

Ocena możliwości przenoszenia bodźców stosowanych w badaniach ASSR przez aparaty słuchowe. Wyniki badań wstępnych

The assessment of possibilities of stimulus transmission through hearing aids in ASSR examination: Preliminary results

Łukasz Olszewski, Adam Piłka, Krzysztof Kochanek, Anna Charukiewicz

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

Streszczenie

Artykuł omawia kwestie możliwości przenoszenia bodźców stosowanych w badaniach ASSR przez aparaty słuchowe oraz możliwe zastosowania i ograniczenia potencjałów typu stanu ustalonego ASSR w zakresie weryfikacji i dopasowania aparatów słuchowych. Wstępną ocenę dokonano na podstawie badań zausznnych, cyfrowych aparatów słuchowych Oticon Sumo DM, Phonak Supero 412 i Siemens Triano SP. Do pomiarów słuchowych potencjałów stanu ustalonego wykorzystano system GSI Audera.

Słowa kluczowe: aparaty słuchowe, ASSR, analiza widmowa.

Summary

The authors discuss the possibility of transmission of stimuli used in ASSR tests through hearing aids. The advantages and limitations of applying the auditory steady state responses in hearing aid fitting are considered. The preliminary assessment was based on examining the performance of digital hearing aids type Oticon Sumo DM, Phonak Supero 412 and Siemens Triano SP. ASSR measurements were performed with the use of GSI Audera electrophysiological system.

Key words: hearing aids, ASSR, spectrum analysis.

Wprowadzenie

Wprowadzenie powszechnych badań przesiewowych i wczesnego wykrywania niedosłuchów u małych dzieci i noworodków spowodowało dynamiczny rozwój obiektywnych procedur badań słuchu. Te same metody mogą również być wykorzystane do wspomagania dopasowania protez słuchowych u małych dzieci. Niestety, standardowo stosowane są wciąż metody behawioralne, polegające na obserwacji zachowań dziecka w reakcji na bodźce słuchowe. Mimo, że są one często wspomagane badaniami właściwości rezonansowych kanału słuchowego zewnętrznego metodą in-situ, to nie przynoszą w każdym przypadku spodziewanych rezultatów, w postaci prawidłowo dobranej protezy.

Problemy te wynikają z młodego wieku pacjenta, bardzo ograniczonej współpracy podczas badań, a często również z niedostatecznego doświadczenia osób zaangażowanych w przebieg procedury dopasowania. Rodzi się więc potrzeba poszukiwania innych, alternatywnych metod weryfikacji i oceny prawidłowości metod dopasowania [Picton (i in.) 1998; 2002a; 2002b].

Dobór protezy słuchowej u dzieci odbywa się zasadniczo w trzech etapach: oceny ilościowej i jakościowej niedo-

słuchu, wyboru i dopasowania protezy słuchowej oraz weryfikacji jej ustawień.

W przypadku oceny i weryfikacji ustawień aparatów słuchowych zwraca się uwagę na kilka istotnych aspektów słyszenia, z których do najważniejszych należą słyszenie dźwięków, zrozumienie mowy i dyskryminacja sygnałów.

Przy wykorzystaniu metod behawioralnych, ocena słyszenia dźwięków przez dziecko w aparatach słuchowych jest dokonywana poprzez obserwację i ocenę reakcji słuchowych na różne bodźce (zwykle złożone, o małej specyficzności częstotliwościowej), prezentowane w polu swobodnym z głośnika lub poprzez słuchawki wewnętrzne. Do ograniczeń tej metody należą duże trudności w prawidłowej ocenie reakcji dziecka i określenie na ich podstawie progu słyszenia, niska powtarzalność oraz konieczność wprowadzenia atrakcyjnych dla dziecka sygnałów dźwiękowych, których widmo częstotliwościowe jest zwykle złożone, a więc ocena słyszenia w wąskim wybranym zakresie słyszanych częstotliwości jest utrudniona.

Ocena rozumienia mowy, ze względu na etap prelingwalny rozwoju słuchowego w jakim znajduje się małe dziecko, jest praktycznie niemożliwa do przeprowadzenia, co na

tym etapie badań znacznie utrudnia ocenę i prognozę rehabilitacji słuchu, głosu i mowy.

Badania dotyczące szeroko rozumianego problemu dyskryminacji metodami behawioralnymi wskazują na znacznie większe trudności w ocenie jej u dzieci, co spowodowane jest m.in. niewielką wiedzą słuchową, małym doświadczeniem dziecka i ograniczonymi umiejętnościami koncentracji na zadaniu.

Elektrofizjologiczne metody badań narządu słuchu mogą być bardzo użyteczne w rozwiązaniu niektórych z tych trudności. Przy zastosowaniu tych metod wyniki mogą być niezależne od stanu pacjenta, mają charakter obiektywny i powtarzalny, gdyż przebieg i protokół badania jest jednolity i z góry ustalony, a warunki pomiarowe powinny pozostawać niezmiennie. Okazuje się również, że przy zachowaniu właściwej procedury pomiarowej wyniki pomiarów elektrofizjologicznych dobrze korelują z wynikami badań behawioralnych.

W zastosowaniu do weryfikacji ustawień aparatów słuchowych badania elektrofizjologiczne mają dzisiaj jeszcze stosunkowo nieduże znaczenie. Dotyczy to przede wszystkim podstawowej metody obiektywnych badań słuchu z wykorzystaniem potencjałów wywołanych pnia mózgu – ABR.

Głównym problemem jest w tym przypadku impulsowy charakter bodźców stosowanych w pomiarach ABR. Szybko narastające i bardzo krótkie, o czasie trwania nieprzekraczającym pojedynczych milisekund sygnały, podlegają znacznym zniekształceniom przy transmisji przez stosowane współcześnie cyfrowe aparaty słuchowe. Spowodowane jest to m.in. znacznie dłuższymi od czasu trwania bodźca, czasami włączenia i wyłączenia układów kompresji, szybkością procesorów cyfrowych analizujących sygnał akustyczny, stosowanymi filtrami, czy ograniczeniami samych przetworników elektroakustycznych (miniaturowego mikrofonu i słuchawki).

Zniekształcenia przebiegu czasowego bodźca wynikające z ograniczeń częstotliwościowych oraz zniekształcenia nieliniowe powodują drastyczny spadek specyficzności częstotliwościowej stosowanych bodźców. Spowolnienie narastania i opadania bodźca wpływa ponadto na pogorszenie synchronizacji grup włókien nerwowych odpowiadających na stymulację, co skutkuje spadkiem amplitudy rejestrowanej odpowiedzi elektrofizjologicznej i obniżeniem jakości zapisu.

Mogą również wystąpić nieregularności w częstości powtarzania bodźców akustycznych, spowodowane pewną „bezwładnością” protezy i niejednorodnym czasem analizy sygnału przez procesor aparatu słuchowego. Efekt ten zaburza proces uśredniania sygnałów potencjałów wywołanych, który jest niezbędnym elementem analizy w badaniach ABR, pozwalającym na wyodrębnienie użytecznego sygnału spośród innych sygnałów przypadkowych, związanych np. ze spontaniczną aktywnością układu nerwowego.

Nowy rozdział w dziedzinie badań elektrofizjologicznych, z którym związane są duże nadzieje w zakresie wykorzystania ich do weryfikacji ustawień protez słuchowych, rozpoczął się w momencie wprowadzenia do praktyki klinicznej urządzeń wykorzystujących technikę słuchowych potencjałów stanu ustalonego (ang. *Auditory Steady-State Responses* – ASSR).

Metoda ta posiada kilka cech predestynujących ją do obiektywnych badań układu słuchowego przy stymulacji akustycznej poprzez protezy słuchowe, z których najważniejszą

jest w tym przypadku ciągły charakter bodźca (zwykle jest to modulowany amplitudowo i częstotliwościowo sygnał sinusoidalny). Długi czas trwania takiego sygnału pozwala na stabilizację warunków pracy protezy słuchowej, a tym samym na wierne jego przetworzenie w dziedzinie czasu i częstotliwości. Pozwala to na wykorzystanie badań elektrofizjologicznych opartych na technice ASSR do oceny funkcjonowania i ustawienia protez słuchowych. Prace takie są od paru lat prowadzone w wielu ośrodkach [Picton (i in.) 2001].

Bodźce stosowane w pomiarach ASSR są wąskopasmowe, co zapewnia bardzo dobrą specyficzność częstotliwościową przy ocenie stanu narządu słuchu. Dowiedziono także, iż korelacja pomiędzy progami ASSR i progami behawioralnym wzrasta wraz ze zwiększaniem ubytku słuchu [Herman, Stapells 2003]. Dlatego dla oceny audiometrycznego proggu słyszenia opracowano metodę jego estymacji, na podstawie pomiarów ASSR, ze stosunkowo małym błędem [Dimitrijevic (i in.) 2002]. Badania elektrofizjologiczne wykorzystujące potencjały stanu ustalonego znajdują coraz szersze zastosowanie w ocenie proggu słyszenia u dzieci. Stanowią one potencjalnie również najbardziej wiarygodną i dogodną metodę w pierwszym etapie dopasowania protez słuchowych.

Cel pracy

Choć w wielu doniesieniach mówi się o możliwości stosowania techniki ASSR w ocenie słuchu osób aparatowanymi, to brak jest eksperymentalnych danych, potwierdzających możliwość wykorzystania tam typowych bodźców i oceny potencjalnych zniekształceń [Picton (i in.) 1998]. Celem pracy było więc zbadanie na drodze pomiarowej możliwości przenoszenia bodźców stosowanych w badaniach ASSR przez aparaty słuchowe. Ponieważ bodźce mają charakter ciągły i działają w stanie ustalonym, za najlepszą metodę ich oceny uznano badanie ich właściwości widmowych.

Metoda

W celu analizy zniekształceń powstających przy transmisji bodźców stosowanych w badaniach ASSR przez system aparatu słuchowego przeprowadzono wstępną ocenę odpowiedzi na te bodźce w trzech typowych modelach aparatów słuchowych: Oticon Sumo DM, Phonak Supero 412 oraz Siemens Triano SP. Do badań wybrano bodziec z modulacją AM/FM o częstotliwości nośnej 250 Hz. Poziom bodźca wynosił 40 dB lub 60 dB SPL. Przyjęto typowe ustawienia stosowane w systemie pomiarowym GSI Audera: częstotliwość modulującą 46 Hz, głębokość modulacji AM 100%, dewiację częstotliwości 10%.

Pomiary przeprowadzono przy ustawieniu aparatów w trybie przetwarzania WDRC z liniową kompresją o stosunku 2:1 (wzmocnienie=40 dB w paśmie 250–4000 Hz dla poziomu sygnału wejściowego $L_{we}=60$ dB SPL). Maksymalny poziom wyjściowy (MPO) aparatów został ustawiony w takim zakresie, by nie powodować stanu odciążenia (nasyceń) dla sygnałów stosowanych w teście.

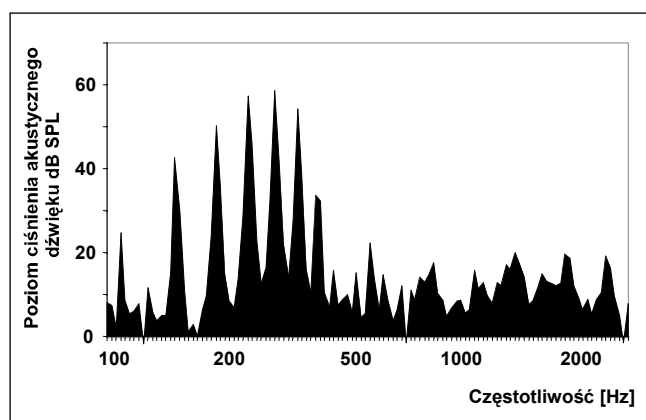
Zbadano widmo bodźca akustycznego na wejściu aparatu oraz widma akustyczne sygnałów generowanych na wyjściu aparatów.

Jako źródła sygnału akustycznego użyto systemu do badań elektrofizjologicznych ASSR GSI Audera i zestawu głoś-

nikowego Canton LE-150 CM. Pomiar widm bodźców akustycznych przeprowadzono w kabine audiometrycznej typ IAC 401A, przy pomocy mikrofonu pomiarowego i analizatora widma Bruel&Kjaer typ 2143. Odległość między źródłem dźwięku a aparatem słuchowym lub mikrofonem pomiarowym wynosiła 1,2 metra. Widma sygnałów wyjściowych aparatów słuchowych badano na sprzęgaczu 2 cm³.

Wyniki

Wyniki przeprowadzonych pomiarów przedstawione są na zamieszczonych rysunkach. Przedstawiają one widmo akustyczne bodźca oraz zarejestrowane odpowiedzi (widma akustyczne) sygnału wyjściowego dla trzech badanych aparatów słuchowych przy różnych poziomach sygnału wejściowego.



Rys.1. Widmo bodźca akustycznego zarejestrowanego pojemnościowym mikrofonem pomiarowym w polu swobodnym na wejściu aparatu słuchowego

Analiza prezentowanych wyników wskazuje na dobrą zgodność postaci widma w zakresie podstawowych składowych częstotliwościowych sygnału, między sygnałem wejściowym (bodźcem) i wyjściowym. Jednocześnie zarejestrowane widma na wyjściu aparatów słuchowych wykazują dużą zgodność w zakresie amplitudy i miejsca występowania najistotniejszych składowych częstotliwościowych wchodzących w skład bodźca.

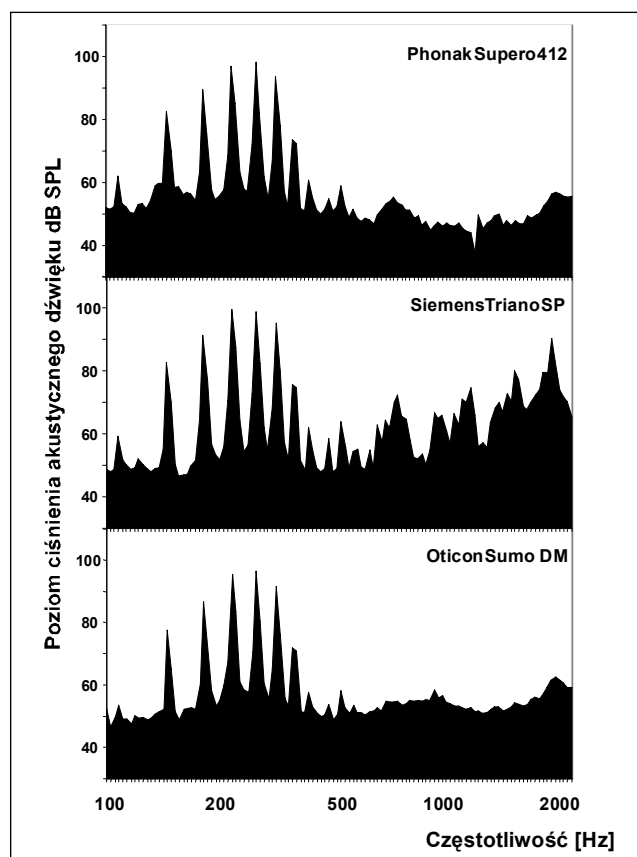
Omówienie wyników

Stwierdzono, że przy zachowaniu odpowiednich ustawień aparatu słuchowego, typowe bodźce dźwiękowe z modulacją AM/FM mogą być przenoszone przez system aparatu bez istotnych zniekształceń widma.

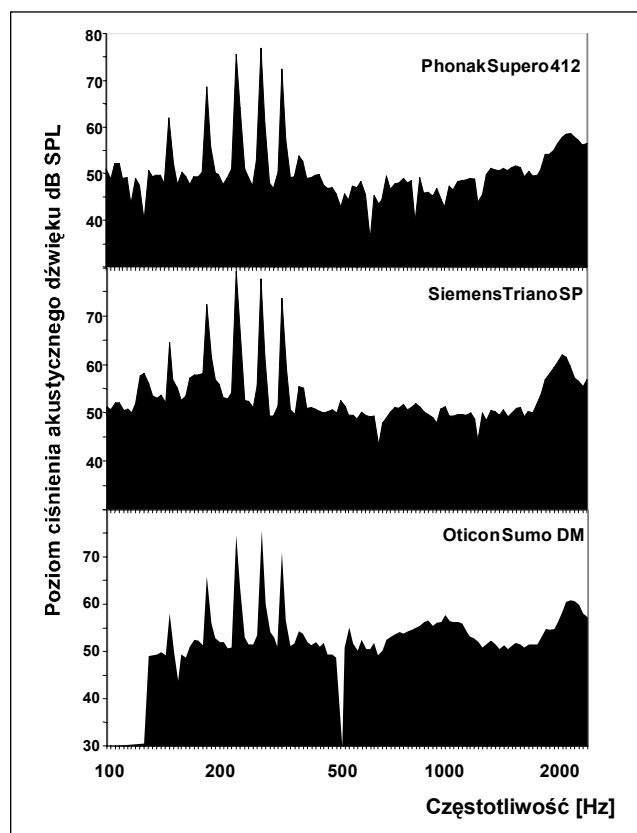
Potwierdzono więc możliwość wykonania pomiarów słuchowych odpowiedzi stanu ustalonego ASSR u pacjentów z aparatami słuchowymi w swobodnym polu akustycznym.

Należy jednakże zwrócić uwagę na pewne czynniki ograniczające. Maksymalne pasmo przenoszenia aparatów słuchowych, nie przekracza w przeważającej większości stosowanych powszechnie rozwiązań zakresu 100–6000 Hz. Takie pasmo nie pozwala na przeprowadzenie pomiarów progu słyszenia w aparacie słuchowym dla częstotliwości wyższych od 6000 Hz.

Niezbędnym okazuje się konieczność dezaktywacji na czas pomiarów wszelkich systemów redukcji hałasu, detekcji sygnału mowy i redukcji sprzężenia zwrotnego w aparatach.



Rys.2. Widmo bodźca zmierzone na wyjściu aparatów słuchowych na sprzęgaczu 2 cm³ (nieliniowe przetwarzanie sygnału, L_{we} = 60 dB SPL)



Rys.3. Widmo bodźca zmierzone na wyjściu aparatów słuchowych na sprzęgaczu 2 cm³ (nieliniowe przetwarzanie sygnału, L_{we} = 40 dB SPL)

Układy te mogą spowodować zniekształcenia bodźca akustycznego i przez to wprowadzać dodatkowe błędy pomiarów.

Analiza widmowa wskazuje na istotne problemy przy pomiarach aparatów nieliniowych, przy niskich poziomach bodźca (40 dB). Związane jest to ze zmniejszeniem stosunku sygnału użytecznego do szumu tła. Wzmocnienie aparatów rośnie przy zmniejszaniu poziomu sygnału wejściowego. Wzmacniany jest zatem bardziej nie tylko bodziec, ale i inne sygnały występujące w otoczeniu.

Narzuca to konieczność przeprowadzania badań w komorze akustycznej, co może być istotnym ograniczeniem w powszechnym zastosowaniu tej techniki.

Nieznany wpływ dodatkowo powstałych składowych częstotliwościowych w zarejestrowanych widmach na jakość odpowiedzi elektrofizjologicznej wskazuje na konieczność kontynuacji badań w tym zakresie. Widoczne są szczególnie zniekształcenia nieliniowe w zakresie wyższych częstotliwości.

Bibliografia

- Dimitrijevic A., John M. S., van Roon P., Purcell D. W., Adamonis J., Ostroff J., Nedzelski J. M., Picton T. W. [2002]. Estimating the audiogram using multiple auditory steady-state responses „Journal of the American Academy of Audiology” 13 205–224
- Herman A. T., Stapells D. R. [2003]. Auditory steady-state response thresholds of adults with sensorineural hearing impairments. „International Journal of Audiology” 42, 237–248.
- Picton T. W., Dimitrijevic A., van Roon P., John M. S., Reed M.,

Finkelstein H. [2002]. Possible roles for the auditory steady-state responses in fitting hearing aids. w: Seewald R. C., Gravel J. S. (red.) „A sound foundation through early amplification 2001”. Proceedings of the 2nd International Conference. Basel, Phonak AG, 63–73.

Picton T. W., Durieux-Smith A., Champagne A., Whittingham J., Moran L. M., Giguere C., Beaugregard Y. [1998]. Objective evaluation of aided thresholds using auditory steady-state responses. „Journal of the American Academy of Audiology” 9, 315–331.

Picton T. W., John M. S., Dimitrijevic A. [2002b]. Possible roles for the auditory steady-state responses in identification, evaluation and management of hearing loss in infancy. „Audiology Today” 14, 29–34.

Picton T. W., John M. S., Dimitrijevic A., Purcell D. [2003] Human auditory steady-state responses. „International Journal of Audiology” 42, 177–219.

Stapells D. R. [2000]. Threshold estimation by tone evoked auditory brainstem response: A literature meta-analysis. „Journal of Speech-Language Pathology and Audiology” 24, 74–83.

Adres do korespondencji

Łukasz Olszewski
ul. Przy Agorze 11/13
01-960 Warszawa
e-mail: l.olszewski@ichs.pl