Audiofonologia
Tom XXII 2002

Ewa Orkan-Łęcka[1], Krzysztof Kochanek[1, 2], Grzegorz Janczewski[1], Adam Piłka[1, 2]

[1] Akademia Medyczna, Warszawa
[2] Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

Wpływ szerokości widma krótkiego tonu na parametry słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu

Evaluation of effect of width of acoustic spectrum of tone pips on ABR parameters

Słowa kluczowe: słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu, krótkie tony, widmo akustyczne.
Key words: auditory brainstem responses, tone pip, acoustic spectrum.

Streszczenie

W praktyce klinicznej obiektywne badania progu słyszenia przeprowadza się obecnie przede wszystkim za pomocą słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu, przy czym z reguły badanie to ogranicza się do oceny średniej wartości progu słyszenia w paśmie 2-4 kHz za pomocą trzasku oraz ewentualnie do oceny progu dla 500 Hz za pomocą krótkiego tonu.

Coraz częściej postuluje się jednak potrzebę bardziej precyzyjnej oceny progu słyszenia dla innych częstotliwości z zakresu pasma mowy – 1000, 2000 i 4000 Hz, szczególnie w odniesieniu do bardzo małych dzieci oraz osób z ubytkami słuchu spowodowanymi hałasem. Brak standardowych parametrów krótkich tonów o obwiedniach nieliniowych stosowanych w badaniach progowych ABR skłania do wyznaczenia własnych optymalnych parametrów tych bodźców. Celem pracy jest wyznaczenie optymalnej wartości czasu narastania krótkiego tonu o obwiedni Gaussa i częstotliwości 4000 Hz. Badano wpływ szerokości widma krótkiego tonu o częstotliwości 4000 Hz na parametry słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu u osób z wysokoczęstotliwościowym ubytkiem słuchu. W celu zmiany szerokości widma stosowano różne wartości czasów narastania tonu – 2, 4, 8 i 16 okresów. Porównanie progów fali V dla poszczególnych bodźców z progiem audiometrycznym dla 4000 Hz wykazało, że optymalne wartości czasu narastania bodźca o częstotliwości 4000 Hz wynoszą 4 i 8 okresów.

Summary

At present, objective examination of hearing threshold is performed primarily by means of auditory brainstem responses (ABR). However, the examination is typically limited to the evaluation of mean value of the hearing threshold in the 2-4 kHz frequency band by means of a click. Optionally, one evaluates the 500 Hz threshold using a tone pip.

However, it is frequently postulated that hearing threshold should be evaluated more precisely at different frequencies in the speech frequency band – 1000, 2000 and 4000 Hz, especially in the case of young children and persons with noise-related hearing losses. The parameters of short tone pips, applicable in ABR threshold examination, have not been standardized yet. Then, the authors undertook the task of creating own standards for optimum stimulus parameters.

The aim of the work to determine an optimum rise-time of a short 4000 Hz tone pip of Gaussian envelope. We examined the influence of spectral bandwidth of the short 4000 Hz tone pip on the parameters of auditory evoked brainstem responses in patients with high frequency hearing loss. The stimulus bandwidth was controlled by applying different rise-times of the pip, equal to 2, 4, 8 and 16 periods of the tone frequency.

The comparison of thresholds and latencies obtained for individual stimuli showed that the optimum rise-time of the 4000 Hz pip was equal to 8 tone frequency periods.

W praktyce klinicznej obiektywne badania progu słyszenia przeprowadza się standardowo za pomocą słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu. Najczęściej badanie to ogranicza się jednak do oceny średniej wartości progu słyszenia w paśmie 2-4 kHz za pomocą trzasku oraz do oceny progu dla częstotliwości 500 Hz za pomocą krótkiego tonu. Pomimo że ta procedura daje informacje o czułości słuchu w zakresie niskich i średnich częstotliwości, to jednak coraz częściej postuluje się potrzebę bardziej precyzyjnej oceny progu słyszenia, w zakresie średnich częstotliwości, oddzielnie dla 2000 i 4000 Hz, szczególnie w badaniach bardzo małych dzieci [Hall 1997].

Jak wiadomo, progowe odpowiedzi pnia mózgu dla krótkich tonów charakteryzują się największą specyficznością częstotliwościową w przypadku ubytków płaskich lub ubytków o niezbyt dużym nachyleniu [Stapells 1997; Kochanek 2000]. W ubytkach słuchu charakteryzujących się znacznymi spadkami czułości specyficzność częstotliwościowa odpowiedzi zmniejsza się w sposób naturalny z uwagi na fakt rozmycia energii bodźca poza region skupiony wokół częstotliwości nominalnej krótkiego tonu [Stapells 1997; Kochanek 2001]. Z tego punktu widzenia dużą trudność mogą sprawiać w obiektywnych badaniach progu słyszenia osoby z ubytkami słuchu o dużej stromości, np. ubytkami wysokoczęstotliwościowymi spowodowanymi działaniem hałasu. Badania ABR prowadzone za pomocą trzasku zaniżają zwykle w tych przypadkach faktyczną wielkość ubytku słuchu w zakresie częstotliwości 2000-4000 Hz i stąd bierze się potrzeba oceny progu dla częstotliwości dyskretnych.

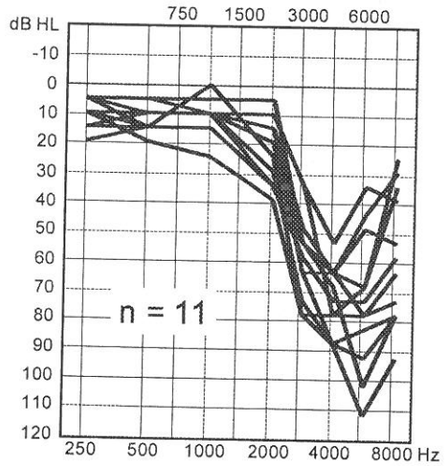
Brak standardu dotyczącego parametrów krótkich tonów o obwiedniach nieliniowych stosowanych w badaniach progowych ABR skłania do wyznaczenia

własnych optymalnych parametrów tych bodźców. Ponieważ w pracy Kochanka [2001] wykazano, że nie tylko czas narastania, ale również widmo krótkiego tonu ma znaczenie dla parametrów odpowiedzi w przypadkach osób z wysokoczęstotliwościowymi ubytkami słuchu o znacznej stromości, dlatego można oczekiwać, że zmiana szerokości widma spowodowana zmianą czasu narastania bodźca będzie miała znaczenie również dla cech odpowiedzi.

Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu szerokości widma krótkiego tonu o częstotliwości 4000 Hz na parametry odpowiedzi pnia mózgu oraz wyznaczenie optymalnych wartości czasów narastania.

I. MATERIAŁ I METODA

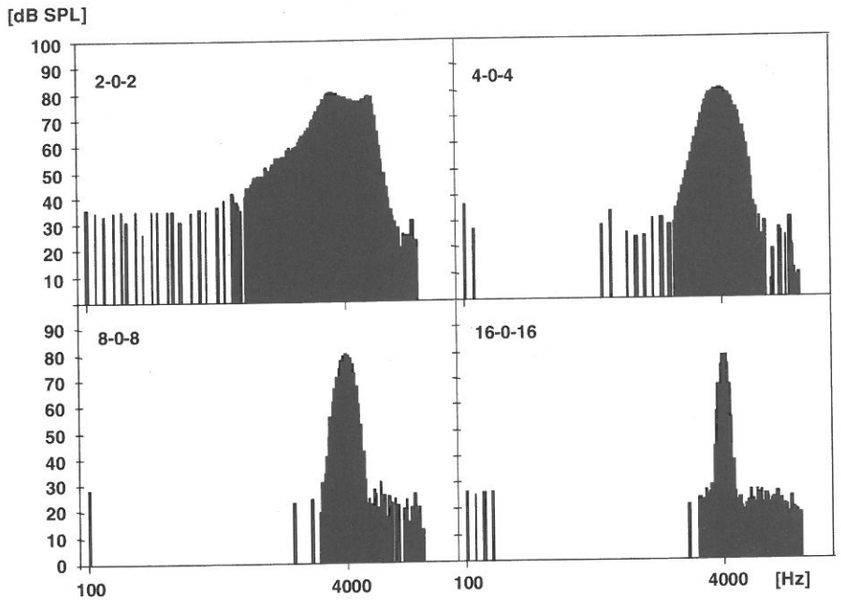
Badania wykonano w grupie 11 dorosłych osób z ubytkami słuchu typu ślimakowego, charakteryzującymi się dużymi spadkami czułości słuchu w zakresie częstotliwości. Na rys. 1 przedstawiono audiogramy osób zakwalifikowanych do badań. Maksymalne wartości ubytków słuchu występowały dla 4 lub 6 kHz.



Rys. 1. Indywidualne audiogramy osób z wysokoczęstotliwościowymi ubytkami słuchu

W badaniach stosowano cztery krótkie tony (S1, S2, S3, S4) o obwiedni Gaussa o częstotliwości 4000 Hz bez odcinka *plateau* o takich samych wartościach czasów narastania i opadania. Wartości czasów narastania/opadania wynosiły: 2, 4, 8 i 16 okresów (0,5; 1; 2; 4 ms). Poszczególne bodźce miały zatem następujące parametry czasowe: bodziec S1 – 2-0-2, bodziec S2 – 4-0-4, bodziec S3 – 8-0-8, bodziec

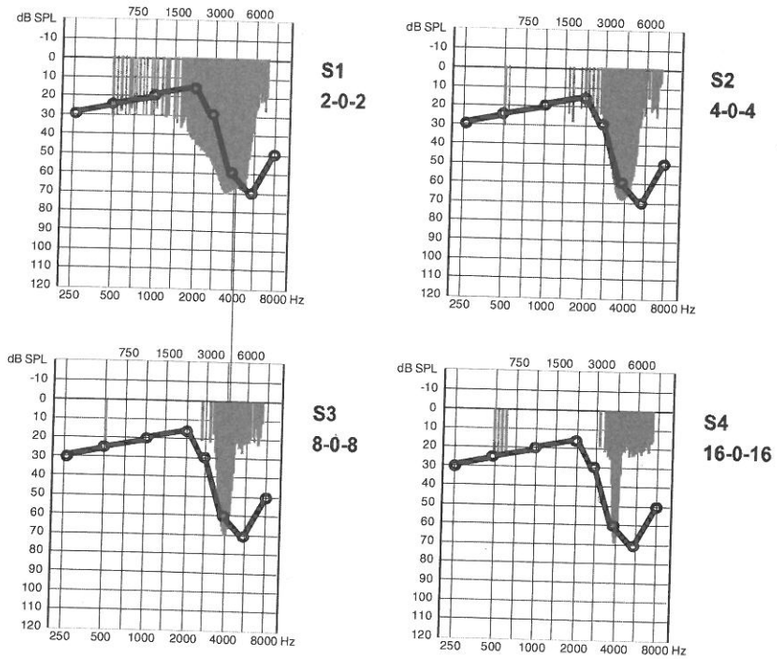
S4 – 16-0-16, gdzie liczby oddzielone kreseczkami oznaczają odpowiednio wartości: czasu narastania, *plateau* oraz opadania. Odpowiedzi rejestrowano procedurą szeregu natężeniowego za pomocą polskiego systemu do badań elektrofizjologicznych słuchu o nazwie „Eptest" z czasem analizy wynoszącym 20 ms. Pasmo wzmacniacza biologicznego wynosiło 200-2000 Hz. Bodźce prezentowano przez słuchawki nauszne TDH-49 firmy Telephonics z częstością powtarzania 31/s. W odpowiedziach oznaczano próg oraz latencję fali V. Oceniono również częstość występowania fali V w odpowiedziach dla poszczególnych bodźców. W analizie statystycznej różnic pomiędzy progami i latencjami fali V stosowano test t-Studenta dla prób powiązanych z poziomem istotności $p < 0,05$.



Rys. 2. Akustyczne widma mocy krótkich tonów o różnych wartościach czasów narastania

Na rys. 2 przedstawiono widma mocy obu bodźców, które zmierzono za pomocą zestawu firmy Brüel and Kjaer, składającym się ze sztucznego ucha 4152, mikrofonu pomiarowego 4190 oraz analizatora widmowego 2145. W analizie stosowano 512 uśrednień. Szerokość widma zmniejsza się wraz ze wzrostem wartości czasu narastania i opadania.

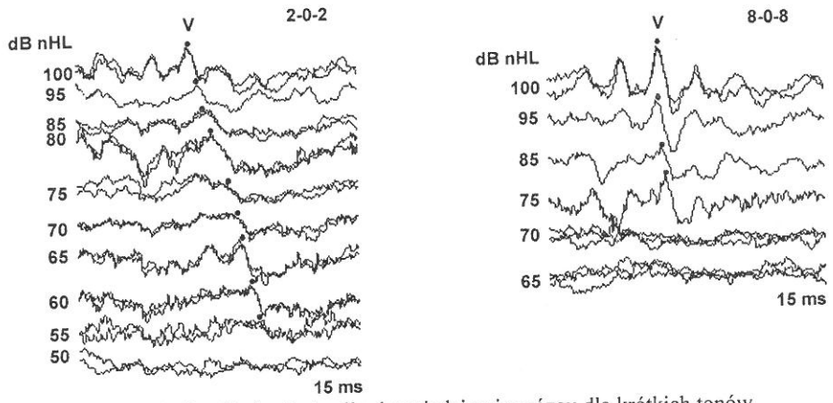
II. WYNIKI



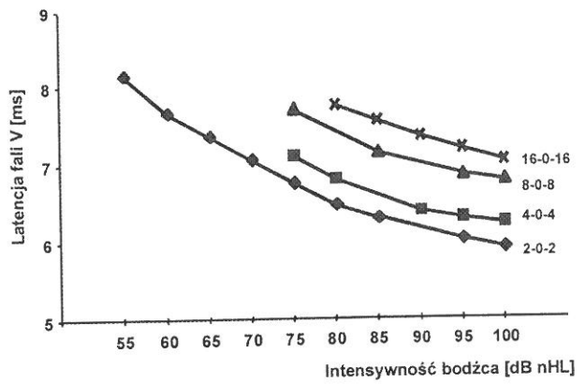
Rys. 3. Relacje pomiędzy audiogramem a widmami akustycznymi krótkich tonów o różnych wartościach czasów narastania

Na rys. 3 przedstawiono widma czterech bodźców stosowanych w niniejszej pracy, o intensywności wynoszącej 70 dB nHL, które nałożono na audiogram jednej z osób biorących udział w badaniach. Dla celów porównawczych audiogram wyskalowano w dB SPL. W prezentowanym przykładzie widma bodźców: S2, S3 i S4 mieściły się w polu ubytku słuchu, natomiast energia bodźca S1 (2-0-2) wyraźnie wykracza poza rejon ubytku słuchu, obejmując swym zakresem zakres średnich i niskich częstotliwości.

Na rys. 4 przedstawiono odpowiedzi pnia mózgu dla bodźców o czasach narastania 2 i 8 okresów, zarejestrowane u osoby, której audiogram przedstawiono na rys. 3. Próg fali V dla bodźca o czasie narastania 2 okresy wynosił 55 dB nHL, a dla bodźca o czasie narastania wynoszącego 8 okresów – 75 dB nHL.



Rys. 4. Przykład rejestracji odpowiedzi pnia mózgu dla krótkich tonów o częstotliwości 4000 Hz o różnych wartościach czasów narastania



Rys. 5. Wykresy średnich wartości latencji fali V w funkcji intensywności krótkiego tonu o różnych wartościach czasów narastania

Tab. 1. Średnie wartości oraz odchylenie standardowe różnic pomiędzy progami fali V (ABR) a progiem audiometrycznym (AUD) dla czterech bodźców (S1, S2, S3, S4)

Różnica (w dB)	Wartość średnia (w dB)	Odchylenie standardowe (w dB)
ABR S1 – AUD	18,7	10,7
ABR S2 – AUD	2,8	10,3
ABR S3 – AUD	3,5	11,0
ABR S4 – AUD	8,7	12,8

Ocena średnich wartości różnic pomiędzy progami fali V a progiem audiometrycznym dla poszczególnych bodźców wykazała, że najmniejsze wartości różnic progów występowały dla bodźców o wartościach czasów narastania wynoszących 4 i 8 okresów (tab. 1). Dla czasu narastania wynoszącego 16 okresów wartość różnicy była nieco większa, a dla czasu narastania wynoszącego 2 okresy zmieniał się znak różnicy na ujemny, a jej wartość bezwzględna była największa. W odpowiedziach dla bodźców o czasach narastania: 2, 4 i 8 okresów fala V występowała w 100% przypadków, natomiast dla bodźca o czasie narastania 16 okresów tylko w 35% uszu.

III. DYSKUSJA

Wyniki uzyskane w niniejszej pracy jednoznacznie wskazują, że szerokość widma krótkiego tonu ma istotne znaczenie dla parametrów uzyskiwanych odpowiedzi, ponieważ wraz ze zmianą wartości czasu narastania zmieniały się próg fali V oraz jej częstość występowania. Najmniejsze wartości różnic pomiędzy progami fali V a progiem audiometrycznym stwierdzono dla bodźców o czasach narastania 4 i 8 okresów, nieco większe dla bodźca o wartości czasu narastania 8 okresów, a największe dla czasu narastania 2 okresy. Ponieważ widmo bodźca o czasie narastania 2 okresy charakteryzuje się największą szerokością, dlatego fakt stwierdzenia najgorszej korelacji progu fali V z progiem audiometrycznym dla tego czasu narastania należy wiązać prawdopodobnie z „wyciekiem" widma bodźca poza obszar ubytku słuchu (rys. 3). W sytuacjach, gdy energia bodźca, zawarta w głównym prążku widma, wykracza poza obszar występowania ubytku słuchu o dużej stromości, można się spodziewać, że dla pewnych intensywności ślimak będzie stymulowany zarówno w rejonie normalnej czułości słuchu, jak i w rejonie występowania ubytku słuchu [Kochanek 2001]. Jeżeli energia bodźca w zakresie częstotliwości, dla których występuje ubytek słuchu, jest poddprogowa, to o cechach odpowiedzi decyduje aktywność ślimaka w zakresie częstotliwości, gdzie czułość słuchu jest normalna. Dlatego w niniejszej pracy próg odpowiedzi dla bodźca 2-0-2 był niższy niż progi odpowiedzi dla pozostałych bodźców, których energia mieściła się prawie w całości w obszarze ubytku słuchu. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że próg fali V dla bodźca o najszerszym widmie mocy (bodziec 2-0-2) był najniższy, natomiast dla pozostałych bodźców uzyskane progi różniły się między sobą w niewielkim stopniu i były w bardzo dużym stopniu skorelowane z wartościami progów oznaczonych w badaniu audiometrycznym (tab. 1). Oznacza to, że odpowiedzi dla bodźca o szerokim widmie mocy charakteryzują się najmniejszą specyficznością częstotliwościową, co w praktyce może oznaczać zaniżanie faktycznej wielkości ubytku słuchu charakteryzującego się dużym spadkiem czułości słuchu.

W niniejszych badaniach stwierdzono, że częstość występowania fali V zmniejszyła się znacznie (do 35%) przy wzroście czasu narastania z 8 do 16 okresów. W uszach normalnie słyszących dla tego samego bodźca częstość występowania fali V wynosiła 93% [Kochanek 2002]. Znacznie mniejsza częstość występowania fali V w grupie osób z ubytkami słuchu wynika zapewne z faktu znacznie mniejszej liczby włókien nerwu słuchowego uczestniczących w procesie tworzenia odpowiedzi.

W tym miejscu pojawia się pytanie o optymalną wartość czasu narastania krótkiego tonu o częstotliwości 4000 Hz w badaniach progu słyszenia osób z ubytkami słuchu charakteryzującymi się dużymi spadkami czułości w zakresie wysokich częstotliwości. Ponieważ najmniejsze różnice pomiędzy progiem fali V i progiem audiometrycznym stwierdzono dla bodźców o czasach narastania 4 i 8 okresów, a fala V była obecna we wszystkich odpowiedziach dla tych bodźców, dlatego jako optymalne wartości czasów narastania i opadania można przyjąć wartości 4 lub 8 okresów. Ponieważ w pracy Kochanka i współautorów [2002] wykazano, że w uszach normalnie słyszących występuje znaczący spadek amplitudy fali V dla bodźców o częstotliwości 4000 Hz i czasach narastania powyżej 4 okresów, dlatego uwzględniając wyniki obu prac, optymalnym czasem narastania jest czas wynoszący 4 okresy. Uzyskane wyniki są zgodne z wynikami pracy Lichtenstein [2001], która wyznaczała optymalne wartości czasów narastania krótkich bodźców szumowych, stosując technikę maskowania wysokoczęstotliwościowego. Na podstawie uzyskanych wyników Lichtenstein stwierdziła, że optymalna wartość czasu narastania dla bodźca o częstotliwości 4000 Hz wynosi 1 ms, co odpowiada wartości 4 okresów wyznaczonej w niniejszej pracy.

IV. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Szerokość widma krótkiego tonu o obwiedni Gaussa o częstotliwości 4000 Hz ma wpływ na próg i częstość występowania fali V w odpowiedziach pnia mózgu u osób z wysokoczęstotliwościowymi ubytkami słuchu.
2. Zmniejszenie wartości czasu narastania bodźca o częstotliwości 4000 Hz poniżej 1 ms prowadzi do spadku specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi pnia mózgu w uszach ze stromymi ubytkami słuchu w zakresie wysokich częstotliwości.
3. Wzrost wartości czasu narastania krótkiego tonu o częstotliwości 4000 Hz powyżej 8 okresów powoduje spadek częstości występowania fali V w odpowiedziach pnia mózgu.

Bibliografia

Hall III J. W., Mueller G. H. [1997]. Audiologists' desk reference. Vol. 1: Diagnostic audiology, procedures, and practices. San Diego: Singular Publishing Group.

Kochanek K. [2000]. Ocena progu słyszenia za pomocą słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu w zakresie częstotliwości 500-4000 Hz. Warszawa: Wydawnictwa Akademii Medycznej.

Kochanek K., Piłka A., Skarżyński H., Orkan-Łęcka E. [2002]. Wpływ czasu narastania krótkiego tonu na parametry słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu. „Audiofonologia" 22, 103-112.

Kochanek K., Skarżyński H., Orkan-Łęcka E., Piłka A. [2001]. Porównanie odpowiedzi pnia mózgu dla krótkich tonów o takich samych wartościach czasów narastania i opadania, ale różnych widmach u osób z wysokoczęstotliwościowymi ubytkami słuchu. „Audiofonologia" 19, 39-49.

Lichtenstein V., Stapells D. R. [2001]. Cochlear place-specific mechanisms underlying the effective duration of the stimulus for auditory brainstem and middle latency responses (ABR/MLR). W: Abstracts of XVII Biennial Symposium IERASG, Vancouver s. 94.

Stapells D. R., Oates P. [1997]. Estimation of the pure-tone audiogram by the auditory brainstem response: A review. „Audiology and Neuro-Otology" 2, 5, 257-280.