

Detekcja emisji otoakustycznych w paśmie 500 Hz: osoby ze słuchem prawidłowym

Detection of otoacoustic emissions in the 500 Hz band: normal hearing subjects

EDYTA PIŁKA, WIKTOR JĘDRZEJCZAK, ANNA PIOTROWSKA, ARTUR LORENS, KRZYSZTOF KOCHANEK, HENRYK SKARŻYŃSKI

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, ul. Zgrupowania AK „Kampinos” 1, 01-943 Warszawa

Wprowadzenie. Emisja otoakustyczna jest badaniem obiektywnym i nieinwazyjnym, pozwalającym w łatwy sposób ocenić funkcję zewnętrznych komórek słuchowych. Najczęściej jest wykorzystywana do oceny słuchu w zakresie częstotliwości 1-4 kHz. Z uwagi na szereg problemów znacznie rzadziej wykonuje się ten test poniżej częstotliwości 1 kHz.

Cel. Celem pracy było porównanie obecności sygnału emisji otoakustycznej w paśmie 500 Hz wywołanej trzaskiem szerokopasmowym (CEOAE) oraz krótkim tonem o częstotliwości 500 Hz (TBOAE) u osób ze słuchem prawidłowym.

Materiał i metody. Badaniami objęto 20 osób otologicznie zdrowych z prawidłowymi progami słyszenia, nieprzekraczającymi normy wiekowej. Wykonano audiometrię impedancyjną, audiometrię tonalną oraz rejestrację CEOAE i TBOAE 500 Hz. Analizowano odpowiedzi otoemisji w pasmach pół-oktawowych w zakresie 500-4000 Hz. W analizach skoncentrowano się na detekcji odpowiedzi w rejonie 500 Hz.

Wyniki. Analiza statystyczna wykazała, że odpowiedź w paśmie 500 Hz przy pobudzeniu trzaskiem jest znacznie niższa, pomimo wysokiego całkowitego parametru powtarzalności pomiaru, niż przy pobudzeniu krótkim tonem o częstotliwości 500 Hz, dla którego osiągnięto bardzo wysoką wartość parametru całkowitego, jak i pasmowego.

Wnioski. Pomiar TBOAE 500 Hz wydaje się być bardziej wartościowym testem funkcji ślimaka ucha wewnętrznego dla niskich częstotliwości niż CEOAE.

Słowa kluczowe: emisja otoakustyczna, parametr powtarzalności pomiaru, swoistość testu

Introduction. Otoacoustic emissions are used as an objective and noninvasive test with the help of which the function of outer hair cells can easily be evaluated. The test is used to evaluate hearing status in 1-4 kHz range. Due to various problems it is rarely performed below 1 kHz.

Aim. The aim of the study was to compare the presence of otoacoustic emissions evoked by clicks (CEOAE) and by 500Hz tone bursts (TBOAE) in the 500 Hz band in the ears of normally hearing subjects.

Material and methods. In the study 20 subjects were tested. These subjects were laryngologically healthy and had hearing thresholds within norm for their age. For each subject impedance audiometry, pure-tone audiometry, CEOAE, and TBOAE for 500 Hz were performed. Otoacoustic emissions were analyzed in half-octave bands in the 500-4000 Hz range. The analyses were focused on detection of responses in the 500 Hz region.

Results. Statistical analysis revealed that CEOAE response in 500 Hz is significantly lower than in the case of 500 Hz TBOAE. In the case of 500 Hz TBOAE both global and band reproducibility values were high.

Conclusions. The 500 Hz TBOAE is more reliable than CEOAE in the case of activity at low frequencies.

Key words: otoacoustic emissions, reproducibility, specificity of the test

WSTĘP

Emisje otoakustyczne są nieinwazyjnym i obiektywnym badaniem klinicznym, dzięki któremu można ocenić czynność ślimaka [1]. W praktyce klinicznej najczęściej wykorzystywane są otoemisje wywołane za pomocą pojedynczego bodźca – szerokopasmowego trzasku (CEOAE – *click evoked otoacoustic emissions*) lub rzadziej bodźca o węższym paśmie mocy – krótkiego tonu (*tone burst*). Drugim rodzajem otoemisji, często stosowanym w praktyce klinicznej jest otoemisja mierzona jako produkt zniekształceń dwóch tonów (DPOAE – *distortion product otoacoustic emissions*). DPOAE służą do oceny aktywności ślimaka w rejonie wyższych częstotliwości, natomiast emisje wywołane trzaskiem są lepszym wyznacznikiem stanu ślimaka dla częstotliwości niższych.

Sygnał emisji wywołanej trzaskiem rejestruje się głównie w rejonie częstotliwości od 500 do 4500 Hz. Jest on bardzo wrażliwy na zaburzenia słuchu i mogą w nim wystąpić istotne spadki amplitudy nawet zanim jakiegokolwiek różnice pojawią się w badaniu audiometrycznym [2,3]. Emisja wywołana trzaskiem zanika przy ubytkach słuchu przekraczających 30-40 dB HL, a gdy średni ubytek słuchu w częstotliwościach 500-4000 Hz przekracza 45 dB HL, emisja nie występuje [4,5]. W systemach pomiarowych do detekcji obecności sygnału otoemisji stosuje się takie parametry jak powtarzalność pomiaru czy stosunek sygnału do szumu (*signal to noise ratio* – SNR). Powtarzalność pomiaru (ang. *reproducibility*) to wyrażany w procentach współczynnik korelacji pomiędzy dwoma buforami uśrednionych odpowiedzi. Stosunek sygnału do szumu to różnica pomiędzy poziomem odpowiedzi a poziomem szumu, wyrażona w dB SPL. Jak wskazują niektóre badania [6] miary te dają porównywalne wyniki, jeśli chodzi o detekcję odpowiedzi.

Emisje wywołane krótkim bodźcem tonalnym (TBOAE – *tone burst evoked otoacoustic emission*) charakteryzują się widmem skoncentrowanym wokół częstotliwości stymulacji. Przeprowadzone badania pokazały, że sumaryczne widmo otoemisji wywołanych krótkimi tonami o częstotliwościach od 1 do 4 kHz koresponduje z otoemisją wywołaną trzaskiem [7,8]. Przy równoważnym poziomie stymulacji odpowiedzi dla tonów mają wyższą amplitudę niż odpowiedzi dla trzasków [9]. Stymulacja krótkim tonem może być, zatem lepszym testem diagnostycznym w stosunku do badania za pomocą trzasku szerokopasmowego, w niektórych bardziej specyficznych ubytkach słuchu, np. w częściowej głuchocie [10,11].

Celem pracy było porównanie obecności sygnału emisji otoakustycznej w paśmie 500 Hz wywołanej trzaskiem szerokopasmowym oraz krótkim tonem o częstotliwości 500 Hz u osób ze słuchem prawidłowym.

PACJENCI I METODY

Pacjenci

Badania przeprowadzono w grupie 20 osób otologicznie zdrowych (40 uszu), w tym 14 kobiet i 6 mężczyzn w wieku od 23 do 37 lat. Średnia wieku wynosiła 27 lat przy odchyleniu standardowym 5.

Metody

Kryterium kwalifikacji pacjentów do grupy badanej był wywiad wskazujący na brak problemów audiologicznych, prawidłowy wynik badania otoskopowego oraz prawidłowe wyniki badań audiometrii impedancyjnej i tonalnej.

Badania audiometrii impedancyjnej wykonano za pomocą audiometru impedancyjnego Zodiak 901 firmy Madsen. U każdej osoby wykonano tympanometrię oraz badanie odruchu z mięśnia strzemiączkowego dla częstotliwości 500, 1000, 2000 i 4000 Hz po stymulacji ipsi- i kontrlateralnej czystym tonem o intensywności bodźca od 75 do 120 dB.

Badanie audiometrii tonalnej wykonano w kabine audiometrycznej, za pomocą audiometru Itera firmy Madsen dla przewodnictwa powietrznego dla częstotliwości od 125 do 8000 Hz, oraz dla przewodnictwa kostnego w zakresie 500 do 4000 Hz.

Po wykluczeniu zmian w obrębie ucha środkowego oraz gdy uzyskane wartości progów słyszenia nie przekraczały normy wiekowej, daną osobę kwalifikowano na badanie otoemisji akustycznej.

Rejestracje sygnałów otoemisji wykonano za pomocą systemu ILO 96 (Otodynamics Ltd, Londyn). W badaniach CEOAE zastosowano standardową procedurę stymulacji trzaskiem szerokopasmowym o czasie trwania 80 μ s. Badania otoemisji wywołanej tonem wykonywano dla bodźca o częstotliwości 500 Hz i czasie trwania 8 ms (4 okresy w układzie 2-0-2). Ze względu na długi czas trwania samego bodźca jak i biorąc pod uwagę możliwość występowania odpowiedzi z utajeniem większym niż 20 ms [11], w badaniu TBOAE stosowano czas analizy odpowiedzi wynoszący 30 ms. Badania CEOAE wykonano dla dwóch czasów analizy: 20 i 30 ms. Czas analizy 20 ms jest standardowo stosowany dla CEOAE. Pomiar dla 30 ms miał natomiast na celu umożliwienie bezpośredniego porównania z TBOAE. Rejestracje dla wszystkich rodzajów

bodźców wykonywano dla intensywności 80 ± 3 dB SPL z protokołem nieliniowym. Pomiaru kończono po zsumowaniu 520 odpowiedzi. Było to podyktowane faktem występowania niskoczęstotliwościowego szumu, który utrudnia pomiar sygnału emisji w rejonie 500 Hz [11].

Do oceny występowania odpowiedzi emisji otoakustycznej dla poszczególnych bodźców wykorzystywano całkowity parametr powtarzalności pomiaru oraz otrzymany w paśmie pół-oktawowym wokół częstotliwości 500 Hz, wyznaczony dla obu typów stosowanych bodźców.

Na podstawie wyników prac innych autorów [12], jako kryterium obecności sygnału otoemisji przyjęto wartość parametru powtarzalności pomiaru dla bodźca typu trzask na poziomie 70% oraz dla tonu o częstotliwości 500 Hz – 60%. Na tej podstawie wyznaczono swoistość testu (inaczej specyficzność) dla parametru powtarzalności pomiaru całkowitego oraz dla parametru w paśmie 500 Hz dla obu stosowanych w badaniach bodźców. Swoistość testu wyznaczano w standardowy sposób jako iloraz wyników prawdziwie ujemnych do sumy wyników prawdziwie ujemnych i fałszywie dodatnich.

Uzyskane wyniki poddano porównawczej analizie statystycznej testem t-studenta dla prób niepowiązanych, gdy uzyskane wartości miały rozkład normalny lub testem U-Manna-Whitneya, gdy badana próbka nie posiadała tych cech. Analizy przeprowadzono w pakiecie Statistica 7.0 firmy Stat-Soft, przyjmując różnice istotne statystycznie dla wartości współczynnika $p < 0,05$.

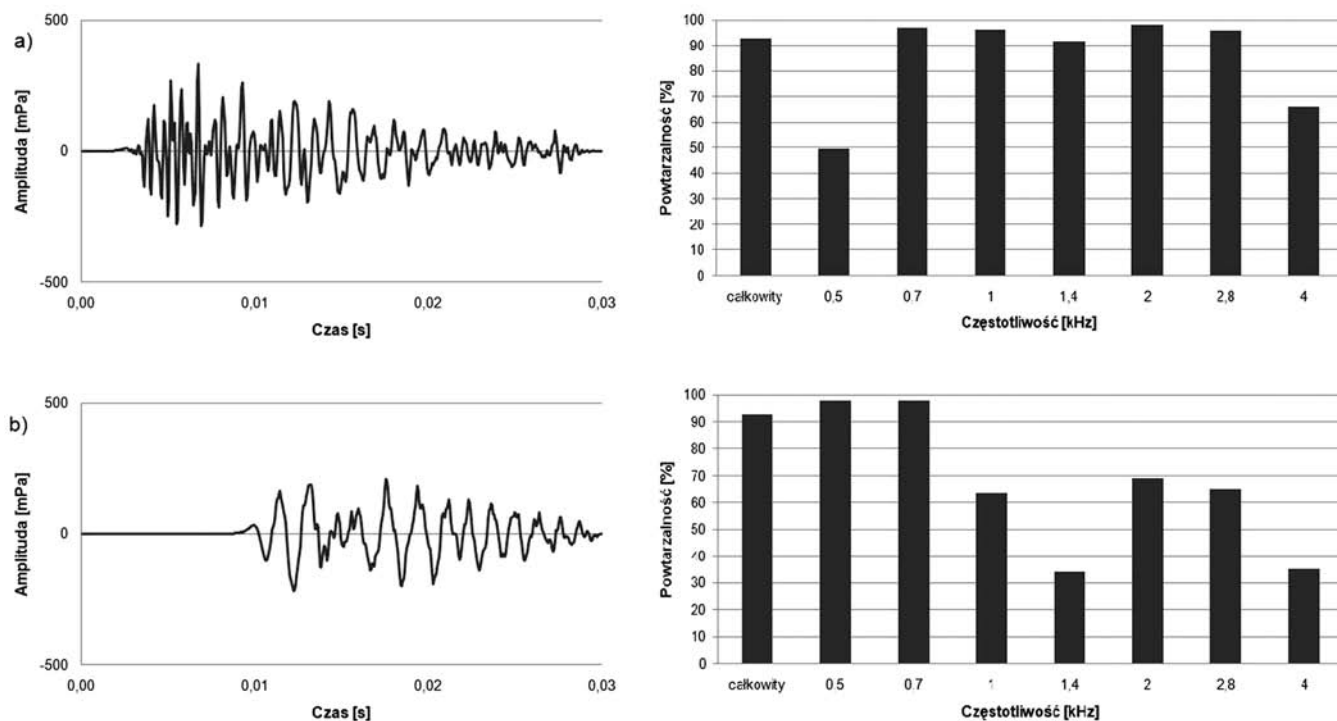
WYNIKI

Przeprowadzone badania potwierdziły, że emisje wywołane przez trzaski znacznie różnią się od odpowiedzi dla krótkich tonów o częstotliwości 500 Hz. Obrazuje to przykład sygnałów zmierzonych u tej samej osoby przedstawiony na rycinie 1. Na ryc. 1A pokazano przebieg czasowy rejestracji emisji otoakustycznej dla bodźca typu trzask (przy oknie analizy 30 ms) oraz całkowity i pasmowe wartości parametru powtarzalności pomiaru. Należy zwrócić uwagę na fakt, że pomimo wysokiej wartości całkowitego parametru powtarzalności pomiaru przy stymulacji trzaskiem szerokopasmowym (93%), występuje wyraźny spadek parametru powtarzalności pomiaru w paśmie 500 Hz. Na rycinie 1B przedstawiono przebieg czasowy rejestracji emisji otoakustycznej dla bodźca 500 Hz oraz parametry powtarzalności pomiaru dla tej samej osoby. Odpowiedź dla krótkiego tonu 500 Hz mierzono używając wydłużonego do 30 ms okna pomiarowego. Jak wi-

dać na przedstawionym przykładzie, w przypadku tego bodźca emisja wywołana jest obecna jeszcze po upływie stosowanych standardowo 20 ms. Pomimo zastosowania bodźca skoncentrowanego wokół częstotliwości 500 Hz, również w wyższych pasmach obserwujemy dosyć wysokie wartości parametru powtarzalności pomiaru. Jest to najprawdopodobniej spowodowane występowaniem składowych spontanicznych.

W tabeli I i na rycinie 2 zestawiono średnie wartości parametru powtarzalności pomiaru dla badanej grupy dla CEOAE (zmierzonej w oknie trwającym 20 i 30 ms) oraz TBOAE 500 Hz, a także średnie wartości dla tych bodźców w paśmie pół-oktawowym 500 Hz. Wyniki analizy statystycznej powtarzalności pomiaru, przedstawione w tabeli I i na rycinie 2 wykazały, że wartości całkowitego parametru powtarzalności pomiaru dla rejestracji emisji otoakustycznych CEOAE i TBOAE 500 Hz nie różnią się statystycznie. Natomiast porównanie wartości parametrów powtarzalności pomiaru w paśmie 500 Hz dla obu typów emisji otoakustycznych wykazało, że przy rejestracji TBOAE 500 Hz uzyskano istotnie większe wartości tego parametru niż przy CEOAE ($p < 0,001$). Wysoka wartość standardowego odchylenia dla CEOAE w paśmie 500 Hz jest efektem dużego rozrzutu w danych międzyosobniczych. Wskazuje też na małą wiarygodność emisji wywołanej bodźcem typu trzask przy testowaniu rejonu 500 Hz. Przeprowadzona analiza wykazała również, że dla TBOAE 500 Hz wartości parametru powtarzalności pomiaru całkowitego oraz w paśmie 500 Hz nie różniły się statystycznie. Dla emisji wywołanej trzaskiem szerokopasmowym wartości parametru powtarzalności pomiaru w paśmie 500 Hz były istotnie mniejsze od wartości parametru całkowitego ($p < 0,001$). Nawet zastosowanie dłuższego (o czasie trwania 30 ms) niż standardowe okna analizy dla CEOAE nie wpłynęło na podniesienie powtarzalności w paśmie 500 Hz. Generalnie, z punktu widzenia detekcji odpowiedzi CEOAE, wydłużenie okna nie daje większych zmian w stosunku do okna standardowego. Dlatego też w kolejnych tabelach dla uproszczenia prezentowane są dane tylko dla standardowego pomiaru CEOAE z wykorzystaniem okna 20 ms.

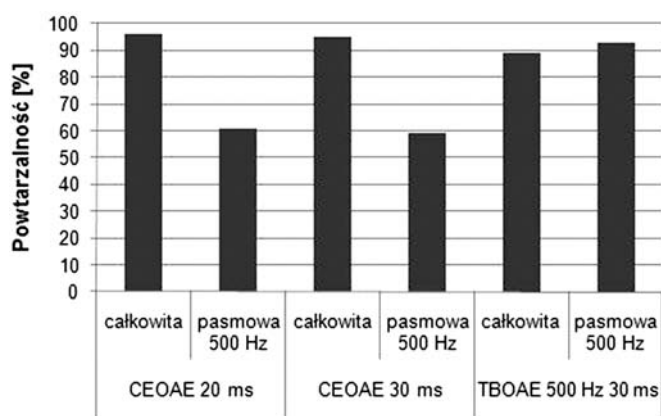
W tabeli II przedstawiono średnie wartości poziomu odpowiedzi emisji otoakustycznych oraz odchylenia standardowego otrzymane w grupie badanej. Z uzyskanych danych wynika, że poziom odpowiedzi emisji otoakustycznych w paśmie 500 Hz jak i 707 Hz przy stymulacji bodźcem o częstotliwości 500 Hz jest istotnie większy ($p < 0,001$) niż przy stymulacji trzaskiem.



Ryc.1. A. Przykład przebiegu czasowego CEOAE oraz jego wartości parametru powtarzalności pomiaru (całkowity i pasmowe). B. Przykład przebiegu czasowego TBOAE 500 Hz oraz jego wartości parametru powtarzalności pomiaru (całkowity i pasmowe)

Tabela I. Średnie wartości oraz odchylenie standardowe całkowitego parametru powtarzalności pomiaru oraz w paśmie 500 Hz uzyskane dla CEOAE (mierzonej w oknach o długości 20 i 30 ms) i TBOAE 500 Hz

	CEOAE 20 ms		CEOAE 30 ms		TBOAE 500 Hz	
	całkowity	w paśmie 500 Hz	całkowity	w paśmie 500 Hz	całkowity	w paśmie 500 Hz
Średnie wartości	96%	61%	95%	59%	89%	93%
Odchylenie standardowe	5%	30%	6%	33%	14%	9%



Ryc. 2. Średnie wartości parametru powtarzalności pomiaru dla całej grupy dla CEOAE (mierzonej w oknach o długości 20 i 30 ms) oraz TBOAE 500 Hz, a także średnie wartości dla tych sygnałów w paśmie 500 Hz (mierzonej w oknie o długości 30 ms)

W tabeli III przedstawiono ilość wyników prawidłowych i nieprawidłowych przy zastosowaniu następującego kryterium detekcji otoemisji: wartość parametru powtarzalności pomiaru 70% dla bodźca typu trzask i 60% dla bodźca o częstotliwości 500 Hz. Na podstawie tych wyników wyznaczono swoistość testu emisji otoakustycznych dla badanych wartości parametru powtarzalności pomiaru. Swoistość testu CEOAE dla całkowitego parametru powtarzalności pomiaru wyniosła 100%. Jednakże przy analizie pasma 500 Hz dla tego bodźca uzyskano swoistość testu na poziomie tylko 50%. Oznacza to, że posługując się emisją wywołaną trzaskiem w paśmie 500 Hz połowa wyników osób normalnie słyszących, byłoby zakwalifikowanych jako nieprawidłowe. Swoistość testu dla TBOAE 500 Hz, zarówno dla parametru powtarzalności pomiaru całkowitego jak i parametru w paśmie 500 Hz była powyżej 92%, co oznacza bardzo dobrą wiarygodność testu.

Tabela II. Średnie wartości poziomu odpowiedzi emisji otoakustycznych oraz odchylenia standardowego otrzymane w grupie badanej

	CEOAE							TBOAE 500 Hz	
	500 Hz	707 Hz	1000 Hz	1414 Hz	2000 Hz	2828 Hz	4000 Hz	500 Hz	707 Hz
Średnie wartości	-9,61	0,91	8,41	8,75	6,67	5,27	2,30	1,57	6,15
Odchylenie standardowe	6,31	6,02	15,86	5,33	5,76	5,55	7,00	7,01	7,25

Tabela III. Liczba wyników prawidłowych i nieprawidłowych oraz swoistość testu otoemisji przy ocenie całkowitego i pasmowego parametru powtarzalności pomiaru. Przy określaniu swoistości testu zastosowano wartość parametru powtarzalności 70% dla CEOAE i 60% dla TBOAE 500 Hz

	CEOAE		TBOAE 500 Hz	
	Parametr powtarzalności pomiaru			
	całkowity	w paśmie 500 Hz	całkowity	w paśmie 500 Hz
Brak otoemisji	0	20	3	0
Obecna otoemisja	40	20	37	40
Swoistość testu	100%	50%	92,5%	100%

DYSKUSJA

Emisja otoakustyczna wywołana trzaskiem szerokopasmowym, obejmuje w przybliżeniu rejon częstotliwości od 500 do 4500 Hz. U osób ze słuchem prawidłowym w poszczególnych pasmach z zakresu 1000-4000 Hz parametr powtarzalności pomiaru otoemisji przyjmuje wysokie wartości, często powyżej 80-90%. Natomiast w paśmie 500 Hz wartość parametru powtarzalności znacznie spada, nawet do 50%, niezależnie od długości stosowanego okna pomiarowego. Dlatego trzask nie jest wiarygodnym bodźcem, jeśli chodzi o wywołanie otoemisji w tym rejonie częstotliwości. Jest to prawdopodobnie rezultatem czynników takich jak szum związany z warunkami pomiaru jak również z niskoczęstotliwościowymi filtrami używanymi w większości urządzeń [13].

Problem pomiaru otoemisji dla niskich częstotliwości można rozwiązać poprzez dodatkowy pomiar z wykorzystaniem krótkiego tonu o częstotliwości 500 Hz. Istotne jest jednak wydłużenie czasu analizy, ze względu na długi czas trwania samego bodźca (około 8 ms) jak i dłuższą latencję składowych niskoczęstotliwościowych. Trzeba też zwrócić uwagę na to, że sygnał ten ma często niską amplitudę. Jest to spowodowane faktem, iż emisje w rejonie 500 Hz znacznie różnią się od emisji dla wyższych częstotliwości. W przypadku użycia krótkich tonów o częstotliwościach z zakresu 1000-4000 Hz odpowiedzi pokrywają się w poszczególnych pasmach częstotliwościowych z odpowiedziami dla trzasków. W przypadku odpowiedzi dla tonu 500 Hz zawartość widmowa jest inna dla trzasku. Mogą się oczywiście pojawiać składowe związane z aktywnością spontaniczną, które będą miały te same częstotliwości jak w przypadku trzasku.

Jak wykazały dotychczasowe badania [11] do pomiaru odpowiedzi w rejonie 500 Hz potrzebne jest wydłużenie okna pomiarowego ze standardowych 20 do 30 ms. Z kolei ze względu na niską amplitudę i duży poziom szumu dla niskich częstotliwości korzystne jest dłuższe uśrednianie odpowiedzi. Zastosowanie takiej procedury umożliwiło wykrycie emisji w rejonie 500 Hz dla wszystkich uszu. Jest to znaczna poprawa w stosunku do wyników dla niskich częstotliwości osiągniętych za pomocą bodźca typu trzask (50%).

Przeprowadzone analizy pokazały, że ocena emisji na podstawie pasmowych parametrów powtarzalności pomiaru jest znacznie bardziej wiarygodna niż ocena w oparciu o całkowity parametr powtarzalności. Efekt ten jest wyjątkowo widoczny w obszarze 500 Hz. Jeśli pasmo analizy nie zostanie dostatecznie zawężone (np. do pół oktawy) to wartość parametru powtarzalności może być zaniżona poprzez szum bądź sztucznie podwyższona w przypadku wystąpienia składowych spontanicznych w innych częstotliwościach.

Otrzymane wartości poziomów odpowiedzi dla emisji wywołanej trzaskiem w badanej grupie były podobne do tych otrzymanych w innych pracach przy użyciu tej samej aparatury [14]. W przypadku pasma 500 Hz poziom odpowiedzi był znacznie niższy niż w wyższych częstotliwościach. Dopiero zastosowanie krótkiego tonu jako bodźca zbliżyło poziom emisji w tym paśmie do tego z wyższych częstotliwości.

Podsumowując uważamy, że zastosowanie krótkiego tonu o częstotliwości 500 Hz do wywołania emisji otoakustycznej pozwala znacząco podnieść zarówno wartości parametru powtarzalności pomiaru jak i poziomu odpowiedzi w stosunku do

wyników uzyskiwanych dla tej częstotliwości przy użyciu trzasku. Pomiar TBOAE 500 Hz może być, zatem obiecującym sposobem rozszerzenia obiektywnej oceny funkcji ślimaka w zakresie niskich częstotliwości.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy.

Piśmiennictwo

1. Probst R, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. A review of otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 1991; 89: 2027-967.
2. Konopka W, Pietkiewicz P, Zalewski P. Otoacoustic emission examinations in soldiers before and after shooting. *Otolaryngol Pol* 2000; 54(6): 745-9.
3. Hendler B, Fiszer M, Śliwińska-Kowalska M. Zastosowanie emisji otoakustycznej wywołanej trzaskiem w monitorowaniu uszkodzeń słuchu spowodowanych hałasem. *Otolaryngol Pol* 2002; 1(2): 113-8.
4. Collet L, Gostner L, Moulin A, Kauffmann I, Disant F, Morgon A. Evoked otoacoustic emissions and sensorineural hearing loss. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1989; 115(9): 1069-72.
5. Robinette MS. Clinical observations with evoked otoacoustic emissions at Mayo Clinic. *J Am Acad Audiol* 2003; 14: 213-24.
6. Lucertini M, Moleti A, Sisto R. On the detection of early cochlear damage by otoacoustic emission analysis. *J Acoust Soc Am*. 2002; 111(2): 972-8.
7. Elberling C, Parbo NI, Johnsen NI, Bagi P. Evoked acoustic emissions: Clinical application. *Acta Otolaryngol Suppl* 1985; 19: 77-85.
8. Probst R, Coats AC, Martin GK, Lonsbury-Martin BL. Spontaneous, click -, and toneburst - evoked otoacoustic emissions from normal ears. *Hear Res* 1986; 21: 261-75.
9. Prieve BA, Gorga MP, Neely ST. Click- and tone-burst - evoked otoacoustic emissions in normal - hearing and hearing - impaired ears. *J Acoust Soc Am* 1996; 99: 3077-86.
10. Lichtenstein V, Stapells DR. Frequency-specific identification of hearing loss using transient-evoked otoacoustic emissions to clicks and tones. *Hear Res* 1996; 98: 125-36.
11. Jędrzejczak WW, Lorens A, Piotrowska A, Kochanek K, Skarzynski H. Otoacoustic emissions evoked by 0,5 Hz tone bursts. *J Acoust Soc Am* 2009; 125(5): 3158-65.
12. Zhang VW, McPherson B, Shi BX, Tang JL, Wong BY. Neonatal hearing screening: a combined click evoked and tone burst otoacoustic emission approach. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2008; 72(3): 351-60.
13. Hurley RM, Musiek FE. Effectiveness of transient - evoked otoacoustic emissions (TEOAEs) in predicting hearing level. *J Am Acad Audiol* 1994; 5: 195-203.
14. Hall JW. Normative Data for Otoacoustic Emissions. (w) Handbook of otoacoustic emissions. Singular Publishing Group, San Diego, CA 2000.