

Krzysztof Kochanek^{1, 2}, Adam Pilka^{1, 2}, Henryk Skarżyński¹,
Ewa Orkan-Łęcka²

¹ Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

² Akademia Medyczna, Warszawa

Wpływ czasu narastania krótkiego tonu na parametry słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu

Evaluation of effect of rise-time of tone pips on ABR parameters

Słowa kluczowe: słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu, krótkie tony, czas narastania.
Key words: auditory brainstem responses, tone pip, rise time.

Streszczenie

W praktyce klinicznej słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu stosowane są do obiektywnej oceny progu słyszenia oraz w diagnostyce zaburzeń słuchu typu pozaślimakowego. Ten drugi rodzaj badania wykonywany jest standardowo za pomocą bodźca typu trzask, co umożliwia ocenę przewodnictwa w nerwie słuchowym i pniu mózgu w zakresie wysokich częstotliwości. Ocenę przewodnictwa w zakresie innych częstotliwości mogą umożliwić natomiast odpowiedzi dla krótkich tonów, ale pod warunkiem, że są one specyficzne częstotliwościowo. W niniejszej pracy wykonano badania, których celem było określenie efektywnego czasu narastania krótkiego tonu o obwiedni Gaussa dla intensywności 90 dB nHL dla częstotliwości 1000, 2000 i 4000 Hz. Wartości czasów narastania wynosiły: 2, 4, 8 i 16 okresów. Na podstawie analizy amplitud fali V częstości jej występowania w odpowiedziach wyznaczono optymalne parametry bodźca dla każdej częstotliwości. Najdłuższe wartości czasów narastania, przy których można rejestrować użyteczne klinicznie odpowiedzi, tzn. dobrze zsynchronizowane, wynoszą: dla częstotliwości 1000 Hz – 4 okresy, dla częstotliwości 2000 i 4000 Hz – 8 okresów.

Summary

The auditory brainstem responses are used for objective evaluation of hearing threshold and in the diagnostics of retrocochlear hearing impairments in clinical practice. In the latter case, the exam-

ination is performed by means of a click stimulus, which allows assessment of neural conductance in the auditory nerve and in the brainstem in high frequency region. Tone pips make it possible to evaluate the neural conductance at other frequencies, frequencies, providing that they are frequency specific.

The aim of the work was to determine an effective rise-time of a short tone pip with Gaussian envelope for intensity level of 90 dB nHL at frequencies 1000, 2000 and 4000 Hz. The chosen rise-times were 2, 4, 8 and 16 periods of the tone frequency. On the basis of the analysis of amplitude and frequency of occurrence of the V wave in the responses, one determined optimal parameters of the stimulus for each frequency.

The results shown that the longest rise-time values for which clinically usable i.e. well synchronized responses can still be registered, are equal to 4 periods at 1000 Hz frequency, and 8 periods at frequencies of 2000 and 4000 Hz.

W praktyce klinicznej słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu (ABR) stosuje się w obiektywnej ocenie proggu słyszenia oraz przewodnictwa w nerwie słuchowym i pniu mózgu. Ten drugi rodzaj badania wykonywany jest standardowo za pomocą bodźca typu „trzask”, który jest prezentowany z intensywnościami powyżej 70 dB nHL. Z uwagi na fakt, że odpowiedzi dla trzasku niosą głównie informacje o wysokich częstotliwościach [Don 1978; Bauch 1988], ocena przewodnictwa w nerwie słuchowym i pniu mózgu przy zastosowaniu trzasku ograniczona jest wyłącznie do wysokich częstotliwości. Zmiany w przewodnictwie dla niskich częstotliwości, spowodowane obecnością różnego rodzaju patologii pozasłimakowych, mogą pozostać zatem nie zauważone. Niewiele podejmowanych jest badań dla opracowania metod stymulacji i analizy odpowiedzi umożliwiających uzyskanie odpowiedzi ABR, w których byłyby reprezentowane w takim samym stopniu wszystkie przedziały ślimaka. W jednej z tych metod stosuje się stymulację bodźcem typu „chirp” (świergot) [Wegner 2002], natomiast druga metoda – „stosu” – polega na sumowaniu odpowiedzi wąskopasmowych otrzymywanych z zastosowaniem techniki maskowania wysokoczęstotliwościowego [Don 1997]. Obie metody umożliwiają uzyskanie zintegrowanej odpowiedzi, będącej sumą odpowiedzi różnych przedziałów ślimaka, przy zachowaniu warunku takiej samej wagi aktywności poszczególnych przedziałów ślimaka. Jak pokazują wyniki uzyskane przez Dona, metoda „stosu” umożliwia uzyskanie czułości porównywalnej z metodą rezonansu magnetycznego w przypadku detekcji nerwiaków nerwu słuchowego o średnicy kilku milimetrów.

Próbie oceny przewodnictwa w nerwie słuchowym i pniu mózgu dla różnych częstotliwości można przeprowadzić również za pomocą odpowiedzi rejestrowanych dla krótkich tonów, ale tylko wtedy, gdy odpowiedzi te spełniają warunek odpowiedniej specyficzności częstotliwościowej. Z pracy Kochanka [2000] wynika, że w uszach normalnie słyszących największą specyficzność częstotliwościową mają odpowiedzi progowe. Dla dużych intensywności, szczególnie dla bodźców o niskich częstotliwościach, specyficzność częstotliwościowa

odpowiedzi jest bardzo niewielka [Oates 1997; Cone-Wesson 2002]. W przypadku krótkich tonów specyficzność częstotliwościowa odpowiedzi pnia mózgu zależy nie tylko od intensywności bodźca, ale również rodzaju obwiedni oraz od wartości parametrów czasowych, głównie czasu narastania [Hecox 1983; Kadera 1983; Antonelli 1984; Beattie 1984; Gorga 1984; Gerull 1987; Burkard 1991; Kochanek 1992; Barth 1993; Beattie 1997; Kochanek 2001]. Z punktu widzenia możliwości zastosowania odpowiedzi dla krótkich tonów w ocenie przewodnictwa w nerwie słuchowym i pniu mózgu odpowiedzi te powinny się charakteryzować z jednej strony odpowiednią specyficznością częstotliwościową, a z drugiej odpowiednią jakością, umożliwiającą uzyskanie czytelnych odpowiedzi w 100% uszu normalnie słyszących. Zatem zwiększanie wartości czasu narastania krótkiego tonu może odbywać się tylko w takich granicach, które zapewnią odpowiedni stopień synchronizacji pobudzeń w pojedynczych włóknach nerwu słuchowego.

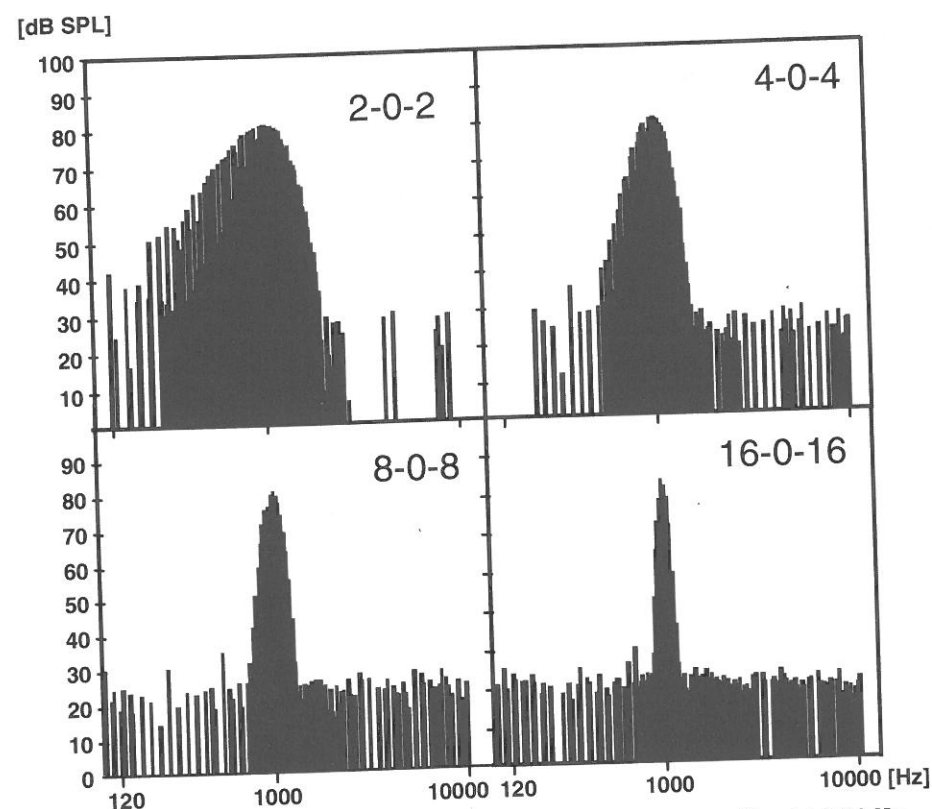
Ponieważ nie opracowano do tej pory standardowych wartości czasów narastania dla krótkich tonów o obwiedni Gaussa, w niniejszej pracy wykonano badania, których celem było określenie maksymalnych wartości czasów narastania krótkich tonów o obwiedni Gaussa dla intensywności 90 dB nHL dla częstotliwości 1000, 2000 i 4000 Hz, umożliwiających otrzymanie dobrze zsynchronizowanych odpowiedzi w uszach normalnie słyszących.

I. MATERIAŁ I METODA

W badaniach uczestniczyło 12 osób (16 uszu) o słuchu normalnym, w wieku od 21 do 41 lat. Wartości proggu słyszenia w paśmie 250-8000 Hz nie przekraczały 20 dB HL.

W badaniach stosowano krótkie tony o obwiedni Gaussa o częstotliwościach: 1000, 2000 i 4000 Hz, których obwiednia nie zawierała odcinka *plateau*. Wartości czasów narastania i opadania były takie same i wynosiły: 2, 4, 8 i 16 okresów. Dla bodźca o częstotliwości 1000 Hz dodatkowo rejestrowano odpowiedzi przy czasie narastania wynoszącym 1 cykl. Odpowiedzi rejestrowano procedurą szeregu natężeniowego za pomocą polskiego systemu do badań elektrofizjologicznych słuchu o nazwie „Eptest” z czasem analizy wynoszącym 20 ms. Pasma wzmacniacza biologicznego wynosiło 200-2000 Hz. Bodźce prezentowano przez słuchawki nauszne TDH-49 firmy Telephonics z częstością powtarzania 31/s.

W zarejestrowanych odpowiedziach oznaczano międzyszczytową amplitudę fali V oraz jej latencję. Oceniano również częstość występowania fali V w odpowiedziach dla poszczególnych bodźców. W analizie statystycznej różnic pomiędzy amplitudami i latencjami fali V dla poszczególnych bodźców stosowano test t-Studenta dla prób powiązanych z poziomem istotności $p < 0,05$.



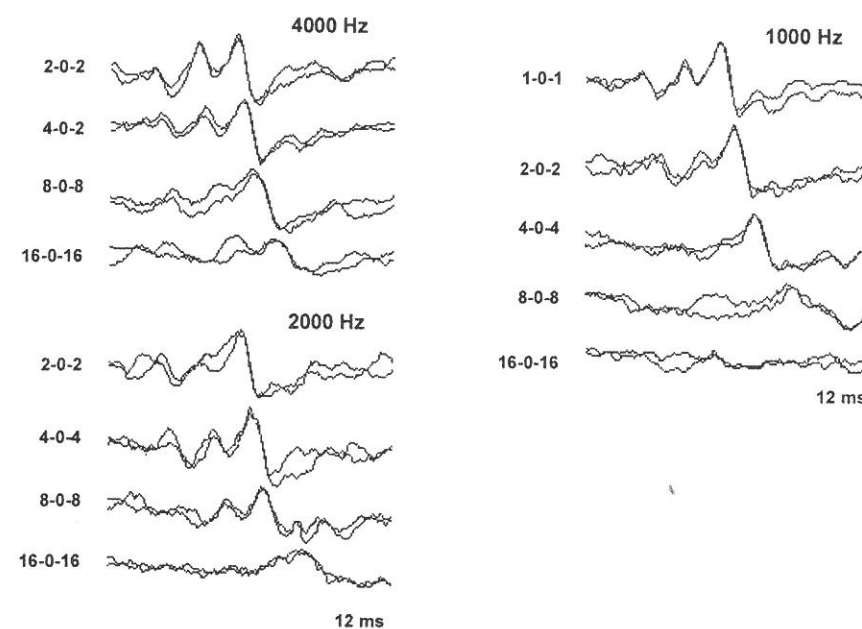
Rys. 1. Akustyczne widma mocy krótkiego tonu o obwiedni Gaussa o częstotliwości 1000 Hz o różnych wartościach czasów narastania (2, 4, 8 i 16 okresów)

Na rys. 1 przedstawiono widma mocy bodźców o różnych wartościach czasów narastania dla częstotliwości 1000 Hz, które zmierzono za pomocą zestawu firmy Brüel and Kjaer, składającego 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.

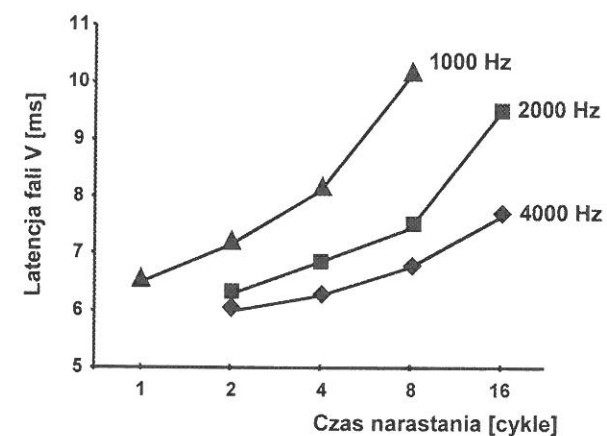
II. WYNIKI

Na rys. 2 przedstawiono zestawy odpowiedzi pnia mózgu dla bodźców o różnych częstotliwościach i czasach narastania. Można zauważyć, że wzrost czasu narastania zwiększa dla każdej częstotliwości latencję fali V oraz zmienia morfologię odpowiedzi i amplitudę fali V. Dla częstotliwości 2000 i 4000 Hz fala V jest widoczna dla wszystkich wartości czasów narastania, natomiast dla częstotliwości

1000 Hz fala V nie występuje w odpowiedzi przy wartości czasu narastania wynoszącego 16 okresów.

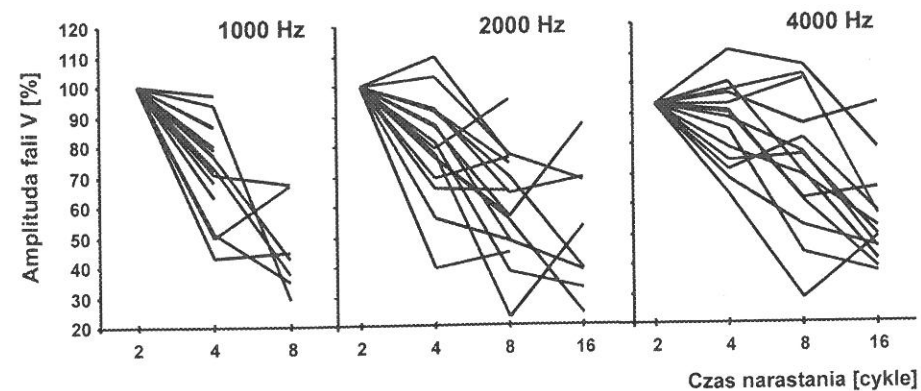


Rys. 2. Zestawy odpowiedzi dla bodźców o różnych częstotliwościach i wartościach czasów narastania



Rys. 3. Wykresy średnich wartości latencji fali V w funkcji czasu narastania bodźca dla poszczególnych częstotliwości

Na rys. 3 przedstawiono wykresy średnich wartości latencji fali V w funkcji czasu narastania bodźca dla poszczególnych częstotliwości. Dla każdej częstotliwości wzrost czasu narastania powodował istotny statystycznie wzrost wartości latencji fali V.



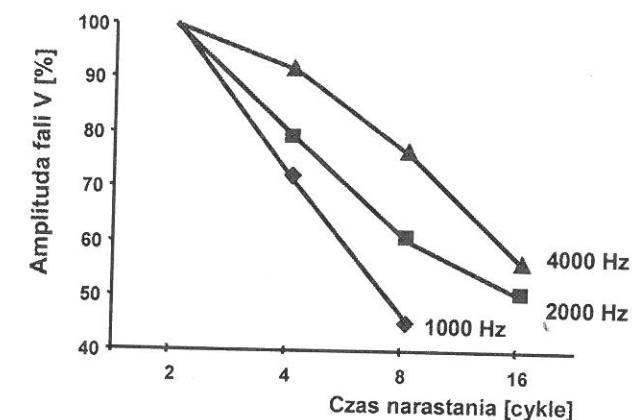
Rys. 4. Indywidualne wykresy znormalizowanych amplitud fali V w funkcji czasu narastania bodźca dla poszczególnych częstotliwości (amplitudy fali V w odpowiedziach dla czasów narastania: 4, 8 i 16 okresów wyznaczono w odniesieniu do amplitudy fali V dla czasu narastania wynoszącego 2 okresy)

Na rys. 4 przedstawiono indywidualne wykresy znormalizowanych amplitud fali V w funkcji czasu narastania bodźca dla poszczególnych częstotliwości. Dla czasów narastania: 4, 8 i 16 okresów amplitudy fali V wyznaczono w odniesieniu do amplitudy fali V dla czasu narastania wynoszącego 2 okresy. Zwraca uwagę duża zmienność międzyosobnicza wykresów dla każdej częstotliwości, przy czym dla częstotliwości 1000 Hz, praktycznie w każdym przypadku, wzrost wartości czasu narastania powodował spadek amplitudy fali V. Również dla częstotliwości 2000 i 4000 Hz w większości przypadków wzrost czasu narastania powodował spadek amplitudy fali V, przy czym w pojedynczych przypadkach znaczący spadek amplitudy obserwowano dopiero dla czasów narastania wynoszących 8 i 16 okresów.

W tab. 1 zestawiono częstości występowania fali V dla poszczególnych częstotliwości i różnych czasów narastania. Dla częstotliwości 1000 Hz dla czasów narastania 2 i 4 okresy fala V była obecna we wszystkich przypadkach, natomiast tylko w 7 przypadkach (43%) dla bodźca o czasie narastania wynoszącego 8 okresów oraz w żadnym przypadku dla czasu narastania 16 cykli. Dla bodźców o częstotliwościach 2000 i 4000 Hz fala V była obecna w 100% uszu dla bodźców o czasach narastania: 2, 4 i 8 cykli, natomiast dla bodźca o czasie narastania 16 okresów występowała w 50% przypadków dla częstotliwości 2000 Hz i w 93% przypadków dla częstotliwości 4000 Hz.

Tab. 1. Częstość występowania fali V w odpowiedziach pnia mózgu dla poszczególnych częstotliwości i czasów narastania

Częstotliwość	Czas narastania/opadania (w okresach)			
	2-0-2	4-0-4	8-0-8	16-0-16
1000 Hz	100%	100%	43%	0%
2000 Hz	100%	100%	100%	50%
4000 Hz	100%	100%	100%	93%



Rys. 5. Wykresy średnich znormalizowanych amplitud fali V dla poszczególnych czasów narastania i różnych częstotliwości

Na rys. 5 przedstawiono wykresy średnich znormalizowanych amplitud fali V w funkcji czasu narastania dla poszczególnych częstotliwości. Dla każdej częstotliwości wraz ze wzrostem czasu narastania amplituda fali V zmniejsza się, przy czym dla częstotliwości 2000 i 4000 Hz spadki amplitud są takie same, natomiast dla częstotliwości 1000 Hz znacznie większe.

III. DYSKUSJA

Pomimo możliwości stosowania w badaniach ABR krótkich tonów w praktyce klinicznej badanie progu słyszenia sprowadza się najczęściej do stosowania bodźca typu „trzask”. Istnieje jednak wiele powodów, w tym szczególnie potrzeba wczesnego aparatuowania słuchu u bardzo małych dzieci, aby badania te przeprowadzać dla poszczególnych częstotliwości [Stapells 1997].

W dotychczasowych badaniach, w których krótkie tony stosowano do oceny progu słyszenia, koncentrowano się wyłącznie na uzyskaniu takich parametrów bodźca, które gwarantowały najlepszą korelację progu fali V z progiem słyszenia. Badania przeprowadzone przez Kochanka [2000] na dużym materiale wykazały

bardzo wysoką korelację pomiędzy progiem słyszenia i progiem fali V dla częstotliwości 500 i 1000 Hz. W badaniach tych stosowano krótki ton o obwiedni Gaussa. Celem niniejszej pracy było wyznaczenie maksymalnych wartości czasów narastania dla bodźców o wysokich intensywnościach dla częstotliwości: 1000, 2000 i 4000 Hz, które umożliwiałyby zwiększenie specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi pnia mózgu.

Jak wiadomo, specyficzność częstotliwościowa odpowiedzi pnia mózgu dla krótkich tonów jest wypadkową dwóch czynników – szerokości pobudzenia błony podstawnej oraz stopnia synchronizacji odpowiedzi pojedynczych włókien nerwu słuchowego. Z uwagi na fakt, że słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu zaliczane są do kategorii odpowiedzi typu „onset”, najważniejszym parametrem bodźca jest czas narastania, choć, jak pokazały badania Kochanka [1992], nie mniej ważnym parametrem jest kształt obwiedni bodźca. Jest rzeczą oczywistą, że wzrost czasu narastania i opadania z jednej strony zmniejsza szerokość widma, co jest korzystne z uwagi na zmniejszanie szerokości pobudzenia błony podstawnej, ale z drugiej strony zmniejsza się stopień synchronizacji pojedynczych wyładowań we włóknach nerwowych, co jest zjawiskiem niepożądanym [Anderson 1971]. W efekcie możemy zatem otrzymać odpowiedź, która będzie cechowała się z jednej strony większą specyficznością częstotliwościową, ale z drugiej niską amplitudą, utrudniającą wydobycie odpowiedzi z szumu tła elektrycznego. W praktyce dąży się zatem do uzyskania kompromisu, w wyniku którego uzyska się satysfakcjonujący stopień synchronizacji odpowiedzi pojedynczych włókien nerwowych przy określonej wartości czasu narastania oraz odpowiednią specyficzność częstotliwościową.

W odniesieniu do badań progowych wskaźnikiem optymalnej wartości czasu narastania jest stopień korelacji progów fali V i progów słyszenia. Dla najwyższych intensywności wskaźnikiem optymalnej wartości czasu narastania krótkiego tonu może być częstość występowania fali V w odpowiedziach dla poszczególnych wartości czasów narastania oraz amplituda fali V.

Wykonane w niniejszej pracy badania wykazały, że dla wszystkich częstotliwości wzrost wartości czasu narastania powoduje spadek amplitudy fali V, przy czym w największym stopniu dla częstotliwości 1000 Hz. Podobne zależności amplitudy fali V od wartości czasu narastania stwierdzali dla krótkich tonów o obwiedniach liniowych inni autorzy [Hecox 1983; Kadera 1983; Beattie 1984; Gorga 1984; Barth 1993; Beattie 1997]. Jest to dobrze znany efekt spadku liczby włókien nerwu słuchowego odpowiadających synchronicznie na dłużej trwające pobudzenie [Anderson 1971].

Podobnie jak amplituda fali V, również częstość jej występowania w odpowiedziach zależała od wartości czasu narastania bodźca. Dla częstotliwości 1000 Hz brak fali V stwierdzono, poza kilkoma wyjątkami, w odpowiedziach dla czasów narastania wynoszących 8 i 16 okresów. Dla pozostałych częstotliwości fala V występowała w 100% przypadków dla wartości czasów narastania: 2, 4 i 8

okresów. Biorąc pod uwagę zarówno częstość występowania fali V w odpowiedziach, jak i zmiany kształtu oraz amplitudy fali V, trzeba stwierdzić, że najdłuższe wartości czasów narastania, przy których można rejestrować użyteczne klinicznie odpowiedzi, tzn. dobrze zsynchronizowane, wynoszą: dla częstotliwości 1000 Hz – 4 okresy, dla częstotliwości 2000 i 4000 Hz – 8 okresów. Przy tych wartościach czasów narastania spadek amplitudy fali V w stosunku do amplitudy dla czasu narastania 2 cykle nie przekraczał 50%.

IV. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Wzrost czasu narastania krótkiego tonu o obwiedni Gaussa powoduje silnie zróżnicowane indywidualnie spadki amplitudy fali V.
2. Przy najdłuższych wartościach czasów narastania spadki amplitudy fali V mogą powodować duże trudności w identyfikacji fali V¹ w odpowiedziach, szczególnie dla bodźca o częstotliwości 4000 Hz.
3. Przy najdłuższych wartościach czasów narastania częstość występowania fali V w odpowiedziach ABR rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości.

Bibliografia

- Anderson D. J., Rose J. E., Hind J. E., Brugge J. F. [1971]. Temporal position of discharges in single auditory nerve fibers within the cycle of a sine-wave stimulus: Frequency and intensity effects. „Journal of the Acoustical Society America” 49, 1131-1139.
- Antonelli A., Grandori F. [1984]. Some aspects of the auditory nerve responses evoked by tone bursts. „British Journal Audiology” 18, 117-126.
- 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.
- Bauch C. D., Olsen W. O. [1988]. Auditory brainstem responses as a function of average sensitivity for 2000-4000 Hz. „Audiology” 27, 156-163.
- Beattie R. C., Moretti M., Warren V. [1984]. Effects of rise-fall time, frequency, and intensity on the early/middle evoked response. „Journal of Speech and Hearing Disorders” 49, 114-127.
- Beattie R. C., Torre P. [1997]. Effects of rise-fall time and repetition rate on the auditory brainstem response to 0.5 and 1 kHz tone bursts using normal-hearing and hearing-impaired subjects. „Scandinavian Audiology” 26, 23-32.
- Burkard R. [1991]. Effects of noise burst rise time and level on the gerbil brainstem auditory evoked response. „Audiology” 30, 47-58.
- Cone-Wesson B., Dowell R. C., Tomlin D., Rance G., Jia-Ming W. [2002]. The auditory steady-state response: Comparison with the auditory brainstem response. „Journal of American Academic Audiology” 13, 173-187.

- Don M., Eggermont J. [1978]. Analysis of the click-evoked brainstem potentials in man using high-pass noise masking. „Journal of the Acoustical Society America” 63, 4, 1084-1092.
- Don M., Masuda A., Nelson R., Brackmann D. [1997]. Successful detection of small acoustic tumors using the stacked derived-band auditory brain stem response amplitude. „American Journal of Otolaryngology” 18, 5, 608-621.
- Gerull G., Mrowiński D., Jansen T., Anft D. [1987]. Auditory brainstem responses to single-slope stimuli. „Scandinavian Audiology” 16, 227-235.
- Gorga M., Beauchaine K. A., Reiland J., Worthington D., Javel E. [1984]. Effects of stimulus duration on ABR thresholds and on behavioral thresholds. „Journal of the Acoustical Society America” 76, 616-619.
- Hecox K., Deegan D. [1983]. Rise-fall time effects on the brainstem auditory evoked response. Mechanisms. „Journal of the Acoustical Society America” 73, 2109-2116.
- Kochanek K. [2000]. Ocena progu słyszenia za pomocą słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu w zakresie częstotliwości 500-4000 Hz. Warszawa: Wydawnictwa Akademii Medycznej w Warszawie.
- Kochanek K., Grzanka A., Dawidowicz J., Jaśkiewicz M., Zając J., Mika U., Śliwa L. [1992]. Wpływ rodzaju bodźca dźwiękowego na oznaczanie progu słuchowego metodą ABR. „Otolaryngologia Polska”, 46, 3, 296-301.
- 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.
- Kodera K., Marsh R., Suzuki M., Suzuki J. [1983]. Portions of tone pips contributing to frequency-selective auditory brainstem responses. „Audiology” 22, 209-218.
- Oates P., Stapells D. R. [1997]. Frequency specificity of the human auditory brainstem and middle latency responses to brief tones. I. High-pass noise masking. „Journal of the Acoustical Society America” 102, 3597-3608.
- 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.
- Wegner O., Dau T. [2002]. Frequency specificity of chirp-evoked auditory brainstem responses. „Journal of the Acoustical Society America” 111 (3), 1318-1329.