

Ocena skuteczności ochrony słuchu przez nauszники przeciwhałasowe metodą słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu (ABR)

Usefulness of auditory brainstem responses in evaluation of attenuation of hearing protectors

Krzysztof Kochanek¹, Jan Żera^{2,3}, Adam Piłka¹, Rafał Młyński²

¹Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

²Centralny Instytut Pracy, Warszawa

³Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, Politechnika Warszawska

Streszczenie

Badania skuteczności ochrony słuchu przez nauszники przeciwhałasowe prowadzone są zgodnie z wymaganiami norm poprzez ocenę zmiany progu słyszenia osób po nałożeniu nauszника, albo też przy użyciu pomiarów fizycznych z zastosowaniem testerów. Mimo zgodności z obowiązującymi normami bezpieczeństwa, metody te są czasami krytykowane, ponieważ nie dają informacji o faktycznym obciążeniu słuchu po zastosowaniu ochrony. Jedynie metody odnoszące się do reakcji fizjologicznej organizmu spośród których najczęściej stosowano pomiar czasowego przesunięcia progu (TTS) pozwalają na ocenę obciążenia słuchu hałasem. W niniejszej pracy do oceny zmiany obciążenia układu słuchowego po zastosowaniu nauszника przeciwhałasowego zastosowano słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu (ABR) rejestrowane w odpowiedzi na trzask oraz krótki ton o częstotliwości 4000 Hz. Celem pracy było stwierdzenie na ile metoda ta może być efektywna przy ocenie zabezpieczenia układu słuchowego przez ochronniki słuchu. Skuteczność tłumienia ochronnika oceniano dwoma metodami. W metodzie ABR1 porównywano szeregi natężeniowe fali V wyznaczone z rejestracji ABR wykonanych bez ochronnika i z ochronnikiem słuchu. Bódcze prezentowano w polu akustycznym. Porównanie poziomów bodźców w rejestracjach wykonanych bez i z ochronnikiem słuchu, przy których uzyskiwano takie same wartości latencji prowadziło do oceny tłumienia ochronnika. W metodzie ABR 2 oceniano wpływ maskującego hałasu szerokopasmowego o różnych poziomach na odpowiedzi rejestrowane dla bodźca o poziomie 50 dB nHL, który prezentowano do ucha za pomocą dźwiękowodu. Rejestracje prowadzono bez założonego ochronnika i z ochronnikami słuchu. Miara skuteczności ochronnika w tej metodzie była różnica poziomów hałasu, przy których dla rejestracji wykonanych bez i z ochronnikiem słuchu uzyskiwano takie same zmiany latencji fali V. Przeprowadzone badania wykazały, że metoda ABR pozwala oszacować tłumienie nauszника przeciwhałasowego.

Słowa kluczowe: ochronniki słuchu, słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu, maskowanie.

Summary

Attenuation provided by hearing protection devices is commonly assessed by the so-called real ear at threshold method (REAT). However, the REAT method does not represent the release in physiological load of noise on hearing system when hearing protector is used at high noise levels. In this work, the decrease in noise load imposed on hearing system, resulted from the wearing a hearing protector, was evaluated using the Auditory Brainstem Responses (ABRs) evoked by clicks and 4000-Hz tone pips. Hearing protector attenuation was assessed by two methods. In the first method, intensity series of wave V determined from the ABRs recorded in response to stimuli presented in acoustic field with hearing protectors donned and doffed were used. Difference in stimulus levels at which the same latency was obtained in both conditions was the measure of hearing protector attenuation. In the second method, effect of wide-band noise masker on responses to 50 dB nHL stimulus presented to the ear through an acoustic waveguide was examined. As before, the ABRs were recorded with hearing protectors donned and doffed. Noise level difference, at which the same change of wave V latency was observed in both situations, was the measure of the hearing protector effective attenuation. The study showed that the ABR method may be effectively used to assess the hearing protector attenuation.

Key words: hearing protectors, auditory brainstem responses, masking.

Wprowadzenie

W ochronie słuchu przed hałasem powszechnie stosowane są ochronniki słuchu skonstruowane jako nauszники przeciwhałasowe lub wkładki przeciwhałasowe. Ich skuteczność jest oceniana metodą, w której porównuje się wartości progów słyszenia zmierzone bez i z ochronnikiem

słuchu (REAT, ang. *real ear at threshold*). Metoda REAT jest przedmiotem zarówno normy międzynarodowej ISO 4869-1, jak i europejskiej – EN 24869-1. Zaletą metody REAT w porównaniu do pomiarów fizycznych (tj. rejestracji mikrofonem i pomiaru miernikiem dźwięku) jest to, że metoda ta lepiej odzwierciedla warunki rzeczywiste, ponieważ uwzględ-

nia przewodnictwo kostne, a więc docieranie hałasu do ucha wewnętrznego z pominięciem badanego ochronnika. Czasem jednak uważa się, że pomiar tłumienia przy progu słyszenia nie w pełni odpowiada warunkom przy bardzo wysokich poziomach hałasu (powyżej 100 dB) i nie daje informacji o właściwościach ochronnika w zakresie wyższych poziomów hałasu. Dlatego poszukuje się innych metod, które umożliwią ocenę skuteczności ochronnika przy różnych poziomach hałasu.

Możliwość oceny stanu układu słuchowego przy różnych poziomach dźwięku stwarzają metody elektrofizjologiczne – metoda słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu ABR oraz otoemisje akustyczne – OAE [Moore (i in.) 1989; Van Campen (i in.) 1990; Wilde i Humes 1987; Babeu 2005; Kim (i in.) 2000; Knaus (i in.) 2004]. Metoda ABR stosowana jest powszechnie w obiektywnych badaniach progu słyszenia. Procedura badania polega na prezentacji bodźców o różnych poziomach w celu znalezienia najniższego poziomu bodźca, przy którym w zapisie odpowiedzi widoczna jest fala V. Na podstawie rejestracji odpowiedzi dla różnych poziomów bodźca można wyznaczyć funkcję latencja-natężenie, która obrazuje zachowanie się narządu słuchu dla bodźców o różnych natężeniach. Przebieg funkcji zmienia się w charakterystyczny sposób w zależności od rodzaju patologii. Np. w ubytkach przewodzeniowych wykres ulega przesunięciu proporcjonalnie do wielkości tłumienia dźwięku spowodowanego zaburzeniami transmisji dźwięku przez ucho środkowe. Podobna sytuacja może wystąpić gdy na uszy założony będzie ochronnik słuchu. Osłabienie bodźca docierającego do ślimaka po założeniu ochronnika może spowodować zwiększenie latencji fali V. Zatem porównanie latencji fali V w odpowiedzi zarejestrowanej z ochronnikiem słuchu i bez ochronnika może być miarą wielkości tłumienia ochronnika dźwięków impulsowych.

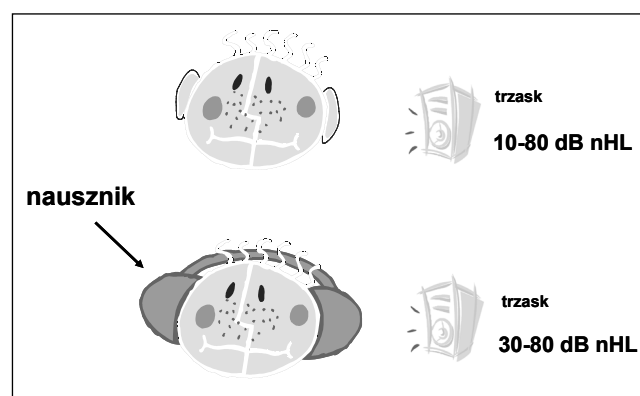
W ocenie wielkości tłumienia ochronnika można wykorzystać również zjawisko maskowania równoczesnego. Powszechnie wiadomo, że parametry odpowiedzi ABR – latencja i amplituda fali V – są wrażliwe na obecność sygnałów maskujących. Zwiększanie poziomu maskowania zmniejsza amplitudę fali V oraz powoduje wzrost jej latencji. Ponieważ ochronnik słuchu może skutecznie zmniejszać poziom maskera dlatego porównanie parametrów fali V w odpowiedziach rejestrowanych dla określonego bodźca w obecności maskera, bez i z ochronnikiem słuchu może być miarą wielkości tłumienia ochronnika.

W dostępnym piśmiennictwie jedynie Wilde i Humes [1987] stosowali pomiary ABR do oceny skuteczności ochronników w warunkach występowania dźwięków impulsowych. Wyniki ich badań wykazały, że metoda ABR może być przydatna w obiektywnej ocenie wielkości tłumienia ochronnika dla dźwięków impulsowych o różnych natężeniach. W niniejszej pracy podjęto próbę oceny przydatności dwóch metod dla wyznaczenia wielkości tłumienia ochronnika nausznego za pomocą słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu w przypadku hałasu stacjonarnego i impulsowego.

Materiał i metoda

W badaniach uczestniczyło 11 ochotników o słuchu normalnym, w tym 7 kobiet oraz 4 mężczyzn. Średnia wieku wynosiła 27, 2 +/- 5, 4 lat.

Badania tłumienia nausznika przeciwhałasowego Bilsom Lightning L1 przeprowadzono za pomocą dwóch procedur – ABR 1 i ABR 2. Tłumienie ochronnika, wyrażone poprzez parametr SNR, podawane przez producenta, wynosi 28 dB. Procedura ABR 1 była przeznaczona dla oceny tłumienia ochronnika przy sygnale impulsowym, natomiast procedura ABR 2 przy maskującym szumie ciągłym. W obu metodach bodźce wywołujące odpowiedzi ABR prezentowano z polaryzacją naprzemienną z częstotliwością powtarzania wynoszącą 31/s. Pasma wzmacniacza biologicznego zawierało się w zakresie 200-2000 Hz. Badania przeprowadzono za pomocą systemu SPIRIT firmy Nicolet.



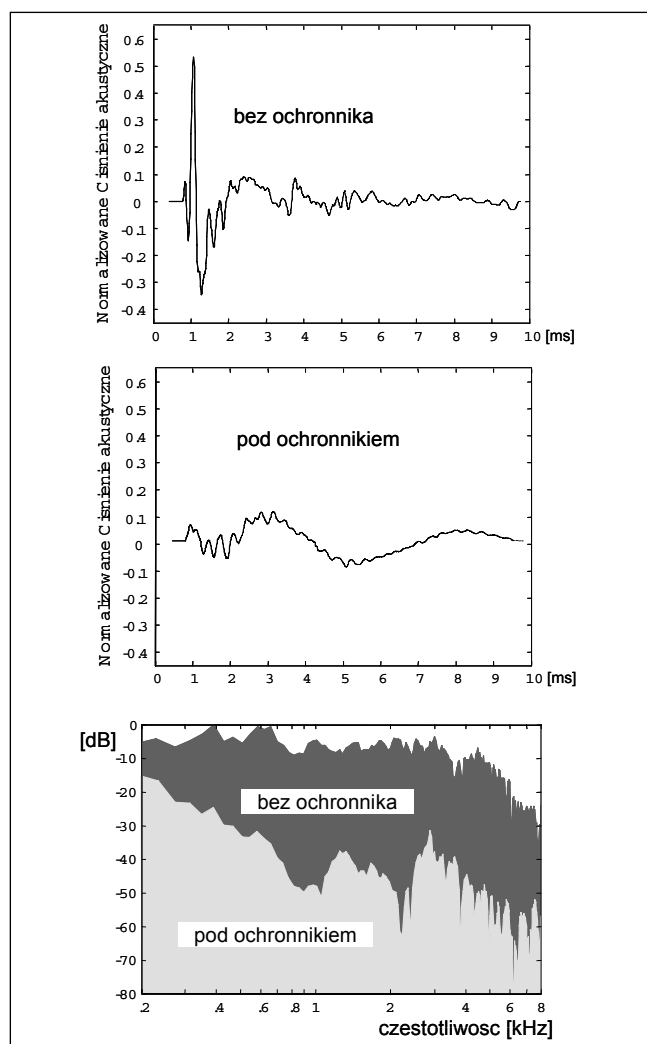
Ryc. 1. Schemat badania tłumienia ochronnika dla hałasu impulsowego – procedura ABR 1

Na ryc. 1 przedstawiono schematycznie procedurę badania tłumienia ochronnika dla przy sygnale impulsowym z zastosowaniem procedury ABR 1. W pierwszej fazie przeprowadzano badanie ABR bez ochronnika stosując trzask o poziomie zmienianym w zakresie od 10 do 80 dB nHL. W drugiej fazie zakładano ochronnik i ponownie rejestrowano odpowiedzi, tym razem dla bodźców o poziomie w zakresie od 30 do 80 dB nHL. Z zarejestrowanych odpowiedzi wyznaczano próg oraz latencję fali V, a następnie wykres funkcji latencja-natężenie dla fali V. W procedurze tej sygnałem impulsowym był trzask, który generowano poprzez podanie na zaciski głośnika impulsu prostokątnego o czasie trwania 0,1 ms.

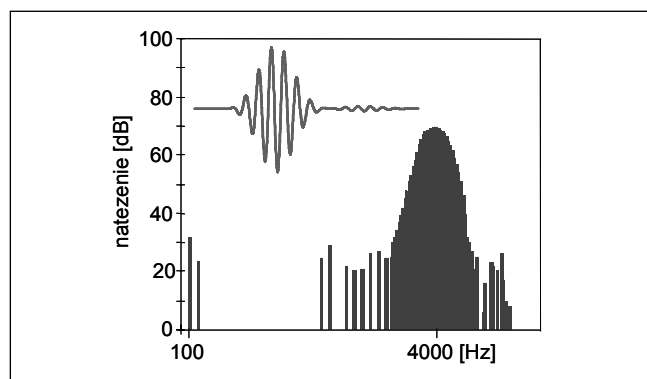
Na ryc. 2 przedstawiono przebiegi czasowe oraz widma mocy trzasku zmierzone na wyjściu głośnika (mikrofon pomiarowy był umieszczony w miejscu głowy osoby badanej) oraz pod ochronnikiem słuchu. Przebiegi czasowe oraz widma trzasku zmierzone pod ochronnikiem słuchu znacznie różnią się od zmierzonych na wyjściu głośnika. Przebieg czasowy bodźca pod ochronnikiem został praktycznie pozbawiony zasadniczych cech impulsu, a widmo bodźca pod ochronnikiem jest niskoczęstotliwościowe.

Na ryc. 3 przedstawiono schematycznie procedurę badania ABR 2 przeznaczoną do oceny tłumienia ochronnika w warunkach szumu ciągłego. Odpowiedzi ABR rejestrowano dla krótkiego tonu z obwiednią Gaussa, o częstotliwości 4000 Hz i poziomie 50 dB nHL. Bodziec generowano bez odcinka plateau, a czas narastania i opadania wynosił 1 ms. Na ryc. 3 przedstawiono przebieg czasowy oraz widmo bodźca. Odpowiedzi rejestrowano w obecności szumu szerokopasmowego o zmiennym natężeniu. W pierwszej fazie odpowiedzi rejestrowano bez ochronnika, natomiast w drugiej z ochronnikiem. W zarejestrowanych odpowie-

dziach wyznaczano latencję fali V, a następnie sporządzano wykres zmian latencji fali V w funkcji natężenia szumu szerokopasmowego. Różnice poziomów hałasu przy których uzyskiwano takie same wartości latencji fali V były miarą wielkości tłumienia ochronnika.

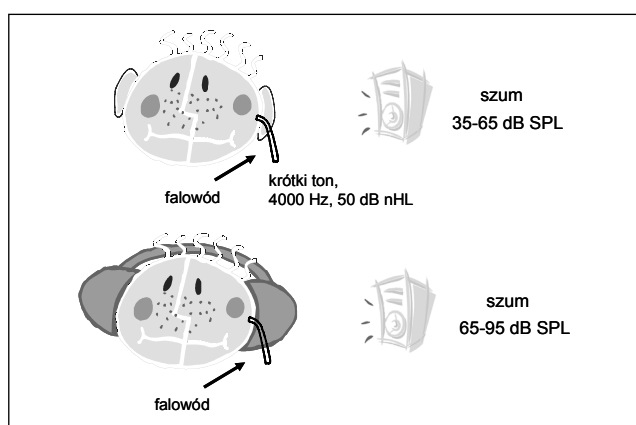


Ryc. 2. Przebiegi czasowe oraz widma mocy trzasku na wyjściu głośnika oraz pod ochronnikiem słuchu

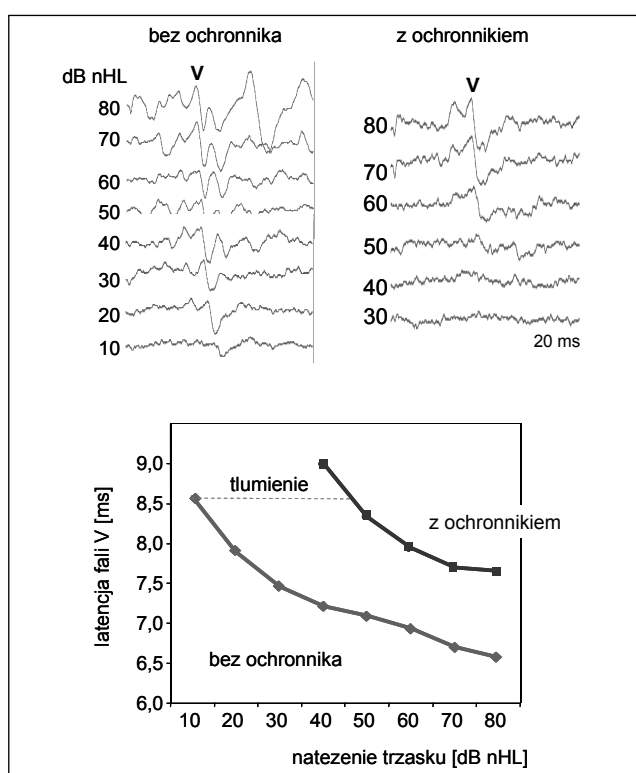


Ryc. 3. Przebieg czasowy oraz widmo akustyczne bodźca stosowanego do rejestracji odpowiedzi ABR w procedurze ABR 2

W procedurze ABR 1 trzask oraz szum szerokopasmowy prezentowano z głośnika szerokopasmowego umieszczonego w osi badanego ucha w odległości 1 m, natomiast w procedurze ABR 2 krótki ton podawano za pomocą



Ryc. 4. Schemat badania tłumienia ochronnika dla hałasu ciągłego - procedura ABR 2



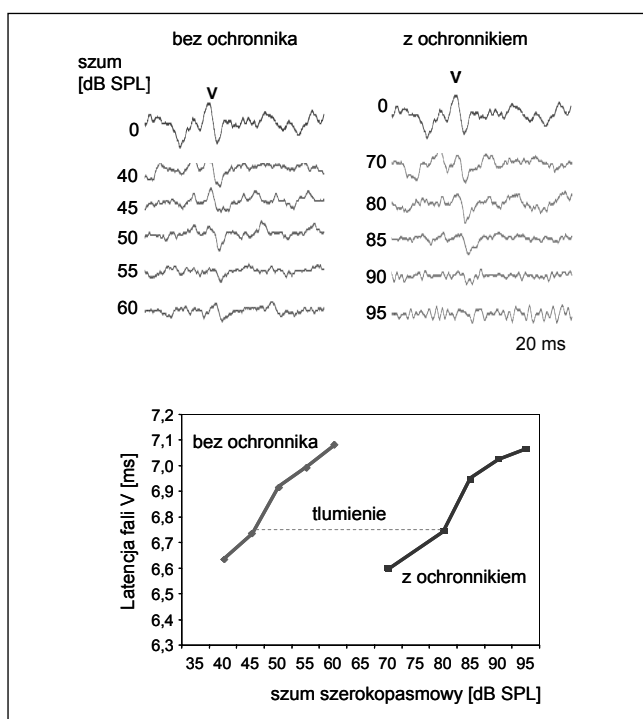
Ryc. 5. Przykład odpowiedzi ABR zarejestrowanych w ramach procedury ABR 1 oraz wykresy funkcji latencja-natężenie wyznaczone na podstawie zarejestrowanych odpowiedzi

dźwiękowodu połączonego ze słuchawką ER-3A firmy Etimotic Research. Badania za pomocą obu procedur przeprowadzono z udziałem wszystkich osób. W przypadku oceny tłumienia ochronnika słuchu z użyciem sygnału impulsowego (trzasku), poza wyznaczeniem funkcji latencja-natężenie przeprowadzono badanie progu słyszenia trzasku bez i z ochronnikiem słuchu.

Przedmiotem analizy statystycznej były wartości średnie latencji i progów fali V. Przy porównywaniu wartości latencji wyznaczonych podczas rejestracji bez, i z ochronnikiem słuchu stosowano test t-Studenta dla prób powiązanych.

Wyniki

Na ryc. 5 przedstawiono przykład odpowiedzi ABR zarejestrowanych procedurą ABR 2. Wyraźnie widać, że w badaniu z ochronnikiem słuchu zwiększył się próg odpowiedzi,



Ryc. 6. Przykład odpowiedzi ABR zarejestrowanych procedurą ABR 2 oraz wykresów funkcji latencja-natężenie wyznaczonych na podstawie zarejestrowanych odpowiedzi

który w prezentowanym przykładzie wynosił 40 dB nHL. Wykres funkcji latencja-natężenie przesunął się w prawo wzdłuż osi natężenia trzasku. Różnica natężeń trzasków prezentowanych bez ochronnika i z ochronnikiem słuchu, przy których wartość latencji fali V osiągała taką samą wartość była miarą tłumienia ochronnika. W prezentowanym przykładzie tłumienie wyznaczone przy poziomie trzasku 10 dB nHL wynosiło 45 dB.

Średnia różnica progu słyszenia trzasku wyznaczona audiometrycznie wynosiła 32 ± 3 dB, natomiast wartość średnia różnicy progów fali V, bez ochronnika i z ochronnikiem słuchu wynosiła 26 ± 5 dB.

Na ryc. 6 przedstawiono przykłady odpowiedzi ABR zarejestrowane zgodnie z procedurą ABR 2. Z odpowiedzi tych wyznaczono wykresy latencji fali V w funkcji poziomu szumu szerokopasmowego maskującego impulsu tonu 4000 Hz, w warunkach założonego i nie założonego ochronnika

słuchu. Z przedstawionych wykresów wynika, że takie same wartości latencji fali V jak w badaniu bez ochronnika uzyskano w odpowiedziach zarejestrowanych z ochronnikami słuchu przy wyższych poziomach szumu szerokopasmowego. Tłumienie ochronnika wyznaczone w prezentowanym przykładzie przy poziomie szumu 45 dB, który w warunkach bez ochronnika słuchu wywoływał latencję nieco ponad 6,7 ms wynosiło ponad 30 dB, ponieważ z zastosowaniem ochronnika słuchu taka sama latencja była wywoływana przez poziom szumu 80 dB.

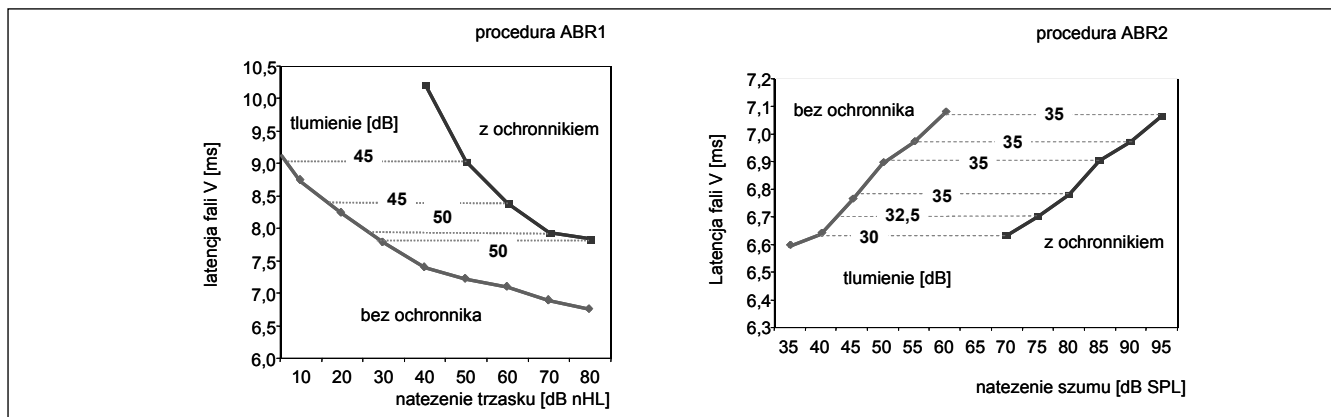
Na ryc. 7 przedstawiono wykresy średnich wartości latencji fali V w funkcji poziomu natężenia trzasku wyznaczone w badaniach przeprowadzonych z zastosowaniem procedury ABR 1 oraz wykresy średnich wartości latencji w funkcji natężenia szumu szerokopasmowego (procedura ABR 2).

W obu procedurach tłumienie ochronnika zmienia się nieznacznie w funkcji poziomu trzasku lub szumu. Należy jednak podkreślić, że tłumienie ochronnika wyznaczone w procedurze ABR 1 (dla sygnału impulsowego) jest znacznie większe niż wyznaczone w procedurze ABR 2 dla szerokopasmowego szumu ciągłego.

Dyskusja

Zasadniczym celem pracy była ocena możliwości wyznaczenia tłumienia ochronnika słuchu za pomocą metody słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu. Badania przeprowadzono z zastosowaniem dwóch procedur. W procedurze ABR 1 tłumienie ochronnika wyznaczono dla impulsów (trzasku), natomiast w procedurze ABR 2 dla szumu szerokopasmowego. W obu procedurach wielkość tłumienia wyznaczono poprzez pomiar różnicy poziomów trzasku (procedura 1) lub poziomów maskera (procedura 2), przy których wartości latencji fali V osiągały taką samą wartość, bez ochronnika i z ochronnikiem. W procedurze ABR 1 tłumienie ochronnika wyznaczano również poprzez pomiar różnicy progów fali V oraz progów słyszenia trzasku w badaniach audiometrycznych bez ochronnika i z ochronnikiem słuchu.

W obu procedurach wielkość tłumienia ochronnika zmniejszała się w niewielkim stopniu wraz z redukcją poziomu bodźca lub maskera. Tłumienie ochronnika wyznaczone za pomocą procedury ABR 1 było większe o 15 dB niż wyznaczone za pomocą procedury ABR 2. Tłumienie ochron-

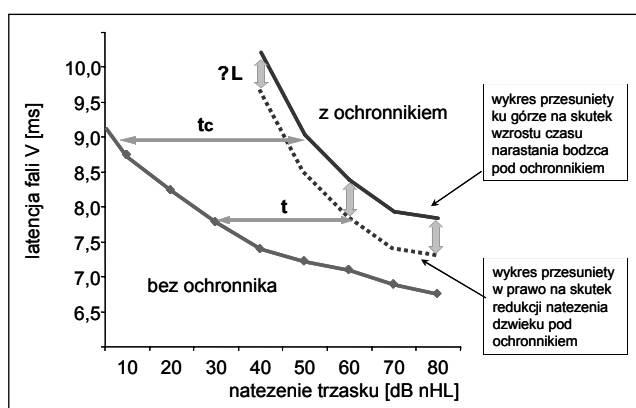


Ryc. 7. Wykresy średnich wartości latencji fali V w funkcji poziomu trzasku (procedura ABR 1) oraz w funkcji poziomu szumu szerokopasmowego (procedura ABR 2), wyznaczone bez ochronnika słuchu oraz po założeniu ochronnika

nika wyznaczone za pomocą procedury ABR 2 były zbliżone do tłumienia wyznaczonego w badaniach psychoakustycznych (32 ± 3 dB) oraz do wielkości katalogowej tłumienia $SNR = 28$ dB, wyznaczonej na podstawie pomiarów progowych zgodnych z normami ISO 4869-1 oraz EN 24869-1, podawanej przez producenta ochronników słuchu.

Większe tłumienie wyznaczone w procedurze ABR 1 wynika prawdopodobnie z faktu, że zmiany latencji fali V w odpowiedziach rejestrowanych po założeniu ochronnika słuchu były spowodowane nie tylko redukcją poziomu trzasku po założeniu ochronnika, ale również znacznej zmiany właściwości bodźca po przejściu przez ochronnik słuchu. Chodzi o zmiany w przebiegu czasowym trzasku oraz w jego widmie (ryc. 2). Trzask mierzony pod ochronnikiem słuchu został pozbawiony głównego, ostrego szczytu amplitudy, na skutek silnego stłumienia składowych o dużej częstotliwości (powyżej 1000 Hz) w widmie częstotliwościowym. Przebieg czasowy impulsu przybrał kształt zbliżony do oscylacyjnego przebiegu czasowego krótkiego tonu o małej częstotliwości i długim czasie narastania. Ponieważ latencja fali V bardzo silnie zależy od czasu narastania bodźca i częstotliwości [Barth, Burkard 1993; Beattie (i in.) 1997; Burkard 1991; Kochanek 2002], dlatego wzrost wartości latencji fali V po założeniu ochronnika jest efektem łącznego działania tych czynników. Podobnie jak w ubytku przewodzeniowym, redukcja głośności bodźca pod ochronnikiem powoduje przesunięcie wykresu latencja-natężenie w prawo (odcinek t na ryc. 8). Gdyby bodziec pod ochronnikiem słuchu zachował swoje właściwości czasowo-widmowe to tłumienie ochronnika przyjmowałoby wartość – t. Jednak na skutek zmian właściwości bodźca pod ochronnikiem (wzrost czasu narastania) latencja wydłuża się o wartość ΔL , skutkiem czego wykres odpowiadający warunkom pomiaru z ochronnikiem słuchu unosi się ku górze. Ponieważ tłumienie ochronnika wyznacza się jako różnicę poziomu bodźca po założeniu ochronnika i natężenia bodźca bez ochronnika, przy których wartość latencji fali V ma tę samą wartość, to sumaryczna wielkość tłumienia ochronnika – t_c jest większa niż wynikałoby to jedynie z redukcji poziomu trzasku. Jest to powodem, dla którego sumaryczne tłumienie wyznaczone na podstawie pomiarów latencji jest większe niż tłumienie wyznaczone na podstawie pomiarów progu słyszenia trzasku (32 ± 3 dB) oraz progu fali V (26 ± 5 dB) mierzonego bez ochronnika i z ochronnikiem słuchu. Reasumując, zmiany w obrazie słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu oceniane na podstawie pomiarów latencji fali V są większe niż zmiany progu słyszenia spowodowane założeniem ochronnika. Być może oznacza to, że skuteczność ochronnika jest większa niż wynikałoby to z pomiarów progowych.

W odróżnieniu, wielkość tłumienia tego samego ochronnika wyznaczona za pomocą pomiarów latencji fali V w procedurze ABR 2 była zbliżona do wartości parametru $SNR = 28$ dB, oraz do wartości tłumienia wyznaczonej poprzez pomiar różnicy progu słyszenia trzasku. Zaletą metody maskowania jest to, że właściwości bodźca, którym wywołuje się odpowiedzi pnia mózgu pozostają niezmienione po założeniu ochronnika oraz to, że stosować można różne sygnały maskujące. Zmieniając częstotliwość bodźca oceniać można wpływ hałasu na różne rejony ślimaka przed i po założeniu ochronnika. Przesunięcie wykresu latencji fali V



Ryc. 8. Schemat powstawania zwiększonego oszacowania tłumienia ochronnika słuchu wyznaczanego na podstawie funkcji latencja-natężenie

w prawo (ryc. 7) po założeniu ochronnika w tej metodzie wynika z faktu, że dla uzyskania odpowiedzi ABR o takich samych cechach (np. latencji), jak przed założeniem ochronnika trzeba użyć szumu o większym natężeniu. Wadą metody ABR 2 jest konieczność stosowania wysokich poziomów sygnału w polu akustycznym po założeniu ochronników. Wymaga to prowadzenia badań w pomieszczeniach o dobrej izolacyjności akustycznej.

Przeprowadzone badania tłumienia nausznika przeciwhałasowego za pomocą metody ABR wykazały, że metoda ta może być użyteczna w obiektywnej ocenie wielkości tłumienia ochronnika, przy czym bardziej właściwą metodą pomiaru wydaje się być metoda, w której wykorzystywane jest zjawisko maskowania jednoczesnego.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułować można następujące syntetyczne wnioski:

1. Wielkość tłumienia ochronnika wyznaczona na podstawie pomiaru latencji fali V zależy od rodzaju procedury i jest znacznie większa w procedurze ABR 1 niż w procedurze ABR 2;

2. Wartości tłumienia ochronnika wyznaczone za pomocą metody ABR 1 przy zastosowaniu pomiarów progów fali V oraz wyznaczone w procedurze ABR 2 przy zastosowaniu pomiarów latencji fali V są zbliżone do wartości tłumienia określonych standardowymi metodami według zaleceń norm ISO 4869-1 oraz EN 24869-1 odnoszących się do pomiarów ochronników słuchu;

3. Zarówno dla impulsów jak i sygnału ciągłego możliwy jest pomiar wielkości tłumienia ochronnika za pomocą metody ABR.

Bibliografia

- Babeu L. [2005]. Level dependent hearing protection and distortion otoacoustic emissions (DPOAE) after Small Arms Fire. „Spectrum Suppl.” 1, 22, 20.
- 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., 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.
- EN 24869-1 [1992]. Acoustics – Hearing protectors. Subjective method for the measurement of sound attenuation.
- ISO 4869-1 [1990]. Acoustics – Hearing protectors – Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation.
- Kim K., Burkard R. F., Lockwood, A. H., Salvi, R. J. [2000]. Effects of background noise on audiometric thresholds during positron emission tomography: passive and active noise-reduction. „Scandinavian Audiology” 29(4), 211-216.
- Knaus D., Dietz A., Musiek F. [2004]. An objective method for measuring the attenuation of hearing protection devices using otoacoustic emissions. „Journal of the Acoustical Society of America” 116(4), Pt. 2, 2596.
- Kochanek K., Piłka A., Orkan-Lęcka E., Skarżyński H. [2002]. Wpływ czasu narastania krótkiego tonu na parametry słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu. „Audiofonologia” 22, 33-45.
- Moore, D. R., Hutchings, M. E., King, A. J., and Kowalchuk, N. E. [1989]. Auditory brain stem of the ferret: some effects of hearing with a unilateral ear plug on the cochlea, cochlear nucleus, and projections to the inferior colliculus. „Journal of Neuroscience” 9(4), 1213-1222.
- Van Campen, L. E., Sammeth, C. A., and Peek, B. F. [1990]. Interaural attenuation using Etymotic ER-3A insert earphones in auditory brain stem response testing. „Ear and Hearing” 11(1), 66-69.
- Wilde G. L. and Humes L. E. [1987]. „Measurement of the attenuation characteristics of nonlinear hearing protective devices using the auditory brain stem response. „Journal of the Acoustical Society of America” 81(3), 730-733.