

Postępy w audiologii. Słuchowe potencjały wywołane stanu ustalonego

Advances in audiology. Auditory Steady-State Responses

MAGDALENA LACHOWSKA^{1/}, KRZYSZTOF MORAWSKI^{1/}, RAFAEL E. DELGADO^{2/}, KAZIMIERZ NIEMCZYK^{1/}

^{1/}Katedra i Klinika Otolaryngologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa

^{2/}Department of Biomedical Engineering, University of Miami, Florida, USA

Słuchowe potencjały wywołane stanu ustalonego (*Auditory Steady-State Responses* – ASSR) są elektrofizjologiczną odpowiedzią narządu słuchu, która powstaje w wyniku stymulacji ucha bodźcem akustycznym szybko powtarzanym lub modulowanym. ASSR są stosowane celem rekonstrukcji audiogramu. Pod pewnymi względami badanie słuchowych potencjałów wywołanych stanu ustalonego podobne jest do „klasycznych” słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu. Badania te jednak różnią się w kilku aspektach, w tym metodami stymulacji narządu słuchu oraz oceną odpowiedzi. Autorzy przedstawiają metodykę rejestracji ASSR oraz interpretację kliniczną zapisów.

Słowa kluczowe: audiogram, słuchowe potencjały wywołane stanu ustalonego, słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu, przewodnictwo powietrzne, przewodnictwo kostne, niedosłuch

Auditory Steady-State Responses (ASSR) are electrophysiologic responses to rapid or modulated auditory stimuli. The ASSR are used for audiogram reconstruction. In some aspects ASSR are similar to the well known Auditory Brainstem Responses (ABR). However, ASSR examinations differ from ABR testing in some important respects, including in the first place the methods for hearing organ stimulation, and assessment of the set of responses. The authors present the methods of ASSR recording and clinical interpretation of the results.

Key words: audiometry, auditory steady-state response, auditory brainstem response, air conduction, bone conduction, hearing loss

© Otolaryngologia 2009, 8(1): 1-7

www.mediton.pl/orl

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Magdalena Lachowska

Katedra i Klinika Otolaryngologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

ul. Banacha 1a, 02-097 Warszawa

tel. 0048 22 5992521, fax 0048 22 5992523

e-mail: magdalena.lachowska@wum.edu.pl

Wstęp

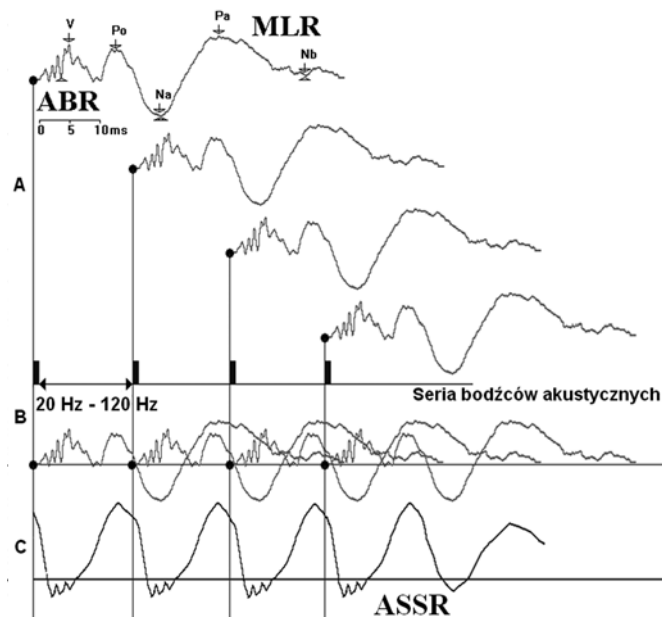
Słuchowe potencjały wywołane stanu ustalonego (*Auditory Steady-State Responses* – ASSR) są elektrofizjologiczną odpowiedzią narządu słuchu na serię powtarzanych/modulowanych bodźców akustycznych. Badania ASSR stosowane są zazwyczaj do szacowania progu słyszenia czyli rekonstrukcji audiogramu. Na ich podstawie można udzielić odpowiedzi dotyczących stanu narządu słuchu, głębokości ubytku słuchu oraz możliwości leczenia i rehabilitacji.

Badanie ASSR a klasyczny pomiar słuchowych potencjałów wywołanych

Zasada powstawania słuchowych odpowiedzi stanu ustalonego przedstawiona jest na ryc. 1.

Pod pewnymi względami badanie ASSR jest podobne do „klasycznych” słuchowych potencjałów wywołanych. W obydwu dokonuje się rejestracji aktywności bioelektrycznej drogi słuchowej w odpowiedzi na bodziec akustyczny za pomocą elektrod o podobnym umiejscowieniu na głowie pacjenta. Bodziec jest podawany przez słuchawki drogą powietrzną, można również wykorzystać drogę przewodnictwa kostnego [1-3]. Słuchawki na przewodnictwo powietrzne typu insert stosowane w badaniach ASSR pozwalają na podawanie bodźców o wysokim poziomie intensywności i zmniejszają problemy związane z przebiciem bodźca do ucha przeciwnego (100-120 dB nHL).

Badania ASSR i „klasyczne” różnią się jednak w kilku aspektach. Zdefiniowanie progu słysze-



Ryc. 1. Zasada powstawania słuchowych odpowiedzi stanu ustalonego w wyniku powtarzanej stymulacji bodźcem akustycznym

A – Zapis wywołanych odpowiedzi słuchowych dla poszczególnych bodźców prezentowanych ze stałą częstotliwością w zakresie 20-120 Hz przed nałożeniem na siebie i przed procesem sumowania. W zasadzie są to odpowiedniki tradycyjnych zapisów rejestrowanych w opcji odpowiedzi średniolatencyjnych, zawierających w sobie odpowiedź z pnia mózgu wraz z odpowiedziami ze śródmózgowia i ośrodka podkorowego;

B – Zapis nałożonych na siebie poszczególnych odpowiedzi przedstawionych w części A ryciny 1. Widać, że odpowiedź słuchowa przedstawiona w formie nałożonych poszczególnych zapisów jest całkowicie nieczytelna i wymaga opracowania dla uzyskania istotnych informacji o stanie narządu słuchu;

C – Zsumowany zapis odpowiedzi słuchowych przedstawionych w części A ryciny 1 – odpowiedź typu stanu ustalonego. Taka forma zapisu stanowi punkt wyjścia do opracowania matematycznego, które ostatecznie pozwoli na interpretację uzyskanych odpowiedzi celem oszacowania progu słyszenia.

nia na podstawie odpowiedzi słuchowych z pnia mózgu (ABR) na określony bodziec akustyczny jest procesem subiektywnym, ponieważ osoba oceniająca zapis wizualnie potwierdza obecność fali V, ocenia jej amplitudę i latencję. Ocena ta jest zależna od wiedzy i doświadczenia osoby oceniającej. Potwierdzenie obecności fali V staje się tym trudniejsze, im bardziej natężenie bodźca zbliża się do progu słyszenia osoby badanej, a wtedy właśnie decyzja czy odpowiedź jest, czy już jej nie ma, jest najważniejsza. Badanie ASSR jest niezależne od tych subiektywnych czynników. Obecność odpowiedzi i tym samym ocena progu słyszenia oparta jest na obiektywnej, matematycznej analizie, bazującej na obliczeniach statystycznych [2,4].

ASSR to potencjały wywołane za pomocą szybko powtarzanego lub modulowanego bodźca akustycznego, podczas gdy w tradycyjnym ABR rejestruje się potencjały w odpowiedzi na bodziec powtarzany relatywnie wolniej (zwykle 20-30/s). W ocenie progu w ABR stosuje się najczęściej bodźce typu trzask lub pojedynczo krótkie tony typu „*tone-burst*” podawane do jednego ucha, a następnie do drugiego. W metodzie ASSR można podawać bodźce równocześnie do obu uszu, dokonując jednoczesowej analizy dla kilku częstotliwości. Pozwala to na znaczne zaoszczędzenie czasu potrzebnego na wykonanie badania [1,5,6,7].

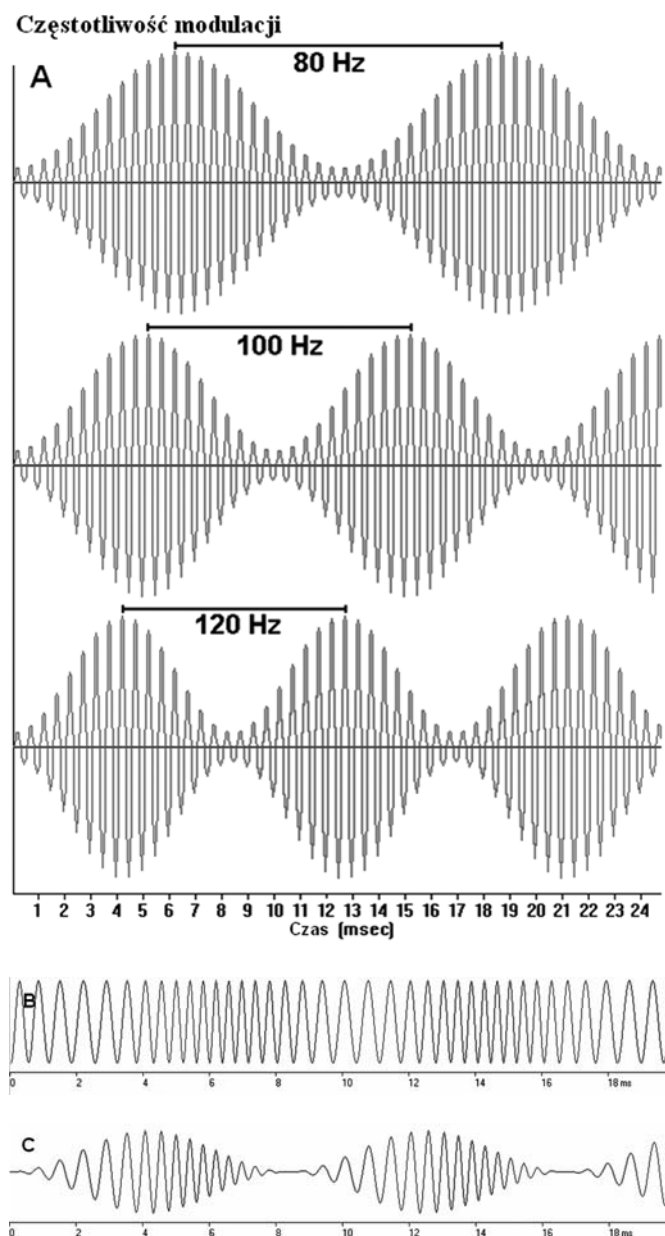
Metody stymulacji w badaniu ASSR

W metodzie ASSR stosuje się bodźce niespecyficzne i specyficzne częstotliwościowo. Do stosowanych w tym badaniu bodźców niespecyficznych częstotliwościowo zalicza się trzask, szum i świergot. Natomiast do stosowanych bodźców specyficznych częstotliwościowo zalicza się świergot w danym paśmie częstotliwości, szum wąskopasmowy, krótkie tony szybko powtarzane, szum wąskopasmowy modulowany amplitudowo, a także tony ciągłe modulowane amplitudowo i/lub częstotliwościowo (ryc. 2) [4,8].

W badaniu ASSR preferowana jest stymulacja specyficzna częstotliwościowo dla częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz; częstotliwości te są nazywane częstotliwościami testowanymi w odróżnieniu od częstotliwości modulacji (np.: modulacji amplitudowo-częstotliwościowej AM/FM). W przypadku badania wszystkich częstotliwości testowanych w obu uszach jednocześnie, typowa częstotliwość modulacji poszczególnych tonów mieści się w zakresie między 70 Hz a 110 Hz. Aby prawidłowo przeprowadzić takie badanie, częstotliwości modulujące dla ucha prawego i lewego nie mogą się pokrywać. Można wówczas jednocześnie analizować odpowiedzi na każdy z zastosowanych bodźców dzięki ocenie rejestrowanej amplitudy odpowiedzi dla danej częstotliwości testowanej w dziedzinie częstotliwości modulacji (ryc. 3) [1,3,5,9,10].

Analiza odpowiedzi ASSR

Analiza ASSR opiera się na fakcie, że rejestrowana czynność bioelektryczna drogi słuchowej w odpowiedzi na stosowany bodziec akustyczny koreluje z częstością powtarzania/częstotliwością modulacji bodźca. Dzięki istnieniu takiej zależności można było zastosować w badaniach ASSR statystyczne algorytmy matematyczne. Analiza ta opiera się na obecności określonych komponentów częstotliwości



Ryc. 2. Przykłady modulacji tonu ciągłego stosowane w badaniach ASSR:

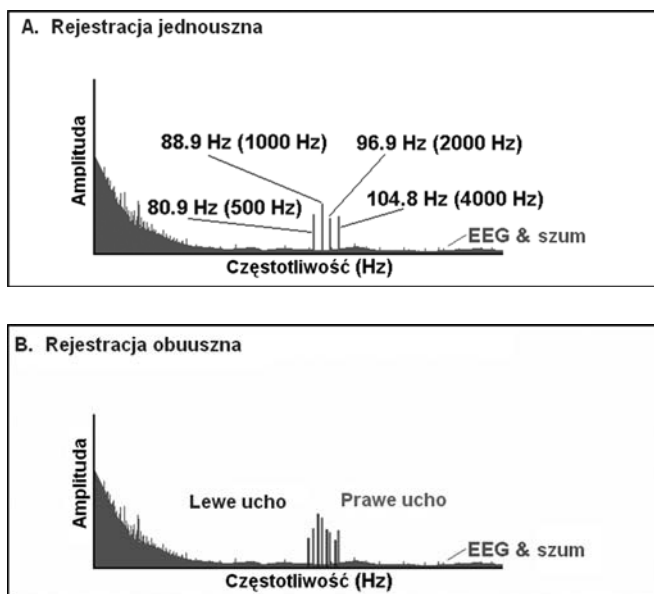
A – Ton ciągły o określonej częstotliwości testowanej prezentowany z modulacją amplitudową (AM) odpowiednio 80 Hz, 100 Hz i 120 Hz;

B – Ton ciągły o określonej częstotliwości testowanej prezentowany z modulacją częstotliwościową (FM);

C – Ton ciągły o określonej częstotliwości testowanej prezentowany z modulacją mieszaną amplitudowo-częstotliwościową (AM/FM).

w analizowanym spektrum. Są one pochodnymi częstotliwości, z którą powtarzany/modulowany jest bodziec. Analiza dokonywana jest automatycznie przez program komputerowy [4,10].

Ocena obecności odpowiedzi ASSR opiera się na ocenie amplitudy i/lub fazy wyróżnionych kompo-



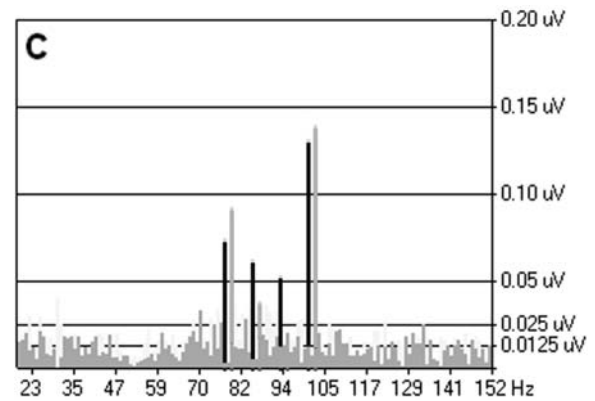
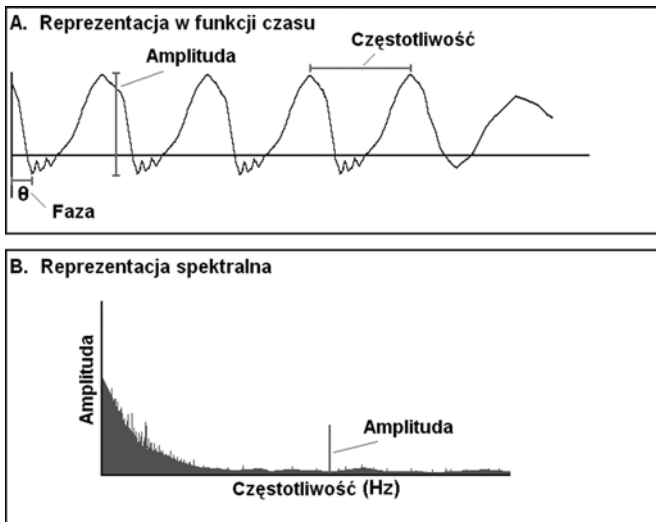
Ryc. 3. Rejestracja wieloczęstotliwościowa ASSR

A – Jednoczesna jednoczesna rejestracja wieloczęstotliwościowa – przykład zarejestrowanych odpowiedzi dla czterech częstotliwości testowanych (wartości w nawiasach) z wykorzystaniem czterech różnych częstotliwości modulujących (wartości bez nawiasów). Amplituda odpowiedzi (oś OY) rejestrowana jest w μV , na osi OX podana jest ich częstotliwość modulująca.

B – Jednoczesna obuuszną rejestracja wieloczęstotliwościowa zarejestrowana dla tych samych częstotliwości testowanych, co na rycinie 3A (po 4 na ucho) oraz dla ośmiu częstotliwości modulujących. Zastosowanie różnych częstotliwości modulujących umożliwia odróżnienie odpowiedzi dla obu uszu i tych samych częstotliwości testowanych.

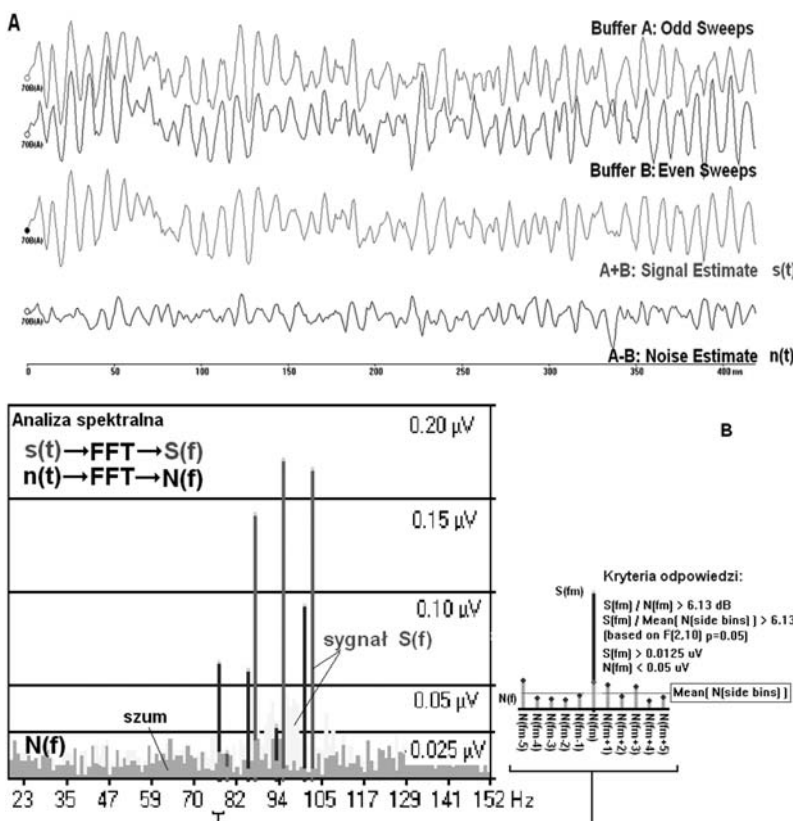
nentów częstotliwości w analizowanym spektrum. Zarejestrowane odpowiedzi można przedstawić jako reprezentację spektralną, która dostarcza informacji dotyczących amplitudy odpowiedzi dla danego tonu testowanego w funkcji częstotliwości modulującej (ryc. 4).

Obecność odpowiedzi jest rejestrowana i rozpoznawana poprzez porównanie charakterystyki sygnału i szumu dla częstotliwości modulującej oraz częstotliwości sąsiednich. W tym celu wykorzystuje się technikę buforowania (*split-buffer technique*), która pozwala na porównanie charakterystyk sygnału i szumu dla każdej częstotliwości modulującej. Odpowiedź jest oceniana jako obecna, jeżeli stosunek sygnału, czyli odpowiedzi, do szumu tła (*signal to noise ratio* – SNR) dla częstotliwości modulującej oraz dla częstotliwości sąsiednich w zakresie ± 5 Hz wynosi więcej niż 6,13 dB, a analiza porównawcza danych z dwóch buforów z zastosowaniem statystyki F wykazuje powtarzalność odpowiedzi na poziomie istotnym statystycznie ($p \leq 0,05$). Analiza matematyczno-statystyczna wykonywana jest automatycznie przez program komputerowy, a tym



Ryc. 4. Reprezentacja spektralna zarejestrowanych odpowiedzi w badaniu ASSR

A – Przykład zarejestrowanej odpowiedzi ASSR z zaznaczonymi parametrami fazy (θ), amplitudy i częstotliwości modulującej;
 B – Prezentacja spektralna odpowiedzi dla jednousznej stymulacji bodźcem o określonej częstotliwości testowanej;
 C – Prezentacja spektralna odpowiedzi dla obuuszonej stymulacji wieloczęstotliwościowej. Widoczne odpowiedzi w kolorze szarym odzwierciedlają wynik dla ucha prawego, czarnym – lewego. Amplituda odpowiedzi (oś OY) rejestrowana jest w μV , na osi OX podana jest ich częstotliwość modulująca.



Ryc. 5. Sposób automatycznej identyfikacji odpowiedzi ASSR

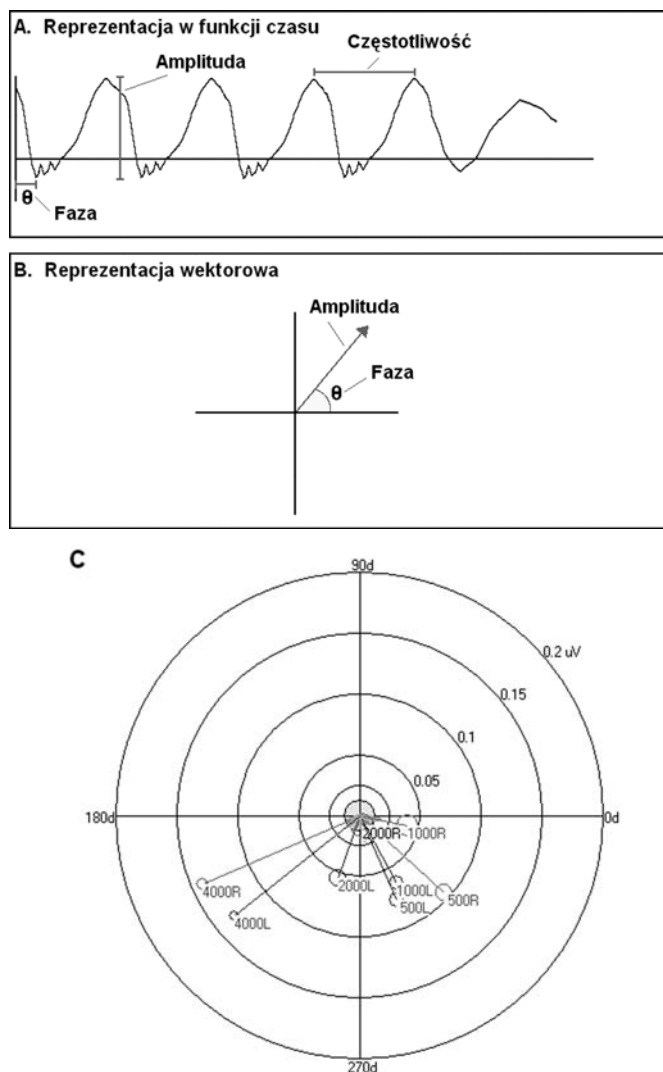
A – Zapisy odpowiedzi w oknie czasowym 400 ms reprezentują odpowiedzi zarejestrowane i zebrane w buforze A i buforze B. Następnie odpowiedzi z obu buforów są sumowane $/A+B/$ i na tej podstawie szacowany jest poziom wartości „sygnału” odpowiedzi $s(t)$. Jednocześnie szacowany jest poziom szumów tła na podstawie różnicy zawartości buforu A i B $/A-B/ n(t)$. Powyższe kalkuleacje dostarczają danych, na podstawie których program komputerowy automatycznie identyfikuje czy odpowiedź jest obecna, czy też stwierdzany jest jej brak.

B – Zapisy w formie spektralnej uzyskane obuuszenie dla czterech częstotliwości testowanych. Program komputerowy analizuje dane z obu buforów, przekształca je metodą Fourier’a $[s(t) \rightarrow \text{FFT} \rightarrow S(f); n(t) \rightarrow \text{FFT} \rightarrow N(f)]$ i uznaje odpowiedź za obecna, jeżeli stosunek uśrednionych wartości sygnału odpowiedzi do szumów tła $[S(f_m)$ do $N(f_m)$ czyli SNR] jest większy niż 6,13 dB biorąc pod uwagę szumy z pasma $\pm 5\text{Hz}$ w stosunku do częstotliwości modulującej. Powyższe obliczenia dotyczące identyfikacji odpowiedzi prowadzone są z zastosowaniem statystyki $F[2,10]$, a odpowiedź uznawana jest za obecna jedynie po uzyskaniu wyniku istotnego statystycznie ($p \leq 0,05$).

samym proces definiowania progu słyszenia dla danej częstotliwości testowanej jest w pełni obiektywny [2,4]. Szczegóły dotyczące powyższej analizy przedstawione zostały na rycinie 5.

Zarejestrowaną odpowiedź można przedstawić także pod postacią wektora (ryc. 6B i 6C, ryc. 7A,

7B i 7C). Analiza w postaci wektorowej obrazuje jednocześnie amplitudę (długość wektora) i fazę odpowiedzi (kąt wektora), które odczytywane są ze sumowanego zapisu odpowiedzi słuchowych (ryc. 6A) [4]. Wraz ze wzrostem amplitudy odpowiedzi polepsza się stosunek sygnału do szumu tła (SNR),

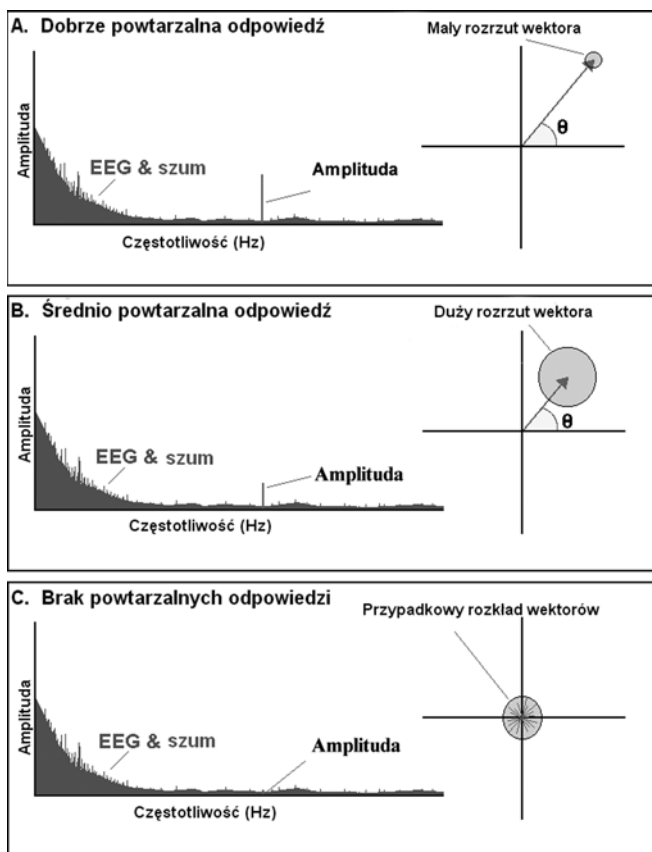


Ryc. 6. Reprezentacja wektorowa odpowiedzi w badaniu ASSR

A – Przykład zarejestrowanej odpowiedzi ASSR z zaznaczonymi parametrami fazy (θ), amplitudy i częstotliwości modulującej;
 B – Prezentacja wektorowa odpowiedzi dla jednoczesnej stymulacji bodźcem o określonej częstotliwości testowanej;

C – Przykład zarejestrowanych odpowiedzi ASSR w reprezentacji wektorowej w wieloczęstotliwościowym badaniu obuusznym. Długość wektora odzwierciedla wartość amplitudy odpowiedzi w μV , jego położenie odzwierciedla wartości katowe fazy (wielkość koła na końcu wektora fazowego świadczy o powtarzalności odpowiedzi; im mniejsze koło na końcu wektora fazowego tym większa powtarzalność odpowiedzi).

a w konsekwencji powtarzalność tej odpowiedzi. Zatem dla odpowiedzi silnych i powtarzalnych faza i amplituda wektora są stabilne, czyli rozrzut tych wartości jest niewielki, co schematycznie jest zaznaczone jako koło o małym promieniu na końcu wektora widoczne na rycinie 7A. W przypadkach odpowiedzi słuchowej o średnim poziomie i słabszej powtarzalności promień koła odzwierciedlającego rozrzut fazy i amplitudy wektora jest większy



Ryc. 7. Reprezentacje wektorowe odpowiedzi w badaniu ASSR.

A – Odpowiedzi słuchowe silne charakteryzujące się wysoką powtarzalnością, faza i amplituda wektora są stabilne, a więc rozrzut jest niewielki; schematycznie dobrą powtarzalność odzwierciedla szare koło o małym promieniu na końcu wektora widoczne na rycinie;

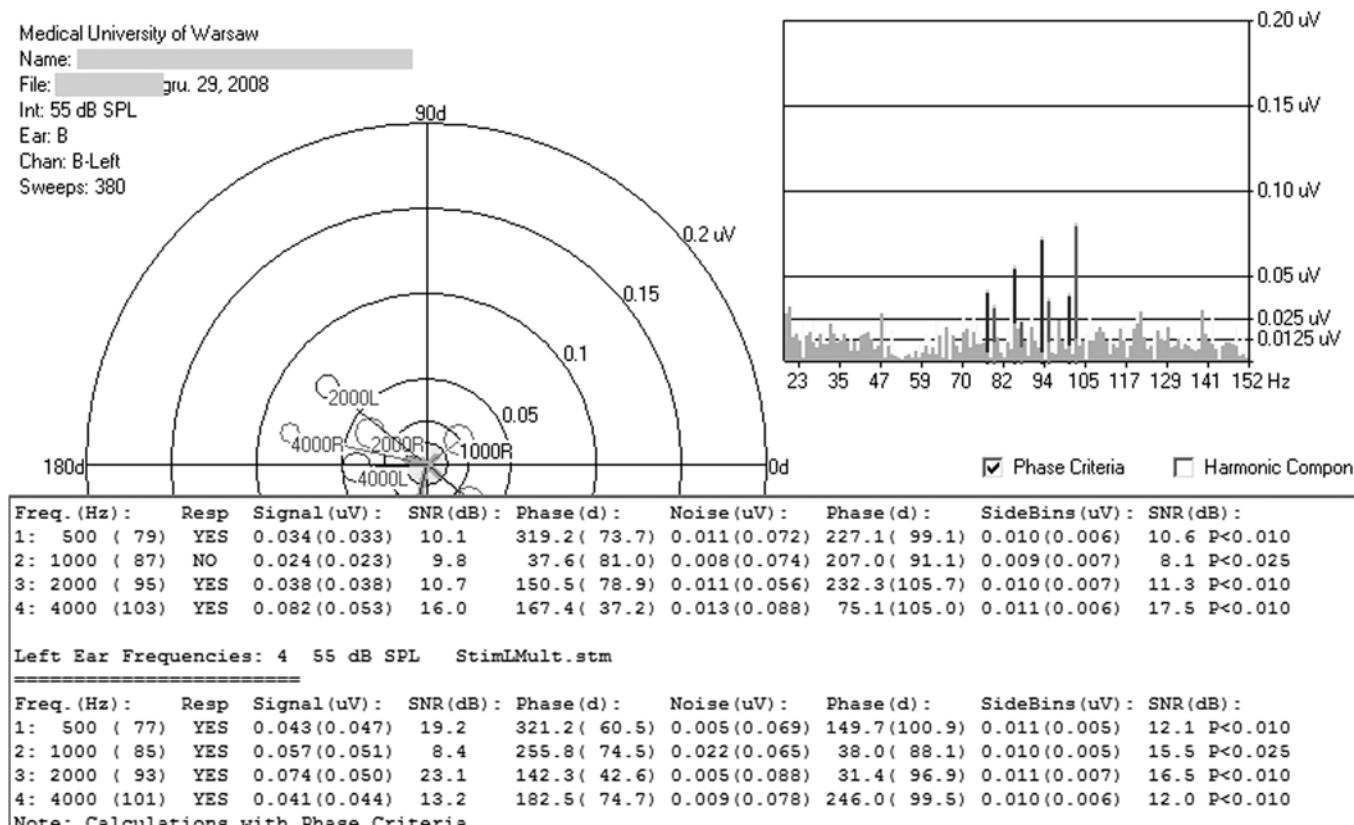
B – W przypadkach odpowiedzi słuchowej o średnim poziomie i słabszej powtarzalności promień koła odzwierciedlającego rozrzut fazy i amplitudy wektora jest większy;

C – Przy braku odpowiedzi wektory układają się przypadkowo przyjmując różne wartości fazy i amplitudy, nie dając podstaw do rozpoznania odpowiedzi słuchowej.

(ryc. 7B). Przy braku odpowiedzi wektory układają się przypadkowo przyjmując różne wartości fazy i amplitudy, nie dając podstaw do rozpoznania obecności odpowiedzi słuchowej (ryc. 7 C).

Zastosowanie kliniczne ASSR

Na rycinie 8 przedstawiono przykładowy zapis odpowiedzi uzyskanych u pacjenta, u którego zastosowano jednoczesną stymulację obuuszną tonami ciągłymi o częstotliwościach testowanych 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz i poziomie 55 dB SPL. Wynik przedstawiono w opcji graficznej amplitudowo-fazowej, spektralnej i w formie analizy statystycznej. Ponieważ analizy graficzne zostały omówione wcześniej w szczegółowym opisie ryciny



Ryc. 8. Zapis odpowiedzi uzyskanych u pacjenta, u którego zastosowano jednoczesną stymulację obuuszną tonami ciągłymi o częstotliwościach testowanych 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz i poziomie 55 dB SPL.

Wynik przedstawiony jest w formie graficznej wektorowej, spektralnej i w formie wyników analizy statystycznej. W tabeli z danymi liczbowymi pierwsza kolumna liczb [Freq. (Hz)] przedstawia częstotliwości testowane, a znajdujące się obok wartości w nawiasach to częstotliwości modulujące. W następnej kolumnie [Resp] znajduje się słowne potwierdzenie obecności lub braku odpowiedzi słuchowej (YES = tak, NO = nie). Kolejna kolumna [Signal μ V] przedstawia średnie wartości amplitudy odpowiedzi słuchowej w μ V, a obok znajdujące się wartości w nawiasach to odchylenie standardowe. W kolumnie oznaczonej [SNR (dB)] znajduje się obliczona wartość stosunku sygnału do szumu. Kolumna następną [Phase (d)] zawiera uśrednione wartości fazy odpowiedzi słuchowej z wartościami odchyłeń standardowych w nawiasach obok. Kolejne dwie kolumny zawierają wartości amplitudy szumu wokół częstotliwości modulującej z odchyleniem standardowym [Noise (μ V)] i wartość fazy [Phase (d)]. Przedostatnia kolumna [SideBins (μ V)] przedstawia wartości amplitudy szumu w bezpośredniej bliskości 1 Hz w stosunku do częstotliwości modulującej. Kolumna ostatnia [SNR (dB)] przedstawia ostateczny wynik wartości sygnału odpowiedzi słuchowej w stosunku do wartości szumów w dB, który w teście F(2,10) osiągnął poziom istotny statystycznie, obok podana jest wartość p.

przedstawiono jedynie interpretacje wyników liczbowych.

Stosowanie wyższych częstotliwości modulujących generuje odpowiedzi bioelektryczne, które powstają w pniu mózgu, dlatego są one w znacznej mierze niezależne od stanu pacjenta (czuwania, snu, anestezji). Można stosować także niższe częstotliwości modulujące, niemniej generowane wówczas odpowiedzi zawierają komponenty o średnim czasie utajenia, a te są już zależne od stanu pacjenta. Podczas snu oraz w narkozie amplituda odpowiedzi ulega wyraźnemu zmniejszeniu przy stosowaniu małych częstotliwości modulujących (np. 40 Hz). Przy większych częstotliwościach modulujących (powyżej 70 Hz) wpływ ten jest już niewielki. Podobnie wygląda wpływ wieku badanego pacjenta. U noworodków i niemowląt amplituda odpowiedzi

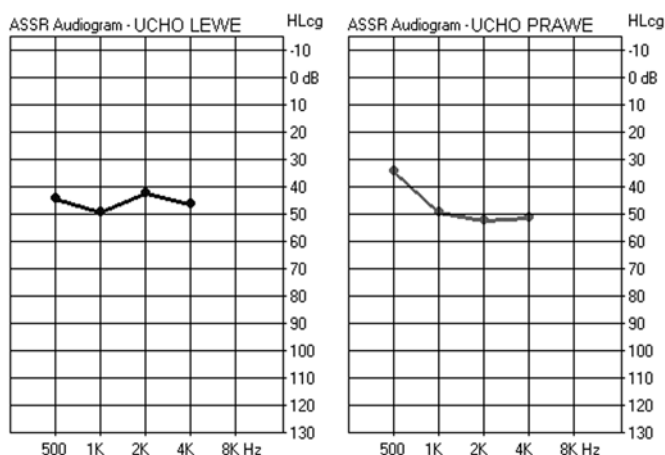
jest znacznie mniejsza dla małych częstotliwości modulujących, co w stosunkowo małym stopniu jest obserwowane dla większych częstotliwości modulujących. Z tych powodów w badaniach ASSR stosuje się najczęściej bodźce z modulacją o wyższej częstotliwości – powyżej 70 Hz [1,11,12].

Badaniem ABR można oceniać progi słyszenia dla zakresu częstotliwości od 500 Hz do 4000 Hz dla lekkich, średnich i znacznych niedosłuchów. Podobnie rzecz się ma w przypadku badania ASSR, z tą jednak różnicą, że oceny progów można dokonać również dla głębokich ubytków słuchu. Ma to istotne znaczenie w przypadku kwalifikacji do określonej metody leczenia, decyzji o zastosowaniu aparatów słuchowych czy implantów ślimakowych. Należy jednak pamiętać, że zarejestrowana odpowiedź na silny bodziec akustyczny (100-120 dB nHL) może

okazać się wygenerowaną odpowiedzią przedsionkową, która w badaniu ASSR nie jest rozróżniana od słuchowej. Ponadto stymulacja tak głośnymi dźwiękami stwarza potencjalną możliwość uszkodzenia narządu słuchu podczas badania [13]. Rycina 9 przedstawia odtworzone progi słyszenia na podstawie uzyskanych odpowiedzi słuchowych potencjałów wywołanych stanu ustalonego (ASSR) w badaniu wieloczęstotliwościowym obuusznym.

ASSR charakteryzuje się bardzo dobrą specyficznością miejsca pobudzenia w narządzie Cortiego, czyli bardzo dobrą specyficznością częstotliwościową. Ocena progu słyszenia jest zbliżona do progu audiometrycznego. Wielkość korekcji zależy m.in. od stosowanego sprzętu, częstotliwości testowanych, czasu rejestracji, poziomu rejestrowanego szumu w czasie badania, który towarzyszy odpowiedziom, wieku pacjenta, czuwania i snu osoby badanej oraz od zastosowanych parametrów bodźca [1,6,9,14]. Ponieważ badanie ASSR jest obiektywne, pozwala ono na rekonstrukcję audiogramu u osób, z którymi współpraca w wykonaniu audiometrii tonalnej jest utrudniona bądź niemożliwa, jak w przypadku niemowląt i małych dzieci. Może mieć także zastosowanie w sytuacji symulacji niedosłuchu lub w sprawach roszczeniowych, czy też przy orzekaniu o zawodowym uszkodzeniu słuchu.

Wykonując badania narządu słuchu należy zawsze pamiętać o zasadzie przedstawionej przez



Ryc. 9. Przykład wyniku końcowego czyli rekonstrukcji audiogramu na podstawie uzyskanych odpowiedzi ASSR w badaniu wieloczęstotliwościowym obuusznym

Jergerea i Hades – „*cross check*” principle. Uzyskane za pomocą ASSR wyniki progu słyszenia należy odnosić do innych wykonanych badań audiologicznych i dopiero wówczas wyciągać wnioski dotyczące stanu narządu słuchu i planować dalsze postępowania medyczne. Audiometria tonalna i ABR są nadal podstawowymi badaniami w ocenie progów słyszenia, natomiast ASSR, jak do tej pory, należy uważać za badanie znacząco uzupełniające i wiarygodnie ocenę głębokości ubytku słuchu [2].

Piśmiennictwo

- Dimitrijevic A, John MS, van Roon P, Purcell DW, Adamonis J, Ostrof J, Nedzelski JM, Picton TW. Estimating the audiogram using auditory steady-state responses. *J Am Acad Audiol* 2002; 13:205-224.
- Stapells DR, Herdman AT, Small SA, Dimitrijevic A, Hatton J. Current status of the auditory steady-state responses for estimating an infant's audiogram. *A Sound Foundation Through Early Amplification* 2004: 43-59.
- Small SA, Stapells DR. Multiple auditory steady-state responses to bone-conduction stimuli in adults with normal hearing. *J Am Acad Audiol* 2005; 16: 172-183.
- John MS, Purcell DW. Introduction to technical principles of auditory steady-state response testing. In: Rance G, ed. *Auditory steady-state response: generation, recording, and clinical applications*. San Diego, Oxford: Plural Publishing, 2008: 11-53.
- Lins OG, Picton TW. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 1995; 96: 420-432.
- Herdman AT, Picton TW, Stapells DR. Place specificity of multiple auditory steady-state responses. *J Acoust Soc Am* 2002; 112(4): 1569-1582.
- Herdman AT, Stapells DR. Thresholds determined using the monotic and dichotic multiple auditory steady-state response technique in normal-hearing subjects. *Scand Audiol* 2001; 30: 41-49.
- John MS, Dimitrijevic A, Picton TW. Efficient stimuli for evoking auditory steady-state responses. *Ear and Hearing* 2003; 24(5): 406-423.
- Herdman AT, Stapells DR. Auditory steady-state response thresholds of adults with sensorineural hearing impairments. *Int J Audiol* 2003; 42: 237-248.
- Small SA, Stapells DR. Multiple auditory steady-state response thresholds to bone-conduction stimuli in young infants with normal hearing. *Ear and Hearing* 2006; 27(3): 219-228.
- Herdman AT, Lins O, van Roon P, Stapells DR, Scherg M, Picton TW. Intracerebral sources of human auditory steady-state responses. *Brain Topography* 2002; 15(2): 69-86.
- Cone-Wesson B. Subject variables in auditory steady-state response testing: state, anesthesia, age, and attention. In: Rance G, ed. *Auditory steady-state response: generation, recording, and clinical applications*. San Diego, Oxford: Plural Publishing, 2008: 109-117.
- Small SA, Stapells DR. Artifactual Responses when recording auditory steady-state responses. *Ear and Hearing* 2004; 25(6): 611-623.
- Stapells DR. Threshold estimation by the tone evoked auditory brainstem response: A literature meta analysis. *J Speech Language Pathology and Audiology* 2000; 24(2): 74-83.