

Ocena różnicy między progiem odpowiedzi ASSR i progiem audiometrycznym u pacjentów normalnie słyszących*

Evaluation of differences between ASSR thresholds and audiometric thresholds in normal hearing subjects

Lech Śliwa, Krzysztof Kochanek, Adam Piłka, Wiesław Jędrzejczak, Henryk Skarżyński

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

Streszczenie

Powszechnie stosowaną obiektywną metodą badania progu słyszenia są do chwili obecnej słuchowe odpowiedzi wywołane pnia mózgu (ABR). Niemniej, pomiary słuchowych odpowiedzi stanu ustalonego (ASSR) nabierają znaczenia i stają się interesującą alternatywą dla dotychczasowych metod. Na obecnym etapie rozwoju tej metody niezbędne jest wykonanie szeregu badań umożliwiających ocenę właściwości i ograniczeń tej metody. Celem pracy była ocena różnic między progiem odpowiedzi ASSR i audiometrycznym progiem słyszenia u pacjentów o słuchu normalnym. Badano także zmienność wyników pomiaru progu odpowiedzi ASSR i błędy estymacji progu audiometrycznego. W badaniach wykorzystano trzy systemy elektrofizjologiczne przystosowane do pomiaru odpowiedzi ASSR: Audera firmy GSI, MASTER firmy Bio Logic i Chartr EP firmy GN Otometrics. Odpowiedzi ASSR mierzono na czterech częstotliwościach audiometrycznych, 500, 1000, 2000 i 4000.

Słowa kluczowe: elektrofizjologia, słuchowe potencjały wywołane, obiektywne badania słuchu.

Summary

Examination of the Auditory Brainstem Responses (ABR) has been widely used as the standard test for objective assessment of the hearing threshold in clinical practice. However, the measurement of the Auditory Steady State Responses (ASSR) is becoming an interesting alternative in recent years. At the present stage of development, it is necessary to perform a number of investigations in order to evaluate various characteristics of the method. The aim of this work was to assess the differences between audiometric and ASSR thresholds in a group of normal hearing subjects. Errors of estimation of the PTA threshold and intra- and intersubject variability of the thresholds were also assessed. Three different systems were used in the tests: GSI Audera, BioLogic MASTER, and GN Otometrics Chartr EP. The ASSRs were measured at frequencies of 500, 1000, 2000 and 4000 Hz using procedures recommended by the manufacturers. The investigation showed significant differences between behavioral and ASSR thresholds irrespective of the applied system. Differences between estimated and actual values of audiometric (PTA) thresholds also appeared in many cases. Intra- and intersubject variability of the ASSR an estimated PTA threshold was also meaningful. The estimation of audiometric threshold based on ASSR measurement must take into account the specificity of the patients' population and the applied detection method. Threshold variability must also be considered as a factor limiting estimation accuracy.

Key words: electrophysiology, auditory evoked potentials, objective audiometry.

Wprowadzenie

Najważniejszym, a jednocześnie najtrudniejszym zadaniem w audiometrii potencjałów wywołanych stanu ustalonego jest obiektywny pomiar progu słyszenia. Znaczna część wydanych dotychczas publikacji jest poświęcona temu zagadnieniu [Dimitrijevic (i in.) 2002; Cone-Wesson 2002; Picton (i in.) 2003; Luts, Wouters 2004; 2005].

Oszacowanie audiometrycznego progu słyszenia dla określonej częstotliwości (rekonstrukcja audiogramu tonalnego metodą obiektywną) obejmuje dwa etapy:

- 1) wyznaczenie progu odpowiedzi ASSR (progu elektrofizjologicznego),
- 2) estymacja progu psychoakustycznego na podstawie znanych funkcji predykcyjnych.

Poszukiwanie progu odpowiedzi ASSR jest prowadzone generalnie tymi samymi metodami, jakie stosuje się w badaniach progowych przy pomocy słuchowych potencjałów pnia mózgu ABR. Najczęściej rejestruje się ciąg odpowiedzi dla malejących poziomów bodźca, aż do zaobserwowania zaniku odpowiedzi.

W badaniach potencjałów ASSR, podobnie jak w innych metodach elektrofizjologicznych, przyjmuje się na ogół, że poziomem progowym jest najniższy, na którym zaobserwowano odpowiedź. Decyzja o wykryciu (bądź braku) odpowiedzi jest generowana automatycznie przez urządzenie pomiarowe na podstawie analizy statystycznej rejestrowanych odpowiedzi. Statystyczny charakter mierzonej wielkości – zarówno sygnału odpowiedzi, jak towarzyszącej-

* Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2007 jako projekt badawczy 2 PO5C 015 28.

mu jej szumu tła EEG – powoduje, że każdy wynik jest obarczony niepewnością, a zmierzony próg odpowiedzi wykazuje rozrzut stochastyczny, często dość znaczny. Ocena rozrzutu była przedmiotem m.in. prac opublikowanych przez autorów [Śliwa (i in.) 2005; Kochanek (i in.) 2005]. Poprawa dokładności określenia progu elektrofizjologicznego może być osiągnięta różnymi sposobami przez eliminację zakłóceń i artefaktów w trakcie pomiaru [Picton (i in.) 2003], optymalizację układu elektrod [van der Reijden (i in.) 2004], optymalizację metod wstępnego przetwarzania sygnału lub/i użycie większych rekordów danych w analizie statystycznej [Luts, Wouters 2005].

Autorzy cytowanej pracy [Kochanek (i in.) 2005] porównali dwie metody estymacji progu odpowiedzi ASSR mierzonego przy pomocy urządzenia GSI Audera w grupie normalnie słyszących pacjentów dorosłych. Dwie badane metody dawały nieco odmienne oszacowania progu, przy czym w drugiej z nich, bardziej zachowawczej, uzyskane wartości były nieco większe. Niezależnie od metody, obserwowano jednak dość znaczny rozrzut statystyczny wyników, zarówno śródosobniczy (w pomiarach powtarzanych wielokrotnie u tego samego pacjenta), jak i międzysobniczy, w całej grupie osób normalnie słyszących.

Różnice w ocenie progu audiometrycznego na podstawie pomiarów ASSR wynikają także z faktu, że w różnych ośrodkach stosowane są do tego celu różne urządzenia pomiarowe, a brak jak dotąd należytej standaryzacji metod pomiaru, metod detekcji odpowiedzi i estymacji progu. W chwili obecnej (koniec roku 2006) dostępnych jest na rynku co najmniej sześć różnych systemów przystosowanych do pomiaru odpowiedzi stanu ustalonego. Wśród najbardziej rozpowszechnionych można wymienić m.in. system Audera firmy Grason-Stadler Inc., system MASTER produkowany przez firmę BioLogic-Natus, Chartr EP firmy GN Otometrics (Madsen) oraz urządzenie SmartEP-ASSR firmy Intelligent Hearing Systems. Systemy te różnią się dość zasadniczo sposobem pomiaru i algorytmami oceny potencjałów ASSR, co będzie pokazane poniżej. Zachodzi pytanie, na ile wyniki uzyskane przy użyciu jednego z nich są zbieżne z wynikami pomiarów za pomocą innych systemów i jak rzutuje to na różnice w ocenie czułości słuchu. Czynnikiem dodatkowym jest zależność wyniku pomiaru od cech osobniczych pacjenta, na charakter której wpływają z kolei parametry metody pomiarowej. Należy przy tym podkreślić, że brak jak dotąd w literaturze dostatecznych danych potrzebnych do oceny wiarygodności pomiaru w poszczególnych systemach i ich wzajemnych porównań. Poza najbardziej popularnym systemem GSI Adera, stosowanym do badań klinicznych, oraz systemem MASTER, wykorzystywanym głównie do celów badawczych, dane takie są praktycznie niedostępne.

Cel pracy

Celem niniejszej pracy było zbadanie dokładności oceny progu audiometrycznego na podstawie pomiarów słuchowych odpowiedzi stanu ustalonego (ASSR) w trzech różnych systemach elektrofizjologicznych stosowanych w praktyce klinicznej w Międzynarodowym Centrum Słuchu i Mowy IFPS: GSI Audera, BioLogic MASTER i Chartr EP firmy GN Otometrics. W szczególności, poddano ocenie:

- różnice między progami elektrofizjologicznym odpowiedzi ASSR i audiometrycznym progami słyszenia,

- dokładność estymacji progu słyszenia na podstawie algorytmów predykcyjnych stosowanych w badanych urządzeniach,

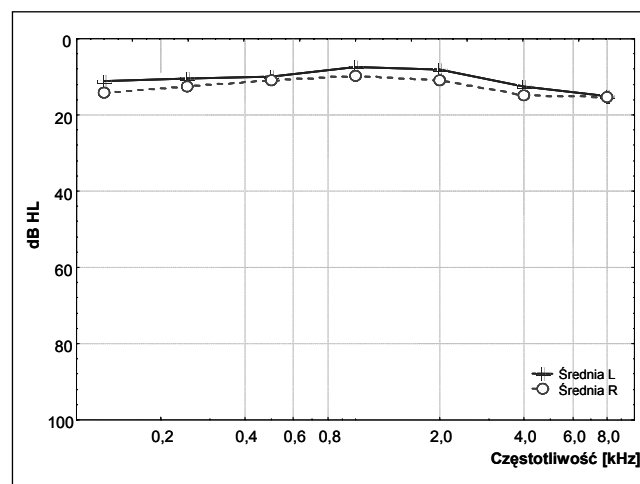
- zmienność śród- i międzysobniczą progów potencjałów stanu ustalonego i związany z tym błąd przypadkowy estymacji progu audiometrycznego.

Celem opisaney części prac były badania w grupie pacjentów ze słuchem normalnym. Badania w większej populacji pacjentów w uszkodzeniach słuchu typu zmysłowo-nerwowego będą przedmiotem odrębnego studium.

W badaniach nie dokonywano szczegółowej oceny czasu potrzebnego na wykonanie testów. Niemniej, ten czynnik był brany pod uwagę jako jeden z parametrów przy porównywaniu funkcjonowania poszczególnych systemów.

Materiał i metoda

Grupa badana składała się z 32 normalnie słyszących osób dorosłych, 15 kobiet i 17 mężczyzn, w wieku od 15 do 65 lat. Zbadano ogółem 52 uszu, w których nie stwierdzono nieprawidłowości otologicznych. Średni audiogram tonalny badanej grupy pacjentów przedstawiono na ryc. 1.

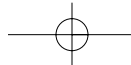


Ryc. 1. Średni audiogram tonalny grupy badanej

W pomiarach słuchowych potencjałów stanu ustalonego wykorzystano trzy wymienione systemy elektrofizjologiczne: Audera [Grason-Stadler, 2001], MASTER [John (i in.) 2000] i Chartr EP. Zachowano standardowe ustawienia pomiarowe zalecane przez producentów.

Jako bodźce słuchowe w pomiarach słuchowych potencjałów stanu ustalonego wykorzystano sygnały tonalne z sinusoidalną modulacją amplitudową i częstotliwościową (tryb modulacji mieszanej MM) [Śliwa (i in.) 2004; 2005]. W większości przypadków przyjmowano typowe współczynniki modulacji AM równe 100% i typową 10% dewiację częstotliwości. Wyjątek stanowił system MASTER, w którym stosowano sygnały z modulacją amplitudy o nieliniowej obwiedni (*exponential modulation*) [John (i in.) 2002], zgodnie z najnowszymi zaleceniami producenta.

Parametry ustawień systemów pomiarowych zebrano w tab. 1. Jak można stwierdzić, występują istotne różnice między działaniem poszczególnych urządzeń, zarówno co do trybu pomiaru (jedno- lub wieloczęstotliwościowy), konfiguracji elektrod, jak i metody statystycznej detekcji odpowiedzi.



Tab. 1. Podstawowe parametry ustawień systemów pomiarowych.

	MASTER	Chartr EP	GSI Audera
Tryb pomiaru	Obuuszny, wieloczęstotliwościowy		Jednostronny, na jednej częstotliwości
Częstotliwość modulacji	82-96 Hz (str. L), 88-100 Hz (str. L),	84-99 Hz (str. P) 79-94 Hz (str. P)	44 Hz (stan czuwania), 81 Hz (sen)
Ułożenie elektrod	Cz (+), Oz (-), Fpz (Com)		Fpz (+), Mipsi (-), Mcontra (Com)
Detekcja sygnału	Test F	Filtr adaptacyjny FLC	Test koherencji fazowej
Czas pomiaru	20-24 min (dla obu uszu)		≤ 20 min (jedno ucho)

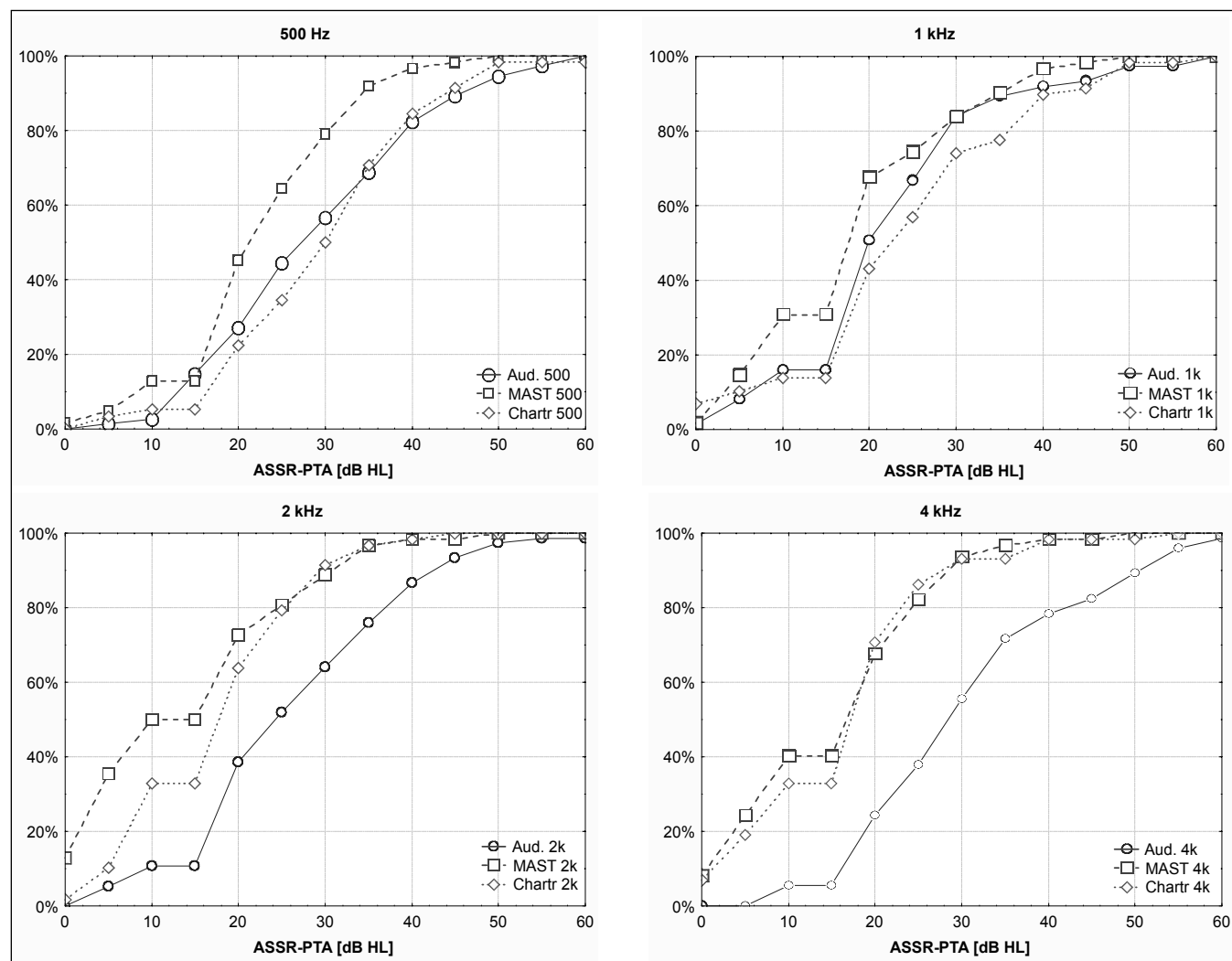
Przed rozpoczęciem testów ASSR u każdego z pacjentów wykonano badanie progu słyszenia w audiometrii tonalnej. Oba rodzaje pomiarów zostały wykonane w tych samych warunkach.

Badania słuchowych potencjałów stanu ustalonego były wykonywane dla bodźców o częstotliwościach nośnych 500, 1000, 2000 i 4000 Hz. Dla każdego pacjenta wykonano od 2 do 4 pomiarów odpowiedzi stanu ustalonego powtarzając pomiary w przypadkowych odstępach czasu, od jednego do siedmiu dni. Jeśli stosowano jednouszny tryb pomiaru, to w przypadkowy sposób dobierano ucho, od którego rozpoczęto badanie.

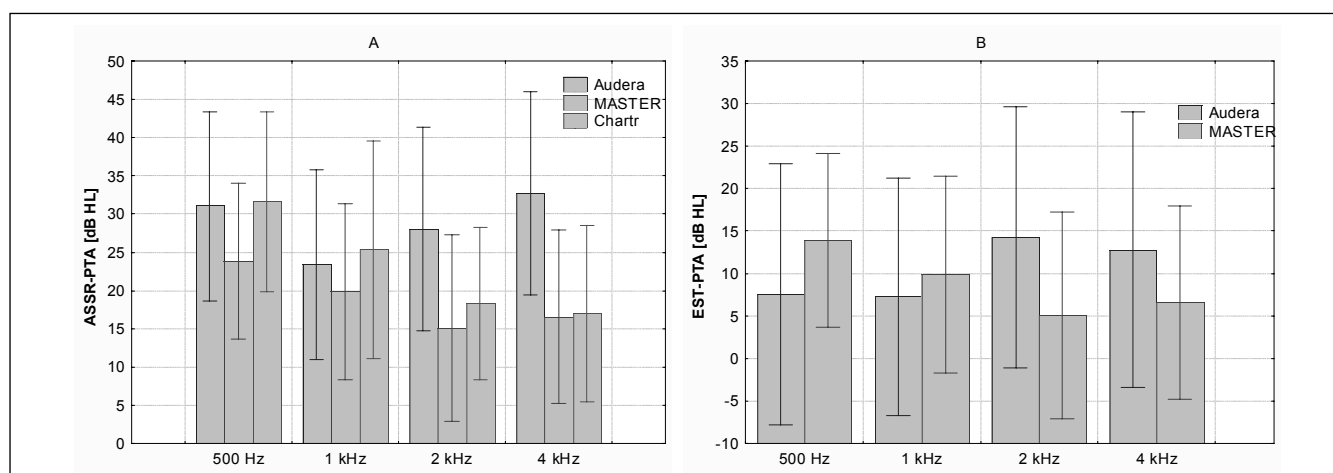
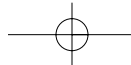
Pacjenci nie byli instruowani, by pozostawać w stanie czuwania. W przypadku pomiarów wykonywanych w trybie

systemu GSI Audera zmieniano odpowiednio ustawienia urządzenia dostosowując je do stanu snu lub czuwania [Grason-Stadler 2001]. W pozostałych systemach, gdzie stosuje się częstotliwości modulacji bodźców w zakresie 80÷100 Hz, zmiana trybu pomiaru nie była konieczna [Picton (i in.) 2004; John (i in.) 2000].

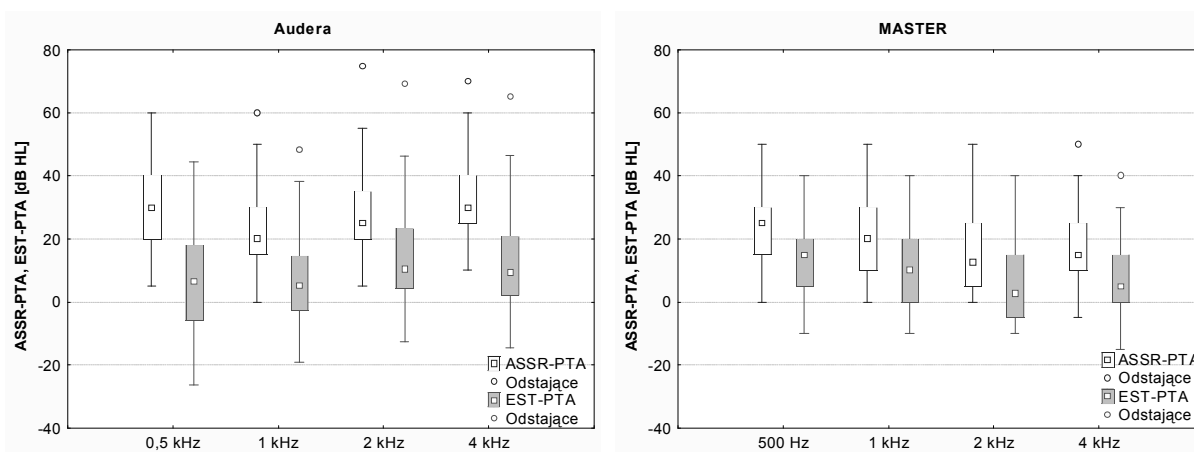
Natężenie bodźca zmieniano skokowo, co ± 10 dB, rozpoczynając pomiar od poziomu 50 dB. Za próg odpowiedzi przyjmowano najniższy poziom bodźca, przy którym zaobserwowano istotną statystycznie odpowiedź. Niemniej, odrzucano przypadki, gdy odpowiedź pojawiła się na określonym poziomie, lecz nie było przy dwóch kolejnych poziomach bodźca powyżej najniższego.



Ryc. 2. Dystrybuanty rozkładów różnicy między progiem odpowiedzi ASSR i behawioralnym zmierzone dla czterech częstotliwości bodźca w trzech badanych systemach elektrofizjologicznych



Ryc. 3. Wartości średnie (słupki) i odchylenia średniokwadratowe (wąsy) różnic między progiem odpowiedzi ASSR i progiem behawioralnym dla trzech badanych systemów (A) oraz wartości średnie i odchylenia średniokwadratowe różnic między wartością estymowaną i rzeczywistą progą behawioralnego w systemach Audera i MASTER (B)



Ryc. 4. Różnice między wartościami progów odpowiedzi ASSR i behawioralnego (ramki puste), oraz między wartością estymowaną i rzeczywistą progą audiometryczną (ramki kreskowane) wyznaczone w systemach Audera i MASTER; punkt centralny – mediana, ramka – zakres 25% 75% wartości, wąsy – zakres 1,5 odchylenia standardowego. Zaznaczono także wartości odstające od tego zakresu (błędy grube)

Próg słyszenia był estymowany w systemie GSI Audera na podstawie automatycznego algorytmu zaimplementowanego w systemie, opartego na liniowej zależności regresyjnej. W systemie MASTER jako próg behawioralny przyjmowano wartość o 10 dB mniejszą od wyznaczonej wartości progę elektrofizjologicznego. Dla systemu Chartr EP nie opublikowano jak dotąd zaleceń nt. estymacji progę audiometrycznego; w przedstawionych tu badaniach porównano więc jedynie progi odpowiedzi ASSR i progi behawioralne wyznaczone w audiometrii tonalnej. Zależność estymacyjna $Próg_{PTA} = f(Próg_{ASSR})$ dla tego systemu jest przedmiotem odrębnych badań.

Wyniki

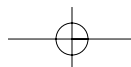
Wyniki pomiarów progów odpowiedzi ASSR wykazują znaczny rozrzut, zarówno między-, jak i śródosobniczy. Dzieje się tak pomimo faktu, że progi audiometryczne poszczególnych osób różniły się bardzo niewiele, a wszystkie kolejne pomiary u danej osoby były wykonywane w praktycznie identycznych warunkach. Zmienność tę ilustrują wykresy dystrybuanty różnic progów elektrofizjologicznego

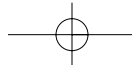
i behawioralnego, $Próg_{ASSR}$ $Próg_{PTA}$, przedstawione na ryc. 2.

Z przedstawionych wykresów wynika, że wyznaczone różnice między progiem odpowiedzi ASSR i progiem behawioralnym są odmienne w różnych systemach pomiarowych i zależą od częstotliwości bodźca. Widać to wyraźnie przy porównaniu wartości średnich różnic progów, co zilustrowano przy pomocy wykresów słupkowych na ryc. 3. Pokazano tam także średnie różnice między wartością estymowaną i rzeczywistą progą behawioralnego (w systemach Audera i MASTER) oraz odchylenia średniokwadratowe tych różnic.

Charakter rozrzutu zmierzonych wartości różnic progów odpowiedzi ASSR i behawioralnego oraz różnic między wartością estymowaną i rzeczywistą progą audiometryczną można dokładniej zilustrować wykresami ramkowymi, ryc. 4, na których przedstawiono mediany, zakresy 25%-75% wyników oraz zakresy $\pm 1,5$ odchylenia standardowego (tzw. wyników nieodstających).

Na podstawie przedstawionych na ryc. 4 wykresów można wnioskować, że między wynikami uzyskanymi w trzech badanych systemach występują wyraźne różnice, zarówno gdy chodzi o wartości średnie, jak i rozrzuty mierzonych





wielkości. Różnice można także zaobserwować między wynikami uzyskanymi w tym samym systemie na różnych częstotliwościach bodźca. Analiza statystyczna wyników potwierdza te spostrzeżenia.

Dyskusja

Wyniki pomiarów potwierdzają fakt, znany z innych doniesień, że progi odpowiedzi ASSR są w ogromnej większości przypadków wyższe, niż behawioralne progi słyszenia wyznaczone w audiometrii tonalnej. Średnia różnica progów waha się od kilku do ponad 20 dB i zależy od sposobu pomiaru, warunków w jakich odbywa się badanie i częstotliwości bodźca. Hipotezy na temat występujących różnic były dyskutowane w literaturze [Picton (i in.) 2004; Luts, Wouters 2004; Śliwa (i in.) 2004; Kochanek (i in.) 2005]. Niemniej, ocena wartości różnic progów jest często bardzo rozbieżna [Kochanek (i in.) 2005; Śliwa (i in.) 2005].

Innym powszechnie znanym zjawiskiem jest zmienność wyników pomiaru prowadząca do istotnych błędów przy estymacji progów behawioralnych. Wynika on z faktu, że wielkość mierzona (potencjał stanu ustalonego zmieszany z zakłóceniami i przypadkowym szumem tła) ma charakter stochastyczny, a metody detekcji bazują na estymatorach statystycznych. Zwiększenie poziomu istotności wymaga analizy większego zbioru danych, a to z kolei prowadzi do wydłużenia czasu pomiaru. Wniosek ten jest dobrze uzasadniony zarówno teoretycznie jak eksperymentalnie [Picton (i in.) 2004; Luts, Wouters 2004]. Przy ocenie estymatorów statystycznych przyjmuje się jednak na ogół założenie, że procesy mają charakter stacjonarny. Założenie to nie jest ściśle ani w przypadku sygnałów zakłócających (szumów tła EEG i in.), ani w przypadku sygnału potencjału słuchowego. Obserwowana w praktyce zmienność wyników jest więc z reguły znacznie większa, niż można by przewidzieć na podstawie prostych matematycznych modeli zjawiska.

Różne źródła podają często rozbieżne oszacowania zakresu zmienności progów odpowiedzi ASSR i odmienną (na ogół niezbyt dokładną) ocenę stochastycznego błędu pomiaru. Nie ma też jednolitej opinii czy – i w jaki sposób – wspom-

niana zmienność zależy od częstotliwości bodźca, wartości progów audiometrycznych osoby badanej itp.

W opisanych badaniach stwierdzono, że średnia wartość różnicy między progiem odpowiedzi ASSR a progiem behawioralnym wyraźnie zależy od zastosowanego systemu pomiarowego (a więc procedury pomiarowej i metody detekcji odpowiedzi) i od częstotliwości bodźca. Ilustruje to ryc. 3, a analiza statystyczna pokazuje, że w większości przypadków różnice między systemami są istotne (patrz tab. 2).

Zależność różnicy progów od częstotliwości bodźca nie jest tak jednoznaczna i nie zawsze stwierdzano ją w badaniach innych autorów. Uzyskane wyniki pokazują, że we wszystkich systemach występują istotne różnice jedynie między częstotliwościami 500 Hz i 1000 Hz, oraz 1000 Hz i 2000 Hz (tab. 3). W dwu z badanych systemów (MASTER i Chartr) zaobserwowano, że różnica progów ma tendencję malejącą w funkcji częstotliwości bodźca; w systemie Audera nie obserwuje się jednak żadnej regularności – co potwierdzają także inne źródła.

Odmienne przedstawia się sprawa zmienności wyników pomiarów w różnych systemach, na różnych częstotliwościach bodźców. Dystrybuanty rozkładu różnic progów na ryc. 2 i wykresy rozrzutu na ryc. 4 sugerują, że zmienność wyników pomiaru jest silniejsza w systemie Audera, niż w dwu pozostałych badanych systemach. Analiza statystyczna potwierdza tę tendencję jedynie gdy system Audera porównuje się do systemu Chartr na częstotliwości 2 kHz.

Nie stwierdza się istotnego wpływu częstotliwości bodźca na zakres rozrzutu wyników pomiaru progów odpowiedzi ASSR, ani na zmienność różnicy między progiem ASSR i audiometrycznym. Jedynym wyjątkiem jest system Chartr, w którym zaobserwowano istotnie różne wariacje różnicy progów na częstotliwościach 1 kHz i 2 kHz.

Ciekawszym i o większym praktycznym znaczeniu jest spostrzeżenie, że estymowane wartości progów audiometrycznych, wyznaczone w różnych systemach elektrofizjologicznych, w istotny sposób różnią się od siebie. Porównanie przeprowadzono między dwoma systemami, GSI Audera i BioLogic MASTER; w pierwszym wyznaczano próg behawioralny przy pomocy automatycznego algorytmu estyma-

Tab. 2. Poziom istotności p różnic między wartościami średnimi różnicy progów ASSR i behawioralnego. Porównanie różnych systemów przy tej samej częstotliwości. NI - różnica nieistotna.

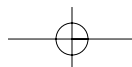
	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Audera - MASTER	<0,0001	0,087	<0,0001	<0,0001
Audera - Chartr	NI	NI	<0,0001	<0,0001
MASTER - Chartr	<0,0001	0,021	NI	NI

Tab. 3. Poziom istotności p różnic między wartościami średnimi różnicy progów ASSR i behawioralnego. Porównanie między częstotliwościami bodźca w tym samym systemie.

	500Hz - 1k	500Hz - 2k	500Hz - 4k	1k - 2k	1k - 4k	2k - 4k
Audera	0,00026	NI	NI	0,028	<0,0001	0,035
MASTER	0,042	<0,0001	0,0002	0,0027	NI	NI
Chartr	0,01	<0,0001	<0,0001	0,0025	NI	NI

Tab. 4. Porównanie estymowanych (EST) i rzeczywistych (PTA) wartości progów audiometrycznych.

	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Średnia różnica progów EST PTA (Audera)	13,9	9,8	14,3	12,8
Średnia różnica progów EST PTA (MASTER)	7,5	7,3	5,1	6,5
Test t (różnica średnich)	p=0,06	NI	p=0,002	p=0,011
Test F (iloraz wariacji)	p=0,001	NI	p=0,006	p=0,005



cyjnego, w drugim korzystano z zalecanego przez wytwórcę sposobu oszacowania progu behawioralnego, $Próg_{PTA} \approx Próg_{ASSR} - 10$ dB. Wyniki analizy przedstawiono w tab. 4. Średnia wartość estymowana progu audiometrycznego w systemie MASTER jest, jak wynika z tych danych, istotnie bliższa wartości rzeczywistej tego progu. Dla częstotliwości 1 kHz ma ona wartość mniejszą, niż w systemie Audera, lecz w tym przypadku różnica jest powyżej progu istotności.

Niezmiernie ważne jest jednak stwierdzenie, że w systemie MASTER uzyskuje się nie tylko mniejsze średnie wartości różnic między estymowanym i rzeczywistym progiem audiometrycznym (patrz tab. 4), ale że również rozrzut tych różnic jest istotnie mniejszy (stosunek wariancji jest wszędzie większy od 1, przy czym jedynie na częstotliwości 1 kHz $p > 0,05$). Podobne były spostrzeżenia innych autorów [Luts i Wouters 2005], lecz nie potwierdzono ich danymi z pomiarów w dostatecznie dużej grupie pacjentów normalnie słyszących.

Wnioski

1. Niezależnie od rodzaju systemu pomiarowego stosowanego w pomiarach słuchowych potencjałów stanu ustalonego stwierdza się występowanie znacznych różnic między progiem odpowiedzi ASSR i progiem behawioralnym, oraz znaczną śródosobniczą i międzyposobniczą zmienność tej różnicy, która może zawierać się w przedziale od kilkunastu do kilkudziesięciu dB HL.

2. Algorytmy estymacji progu audiometrycznego stosowane w niektórych systemach nie działają dostatecznie dokładnie w przypadkach słuchu normalnego i niewielkich ubytków słuchu. Błąd średni dla populacji normalnie słyszących (błąd systematyczny estymacji) sięga niekiedy 10 dB; błąd ten może i powinien być wyeliminowany przez użycie bardziej dokładnych zależności estymacyjnych.

3. Stwierdza się istotne różnice w działaniu poszczególnych systemów elektrofizjologicznych, co przekłada się na dokładność pomiaru słuchowych potencjałów stanu ustalonego. Błędy systematyczny i przypadkowy estymacji progu audiometrycznego są istotnie różne w różnych systemach. Odmienność w działaniu systemów wynika z metod i kryteriów detekcji sygnału, czasu gromadzenia danych i rozmiaru rekordów danych uwzględnianych w analizie.

Jak wynika z doświadczeń autorów i opinii formułowanych w literaturze, środkami pozwalającymi zmniejszyć zmienność wyników i ograniczyć błędy przypadkowe estymacji progu słyszenia jest staranna kontrola warunków pomiaru, eliminacja zakłóceń elektromagnetycznych i zapewnienie właściwych warunków akustycznych w trakcie badania. Jeszcze ważniejsza jest staranna kontrola stanu pacjenta – unikanie stresu, zmęczenia i stanu pobudzenia, jednolity stan świadomości pacjenta we wszystkich badaniach, zachowanie spokoju w czasie pomiaru, eliminacja artefaktów mięśniowych, wzrokowych itp. Z drugiej strony, poprawa dokładności może być osiągnięta przez wykorzystanie bardziej efektywnych bodźców i lepszych algorytmów statystycznej detekcji słuchowych potencjałów stanu ustalonego. Prace nad tymi zagadnieniami są prowadzone przez autorów i będą przedmiotem następnych doniesień.

Bibliografia

- Cone-Wesson B., Rickards F., Poulis C., Parker J., Tan L., Pollard J. [2002]. The auditory steady state response. III. Clinical observations and applications in infants and children. „Journal of the American Academy of Audiology” 13, 270-282.
- 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.
- Grason-Stadler [2001]. Auditory Steady-State Evoked Response. A new tool for frequency-specific hearing assessment in infants and children. Grason-Stadler Inc., Madison, www.grason-stadler.com.
- John M. S., Dimitrijevic A., Picton T. W. [2002]. Auditory steady-state responses to exponential modulation envelopes. „Ear & Hearing” 23, 106-117.
- John M. S., Picton T. W. [2000]. MASTER: A Window program for recording multiple auditory steady-state responses. „Computer Methods and Programs in Biomedicine” 61, 125-150.
- Kochanek K., Śliwa L., Skarzyński H., Piłka A. [2005]. Ocena rozrzutu śród- i międzyposobniczego progów słuchowych odpowiedzi stanu ustalonego u osób o słuchu normalnym. „Audiofonologia” 27, 37-43.
- Luts H., Wouters J. [2004]. Hearing assessment by recording multiple auditory steady-state responses: The influence of test duration. „International Journal of Audiology” 43, 471-478.
- Luts H., Wouters J. [2005]. Comparison of MASTER and AUDERA for measurement of auditory steady-state responses. „International Journal of Audiology” 44, 244-253.
- Picton T. W., John M. S., Purcell D. W., Dimitrijevic A. [2003]. Human auditory steady-state responses. „International Journal of Audiology” 42, 177-219.
- Śliwa L., Kochanek K., Piotrowska A., Piłka A. [2004]. Podstawy metod rejestracji i wykorzystania słuchowych potencjałów wywołanych stanu ustalonego – ASSR. „Audiofonologia” 26, 21-28.
- Śliwa L., Kochanek K., Piotrowska A., Piłka A. [2005]. Evaluation of intra- and intersubject variability of ASSR threshold in normal hearing subjects. 19th Biennale Symposium of the International Evoked Response Audiometry Study Group (IERASG), Havana, Cuba, Materiały konferencji, 74.
- Van der Reijden Ch., Mens L. H. M., Snik A. F. M. [2004]. Signal-to-noise ratios of the auditory steady-state response from fifty-five derivations in adults. „Journal of the American Academy of Audiology” 15, 692-701.