

Ocena zgodności progów słyszenia w badaniach potencjałów słuchowych stanu ustalonego (ASSR), audiometrii tonalnej i słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu (ABR) u młodych osób z prawidłowym słuchem

The estimation of behavioral audiograms, auditory brainstem response (ABR) thresholds and auditory steady-state response (ASSR) thresholds of young adults with normal hearing

Anna Szymańska, Maciej Gryczyński, Anna Pajor

I Katedra Otolaryngologii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi,
Uniwersyteckiego Szpitala Klinicznego nr 1 im. N. Barlickiego
Kierownik: prof. dr hab. med. T. Durko

Summary

Introduction. One of the basic audiological parameter in estimation of hearing sensitivity is hearing threshold. The need for an objective tool to efficiently predict the audiogram caused that the use and importance of ASSR method is growing in recent times. However, the technique is quite new and needs to be still improved. Aim of the study was the estimation of behavioral audiogram in comparison with ABR and ASSR threshold of young adults with normal hearing. **Material and methods.** The study sample included 9 subjects with normal hearing (18 ears) with no abnormalities in otoscopy. Behavioral hearing thresholds and ASSRs to carrier frequencies of 0.5, 1, 2, and 4 kHz were obtained. The ASSRs were assessed with Bio-logic MASTER system by the use of four sinusoidal tones both frequency – and amplitude – modulated given simultaneously to every ear for each carrier frequency. The potentials are collected, averaged and analyzed in this method by the fast Fourier transform to yield statistically significant responses. Electrophysiologic threshold responses for click ABR stimuli for the same carrier frequencies for right and left ear were obtained by the use of Bio-logic Navigator Pro unit. Differences and correlations between the ASSRs, ABRs and the behavioral thresholds were determined. **Results.** We discovered that the values of pure tone audiograms and ABRs thresholds values differ from ASSRs considerably. We could also observed that the difference between behavioral and ABRs threshold is less than for behavioral and ASSRs threshold. **Conclusion.** To conclude, this study shows that auditory steady-state responses technique is not useful method in estimating of hearing threshold of young adults with normal hearing.

Hasła indeksowe: ASSR, audiometria tonalna, próg słuchu

Key words: ASSR, pure-tone audiometry, hearing threshold

Otolaryngol Pol 2008; LXII (6): 735–739 © 2008 by Polskie Towarzystwo Otorinolaryngologów – Chirurgów Głowy i Szyi

WSTĘP

Jednym z podstawowych parametrów audiometrycznych oceniających narząd słuchu jest próg słuchu. Można go określać metodami psychoakustycznymi i elektrofizjologicznymi. Najprostszym sposobem, który orientacyjnie ocenia słuch, jest badanie akume-

tryczne szeptem z użyciem odpowiednich zestawów słów zawartych w tzw. tablicach akumetrycznych. Najpowszechniejszą jednak metodą psychoakustyczną jest badanie audiometryczne, w którym próg słyszenia można wyznaczyć za pomocą przewodnictwa kostnego i powietrznego dla częstotliwości najbardziej reprezentatywnych dla człowieka (0,125–8 kHz) [1]. Wśród

Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

badań elektrofizjologicznych oznaczania progu słuchu najważniejszą rolę odgrywają słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu (*auditory brainstem responses* – ABR), gdzie wskaźnikiem progu słyszenia w paśmie 2–4 kHz jest obecność fali V w zapisie odpowiedzi pnia mózgu, zwanym szeregiem natężeniowym po podaniu bodźca (trzask). W celu uzyskania zapisu równoważnego audiogramowi tonalnemu wykonuje się tzw. rekonstrukcję audiogramu, poszerzając badanie dla częstotliwości 0,5 i 1 kHz poprzez zastosowanie krótkich impulsów tonalnych [2].

Poszukiwania obiektywnej metody wyznaczającej próg słuchu najbardziej zbliżony do rzeczywistego spowodowały, że w ostatnich latach coraz większe zastosowanie zyskały badania słuchowych potencjałów stanu ustalonego (*Auditory Steady State Response* – ASSR). Badania nad tą metodą zostały zapoczątkowane jednocześnie przez naukowców z różnych krajów w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Do najważniejszych należą osiągnięcia badaczy z Australii (Rickards, Rance i Clark, 1984) oraz Kanady (Stapells, Linden, Suffield, Hamel i Picton, 1984), którzy równolegle skonstruowali aparaturę do pomiaru i analizy potencjałów stanu ustalonego. Prace kanadyjskich naukowców dały podstawy do stworzenia szeroko stosowanej techniki MASTER (*Multiple Auditory Steady – State Evoked Response*). Jednocześnie pojawiło się wielu wytwórców aparatury do detekcji ASSR, szczególnie w Stanach Zjednoczonych. Impulsem do rozwoju tej metody była przydatność w badaniach elektrofizjologicznych wyznaczania progu słuchu u dzieci z głębokim niedosłuchem [3, 4].

Odpowiedzi elektryczne mózgu wywołane przez podanie szybko powtarzanych stymulacji dźwiękowych określane są jako potencjały słuchowe stanu ustalonego, gdyż ich składnik częstotliwościowy nie zmienia się w czasie [5]. W technice tej wykorzystuje się zdolność odbierania i przetwarzania dźwięku o różnym natężeniu i częstotliwości poprzez zastosowanie ich modulacji amplitudowej (AM – *amplitude modulated*) oraz częstotliwościowej (FM – *frequency modulated*) [6]. Dzięki temu można ocenić zdolność ślimaka i pnia mózgu oraz dalszej części drogi słuchowej do odbierania różnic w natężeniu i częstotliwości fali dźwiękowej. Technika ASSR pozwala na rejestrację odpowiedzi zarówno korowych (modulacja 40 Hz), jak i podkorowych (modulacja 80–110 Hz), a więc umożliwia rejestrację impulsów z praktycznie całej drogi słuchowej [7]. Badanie ASSR może być użyteczne w ocenie progu słuchu u dzieci i osób dorosłych, chorych z głębokim upośledzeniem słuchu, w ocenie skuteczności stosowania aparatów słuchowych oraz w celach orzecznicych [3, 8].

Celem pracy była ocena zgodności progu słyszenia wyznaczonego w badaniu ASSR w zestawieniu z wynikami audiometrii tonalnej oraz progami słyszenia ustalonym za pomocą potencjałów słuchowych wywołanych pnia mózgu (ABR) u młodych osób z prawidłowym słuchem.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w grupie 9 zdrowych, młodych osób (18 uszu), w wieku od 24 do 35 lat (średnia wieku – $27,4 \pm 4,4$ lat), było wśród nich 7 kobiet i 2 mężczyzn. Badani nie zgłaszali żadnych dolegliwości ze strony słuchu, szumów usznych ani zawrotów głowy. W badaniu otoskopowym błony bębenkowe były niezmienione. U wszystkich osób wykonano audiometrię tonalną, badanie słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu i badanie słuchowych potencjałów stanu ustalonego.

Badanie audiometrii tonalnej (AT) wykonano aparatem Aurical firmy Madsen w zakresie 0,125–8 kHz dla przewodnictwa powietrznego oraz kostnego. Zastosowano słuchawki zewnętrzne TDH 39 oraz wibrator kostny B-71. Badanie ABR wykonano za pomocą urządzenia Navigator Pro firmy Bio-logic rejestrując szereg natężeniowy dla każdego ucha po zastosowaniu bodźca (trzask) od 90 dB nHL do 10 dB nHL (zmniejszając natężenie co 20 dB, a w okolicy progu słuchu co 10 dB), stosując 2000 powtórzeń dla każdego pomiaru.

Badanie ASSR wykonano z użyciem systemu MASTER firmy Bio-logic. Technika testu oparta jest na statystycznym opracowaniu odpowiedzi elektrofizjologicznych mózgu wywołanych poprzez bodźce słuchowe pod postacią ośmiu tonów modulowanych dla różnych częstotliwości (0,5, 1, 2, 4 kHz) podawanych jednocześnie po cztery do każdego ucha. Zakres modulacji amplitudy wynosił 100%, natomiast częstotliwości do 20%. Badanie rozpoczynano od wyjściowego natężenia dźwięku o 20 dB większego niż próg słuchu wyznaczony w audiometrii tonalnej dla częstotliwości, przy której miał on największą wartość. Natężenie dźwięku zmniejszano o 10 dB. Za próg słuchu uznawano najmniejsze natężenie dźwięku dla danej częstotliwości, przy którym pojawiła się znamienna statystycznie odpowiedź. Za poziom odrzucenia artefaktów przyjęto wartość $40 \mu\text{V}$. Pozostałe parametry stymulacji zastosowano zgodnie z zaleceniami producenta (32 powtórzenia dla 40 dB i 30 dB, 40 dla 20 dB, 45 dla 10 dB). Zarówno w badaniu ASSR, jak i w ABR pacjent pozostawał w stanie czuwania, w pozycji półleżącej z zamkniętymi

Tabela I. Zestawienie zakresu, średnich wartości progów słuchu ($x \pm SD$) oraz różnic ($\pm SD$) w średnich wartościach progów słuchu w dB HL dla poszczególnych częstotliwości w audiometrii tonalnej (AT) i badaniu potencjałów słuchowych stanu ustalonego (ASSR) oraz średnich wartości progów słuchu w dB nHL w badaniu słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu (ABR – trzask) (n = 18 uszu)

Częstotliwość	Badanie AT		Badanie ASSR		AT-ASSR	Porównanie AT – ASSR
	zakres	średnia \pm SD	zakres	średnia \pm SD	różnice w średnich (\pm SD)	p
500 Hz	10–20	15,3 \pm 3,6	10 - 50	26,7 \pm 12,8**	11,4 \pm 12,6	p<0,01
1000 Hz	5–20	12,5 \pm 3,9	10 - 40	22,4 \pm 9,0*	9,9 \pm 8,1	p<0,001
2000 Hz	10–25	13,3 \pm 4,2	10 - 40	17,8 \pm 10,0	4,5 \pm 8,9	p<0,05
4000 Hz	5–25	13,9 \pm 4,7	10 - 40	19,4 \pm 11,1	5,5 \pm 10,6	p<0,05
Badanie ABR	10–30	16,1 \pm 8,5	10 - 30	16,1 \pm 8,5		

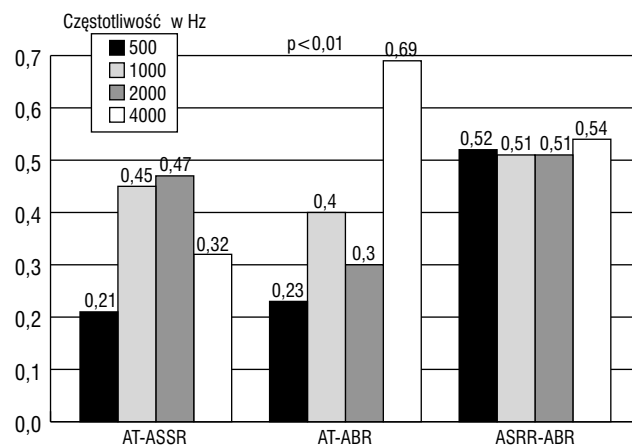
Porównanie badania ABR z: – badaniem AT – brak różnic istotnych statystycznie; – badaniem ASSR ** – p<0,01; * – p<0,05

oczyma. W technice ABR elektrody umieszczano na obu wyrostkach sutkowatych i na linii włosów czoła w linii pośrodkowej. W badaniu ASSR zastosowano rozmieszczenie elektrod zgodne z zaleceniami producenta: na czole w linii pośrodkowej (Vertex), na szyi na granicy włosów w linii pośrodkowej (Inion) i na prawym wyrostku sutkowatym (Mastoid). Badanie AT oraz ABR wykonywano w tym samym dniu w odstępie jednej godziny, a badanie ASSR w odstępie jednego dnia. Wszystkie badania wykonywane były w jednakowych warunkach, w wyciszonym pomieszczeniu i przez tę samą osobę, zawsze w tej samej kolejności. Badanie AT wykonywano w pierwszej kolejności ze względu na to, żeby znając próg słuchu wyznaczony w tym badaniu dobrać odpowiednio większe wyjściowe natężenie dźwięku w technice ASSR. Badanie ASSR przeprowadzane było w następnym dniu po badaniu ABR, aby uniknąć wykonywania dwóch badań elektrofizjologicznych jednego dnia.

Osoby biorące udział w badaniach były poinformowane o ich celu, a na badania uzyskano zgodę Komisji Bioetyki UM w Łodzi (uchwała Nr RNN/155/07/KE). Przeprowadzono analizę progów słuchu wyznaczonych w audiometrii tonalnej, w badaniu ASSR oraz dla zakresu 2–4 kHz w badaniu ABR-trzask i określono różnice między nimi. W analizie statystycznej dla porównania średnich wartości progów słuchu w każdej z metod wykorzystano test t-Studenta oraz test Wilcoxon dla prób zależnych. W celu wyznaczenia korelacji indywidualnych wyników obliczono współczynnik korelacji Pearsona. Za wartość istotną statystycznie przyjęto p<0,05.

WYNIKI

Porównując średnie wartości progów słuchu wyznaczonych w badaniach AT i ABR nie stwierdzono



Ryc. 1. Wartości współczynników korelacji Pearsona dla różnych metod oceny progów słuchu (AT, ASSR i ABR)

różnic istotnych statystycznie (tab.I). Dla średnich wartości progów wyznaczonych w badaniach ASSR i AT dla każdej ze stosowanych częstotliwości występowały różnice znamienne statystycznie (p<0,05). Różnice w średnich wartościach progów między AT i ASSR dla poszczególnych częstotliwości zawarte były w zakresie od 4,5 do 11,4 dB HL, a wartości progów słuchu wyznaczone w AT były średnio niższe niż w ASSR, zwłaszcza dla 2000 Hz – 4,5 dB HL i 4000 Hz – 5,5 dB HL. Średnie wartości progów w ABR i ASSR były najbardziej zbliżone do siebie dla 2 i 4 kHz, natomiast dla 0,5 i 1 kHz obserwowano najmniejszą zgodność tych wartości.

Współczynniki korelacji między indywidualnymi wynikami w badaniach AT i ASSR były niewielkie (r<0,5) dla wszystkich zastosowanych częstotliwości (ryc. 1). Największą korelację w oznaczanych progach otrzymano w porównaniu badań AT i ABR dla 4 kHz (r = 0,69) przy małej wartości współczynnika korelacji r dla pozostałych częstotliwości. Nie stwierdzono

korelacji między badaniami ASSR i ABR dla indywidualnych wyników w zakresie badanych częstotliwości (dla 0,5 Hz $r=0,52$, 1 kHz $r=0,52$, 2 kHz $r=0,51$, 4 kHz $r=0,54$).

OMÓWIENIE

Badania słuchowych potencjałów wywołanych stanu ustalonego są nową metodą obiektywnego wyznaczania progu słuchu wymagającą dalszych badań. Konieczne wydaje się opracowanie norm klinicznych i standardów techniki badania, stąd w pracy podjęty został ten temat. W przeprowadzonych badaniach dla średnich wartości progów słuchu wyznaczonych metodami AT i ASSR, dla każdej z zastosowanych częstotliwości występowały różnice istotne statystycznie, co oznacza, iż u młodych osób z prawidłowym słuchem wartości te są mało ze sobą zgodne. Największa różnica w średnich wartościach progu słuchu wyznaczonego za pomocą AT i ASSR wynosiła 11,4 dB i nie odbiegała od wyników uzyskanych przez innych badaczy, którzy stwierdzili dużą rozbieżność między wartościami progu słuchu ocenianymi tymi metodami, dochodzącą do 20 dB, przy czym była ona większa u osób prawidłowo słyszących w porównaniu z niedosłuchem czuciowo-nerwowym, w którym wartości progów słyszenia często się pokrywały [9–13]. Zjawisko to można tłumaczyć faktem, iż u osób prawidłowo słyszących detekcja okołoprogowych potencjałów stanu ustalonego jest trudna ze względu na ich małe napięcie, które jest zamaskowane szumem EEG. Należy również brać pod uwagę, że do uzyskania odpowiedzi stanu ustalonego stosuje się większe pobudzenie niż wykorzystywane w audiometrii tonalnej [14]. W badaniach własnych różnice między progami wyznaczonymi pomiarami AT i ASSR były u osób zdrowych większe dla małych częstotliwości – 0,5 i 1 kHz (odpowiednio 11,4 i 9,9 dB) niż dla częstotliwości większych – 2 i 4 kHz – (odpowiednio 4,5 i 5,5 dB). Zjawisko to jest spowodowane większą amplitudą potencjałów ASSR dla większych częstotliwości, co umożliwi ich łatwiejszą rejestrację [9, 12, 15–17].

Wydaje się, że oddziaływanie takich czynników, jak wiek i płeć na potencjały ASSR jest nieistotne. Niektórzy badacze obserwowali duże różnice międzyosobnicze w wynikach badania, co może utrudniać ocenę wpływu tych czynników [14, 17]. Zauważono zależność między wynikami badania ASSR a rodzajem ubytku słuchu dla niedosłuchu przewodzeniowego [3, 15]. Różnice w wartościach progu słuchu wyznaczonego w ASSR były większe w niedosłuchu przewodzeniowym niż odbiorczym. Wy tłumaczeniem tego jest fakt, że odpowiedź

elektrofizjologiczna w ASSR zwiększa swą amplitudę wraz ze wzrostem natężenia podawanego bodźca szybciej w przypadku niedosłuchu odbiorczego, co powoduje łatwiejsze odbieranie potencjałów dla natężeń okołoprogowych.

Badanie ABR wykonane z użyciem trzasku wnosi informację o progu słuchu w zakresie 2–4 kHz, przez co nie jest w pełni specyficzne częstotliwościowo. Niektórzy autorzy porównywali wartość progu oznaczonego w badaniu ABR z wartościami progu słuchu dla każdej częstotliwości w badaniu ASSR [10], natomiast inni uśredniali wartość progu oznaczonego w ASSR dla 2 i 4 kHz i porównywali z progiem wyznaczonym w ABR [18–19]. Dokładne porównanie progu słuchu wyznaczonego tymi metodami jest możliwe po dokonaniu rekonstrukcji audiogramu w badaniu ABR dla wszystkich częstotliwości testowanych w ASSR [20]. Ci sami autorzy stwierdzili dużą korelację wyników progu słuchu oznaczonego w audiometrii tonalnej z progiem wyznaczonym w badaniu ABR – trzask ($r>0,77$), a korelacje progów w ASSR i ABR – trzask były znamienne statystycznie. W badaniach własnych największą korelację w oznaczonych progach otrzymano między metodami AT i ABR dla 4 kHz ($r=0,69$) i nie stwierdzono korelacji dla indywidualnych wyników w zakresie badanych częstotliwości. Wysoką korelację wyników badań AT i ABR u osób z niedosłuchem odbiorczym autorzy tłumaczyli porównywaniem tylko jednej wartości progu w przypadku ABR – trzask z czterema wartościami progu w audiogramie tonalnym o płaskim przebiegu krzywej. Kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na dużą korelację AT i ABR – trzask jest fakt, że stymulacja akustyczna powoduje bardziej synchroniczne wyładowanie neuronów i szerszy zakres wzbudzenia błony podstawnej niż pobudzenie tonami w audiometrii, czy też rejestracji ABR dla krótkich tonów. Dlatego nawet w niedosłuchach odbiorczych w zakresie dużych częstotliwości potencjały ABR będą generowane w odpowiedzi na trzask z tego regionu ślimaka, gdzie zachodzą wyładowania synchroniczne.

Istotny pozostaje fakt, że technika ASSR oparta jest na automatycznym oznaczaniu progu słuchu, podczas gdy badanie ABR polega na wizualnym oznaczeniu fali V w zapisie EEG przez osobę wykonującą badanie. Nasuwa się pytanie, czy badający, który zna wyniki audiometrii tonalnej nie sugeruje się nimi wykonując rekonstrukcję audiogramu w badaniu ABR. Być może do obiektywnego porównania obu metod konieczne jest stworzenie systemu do automatycznego zapisu ABR. Technika badania ASSR jest relatywnie nowa i rodzi wiele pytań. W celu rozwiązania tych problemów konieczne jest prowadzenie dalszych badań nad samą metodą ASSR oraz jej zastosowaniem klinicznym.

WNIOSKI

1. U młodych osób z prawidłowym słuchem wartości progu słuchu w badaniu ASSR różnią się znacząco od wartości uzyskanych w badaniach AT i ABR – trzask.

2. U młodych osób z prawidłowym słuchem różnice w wartościach progu słuchu wyznaczonych metodami AT i ABR są mniejsze niż dla metod AT i ASSR.

3. Badanie ASSR jest mało przydatne w ocenie progu słuchu u młodych osób z prawidłowym słuchem.

PIŚMIENNICTWO

- Gryczyński M, Pajor A. Audiometria tonalna. W: Śliwińska-Kowalska M. red. Audiologia Kliniczna. Łódź: Mediton 2005 str.113–119.
- Kochanek K. Słuchowe potencjały wywołane. W: Śliwińska-Kowalska M. red. Audiologia Kliniczna. Łódź: Mediton 2005 str. 163–176.
- Hall JW. New Handbook of auditory evoked responses. 1st ed. Boston: Pearson Education Inc.; 2007 s. 258–312.
- Yoshinaga-Itano C, Sedey A, Coulter D, Mehl A. Language of early-and later-identified children with hearing loss. Pediatrics 1998; 102: 1161–71.
- Picton TW. Human Steady-State Responses. Terry Picton handout, 2002, www.hearing.cjb.net.
- John M, Lins O, Boucher B, Picton T. Multiple auditory steady-state responses (MASTER): stimulus and recording parameters. Audiology 1998; 37: 59–82.
- Van Maanen A, Stapells D. Comparison of multiple auditory steady-state response (80 versus 40 Hz) and slow cortical potentials for threshold estimation in hearing-impaired adults. Int J Audiol. 2005; 44: 613–24.
- Hood LJ. Auditory steady state responses and pediatric test battery. Vanderbilt University, Department of Hearing and Speech Sciences. www.ausp.memphis.edu/nsslha/ midsouth/ms2007/handouts/MS-13_Hood.pdf.
- Attias J, Buller N, Rubel Y, Raveh E. Multiple auditory steady-state responses in children and adults with normal hearing, sensorineural hearing loss, or auditory neuropathy. Ann Otol Rhinol Laryngol. 2006; 115: 268–276.
- Swanepoel D, Schmulian D, Hugo R. Establishing normal hearing with the dichotic multiple-frequency auditory steady-state response compared to an auditory brainstem response protocol. Acta Otolaryngol. (Stockh.) 2004; 124: 62–68.
- Herdman A, Stapells D. Thresholds determined using the monotic and dichotic multiple auditory steady-state response technique in normal hearing subjects. Scand Audiol. 2001; 30: 41–49.
- Herdman A, Stapells D. Auditory steady-state response threshold of adults with sensorineural hearing impairments. Int J Audiol. 2003; 42: 237–248.
- Luts H, Wouters J. Comparison of MASTER and AUDERA for measurement of auditory steady-state responses. Int. J Audiol. 2005; 44: 244–253.
- Kochanek K, Śliwa L, Piłka A, Skarżyński H. Ocena rozrzutu wśród- i międzyosobniczego progów słuchowych odpowiedzi stanu ustalonego u osób o słuchu normalnym. Audiofonologia 2005; 27: 37–41.
- Dimitrijevic A, John S, Van Roon P, Purcell D, Adamonis J, Ostroff J, Nedzelski J, Picton T. Estimating the audiogram using multiple auditory steady-state responses. J Am Acad Audiol. 2002; 13: 205–224.
- Swanepoel D, Hugo R, Roode R. Auditory steady-state responses for children with severe to profound hearing loss. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 2004; 130: 531–535.
- Picton T, John M, Dimitrijevic A, Purcell D. Human auditory steady-state responses. Int J Audiol. 2003; 42: 177–219.
- Scherf F, Brokx J, Wuyts FL, van de Heyning PH. The ASSR: clinical application in normal hearing and hearing-impaired infants and adults, comparison with the click-evoked ABR and pure-tone audiometry. Int. J Audiol. 2006; 45: 281–286.
- Firszt J, Gaggi W, Runge-Samuelsen C, Burg L, Wackym A. Auditory sensitivity in children using the auditory steady-state response. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 2004; 130: 536–540.
- Cone-Wesson B, Dowell R, Tomlin D, Rance G, Ming W. The auditory-steady-state response: comparisons with the auditory brainstem response. J Am Acad Audiol. 2002; 13: 173–187.

Adres autora:

I Katedra Otolaryngologii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

Uniwersytecki Szpital Kliniczny nr 1

im. N. Barlickiego

ul. Kopcińskiego 22

90-153 Łódź

tel./fax 042-6785-785

e-mail: amc.wicher@wp.pl

Pracę nadesłano: 10.04.2008 r.

Zaakceptowano do druku: 04.08.2008 r.