

Agnieszka Jędrusik¹, Jacek Smurzyński², Rudolf Probst²,
Grzegorz Janczewski¹, Krzysztof Kochanek^{1,3},
Jarosław Żygierewicz⁴

¹ Katedra i Klinika Otolaryngologii Akademii Medycznej w Warszawie

² Klinika Otolaryngologii Uniwersytetu w Bazylei, Szwajcaria

³ Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

⁴ Laboratorium Fizyki Medycznej Uniwersytetu Warszawskiego

Użyteczność kliniczna szybkiego testu DPOAEs w badaniach przesiewowych funkcji ślimaka u osób dorosłych (Wyniki wstępne)

Performance of Rapid DPOAEs Tests Used as Screening
for Cochlear Impairment in Adults (Preliminary Results)

Słowa kluczowe: otoemisje produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka, funkcje ślimaka, ubytek słuchu typu ślimakowego.

Key words: distortion product otoacoustic emissions, cochlear function, cochlear hearing loss.

Streszczenie

Zasadniczym celem pracy było opracowanie procedury szybkiego badania przesiewowego opartego na rejestracji otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka (DPOAEs – ang. *distortion product otoacoustic emissions*), które umożliwiłoby wyodrębnienie populacji osób dorosłych z zaburzeniami funkcji ślimaka. Dla osiągnięcia zamierzonego celu wykonano serię badań z zastosowaniem różnych metod stymulacji w grupach osób o słuchu normalnym oraz w grupie osób dorosłych z ubytkiem słuchu typu ślimakowego. Niniejsza praca przedstawia wyniki oceny przydatności różnych metod stymulacji w różnicowaniu uszu normalnie słyszących i z ubytkami słuchu typu ślimakowego na podstawie pomiaru amplitudy sygnału DPOAEs. Przeprowadzone badania potwierdziły hipotezę, że zdolność do różnicowania uszu normalnych i tych z zaburzeniami funkcji ślimaka za pomocą amplitudy DPOAEs zależy od częstotliwości i poziomów stymulacji tonów pier-

wotnych, ale nie pozwoliły na wskazanie jednej metody, która najlepiej różnicowałaby normę od patologii.

Summary

The aim of this study was to elaborate rapid screening test of cochlear function based on distortion product otoacoustic emissions (DPOAEs), which could allow for differentiation of normal hearing subjects and patients with cochlear impairment. For this purpose DPOAEs for normal-hearing and hearing-impaired adults using different data collection protocols designed specifically to be rapid and efficient were recorded. In this paper performance of DPOAE tests using amplitude of signal as a criterion is presented. The statistical analysis revealed that relation between DPOAE amplitude and parameters of stimulation and cochlear status is complex. Clinical performance of DPOAEs tests is determined by frequency and stimulus levels of primaries. The preliminary analysis did not allow selecting the procedure characterised by best test performance.

Sygnał otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka (DPOAEs – ang. *distortion product otoacoustic emissions*) powstaje w wyniku jednoczesnego pobudzenia dwoma bodźcami akustycznymi o nieznacznie różniące się częstotliwości, zwanymi tonami pierwotnymi, i jest związany ze zjawiskami nieliniowymi charakterystycznymi dla mechaniki ślimaka. Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że spośród wielu produktów zniekształceń nieliniowych powstających w ślimaku klinicznie użyteczny może być sygnał generowany dla częstotliwości określonej zależnością $2f_1 - f_2$ [np. Gaskill, Brown 1990; Martin (i inni) 1990; Lonsbury-Martin (i inni) 1991; Probst (i inni) 1991; Gorga (i inni) 1993]. Ponieważ amplituda sygnału DPOAEs zmniejsza się w uszach z ubytkiem słuchu typu ślimakowego, od wielu lat prowadzone są badania nad wykorzystaniem tego testu do różnicowania uszu normalnie słyszących i tych z zaburzeniami funkcji ślimaka [Lonsbury-Martin (i inni) 1990; Smurzyński, Kim 1992]. Wyniki tych prac wskazują, że użyteczność kliniczna metody rozumiana jako zdolność różnicowania normy i patologii nie jest w pełni satysfakcjonująca, jeśli w ocenie sygnału stosuje się pomiar amplitudy DPOAEs. Wielu autorów uważa, że przyczyną jest stosunkowo duży rozrzut międzysobniczy wyników [Hauser, Probst 1991; Gorga (i inni) 1997].

W celu zwiększenia użyteczności klinicznej metody poszukuje się nowych metod akwizycji, stymulacji i analizy sygnału DPOAEs oraz innych – obok amplitudy – kryteriów oceny sygnału, tak jak np. odstęp sygnału od szumu czy nachylenie funkcji wejście / wyjście. Próba optymalizacji parametrów stymulacji obejmuje m.in. zróżnicowanie intensywności tonów pierwotnych ($L_1 > L_2$) oraz poszukiwanie odpowiedniego poziomu stymulacji [np. Hauser, Probst 1991; Lonsbury-Martin (i inni) 1990; Nelson, Kimberley 1992; Rasmussen (i inni) 1993; Smurzyński, Kim 1992; Whitehead (i inni) 1995].

Oprócz wykorzystania otoemisji w badaniach diagnostycznych podjęto przed kilku laty próby opracowania na podstawie tych pomiarów metody badań przesiewowych słuchu noworodków. Z uwagi na takie cechy, jak nieinwazyjność, prostota i niewielka czasochłonność metoda ta jest dziś akceptowana jako skuteczne narzędzie w powszechnych badaniach przesiewowych słuchu u noworodków. Wiele wskazuje, że na podstawie pomiarów otoemisji można opracować skuteczne narzędzie, które umożliwi szybką ocenę funkcji ślimaka u osób dorosłych, co szczególnie może mieć znaczenie w badaniach tych, którzy należą do grupy wysokiego ryzyka uszkodzenia słuchu, a więc osób przyjmujących leki ototoksyczne lub narażonych na działanie hałasu.

Zasadniczym celem pracy jest opracowanie szybkiego testu przesiewowego opartego na rejestracji DPOAEs, umożliwiającego wykrywanie zaburzeń funkcji ślimaka. Dla osiągnięcia tego celu wykonano serię rejestracji DPOAEs u osób o słuchu normalnym i osób z ubytkiem słuchu typu ślimakowego z wykorzystaniem kilku metod stymulacji w szerokim zakresie częstotliwości. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pierwszego etapu analizy zebranego materiału pod kątem oceny przydatności różnych metod stymulacji w różnicowaniu uszu normalnie słyszących i z ubytkami słuchu typu ślimakowego na podstawie pomiaru amplitudy sygnału DPOAEs.

I. MATERIAŁ

W badaniach uczestniczyły osoby zdrowe oraz pacjenci z zaburzeniami słuchu typu ślimakowego. Do grupy kontrolnej (grupa I) zaliczono 25 osób w wieku 16-30 lat (16 kobiet i 9 mężczyzn, liczba uszu $n = 40$), u których wartości progu słyszenia nie przekraczały 20 dB HL w zakresie 250-8000 Hz, a ocena funkcji ucha środkowego przeprowadzana badaniem otoskopowym i audiometrią impedancyjną nie wykazała odchyłań od normy. Ponadto wywiady w kierunku zaburzeń słuchu i chorób ucha były negatywne.

Grupę chorych stanowiły osoby w wieku 15-77 lat diagnozowane z powodu nagłego bądź postępującego upośledzenia słuchu, szumów usznych, urazu akustycznego, vertigo, choroby Meniera oraz chorzy monitorowani z powodu przyjmowania leków ototoksycznych. Grupę II (22 kobiety i 19 mężczyzn, liczba uszu $n = 73$) stanowiły osoby, które zgłaszały dolegliwości wskazujące na możliwość występowania zaburzeń funkcji ucha wewnętrznego lub były narażone na działanie czynników uszkadzających słuch, natomiast próg słyszenia dla wszystkich badanych częstotliwości był w granicach normy. Do grupy III (42 kobiety i 29 mężczyzn, liczba uszu $n = 98$) zaliczono chorych, u których próg słyszenia pozostawał w normie dla pewnych częstotliwości, natomiast grupa IV (7 kobiet

i 11 mężczyzn, liczba uszu $n = 35$) obejmowała osoby, których próg słyszenia był większy niż 20 dB HL w całym zakresie badanych częstotliwości.

II. PROCEDURA I METODA

U każdej osoby przeprowadzano badanie otoskopowe, audiometrię impedancyjną z rejestracją ipsi- i kontralateralnych odruchów strzemiączkowych przy użyciu urządzenia ZODIAC 901 firmy Madsen, Electronics. Badanie progu słyszenia wykonywano za pomocą audiometru Midimate 622 firmy Madsen, Electronics w zakresie częstotliwości 250-8000 Hz ze skokiem 5 dB.

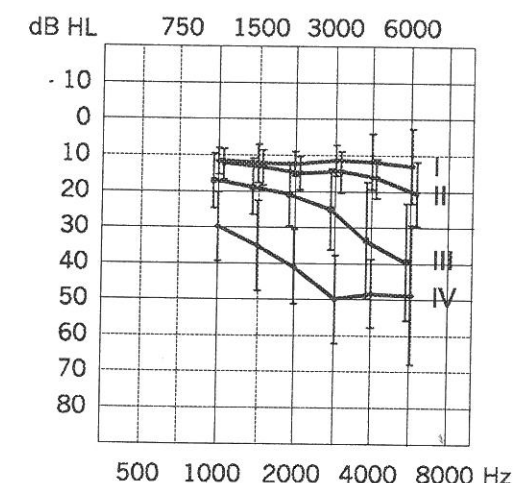
Sygnał otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka rejestrowano za pomocą urządzenia ILO 92, wersja 5.6 firmy Otodynamics, Ltd. Procedura obejmowała rejestrację amplitudy sygnału otoemisji produktu zniekształceń nieliniowych ślimaka dla częstotliwości określonej zależnością $2f_1-f_2$ w funkcji częstotliwości f_2 , przy czym wartości częstotliwości f_2 wynosiły odpowiednio: 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 i 6000 Hz, a iloraz częstotliwości f_2/f_1 wynosił 1,22. Badanie przeprowadzano w sekwencjach dla siedmiu różnych par intensywności tonów pierwotnych: 70/70, 65/59, 70/50, 65/50, 60/50, 55/50, 50/50 dB SPL. Z wyników ostatnich pięciu pomiarów wyznaczano funkcje wejście / wyjście dla poszczególnych częstotliwości w zakresie intensywności tonu pierwotnego f_1 od 50 do 70 dB SPL. Audiometryczne badania progowe oraz badania DPOAEs wykonywano w kabinie audiometrycznej.

W ocenie statystycznej wyników stosowano analizę wariancji – test ANOVA (ang. skrót *Analysis of Variance*). W analizie wariancji amplitudy sygnału DPOAEs dla poszczególnych częstotliwości stosowano test Tukeya HSD. Celem tej analizy było porównanie średnich wartości amplitudy DPOAEs w grupach osób o słuchu normalnym i z ubytkiem słuchu typu ślimakowego. Rozkład amplitud DPOAEs przedstawiono w postaci wykresu, na którym zaznaczono wartość średnią, wielkość błędu oraz wartość odchylenia standardowego. Różnice uważano za istotne statystycznie, jeżeli wartość poziomu istotności p była mniejsza od 0,05. Dla oceny różnic pomiędzy progiem słyszenia w poszczególnych grupach osób stosowano test t-Studenta.

III. WYNIKI

Na ryc. 1 przedstawiono średnie wartości progów słyszenia i odchylenia standardowe w grupie kontrolnej oraz w pozostałych grupach. Średnie wartości progu słyszenia w grupach I i II różniły się między sobą w sposób istotny statystycznie dla częstotliwości 3000, 4000 i 6000 Hz. W grupie III dominowały ubytki

słuchu w zakresie wysokich częstotliwości, podobnie jak w grupie IV, przy czym w grupie IV średnie wartości progu słyszenia były podwyższone w stosunku do normy w całym badanym zakresie częstotliwości.

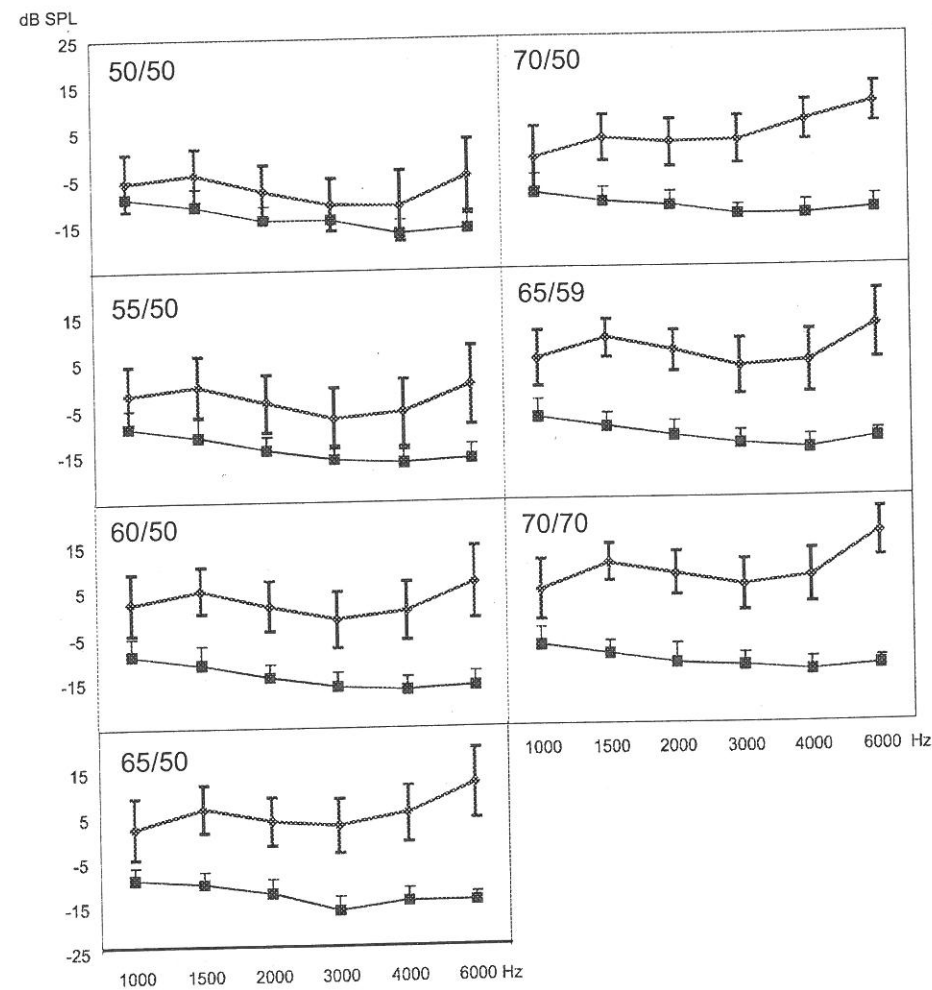


Ryc. 1. Średnie wartości progu słyszenia $\pm$ jedno odchylenie standardowe w poszczególnych grupach

Na ryc. 2 przedstawiono średnie wartości oraz odchylenie standardowe amplitud sygnału DPOAEs oraz średnią wartość szumu tła wraz z odchyleniem standardowym dla poszczególnych procedur w grupie I, czyli w grupie kontrolnej, dla wszystkich badanych częstotliwości. Najmniejszą średnią wartość amplitudy DPOAEs obserwowano dla procedury 50/50 i 55/50 dB SPL dla wszystkich badanych częstotliwości. Dla pozostałych procedur w miarę wzrostu intensywności tonów pierwotnych stwierdzono wzrost amplitudy sygnału DPOAEs w całym badanym zakresie częstotliwości, przy czym najmniejszy wzrost występował dla 1000 Hz, a największy – w zakresie wyższych częstotliwości, szczególnie dla 6000 Hz. Poziom szumu tła nie różnił się w sposób istotny statystycznie między poszczególnymi procedurami i osiągał największą wartość dla częstotliwości 1000 i 1500 Hz. Wartości średniej wartości amplitudy DPOAEs oraz odchylenia standardowe dla wszystkich częstotliwości i procedur stymulacji zestawiono w tab. 1.

Niezależnie od metody stymulacji i częstotliwości największe średnie wartości amplitudy DPOAEs obserwowano w grupie I, a najniższe w grupie IV. Dla ilustracji wyników na rys. 3 przedstawiono średnie wartości amplitudy DPOAEs, wielkość błędu i odchylenie standardowe dla częstotliwości 1000 i 6000 Hz dla poszczególnych procedur. Dla częstotliwości 1000 Hz dla metod stymulacji 50/50

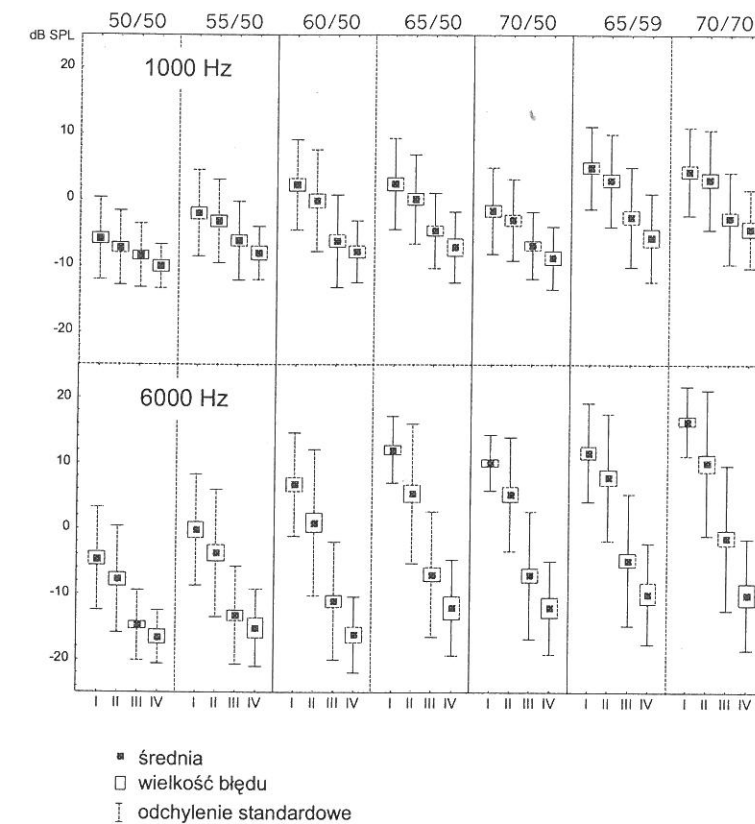
dB SPL i 55/50 dB SPL nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między średnimi amplitud DPOAEs w poszczególnych grupach. Dla pozostałych metod istotnie niższe wartości amplitud DPOAEs występowały w grupach III i IV w stosunku do wyników w grupach I i II. Średnie wartości amplitud w grupach I i II nie różniły



Ryc. 2. Średnie wartości amplitudy DPOAEs i poziomu szumu w grupie osób o słuchu normalnym dla poszczególnych procedur

Tab. 1. Wartości średniej amplitudy DPOAEs oraz odchylenia standardowego w dB SPL dla wszystkich częstotliwości i procedur stymulacji w grupie osób o słuchu normalnym

Metoda stymulacji (w dB SPL)	Częstotliwość					
	1000	1500	2000	3000	4000	6000
50/50	-5,71 ± 6,2	-4,29 ± 5,9	-7,17 ± 5,6	-10,9 ± 5,6	-11,8 ± 7,5	-4,64 ± 7,8
55/50	-1,84 ± 6,4	-0,05 ± 6,5	-3,89 ± 6,2	-7,12 ± 6,7	-6,01 ± 7,3	-0,20 ± 8,5
60/50	2,32 ± 6,8	5,30 ± 5,2	1,74 ± 5,5	-1,41 ± 6,1	0,54 ± 6,2	6,71 ± 7,9
65/50	2,45 ± 6,9	6,75 ± 4,7	3,89 ± 5,0	2,88 ± 5,7	5,65 ± 6,5	12,05 ± 5,1
70/50	-1,27 ± 6,6	2,69 ± 4,9	1,55 ± 5,1	2,11 ± 5,1	6,46 ± 4,3	10,04 ± 4,2
65/59	5,09 ± 6,1	9,15 ± 4,1	6,25 ± 4,5	2,87 ± 6,1	3,88 ± 6,7	11,64 ± 7,5
70/70	4,45 ± 6,6	10,15 ± 4,2	7,66 ± 4,7	5,05 ± 5,7	6,90 ± 6,0	16,41 ± 5,3



Ryc. 3. Średnie wartości amplitudy, wielkość błędu i odchylenie standardowe w poszczególnych grupach i procedurach rejestracji dla częstotliwości 1000 i 6000 Hz

się w sposób istotny statystycznie. Dla częstotliwości: 1500, 2000 i 3000 Hz procedura stymulacji 50/50 dB SPL nie wykazała istotnych różnic między badanymi grupami, natomiast dla metody 55/50 dB SPL istotne różnice występowały pomiędzy grupą I a III oraz I a IV dla częstotliwości 2000 i 3000 Hz. Dla pozostałych poziomów stymulacji istotne statystycznie różnice wartości amplitud stwierdzono między grupami I a III oraz I a IV dla częstotliwości: 1500, 2000 i 3000 Hz. Dla częstotliwości 3000 Hz średnie wartości amplitud w grupach III i IV nie różniły się istotnie przy zastosowaniu metody stymulacji 70/70 dB SPL.

Dla częstotliwości 4000 Hz przy intensywności bodźców 50/50 dB SPL nie stwierdzono istotnych różnic między badanymi grupami, natomiast dla pozostałych procedur stwierdzono istotne różnice między grupami I a III, I a IV, II a III oraz II a IV. Dla żadnej metody nie obserwowano istotnych statystycznie różnic w amplitudach DPOAEs w grupach I i II oraz w grupach III i IV.

Dla częstotliwości 6000 Hz we wszystkich metodach stymulacji stwierdzono istotnie niższe wartości amplitud w grupach III i IV w odniesieniu do grupy I. Ponadto wykazano istotne statystycznie różnice pomiędzy amplitudami DPOAEs w grupach III i IV dla wszystkich metod z wyjątkiem metody 55/50 dB SPL i 50/50 dB SPL. Między grupami I a II średnia wartość różnicy amplitudy była znamienna statystycznie przy zastosowaniu intensywności 65/50 dB SPL oraz 70/70 dB SPL.

IV. DYSKUSJA

Audiometria tonalna stanowi standardową metodę pozwalającą na różnicowanie uszu normalnie słyszących i tych z ubytkiem słuchu. Pomimo różnorodnych ograniczeń wciąż stanowi odniesienie w badaniach klinicznych nowych metod oceny narządu słuchu, a także jest obowiązującym testem w orzecznictwie medycznym uszkodzeń słuchu wywołanych hałasem czy lekami ototoksycznymi. Również w niniejszych badaniach nad przydatnością kliniczną DPOAEs progową audiometrię tonalną zastosowano jako metodę odniesienia.

Choć trudno obecnie znaleźć silną korelację pomiędzy progiem słyszenia a amplitudą odpowiedzi DPOAEs, wyniki wielu prac wskazują na to, że badanie to może być źródłem dodatkowych i ważnych z klinicznego punktu widzenia informacji na temat funkcji ślimaka. Pomimo pewnych ograniczeń metody nie do przecenienia pozostaje fakt, że jest ona obiektywna, prosta i szybka. Te cechy sprawiają, że rejestracje otoemisji mogą znaleźć zastosowanie w badaniach przesiewowych słuchu noworodków, małych dzieci i osób dorosłych. Zasadniczym problemem, który wymaga rozwiązania, jest określenie odpowiednich metod stymulacji i analizy, pozwalających na uzyskanie w pewny sposób odpowiedzi, czy funkcja ślimaka jest prawidłowa czy zaburzona. Do tej pory nie został opracowany

standardowy zestaw takich parametrów i kryteriów oceny DPOAEs. Podobnie jak autorzy innych prac z tego zakresu, w niniejszej pracy testowano pewien zestaw częstotliwości oraz intensywności tonów pierwotnych.

Zasadniczym celem analiz przedstawionych w niniejszej pracy była próba znalezienia odpowiedzi na pytanie, czy na podstawie pomiaru amplitudy sygnału DPOAEs można różnicować uszy normalnie słyszące oraz uszy z zaburzeniami funkcji ślimaka. Oceny tego problemu dokonano dla siedmiu metod stymulacji oraz dla częstotliwości: 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 i 6000 Hz. Wyniki licznych prac wykazują, że amplituda DPOAEs rośnie wraz ze wzrostem intensywności tonów pierwotnych do pewnego poziomu, tj. ok. 75 dB SPL, kiedy występuje faza wysycenia odpowiedzi bądź obserwuje się zjawisko „roll-over”, czyli spadek amplitudy po osiągnięciu wartości maksymalnej [Whitehead (i inni) 1995]. Wiele autorów [Gaskill, Brown 1990; Whitehead (i inni) 1995; Hauser, Probst 1991; Rasmussen (i inni) 1993] podaje także, że zmniejszenie poziomu L_2 poniżej L_1 o wartość 10 do 15 dB powoduje zwiększenie amplitudy DPOAEs o wartość ok. 3 dB w grupie normalnej, jeśli L_1 nie przekracza 75 dB SPL, a eksperymenty przeprowadzone na zwierzętach [Martin (i inni) 1987; Franklin (i inni) 1991; Brown (i inni) 1989; Whitehead (i inni) 1992], jak również badania ludzi wskazują, że w uszach z uszkodzeniem funkcji ślimaka występuje większa redukcja amplitudy DPOAEs, co przyczyni się do poprawy czułości testu.

Wyniki uzyskane w niniejszej pracy pozostają w zgodzie z wynikami przedstawianymi przez innych autorów. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że w grupie uszu normalnie słyszących amplituda otoemisji zwiększa się wraz ze wzrostem intensywności tonów pierwotnych, przy czym najwyższe wartości amplitud uzyskano dla metody stymulacji 65/59, 70/70 i 65/50 dB SPL.

Wyniki pracy analizowano również pod kątem przydatności poszczególnych metod stymulacji w różnicowaniu uszu normalnych oraz tych z zaburzeniami słuchu. Dla częstotliwości 1000 Hz żadna z zastosowanych metod nie różnicowała grup I i II. W odniesieniu do grupy I amplituda sygnału otoemisji była istotnie niższa w grupach III i IV dla wszystkich metod stymulacji z wyjątkiem metod 55/50 i 50/50 dB SPL. Największe zróżnicowanie amplitud sygnału DPOAEs pomiędzy poszczególnymi grupami obserwowano dla metod 65/59 i 60/50 dB SPL. Podobne wyniki uzyskano dla częstotliwości: 1500, 2000 i 3000 Hz.

Dla częstotliwości 4000 i 6000 Hz, dla której wszystkie grupy osób były zróżnicowane pod względem wartości progu słyszenia, średnie wartości różnic amplitudy otoemisji między grupą I a pozostałymi grupami były większe niż dla niższych częstotliwości. Dwie metody: 65/50 i 70/70 dB SPL różnicowały pod względem amplitudy DPOAEs grupy I i II dla częstotliwości 6000 Hz. W odniesieniu do grupy I amplitudy DPOAEs w grupach III i IV różniły się w sposób istotny statystycznie dla wszystkich metod stymulacji. Największe zróżnicowanie amplitud

w poszczególnych grupach osób uzyskano dla następujących metod: 70/70, 65/50, 65/59 i 60/50 dB SPL.

Łączna analiza wyników uzyskanych dla wszystkich częstotliwości pozwala wyciągnąć wniosek, że metody stymulacji 65/59 i 60/50 dB SPL były najbardziej skuteczne w różnicowaniu uszu normalnych i tych z zaburzeniami funkcji ślimaka pod względem amplitudy DPOAEs, natomiast najmniej przydatne były procedury 55/50 i 50/50 dB SPL. Na uwagę zasługuje fakt, że dla częstotliwości 6000 Hz dwie metody – 65/50 i 70/70 dB SPL różnicowały grupę osób normalnie słyszących i osób z prawidłową czułością słuchu zgłaszających dolegliwości mogące wskazywać na zaburzenia funkcji ślimaka. Wyniki te sugerują większą czułość testu DPOAEs na uszkodzenia ślimaka w porównaniu z progową audiometrią tonalną. Obserwacje te potwierdzają inni autorzy w pracach prezentujących przydatność otoemisji w monitorowaniu funkcji ślimaka u chorych stosujących leki ototoksyczne [Hotz (i inni) 1994] oraz wpływ zmęczenia słuchowego [Lonsbury-Martin (i inni) 1991]. W pracach tych stwierdzono obniżenie amplitudy sygnału DPOAEs pomimo braku zmian w progowej audiometrii tonalnej.

Ogólnie można powiedzieć, że obecność ubytku słuchu zmniejsza amplitudę sygnału otoemisji. Pozostaje to w zgodzie z wynikami wielu prac, które wskazują, że amplituda DPOAEs maleje, jeśli ubytek słuchu rośnie [Whitehead (i inni) 1995; Gorga (i inni) 1993; 1997]. Dlatego też można by przyjąć, że zmniejszenie amplitudy DPOAEs poniżej wartości wyznaczonych dla osób o słuchu normalnym może wskazywać na uszkodzenie funkcji ślimaka.

Przeprowadzone badania potwierdziły hipotezę, że zdolność różnicowania uszu normalnych i tych z zaburzeniami funkcji ślimaka zależy od częstotliwości i poziomów stymulacji tonów pierwotnych, ale nie pozwoliły na wskazanie metody, która najlepiej różnicowałaby normę od patologii. Dlatego istnieje konieczność kontynuowania badań, które wyodrębnią procedurę charakteryzującą się najmniejszym rozrzutem międzyosobniczym i umożliwią znalezienie odpowiedzi na pytania dotyczące częstotliwości oraz intensywności tonów pierwotnych i kryteriów obecności sygnału otoemisji (obok amplitudy także odstepu sygnału od szumu czy nachylenia funkcji wejście / wyjście bądź też kombinacji różnych parametrów odpowiedzi DPOAEs), jakie należy stosować w procedurze szybkiego testu przesiewowego funkcji ślimaka, by uzyskać największą użyteczność kliniczną testu.

Bibliografia

- Brown A. M., McDowell B., Forge A., 1989: Acoustic distortion products can be used to monitor the effects of chronic gentamicin treatment. „Hear. Res.” 42, 143-156.
- Gaskill S. A., Brown A. M., 1990: The behaviour of the acoustic distortion product $2f_1-f_2$ from the human ear and its relation to auditory sensitivity. „J. Acoust. Soc. Am.” 88, 821-839.
- Gorga M. P., Neely S. T., Bergman B., Beauchaine K. L., Kaminski J. R., Peters J., Jesteadt W., 1993: Otoacoustic emissions from normal hearing and hearing-impaired subjects: Distortion product responses. „J. Acoust. Soc. Am.” 93, 2050-2060.
- Gorga M. P., Neely S. T., Ohlrich B., Hoover B., Redner J., Peters J., 1997: From Laboratory to Clinic: A Large Scale Study of Distortion Product Otoacoustic Emissions in Ears with Normal Hearing Ears and with Hearing Loss. „Ear Hear.” 18, 440-455.
- Hauser R., Probst R., 1991: The influence of systematic primary-tone level variation L_2-L_1 on the acoustic distortion product emission $2f_1-f_2$ in normal human ears. „J. Acoust. Soc. Am.” 89, 1, 280-286.
- Hotz M. A., Harris F. P., Probst R., 1994: Otoacoustic emissions: An approach for monitoring amino glycoside-induced ototoxicity. „Laryngoscope” 104, 1130-1134.
- Kimberly B. P., Nelson D. A., 1989: Distortion product emissions and sensorineural hearing loss. „J. Otolaryngol.” 18, 7, 365-368.
- Lonsbury-Martin B. L., Harris F. P., Hawkins M. D., Stagner B. B., Martin G. K., 1990: Distortion product emissions in humans: I. Basic properties in normally hearing subjects. „Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.” 99, Suppl. 147, 3-13.
- Lonsbury-Martin B. L., Whitehead M. L., Martin G. K., 1991: Clinical applications of otoacoustic emissions. „J. Speech Hear. Res.” 34, 964-981.
- Martin G. K., Probst R., Scheinin S. A., Coats A. C., Lonsbury-Martin B. L., 1987: Acoustic distortion products in rabbits. II. Sites of origin revealed by suppression and pure-tone exposures. „Hear. Res.” 28, 191-208.
- Martin G. K., Stagner B. B., Coats A. C., Lonsbury-Martin B. L., 1990: Distortion products emissions in humans: III. Influence of sensorineural hearing loss. „Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.” 99, Suppl. 147, 29-44.
- Nelson D. A., Kimberly B. P., 1992: Distortion product emissions and auditory sensitivity in human ears with normal hearing and cochlear hearing loss. „J. Speech Hear. Res.” 35, 1142-1159.
- Probst R., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K., 1991: A review of otoacoustic emissions. „J. Acoust. Soc. Am.” 89, 2027-2067.
- Rasmussen A. N., Popelka G. R., Osterhammel P. A., Nielsen L. H., 1993: Clinical significance of relative probe-tone levels on distortion product otoacoustic emissions. „Scan. Audiol.” 22, 223-229.
- Smurzynski J., Kim D. O., 1992: Distortion-product and click-evoked otoacoustic emissions of normally-hearing adults. „Hear. Res.” 58, 227-240.
- Whitehead M. L., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K., 1992: Evidence for two discrete sources of $2f_1-f_2$ distortion-product otoacoustic emission in rabbit: I Differential dependence on stimulus parameters. „J. Acoust. Soc. Am.” 91, 1587-1607.
- Whitehead M. L., McCoy M. J., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K., 1995: Dependence of distortion product otoacoustic emissions on primary levels in normal and impaired ears. I. Effects of decreasing L_2 below L_1 . „J. Acoust. Soc. Am.” 97, 4, 2346-2358.