusznie lub jednusznie (normy dostępne tylko dla prezentacji obuusznej) | obuusznie |
| Poziom głośności | 55 dB HL | 50 dB SL | 50 dB SL | komfortowy poziom głośności |
| Bodźce | 15-ms tony z 1,5-ms czasem wzrostu/zaniku i kliku (1-ms biały szum) | przerwy w 6-s białym szumie | 15-ms tony z 1,5-ms czasem wzrostu/zaniku | szeroko- i wąskopasmowy szum |
| Długość przerw | 2–40 ms | 2–20 ms | 2–300 ms | 1–400 ms |
| Najkrótsza przerwa | 2 ms | 2 ms | 2 ms | 1 ms |
| Średnia/odchylenie standardowe | 6–7,8 ms/2,5–5,3 ms | 4,9 ms/1 ms | 8–9 ms/3–4 ms | 3 ms/0,84 ms |
| Sposób udzielania odpowiedzi | ustnie | naciśnięcie przycisku | ustnie | naciśnięcie przycisku |
| Wynik testu | najkrótsza przerwa między dźwiękami, przy której słyhać dwa tony/kliki | najkrótsza przerwa, która jest wykrywana w 4 z 6 prezentacji | średnia wartość z najkrótszej przerwy, przy której osoba badana słyszy 2 tony i 1 ton | najkrótsza przerwa, przy której osoba badana uzyskuje 70,7% poprawnych odpowiedzi |

szerokopasmowe oraz 2) szумы wąskopasmowe z częstotliwością środkową 2000 Hz. W teście zastosowano algorytm adaptacyjny [21], czyli dostosowujący się do poziomu wykonania osoby badanej, zgodnie z którym test kończy się w chwili, gdy zostanie osiągnięty 70,7-procentowy poziom poprawności. Prezentowane są dwa rodzaje dźwięków: standardowy (dwa szумы oddzielone 1-ms przerwą) i właściwy (dwa szумы oddzielone przerwą o długości zmieniającej się w sposób adaptacyjny). Bodźce standardowe i właściwe są podawane w losowej kolejności. Zadaniem osoby badanej jest wybrać dźwięk właściwy. Gdy osoba badana wybierze dwa bodźce właściwe pod rząd, przerwa oddzielająca szумы w tym bodźcu zmniejsza się o 1,2. Natomiast w sytuacji, gdy osoba badana raz wybierze standard, odstęp między szumami w dźwięku właściwym zwiększa się o 1,2. Czas trwania szumu przed przerwą wynosi 300 ms, a po przerwie zmienia się w zakresie od 250 do 350 ms. Dokładną charakterystykę dźwięków zastosowanych w teście zawierają publikacje Lister i wsp. [20] (tabela 2).

Testy mierzące opracowywanie informacji czasowej na poziomie kilkudziesięciu milisekund

Testy mierzące sprawność w zakresie postrzegania następstwa czasowego bodźców słuchowych nie wchodzą w skład najbardziej powszechnych baterii przesiewowych dla ośrodkowych procesów słuchowych. Niemniej jednak niektórzy badacze (Bellis 2003) rekomendują ich włączenie w zestaw procedur diagnostycznych dla CAPD. Z poziomem opracowania informacji słuchowej na poziomie kilkudziesięciu milisekund korespondują testy wykrywania przerw w bodźcach słuchowych między kanałami (ang. *across-channel*

gap detection) oraz testy percepcji kategoryjnej dźwięków mowy. Wśród tych pierwszych obecnie najbardziej powszechne jest zadanie opracowane przez Lister i wsp. [20]. Z kolei test percepcji kategoryjnej dźwięków mowy włączyli do swojej baterii CAPD na przykład Duńczycy [22].

A) Przykładowy test percepcji kolejności bodźców

W teście wyznacza się najkrótszą przerwę między dwoma kolejnymi bodźcami, potrzebną, aby poprawnie określić ich kolejność. Wynosi ona ok. 30 ms [13,23]. W Polsce opracowaniu procedur testowych mierzących sprawność w określaniu kolejności bodźców od lat zajmuje się zespół prof. Szelaż [10,23–25]. Zadaniem osoby badanej jest raportowanie kolejności dwóch prezentowanych po sobie dźwięków: 1-ms klików lub 10-ms tonów. Kliki są prezentowane najpierw do lewego, a potem do prawego ucha lub odwrotnie. Tony w parach różnią się częstotliwością: jeden dźwięk jest niski (400 Hz), a drugi – wysoki (3000 Hz). W teście z klikami możliwe odpowiedzi to: lewy – prawy lub prawy – lewy. W zadaniu z tonami: odpowiedzi to: wysoki – niski lub niski – wysoki. W obu zadaniach osoba badana odpowiada, wskazując na kartę odpowiedzi obrazującą każdą z tych sytuacji. Przerwa między dźwiękami regulowana jest zgodnie z procedurą *Yet Another Adaptive Procedure* (YAAP). Próg postrzegania kolejności bodźców słuchowych szacuje się metodą maksymalnego prawdopodobieństwa. Długość przerw między klikami i tonami w parach zawiera się między 1 a 200 ms i zależy od poprawności odpowiedzi osoby badanej w poprzednich prezentacjach. Procedura YAAP (Treutwein 1997) składa się z dwóch części: 1) prezentacji 10 par dźwięków, w których pierwsza przerwa wynosi 160 ms (80% górnego limitu). Następnie w kolejnych 5 próbach stosuje się przerwy o długości zmieniającej

się stopniowo. Każda następna przerwa jest o 20% krótsza niż poprzednia, tj. przerwy wynoszą odpowiednio: 160, 120, 81, 41, 1 ms. W dalszych 5 próbach długość przerwy zwiększa się o 20% i mają one długość: 1, 41, 81, 120, 160 ms; 2) w drugiej części pomiaru długość przerwy między dźwiękami ulega skróceniu po każdej poprawnej odpowiedzi lub wydłużeniu po odpowiedzi błędnej. Próg postrzegania kolejności to taki interwał, który z 95-proc. prawdopodobieństwem leżał w zasięgu ± 5 ms od wyznaczonej przez niniejszy algorytm długości przerwy między bodźcami (Treutwein 1995).

B) Testy percepcji kategoryjnej mowy

Poziom kilkudziesięciu milisekund związany jest z czasem wypowiedzania spółgłosek zwartych, tj. p, g, t, d, k, które niezależnie od języka trwają ok. 30–40 ms. Analizy spektrograficzne potwierdzają, że w mowie płynnej podczas wypowiedzania spółgłosek zwartych następują dynamiczne zmiany formantów (czyli częstotliwości składowych) w ciągu kilkudziesięciu milisekund. W testach percepcji kategoryjnej mowy mierzy się tzw. 'czas rozpoczęcia dźwięczności' (ang. *Voice Onset Time*, VOT), czyli odstęp czasu pomiędzy końcem plosji (wybuchu), związanej z przecięnięciem powietrza wydechowego przez fałdy głosowe, i początkiem ich wibracji (dźwięczności), związanej z artykułowaniem następującej samogłoski. Odstęp czasu występujący pomiędzy plosją i wibracją potrzebny do różnicowania dźwięczności w mowie spontanicznej dla różnych języków naturalnych wynosi ok. 30–40 ms. Powyższa przerwa jest decydująca dla poprawnego różnicowania opozycji dźwięczna/bezdźwięczna w sposób kategoryjny. Dla percepcji spółgłoski bezdźwięcznej, na przykład w sylabie 'ta', potrzebna jest przerwa między plosją i wibracją rzędu ok. 50 ms. Krótsza przerwa zmienia brzmienie spółgłoski i jest ona percypowana jako dźwięczne 'da'. Istnieje również tzw. strefa przejściowa, w ramach której różnicowanie dźwięczności w sposób kategoryjny sprawia trudności ('da' i 'ta' brzmią bardzo podobnie). W języku polskim jest to zakres od ok. 0 ms do 60 ms. W przypadku zaburzeń językowych (afazja czuciowa, dysleksja, opóźniony rozwój mowy) często stwierdza się poszerzenie tej granicy, co skutkuje trudnością w zakresie percepcji kategoryjnej mowy. Zagadnienie percepcji czasu rozpoczęcia dźwięczności w języku polskim zostało szerzej opisane w monografii Szelaąg i Szymaszek [23].

Przykładowy test percepcji kategoryjnej w języku polskim mógłby polegać na prezentacji sylab typu 'ta'/'da', 'ba'/'pa' czy 'ga'/'ka' ze sztucznie zmodyfikowanymi długościami czasu rozpoczęcia dźwięczności i wyznaczania najkrótszych wartości VOT, przy których możliwe jest różnicowanie tych par sylab.

Testy mierzące opracowywanie informacji czasowej na poziomie kilku sekund

W zakresie czasowym kilku sekund mieszczą się testy rozpoznawania lub różnicowania sekwencji dźwięków, które wchodzi w skład większości baterii oceniających ośrodkowe procesy słuchowe (SCAN, MAPA). Wśród nich należy przede wszystkim wymienić testy odtwarzania wzorców częstotliwości i długości. Z uwagi na to, że testy te angażują podobne procesy słuchowe, zostaną opisane łącznie.

A) Test wzorców częstotliwości (ang. *Frequency Pattern Test*, FPT) i Test wzorców długości (ang. *Duration Pattern Test*, DPT) [26–28]

FPT składa się z trzech 150-ms tonów z 200-ms przerwami między kolejnymi dźwiękami. Tony różnią się częstotliwością, mają 880 Hz (tony niskie, N) lub 1122 Hz (tony wysokie, W), i są prezentowane w 6 kombinacjach: NNW, NWN, NWW, WNW, WNN i WWN. Test zapisano na płycie CD. Zawiera 60 sekwencji (6 kombinacji po 10 powtórzeń prezentowanych losowo). Kolejne sekwencje oddziela 6-s przerwa. DPT składa się z trzech 1000-Hz tonów oddzielonych 300-ms przerwą. Tony w sekwencji różnią się długością, która wynosi albo 250 ms (tony krótkie, K), albo 500 ms (tony długie, D). Analogicznie jak w FPT dźwięki prezentowane są losowo w 6 kombinacjach: KKD, KDK, KDD, DKD, DKK i DDK (po 10 powtórzeń każdej sekwencji). W niektórych wersjach testów podawane jest tylko 30 sekwencji [29].

W obu testach bodźce prezentowane są na poziomie albo 20 dB HL, albo 50 dB HL (co odpowiada: 40 dB SPL albo 70 dB SPL) oddzielnie do prawego i lewego ucha.

Istnieją normy dla populacji amerykańskiej [4,30], duńskiej [22], hiszpańskojęzycznej [31] i nowozelandzkiej [32].

B) MAPA Pitch Pattern Test (PPT) i MAPA Duration Pattern Test (DPT) (Schow i wsp. 2007)

Testy te są wzorowane na FPT [27]. PPT zawiera 4-elementowe sekwencje niskich (N) i wysokich (W) tonów (np. NNWN), a DPT tworzą serie krótkich (K) i długich (D) tonów (np. KDKK). Sekwencje składające się z trzech dźwięków zastąpiono czteroelementowymi, żeby uniknąć efektu sufitowego. Dźwięki w PPT i DPT prezentowane są obustronnie.

C) MAPA Test liczenia stuknięć (Tap Test) (Schow i wsp. 2007)

W teście prezentowane są 3 serie „stuknięć” oddzielonych 120-ms przerwami. Zadanie polega na podaniu liczby usłyszanych stuknięć po zakończeniu każdej serii (całkowita liczba dźwięków to 30). Wyniki tego testu silnie korelują z wynikami MAPA PPT i DPT.

Wnioski

W artykule obok krótkiego przeglądu badań z psychofizjologii lub neuropsychologii, testujących różne modele teoretyczne percepcji czasu, zaprezentowano przede wszystkim opis dostępnych testów służących do oceny zdarzeń akustycznych w czasie. Znaczna liczba narzędzi wskazuje zarówno na duże zainteresowanie tematem percepcji czasu, jak i na świadomość klinicystów, że zaburzenia w zakresie oceny zdarzeń akustycznych w czasie mogą towarzyszyć wielu chorobom neurologicznym. W pracy opisano również te narzędzia, które są przeznaczone do diagnozy percepcji słuchowej u osób z CAPD. Podczas takiej diagnozy zaleca się, aby wybrać przynajmniej po jednym teście mierzącym różne zjawiska czasowe (odnoszące się do zjawisk trwających od kilku milisekund do kilku sekund).

Publikacja powstała w związku z realizacją projektu pn. „Zintegrowany system narzędzi do diagnostyki i telerehabilitacji schorzeń narządów zmysłów (słuchu, wzroku, mowy, równowagi, smaku,

powonienia)” INNOSENSE, współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu STRATEGMED.

Piśmiennictwo:

- Oroń A. Percepcja czasu – przegląd modeli teoretycznych i metod badań. *Now Audiofonol*, 2016; 5(1): 15–22.
- Szeląg E, Kanabus M, Kolodziejczyk I, Kowalska J, Szuchnik J. Individual differences in temporal information processing in humans. *Acta Neurobiol Exp (Warsz)*, 2004; 64(3): 349–66.
- Pluta A, Wolak T, Czajka N, Lewandowska M, Cieśla K, Rusiniak M i wsp. Reduced resting-state brain activity in the default mode network in children with (central) auditory processing disorders. *Behav Brain Funct BBF*, 2014; 10(1): 33.
- Bellis TJ. Assessment and management of Central Auditory Processing Disorders in the educational setting: From science to practice. Cengage Learning, 2003.
- Skoczylas A, Lewandowska M, Pluta A, Kurkowski ZM, Skarżyński H. Ośrodkowe zaburzenia słuchu – wskazówki diagnostyczne i propozycje terapii. *Now Audiofonol*, 2012; 1(1): 11–18.
- Fraisse P. Perception and estimation of time. *Annu Rev Psychol*, 1984; 35: 1–36.
- Pöppel E. Oscillations as possible basis for time perception. *Stud Gen Z Für Einh Wiss Im Zusammenhang Ihrer Begr Forschungsmethoden*, 1971; 24(1): 85–107.
- Pöppel E. Lost in time: a historical frame, elementary processing units and the 3-second window. *Acta Neurobiol Exp (Warsz)*, 2004; 64(3): 295–301.
- Pöppel E, Logothetis N. Neuronal oscillations in the human brain Discontinuous initiations of pursuit eye movements indicate a 30-Hz temporal framework for visual information processing. *Naturwissenschaften*, 1986; 73(5): 267–68.
- Lewandowska M, Bekisz M, Szymaszek A, Wrobel A, Szeląg E. Towards electrophysiological correlates of auditory perception of temporal order. *Neurosci Lett*, 2008; 437(2): 139–43.
- Wittmann M, Fink M. Time and language – critical remarks on diagnosis and training methods of temporal-order judgment. *Acta Neurobiol Exp (Warsz)*, 2004; 64(3): 341–48.
- Szymaszek A, Szeląg E, Sliwowska M. Auditory perception of temporal order in humans: the effect of age, gender, listener practice and stimulus presentation mode. *Neurosci Lett*, 2006; 403(1–2): 190–94.
- Szymaszek A, Sereda M, Pöppel E, Szeląg E. Individual differences in the perception of temporal order: the effect of age and cognition. *Cogn Neuropsychol*, 2009; 26(2): 135–47.
- Pöppel E. Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2009; 364(1525): 1887–96.
- Schleidt M, Eibl-Eibesfeldt I, Pöppel E. A universal constant in temporal segmentation of human short-term behavior. *Naturwissenschaften*, 1987; 74(6): 289–90.
- Perez AP, Pereira LD. The Gap in Noise test in 11 and 12-year-old children. *Pró-Fono Rev Atualização Científica*, 2010; 22(1): 7–12.
- Marculino CF, Rabelo CM, Schochat E. Gaps-in-Noise test: gap detection thresholds in 9-year-old normal-hearing children. *J Soc Bras Fonoaudiol*, 2011; 23(4): 364–67.
- Phillips DP. Auditory gap detection, perceptual channels, and temporal resolution in speech perception. *J Am Acad Audiol*, 1999; 10(6): 343–54.
- Musiek FE, Shinn JB, Jirsa R, Bamio D-E, Baran JA, Zaida E. GIN (Gaps-In-Noise) test performance in subjects with confirmed central auditory nervous system involvement. *Ear Hear*, 2005; 26(6): 608–18.
- Lister JJ, Roberts RA, Shackelford J, Rogers CL. An adaptive clinical test of temporal resolution. *Am J Audiol*, 2006; 15(2): 133–40.
- Levitt H. Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoust Soc Am*, 1971; 49(2): Suppl 2: 467.
- Neijenhuis KA, Stollman MH, Snik AF, Van der Broek P. Development of a central auditory test battery for adults. *Audio-logy*, 2001; 40(2): 69–77.
- Szeląg E, Lewandowska M, Wolak T, Seniow J, Poniatowska R, Pöppel E i wsp. Training in rapid auditory processing ameliorates auditory comprehension in aphasic patients: A randomized controlled pilot study. *J Neurol Sci*, 2014; 338(1–2): 77–86.
- Szeląg E, Skolimowska J. Cognitive function in elderly can be ameliorated by training in temporal information processing. *Restor Neurol Neurosci*, 2012; 30(5): 419–34.
- Bao Y, Szymaszek A, Wang X, Oron A, Pöppel E, Szeląg E. Temporal order perception of auditory stimuli is selectively modified by tonal and non-tonal language environments. *Cognition*, 2013; 129(3): 579–85.
- Pinheiro ML, Ptacek PH. Reversals in the perception of noise and tone patterns. *J Acoust Soc Am*, 1971; 49(6): 1778–83.
- Musiek FE, Pinheiro ML. Frequency patterns in cochlear, brainstem, and cerebral lesions. *Audiol Off Organ Int Soc Audiol*, 1987; 26(2): 79–88.
- Musiek FE. Frequency (pitch) and duration pattern tests. *J Am Acad Audiol*, 1994; 5(4): 265–68.
- Musiek FE, Baran JA, Pinheiro ML. Duration pattern recognition in normal subjects and patients with cerebral and cochlear lesions. *Audiol Off Organ Int Soc Audiol*, 1990; 29(6): 304–13.
- Noffsinger D, Wilson RH, Musiek FE. Department of Veterans Affairs compact disc recording for auditory perceptual assessment: background and introduction. *J Am Acad Audiol*, 1994; 5(4): 231–35.
- Fuente A, McPherson B. Auditory processing tests for Spanish-speaking adults: an initial study. *Int J Audiol*, 2006; 45(11): 645–59.
- Kelly A. Normative data for behavioural tests of auditory processing for New Zealand school children aged 7 to 12 years. *Aust N Z J Audiol*, 2007; 29(1): 60–64.