

Krzysztof Kochanek, Henryk Skarżyński, Grzegorz Janczewski,
Agnieszka Jędrusik, Adam Piłka, Janusz Olczak

Klinika Otolaryngologii Akademii Medycznej
Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu
Warszawa

**Ocena progu słyszenia dla 500 Hz
oraz w zakresie częstotliwości 2-4 kHz
za pomocą słuchowych potencjałów
wywołanych pnia mózgu**

Evaluation of Hearing Threshold Using ABR Evoked by 500 Hz
Tone Pip and Click

Słowa kluczowe: słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu, próg słyszenia,
specyficzność częstotliwościowa.

Key words: auditory brainstem response, hearing threshold, frequency specificity.

Streszczenie

W pracy badano związek między progiem słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu (ABR) i progiem audiometrycznym w grupie 450 osób — 50 o słuchu normalnym i 400 z ubytkami słuchu o różnej wielkości typu przewodzeniowego i zmysłowo-nerwowego. W grupie osób z ubytkami słuchu przeważały osoby z audiogramami typu płaskiego (82%). Osób z audiogramami charakterystycznymi dla ubytków wysokoczęstotliwościowych było 14%, natomiast z ubytkami niskoczęstotliwościowymi — 4%. Odpowiedzi pnia mózgu wywoływano trzaskiem oraz impulsem tonalnym o obwodni gaussowskiej i częstotliwości 500 Hz. Analiza wartości średnich różnic między progami fali V oraz progami audiometrycznymi wykazała, że różnice te nie przekraczają 5 dB. Wysokie wartości współczynników korelacji liniowej (ok. 1) oznaczają istnienie silnego związku pomiędzy tymi dwoma rodzajami progów. Otrzymane wyniki badań wskazują na to, że na podstawie progu fali V słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu można oznaczać próg słyszenia dla 500 Hz oraz w paśmie częstotliwości 2-4 kHz z błędem nie większym niż błąd audiometrycznego badania progowego.

Summary

The purpose of this study was to determine relationship between tone-pip and click ABR threshold and pure-tone audiometric threshold. 50 normal hearing subjects and 400 subject

with different types (conductive and sensorineural), various degrees and configurations of hearing loss participated in this study. Tone-pip was digitally realized sinusoid at 500 Hz with Gaussian envelope. Analysis time was 20 ms for tone pip and 10 ms for click. Stimuli were presented monaurally through TDH-49 earphones with 37/s repetition rate. The ABR thresholds were determined in 10 and 5 dB steps. The mean differences and standard deviations between pure-tone and ABR threshold were calculated, as well as correlation between both kind of thresholds. A strong positive correlation was found between ABR and audiometric threshold.

Rejestracje słuchowych potencjałów pnia mózgu (ABR) wywoływane trzaskiem są od dawna wykorzystywane w obiektywnej ocenie progu słyszenia oraz w diagnostyce różnicowej. W wielu pracach wykazano, że odpowiedzi ABR dla trzasku są zdominowane aktywnością ślimaka w zakresie wysokich częstotliwości, a próg fali V odpowiada średniej wartości progu słyszenia wyznaczonego w badaniu audiometrycznym w paśmie 2000-4000 Hz [Bauch, Olsen 1988; van der Drift (i inni) 1987]. Oznacza to, że za pomocą tego bodźca nie można uzyskać informacji o progu słyszenia w zakresie niskich częstotliwości, tak ważnych z punktu widzenia rehabilitacji słuchu za pomocą aparatu słuchowego. Badanie ABR dla różnych częstotliwości wymaga stosowania metod specyficznych częstotliwościowo — metod z maskowaniem lub metod wykorzystujących do stymulacji krótkie impulsy tonalne. Metody z maskowaniem nie znalazły, jak do tej pory, większego zastosowania w praktyce klinicznej z uwagi na pewne ograniczenia. Chodzi tu m.in. o konieczność stosowania dużej liczby uśrednień (ponad 4000), o gorszą jakość odpowiedzi, dłuższy czas rejestracji oraz o ograniczenia w zakresie maksymalnej intensywności sygnałów maskujących. Metody te wymagają ponadto używania znacznie bardziej rozbudowanej aparatury.

O wiele prostsza i częściej stosowana jest metoda, która polega na stosowaniu krótkich impulsów tonalnych bez podawania sygnałów maskujących. Standardowym bodźcem wykorzystywanym w tej metodzie jest bodziec o obwiedni liniowej. Bodziec ten ma stosunkowo szerokie widmo mocy, co powoduje pobudzenie dość dużego obszaru błony podstawnej, leżącego wokół częstotliwości sinusoidy wpisanej w obwiednię. Zatem specyficzność częstotliwościowa słuchowych potencjałów pnia mózgu wywołanych tymi bodźcami jest ograniczona. Alternatywą dla bodźców o obwiedniach liniowych są bodźce kształtowane obwiedniami nieliniowymi. Już w 1985 r. Davis wyrażał pogląd, że krótkie impulsy tonalne kształtowane obwiedniami nieliniowymi umożliwią uzyskiwanie odpowiedzi ABR o większym stopniu specyficzności częstotliwościowej niż bodźce o obwiedni liniowej (trójkątnej lub trapezowej). Bodźce o obwiedniach nieliniowych charakteryzują się węższym widmem mocy niż bodźce o obwiedni liniowej oraz dużym odstępem listków bocznych od głównego prążka widma. W ostatnich latach, w nowszych systemach do badań elektrofizjologicznych słuchu, pojawiły się mo-

żliwości generowania takich właśnie bodźców. Przykładem obwiedni nieliniowej jest krzywa Gaussa [Harris 1978], którą zastosowano w niniejszej pracy. Liczba publikacji z zakresu zastosowania odpowiedzi ABR wywołanych krótkimi impulsami tonalnymi w badaniach progu słyszenia jest niewielka, a wyniki tych badań — realizowanych zazwyczaj na małym materiale — są niejednoznaczne, szczególnie jeżeli chodzi o ocenę niskich częstotliwości. Dlatego wciąż zasadniczym pytaniem pojawiającym się w badaniach progu ABR z zastosowaniem impulsów tonalnych jest pytanie o to, z jakiego rejonu ślimaka pochodzą odpowiedzi.

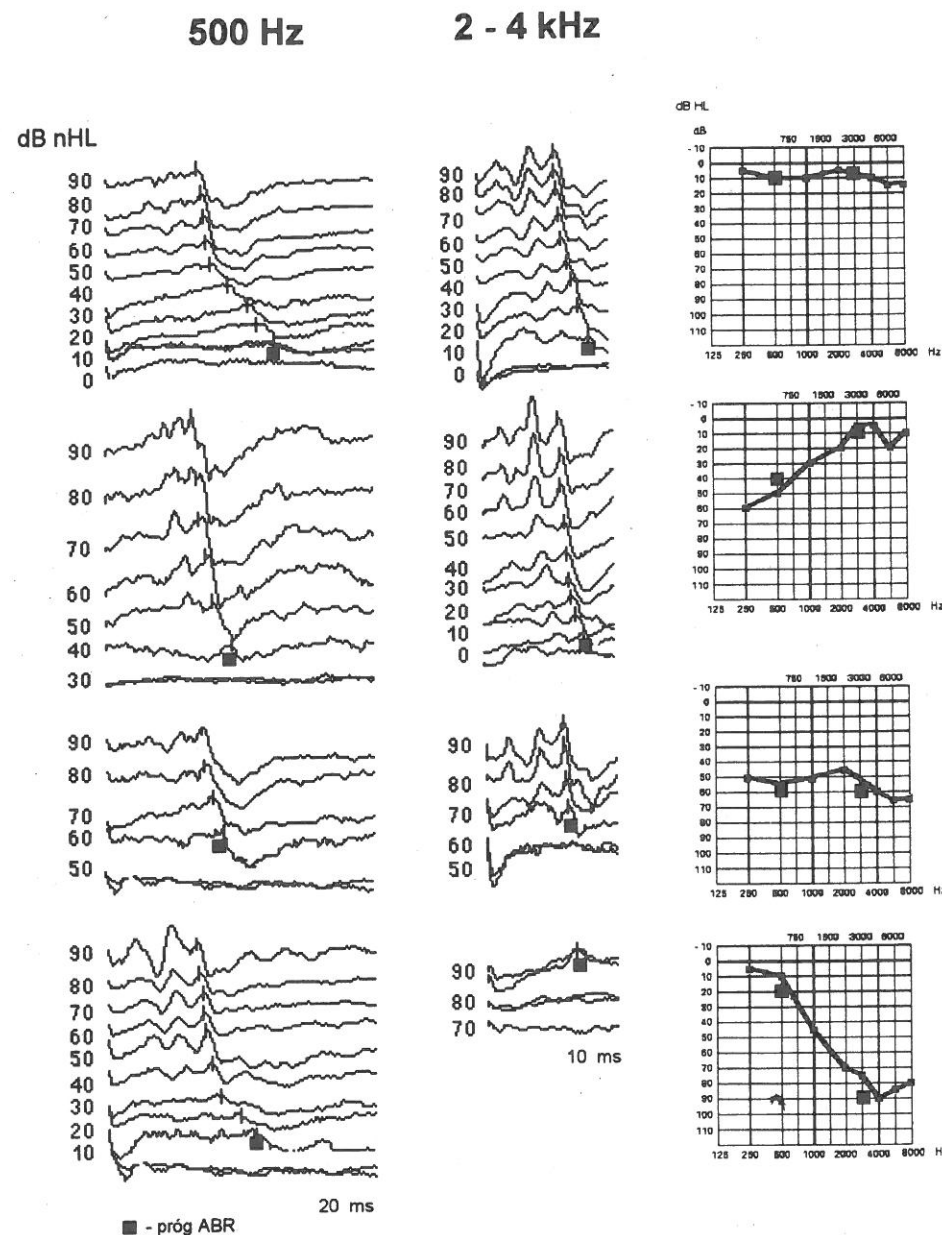
W niniejszej pracy podjęto badania, których celem była ocena specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi pnia mózgu rejestrowanych w odpowiedzi na stymulację krótkim impulsem tonalnym o obwiedni gaussowskiej i częstotliwości 500 Hz. Dla porównania wykonano rejestracje odpowiedzi wywołanych trzaskiem.

I. MATERIAŁ I METODA

Badania wykonano w grupie 450 osób — 50 osób o słuchu normalnym oraz 400 osób z ubytkami słuchu typu przewodzeniowego i zmysłowo-nerwowego różnej wielkości oraz różnym typie audiogramu. Płaski typ audiogramu występował w 82% uszu, typ wysokoczęstotliwościowy — w 14% uszu, natomiast typ niskoczęstotliwościowy — tylko w 4%. Wiek badanych osób zawierał się w granicach od 5 do 65 lat. Wszystkie osoby aktywnie współpracowały podczas wykonywania badań audiometrycznych.

Rejestracje słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu wykonywano za pomocą polskiego systemu do badań elektrofizjologicznych słuchu o nazwie EPTTEST, produkowanego przez Pracownię Elektroniki Medycznej w Warszawie. Podczas badania progu odpowiedzi ABR stosowano procedurę szeregu natężeniowego ze skokiem 5 dB. Elektrody pomiarowe umieszczano na czole oraz na wyrostkach sutkowych. Czas narastania i opadania bodźca wynosił 2 ms. Bodziec prezentowano przez słuchawki TDH 49 z naprzemienną polaryzacją, z częstością powtarzania 37/s. Poziomy bodźca wyrażano w skali dB nHL. Odpowiedzi rejestrowano w paśmie 200-2000 Hz, z czasem analizy wynoszącym 20 ms dla bodźca o częstotliwości 500 Hz oraz w czasie 10 ms dla trzasku. Próg odpowiedzi definiowano jako najniższą intensywność bodźca, przy której w zapisie odpowiedzi była obecna fala V. W badaniach audiometrycznych stosowano audiometr Midimate 622 firmy Madsen. Badanie progu słyszenia wykonywano metodą zstępującą, ze skokiem 5 dB.

Przedmiotem analizy statystycznej były średnie wartości różnic między progiem fali V i progiem audiometrycznym oraz wartości współczynnika korelacji liniowej pomiędzy tymi dwoma rodzajami progów. Wartości progu



Ryc. 1. Przykłady zapisów odpowiedzi ABR dla trzasku i bodźca o częstotliwości 500 Hz u osoby o słuchu normalnym oraz u osób z ubytkami słuchu typu zmysłowo-nerwowego z różnymi typami audiogramów

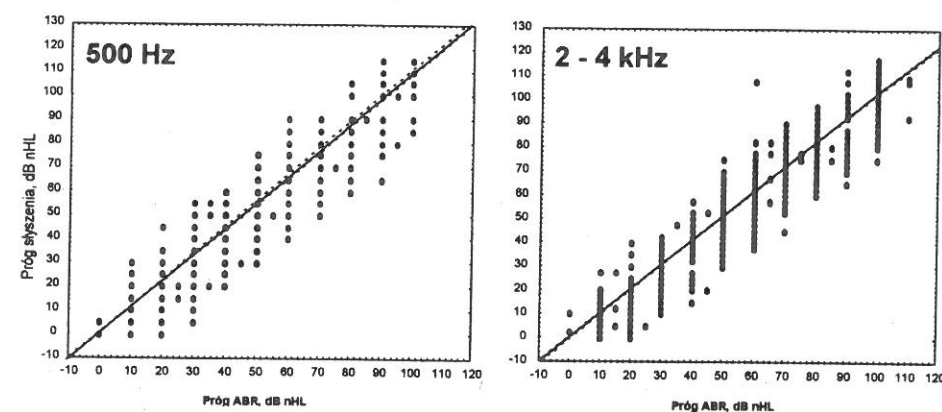
ABR dla trzasku porównywano ze średnią wartością progu słyszenia dla częstotliwości 2000 i 4000 Hz. W ocenie statystycznej różnic stosowano test t-studenta dla par obserwacji z poziomem istotności $p < 0,05$.

II. WYNIKI

Na rys. 1 przedstawiono przykłady rejestracji słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu dla trzasku i bodźca o częstotliwości 500 Hz u osoby o słuchu normalnym oraz u osób z różnym typem audiogramu — niskoczęstotliwościowym, płaskim i wysokoczęstotliwościowym. We wszystkich rejestracjach oznaczono szczyt fali V oraz jej próg. Różnice między progiem fali V a progiem audiometrycznym nie przekraczały w prezentowanych przykładach 15 dB. W porównaniu z odpowiedziami dla trzasku odpowiedzi dla bodźca o częstotliwości 500 Hz charakteryzują się większymi wartościami latencji fali V dla tych samych intensywności, większymi zmianami latencji w funkcji intensywności bodźca oraz większym stopniem „rozmycia” szczytu fali V w pobliżu progu. W całej grupie badanych osób jakość odpowiedzi ABR była zbliżona do rejestracji w przedstawionych przykładach, a oznaczenie progu fali V nie nastęrczało problemów.

Średnia wartość różnicy między progiem fali V a progiem audiometrycznym wynosiła dla 500 Hz $2,7 \text{ dB} \pm 9,8 \text{ dB}$ oraz dla trzasku $-2,1 \pm 9,8 \text{ dB}$. Różnice te były statystycznie istotne.

Na ryc. 2 przedstawiono diagramy korelacyjne oraz wykresy korelacji liniowej dla trzasku i bodźca o częstotliwości 500 Hz. Wartość współczynnika korelacji liniowej pomiędzy progiem ABR i progiem audiometrycznym wynosiła dla 500 Hz — 0,95, a dla trzasku — 0,96. Wartość błędu standardowego dla obu bodźców była zbliżona i nie przekraczała 9,85 dB.



Ryc. 2. Diagramy korelacyjne i wykresy regresji liniowej dla trzasku i bodźca o częstotliwości 500 Hz

III. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Zasadniczym celem niniejszej pracy była ocena wartości różnic oraz siły związku pomiędzy progiem fali V oraz progiem słyszenia wyznaczonym w badaniu audiometrycznym dla częstotliwości 500 Hz oraz w paśmie 2-4 kHz. Analiza średnich wartości różnic pomiędzy tymi dwoma progami wykazała, że są one statystycznie znamienne, ale bardzo niewielkie (poniżej 5 dB). Również analiza wartości współczynnika korelacji liniowej wykazała istnienie silnego związku pomiędzy dwoma rodzajami progów dla obu typów bodźców. Wartość błędu standardowego nie przekraczała 10 dB. Oznacza to, że na podstawie progu fali V słuchowych potencjałów wywoływanych trzaskiem oraz krótkim impulsem tonalnym o obwiedni w kształcie krzywej Gaussa i częstotliwości 500 Hz można wyznaczać wartość progu słyszenia z błędem nie większym niż wartość błędu audiometrycznego badania progowego (10 dB).

Wyniki niniejszej pracy są zbliżone do wyników otrzymanych w pracy van der Drifta (i innych) [1987], w której badano korelację między średnim progiem audiometrycznym w paśmie 2-4 kHz i progiem ABR, oraz do wyników prac Munnerleya (i innych) [1991] i Hayesa (i innych) [1982], w których badano związek między progami dla częstotliwości 500 Hz. Uważamy, że dość dobre rezultaty badań uzyskane w niniejszej pracy związane są przede wszystkim z faktem, iż badania zostały przeprowadzone w dużej grupie osób, w której przeważały osoby z audiogramami typu płaskiego (82%).

Na podstawie otrzymanych wyników można wyciągnąć wniosek, że słuchowe potencjały pnia mózgu wywoływane trzaskiem oraz impulsem tonalnym o obwiedni gaussowskiej pozwalają wyznaczyć wartość progu słyszenia dla częstotliwości 500 Hz oraz w zakresie 2-4 kHz zarówno u osób o słuchu normalnym, jak i u osób z ubytkami słuchu typu przewodzeniowego i zmysłowo-nerwowego. Badanie ABR za pomocą tych dwóch bodźców pozwala wykreślić dwupunktowy audiogram, umożliwiając uzyskanie informacji o czułości słuchu w zakresie niskich i wysokich częstotliwości.

Bibliografia

- Bauch C., Olsen W., 1988: Auditory Brainstem Responses as a Function of Average Hearing Sensitivity for 2000-4000 Hz. *Audiology* 27, 156-163.
- Conijn E., Brocaar M., Zanten G. van, 1993: Frequency-specific Aspects of the Auditory Brainstem Response Threshold Elicited by 1000 Hz Filtered Clicks in Subjects with Sloping Cochlear Hearing Losses. *Audiology* 32, 1-11.
- Davis H., Hirsh S., Turpin L., Peacock M., 1985: Threshold Sensitivity and Frequency Specificity in Auditory Brainstem Response Audiometry. *Audiology* 24, 54-70.

- Drift J. van der, Broccar M., Zanten G. van, 1987: The Relation between the Pure-tone Audiogram and the Click Auditory Brainstem Response Threshold in Cochlear Hearing Loss. *Audiology* 26, 1-10.
- Harris F., 1978: On the Use of Windows for Harmonic Analysis with Discrete Fourier Transform. *Proc. IEEE* 66, 51-83.
- Hayes D., Jerger J., 1982: Auditory Brainstem Response (ABR) to Tone-pips: Results in Normal and Hearing-impaired Subjects. *Scan. Audiol.* 11, 133-142.
- Munnerley G., Greville K., Purdy S., Keith W., 1991: Frequency-specific Auditory Brainstem Responses Relationship to Behavioural Thresholds in Cochlear-impaired Adults. *Audiology* 30, 25-32.