

Krzysztof Kochanek^{1,2}, Henryk Skarżyński², Grzegorz Janczewski²,
Antoni Grzanka³, Adam Piłka^{1,2}

¹ Katedra i Klinika Otolaryngologii Akademii Medycznej, Warszawa

² Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

³ Instytut Systemów Elektronicznych Politechniki Warszawskiej

**Specyficzność częstotliwościowa słuchowych potencjałów
pnia mózgu wywoływanych impulsem tonu
o obwiedni Gaussa o częstotliwościach 500 Hz.
I. Uszy normalnie słyszące**

**Frequency specificity of the auditory brainstem responses
elicited by 500 Hz tone pip with Gaussian envelope.
I. Normal hearing subjects**

Słowa kluczowe: słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu, specyficzność częstotliwościowa.
Key words: auditory brainstem responses, frequency specificity.

Streszczenie

Celem pracy była analiza specyficzności częstotliwościowej słuchowych potencjałów pnia mózgu wywoływanych impulsem tonu o obwiedni Gaussa o częstotliwości 500 Hz. Analizy dokonano na podstawie wyników pomiarów latencji fali V dla trzasku i krótkiego tonu o częstotliwości 500 Hz w grupie osób o słuchu normalnym. Opublikowano je w pracy Kochanka i in. [1999]. W oparciu o te dane wyznaczono różnice latencji pomiędzy odpowiedziami dla bodźca o częstotliwości 500 Hz i dla trzasku, które następnie porównano z wartościami referencyjnymi wyznaczonymi na podstawie wyników prac innych autorów [Hoke (i in.) 1991; Eggermont, Don 1980], w których stosowano metody specyficzne częstotliwościowo wykorzystujące technikę odpowiedzi różnicowych z maskowaniem wysokoczęstotliwościowym. Porównanie różnic latencji wyznaczonych w niniejszej pracy z wartościami referencyjnymi wykazało, że odpowiedzi ABR wywoływane tonem o częstotliwości 500 Hz są specyficzne częstotliwościowo w takim samym stopniu, jak metody referencyjne dla intensywności mniejszych od 70 dB nHL.

Summary

The objective of this work was to analyse the frequency specificity of auditory brainstem responses, elicited by a tone pip of Gaussian envelope at a frequency of 500 Hz, in a group of 288 normal hearing ears. In the analysis of frequency specificity, the authors utilised measurement results of the latency of wave V for a click and 500 Hz tone-pip stimulus, published by Kochanek et al. [1999]. Based on these data, the differences between latencies of responses to the 500Hz tone-pip stimulus and those elicited by the click were determined and compared with reference values determined by other authors [Hoke (et. al.) 1991, Eggermont, Don 1980]. In the reference works, one used frequency-specific methods employing the technique of high-pass noise masking. The comparison of latency values obtained in this work with the reference values shows that the ABRs elicited by the 500Hz tone-pip are frequency specific, and the specificity is comparable to that achieved in the reference methods for stimulus intensity lower than 70 dB nHL.

Zasadniczym problemem słuchowych potencjałów pnia mózgu (ABR) wywoływanych krótkimi tonami jest ich specyficzność częstotliwościowa, którą powszechnie definiuje się jako zdolność generowania odpowiedzi z wąskiego obszaru ślimaka, niezależnie od jego stanu w rejonach sąsiednich i intensywności bodźca.

Na podstawie wyników prac badawczych uważa się, że największą specyficzność wykazują słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu rejestrowane techniką wąskopasmowych odpowiedzi różnicowych, z zastosowaniem maskowania wysokoczęstotliwościowego lub szumu z wcięciem. Z uwagi na szereg ograniczeń metoda ta nie jest stosowana w klinicznych badaniach progu słyszenia, ale może być wykorzystywana jako metoda referencyjna przy ocenie specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi pnia mózgu rejestrowanych z zastosowaniem innych metod stymulacji, np. krótkich tonów [Stapells (i in.) 1990; Beattie, Kennedy 1992; Kramer 1992; Nousak, Stapells 1992; Strzebecher (i in.) 1996; Oates, Stapells 1997a, b]. Z klinicznego punktu widzenia, poza bardzo długim czasem badania, najpoważniejszą wadą tych metod jest ograniczenie maksymalnego poziomu stymulacji do ok. 70-80 dB nHL, z uwagi na dopuszczalny poziom maskowania, który nie powinien przekraczać 108 dB SPL [Stapells (i in.) 1994]. Wady tej nie posiadają metody z zastosowaniem impulsów sinusoidalnych, w których dostępne poziomy stymulacji, w zależności od częstotliwości bodźca oraz typu słuchawek, wynoszą od 90 do 110 dB nHL. Ta właśnie cecha odpowiedzi pnia mózgu wywoływanych impulsami sinusoidalnymi sprawia, że są one najczęściej stosowane w praktyce klinicznej w obiektywnych badaniach progu słyszenia.

W warunkach klinicznych specyficzność częstotliwościową słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu ocenia się zazwyczaj za pomocą dwóch parametrów – latencji i progu fali V, rzadziej amplitudy. Przy zastosowaniu pomiarów latencji zakłada się, że jeżeli różnice pomiędzy latencjami fali V odpowiedzi wywoływanych bodźcami o różnych częstotliwościach różnią się między sobą

w sposób znaczący, to można uznać takie odpowiedzi za specyficzne częstotliwościowo. Z prac Dona i Eggermonta [1978; 1980], Oatesa i Stapellsa [1997b] oraz Stapellsa i in. [1994], w których stosowano technikę wąskopasmowych odpowiedzi różnicowych z maskowaniem wysokoczęstotliwościowym, wynika, że latencje fali V odpowiedzi z rejonu 500 Hz są dłuższe średnio ok. 3-3,5 ms od latencji odpowiedzi z rejonu wysokich częstotliwości – 4000 Hz.

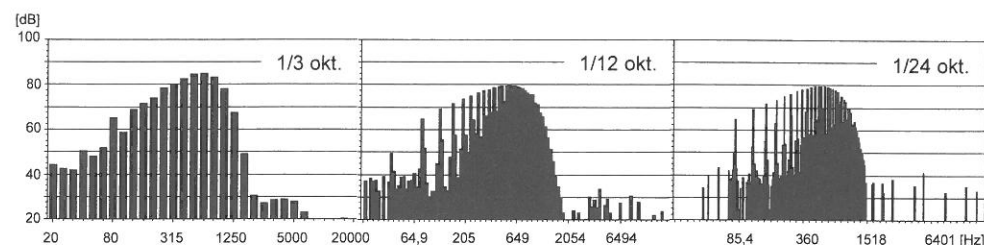
Z uwagi na niewielką liczbę prac, w których w badaniach słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu stosowano bodźce o obwiedniach nieliniowych, nie sformułowano do tej pory jednoznacznych wniosków dotyczących specyficzności częstotliwościowej tych odpowiedzi. Niemniej biorąc pod uwagę wyniki niektórych prac z tego zakresu można stwierdzić, że w uszach normalnie słyszących różnice latencji fali V dla bodźców z obwiedniami nieliniowymi o różnych częstotliwościach są większe niż w pracach, w których stosowano obwiednie liniowe. Pozwala to przypuszczać, że odpowiedzi dla impulsów o obwiedniach nieliniowych są bardziej specyficzne częstotliwościowo niż odpowiedzi dla impulsów o obwiedniach liniowych. Na przykład w pracy Kramera [1992], w której odpowiedzi pnia mózgu wywoływano traskiem i bodźcem o częstotliwości 500 Hz, różnica latencji fali V dla intensywności 40 dB nHL wynosiła ok. 6 ms, a przy intensywności 10 dB nHL aż ok. 9 ms. Z kolei w pracy Robier i in. [1992], w której stosowano m.in. obwiednię Blackmana, różnica latencji pomiędzy odpowiedziami dla bodźca o częstotliwości 500 Hz i dla trasku wynosiła przy intensywności 77 dB nHL ok. 1,9 ms. W pracy Gorga i in. [1993], w której stosowano trask oraz bodźce o obwiedni Blackmana, różnica latencji pomiędzy odpowiedziami dla bodźca o częstotliwości 500 Hz i dla trasku wynosiła ok. 3 ms przy intensywności 40 dB nHL i ok. 4 ms przy 20 dB nHL. Z kolei w pracy Strzebechera i in. [1996], w której stosowano impulsy o obwiedni Gaussa w obecności szumu z wcięciem, różnica latencji pomiędzy bodźcami o częstotliwościach 500 i 4000 Hz wynosiła ok. 3,7 ms dla intensywności 50 dB nHL i ok. 6 ms dla 10 dB nHL.

Celem niniejszej pracy była ocena specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi ABR wywoływanych krótkim tonem o obwiedni Gaussa o częstotliwości 500 Hz w funkcji intensywności bodźca w uszach normalnie słyszących.

I. MATERIAŁ I METODA

Analizę specyficzności częstotliwościowej słuchowych potencjałów pnia mózgu wywoływanych krótkim tonem o częstotliwości 500 Hz wykonano w grupie osób o słuchu normalnym, których średnia wieku wynosiła $17,4 \pm 9,9$ lat. Łącznie analizowano wyniki 288 uszu, w tym 121 uszu kobiet i 167 uszu mężczyzn uzyskane dla trasku oraz impulsu sinusoidalnego o częstotliwości 500 Hz, modulowanego amplitudowo funkcją Gaussa. Czasy narastania i opadania impulsów

sinusoidalnych dla obu częstotliwości były takie same i wynosiły 2 ms, a czas plateau – 0 ms. Czas trwania trzasku wynosił 100 s. Bódźce prezentowano z naprzemienną polaryzacją przez słuchawki TDH-49, z częstością powtarzania 31/s.



Ryc. 1. Widma mocy krótkiego tonu o częstotliwości 500 Hz otrzymane przy zastosowaniu różnej szerokości pasm

Na ryc. 1 przedstawiono widma mocy bódźca o częstotliwości 500 Hz wyznaczone przy zastosowaniu różnej szerokości pasm. Analizę widmową sygnałów akustycznych przeprowadzono za pomocą zestawu pomiarowego firmy Brüel & Kjaer, składającego się z jednokanałowego analizatora widma pracującego w czasie rzeczywistym – 2143, przedwzmacniacza mikrofonowego – 2669, sztucznego ucha – 4152 wyposażonego w komorę o objętości 6 cm³ i mikrofon pomiarowy – 4190 oraz kalibratora poziomu dźwięku – 4231. Otrzymane widma krótkiego tonu są zgodne z widmami bódźca stosowanego przez Hoke'a i in. [1991].

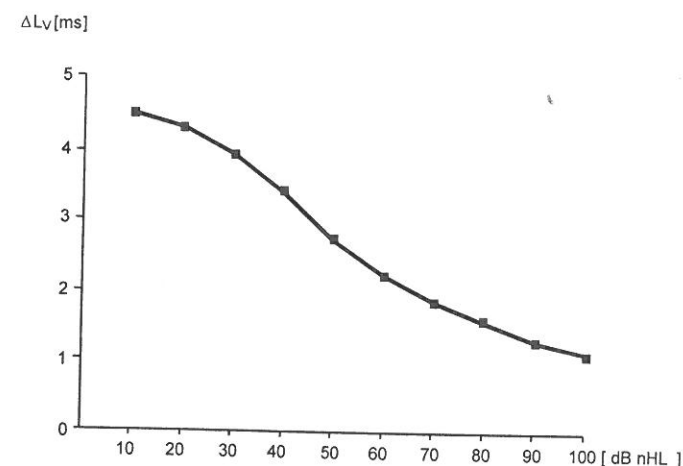
W analizie specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi ABR dla tonu o częstotliwości 500 Hz wykorzystano ten sam zestaw danych z indywidualnych pomiarów latencji fali V, który stanowił podstawę pracy Kochanka i in. [1999]. Z danych tych wyznaczono różnice pomiędzy latencjami fali V dla bódźca o częstotliwości 500 Hz i dla trzasku, które następnie porównano z wartościami referencyjnymi. W analizie statystycznej danych stosowano test t-Studenta dla prób powiązanych, a przy formułowaniu wniosków z analiz wykorzystano progowy poziom istotności $p < 0,05$.

II. WYNIKI

W tab. 1 zestawiono wartości średnie i odchylenie standardowe różnic pomiędzy latencjami fali V dla obu rodzajów bódźców w funkcji intensywności bódźca. Analiza statystyczna wykazała, że wszystkie różnice są istotne statystycznie ($p < 0,05$). Na podstawie danych z tab. 1 sporządzono wykres przyrostów latencji fali V w funkcji intensywności bódźca (który przedstawiono na ryc. 2). Z wykresu tego wynika, że wzrost intensywności bódźca powoduje stopniowe zmniejszanie się wartości różnicy. Przy zmianie intensywności bódźca z 10 do 100 dB nHL wartość różnicy latencji zmniejsza się z 4,52 do 1,15 ms.

Tab. 1. Średnie wartości różnic pomiędzy latencjami fali V odpowiedzi dla krótkiego tonu o częstotliwości 500 Hz i dla trzasku

Intensywność bódźca (w dB nHL)	Wartość różnicy ΔL (w ms)
100	1,15 $\pm$ 0,33
90	1,30 $\pm$ 0,27
80	1,60 $\pm$ 0,37
70	1,88 $\pm$ 0,47
60	2,24 $\pm$ 0,65
50	2,77 $\pm$ 0,81
40	3,44 $\pm$ 0,88
30	3,95 $\pm$ 0,94
20	4,29 $\pm$ 1,00
10	4,52 $\pm$ 1,14



Ryc. 2. Wykres średnich różnic latencji fali V w funkcji intensywności bódźca

Wartości referencyjne różnic latencji opracowano dla potrzeb niniejszej pracy w oparciu o wyniki prac Hoke'a i in. [1991] oraz Eggermonta i Dona [1980]. W pracy Hoke'a stosowano impulsy sinusoidalne o obwiedni Gaussa, które były prezentowane w obecności szumu wysokoczęstotliwościowego. Parametry czasowe bódźca o częstotliwości 500 Hz posiadały takie same wartości, jak bódźce stosowany w niniejszej pracy.

W niniejszej pracy różnice latencji wyznaczano pomiędzy odpowiedziami dla tonu o częstotliwości 500 Hz i dla trzasku. Z badań Eggermonta i Dona [1980] wynika, że udział poszczególnych przedziałów ślimaka w odpowiedzi dla trzasku zmienia się wraz z intensywnością bódźca. Dla intensywności najwyższych dominuje aktywność zakrętu podstawnego, natomiast dla niskich i średnich intensywności rejon częstotliwości 2000-4000 Hz. Porównanie wykresów funkcji laten-

cja-natężenie dla trzasku z wykresami wyznaczonymi w poszczególnych pasmach różnicowych wskazuje, że w zakresie do 40 dB nHL wykres dla trzasku ma taki sam przebieg jak dla pasma o częstotliwości środkowej 2000 Hz, natomiast dla wyższych intensywności – jak wykres dla pasma o częstotliwości środkowej 4000 Hz [Eggermont, Don 1980; Picton (i in.) 1981]. Fakt ten uwzględniono przy wyznaczaniu referencyjnych wartości różnic latencji.

Na skutek ograniczeń w zakresie dopuszczalnych poziomów szumu wysokoczęstotliwościowego maksymalne intensywności bodźców w pracy Hoke'a i in. [1991] były następujące: 500 Hz – 60 dB nHL, 1000 Hz – 80 dB nHL, 2000, 3000 i 4000 Hz – 70 dB nHL. W celu wyznaczenia referencyjnych różnic latencji w zakresie intensywności do 100 dB nHL autorzy niniejszej pracy dokonali w zakresie wyższych intensywności ekstrapolacji wykresów z pracy Hoke'a, uwzględniając dobrze znany fakt monotonicznego przebiegu funkcji (ryc. 3).

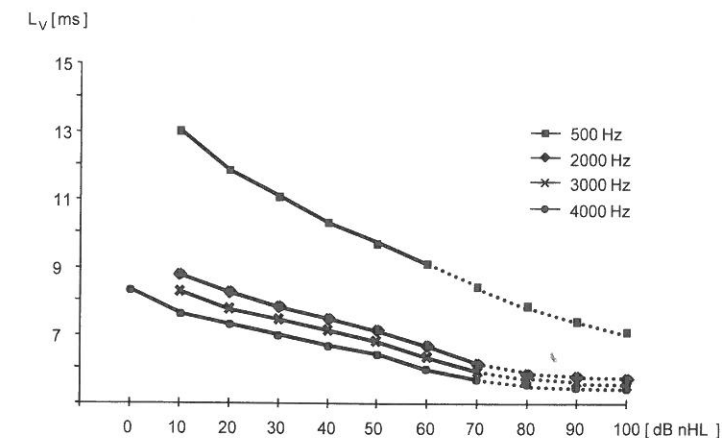
Wartości różnic pomiędzy latencjami poszczególnych bodźców, w różnych zakresach intensywności, które będą stanowiły kryterium specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi, wyznaczono w oparciu o wykresy z ryc. 3, uwzględniając przy tym również wyniki prac Dona i Eggermonta [1978; 1980]. Dla zakresu intensywności do 40 dB nHL wartości minimalnych różnic wyznaczono jako różnice pomiędzy średnimi wartościami latencji dla częstotliwości 500 i 2000 Hz, natomiast w zakresie intensywności 50-100 dB nHL jako różnice latencji dla bodźców o częstotliwościach 500 i 4000 Hz.

Minimalne wartości poszczególnych różnic latencji w pięciu zakresach intensywności przedstawiono w tab. 2 i na ryc. 4. Należy zauważyć, że pomimo zastosowanych metod specyficznych częstotliwościowo referencyjne wartości różnic latencji nie są stałe w funkcji intensywności bodźca i zmniejszają się wraz ze wzrostem intensywności. Odpowiedzi, których różnice latencji dla pobudzeń bodźcami o różnych częstotliwościach są większe lub równe wyznaczonym wartościom referencyjnym, można uznać za specyficzne częstotliwościowo, w takim samym stopniu jak odpowiedzi pnia mózgu rejestrowane techniką maskowania wysokoczęstotliwościowego.

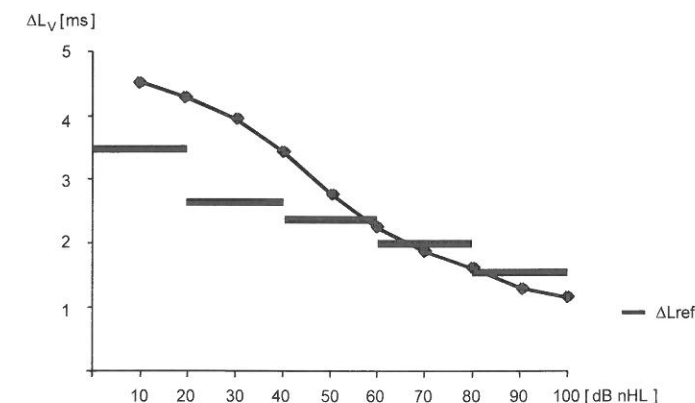
Tab. 2. Referencyjne różnice latencji dla odpowiedzi uzyskanych przy pobudzeniu trzaskiem i bodźcem o częstotliwości 500 Hz, w pięciu zakresach intensywności

Zakres intensywności (dB nHL)	Różnica latencji (ms)
0-20	3,4
20-40	2,7
40-60	2,4
60-80	2,0
80-100	1,6

Na ryc. 4 porównano wartości różnic latencji uzyskane w niniejszej pracy (dane z tab. 1) z wartościami referencyjnymi (dane z tab. 2). Zakładając, że wartości odchylenia standardowego dla referencyjnych różnic latencji są nie większe niż odchylenie standardowe różnic latencji z niniejszej pracy, można stwierdzić, że w zakresie intensywności do 80 dB nHL wszystkie różnice latencji przyjmują wartości zbliżone do wartości referencyjnych.



Ryc. 3. Wykresy funkcji latencja-natężenie dla bodźców o obwiedni Gaussa, dla różnych częstotliwości z pracy Hoke'a i in. [1991]. Liniami przerywanymi oznaczono hipotetyczny przebieg funkcji, poza zakresem intensywności badanym w pracy Hoke'a. Ekstrapolacji wykresów w zakresie najwyższych intensywności dokonali autorzy niniejszej pracy



Ryc. 4. Porównanie wykresu różnic latencji otrzymanego w niniejszej pracy z wartościami referencyjnymi

III. DYSKUSJA

Ocena specyficzności częstotliwościowej słuchowych potencjałów pnia mózgu wywoływanych krótkimi tonami jest kluczowym zagadnieniem w odniesieniu do badań, których celem jest wyznaczenie progu słyszenia oraz oznaczenie przewodnictwa w nerwie słuchowym i pniu mózgu w funkcji częstotliwości. Z uwagi na fakt, że odpowiedzi pnia mózgu są odpowiedziami typu *onset*, wielu badaczy uważa, że odpowiedzi te, szczególnie dla bodźców o niskich częstotliwościach, nie są specyficzne częstotliwościowo w stopniu umożliwiającym stosowanie ich w klinicznych badaniach progu słyszenia. W pracach, w których porównywano odpowiedzi pnia mózgu dla wysokich (4000 Hz) i niskich częstotliwości (500 Hz), stwierdzono, że odpowiedzi dla bodźca o częstotliwości 500 Hz charakteryzują się niższą amplitudą, większą zmiennością międzyosobniczą, wyższym progiem oraz większym błędem przy wyznaczaniu czułości słuchu [Hayes, Jerger 1982; Laukli, Mair 1986; Gorga (i in.) 1988; Fjermedal, Laukli 1989; Munnerley (i in.) 1991].

Wyniki pomiarów latencji fali V dla trzasku i bodźca o częstotliwości 500 Hz, przedstawione w pracy Kochanka i in. [1999], wykazały, że w całym zakresie intensywności latencje dla bodźca o częstotliwości 500 Hz są dłuższe niż dla trzasku. Podobne zależności stwierdzono również we wcześniejszych pracach innych autorów [Gorga (i in.) 1988; Hoke (i in.) 1991; Stapells (i in.) 1994; Strzebecher (i in.) 1996]. Wzrost latencji fali V dla bodźca o częstotliwościach 500 Hz w porównaniu z latencją dla trzasku oznacza, że czas transportu ślimakowego jest dla tego bodźca większy niż dla trzasku. Wraz z redukcją częstotliwości, miejsce maksymalnego wychylenia błony podstawnej przesuwają się w kierunku zakrętu szczytowego ślimaka [Stapells, Picton 1981].

Do oceny specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi wywoływanych krótkim tonem o częstotliwości 500 Hz, w niniejszej pracy wyznaczono różnice pomiędzy latencjami odpowiedzi dla krótkiego tonu i dla trzasku i porównano z wartościami referencyjnymi. Założono, że jeżeli różnice latencji będą zbliżone do wartości referencyjnych, otrzymywanych za pomocą techniki wąskopasmowych odpowiedzi różnicowych, uznawanych powszechnie za „wzorzec” odpowiedzi specyficznych częstotliwościowo, to odpowiedzi dla krótkiego tonu o częstotliwości 500 Hz będzie można uznać za specyficzne częstotliwościowo.

Technikę odpowiedzi różnicowych z maskowaniem wysokoczęstotliwościowym po raz pierwszy zastosował Teas w badaniach eksperymentalnych na zwierzętach [Teas (i in.) 1962], Elberling w badaniach elektrokochleograficznych złożonego potencjału czynnościowego nerwu słuchowego [Elberling 1974] oraz Don i Eggermont w badaniach słuchowych potencjałów wywołanych u ludzi [Don, Eggermont 1978]. Latencje odpowiedzi rejestrowanych tą metodą z rejonu szczytowego ślimaka są znacznie dłuższe niż latencje odpowiedzi z zakrętu pod-

stawnego. Na przykład badania Dona i Eggermonta [1978; 1980] prowadzone u osób o słuchu normalnym wykazały, że latencje fali V dla odpowiedzi z rejonu 500 Hz były dłuższe ok. 3 ms, w porównaniu z latencjami odpowiedzi dla trzasku. W pracach tych stwierdzono, że w uszach normalnie słyszących, w zakresie intensywności od 20 do 60 dB SL, latencje odpowiedzi pochodzących z różnych rejonów ślimaka różniły się między sobą w przybliżeniu o taką samą wartość, niezależnie od intensywności trzasku.

Porównanie wykresów różnic latencji uzyskanych w niniejszej pracy (ryc. 4) z wartościami referencyjnymi wykazało, że w zakresie intensywności do 80 dB nHL wielkości różnic latencji z niniejszej pracy są większe niż wartości referencyjne. Oznacza to, że specyficzność częstotliwościowa odpowiedzi wywoływanych bodźcem o częstotliwości 500 Hz jest porównywalna ze specyficznością metody referencyjnej. Dla intensywności 90 i 100 dB nHL wyznaczone są mniejsze od wartości referencyjnych, co oznacza, że specyficzność częstotliwościowa jest mniejsza niż w metodzie referencyjnej. Jest to skutek wzrostu udziału zakrętu podstawnego w generowaniu odpowiedzi dla bodźca o częstotliwości 500 Hz.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że różnica latencji przy intensywności 10 dB nHL wynosiła 4,52 ms i jest większa niż w metodzie referencyjnej, w której różnica ta wynosi ok. 3-3,5 ms. Fakt ten można zapewne w części wiązać z różnicą czasów narastania trzasku i impulsów sinusoidalnych.

Powszechnie wiadomo, że wzrost czasu narastania bodźca tonalnego powoduje w pewnym zakresie wzrost latencji fali V. W niniejszej pracy wartość czasu narastania bodźca o częstotliwościach 500 Hz wynosiła 2 ms, natomiast dla trzasku ok. 0,1 ms. Stąd różnica w czasach narastania obu bodźców wynosiła ok. 2 ms. Biorąc pod uwagę wyniki prac dotyczące wpływu czasu narastania krótkiego tonu na latencję fali V, a w szczególności uzyskane przez Bartha i Burkarda [1993], można uznać, że różnice latencji fali V pomiędzy krótkim tonem i trzaskiem, większe od 0,4 ms, są związane ze zmianą miejsca pobudzenia ślimaka, a nie z różnicami wartości czasów narastania. W niniejszej pracy dla intensywności 100 dB nHL wartość różnicy latencji wynosiła 1,15 ms, a więc była większa od 0,4 ms, co oznacza, że przyrosty latencji spowodowane zmianą rodzaju bodźca, nawet dla najwyższych intensywności, można w dużej części wiązać ze zmianą miejsca pobudzenia ślimaka. Mając na uwadze wnioski płynące z powyższych rozważań, należałoby wartości latencji dla bodźca o częstotliwości 500 Hz zmniejszyć ok. 0,4 ms. W ten sposób zmniejszyłaby się wartość różnicy pomiędzy latencjami odpowiedzi dla tonu i trzasku, co oznaczałoby w praktyce obniżenie górnej wartości intensywności bodźca, dla której odpowiedzi są specyficzne częstotliwościowo, z 80 do 70 dB nHL.

Biorąc powyższe pod uwagę, bardziej bezpieczne będzie zatem ostatecznie stwierdzenie, że odpowiedzi pnia mózgu w uszach normalnie słyszących, dla

krótkiego tonu o obwiedni Gaussa, o częstotliwości 500 Hz, są specyficzne częstotliwościowo, w takim samym stopniu jak odpowiedzi różnicowe, w zakresie intensywności od 10 do 70 dB nHL.

Bibliografia

- Barth C. D., Burkard R. [1993]. Effects of noise burst rise time and level on the human brainstem auditory evoked response. „Audiology” 32, 225-233.
- Beattie R. C., Kennedy K. M. [1992]. Auditory brainstem response to tone bursts in quiet, notch noise, highpass noise, and broadband noise. „J. Am. Acad. Audiol.” 3, 349-360.
- Don M., Eggermont J. [1978]. Analysis of the click-evoked brainstem potentials in man using high-pass noise masking. „J. Acoust. Soc. Am.” 63, 4, 1084-1092.
- Eggermont J. J., Don M. [1980]. Analysis of the click-evoked brainstem potentials in humans using high-pass noise masking. II. Effects of click intensity. „J. Acoust. Soc. Am.” 68, 1671-1675.
- Elberling C. [1974]. Action potentials along the cochlear partition recorded from the ear canal in man. „Scand. Audiol.” 3, 13-19.
- Fjermedal O., Laukli E. [1989]. Low-level 0.5 and 1 kHz auditory brainstem responses. „Scand. Audiol.” 18, 177-183.
- Gorga M. P., Kaminski J. R., Beauchaine K. A., Jesteadt W. [1988]. Auditory brainstem responses to tone bursts in normally hearing subjects. „J. Speech Hear. Res.” 31, 87-97.
- Gorga M., Kaminski J., Beauchaine K. A., Bergman B. [1993]. A comparison of auditory brain stem response thresholds and latencies elicited by air- and bone-conducted stimuli. „Ear Hear.” 14, 85-94.
- Hayes D., Jerger J. [1982]. Auditory brainstem response (ABR) to tone-pips. Results in normal and hearing-impaired subjects. „Scand. Audiol.” 11, 133-142.
- Hoke M., Pantev C., Ansa L., Litkenhner B., Herrmann E. [1991]. A time saving BERA technique for frequency-specific assessment of the auditory threshold through tone-pulse series stimulation (TOPSTIM) with simultaneous gliding high-pass noise masking (GHINOMA). „Acta Otolaryngol. Suppl. (Stockh.)” 482, 45-56.
- Kochanek K., Janczewski G., Skarżyński H., Piłka A., Grzanka A. [1999]. Wpływ wielkości ubytku słuchu typu ślimakowego na przebieg funkcji latencja-natężenie fali V odpowiedzi ABR. „Audiofonologia” 15, 35-48.
- Kramer S. J. [1992]. Frequency – specific auditory brainstem responses to bone – conducted stimuli. „Audiology” 31(2), 61-71.
- Laukli E., Mair I. W. S. [1986]. Frequency specificity of the auditory brainstem responses. A derived-band study. „Scand. Audiol.” 15(3), 141-146.
- Munnerley G. M., Greville A., Purdy C., Keith W. J. [1991]. Frequency – specific auditory brainstem responses, relationship to behavioural threshold in cochlear-impaired adults. „Audiology” 30, 25-32.
- Nousak J., Stapells D. R. [1992]. Frequency specificity of the auditory brain stem response to bone-conducted tones in infants and adults. „Ear Hear.” 13, 87-95.
- Oates P., Stapells D. R. [1997a]. Frequency specificity of the human auditory brainstem and middle latency responses to brief tones. I. High-pass noise masking. „J. Acoust. Soc. Am.” 102, 3597-3608.
- Oates P., Stapells D. R. [1997b]. Frequency specificity of the human auditory brainstem and middle latency responses to brief tones. II. Derived response analyses. „J. Acoust. Soc. Am.” 102, 3609-3619.
- Picton T. W., Stapells D. R., Campbell K. B. [1981]. Auditory evoked potentials from the human cochlea and brainstem. „J. Otolaryngol.” 10 (Supl. 9), 1-41.
- Robier T., Fabry D., Leek M., van Summers W. [1992]. Improving the frequency specificity of the auditory brain stem response. „Ear Hear.” 13, 4, 223-227.
- Stapells D. R., Picton T. W. [1981]. Technical aspects of brainstem-evoked potentials audiometry using tones. „Ear Hear.” 2, 20-29.
- Stapells D. R., Picton T. W., Durieux-Smith A., Edwards C. G., Moran L. M. [1990]. Thresholds for short-latency auditory-evoked potentials to tones in notched noise in normal-hearing and hearing-impaired subjects. „Audiology” 29, 262-274.
- Stapells D. R., Picton T. W., Durieux-Smith A. [1994]. Electrophysiological measures of frequency-specific auditory function. W: J. J. Jacobson (red.). Principles and applications in auditory evoked potentials. Boston: Allyn and Bacon, 251-283.
- Strzebecher E., Wagner H., Cebulla M., Heine S., Jerzynski P. [1993]. Rationelle objektive harschwellenbestimmung mittels tonpuls-BERA mit notched-noise-maskierung. „Audiol. Akustik” 32, 164-176.
- Strzebecher E., Wagner H., Cebulla M., Bischoff M. [1996]. Frequency-specific brainstem responses to bone-conducted tone pulses masked by notched noise. „Audiology” 35, 45-54.
- Teas D. C., Eldridge D. H., Davis H. [1962]. Cochlear responses to acoustic transients: An interpretation of whole-nerve action potentials. „J. Acoust. Soc. Am.” 34, 1438-1459.